

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Vítězslav Koblischka

ID: 126841

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Měření diverzitního vysílání ve standardu DVB-T2

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce detailně prostudujte vlastnosti vysílacího a přijímacího řetězce standardů DVB-T a DVB-T2 pro zemské digitální televizní vysílání. Zaměřte se zejména na klasické SISO vysílání (dostupné v DVB-T/T2) a nové diverzitní vysílání MISO ve standardu DVB-T2. Navrhněte a realizujte vhodné laboratorní pracoviště pro měření SISO vysílání a příjem ve standardu DVB-T a v případě standardu DVB-T2 vhodné pro SISO a MISO vysílání a příjem. V experimentální části práce proveďte měření, analýzu a podrobný rozbor klasického a diverzitního vysílání a příjmu DVB-T/T2 a vyhodnoťte vliv módu MISO na jeho chybovost v závislosti na zvolených systémových parametrech a na typu přenosového kanálu. Srovnějte dosažené výsledky se standardním módem SISO. Navrhněte laboratorní úlohu pro měření klasického a diverzitního vysílání ve standardu DVB-T/T2. Připravte vzorové vypracování navržené úlohy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] EN 302 755 V1.2.1 (2012-04). Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), European Standard ETSI, 2012.

[2] TS 102 831 V1.2.1 (2012-08). Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), Tech. Specification ETSI, 2012.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 4.6.2014

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Polák, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

ABSTRAKT

Bakalářská práce porovnává standardy pro digitální pozemní televizní vysílání první generace DVB-T a druhé generace DVB-T2. Zaměřuje se zejména na vliv rušení přenosového prostředí simulovaný přenosovými kanály pro pevný, přenosný a mobilní příjem pozemního digitálního signálu. Dále práce porovnává SISO vysílání s diverzitním vysíláním MISO ve standardu DVB-T2 a vyhodnocuje vliv módu na chybovost v závislosti na zvoleném přenosovém kanále a použitých systémových parametrech.

KLÍČOVÁ SLOVA

DVB-T/T2, OFDM, MISO, SISO, model přenosového kanálu, AWGN, BER

ABSTRACT

This bachelor thesis compares standards for digital and terrestrial television broadcasting of first-generation DVB-T and second-generation DVB-T2. It focuses particularly on the impact of interference in transmission media simulated by transmission channels for fixed, portable and mobile reception of terrestrial digital signal. Furthermore, the thesis compares SISO broadcast with the diverse MISO broadcast in DVB-T2 standard and evaluates the impact of the mode on error rate depending on the selected transmission channel and systems parameters that were used.)

KEYWORDS

DVB-T/T2, OFDM, MISO, SISO, model of the transmission channel, AWGN, BER

KOBLISCHKA, Vítězslav *Měření diverzitního vysílání ve standardu DVB-T2*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2014. 50 s. Vedoucí práce byl Ing. Ladislav Polák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Měření diverzitního vysílání ve standardu DVB-T2“ 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského 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.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Ladislavu Polákovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

(podpis autora)

Výzkum popsáný v této bakalářské práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

Úvod	11
1 Digitální televizní vysílání DVB	12
1.1 DVB-T	12
1.2 DVB-C	12
1.3 DVB-S	12
1.4 DVB-H	13
1.5 DVB-SH	13
2 DVB-T2	14
2.1 DVB-T2 Lite	14
2.2 MISO	14
3 Přenosové kanály DVB-T	15
3.1 Šíření televizního kanálu	15
3.2 Pevný pozemní příjem	15
3.2.1 Gaussův kanál	15
3.2.2 Riceův kanál	16
3.2.3 Rayleighův kanál	16
3.3 Přenosný pozemní příjem	17
3.3.1 Přenosový kanál PI_{12}	17
3.3.2 Přenosový kanál PO_{12}	17
3.4 Mobilní pozemní příjem	17
3.4.1 Přenosový kanál TU_6	17
3.4.2 Přenosový kanál RA_6	18
3.5 Vliv na přenášený signál	18
3.5.1 Dopplerův jev	18
3.5.2 Vliv přenosového kanálu na chybovost příjmu	18
3.5.3 Simulované hodnoty přenosových kanálů DVB-T	20
3.5.4 Simulované hodnoty přenosových kanálů DVB-T2	21
4 Laboratorní měření	22
4.1 Pevný pozemní příjem DVB-T	22
4.1.1 Grafické závislosti pro pevný příjem DVB-T	22
4.1.2 Konstelační diagramy pro pevný příjem DVB-T	25
4.1.3 Vyhodnocení pro pevný příjem DVB-T	25
4.2 Pevný pozemní příjem DVB-T2	25
4.2.1 Grafické závislosti pro pevný příjem DVB-T2	26

4.2.2	Konstelační diagramy pro pevný příjem DVB-T2	29
4.2.3	Vyhodnocení pro pevný příjem DVB-T2	29
4.3	Přenosný pozemní příjem DVB-T	29
4.3.1	Grafické závislosti pro přenosný příjem DVB-T	30
4.3.2	Konstelační diagramy pro přenosný příjem DVB-T	32
4.3.3	Vyhodnocení pro přenosný pozemní příjem DVB-T	32
4.4	Mobilní pozemní příjem DVB-T	32
4.4.1	Grafické závislosti pro mobilní pozemní příjem DVB-T	33
4.4.2	Konstelační diagramy pro mobilní příjem DVB-T	35
4.4.3	Vyhodnocení pro přenosný pozemní příjem DVB-T	35
4.5	Pevný pozemní příjem DVB-T2, mód MISO a SISO	36
4.5.1	Grafické závislosti pro pevný pozemní příjem DVB-T2	37
4.5.2	Grafické závislosti pro pevný pozemní příjem DVB-T2	40
4.5.3	Grafické závislosti pro pevný pozemní příjem DVB-T2	43
4.5.4	Konstelační diagramy pro pevný příjem DVB-T	46
4.5.5	Vyhodnocení pro přenosný pozemní příjem DVB-T	46
5	Závěr	47
	Literatura	49
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

3.1	Gaussův kanál (přímá cesta)	15
3.2	Riceův kanál (přímá cesta a odražené signály)	16
3.3	Rayleighův kanál (odražené signály a přímá cesta je potlačena)	16
3.4	Minimální poměry	19
3.5	Simulované hodnoty přenosových kanálů DVB-T[4]	20
3.6	Simulované hodnoty přenosových kanálů DVB-T[6]	21
4.1	Zapojení přístrojů laboratorního pracoviště	22
4.2	BER před Viterbi	23
4.3	BER po Viterbi	23
4.4	MER	24
4.5	Kvalita signálu	24
4.6	C/N= 40 dB	25
4.7	C/N= 23 dB	25
4.8	C/N= 17 dB	25
4.9	BER před LDPC	26
4.10	BER po LDPC	27
4.11	MER	27
4.12	Kvalita signálu	28
4.13	Počet Iterací	28
4.14	C/N= 40 dB	29
4.15	C/N= 23 dB	29
4.16	BER před Viterbi	30
4.17	BER po Viterbi	31
4.18	MER	31
4.19	C/N= 40 dB	32
4.20	C/N= 23 dB	32
4.21	C/N= 17 dB	32
4.22	BER před Viterbi	33
4.23	BER po Viterbi	34
4.24	MER	34
4.25	Kvalita signálu	35
4.26	C/N= 40 dB	35
4.27	C/N= 23 dB	35
4.28	C/N= 17 dB	35
4.29	Zapojení přístrojů laboratorního pracoviště	36
4.30	BER před LDPC	37
4.31	BER po LDPC	38

4.32	MER	38
4.33	Kvalita signálu	39
4.34	Počet Iterací	39
4.35	BER pred LDPC	40
4.36	BER po LDPC	41
4.37	MER	41
4.38	Kvalita signálu	42
4.39	Počet Iterací	42
4.40	BER pred LDPC	43
4.41	BER po LDPC	44
4.42	MER	44
4.43	Kvalita signálu	45
4.44	Počet Iterací	45
4.45	C/N= 40 dB	46
4.46	C/N= 30 dB	46
4.47	C/N= 24 dB	46

ÚVOD

Systém digitálního pozemního televizního vysílání vyvinutého v Evropě nazývaný se DVB-T úspěšně řeší problémy vyčerpání kmitočtového spektra, s ním spojené omezení zavádět další celoplošné televizní kanály, a požadavek na větší počet programů s rostoucím nárokem na kvalitu obrazu a zvuku pro stávající dobíhající analogové televizní vysílání.

Systém digitálního pozemního televizního vysílání druhé generace DVB-T2 je nejnovější směr vývoje digitálního terestrického televizního vysílání. V budoucnu se s velkou pravděpodobností stane nástupcem standardu DVB-T. Nejdůležitější výhodou standardu DVB-T2 je zvýšení kapacity datového toku o více než 30 DVB-T za stejných přenosových podmínek. Tato výhoda zvýšení přenosové kapacity je dána především zlepšeným zdrojovým a kanálovým kódováním.

Zavedením standardu DVB-T2, který není slučitelný se standardem DVB-T převážně díky odlišnému zdrojovému a kanálovému kódování, dojde k nutnosti výměny části technologie. Na vysílači zejména výměna modulátoru, naproti tomu demodulátor a dekodér podporující standard DVB-T2 v přijímači.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním standardů pro digitální pozemní televizní vysílání první generace DVB-T a druhé generace DVB-T2 s důrazem na kanálové zabezpečení signálu proti vlivu rušení přenosového prostředí. Následuje popis konkrétních modelů přenosových kanálů pro pevný, přenosný a mobilní příjem pozemního digitálního signálu. Práce se dále zabývá diverzitním vysíláním u DVB-T2 pomocí MISO módu a jeho srovnáním s módem SISO.

1 DIGITÁLNÍ TELEVIZNÍ VYSÍLANÍ DVB

DVB (Digital Video Broadcasting) je expertní skupina skládající se z asi 200 členů z 25 států světa. Zabývá se řešením digitální televize v Evropě. Dělí se na tři části DVB-T (Pozemní vysílání), DVB-S (Satelitní vysílání) a DVB-C (kabelové vysílání). Všechny tyto standardy mají stejné principy kódování obrazu a zvuku a to MPEG-2 nebo MPEG-4 AVC. Liší se především modulačními metodami, které jsou uzpůsobené pro konkrétní druh přenosu.

1.1 DVB-T

DVB-T je standard pro pozemní(terestriální) vysílání. Signál se zde šíří prostorem, proto je systém uzpůsoben hlavně na silný vliv rušení a to zejména kvůli odrazům, které způsobují mezisymbolové interference ISI (Inter Symbol Interference). Vyznačuje se také velkým vysílacím výkonem. Využívá se zde přenos pomocí OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), který není náchylný na vícecestné šíření. OFDM má pro DVB-T dva módy a to 2K(1705 nosných kmitočtů) a 8K(6817 nosných kmitočtů). Pro odolnost vůči rušení a vlivu odrazů se používá ochranný interval GI (Guard Interval). Symboly jsou přenášeny a získávány z inverzní diskretní Fourierovy transformace IFFT (Inverse Fast Fourier Transform). Jednotlivé nosné jsou modulovány buď QPSK nebo M-QAM pomocí OFDM modulátoru. [1]

1.2 DVB-C

Standard DVB-C je uzpůsoben pro kabelový přenos televizního signálu. Zde se počítá s minimálním vlivem rušení a stejnou šířkou kanálů jako u DVB-T. Modulace je použita vícecestavová kvadrurní amplitudová modulace M-QAM(Mary Quadrature Amplitude Modulation) se 64 stavovými body (64-QAM) v koaxiální kabelové síti.

1.3 DVB-S

Tento standard se používá pro přenos družicového vysílání. Charakterizuje ho nízký vysílací výkon, malý vliv odrazů a velká šířka pásma. Jako vnější modulace se zde používá kvadrurní fázová modulace QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Již existuje novější standart DVB-S2, který splňuje požadavky na vyšší vysílací tok potřebné pro HDTV vysílání.

1.4 DVB-H

DVB-H je vyvinuto ze standardu DVB-T se kterým je zpětně kompatibilní. Je určený pro mobilní zařízení (PDA, mobilní telefony atd.) s nízkým obrazovým rozlišením a bateriovým provozem. Díky uspořádání paketů každého TV programu do časových segmentů (burstů) se dosahuje snížení příkonu. Je zde použita modulace COFDM komprimovaného dle standardu MPEG-4 AVC. Mimo módu 2K a 8K shodnými s DVB-T zde přibyl mód 4K, který kombinuje možnosti pro mobilní příjem a relativně velký dosah pokrytí.

1.5 DVB-SH

Tento standard vychází se standardu DVB-H a využívá některé principy ze standardu DVB-S2. Je to hybridní satelitně-pozemní vysílání. Satelitní přenos je zde pro nezastavěné oblasti, kde se počítá s přímým příjmem vysílaného v S-pásmu okolo frekvence 2,2 GHz. Pro zastavěné oblasti se počítá s příjmem z pozemních vysílačů na stejné frekvenci jako satelity, nebo v některém ze současných TV pásem. Systém má oproti DVB-H navíc: OFDM mód 1K, přenosový kanál o šířce 1,7 MHz a kanálové kódování používá 3GPP2 Turbo kódér.

2 DVB-T2

Největší výhodou DVB-T2 oproti DVB-T je zvýšená kapacita datového toku a to až o 30%, za stejných přenosových podmínek. Je to dáno především zlepšením zdrojového kanálového kódování. Dále jsou zde další modulační metody v podobě tzv. RCD (Rotated Constellation Diagram). Oproti DVB-T zde přibylo zavedení více vstupních datových toků nazývaných PLP (Physical Layer Pipes). Jednotlivé PLP mohou nést jiný typ dat a každá z nich může být v rámci jednoho frekvenčního kanálu modulována jinou metodou s jiným zabezpečením. Počet PLP může být teoreticky až 256. Standard DVB-T2 není slučitelný se standardem DVB-T, pro použití v domácnostech bude potřeba zakoupit nový přijímač.

2.1 DVB-T2 Lite

Lite je odlehčený profil T2 pro mobilní použití. Zde jsou rozdíly od DVB-T2[6]:

- Vylučuje módy 1K a 32K
- Zakazuje rotační konstelaci (rotated constellation) v 256-QAM
- Dovoluje pouze krátké FEC snímky ($N_{ldpc} = 16200$)
- Přidává dva nové kódovací poměry (1/3 a 2/5)
- Omezí velikost časového prokládání (interleaver) paměti přibližně na polovinu standardního DVB-T2
- Snižuje počet povolených kombinací režimu, zakazuje použití PP8

2.2 MISO

DVB-T2 je první standard používající MISO (Multiple Input, Single Output) algoritmus. Pro MISO vysílání je použito Alamoutiho kódování [5]. Vysílání v SFN (Single Frequency Network) je rozděleno do dvou skupin. V první z nich je datový tok nepozměněný a v druhé je ortogonálně překódovaný vůči původnímu datovému toku. V síti jsou dva vysílače jeden z nepozměněným datovým tokem a druhý u kterého jsou data pozměněna. Tím se zamezí ovlivňování vysílačů mezi sebou.[7]

3 PŘENOSOVÉ KANÁLY DVB-T

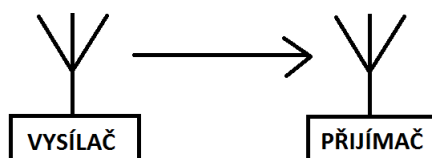
3.1 Šíření televizního kanálu

Vlnění se na kmitočtech televizního vysílání v pásmech VKV a UKV (desítky až stovky MHz) šíří hlavně přímou vlnou. Tato vlna se však v terénu odrazí od všech překážek v závislosti na jejich vodivosti. V pásmu VKV nelze vyloučit ani lom vln v atmosféře. Takto vzniká z přímého a odraženého pole složené pole [2], které je v prostoru nerovnoměrně rozloženo (prostorová vlna). V pásmu UKV je obecně vliv odrazů nižší, což má však i nevýhody v podobě značného poklesu intenzity signálu mimo oblast přímé viditelnosti vysílače.

3.2 Pevný pozemní příjem

3.2.1 Gaussův kanál

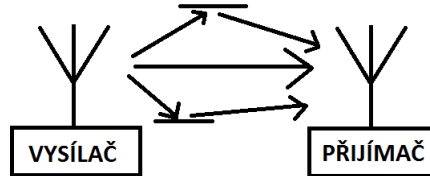
Gaussův kanál popisuje ideální podmínky příjmu, kdy je přijímací a vysílací anténa v přímém dohledu a signál přichází k anténě pouze přímou cestou bez jakýchkoli odrazů. Signál je tedy utlumen pouze bílým gaussovským šumem (AWGN), který je generován zejména samotným přijímačem. Gaussův kanál poskytuje přijímači nejlepší podmínky k příjmu. Na obrázku 3.1 je znázorněn přenos Gaussovým kanálem.



Obr. 3.1: Gaussův kanál (přímá cesta)

3.2.2 Riceův kanál

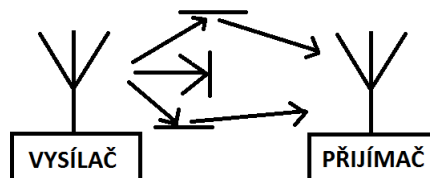
V tomto kanále se k přímému signálu přidávají další odražené signály, což značně zhorší podmínky příjmu. Vlivem mnohacestného šíření signálu způsobeného odrazy například od budov a jiných objektů, tzv. úniků, dochází ke kolísání intenzity signálu a ke vzniku mezisymbolových interferencí. Riceův kanál je znázorněn na obrázku 3.2.



Obr. 3.2: Riceův kanál (přímá cesta a odražené signály)

3.2.3 Rayleighův kanál

Rayleighův kanál tvoří již pouze odražené signály a přímá cesta je zde potlačena. Rayleighův kanál představuje nejhorší podmínky příjmu přijímače. Stejně jako Riceův kanál i Rayleighův kanál vyžaduje v porovnání s Gaussovým kanálem vyšší poměr C/N signálu a to až o 9 dB. Takové zvýšení představuje osminásobné zvětšení vysílacího výkonu, což je samozřejmě obtížně realizovatelné [3]. Rayleighův kanál je zobrazen na obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Rayleighův kanál (odražené signály a přímá cesta je potlačena)

3.3 Přenosný pozemní příjem

Pro přenosný příjem je charakteristická malá rychlost (řádově jednotky km/h) přijímače vůči vysílači. Nejčastěji se využívá modulace OFDM, mód 4K s modulací 16-QAM, kódový poměr $CR=2/3$ a délka ochranného intervalu $GI=1/8$ pro standard DVB-T/H.

Přenosová cesta se vyznačuje zpravidla mnohacestným příjmem přímých i odražených signálů s Dopplerovým posunem.

3.3.1 Přenosový kanál PI_{12}

Kanál přenosného pozemního příjmu Portable Indoor je definován pro šíření signálu uvnitř budovy s rychlostí pohybu přijímače 3 km/h. Statistika šíření signálu je charakterizována Dopplerovým spektrem s Riceovou distribucí pro první cestu šíření signálu a Rayleghovou distribucí pro ostatní cesty.[8] Popisuje vlastnosti matematického modelu PI_{12} přenosového kanálu 12-ti odrazy.

3.3.2 Přenosový kanál PO_{12}

Kanál přenosného pozemního příjmu Portable Indoor je definován pro šíření signálu vně budovy s rychlostí pohybu přijímače 3 km/h. Statistika šíření signálu je charakterizována Dopplerovým spektrem s Riceovou distribucí pro první cestu šíření signálu a Rayleghovou distribucí pro ostatní cesty.[8] Popisuje vlastnosti matematického modelu PO_{12} přenosového kanálu 12-ti odrazy.

3.4 Mobilní pozemní příjem

Charakteristická pro mobilní pozemní příjem je střední až vysoká rychlost (30 - 100 km/h) pohybu přijímače vůči vysílači. Nejčastěji se využívá modulace OFDM, mód 2K s modulací QPSK, kódový poměr $CR=1/2$ a délka ochranného intervalu $GI=1/16$ pro standard DVB-T/H.

Přenosová cesta se vyznačuje zpravidla mnohacestným příjmem přímých i odražených signálů s Dopplerovým posunem.

3.4.1 Přenosový kanál TU_6

Typical Urban přenosový kanál mobilního pozemního příjmu je definován pro šíření signálu v zastavěném městském prostředí s rychlostí pohybu přijímače 50 km/h. Statistika šíření signálu je charakterizována Dopplerovým spektrem s Rayleghovou

distribucí. Popisuje vlastnosti matematického modelu TU₁₂ přenosového kanálu 6-ti odrazy.

3.4.2 Přenosový kanál RA₆

Rural Area přenosový kanál mobilního pozemního příjmu je definován pro šíření signálu ve venkovském prostředí s rychlostí pohybu přijímače 100 km/h. Je odvozen z TU₆ přenosového kanálu, statistika šíření signálu je charakterizována Dopplerovým spektrem s Riceovou distribucí pro první cestu šíření signálu a Rayleighovou distribucí pro ostatní cesty. Popisuje vlastnosti matematického modelu RA₆ přenosového kanálu 6-ti odrazy.

3.5 Vliv na přenášený signál

3.5.1 Dopplerův jev

V případě, že se přijímač pohybuje určitou rychlostí směrem od nebo k vysílači, vzniká vlivem Dopplerova jevu záporný nebo kladný posun kmitočtu. Tento posun v přijímači kompenzuje systém automatického doladování kmitočtu AFC. Tento posun kmitočtu Δf lze vypočítat vztahem

$$\Delta f = v \cdot \frac{f}{\gamma} \cdot \cos(\varphi) \quad (3.1)$$

kde v určuje rychlost pohybu přijímače, f přenášený kmitočet, γ rychlost elektromagnetického vlnění a φ úhel, pod kterým přichází signál vzhledem ke směru pohybu přijímače. [9]

3.5.2 Vliv přenosového kanálu na chybovost příjmu

Přítomnost většího či menšího množství šumu v RF kanálu DVB-T vede k větší či menší bitové chybovosti při příjmu. Pomocí Viterbiho dekodéru na straně přijímače lze opravit určité množství chyb na úrovni bitů v závislosti na kódovém poměru zvoleném v konvolučním kodéru na straně vysílače.

Gaussův kanál, nazývaný také kanál AWGN, přidává k procházejícímu kanálu aditivní bílý gaussovský šum. Poměr výkonu signálu k šumu S/N je zpravidla měřen na straně přijímače. U DVB-T se pro vysílaný signál udává poměr C/N který se od S/N liší. Důvodem je, že za výkon signálu lze považovat pouze výkon užitečných nosných. Rozdílem celkového vysílaného výkonu S a výkonem užitečných nosných C je 0,857 dB v módu 2k a 0,854 dB v módu 8k [8]. Poměr S/N je tedy o tuto hodnotu

vyšší než poměr C/N. Poměr závisí zejména na výkonu vysílače a šumové teplotě prostředí.

Reálné modely přenosových kanálů bezdrátové komunikace s úniky popisují Riceův a Rayleighův kanál. Tyto kanály zahrnují rozptyl signálu jeho vícenásobným šířením a Dopplerův posun vznikající vlivem pohybu přijímače vzhledem k vysílači. Rozptyl signálu je charakterizován počtem odrazů od objektů v přenosovém kanálu, čímž vzniká více signálových cest, které se skládají v přijímači a způsobují tak tzv. vícecestný únik. Každý odražený signál je tak nutné popsat jeho šumovými a jinými vlastnostmi. Pokud se v kanálu nachází také přímý signál, je rozptyl charakterizován Riceovým rozložením, pokud se v kanálu přímý signál nevyskytuje, je charakter rozptylu rozložením Rayleighova. Pohyb mezi vysílačem a přijímačem navíc způsobuje změnu délky jednotlivých cest signálů a tedy Dopplerův posun jejich kmitočtů, který je pro každou cestu odlišný. Rozložení Dopplerových posunů se nazývá Dopplerovo spektrum. Maximální Dopplerův posun vzniká u složky signálu jejíž směr odpovídá směru pohybu přijímače.

Teoretické minimální poměry C/N za Viterbiho dekodérem pro kvazibezchybný příjem (QEF) pro nehierarchickou modulaci se nachází v tab. 3.4 [4]. Kvazibezchybný příjem je definován bitovou chybovostí $BER = 10^{-11}$, což odpovídá přibližně jedné chybě za hodinu. Potřebná hodnota BER před Viterbiho dekodérem závisí na zvoleném kódovém poměru C/R.

Modulace	Kódový poměr (C/R)	C/N [dB]		
		Gaussův kanál	Riceův kanál	Rayleighův kanál
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4
	2/3	4,9	5,7	8,4
	3/4	5,9	6,8	10,7
	5/6	6,9	8	13,1
	7/8	7,7	8,7	16,3
16-QAM	1/2	8,8	9,6	11,2
	2/3	11,1	11,6	14,2
	3/4	12,5	13	16,7
	5/6	13,5	14,4	19,3
	7/8	13,9	15	22,8
64-QAM	1/2	14,4	14,7	16
	2/3	16,5	17,1	19,3
	3/4	18	18,6	21,7
	5/6	19,3	20	25,3
	7/8	20,1	21	27,9

Obr. 3.4: Minimální poměry

3.5.3 Simulované hodnoty přenosových kanálů DVB-T

V tabulce jsou zobrazeny simulované hodnoty přenosových kanálu pro BER po Viterbiho kódování u pevného pozemního příjmu DVB-T

Modulation	Code rate	Required C/N for BER = 2×10^{-4} after Viterbi QEF after Reed-Solomon			Bitrate (Mbit/s)			
		Gaussian channel	Ricean channel (F ₁)	Rayleigh channel (P ₁)	$\Delta/T_U = 1/4$	$\Delta/T_U = 1/8$	$\Delta/T_U = 1/16$	$\Delta/T_U = 1/32$
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
QPSK	2/3	4,9	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
QPSK	3/4	5,9	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
QPSK	5/6	6,9	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
QPSK	7/8	7,7	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	8,8	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
16-QAM	2/3	11,1	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
16-QAM	3/4	12,5	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
16-QAM	5/6	13,5	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16-QAM	7/8	13,9	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,4	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
64-QAM	2/3	16,5	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
64-QAM	3/4	18,0	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
64-QAM	5/6	19,3	20,0	25,3	24,88	27,65	29,27	30,16
64-QAM	7/8	20,1	21,0	27,9	26,13	29,03	30,74	31,67

Obr. 3.5: Simulované hodnoty přenosových kanálů DVB-T[4]

3.5.4 Simulované hodnoty přenosových kanálů DVB-T2

V tabulce jsou zobrazeny simulované hodnoty přenosových kanálů pro BER po LDPC kódování u pevného pozemního příjmu DVB-T2

Constellation	Code rate	Spectral Efficiency (see note 2)	Required $(C/N)_0$ (dB) for BER = 1×10^{-7} after LDPC decoding			
			Gaussian Channel (AWGN)	Ricean channel (F_1)	Rayleigh channel (P_1)	0 dB echo channel @ 90 % GI
QPSK	1/2	0,99	1,0	1,2	2,0	1,7
QPSK	3/5	1,19	2,3	2,5	3,6	3,2
QPSK	2/3	1,33	3,1	3,4	4,9	4,5
QPSK	3/4	1,49	4,1	4,4	6,2	5,7
QPSK	4/5	1,59	4,7	5,1	7,1	6,6
QPSK	5/6	1,66	5,2	5,6	7,9	7,5
16-QAM	1/2	1,99	6,0	6,2	7,5	7,2
16-QAM	3/5	2,39	7,6	7,8	9,3	9,0
16-QAM	2/3	2,66	8,9	9,1	10,8	10,4
16-QAM	3/4	2,99	10,0	10,4	12,4	12,1
16-QAM	4/5	3,19	10,8	11,2	13,6	13,4
16-QAM	5/6	3,32	11,4	11,8	14,5	14,4
64-QAM	1/2	2,98	9,9	10,2	11,9	11,8
64-QAM	3/5	3,58	12,0	12,3	14,0	13,9
64-QAM	2/3	3,99	13,5	13,8	15,6	15,5
64-QAM	3/4	4,48	15,1	15,4	17,7	17,6
64-QAM	4/5	4,78	16,1	16,6	19,2	19,2
64-QAM	5/6	4,99	16,8	17,2	20,2	20,4
256-QAM	1/2	3,98	13,2	13,6	15,6	15,7
256-QAM	3/5	4,78	16,1	16,3	18,3	18,4
256-QAM	2/3	5,31	17,8	18,1	20,1	20,3
256-QAM	3/4	5,98	20,0	20,3	22,6	22,7
256-QAM	4/5	6,38	21,3	21,7	24,3	24,5
256-QAM	5/6	6,65	22,0	22,4	25,4	25,8

Obr. 3.6: Simulované hodnoty přenosových kanálů DVB-T[6]

4 LABORATORNÍ MĚŘENÍ

Laboratorní měření bylo provedeno v laboratoři televizní techniky Ústavu radioelektroniky



Obr. 4.1: Zapojení přístrojů laboratorního pracoviště

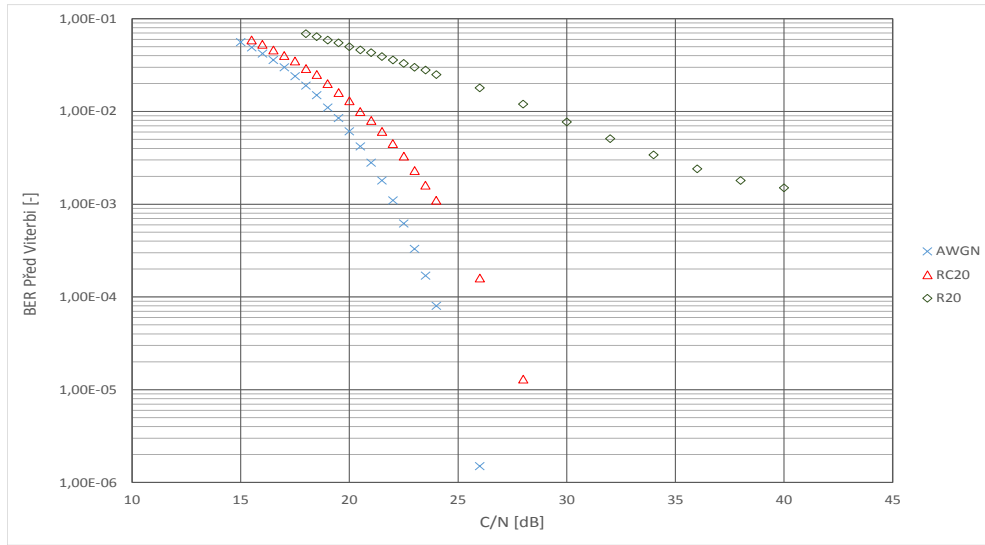
K měření byly použity tyto měřicí přístroje:

- Rhode&Schwarz Broadcast Test System
- Rhode&Schwarz TV Analyzer
- STB DVB-T/T2
- TV

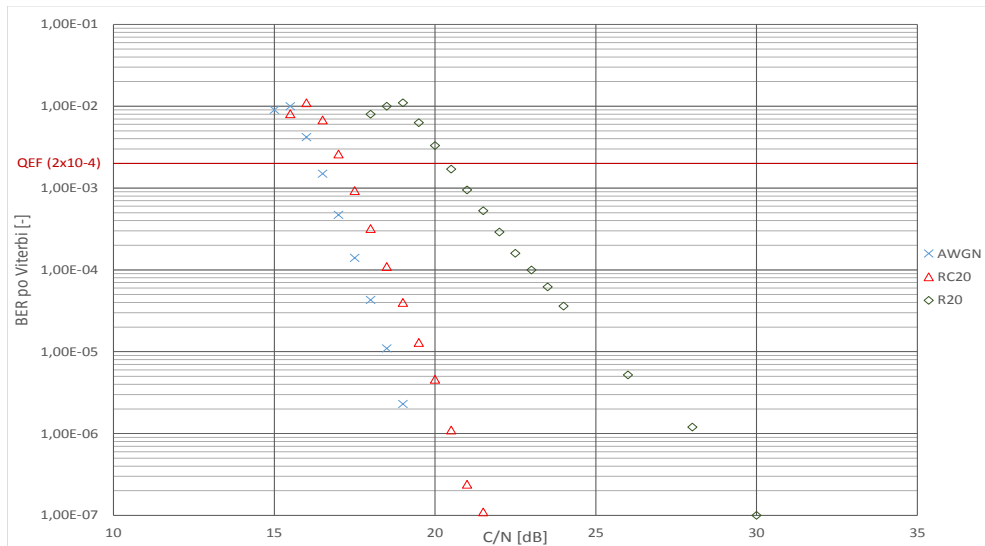
4.1 Pevný pozemní příjem DVB-T

Pro statickou polohu přijímače je signál modulován v režimu OFDM, mód 8K s modulací 64-QAM, kódovým poměrem $CR=3/4$ a délkou ochranného intervalu $GI=1/4$

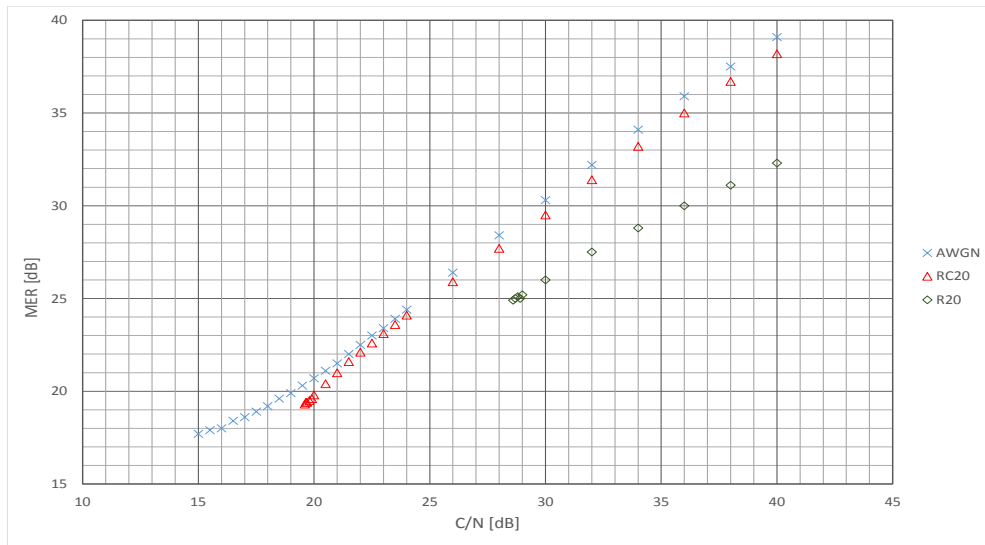
4.1.1 Grafické závislosti pro pevný příjem DVB-T



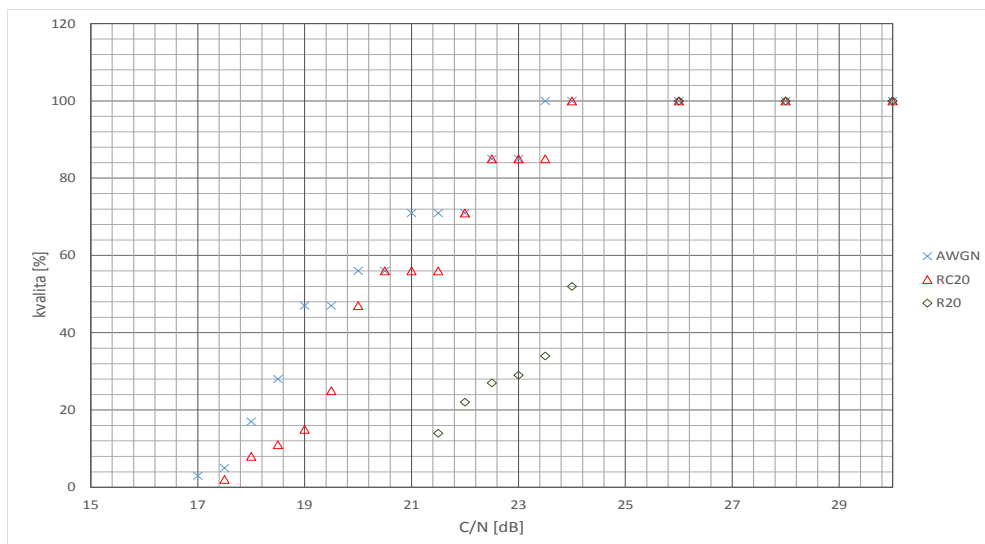
Obr. 4.2: BER pred Viterbi



Obr. 4.3: BER po Viterbi

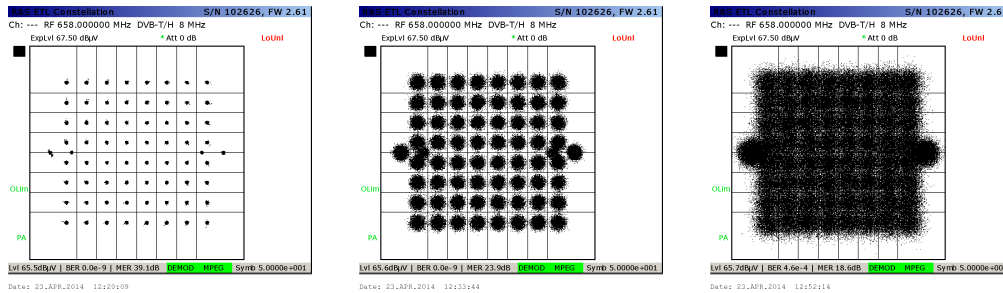


Obr. 4.4: MER



Obr. 4.5: Kvalita signálu

4.1.2 Konstelační diagramy pro pevný příjem DVB-T



Obr. 4.6: $C/N=40$ dB Obr. 4.7: $C/N=23$ dB Obr. 4.8: $C/N=17$ dB

4.1.3 Vyhodnocení pro pevný příjem DVB-T

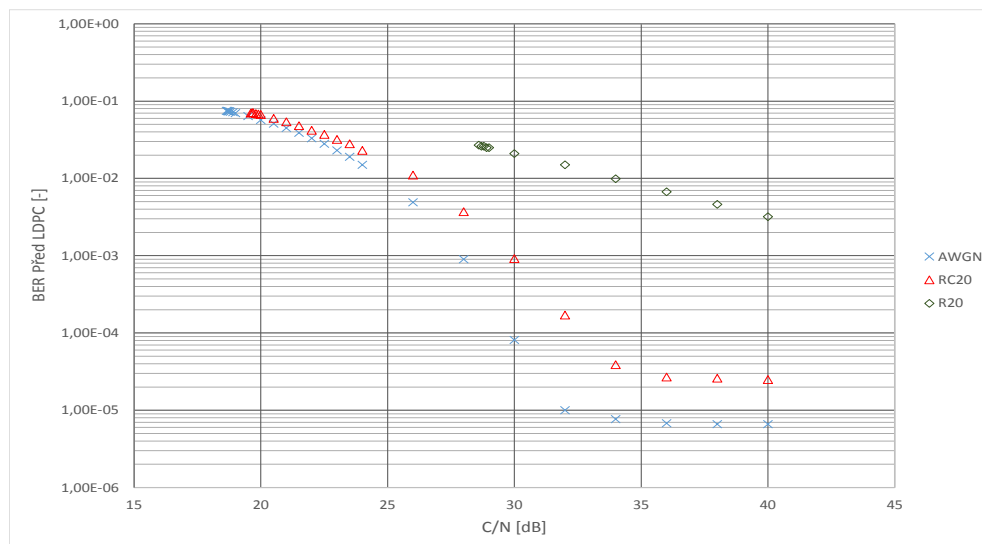
Statický pozemní příjem digitálně modulovaného signálu DVB-T je z pohledu zabezpečení proti chybám vzniklým v přenosovém kanále nejméně náročný, a proto je signál modulován hodnotami parametrů uvedených v úvodu pevného příjmu.

Z grafických závislostí BER na obr. 4.1 a 4.2 použitých přenosových kanálů pro pevný pozemní příjem se se nejlépe z hlediska rušení signálu jeví AWGN přenosový kanál, kde je poměrová hodnota pro tzv. bezchybný signál QEF - $C/N \leq 17,5$ dB. Přenosový kanál RC_{20} je více rušivý vůči AWGN přenosovému kanálu, pro QEF signál je potřeba hodnoty $C/N \leq 18,5$ dB. Nejméně vhodný pro šíření signálu pozemního příjmu je RL_{20} přenosový kanál, ve kterém je zapotřebí hodnoty $C/N \leq 22,5$ dB pro možnost příjmu QEF signálu.

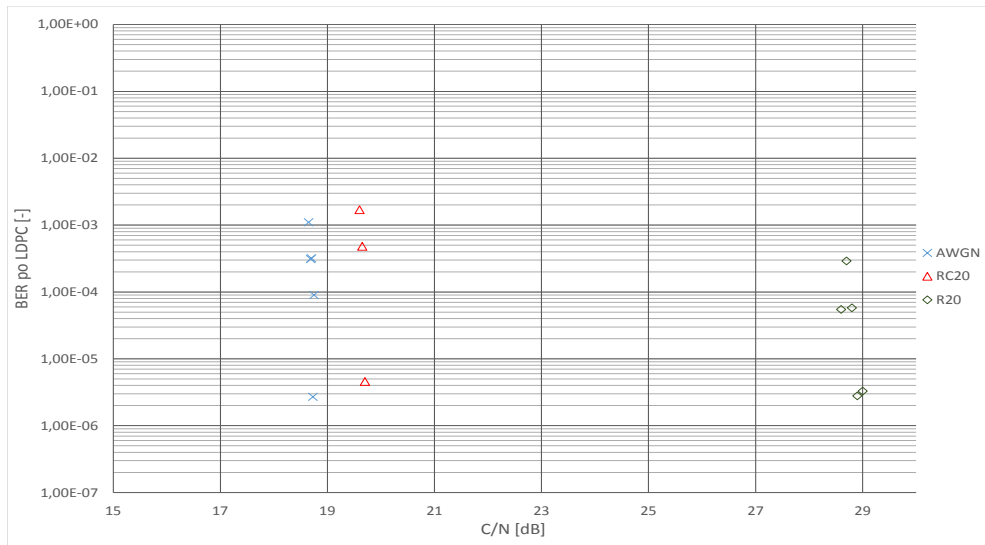
4.2 Pevný pozemní příjem DVB-T2

Pro statickou polohu přijímače je signál modulován v režimu OFDM, mód 32K s modulací 256-QAM, kódovým poměrem $CR=2/3$ a délkou ochranného intervalu $GI=1/16$

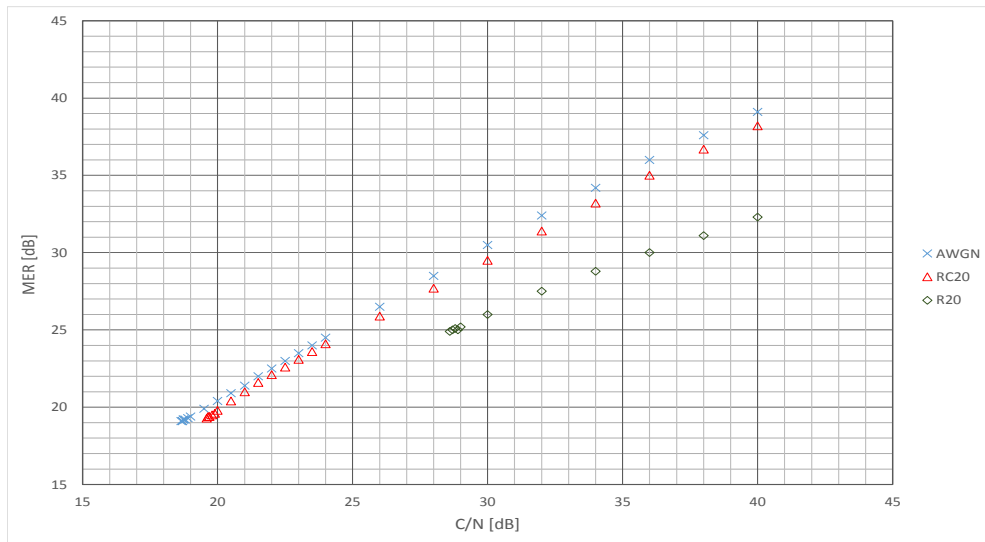
4.2.1 Grafické závislosti pro pevný příjem DVB-T2



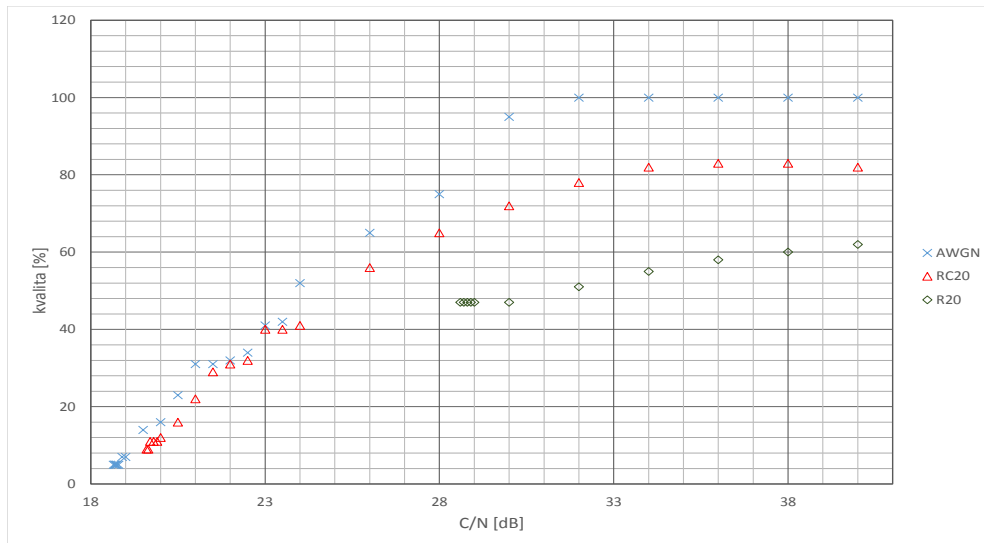
Obr. 4.9: BER před LDPC



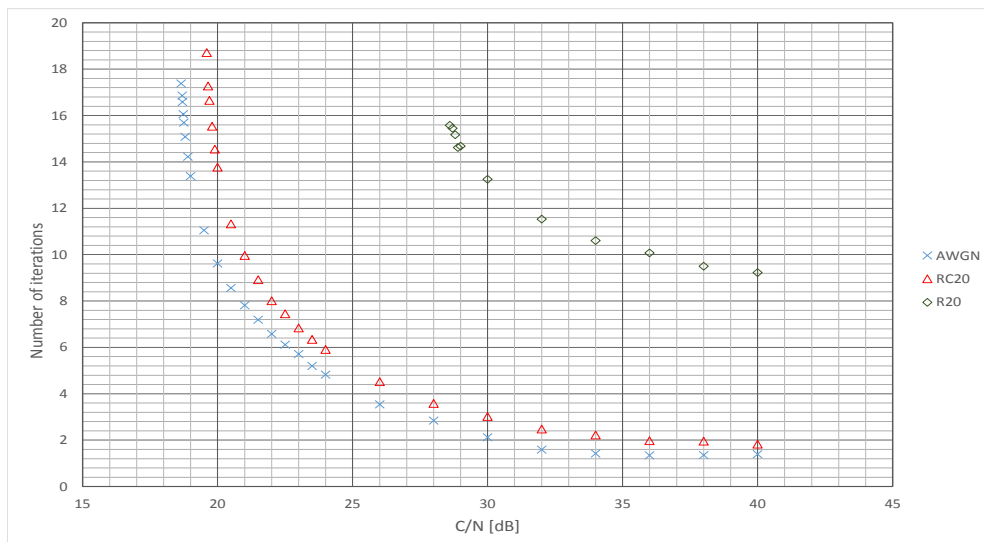
Obr. 4.10: BER po LDPC



Obr. 4.11: MER

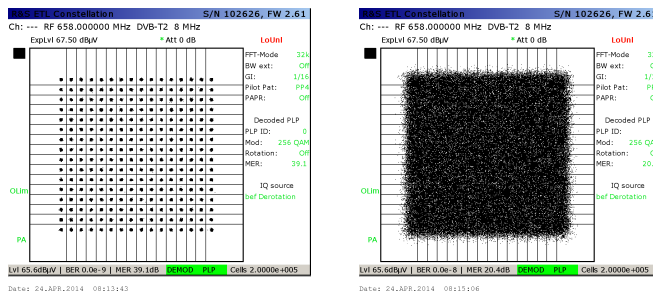


Obr. 4.12: Kvalita signálu



Obr. 4.13: Počet Iterací

4.2.2 Konstelační diagramy pro pevný příjem DVB-T2



Obr. 4.14: C/N= 40 dB Obr. 4.15: C/N= 23 dB

4.2.3 Vyhodnocení pro pevný příjem DVB-T2

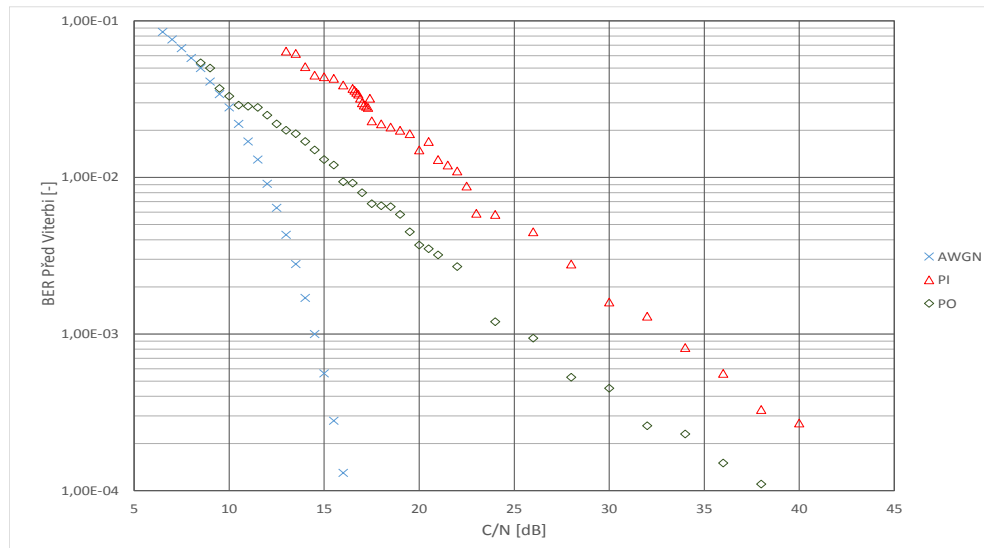
Statický pozemní příjem digitálně modulovaného signálu DVB-T2 je z pohledu zabezpečení proti chybám vzniklým v přenosovém kanále nejméně náročný, a proto je signál modulován hodnotami parametrů uvedených v úvodu pevného příjmu.

Z grafických závislostí BER na obr. 4.8 a 4.9 použitých přenosových kanálů pro pevný pozemní příjem se se nejlépe z hlediska rušení signálu jeví AWGN přenosový kanál, kde je poměrová hodnota pro tzv. bezchybný signál QEF - $C/N \leq 18,8$ dB. Přenosový kanál RC_{20} je nepatrně více rušivý vůči AWGN přenosovému kanálu, pro QEF signál je potřeba hodnoty $C/N \leq 19,8$ dB. Výrazně nevhodný pro šíření signálu pozemního příjmu je RL_{20} přenosový kanál, ve kterém je zapotřebí hodnoty $C/N \leq 30$ dB pro možnost příjmu QEF signálu.

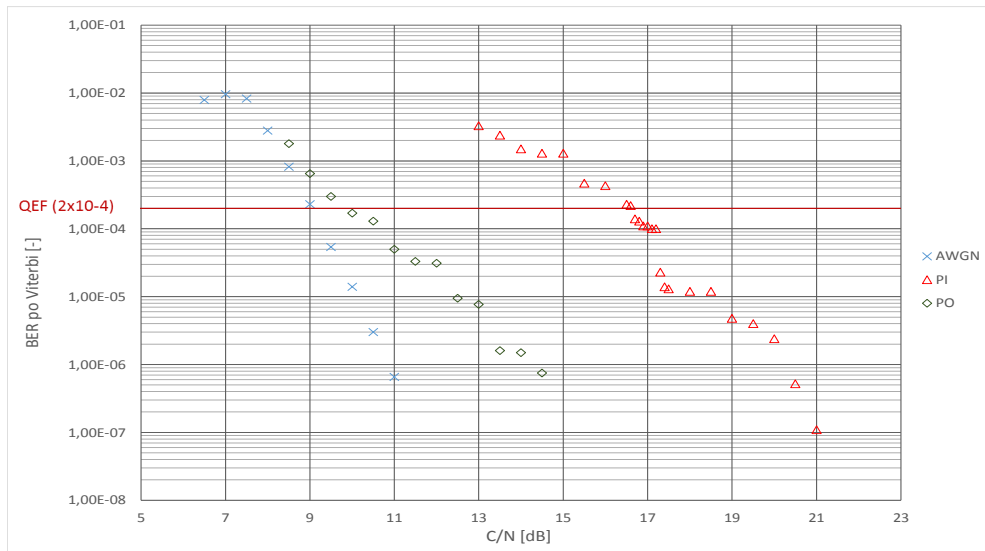
4.3 Přenosný pozemní příjem DVB-T

Malá rychlost, řádově jednotky km/h, pohybu přijímače vůči vysílači je charakteristická pro přenosný pozemní příjem s typickými parametry modulovaného signálu v režimu OFDM, mód 4k s modulací 16-QAM, hodnota kódového poměru $CR=2/3$ a délka ochranného intervalu $GI=1/4$. Přenosová cesta se vyznačuje zpravidla mnohacestným příjmem přímých i odražených signálů s Dopplerovým posunem.

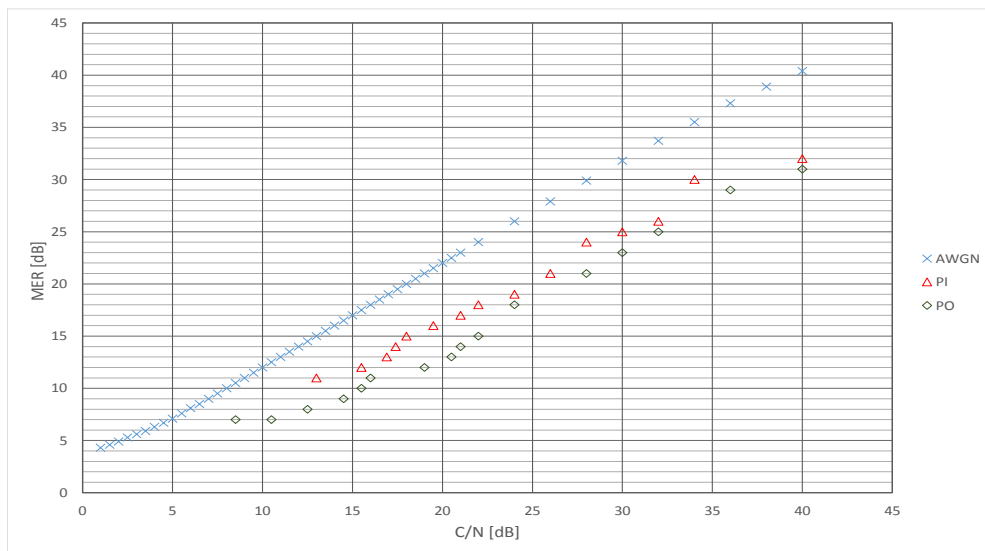
4.3.1 Grafické závislosti pro přenosný příjem DVB-T



Obr. 4.16: BER před Viterbi

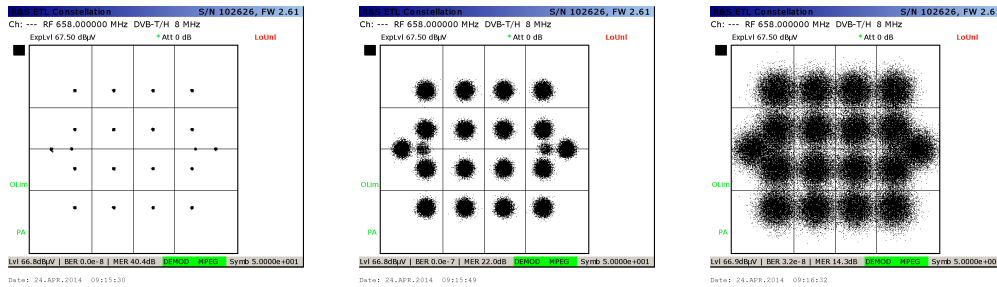


Obr. 4.17: BER po Viterbi



Obr. 4.18: MER

4.3.2 Konstelační diagramy pro přenosný příjem DVB-T



Obr. 4.19: $C/N=40$ dB Obr. 4.20: $C/N=23$ dB Obr. 4.21: $C/N=17$ dB

4.3.3 Vyhodnocení pro přenosný pozemní příjem DVB-T

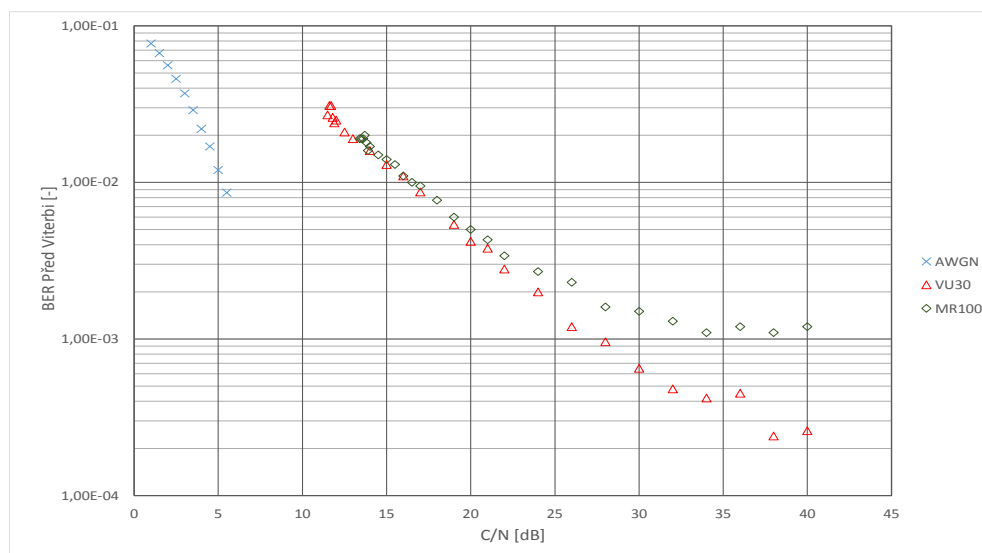
Přenosný pozemní příjem digitálně modulovaného signálu DVB-T/H je z pohledu zabezpečení proti chybám vzniklým v přenosovém kanále více náročný oproti pevnému pozemnímu příjmu. Proto je signál modulován hodnotami parametrů uvedených v úvodu přenosného pozemního příjmu.

Z grafických závislostí BER na obr. 4.15 a 4.16 použitých přenosových kanálů pro přenosný pozemní příjem se nejlépe z pohledu rušení signálu jeví referenční AWGN přenosový kanál, kde je poměrová hodnota pro QEF - $C/N \leq 9$ dB. Přenosový kanál PO₁₂ je více rušivý oproti AWGN přenosovému kanálu, pro QEF signál je potřeba hodnoty $C/N \leq 10$ dB. Nejméně vhodný pro šíření DVB-T/H signálu pozemního příjmu je PI₁₂ přenosový kanál, ve kterém je potřeba hodnoty $C/N \leq 16,5$ dB pro příjem QEF.

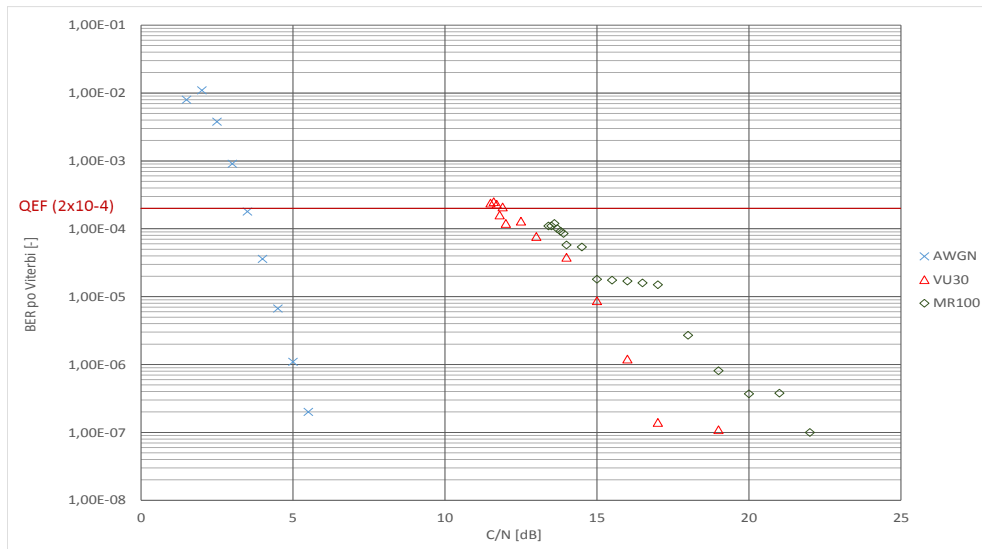
4.4 Mobilní pozemní příjem DVB-T

Střední až vysoká rychlost, (30 – 100) km/h, pohybu přijímače vůči vysílači je charakteristická pro mobilní pozemní příjem s typickými parametry modulovaného signálu v režimu OFDM, mód 2k s modulací QPSK, hodnota kódového poměru $CR=2/3$ a délka ochranného intervalu $GI=1/16$. Přenosová cesta se vyznačuje zpravidla mnohacestným příjmem přímých i odražených signálů s Dopplerovým posunem pro přenosový kanál RA₆ a pouze odraženými signály s Dopplerovým posunem pro přenosový kanál TU₆. Pro profil přenosového kanálů VU30 je rychlost pohybu přijímače 30km/h a pro profil přenosového kanálu MR100 je rychlost 100km/h.

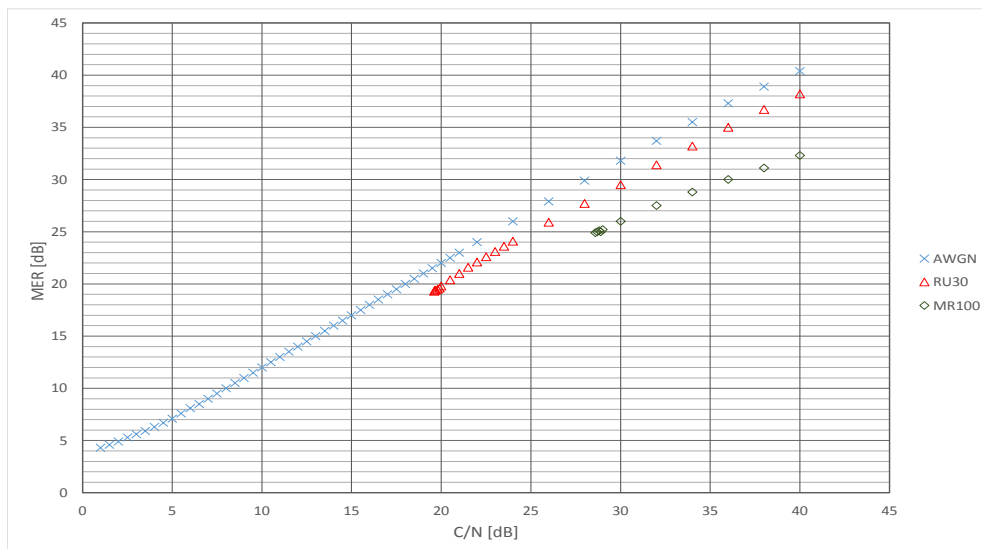
4.4.1 Grafické závislosti pro mobilní pozemní příjem DVB-T



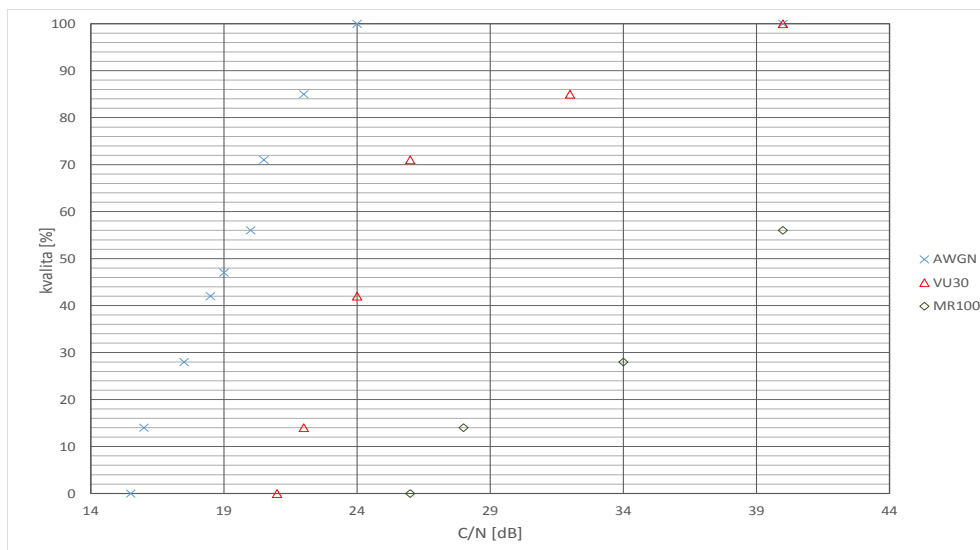
Obr. 4.22: BER před Viterbi



Obr. 4.23: BER po Viterbi

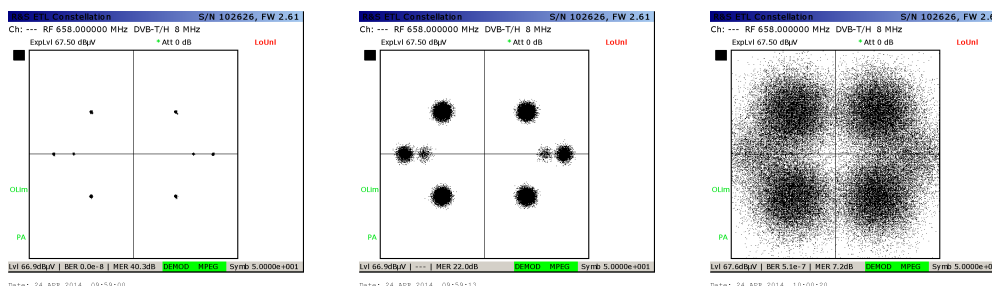


Obr. 4.24: MER



Obr. 4.25: Kvalita signálu

4.4.2 Konstelační diagramy pro mobilní příjem DVB-T



Obr. 4.26: C/N= 40 dB Obr. 4.27: C/N= 23 dB Obr. 4.28: C/N= 17 dB

4.4.3 Vyhodnocení pro přenosný pozemní příjem DVB-T

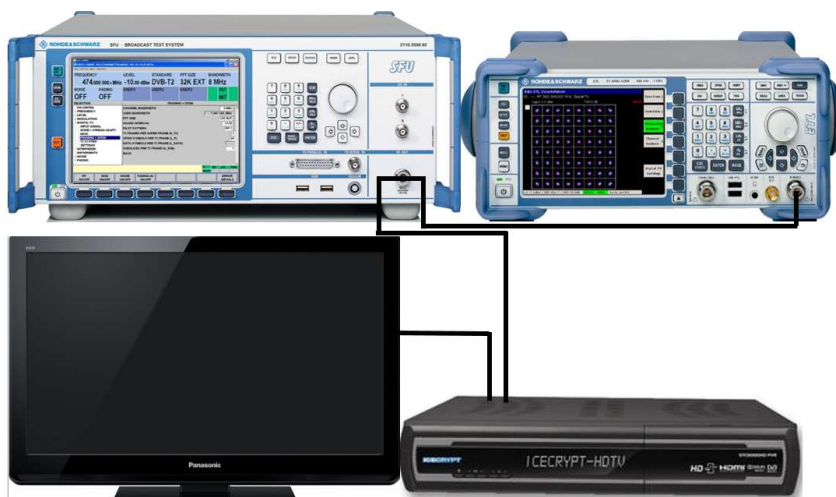
Mobilní pozemní příjem digitálně modulovaného signálu DVB-T je z pohledu zabezpečení proti chybám vzniklým v přenosovém kanále nejnáročnější oproti statickému a přenosnému pozemnímu příjmu. Proto je signál nejrobustněji zabezpečen proti vlivům přenosového kanálu a modulován hodnotami parametrů uvedených v úvodu mobilního pozemního příjmu.

Z grafických závislostí BER na obr. 4.21 a 4.22 použitých přenosových kanálů pro přenosný pozemní příjem se nejlépe z pohledu rušení signálu jeví referenční AWGN přenosový kanál, kde je poměrová hodnota pro QEF - $C/N \leq 9\text{dB}$. Přenosový kanál VU30 je více rušivý oproti AWGN přenosovému kanálu, pro QEF signál je potřeba hodnoty $C/N \leq 12\text{dB}$. Nejméně vhodný pro šíření DVB-T/H signálu pozemního příjmu je MR100 přenosový kanál, u kterého se hodnota C/N pro příjem QEF nedala změřit.

4.5 Pevný pozemní příjem DVB-T2, mód MISO a SISO

Pro měření MISO módu jsou zapotřebí dva vysílače, první je nastaven jako master, druhý jako slave. Vysílaný datový tok v MISO módu není u obou vysílačů identický. Vysílač master má vysílaná data nepozměněná, ale slave je má mírně odlišné. Což s použitím Alamoutiho kódování způsobuje, že se vysílače mezi sebou navzájem neruší. Kdežto při použití dvou vysílačů v SISO módu je vzájemné rušení vysílačů značné a odráží se na chybovosti přenášeného signálu.

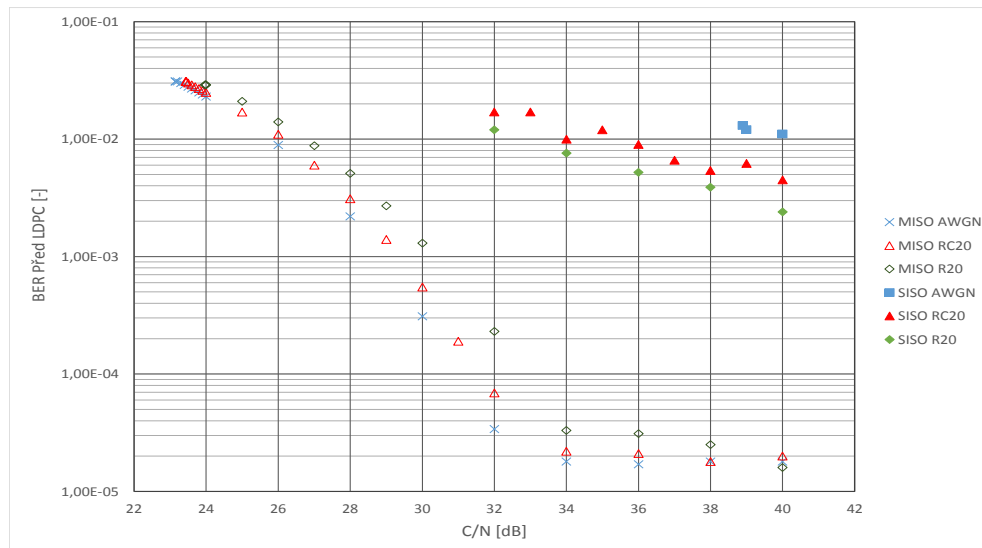
V tomto měření se porovnává vliv snížení napěťové úrovně u druhého vysílače na chybovost signálu v přenosových kanálech AWGN, RC_{20} a RL_{20} v módu SISO a MISO.



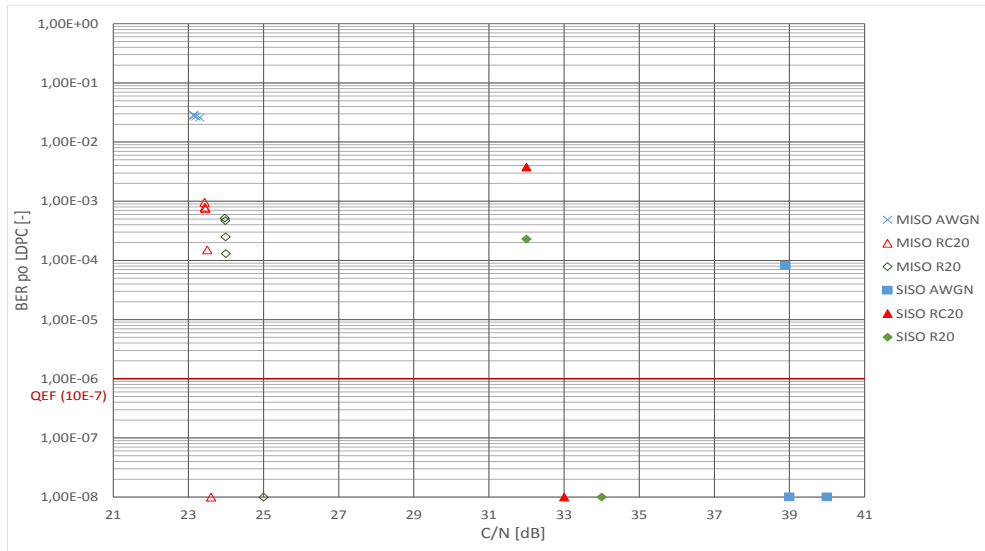
Obr. 4.29: Zapojení přístrojů laboratorního pracoviště

4.5.1 Grafické závislosti pro pevný pozemní příjem DVB-T2

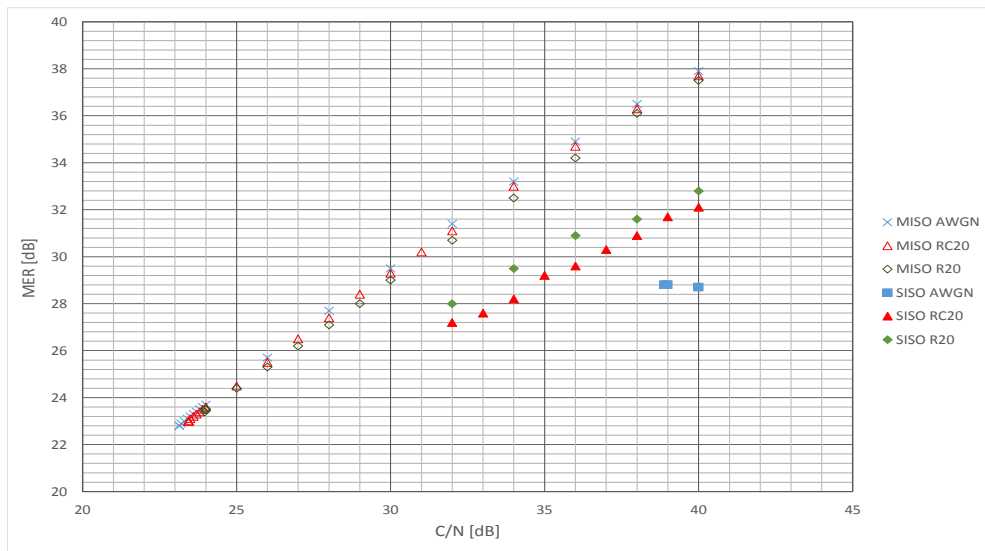
L1=70dBuV L2=70dBuV



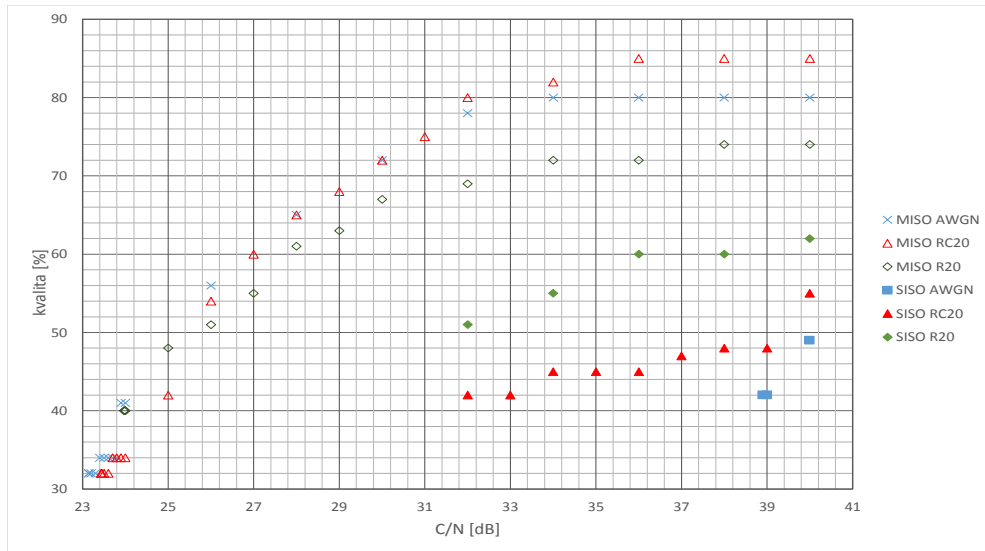
Obr. 4.30: BER před LDPC



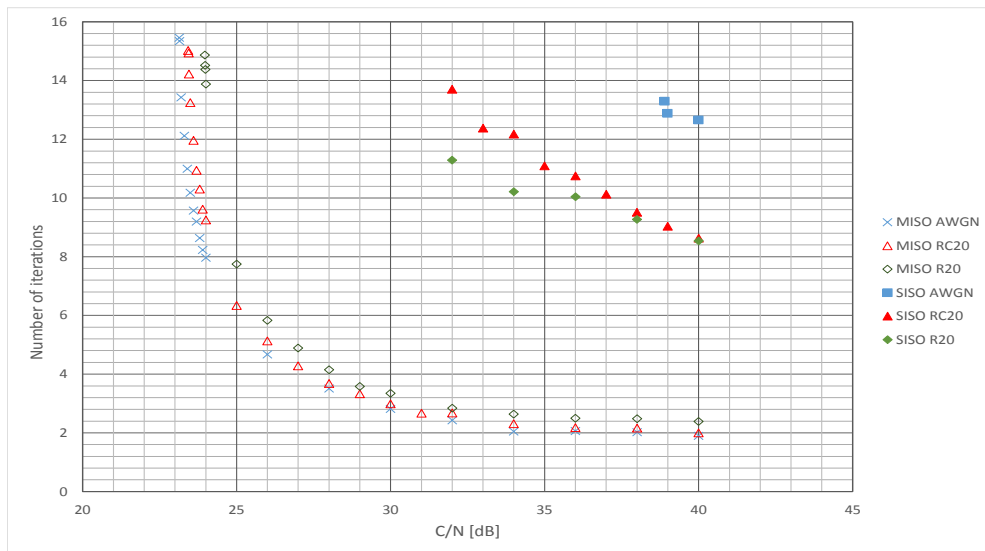
Obr. 4.31: BER po LDPC



Obr. 4.32: MER



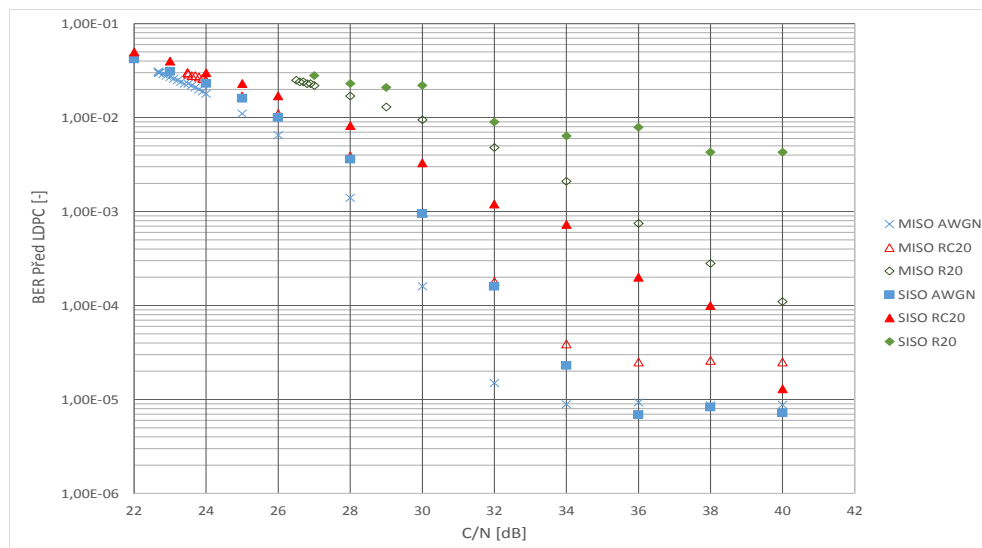
Obr. 4.33: Kvalita signálu



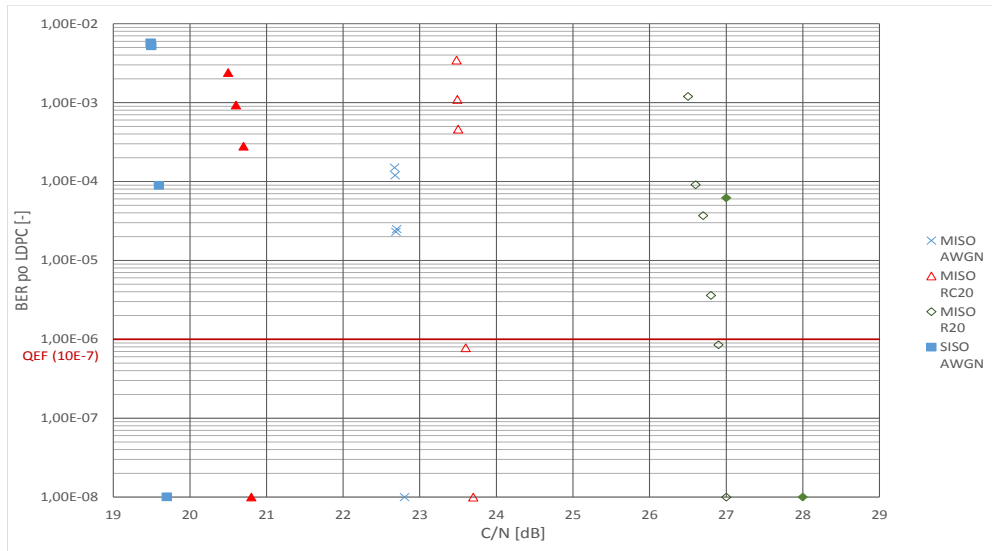
Obr. 4.34: Počet Iterací

4.5.2 Grafické závislosti pro pevný pozemní příjem DVB-T2

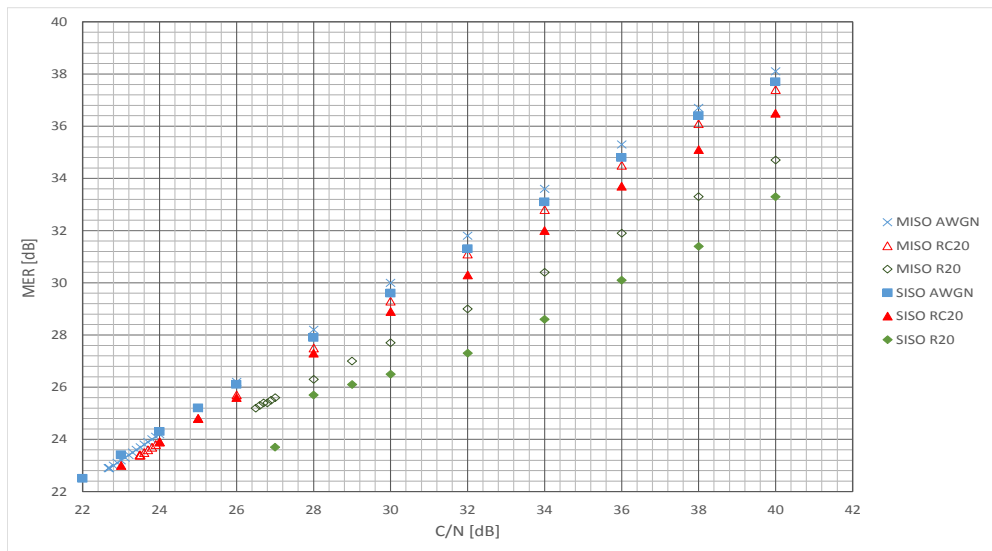
L1=70dBuV L2=60dBuV



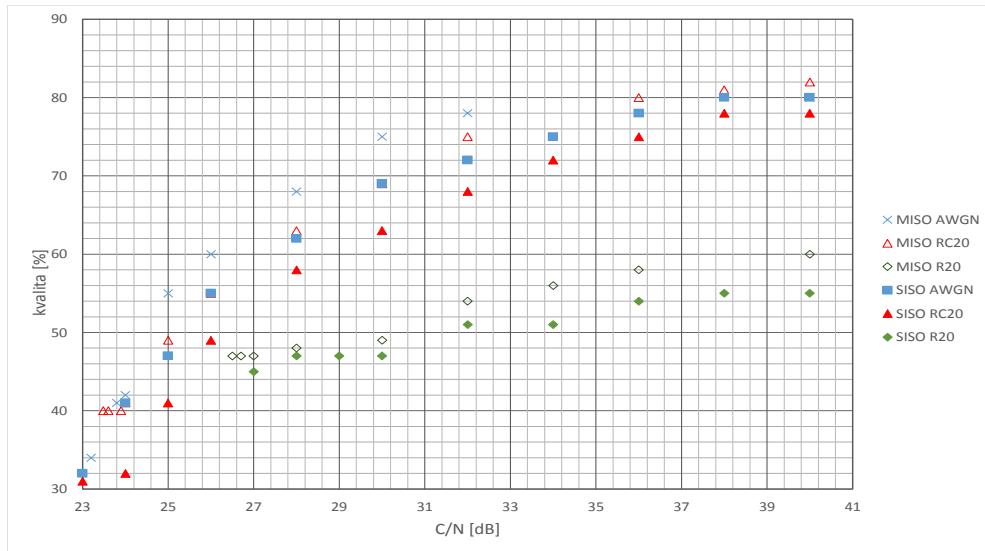
Obr. 4.35: BER před LDPC



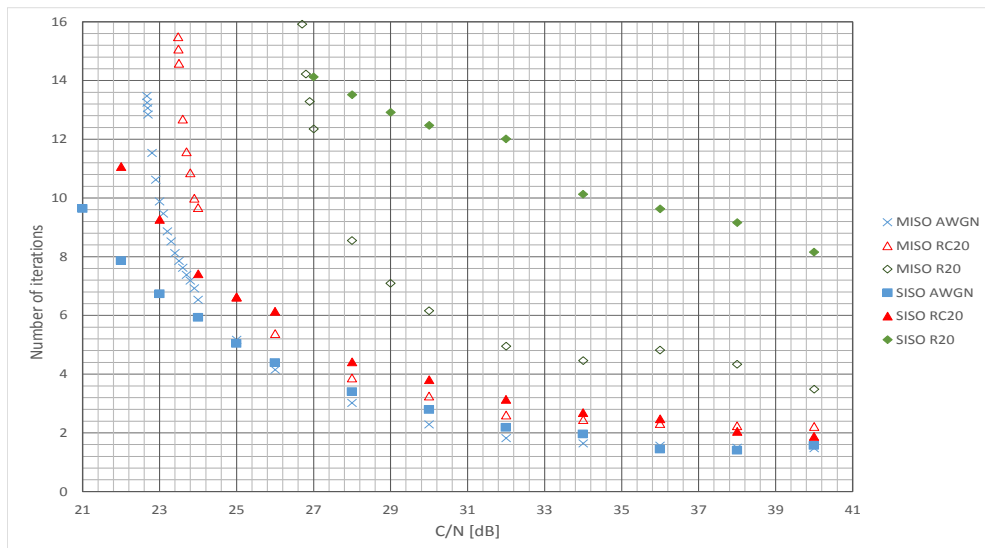
Obr. 4.36: BER po LDPC



Obr. 4.37: MER



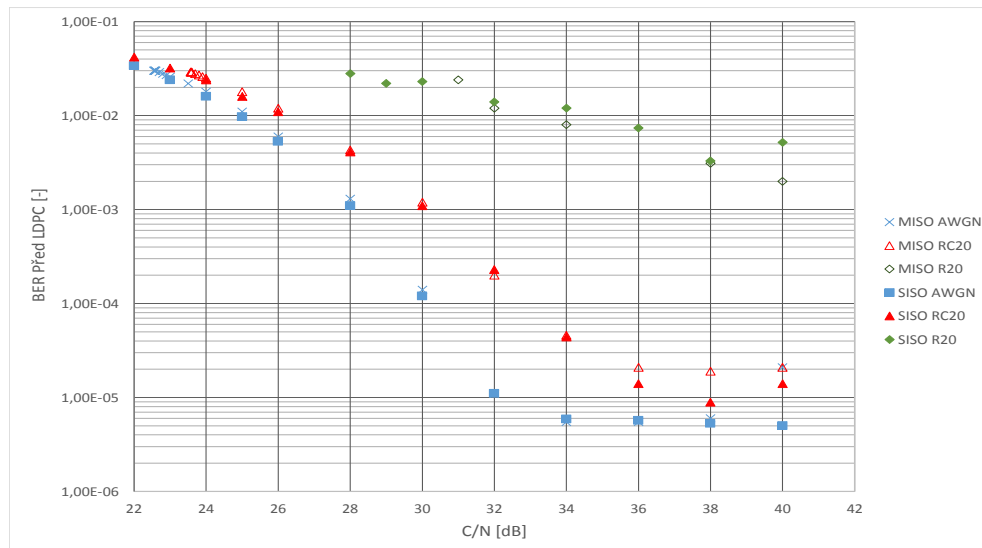
Obr. 4.38: Kvalita signálu



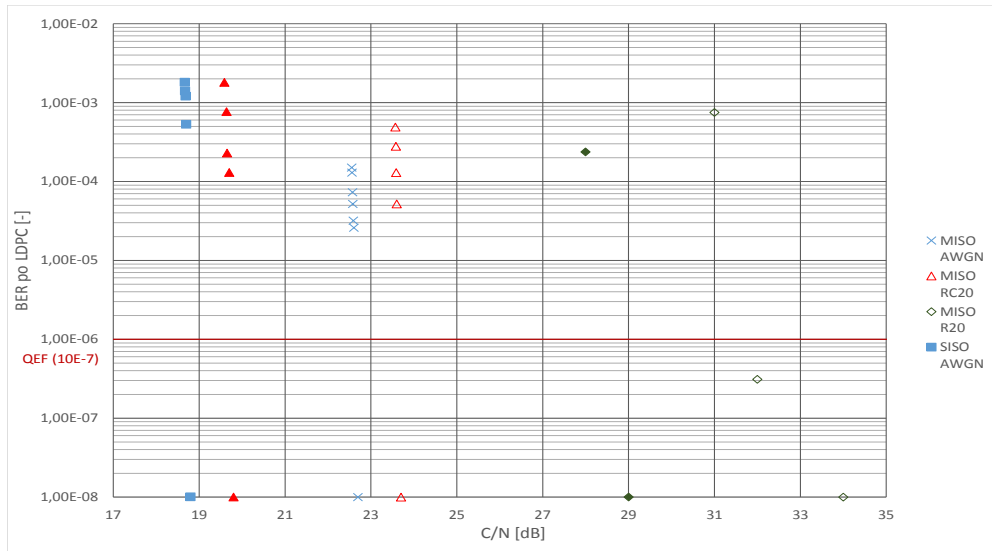
Obr. 4.39: Počet Iterací

4.5.3 Grafické závislosti pro pevný pozemní příjem DVB-T2

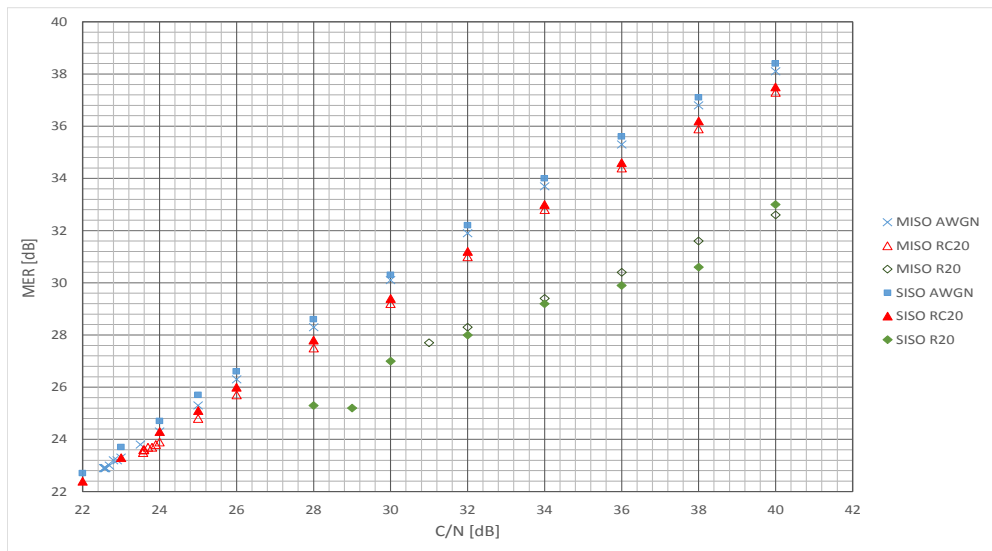
L1=70dBuV L2=50dBuV



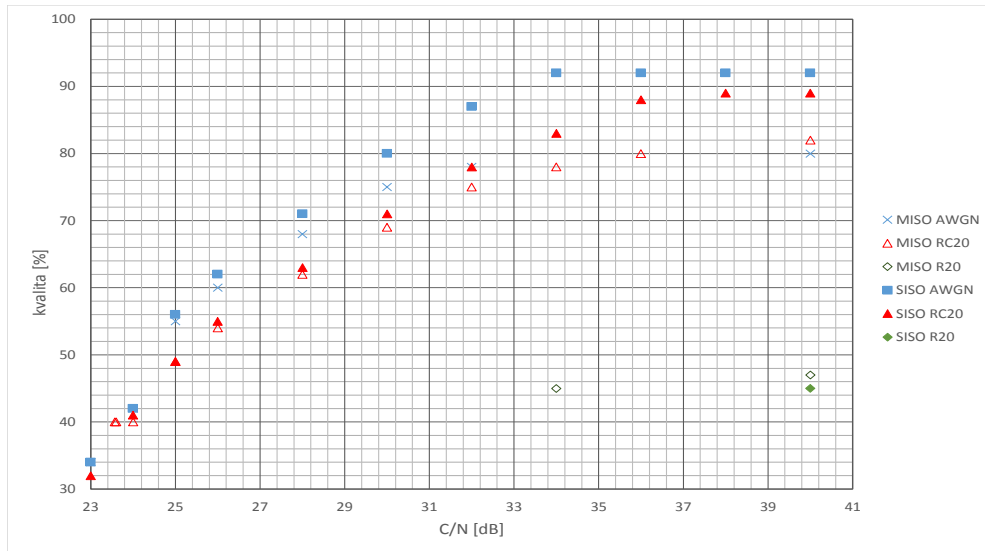
Obr. 4.40: BER pred LDPC



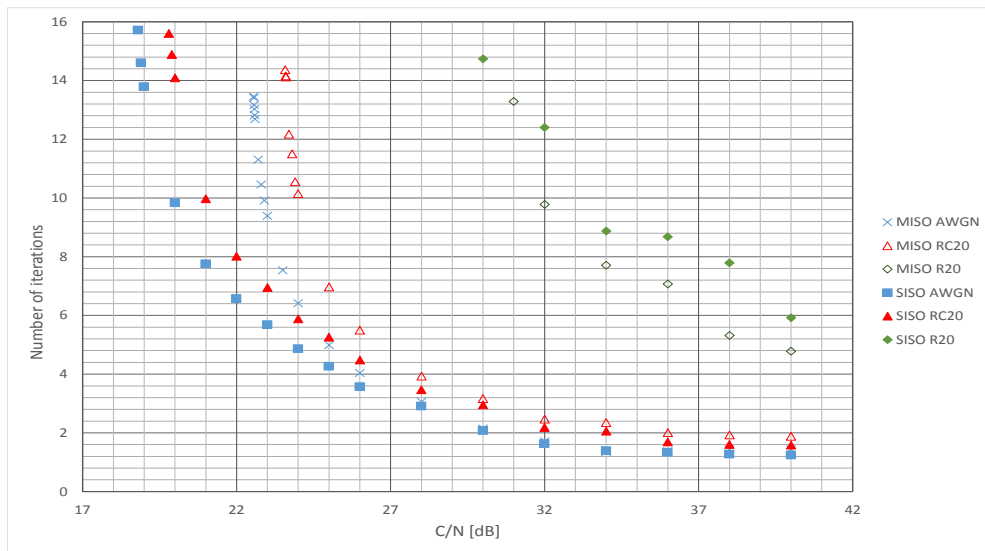
Obr. 4.41: BER po LDPC



Obr. 4.42: MER

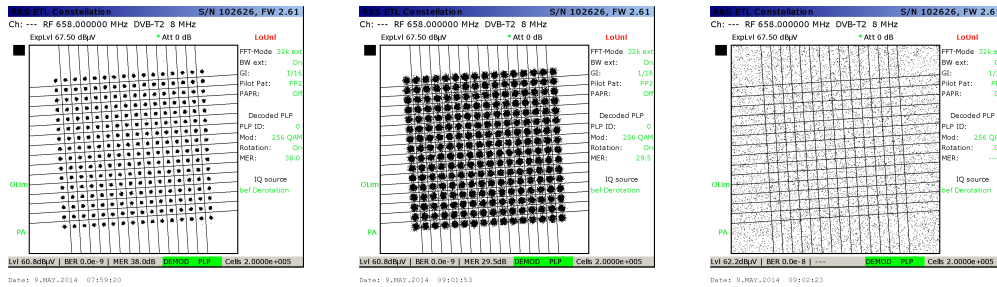


Obr. 4.43: Kvalita signálu



Obr. 4.44: Počet Iterací

4.5.4 Konstelační diagramy pro pevný příjem DVB-T



Obr. 4.45: $C/N=40$ dB Obr. 4.46: $C/N=30$ dB Obr. 4.47: $C/N=24$ dB

4.5.5 Vyhodnocení pro přenosný pozemní příjem DVB-T

Z grafických závislostí vyplývá, že při použití diverzitního vysílacího módu MISO je signál daleko méně zarušen než při použití SISO módu. Z grafických závislostí $BER_{pred}=f(C/N)$, přesněji z $BER_{po}=f(C/N)$ je patrné, že pro QEF signál je u SISO módu hodnota C/N o cca 15 dB větší než u MISO, pro přenosový kanál AWGN. U přenosového kanálu RC_{20} je hodnota C/N pro SISO větší o cca 8 dB a pro kanál RL_{20} činí rozdíl cca 9dB.

Avšak při postupném snižování napěťové úrovně na druhém vysílači, se při hodnotách $L1=70$ dBuV $L2=60$ dBuV situace u módů MISO a SISO z hlediska zarušení otočí. Z grafických závislostí $BER_{pred}=f(C/N)$, přesněji z $BER_{po}=f(C/N)$ je patrné, že pro QEF signál je u MISO módu hodnota C/N o cca 3 dB větší než u SISO, pro přenosový kanál AWGN. U přenosového kanálu RC_{20} je hodnota C/N pro MISO větší o cca 4 dB a pro kanál RL_{20} činí rozdíl cca 1dB. Při použití hodnot $L1=70$ dBuV $L2=50$ dBuV se rozdíl hodnoty QEF u BER po LDPC příliš nemění. Pro QEF signál je u SISO módu hodnota C/N o cca 3 dB větší než u MISO, pro přenosový kanál AWGN. U přenosového kanálu RC_{20} je hodnota C/N pro MISO větší o cca 3dB a pro kanál RL_{20} činí rozdíl cca 2dB

5 ZÁVĚR

Úvodní kapitoly bakalářské práce jsou věnovány teoretickému srovnání standardů pozemního digitálního televizního vysílání první generace DVB-T a druhé generace DVB-T2 s módy MISO a SISO. Následuje popis konkrétních komunikačních kanálů pro pevný, přenosný a mobilní příjem pozemního digitálního signálu.

Jednotlivá laboratorní měření jsou vždy v úvodu krátce popsány, tzn. charakteristika daného pozemního příjmu, definice typických parametrů modulovaného signálu a popis konkrétních přenosových kanálů. Následují naměřené hodnoty bitových chybovostí BER v závislosti na poměrové hodnotě C/N, jež jsou následně graficky zobrazeny $BER=f(C/N)$. Dále jsou graficky zobrazeny hodnoty modulační chybovosti MER v závislosti na poměrové hodnotě C/N, jež jsou následně graficky zobrazeny $MER=f(C/N)$. Kvalita přenášeného signálu, popřípadě počet Iterací u DVB-T2. Součástí jednotlivých laboratorních měření jsou konstelační diagramy jednotlivých přenosových kanálů s následným vyhodnocením celého konkrétního laboratorního měření.

Vyhodnocení výsledků laboratorního měření a statického pozemního příjmu odpovídá teorii jednotlivých přenosových kanálů, kdy v AWGN kanálu je přímý digitální signál ovlivněn pouze mírou bílého Gaussova šumu, v přenosovém kanálu RC_{20} je k uvedenému AWGN kanálu přidáno mnohacestné šíření signálu definováno 20-ti přenosovými cestami, které jsou totožné pro RL_{20} přenosový kanál, který ovšem postrádá dominantní přímý signál LOS mezi vysílačem a přijímačem. RL_{20} přenosový kanál požaduje pro QEF signál po kanálové korekci FEC hodnotu C/N o cca (4-7)dB větší vůči AWGN přenosovému kanálu a RC_{20} přenosový kanál vyšší o cca 3dB. Zvýšení hodnoty poměru C/N o (4-7)dB vyžaduje zhruba (2,5-5)x vyšší přenášený výkon, zvýšení hodnoty poměru C/N o 3dB zhruba 2x vyšší přenášený výkon.

Z grafických závislostí $BER_{pred}=f(C/N)$, přesněji z $BER_{po}=f(C/N)$ je patrný vliv kanálového zabezpečení FEC digitálního signálu standardů DVB-T a DVB-T2. Se snižující se hodnotou poměru C/N roste bitová chybovost po Viterbiho dekódování pozvolněji oproti skokovému prudkému nárůstu bitové chybovosti po LDPC dekódování u standardu DVB-T2. Účinnost kanálové korekce FEC_{T2} standardu DVB-T2 opravit přenosovým prostředím znehodnocený přijímaný digitální signál je vyšší, kdy hranice bitové chybovosti po LDPC dekódování pro QEF signál po FEC_{T2} je $BER_{QEF} = BER_{po} = 3 \cdot 10^{-2}$ oproti účinnosti kanálové korekce FEC_T standardu DVB-T, kdy hranice bitové chybovosti po Viterbiho dekódování pro QEF signál po FEC_T je $BER_{QEF} = BER_{po} = 2 \cdot 10^{-4}$. AWGN přenosový kanál jednoznačně zajišťuje přijímači nejlepší podmínky příjmu.

U přenosného pozemního příjmu PO_{12} přenosový kanál požaduje pro QEF signál po kanálové korekci FEC hodnotu C/N_0 cca 4dB větší vůči AWGN přenosovému kanálu a PI_{12} přenosový kanál vyšší o cca 10dB. Zvýšení hodnoty poměru C/N o 4dB vyžaduje zhruba 2,5x vyšší přenášený výkon, zvýšení hodnoty poměru C/N o 10dB zhruba 5,5x vyšší přenášený výkon.

Ze získaných hodnot laboratorního měření s následným grafickým vyjádřením závislosti $BER=f(C/N)$, potažmo I/Q diagramů lze jednoznačně konstatovat, že statický příjem digitálně modulovaného signálu je z pohledu zabezpečení proti chybám v přenosovém prostředí ve srovnání s přenosným a mobilním pozemním příjmem nejméně náročný a k zajištění pokrytí území „kvalitním“ signálem postačuje méně robustní zabezpečení přenášeného signálu.

LITERATURA

- [1] HANUS, S. *Základy televizní techniky*
Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2008.
- [2] LEGÍŇ, M. *Televizní technika DVB-T*
Praha: BEN – technická literatura, 2006. 288 s. ISBN 80-7300-204-3.
- [3] COLLINS, G. W. *Fundamentals of Digital Television Transmission*
New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2001. 267 s. ISBN 0-471-39199-9.
- [4] ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-2 01). *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.*
2001.
- [5] ETSI EN 302 755 V1.2.1 *Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*
February 2011.
- [6] ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08) *Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*
August 2012.
- [7] Qi, J.; Robert, J.; Chee, K.L.; Slimani, M.; Zoellner, J. *DVB-T2 MISO field measurements and a calibrated coverage gain predictor, "Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2012 IEEE International Symposium on, vol., no., pp.1,6, 27-29*
June 2012.
- [8] LÓPEZ, F. *Wing TV: Services to Wireless, Integrated, Nomadic, GPRS-UMTS & TV Handheld Terminals; Validating DVB-H Concept.*
2006.
- [9] KRATOCHVÍL, T. *Digitální televizní systémy*
Elektronické texty. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AFC	automatické „doladování“ kmitočtu – Automatic Frequency Control
AVC	zdokonalené kódování obrazu – Advanced Video Coding
AWGN	aditivní Gaussův bílý šum – Additive White Gaussian Noise
BER	poměr chybně přenesených bitů k celkovému množství bitů za jednotku času – Bit Error Ratio
DVB	skupina společností a organizací, která vyvinula systém digitální televize pro pozemní vysílání DVB-T, satelitní DVB-S a kabelovou verzi DVB-C – Digital Signal Processing
GI	ochranný interval – Guard Interval
IFFT	zpětná rychlá Fourierova transformace – Inverse Fast Fourier Transform
ISI	mezisymbolové interference – InterSymbol Interference
LDP	nízká hustota kontroly parity, moderní kanálové zabezpečení užitečného obsahu dat – Low Density Parity Check
MISO	více vstupů, jeden výstup – Multiple Input Single Output
MPEG	metoda zdrojového kódování obrazu a zvuku – Moving Pictures Expert Group
M-QAM	M-stavová kvadrurní amplitudová modulace – M-Quadrature Amplitude Modulation
OFDM	ortogonální multiplex s frekvenčním dělením; modulace s více nosnými vlnami – Orthogonal Frequency Division Multiplex
PLP	datové toky standardu DVB-T2 – Physical Layer Pipes
QEF	bezchybný signál – Quasi Error Free
QPSK	kvadrurní klíčování s posuvem fáze – Quadrature Phase Shift Keying
RCD	natočení konstelačního diagramu – Rotated Constellation Diagram
SFN	Jednofrekvenční síť – Single Frequency Network
SISO	jeden vstup, jeden výstup – Single Input Single Output