

# Degradacija DVB-C video usluga uslijed emisija radiodifuzijskih sustava

---

Jandrijević, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:690329>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-28**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Ivan Jandrijević**

**DEGRADACIJA DVB-C VIDEO USLUGA USLIJED**  
**EMISIJA RADIODIFUZIJSKIH SUSTAVA**

**DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, 2021.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

## **DIPLOMSKI RAD**

**DEGRADACIJA DVB-C VIDEO USLUGA USLIJED  
EMISIJA RADIODIFUZIJSKIH SUSTAVA  
DVB-C VIDEO SERVICE DEGRADATION DUE TO  
EMISSIONS FROM BROADCASTING SYSTEMS**

Mentor: prof.dr.sc Štefica Mrvelj

Student:Ivan Jandrijević

JMBAG: 0135210794

Zagreb, travanj 2021.

Zagreb, 11. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**

Predmet: **Tehnologija telekomunikacijskog prometa II**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 6372

Pristupnik: **Ivan Jandrijevic (0135210794)**

Studij: **Promet**

Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Degradacija DVB-C video usluga uslijed emisija radiodifuzijskih sustava**

### Opis zadatka:

U teorijskom dijelu rada dati detaljan prikaz DVB-C standarda. Prikazati način prijenosa digitalnog video signala do krajnjeg korisnika. Objasniti kako dolazi do interferencija te koji je njen utjecaj na video signal. Opisati alate za pracenje i analizu mreže i signala.

U praktičnom dijelu rada provesti testiranja utjecaja pojačanog emitiranja vanjskih RF signala u neposrednoj blizini digitalnog TV prijemnika (eng. Set Top Boxa), razdjelnika (eng.splittera) i modema, te analizirati i interpretirati degradacije kvalitete usluge. Prikazati utjecaj mjera zaštite na dijelovima koji su izloženi pojačanom emitiranju vanjskih RF signala, a koje se provode kako bi se poboljšala kvaliteta signala.

Mentor:



---

prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Predsjednik povjerenstva za

diplomski ispit:

---

# DEGRADACIJA DVB-C VIDEO USLUGA USLIJED EMISIJA RADIODIFUZIJSKIH SUSTAVA

## SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada je prikazati na koji način emisije radiodifuznih sustava utječu na kvalitetu DVB-C video usluga. Detaljno su prikazane značajke DVB-C standarda i arhitektura HFC mreže, u svrhu prikaza načina funkcioniranja usluga. Opisan je alat koji pružatelji DVB-C video usluga koriste kako bi svojim korisnicima omogućili stabilnu uslugu. Na realnim primjerima je prikazano koliki su utjecaji radiodifuznih sustava na kvalitetu usluge i s kojim se sve problemima susreću pružatelji usluga dok degradaciju usluge pokušavaju svesti na minimum. Opisana su provedena testiranja i mjerenja koja su bila potrebna kako bi se identificirao nedostatak koji utječe na degradaciju usluge uslijed emisija radiodifuznih sustava.

KLJUČNE RIJEČI: DVB-C; kvaliteta usluge; radiodifuzni sustavi; HFC mreža; radio frekvencijski spektar; interferencije

## SUMMARY

This thesis aims to provide the way that emissions from broadcasting systems affect on quality of DVB-C video services. DVB-C standards and HFC network architecture are presented in detail, in order to show how the services work. It describes the tool that DVB-C video service providers use to provide their customers with a stable service. It is shown on real examples what is the impact of broadcasting systems on the quality of service and the real problems that service providers face while trying to minimize service degradation. The tests and measurements performed that were necessary to identify the deficiency affecting the degradation of the service due to the emissions of the broadcasting systems are described.

KEY WORDS: DVB-C; quality of service; broadcasting systems; HFC network; radio frequency spectrum; interference

# SADRŽAJ

1. Uvod .....	1
2. DVB – Cable .....	3
2.1. Opće značajke DVB-a.....	3
2.2. DVB specifikacija.....	6
2.2.1. Proces obrade podataka .....	6
2.2.2. Informacije o usluzi SI.....	9
2.3. QAM – Kvadratno Amplitudna Modulacija .....	11
2.4. Video Kompresija .....	13
2.5. Kriptiranje podataka.....	17
3. Arhitektura kabljske televizije .....	19
3.1. Prijam TV signala .....	21
3.2. HFC Mreža .....	22
3.2.1. Koaksijalni kabel .....	22
3.2.2. Kabljsko RF pojačalo .....	24
3.3. Oprema kod korisnika .....	26
4. Alat za praćenje i analizu kvalitete signala.....	28
4.1. Analizator.....	30
4.2. Enterprise sustav za praćenje kvalitete usluge .....	34
5. Utjecaj interferencija na video uslugu .....	38
5.1. Pogreške u prijenosu .....	38
5.1.1. Šum.....	40
5.1.2. Odnos signal šum .....	41
5.1.3. BER.....	42
5.1.4. MER .....	42
5.2. Radiodifuzijski sustavi.....	44
5.3. Iskorišteni spektar kabljske mreže .....	47
5.4. Utjecaja DVB-T2 signala na DVB-C uslugu .....	50
6. Pogreške na opremi kod korisnika .....	56
6.1. Interferencije radi loše instalacije opreme.....	56
6.2. Interferencije radi slabe izolacije STB-a.....	60

7. Zaključak.....	64
Popis slika .....	67
Popis tablica .....	69

# 1.Uvod

Paralelno ubrzanom razvojem tehnologije, razvija se i domena video usluga. Korisnici danas imaju puno više mogućnosti nego prije nekoliko godina kada su jedine televizijske usluge bile od lokalnih telekom operatora ili nacionalni programi emitirani u zraku. Razvoj mnogih OTT (*engl. Over The Top*) video usluga s velikim brojem sadržaja u ponudi je pružateljima DVB-C (*engl. Digital Video Broadcasting - Cable*) video usluga stvorilo novu konkurenciju i natjeralo ih na širenje svoje ponude, te unaprjeđenje svoje usluge. DVB-C je standard koji se koristi za emitiranje digitalnog video signala preko kabelske infrastrukture. Kako bi omogućili veći broj sadržaja koji se dostavlja putem iste kabelske infrastrukture, pružatelji usluga moraju sve više širiti frekvencijski raspon koji se koristi za prijenos videa unutar kabela. Širenje frekvencijskog raspona će rezultirati korištenjem sve većeg broja frekvencijskih kanala koje u zraku koriste razni radiodifuzni sustavi. Korištenje istih frekvencijskih kanala u praksi stvara interferencije unutar kabela koje će uzrokovati degradaciju kvalitete i stabilnosti usluge. Kako je stabilnost i kvaliteta usluge jedna od najvećih prednosti koje pružatelji DVB-C video usluga nude ispred raznih OTT video servisa svojim korisnicima jako je bitno minimizirati interferencije. Cilj ovoga diplomskog rada je pokazati na koji način i kako radiodifuzijski sustavi djeluju na video uslugu, te kako je najbolje spriječiti ili ukloniti interferencije koje utječu na degradaciju video usluge. Naslov diplomskog rada je: Degradacija DVB-C video usluga uslijed emisija radiodifuzijskih sustava. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. DVB – Cable
3. Arhitektura kabelske televizije
4. Alat za praćenje i analizu kvalitete signala
5. Utjecaj interferencija na video uslugu
6. Pogreške na opremi kod korisnika
7. Zaključak.

Drugo poglavlje detaljno opisuje DVB-C standard, procese, specifikacije i metode koje se koriste za dostavljanje video usluge temeljene na DVB-C standardu.



Poglavlje Arhitektura kabela televizije daje uvidu u kabelsku infrastrukturu potrebnu za dostavu video signala. Prikazana je se cjelokupna mrežna infrastruktura od prijema sadržaja sa strane pružatelja usluga do distribucije tog sadržaja krajnjem korisniku. Najveći fokus će biti na infrastrukturi u kojoj najčešće dolazi do „upadanja“ vanjskog signala.

U četvrtom poglavlju je prikazan i objašnjen način rada i mogućnosti alata za praćenje i analizu kvalitete video signala koji su korišteni u svrhu ispitivanja i analize utjecaja interferencija na video uslugu.

Peto poglavlje prikazuje kako sve interferencije mogu utjecati na signal, koje vrste pogreške nastaju u prijenosu i prikaz realnih primjera utjecaja radiodifuznih sustava na kvalitetu DVB-C video usluge.

U šestom poglavlju su prikazani primjeri problema i način na koji su isti riješeni u praksi. Provedena su istraživanja koja pokazuju koliki je utjecaj interferencija, zašto i gdje dolazi do interferencija i donesen zaključak kako bi ti nedostaci trebali biti ispravljani.

## 2. DVB – Cable

DVB-C je prvi digitalni prijenosni standard u kabelskim mrežama. Prije dvadesetak godina kada je započela era konvergentnih elektroničkih medijskih usluga u kabelskim mrežama kvadraturno amplitudna modulacija (QAM) 64 se koristila kao najsuvremenija modulacijska tehnika. Omogućavala je prijenos 6 bita po jednom simbolu šta je za kabelsku TV uslugu značilo prijenos 6 digitalnih programa umjesto jednog koliko se prenosilo kod analognog prijenosa na istoj širini pojasa od 8 MHz. To je bio veliki korak u povećanju kapaciteta kabelske mrežne infrastrukture. Povećanjem kapaciteta, dolazile su ideje i za objedinjavanjem velikog broja usluga putem istog kabelskog sustava. Pokrenula se integracija DVB-C na internetske usluge koje su se temeljile na prijenosu podataka putem kabelske infrastrukture DOCSIS (*engl. Data Over Cable Services Interface Specification*). Takozvani EuroDOCSIS sustavi su koristili DVB-C standard za preuzimanje podataka (*engl. downstream*) plus dodatno omogućeno podizanje podataka (*engl. upstream*). Integracijom navedenog, postojeća kabelska infrastruktura se nije više koristila samo za televizijske usluge nego i za širokopojasni pristup Internetu i telefoniju. Komercijalni uspjeh DVB – C standarda je već dokazan unutar milijuna kućanstava kojima je usluga prodana diljem cijelog svijeta [1].

### 2.1. Opće značajke DVB-a

Prilikom prijenosa televizijskog signala koristi se analogni nosioc koji je moduliran s video i audio informacijama. Iako je nosioc analogni, informacije koje se prenose mogu biti analogne (analogni video signal) ili digitalne, poznate kao digitalna televizija (DTV). Kod analogne televizije video se prenosio u njegovom izvornom analognom formatu. Slično kao i kod radio signala svaki program ima svoju frekvenciju preko koje se emitira analogni televizijski signal. Uz to što nije moguće odraditi nikakvu kompresiju signala bez da se smanji kvaliteta video signala najveći problem kao i kod radio signala je interferencije s njihovim frekvencijama. Interferencije generiraju šum koji uzrokuju takozvani snijeg na ekranu, fluktuacije boja, svjetline, zvuka itd. Kod digitalne televizije, video i audio informacije se prvo pretvaraju u

digitalni format koji se sastoji od niza nula i jedinica zvanih bitova. Zatim se taj niz bitova koristi za modulaciju analognih nosioca signala prije emitiranja. Na prijamoj strani, digitalni signal se prima, pretvara nazad u izvorni format i prikazuje korisnicima na njihovim uređajima.

Za emitiranje takvih količina informacija potrebna je jako velika širina frekventijskog pojasa. Širina pojasa kod analogne televizije za jedan program iznosi između 7 MHz i 8 MHz. Kod digitalnog video emitiranja (*engl. Digital Video Broadcast - DVB*), širina frekventijskog pojasa za jedan program iznosi čak 10 MHz ili više ovisno o kvaliteti videa koji se prenosi. Iz tog razloga koriste se razne kompresije podataka kako bi se smanjila potrebna širina frekventijskog pojasa. Odnosno, kompresija podataka danas je toliko efikasna da više od jednog digitalnog programa može stati u širinu pojasa koja se koristi za analogni program [2]. Uz navedeno postoji još prednosti DTV emitiranja, a neke od njih su:

- vrlo visoka kvaliteta slike
- puno veći broj programa na jednakom broju frekvencija
- manja prijenosna snaga – smanjenje interferencije susjednih programa
- potreban niži omjer signal – šum [S/N].

DVB (*engl. Digital Video Broadcast*) je standard emitiranja digitalnog televizijskog signala u većini zemalja osim u Sjedinjenim Američkim Državama (SAD), Kanadi, Južnoj Koreji, Taiwanu, Brazilu i Argentini. Ostali standardi digitalne televizije su:

- *ISDB (engl. Integrated Services Digital Broadcasting)*
- *ATSC (engl. Advanced Television Systems Committee)*
- *OpenCable*

Audio i video komponente su vrlo slične kod svih standarda a glavna razlika su radio frekventijske (RF) modulatorske sheme. ISDB je razvijen u Japanu i temelji se na DVB - u ali su dodane posebne usluge za potrebe Japana [3].

DVB je danas jedan od najuspješnijih načina modernog emitiranja. S obzirom da se koristi u mnogo država diljem svijeta postao je jedan od glavnih i osnovnih standarda za emitiranje. Od prvih DVB standarda koji su uvedeni puno je toga novog razvijeno, pa se sada postižu novi sadržaji i izvedbe. Članovi organizacije DVB projekata razvijaju i dogovaraju se oko specifikacija. Jednom kada su specifikacije dogovorene one se prosljeđuju zajedničkoj

tehničkoj komisiji (*engl. Joint Technical Committee – JTC*) koja se sastoji od EBU (*engl. European Broadcasting Union*), CENELEC (*engl. European Committee for Electrotechnical Standardization*) and ETSI (*engl. European Telecommunications Standards Institute*). Nakon toga ako uspješno prođu komisiju, specifikaciju formalno standardizira CENELEC ili u većini slučajeva ETSI. Može se reći da ja DVB standard dio grupe ETSI standarda.

U današnje vrijeme postoji mnogo načina na koje se televizija može prenijeti od "odašiljača" do "prijamnika", a niti jedan standard ne može se optimizirati za sve aplikacije. Kao rezultat toga, postoje mnogi različiti oblici DVB standarda, svaki dizajniran za određenu aplikaciju. Neki od glavnih DVB standarda za prijenos su opisani u tablici 1. [4].

Tablica 1. DVB prijenosni standardi

DVB Standard	Značenje	Opis
DVB-C	Kabel ( <i>engl. Cable</i> )	Standard dostavljanja video usluga putem kableske mrežne infrastrukture.
DVB-H	Ručni ( <i>engl. Handheld</i> )	DVB usluge za ručne uređaje kao mobitel itd.
DVB-RSC	Povratni satelitski kanal ( <i>engl. Return Satellite Channel</i> )	Satelitske DVB usluge s povratnim kanalom za interaktivne usluge.
DVB-S	Satelitske usluge	DVB standard za dostavljanje televizijskog/video signala putem satelita.
DVB-S2	Sateliti druge generacije	Druga generacija DVB satelitskog emitiranja.
DVB-T	Zemaljske ( <i>engl. Terrestrial</i> )	DVB standard za digitalno zemaljsko televizijsko emitiranje.
DVB-T2	Zemaljske druge generacije	Druga generacija zemaljskog emitiranja.

Izvor:[4]

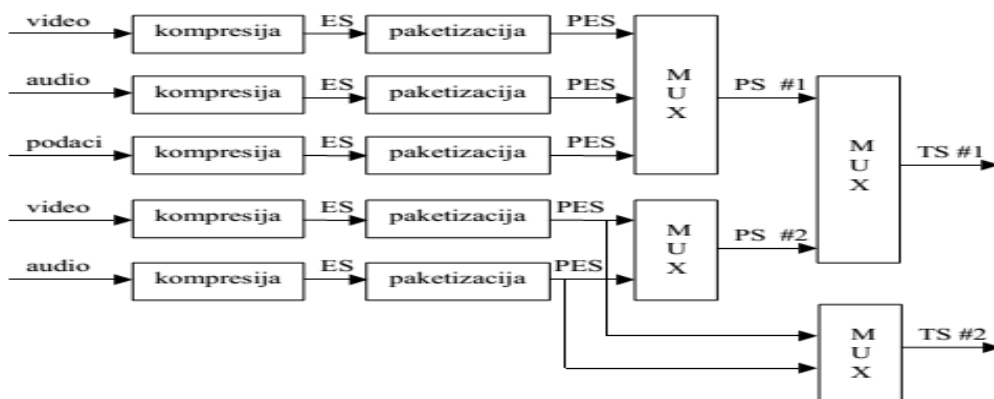
## 2.2. DVB specifikacija

Postoji više prijenosnih standarda koji su spomenuti u tablici 1. i svaki od njih se koristi za prijenos video, audio i ostalih vezanih podataka od odašiljača do odredišta. Nakon što transportni tok podataka dođe do prijarnika on mora znati kako prikazati te informacije. Što se podrazumijeva pod transportnim tokom podataka bit će objašnjeno u nastavku ovog poglavlja. Da bi se na krajnjem odredištu prijarnik mogao automatski konfigurirati, obraditi primljene podatke i prikazati ih (video, audio i dodatni podatci kao teletekst, podnaslovi itd.), definirana je specifikacija za informacije o usluzi DVB SI (*engl. Service Information*).

### 2.2.1. Proces obrade podataka

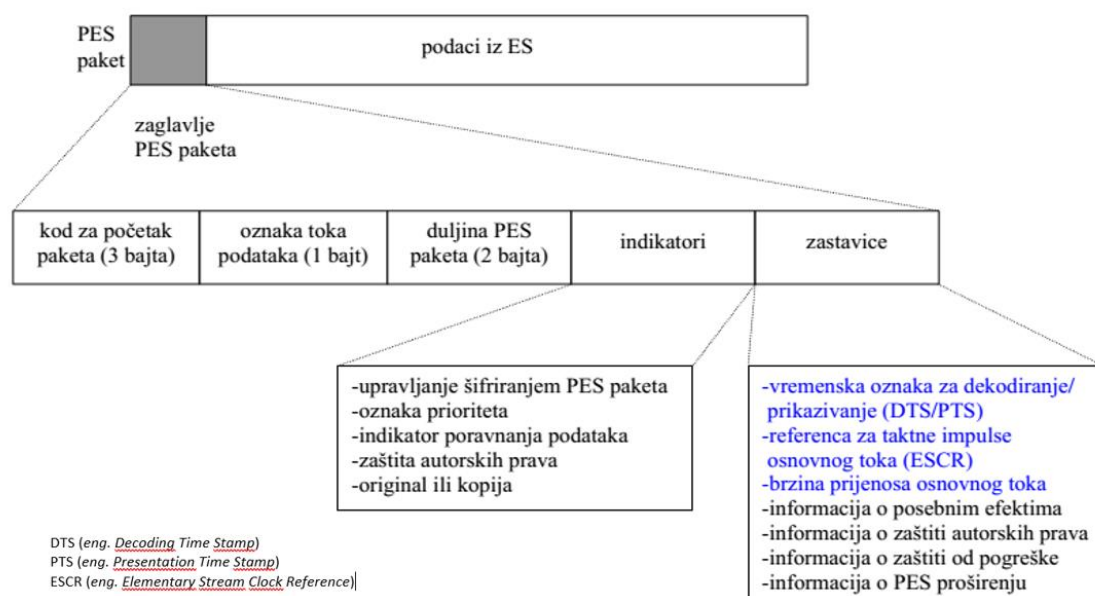
SI (*engl. Service Information*) i PSI (*engl. Program Specific Information*) su podatci koji je nalaze unutar transportnog toka podataka i pružaju prijarniku sve potrebne informacije kako bi mogao dekodirati i demultipleksirati programe koji se nalaze unutar transportnog toka podataka. Na slici 1 vidljiv je primjer obrade podataka prije emitiranja DVB-C prijenosnim standardom. Oznake na slici 1 su:

- osnovni tok podataka ES (*engl. Elementary Stream*)
- paketizirani osnovni tok podataka PES (*engl. Packetized Elementary Stream*)
- programski tok podataka PS (*engl. Program Stream*)
- prijenosni tok podataka TS (*engl. Transport Stream*)
- multipleksiranje MUX.



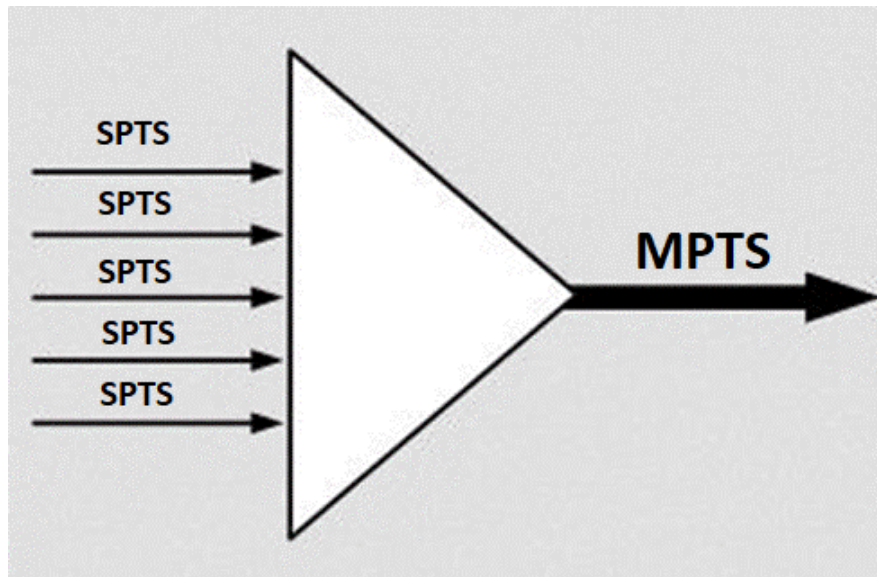
Slika 1. Obrada podataka  
Izvor: [5]

Video, audio i ostali podatci se prije distribucije moraju obraditi. Na slici 1. je prikazan ulaz video audio i ostalih podataka s izvora u koder. Koder nad tim podacima obavlja kompresiju i paketiziranje. Kompresija se radi nad svim podacima (video, audio i ostali), a u poglavlju 2.4. ovoga rada će detaljnije biti opisana video kompresija. Nakon što su podatci komprimirani oni postaju osnovni tok podataka i nad njima se obavlja paketizacija. Napomena da isti uređaj može i ne mora obavljati kompresiju i paketizaciju. Paketizacija predstavlja enkapsuliranje podataka odnosno dodavanje zaglavlja PES paketa koji tada postaje paketizirani osnovni tok podataka. Detaljnije opisan i prikazan proces paketizacije se vidi na slici 2.



Slika 2. Paketizacija osnovnog toka podataka  
Izvor: [5]

Nakon što su video, audio i ostali podatci komprimirani i paketizirani, oni se zajedno multipleksiraju u jedan Programski tok podataka (PS). Programski tok podataka je sada ono što krajnji korisnik Televizijske usluge vidio kao jedan program npr. HTV 1. Svaki PS mora imati svoj jedinstveni ID unutar TS koji se naziva SID (eng. *Service ID*). Nakon toga više programskih tokova podataka ulazi u multipleksor koji ih pretvara u prijenosni tok podataka spreman za distribuciju prema odredištu. Prijenosni tok podataka (TS) može biti SPTS (eng. *Single Program Transport Stream*) ili MPTS (eng. *Multiple Program Transport Stream*). SPTS sadrži samo jedan programski tok podataka dok MPTS može u sebi imati više programskih tokova podataka. MPTS nastaje multipleksiranjem više SPTS-ova kao što je to prikazano na slici 3.



Slika 3. Multipleksiranje

Tanke ulazne strjelice na slici 3. predstavljaju SPTS koji ulazi u multiplekser, dok podebljana izlazna strjelica predstavlja izlazni MPTS. Multipleksiranje u definiciji predstavlja uštedu u resursima ali u slučaju kod DVB-a nije toliko stvar u uštedi, nego u učinkovitom iskorištenju već unaprijed ograničenih resursa (frekvencija). Mnogo ulaznih signala koji su ovdje prijenosni tokovi podataka TS i nose malu količinu informacija, se multipleksira u znatno manji broj izlaznih signala, također prijenosnih tokova podataka koji samim time prenose znatno veću količinu podataka. Prije samog slanja nad TS-om se obavlja kvadratno amplitudna modulacija kako bi bio moguć prijenos svih potrebnih podataka putem jedne kableske infrastrukture. Modulacija i vrste modulacije koje se koriste u DVB – C tehnologijama će biti detaljnije opisane u nastavku rada (poglavlje 2.3.).

Prijamnik na određitu mora odraditi cijeli proces, ali obrnutim redoslijedom kako bi uspio pravilno prikazati video sadržaj koji se šalje krajnjem korisniku, te za to koristi PSI koje su zapisane unutar TS-a i definirane DVB SI standardom.

## 2.2.2. Informacije o usluzi SI

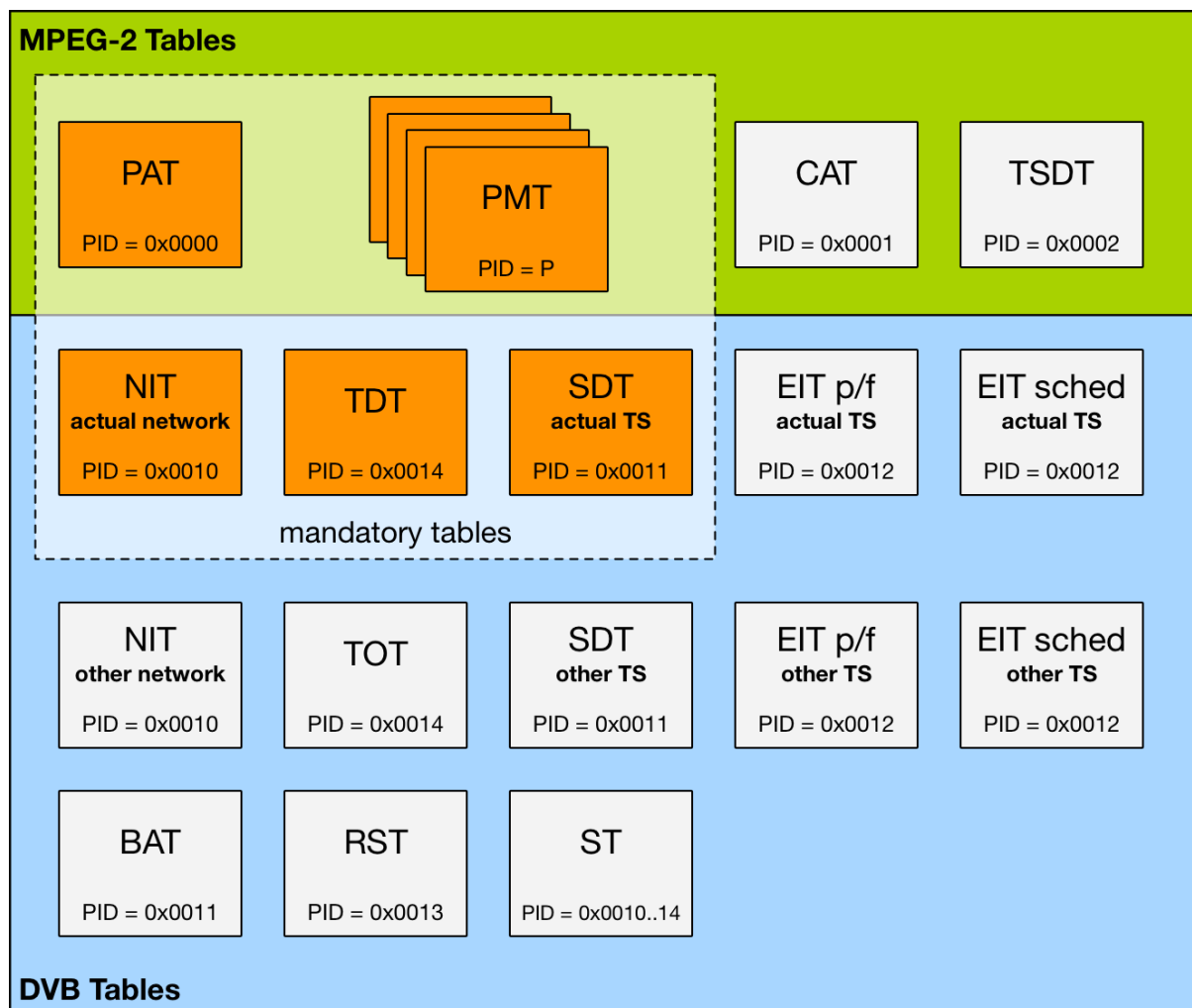
PSI podatci su prema [5] strukturirani kao četiri tipa tablica nabrojanih u nastavku koje se prenose u različitim odjeljcima.

1. Tablica pridruživanja programa - PAT (*engl. Program Association Table*) određuje lokaciju gdje se nalazi odgovarajuća tablica programske karte PMT (*engl. Program Map Table*) za svaki PS unutar nekog multipleksa (TS). Vrijednosti koje to prikazuju se nazivaju identifikatori paketa PID (*engl. Packet Identifier*). Dodatno, iz PAT tablice se iščitava i lokacija tablica informacija o mreži NIT (*engl. Network Information Table*).
2. Tablica uvjetovanog pristupa CAT (*engl. Conditional Access Table*) sadrži informacije o sustavu uvjetovanog pristupa CA (*engl. Conditional Access*) koji se koristi unutar TS-a. CA sustavi služe za zaštitu sadržaja kriptiranjem od neovlaštenog korištenja i upravljanje pravima. Informacija o CA sustavu unutar CAT je privatna i ovisi o samom sustavu koji se koristi. Također CAT posjeduje informacije o porukama za upravljanje pravima EMM (*engl. Entitlement Management Message*).
3. Tablica programske karte PMT identificira i ukazuje na tokove podataka (*engl. Streams*) koje čine određene PS – ove i lokacije polja referenca programskog sata PCR (*engl. Program Clock Reference*).
4. Tablica informacija o mreži NIT sadrži informacije o fizičkoj mreži preko koje se obavlja distribucija TS-ova. Na primjer, radi li se o kablskoj, zemaljskoj ili satelitskoj televizijskoj mreži odnosno infrastrukturi.

Uz PSI podatke koji su nabrojani, šalju se dodatno i podatci koji pomažu prijatelju za identifikaciju same usluge i događaja. Za razliku od PSI podataka, koji nose informacije samo o multipleksu u kojem se nalaze, dodatni podatci mogu sadržavati informacije i o drugim multipleksima te su također definirani unutar DVB SI [5].

Prikaz svih SI, odnosno tablica i njihova organizacija najbolje je prikazana na slici 4.





Slika 4. DVB SI tablice, [5]

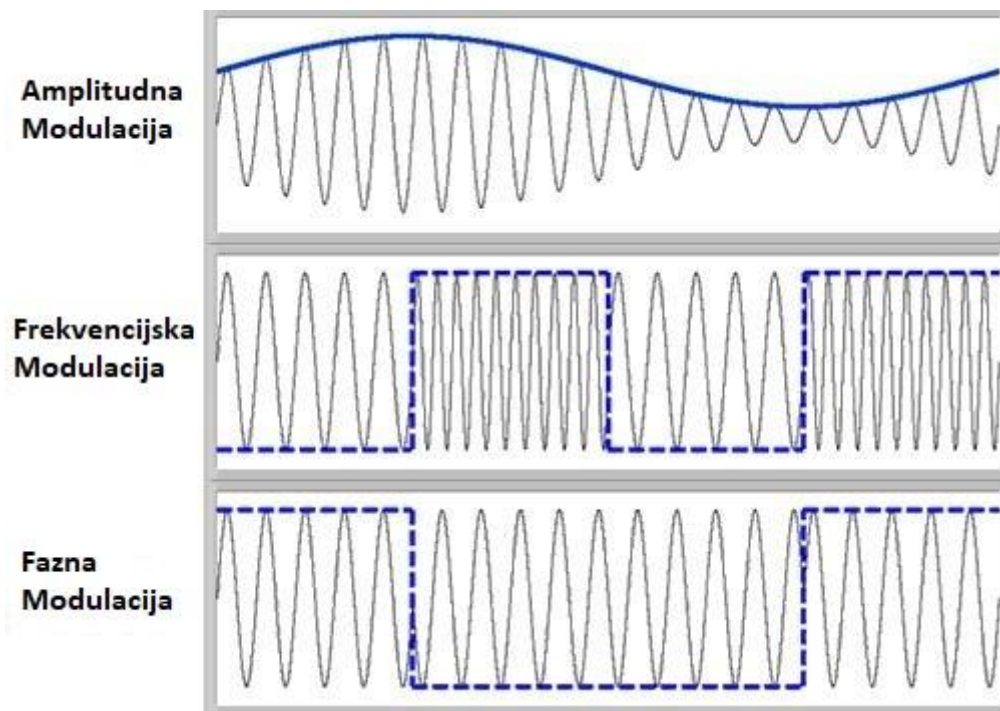
Na slici 4 je prikazano da postoje tablice koje su obavezne (*engl. Mandatory tables*) u svakom TS i one koje mogu biti opcionalne. Obavezne tablice su PAT, PMT, NIT, Tablica s vremenom i datumom - TDT (*engl. Time and Date Table*) i Tablica opisa usluge - SDT (*engl. Service Description Table*). CAT je jedini dio PSI koji se ne nalazi unutar obaveznih tablica. To je iz razloga što sadržaj TS-a može i ne mora biti kriptiran, a to ovisi o samom pružatelju usluga i ugovora koje pružatelj usluga ima s vlasnicima sadržaja. Same tablice unutar TS-a se nikada ne kriptiraju osim opcionalno tablice s informacijama o događajima – EIT (*engl. Event Information Table*). Ostale nepoznate tablice i pojmovi vidljive sa slike 4 su: Tablica opisa transportnog toka – TSDT (*engl. Transport Stream Description Table*), EIT unutar vlastitog TS (*engl. actual*) i drugog TS (*engl. other*), Tablica pomaka vremena – TOT (*engl. Time Offset Table*), Tablica buketa programa – BAT (*engl. Bouquet Association Table*), Tablica statusa da li

je događaj pokrenut – RST (*engl. Running Status Table*), Tablica za popunjavanje bloka toka podataka– ST (*engl. Stuffing Table*).

### 2.3. QAM – Kvadratno Amplitudna Modulacija

Kod DVB – C usluga koristi se kvadratno amplitudna modulacija, a to je kombinacija amplitudne modulacije i modulacije faznog pomaka. QAM mijenja amplitudu ili razinu snage dva signala, prvog u fazi s ulazim podatcima, a drugog 90 stupnjeva izvan faze. QAM modulator na ulazima prima dva signala. Jedan podatkovni koji se sastoji od simbola, odnosno bitova (001001) i drugi radio frekvencijski nosioc. QAM modulator spaja te ulazne signale i kontrolira njihovu amplitudu i fazu te na izlazu se dobiva modulirani signal spreman za prijenos.

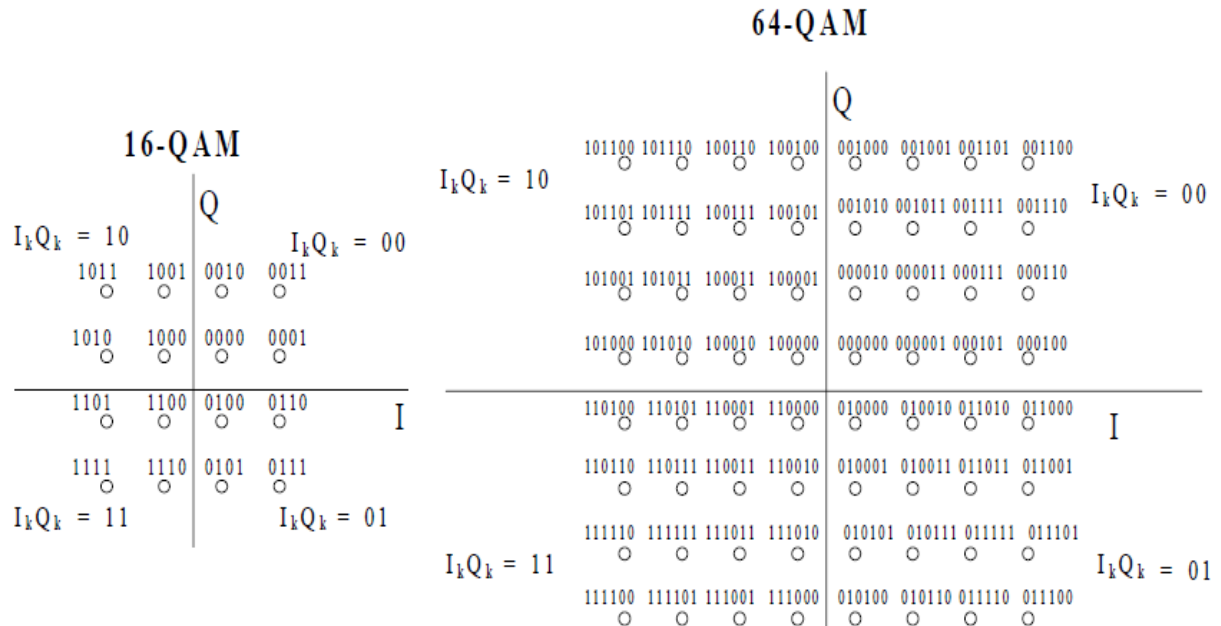
Modulacija je postupak utiskivanja prijenosnog signala u signal informacije odnosno u signal koji se treba poslati. Predstavlja promjenu nosioca signala u njegovoj apsolutnoj veličini, frekvenciji ili faznom pomaku. Postoji više vrsta modulacije kako je to prikazano na slici 5.



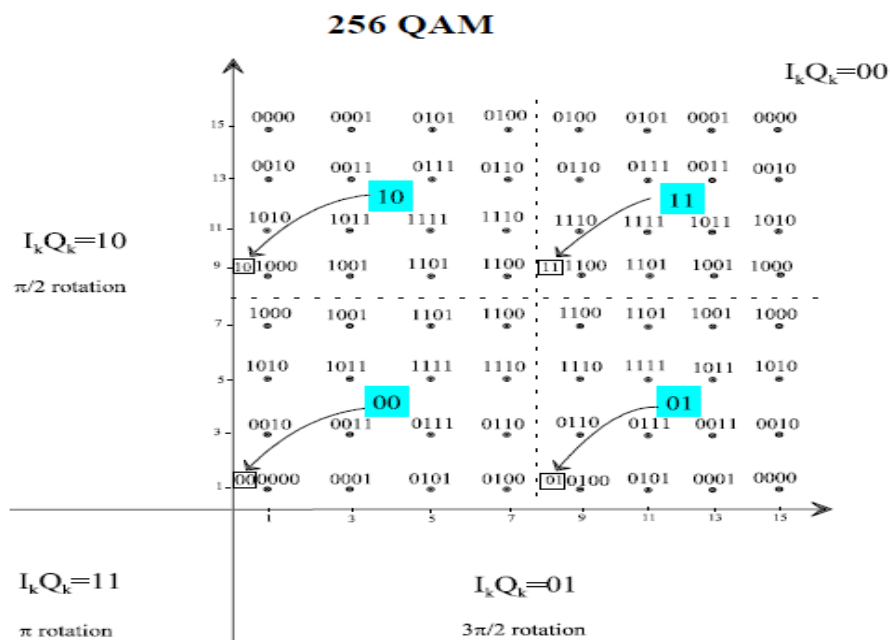
Slika 5. Modulacijske tehnike [3]

Postoji i više vrsta QAM, a to ovisi o dužini ulaznog simbola odnosno količini ulaznih bitova. Ako je N broj bitova koji se nalaze u simbolu, QAM tehnika koja se koristi je  $2^N$ . Za 001001 ulazni simbol broj bitova je N = 6, što znači da bi se koristila QAM 64 modulacijska tehnika s

64 simbola. Iz prikazanog je i moguće zaključiti da neke od QAM modulacija koje se koriste su QAM 16, QAM 32, QAM 64, QAM 128 i QAM 256. Konstelacijski dijagrami QAM 16, QAM 64 i QAM 256 su prikazani na slikama 6. i 7.



Slika 6. Konstelacijski Dijagrami QAM 16 i QAM 64 [6]



Slika 7. Konstelacijski Dijagram QAM 256 [6]

Kao što je prikazano na slikama 6. i 7. konstelacije su obično raspoređene u kvadratnu mrežu s jednakim vodoravnim i okomitim razmakom. Korištenjem modulacijskih formata višeg reda

(npr. QAM 256) tj. više točaka na konstelaciji moguće je prenijeti više bitova po simbolu. Međutim, kao što je vidljivo i na slikama točke su puno bliže jedna drugoj pa su time podložnije šumu. Odnosno, manja razina šuma je potrebna da se generira pogreška u prenesenim podacima. Dodatni problem je što QAM prijammnici ne mogu otklanjati šum kao što je to slučaj kod fazne ili frekvencijske modulacije [7]. Kao rezultat toga, da bi se mogle koristiti modulacije višeg reda kao npr. QAM 256 mora postojati dovoljno velik omjer Signal - Šum S/N. Odnosno, minimizirati generiranje šuma što bi bio i jedan od glavnih ciljeva svake usluge temeljene na DVB – C kako ne bi došlo do degradacije usluge što je glavna tema ovog diplomskog rada.

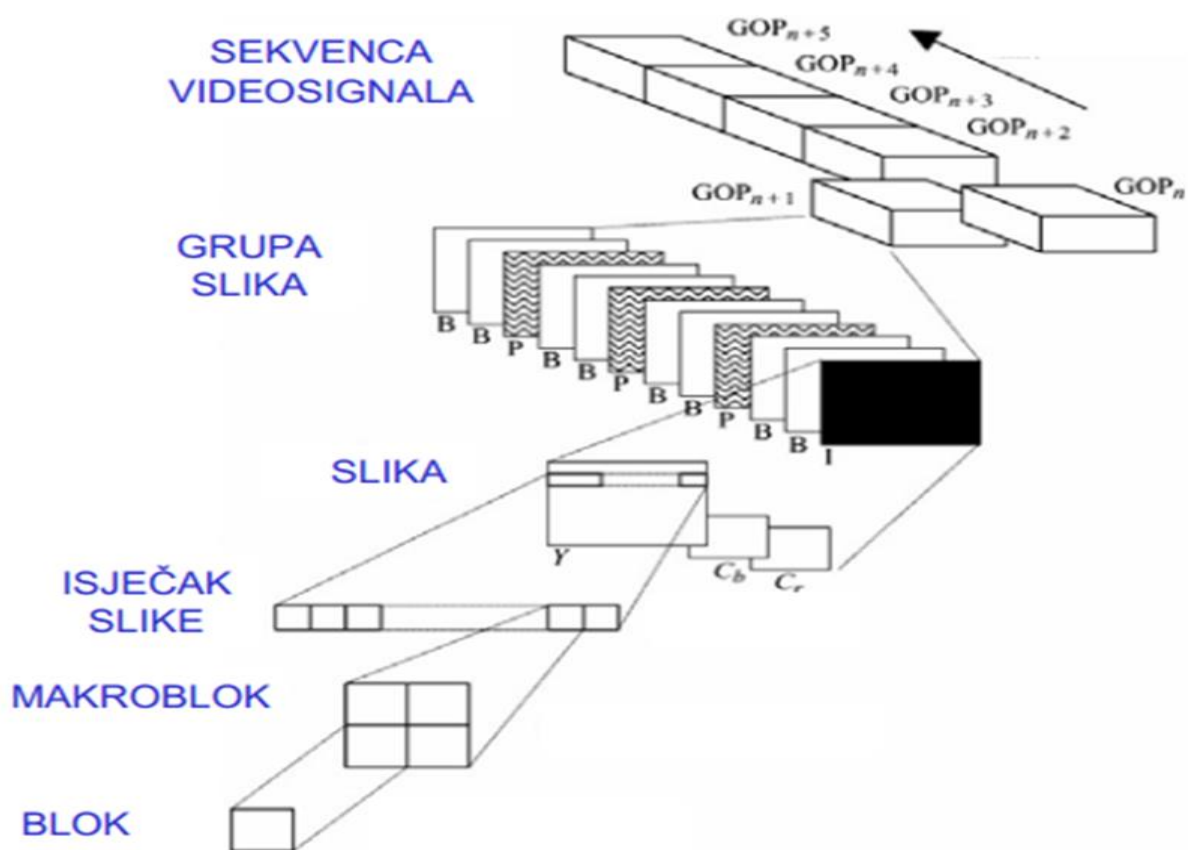
## 2.4. Video Kompresija

Da bi se sav potrebni video sadržaj mogao ponuditi korisniku, odnosno poslati do korisnika preko kableske infrastrukture on mora biti komprimiran. U tom kontekstu kompresija znači smanjenje broja bitova potrebnih za prezentaciju video slike. Kompresijske tehnologije su u stalnom razvoju. Kako se razvijaju bolje kompresijske tehnologije tako je moguće prenijeti i veću količinu informacija u sve manje i manje bitova. Cilj kompresije bi bio smanjiti količinu podataka bez micanja korisnih informacija.

MPEG (*engl. Moving Picture Expert Group*) kompresijske tehnologije su standardi koji se koriste u svim uslugama temeljenim na DVB – C. Model MPEG kodiranja je organiziran u šest slojeva [8]:

- blok – najmanja jedinica kodiranja 8x8 elemenata slike
- makroblok – osnovna jedinica za kodiranje s predviđanjem pokreta od 16x16 elemenata slike
- isječak slike (*engl. Slice*) – horizontalni niz makro blokova
- slika – osnovna jedinica u MPEG postupku kodiranja
- grupa slika GOP (*engl. Group of Pictures*) – niz od jedne ili više slika
- sekvenca – niz od određenog broja grupa slika.

Na slici 8. je prikazano i kako su ti slojevi povezani.



Slika 8. MPEG standard  
Izvor: [6]

GOP je niz slika koji se sastoji od jedne I slike i nijedne ili više P i B slika. Niz GOP uvijek počine za I slikom i traje do zadnje slike prije sljedeće I slike. Sve slike unutar GOP-a ovise direktno ili indirektno o inicijalnoj I slici.

Vrste slika :

- I slika – predstavlja okvir koji je samostalno kodirane unutar slike, a proizlazi iz *Intra*.
- P slika – predstavlja kodiranje s predviđanjem uz nadomještanje pokreta, a kao polazne slike koriste se I i ostale P slike. To je jednosmjerno predviđanje, a P naziv proizlazi iz predviđanje (*engl. Predicted*).
- B Slika – predstavlja kodiranje s predviđanjem uz nadomještanje pokreta. Koristi se predviđanje iz prethodne i buduće slike zvano dvosmjerno predviđanje. B proizlazi iz riječi dvosmjerno (*engl. Bidirectional*).

Trenutno, jedan on najzastupljenijih standarda kompresije je MPEG – 4 AVC (*engl. Audio Video Coding*) ili kako se još naziva H.264. To je jako učinkovit skup kompresijskih tehnika za prirodnu

sliku. Učinkovito znači ista razina kvalitete uz korištenje manje brzine prijenosa (*engl. bit rate*) što omogućuju nove tehnike kao što su [8]:

- Višestruka referentna slika za svaku komprimiranu sliku. To omogućava da različiti makroblokovi budu enkodirani na osnovu udaljenosti različitosti od izvorne slike.
- Prostorno predviđanje makroblokova na temelju susjednih blokova za učinkovitije kodiranje velikih, ponavljajućih područja.
- Filter deblokiranja, on pomaže u micanju „oštrih rubova“ koji se ponekada pojavljuju na granicama između susjednih makroblokova. „Izглаđivanjem oštrih rubova“ postiže se puno ugodnija slika s nižom brzinom prijenosa.
- Predviđanje opterećenja, koje omogućuje koeficijent skaliranja koji se primjenjuje na brojne makroblokove i pojednostavljuje proces kodiranja za scene koje uključuju velike promjene svjetline.
- Podržavanje logaritamske skale za korake u kvantizaciji. Pojednostavljuje *bit-rate* upravljanje u enkoderu za scene sa širokim rasponom svjetlosti.
- Poboljšanje tehnike za aritmetičku kompresiju, uključujući kontekstno – prilagodljivu binarnu aritmetičku logiku – CABAC (*engl. Context - Adaptive Binary Arithmetic Logic*) i kontekstno prilagodljivu varijabilnu dužinu kodiranja – CAVLC (*eng. Context – Adaptive Variable – Length Coding*). Obje tehnike zahtijevaju puno veću razinu resursa nego jednostavne tehnike kodiranja ali rezultiraju znatno većom kompresijom video signala.

Postoji još mnogo tehnika i tehnologija korištenih u H.264 ali ih ima previše ili su zaštićene vlasničkim pravima da bi se nalazile na ovom popisu.

Iako je još uvijek najzastupljeniji H.264 sve više pružatelja televizijskih usluga orijentira se na prelazak na noviju tehnologiju kodiranja H.265. Video kodiranja visoke učinkovitosti – HEVC (*engl. High Efficiency Video Coding*) ili H.265 je novi standard za video kompresiju koja pruža bolje performanse nego prijašnji sustavi kodiranja. HEVC ima istu osnovnu strukturu kao i AVC (H.264) no posjeduje mnoga druga poboljšanja kao što su [9]:

- fleksibilnije pregrađivanje od velike do male pregrade
- veća fleksibilnost u procesu predviđanja i zamjene veličine bloka
- sofisticiraniji filter deblokiranja (objašnjen kod H.264) i interpolacija
- sofisticiranije predviđanje i signalizacija vrste i kretanja vektora

- dodatne značajke koje podržavaju učinkovitu paralelnu obradu podataka.

Rezultat toga je standard video kodiranja koji omogućava bolju kompresiju ali cijena toga je povećanje potrebne procesorske snage. Ovo je u praksi i glavni razlog zašto još uvijek 2021. godine svi pružatelji video usluga kao što su u Hrvatskoj A1, Hrvatski telekom, Iskon i ostali nisu u potpunosti počeli koristiti HEVC kodiranje. Iako je potrebna i veća procesorska snaga samih kodača, najveći problem su digitalni prijemnici STB – (*engl. Set Top Box*) koji se nalaze kod korisnika. Da bi se televizijski sadržaj mogao kodirati u HEVC-u potrebna je i veća procesorska snaga STB-a koji bi taj sadržaj trebao dekodirati i prikazati na korisnikovom uređaju. Zamjena svih postojećih STB-ova kod korisnika iziskuje velike troškove te veliki broj pružatelja usluga iz tog razloga još uvijek nije počeo koristiti HEVC.

Moglo bi se reći da je HEVC otprilike dvostruko učinkovitiji od AVC. U tablici 2. je prikazano kolika je brzina prijenosa potrebna za prijenos iste kvalitete (rezolucije) videa ako je korištena HEVC tehnologija, a koliko ako je korištena AVC. Mjerna jedinica koje je korištena su Mega biti po sekundi Mb/s.

Tablica 2. Tablica usporedbe HEVC i AVC

Rezolucija	Minimalna potrebna brzina prijenosa	
	H.264	H.265
<b>4Kp60</b>	40 Mb/s	20 Mb/s
<b>4Kp30</b>	30 Mb/s	15 Mb/s
<b>1080p60</b>	8 Mb/s	4 Mb/s
<b>1080p30</b>	6 Mb/s	3 Mb/s
<b>720p60</b>	2,75 Mb/s	1,38 Mb/s
<b>720p30</b>	2 Mb/s	1 Mb/s

Izvor: [10]

## 2.5. Kriptiranje podataka

Za sav sadržaj koji nude pružatelji usluga moraju se platiti prava kako bi ih mogli nuditi svojim korisnicima. Ta prava su jako skupa, kao što su na primjer neki ekskluzivni sportski događaji, popularni TV kanali, koncerti ili noviji video na zahtjev VoD – (*engl. Video On Demand*) sadržaji. Iz tog razloga se njihovim korisnicima nude paketi s raznim sadržajima po raznim cijenama ovisno o tome na što se korisnik želi pretplatiti ili što želi trenutno gledati. Kako bi zaštitili svoj sadržaj od neovlaštenog gledanja on se kriptira odnosno šifrira. Kada sadržaj ne bi bio kriptiran neovlašteno korištenje bi bilo jednostavno i ne bi bila moguća naplata posebnog sadržaja zato što bi on bio dostupan svima. Na ovaj način oni koji ne žele platiti dodatne usluge ili ekskluzivne programe nisu u mogućnosti gledati uslugu pošto je isti kriptiran, a njihov STB nije dobio ključeve za otključavanje istog.

Stoga, kako bi se onemogućilo neovlaštenim korisnicima pristup sadržaju uveden je tzv. uvjetovani pristup – CA (*engl. Conditional Access*) što podrazumijeva kriptiranje sadržaja prije prijenosa podataka. Da bi se dekriptirao zaštićeni sadržaj koristi se CA modul. On omogućava dekriptiranje odnosno gledanje sadržaja samo korisnicima koji su autorizirani. Postoje dvije osnovne tehnike implementacije DVB CA a to su *Simulcrypt* i *Multicrypt*. *Simulcrypt* se oslanja na DVB CSA (*engl. Common Scrambling Algorithm*). To je alat koji se koristi za kriptiranje i dekriptiranje TS-a i PS-a. Njegov sklop je ugrađen unutar dekompresijskog čipa. *Simulcrypt* omogućava korištenje više od jednog CA sustava. Unutar TS –a se nalazi EMM i ECM od svakog CA sustava pa prijemnik ima sve potrebne podatke da dekriptira sadržaj. *Multicrypt* je otvoreni sustav koji se bazira na odvojivom CA modulu pruženom od strane pružatelja usluge. Kriptirani tok podataka (*engl. stream*) se šalje u CA modul. On izvlači potrebne podatke kao što je ECM i EMM direktno iz toka podataka te se zatim dekriptirani tok podataka šalje u dekodir. CA modul se instalira u prijemnik preko DVB CI (*engl. Common Interface*). Najveća prednost *Multicrypta* je što prijemnik može biti konfiguriran da prima uslugu i od drugog pružatelja usluge koji ne podržava CA sustav. Rezultat toga je da se prijamniku produžuje vijek trajanja [3].

Koristeći kombinaciju uspostavljenih video standarda i dokazanih internetskih tehnologija jedan od najboljih sustava za zaštitu, a nudi ga firma Verimatrix. Prepoznat je kao



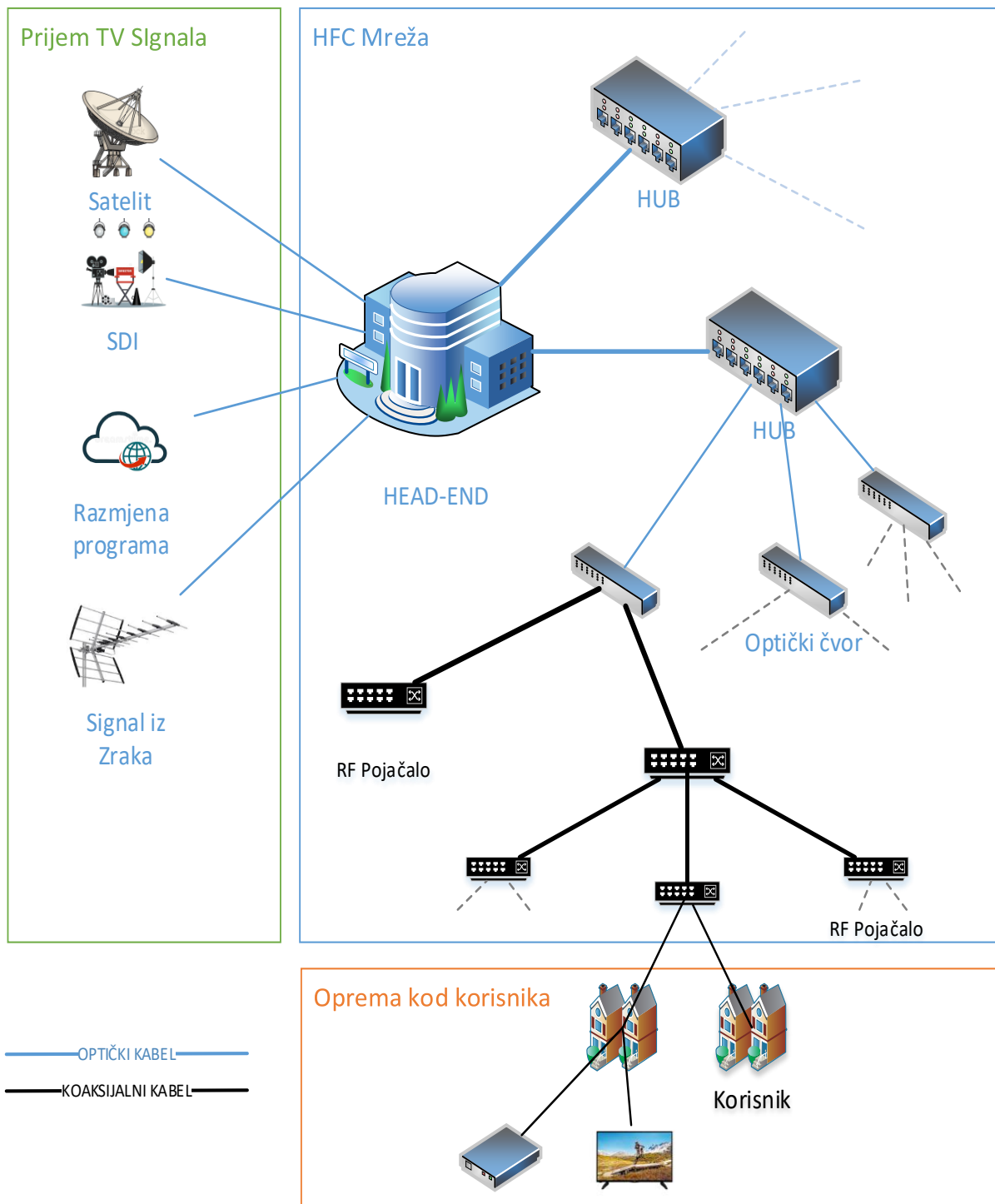
globalni igrač u sigurnosti sadržaja za video usluge. Oni nude niz sigurnosnih rješenja koje mogu adresirati više mreža za isporuku video sadržaja s jedinstvenim pristupom upravljanju pravima. Verimatrix VCAS (*engl. Video Content Authority System*) je arhitektura s kraja na kraj koja se nudi za široki raspon internetskih mreža i različitih vrsta uređaja. VCAS *software* i Internet protokol IP (*engl. Internet Protocol*) arhitektura nudi razna rješenja za emitiranje DVB, hibridnih, OTT – (*engl. Over The Top*), televizija temeljenih na Internet protokolu IPTV (*engl. Internet Protocol Television*) i ostalih tehnologija tako da omogućuju pružateljima video usluga da zaštite i osiguraju svoj posao. VCAS se temelji na sustavu bez kartica na strani korisnika, integrirajući hardverske sigurnosne podsustave u uređaje kod korisnika s robusnom, obnovljivom softverskom arhitekturom [11].

### 3. Arhitektura kabelaške televizije

Razvoj kabelaške televizije od samih početaka je započeo tako da se postavljala jedna zajednička velika antena negdje visoko u mjestu. Koaksijalni kablovi su se provlačili od te zajedničke antene do kućanstava pa se za to može reći da je to prva kabelaška mreža. Današnje kabelaške TV mreže omogućuju prijenos više signala i to ne samo u jednom smjeru kao što je to bilo nekada. Osim za televiziju postojeća infrastruktura se koristi i za prijenos podataka odnosno širokopolasni pristup internetu.

Da bi se video usluga temeljena na DVB – C u mogla ponuditi korisnicima mora postojati potpuna kabelaška mreža i infrastruktura koja povezuje izvor sadržaja, preko *head-enda* do krajnjeg korisnika. Izvor sadržaja bi bio „početni“ dio mreže iz kojeg sadržaj zbog čega korisnici plaćaju uslugu ulazi u mrežu, točnije *head-end*. Korisnici mogu biti tvrtke, bolnice, vladine organizacije, škole, privatni korisnici i mnogi drugi te da bi svaki od njih mogao koristiti video uslugu mora imati i na svojoj lokaciji odgovarajuću potrebnu infrastrukturu. Tradicionalne kabelaške TV mreže su za prijenos informacija (video *streamova*) koristile koaksijalni kabel od *head-enda* do korisnika. Radio frekvencijski (RF) signal unutar koaksijalnog kabela s udaljenosti generira šum i gubi snagu te ga je potrebno pojačati. Radi tih nedostataka, u cilju pružanja veće kvalitete i pouzdanijeg signala koristi se kombinacija optičkog i koaksijalnog kabela. Optički kabel se koristi da signal dođe što bliže korisniku (kuću, tvrtku, bolnicu itd.) te se zatim signal konvertira u radio frekvencijski signal koji preko koaksijalnog kabela na zadnjih par metara ili kilometara do korisnika. Kabelaške mreže koje koriste kombinaciju optičkog i koaksijalnog kabela se nazivaju HFC (*engl. Hybrid Fiber Coaxial*). HFC je globalno prihvaćen 90-ih godina, a najčešći načini izrade je takozvana sinkrona optička mreža SONET (*engl. Synchronous Optical Network*). To je prstenasta arhitektura za distribuciju signala na njezinom području djelovanja. Prsten se može sastojati i od 96 optičkih niti koji povezuje od jednog do drugog HUB-a i tako u krug dok se ne vrati nazad u *head-end* [12]. Kod HFC mreža, HUB predstava lokaciju ili prostor u kojem se nalazi sva osnovna prijenosna oprema i komponente potrebne za omogućavanje različitih usluga. Optički kabeli se protežu od HUB-ova do više optičkih čvorova, od kojih svaki poslužuje određeno zemljopisno područje. Jedan primarni HUB u prosjeku poslužuje oko 10 000 korisnika. Eksperimenti i utjecaji interferencija koji su

provedeni i opisani u ovom radu su napravljeni na konceptu HFC kableske TV mreže koja je prikazana na slici 9.



Slika 9. HFC Arhitektura

### 3.1. Prijam TV signala

U današnje vrijeme, pružatelji kabelskih usluga nude mnogo sadržaja te često imaju više od 500 programa u svojoj ponudi. Da bi mogli ponuditi tako veliki broj sadržaja i programa svojim korisnicima sav taj sadržaj moraju prvo primiti u vlastitu mrežu. U lijevom gornjem kutu slike 9. je prikazan prijam sadržaja. Kao što je vidljivo na slici sadržaj može stizati u *head-end* na različite načine i s više izvora.

Vrste prijama TV signala:

- Satelitski signal – Satelitski tanjuri se stavljaju na visine ili na čistinu kako bi imali slobodan pogled prema nebu, odnosno satelitima koji se nalaze u orbiti. Nalaze se u neposrednim blizinama *head-enda* (u čestim slučajevima na krovu) kako bi signal odmah stigao u *head-end* na obradu. Najpoznatiji način prijama sadržaja omogućuje brzi prijem sadržaja snimljenog na bilo kojoj lokaciji u svijetu. U većini slučajeva je sadržaj koji se emitira sa satelita kriptiran. Kada pružatelj usluga i vlasnik sadržaja postignu dogovor oko prava, pružatelj usluga dobiva kartice koje se stavljaju u satelitske prijamnike i služe za otključavanje sadržaja primljenog sa satelita.
- SDI (*engl. Serial Digital Interface*) – Predstavlja neobrađeni signal koji se šalje direktno iz studija TV kuće (npr. HTV-ov studio direktno spojen s A1 ili HT *head-endom*). Studio i *head-end* su spojeni direktnom optikom i koristi se skup kooperativnih standarda za označavanje vremenskih slika pojedinačnih kadrova videa SMPTE.
- Razmjena programa – Razmjena programa između više pružatelja usluga. U slučaju Hrvatske primjer bi bio razmjena programa između A1 i HT-a. Omogućuje uštede resursa za sve pružatelje usluga na istom području. Primjer je sadržaj koji stiže s udaljenije lokacije (druge države), dovoljna je optička veza sa samo jednim pružateljem usluga koji po dogovorenim pravilima to distribuira ostalima u svojoj blizini.
- DVB – T/T2 signal iz zraka – postavljene su vanjske antene i koje primaju DVB – T/T2 signal iz zraka i šalju ga u *head-end* na obradu . Takav oblik prijama najčešće služi kao redundancija za nacionalne i lokalne kanale koji se emitiraju nekriptirani u zraku.

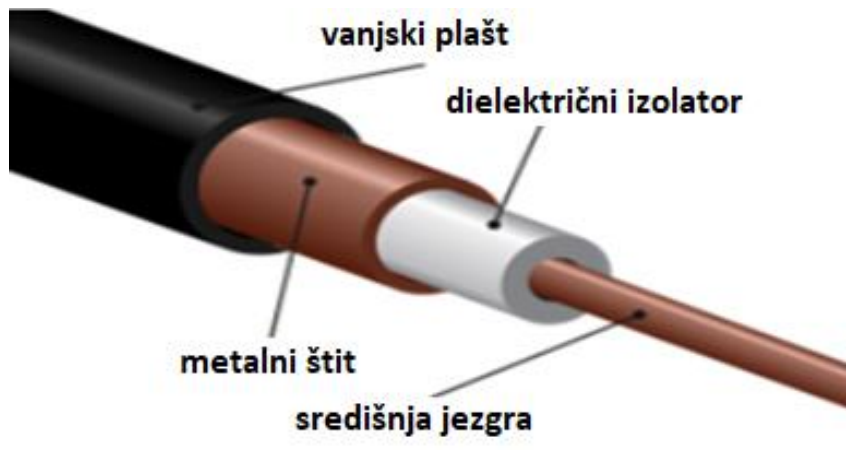
## 3.2. HFC Mreža

HFC je izraz koji opisuje arhitekturu za dostavu usluge korisniku uporabom optičkog i koaksijalnog kabela. Koristi se za distribuciju videa, podataka i glasovnog sadržaja iz *head-enda* do pretplatnika, čija osnovna arhitektura je prikazana na slici 9. Veliki optički kabel koji može sadržavati i do 96 optičkih niti izlazi iz *head-enda* i do jednog ili više HUB-ova ovisno o potrebi. HUB slično kao i *head-end* su udaljena čvorišta u kojem se također može nalaziti oprema za potrebnu bradu signala i daljnju distribuciju. HUB je u nastavku optičkim kabelima spojen s optičkim čvorovima (*engl. Optical Node*). Cilj je postaviti optičke čvorove što bliže korisniku kako bi gubitci i smetnje bile što manje i usluga stabilnija. Optički čvorovi se obično nalaze u zaključanim telekomunikacijskim kutijama ili na stupovima. Njihova funkcija je pretvaranje dolaznog svjetlosnog signala u radio frekvencijski signal i daljnje odašiljanje koaksijalnim kabelima prema pojačalima ili korisnicima. Također i povratni RF signal koji generiraju korisnički uređaji pretvara u optički uzlazni (*engl. upstream*) signal. Optički čvor predstavlja početna točka gdje može doći do interferencija koje mogu uzrokovati degradaciju usluge što je i glavna tema ovoga rada. Izlaz optičkog čvora može biti spojen direktno s lokacijom korisnika, a može i opskrbiti još šest velikih RF pojačala. Svako od velikih pojačala može imati još šest distribucijskih vodova koje mogu pokriti RF signalom oko 300 do 650 kućanstava. Ako je velika udaljenost signal unutar distribucijskog voda može biti pojačan s još pojačala. Distribucijski vodovi se uz pomoć razdjelnika rastavljaju na manje vodove, odnosno koaksijalne kabele manjeg promjera te na taj način dolaze do krajnjih korisnika i opslužuju potrebne pretplatnike.

### 3.2.1. Koaksijalni kabel

Koaksijalni kabel je prijenosni medij koji služi za prijenos RF signala na udaljene lokacije. Postoji više svrha u koje se koristi pa zato i postoji više načina izvedbi samog kabela i konektora. Razlikuju se ovisno o mjerilu i impedanciji. Oznaka s kojom se označuju kablovi je RG, a odnosi na debljinu kabela. Što je veći RG broj središnja jezgra vodiča je tanja. Najčešće veličine su RG-6, RG-11, RG-59, a mogu postojati i u različitim bojama. Dodatne prednosti koje pruža koaksijalni kabel su jeftin je u odnosu na ostale kabele, jednostavan je za instalaciju, lako se proširuje, ima dobru otpornost na elektromagnetske interferencije, veliki kapacitet u

odnosu na paricu (ovisi i vrsti kabela) i izdržljiv je. Osnovni izgled kabela je prikazan na slici 10. i bit će detaljnije opisan u nastavku ovog poglavlja.



Slika 10. Koaksijalni kabel, [13]

Koaksijalni kabel se sastoji od sljedeća četiri dijela:

1. Središnja jezgra (*engl. centre core*) koju čini bakrena žica preko koje se prenose podatci, video itd.
2. Dielektrični izolator (*engl. dielectric isolator*) je plastični izolacijski materijal koji se nalazi između središnje jezgre i metalnog štita kao loš vodič električne energije.
3. Metalni štit (*engl. metallic shield*) je bakrena pletenica koja pomaže u zaštiti središnje jezgre od elektromagnetskih smetnji.
4. Vanjski plašt (*engl. plastic jacket*) kojeg čini vanjski sloj od plastičnog premaza koji štiti unutarnje dijelove od fizičkih oštećenja.

Zbog vanjskih oklopa oko unutarnje središnje jezgre elektronička i magnetska polja izvan kabela ne uspijevaju ometati signale unutar kabela. Ta karakteristika čini koaksijalni kabel pogodnim za prijenos signala koji nisu tolerantni na vanjske smetnje.

Kako bi se koaksijalni kabeli mogli spajati međusobno i/ili na druge uređaje, moraju na svojim završecima sadržavati konektore (priključke). Konektori postoje u različitim veličinama kako bi odgovarali različitim izvedbama kabela i omogućili nesmetani prijenos signala. Postoje razne izvedbe konektora, neki čak omogućuju isključivanje unutarnjih baterija kada je uključeno vanjsko napajanje. Mogu postojati u muškoj ili ženskoj izvedbi. Muški koaksijalni

konektori obično imaju jednostavan dizajn, koji kombinira središnju „iglu“ dizajniranu za postavljanje kompatibilnog utikača na ženski konektor, uz električnu kontaktnu točku s oprugom koja se nalazi sa strane. Ženski koaksijalni konektori obično imaju metalnu cijev dizajniranu tako da precizno prima odgovarajuću mušku „iglu“, koji se obično naziva vrhom. Okruženo je izolacijskim slojem te iznad toga vanjskim cilindrom, koji se obično naziva cijev. Koaksijalni kabeli koji se koriste za prijenos RF signala zahtijevaju posebne konektore koji osiguravaju dosljedan električni otpor na mjestima spojeva kablova. To znači da su osjetljivi i lagano se mogu oštetiti.

Glavne izvedbe konektora koaksijalnog kabela su : 7/16 DIN konektori, BNC konektori, F konektori, FME konektori, MBX konektori, MCX konektori, MMBX konektori, N konektori, OSMT konektori, OSP konektori, QLI konektori, QMA konektori, QN konektori, SHV konektori, SMA konektori, SMB konektori, SMC konektori, SMP konektori, TNC konektori, Triax konektori, Twinax konektori, UHF konektori i UMCC konektori. Najčešći oblik konektora koji se kod emitiranja video usluga koristi su F konektori, BNC konektori i Triax konektori. F konektori se najčešće koriste kod opreme koja se nalazi kod korisnika, a mogu biti „muški“ ili „ženski“ te se koriste za RG 6 i RG 59 kablove. BNC konektori koriste se za profesionalnu i testnu opremu, omogućuju brzo povezivanje i odvajanje te također postoji „muška“ i „ženska“ izvedba konektora. Triax konektori su skuplja varijanta muškog BNC konektora, omogućuje veću propusnost i bolju zaštitu [14].

### 3.2.2. Kabelsko RF pojačalo

Izlaz iz optičkog čvora može sadržavati po šest velikih koaksijalnih vodova. Svaki od tih vodova prosječno može opskrbiti signalom od 1800 do 3900 pretplatnika ovisno o načinu izvedbe. Da bi to bilo moguće svaki od koaksijalnih vodova se mora toliko puta i razdijeliti na više vodova kako bi se signal mogao poslati do kućanstva od svakog pretplatnika. Koaksijalni kabeli se mogu razdijeliti uz pomoć mrežnih preklopnika ili preko RF pojačala koji može imati više izlaza. Snaga signala opada s metrom udaljenosti i sa svakim mrežnim preklopnikom pa je iz tog razloga potrebno koristiti RF pojačala. Pojačala mogu biti pasivna ili aktivna. Pasivna pojačala mogu raditi bez napajanja dok aktivna moraju biti spojena na neku vrstu strujnog izvora. Pojačalo pojačava snagu signala, neka čak i do 32 puta bez generiranja šuma. Također

poboljšava frekvencijski raspon, a neka pojačala pružaju dvosmjerno pojačanje signala, što znači da i signali koji se šalju u drugom smjeru prema *head-endu* moraju biti pojačani.

Za primjer pojačalo kao na slici 11 ima pojačanje od 50 dB na RF ulazne signale kako bi se kompenzirao gubitak i slabljenje signala nakon dugog prijenosa kabelom. Koristeći ovo jednostavno pojačalo sa slike signal se može produžiti i do 650 metara bez ikakvih gubitaka ako je snaga izvornog signala dovoljno jaka (75 dB). Također, važno za ovaj rad je napomenuti da se prije ulaza signala u pojačalo mora osigurati da ne dolazi do generiranja šuma. Ako se generirao šum prije ulaza, pojačalo će sa željenim signalom pojačavati i neželjeni šum. Na pojačalu sa slike 11 ulazni i izlazni signali se primaju i šalju preko F konektora na koje se spaja koaksijalni kabel. Radi se o aktivnom pojačalu, a naponski ulaz se nalazi u gornjem lijevom kutu.



Slika 11. RF pojačalo, [15]

Dodatne značajke pojačala sa slike 11 je da ima brojčanik za reguliranje pojačanja od 0 do – 18 dB kako bi se izbjegla prevelika pojačanja. To može uvelike pomoći tehničarima kako bi prilikom instalacija usluga pretplatnicima mogli postići optimalnu razinu signala pa samim time i najbolju kvalitetu usluge. Posjeduje i regulator nagiba, on pomaže tehničaru da uravnoteži sve signale (ako ih ima više) koji se prenose istom izlaznom amplitudom. Budući da će ultra velike frekvencije UHF (*engl. Ultra High Frequency*) imati veće gubitke nakon pređene

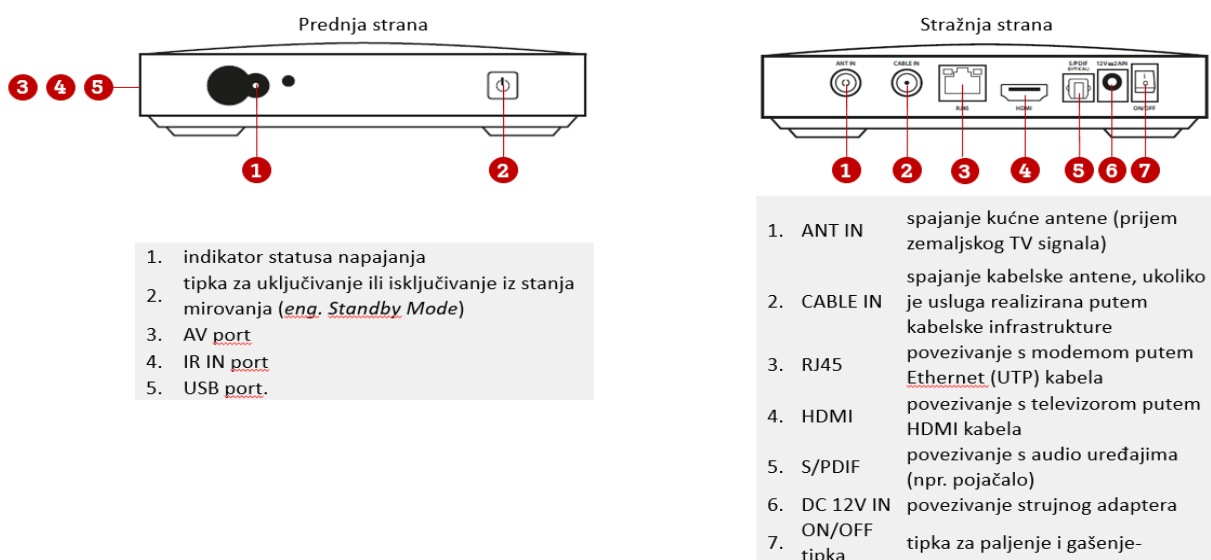


udaljenosti od jako velikih frekvencija VHF (*eng Very High Frequency*) kompenzacija od 0 do -16 dB koju ima ovaj pojačivač omogućuje pravilno uravnoteženje. Još jedna velika zanimljivost kod pojačivača na slici 11. je testni izlaz. On pruža -20 dB izlaz i ulaz kako bi detektiranje problema bilo puno jednostavnije [15].

### 3.3. Oprema kod korisnika

HFC mreža služi za prijenos podataka ali da bi arhitektura kableske televizije bila potpuna i funkcionalna na mrežnim završecima potrebni su uređaji koji će moći primati, interpretirati i slati podatke. Sa strane pružatelja usluga te uređaje predstavlja oprema koja se nalazi kod korisnika. Ako je pružatelj usluge telekomunikacijski operator, oprema koja se u većini slučajeva nalazi kod korisnika je RF preklopnik, modem i STB.

Od najbližeg čvorišta u mreži, odnosno kako je prikazano na slici 9 od RF pojačala do određene lokacije se provlači odgovarajući koaksijalni kabel. Kabel se provlači do korisnika nadzemno preko stupova (obično se radi o postojećim rasvjetnim stupovima ili stupovima od električnih kompanija) ili podzemno. Kabel koji se nalazi u odgovarajućem objektu se tada uz pomoć RF preklopnika dijeli na potrebni broj priključaka. Svaki od uređaja, modem i STB za rad trebaju imati svoj vlastiti signal, što znači da moraju imati spojen koaksijalni kabel. Na slici 12 je prikazan STB koji će se koristiti na eksperimentima u nastavku ovog diplomskog rada.



Slika 12. STB Kaon4020

Model STB-a prikazan na slici 12 je Kaon4020 koji proizvodi tvrtka Kaon. To je vodeća tvrtka koja razvija i proizvodi uređaje i usluge za digitalno povezivanje u TV industriji i širokopojasnog pristupa Internetu. Kaon4020 se kao *hardware* može koristiti u različite svrhe ovisno o *softwareu* koji je instaliran na njemu (IPTV, DVB-C, OTT itd.). Ako se STB nalazi na HFC mreži kao što je slučaj u ovome diplomskom radu onda se radi o kabelskom STB-u (DVB-C). Kabelski STB znači da mu se signal dostavlja putem koaksijalnog kabela koristeći F konektor. Osim koaksijalnog kabela ima i utore za druge uređaje kao što su USB, infracrveni senzor i ostale koji su prikazani na slici 12. Za osnovni ispravni rad STB-a u ovome slučaju potrebno je priključiti kabel za napajanje, HDMI kabel i lan (UTP) kabel. HDMI kabelom je potrebno povezati STB i korisnički TV uređaj na kojem se prikazuje slika. STB prima signal, dekodira ga i šalje video na TV uređaj preko HDMI kabela bez ikakvih gubitaka. Koaksijalni kabel, odnosno signal unutar njega se koristi za emitiranje televizijskih programa uživo. Kako bi se omogućilo i korištenje interaktivnih usluga STB se mora spojiti s modemom putem lan kabela (broj 3 na slici 12). Interaktivna televizija je vrsta spoja televizije s podatkovnom povratnom vezom, bilo preko slanja programa na zahtjev, trgovine, bankarstva ili nekih drugih usluga i ponuda. Ona predstavlja prelazak gledanja TV-a do potpune interaktivnosti gdje korisnik sam bira što i kada gleda i pristupa svim korisniku relativnim informacijama preko STB-a. Povratna veza se ostvaruje putem lan kabela koji je spojen na modem, pa od modema se zahtjev šalje do *headend-a* ili ostalih poslužitelja potrebnih za posluživanje. Kod korištenja interaktivnih usluga kao što VoD, pogledaj iz prošlosti (*Catch up/Start over*) ili snimalica PVR (*engl. Personal Video Recorder*) signal se više ne emitira svima putem kabela (*engl. broadcast*) nego se koristi jednosmjerno odašiljanje (*engl. unicast*) koji se prenosi preko modema do STB-a.

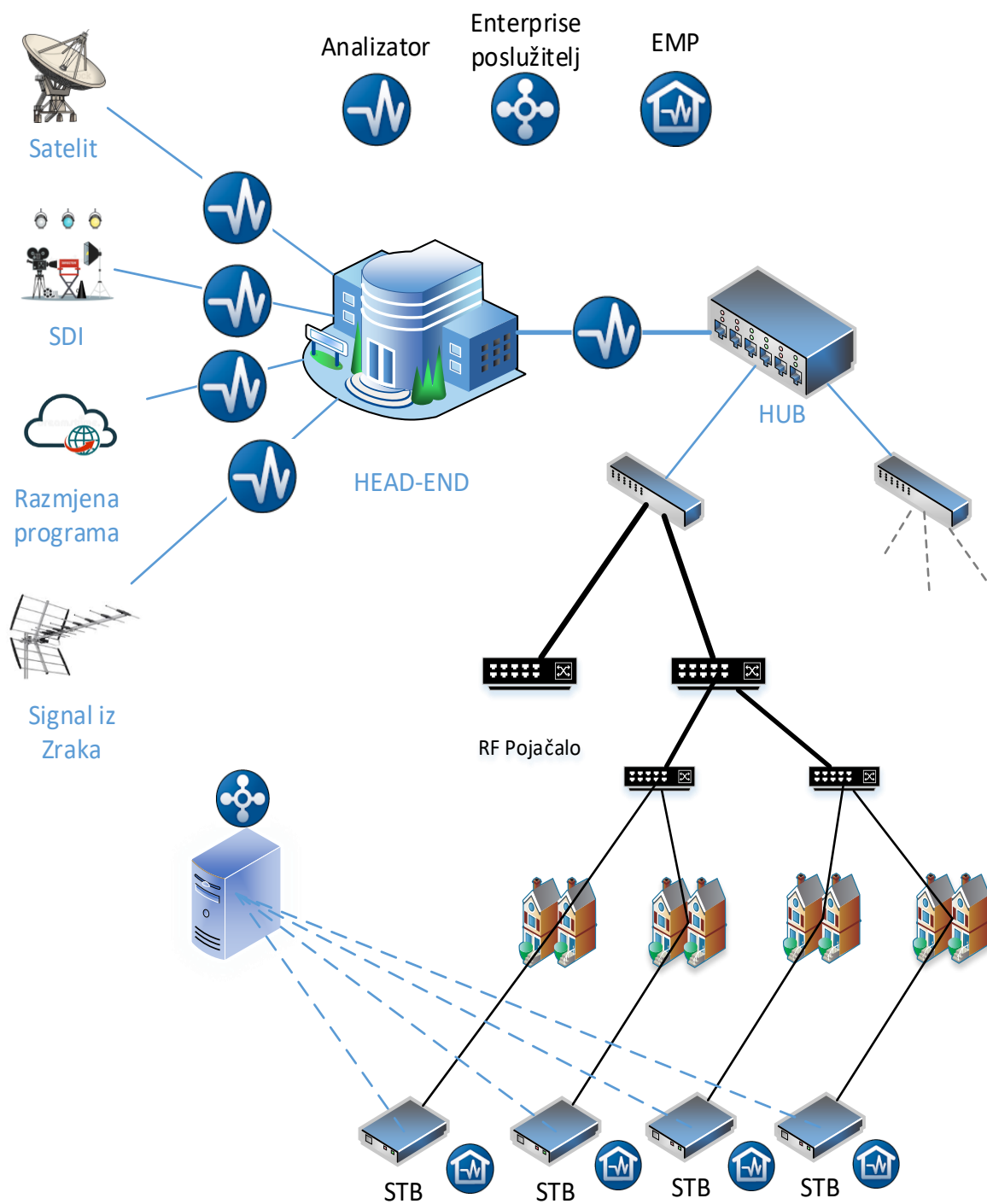
Bitno je napomenuti da u najvećem broju realnih situacija kod degradacija video usluga se problem nalazi kod korisnika, odnosno opreme ili načina na koji je ta oprema postavljena. Korisnici često sami znaju mijenjati, prespajati i premještati opremu, a to prouzrokuje smetnje koje dovode do degradacije usluge. Iz tog razloga, važno da je oprema kod korisnika postavljena pravilno. Oprema mora biti postavljena na vodoravnu podlogu, dalje od izvora topline ili direktne sunčeve svjetlosti, na suhom i u blizini pregrada (polica) kako bi se izbjegle refleksije i smetnje na infracrvenom prijemu.

## 4. Alat za praćenje i analizu kvalitete signala

Paralelno s razvojem video usluga rasla je i potreba za kvalitetnim mjerenjem kvalitete videa, performansi i usluge koja je isporučena krajnjem korisniku. Očekivanja korisnika za kvalitetu i stabilnost usluge su danas jako velika i može se reći da je gotovo nedopustiv scenarij za svakog pružatelja usluga da dođe do nekakvog dužeg ispada i prekida video usluge. Manje degradacije usluga postoje i nije ih moguće ukloniti u potpunosti ali se njihova pojava pokušava svesti na minimum. Da bi se sustav mogao održavati i unaprijediti prvo ga se mora moći nadzirati. Kvaliteta videa i njegove performanse izravno utječu na korisničko iskustvo, što izravno utječe na poslovne rezultate pružatelja usluga. Kao što je prikazano do sada u ovome radu cijeli sustav za pružanje video usluga korisniku je vrlo velik i kompleksan stoga je jako bitno znati što se događa i gdje. Generiranje mjernih podataka u svakoj fazi lanca isporuke video signala, u kombinaciji sa sustavom povratnih informacija i praćenja, omogućuje pružateljima video usluga da svojim korisnicima ponude što kvalitetniju i stabilniju uslugu. Jedan od sustava koji to sve omogućuje je Agama. To je sustav koji pruža opservaciju i analitiku u stvarnom vremenu, kao i mogućnosti vizualizacije i suradnje za kvalitetu video usluga i korisničko iskustvo. Sustav za analizu i praćenje se može implementirati na širok raspon procesa u cijeloj organizaciji operatora video usluga. Agama je sustav koji je implementiran u HFC mreži koja je opisana u poglavlju 3.3. i koja je korištena u analizi u ovom radu, a sastoji se od sljedećih komponenti:

- analizatori instalirani na strateškim mjestima u mreži
- ugrađene sonde za nadzor u STB - EMP (*engl. Embedded Monitoring Probe*)
- Enterprise poslužitelj koji prikuplja podatke s analizatora i STB-ova te prikazuje potrebne statute (*engl. Enterprise Server*).

Korištenjem svih komponenti je omogućeno praćenje i analiza signala u mreži s kraja na kraj. S kraja na kraj znači da se prati kvaliteta na prijema signala, njegova kvaliteta u *head-endu*, svim bitnim točkama distribucijske mreže (HFC), pa čak i kvaliteta signala koji stiže do STB-a. Osiguranje *head-enda* je kritičan dio svakog rješenja za pružanje video usluga. Pojava problema u stvaranju usluge će brzo utjecati na veliki dio baze korisnika i moraju se rješavati odmah, ili ako je moguće, potpuno izbjegavati [16].



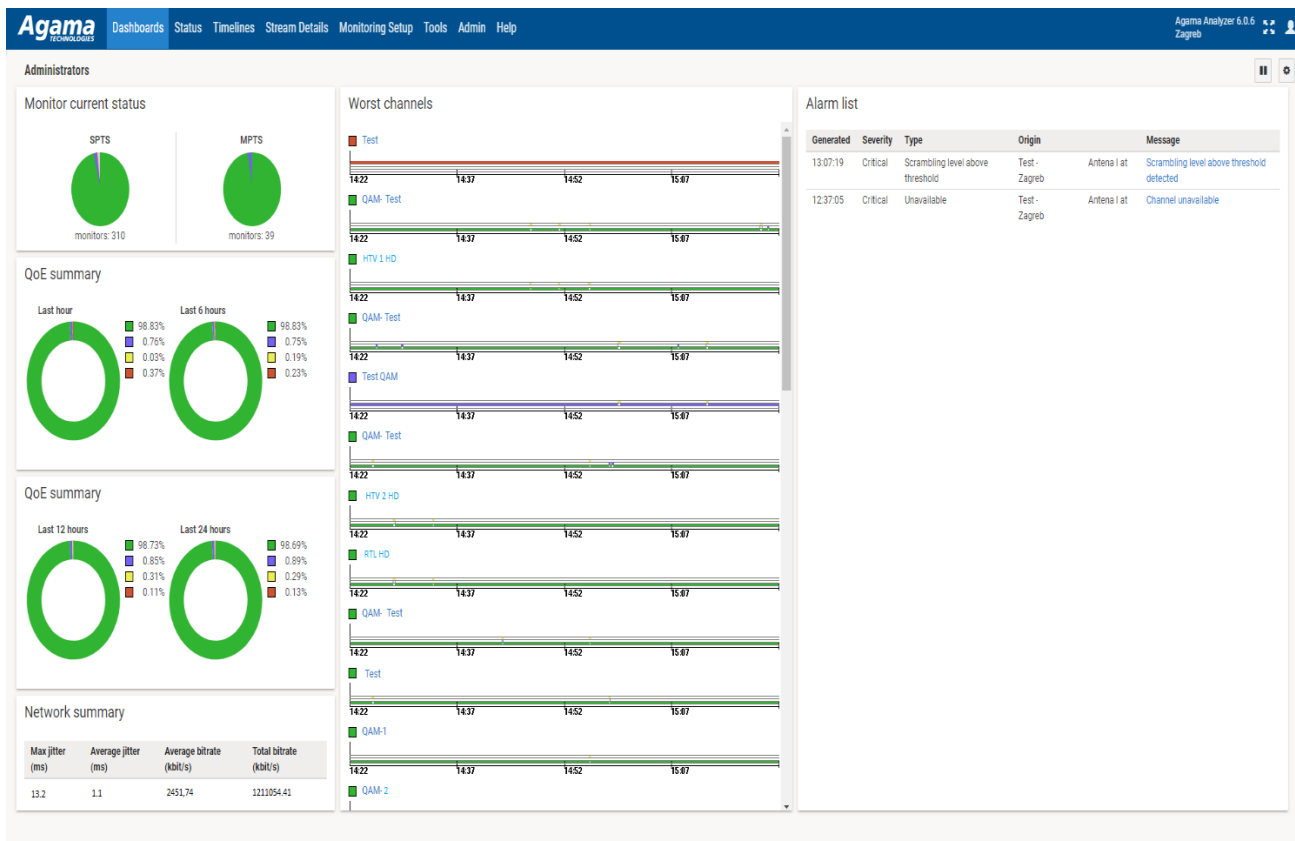
Slika 13. Implementacija sustava za praćenje i analizu kvalitete signala u HFC mreži

Na slici 13. je prikazano na kojim je strateškim mjestima i na koji način može biti ugrađen sustav za praćenje i analizu kvalitete signala u mreži. Svaka od tih komponenti će biti detaljnije prikazana i objašnjena u poglavljima 4.1. i 4.2.

## 4.1. Analizator

Analizatori su raspoređeni na mreži po strateškim lokacijama kao što su *head-end*, nakon glavnih preklopnika ili usmjerivača i u blizini korisnika. Pravilno postavljenim analizatorima na mreži se jednostavno može pronaći gdje je nastala pogreška usporedbom analizatora. Također, zaposlenicima koji rade na održavanju mreže pruža informacije na koje sve dijelove mreže utječe nastala pogreška. Alat koji omogućuje praćenje razine digitalne televizijske usluge 24 sata dnevno u stvarnom vremenu, te objektivno mjeri korisničku percepciju kvalitete usluge i tehničke parametre.

Analizator može primati *multicast* promet na jednaki način kao i IPTV STB. Analizira strujanje toka podataka (*engl. stream*) na razina IP paketa do razine slike u MPEG skupu i na taj način može otkriti pogreške na svim razinama, od onih nastalih u prijenosu do onih u sadržaju. Sve pogreške se pohranjuju, sažimaju i kategoriziraju kako bi se dao pregled koji prikazuje kako korisnik doživljava DVB-C video uslugu. Na istim lokacijama se nalazi više analizatora kako bi se mogao pratiti veći broj programa u isto vrijeme. Lokacija predstavlja izraz koji se koristi za točku na kojoj se obavlja praćenje. Na slučaju HFC infrastrukture sa slike 13, prate se dolazni *multicast*-i na lokaciji prijema signala i modulirani signal na izlazu iz *head-enda*. Moguće je da se jedan analizator nalazi na više lokacija. Na primjer, prilikom transkodiranja na ulazu u transkoder se prate IPTV *multicast*-i koji dolaze, a na izlazu DVB-C kvadratno amplitudne modulacije koje izlaze van u distribucijsku mrežu. Na taj način se prati tok podataka na obje strane transkodera [17]. Način rada, korisničko sučelje i mogućnosti analizatora će biti detaljnije opisani i prikazani u nastavku. Na slici 14 je prikazano početno nadzorno sučelje ili nadzorna ploča (*engl. Dashboard*) analizatora koji analizira ulazne *multicaste* i izlazne kvadratno amplitudne modulacije u stvarnoj HFC mreži. Slike su snimljene na analizatoru koji se nalazi u stvarnoj HFC mreži pružatelja usluga pa su povjerljivi podatci vidljivi na slikama poput *multicast* adresa, rezultata kvalitete mreže, naziva, statistika, adresa sakriveni ili izmijenjeni (lažirani).



Slika 14. Početna nadzorna ploča

Nadzorna ploča je sažeti prikaz koji prikazuje kompaktne sažetke ukupne kvalitete usluge. Omogućuje pregled na prvi pogled kako bi se utvrdila kvaliteta usluge u sustavu, automatski se osvježava pa zaposlenici koji rade na praćenju i održavanju mogu odmah uočiti pogreške ako do njih dođe. Korisnici analizatora si sami mogu odabrati *Widžete* koji su im najbitniji da se prikazuju na nadzornoj ploči. U cijelom sustavu postoje boje za otkrivanje statusa kanala:

- Zelena znači dobro, niti jedna greška nije uočena.
- Plava označava manja izobličenja, tehničke probleme koje bi pružatelj usluge trebao istražiti, ali obično nisu izravno vidljivi krajnjem korisniku.
- Žuta znači velika izobličenja, što će utjecati na iskustvenu kvalitetu krajnjeg korisnika.
- Crveno znači nedostupan, odnosno potpuni gubitak TV usluge, što je najviša razina pogreške.
- Siva boja označava zaustavljeno praćenje.

Na slici 14, u gornjem lijevom kutu na grafikonu je prikazano stanje svih programa koji se analiziraju. SPTS označuje pojedinačne programe dok MPTS one izlazne. Cilj pružatelja usluge

je da grafovi poput ovoga budu u potpunosti zeleni što više vremena je to moguće. Na sredini ekrana je prikazano stanje tokova podataka (*engl. streams*) razvrstanih od najgoreg u posljednjih sat vremena. Na taj način zaposlenici održavanja mogu na vrijeme uočiti problem i otkloniti ga u najbržem mogućem roku. Na slici 14 je vidljiv prvi kanal „Test“ čiji je graf u potpunosti crven. Crveno znači da je usluga potpuno nedostupna, pa stoga korisnici koji se opskrbljuju s tim signalom ne bi mogli gledati taj program. Pošto se radi o pojedinačnom programu, a ne o čitavom QAM-u iz prvog pogleda se odmah može zaključiti da je problem u samom prijemu signala (analizator je postavljen na tu lokaciju). Zaposlenici iz održavanja ispravljaju problem na prijemu ili prijavljuju vlasniku sadržaja da postoji problem s dolaznim signalom.

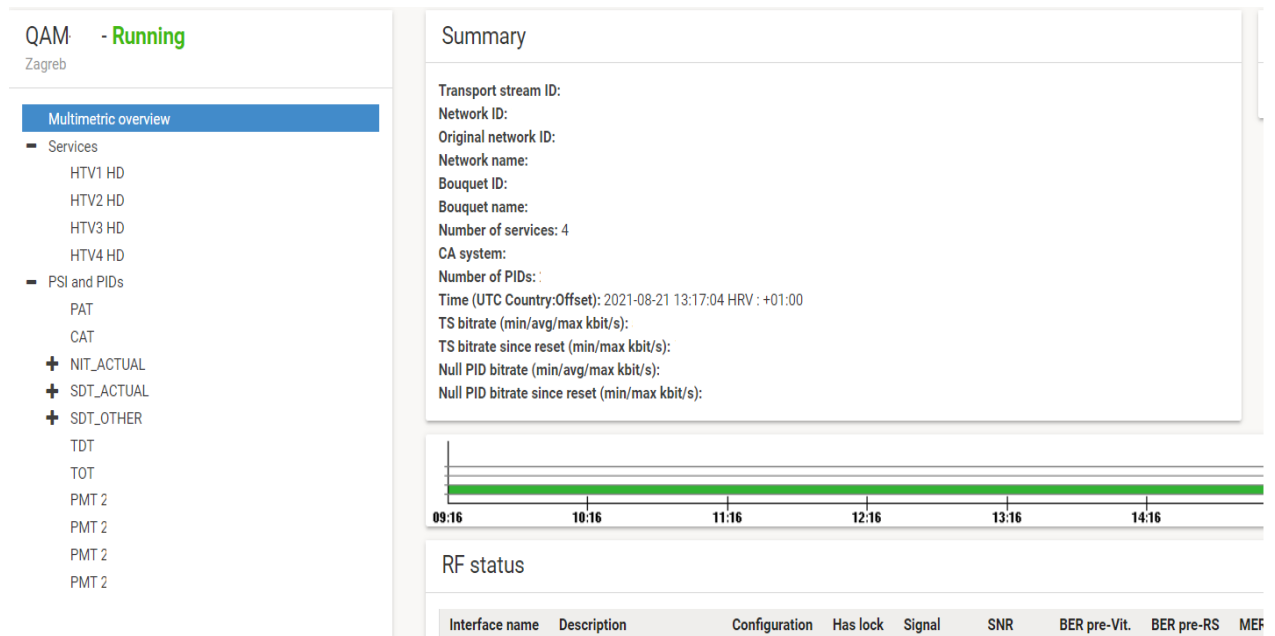
Analizator nudi i druge mogućnosti kao što je identifikacije pogreške kada je detektirana degradacija nekog određenog *multicasta* ili možda čitavog QAM-a. Odlaskom na ekran prikaza konfiguracije „*Monitor configuration*“ ispisani su nazivi svih kanala, njihovi pripadajući *multicasti*, portovi ili frekvencije koji taj analizator prati. Na slici 15 je prikazano kako izgleda niz kanala i koji su sve podatci vidljivi na ekranu.

<input type="checkbox"/>	Info	Name	Channel	Template	Video codec	Level	Source	RR	Status	Actions
<input type="checkbox"/>		Test-Diplomski 1 HD	119.36.163:200	9G SPTS H264 LAN	AVC	Transport Stream level	glaf12	No	Running	Stop Edit Delete
<input type="checkbox"/>		Test-Diplomski 2 HD	119.36.164:200	9G SPTS HEVC V	HEVC	Transport Stream level	glaf12	No	Running	Stop Edit Delete
<input type="checkbox"/>		Test-Diplomski 3 HD	119.36.169:200	9G SPTS H264	AVC	Transport Stream level	glaf12	No	Running	Stop Edit Delete

Slika 15. Konfigurirani *multicasti*

Prvim pogledom na ekran vidljivi su već neki podatci koji bi mogli biti od pomoći u detektiranju ili otklanjanju pogreške. Npr. u slučaju problema sa slike 14. potrebno je pronaći kanal koji je crven na listi i provjeriti koji mu je status i je li je ispravno konfiguriran. Odabirom određenog kanala (SPTS) ili QAM-a (MPTS) automatski se odlazi u detaljniji prikaz odabranog strujanja toka podataka. Ovaj se prikaz uglavnom koristi za provjeru svojstava toka kada kanal ne radi kako se očekivalo. Prikaz informacija odabranom strujanju toka podataka prikazuje detaljne ažurirane informacije u stvarnom vremenu, kao što su PID brzine prijenosa, status enkripcije i sav sadržaj informacija u toku podataka. Sve informacije o kanalima koje su opisane u drugom poglavlju bi trebale biti prikazane na ovome ekranu (ako su unesene od strane vlasnika sadržaja ili pružatelja usluga). Odjeljak PSI i PID prikazuje različite tablice (PAT, PMT, CAT, SDT

itd.) I NULL PID u MPTS-u. Radi lakšeg detektiranja ili shvaćanja problema na prikazu sa slike 15 je moguće pogledati kanal koji se analizira kako bi se osoba koja analizira mogla uvjeriti u kojoj mjeri detektirana pogreška utječe na kvalitetu usluge.



Slika 16. Detaljan prikaz MPTS

Na slici 16 je vidljiv detaljni prikaz MPTS-a u kojem se nalaze hrvatski nacionalni programi. Iz sigurnosnih razloga su svi povjerljivi podatci uklonjeni sa slike ali je vidljivo koji su podatci dostupni. U slučaju prijave problema od korisnika da dolazi do degradacije usluge na način da su HTV programi nedostupni ovo bi bio prvi korak provjere ispravnosti. Vidljivi su svi podatci i kvaliteta signala, pa bi se vrlo brzo uočio nedostatak, ako on uopće postoji, na ovoj lokaciji. Ako na ovoj razini (izlazu iz modulatora) nije uočen nikakav problem, a korisnik i dalje ima degradaciju usluge znači da se problem nalazi na nekoj lokaciji u distribucijskoj mreži, te postoji velika šansa da je degradacija nastala radi interferencija. Na ekranu je prikazan RF status koji pomaže u pogreškama vezanim uz radio frekvencijske interferencije. RF konfiguracija omogućuje konfiguriranje RF sučelja analizatora, a RF status daje pregled ovih sučelja. Parametri koji su prikazani ispod RF statusa su [17]:

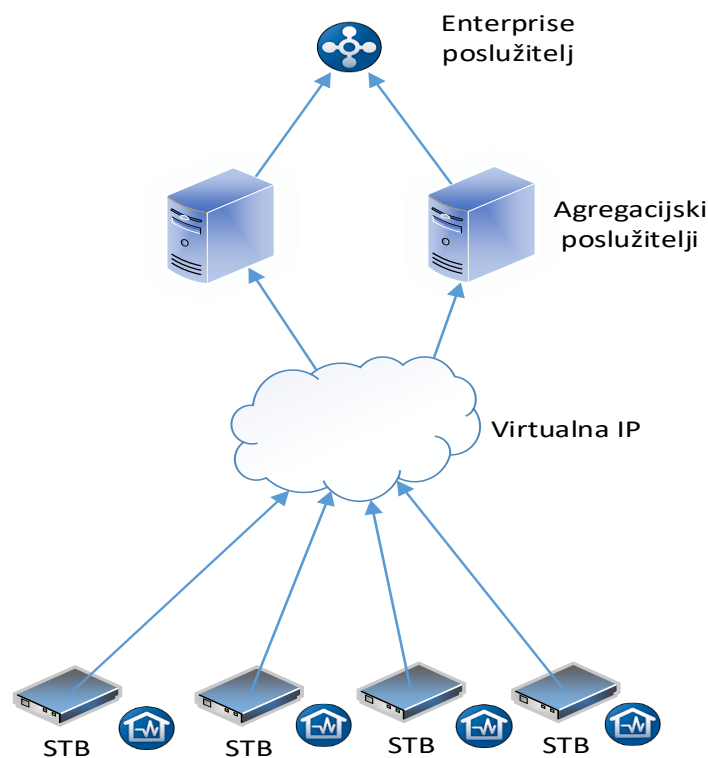
- Ime (*engl. name*)- interni naziv koji se koristi za određeno sučelje
- Opis (*engl. description*) - pojedivosti o vrsti sučelja, marki i modelu
- Zaključano (*engl. has lock*) - ako je sučelje pronađeno i namješteno ispravno na taj signal



- Signal – jačina dolaznog signala.
- $S/N$  (engl. *SNR*)- omjer signal šum
- MER (engl. *Modulation Error Rate*) – omjer pogreške modulacije.

## 4.2. Enterprise sustav za praćenje kvalitete usluge

*Software* za praćenje instaliran u STB-ima je rješenje za praćenje kvalitete usluge do kraja. Omogućuje precizno praćenje kvalitete za svakog korisnika i otkrivanje grešaka ili interferencija nastalih u posljednjim kilometrima ili u kućnoj mreži.

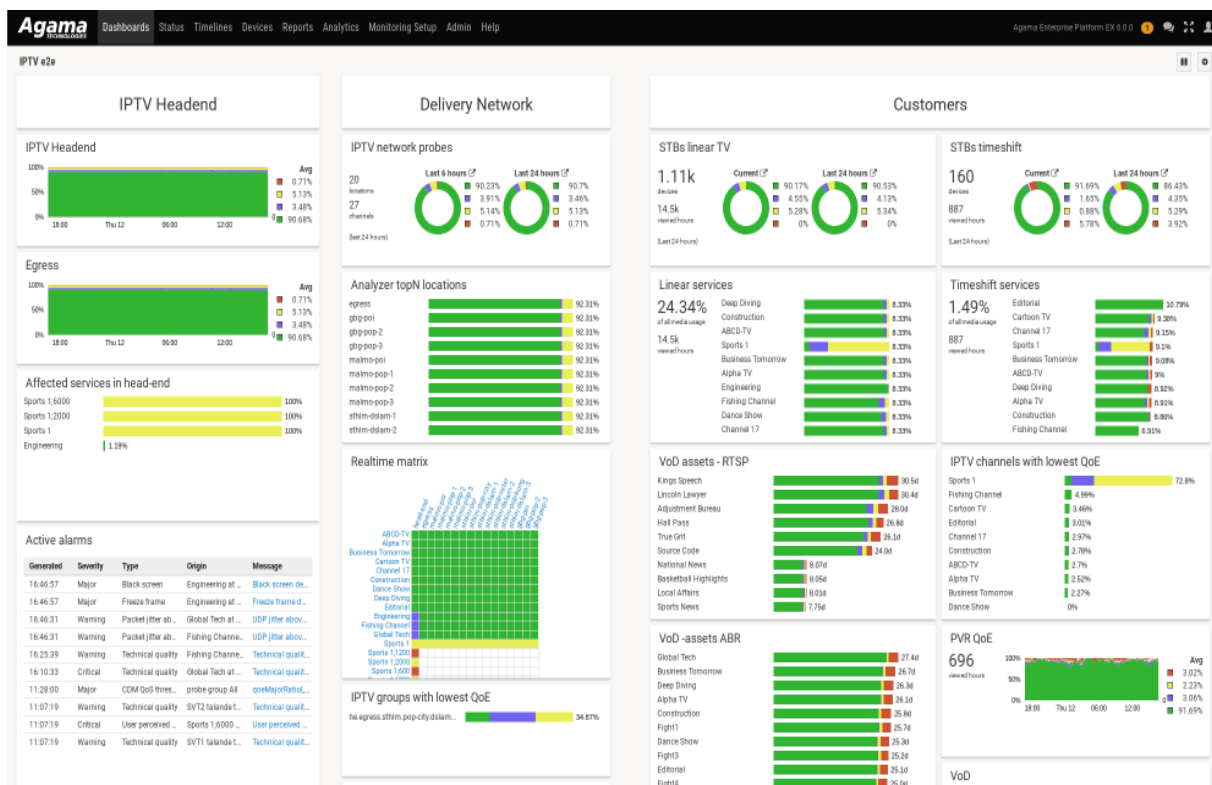


Slika 17. Struktura sustava za praćenje kvalitete usluge do kraja

Na slici 17 se vidi cjelokupna struktura i kako teče cijeli proces sustava za praćenje kvalitete s ugrađenim *softwareom* u STB-u. STB s instaliranim *softwareom* šalje podatke o kvaliteti i gledanosti kanala prema agregacijskim poslužiteljima. Izvješća se šalju prema agregacijskim poslužiteljima u intervalima i u svakom izvješću se nalaze sve pogreške tijekom tog intervala. Osim pogrešaka izvješća sadrže i informacije o temperaturi, disku, centralnoj procesorskoj jedinici, uporabi memorije itd. Radi bolje statistike i preglednosti STB-i se skupljaju u različite skupine, na temelju njihovog zemljopisnog položaja, lokacije ili drugih kriterija. Agregacijski poslužitelji primaju podatke, obrađuju ih i spremaju. Enterprise poslužitelj traži sažete

informacije od svih agregacijskih poslužitelja i prikazuju ih na razne načine korisnicima sustava. STB uređaji raspoznaju kanale samo prema DVB podacima ili *multicast* adresi i portu, a Enterprise poslužitelji su ti koji povezuju ime i odgovarajući kanal. Integrirani *software* prikuplja podatke kada god je STB uređaj uključen. Izobličenja i iskustvena kvaliteta usluge QoE (*engl. Quality of Experience*) se prikuplja zateleviziju uživo i za interaktivne usluge kao što su VoD i gledanje iz prošlosti. QoE podaci se ne prikupljaju za zakazana snimanja, osim ako se video ne gleda istovremeno dok se i snima.

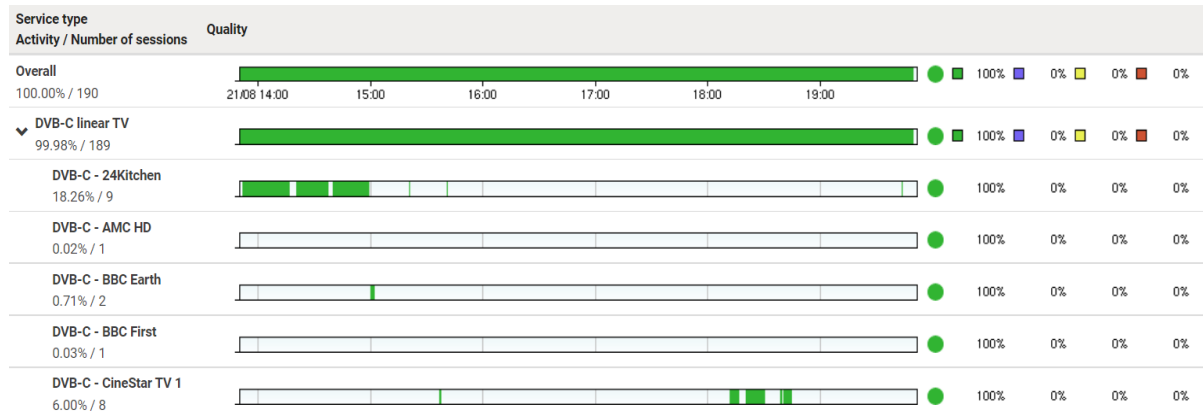
Enterprise poslužitelj je glavni centralni sustav koji omogućava korelaciju i prezentaciju informacija sa svih povezanih analizatora i poslužitelja, od svih generiranih alarma, izvješća, API (*engl. Application Programming Interface*) poziva te omogućuje daljinsko upravljanje analizatorima. On pruža pregled cijele video usluge s kraja na kraj.



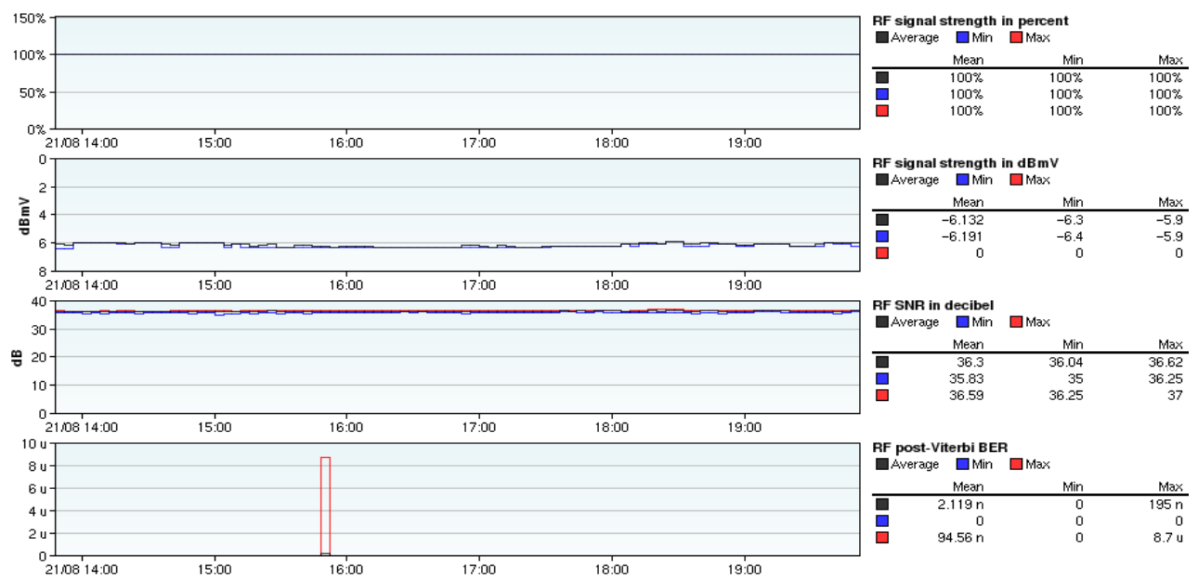
Slika 18. Početni ekran Enterprise platforme

Na početnom ekranu sa slike 18 su prikazani svi nadzorni ekranu. Nadzorna ploča je sažeti prikaz koji prikazuje kompaktne sažetke ukupne kvalitete usluge. To omogućuje pregled na prvi pogled, kako bi se utvrdila kvaliteta usluge u sustavu. U slučaju HFC mreže koja je predmet analize u ovome diplomskom radu su na ovom ekranu ispisana stanja svih signala po različitim

regijama i lokacijama u posljednjih sat vremena, jednom danu ili u zadnjih 7 dana. Prikaz tih nadzornih ploča pruža vrlo dobar uvid u stanje čitave mreže. Na taj način se vrlo lagano može uočiti kvaliteta signala po određenim lokacijama. Također, pruža dobar prikaz u kojim područjima je kvaliteta usluga lošija što nudi dobru podlogu za planiranje potrošnje resursa za održavanje mreže.



Slika 19. Detalji pojedinog STB-a



Slika 20. Prikaz stanja RF signala pojedinog STB-a

Prikazi sa slika 19 i 20 prikazuju osnovne parametre i upotrebu za pojedinačni korisnikov STB tijekom zadanog vremenskog intervala, uključujući kanale koje je koristio i točan trenutak (vremenska razlučivost je jedan interval izvješća) za izobličenja koja doživi korisnički uređaj. Zbog mogućnosti preciziranja kada je došlo do izobličenja, lako se može uspostaviti korelacija između pojedinih korisničkih uređaja i/ili skupina uređaja. Parametri koji

se na ovome ekranu mogu vidjeti su: Iskoristivost centralne procesorske jedinice, slobodna memorija, brzina ventilatora, temperatura tvrdog diska, brzina prijenosa TSa, RF MER, RF BER (*engl. Bit Error Rate*), RF snaga signala u dBmV, RF omjer signal šum, slobodna memorija diska, broj konkurentnih snimanja i kašnjenje interaktivnih usluga. Ovaj ekran je vrlo koristan prilikom detekcije problema kod pojedinih korisnika [18].

## 5. Utjecaj interferencija na video uslugu

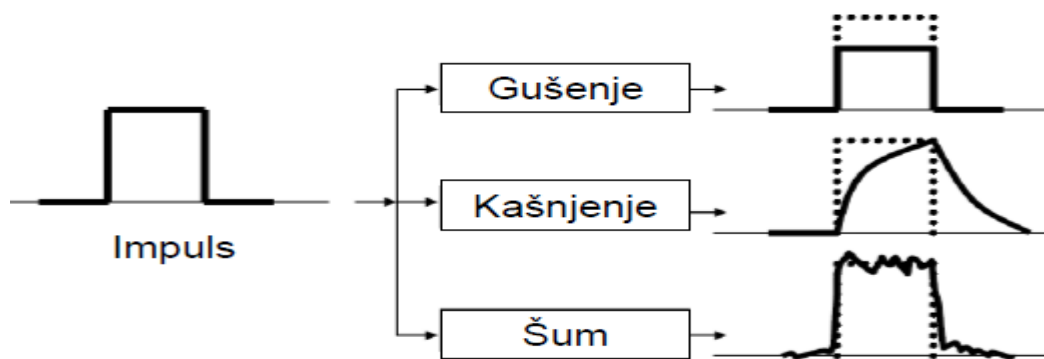
Interferencije koje utječu na video uslugu i o kojima će biti riječi u ovom poglavlju su radio frekvencijske interferencije RFI (*engl. Radio Frequency Interference*). Radio frekvencijske interferencije spadaju u pod vrstu elektromagnetskih interferencija EMI (*engl. Electromagnetic Interference*) kako radio frekvencijski spektar predstavlja samo dio elektromagnetskog spektra. U telekomunikacijama, interferencije su sve što mijenja ili ometa signal dok putuje po komunikacijskoj mreži od izvora signala do prijemnika. Izraz interferencija se obično odnosi prilikom dodavanja neželjenog signala korisnom (izvornom) signalu. Radio frekvencijske interferencije nastaju kada neželjeni signal ulazi u ulazni dio prijemnika (u ovom slučaju STB), pa ili uzrokuje male smetnje za uslugu ili u potpunosti onemogućuje uslugu. Signali mogu biti analogni ili digitalni. Digitalni signali se sastoje od niza nula i jedinica i njihov valni oblik se sastoji od pravokutnih impulsa.

### 5.1. Pogreške u prijenosu

Digitalni signal prilikom prijenosa HFC mrežom ima dva osnovna ograničenja. Interferencije među simbolima digitalnog signala ISI (*engl. Intersymbol Interference*) koje nastaju radi frekvencijskih karakteristika prijenosnog signala i generiranje šuma u komunikacijskom kanalu. Šum predstavlja neželjeni signal koji se javlja na izlazu prijenosnog kanala zajedno s izvornim željenim signalom. Frekvencijska širina pojasa kojom se prenosi signal je ograničena stoga se ograničava i širina pojasa digitalnog signala, a to se radi filtriranjem. Neželjene pojave koje nastaju prilikom prijenosa digitalnog signala komunikacijskom mrežom mogu se podijeliti u tri cjeline [19]:

- gušenje signala
- kašnjenje signala (povezano je s izobličenjem)
- šum.

Na slici 21 je s lijeve strane prikazan izvorni izgled impulsa prije prijenosa, a s desne stanje kako svaka od tri navedenih pojava djeluje na izgled i karakteristike impulsa. U nastavku će svaka od tri pojave biti detaljnije opisana ali pojava najbitnija za ovaj rad je šum.



Slika 21. Degradacija digitalnog signala u prijenosu, [19]

Gušenje u HFC mreži uzrokuje smanjenje snage izvornog signala s metrom udaljenosti, pa se iz tog razloga na proračunatim dijelovima mreže ugrađuju RF pojačala. Gušenje ovisi o prijenosnom mediju koji je u ovom slučaju koaksijalni i optički kabel, te o frekvenciji signala. Porastom frekvencije raste i utjecaj gušenja na signal. Gušenje se je vrlo jednostavno za izračunati i može se izračunati na dva načina kako je prikazano formulama (1) i (2).

$$L = 10 \log (P_{ul}/P_{izl}) \text{ [dB]} \quad (1)$$

$$L = 20 \log (U_{ul}/U_{izl}) \text{ [dB]} \quad (2)$$

Oznake imaju sljedeće značenje:

- $L$  – gušenje izraženo u decibelima (dB)
- $P_{ul}$  – snaga signala na ulazu u mrežu
- $P_{izl}$  – snaga signala na izlazu iz mreže
- $U_{ul}$  – napon na ulazu na ulazu u mrežu
- $U_{izl}$  – napon na izlazu na izlazu iz mreže.

Kod kašnjenja bitno je još i napomenuti izobličenja signala koje mogu nastati. Izobličenja nastaju radi promjenjivosti kašnjenja te također mogu utjecati na uslugu. U digitalnim komunikacijama ova pojava izaziva proširenje impulsa i smetnje među simbolima (komponente signala jednog bita se proširuju na položaje drugih bita) koje ograničavaju brzinu prijenosa u sustavu. Izobličenja nastala zbog djelovanja komunikacijskog kanala ispravljaju se uporabom *ekvalizatora* [19].

### 5.1.1. Šum

Šum se može definirati kao neželjena električna ili elektromagnetska energija koja degradira kvalitetu signala i podataka. Šum se javlja u digitalnim i analognim sustavima i mogu utjecati na datoteke i komunikaciju svih vrsta. Ovi neželjeni signali proizlaze iz različitih izvora i mogu se klasificirati kao umjetno proizvedeni ili prirodni. Umjetni šum može proizlaziti iz bilo kojeg dijela elektroničke opreme (npr. napajanje). Umjetni izvori šuma imaju zajedničko svojstvo da se njihov utjecaj može ili otkloniti ili minimalizirati kvalitetnim inženjerskim dizajnom. Degradacija DVB-C video usluga koja nastaje uslijed emisija radiodifuznih sustava nastaje radi generiranja šuma unutar komunikacijskog kanala, odnosno HFC mreže. Šum bi u tom slučaju bio signal radiodifuznih sustava koji na nekoj određenoj lokaciji upada u komunikacijski kanal kojim se prenosi video signal. Šum je u praksi prisutan uvijek i svuda u komunikacijama i nikada ga nije moguće u potpunosti ukloniti ali njegova pojava se pokušava svesti na minimum. Postoji četiri vrste šuma, a to su [19]:

- termički šum
- intermodulacijski šum
- preslušavanje
- impulsni šum.

Termički šum je prirodni šum i njega se ne može regulirati. Svaki prijamnik unosi vlastiti termički šum i povećava njegovu ukupnu razinu u signalu. Nemoguće ga je otkloniti pa se način uporabe termičkog šuma najbolje opisuju statistički.

Intermodulacijski šum može biti prisutan u bilo kojem komunikacijskom sustavu koji šalje signale na različitim frekvencijama kroz isti prijenosni medij. Intermodulacijski šum proizvodi signal koji je razlika zbroja dvaju izvornih frekvencija. Intermodulacijski šum nastaje zbog toga što prijenosni medij, odašiljač i prijemnik su nelinearni elementi, što znači da se umjesto izlaza koji odgovara ulazu, izlaz razlikuje od ulaza. Primjer bi bio da postoje dva signala, 25Hz i 10Hz koji dijele isti prijenosni medij i da postoji intermodulacijska buka, ova dva signala bi mogla postati jedan signal na 35Hz [20].

Preslušavanje predstavlja neželjenu spregu između različitih signala. Pojavljuje se zbog električne sprege između upletenih parica u istom kabelu, više signala u koaksijalnom kabelu, neželjenih signala primljenih mikrovalnom antenom, a reda je veličine termičkog šuma [19].

Impulsni šum se ne može predvidjeti. Pojavljuje se povremeno u obliku neregularnih impulsa visokih amplituda. Općenito puno jače utječe na digitalni signal nego na analogni. Izvori njegovog nastanka mogu biti sijevanje, mehaničke sklopke, neonska rasvjeta, itd.

### 5.1.2. Odnos signal šum

Snaga signala pada s metrom udaljenosti dok putuje nekim komunikacijskim kanalom, u ovome slučaju koaksijalnim kabelom. U jednom trenutku s metrima udaljenosti šum može postati ograničavajući faktor za realizaciju usluge. Kada se razmatra utjecaj šuma na uslugu vrlo je bitan faktor relativan odnos snage signala i šuma. U tom smislu definicija omjera signala i šuma SNR (*engl. Signal to Noise Ratio*) je relativan omjer između željenih informacija ili snage signala i neželjenog signala ili snage pozadinske buke. Omjer snage signala (S) i snage šuma (N) naziva se odnos signal/šum S/N (*engl. Signal/Noise*) i izražava se u decibelima (dB). Omjer signala i šuma se izračunava koristeći formulu (3).

$$S/N[dB] = 10\log_{10}(S[W]/N[W]) \quad (3)$$

Formula (4) računa ako je S/N već u obliku dB, tada se može oduzeti količina šuma (N) od željenog signala (S). Oduzimanje logaritama je ekvivalent dijeljenju normalnih brojeva.

$$S/N = S[dB] - N[dB] \quad (4)$$

Znači, razlika u brojevima predstavlja omjer signal šum. Ovisno računa li se omjer za snagu ili za napon logaritamski omjer se množi s 20 (snaga) ili s 10 (napon).

STB-u je za ispravni rad vrlo bitno da može raspoznati izvorni, odnosno željeni signal, pa je iz tog razloga važno da je omjer signala i šuma što veći. Omjer u nekim slučajevi može značiti funkcionira li usluga ili ne. Na primjer, ako STB prima signal od 65 dBm (decibela po miliwattu), a razina buke je 80 dBm, tada je omjer signala i šuma 15 dB. To bi istodobno značilo da je i snaga signala 15dB.



### 5.1.3. BER

BER je još jedan on nekoliko glavnih performansi prilikom prijenosa podataka. QAM analizatori često prijavljuju BER, isto kao STB i kabelski modemi. BER je omjer bita s greškom i ukupnog broja bita u protoku. Formule (5) i (6) se koriste za određivanje BER-a:

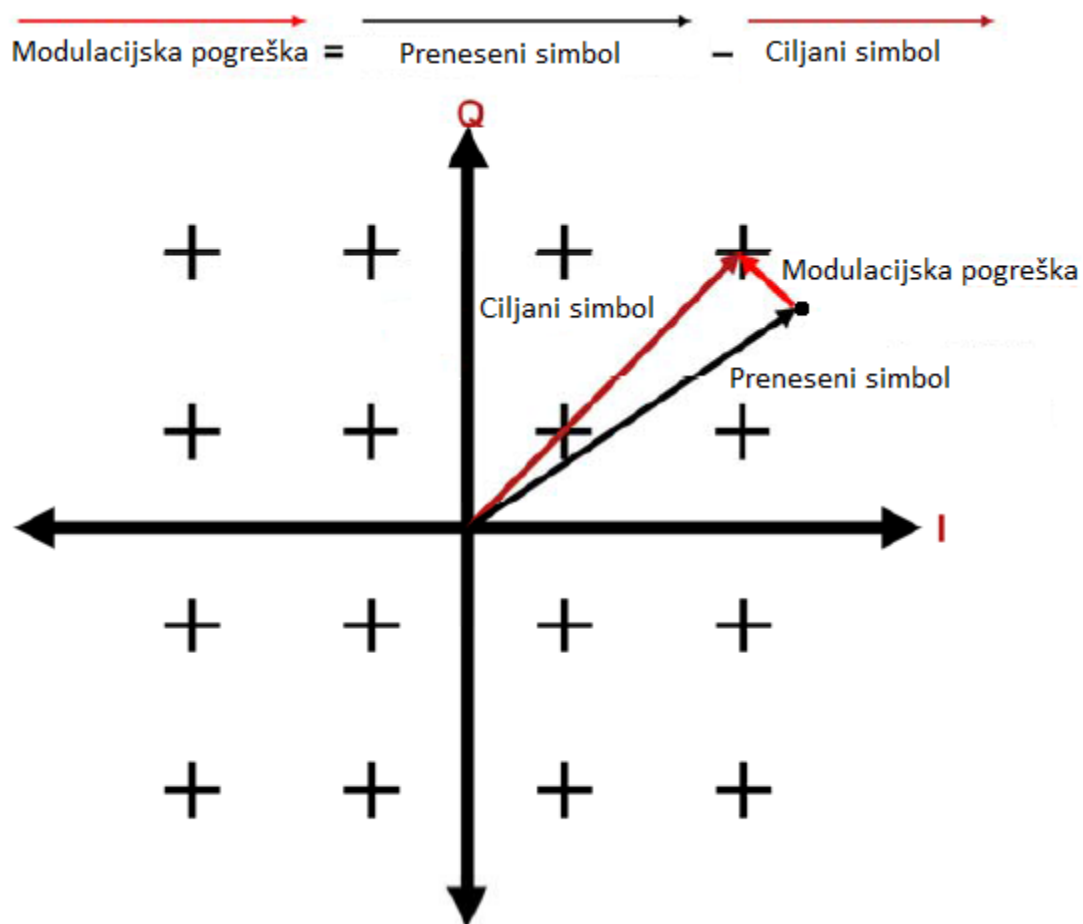
$$BER = (\text{broj bitova sa greškom}) / (\text{ukupan broj bitova}) \quad (5)$$

$$BER = (\text{broj grešaka u određenom vremenu}) / (\text{broj bita u određenom vremenu}) \quad (6)$$

U praksi je signal BER-om  $10^{-7}$  idealan, bez degradacije usluge, a s BER-om  $10^{-4}$  je još s podnošljivom kvalitetom reprodukcije video/audio sadržaja. Još jedan bitan faktor prilikom procjene BER-a je vrijeme mjerenja. Na pitanje koliko vremena treba mjeriti da bi rezultati bili relevantni, odgovor je ovisi ili što se duže mjeri to je rezultat relevantniji. Način na koji se radi BER procjena je jako bitan. Pravo mjerenje BER-a uključuje izvor podataka i detektor pogrešaka. Izvor podataka šalje uzorak preko mreže ili uređaja na kojoj se mjeri, a detektor pogreške mora reproducirati poslani uzorak ili ga nekako direktno primiti od izvora podataka. Tada detektor pogreške uspoređuje primljeni uzorak s onim koji je poslan od strane izvora bit po bit. Svaka razlika na koju naiđe znači da se pojavila jedna ili više grešaka [21].

### 5.1.4. MER

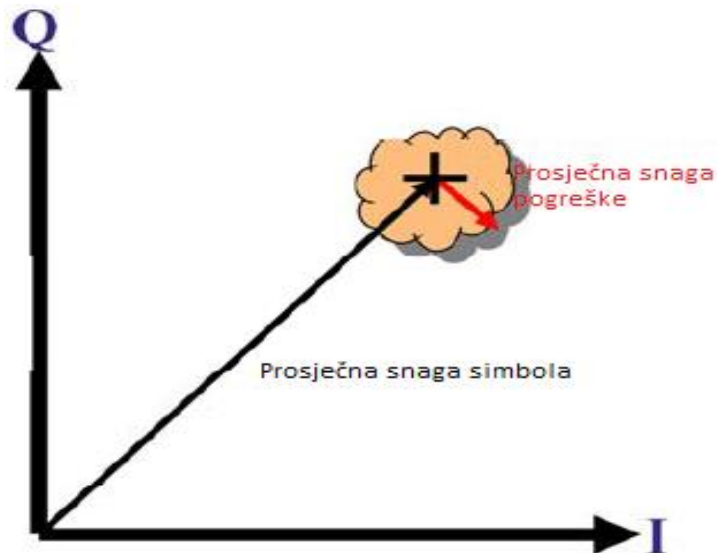
Omjer pogreške modulacije ili MER je mjera koja se koristi za kvantificiranje performansi odašiljača ili prijemnika digitalne televizije u komunikacijskom sustavu koji koristi digitalnu modulaciju (kao što je QAM). Signal poslan s idealnog odašiljača koji prima idealni prijemnik imao bi sve konstelacijske točke na svojim mjestima. Na slici 23 konstelacijske točke predstavlja znak „+“.



Slika 22. Modulacijska pogreška, [21]

Slika 22 prikazuje 16-QAM konstelaciju. U praksi se za prijenos videa kabelom koriste veće razine QAM modulacija ali je QAM-16 uzet za primjer radi jednostavnosti shvaćanja. Savršeni, nepromijenjeni 16-QAM digitalni modulirani signal bi imao sve svoje prenesene simbole točno na konstelacijskim točkama (znak „+“ sa slike). Degradacije u praksi uzrokuju da se preneseni simboli nalaze negdje oko ciljane točke kao što je prikazano na slici 22. Idealni simbol koji želimo prenijeti i primiti je prikazan na slici 22 kao „Ciljani simbol“. Zbog jedne ili više pogrešaka u prijenosu, preneseni simbol je malo drukčiji od idealnog. Modulacijska pogreška je vektor razlike između ciljanog i prenesenog simbola. Iz toga se može reći da vrijedi formula (7):

$$\text{Modulacijska pogreška} = \text{Preneseni Simbol} - \text{Ciljani Simbol} \quad (7)$$



Slika 23. MER, [21]

Na slici 23 su povezana mjesta više pogrešaka za dani simbol u nekom zadanom vremenu. Rezultat prikazan na slici 23 je mali oblik oblaka. MER predstavlja omjer prosječne snage simbola i prosječne snage pogreške i izračunava se formulom (8):

$$MER[dB] = 10\log(\text{prosječna snaga simbola} / \text{prosječna snaga pogreške}) \quad (8)$$

Iz formule (8) je lagano zaključiti da što je MER veći broj to je signal bolji. Pojave koje mogu uzrokovati degradaciju MER-a su: preneseni fazni šum, niski odnos signal šum, linearna i nelinearna izobličenja, upad signala, nepravilne razine signala, neispravna pojačala, neodgovarajući modulacijski profili itd.

## 5.2. Radiodifuzijski sustavi

„Radiodifuzija (radio + difuzija), oblik neusmjerenih radio komunikacija s pomoću radijskih ili kabelskih mreža, namijenjenih velikom broju korisnika koji ispunjavaju prijamne uvjete. Pojam se odnosi i na radio komunikacijsku uslugu u kojoj je odašiljanje radijskih signala namijenjeno izravnomu javnom prijemu; može uključivati odašiljanje zvuka, televizijskoga signala i druge vrste odašiljanja. Radiodifuzija zvuka radiodifuzijska je usluga ograničena na radijske emisije, dok je radiodifuzija televizijskoga signala radiodifuzijska usluga koja uključuje vizualne emisije zajedno s pratećim zvukom. Radiodifuzijsko odašiljanje provodi se odašiljačima smještenima na tlu i/ili na satelitu. U radiodifuziju pripada i kabelska distribucija,

u kojoj se televizijske i radijske emisije distribuiraju mrežom kabela do utvrđenoga broja korisnika (pretplatnika)“ [22]. Radio znači da se odašiljanje podataka vrši unutar radio frekvencijskog spektra. Radio frekvencijski spektar predstavlja veliki dio elektromagnetskog spektra povezan s distribucijom radio valova. Radio frekvencijski spektar se dijeli prema frekvencijama, a različite frekvencije se koriste za različitu uporabu. Podjela RF spektra je prikazana u tablici 3.

Tablica 3. Podjela RF spektra

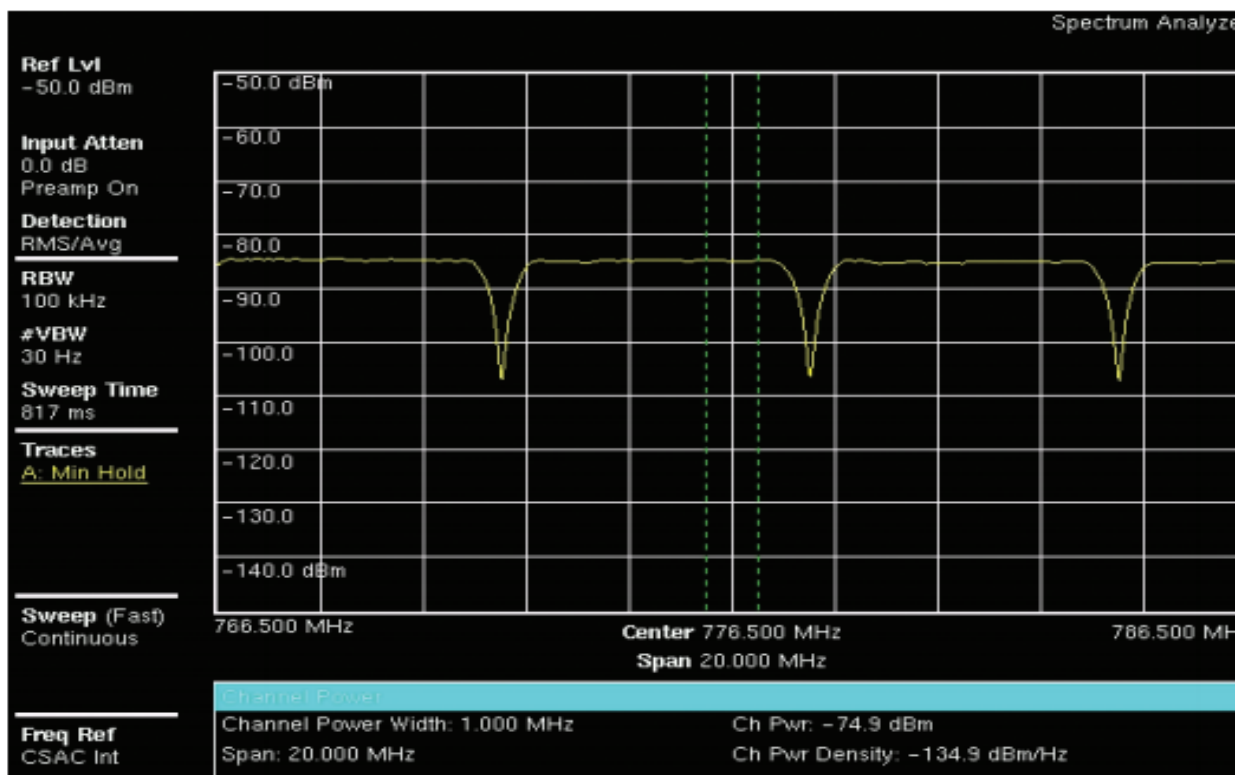
Kratica	Oznaka	Raspon frekvencije	Valna duljina	Uobičajna namjena
ELF	Ekstremno niska frekvencija	3 Hz do 30 Hz	100 mm do 10 mm	Komunikacija podmornica
SLF	Superniska frekvencija	30 Hz do 300 Hz	10.000 km do 1.000 km	Komunikacija podmornica
ULF	Ultraniska frekvencija	300 Hz do 3 kHz	1.000 km do 100 km	Komunikacija u rudnicima
VLF	Jako niska frekvencija	3 kHz do 30 kHz	100 km do 10 km	Komunikacija podmornica, geofizika, bežični EKG monitori
LF	Niska frekvencija	30 kHz do 300 kHz	10 km do 1 km	Navigacija, AM odašiljanje
MF	Srednja frekvencija	300 kHz do 3 MHz	1 km do 100 m	AM odašiljanje
HF	Visoka frekvencija	3 MHz do 30 MHz	100 m do 10 m	Amaterski radio, vojne komunikacije
VHF	Vrlo visoka frekvencija	30 MHz do 300 MHz	10m do 1m	FM odašiljanje, televizija
UHF	Ultra visoka frekvencija	300MHz do 3GHz	1 m do 10 cm	Televizija, mobilna telefonija, bežične LAN mreže, Bluetooth
SHF	Supervisoka frekvencija	3 GHz do 30 GHz	10 cm do 1 cm	Bežične LAN mreže, radar
EHF	Ekstremno visoka frekvencija	30 GHz do 300 GHz	1 cm do 1 mm	Radioastronomija, mikrovalni radio visokih brzina

Izvor [23]

Glavna razlika kod video usluga temeljenih na DVB-T2 ili DVB-C jest prijenosni medij koji se koristi. Kod usluga temeljenih na DVB-T2 standardu radi se o bežičnom prijenosu, što znači da je prijenosni medij zrak. Postavljaju se antene koje odašilju signal u svim smjerovima zrakom u zadanom frekvencijskom pojas. Iskoristive frekvencije unutar frekvencijskog pojasa su ograničene, pa je za njihovu raspodjelu U Republici Hrvatskoj odgovorna Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti HAKOM. Kod DVB-C usluga prijenosni medij je

kabel, a raspodjelu frekvencija unutar RF spektra kabela određuje sam pružatelj usluge, odnosno vlasnik infrastrukture. Usluge koje se nude putem kableske infrastrukture su video usluge i širokopolasni pristup Internetu. S obzirom na to da je osnovna problematika ovog rada pružanje video usluga, najviše pozornosti se daje vrlo visokim frekvencijama i ultra visokim frekvencijama, odnosno pojasu od 30 MHz do 3 GHz zbog svojih prijenosnih karakteristika.

Koaksijalni kabel je vrlo dobro zaštićen, a pružatelj usluga koristi visokokvalitetni koaksijalni kabele u instalacijama kableske televizije koji pokazuju vrlo nisko „curenje“ signala. U laboratorijskim uvjetima frekvencije vanjskih radiodifuznih sustava nemaju nikakvih dodira s onima unutar kabela ali u praksi to nije slučaj. Vanjski vodič (koaksijalni kabel) je podložan mnogim utjecajima (vjetar, kiša, životinje, vandalizam itd.) koji mogu ugroziti integritet kabela i time povećati curenje. Postoje još mnogi razlozi kako dolazi do curenja u praksi što znači da dolazi do ulaska vanjskih frekvencija u frekvencijski spektar kabela. Pošto se koriste iste veličine frekvencija u zraku i unutar kabela za različite usluge ili možda samo programe, dolazi do generiranja šuma i degradacije usluge. Primjer kako izgleda idealni digitalni video signal u RF spektru je prikazan na slici 24.



Slika 24. Idealni digitalni video signal, [24]

Na slici 24 su prikazane dvije QAM modulacije unutar RF spektra koji se nalaze u idealnim uvjetima. Pružatelji kablskih usluga na raspolaganju imaju čitavi RF spektar unutar kabela samo za video i podatkovni promet, dok usluge koje se emitiraju zrakom isti frekvencijski raspon moraju iskoristiti za više usluga. Na primjer, iz tablice 3 je vidljivo da se ultra visoke frekvencije koriste za televiziju, mobilnu telefoniju, bežične LAN mreže i Bluetooth. To je i glavni razlog zašto pružatelji kablskih video usluga mogu svojim korisnicima ponuditi i preko 400 različitih programa.

### 5.3. Iskorišteni spektar kablške mreže

Iako imaju cijeli RF spektar kabela na raspolaganju, vrlo je bitno da su kanali na frekvencijskom spektru dobro raspoređeni. Rade se planiranja kako bi QAM-ovi unutar kabela bili dobro raspoređeni. Planiranja su potrebna ako na nekim lokacijama unutar mreže dolazi do upada vanjskih signala da degradacija usluge bude što minimalnija, odnosno da frekvencije na kojima bi se mogli očekivati upadi budu slobodne. Tablica 4 prikazuje plan raspodjele RF spektra kabela.

Tablica 4. Plan raspodjele RF spektra

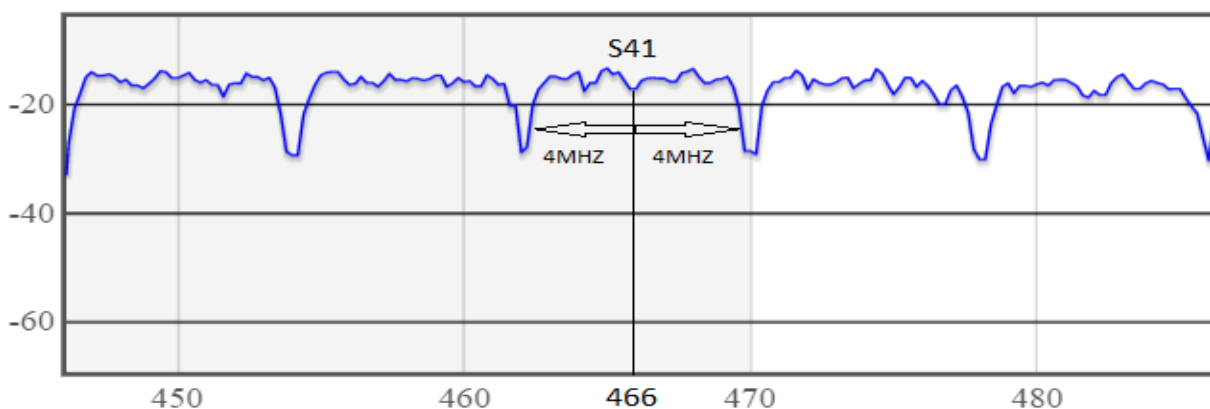
Kanal	MHz (DIG)	RASPORED	
S32	394,00	QAM (QAM256)	
S33	402,00	Internet	
S34	410,00	Internet	
S35	418,00	Internet	
S36	426,00	Internet	
S37	434,00	Internet	
S38	442,00	Internet	
S39	450,00	QAM (QAM256)	
S40	458,00	QAM (QAM256)	
S41	466,00	QAM X (QAM256)	
C21	474,00	QAM (QAM256)	
C22	482,00	QAM (QAM256)	
C23	490,00	QAM (QAM256)	
C24	498,00	QAM (QAM256)	
C25	506,00	Infokanal	MUX A / MUX M1
C26	514,00	QAM (QAM256)	
C27	522,00	QAM (QAM256)	
C28	530,00	zabranjeno	MUX C DVB-T2
C29	538,00	Internet	
C30	546,00	Internet	

C31	554,00	Internet	
C32	562,00	Internet	
C33	570,00	Internet	
C34	578,00	Internet	
C35	586,00	zabranjeno	Portafoni i video nadzor
C36	594,00	zabranjeno	Portafoni i video nadzor
C37	602,00	zabranjeno	Portafoni i video nadzor
C38	610,00	QAM (QAM256)	
C39	618,00	QAM (QAM256)	
C40	626,00	QAM X1 (QAM256)	MUX M2
C41	634,00	QAM (QAM256)	
C42	642,00	QAM (QAM256)	MUX D
C43	650,00	QAM (QAM256)	
C44	658,00	QAM (QAM256)	
C45	666,00	QAM (QAM256)	
C46	674,00	QAM (QAM256)	
C47	682,00	QAM (QAM256)	
C48	690,00	zabranjeno	MUX B
C49	698,00	QAM (QAM256)	
C50	706,00	QAM (QAM256)	
C51	714,00	QAM (QAM256)	
C52	722,00	QAM (QAM256)	
C53	730,00	QAM (QAM256)	MUX C DVB-T2
C54	738,00	QAM (QAM256)	
C55	746,00	QAM (QAM64)	
C56	754,00	QAM (QAM64)	
C57	762,00	QAM (QAM64)	MUX D 44
C58	770,00	QAM (QAM64)	
C59	778,00	QAM (QAM64)	
C60	786,00	QAM (QAM64)	
C61	794,00	free	LTE DL
C62	802,00	SWEEP	LTE DL
C63	810,00	QAM (QAM64) TEST	LTE DL
C64	818,00	QAM (QAM64) TEST	LTE DL
C65	826,00	QAM (QAM256)	
C66	834,00	QAM (QAM256)	LTE UL
C67	842,00	QAM Y (QAM256)	LTE UL
C68	850,00	slobodno	LTE UL
C69	858,00	slobodno	LTE UL

Izvor:[25]

U tablici 4. je u prvome stupcu s lijeve strane prikazano o kojem se broju kanala radi. RF spektar u zraku je od strane tijela Europske unije (EU) raspoređen i predodređen za različite svrhe kao što je i prikazano u tablici 3. Radi lakšeg snalaženja, frekvencijski pojasevi su smješteni u različite tablice (midband, superbant, hyperband itd.) i svakom kanalu unutar

tablice je dodijeljen broj i oznaka. Za primjer, prvi kanal iz tablice 4 „S32“ se nalazi u hyperband tablici, a QAM nosioc mu se nalazi na frekvenciji od 395,00 MHz. U drugom stupcu tablice 4 su prikazane frekvencije QAM nosioca, za svaki određeni QAM prikazan u trećem stupcu. Vidljivo iz drugog stupca da je udaljenost između dva kanala 8 MHz, pa je nastavno na to jednostavno zaključiti da se za jedan kanal koristi širina pojasa od 8 MHz. Jedan digitalni, na primjer kanal QAM X iz tablice 4 se nalazi na kanalu oznake S41. QAM nosioc kanala S41 se nalazi na frekvenciji od 466 MHz, a njegov izgled iz analizatora mreže je radi lakšeg shvaćanja prikazan na slici 25.

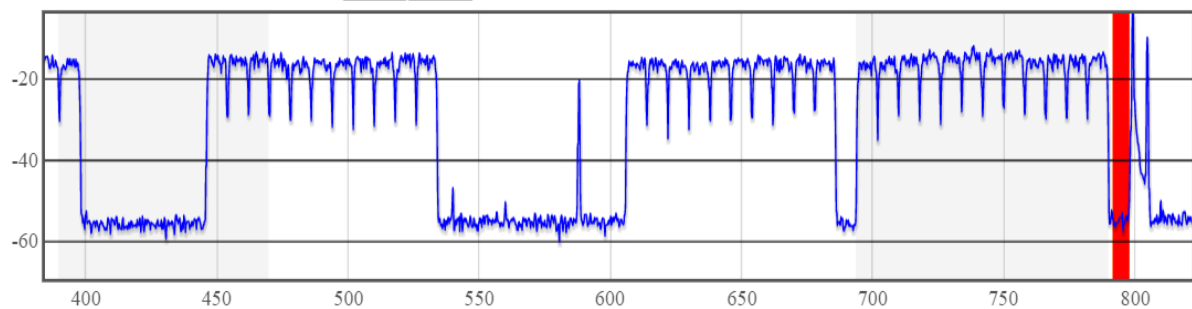


Slika 25. Realni digitalni video signal

Kanal S41 sa slike 25. je snimljen na analizatoru sa slučajnog uzorka kod stvarnog korisnika. Ovo je realan prikaz digitalnog video kanala u mreži bez značajnijih upada koji mogu degradirati uslugu. Kako piše i u tablici 4 QAM nosioc se nalazi na 466 MHz, a širina pojasa kanala od 8 MHz znači da je sa svake proširen za 4 MHz te on zauzima RF spektar u području od 462 MHz do 470 MHz. U trećem stupcu tablice 4 piše na koji je način iskorišten određeni kanal. Napomena da su radi povjerljivosti podataka maknuti interni nazivi QAM-ova iz trećeg stupca pa je u većini redova upisana samo oznaka QAM. Vidljivi su iz tog stupca razni QAM-ovi koji se koriste za prijenos digitalnog video signala, Internet i neke zabranjene pozicije. Zabranjene pozicije se ne koriste odlukom pružatelja usluga. Te se frekvencije često koriste za usluge koje se nalaze u neposrednim blizinama kablskih infrastruktura, a one su video nadzor, portafoni i slično. Oprema koja se koristi za takve usluge je često kupljena u Kini i nije u skladu s propisima i normama EU pa emitira preveliku razinu signala što uzrokuje velike degradacije usluge. U posljednjem stupcu tablice 4 su označeni i kanali koji se u zraku koriste



u različite svrhe. Označeno je za koje se tehnologije koriste u zraku i potrebno ih je izbjegavati u video distribuciji ako je ikako moguće.



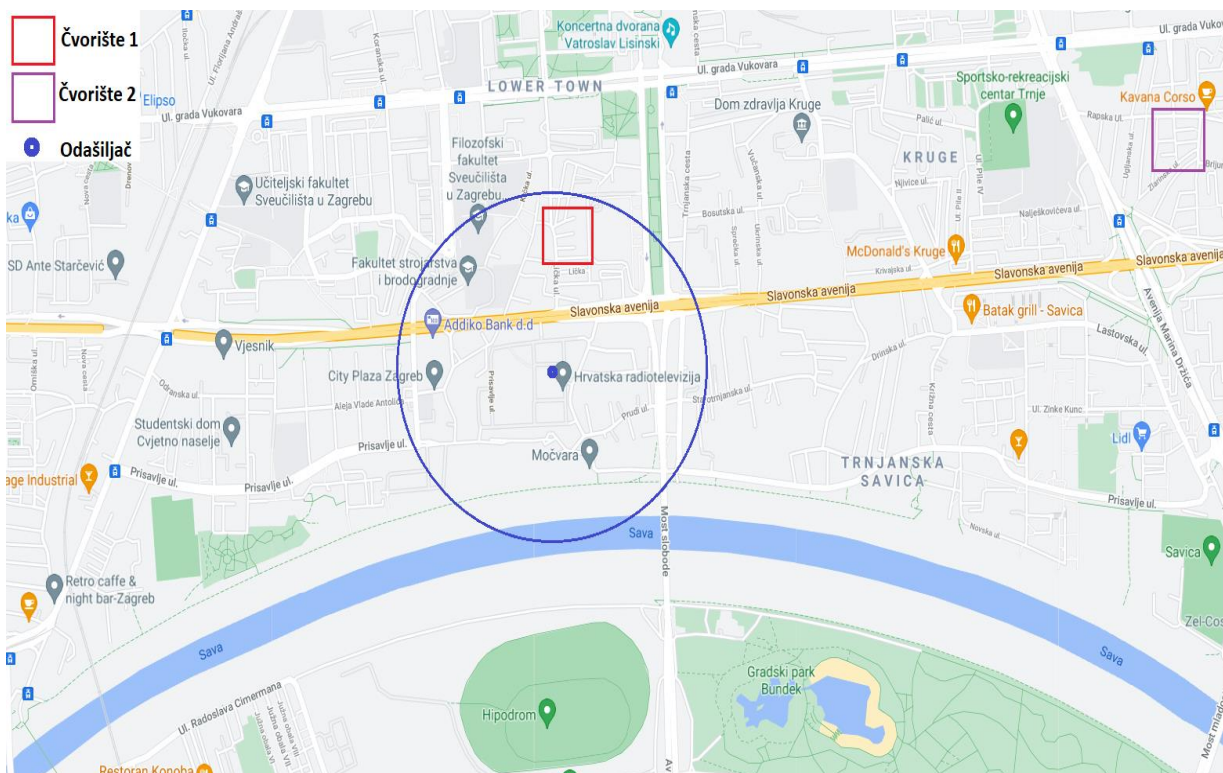
Slika 26. Prikaz RF spektra iz tablice 4

Slika 26 prikazuje RF spektar snimljen i preuzet s analizatora kableske mreže kod odabranog korisnika, čija se kvaliteta signala može okarakterizirati kao vrlo dobra. Na slici je prikazan cijeli spektar koji je opisan u tablici 4. . Neki signali nisu u skladu s prikazanom tablicom 4 iz razloga što se u trenutku uzimanja ovog uzorka radi prenamjena kableskog RF spektra. Na y osi je prikazana razina signala u dBmV (decibel- milivolti), a na x osi frekvencijski spektar. Napomena da su u tablici neki podatci namjerno izmišljeni radi povjerljivosti podataka. Sa slike 26 se vrlo lagano može očitati da je kvaliteta signala kod korisnika čiji je signal analiziran vrlo dobra i da nema nikakve degradacije usluge koje uzrokuju interferencije signala.

#### 5.4. Utjecaja DVB-T2 signala na DVB-C uslugu

Zemaljska digitalna televizija se temelji na DVB-T2 i HEVC standardima i omogućuju učinkovito korištenje frekvencijskog spektra i visoku kompresiju video signala. Multipleksima M1 i M2 pokriva se područje Republike Hrvatske. Strateški postavljeni odašiljači diljem zemlje pokrivaju cijelo područje Republike Hrvatske s digitalnim signalom. U tablici 4 je vidljivo da se isti frekvencijski kanali u zraku i kabelu mogu koristiti u različite svrhe. C25 kanal (506,00 MHz) u kablju se koristi za infokanal dok je u zraku to MUX M1, a C40 kanal (626,00 MHz) se u kablju koristi za QAM X1 (izmišljeni naziv) dok se na tom kanalu u zraku nalazi MUX M2. U idealnim uvjetima vanjske i frekvencije unutar kabela ne bi trebale imati nikakve utjecaj jedna na drugu radi dobre izoliranosti kabela, konektora i slično. No u praksi to često nije slučaj i na primjeru tih frekvencija će biti vidljivo na koji način one mogu utjecati na degradaciju DVB-C video

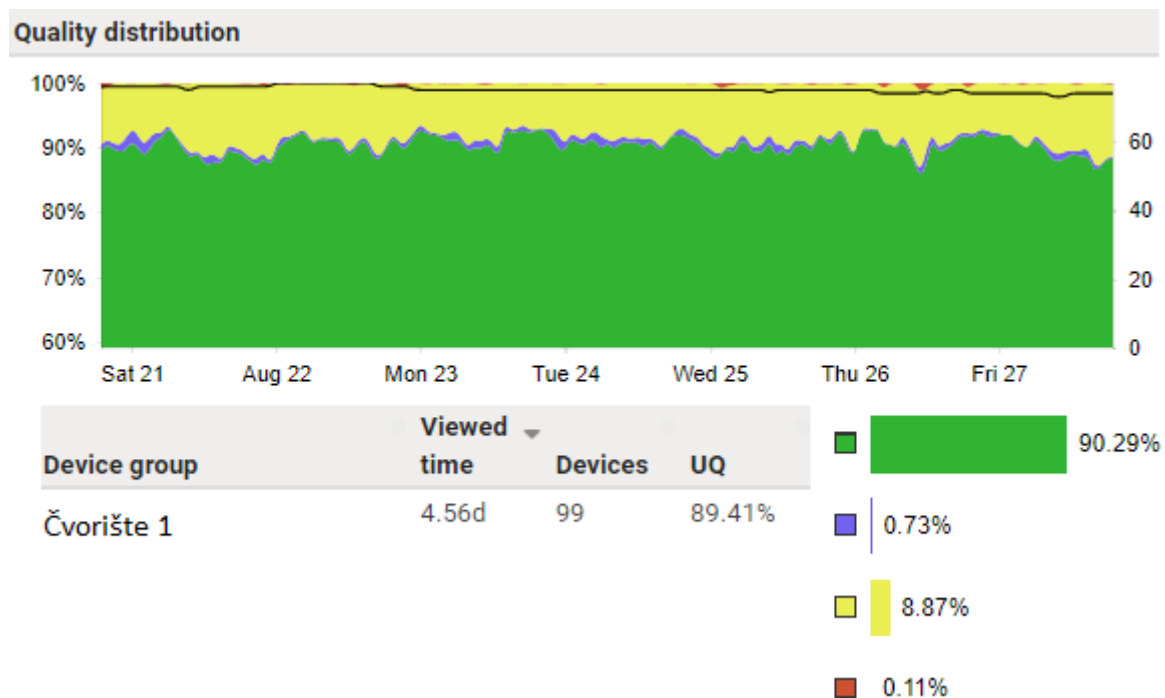
usluga. Dovoljne su i vrlo male pogreške u izvedbi mreže ako je snaga signala dovoljno jaka na tom području da prouzroči degradaciju usluge. MUX M1 i MUX M2 se emitiraju na području cijele Republike Hrvatske i realno na čitavom području u slučaju loših izvedba kabelske mreže mogu utjecati na kabelsku uslugu. Razina snage signala nije ista na svim područjima, razina snage signala opada s udaljenosti. Iz toga je lagano i zaključiti da je razina snage signala najveća u blizini odašiljača, što znači da će u tom području najviše i utjecati na DVB-C video uslugu, a to će biti prikazano u nastavku ovoga rada.



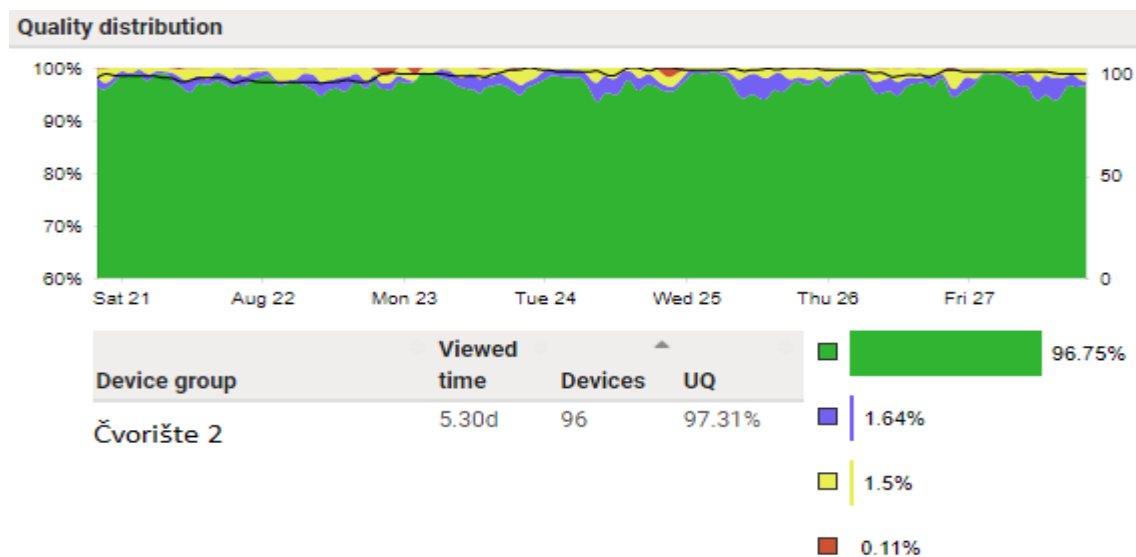
Slika 27. Karta Zagreba s odašiljačem

Na slici 27 je prikazana karta Zagreba s označenim odašiljačem slikana iz aplikacije „Google maps“. Na karti je plavom točkom označena točna lokacija jednog od odašiljača DVB-T2 signala. Plavom kružnicom je označeno područje u neposrednoj blizini odašiljača gdje bi razina snage M1 i M2 signala trebala biti jako visoka. Na karti su označena i dva kvadrata (crveni i ljubičasti) koji označavaju područja pokrivenosti kabelskom infrastrukturom za koje je provedena analiza u ovom radu. Ta područja su nazvana čvorišta, a promatrat će se kolika je degradacija DVB-C video usluga na tim čvorištima. Lokacije čvorišta su odabrana na način da se čvorište 1 nalazi u neposrednoj blizini odašiljača, a čvorište 2 nekoliko kilometara udaljeno od odašiljača. Praćenje i analize su napravljene na Agama Enterprise sustavima koji su

objašnjeni u poglavlju 4.2. Informacije o kvaliteti usluge sa svih STB-ova na označenim čvorištima se prikupljaju na Enterprise poslužitelj i grupirane su u grafove koji su prikazani na slikama 29 i 30.



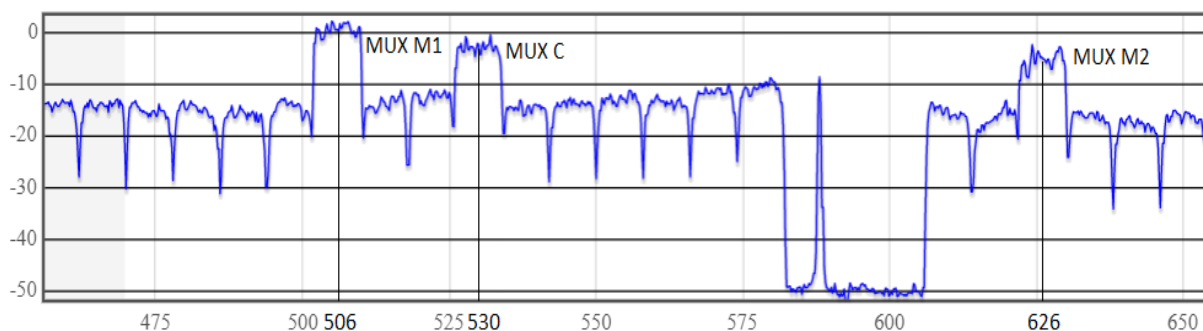
Slika 28. Grafički prikaz kvalitete distribucije-Čvorište 1.



Slika 29. Grafički prikaza kvalitete distribucije-Čvorište 2.

Slike 28 i 29 prikazuju grafove kvalitete distribucije na čvorištima 1 i 2. Grafičkim prikazima kvalitete distribucije „Quality distribution“ je prikazana kvaliteta DVB-C video usluge koja je

pružena krajnjem korisniku. Značenje koje predstavlja svaka boja na grafu je detaljno objašnjeno u poglavlju 4.1. Graf čvorišta 1 napravljen od uzoraka s 99 uređaja (*engl. device*), a čvorišta 2 od 96 uređaja. Kvaliteta korisničkog iskustva UQ (*engl. User Quality*) predstavlja postotak vremena koje korisnik nije vidio nikakve degradacije usluge. Gledano vrijeme (*engl. viewed time*) predstavlja ukupno vrijeme reproduciranja sadržaja, odnosno vrijeme koje je STB bio upaljen. Informacije su prikupljanje u vremenskom intervalu od 7 dana što je i prikazano na grafu. Izgradnja i održavanje čitave infrastrukture na oba čvorišta je do sada odrađivana na isti način, od strane iste tvrtke, pa je pretpostavka da je fizičko stanje mreže i ostalih uređaja slično u oba čvorišta. Analizirajući uspoređivanjem slike 28 i 29 na prvu je odmah vidljivo da je kvaliteta usluge koju koriste korisnici u čvorištu 1 znatno lošija u odnosu na kvalitetu usluge u čvorištu 2. S grafa je vidljivo da je u čvorištu 1 kvaliteta usluga bila bez ikakvih izobličenja tek 90.29 % posto vremena u sedam dana. Ako se usporede rezultati s čvorištem 2 čija je lokacija odabrana slučajnim odabirom, a kojem je kvaliteta usluga bez ikakvih izobličenja 96,75 % vremena, može se reći da je degradacija usluge u čvorištu 1 vrlo velika. Dodatni dokaz velike degradacije usluge u čvorištu 1 je i prikaz da je tek 0,73 % vremena usluga bila s malim izobličenjima dok je ostatak vremena dok usluga nije „zelena“ bila s velikim izobličenjima koje korisnik primijeti na svojem uređaju. Još jedan zanimljivi podatak koji govori o količini degradacije usluge u čvorištu 1 je UQ. UQ je tek 89.41 % što znači da je korisnik 10.59 % vremena imao nekakve smetnje ili možda potpunu nemogućnost korištenja te usluge. Radi boljeg prikaza koliko su brojke sa čvorišta 1 neprihvatljive mogu se objasniti sljedećim primjerom. Pretpostavi li se situacija da ti korisnici gledaju utakmicu, to bi značilo da u prosijeku 11 minuta imaju problema s reproduciranjem sadržaja. To je svakako neprihvatljivo, a dodatni dokaz da je ta degradacija usluge nastala pod utjecajem radiodifuznih sustava je prikazan na grafu na slici 30.



Slika 30. RF spektar korisnika u čvorištu 1

Slika 30 prikazuje kabelski RF spektar kod korisnika na lokaciji čvorišta 1. Sa slike 30 je vidljivo da kabelske instalacije ili oprema kod tog korisnika nisu u odličnom stanju, pa je zato na tom primjeru dobro prikazan utjecaj obližnjeg odašiljača na signal. Graf jasno prikazuje pojavu *ingressa*, odnosno upadanje MUX M1, MUX C i MUX M2 koje emitira odašiljač u neposrednoj blizini. Razina snage signala na tim kanalima je puno veća nego na ostalima. Iako interferencije koje su prikazane utječu na cijelu uslugu, degradacije su najveće na onim programima koji se nalaze u QAM-u koji koriste iste kanale kao MUX-ovi koji upadaju. Na tablici 4 se vidi da je kanal 28 (530 MHz) već zabranjen, odnosno oslobođen unutar kabela radi navedenih razloga. Prema izgledu RF spektra sa slike 30 moguće je zaključiti da korisnik neće biti u mogućnosti gledati infokanal i programe unutar QAM-a X1, pa iz tog razloga postoji hitna potreba za ispravljanjem njegovih instalacija. Iako interferencije nikada nije moguće u potpunosti otkloniti postoje razni načini na koji se njihov učinak pokušava minimizirati. Najbolji način za izbjegavanje interferencija koje uzrokuju radiodifuzni sustavi je pravilno planiranje raspodjele RF spektra unutar kabela. Pružatelj kabelske usluge koja je opisana u ovome radu planira prebaciti sve QAM-ove na kanale ispod C43 (650 MHz) kako bi izbjegli interferencije radiodifuznih sustava koji, kako je prikazano u ovome poglavlju jako utječu na degradaciju usluge. Tim prebacivanjem će se izbjeći interferencije koje uzrokuje GSM (900 MHz), LTE uzlazno i silazno, lokalne DVB-T2 usluge, pa čak i 5G tehnologija koja će se uskoro emitirati na 700 MHz. Spuštanjem ispod 650 MHz će se otkloniti mogućnost mnogih interferencija ali će i dalje postojati problem s DVB-T2 odašiljačima koji je opisan u nastavku.

Pružatelj usluga nije u mogućnosti izbjeći kanal C40 pošto je u *software*-u nekih verzija STB-a to inicijalna frekvencija za pretraživanje programa. U *software* STB-a je „upržena“ informacija da pretraživanje kanala počinje od frekvencije 626 MHz. Kada se pokrene pretraživanje, STB prvo skenira kanal C40 u kojem i pronalazi određeni QAM. U tom QAM-u se nalazi NIT tablica (objašnjena u poglavlju 2) koja sadrži informacije o svim iskorištenim kanalima unutar kabela koje STB mora skenirati. Ako bi se QAM maknuo s te frekvencije, STB prilikom skeniranja ne bi pronašao niti jedan program, pa usluga ne bi bila moguća. Također to je i dodatni problem koji nastaje kod korisnika u blizini odašiljača. Ako su im instalacije loše kao na slici 30 i koriste spomenuti STB s inicijalnom frekvencijom na 626 MHz postoji vrlo velika vjerojatnost da STB prilikom skeniranja inicijalne frekvencije neće dobiti pravilnu NIT tablicu, pa skeniranje ostalih kanala neće biti moguće. Mijenjanje inicijalne frekvencije na STB-u je vrlo

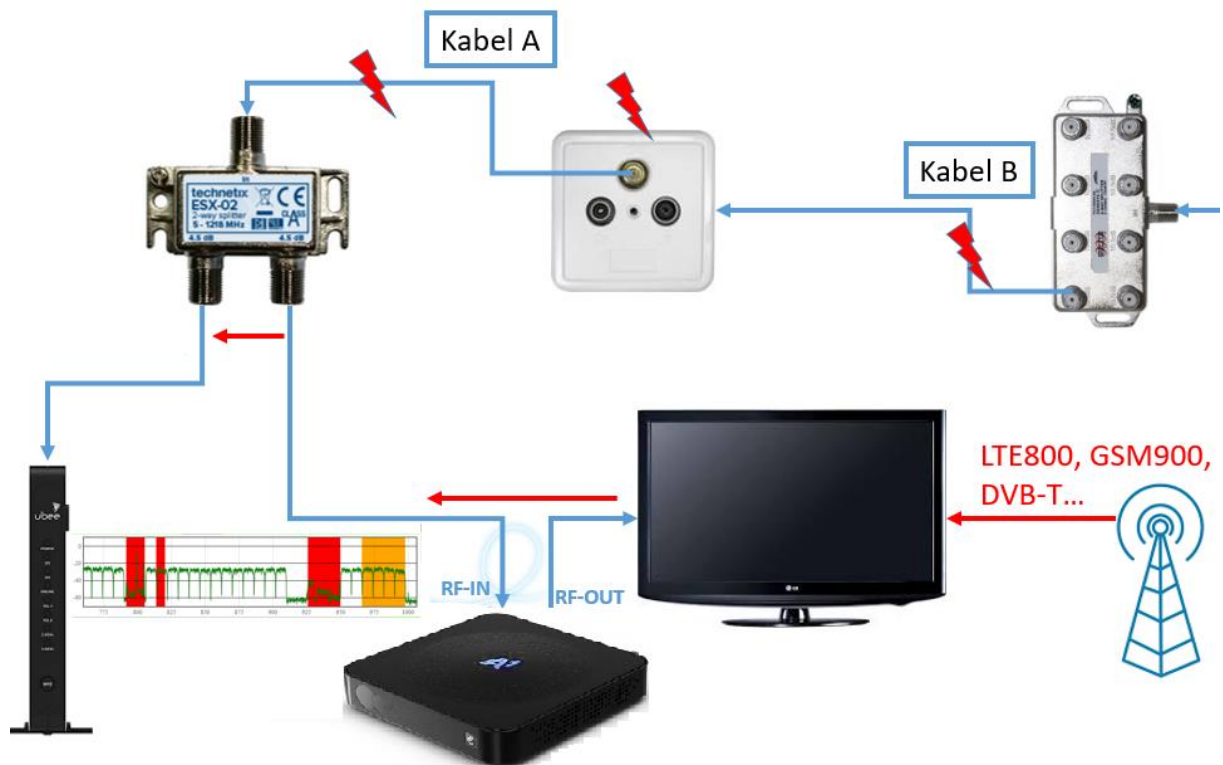
teško, odnosno iziskuje jako puno resursa. Pružatelj usluge se u tom slučaju ipak odlučuje u trošenje više resursa za ispravljanje mrežne infrastrukture u blizini odašiljača. Bitno je za napomenuti da je taj kanal odabran za inicijalnu frekvenciju puno prije nego li je odlučeno da će se na tom kanalu nalaziti MUX M2. Iz toga je lagano zaključiti da niti jedno rješenje rasporeda unutar RF spektra nije stalno i ako pružatelj usluge želi zadržati kvalitetnu uslugu, planiranja se moraju provoditi bez prestanka.

## 6. Pogreške na opremi kod korisnika

U velikom broju slučajeva prilikom pojave interferencija i degradacije usluga kod pojedinih korisnika, problem se nalazi u korisničkoj opremi. Problem u opremi kod korisnika se može podijeliti na dvije glavne vrste: korištenje neadekvatne opreme i/ili loša instalacija opreme. Oba slučaja su prikazana u ovom poglavlju. Jako često korisnici unutar svoje kuće ili stana imaju provedenu vlastitu koaksijalnu mrežu. Problem je što se tada koriste jeftiniji koaksijalni kabeli ili utičnice pa nastaje razlika u impedanciji. Također, često nastaju i pogreške u samoj instalaciji, tehničari koji obavljaju instalaciju nisu dovoljno educirani ili korisnici sami odluče promijeniti lokaciju postavljenih uređaja. U takvim slučajevima često ključne točke u mreži, kao što su otvori razdjelnika, ostavljaju otvorenima. Odnosno, konektori nisu dobro postavljeni ili jednostavno kabeli nisu dovoljno zategnuti. Sve navedeno ostavlja dovoljno mjesta za generiranje šuma koji prouzrokuje degradaciju usluge.

### 6.1. Interferencije radi loše instalacije opreme

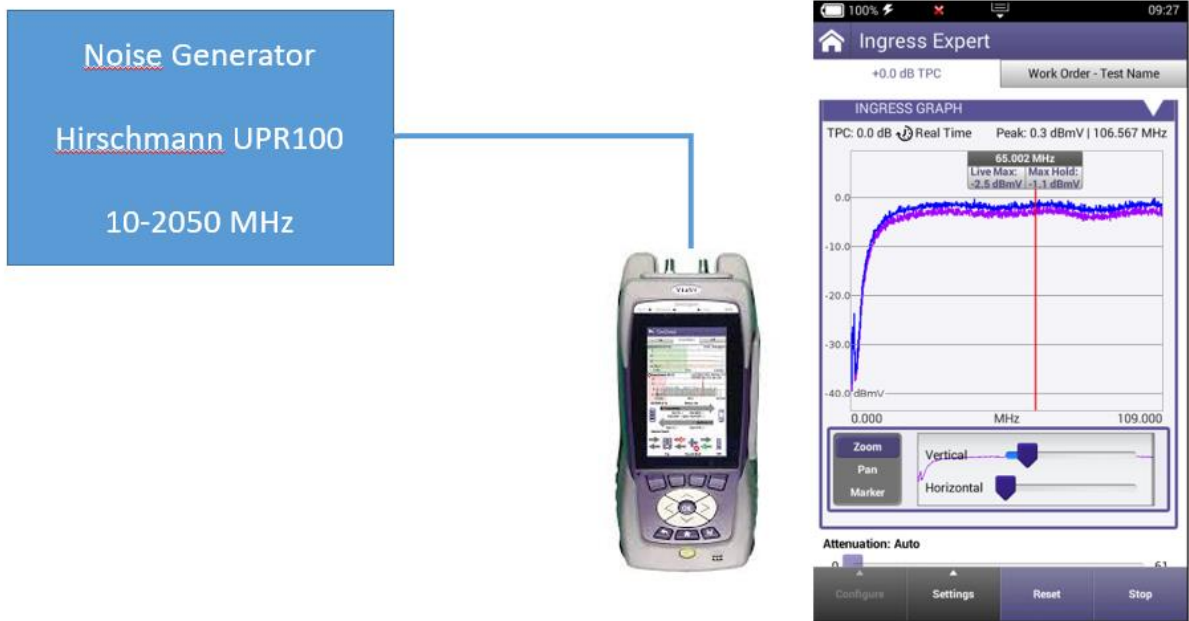
U ovome poglavlju je prikazan i objašnjen eksperiment koji je proveden u svrhu prikaza koliki je utjecaj šuma na signal ako svi otvori (engl. *ports*) nisu adekvatno izolirani. Gotovo svi korisnici DVB-C video usluge koriste istu kabelsku infrastrukturu i za širokopolasni pristup Internetu. Instalacija opreme kod korisnika se provodi na način da se korisniku u stan provodi jedan koaksijalni kabel koji se tada uz pomoć razdjelnika dijeli na dva izlaza. Jedan izlaz se spaja u STB a drugi u modem. Razdjelnik ima određenu zaštitu o propuštanju povratnih signala između njegovih izlaza. U slučaju da impedancija nije jednaka na svim otvorima razdjelnika zaštita se gubi pa povratne informacije STB-a i modema negativno utječu jedna na drugu. Prikaz instalacije opreme kod korisnika je prikazan na slici 31. U poglavlju 5.4. je prikazano kako radiodifuzni sustavi kod loših izvedbi instalacija degradiraju DVB-C uslugu, a na slici 31. je prikazano kako taj isti šum preko STB-a može utjecati i na modem.



Slika 31. Oprema kod korisnika

Slika 31 prikazuje gdje u instalacijama nastaju česte pogreške koje uzrokuju razne degradacije usluga. Male crvene munje označuju gdje se nalaze najčešće pogreške u instalacijama kod korisnika, a u nastavku ovog poglavlja je prikazano kako te pogreške utječu na kvalitetu signala. Pogreške kod Kabela B i A su često iste, a to su: oštećeni kabele, krive vrste kabela, loše postavljene konektori i slabo zategnuti konektori. Pogreška može biti i u utičnici koja povezuje kabel, a to je da su postavljene krive utičnice, loše postavljene utičnice ili krivi konektori za utičnice. Dodatno česta pogreška kod utičnica su i utičnice kupljene za strana tržišta koje u sebi imaju ugrađene filtere određenih frekvencija, pa usluga na tim frekvencijama nije dostupna. Na slici je vidljivo i na koji način signal radiodifuznih sustava može ulaziti u mrežu, pa osim degradacije video usluge prouzrokovati i degradaciju usluge prijenosa podataka. Signali radiodifuznih sustava ulaze u mrežu preko DVB-T2 otvora na Televizoru ili preko nezaštićenog STB-a. Tada preko razdjelnika osim video usluge mogu utjecati i na modem ako impedancije na svim otvorima razdjelnika nisu jednake. U nastavku je eksperimentom prikazano koliko se međusobni utjecaj STB-a i modema može smanjiti, ispravljanjem instalacija kod korisnika (kabel A, kabel B i utičnica sa slike 31) odnosno kada bi impedancija na svim otvorima razdjelnika bila jednaka.





Slika 32. Generator šuma i analizator

U eksperimentu se koristi uređaj za generiranje šuma i analizator RF spektra prikazan na slici 32. Generator šuma generira šum na frekvencijama od 10 MHz do 2 050 MHz. Na slici 32 je prikazan generator šuma spojen direktno koaksijalnim kabelom na analizator. Na analizatoru je izmjeren pad razine šuma od -2,5 dBmV na frekvenciji od 65 MHz.



Slika 33. Imitacija greške u instalacijama

Slika 33 prikazuje postavljeni razdjelnik između generatora šuma i analizatora. Analizator i generator šuma u ovom slučaju imitiraju STB i modem. Odnosno prikazuju koliki je utjecaj signala koji ide iz modema prema STB-u ili obratno kao što je to prikazano na slici 31. Kako bi sve bilo identično kao u pravom slučaju, generator šuma i analizator su spojeni na izlaze iz razdjelnika. U ovom slučaju ulazni otvor razdjelnika je ostao otvoren kako bi se napravila imitacija usluge koja ima greške u instalacijama na dijelovima označenim crvenom munjom na slici 31. Greške u instalacijama prikazane na slici 31. uzrokuju različitu impedanciju na otvorima razdjelnika na isti način kao što i ulazni otvor razdjelnika koji je neizoliran kao na slici 33. Rezultati analizatora pokazuju da je u slučaju sa slike 33 razina pada šuma  $-6,6$  dBmV, što bi značilo da je razdjelnik s neizolirani ulaznim otvorom smanjio razinu šuma za  $4,1$  dBmV.



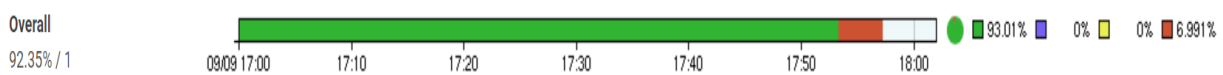
Slika 34. Izolirani razdjelnik

Na slici 34 je postavljen razdjelnik s izoliranim ulazom između generatora šuma i analizatora. Generator šuma i analizator su također postavljeni na izlaze iz razdjelnika. Ovaj eksperiment predstavlja imitaciju ispravne instalacije opreme kod korisnika. Rezultat na analizatoru pokazuje puno manji prolazak generiranog šuma do analizatora nego što je to bio slučaj kod neizoliranog ulaznog otvora. Na frekvenciji od  $65$  MHz ovaj put je izmjereno  $-32,9$  dBmV, što znači da bi razdjelnik koji na ulaznom otvoru ima ispravnu opremu pravilno instaliranu (jednaka impedancija na svim otvorima razdjelnika) uspio blokirati šum od  $30,4$  dBmV. Blokada šuma od  $30,4$  dBmV, bi u realnom slučaju značila da korisnici ne bi nikada primijetili degradaciju usluge radi međusobnog djelovanja modema i STB-a.

## 6.2. Interferencije radi slabe izolacije STB-a

Puštanje u produkciju nove TV platforme na već postojećoj kabelskoj infrastrukturi od strane pružatelja usluga uključivalo je nov STB uređaj (Kaon 4020) , novi *software* za STB i novi pozadinski (*engl. backend*) sustav. Povećanjem broja korisnika povećavao se i broj prijava na nedostupnost pojedinih programa. U većini slučajeva se radilo o programima koji se prenose na frekvencijama koje u zraku koriste radiodifuzni sustavi. Daljnjom analizom signala na STB-u ustanovljeno je da dolazi do upada vanjskih frekvencija pa *tuner* STB-a nije u mogućnosti prebaciti na program. Programi s najviše problema su se nalazili u QAM Y koji je na 842 MHz što je upućivalo na upadanje frekvencijskog pojasa od 832 MHz do 862 MHz koji se koriste za LTE (*engl. Long Term Evolution*) uzlazne veze. Kabelska infrastruktura je bila ista kao i na staroj TV platformi, a tada se ti problemi nisu pojavljivali. Izvor problema je upućivao na *tuner* STB-a pa su testnoj sobi s ispravnom infrastrukturom napravljena testiranja.

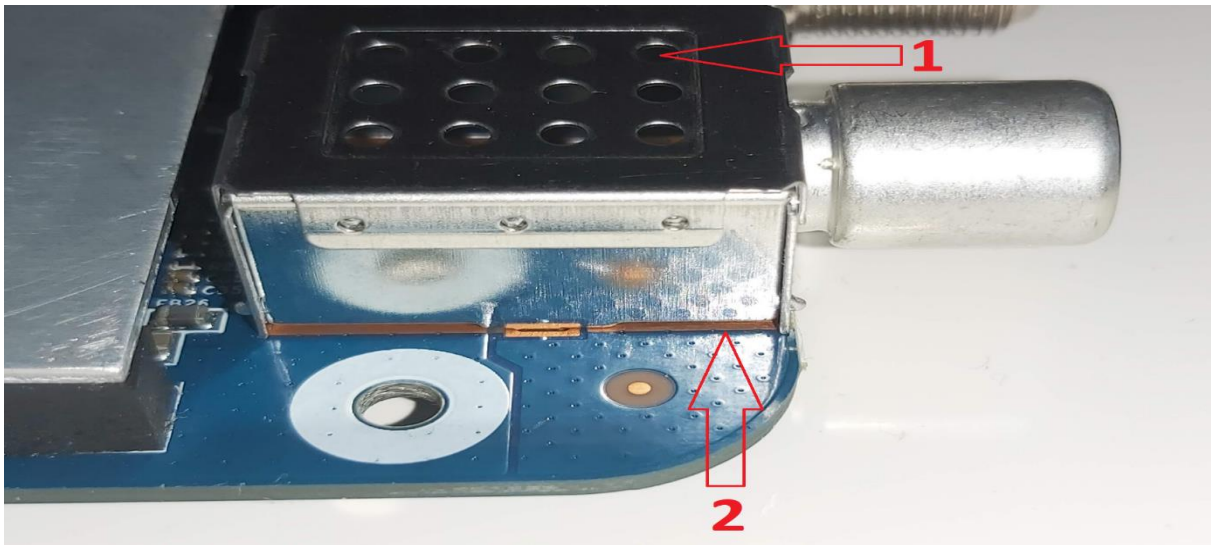
Preduvjeti za testiranje su bili konfiguriranje mobitela da za uzlazne LTE frekvencije koristi spomenuti frekvencijski pojas od 832 MHz do 862 MHz, postavljanje STB-a da reproducira programe koji se nalaze u QAM-u Y, postavljanje mobitela na udaljenosti 20 cm od STB-a. Sljedeći korak je bio pokretanje testa brzine interneta na mobitelu koji bi tada za testiranje uzlazne brzine koristio LTE frekvencijski pojas od 832 MHz do 862 MHz. Pokretanje testa brzine na mobitelu je uzrokovalo trenutni nestanak videa na ekranu i pojavila se greška „program nije moguće prikazati“. Slika 35 prikazuje snimljenu kvalitetu usluge prije i prilikom pokretanja testa brzine.



Slika 35. STB interferencije

Sa slike 35 je vidljivo da do trenutka pokretanja testa brzine 17 sati i 52 minute nije bilo nikakvih grešaka (zeleno na grafu), odnosno da je kvaliteta signala bila odlična. U trenutku pokretanja testa brzine na mobitelu, stanje grafa se mijenja i pokazuje potpunu degradaciju usluge (crveno), što znači da STB nije primio upotrebljivi ulazni signal. Provedeno testiranje potvrđuje da se problem nalazi u STB-u te pokazuje koliko jako može utjecati na uslugu.

Odvajanjem kućišta STB-a vidljivi su nedostaci na RF kavezu STB *tuner-a* . Rastavljeni STB s označenim mogućim točkama upada interferencija na RF kavezu je prikazan na slici 36.



Slika 36. STB kavez nedostatci

Crvena strjelica 1 na slici 36 pokazuje rupe na vrhu kaveza kao moguće točke upada interferencija, crvena strjelica 2 pokazuje da RF kavez nije zalemljen u potpunosti za ploču što ostavlja dovoljno prolaza za „curenje“ signala.

Da bi se točno ustanovilo koliko je curenje, odnosno kolika je zaštita RF kaveza provedeno je testiranje pomoću ARCOM snoop opreme. Na slici 37 prikazana je ARCOM snoop oprema za testiranje učinkovitosti RF kaveza - SE (*engl. Shielding Effectiveness*).



Slika 37. ARCOM snoop [25]

ARCOM snoop oprema radi na principu da se generator signala (crni uređaj lijevo na slici 37) spoji na kabel ili uređaj sa kojim se želi izmjeriti SE. Desni QS snoop uređaj mjeri koliko je curenje signala, odnosno odmah preračunava i ispisuje kolika je vrijednost SE-a u dBm. Kao referentna vrijednost u ovom testiranju uzima se rezultat dobiven iz mjerenja sa slike. SE izmjerena na slici 37 iza izoliranog kabela je 79 dBm, što znači da je izolator na vrhu kabela uspio izolirati snagu signala od 79 dBm. Isti test proveden je s kabelom spojenim u STB (Kaon4020) prikazan na slici 38.



Slika 38. Arcom snoop na Kaon4020 [25]

Rezultat testa snimanja na poleđini STB-a gdje signal ulazi je 41 dBm. Zaštita koju pruža kavez od ulazaka vanjskih frekvencija je 42 dBm što je puno lošiji rezultat nego izolator. Iz prijašnjih testiranja je dokazano da to nije dovoljna razina zaštite koju STB mora imati. Iz tog razloga je napravljeno i dodatno mjerenje na modemu koji nije osjetio utjecaj LTE frekvencije prilikom testiranja brzine. Rezultat testiranja na modemu je 91 dBm, što dobro pokazuje koliko je RF kavez na modemu učinkovitiji od onog na STB-u.

Prikazani problem je s detaljima testiranja prijavljen proizvođaču opreme koji je ponudio rješenje prikazano na slici 39.



Slika 39. RF kavez

Slika 40 pokazuje kako je F – konektor (A) trenutno zaštićen kavezom (B) i kako će izgledati poboljšana verzija (C). Prema informacijama koje je poslao proizvođač opreme, poboljšani RF kavez će biti duplo učinkovitiji od trenutnog.

## 7. Zaključak

Unatoč robusnosti i otpornosti koaksijalnog kabela kao jednog od glavnih prijenosnih medija HFC mreže, utjecaj emisija radiodifuznih sustava na degradaciju DVB-C video usluge je i dalje postojan. Degradacije koje uzrokuju mogu biti kratkotrajni nestanak slike i zvuka do potpune nedostupnosti pojedinih programa. Interferencije u praksi nije moguće u potpunosti zauvijek otkloniti.

Iako pružatelji usluga koriste koaksijalne kabele visoke kvalitete, vanjski vodič će uvijek biti podložan raznim prijetnjama kao što su utjecaj okoliša (sunce, kiša, snijeg, itd.), neispravno postavljanje, vandalizam itd. Loše stanje kabela nije jedini problem koji može uzrokovati „curenje“ signala, čest slučaj može biti krivo postavljanje opreme ili neispravna oprema.

Raznim alatima za praćenje kvalitete mreže i pružene usluge se pronalaze lokacije upada signala te se ispravljaju uzroci upada. Iako je fizičko održavanje stanja HFC mreže jako bitno, da bi se smanjio utjecaj radiodifuznih sustava na DVB-C uslugu najbitnije je djelovati preventivno.

Pravilnim planiranjem raspodjele kablenskog RF spektra se najučinkovitije mogu izbjeći degradacije koje uzrokuju razni radiodifuzni sustavi. Iako je planiranje najbolji način za smanjenje utjecaja emisija radiodifuznih sustava, nije moguće izbjeći sve frekvencijske kanale koje oni koriste radi velike količine sadržaja koju pružatelji DVB-C video usluga moraju dostaviti svojim korisnicima.

Da bi se loš utjecaj emisija radiodifuznih sustava sveo na minimum, pružatelji usluga moraju dobro educirati svoje zaposlenike, osnovati timove za održavanje stanja mreže i pravilno planirati raspodjelu kanala unutar RF spektra kabela.

## Literatura

[1] Jaeger D, Schaaf C. *High Performace Data Transmission on Cable: Technology, Implementation, Networks*. Aachen: Shaker Verlag; 2010.

[2] Ibrahim KF. *Newnes Guide to Television & Video Technology*. Great Britain: Newnes; 2007.

[3] Keith J. *Video Demytified: A Handbook for the Digital Engineer*. SAD: Newnes; 2007.

[4] Electronics notes. *What is DVB Digital Video Broadcasting: Tutorial*. Dostupno na: <https://www.electronics-notes.com/articles/audio-video/broadcast-tv-television/what-is-dvb-digital-video-broadcasting-tutorial.php> [Pristupljeno 20.07.2021].

[5] European Telecommunications Standards Institute. EN 300 468. *Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems*. France: ETSI; 2016.

[6] European Telecommunications Standards Institute. EN 300 429. *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems*. France: ETSI; 1998.

[7] Electronics notes. *What is QAM: quadrature amplitude modulation*. Dostupno na: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/modulation/quadrature-amplitude-modulation-what-is-qam-basics.php> [Pristupljeno 26.07.2021].

[8] Simpson W. *Video Over IP, IPTV, H.264, P2P, Web TV, and Streming: A Complete Guide to Understanding th Technology*. Second edition. UK: Focal Press; 2008.

[9] Vcodex. *HEVC: An introduction to high efficiency coding*. Dostupno na: <https://www.vcodex.com/hevc-an-introduction-to-high-efficiency-coding> [Pristupljeno 26.07.2021].

[10] BoxCast Team. *Upload Speed for Live Streaming. What Upload Speed Do I Need To Live Stream?*. Dostupno na: <https://www.boxcast.com/blog/internet-speeds-for-4k-live-streaming> [Pristupljeno 27.07.2021].

[11] Verimatrix Ltd. *Video content authority system (VCAS)*. SAD; 2015.



- [12] Shnier M. *Cable TV*. Dostupno na: <http://cityinfrastructure.com/single.php?t=Cable%20TV&d=CableTV> [Pristupljeno 28.07.2021].
- [13] RS Home. *Everything You Need To Know About Coaxial Cable*. Dostupno na: <https://uk.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/coaxial-cable-guide> [Pristupljeno 29.07.2021].
- [14] RS Home. *A Complete Guide to Coaxial Connectors*. Dostupno na: <https://uk.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/coaxial-connectors-guide> [Pristupljeno 11.08.2021].
- [15] Ambery. *Professional RF Cable TV Signal Amplifier With High 50dB Gain*. Dostupno na: <http://www.ambery.com/rfmp-w50.html> [Pristupljeno 12.08.2021].
- [16] Agama Technologies AB Ltd. *Agama DTV Monitoring Solution 4.1.0*.
- [17] Agama Technologies AB. *AGAMA ANALYZERS* Dostupno na: <https://agama.tv/products/agama-analyzers> [Pristupljeno 19.08.2021].
- [18] Agama Technologies AB Ltd. *Agama Analyzer Manual 4.4.4*.
- [19] Šišul G. *Odabrana poglavlja elektroničkih komunikacija - fizički sloj*. [Elektroničke komunikacije] Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb.
- [20] *Noise in Communication Systems*. Dostupno na: [https://www.ihe.kit.edu/img/studium/Chapter\\_Noise.pdf](https://www.ihe.kit.edu/img/studium/Chapter_Noise.pdf) [Pristupljeno 24.8.2021].
- [21] Hranac R. *BER and MER Fundamentals*. Cisco Systems Inc; 2007.
- [22] Radiodifuzija. *Hrvatska enciklopedija*, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=51478> [Pristupljeno 25.8.2021].
- [23] Walden I. *Telecommunications Law and Regulation*. Oxford University Press; 2012.
- [24] Anritsu Company. *Identifying and Locating Cable TV Interference: A Primer for Public Safety Engineers and Cellular Operators*. SAD; 2016.
- [25] Interni dokumenti pružatelja usluga.
- [26] Košta M. *Izolacija portova*. A1 Hrvatska d.o.o. Split.

# Popis slika

Slika 1. Obrada podataka .....	6
Slika 2. Paketizacija osnovnog toka podataka .....	7
Slika 3. Multipleksiranje .....	8
Slika 4. DVB SI tablice .....	10
Slika 5. Modulacijske tehnike .....	11
Slika 6. Konstelacijski Dijagrami QAM 16 i QAM 64 .....	12
Slika 7. Konstelacijski Dijagram QAM 256 .....	12
Slika 8. MPEG standard .....	14
Slika 9. HFC Arhitektura .....	20
Slika 10. Koaksijalni kabel .....	23
Slika 11. RF pojačalo .....	25
Slika 12. STB Kaon4020 .....	26
Slika 13. Implementacija sustava za praćenje i analizu kvalitete signala u HFC mreži .....	29
Slika 14. Početna nadzorna ploča .....	31
Slika 15. Konfigurirani <i>multicast</i> .....	32
Slika 16. Detaljan prikaz MPTS .....	33
Slika 17. Struktura sustava za praćenje kvalitete usluge do kraja .....	34
Slika 18. Početni ekran Enterprise platforme .....	35
Slika 19. Detalji pojedinog STB-a .....	36
Slika 20. Prikaz stanja RF signala pojedinog STB-a .....	36
Slika 21. Degradacija digitalnog signala u prijenosu .....	39
Slika 22. Modulacijska pogreška .....	43
Slika 23. MER .....	44
Slika 24. Idealni digitalni video signal .....	46
Slika 25. Realni digitalni video signal .....	49
Slika 26. Prikaz RF spektra iz tablice 4 .....	50
Slika 27. Karta Zagreba s odašiljačem .....	51
Slika 28. Grafički prikaz kvalitete distribucije-Čvorište 1. ....	52
Slika 29. Grafički prikaz kvalitete distribucije-Čvorište 2. ....	52
Slika 30. RF spektar korisnika u čvorištu 1 .....	53
Slika 31. Oprema kod korisnika .....	57

Slika 32. Generator šuma i analizator .....	58
Slika 33. Imitacija greške u instalacijama .....	58
Slika 34. Izolirani razdjelnik .....	59
Slika 35. STB interferencije .....	60
Slika 36. STB kavez nedostatci .....	61
Slika 37. ARCOM snoop [25] .....	61
Slika 38. Arcon snoop na Kaon4020 .....	62
Slika 39. RF kavez .....	63

## Popis tablica

Tablica 1. DVB Prijenosni Standardi .....	5
Tablica 2. Tablica usporedbe HEVC i AVC.....	16
Tablica 3. Podjela RF spektra.....	45
Tablica 4. Plan raspodjele RF spektra .....	47



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada  
pod naslovom **Degradacija DVB-C video usluga uslijed emisija radiodifuzijskih  
sustava**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom  
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 9.9.2021 \_\_\_\_\_

Student/ica:

*Jandrićević*

\_\_\_\_\_  
(potpis)