

Jere Silvennoinen

IPTV, suoratoisto ja Wowza Media Streaming

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikka

Insinööriytyö

02.12.2015

Tekijä Otsikko	Jere Silvennoinen IPTV, suoratoisto ja Wowza Media Streaming
Sivumäärä Aika	78 sivua + 2 liitettä 2.12.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoliikennetekniikka
Ohjaaja	Yliopettaja Jouko Kurki
<p>Tässä insinööriyössä tutustuttiin tämän päivän internetprotokollilla ja koodekeilla toteutettuihin videonjakeluverkostoihin ja niiden toimintaan. Työ on tehty Metropolia Ammattikorkeakoululle.</p> <p>Markkinoille tullessaan H.264-videokoodekki mullisti arjen median seuraamisen. Kotitalouksiin hankittiin digiboksit, ja nopeat laajakaistayhteydet toivat mukanaan suurempikapasiteettisen median jakelun. H.264 ja sen seuraaja H.265 ovat rakenteeltaan vanhoja standardeja kehittyneempiä ja mahdollistavat paremman kuvanlaadun samalla bittinopeudella, vaikkakin nykyään käytettyjen suurempien bittinopeuksien myötä kuvanlaatu on parempi.</p> <p>Protokollien, kuten RTP:n, käyttö on mahdollistanut nopean laajakaistan avulla videon suoratoiston eli streamauksen. Video on Demand- eli tilausvideopalvelut toimivat videostreamausprotokollien varassa, ja CDN-verkostot pitävät huolen siitä, että palvelu on nopeaa ja luotettavaa.</p> <p>Wowza Streaming Engine -ohjelmisto tarjoaa mahdollisuuden streamata videolähetyksiä niin ammattilais- kuin harrastelijatasollakin. Ohjelmisto sisältää kaikki uusimmat koodekit ja yleisimmät laitteiden vaatimat videonsiirtoprotokollat. Työssä kokeiltiin, kuinka streamaus toteutetaan Wowza Streaming Enginellä.</p>	
Avainsanat	IPTV, koodekit, protokollat, streamaus, wowza streaming

Author Title	Jere Silvennoinen IPTV, Streaming, and Wowza Media Streaming
Number of Pages Date	78 pages + 2 appendices 2 December 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Telecommunications Technology
Instructor	Jouko Kurki, Principal Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to explore the mechanics of video delivery networks, and how modern Internet protocols and video and audio codecs are utilised in the construction and implementation of these networks. The thesis was done at Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>After its release, the H.264 video codec has completely changed the way how media is viewed and used in everyday life. The set-top box has become a necessary household appliance, and fast broadband connections allow high-capacity media distribution. H.264, along with its successor H.265, is more advanced than older standards, and enables the transfer of better quality video even when a high speed connection is not available.</p> <p>Video streaming would not be possible without different internet protocols, such as Real Time Transfer Protocol, RTP, and high-speed broadband connections. Video streaming protocols have been essential to the birth of the popular video on demand services that use content delivery networks to ensure high quality of service.</p> <p>The Wowza Media Streaming software offers video streaming tools to both professionals and amateurs. It includes all the newest codecs and the most common video transfer protocols to meet the requirements. A part of this thesis was to install- a video streaming service using Wowza Straming Engine in a laboratory and test it. Wowza turned out to be a powerfull streaming server and easy to use for the test streams.</p>	
Keywords	IPTV, codecs, protocols, streaming, wowza streaming

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Operaattorit ja videonjakelijat	1
2.1	Kotimaan markkinakatsaus	3
2.2	Yle Areena	5
2.2.1	Kuinka Areenan jakelu toimii	5
2.2.2	Hajautettu jakelu	5
2.2.3	Laatu, yhteys ja kapasiteetti	7
2.2.4	Kehitys kohti IPv6-standardia	7
2.3	Google ja YouTube	9
2.4	Globaali markkinakatsaus	9
3	IPTV ja streamaus	12
3.1	Yleistä	12
3.2	Internet Protocol TV:n määritelmä	13
3.3	Arkkitehtuuri	14
3.3.1	IPTV-elementit	14
3.3.2	Hajautettu ja keskitetty jakelu	16
3.3.3	IPTV-palvelun käyttöympäristö	17
3.3.4	Verkot kotitalouksissa	18
3.4	Video On Demand (VOD)	19
3.4.1	Käytettävyys	21
3.4.2	Piratismien ja vertaisverkkoteknologian merkitys	21
3.5	Content Distribution Network	24
3.5.1	Määritelmä	24
3.5.2	Content Distribution Networkin kehitys	25
3.5.3	Global Server Load Balancing	27
3.5.4	Sisällönjakeluverkon hyödyt	28
4	Videopalvelimien tekniikat	29
4.1	Videokoodekit ja protokollat	29
4.2	H.264 (MPEG-4 Part 10 / AVC)	29
4.2.1	Yleistä	29
4.2.2	Kodekin kehityksestä	31
4.2.3	Videokoodauskerros	33

4.2.4	Bittivirran koodaus	36
4.2.5	Makrolohkoihin jako, viipaleet ja viipaleryhmät	37
4.2.6	Kvantisointi- ja kokonaislukumuunnos	41
4.2.7	Bittivirran dekoodaus	43
4.2.8	H.264-koodekin tehokkuus	43
4.3	H.264-koodekin profiilit ja levelit	45
4.4	H.265	50
4.5	Real-Time Transport Protocol (RTP)	51
4.5.1	Sovellustason kehystys ja TCP/IP-ratkaisut	53
4.5.2	RTP-protokollat	56
4.5.3	Sessiot	57
4.5.4	Video- ja audioprofiilit	57
4.5.5	RTP-paketin otsake	58
4.5.6	RTP-pohjaiset järjestelmät	60
5	Wowza Streaming Engine 4.1.2	60
5.1	Yhteensopivuus	61
5.1.1	Mukautuva bittinopeus	62
5.1.2	Suoran lähetyksen transkoodaus	62
5.2	Wowzan tukemat protokollat	63
5.2.1	Adobe HDS (San Jose Streaming)	64
5.2.2	Adobe RTMP (Adobe Flash Player)	65
5.2.3	Apple HLS ("Cupertino Streaming")	66
5.2.4	Microsoft Silverlight (Smooth Streaming)	68
5.2.5	DASH	68
5.2.6	RTSP/RTP	70
6	Yhteenveto	70
	Lähteet	72
	Liitteet	
	Liite 1. Unix käyttöjärjestelmänä	
	Liite 2. Wowza Media Server 4.1.2 asennus ja käyttöönotto	

Lyhenteet

IPTV: Internet Protocol Television, teknologia, joka mahdollistaa televisiopalveluiden lähettämisen internet siirtoteiden kautta.

HDTV: High-definition television, teräväpiirtotelevisio. Resoluutio vähintään 1280x720p ja enintään 1920x1080p.

Älytelevisio: Smart TV, televisio, johon on integroitu internetyhteys ja sen kautta palveluita.

Streaming, suoratoisto: Videon katsominen samalla kun sitä ladataan ja katsottu osa poistetaan heti. Video ei tarvitse olla kokonaisuudessaan käyttäjällä kuten ennen.

CDN: Hajautettu sisällönjakeluverkko, käyttää datan jakeluun useita eri paikkoihin sijoitettuja palvelimia.

Ipv6: Internet-Protokolla versio 6. Mahdollistaa merkittävästi suuremman osoiteavaruuden kuin edeltäjänsä Ipv4.

VoIP: Voice over IP, mahdollistaa verkkopohjaiset audiopalvelut kuten internet-puhelut.

LAN: Local Area Network, lähiverkko.

WAN: Wide Area Network, laajaverkko.

VoD: Videon tilauspalvelu, käyttäjä voi valita valikoimasta sisältöä ja katsoa/kuunnella sitä milloin haluaa.

xDSL: Digital Subscriber line. Tunnetaan paremmin nimellä ADSL, tai VDSL, jotka olivat asiakkaille tarjottuja laajakaista yhteyksiä. Kirjain X termin on varattu DSL:n versiolle.

p2p: peer to peer, vertaisverkko, jokainen verkon käyttäjä sekä jakaa että vastaanottaa sisältöä muille käyttäjille.

Torrent: protokolla p2p-tiedostonjakoa varten. Torrent tiedosto sisältää tiedon käyttäjistä, joilla on haluttu data.

net neutrality: periaate, jonka mukaan palveluntarjoajien tulisi kohdella kaikkea verkkoliikennettä tasapuolisesti.

välimuisti: Välimuisti sijaitsee suoritusyksikön lähellä joten väylänopeus on suuri. Siksi välimuistiin tallennetaan väliaikaistietoa kuten käyttöjärjestelmän dataa, suoratoistovideon dataa., tai mitä tahansa käytön hetkellä oleellista dataa.

DoS: Denial of Service, palvelunestohyökkäys, sivuston käytön estämiseen pyrkivä verkkohyökkäys.

H.264: videonpakkausstandardi, toiselta nimeltään MPEG-4 AVC.

koodekki: kuva- ja äänisignaalin pakkaamiseen ja purkamiseen tarkoitettu sovellus.

DCT: diskreetti kosinimuunnos, algoritmi, jota käytetään kuvan pakkaamiseen.

VCL: Video Coding Layer, videon koodaus kerros.

NAL: Network Abstraction Layer, Verkon abstraction kerros.

DVB: Digital Video Broadcasting, kokoelma digitaalista televisiota varten kehitettyjä standardeja.

RTP: Real-time Transport Protocol, protokolla video- ja audiosisällön siirtämiseen IP-verkoissa.

RTCP: RTP Control Protocol, RTP:n kanssa yhdessä toimiva sisarprotokolla.

ABR: Adaptive Bitrate, multimedian suoratoistossa käytettävä teknologia.

HTTP: Hypertext Transfer Protocol, tiedonsiirtoon internetissä käytettävä protokolla.

DASH: Dynamic Adaptive Streaming over HTTP.

1 Johdanto

Video on oleellinen osa tämän päivän tiedonvälitystä, ja videosisällön välittäminen viekin internetin koko kapasiteetista noin 70-80 prosenttia. Videopalveluiden toteuttamiseen ja välittämiseen tarvitaan valtava määrä erilaista tekniikkaa. Mainitsemisen arvoisia ovat etenkin video- ja audiokompressiotekniikoiden kehitys ja protokollat. Valokuituteknologian ja palvelinten laskentatehon valtava kehitys on mahdollistanut tämän päivän nopeat kiinteät laajakaistayhteydet, mobiiliyhteydet ja suurikapasiteettisen internetin. Videon jakelu voidaan hoitaa television välityksellä, mutta nykyään valtaosa videosta liikkuu kuitenkin internetissä IP-tietovirtana. Käytännössä internetvideoiden jakelu toteutetaan videopalvelimilta streamaustekniikoita käyttäen.

Tässä työssä on esitelty videon ja audion kompressiotekniikoita, internetissä käytössä olevia yhteyskäytäntöjä eli protokollia ja videopalvelintekniikoita. Työssä laboratorioon on asennettu mm. teleoperaattoreiden videon jakeluun yleisesti käyttämä Wowza-videopalvelin ja esitelty sen käyttöä.

2 Operaattorit ja videonjakelijat

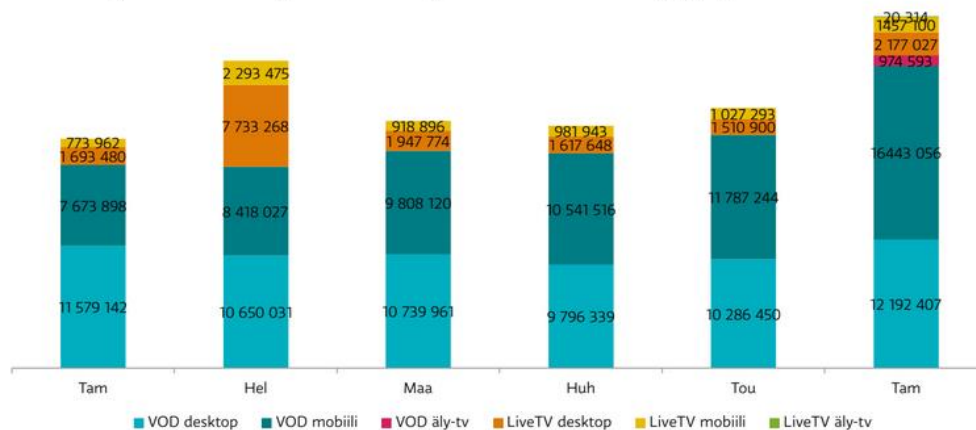
Yleisradion laatimassa digi-tv-visiossa tietokone ja televisio ovat fuusioituneet yhdeksikoko kodin kattavaksi mediakeskukseksi. Tv-lähetykset ovat saamassa uutta siirtotietä yleistymässä olevista nopeista kaapeliyhteyksistä, ja HDTV-lähetykset saattavat tulevaisuudessa siirtyä IPTV-formaatissa kokonaan tietoverkkojen puolelle. Vuonna 2008 Elisa-konserniin kuuluva Saunalahti antoi laajakaistatilaajilleen mahdollisuuden seurata Pekingin olympialaisia teräväpiirtona IPTV-verkossaan. IPTV-verkossa kulkevista teräväpiirtolähetyksistä ennustetaan tulevan juuri sitä, mitä digi-tv aikoinaan lupasi: aito interaktiivinen ja kaksisuuntainen yhteys, johon sisältyy lukuisia erilaisia palveluita. IPTV:tä voi myös seurata kaapeliyhteyksillä. Vaatimuksena on riittävä siirtotien nopeus, joka tarkoittaa teräväpiirto-ohjelmien kohdalla 10-20 megabittiä sekunnissa. On mahdollista, että tulevaisuudessa palveluntarjoajat tulevat hyödyntämään nopeaa tiedonsiirtotekniikkaa HDTV-medioiden tilauspalveluissa.[1.]

Nykyään kaikki tv-yhtiöt tarjoavat internetpohjaista sisältöä jossakin mittakaavassa. Suomen kolmella suurimmalla tv-alan toimijalla on valikoimissaan laajat ilmaiset internet-

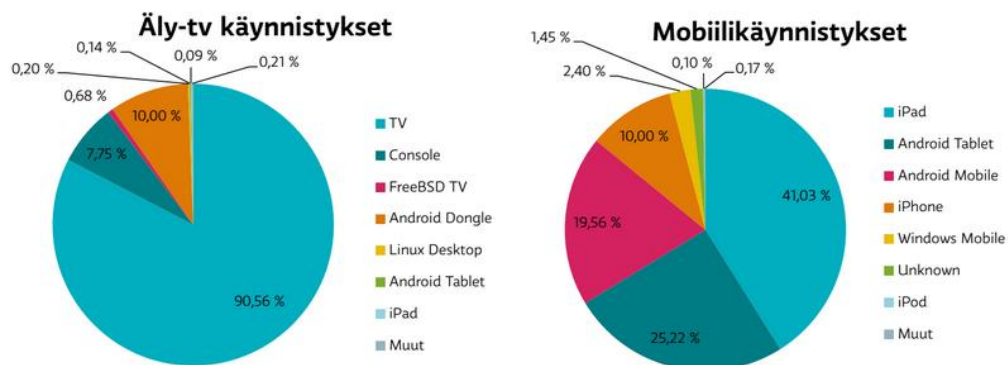
tv-palvelut, joiden käyttäjällä on katselu-oikeus koko ajan kasvavaan määrään ohjelmia myös niiden varsinaisten tv-esitysaikojen ulkopuolella. Näistä palveluista tunnetuin on ehkäpä Yle Areena, jossa on saatavilla Ylen kaikkien tv- ja radiokanavien ohjelmia. MTV Median omistama MTV Katsomo ja Nelonen Median Ruutu puolestaan tarjoavat sekä mainoksia sisältävää maksutonta sisältöä että kuukausimaksullisia palveluita. [2.]

Toisin kuin perinteiset tv-lähetykset, internet-tv-ohjelmat eivät ole katsojan tallennettavista myöhempää käyttöä varten, eli toisin sanoen ohjelmat suoratoistetaan. Tv:ssä esitettävien ohjelmien lisäksi internet-tv-palveluiden valikoimissa on usein myös suoria lähetyksiä sekä ainoastaan internetissä katseltavaa sisältöä. Verkkoesitysoikeuksista riippuen ohjelmat ovat katsottavissa palveluissa viikosta muutamaa kuukauteen. [2.]

Käynnistykset julkaisutyypeittäin



Kuva 1. Yle Areenan tilastoa julkaisutyypeittäin 2015 [3].



Kuva 2. Yle Areenan käynnistysiä laitteistoittain 2015 [3].

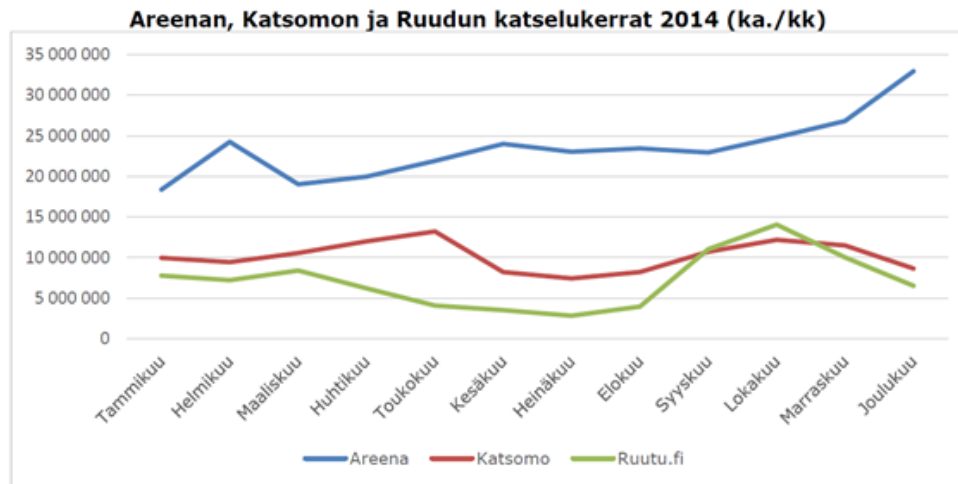
2.1 Kotimaan markkinakatsaus

Useiden tutkimusten mukaan kotimaisten tv-yhtiöiden maksuttomat palvelut ovat Suomessa katsotuinta internet-tv-sisältöä. TeliaSonera teetti syyskuussa 2014 Taloustutkimuksella *Koti&tv-tutkimuksen*, jonka vastaajista 59 % käytti Yle Areenan, MTV Katsomon ja Ruudun kaltaisia maksuttomia internet-tv-palveluita 25-54-vuotiaista vastaajista jo kaksi kolmasosaa käytti näitä palveluita. Myös *Viihde- ja digitaalisten sisältöjen tutkimuksella 2015*, jonka DNA teetti Norstat Finlandilla joulukuussa 2014, saatiin samanlainen tulos. [5; 2.]

Sekä Taloustutkimuksen toteuttaman selvityksen että Arkenan joulukuussa 2014 tekemän *Nordic Video Index Report* -tutkimuksen mukaan Yle Areena on suomalaisten tv-alan toimijoiden internetpalveluista ylivoimaisesti suosituin. Lisäksi Yle Areena oli Taloustutkimuksen selvityksen mukaan jo toista vuotta peräkkäin Suomen arvostetuin verkkobrändi. Arkenan kyselyyn vastanneista 83 % oli käyttänyt Yle Areenaa edeltäneiden kuuden kuukauden aikana. MTV Katsomon palveluita oli käyttänyt 59 % ja Ruutua puolestaan 44 % vastaajista. [2.]

Yle Areena tavoittaa myös eniten yleisöä. Google teetti syyskuussa 2014 TNS Gallupilla *YouTube and TV in the Nordics* -tutkimuksen, jonka mukaan Yle Areena tavoitti viikkotasolla keskimäärin 22 % vastaajista, MTV Katsomo 11 % vastaajista ja Ruutu 9 % vastaajista. Yle Areenaa suurempaan tavoittavuuteen ylsi ilmaista internet-tv-sisältöä välittävistä palveluista ainoastaan YouTube, joka tavoitti viikkotasolla lähes puolet vastaajista. Päivätasolla Areenan tavoittavuus oli keskimäärin 10 %, Katsomon ja Ruudun puolestaan 4 %. [2.]

TNS Gallupin tutkimuksesta käy ilmi, että maksullisista internet-tv-palveluista Ruutu oli toiseksi suosituin vain prosenttiyksikön erolla Netflixiin. Muut maksulliset palvelut tavoittivat huomattavasti vähemmän yleisöä. [2.]

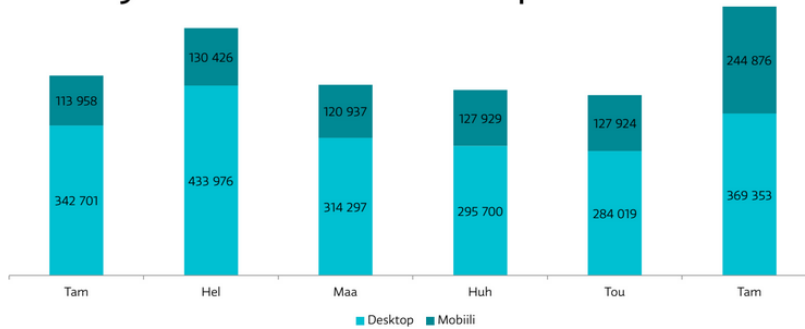


Kuva 3. Areenan, Katsomon ja Ruudun keskimääräiset katselukerrat kuukausittain 2014 [2].

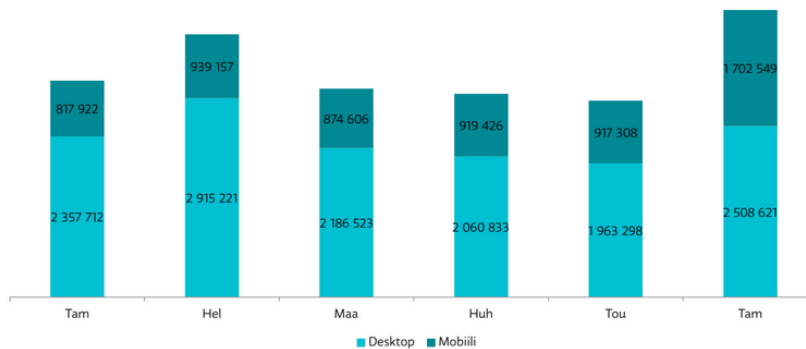
Finnpanelin keräämistä tiedoista käy ilmi, että kotimaisten tv-yhtiöiden internet-tv-palveluiden käyttö on moninkertaistunut viime vuosien aikana. Yle Areenan, MTV Katsomon ja Ruudun sisältöä katseltiin vuonna 2014 keskimäärin yhteensä 41 miljoonaa kertaa kuukaudessa. Vuonna 2013 luku oli keskimäärin 27 miljoonaa, 2012 keskimäärin 24 miljoonaa ja 2011 keskimäärin 11 miljoonaa katselukertaa kuukaudessa. [2.]

Kuva 3 osoittaa, että Yle Areenan käyttö kasvoi loppuvuotta 2014 kohden, kun MTV Katsomon ja Ruudun katselukerrat puolestaan vähenivät. Suurimmat katselulukemat Yle Areena saavutti joulukuussa, jolloin käynnistyksiä oli keskimäärin lähes 33 miljoonaa. Käynnistysten kuukausittainen keskiarvo oli Yle Areenassa 23,5 miljoonaa, MTV Katsomossa 10,2 miljoonaa ja Ruudussa 7,2 miljoonaa kertaa. [2.]

Käyntien keskiarvot päivässä



Käyntien keskiarvot viikossa



Kuva 4. Yle Areenan käyntitilastoa 2015 [3].

2.2 Yle Areena

2.2.1 Kuinka Areenan jakelu toimii

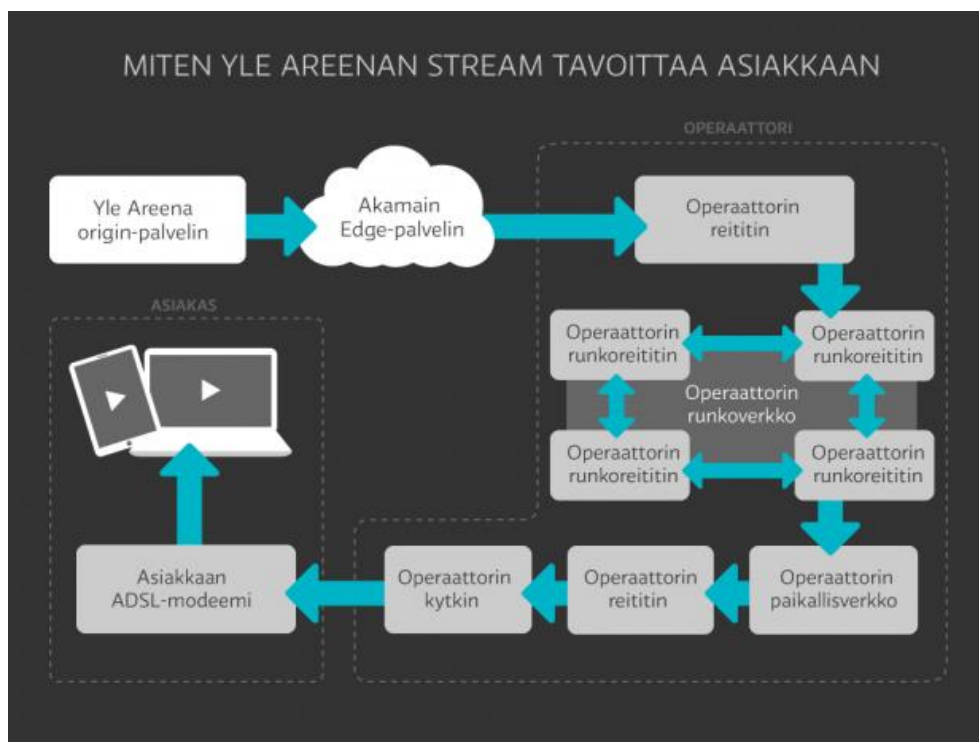
Yle Areenan tv-ohjelmat, radiosisällöt sekä uutis- ja mainosvideot julkaistaan erillisiä työkaluja käyttäen. Näiden työkalujen avulla toteutetaan esimerkiksi ohjelmien sijoittelu ohjelmakaavioon. Mediasisältö ja ohjelmien yksityiskohdat tallentuvat tietokantaan, jonka tietojen mukaan määritellään esimerkiksi ajankohdat, jolloin ohjelmat julkaistaan tai poistetaan Yle Areenasta. Kullakin ohjelmalla on verkkoesitysoikeudet, jotka määräävät sen, kuinka kauan ohjelma on saatavilla palvelussa. Yle Areenan sisältöä voi tällä hetkellä katsoa internetpalvelussa, älytelevision kautta ja Android, iOS- ja Windows-mobiilikäyttöjärjestelmille kehitetyillä katselusovelluksilla. [5.]

2.2.2 Hajautettu jakelu

Yle Areenan sisältöä ei lähetetä vain yhdeltä palvelimelta, vaan sen jakeluun käytetään hajautettua sisällönjakeluverkkoa eli CDN:aa (Content Delivery Network tai Content

Distribution Network). Yle hankkii CDN-palvelunsa Akamailta, joka on maailmanlaajuisesti suurin alan yritys. [5.]

Akamilla on käytössään ns. origin-palvelimia, joihin media varastoidaan, ja ns. edge-palvelimia, jotka suoratoistavat median. Kun käyttäjä käynnistää sisällön, toistopyyntö välittyy Yle Areenan taustajärjestelmien kautta edge-palvelimille, joita on useissa paikoissa ympäri Suomen. Akamai pyrkii aina käyttämään sellaista palvelinta, joka pystyy ottamaan vastaan uusia pyyntöjä ja sijaitsee mahdollisimman lähellä käyttäjää. Jollei haluttua sisältöä ole edge-palvelimen välimuistissa, se täytyy hakea Ylen origin-palvelimelta ennen kuin suoratoisto voidaan aloittaa. [5.] Kuva 5 selventää Yle Areenan streamin reittiä Ylen palvelimelta asiakkaan laitteeseen.



Kuva 5. Yksinkertaistettu kuvaus CDN:n ja operaattoriverkon toiminnasta. Kun käyttäjä toistaa ohjelmaa mobiililaitteella matkapuhelinverkon kautta, on operaattorin viimeisenä pisteenä tukiasema, mutta muuten yleisperiaatteet ovat samat [5].

Myös Yle Areenan suorana lähetettävät ohjelmat toimivat periaatteessa samalla tavalla. Suoraa lähetystä puskuroituu eli tallentuu edge-palvelinten ja mahdollisesti myös operaattorien välimuistiin sen verran, että lähetys on vakaa eikä pätki. Välimuistien

käytön vuoksi internetissä toistettava suora lähetys on aina hiukan tv:n tai radion kautta katsottua tai kuunneltua lähetystä jäljessä. [5.]

2.2.3 Laatu, yhteys ja kapasiteetti

Streamattavan ohjelman laatu riippuu sekä vastaanottolaitteen ominaisuuksista että käyttäjän ja palvelimen välisen internetyhteyden tasosta. Jos yhteys on tarpeeksi vakaa ja nopea, Akamain palvelimet voivat välittää ohjelmaa jopa teräväpiirtotasoisena. Stream lähetetään aina sen tasoisena, ettei sisällön toisto kärsi, vaikka yhteyden laatu hetkellisesti vaihtelisikin. Yle Areenan sisällön katsominen vaatii siis vakaata yhteyttä, sillä verkkokatseluoikeudet sallivat vain sisällön suoratoiston. Toisenlaista tekniikkaa käyttää esimerkiksi YouTube, joka tallentaa toistettavaa sisältöä katsojan tietokoneelle [5.]

Akamain edge-palvelimilla on käytössään niin valtavasti kapasiteettia, ettei Yle Areenan sisällön toistaminen pysty ruuhkauttamaan niitä. Esimerkiksi joulukuussa 2014 Akamain palvelimet välittivät Yle Areenan sisältöä katsojille noin 8,5 petatavun edestä. Sen sijaan yleisin syy häiriöihin Yle Areenan käytössä ovat erilaiset ongelmat Akamain palvelinten, operaattorin ja katsojan vastaanottolaitteen välillä tapahtuvissa prosesseissa. Häiriöitä voi esiintyä myös Yle Areenan puolella esimerkiksi ohjelmien julkaisuprosessissa tai tekstitysten ajastuksessa. Joskus Akamain palvelussa tai yhteyksissä esiintyy väliaikaisia ongelmia, mutta ne voidaan yleensä korjata tyhjentämällä välimuisti. [5.]

2.2.4 Kehitys kohti IPv6-standardia

Internet kehitettiin alun perin Yhdysvaltojen armeijan salaisena projektina (advanced-research-projects-agency-network, ARPAnet), eikä kukaan varmasti voinut arvata sen vielä laajenevan nykyisiin mittasuhteisiinsa. Sen vuoksi internetiä kehitettäessä päädyttiin 32-bittiseen IP-osoitteeseen, jonka tarjoamien yli 400 miljoonan IP-osoitteen uskottiin riittävän loputtomiin. [6; 7.] Kuva 7 esittää lohkokaaaviota aikaisesta ARPAnet-versiosta vuodelta 1977.

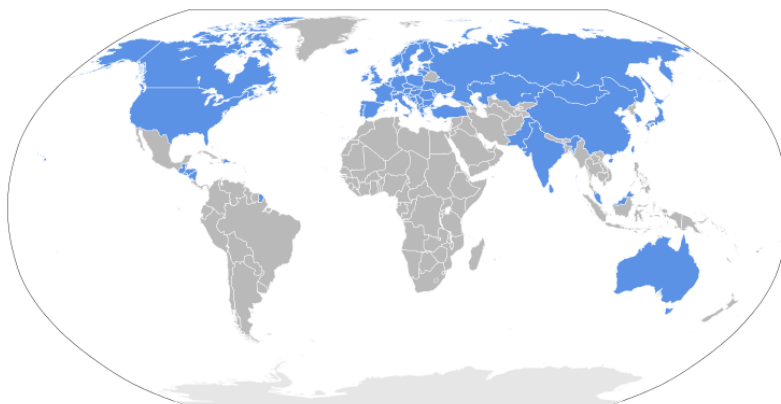
Uuden IP-standardin kehitys ja käyttöönotto aloitettiin vasta 2000-luvulla, vaikka IP-osoitteiden vääjäämätön loppuminen tiedostettiin jo aiemmin. Uusi standardi kantaa nimeä IPv6, ja se pystyy tarjoamaan IP-osoitteen yhteensä 3.4×10^{38} laitteelle. Luku on

2.3 Google ja YouTube

Tammikuussa 2005 kolme PayPal-yhtiön työntekijää julkaisivat betatestiversion internetsivusta nimeltä YouTube. He olivat halunneet luoda sivuston, jossa tavalliset ihmiset pystyivät jakamaan kotitekoisia videoita koko maailman nähtäväksi. Marraskuussa 2005 Sequoia Capital sijoitti YouTubeen yli kolme miljoonaa dollaria, ja kuukautta myöhemmin sivustosta oli saatu tehtyä täysin toimiva kokonaisuus. YouTube nousi nopeasti maailmanlaajuiseen suursuosioon, ja marraskuussa 2006 hakukonejätti Google osti sen 1,65 miljardilla dollarilla. Yhtiö jatkaa edelleen kasvuaan, ja myös sivustolle ladattujen videoiden määrä kasvaa koko ajan voimakkaasti. Sisältö on monipuolistunut paljon, ja alkuperäisten kotivideoiden lisäksi palvelussa voi nykyään katsoa esimerkiksi musiikki- ja opetusvideoita, dokumentteja ja poliittisia keskusteluja. [8].

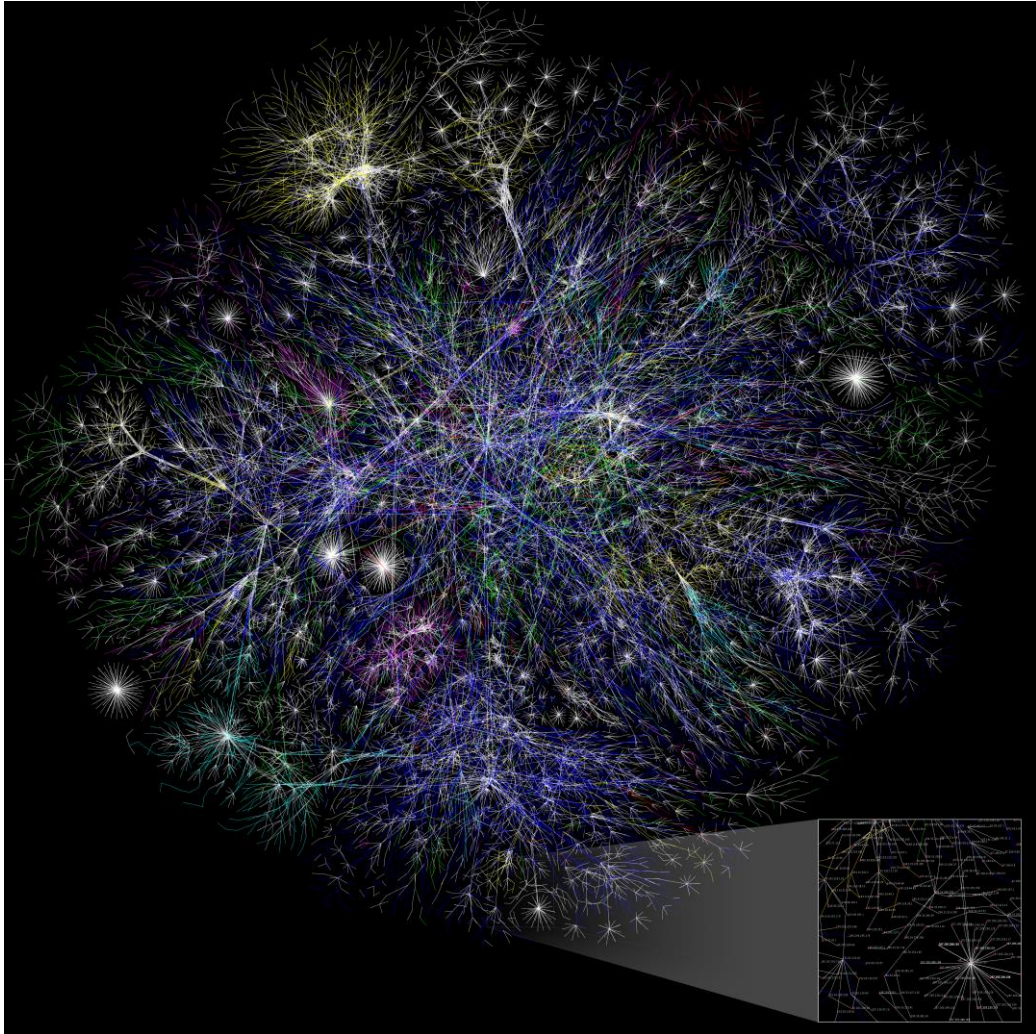
2.4 Globaali markkinakatsaus

Brittiläinen tilastopalvelu Point Topic julkaisee neljä kertaa vuodessa raportin laajakaistan, IPTV:n ja VoIP:n käytöstä ympäri maailman. Kirjoitushetkellä uusimman raportin mukaan kesäkuussa 2015 IPTV-palveluilla oli maailmanlaajuisesti 123 miljoonaa tilaajaa, noin 4,4 miljoonaa tilaajaa enemmän kuin vuoden 2014 alussa. Eniten tilaajia, noin 47 % kokonaismarkkinoista, oli Itä-Aasiassa [9]. Kuvaan 8 on merkitty maat, joissa IPTV on käytössä.[12.]



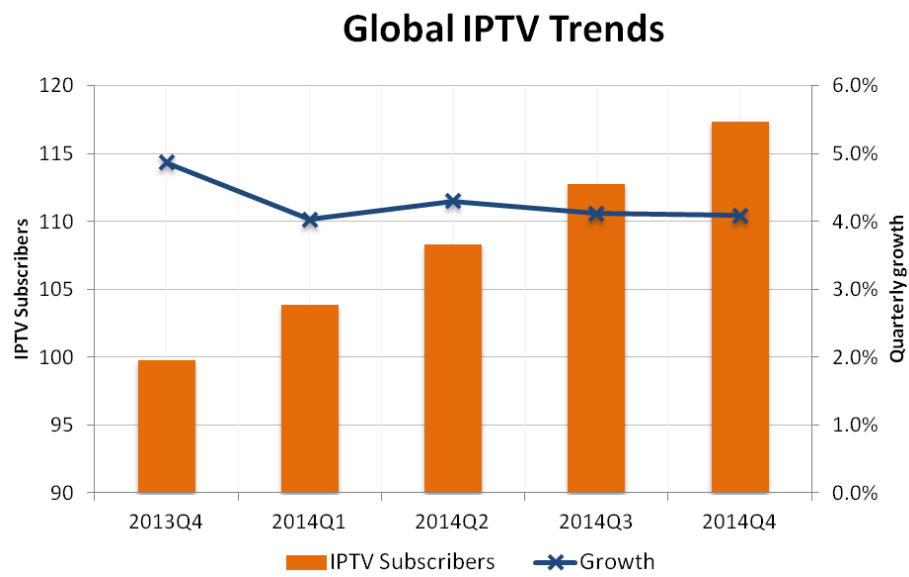
Kuva 8. Siniset alueet kuvastavat maita ja alueita, joissa IPTV on käyttöönotettuna [10].

Kuvassa 9 internetin rakenne on kuvattu ”karttana”, josta käy ilmi, että internet on globaalisti erittäin laaja ja siten potentiaalisia uusia IPTV-tilaajia on vielä valtavasti, vaikkei kasvu toki voikaan jatkua loputtomiin. [11].

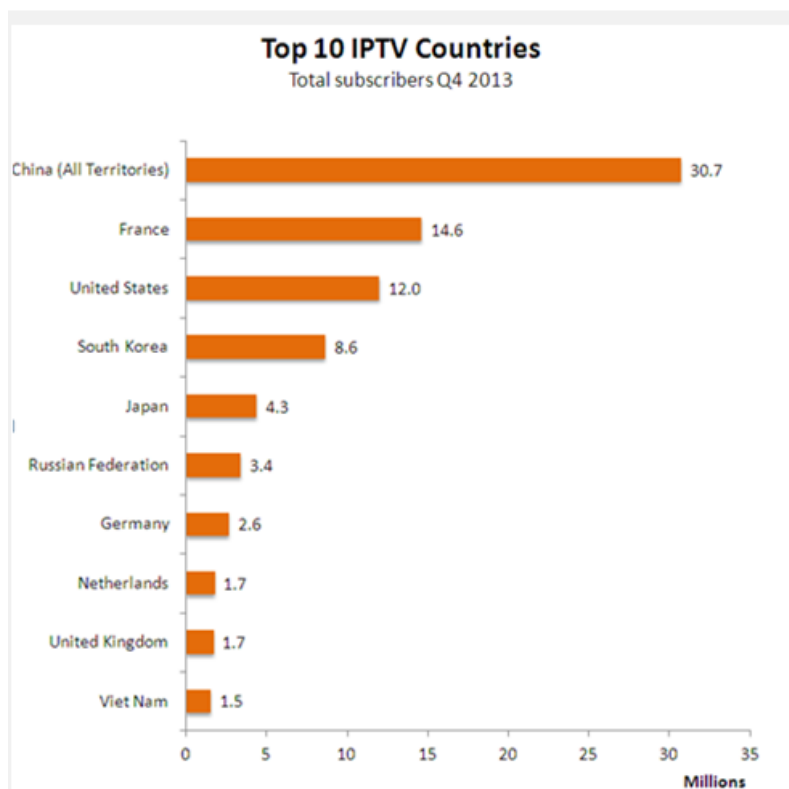


Kuva 9. Internet maailmanlaajuisena kokonaisuutena [11].

Kuvasta 10 käy ilmi, että IPTV-tilaajien määrä kasvoi loppuvuodesta 2013 loppuvuoteen 2014 noin 17 miljoonalla, ja vuoden 2014 lopussa IPTV-tilaajia oli maailmanlaajuisesti noin 117 miljoonaa. Vuosineljäksittäinen kasvu oli erittäin voimakasta, keskimääräisesti 4,1 %. Nopeimmin IPTV:n tilaajamäärät kasvavat Aasiassa, jossa asuu yli 44 % koko maailman IPTV-tilaajista. Tilaajamääriltään suurimmat Aasian maat ovat Kiina, Etelä-Korea ja Japani. Kuva 11 kuvastaa tilaajamäärien suhteita maittain. [12.]



Kuva 10. Maailmanlaajuinen tilaajamäärien kasvu vuosien 2013 ja 2014 välillä [12].



Kuva 11. Vuonna 2013 suurin määrä IPTV-tilaajia oli Kiinassa [13].

3 IPTV ja streamaus

3.1 Yleistä

IPTV eli Internet Protocol TV on television jakelutapa, joka on toteutettu internetprotokollalla. IPTV-jakelu jakautuu kahteen eri ryhmään, jotka tunnetaan nimillä laajakaistatelevisio ja internettelevisio. Internettelevisio eroaa laajakaistatelevisiosta siten, että palvelut jaetaan verkon kautta ja käyttäjä menee itse verkosta niitä katsomaan, kun taas laajakaistatelevisio jaellaan suoraan vastaanottiin [14].

Laajakaistatelevisio on kaapelitelevisioverkkoon verrattavissa oleva järjestelmä, joka on kaapelitelevision tavoin suljettu järjestelmä, mutta se tarjoaa ohjelmia täydellä laadulla. Videoiden tilauspalvelut (Video on Demand) ja verkkotallennuspalvelut ovat laajakaistatelevision mahdollistamia palveluita, ja Nykyään operaattorit ja televisioyhtiöt tarjoavat laajan kirjon näihin pohjautuvia palveluita. Vaatimuksena laajakaistatelevision käyttämiseen on tarpeeksi nopea internetyhteys ja erillinen IPTV-vastaanotin [14].

Suomessa asiakkaan on mahdollista saada palveluntarjoajalta erillinen IPTV-vastaanotin laajakaistatelevisiopalveluita varten. Edellytyksenä on kuitenkin tarpeeksi nopea internetyhteys. Toisin kuin usein luullaan, laajakaistatelevisio ja internettelevisio ovat kaksi eri palvelua. [14.]

IPTV-jakelu tapahtuu pakettikytketyn verkon, kuten internetin (WAN, Wide Area Network) tai kotiverkon (LAN, Local Area Network) yli. IPTV tarjoaa mahdollisuuden ladata mediaa suoraan lähteestä pienissä osissa, mikä mahdollistaa sen, että media player -ohjelmisto pystyy aloittamaan median toistamisen jo ennen kuin tiedosto on kokonaisuudessaan ladattu. Tätä kutsutaan median suoratoistamiseksi eli streamaukseksi.

IPTV-palvelut voidaan jakaa neljään pääryhmään: [15.]

Laajakaistatelevisio (Live Television): voi sisältää katsottavaan ohjelmaan liittyviä interaktiivisia osia ja palveluita.

Ajassa siirretty katselu (Time Shifted Television): käyttäjä voi katsoa ohjelmia tietyn aikajakson sisällä, katsoa jo käynnissä olevaa ohjelmaa alusta asti tai kelata ei-halutun osion läpi.

Tilausvideo (Video On Demand): käyttäjällä on mahdollisuus selata palveluntarjoajan valikoimaa ja katsoa haluttu ohjelma milloin tahansa.

Internet-katselu: internetissä olevat palvelut, joista voi katsoa ohjelmia. Suomessa tällaisia palveluita ovat esimerkiksi Yle Areena, MTV Katsomo ja Nelonen Ruutu.

3.2 Internet Protocol TV:n määritelmä

IPTV on historiansa aikana määritelty useilla eri tavoilla kuten esimerkiksi ES (Elementary Streams) IP:n yli, TS (Transport Streams) IP:n yli ja useilla erilaisilla patentoiduilla järjestelmillä. [15.]

Virallisen määritelmän IPTV:lle on antanut International Telecommunication Union Focus Group on IPTV (ITU-T FG IPTV), ja se kuuluu vapaasti suomennettuna näin: [16.]

"IPTV on teknologia, jossa televisiosisältö, video, audio, teksti, kuvat tai muunlainen data välitetään IP-pohjaisten verkkojen yli niin, että vaadittu palvelun taso, turvallisuus, interaktiivisuus ja luotettavuus toteutuvat."

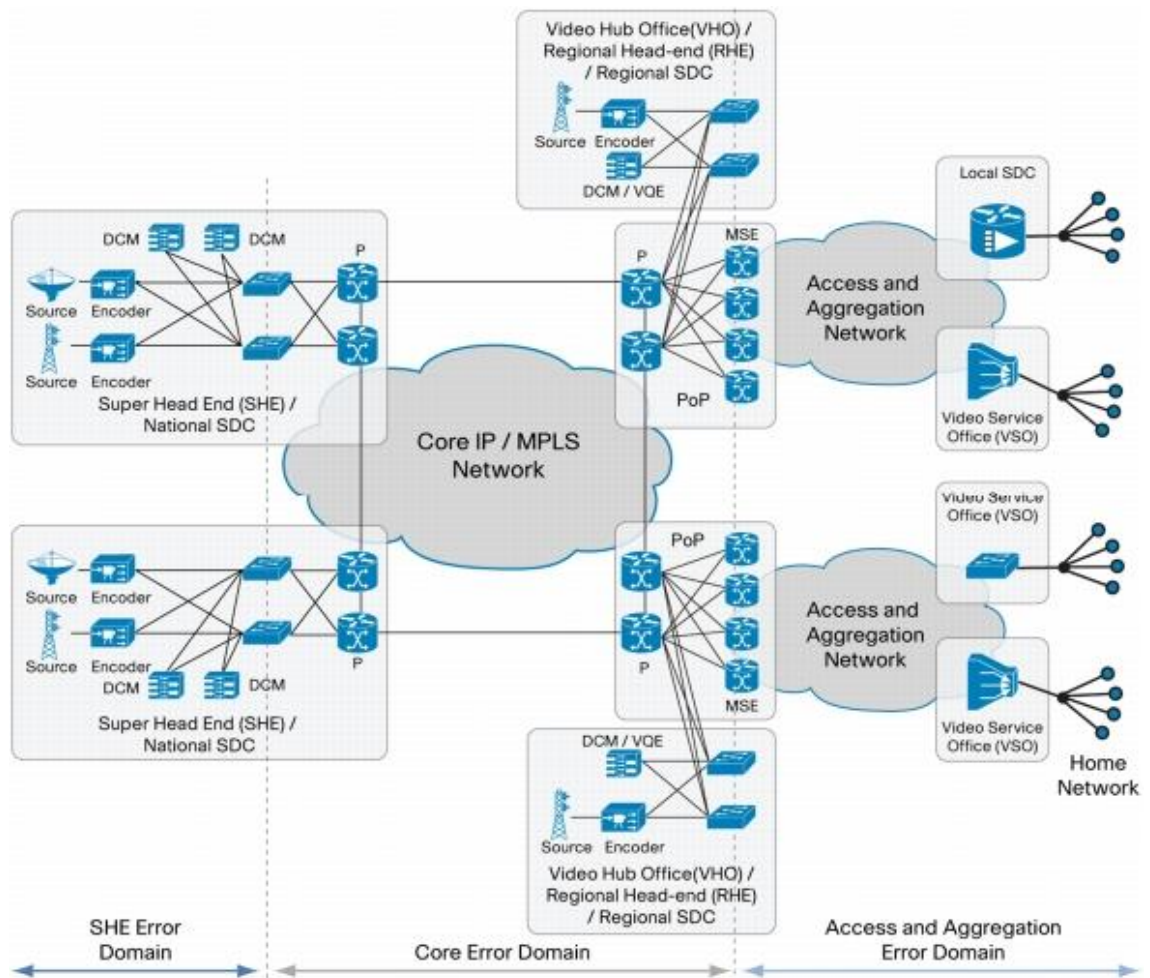
("IPTV is defined as multimedia services such as television/video/ audio/text/graphics/data delivered over IP based networks managed to provide the required level of QoS/QoE, security, interactivity and reliability.") [16.]

Alliance for Telecommunications Industry Solutions (ATIS) on antanut vuonna 2005 IPTV:lle määritelmän, joka on pähkinänkuoressa seuraava:

"IPTV on turvallinen ja luotettava tapa välittää sisältöä video- ja viihdepalvelujen tilaajille. Tällaisia palveluita voivat olla esimerkiksi live-tv, tilausvideopalvelut ja interaktiivinen tv. Palvelut välitetään käyttäen verkkoa, joka hyödyntää IP-protokollaa audion, videon ja kontrollisignaalien siirtoon." [17.]

3.3 Arkkitehtuuri

Multimediapalveluiden, kuten äänen ja videon, yhdistyminen IP- ja MPLS-verkkoihin (Multiprotocol Label Switching) on edellyttänyt verkoilta entistä parempaa palvelun laatua (Quality of Service), joustavuutta, saatavuutta ja skaalautuvuutta. Kuva 12 näyttää esimerkin Cisco MPLS-verkon rakenteesta. [10].



Kuva 12. Cisco ydin-IP/MPLS-verkon rakenne [10].

3.3.1 IPTV-elementit

IPTV-formaattiin kuuluvia elementtejä ovat:

TV head-end: Laite, joka enkoodaa, enkryptaa ja sovittaa livelähetykset verkkoon tai muulle siirtotielle IP multicast streamina.

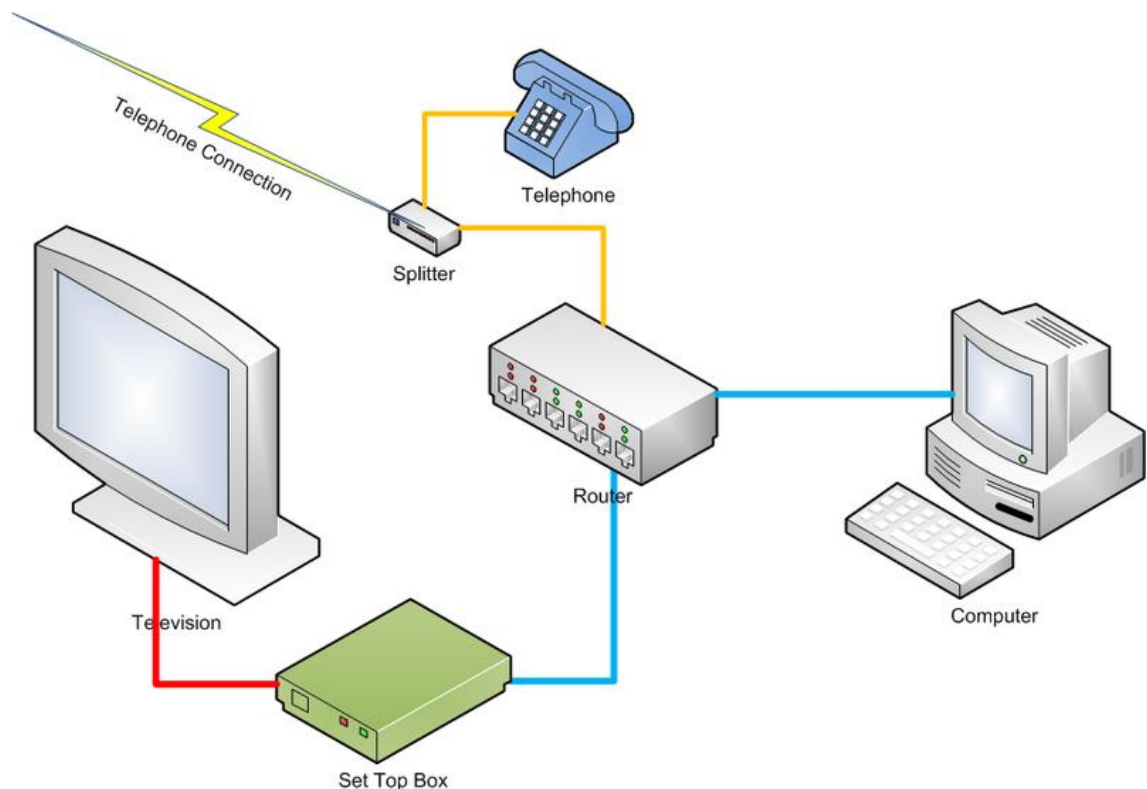
Tilausvideoalusta (Video On Demand): Paikka, jossa tilausvideoita säilytetään ja jossa ne ovat käyttäjän saatavilla IP unicast streamina.

Interaktiivinen portaali: Antaa käyttäjälle mahdollisuuden navigoida IPTV-palveluita, kuten esimerkiksi tilausvideopalvelun katalogia.

Kodin TV-yhdyskäytävä (home TV gateway): Käyttäjän kotona sijaitseva laite, joka toimii jakeluverkon päätepisteenä.

IPTV-sovitin (set-top box): Käyttäjän kotona sijaitseva laite, joka dekodaa ja dekryptaa TV- ja VOD-lähetys ja toistaa ne TV:n näytölle. [15.]

Kuvassa 13 on kuvattuna erilaisia kotitalouksien laitteita, jotka voi kytkeä internetiin erilaisin siirtotein.



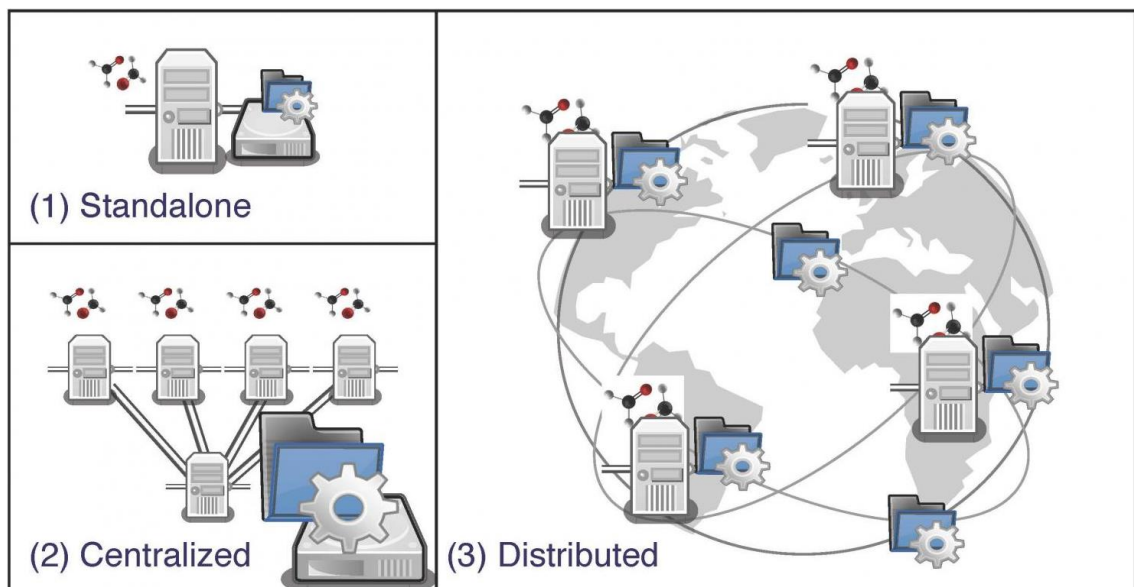
Kuva 13. Kodin IPTV-elementit [11].

3.3.2 Hajautettu ja keskitetty jakelu

Palveluntarjoajan verkkoarkkitehtuurista riippuen IPTV-jakelussa voidaan käyttää kahdenlaisia videopalvelinarkkitehtuureja, keskitetty ja hajautettu. [15.]

Keskitetyn arkkitehtuurin malli on yksinkertainen, ja sitä on helppo hallita. Kun kaikki sisältö on sijoitettu keskitettyyn palveluun, kattavia sisällönjakeluverkostoja ei tarvita. Keskitetyssä mallissa käytettävissä oleva kaistanleveys asettaa rajat sille, kuinka isoksi palvelu voi kasvaa, ja siksi se sopii parhaiten pienemmille tilausvideopalveluille. [15.]

Hajautettu arkkitehtuuri skaalautuu yhtä hyvin kuin keskitetty, mutta sillä on keskitettyyn malliin nähden yksi selvä etu, nimittäin ympäri maailmaa sijoitettujen lukuisten palvelimien vuoksi käytettävissä on huomattavasti enemmän kaistanleveyttä. Myös arkkitehtuurien hallintatapojen välillä on suuri ero. Hajautettu malli edellyttää älykästä ja hienostunutta sisällönjakeluteknologiaa varmistaakseen multim mediasisällön tehokkaan toimittamisen palveluntarjoajan verkkoon, minkä vuoksi on suositeltavaa harkita hajautettua mallia jo alusta lähtien, jos suunnitteilla on isomman verkon käyttöönotto. Kuva 14 havainnollistaa hajautetun (distributed) ja keskitetyn (centralized) jakelun eroavaisuuksia. [15.]

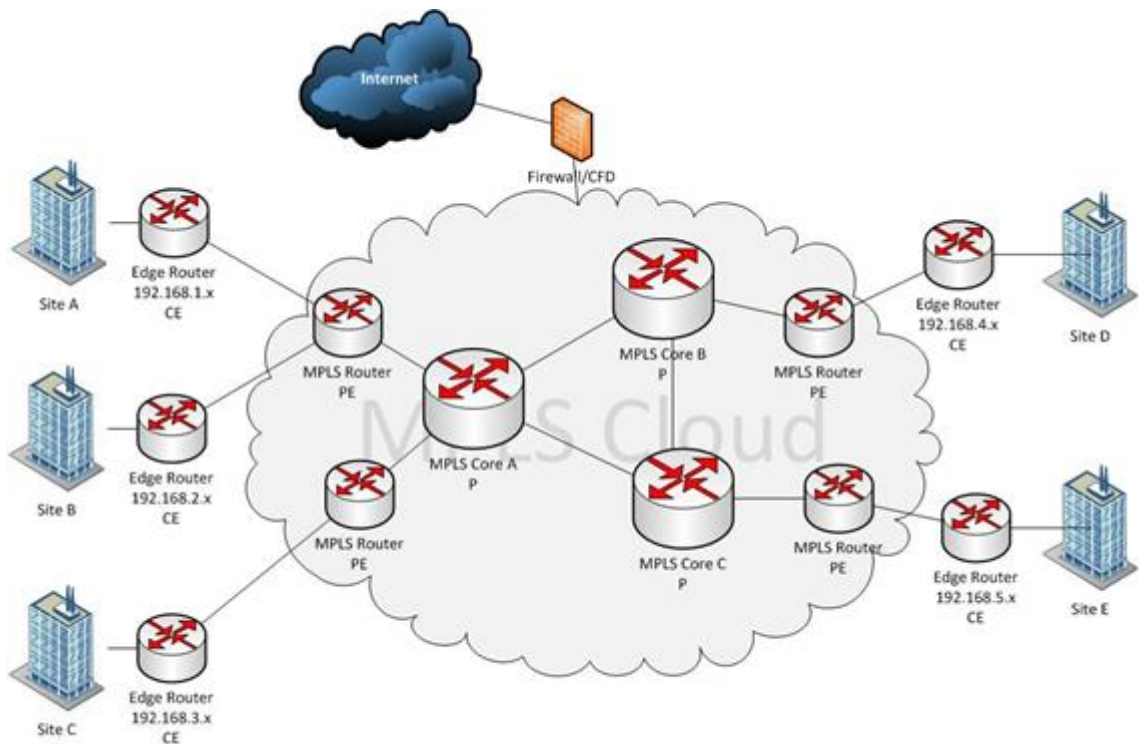


Kuva 14. Erilaisia jakelukeinoja. Jokaisella on oma roolinsa erilaisten palveluiden tarjoamisessa [20].

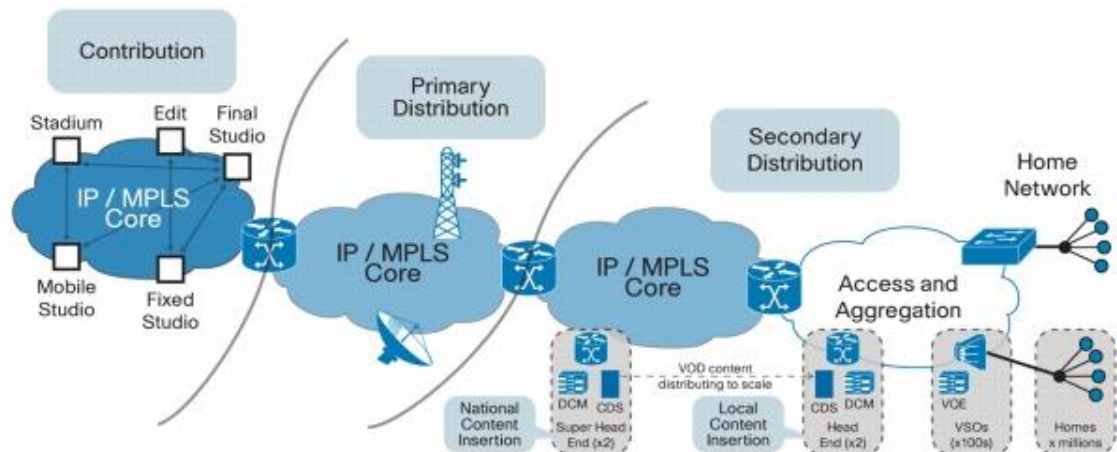
3.3.3 IPTV-palvelun käyttöympäristö

IPTV-palvelu toteutetaan operaattorin omalla runkoverkolla, jossa IPTV-palvelun välittämiseen käytetään Multiprotocol Label Switching (MPLS) -tekniikkaa.

MPLS-protokollalla IPTV:n reititys internetissä toteutetaan käyttäen ns. tunnelointia. Tämän menetelmän avulla IP-paketteja voidaan kuljettaa ennalta määriteltyjen yhteyksien ylitse nopean runkoverkon solmujen kautta ilman, että solmujen tarvitsee tehdä reititystä. Kuvissa 15 ja 16 on tyypilliset MPLS-verkkojen rakennekuvat. MPLS on läheistä sukua ATM-tekniikalle, mutta sen ohjaustapa soveltuu IP-pakettien käyttöön. [21.]



Kuva 15. MPLS-tunnelointi mahdollistaa monimutkaisen jakeluverkoston rakentamisen ja ylläpidon, eikä se ole riippuvainen siirtotietyydestä, vaan jokainen tietoa välittävä väylä on kelvollinen [22].

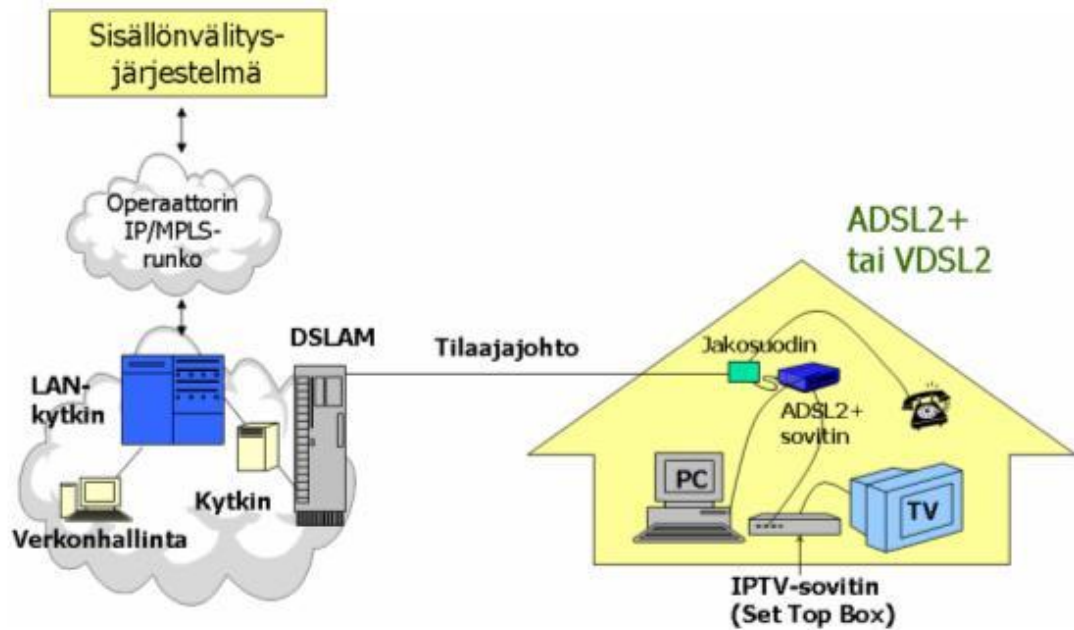


Kuva 16. IP/MPLS-verkon ydin voidaan jakaa kolmeen eri tehtäviä suorittavaan tasoon, joita ovat ensisijainen jakelu (Primary Distribution), toissijainen jakelu (Secondary Distribution) ja hyötyosuus (Contribution) [23].

3.3.4 Verkot kotitalouksissa

Usein kotitalouksien yhdyskäytävä, joka mahdollistaa pääsyn internetiin, ei sijaitse IPTV-digisovittimen lähellä. Palveluntarjoajat ovat nähneet tässä markkinaraon ja alkaneet myydä useamman digisovittimen sisältäviä tarjouspaketteja, joiden avulla palvelu voidaan räätälöidä mahdollisimman suuren pinta-alan kattavaksi. [21.]

Usein asukkaille voidaan järjestää toimiva internetyhteys, ja siten myös IPTV, hyödyntämällä kotitalouksissa valmiina olevia kaapelointeja kuten sähkö-, puhelin- ja koaksaalikaapeleita. IPTV:n kautta toimitettava teräväpiirtolähetys vaatii internetyhteyden, jonka nopeus on vähintään noin 8-10 megabittiä sekunnissa, mutta xDLS-, valokuitu- ja kaapeliyhteyksien yleistymisen on tuonut myös kotitalouksien ulottuville paremmin teräväpiirtojakeluun sopivat siirtonopeudet (15-50 megabittiä sekunnissa). [21.] Kuva 17 havainnollistaa, kuinka IPTV voidaan jakaa kotitalouksiin.



Kuva 17. Operaattorin IP/MPLS-verkosta toimitetaan IP-paketteja kytkinten (esim. DSLAM) kautta kiinteistössä olevaan internetsovittimeen. Sovittimesta IP/RTP-paketit kulkevat ethernet-kaapelia pitkin digiboksiin, joka poistaa IP-otsakkeen ja jäljelle jäävä RTP-pakettien vuo muodostaa suoratoiston toivottuun laitteeseen [21].

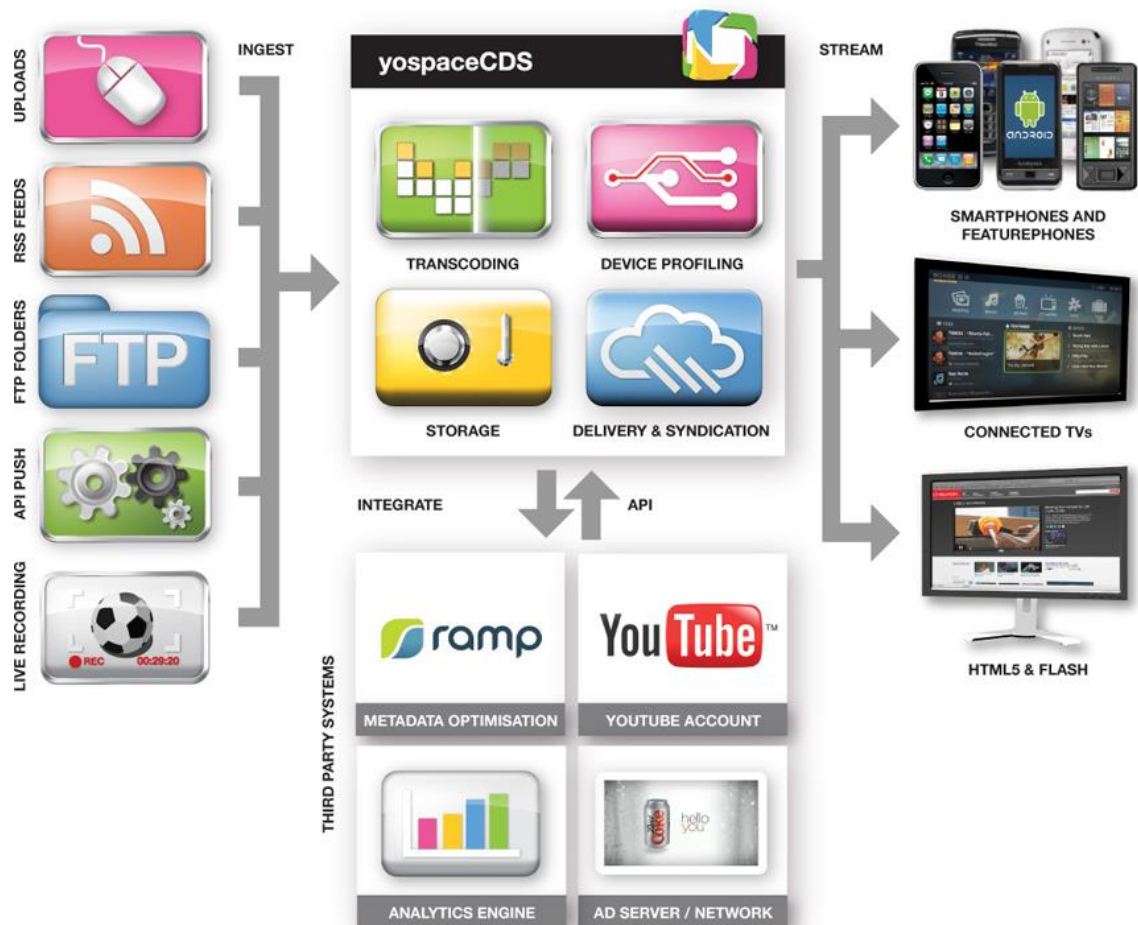
3.4 Video On Demand (VOD)

VOD (Video On Demand) eli tilausvideojärjestelmä antaa käyttäjän valita ja katsoa valikoimasta videoita tai kuunnella audiota silloin, kun hän itse haluaa, ja täten se eroaa perinteisessä kaapeli-tv-verkossa kulkevasta broadcast-lähetyksestä, jossa ohjelmat lähetetään aina tiettyyn aikaan. Tilausvideopalvelut järjestetään usein IPTV-tekniikalla, jonka kautta palvelu tuodaan televisioon ja henkilökohtaisiin tietokoneisiin. [15; 25.]



Kuva 18. Video on Demand on mahdollistanut kirjastomallisen elokuvien ja tv-sarjojen katsomispalvelun. Tällä hetkellä tarjonta on ylenpalttista [24].

Television tilausvideojärjestelmät voivat suoratoistaa sisältöä joko digiboxin, tietokoneen tai jonkun muun laitteen kuten matkapuhelimen kautta, mikä mahdollistaa katsomisen joko reaaliajassa tai erillisenä latauksena laitteeseen (esim. tietokoneelle tai digitaaliselle videonauhurille). Suurin osa kaapeli- ja teleyhtiöistä tarjoaa kahta eri tilausvideovaihtoehtoa eli ns. ”pay-per-view”-sisältöä (katsotusta ohjelmasta maksetaan erillinen hinnaston mukainen maksu) ja ilmaista sisältöä. Palvelut integroituvat nopeaan tahtiin. kuvasta 19 näkee, että palvelut alkavat yhdistyä isommiksi kokonaisuuksiksi. Käyttäjä voi valita, katsooko ohjelman heti, haluaako tallentaa sen palveluntarjoajalta ostettuun tallennustilaan vai lataako sen tietokoneelle tulevaisuuden katselua varten. Internetin kautta katsottu internet-televisio on koko ajan suosituimpi tilausvideoformaatti. [15; 25.]



Kuva 19. Tällä hetkellä trendinä on palveluiden ja tekniikoiden integroituminen toisiinsa [26].

Jotkin VOD-yritykset, kuten Netflix, käyttävät kuukausimaksullista mallia, jossa tilaaja saa kuukausimaksun maksamalla katseluoikeuden kaikkeen palvelun tarjoamaan sisältöön. Toiset yritykset, kuten Youtube, puolestaan käyttävät mainosrahoitteista mallia, jolloin palvelun käyttö on ilmaista, mutta katsottavaan sisältöön on liitetty mainoksia. [15; 25.]

3.4.1 Käytettävyys

Tilausvideopalvelut tarjoavat lataus- ja suoratoistopalveluissaan käyttäjälle kaikki samat ominaisuudet kuin kannettavat media- ja DVD-soittimet. Jotkin tilausvideopalvelut hyödyntävät käyttäjän kovalevyä tallentamalla sinne suoratoistovideota, jolloin tallennettu osa toimii puskurina videolle. [25.]

Videopalvelimia on mahdollista käyttää kotiverkossa (LAN, Local Area Network). Kotiverkossa palvelimet pystyvät reagoimaan käyttäjien tekemiin pyyntöihin todella nopeasti, koska latenssi on olematon ja pakettien hukkuminen on suhteessa pientä verrattuna ulkoverkkoon eli WAN:iin (Wide Area Network). Myös isompi yhteisö pystyy hyödyntämään videon suoratoistopalvelimia internetin kautta, mutta luonnollisesti pyyntöjen ja vastausten nopeus hidastuu ulkoverkon puolelle astuttaessa. [25.] VOD-palvelut sopivat mainiosti kotitalouksiin, joissa on tarpeeksi nopea laajakaista joko valokuitu-, kaapeli-, tai xDSL-yhteydellä.

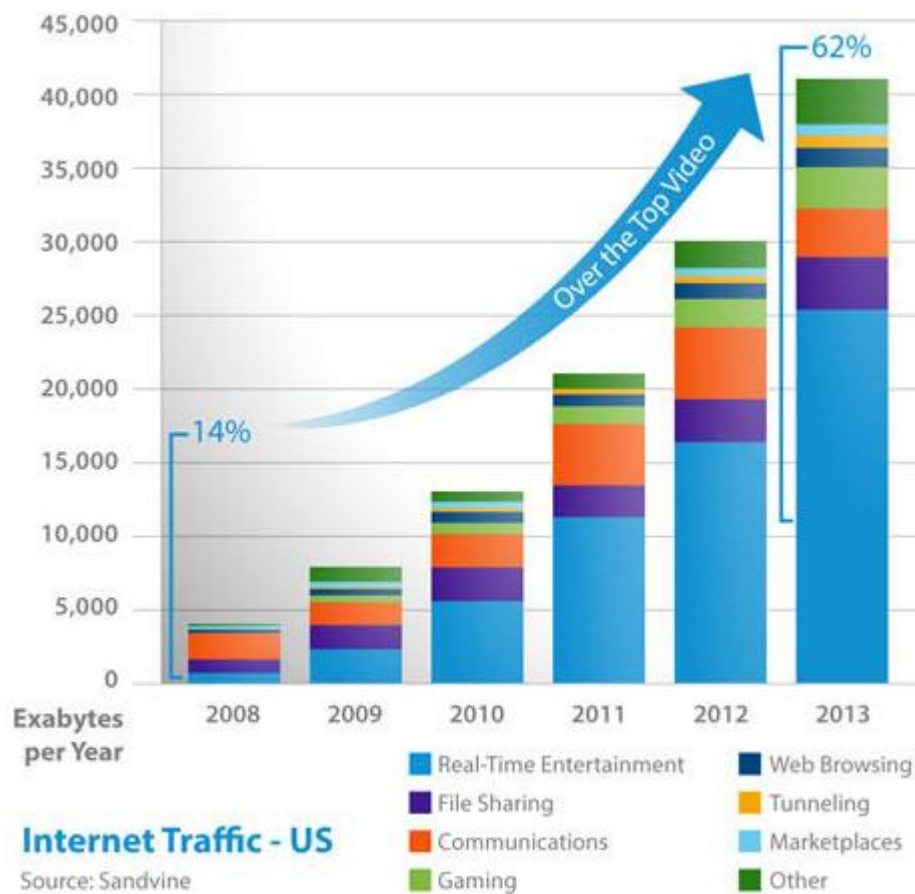
Yleisesti ottaen VOD-palvelimet sijaitsevat yrityksen pääkonttorissa tai esimerkiksi omassa palvelinsalissaan, josta käsin videonsiirto-operaatiota voidaan toteuttaa. Harvinaisempi ratkaisu on rakentaa esim. Googlen tapaan palvelinsalihalleja eri maihin. VOD:ia varten rakennettua palvelinsalia kutsutaan VHO:ksi (Video Head-End Office). [25.]

3.4.2 Piratismi ja vertaisverkkoteknologian merkitys

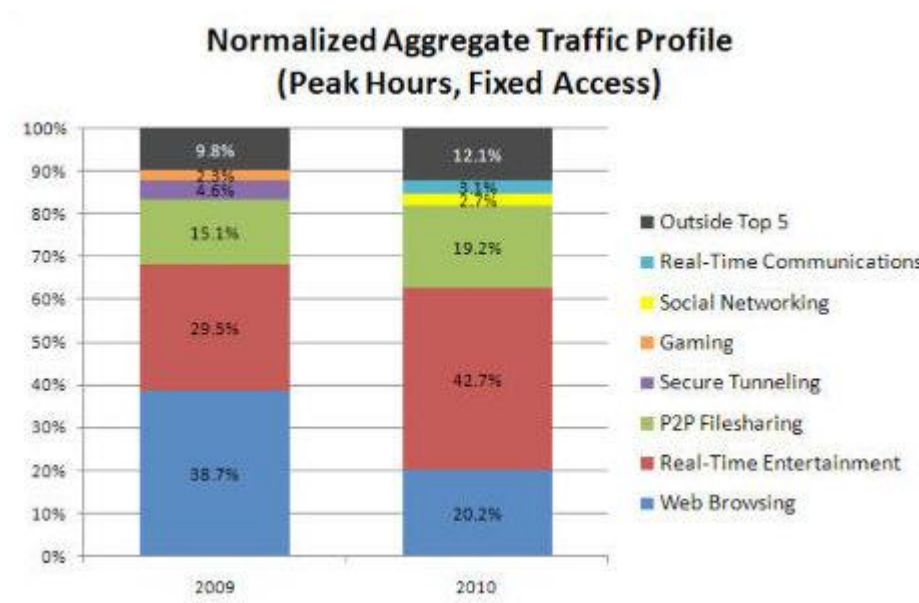
Tilausvideopalveluiden juuret ovat vertaisverkkoteknologiassa (peer-to-peer, p2p), joka mahdollistaa suurienkin tiedostojen jakamisen pienissä osissa kuormittamatta liikaa yksittäisen käyttäjän internetyhteyttä. Vertaisverkot ovat olleet jo pitkään suosittuja ennen kaikkea piratismikäytössä, sillä niiden avulla esimerkiksi elokuvien ja ohjelmistojen laaja levittäminen on nopeaa ja helppoa. Nykyään myös monet lailliset

toimijat, kuten musiikkipalvelu Spotify, hyödyntävät vertaisverkkoteknologian ominaisuuksia esimerkiksi tehdäkseen palveluistaan käyttäjäystävällisempiä hitaammillekin internetyhteyksille. [25.]

Torrent-tiedostojen lataaminen on suosittu vaihtoehto laillisille suoratoistopalveluille, ja niiden lataus käsittää noin 7 % (7.11.2015) globaalista internetliikenteestä. Pohjois-Amerikassa torrent-pohjainen tietoliikenne on kovassa laskussa ja sen päivittäinen huippuarvo on pudonnut jopa 20 prosentilla, kun taas Euroopassa p2p-pohjainen liikenne kasvaa kasvamistaan. [27.] Kuvat 20 ja 21 kuvastavat internetissä liikkuvan datan luonnetta.



Kuva 20. IP-pohjaisten videoiden siirtyminen internetin puolelle on aiheuttanut verkon rakenteen ja nopeuden valtavan kasvutarpeen [28].



Kuva 21. Tilastojen mukaan jo vuonna 2010 IP-pohjaisten stream-videoiden katselu vei 42,7 prosentilla suurimman osuuden ruuhkatuntien kaistanleveydestä. Trendi on ollut todella voimakkaasti kasvusuuntainen vuodesta 2010 lähtien [29].

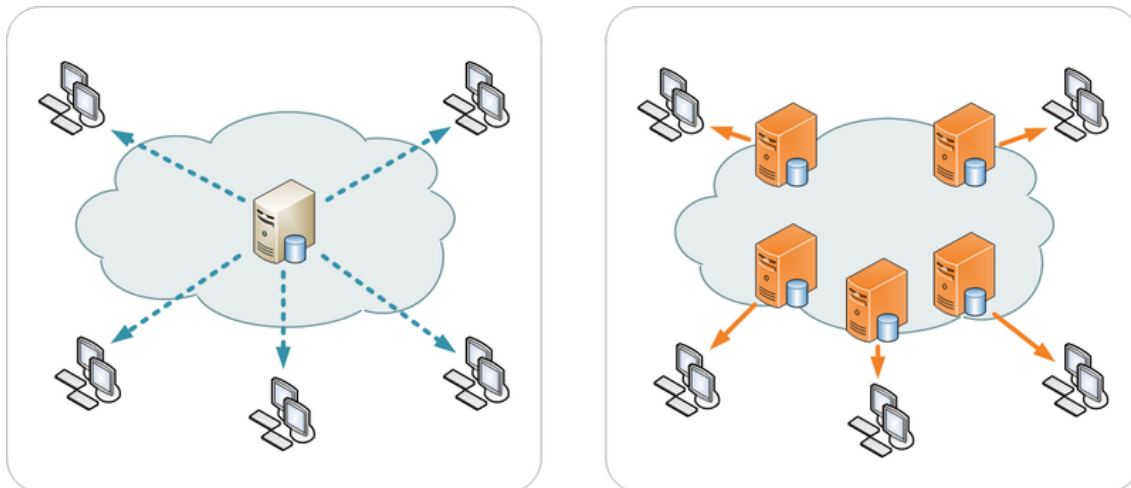
VOD:n kehitys on voimakkaasti sidoksissa peer-to-peer-verkkojen suosioon ja etenkin niiden tiedostonjako- ja latauspalveluihin, jotka ovat dominoineet internetin liikennemääriä jo pari vuosikymmentä. VOD:n innovaatio on siis peräisin p2p-verkoista, vaikka tekniikat ovat melko erilaisia. P2p-verkoissa käyttäjät jakavat dataa toisilleen, kun taas VOD:ssa jakelu on keskitettyä. VOD:ssa on myös mahdollista käyttää CDN:aa (Content Delivery Network), jolloin jakelu on keskitetty, mutta palvelimet on sijoitettu ympäri maailman siten, että palvelut ovat aina suhteellisen lähellä loppukäyttäjää. Tämän teknologian käyttö ehkäisee suuren määrän pitkän matkan tiedonsiirtoon liittyviä ongelmia, kuten latenssi, pakettihävikit ja häiriöt siirtotiellä.

Monet yritykset, esimerkiksi Spotify, toimivat tienraivaajina laillisille peer-to-peer -verkostoille käyttämällä vertaisverkkoteknologiaa omista palveluissaan. Myös Netflix on harkinnut sen käyttöä tukeakseen ja parantaakseen internetin neutraliteetin (net neutrality, periaate, jonka mukaan palveluntarjoajien tulisi kohdella kaikkea verkkoliikennettä tasapuolisesti) kehitystä. [25; 7.]

3.5 Content Distribution Network

3.5.1 Määritelmä

Hajautettu sisällönjakeluverkko (CDN, content delivery network tai content distribution network) on suuri palvelinverkko, joka lataa ja jakaa tiedostoja useilta eri palvelimilta ympäri maailman. Kuva 22 havainnollistaa CDN:n eroa tavalliseen keskitettyyn jakeluun verrattuna. Hajautetun sisällönjakeluverkon käyttö on erityisen kannattavaa silloin, kun jaettavaa sisältöä tai palvelua halutaan tarjota käyttäjille maailmanlaajuisesti. CDN:ää käytettäessä data latautuu käyttäjille heitä lähinnä sijaitsevalta tai muuten sopivimmalta palvelimelta, siinä missä perinteistä internetiä käytettäessä data saattaa siirtyä jopa toiselta puolelta maailmaa. CDN siis mahdollistaa nopean ja luotettavan tiedonsiirron, minkä vuoksi nykyään valtava osa internetin sisällöstä hyödyntää näitä verkkoja; tilausvideopalveluiden lisäksi esimerkiksi erilaiset portaalit, sosiaalisen median palvelut, ohjelmistot ja jopa aivan tavalliset kuvia ja tekstejä sisältävät internetsivustot toimivat usein hajautettujen sisällönjakeluverkkojen avulla. CDN-alan suurin toimija on Akamai, joka omistaa yli 175 000 palvelinta yli 100 maassa. [30; 31.]



Keskitetyn ja hajautetun (esim. CDN) jakelumallin ero [32].

Internet koostuu verkoista, jotka sijaitsevat isompien verkkojen sisällä. Jotta käyttäjä saisi sisältöä palvelimelta toiselta puolelta planeettaa, on IP-pakettien kuljettava runkoverkossa sijaitsevien palvelinten ja julkisten kaapelien läpi.

Hajautettu sisällönjakeluverkko, kuten Rackspacen CDN, käyttää erilaisia tekniikoita siirtoverkon suurentamiseen optimoidakseen sisällön jakelua. Internetin hajautetun rakenteen huomioonottaen on helppo nähdä, miksi CDN hajautettuna palveluna mahdollistaa valtavan edun nopeuden ja latenssin suhteen. Traceroute näyttää, kuinka monta hyppyä yksi pyyntö tekee, ja havainnollistaa sitä, kuinka monen hypyn kautta yksinkertainen pyyntö kulkee internetissä. Kuvassa 23 on tehty traceroute osoitteeseen www.yahoo.com. [30; 31.]

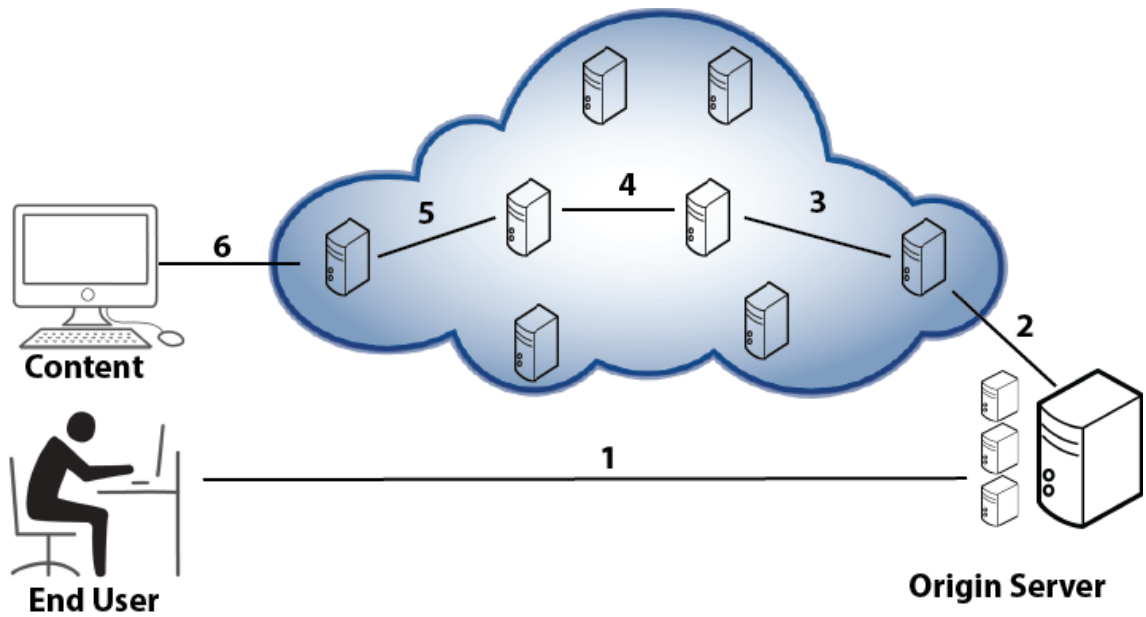
```
C:\Users\win>tracert www.yahoo.com
Tracing route to fd-fp3.wg1.b.yahoo.com [46.228.47.114]
over a maximum of 30 hops:
  0  <1 ms    <1 ms    <1 ms    TeleWell.Home [192.168.0.254]
  1  17 ms     17 ms     17 ms     dsl-espbrasgw1-54f9c0-1.dhcp.inet.fi [84.249.192.11]
  2  18 ms     18 ms     17 ms     hls-b2-link.telia.net [62.115.143.50]
  3  25 ms     25 ms     27 ms     s-bb4-link.telia.net [213.155.134.110]
  4  114 ms    45 ms     44 ms     ffm-bb2-link.telia.net [62.115.143.109]
  5  46 ms     44 ms     46 ms     ffm-b12-link.telia.net [62.115.140.27]
  6  46 ms     44 ms     46 ms     yahoo-ic-314773-ffm-b12.c.telia.net [213.248.86.162]
  7  59 ms     51 ms     50 ms     so-2-0-0.pat2.ams.yahoo.com [66.196.65.64]
  8  64 ms     66 ms     65 ms     ae-5.pat1.iry.yahoo.com [216.115.104.64]
  9  69 ms     69 ms     69 ms     ae-3.msv1.ir2.yahoo.com [66.196.67.243]
 10  87 ms     69 ms     67 ms     et-16-19.bas1-2-prd.ir2.yahoo.com [217.146.185.185]
 11  69 ms     68 ms     68 ms     www.yahoo.com [46.228.47.114]
Trace complete.
```

Kuva 22. Kuvakaappaus kyselystä Yagoon palvelimelle. Kuvasta näkyy, kuinka monta hyppyä on kyselyn välissä, kuinka kauan aikaa yhteen hyppyyn kuluu ja mikä on paketin kulkema reitti. CDN tuo palvelimet lähemmäksi käyttäjää, joten hyppysten määrä vähenee ja siten haku aika lyhenee.

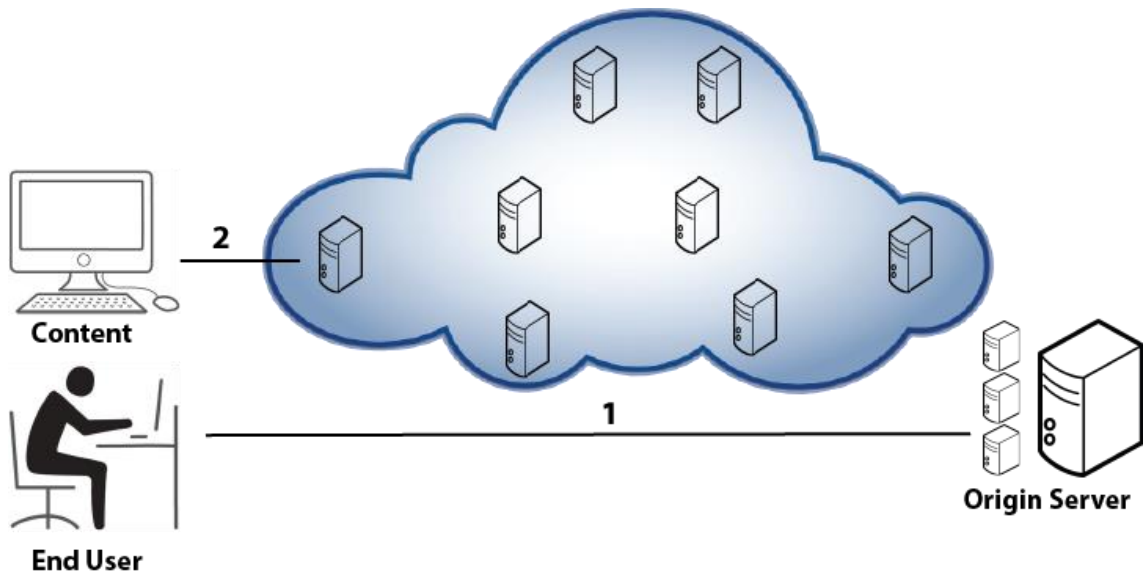
Jokaisen ylimääräisen hypyn myötä kuluu enemmän aikaa pyynnön toimittamiseen käyttäjän selaimeen. Toimituksen nopeus on myös sidoksissa hitaimpaan kohtaan, josta tieto kulkee verkossa. Ratkaisuna tähän on hajautettu tiedonjakeluverkosto, jossa palvelimia on sijoitettu joka puolelle maailmaa riippuen siitä, missä loppukäyttäjä sijaitsee, luodaan yhteys sellaiseen palvelimeen, joka toimii tiettyjen parametrien mukaan parhaiten. CDN-verkkojen ansiosta hyppysten määrä siis vähenee merkittävästi. [30.]

3.5.2 Content Distribution Networkin kehitys

Kuvat 24 ja 25 selventävät, kuinka CDN:n käyttö voi auttaa parantamaan internetin nopeutta ja laatua. [30.]



Kuva 23. Käyttäjä tekee selaimella pyynnön osoitteeseen www.yahoo.com (palvelin, jossa tarvittava tieto sijaitsee). Kun CDN ei ole käytössä, käyttäjän selain saa sisällön usean eri palvelimen ja reitin kautta [30].



Kuva 24. Käyttäjä tekee selaimella pyynnön osoitteeseen www.yahoo.com (palvelin, jossa tarvittava tieto sijaitsee). Käyttäjä vastaanottaa datan palvelimelta, jonka parametrit (kaistanopeus, maantieteellinen sijainti ja turvallisuus) ovat ihanteellisimmat [30].

Sisällönjakeluverkostojen pääasiallinen tehtävä on parantaa web-sisällön toimituksen suorituskykyä. Akamai CDN tukee progressiivista lataamista, joka optimisoi ja indeksioi

digitaalista sisältöä kuten web-kuvia ja videoita. Internetin "selkärankaan" on kytketty useita eri CDN-verkkoja ja solmuja ympäri maailman. Nämä solmut toimivat yhteistyössä keskenään, jotta loppukäyttäjien pyynnöt voidaan toteuttaa parhaalla mahdollisella tavalla ja sisältöä siirtää näkymättömästi lähemmäs käyttäjiä. CDN on sitä parempi, mitä suurempi ja skaalautuvampi edge-palvelinten käyttöönotto on. [30.]

Yleisesti ottaen CDN:t tuovat verkon reunaan aina lähemmäksi käyttäjää, koska verkon reuna eli reunapalvelimet kasvavat maantieteellisesti aina ulospäin alkuperäisestä palvelimesta. CDN:n palvelimet sijoitetaan aina niin, että niiden saatavuus olisi mahdollisimman hyvä, eli verkon resursseja pyytävän käyttäjän ja palvelimen välillä olisi vain vähän hyppyjä tai muita verkkoja. CDN:t käyttävät useita erilaisia tekniikoita parhaan reitityksen ja optimisoinnin saavuttamiseksi. Näitä tekniikoita ovat esimerkiksi Web catching, Server-Load Balancing . [30.]

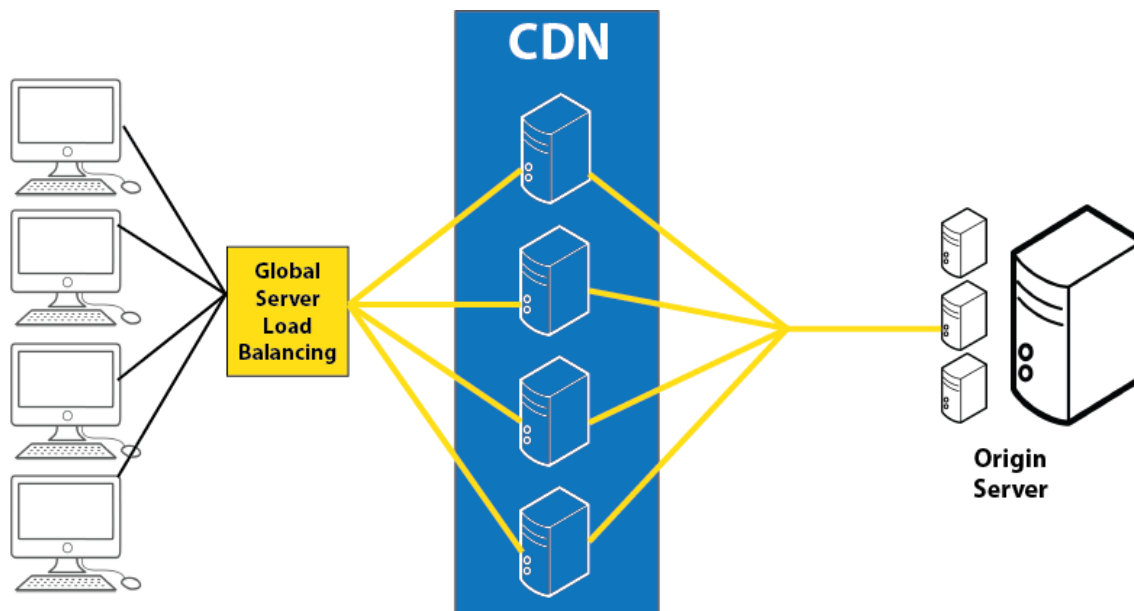
3.5.3 Global Server Load Balancing

Server-Load Balancing (palvelimen kuorman tasaus) jakaa liikenteen useiden eri palvelinten ja web-cachen (välimuistin) kesken käyttäen web-kytkintä (web switch), sisältökytkintä (content switch) ja monikerroksista kytkintä (multilayer switch). CND:ssa kytkin on määritelty yhdelle ainoalle virtuaaliselle IP-osoitteelle, ja kytkimeen saapuva liikenne uudelleenohjataan oikeaan palveluun jonka osoite on liitetty virtuaalikytkimeen. Tämä tekniikka tuo hyötyä varsinkin jakamalla palvelinten kuormaa, mikä lisää kokonaiskapasiteettia ja mahdollistaa skaalautumisen. [30.]

Käyttäjän suorittama palvelupyynnö ohjataan lähteeseen, joka on parhaiten saatavilla ja joka voi suorittaa palvelupyynnön sisällön. Tähän prosessiin saattaa sisältyä palvelupyynnön ohjaaminen solmukohtaan, joka sijaitsee lähimpänä tai omaa parhaan kapasiteetin käyttäjän tarpeita varten. GSLB:ssa (Global Server Load Balancing) erilaiset algoritmit ovat avainroolissa varmistamassa, että paras mahdollinen reitti on valittuna. Pääasialliset keinot parhaimman solmukohdan löytämiseen ovat yhteyden monitorointi ja ennakoiva tiedustelu. [30.] Kuva 26 ilmaisee, miten GSLB voi auttaa jakamaan asiakkaalle parhaan mahdollisen kapasiteetin. [30.]

Web Caching (verkkosivujen välimuisti) on web-selaimen välimuistiin ladataan etukäteen dataa, jota tullaan matemaattisten laskelmien mukaan todennäköisesti käyttämään web-

selauksen aikana. Web-välimuisti helpottaa palvelinten kuormaa ja parantaa käyttäjän kokemaa vasteaikaa, sillä sisältö on jo valmiiksi talletettu muistiin. [30.]



Kuva 25. Global Server Load Balancing toiminnassa [30].

3.5.4 Sisällönjakeluverkon hyödyt

Laadukas sisällönjakeluverkosto tarjoaa käyttäjille, sisältötuottajille ja operaattoreille merkittäviä etuja [31.], kuten esimerkiksi

Käyttäjille: Web-sovellukset, pelit ja internetsivustot välittyvät nopeammin ja luotettavammin CDN-verkoston yli kuin ilman sitä.

Sisällöntuottajille: Sisällön ja ohjelmistojen omistajat, kuten internetmarkkinointisivustot, pilvipalvelut ja mediayritykset voivat CDN:n avulla parantaa käyttäjien kokemusta mm. laskemalla käyttäjähävikkiä, parantamalla mainoskokemusta, houkuttelemalla uusia maksavia käyttäjiä ja vahvistamalla käyttäjien uskollisuutta palveluntarjoajaa kohtaan.

Turvallisuuteen CDN tarjoaa valtavan edistysaskeleen verkon turvallisuuden parantumiseksi. Keskitetty hallinta antaa ainutlaatuisen mahdollisuuden monitoroida

verkkoa ja torjua hyökkäyksiä. CDN voi jopa imeä itseensä palvelunestohyökkäyksiä (DoS, Denial of Service) ja sitä kautta lieventää hyökkäyksen vaikutusta.

Internetoperaattoreille: Online-streamauksen ja laadukkaiden mediapalveluiden räjähdysmäinen kasvu ja käyttäjien kasvavat odotukset verkon kapasiteetin riittävydestä ovat pakottaneet useat eri operaattorit rakentamaan oman sisällönjakeluverkoston. Tulevaisuuden kannalta operaattorin oma CDN on hyvä sijoitus, sillä se esimerkiksi vähentää ruuhkaa operaattorin ydinverkossa ja ylimääräistä kapasiteettia voidaan myydä kolmannen osapuolen tekijöille.

4 Videopalvelimien tekniikat

4.1 Videokoodekit ja protokollat

Videon kompressoinnilla (tai koodauksella) on merkittävä rooli erilaisissa sovelluksissa, kuten digitaalisessa televisiossa, Blu-ray-videossa, videoneuvottelussa, internetvideossa ja mobiilitelevisiossa. Vuosikymmenten saatossa teknologioiden valmistajat ovat luoneet standardeja ja yhdenmukaistaneet teknologioitaan niiden avulla. Myös videonkompressointiteknologian ala on kehittynyt standardien mukana, ja nykyään valmistajat pystyvät tekemään yhteistyötä isojenkin kokonaisuuksien parissa. [34.]

4.2 H.264 (MPEG-4 Part 10 / AVC)

4.2.1 Yleistä

H.264 on yksi videon kompressoinnin standardeista, ja se tunnetaan myös nimillä MPEG-4 Part 10 ja MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding). Sen kehityksessä on ollut mukana monia alan johtavia organisaatioita, kuten ITU-T, VCEG (Video Coding Experts Group), ISO/IEC ja MPEG (Moving Picture Experts Group). [35.]

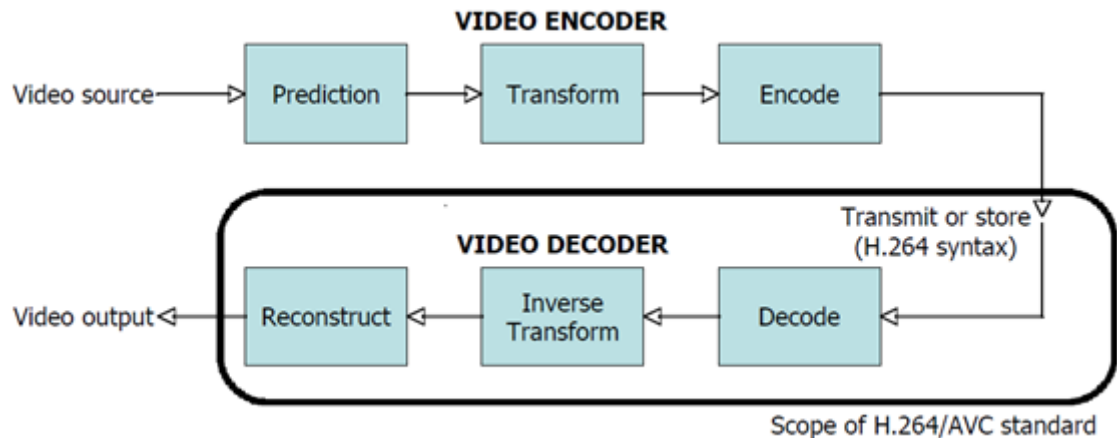
H.264-prosessiin kuuluu olennaisesti videon pakkaaminen eli kompressointi. Kompressoitu video käyttää kompressoimattomaan verrattuna huomattavasti vähemmän tallennustilaa ja vaatii siirtotieltä vähemmän kapasiteettia. [34.]

H.264/AVC-standardi julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 2003, ja se pohjautuu monilta osin aikaisempiin standardeihin, esim MPEG-2:een ja MPEG4-Visualiin. H.264 on lyönyt itsensä vahvasti läpi markkinoilla, koska kodekin korkea kompressiosuhde mahdollistaa huomattavasti paremman kuvanlaadun vanhempiin standardeihin verrattuna. Myös H.264:n pakkaus on tehokkaampaa, joten sitä voidaan hyödyntää entistä paremmin erilaisten palveluiden ja tuotteiden luomisessa. Suuressa osassa maailmaa internet on tarpeeksi nopea kuljettamaan teräväpiirtoista H.264 HD -videobittivirtaa verkon yli, minkä vuoksi monet tätä standardia hyödyntävistä videonkatselupalveluista (esim. Netflix ja Youtube) ovat nousseet maailmanlaajuisesti suosituimpien internetpalveluiden joukkoon. Myös Wowza Media Streaming -ohjelmisto on pääpiirteittäin rakennettu H.264-kodekin ympärille. [34.]

H.264-kooderin tehtävänä on muodostaa kuvaennustuksia ja tehdä erilaisia muunnoksia (kuten kokonaislukumuunnos, joka on läheistä sukua DCT eli diskreetti kosinimuunnokselle) ja muita koodaamiseen liittyviä prosesseja. Näiden avulla luodaan H.264-standardin mukainen bittivirta, joka sitten kuljetetaan siirtotietä pitkin määränpäähänsä huomattavasti alkuperäistä versiota kevyempänä. [34.]

Määränpäässä tai päätelaitteessa toimii puolestaan H.264-dekooderi, joka suorittaa kooderin tekemät prosessit käänteisessä järjestyksessä. Se esimerkiksi dekodaa aiemmin koodatun datan, suorittaa käänteisen DCT:n ja rekonstruoi kuvat. Näillä keinoilla mahdollistetaan alkuperäisen videosekvenssin uudelleenrakentaminen ja järjestäminen. [34.]

Kuvassa 27 on lohkokaavio koko videon koodausprosessista. Video koodataan, jotta se on tehokkaampaa laittaa siirtotielle. Dekooderi purkaa koodauksen ja palauttaa videon alkuperäiseen muotoon monimutkaisten matemaattisten algoritmien avulla. [34.]



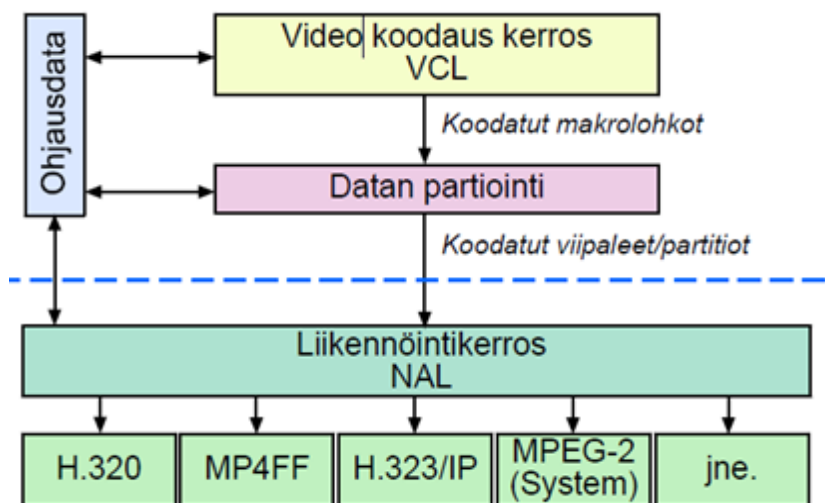
Kuva 26. Videon matka lähteestä määränpään on kaksiosainen prosessi. Video koodataan lähteessä ja puretaan määränpäässä [34].

4.2.2 Kodekin kehityksestä

H.264:n suunnitteluvaiheessa lähtökohtana oli rakentaa tehokas, nykyaikainen ja mahdollisimman monen sovelluksen kanssa yhteensopiva koodekki. Tarkoituksena oli myös mahdollistaa koodekin toiminta tehorajoitteisissa VLSI-piireillä toimivissa sovelluksissa kuten matkapuhelimissa. MPEG-2 -videokoodaukseen verrattuna H.264:n kompressiotehokkuus on jopa 1,5-2,2 -kertainen, mutta myös toteutuksen kompleksisuus on kasvanut 2,5-4 -kertaiseksi. Alle on listattu joitakin standardin kehittäjien suunnittelemaa sovelluskohteita. [35.]

- Televisio-ohjelmia tulisi voida välittää (broadcast) erilaisten medioiden avulla, kuten laajakaistaverkkoja pitkin, radiotaajuisina maanpäällisinä lähetyksinä, ja kaapeleiden ja satelliittien välityksellä.
- Erilaisten optisten tallennusvälineiden (esim. HD-DVD ja Blu-Ray) käyttäminen tallennukseen tulisi olla mahdollista.
- Suoratoistopalveluiden tulisi toimia erilaisilla langallisilla ja langattomilla alustoilla.
- Multimedia messaging -palveluiden (MMS) kehittäminen

Videokoodauksen huolellinen suunnittelu, eri toimintatapojen soveltaminen erilaisissa tilanteissa (esim. profiilit) ja videokoodauksen erottaminen liikennöinnistä on tuottanut lukemattoman määrän erilaisia sovelluksia. H.264 on suunniteltu rakenteeltaan kaksikerroksiseksi: sekä videokoodausta (Video Coding Layer, VLC) että lähetys- ja vastaanotto-liikennöintiä (Network Abstraction Layer) varten on luotu erilliset osat, jotka on esitetty kuvassa 28. Videokoodauksen tuoma data toimitetaan NAL-kerrokseen, jossa se muotoillaan sopivaksi väylälle, dataan lisätään otsakkeet, ja se paketoitetaan toimitettavaan datavirtaan sopivaksi.



Kuva 27. H.264:n rakenne on jaettu videokoodauskerrokseen (VCL) ja liikennöintikerrokseen (NAL). Tämä yksinkertaistaa kokonaisuutta ja tekee rakenteellisten muutosten toteuttamisesta helpompaa [35].

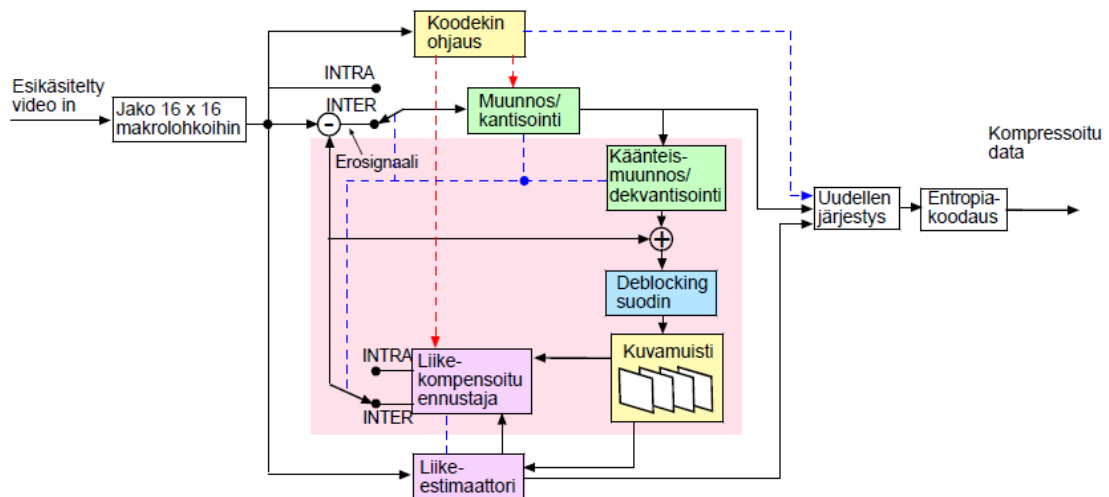
DVB-sovelluksissa (DVB-T, DVB-T2, DVB-C, DVB-C2, DVB-S2) standardia voidaan soveltaa hyvin joustavasti, sillä NAL-kerros sallii MPEG-2 system standardissa esitetyn multipleksoivan paketoinnin. H.32x-liikennöintistandardeihin liittyminen mahdollistaa langalliset ja langattomat vuorovaikutussovellukset, kuten videoneuvottelut ja kuvapuhelut. Standardin suunnitteluvaiheessa juuri erilaiset liitokset IP -rotokolliin (UDP/IP ja RTP/IP) ovat olleet keskeisessä asemassa.

H.264:n videokoodauskerros on suunniteltu niin, että kaikissa kompression osa-alueissa kuten intrakoodauksessa, kehittyneessä kvantisoinnissa, joustavassa makrolohkoryhmittelyssä ja liikekompensoinnissa on tehty pieniä parannuksia. Suurimmat parannukset näkyvät käyttäjälle mm. seuraavilla tavoilla: [35.]

- Kuvanlaatu on parantunut merkittävästi sekä alhaisilla että korkeilla siirtonopeuksilla, mikä on mahdollistanut esimerkiksi DVD-laatuisten videon lähettämisen jo käytössä olevia siirtoteitä pitkin ilman suurempaa kustannusten nousua.
- Virheenkorjausalgoritmit ja työkalut hävinneiden pakettien palauttamiseen ovat selkeästi parempia kuin edellisessä standardissa.
- Erilaisia tilanteita ja alustoja varten on laaja valikoima kuvaformaatteja ja toimintatapoja.
- H.264:llä koodattu data voidaan välittää hyvin erilaisiin verkkoihin, sillä liikennöintirajapinta on erotettu signaalinkäsittelystä.

4.2.3 Videokoodauskerros

H.264-videokoodausarkkitehtuuri on lohkoihin jaettu muunnosalueen liikekompensoitu ns. hybridikooderi. Kyseinen arkkitehtuuri ei ole aivan uusi keksintö, vaan se pohjautuu vanhempiin videokoodausstandardeihin. Tämä tapa mahdollistaa temporaalisen redundanssin minimoinnin valitsemalla kehittyneempiä liikevektoreita, ja spatiaalisen redundanssin minimoinnin muunnosalueen koodauksen avulla. Residuaalisella koodauksella puolestaan voidaan pienentää ennustevirheitä toistamalla muunnosalueiden koodausta jäännökselle. Kuvassa 29 on H.264-koodekin toimintakaavio. [35.]



Kuva 28. H.264-koodekin toimintakaavio [35].

H.264:n tehokkuus ei perustu mihinkään tiettyyn yksittäiseen tekijään. Algoritmit ja kompressiostandardit periytyvät vahvasti aiemmista koodekeista, vaikka poikkeavatkin niistä hieman. H.264:n selkeästi edeltäjiään parempi suorituskyky on seurausta useiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta ja tekniikoiden nykyaikastamisesta. Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi: [35.]

- Parantunut liikekompensointi. Referenssikuvia voidaan näyttää useammin ja lohkojen kokoja voidaan pitää vaihtuvanmittaisina ennustuksissa. Ennustustarkkuutta voidaan haluttaessa parantaa antamalla ennusteille painottava kerroin, ja offset-arvon käyttö on mahdollista
- Itsenäisesti käsiteltävät viipaleet I (intrakoodattu), P (eteenpäin ennustava) ja B (eteenpäin ja taaksepäin ennustava interkoodaus), joihin luodaan makrolohkot
- Makrolohkojen partitointi. Ennusteiden muodostamisessa makrolohkot voidaan partitoida tarpeen mukaan suurimmasta (16x16) pienimpään (4x4).
- Viipalejärjestyksen muodostuksessa voidaan käyttää useita referenssikuvia, ja enkooderi voi päättää, tehdäänkö viitteet edelliseen vai edellistä edeltävään kuvaan. Esimerkiksi P-viipaleessa voidaan tehdä viittaus jopa edellistä I-kuvaa edeltävään kuvaan.

- Muunnokset voidaan tehdä 4x4- tai 8x8-kokoisesta diskreetistä kosinimuunnoksesta johdetulla kokonaislukumuunnoksella.
- Entropiakoodaus, joka käyttää tilanteesta riippuen kolmea erilaista koodaustapaa. Nämä tavat ovat CABAC (Context Adaptive Binary Arithmetic Coding), CAVLC (Context Adaptive Variable Length Coding) ja Golomb.
- H.264 käyttää kehittyneitä mekanismeja verkossa tapahtuvien virheiden ja häiriöiden aiheuttaman datahävikin korjaukseen ja palauttamiseen. Tämä on mahdollistettu useilla eri mekanismeilla kuten esimerkiksi datan partitionnilla, viipaleiden ja makrolohkojen sisäisellä järjestemisellä ja redundanttien kuva-alueiden lähettämällä. Näiden keinojen lisäksi TCP/IP-protokollalla on omat virheenkorjausmenetelmänsä, minkä vuoksi streamaus on tänäpäivänä hyvin toimiva ja luotettava mediankatselumenetelmä.

Kuvassa 30 vertaillaan joidenkin koodekkien keskeisiä ominaisuuksia. H.264:n toimintatavoista mukana ovat Main-profiili ja High-profiili.

Piirre	MPEG-1	MPEG-2	MPEG-4 ASP	MPEG-4, AVC, Main	MPEG-4, AVC, High	VFW-9	Ogg Theora
B-kuvat	X	X	X	X	X	X	
Viipaleet (Vikojen ehkäisy)	X	X	X	X	X	X	
Lomitus		X	X	X	X	X	
Entropia koodaus	Huffman	Huffman	Huffman	Exp-colomb, adaptiivinen aritmeettinen	Exp-colomb, adaptiivinen aritmeettinen	Huffman, bitplane	Adaptiivinen Huffman
Liike-ennuste lohko koko	16 x 16	16 x 16	16 x 16, 8 x 8	16x16,16x8, 8x8,8x4,4x4	16x16,16x8, 8x8,8x4,4x4	16x16,8x8, 8x4, 4x4	16x16 8x8
Liikkeen haun tarkkuus (pikseliä)	1, ½	½	½, ¼	¼	¼	½, ¼	½
Globaali liikkeen kompensointi			X				
Intra ennuste	DC, 8x8	DC, 8x8	AC, 8x8	Spatial, 16x16, 4x4	Spatial, 16x16, 8x8 4x4	AC 8x8	DC 8x8
Spatiaaliset muunnokset	DCT 8x8	DCT 8x8	DCT 8x8	HCT 4x4	HCT 8x8, 4x4	8x8, 8x4, 4x4	DCT 8x8
Bittimäinen dekodaus				X	X	X	X
Häviötön toimintatapa					X		
Sovelluskohtainen kvantisointimatriisi	X	X	X		X		X
De-block suodatus				X	X	X	X
Monikertaiset referenssiframet				X	X		2
Painotetut ennusteet				X	X	PP	
YUV väriformaatti	4:2:0	4:2:0, 4:2:2,4:4:4	4:2:0	4:2:0	4:0:0,4:2:0, 4:2:2, 4:4:	4:2:0	4:2:0, 4:2:2, 4:4:4

Kuva 29. Koodekkien ominaisuuksien vertailua [35].

4.2.4 Bittivirran koodaus

Videonkoodausprosessi tuottaa arvoja, jotka on koodattava muodostamaan kompressoitua bittivirtaa. Näitä arvoja ovat esimerkiksi [34]:

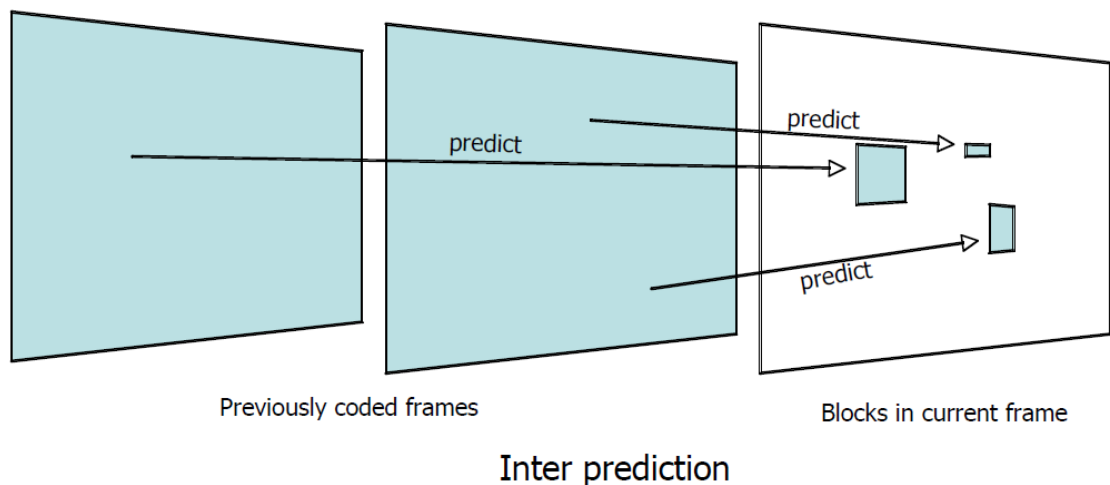
- kvantisoidut muunnoskertoimet
- informaatio, joka mahdollistaa ennustuksen uudelleenrakennuksen dekodauksessa
- informaatio kompressoitujen datan rakenteesta ja kompressointiprosessissa käytetyistä työkaluista ja metodeista
- informaatio videosekvenssin kokonaisuudesta.

Nämä arvot ja parametrit (syntaksielementit) muunnetaan binäärikoodiksi käyttäen VLC:ia (Variable Length Coding) ja/tai aritmeettistä koodausta. Kumpikin näistä metodeista tuottaa tehokkaan ja kompaktin esityksen informaatiosta binäärimuodossa. Koodattu bittivirta voidaan nyt lähettää matkaan tai tallettaa tulevaa käyttöä varten. [34.]

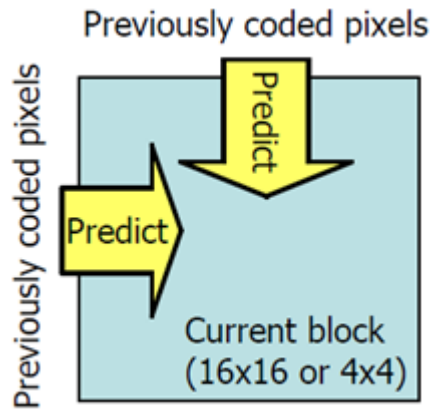
4.2.5 Makrolohkoihin jako, viipaleet ja viipaleryhmät

Videon koodausprosessissa kehys jaetaan makroblokeiksi. Makroblokit koostuvat neliön muotoisista pikseliryhmistä, jotka voivat olla kooltaan 16x16 pikselin ja 4x4 pikselin väliltä. Koodaus muodostaa ennustuksen makroblokeittain, ja se perustuu jo valmiiksi käsiteltyyn dataan. [35.]

Ennustus tehdään joko intrakoodauksena eli nykyisestä kehyksestä, jota kutsutaan I-viipaleeksi, tai interkoodauksena eli eteenpäin ennustavasta viipaleesta P ja eteenpäin sekä taaksepäin ennustavasta viipaleesta B. Kuva 31 hahmottaa liike-ennustuksen prosessia, ja kuvassa 32 on makroblokki, jossa itse intrakoodaus tehdään [34].



Kuva 30. Intrakoodauksen mekanismi. Tulevien kuvien muutoslohkoista otetaan näytteitä ja niiden avulla voidaan tehdä liike-ennustus. Tämä on jatkuva prosessi koko videonkeston [34].



Kuva 31. Intraennustus tehdään makroblokkitasolla. Pienimmillään makroblokki voi olla 4x4 pikseliä ja suurimmillaan 16x16 pikseliä [34].

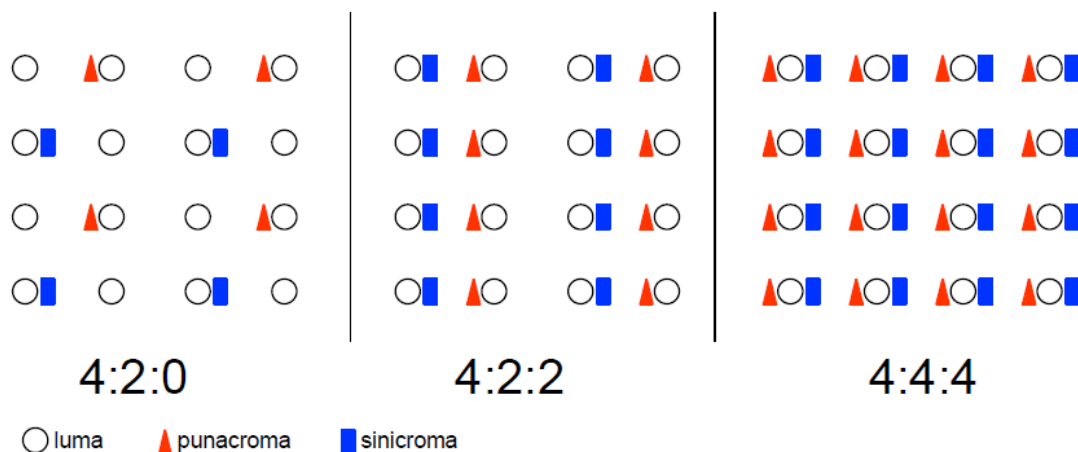
Videosekvenssi muodostuu tietenkin sekvensseistä, mutta myös kehysten virtaan kuuluvista, runsaasti spatiaalisen ja temporaalisen keskinäistä redundanssia sisältävistä kuvista, jotka kulkevat lineaarisesti peräkkäiseen malliin. Kuvien värimaailma muodostetaan ottamalla kustakin värikanavasta joko 8-, 10-, tai 12-bittisiä näytteitä. Värikanavia on erilaisia, kuten RGB (Red Green Blue) ja YCbCr, joita käytetään yleisesti esimerkiksi televisioissa ja projektoreissa. YCbCr:n komponentit ovat luma (Y), joka toimii kirkkauden määrittimenä, sekä cromat, jotka määrittelevät kuvan värit (sini, Cb, ja puna, Cr). Kuva koostuu pikseleistä eli peleistä (Picture Element) [35.] Kuvasta 33 voi nähdä, kuinka RGB jakautuu pikseleihin.



Kuva 32. LCD-näytön (Liquid Chrystal Display) RGB-pikselit läheltä kuvattuna [36].

- 4:2:0: Yksi punacroma- ja yksi sinicromanäyte otetaan jokaista neljää lumanäytettä kohti 2x2-matriisissa.
- 4:2:2 Yksi: punacroma- ja yksi sinicromanäyte otetaan jokaista kahta lumanäytettä kohti 2x1-matriisissa.
- 4:4:4: Kaikkia näytteitä otetaan yhtä paljon, eli yksi puna ja yksi sini jokaista lumanäytettä kohden. Luma- ja chromataulukot ovat samankokoisia.

Eri värikanavia ja komponentteja varten on olemassa erilaisia näytteidenottotapoja. Kuva 34 ilmaisee, kuinka YcbCr määrittelee croma-komponenttien suhdetta luma-komponenttiin. [35.]



Kuva 33. Esimerkkejä Luma- ja Chroma-komponenttien erilaisista suhteista toisiinsa nähden [35].

Jokainen kuva sekvensseissä on jaettu ennalta määrättyyn määrään makrolohkoja, ja jokainen niistä sisältää esimerkiksi 16x16 lumanäytettä ja 8x8 näytettä kummallekin chroma-komponentille (tässä tapauksessa 4:2:0). H.264 tarjoaa uudenlaisen mahdollisuuden partitioida ja jakaa kuva pienempiin osiin kuten 4x4. Aiemmat standardit eivät tukeneet tätä, vaan käyttivät kiinteää lohkokokoa 16x16. Makrolohkojen ryhmittely viipaleisiin sujuu todella joustavasti. Kuvan alueet, joita voidaan prosessoida toisistaan riippumattomasti, ovat annetun kuvan viipaleita. Tämä viipaleisiin jakaminen on yksi niistä tekijöistä, jotka erottavat H.264:n ratkaisevasti aiemmista standardeista. Viipaleisiin jako mahdollistaa sen, että suurin huomio ja prosessointiteho rajoittuvat niihin kuvan alueisiin, joissa on liikettä tai paljon yksityiskohtia. [35.]

Viipaleiden sisältö prosessoidaan aina vasemmasta ylänurkasta lähtien alas oikeaan alanurkkaan. Koska jokainen viipale on itsenäinen, niiden syntaksielementit jäsennetään suoraan bittivirrasta, ja kuvan muiden viipaleiden sisältämä data voidaan dekodata käyttäen hyväksi viipaleen edustamaa dataa. Viipaleiden käyttötarkoituksia ovat [35.]

- Virheisiin sopeutuminen. Dekoodausprosessi on mahdollista alustaa uudelleen, koska kunkin viipaleen alkupiste antaa uuden synkronointipisteen. Siinä missä aikaisemmat standardit pitivät I-kuvaa aina lähtökohtana, H.264:ssä on mahdollisuus kohdistaa kaikki teho pienempiin osa-alueisiin.
- Hyvin mitoitettun bittikuorman luominen. Viipaleista voidaan muodostaa tietyn kokoisia paketteja, jotka vastaavat verkon maksimisiirtokykyä.

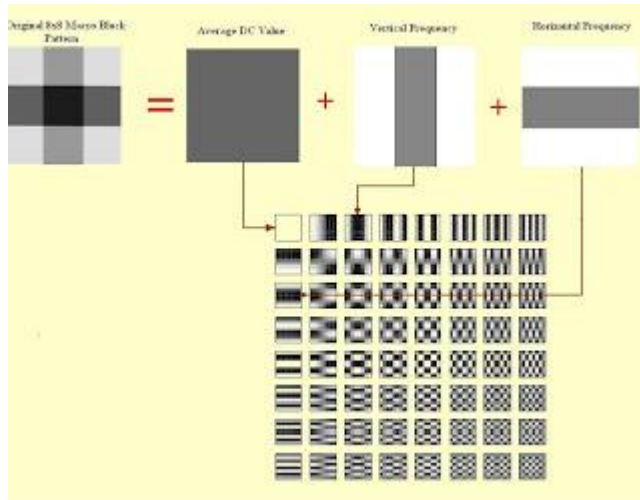
- Viipaleet on mahdollista de- ja enkoodata toisistaan riippumatta, mikä mahdollistaa rinnakkaisen prosessoinnin.

ASO:a (Arbitrary Slice Ordering, viipaleiden satunnainen järjestys) käyttäen jokainen viipale voidaan dekodata muista riippumatta ja missä järjestyksessä hyvänsä, jolloin koodausprosessille ei tarvitse erikseen määritellä järjestystä. ASO:n ollessa pois käytöstä viipaleiden sisältämät makrolohkot kasvavat siinä järjestyksessä, jossa ne videon mukana näytetään. [35.]

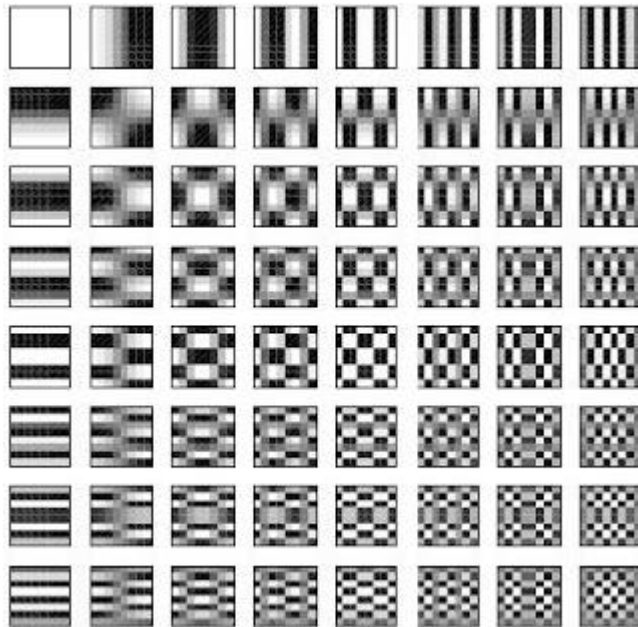
Viipaleiden lähetyksessä on mahdollista käyttää redudantteja eli kahdennettuja osia. Niiden avulla voidaan parantaa koodatun videon robustisuutta, eli häiriöllisissä olosuhteissa videon tärkeät osat (esimerkiksi kasvojen liikkeet) toistuvat mahdollisimman virheettömästi. Epäolennaisiin osiin ei tarvitse keskittyä samalla tarkkuudella, joten niissä virheitä voi olla hyvinkin suuri määrä. [35.]

4.2.6 Kvantisointi- ja kokonaislukumuunnos

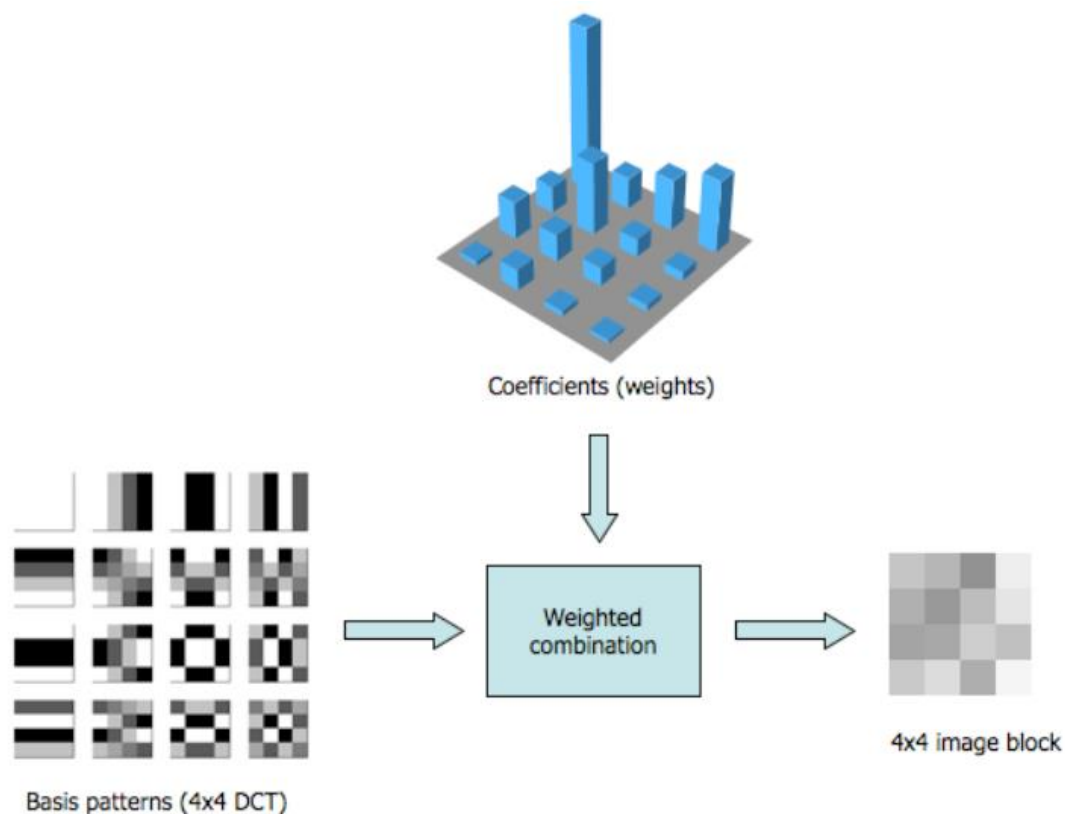
Lohkoissa jäljelle jääneille näytteille tehdään 4x4- tai 8x8-kokonaislukumuunnos. H.264:n kokonaislukumuunnos toimii taajuuskertoimiin perustuen samalla idealla kuin MPEG-videon diskreetti kosinimuunnos, DCT. DCT-muunnoksen lopputulos on joukko kertoimia, joista kukin muodostaa painoarvon, jotka yhdistetään standardoituun DCT-perusmalliin. Kuvat 35 ja 36 kuvastavat standardoitua DCT-perusmallia, ja kuvassa 37 näytetään, kuinka makroblokin ruudut eli pikseleiden arvot määräytyvät. [35.]



Kuva 34. 8x8-kokoisen DCT-standardimallin rakenne [37].



Kuva 35. 8x8-kokoinen DCT-standardimalli (DCT Standard Pattern) [37].



Kuva 36. DCT-standardimallin määrätyn kokoiselle matriisille tehdään painotettujen kertoimien mallin kanssa yhdistelmä, josta muodostuu lopullinen makroblokki. Tämä prosessi toistuu jokaisen makroblokin kohdalla, ja kokonaisuutena ne muodostavat kuvaruutuun näytettävän kuvan [34].

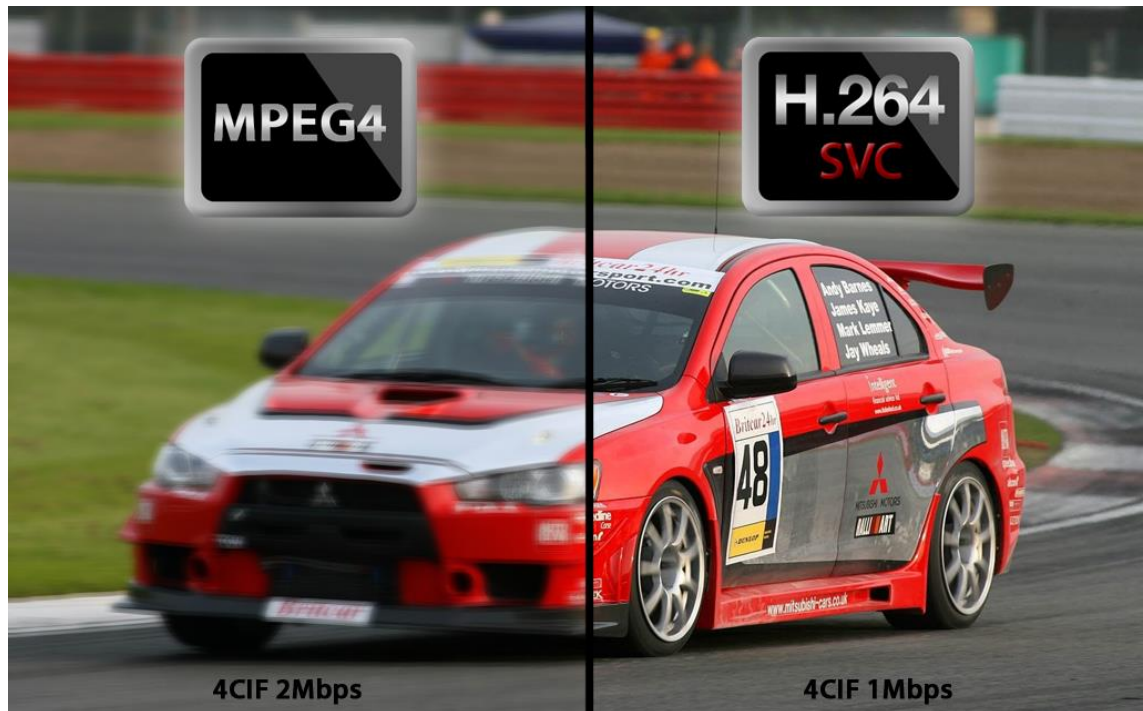
4.2.7 Bittivirran dekodaus

Kun dekooderi vastaanottaa H.264-kompressoitua bittivirtaa, se dekodaa jokaisen syntaksielementin ja purkaa niistä koodausprosessissa pakattua informaatiota, kuten kvantisoinnin muunnoskertoimia, videosekvensseistä tehtyjä ennustuksia ja tietoa videosekvensseistä ja koodauksessa käytetyistä metodeista. Nämä tiedot mahdollistavat dekodauksen eli koodauksen käänteisen prosessin. Kompression purkamisesta saadun datan avulla dekooderi uudelleenrakentaa videossa olevat kuvat, joista lopulta luodaan alkuperäinen videosekvenssi. [34.]

4.2.8 H.264-koodekin tehokkuus

Videokompression tehokkuus on yksi H.264:n suurimmista vahvuuksista suhteessa vanhempiin standardeihin. Edeltäjiinsä (MPEG-2 ja MPEG-4 Visual) verrattuna H.264 voi antaa joko paremman kuvanlaadun samalla bittivirralla tai saman kuvanlaadun

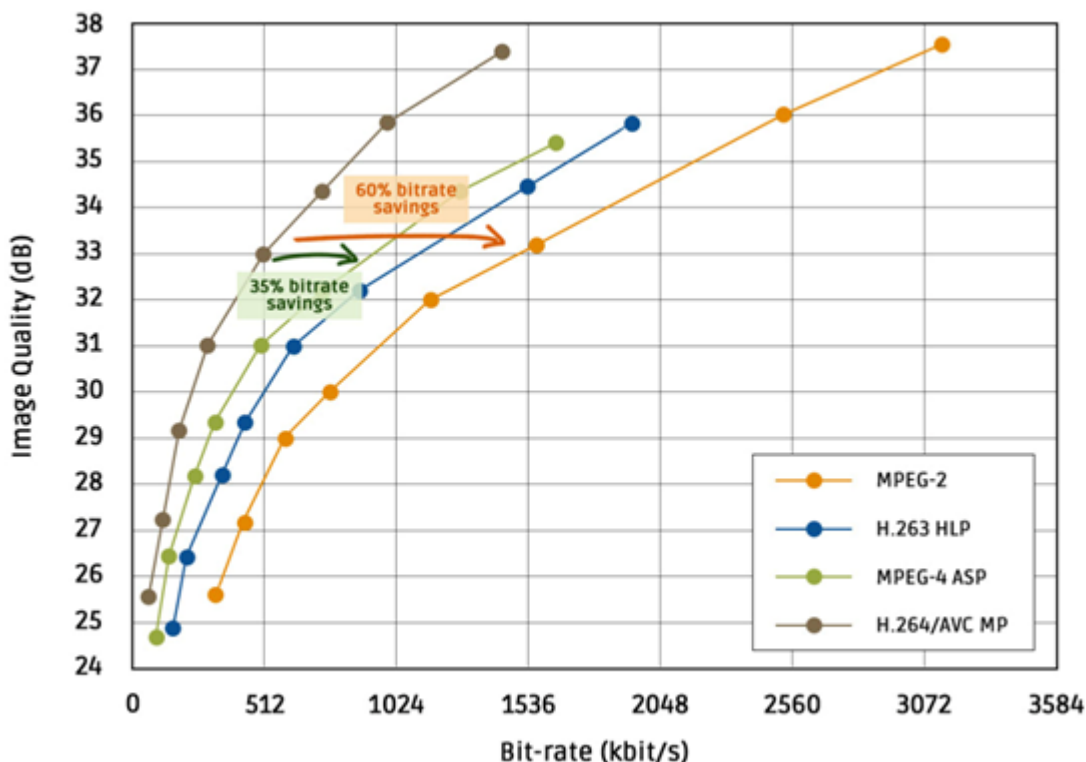
pienemmällä bittivirralla. Kuvat 38 ja 39 havainnoillistavat samalla bittivirralla mutta eri koodekkeilla koodattujen videoiden kuvanlaatua. Kuva 40 havainnoillistaa eri koodekkien kuvanlaadun suhdetta bittivirtaan. [34.]



Kuva 37. MPEG4 (4CIF 2Mb/s) verrattuna H.264:aan (4CIF 1Mb/s). Vaikka H.264:n bittivirta on pienempi, on kuvanlaatu silti parempi koodekin kehittyneen rakenteen vuoksi [38].



Kuva 38. Eri koodekkien pakkausten vertailua samalla bittinopeudella. Kuvanlaaduissa on selkeä ero [34].



Kuva 39. MPEG-2:een verrattuna H.264 tuo 60 % hyödyn kuvanlaatu (dB) per kilobittia sekunnissa (kbit/s) -sekunnissa suhteella mitattuna [39].

MPEG-2 -formaattia käytettäessä yksikerroksiselle DVD-levylle voidaan tallentaa kaksi tuntia videota, kun taas H.264 mahdollistaa yli neljän tunnin tallennuksen samalle levylle (sama laatu, pienempi bittivirta). Vaihtoehtoisesti H.264 antaa paremman kuvanlaadun kuin MPEG-2 samaa bittivirtaa käytettäessä. [34.]

H.264 on edeltäjiinsä verrattuna hienostunut tapa kompressoida videota, mutta toisaalta sen tehokkuus ja monimutkaisuus vaativat merkittävästi enemmän laskentatehoa kompressoitua ja purkamista varten. [34.]

4.3 H.264-koodekin profiilit ja tasot

Videoprofiilien standardi sisältää seitsemän erilaista perusmallia, jotka ovat ensimmäisen tason profiileja ja räätälöity erityyppisiä laitteita ja ohjelmistoja varten. Taulukko 1 listaa näiden profiilien ominaisuuksia ja taulukko 4 tarjoaa yksityiskohtaista videokoodaustietoa profiileista ja tasoista (level) [41].

Taulukko 1. Seitsemän pääprofiilia, joista jokaisella on oma käyttötarkoituksensa [41].

Baseline Profile (BP)	Tarkoitettu pääosin edullisille ja vain vähän laskentatehoa vaativille sovelluksille, esimerkiksi mobiilisovelluksille ja videokeskusteluille.
Main Profile (MP)	Alkuperäinen "pääprofiili", joka on sittemmin menettänyt merkitystään High-Profilen tultua markkinoille.
Extended Profile (XP)	Streamaussovelluksia varten luotu profiili, johon on sisällytetty työkaluja suoratoistolle tyypillisten ongelmien ratkaisua varten.
High Profile (HiP)	Tärkein ja käytetyin profiili televisio- ja live-lähetyksissä. Blu-Ray-levyt ja High-Definition -televisiot ja -lähetykset käyttävät pääosin High Profilea.
High 10 Profile (Hi10P)	Kuluttajakäyttöön tarkoitettu tulevaisuuden profiili, joka ei kuitenkaan ole vielä kuluttajien saatavilla. Hi10P sisältää paljon Main Profilessa käytettäviä ominaisuuksia ja niiden lisäksi mahdollisuuden valita dekodatun videon tarkkuudeksi 10 bittiä per näyte (10 bits/sample).
High 4:2:2 Profile (Hi422P)	Tarkoitettu pääosin ammattilaisten käyttämille ohjelmistoille ja käyttöympäristöille. Rakennettu High 10 Profilen perustusten päälle, lisäksi mukaan on sisällytetty tuki 4:2:2-croma-alinäytteenottoformaatile.
High 4:4:4 Predictive Profile (Hi444PP)	High 4:4:4 Predictive Profile (Hi444PP): Äärimmäisen korkeatasoinen profiili, joka sisältää High 4:2:2 Profilen ominaisuudet ja tukee 4:4:4-cromanäytteenottoa jopa 14 bittiä per näyte (14 bits/sample) tarkkuudella. Jokainen kuva on koodattu omia erillisiä väritasoja käyttäen.

Lisäksi standardi tukee neljää "all-intra"-aliprofiilia, jotka ovat vaihtoehtoisia lisäyksiä edellä oleviin profiileihin. Taulukko 2 listaa näiden profiilien ominaisuuksia. [41.]

Taulukko 2. Intra-profiilien määrittelyjä. All-Intra-profiileita käytetään enimmäkseen multimedia-alan ammattilaisten laitteistoissa ja ohjelmistoissa. [41].

High 10 Intra Profile	High 10 Intra Profiilin määrittelyt on rajoitettu vain pääprofiilien Sisäiseen käyttöön (All-Intra)
High 4:2:2 Intra Profile	High 4:2:2 Intra Profiili on määritelty, kun se on rajoitettu vain sisäiseen käyttöön (All-Intra)
High 4:4:4 Intra Profile	High 4:4:4 Intra Profiili on määritelty, kun se on rajoitettu vain sisäiseen käyttöön (All-Intra)
CAVLC 4:4:4 Intra Profile	CAVLC 4:4:4 Intra Profiili on määritelty, kun se on rajoitettu CAVLC entropia koodauksen ja vain sisäiseen käyttöön (All-Intra) (CABAC koodaus ei ole tuettuna tässä profiilissa).

Scalable Video Coding Extension -standardi sisältää kolme skaalautuvaa profiilia, jotka on määritelty yhdistelmäksi H.264:n toista profiilitasoa ja siihen liittyviä työkaluja.

Skaalautuvat profiilit sijoittuvat aina ensimmäisen kerroksen profiilien yläpuolelle ja luonnollisesti ne noudattavat ensimmäisen tason profiilien sääntöjä. Taulukko 3 listaa näiden profiilien ominaisuuksia. [41.]

Taulukko 3. Skaalautuvien profiilien käyttötarkoituksia [41].

Scalable Baseline Profile	Keskittyy pääosin videoneuvotteluihin, seurantasovelluksiin ja mobiililaitteisiin. Tämä profiili rakentuu rajoitetun H.264 Baseline -profiilin päälle. Tarjolla on useita erilaisia skaalautumiseen liittyviä työkaluja.
Scalable High Profile	Keskittyy pääosin streamaus- ja broadcast-sovelluksiin. Se rakentuu H.264 High -profiilin päälle, mutta noudattaa silti pääprofiilin eli ensimmäisen kerroksen sääntöjä.
Scalable High Intra Profile	Keskittyy pääosin tuotannon sovelluksiin. Tämä profiili on rajoitettu skaalautuvan High Profilen All-Intra -käyttöön.

Taulukko 4. Seitsemän pääprofiilin videokoodausominaisuuksia [44].

	Baseline	Extended	Main	High	High 10	High 4:2:2	High 4:4:4
I and P Slices	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
B Slices	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
SI and SP Slices	No	Yes	No	No	No	No	No
Multiple Reference Frames	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
In-Loop Deblocking Filter	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
CAVLC Entropy Coding	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
CABAC Entropy Coding	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Flexible Macroblock Ordering	Yes	Yes	No	No	No	No	No
Arbitrary Slice Ordering	Yes	Yes	No	No	No	No	No
Redundant Slices	Yes	Yes	No	No	No	No	No
Data Partitioning	No	Yes	No	No	No	No	No
Interlaced Coding	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
4:2:0 Chroma Format	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Monochrome Video Format (4:0:0)	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
4:2:2 Chroma Format	No	No	No	No	No	Yes	Yes
4:4:4 Chroma Format	No	No	No	No	No	No	Yes
8 Bit Sample Depth	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
9 and 10 Bit Sample Depth	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes
11 to 14 Bit Sample Depth	No	No	No	No	No	No	Yes

8x8 vs. 4x4 Transform Adaptivity	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Quantization Scaling Matrices	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Separate Cb and Cr QP control	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Separate Color Plane Coding	No	No	No	No	No	No	Yes
Predictive Lossless Coding	No	No	No	No	No	No	Yes

Level eli taso on tarkasti määritelty kokonaisuus asetuksia, joita erilaiset laitteet käyttävät kykyjensä mukaan. Tasot määritellään numeroina (esim. 2 ja 2.2), ja mitä suurempi tason numero on, sitä enemmän bittinopeutta ja laskentatehoa se vaatii. Yksi taso pitää sisällään kuvannäyttönopeuden (fps, frames per second), tason sisältämät resoluutiot, ja tietoa vaadittavista dekodeereista, jotta kuvanlaatu olisi paras mahdollinen yhteyden nopeuteen ja laitteen laskentatehoon nähden. Tasojen yksityiskohdat on listattu kuvassa 41.

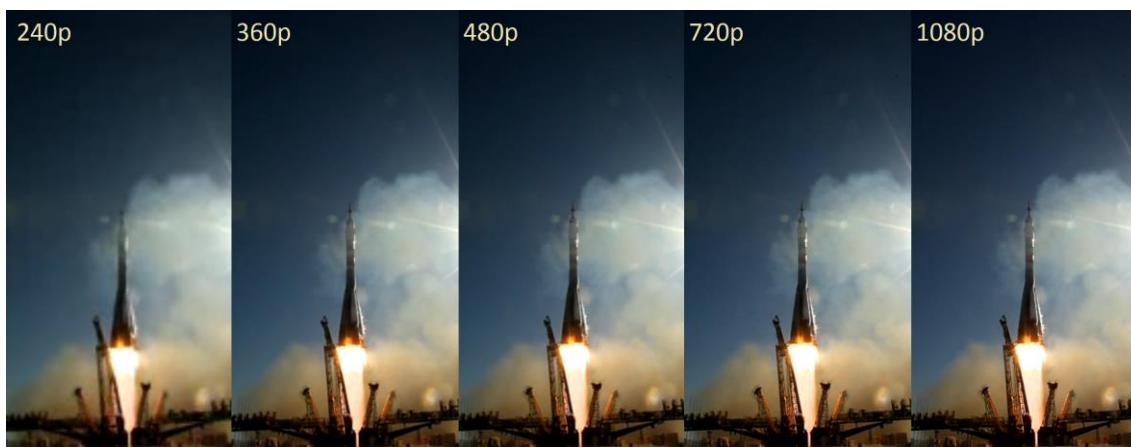
Level	Max decoding speed		Max frame size		Max video bit rate for video coding layer (VCL) kbit/s			Examples for high resolution @ highest frame rate (max stored frames) Toggle additional details
	Luma samples/s	Macroblocks/s	Luma samples	Macroblocks	Baseline, Extended and Main Profiles	High Profile	High 10 Profile	
1	380,160	1,485	25,344	99	64	80	192	128×96@30.9 (8) 176×144@15.0 (4)
1b	380,160	1,485	25,344	99	128	160	384	128×96@30.9 (8) 176×144@15.0 (4)
1.1	768,000	3,000	101,376	396	192	240	576	176×144@30.3 (9) 320×240@10.0 (3) 352×288@7.5 (2)
1.2	1,536,000	6,000	101,376	396	384	480	1,152	320×240@20.0 (7) 352×288@15.2 (6)
1.3	3,041,280	11,880	101,376	396	768	960	2,304	320×240@36.0 (7) 352×288@30.0 (6)
2	3,041,280	11,880	101,376	396	2,000	2,500	6,000	320×240@36.0 (7) 352×288@30.0 (6)
2.1	5,068,800	19,800	202,752	792	4,000	5,000	12,000	352×480@30.0 (7) 352×576@25.0 (6)
2.2	5,184,000	20,250	414,720	1,620	4,000	5,000	12,000	352×480@30.7 (12) 352×576@25.6 (10) 720×480@15.0 (6) 720×576@12.5 (5)
3	10,368,000	40,500	414,720	1,620	10,000	12,500	30,000	352×480@61.4 (12) 352×576@51.1 (10) 720×480@30.0 (6) 720×576@25.0 (5)
3.1	27,648,000	108,000	921,600	3,600	14,000	17,500	42,000	720×480@80.0 (13) 720×576@66.7 (11) 1,280×720@30.0 (5)
3.2	55,296,000	216,000	1,310,720	5,120	20,000	25,000	60,000	1,280×720@60.0 (5) 1,280×1,024@42.2 (4)
4	62,914,560	245,760	2,097,152	8,192	20,000	25,000	60,000	1,280×720@68.3 (9) 1,920×1,080@30.1 (4) 2,048×1,024@30.0 (4)
4.1	62,914,560	245,760	2,097,152	8,192	50,000	62,500	150,000	1,280×720@68.3 (9) 1,920×1,080@30.1 (4) 2,048×1,024@30.0 (4)
4.2	133,693,440	522,240	2,228,224	8,704	50,000	62,500	150,000	1,280×720@145.1 (9) 1,920×1,080@64.0 (4) 2,048×1,080@60.0 (4)
5	150,994,944	589,824	5,652,480	22,080	135,000	168,750	405,000	1,920×1,080@72.3 (13) 2,048×1,024@72.0 (13) 2,048×1,080@67.8 (12) 2,560×1,920@30.7 (5) 3,672×1,536@26.7 (5)
5.1	251,658,240	983,040	9,437,184	36,864	240,000	300,000	720,000	1,920×1,080@120.5 (16) 2,560×1,920@51.2 (9) 3,840×2,160@31.7 (5) 4,096×2,048@30.0 (5) 4,096×2,160@28.5 (5) 4,096×2,304@26.7 (5)
5.2	530,841,600	2,073,600	9,437,184	36,864	240,000	300,000	720,000	1,920×1,080@172.0 (16) 2,560×1,920@108.0 (9) 3,840×2,160@66.8 (5) 4,096×2,048@63.3 (5) 4,096×2,160@60.0 (5) 4,096×2,304@56.3 (5)

Kuva 40. Jokaiselle profiilille on määrätty ennalta lukuarvot erilaisille toiminnoille kuten kuvien määrälle per sekunti, resoluutiolle, ja näiden muodostamalle bittinopeudelle [40].

Luma-näytteitä on yhteensä $16 \times 16 = 256$ jokaista makroblokkia nähden ja jokainen luma-näyte sekunnissa on 256 kertaa makroblokkien määrä sekunnissa. [40.]

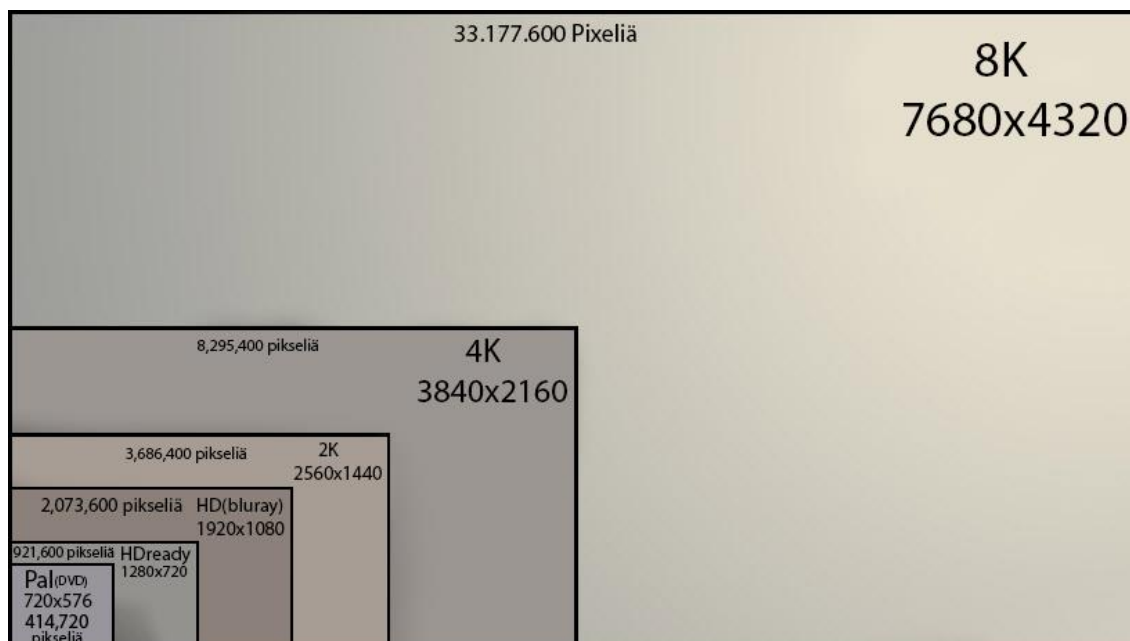
4.4 H.265

Televisioiden ja näyttöjen resoluutiot ovat viimeisen kymmenen vuoden aikana kasvaneet runsaasti, eikä kasvulle näy loppua. Nykyään Full-HD-teräväpiirtonäyttöä neljä kertaa tarkempi 4K-resoluutio on jo yleinen. Uudeksi jakelustandardiksi on muodostumassa H.265 eli HEVC (High Efficiency Video Coding), joka on noin kaksi kertaa H.264-videokoodausta tehokkaampaa. H.265-standardin mukaisia QUAD-Full HD -näyttöjä esiteltiin ensi kertaa tammikuussa 2013 CES-tapahtumassa, joka järjestetään vuosittain Las Vegasissa.[43.] Kuvassa 42 on havainnollistettu resoluution vaikutusta kuvanlaatuun.



Kuva 41. Eri resoluutioiden kuvanlaatuja vertailua [42].

H.265 tekee käytännössä mahdolliseksi välittää videota kuvaruutuun, jonka resoluutio on suurimmillaan 7680×4320 pikseliä ja silloin kuvaruudussa on dataa 33,2 megapikseliä. Tämän resoluution markkinanimeksi on annettu UltraHD-8k. Se vastaa jopa kuudentoista Full-HD 1080p -resoluutioisen (1920×1080) näytön sisällyttämistä UltraHD-8k:n sisälle. [43.] Kuva 43 havainnollistaa eri standardien ja resoluutioiden suhdetta toisiinsa.



Kuva 42. Resoluutiostandardien vertailu antaa perspektiiviä siitä, kuinka iso kasvu näyttöön mahtuvassa pikselimäärässä on tapahtunut kymmenen vuoden aikana. Yhteen 8K-kuvaan mahtuu 16 kappaletta Full-HD-resoluutioisia kuvia [44].

H.265:n ominaisuuksiin lukeutuvat esimerkiksi 8k UHD TV -resoluutio (maksimissaan 8192x4320), 12-bittinen värisyvyys, 4:4:4 ja 4:2:2 chroma-alinäytteenotto (sub-sampling), 300 fps (kehystä sekunnissa), sekä useisiin gigabiteihin sekunnissa yltävät datanopeudet. Yksi H.265:n huomattavimmista ominaisuuksista on tiedostokoko, joka on suhteessa puolet H.264-kodekilla aikaansaadun tiedoston koosta, mutta kuvanlaatu on silti H.264:aa parempi.[43.]

4.5 Real-Time Transport Protocol (RTP)

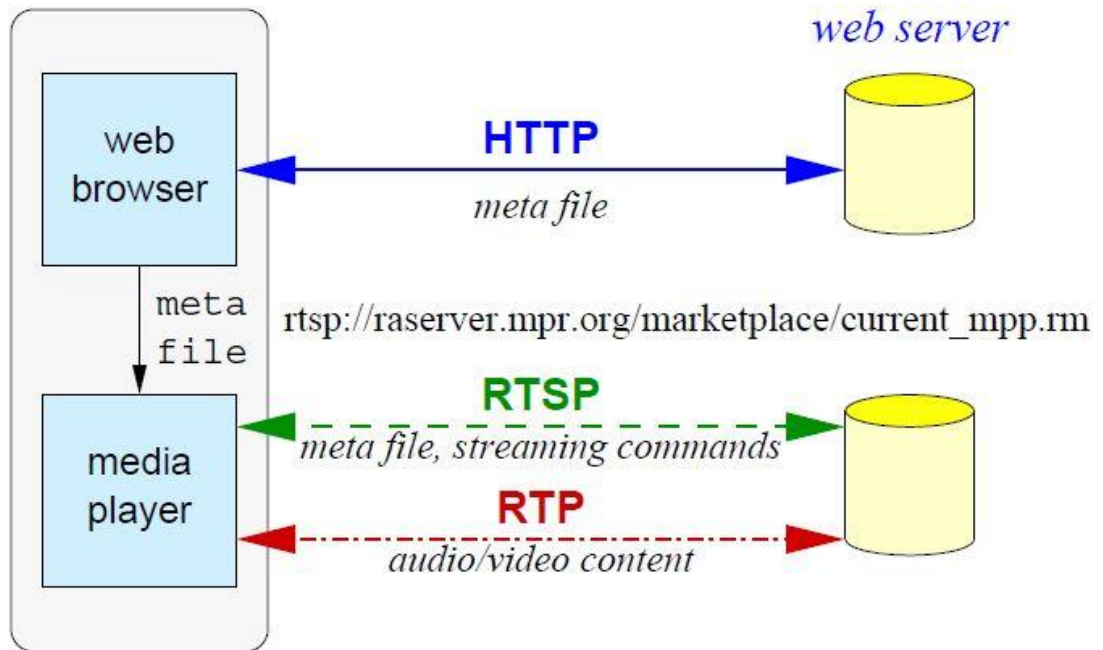
RTP (Real-Time Transport Protocol) on tietoliikenneprotokolla, joka mahdollistaa reaaliaikaisen datan kuljetuksen pakettiverkoissa sovelluksen sitä vaatiessa. RTP:n avulla voidaan siis esimerkiksi lähettää palvelimelta käyttäjälle videota tai ääntä reaaliajassa. Jotta reaaliaikainen siirto eli streamaus toteutuisi sujuvasti, RTP-protokollaa ja sen "kollegaa" RTCP-protokollaa tarvitaan suorittamaan taustalla erilaisia tehtäviä. [1.]

RTP:n kehitti audion ja videon siirtoon erikoistunut työryhmä Internet Engineering Task Force (IETF). RTP julkaistiin vuonna 1996 RFC1889-versiona, ja se sai jatkoa vuonna 2003 versiona RFC 3550. RTP- ja RTCP-protokollat suunniteltiin toimimaan yhdessä ja ne täydentävät toisiaan. [1; 45.]

Protokollana RTP on yksinkertainen. Se on ns. päästä päähän -tyyppinen (end-to-end) protokolla, ja sitä hyödynnetään erilaisissa palveluissa, kuten median streamauksessa, televisiopalveluissa, videokonferensseissa, internetpuheluissa ja monissa muissa ohjelmistoissa. VOIP (voice over IP) pohjautuu täysin RTP:n tarjoamaan tekniikkaan. Pikapuhelu on yksi tärkeimmistä RTP-sovelluksista GPRS-verkoissa. RTP toimii yhdessä RTCP-protokollan (Real-time Control Protocol) kanssa. [45; 46.]

RTP:n tehtävä on varsinaisen datan siirtäminen verkossa. RTP kertoo sovellukselle, millaista ja mistä peräisin olevaa tietoa kehys sisältää. Se myös tarjoaa sovellukselle tiedon siitä, kuinka kehykset tulee ajastaa ja onko niitä hukkunut matkan varrella. [47.]

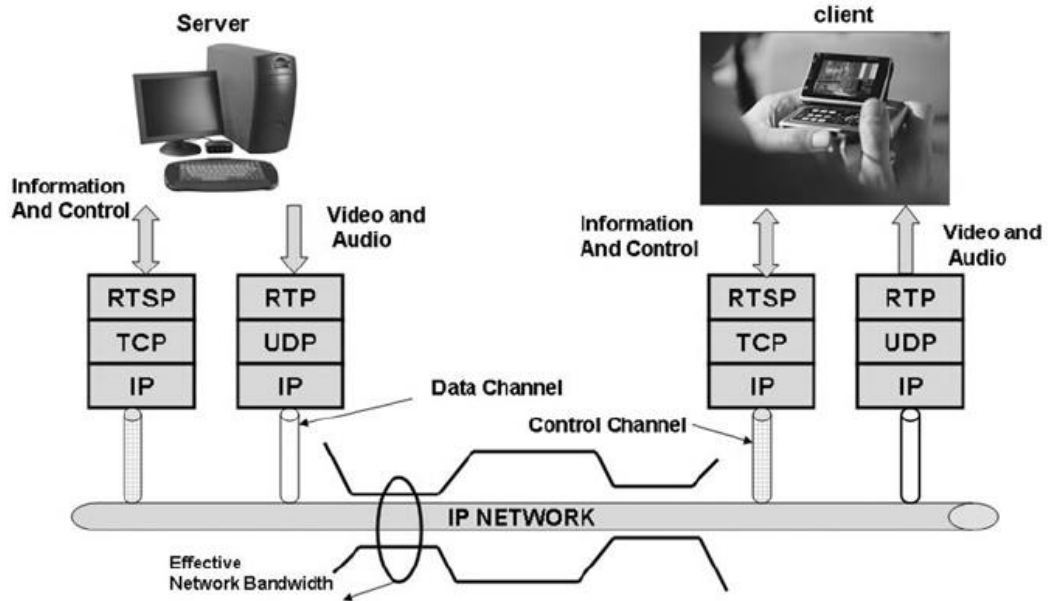
RTCP puolestaan välittää tietoa esimerkiksi yhteyden suorituskyvystä, istunnon osallistujista sekä yhteyden virheistä eli palvelutasosta (QoS, quality of service). RTCP huolehtii myös useiden yhtäaikaisten suoratoistojen synkronisoinnista ja muista ohjaukseen liittyvistä yksityiskohdista. [46.] Kuva 44 havainnollistaa protokollien rooleja streamauksessa.



Kuva 43. Real Time Transport -protokolla (RTP) on jaettu kahteen eri tehtäviä hoitavaan osaan. Datan siirtoon keskittyvä osa, RTP, lisää jokaiseen pakettiin järjestysnumeron ja aikaleiman synkronointia varten ja paketin häviämisen varalta. Datan siirtoa kontrolloiva osa, RTCP, puolestaan synkronoi eri lähteistä tulevia streamauksia keskenään ja tarkkailee palvelun ja yhteyden laatua. [47].

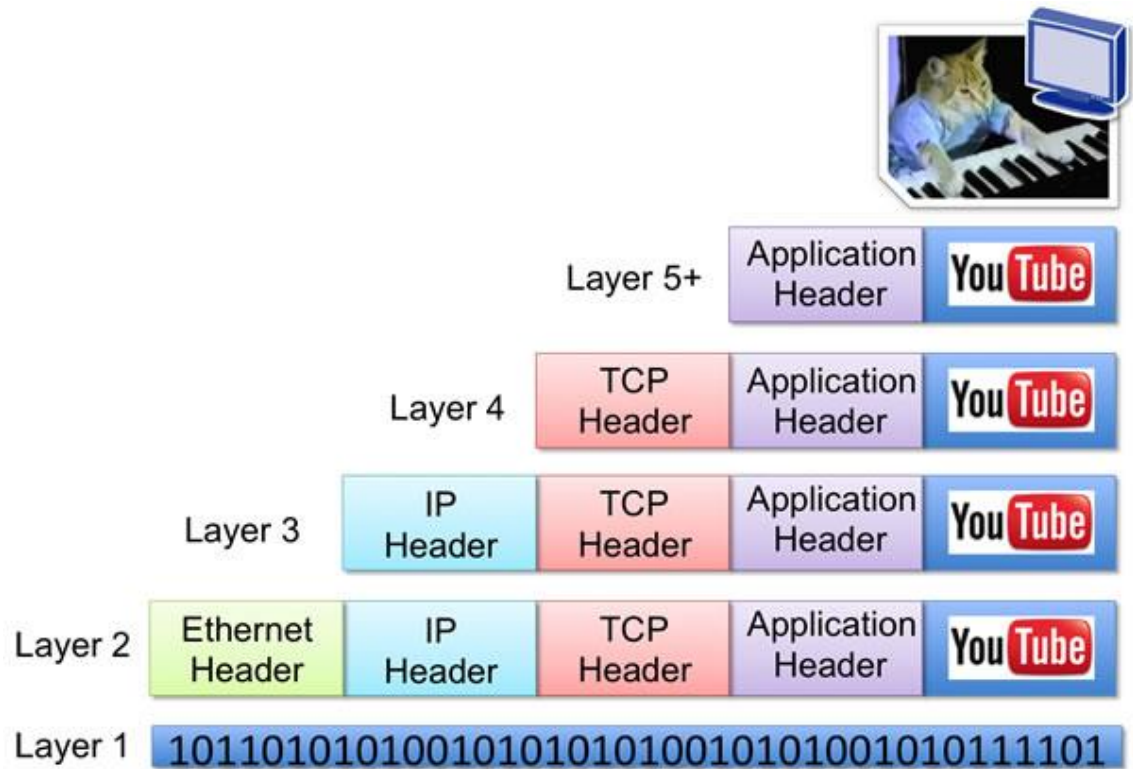
4.5.1 Sovellustason kehystys ja TCP/IP-ratkaisut

Kuva 45 esittää, kuinka protokollapinot lisäävät ja poistavat otsakkeita paketeista.



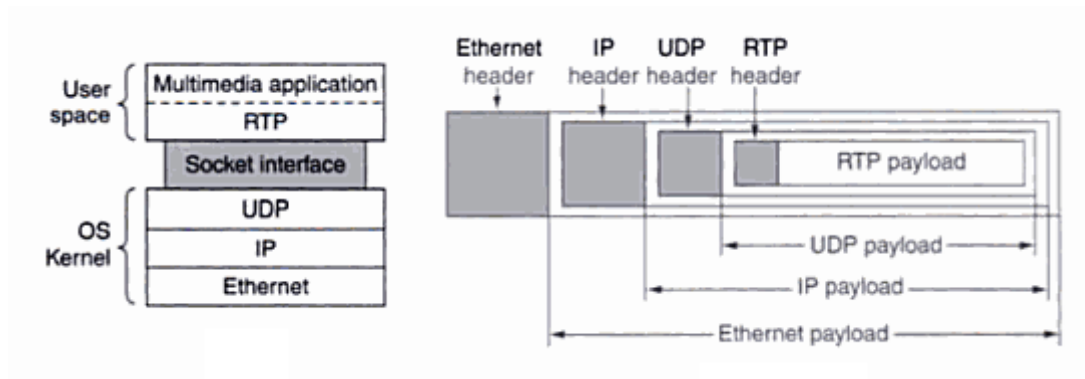
Kuva 44. RTP- ja RTSP-paketit kapseloidaan IP-kehukseen, jotta verkossa reititys on mahdollista [19].

Sovellustason kehystys eli ALF (Application Layer Framing) on ollut yksi RTP:n kehitysprosessin peruspilareista. ALF:n tehtävä on analysoida yhteyttä ja jakaa data verkon kannalta sopivan kokoisiksi kehyksiksi, jolloin yhteyden luotettavuus paranee. ALF:lla on myös omat keinonsa toipua kehysten häviämisen- ja uudelleenlähetystapauksista. RTP on rakennettu niin, että protokollakerrosten paketinkäsittely on yhdistetty kahteen silmukkaan. Tämä prosessi tunnetaan nimellä yhdistetty protokollakerrosten käsittely (Integrated Layer Processing, ILP). RTP ei itsessään omaa protokollakerrosta, mutta se antaa sovelluksille puitteet reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon. [35.]



Kuva 45. Jokainen taso lisää yhden otsakkeen pakettiin matkan varrella [50].

RTP:n kanssa voidaan käyttää TCP- tai UDP-protokollaa. TCP (Transmission Control Protocol) on luotettava, mutta sen ominaisuuksiin kuuluu hävinneiden pakettien uudelleenlähetykset, mikä tekee siitä hitaan. UDP (User Datagram Protocol) puolestaan on nopeampi, mutta toisaalta siirtotien aiheuttamia pakettihäviöitä ei korvata. Nopeutensa puolesta UDP on siis optimaalisempi protokolla RTP:llä tehtävän tiedonsiirtoon, mutta useiden peräkkäisten kehysten hävitessä esimerkiksi VoIP-puhelu tai videon streamaus on mahdotonta. Kuvista 46 ja 47 näkee, kuinka RTP-protokolla sijoittuu muiden protokollien, kuten UDP:n ja IP:n, sisälle.



Kuva 46. Protokollat kapseloidaan toistensa sisälle, ja jokaisella niistä on oma merkityksensä suoratoiston toimivuuden kannalta. RTP:aa pidetään siirtokerroksen aliprotokollana. RTP sisältää itse hyötykuorman (payload), UDP lisää pakettiin portin numeron ja IP-kapselointi huolehtii reitityksestä ja pakettien perillepääsystä [51].

4.5.2 RTP-protokollat

RTP sisältää neljä aliprotokollaa, joista kaksi on vapaavalintaisesti käytettäviä. Nämä aliprotokollat ovat: [46.]

Datan siirto palvelimelta asiakaslaitteelle, mikä sisältää mm. seuraavat ominaisuudet:

- Aikaleimat, jotka auttavat synkronisoinnissa.
- Hyötykuorman, joka on audiota, videota tai muuta dataa.
- Numerojärjestyksen, jotta hyötykuorma osataan sisällyttää oikeaan kehykseen.
- RTCP (Real Time Transport Protocol Control Protocol): kontrolloi palvelun ja yhteyden laatua (quality of service, QoS) ja auttaa datan synkronisoinnissa. RTCP kuluttaa kaistasta noin 5 %.
- SDP (Session Description Protocol): vapaavalintainen aliprotokolla, joka antaa tietoa median kuvauksesta.
- SIP (Session Initiation Protocol): vapaavalintainen aliprotokolla asiakaspäätteen ja palvelimen väliseen signaalointiin.

4.5.3 Sessiot

Kun RTP-sessio käynnistetään asiakaspäätteen ja palvelimen välillä, käytetään porttinumerointia yhdistettynä IP-osoitteeseen. RTCP-sessio käynnistetään yhtä aikaa RTP:n kanssa, ja samaan IP-osoitteeseen käytetään porttinumeroa, joka on yhden kokonaisluvun suurempi kuin RTP:n käyttämä. Kun RTP siis vaikkapa käyttää porttia 2500, ottaa RTCP silloin käyttöön portin numero 2501. [46.]

RTP sallii ALF-kehiksen (Application Level Framing) jokaiseen audio- ja videoformaattiin. ALF tarjoaa hyötykuorman ja profiilitason, ja sallii RTP:n käytön useiden eri mediatyyppien kanssa vaatimatta RTP:n uudelleenmäärittelyä. ALF pystyy esimerkiksi tarjoamaan MPEG-4 hyötykuorman tyyppin ja profiilin MPEG-4:n kooderille (kooderi-dekooderi). Kun uutta formaattia tarvitaan, uusi ALF voi kehottaa RTP:tä hyväksymään sen siirron. [46.]

RTP-palvelin kaappaa audio- tai videopakettit ja koodaa datan hyväksyttävään profiiliin. Sitten hyötykuorma tai koodattu data kapseloidaan omaan kehykseensä, jossa on aikaleima ja järjestysnumero, minkä jälkeen kehykset ovat valmiita lähetettäväksi verkkoon ja määränpäässä olevan asiakkaan vastaanotettaviksi. RTP-paketit kulkevat internetissä, kuten kaikki TCP/IP-paketit, ja ne toimitetaan määränpäähän IP-osoitteen avulla. Kun asiakaspäätte vastaanottaa kehyksen, data poistetaan hyötykuorman kehyksistä ja tallennetaan muistiin oikeassa järjestyksessä. Nyt loppukäyttäjä voi toistaa mediaa tai dataa suoratoistona. Muistiin tallennettavien kehysten määrää voidaan kasvattaa asetuksilla ja siten ns. bufferoida videota. Bufferoitaessa eli puskuroitaessa kehyksiä tallentuu muistiin niin paljon, että video toistuu pysähtymättä, vaikka verkossa tapahtuisi virheitä tai yhteyden nopeus hidastuisi hetkellisesti tasolle, jolla suoratoisto ei tavallisesti voisi toimia. [46.]

4.5.4 Video- ja audioprofiilit

Yksi RTP:n suunnitteluvaiheessa määritellyistä tavoitteista oli, että protokollan on pystyttävä kuljettamaan useita eri multimediaformaatteja (H.264, MPEG-4, MJPEG, MPEG-2), ja että uusia formaatteja tulee voida lisätä ilman RTP-standardin uudelleenmäärittelyä. RTP:n rakenteeseen sisältyy ALF (Application Level Framing), joka itse asiassa määrittää, mitä informaatiota sen mukana voi kulkea. Erikoisohjelmistojen ja muiden poikkeuksien tietoja ei tarvitse sisällyttää RTP:n

otsakkeeseen, vaan ne kuljetetaan RTP-profiileissa ja hyötykuorman (Payload) formaateissa. RTP määrittelee jokaiselle ohjelmisto-, audio- tai videoluokalle profiilin sekä yhden tai useamman hyötykuormaformaatin. [46.]

Profiili määrittelee hyötykuorman datan enkoodaamiseen ja sen formaattien koodauksiin käytettävät kodekit. Nämä tiedot ovat PT-osiossa (Payload Type) RTP:n kehyksen otsakkeessa (kuva 48). Jokainen profiili sisältää useita eri hyötykuorman formaatin määrittelyjä, ja jokainen näistä puolestaan määrittelee tietyntyyppisen koodatun datan siirtämiseen liittyvät tiedot ja toimintatavat. [46.]

Audion hyötykuormatyyppeihin kuuluvat esimerkiksi G.711, G.723, G726, G729, GSM, QCELP, MP3 ja DTMF. Videon hyötykuormatyyppiä ovat puolestaan mm. H.261, H.263, H.264 ja MPEG-4. [46.]

4.5.5 RTP-paketin otsake

Kuva 48 havainnollistaa IP/TCP-kehykseen kuuluvan RTP-paketin rakennetta.

RTP packet header							
Bit offset ^[b]	0–1	2	3	4–7	8	9–15	16–31
0	Version	P	X	CC	M	PT	Sequence number
32	Timestamp						
64	SSRC identifier						
96	CSRC identifiers ...						
96+32×CC	Profile-specific extension header ID					Extension header length	
128+32×CC	Extension header ...						

RTP-protokolla sisältää mm. aikaleiman synkronisointia varten, paketin numeroinnin uudelleenjärjestystä varten sekä itse datan, joka voi olla audiota, videota tai muuta mediaa. Paketissa Extension Headerin jälkeen alkaa datan eli hyötykuorman (payload) osuus [46].

RTP-paketin otsake on pienimmillään 12 tavun kokoinen. Varsinaisen otsakkeen jälkeen kehykseen voi sisältyä vaihtoehtoinen otsakkeen jatke. Sen jälkeen otsakkeeseen sijoittuu RTP-hyötykuorma siinä formaatissa, jonka siirtoa muodostava ohjelma on päättänyt. Otsakkeen osa-alueet ovat seuraavat: Versio (2 bittiä) osoittaa protokollan version. Nykyinen versio on 2. [46.]

- P (padding, täyte; 1 bitti): ilmoittaa, tarvitaanko RTP-paketin loppuun lisätavuja. Viimeinen bitti täyteosa-alueessa kertoo, kuinka monta lisätavua yhteensä tarvitaan. Täyte saattaa olla paketissa esimerkiksi tilana kryptausalgoritmia varten.
- X (extension, laajennus; 1 bitti): osoittaa, tarvitaanko tavallisen otsikon ja hyötykuorman välille laajennettua otsikkoa.
- CC (CSRC count; 4 bittiä): sisältää CSRC-tunnistenumerot.
- M (marker; 1 bitti): käytetään ohjelmistotasolla, määritelty profiilissa. Jos marker on "päällä", sillä on erikoismerkitys kyseiselle ohjelmistolle.
- PT (Payload type; 7 bittiä): osoittaa hyötykuorman formaatin ja määrittelee sen tulkinnan ohjelmistossa.
- Sequence number (16 bittiä): Järjestysnumero kasvaa yhdellä kokonaisluvulla aina jokaista lähetettyä RTP-datapakettia kohden. Järjestysnumerointia käytetään vastaanottopäässä havaitsemaan kadonneet paketit, ja tilanteesta riippuen paketille voidaan pyytää uudelleenlähetystä. RTP ei tee päätöstä uudelleenlähetyksestä, vaan se ainoastaan numeroi paketit.
- Aikaleima (32 bittiä): mahdollistaa sen, että vastaanottimet pystyvät toistamaan saadut näytteet alkuperäisten intervallien mukaan. Jos hallinnassa on yhtäaikaaisesti useita mediastreamauksia, on jokaisella suoratoistolla oma aikaleimansa, joka ei välttämättä liity median synkronisaatioon.
- SSRC (32 bittiä): Synkronoi lähteiden tunnisteet ja uniikisti tunnistaa suoratoiston lähteen. Synkronisaation lähteet ovat kaikki uniikkeja saman RTP-session aikana.

- CSRC (32 bittiä): Antaa lähteen tunnistetiedot, jotta lähteet voitaisiin tunnistaa sellaisissa streamauksissa, jotka on generoitu useista lähteistä.
- Header Extension (valinnainen): Ensimmäinen 32-bittinen sana tarjoaa profiilille tarkan tunnisteen (16 bittiä) ja pituuden määritelmän (16 bittiä), mikä osoittaa laajennuksen pituuden (Extension Header Length, EHL) 32-bittisinä sanoina

Header Extension (valinnainen): Ensimmäinen 32-bittinen sana tarjoaa profiilille tarkan tunnisteen (16 bittiä) ja pituuden määritelmän (16 bittiä), mikä osoittaa laajennuksen pituuden (Extension Header Length, EHL) 32-bittisinä sanoina. [46.]

4.5.6 RTP-pohjaiset järjestelmät

Täysin toimivan ja luotettavan verkkopohjaisen järjestelmän lisäksi tarvitaan muita protokollia, jotka toimivat yhdessä RTP:n kanssa. Protokollia kuten SIP, Jingle, RTSP, H.225 ja H.245 käytetään sessioiden aloitukseen, kontrollointiin ja lopettamiseen. Muita standardeja, esimerkiksi H.264, MPEG-2 ja H.265, käytetään hyötykuormadatan koodaukseen ja dekodaukseen tietyn RTP-profiilin puitteissa.[46]

RTP-paketin lähettäjä kaappaa ensin multimediatdataa, sitten koodaa sen, muuttaa sen kehyksiksi ja lähettää sen eteenpäin RTP-pakettina sopivan aikaleiman ja kokonaislukuna lisääntyvän sekvenssinumeron kera. Käytetystä RTP-profiilista riippuen lähettäjä saattaa pystyä antamaan valinnaiseen hyötykuormatyypiseen otsikkoon toivotun arvon. Vastaanotettaessa data tarkastetaan ja RTP kutsuu mahdolliset puuttuvat paketit uudelleenlähetettäväksi. Sitten kehykset dekodataan hyötykuorman formaatin mukaan esittämään streamia käyttäjälle. [46.]

5 Wowza Streaming Engine 4.1.2

Osana insinööriyötä oli Wowza Streaming Enginen asentaminen Linux-palvelimelle. Käyttöjärjestelmäksi valittiin Wowzan suosittelemista CentOS 7.0 Linux. Liitteessä 1 havainnollisesta CentOS 7.0 -käyttöjärjestelmän asennusmedian luominen USB-

tikulle tai CD/DVD-levylle, ja ohjeistetaan käyttöjärjestelmän asennusprosessi vaihe vaiheelta.

Liitteessä 2 selvitetään, millaisia esiasennettavia ohjelmistoja Wowza Streaming Engine vaatii toimiakseen. Tätä seuraa yksityiskohtainen ohjeistus siitä, kuinka Wowza Streaming Engine 4.1.2 asennetaan ja kuinka sitä pääsee hallinnoimaan.

5.1 Yhteensopivuus

Wowza Streaming Engine on tehokas ja helppokäyttöinen suoratoistoja (streamauksia) hallinnoiva ohjelmisto, joka on yhteensopiva suosituimpien mediasoitinten kanssa. Streaming Engine pystyy toimittamaan sisältöä esimerkiksi Adobe Flash Playeriin, Microsoft Silverlight Playeriin, Apple iOS-pohjaisiin järjestelmiin ja Android-pohjaisiin järjestelmiin. Se tukee monia eri suoratoistoprotokollia, jotka on esitelty tässä luvussa. [52.] Tuetut protokollat ja spesifikaatiot

Wowza Streaming Enginen tukemat spesifikaatiot versiossa 4.1.2 on listattu allaolevaan taulukkoon 5. [52]

Taulukko 5. Streaming Engine tukee seuraavia RTP-, RTSP- ja MPEG-standardien spesifikaatioita [52].

Protokolla	Spesifikaatio
MPEG-TS	ISO/IEC 13818-1
MPEG-TS over RTP	rfc2038
RTP: AAC	rfc3640, rfc3016, ISO/IEC 14496-3
RTP: G.711	rfc3551
RTP: H.263	rfc2429
RTP: H.264	rfc3984, QuickTime RTP Payload
RTP: MP3	rfc2250
RTP: MPEG-2 (video)	rfc2250
RTP: MPEG-4 Part 2	rfc3106
RTP: Speex	rfc5574
RTSP	rfc2326

5.1.1 Mukautuva bittinopeus

Mukautuvan bittinopeuden (Adaptive Bitrate, ABR) streamaus on teknologia, joka antaa käyttäjälle mahdollisuuden valita käytettävän laitteen näytön ominaisuuksiin ja verkon senhetkisiin olosuhteisiin parhaiten sopivan bittinopeuden. Mukautuvan bittinopeuden streamauksella voidaan näin ollen tarjota käyttäjälle paras mahdollinen äänen- ja kuvanlaatu laitteen ja verkon kapasiteettiin nähden.[53.]

ABR toimii Wowzan kanssa kahdella toisistaan riippumattomalla tavalla. Käyttäjä pystyy olosuhteiden muuttuessa itse lisäämään tai vähentämään bittinopeutta tai tarkalleen ottaen videon laatua. Wowza Streaming Engine puolestaan suorittaa taustalla palvelinpuolen resurssienjakelua ja muita siihen liittyviä tehtäviä, jotka ovat käyttäjälle näkymättömiä. Näiden kahden yhdistelmä bittinopeuden jakelussa tekee verkon tarjoamien resurssien käytöstä tehokkaampaa. [53.]

ABR-streamauksessa palvelimelle luodaan videosta useita eri versioita esimerkiksi videon resoluution ja videopakkauksen konfiguraatioiden perusteella. Eri versiot toimivat erilaisten bittinopeuksien kanssa, ja käyttäjä, laite tai palvelin valitsee oikean videoversion toistettavaksi käytettävissä olevien resurssien mukaan.[53.]

Wowza Media Server tukee mukautuvaa bittinopeutta HTTP-pohjaisilla asiakaspääteillä, kuten Silverlight (Smooth Streaming), Apple HLS (Cupertino), Adobe HDS (SanJose) ja Flash RTMP. [53.]

5.1.2 Suoran lähetyksen transkoodaus

Wowza Streaming Engineen sisältyy ominaisuus nimeltä transkoodaus, joka on reaaliaikaisen videostreamin koodausratkaisu. Sen avulla Wowza pystyy kaappaamaan live-lähetyksiä, dekodeamaan niiden audiot ja videot ja koodaamaan ne takaisin haluttuun muotoon kohdelaitteesta riippuen. [53.] Taulukossa 6 on lueteltu transkooderin yleisesti käyttämiä koodekkeja.

Transkoodaus: Kaappaa streamin, joiden formaattia Wowza ei tue, ja uudelleenkoodaa sen sarjaksi H.263-, H.264- tai AAC-streameja useille eri bittinopeusvaihtoehdoille. Alkuperäiset avainkuvat ovat linjassa uudelleenkoodatun ABR-streamin kanssa. [53.]

Transrate: Kaappaa jo valmiiksi tuettuun muotoon pakatun H.264-AAC -streamin ja luo siitä Wowzan tukemilla koodekkeilla useita eri bittinopeusversioita. Uusien versioiden avainkuvat ovat linjassa alkuperäisen lähdestreamin kanssa.[53.]

Audio-only: Kaappaa H.264-videon ja Speex-audiostreamin Adobe Flash Playeristä ja koodaa audion AAC-muotoon, jolloin streamista tulee yhteensopiva useampien mediatoistinten kanssa. Video jää alkuperäiseen muotoonsa. [53.]

Taulukko 6. Yleisesti transkooderin käytössä olevia koodekkeja Kehitteillä olevat teknologiat on merkitty tähdellä (*).[53.]

Video (dekoodaus)	Video (koodaus)
H.264	H.263v2
MPEG-2	H.264
MPEG-4 Part 2	* H.265
* VP8	* VP8
* VP9	* VP9
Audio (dekoodaus)	Audio (koodaus)
AAC	AAC
G.711 (μ-law and A-law)	* Vorbis
MPEG-1 Layer 1/2	* Opus
MPEG-1 Layer 3 (MP3)	
Speex	
* Vorbis	
* Opus	

5.2 Wowzan tukemat protokollat

Wowzan tukemista protokollista puhuttaessa vastaan tulee usein termi ”ositeltu” tai ”paloittelupohjainen”. Taulukosta 7 käyvät ilmi termin eri variaatiot ja englanninkieliset vastineet.[53.]

Taulukko 7. Selvennys ”chunk”-termien suomenkielisistä vastineista ja niiden variaatioista.

Pala-pohjainen vastine suomeksi	Osa-pohjainen vastine suomeksi	Englanninkielinen termi
Pala	Osa	Chunk
paloiteltu, paloiksi pilkottu	Ositettu, osiin pilkottu	Chunked
paloittelupohjainen	Osittelupohjainen	Chunk Based

Kappaleen 5.2 yhteydessä yksittäisen suoratoiston (stream) pala (chunk) tarkoittaa isomman informaatiokokonaisuuden yhtä osaa. Tällaisia informaatiopaloja ovat esimerkiksi käytössä oleva kieli, tekstin ajoitus, videon resoluutio, videon bittivirran nopeus ja videon ajoitustiedot. TS:n (Transport Stream) tai vastaavan siirtoprotokollan tehtävänä on siirtää itse datan lisäksi datan kontrollitietoa, joka koostuu näistä paloista.

5.2.1 Adobe HDS (San Jose Streaming)

Adobe Flash Player 10.1 ja sitä uudemmat versiot käyttävät Adobe HTTP Dynamic Streaming -protokollaa (AdobeHDS) livemedian ja Video on Demandin (VoD) toistoon. Adobe HDS on paloittelupohjainen (chunk based) streamausprotokolla, joka käyttää tiedonsiirtoon http:aa (Hypertext Transfer Protocol). Pala (Chunk) on siirtoprotokollan streamaukseen tarkoitettu paketti, joka sisältää sekä kontrollityökäluksi että itse datan (Control Data, C/D). Wowza Streaming Engine toteuttaa kaiken median streamaukseen liittyvän ja osiinpilkkottujen (chunking-based) pakettien jaon. [53]

VoD-sisältöä streamatessa Wowza tukee Adobe HDS -protokollalla sekä MP3- että MP4-tiedostoja, mutta MP4 on toistettava Quick-Time-kehysessä. Adobe HDS protokollaan viitataan myös nimellä San Jose Streaming, kuten kuvasta 49 voi nähdä.



Kuva 47. Wowza Streaming Enginen konfiguraatiotiedoissa Adobe HDS -protokollaan viitataan nimellä "San Jose". Adobe HDS -protokollan käyttöönottoa kutsutaan San Jose -streamin konfiguroimiseksi [54; 55].

Adobe HDS -protokollaa käytettäessä Wowza Streaming Engine tukee seuraavia protokollia: [52.]

Video

- H.264
- On2 VP6, vain live-esityksiä varten
- SV (Screen Video) ja SV2, vain live-esityksiä varten
- SP (Sorenson Spark), vain live-esityksiä varten

Audio

- AAC (Advanced Audio Coding, “kehittynyt äänen koodaus”), AAC Low Complexity (AAC LC), AAC High Efficiency (HE-AAC) versiot 1 ja 2
- MP3 (MPEG-1 Audio Layer 3)
- Nellymoser Asao (vain live-esityksiä varten)
- Speex (vain live-esityksiä varten)

5.2.2 Adobe RTMP (Adobe Flash Player)

Wowza kommunikoi Adobe Flash Playerin kanssa käyttäen protokollaa nimeltä Adobe RTMP (Real Time Messaging Protocol). RTMP:n avulla Streaming Engine pystyy toimittamaan live- ja VoD-sisältöä mukautuvalla bittinopeudella. RTMP pitää sisällään runsaasti erilaisia ominaisuuksia, mm. jaetut objektit, videokeskustelut ja videon nauhoituksen. Streaming Engine tukee kaikkia samoja protokollia kuin Adoben Flash Player. Näitä ovat esimerkiksi: [52.]

Video

- H.264
- On2 VP6

- SP (Sorenson Spark)
- SV (Screen video) ja SV2 (Screen video 2)

Audio

- AAC (Advanced Audio Codec), AAC Low Complexity (AAC LC), AAC High Efficiency (HE-AAC) versiot 1 ja 2
- MP3 (MPEG-1 Audio Layer 3)
- Nellymoser Asao
- Speex

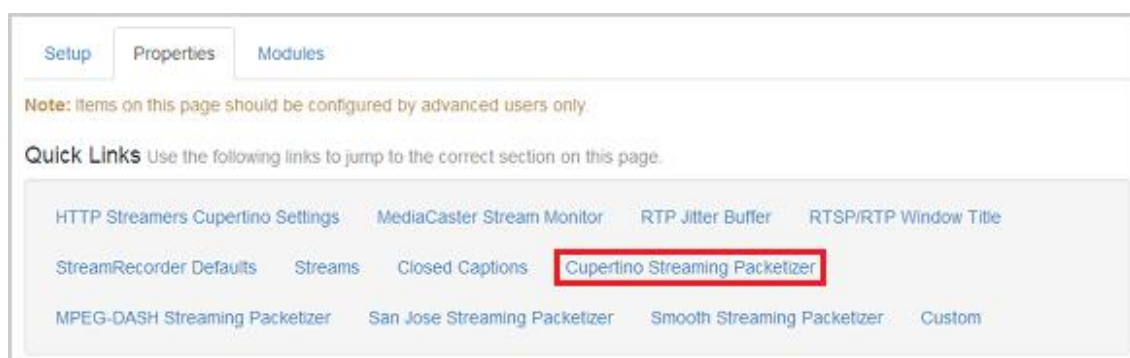
Seuraavat RTMP-protokollan variantit ovat tuettuja Wowza Streaming Engineissä:[52.]

- RTMP: Ydinprotokolla, varianteista tehokkain ja nopein.
- RTMPE: Protokollaan on lisätty kevyt salaus, joka varmistaa turvallisen datan siirron Flash Playerin ja Streaming Enginen välillä.
- RTMPS: Vahvemmin salattu variantti RTMP-protokollaperheessä. Käyttää SSL-salausta (Secure Socket Layer) datan siirrossa. Session muodostaessaan RTMPS käyttää vahvempaa salauskerrosta kuin RTMPE. Wowzan tarjoama StreamLock™ antaa mahdollisuuden jopa 256-bittisen SSL-sertifikaatin käyttöön RTMPS:n ja HTTPS-protokollan (Hypertext Transfer Protocol Secure) kanssa.
- RTMPT: Variantti, joka mahdollistaa tunneloinnin palomuurin läpi, jos palomuuuri tukee SPI:a (Stateful Packet Inspection).

5.2.3 Apple HLS (“Cupertino Streaming”)

Apple iOS-käyttöjärjestelmää käyttäviin laitteisiin voidaan streamata mukautuvalla bittivirralla livetoistoa ja VOD-sisältöä Wowza Streaming Enginen Apple HTTP Live

Streaming- eli HLS-protokollan avulla. iOS-pohjaisia laitteita ovat iPhone, iPad sekä iPod Touchin modernimmat versiot. Apple HLS -protokollaa käyttävät myös QuickTime Player (versiosta 10 eteenpäin), Safari-selain (versio 4 ja uudemmat) ja eräät laitteet kuten digiboksit ja jotkin älytelevisiot. Apple HLS on paloittelupohjainen streamausprotokolla, joka välittää dataa HTTP:n avulla. Streaming Engine suorittaa kaiken tarvittavan median pakkaamisen ja pilkkomisen. [52.] Kuten kuvasta 50 voi nähdä, Apple HLS tunnetaan myös nimellä Cupertino Streaming.



Kuva 48. Adobe HDS:n tavoin myös Apple HLS:aan viitataan lempinimellä. Asennetun Wowza Streaming Enginen konfiguraatiodokumentissa sen nimi on "Cupertino". Vastaavasti Apple HDS:n suoratoiston konfigurointi ja käyttöönotto tunnetaan nimellä "Cupertino Streaming" [56; 57].

Wowza Streaming Engine tukee erilaisia salausmetodeja, kuten DRM:aa, Apple HLS-liikenteen suojaukseen. Streaming Engine täyttää toistolistan metadatalle, joka kuvailee jokaista saatavilla olevaa streamia bittinopeuden perusteella. iOS-pohjaiset järjestelmät voivat siten älykkäästi valita sopivan streamin perustuen päätelaitteen kapasiteettiin ja kykyyn toistaa tietyn nopeuksista bittivirtaa. [52.]

iOS-pohjaiset laitteet ja Apple-televisio digitaalisen median laajennin tukevat seuraavia mediaformaatteja [52].

Video

- H.264

Audio

- AAC(Advanced Audio Codec), AAC Low Complexity (AAC LC), High Efficiency AAC (HE-AAC) versio 1
- Dolby Digital 5.1 Surround Sound (AC-3) and Dolby Digital Plus (Enhanced AC-3 or E-AC-3)
- MP3 (MPEG-1 Audio Layer 3)

5.2.4 Microsoft Silverlight (Smooth Streaming)

Myös Microsoft Silverlight on sisäänrakennettu Streaming Engineen. Microsoft Silverlight pystyy vastaanottamaan esimerkiksi Windows-puhelimella live- ja VOD-suoratoistoa H.264-, AAC- ja MP3 -koodekkeja käyttäen. Microsoft Smooth Streaming protokollaa käyttäen Microsoft Silverlight toimii useimmilla selaimilla ja alustoilla. Smooth Streaming on paloittelupohjainen protokolla, ja se käyttää HTTP:tä datan jakamiseen. Streaming Engine pystyy paloittelemaan ja pakkaamaan median streamin toteuttamista varten, joten erillistä IIS-palvelinta ei tarvita. Seuraavat formaatit ovat tuettuina Microsoft Smooth Streamingin käyttäjille: [52].

Video

- H.264

Audio

- AAC (Advanced Audio Codec) , AAC Low Complexity (AAC LC), AAC High Efficiency (HE-AAC) versiot 1 ja 2
- MP3 (MPEG-1 Audio Layer 3)

5.2.5 DASH

DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) tunnetaan myös nimellä MPEG-DASH. DASH on kansainvälinen standardi mukautuvan bittivirran suoratoistoon ja alalla yleisesti käytetty protokolla, ja myös Wowza Streaming Enginen live- ja VOD-palvelut tukevat sitä. DASH on hyvin samankaltainen kuin aiemmat tässä luvussa esitellyt

streamausteknologiat: se toimii mukautuvalla bittinopeudella, on paloittelupohjainen ja käyttää datan siirtoon HTTP:tä. Myös DASH:n kohdalla Streaming Engine hoitaa siirtoa varten kaiken tarvittavan pakkaamisen ja median osittelun, jota DASH:n yhteydessä kutsutaan segmentoinniksi. [52].

DASH-palvelin tarjoaa asiakkailleen listan kaikista URL:sta (Uniform Resource Locator) palasista (Chunked), jotka ovat osana MPD:in (Media Presentation Description) manifestoa. MPD tarjoaa Median paloitepohjaisista (Chunk Based) osista informaatiota. Näitä paloiteosia ovat esimerkiksi kuvan, tai videon resoluutio, bittivirran nopeus, käytössä oleva kieli, ajoitustiedot ja tekstin ajoitus. [52].

MPEG-DASH on määritelty ISO/IEC 23009-1 standardissa säilöiksi ISOBMFF (ISO Base Media File Format) ja MPEG-2 TS (Transport Stream) formaateille. MPEG-DASH tukee niin multiplexoitua kuin multiplexoitamatonta koodausta, sillä se on koodekkiriippumaton. [52].

DASH käyttää tällä hetkellä useita erilaisia DRM- eli sisällönsuojausjärjestelyitä, mutta sen yhteyteen on kehitteillä oma CENC-standardi (Common Encryption) ainoaksi kryptausmenetelmäksi. Tällöin sisältö kryptataan vain kerran ja streamataan CENC-kryptausta tukevaan DASH-asiakaslaitteelle.

MPEG-DASH -protokollan yhteydessä tuetaan seuraavia formaatteja:[52].

Video

- H.264

Audio

- AAC (Advanced Audio Codec), AAC LC (AAC Low Complexity), HE-AAC (AAC High Efficiency), versiot 1 ja v2
- Dolby Digital 5.1 Surround Sound (AC-3) ja Dolby Digital Plus (Enhanced AC-3 tai E-AC-3)

5.2.6 RTSP/RTP

Wowza Streaming Engine mahdollistaa tiettyjen formaattien streamaamisen livelähetyksenä RTSP-, RTP- ja MPEG-2-TS -protokollia tukevilla laitteilla. Nämä formaatit ovat H.264, AAC ja MP3, ja niitä tukeviin laitteisiin ja alustoihin kuuluvat esimerkiksi QuickTime Player (versio 10 tai uudempi), VLC Player (VideoLAN Player), digiboksit ja 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Streaming Engine mahdollistaa myös lähdestremauksen koodaamisen laitteissa, jotka käyttävät näitä protokollia. Streaming Engine hyväksyy UDP-protokollan kautta RTP ja MPEG-2-TS (Transport Stream, TS) sisään- ja ulostulot. Tämän kautta se tekee mahdolliseksi multicast lähetykset. [52.]

6 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli tutustua syvällisesti nykyajan ja tulevaisuuden tarjoamiin mediatekniikoihin, erityisesti videokuvan ja siihen liittyvän äänen ominaisuuksiin ja sen tarjoamiin mahdollisuuksiin. Videon suoratoisto on lyönyt itsensä läpi markkinoilla ja sen suosio jatkaa kasvuaan. Työn alussa kerrottiin, kuinka yritykset hyödyntävät suoratoistoteknologiaa palveluissaan, ja näytettiin, kuinka laajaan käyttöön IPTV on levinnyt maailmanlaajuisesti.

Seuraavissa vaiheissa tutkittiin, kuinka videon jakeluverkostoa rakennetaan kasvavassa määrin internetprotokollan varaan, ja miksi esimerkiksi digiboksi, Video on Demand -palvelut ja piratismi ovat suosittuja keinoja videon katsomiseen internetin välityksellä. Lisäksi selvitettiin, mikä tekee hajautetusta videonjakeluverkostosta (CDN) on ylivoimaisen muihin, vanhempiin tapoihin, kuten esimerkiksi keskitetyn palvelimen jakeluun verrattuna.

Tämän jälkeen selvitettiin, kuinka nykyteknologialla toteutettuja koodekkeja, kuten H.264:aa ja sen seuraajaa H.265:aa, käytetään videon pakkaamisprosessissa, ja millaisia innovaatioita koodekkien kehittyminen on mahdollistanut. Työssä selvitettiin myös kehittyneen videonpakkausteknologian vaikutusta siirtoteihin. Mediaa katsotaan ja ladataan runsaasti tietokoneiden ja mobiililaitteiden välityksellä, ja tehokas pakkaaminen vähentää ruuhkatilanteiden aiheuttamia tukoksia.

Tiedonsiirto erilaisia siirtoteitä pitkin toteutetaan protokollien avulla. Työssä käytiin läpi tärkeimmät videon suoratoistoon liittyvät protokollat, jotka yhdessä mahdollistavat stream-lähetysten toistamisen suurimmalla osalla asiakaspäätteitä.

Lopuksi paneuduttiin videon suoratoiston lähetykseen liittyvään suosittuun ohjelmistoon nimeltä Wowza Streaming Engine. Ohjelmiston asennettiin oppilaitoksen tietokoneelle, ja sillä tehtiin erilaisia suoratoistoon liittyviä kokeiluja. Stream-lähetys saatiin toimimaan siinä laboratorioverkon osa-alueessa, johon palvelin oli sijoitettu. Lisäksi selvitettiin Wowzan tukemat protokollat ja koodekit, ja testattiin suoratoistoa eri tavalla koodatuilla videopätkillä.

Lähteet

- 1 IPTV. Verkkodokumentti. <https://fi.wikipedia.org/wiki/IPTV>. Luettu 1.12.2015.
- 2 Suomalainen televisiotarjonta. Verkkodokumentti
http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=3759144&name=DLFE-27327.pdf&title=Julkaisuja%2010-2015. Luettu 28.11.2015.
- 3 YLE Areena kuukausikatsaus. Verkkodokumentti.
<https://drive.google.com/file/d/0BxCeRq8V0uLJZUpFVUtLb0V5WnJlaUo5emZRWUtYNEpKNiIV/view?pli=1>. Luettu 29.11.2015.
- 4 DNA Viihde- ja digitaalisten sisältöjen tutkimus. Verkkodokumentti.
<https://www.dna.fi/documents/15219/157828/Tutkimus+medialle+digitaaliset+sis%C3%A4ll%C3%B6t/56f9e70b-49a4-4acb-9c50-a7b7d24345ce>. Luettu 1.12.2015.
- 5 Näin Areenan jakelu toimii. Verkkodokumentti. <http://blogit.yle.fi/yle-areena/nain-areenan-jakelu-toimii>. Luettu 25.11.2015.
- 6 Yleisradion palvelukehitys IPv6. Verkkodokumentti.
https://www.viestintavirasto.fi/attachments/esitykset/9.6.2015_IPv6_Sami_Kallinen.pdf. Luettu 22.11.2015.
- 7 ARPANET – The Advanced Research Projects Agency Network. Verkkodokumentti. <http://www.keith-griffiths.com/2012/08/arpnet-the-advanced-research-projects-agency-network>. Luettu 1.12.2015.
- 8 How YouTube works. Verkkodokumentti.
<http://money.howstuffworks.com/youtube.htm>. Luettu 24.11.2015.
- 9 IPTV Statistics – Market Analysis Q2 2015. Verkkodokumentti.
<http://point-topic.com/free-analysis/iptv-statistics-market-analysis-q2-2015/>. Luettu 28.11.2015.

- 10 Wikipedia IPTV-countries. Kuva. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:IPTV-Countries.svg>. Luettu 29.11.2015.
- 11 Internet Map. Verkkodokumentti, kuva. https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Mapping_Project. Luettu 1.12.2015.
- 12 Global IPTV subscribers 2014. Verkkodokumentti. Kuva. <http://point-topic.com/free-analysis/global-iptv-subscriber-numbers-q4-2014/>. Luettu 28.11.2015.
- 13 Global IPTV subscriber numbers. Kuva. Verkkodokumentti. <http://www.asiaott.com/2014/04/21-5960.html>. Luettu 28.11.2015.
- 14 Laajakaistatelevisio (IPTV) ja internet-tv. Verkkodokumentti. <https://www.viestintavirasto.fi/tvradio/jakelujavastaanotto/iptvjainternet-tv.html>. Luettu 24.11.2015.
- 15 IPTV. Verkkodokumentti. <https://en.wikipedia.org/wiki/IPTV>. Luettu 24.11.2015.
- 16 IPTV Standardization on Track, Say Industry Experts. Verkkodokumentti. <http://www.itu.int/ITU-T/newslog/IPTV+Standardization+On+Track+Say+Industry+Experts.aspx>. Luettu 28.11.2015.
- 17 ATIS IPTV Exploratory Group Report and Recommendation to the TOPS Council. Verkkodokumentti. http://www.atis.org/tops/IEG/ATIS_IPTV_EG_RPT_final.pdf. Luettu 1.12.2015.
- 18 IP/MPLS Networks. Verkkodokumentti. http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-next-generation-network-ngn-video-optimized-transport/white_paper_c11-637031.html. Luettu 28.11.2015.
- 19 IPTVnet. Kuva. <https://en.wikipedia.org/wiki/File:IPTVnet.png>. Luettu 24.11.2015.

- 20 Mathematical and computational methods to analyze de-centralized information. Kuva. <http://phys.org/news/2015-11-mathematical-methods-de-centralized.html>. Luettu 1.12.2015.
- 21 IPTV-järjestelmät. Verkkodokumentti. http://www.tlu.ee/~matsak/telecom/lasse/ipTV/muutamia_kuvanvilyksen_perusksitteit.html. Luettu 28.11.2015.
- 22 MPLS VPN. Verkkodokumentti. Kuva. <https://www.zetta.net.au/services/networks/private-networks-mpls-vpn/>. Luettu 24.11.2015.
- 23 Optimize Video Transport for Service Providers. Kuva. http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-next-generation-network-ngn-video-optimized-transport/white_paper_c11-637031.html. Luettu 28.11.2015.
- 24 The explosion into the next generation of VOD. Verkkodokumentti. <http://www.pureintegration.com/services/video/video-on-demand/>. Luettu 24.11.2015.
- 25 Video on Demand. Verkkodokumentti. https://en.wikipedia.org/wiki/Video_on_demand. Luettu 23.11.2015.
- 26 Integration and Workflow Architecture. Verkkodokumentti. Kuva. http://www.yospace.com/index.php/cds_mobiledelivery.html. Luettu 25.11.2015.
- 27 BitTorrent Traffic Drops in America, Grows in Europe. Verkkodokumentti. <https://torrentfreak.com/bittorrent-traffic-drops-in-america-grows-in-europe-131111/>. Luettu 26.11.2015.
- 28 The Cable Infrastructure Challenge. Kuva. <http://www.gainspeed.com/our-solution/the-cable-infrastructure-challenge/>. Luettu 24.11.2015.

- 29 BitTorrent Still Dominates Global Internet Traffic. Kuva.
<https://torrentfreak.com/bittorrent-still-dominates-global-internet-traffic-101026/>.
Luettu 26.11.2015.
- 30 What is a CDN. Verkkodokumentti.
http://www.rackspace.com/knowledge_center/article/what-is-a-cdn. Luettu
29.11.2015.
- 31 Content Distribution Network. Verkkodokumentti. <https://www.akamai.com/us/en/resources/content-distribution-network.jsp>. Luettu 25.11.2015.
- 32 CDN. Kuva. https://en.wikipedia.org/wiki/File:NCDN_-_CDN.png. Luettu
28.11.2015.
- 33 IP/MPLS Networks: Optimize Video Transport for Service Providers.
Verkkodokumentti. http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-next-generation-network-ngn-video-optimized-transport/white_paper_c11-637031.html. Luettu 29.11.2015.
- 34 An Overview of H.264 Advanced Video Coding (H.264 AVC).
Verkkodokumentti.
<http://www.vcodex.com/images/uploaded/469323879727520.pdf>. Luettu
26.11.2015.
- 35 Jussi Hanhijärvi, Tutkielma eräästä videokoodausstandardista.
Verkkodokumentti. http://users.aalto.fi/~hanhi/publications/artikkelit/h_264.pdf.
Luettu 23.11.2015.
- 36 Close up of pixels. Kuva.
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Closeup_of_pixels.JPG. Luettu 29.11.2015.
- 37 Image Coding Fundamentals. Verkkodokumentti. Kuva.
http://videocodecs.blogspot.fi/2007/05/image-coding-fundamentals_08.html.
Luettu 28.11.2015.

- 38 H.264. Kuva. <http://www.corefusiontechnologies.com/h264.htm>. Luettu 23.11.2015.
- 39 A Complete Guide to the Video Codec. Kuva. Verkkodokumentti. <http://www.encoding.com/h-264-encoding/>. Luettu 25.11.2015.
- 40 H.264/MPEG-4 AVC41. Verkkodokumentti. https://en.wikipedia.org/wiki/H.264/MPEG-4_AVC41. Luettu 23.11.2015.
- 41 H.264 Profiles and Levels. Verkkodokumentti. <http://blog.mediacoderhq.com/h264-profiles-and-levels/>. Luettu 28.11.2015.
- 42 Resolution comparison. Kuva. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/3/34/YouTube-resolution-comparison.jpg>. Luettu 24.11.2015.
- 43 H.265 tuo mukanaan 7680x4320-resoluution. Verkkodokumentti. <http://muropaketti.com/h265-tuo-mukanaan-7680x4320-resoluution>. Luettu 27.11.2015.
- 44 Resolution comparison. Kuva. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/Resolution_Comparison_Chart.jpg. Luettu 24.11.2015.
- 45 Real-time Transport Protocol (RTP). Verkkodokumentti. <http://www.linux.org/threads/tcp-ip-protocol-real-time-transport-protocol-rtp.4965/>. Luettu 28.11.2015.
- 46 Real-time Transport Protocol. Verkkodokumentti. https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_Transport_Protocol. Luettu 24.11.2015.
- 47 RTP. Verkkodokumentti. <https://fi.wikipedia.org/wiki/RTP>. Luettu 24.11.2015.
- 48 Seminar Topics RTP. Verkkodokumentti. <http://www.seminartopicshq.com/real-time-transport-protocol/>. Luettu 26.11.2015.
- 49 Joukokurki opetusmateriaali "STR_23_Video_Streaming_and_IPTV" .

- 50 How Headers Encapsulate in the OSI stack. Verkkodokumentti. <http://networkstatic.net/how-headers-encapsulate-in-the-osi-stack/#!prettyPhoto>. Luettu 26.11.2015.
- 51 "Real-time Transport Protocol is not used in YouTube?" Kuva. <http://stackoverflow.com/questions/5455039/real-time-transport-protocol-is-not-used-in-youtube>. Luettu 23.11.2015.
- 52 Wowza Streaming Engine Users Guide. Verkkodokumentti. http://www.wowza.com/resources/WowzaStreamingEngine_UsersGuide.pdf. Luettu 29.11.2015.
- 53 What is Adaptive Bitrate. Verkkodokumentti. <https://www.wowza.com/glossary/adaptive-bit-rate>. Luettu 27.11.2015.
- 54 San Jose Streaming. Verkkodokumentti. <https://www.wowza.com/forums/content.php?223-How-to-set-up-live-stream-repeater-edge-for-Adobe-HTTP-Dynamic-Streaming-%28sanjosestreaming%29>. Luettu 28.11.2015.
- 55 San Jose. Kuva. http://www.wowza.com/downloads/images/qlink_sanjosestreamingpacketizer.png. Luettu 28.11.2015.
- 56 Cupertino streaming. Kuva. http://www.wowza.com/downloads/images/qlink_cupertinostreamingpacketizer.png. Luettu 28.11.2015.
- 57 Cupertino streaming. Verkkodokumentti. <https://www.wowza.com/forums/content.php?215-How-to-configure-Adobe-HDS-packetization-%28sanjosestreaming%29>. Luettu 28.11.2015.
- 58 System requirements table. Verkkodokumentti. https://www.cen-tos.org/docs/5/html/Installation_Guide-en-US/ch-ent-table.html. Luettu 1.12.2015.

Liite 1. Unix käyttöjärjestelmänä

CentOs 7.0 Järjestelmän vaatimukset

Tämä järjestelmän vaatimustaulukko auttaa pitämään kirjaa nykyisen järjestelmän tilasta ja siitä, mitä se vaatii toimiakseen suunnitellusti. Alla olevasta taulukosta voi tarkistaa, riittävätkö tietokoneen komponentit ja muu teho CentOs:n asentamiseen ja käyttöön.

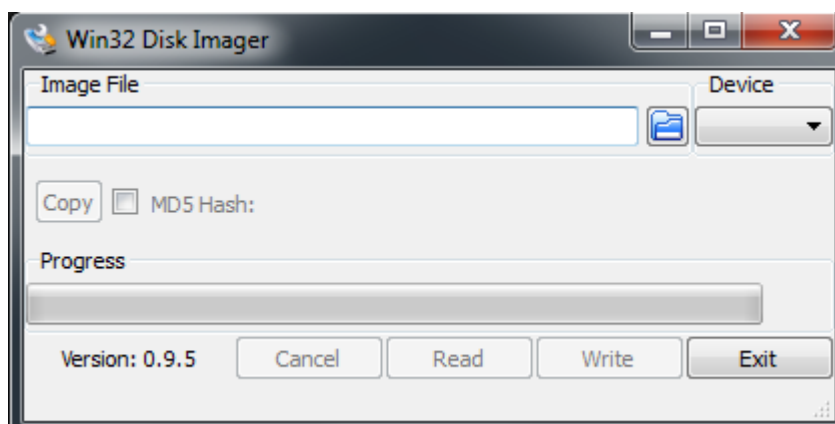
Taulukko 8. Unix-käyttöjärjestelmien vähimmäisvaatimukset tietokoneelle.

Vaadittava komponentti	Minimivaatimukset
<i>Kovalevy(t):</i> Liitäntätyyppi ja fyysinen koko	IDE hda, tai SATA liitännällä varustettu 40 GB kovalevy
Keskusmuisti: Kuinka paljon tietokoneeseen on asennettu muistia.	512 MB, 1 GB suositeltavaa
<i>CD-ROM</i> -rajapinnan ja liitännän tyyppi	SCSI, IDE (ATAPI)
<i>SCSI-adapteri</i>	Esim: BusLogic 2940UW Adapter. Nykyään tyypillisesti integroitu emolevyyn.
<i>Verkkokortti</i>	ex: Tulip, 3COM 3C590
<i>Hiiri:</i> Tyyppi, liitäntä ja näppäinten määrä	Geneerinen, 3 näppäiminen ja PS/2-, tai USB-liitäntään yhteensopiva hiiri.
<i>Monitori:</i>	VGA, DVI-D/I / HDMI
<i>Video kortti:</i>	Esim. Creative Labs Graphics Blaster 3D, tai uudempi. Vähintään 8MB VRAM muistia.
<i>Äänikortti</i>	Sound Blaster, tai parempi. 32/64bit
<i>Gateway IP-osoite</i>	Itse konfiguroitava, verkkokortin-, tai verkon-määrittämä
<i>Domainin nimi:</i> Määriteltävä ulkomaailmaan näkyvä osoite	Esim. www.metropolia.fi/jeresi
<i>hostname:</i> Itse valittava nimi, joka näkyy ulkomaailmaan verkon kautta.	esim: WowzaMediaServer, tai Wowza

Centos 7.0 -asennusmedian luominen USB-tikulle

Jotta Unix-käyttöjärjestelmä (Centos) voitaisiin asentaa, on luotava asennusmedia. Perinteisesti tämä hoituu polttamalla asennustiedosto CD- tai DVD-levylle tai siirtämällä asennustiedosto erikoisohjelmalla USB-tikulle.

Ensin valitaan käyttöjärjestelmän oikea versio ja ladataan se .img-tiedostona osoitteesta <https://www.centos.org/download/>. Tässä esimerkissä asennusmedia luotiin Windows 7 -käyttöjärjestelmässä. Hyvä ilmaisohjelma CD/DVD-asennusmedian luomiseen on esimerkiksi ImgBurn. Tässä esimerkissä asennus tehtiin USB-tikulle käyttämällä Win32DiskImager-nimistä ohjelmaa, jonka avulla .img-tiedoston siirtäminen USB-tikulle etenkin Centos-käyttöjärjestelmän asentamista varten onnistuu loistavasti. Kyseisen ohjelman voi ladata osoitteesta <http://sourceforge.net/projects/win32diskimager/>. Asennuksen jälkeen ohjelmisto käynnistetään hiiren oikeanpuoleisen painikkeen klikkauksella ja avataan ohjelma järjestelmänvalvojana.



Kuva 49. Ohjelmisto näyttää kirjoitusprosessin vaiheen käyttäjälle.

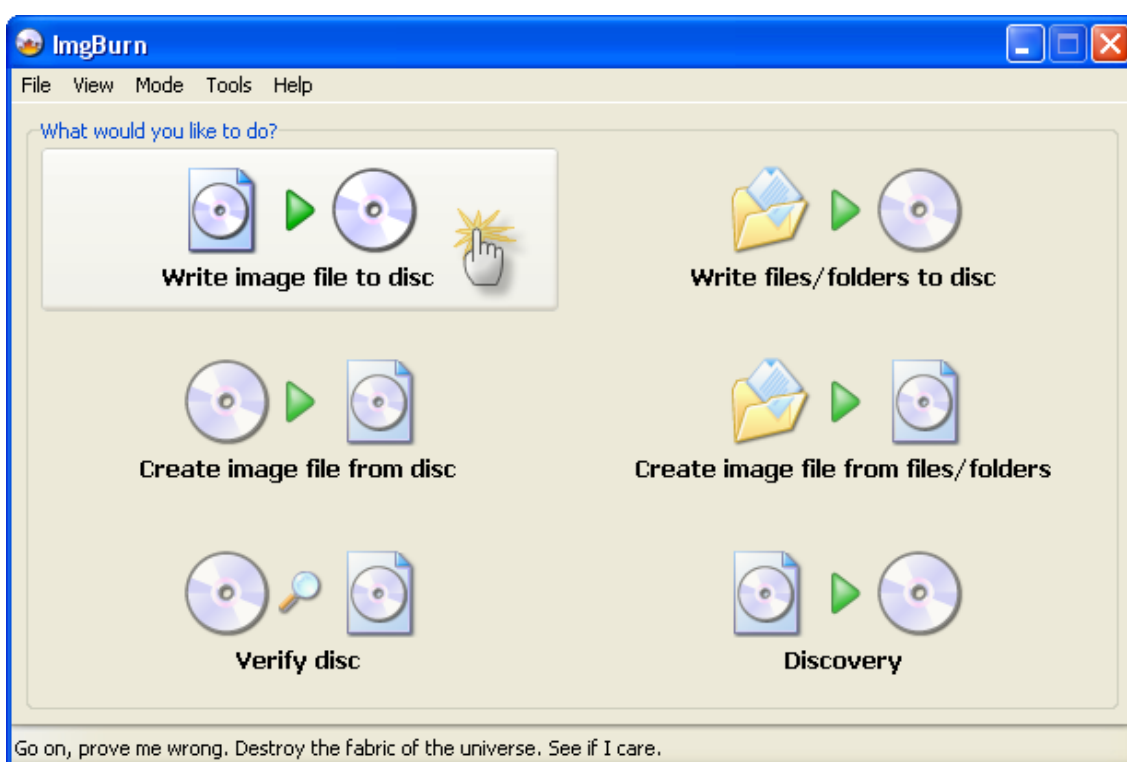
Kun ohjelma on käynnistynyt, avataan selaintoiminto pientä sinistä kansio kuvaketta painamalla ja valitaan ladattu .img-tiedosto. Tämän jälkeen USB-muisti liitetään USB-väylään ja valitaan se ohjelman "Device"-kohdan pudotusvalikosta. Kun sekä käyttöjärjestelmän .img-tiedosto että oikea USB-muisti ovat valittuina, painetaan "Write"-nappulaa. Nyt ohjelma siirtää asennustiedoston USB-muistille oikein, ja ollaan askeleen verran lähempänä itse asennusta.

CentOs 7.0 -asennusmedian luominen CD/DVD-levylle

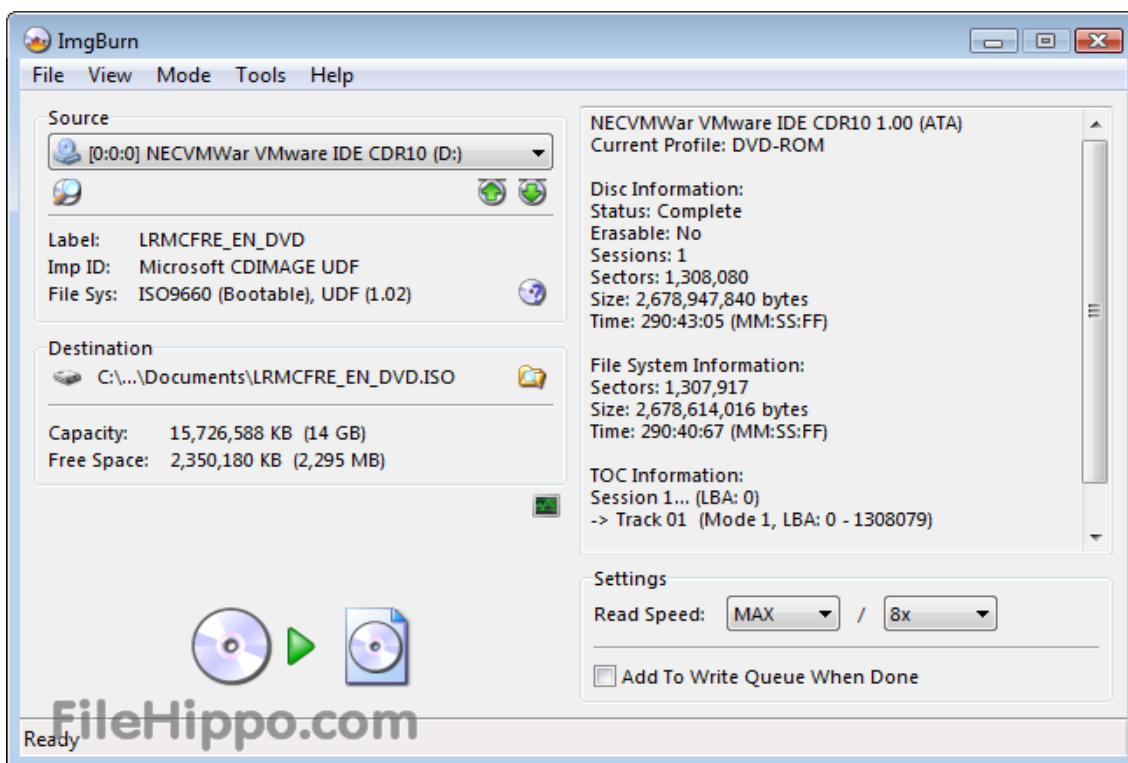
CD/DVD-asennusmedian luomiseen käytettiin tässä ImgBurn-ohjelmistoa. Sen voi ladata osoitteesta:

<http://www.imgburn.com/index.php?act=download&>

Kun ohjelma on asennettu, painetaan kohdasta "Write image file to disc". Kuva 52 havainnollistaa ImgBurn-ohjelmiston polttamisvaihtoehdot CD/DVD/BluRay -levylle



Kuva 50. Valitaan "Write image file to disc"

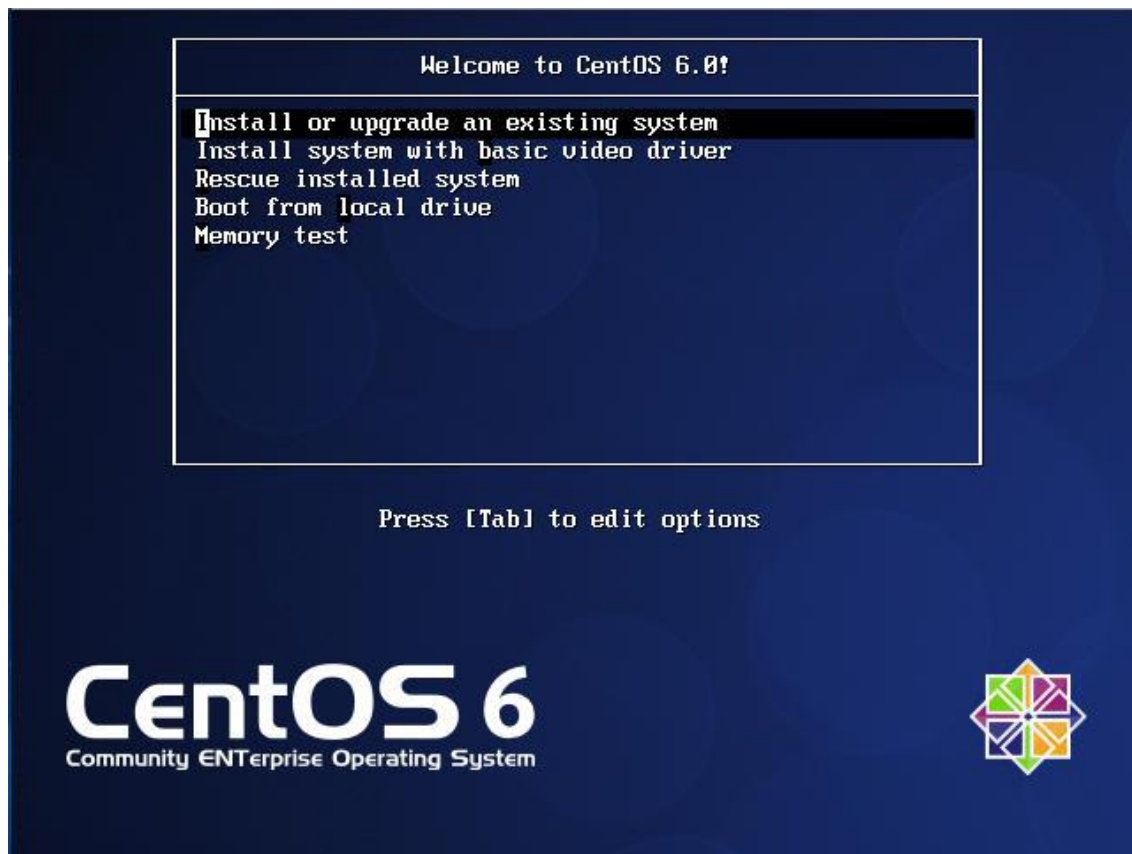


Kuva 51. Etsitään tietokoneelta tarvittava .ISO-tiedosto, valitaan kirjoittamisnopeus ja aloitetaan levylle kirjoittaminen.

Centos 7.0:n asennus

Kun asennusmedia on valmis, laitetaan CD/DVD-levy asemaan tai USB-muisti USB-väylään ja käynnistetään tietokone uudelleen. Käynnistyksen yhteydessä painetaan F8-näppäintä, jotta päästään käsiksi boot-valikkoon eli BIOSiin. Valikossa valitaan käytetty asennusmedia (CD/DVD/USB). Tämän jälkeen asennusmedia kysyy, mitä käyttäjä haluaa tehdä, ja valitaan "Centos 7.0 installation".

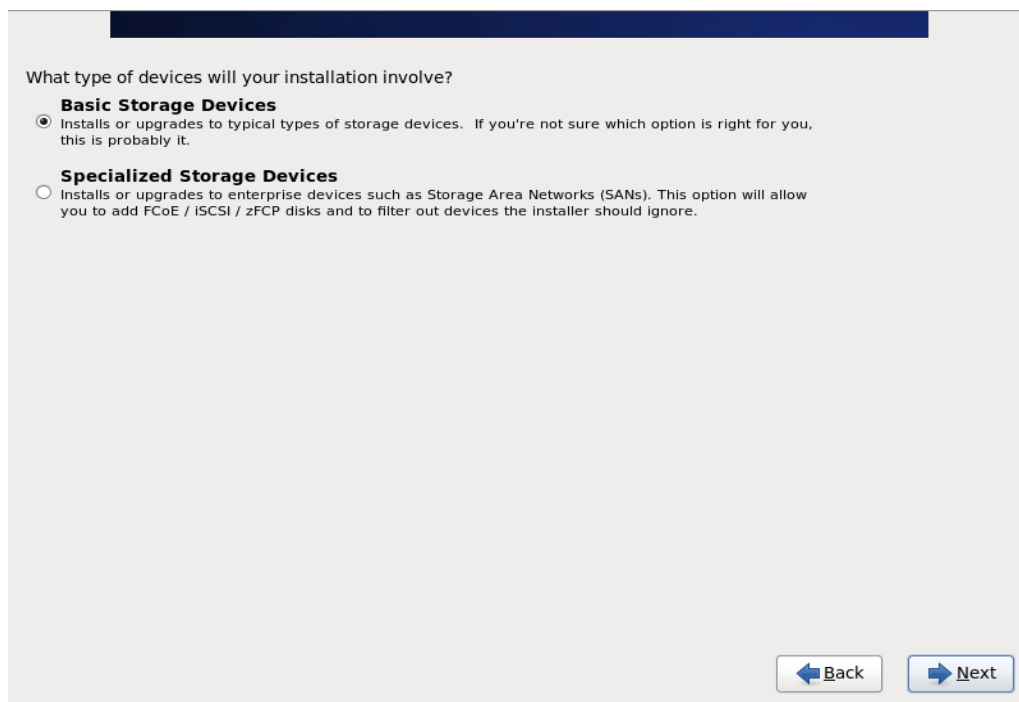
Nyt BIOSia käyttäen määrätään tietokone käynnistymään siltä CD/DVD-levyltä tai USB-muistilta, johon asennusmedia on tallennettu. Seuraavassa valikossa valitaan vaihtoehto "Install or upgrade an existing system".



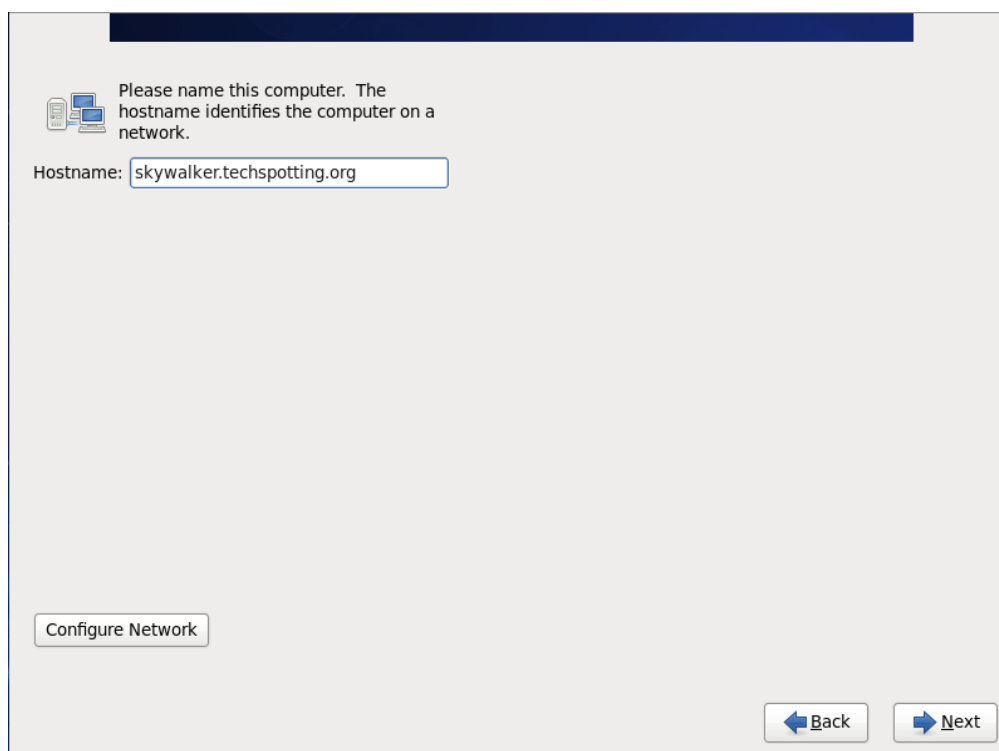
Kuva 52. Seuraavaksi kone kysyy, halutaanko levy tarkistaa. Jatketaan asennusta valitsemalla "Skip".



Kuva 53. Hetken päästä näkyviin tulee CentOS GUI Installer, valitaan "Next"-vaihtoehto. Tämän jälkeen valitaan asennuskieli, esimerkiksi englanti tai suomi. Tämän jälkeen valitaan näppäimistön kieli, tässä tapauksessa valittin suomi.



Kuva 54. Seuraavaksi on kaksi vaihtoehtoa, joista valittiin "Basic storage devices".



Kuva 55. Koneelle pyydetään antamaan hostname, tällä kertaa käytettiin nimeä "Wowza". Tämä on nyt palvelimen nimi verkossa. Tämän jälkeen kone pyytää asettamaan aikavyöhykkeen.

The root account is used for administering the system. Enter a password for the root user.

Root Password:

Confirm:

Back Next

Kuva 56. Luodaan root-käyttäjätunnus ja -salasana. Käyttäjätunnukseksi annettiin "Wowza" ja salasanaksi "kaktusviikuna".

Which type of installation would you like?

- Use All Space**
Removes all partitions on the selected device(s). This includes partitions created by other operating systems.
Tip: This option will remove data from the selected device(s). Make sure you have backups.
- Replace Existing Linux System(s)**
Removes only Linux partitions (created from a previous Linux installation). This does not remove other partitions you may have on your storage device(s) (such as VFAT or FAT32).
Tip: This option will remove data from the selected device(s). Make sure you have backups.
- Shrink Current System**
Shrinks existing partitions to create free space for the default layout.
- Use Free Space**
Retains your current data and partitions and uses only the unpartitioned space on the selected device(s), assuming you have enough free space available.
- Create Custom Layout**
Manually create your own custom layout on the selected device(s) using our partitioning tool.

Encrypt system

Review and modify partitioning layout

Back Next

Kuva 57. Seuraavaksi kone kysyy, kuinka kovalevy halutaan osittaa. Valitsemalla "Use All Space" asennus käyttää kaiken tilan valitulla kovalevyllä. Tässä kohdassa myös valitaan ruudun alaosasta vaihtoehto "Review and modify partitioning layout".

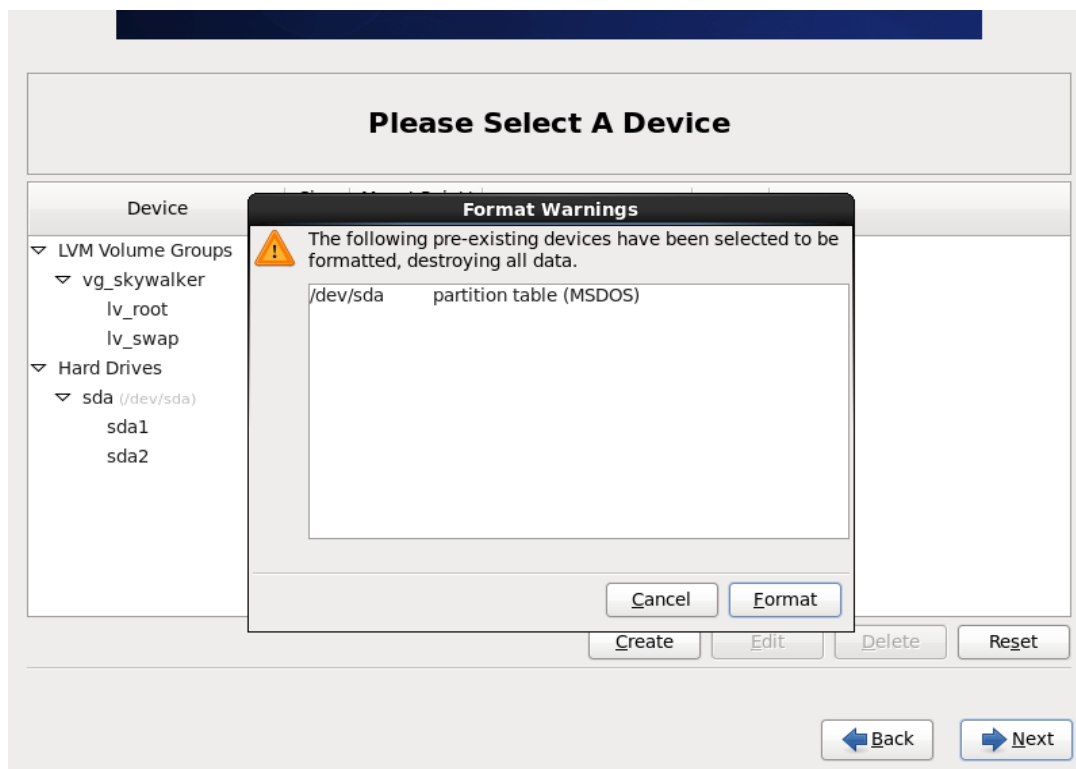
Please Select A Device

Device	Size (MB)	Mount Point/ RAID/Volume	Type	Format	
<div style="margin-left: 10px;"> ▾ LVM Volume Groups <ul style="list-style-type: none"> ▾ vg_skywalker <ul style="list-style-type: none"> lv_root 17960 / ext4 ✓ lv_swap 2016 swap ✓ ▾ Hard Drives <ul style="list-style-type: none"> ▾ sda (/dev/sda) <ul style="list-style-type: none"> sda1 500 /boot ext4 ✓ sda2 19979 vg_skywalker physical volume (LVM) ✓ </div>					

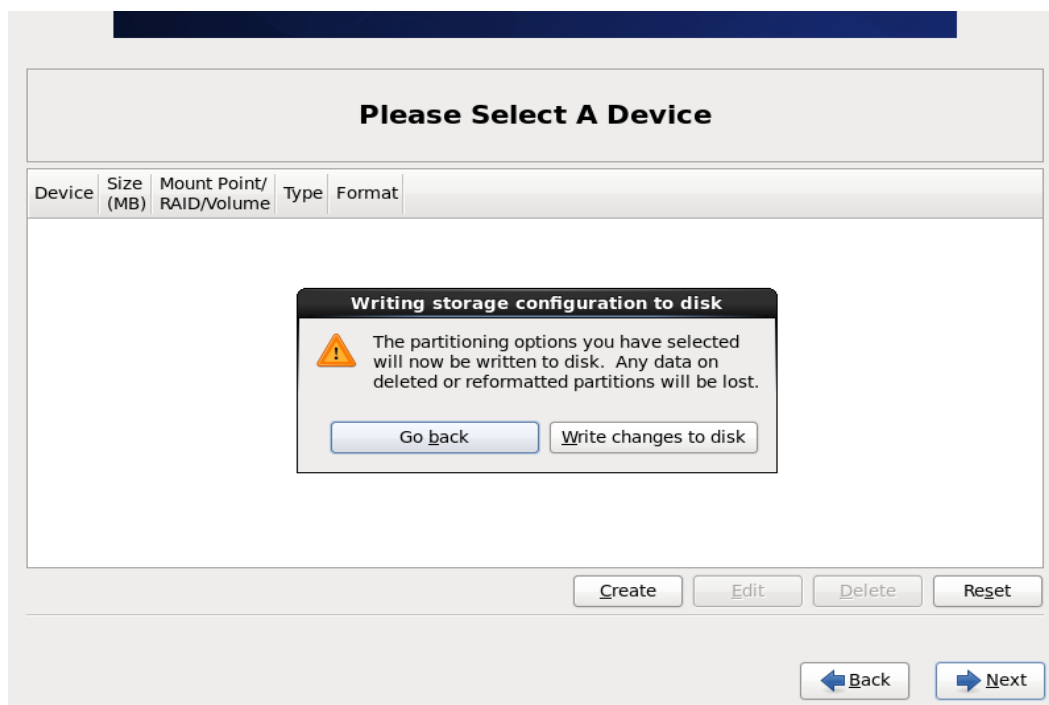
Create Edit Delete Reset

← Back Next →

Kuva 58. Seuraavaksi esiin tulee kovalevyjen tilan osituspöytä. Se jätetään koskemattomaksi, jollei haluta luoda erityistilanteiden mukaisia osioita. Asennusta jatketaan painamalla "Next".



Kuva 59. Tämän jälkeen ilmestyy formatointiviesti. “Format”-vaihtoehto tyhjentää valitun kovalevyn.



Kuva 60. Asennusohjelmisto varoittaa, että kyseiseltä levyllä ollaan poistamassa kaikki data. Valitaan vaihtoehto “Write changes to disk”.

Install boot loader on /dev/sda.

Use a boot loader password

Boot loader operating system list

Default	Label	Device
<input checked="" type="radio"/>	CentOS	/dev/mapper/vg_skywalker-lv_root

Kuva 61. Varmistetaan, että kohdassa "Install boot loader" on valittuna "/dev/sda", ja että sen alapuolella olevassa listassa on valittuna "CentOS /dev/mapper/vg_[hostname]-lv_root".

The default installation of CentOS is a minimum install. You can optionally select a different set of software now.

Desktop
 Minimal Desktop
 Minimal
 Basic Server
 Database Server
 Web Server
 Virtual Host

Please select any additional repositories that you want to use for software installation.

CentOS

You can further customize the software selection now, or after install via the software management application.

Customize later Customize now

Kuva 62. Sitten valitaan Centos-asennuspaketti. Valitaan "Centos Desktop"-versio.



Kuva 63. Tämän jälkeen CentOS asentuu tietokoneelle.

```
CentOS Linux release 6.0 (Final)
Kernel 2.6.32-71.el6.x86_64 on an x86_64

skywalker login: root
Password:
[root@skywalker ~]# _
```

Kuva 64. Kone käynnistetään uudelleen, kun ruudulle ilmestyy siihen kehoittava viesti. Sitten kirjaudutaan sisään aiemmin luoduilla root-käyttäjätunnuksilla, minkä jälkeen asennetaan päivitykset "yum groupinstall" -komennolla Terminaalissa.

Asennus on valmis.

Liite 2 Wowza Media Server 4.1.2:n asennus ja käyttöönotto

Javan versio ja asentaminen

CentOs 7.0 -Linuxissa Wowzan asennus hoidetaan pääasiallisesti terminalin kautta. Ensimmäinen vaihe asennuksessa on tarkistaa Java Runtimein versio ja asentaa Java. Tämän saa näkyville kirjoittamalla komennon:

```
# java -version
```

Jos openJDK ei ole vielä asennettuna käyttöjärjestelmässä, on seuraava askel asennuksessa etsiä oikea asennuspaketti Javalle. Asennuspaketit saadaan näkyviin syöttämällä seuraava komento:

```
# yum search java | grep 'java-'
```

Nyt terminaliin ilmestyy lista eri asennuspaketteja, joiden joukosta valitaan uusin openJDK:n versio. Tällä kertaa se on "java-1.8.0-openjdk.x86_64". Ota huomioon, että x86-64 -versio valittiin, mikä tarkoittaa, että asennuspaketti on 64-bittistä käyttöjärjestelmää varten.

Kun asennuspaketin tarkka nimi on selvitetty, se asennetaan käyttöjärjestelmään syöttämällä komento:

```
# yum install [asennuspaketin_nimi]
```

Esimerkiksi tässä tilanteessa:

```
#yum install java-1.8.0-openjdk.x86_64
```

Tämän jälkeen kirjoitetaan "yes", ja kun ohjelma kysyy, halutaanko asennusta jatkaa, painetaan enter-näppäintä.

Wowza Media Serverin asennus

Kun Unix-käyttöjärjestelmä ja Javan openJDK on asennettu, voidaan asentaa Wowza Media Server. Ensimmäiseksi määritellään sijainti, jonne Wowzan asennuspaketti ladataan. Tämä tehdään komennolla:

```
#cd /usr/src
```

Kun ylläoleva komento on annettu konsoliin, haetaan itse asennuspaketti internetistä komennolla:

```
#wget http://www.wowza.com/downloads/WowzaStreamingEngine\[versionu-  
mero\]/WowzaStreamingEngine-\[versionumero\].rpm.bin
```

Seuraavaan komentoon on sisällytetty tämän kirjoittamisen hetkellä uusimman version numero:

```
#wget http://www.wowza.com/downloads/WowzaStreamingEngine-4-1-2/Wow-  
zaStreamingEngine-4.1.2.rpm.bin
```

Sitten kyseiselle tiedostolle annetaan suoritusoikeudet:

```
#chmod + x WowzaStreamingEngine-4.1.2.rpm.bin
```

Asennus tulostaa tekstin: "Do you agree to the above licence terms? [yes or no]". Käyttöehdot hyväksytään kirjoittamalla "yes" ja painamalla sen jälkeen enteriä. Tämän jälkeen asennus pyytää luomaan käyttäjätunnukset Wowza Media Server -ohjelmistolle. Annoin administrator-käyttäjätunnuksiksi wowza ja salasanaksi kaktusviikuna.

Sitten ohjelmisto kysyy lisenssinumeroa, joka syötetään tässä muodossa:

```
#xxxxx-xxxxx-xxxxx-xxxxx-xxxxx[-xxxxxxxxxxxxx]
```

Wowzan lisenssin voi tarvittaessa ostaa osoitteesta: <http://www.wowza.com/media-server/developers/license>. Lisenssi lähetetään tilaajan ilmoittamaan

sähköpostiosoitteeseen. Ohjelmistosta on olemassa myös ilmainen kokeiluversio, johon ei ole sisällytetty kaikki ominaisuuksia. Sen voi hankkia täyttämällä lomakkeen osoitteessa:

http://www.wowza.com/pricing/trial?utm_campaign=3Q - Alpha Brand - Europe&utm_medium=ppc&utm_source=ppc&gclid=CLzbtP7ip8UCFeEAcwodwl4Apg

Kun lisenssinumero on kirjoitettu hyväksytysti, ohjelmisto asentuu loppuun. Sen jälkeen valitaan, halutaanko Wowza Media Server käynnistää järjestelmän käynnistyksen yhteydessä. On suositeltavaa valita kyllä.

Kun Wowza on käynnistynyt, sen toimivuutta voidaan kokeilla menemällä selaimella osoitteeseen: <http://localhost:8088/enginemanager>.

Wowzan peruskonfigurointi ja example-tiedostojen asennus

Kun Wowza Media Server on asennettu onnistuneesti, on tehtävä muutama määritelmä, jotta ohjelmisto toimisi oikein. Wowza Streaming Enginen ja Streaming Engine Managerin tarvitsemat palvelut käynnistetään `chkconfig`-komennolla:

```
#chkconfig —level 345 WowzaStreamingEngine on
```

```
#chkconfig —level 345 WowzaStreamingEngineManager on
```

Tämän jälkeen on avattava portti 1935 hyväksymään saapuvat yhteydet. Se tehdään komennolla:

```
#iptables -I INPUT -p tcp —dport 1935 -j ACCEPT
```

Seuraavalla komennolla testataan, toimiiko Wowza:

```
#netstat -plan | grep :1935
```

Sain vastaukseksi ”tcp 0 0 :::1935 :::* LISTEN 29376/java” joka ilmaisee, että portti 1935 on auki Wowzan ohjelmistolle.

Tämän jälkeen asensin Wowzaan example-tiedostot (LiveDVRStreaming, LiveVideoStreaming, ServerSideModules, SHOUTcast, VideoChat, VideoOnDemand-Streaming, WebcamRecording). Ensin määritellään asennuskansio kirjoittamalla komento:

```
#cd /usr/local/WowzaStreamingEngine/examples
```

Tämän asennus tehdään komennolla:

```
#!/installall.sh
```

Terminaliin tulostuu teksti: "If Wowza Streaming Engine is running, you must restart it to see the installed examples". Example-tiedostot tulevat näkyviin uudelleenkäynnistämällä kone tai pelkästään Wowza Streaming Engine. Voit katsella ja kokeilla niitä osoitteessa: **http://[wowzaserverip]:8088/enginemanager** tai osoitteessa **http://localhost:8088/enginemanager**

Wowzan hallintapaneeli ja suoratoisto VLC-Playerilla.

Kuvissa 65 ja 66 on kirjaututtu osoitteeseen [http://\[10.95.131.5\]:8088/enginemanager](http://[10.95.131.5]:8088/enginemanager). Kuvissa näkyy Wowzan hallintapaneeli. Tämän hallintapaneelin kautta on mahdollista hallita kaikkea videon suoratoistoon liittyvää kuten protokollien valintaa, salausvaihtoehtoja ja kaikkia muita tärkeitä asetuksia, jotka liittyvät ohjelmiston toimintaan. Kuvassa 67 on testattu Adobe HDS-protokollan toimintaa Wowzaan kuuluvalla test player:lla. Kuvassa 68 ja 69 näytetään kuinka suoratoisto voidaan aloittaa verkosta. Tässä esimerkissä käytettiin VLC (VideoLAN-Player) -mediatoistinta.

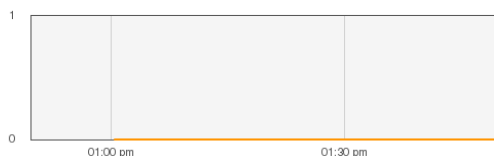
⚠ License Expired. Your Trial license has expired. Click [Buy Now](#) to purchase a license key for Wowza Streaming Engine.

Welcome to Wowza Streaming Engine!

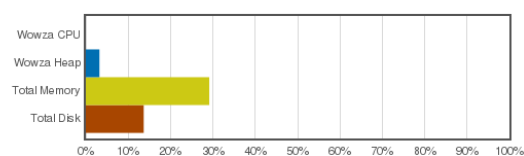
Trial License - Expired on Sep 25, 2015

Status

Connections Incoming and outgoing



Usage CPU, Memory, Heap and Disk



Server Uptime

Since 16 Oct 2015 01:00:17 PM

Features

Transcoder: **Licensed**
 DRM: **Licensed**
 nDVR: **Enabled** [see applications](#)

Test Video

To play a video on demand test video, click **Test Players**.

[▶ Test Players...](#)

Kuva 65. Kuva Wowza Streaming Enginen käyttöliittymästä osoitteessa [http://\[palvelimen IP osoite\]:8088/enginemanager](http://[palvelimen IP osoite]:8088/enginemanager)

Performance Warning! You are currently using *Developer* performance settings. If this server is running in a production environment, switch to *Production* performance settings on the [Java Settings](#) page.

4.3.0 Update Available

You are using **version 4.1.2**. A new update for Wowza Streaming Engine is available.

[More Info and Download](#)

Ready to Purchase?

[Buy Now](#)

Connection Settings

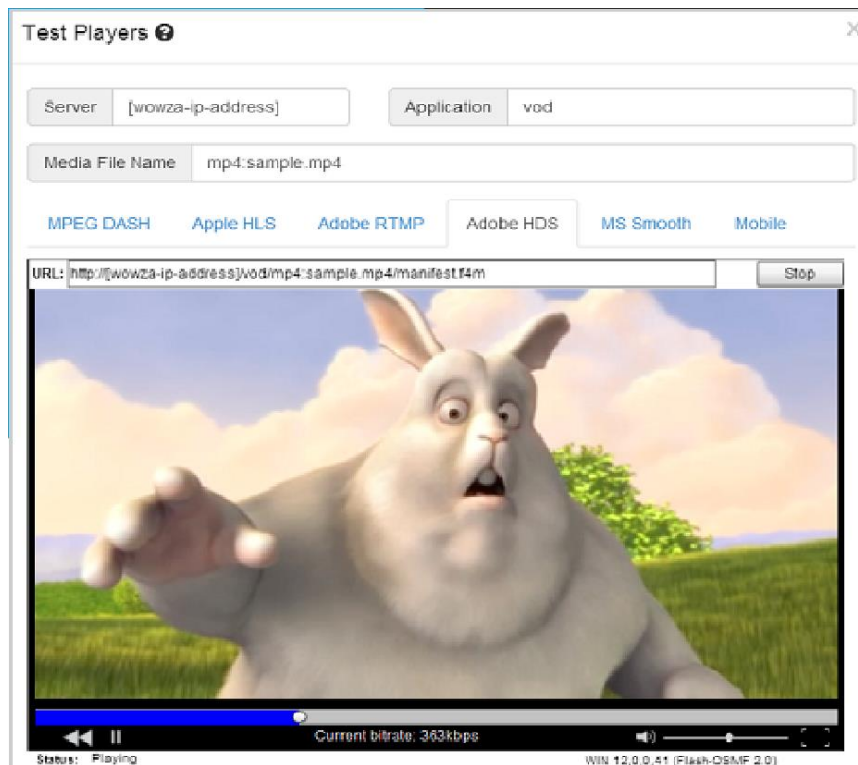
Use the following settings to publish a stream to Wowza Streaming Engine:

Server IP	10.95.131.5
Port	1935
Application	<i>A live application name on this server</i>
Stream Name	<i>The stream name you want to use</i>
Login	<i>A valid Publisher user name and password</i>

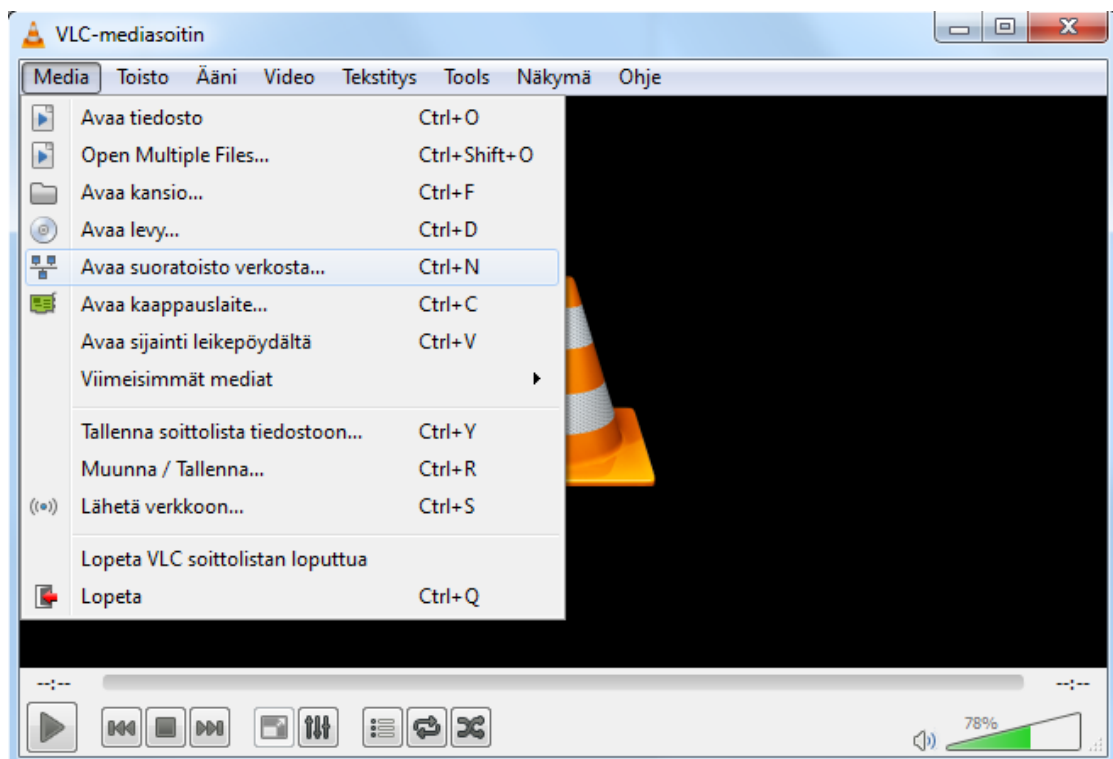
Getting Started With Applications

Wowza Streaming Engine uses **applications** to deliver streaming content. An application is a set of settings for live or video on demand (VOD) streaming. Either use the preinstalled default applications or go to the [Add Application](#) page to easily create and configure new applications.

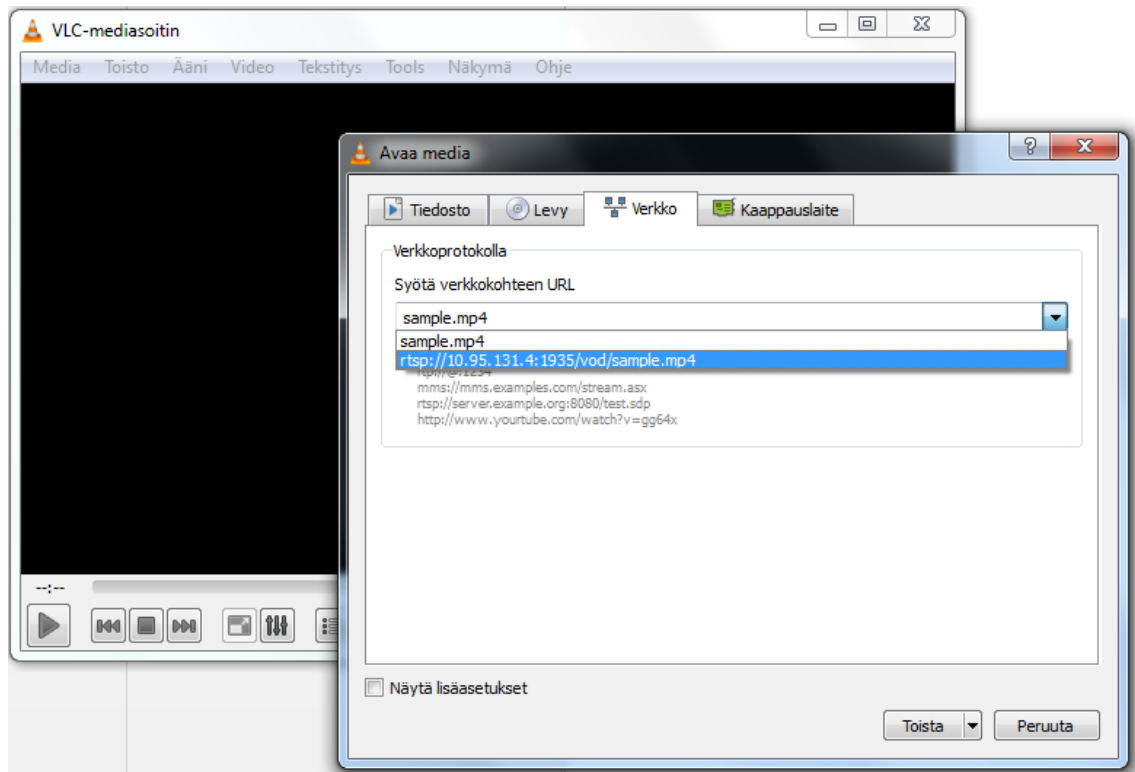
Kuva 66. Wowzan Streaming Enginen käyttöliittymän etusivulla on informaatiota sen toiminnoista.



Kuva 67. Wowza Streaming Enginen test player ilmaisee toimiiko suoratoisto.



Kuva 68. Avataksesti suoratoiston verkosta avaa pudotusvalikko Media ja Avaa suoratoisto verkosta.



Kuva 69. Tämän jälkeen kirjoita Wowza palvelimesi IP-osoite kenttään ja katselu voi alkaa.