

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Media-alan koulutus

Vesa Kärkkäinen

AMMATTITASOISTEN VIDEON ENKODAUSFORMAATTIEN
VERTAILU

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2015
Media-alan koulutus

Länsikatu 15
80110 JOENSUU
013 260 600

Tekijä
Vesa Kärkkäinen

Nimeke
Ammattitasaisten videon enkoodausformaattien vertailu

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä selvitys videon enkoodaamisesta ja siihen liittyvistä käsitteistä. Työssä käsiteltiin enkoodamiseen liittyviä ongelmia ja mahdollisuuksia media-tuotannon näkökulmasta.

Työssä tutustuttiin tyypillisiin videon enkoodausformaatteihin, sekä formaattien välisiin eroihin ja ominaisuuksiin. Formaattien tarkastelu jaettiin tuotannon eri vaiheiden mukaan hankintaformaatteihin, editointiformaatteihin ja ulostuloformaatteihin.

Tutkimukseen valittiin formaattien välisistä eroista sellaisia mitattavissa olevia ominaisuuksia, joiden vertailu hyödyttäisi media-alalla työskentelevää. Näitä ominaisuuksia olivat muun muassa väriavaruuden bittisyvyys, värien alinäytteistäminen ja formaatin aiheuttama prosessorin kulutus videota käsitellessä. Tutkimuksen tulokset ovat suuntaa antavia ohjeita, joiden pohjalta mediatuotantoon osataan valita tuotantoa parhaiten palvelevat formaatit.

Kieli
suomi

Sivuja 50
Liitteet 2
Liitesivumäärä 5

Asiasanat
video, kompressio, koodekki, kuvanlaatu



THESIS
June 2015
Degree Programme in Communication
Länsikatu 15
FI 80110 JOENSUU
FINLAND
013 260 600

Author
Vesa Kärkkäinen

Title
Comparison of Professional Video Encoding Formats

Abstract

The aim of the thesis was to figure out video encoding and concepts related to it. The thesis dealt with problems and opportunities of video encoding from the perspective of media production.

The study explored common video encoding formats, their differences and properties. The examination of the formats were categorized according to their use in media productions into acquisition formats, editing formats and output formats.

Format properties chosen for measurement and comparison were those that would most benefit people working in the media field. These properties included, but were not limited to, bit depth of the video color space, chroma subsampling and processor load caused by the video format. The results of the study serve as guidelines through which the media production can choose formats that best serve the production.

Language
Finnish

Pages 50
Appendices 2
Pages of Appendices 5

Keywords
video, compression, codec, picture quality

Sisältö

Sanasto ja lyhenteet	5
1 Johdanto	7
2 Opinnäytetyön tietoperusta	8
2.1 Esittely	8
2.2 Digitaalisen videon ominaisuudet	10
2.3 Digitaalinen videotuotanto	13
2.4 Ohjelmistot ja enkoodaus.....	13
2.4.1 Ohjelmistot	13
2.4.2 Enkoodaus	14
2.5 Formaattit.....	16
2.5.1 Sanan määrittely	16
2.5.2 Hankintaformaatti	16
2.5.3 Editointiformaatti.....	19
2.5.4 Ulostulosformaatti.....	20
3 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimusongelma	21
3.1 Opinnäytetyön tausta.....	21
3.2 Toteutus.....	22
4 Tulokset	23
4.1 Hankintaformaattit vastakkain.....	23
4.1.1 Formaattien kuvan vertailu	23
4.1.2 Väriavaruuden bittisyvyys.....	24
4.1.3 Alinäytteistäminen	26
4.2 Editointiformaattien hyvät, pahat ja rumat.....	29
4.2.1 Suorituskykyvertailu	29
4.2.2 AVC-Intra 100.....	31
4.2.3 DVCPRO HD.....	32
4.2.4 H.264.....	34
4.2.5 REDCODE	35
4.2.6 XDCAM EX.....	36
4.2.7 XDCAM HD422	36
4.2.8 Editointiformaattiin transkoodaus	37
4.2.9 CineForm.....	40
4.2.10 DNxHD	41
4.2.11 Yhteenveto	41
4.2.12 Laitteiston kiihdytys	42
5 Pohdinta.....	44
Lähteet.....	48

Liitteet

Liite 1	MediaInfo-sovelluksen antamat metatiedot formaateittain
Liite 2	Testikoneen ominaisuudet

Sanasto ja lyhenteet

AVC	Advanced Video Coding. Vuonna 2003 julkaistu häviöllinen videon enkoodausstandardi, joka on nykyisin käytössä muun muassa digitelevisiossa, BluRay -levyissä ja melkein kaikissa kuluttajatason videokameroissa. Tunnetaan myös nimillä MPEG-4 Part 10 ja H.264. (AfterDawn 2015a.)
CBR	CBR on lyhenne sanoista Constant Bitrate. Se on siis tapa, jossa tietyssä aikayksikössä käytetään aina saman verran tilaa tiedon tallennukseen tai siirtämiseen. (AfterDawn 2015a.)
Codec	Sanamuunnos sanoista Coder ja Decoder. Tarkoittaa ohjelmaa tai algoritmia, joka pakkaa, muuntaa ja purkaa dataa. Suomeksi koodekki. (AfterDawn 2015a.)
FPS	Frames Per Second, eli kuvia per sekunti on kuvataajuuden yksikkö ja ilmaisee kuinka monesta kuvasta sekunnissa videon liike koostuu (AfterDawn 2015a.)
GOP	Group of Pictures viittaa sellaiseen häviölliseen pakkausmenetelmään, joka laskee videokuvan liikettä vain tiettyjen niin sanottujen I-framejen pohjalta. Käytössä muun muassa MPEG-2 ja MPEG-4 videostandardeissa. (Apple 2015b.)
Interlacing	Eli lomitus on videokuvan esitystapa, jolla videon näennäinen kuvataajuus saadaan kaksinkertaistettua ilman, että videolähetyksen vaatimaa kaistaa tarvitsee lisätä. Televisiot käyttävät interlacing-esitystapaa, mutta tietokoneen näytöt käyttävät niin sanottua progressiivista esitystapaa. (AfterDawn 2015a.)
MPEG	MPEG, eli Moving Pictures Expert Group on työryhmä, joka on kehittänyt muun muassa MPEG-1-, MPEG-2- ja MPEG-4-standardit (MPEG 2015).
NTSC	National Television System Committee. 1950-luvun Yhdysvalloissa kehitetty väritelevisiostandardi. Eroaa Eurooppalaisesta PAL-standardista kuvan resoluution ja kuvataajuuden osalta. (AfterDawn 2015a.)
PAL	PAL on lyhenne sanoista Phase Alternating Line. Se on vuonna 1967 kehitetty väritelevisio-standardi. Sitä käytetään pääasiassa Euroopassa (poislukien Ranska), Afrikassa, Aasiassa ja Australiassa. (AfterDawn 2015a.)

RGB	RGB, eli Red, Green, Blue on värien esitystapa, jossa väri luodaan yhdistämällä punaista, vihreää ja sinistä väriä. Valkoinen väri saadaan yhdistämällä kaikki värit ja musta väri saadaan, kun ei käytetä mitään väriä. RGB on käytössä lähes kaikissa monitoreissa ja televisioissa. (AfterDawn 2015a.)
VBR	VBR on lyhenne sanoista Variable Bitrate. Se tarkoittaa videon pakkaustapaa, jossa videon sisältö sanelee bittinopeuden tarpeen (AfterDawn 2015a).

1 Johdanto

Nykyään lähes kaikki suomalainen sähköinen viestintä puhelinliikenteestä televisiolähetystyksiin muunnetaan jossain signaalin elinkaaren vaiheessa digitaalisiksi. Tallinnan yliopiston (2014) mukaan Suomen puhelinverkko digitalisoitiin 1990-luvun alussa ja analogiset televisiolähetykset lopetettiin syksyllä 2007 (Nikulainen 2007).

Digitaalisella signaalilla on lukuisia ominaisuuksia, jotka tekevät koko digitalisointi analogista vaihtoehtoa kannattavamman. Digitaaliseen signaaliin ei esimerkiksi tule pitkistä lähetysmatkoista johtuvia virheitä, kuten analogiseen signaaliin. Digitaalista signaalia voidaan tallentaa, lähettää, vastaanottaa, prosessoida ja manipuloida käytännössä ilman minkäänlaisia virheitä. (Haskell, Puri & Netravali 1996, 1.)

Kaikista digitaalisen videon hyödyistä huolimatta digitaalisen videon kehitystä on aina, jos ei rajoittanut, niin määrittänyt yksi ominaisuus: tilan käyttö. Kuvasignaalin digitointi sellaisenaan tuotti jo alkukantaisimmilla digitaalisilla videokameroilla niin suuren bittivirran, että se oli epäkäytännöllinen melkein mihin tahansa käytännön sovellukseen, jopa tv-lähetystyksiin. Tätä digitaalisen videosignaalin ongelmallista ominaisuutta korjaamaan on kehitetty ja kehitetään yhä erilaisia kompressointi- eli pakkausmenetelmiä. (Haskell ym. 1996, 3.)

Digitaalinen video on nykyään yleisin tapa katsoa liikkuvaa kuvaa. Digitaalisella videolla on monta sellaista ominaisuutta, jotka tekevät siitä käytännöllisemmän, kuin analogisen vastineensa. Yleistymisensä kannalta merkittävistä näistä ominaisuuksista on digitaalisen videon kompressoitavuus (Filmmaker IQ 2013). Kaikki alkaa videon enkoodaamisesta.

Videon enkoodaaminen tarkoittaa videodatan kirjoittamista johonkin standardin mukaiseen muotoon. Tämä kattaa niin analogisen videon muuntamisen digitaali-

seen formaattiin, kuin valmiiksi digitaalisen videon muuntamisen toiseen formaattiin. (Heywatch 2015.) Enkoodaaminen on videotuotannoissa jatkuvasti vastaan tuleva, mutta itselleni ja monelle opiskelijatoverilleni vieras aihe.

Opinnäytetyöni tarkoitus on selittää videon enkoodaaminen media-alan työntekijän termein. Opinnäytetyöni luettuaan media-alan opiskelija tai työntekijä ymmärtää enkoodaamiseen liittyvää keskeistä teoriaa ja osaa soveltaa sitä omaan työskentelynsä. Hän ymmärtää formaattien eroja ja sisäisiä rajoitteita ja osaa tämän tiedon pohjalta valita itselleen sopivan työskentelytavan.

Tutkimukseni tarkastelu rajoittuu Adobe Premiere -ohjelmiston kanssa työskentelyyn, mutta tutkimustuloksista tehdyissä pohdinnoissa on pyritty miettimään tuloksia myös muiden editointiohjelmistojen kannalta.

2 Opinnäytetyön tietoperusta

2.1 Esittely

Videon enkoodaaminen on enimmäkseen hyvin tekninen aihe ja sellaisena siitä käytävä keskustelu sisältää monesti hyvin monimutkaista käsitteistöä ja matemaatiikkaa. Tätä keskustelua käydään englannin kielellä hyvinkin kirjavasti. Aiheesta löytyy niin insinöörien kirjoittamia vaikeaselkoisia tutkimuksia kuin harrastelijoiden blogeja, jotka suhtautuvat koko aiheeseen lähes pelokkaan taikauskaisesti. Suomeksi painettua kirjallisuutta aiheesta ei valitettavasti löydy paljoa. Enkoodaamista saatetaan sivuta joissakin editointiohjelmistoihin perehtyvissä opetuskirjoissa, mutta mitään kattavaa ei suomeksi tunnu löytyvän.

Opinnäytetyöni lähtökohtana käytän Mike Butlerin (2010) soundonsound.com -sivustolla julkaistua artikkelia *Video Compression: Why It Matters & How to Make The Most of It*. Se sisältää hyvän johdatuksen aiheeseen jälkitöitä tekevän am-

mattilaisen näkökulmasta. Artikkelissaan Butler pohtii eri kameroiden ja editointiohjelmien käyttämien videoformaattien eroja ja vertailee vuonna 2010 markkinoilla olleiden kameroiden teknisiä ominaisuuksia. Artikkelin ei kuitenkaan ole ongelmaton. Artikkelin sisältää jonkin verran sellaisia väitteitä, jotka olivat ristiriidassa muun tutkimani aineiston kanssa. Alle olen korjannut pari tällaisista väitteistä:

- XDCAM EX perustuu MPEG-2-formaattiin eikä Butlerin väittämään MPEG-4 -formaattiin (Sony 2015).
- REDCODE-formaatti ei todellisuudessa käytä alinäytteistämistä lainkaan. REDCODE-data esitetään raakana RGB-datana kun se tuodaan tietokoneelle. (Peters 2012.)

Jotkin kompressointiin liittyvät käsitteet, kuten MPEG-4-pohjaisen formaatin sopimattomuus editointiin, vaikuttivat olevan esitetty turhan pelkistettyinä. Mielestäni ne kaipaisivat tukevampia perusteluita. Motivaatio opinnäytetyölleni syntyi osaksi tämän artikkelin herättämien kysymysten pohjalta. Pyrin tutkimuksessani vastaamaan näihin kysymyksiin.

Laite- ja ohjelmistovalmistajien sivuilta löytyvien aloittelijaystävällisten aiheeseen liittyvien sanastojen ja blogien avulla pääsin tutkimuksessani hyvin alkuun. Muun muassa RED-kameravalmistajan blogiartikkelit auttoivat minua ymmärtämään sekä RED-kameroiden käyttämää teknologiaa että monia formaattien ominaisuuksia yleisestikin. Samalla tavalla esimerkiksi Applen ohjelmistojen ohjekirjoihin saattoi turvautua, kun aineiston tutkimuksessa tuli seinä vastaan.

Aiheesta kiinnostuneita harrastajia löytyy Suomestakin. Esimerkiksi AfterDawn- ja DigiVideo -internetyhteisöissä käydään aktiivisesti keskustelua aiheesta. AfterDawn -sivustolta löytyy myös kattava yhteisön voimin kirjoitettu ja suomennettu sanasto enkoodaamisesta ja monesta muusta videon jälkituotantoon liittyvästä aiheesta (AfterDawn 2015a).

Enkoodaamisesta puhuttaessa käytetään kuitenkin paljon sanastoa, jolle ei ainakaan vielä tunnu löytyvän suomenkielistä vastinetta, joten tulen opinnäytetyössäni käyttämään monia lainasanoja. Opinnäytetyön alusta löytyvästä sanastosta löytyvät lyhyet selitykset näille lainasanoille ja lyhenteille.

2.2 Digitaalisen videon ominaisuudet

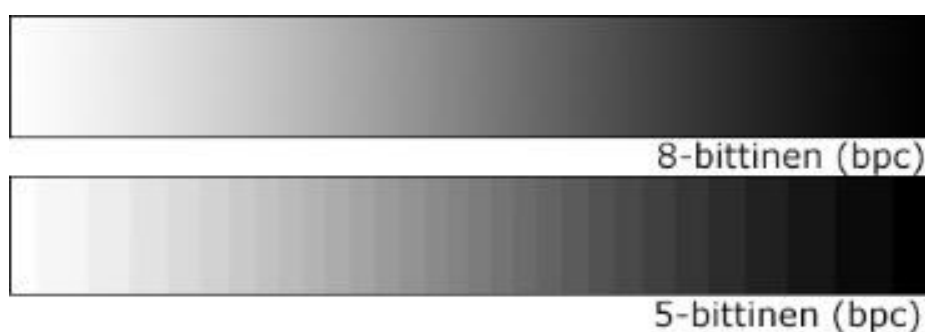
Digitaalisella videolla on monia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat videon laatuun ja käyttötarkoitukseen sekä erottavat eri formaatteja toisistaan. Tässä luvussa käyn läpi nämä ominaisuudet pääpiirteittäin, jotta opinnäytetyön lukijalla on riittävä ymmärrys työssä käytetyistä käsitteistä.

Kuvataajuus (*engl.* frame rate) on liikkuvan kuvan ominaisuus, joka ilmaisee, kuinka monesta kuvasta video muodostuu jossain aikayksikössä. Liikkeen vaikutelma syntyy jo muutaman kuvan sekuntinopeudella, mutta elokuville tyypillinen 24 kuvaa sekunnissa, joka vakiintui vuonna 1927, mielletään riittävän nopeaksi, että se näyttää luonnolliselta ihmissilmälle. Saksassa kehitetty PAL televisiostandardi käyttää 25 kuvan tai 50:n niin sanotun puolikuvan (interlacing) kuvataajuutta. Amerikkalainen NTSC-standardi käyttää 30 kokonaisen kuvan tai 60 puolikuvan kuvataajuutta. (Adobe 2011.)

Kuvan resoluutiolla tarkoitetaan videon kuvakehyksen fyysisiä mittoja, tavallisesti pikseleissä mitattuna. Mitä suurempi resoluutio on, sitä tarkempi kuva on. Kuvan resoluutio merkitään muotoon $X * Y$ pikseliä. (Adobe 2011.) Kuvan resoluution kohdalla on puhuttava myös videon kuvasuhteesta. Kuvasuhde ilmaisee pysty- ja sivusuuntaisten pikselien määrän suhteen. Esimerkiksi tv-lähetyksissä näissä suhteissa esiintyy hyvin vähän poikkeavuuksia: tyypillisessä teräväpiirtolähetyksessä on 16 horisontaalista pikseliä jokaista 9 vertikaalista pikseliä kohden. Muita yleisiä kuvasuhteita ovat 4:3 (1,33:1), jota käytetään ei-teräväpiirtotelevisiolähetyksissä, ja niin sanottu Cinemascope (2,35:1), joka on yleinen elokuvien kuvasuhde. (AfterDawn 2015b.)

Väriavaruuden bittisyvyyttä ilmaistaan merkinnöillä 8-bittinen, 12-bittinen tai jopa 36-bittinen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, kuinka paljon video sisältää väriinformaatiota. Esimerkiksi 8-bittinen (2^8) videodata sisältää 256 väriä per näyte, kun taas 12-bittinen (2^{12}) sisältää 4 096 väriä per näyte. Digitaalisista stillikuvista ja tietokoneiden näytöistä puhuttaessa näytteellä tarkoitetaan yleensä yhden RGB-pikselin väriavaruutta. Tämä merkitään bpp, eli bits per pixel. Videon kohdalla näytteellä puolestaan tarkoitetaan yhden värikanavan väriavaruutta.

Tämä merkitään bpc, eli bits per channel. Toisin sanoen 8-bittisellä videolla tarkoitetaan kuvamateriaalia, jossa on 256 eri sävyä niin punaista, vihreätä kuin sinistäkin väriä, eli yhteensä 16 777 216 väriä (256^3). Tätä 16 miljoonaa väriä kutsutaan nimellä "true color", koska se on suurin piirtein ihmissilmän erottelukyvyn raja. Kun tietokonenäytöistä käytetään ilmaisua 24-bittinen, sillä tarkoitetaan samaa 16 miljoonan värin väriavaruutta. 8 bpc on siis sama asia kuin 24 bpp. (Adcock 2014.) Opinnäytetyöni käsitellessä nimenomaan videota, käytän bittinopeudesta puhuessani bpc-käsitettä.



Kuva 1. Bittisyvyys

Yllä oleva kuva havainnollistaa miten bittisyvyyden laskeminen vaikuttaa kuvan laatuun (kuva 1). Kuvan ylempi palkki on tallennettu 8-bittisenä, eli 256:lla harmaan sävyllä. Alempi kuva on puolestaan tallennettu 5-bittisenä, eli 32:lla harmaan sävyllä. Tällaisia värivirheitä voi ilmestyä kuvaan esimerkiksi, jos kuvattu materiaali transkoodataan formaattiin joka ei tue yhtä korkeaa bittisyvyyttä (Patterson 2015). Digitaalinen valokuva tai video voi formaatista riippuen sisältää myös läpinäkyvyyttä. Tämä yleensä edellyttää, että bittisyvyydestä on omistettu erillinen osa läpinäkyvyys- eli alfakanavalle (Monahan 2014).

Bittinopeus, jota ei tule sekoittaa bittisyvyyteen, tarkoittaa kuinka paljon tallennustilaa tai tiedonsiirtokapasiteettia informaatio vie jossain aikayksikössä. Tyypillinen ilmaisutapa videon bittinopeudelle on bittejä sekunnissa (bits/sec, bps) ja tavuja sekunnissa (bytes/sec, Bps). Mitä suuremmaksi bitrate asetetaan, sitä parempi kuvanlaatu on, mutta sitä suurempi on myös tiedoston koko (kuva 2). Kuvanlaatu ei kuitenkaan ole aivan niin yksioikoinen asia. Eri enkoodausformaattien, kuten MPEG-2 ja MPEG-4 AVC, välillä on suuria laatu-/pakkaussuhde eroja

(Wilkinson 2014). Myös pakkaukseen käytetyllä enkoodaimella on vaikutusta kuvanlaatuun (Graphics & Media Lab Video Group 2012, 74–78). Bittinopeus voidaan määrittää tasaiseksi (CBR, Constant Bit Rate) tai vaihtelevaksi (VBR, Variable Bit Rate). Vaihteleva bittinopeus on sellainen, jossa tilankäyttö valikoituu tilannekohtaisen tarpeen mukaan. VBR tarjoaa siis parhaan laadun käytössä olevaan tilaan nähden. VBR tosin soveltuu huonosti suoratoistoon, koska vapaata kaistaa jää joko yli tai sitä tarvitaan hetkittäin enemmän kuin mitä on saatavilla, mikä aiheuttaa katkoksia lähetyksessä. (AfterDawn 2015a.)



Kuva 2. Alhaisesta bittinopeudesta aiheutuvia pakkausartefakteja (kuva: Karelia ammattikorkeakoulu).

Kaikki digitaalinen video on enkoodattu johonkin formaattiin. Enkoodausformaatti vaikuttaa kaikkiin yllä mainittuihin digitaalisen videon ominaisuuksiin. Digitaalisen videon melko lyhyen historian aikana erilaisia enkoodausformaatteja on tullut ja mennyt lukemattomia. Formaattilla voi olla teknisiä rajoitteita, jotka pakottavat kyseisen formaatin väistymään uusien tieltä. Se mikä tekee formaatista onnistuneen, on videon pakkauksen ja kuvanlaadun välinen suhde. Ammattitasoisella videokameralla ei ole varaa tinkiä kuvanlaadusta, mutta samaan aikaan sillä halutaan pystyä kuvaamaan mahdollisimman pitkään ilman, että joudutaan jatkuvasti vaihtamaan muistikorttia tai kovalevyä.

2.3 Digitaalinen videotuotanto

Mediatuotannot joutuvat tekemään valintoja, niin edellä mainittujen videoformaattien ominaisuuksien, kuin vaikkapa erilaisten kameroiden väliltä sen mukaan, miten nämä palvelevat tuotantoa parhaiten. Hyvin kalliilla elokuvakameralla saa upeaa kuvaa, mutta sen käyttäminen vaatii eniten kovalevytilaa, tietokoneiden suorituskykyä ja mahdollisia ylimääräisiä käsittelyvaiheita. Tällaisia kameroita ovat esimerkiksi REDin ja Arrin digitaaliset elokuvakamerat.

Kameroiden lisäksi mediatuotantojen on valittava eri editointiohjelmistojen väliltä. Ohjelmistot poikkeavat toisistaan muun muassa sen mukaan, millaisia formaatteja ne suostuvat käsittelemään. Adoben Premiere Pro ylpeilee kyvyllään käsitellä lähes mitä tahansa videoformaattia lähteestä riippumatta (Adobe 2015a). Applen Final Cut Pro 7 puolestaan edellyttää, että videomateriaali kuvataan Final Cutin tukemassa formaatissa kuten XDCAM-formaatissa tai transkoodataan ohjelman omaan ProRes formaattiin (Apple 2015a). Ylimääräinen transkoodausvaihe vie aikaa, mutta toisaalta materiaalin editointi vaatii tietokoneelta vähemmän laskentatehoa kuin esimerkiksi suoraan kamerasta tuotu inter frame koodilla enkoodattu videomateriaali (Butler 2010).

On tärkeää myös pitää mielessä, mikä on lopputuotteen levityskanava. Televisiolähetyksissä on tarkat tekniset ylä- ja alarajat muun muassa kuvan resoluutiolle ja bittivirran suuruudelle. Elokuvakameroiden suurilla resoluutioilla kuvaaminen televisiota varten voi tällöin olla kannattamatonta, vaikka sellaista materiaalia voisi olla mieluisampaa editoida.

2.4 Ohjelmistot ja enkoodaus

2.4.1 Ohjelmistot

Digitaalinen työskentelytapa on muuttanut videotuotannon kertaheitolla. Taiteellinen puoli on pysynyt samana, mutta työkalut ovat täysin erilaiset. Kun puhutaan editointiohjelmistoista, puhutaan non-linear editing systemeistä eli editointialustasta, joka ei tee muutoksia alkuperäiseen materiaaliin. Tämä on merkittävä uuden teknologian tuoma etu esimerkiksi vanhanaikaiseen filmieditointiin verrattuna, jossa filmiin tehtiin saksilla konkreettisia leikkauksia kohtiin, jotka haluttiin erottaa toisistaan. Tämä työskentelytapa kehittyi 1980- ja 1990-luvun taitteessa, kun tietokoneiden laskentatehojen ja tallennuskapasiteettien kasvu mahdollistivat sen. (Filmmaker IQ 2013.)

Videoeditointiohjelmien välillä on merkittäviä eroja niin käyttöliittymissä kuin ominaisuuksissakin. Opinnäytetyössäni tarkastelen formaattien eroja ennen kaikkea Adoben Premiere Pro CS6 -ohjelmiston kautta. Toinen ohjelmisto voi kuluttaa enemmän prosessorin resursseja, kun taas toinen osaa siirtää taakkansa ennemmin näytönohjaimen varaan. Opinnäytetyöni tarkastelu kohdistuu kuitenkin ennen kaikkea formaatteihin, joten rajaan muut editointiohjelmit pois tarkastelusta. Tässä on erinomainen jatkotutkimuksen aihe. Markkinoilla on lukuisia eri editointiohjelmitoista, joista monet ovat ilmaisiakin. Ohjelmistojen välisistä eroista pystyisi varmasti kirjoittamaan yhden jos toisenkin opinnäytetyön.

2.4.2 Enkoodaus

Videon enkoodaaminen tarkoittaa videoinformaation muuntamista johonkin digitaaliseen formaattiin. Kun valmiiksi enkoodattua videota muunnetaan toiseen digitaaliseen formaattiin, saatetaan puhua myös transkoodaamisesta. Termejä enkoodaus ja transkoodaus näkee monesti käytettävän ristiin. Kaikki digitaalinen video on enkoodattu johonkin formaattiin, oli se sitten juuri digitaalikamerasta tietokoneelle tuotu raaka videoklippin, editointiohjelman käsittelyformaattiin renderöity videotiedosto tai YouTubeen ladattu valmis video. (Butler 2010.)

Ohjelmaa tai algoritmia joka enkoodaa tai transkoodaa videoita johonkin formaattiin kutsutaan koodekiksi. Sana koodekki (*engl.* codec) on sanamuunnos englan-

ninkielen sanoista code ja decode. Koodekin voi ajatella lukevan (decode) videota ja sitten kirjoittavan (code) sen uuteen muotoon. Koodekkia tarvitaan siis myös videon toistoon, koska videon toisto edellyttää dekodeeraamista. (Microsoft 2015.)

Enkoodaamista formaatista toiseen tarvitaan ensinnäkin siksi, että melkein jokaisella ohjelmisto- ja laitevalmistajalla on omat formaattinsa, jotka eivät välttämättä ole keskenään yhteensopivia. Toisekseen enkoodaamista tarvitaan tilan ja lähetyksikaistan säästämiseksi enkoodaamalla video pakattuun videoformaattiin kuten MPEG-4. Kaksi tuntia pakkaamatonta 720*480 resoluutiolla, true color -väri-syvyydellä ja kolmenkymmenen kuvan kuvataajuudella kuvattua materiaalia vie noin 220 gigatavua levytilaa. Jos tämä video haluttaisiin mahduttaa tavanomaiselle DVD-levylle, sitä olisi tiivistettävä viideskymmenesosaan alkuperäisestä koostaan. (Nuutinen 2013, 3.)

Suuri osa aisteihin perustuvista signaaleista sisältää huomattavan määrän tarpeetonta tietoa. Esimerkiksi televisiokamera, joka kuvaa paikallaan olevaa kohdetta, tuottaa hyvin samankaltaisia kuvia yksi toisensa jälkeen. Tämän kaltainen videokuva sisältää paljon niin sanottua redundanttia dataa eli näytteitä, jotka ovat toisistaan niin vähän poikkeavia, että niiden sisältö voidaan johtaa muista näytteistä. Jos paikallaan olevassa kuvassa on liikkuva kohde, riittää että vain tieto kohteesta on tallennettu joka kuvakehykseen, jolloin kohteen tausta voidaan määrittää kuvasarjaan ensimmäisen ja viimeisen kuvakehyksen pohjalta. Tällaista temporaalista pakkausmenetelmää kutsutaan myös Long-GOP -pakkaukseksi. GOP tulee sanoista Group of Pictures. (Haskell ym. 1996, 3.) Pakkaamisessa käytetään monesti hyväksi ihmisen aistien rajallisuutta, kuten ihmissilmän huonoa värien erottelukykä (RED 2013).

Kun video pakataan, se sisältää kuvainformaation lisäksi yleensä audiodatan, sekä muuta dataa jonka tarvitsee kulkea videodatan mukana, kuten tv-lähetysten tekstitykset. Jotta tätä dataa voitaisiin lukea, data säilötään niin sanottuihin standardoituihin säiliöihin eli containereihin (MikroPC 2010). Nämä säiliöt sisältävät tarvittavan metatiedon, jotta videon toistaja osaa erotella datasta erilleen äänen,

videon sekä mahdollisen tekstityksen. Säiliön metatiedot voivat tarvittaessa sisältää myös esimerkiksi tiedon äänen ja kuvan synkronoinnista. Säiliömuodon tarkoitus on siis varmistaa, että käytetty videon toistolaite tai -ohjelma ymmärtää, minkälaisesta informaatiosta on kyse. (Montgomery 2010.) Kun mp4-säiliötä, joka sisältää h.264-formaatissa enkoodattua videota, muunnetaan vaikka mov-säiliöön ilman, että enkoodattuun informaatioon kosketaan, toimenpidettä kutsutaan rewrappaamiseksi (Richter 2011).

2.5 Formaattit

2.5.1 Sanan määrittely

Käytän opinnäytetyössäni sanaa *formaatti* viittaamaan videon pakkausformaatteihin kuten H.264 ja ProRes. Tätä ei tule sekoittaa videoiden tiedostopäätteisiin, kuten mp4 tai mov. Digitaaliset videoformaattit on opinnäytetyöni kannalta mielekästä jakaa kolmeen kategoriaan käyttötarkoituksen mukaan: hankintaformaattit, editointiformaattit ja ulostuloformaattit.

Seuraavissa luvuissa (2.5.2–2.5.4) pyrin selittämään näiden kolmen eri formaattityypin tyypilliset ominaisuudet esimerkkien avulla. Kaikki nämä ominaisuudet eivät välttämättä ole oleellisia tutkimukseni kannalta, mutta ne on hyvä kuitenkin avata lukijalle, jotta aiheesta voi saada eheän kokonaiskäsityksen.

2.5.2 Hankintaformaatti

Hankintaformaattilla (*engl.* acquisition format) tarkoitetaan sitä videoformaattia, johon video tallennetaan ensimmäiseksi vaikkapa videokameralla. Tämä tarkoittaa sitä, että materiaalin ensimmäinen käsittely ja kompressointi tapahtuvat jo kamerassa itsessään. (Butler 2010.) Kameran valintakin vaikuttaa mediatuotannon työnkulkuun. On tärkeää osata valita oikeat laitteet käyttötarkoituksen mukaan.

Kameroiden käyttämissä pakkausformaateissa on joitakin sellaisia ominaisuuksia, jotka erottavat formaatit toisistaan. Käyn tässä luvussa niitä ominaisuuksia läpi.

Usein videokameraa ostettaessa tai editointiformaattia valittaessa törmää sellaisiin suhdelukuihin kuin 4:4:4, 4:2:2, tai 4:2:0. Näillä luvuilla merkitään Chroma subsamplingiä eli värien alinäytteistämistä. Värien alinäytteistämällä tarkoitetaan eräänlaista videosignaalin kompressoitimenetelmää, joka hyödyntää ihmissilmän heikkoa värien erottelukykystä. (Poynton 2008, 1.) Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että videosta hylätään tietty suhdeluvun osoittama väri-informaatio, koska sen pois jättäminen ei juuri vaikuta havaittuun kuvanlaatuun. Kun videodata sisältää sellaista informaatiota, mitä ihmissilmä ei pysty erottelemaan, sitä kutsutaan psykovisuaaliseksi redundanssiksi. (Nuutinen 2013, 9.) Chroma Subsampling ilmaistaan seuraavanlaisina suhdelukuina:

- 4:4:4 Tarkoittaa alinäytteistämätöntä signaalia (Filmmaker IQ 2013).
- 4:2:2 Tarkoittaa alinäytteistämistä, jossa kaksi vierekkäistä pikseliä jakaa väri-informaation. Vie tilaa noin 2/3 alkuperäisestä signaalista. (Filmmaker IQ 2013.)
- 4:1:1 tarkoittaa alinäytteistämistä, jossa neljä vierekkäistä pikseliä jakaa saman väri-informaation. Tätä käyttää muun muassa DV NTSC-standardi. (Filmmaker IQ 2013.)
- 4:2:0 tarkoittaa alinäytteistämistä, jossa kaksi vierekkäistä ja kaksi alemmaa pikseliä jakaa saman väri-informaation. DV PAL-standardi käyttää tätä alinäytteistämistä. 4:1:1 ja 4:2:0 vievät tilaa noin ½ alkuperäisestä. (Filmmaker IQ 2013.)
- Jälkituotannossa saattaa törmätä suhdelukuun jossa esiintyy neljäskin luku. (esimerkiksi 4:4:4:4) Tämä neljäs luku viittaa kuvan alfa-, eli läpinäkyvyyskanavaan. (Poynton 2008, 1.)

Alinäytteistäminen on tehokas videon pakkausmenetelmä, joka on suhteellisen yksinkertainen ja joka ei vaadi paljoa prosessointitehoa toteuttaa. Tämän vuoksi se on ollut hyvin suosittu ja edelleen käytössä oleva tekniikka. (RED 2013.) Värien alinäytteistämiseen liittyy kuitenkin omat ongelmansa. Alinäytteistäminen

suhteessa 4:2:0, tai 4:1:1 soveltuu huonosti erikoistehosteita vaativiin kuviin. Värien sekoittuminen pikseleiden välillä hankaloittaa värimäärittelyä sekä aiheuttaa ongelmia greenscreeniä vasten kuvatuissa erikoistehostekuvissa. (Gates 2013.)

Mike Butler kirjoittaa verkkoartikkelissaan (2010) tarjolla olevien kameroiden käyttämisestä hankintaformaateista. Hän korostaa, että uusia formaatteja tulee markkinoille jatkuvasti. Hänen listaamansa formaatit antavat kuitenkin hyvän kuvan sen hetkisestä tilanteesta. Butler kertoo formaattien keskeisistä ominaisuuksista, joita tulee ottaa huomioon hankintaformaattia valittaessa. Vaikka artikkeli on jo yli neljä vuotta vanha, sen sisältämä tieto formaattien ominaisuuksista on yhä relevanttia ja hyödyllistä opinnäytetyöni kannalta. Rajaan tarkasteluni teräväpiirtoon eli 1920*1080 ja siitä suurempiin formaatteihin, ja jätän niin sanotut Standard Definition -formaattit enimmäkseen pois tarkastelusta.

Päällimmäisin ero eri formaattien välillä on niiden tukemat kuvanlaatuun vaikuttavat muuttujat, kuten bittinopeus, bittisyvyys ja värien alinäytteistäminen. Tämä yleensä rajaa kameran kohdeyleisöä. Esimerkiksi MPEG-4 pohjaisen AVCHD-formaatin bittinopeus vaihtelee 14 Mbps–28 Mbps väliltä. (Butler 2010.) Formaattien kirjon toisessa päässä ovat elokuvakameroiden formaatit, kuten REDCODE RAW, jonka tuettu bittivirta on tilan salliessa jopa yli 1 000 Mbps (RED 2015).

Hankintaformaattia valittaessa on hyvä olla tietoinen myös lopputuotteen levityskanavasta. Televisioyhtiöillä kuten BBC:llä on omat lähetystandardinsa, mikä vaikuttaa siihen, millaisilla kameroilla materiaalia voidaan kuvata. Alle olen listannut joitakin Kansainvälisen televiestintäliiton (lyh. ITU) standardeja, joita BBC noudattaa Britannian teräväpiirtolähetyksille:

All material delivered for UK HD TV transmission must be:

- 1920 x 1080 pixels in an aspect ratio of 16:9
- 25 frames per second (50 fields) interlaced - now known as 1080i/25.
- colour sub-sampled at a ratio of 4:2:2. (BBC 2015.)

BBC:n käyttämä standardi värien alinäytteistämiseksi suhteessa 4:2:2 rajaa muun muassa aiemmin mainitsemani AVCHD-formaatin pois, sillä se on aina alinäyt-

teistetty suhteessa 4:2:0. Sama vaatimus löytyy muun muassa YLEn teräväpiir-
tolähetyksien ohjeista, jotka puolestaan perustuvat Euroopan yleisradiounionin
asettamaan standardiin:

MXF OP1a or Quicktime wrapped XDCAM HD422

- Bitrate: 50 Mbit/s, CBR
- 1080i25 (1080i50)
- chroma subsampling: 4:2:2, 8-bit
- video resolution: 1920 x 1080
- time code: must be encoded according to EBU Recommendation R122 v1.0
- Start time code of program must be 10:00:00:00.
- Timecode must be continuous, unbroken, rising upwards and 25 frames/s.
(YLE 2015.)

2.5.3 Editointiformaatti

Kun kuvattua materiaalia aletaan editoida, kuvattu videomateriaali saatetaan
transkoodata hankintaformaattista niin sanottuun editointiformaattiin. Editointifor-
maattien tarkoitus on minimoida tietokoneen laskentatehon käyttö. Tämä tarkoitti
sitä 1990-luvulla, että analogisesta videomateriaalista tehtiin huonolaatuinen di-
gitaalinen kopio leikkauskäyttöön. Kun leikkaus oli lopullinen, huonolaatuisen di-
gitaalisesta kopion aikakoodista siirrettiin leikkauskohdat alkuperäismateriaaliin,
jolloin lopputuote oli analoginen ja saman laatuinen kuin kuvattu materiaali. Täl-
löin puhuttiin offline-leikkauksesta. Nykyään tietokoneiden laskentatehot ovat
mahdollistaneet sen, että leikkaus voidaan tehdä niin hyvälaatuisena, ettei leik-
kauksia tarvitse enää yhdistää alkuperäismateriaaliin. Transkoodaus editointifor-
maattiin saattaa kuitenkin jättää videomateriaaliin omat jälkensä. (Filmmaker IQ
2013.)

Miksi käyttää editointiformaatteja, kuten ProRes, DNxHD tai Cineform, kameroi-
den hankintaformaattien sijasta? Miksi käyttää pakattua formaattia alkuunkaan?
Monissa tapauksissa kuluttajatasen videokameroiden käyttämä formaatti on ny-
kyisin MPEG-4 pohjainen long-GOP-formaatti. Tämän formaatin pakkaushyöty-
suhde on hyvä, eli se mahdollistaa hyvälaatuisen kuvaamisen alhaisilla bitti-
nopeuksilla. Esimerkiksi GoPro- ja DSLR-kameroiden kuvaama video on yleensä
pakattu tällaiseen muotoon, kuten aiemmin mainittu AVCHD-formaattikin.

Miksei tämä formaatti sitten sovellu editointikäyttöön? Long-GOP eli long group of pictures viittaa sellaiseen pakkausmenetelmään, jossa kuvavirrassa saattaa esimerkiksi vain joka viidestoista kuvakehys sisältää todellista kuvainformaatiota. Muut kuvakehykset kuvavirrassa johdetaan näiden niin sanottujen I-framejen sisältämästä informaatiosta. Editoidessa tämä tarkoittaa sitä, että kun kuvavirtaa selataan kuva kerrallaan, ainoastaan I-frames voidaan näyttää ilman sen suurempia ponnisteluja tietokoneen prosessorilta. Kun tullaan niin sanottujen B- tai P-framejen kohdalle, joudutaan koko kuvajoukko (GOP) kahden I-frames väliltä lukemaan ja dekodamaan. Tämänlainen editointi ei ole mahdotonta esimerkiksi Adoben Premiere Pro -ohjelmistossa, mutta se voi aiheuttaa editointiohjelmiston hitautta. (Butler 2010.)

Jos leikkaukset kuvien välillä sattuvat B- tai P-frameille, joudutaan koko sekvenssi dekodamaan ja enkoodamaan uudelleen, jotta saadaan eheä GOP-rakenne. Tämä tarkoittaa, että sekvenssi joudutaan renderöimään aina kun se halutaan katsoa ilman kuvavirheitä. Pahimmassa tapauksessa näitä kuvavirheitä voi toistuvien dekodaus- ja enkoodauskierrosten jäljiltä jäädä lopulliseen exporttiin. (Butler 2010.) On siis ymmärrettävää, että esimerkiksi Applen Final Cut Pro 7 on tarkka siitä mitä videoformaatteja se tukee ja saattaa edellyttää, että videotiedostot transkoodataan ensin Applen omaan ProRes-formaattiin.

2.5.4 Ulostulosformaatti

Televisioon tuotettujen ohjelmien kohdalla ei ole kovin mielenkiintoista puhua eri ulostuloformaattien eroista. Vaikka ulostuloformaattien välillä on suuriakin eroja muun muassa pakkaussuhteessa, kuvanlaadussa ja enkoodausajassa, televisioon tuotettujen ohjelmien ulostuloformaatin sanelevat televisiokanavien standardit eivätkä tuotantoyhtiöt (YLE 2015). Siksi rajaan ulostuloformaattit pois tutkimuksestani.

Toisaalta internetin ansaintamallien, markkinointikeinojen, levityskanavien ja pakkausformaattien kehittyessä olisi kuitenkin kiinnostavaa käsitellä ulostuloformaattien eroja ja tulevaisuuden näkymiä. Tässä voisi olla tarvetta jatkokehitykselle.

3 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimusongelma

3.1 Opinnäytetyön tausta

Kun aloitin media-alan opiskeluni, huomasin ensimmäisenä opiskeluvuoteni, miten jälkituotannossa on tekninen osa-alue täynnä sanastoa, joka ei tahdo aueta aloittelijalle. Tämä osa-alue mediatuotantoa kehittyä hurjalla vauhdilla laitevalmistajien ja internetin mediapalvelujen ehdoilla ja se voi tuntua monelle ylittämättömältä tekniseltä esteeltä omassa työskentelyssä. Opinnäytetyöni tarkoitus on tehdä selkokielen selitys itselleni ja opinnäytteeni lukijoille siitä, mitä enkoodausformaatit oikeastaan ovat, ja mikä on formaattien valinnan merkitys mediatuotannolle.

Butlerin (2010) artikkeli sisälsi kaikista ansioistaan huolimatta vanhentunutta, harhaanjohtavaa tai jopa täysin väärää tietoa. Tämä artikkeli auttoi minut alkuun opinnäyteprosessini kanssa, mutta tämä ja monet muut aiheesta kirjoitetut nettiartikkelit myös motivoivat tutkimustani. Aiheesta tuntuu löytyvän enemmän pelkistettyjä, kokemusperäisiä tai spekulatiivisia kirjoituksia kuin faktoihin perustuvia. Videon enkoodaamisesta on kirjoitettu paljon tutkimusartikkeleita matemaattisesta ja teknologisesta näkökulmasta, mutta näiden artikkeleiden sisältö tuntuu harvoin kääntyvän media-alan termeihin. Näiden tutkimusartikkeleiden ja harrastelijablogien välimaastoon kuuluvia kirjoituksia on turhauttavankin vaikea löytää.

3.2 Toteutus

Tutkin vertailevalla analyysillä eri enkoodausformaatteja videotuotannon eri vaiheissa. Laadullisen tutkimuksen tueksi teen määrällistä tutkimusta formaattien suorituskyvyn vertailussa. Käytän opinnäytteeni tutkimusosiossa kuvamateriaalia erilaisista projekteista, joissa olen opintojeni aikana ollut mukana. Tätä materiaalia on kuvattu muutamalla erilaisella kameralla, jotka havainnollistavat mielestäni hyvin erilaisten formaattien kirjjon.

Käytän pääsääntöisesti kahta hankintaformaattia, joiden voidaan kuvitella kuuluvan niin sanotun formaattien ravintoketjun vastakkaisiin ääripäihin ammattitasoisten formaattien maailmassa: Panasonicin HMC151 -kameralla kuvattu AVCHD-formaatti ja RED ONE -kameralla kuvattu REDCODE-formaatti. Transkoodaan REDCODE-materiaalia myös muiden kameroiden käyttämiin formaatteihin, kuten XDCAM HD ja AVC-Intra 100, Adoben Media Encoder CS6 -ohjelmiston avulla.

Hankintaformaattien ominaisuuksia, joita tutkin ovat videon väriavaruuden bittisyvyys ja alinäytteistäminen ja näiden vaikutus materiaalin käsittelyyn. Tutkimustani varten käytän Windows 7-käyttäjärjestelmällistä tietokonettani, johon on asennettu Adoben Premiere CS6 -ohjelmisto. Rajaan tutkimukseni näihin työkaluihin, sillä ne muodostavat oman työskentelytapani pohjan. Tutkimuksen yksi perimmäisistä tarkoituksista onkin selvittää itselleni ihanteellinen workflow. Näiden tulosten pohjalta pyrin kuitenkin pohtimaan, miten formaattien käyttötavat soveltuvat muillekin ohjelmistoille.

Editointivaiheessa pystyn käyttämäni videomateriaalin ja Adobe Premiere CS6 -ohjelmiston avulla havainnollistamaan muun muassa, minkälaisia jälkiä kameran alustava pakkaus tai editointiformaattiin transkoodaus jättää lähdemateriaaliin. Editointiformaattien vertailussa on tarkasteltava käsiteltävän materiaalin aiheuttamaa räsitusta tietokoneelle. Tutkin muun muassa, miten paljon eri formaatit rasittavat prosessoria ja näytönohjainta videomateriaalia toistettaessa. Tarkastelen tällöin eri formaatteja MSI:n Afterburner -diagnostiikkaohjelman avulla. Pyrin myös selvittämään, mitkä hankintaformaattien ominaisuudet aiheuttavat räsitusta missäkin tilanteessa.

Myöhemmin otan vertailuun myös editointiformaatit: GoPron omistaman CineFormin sekä Avidin DNxHD:n. Vertailen näiden suorituskykyä ja kuvanlaatua hankintaformaatteihin. Tuloksien pohjalta pohdin, millaisessa tilanteessa on järkevää käyttää editointiin kameran hankintaformaattia ja milloin on järkevää transkoodata materiaali editointiformaattiin.

4 Tulokset

4.1 Hankintaformaattit vastakkain

4.1.1 Formaattien kuvan vertailu

Käytössäni oli suoraan kamerasta tuotua AVCHD- ja REDCODE RAW -materiaalia. Näiden lisäksi transkoodasin REDCODE RAW -materiaalista kevyempiä AVC-Intra 100-, DVCPRO HD-, XDCAM HD422-, XDCAM EX- ja H.264 -formaatteja, jotta pystyin tekemään vertailua ennen kaikkea hankintaformaattien kuvanlaatuun vaikuttavista formaattien ominaisuuksista.

AVCHD-formaattiin eksportointi ei onnistu käyttämässäni Adobe Media Encoder CS6 -ohjelmassa, joten H.264 -formaatti valikoitui mukaan, koska se on eksportointiasetuksillani niin lähellä käyttämäni AVCHD-formaattia kuin mahdollista. Taulukkoon 1 on listattu hankintaformaattien valintaan vaikuttavat ominaisuudet. Olen taulukoinut käyttämäni formaattien perusteelliset tekniset tiedot liitteeksi opinnäytetyön loppuun ja viittaan tarvittaessa tähän liitteeseen (liite 1).

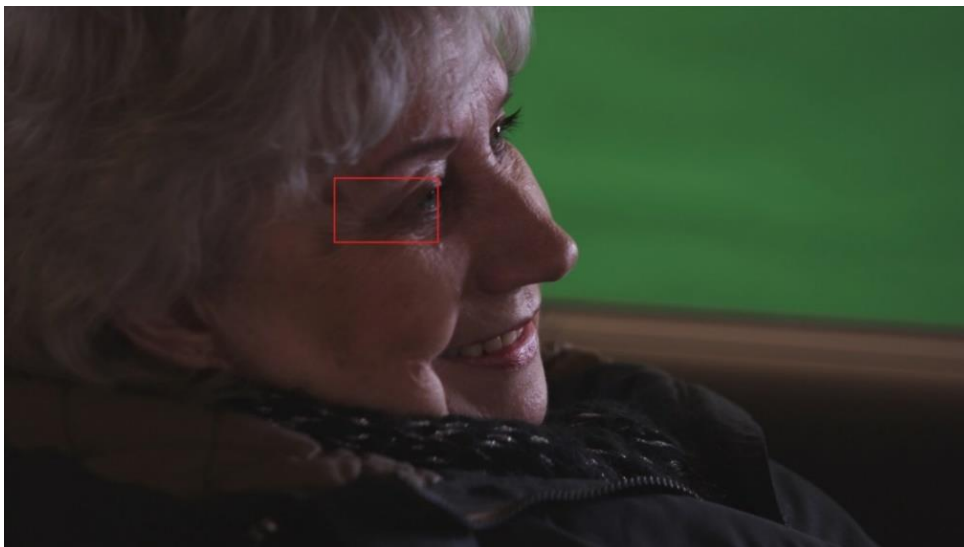
Taulukko 1. A = Bittisyvyys, B = Alinäytteistäminen, C = Bittinopeus, D = GOP-rakenne.

	AVC-Intra	DVCPRO HD	H.264	RED-CODE	XDCAM EX	XDCAM HD
A	10-bittinen	8-bittinen	8-bittinen	12-bittinen	8-bittinen	8-bittinen
B	4:2:2	4:2:2	4:2:0	N/A	4:2:0	4:2:2
C	100 Mbps CBR	100 Mbps CBR	30 Mbps VBR	>180 Mbps VBR	35 Mbps VBR	50 Mbps CBR
D	Intra	Intra	Long GOP	Intra	Long GOP	Long GOP

4.1.2 Väriavaruuden bittisyvyys

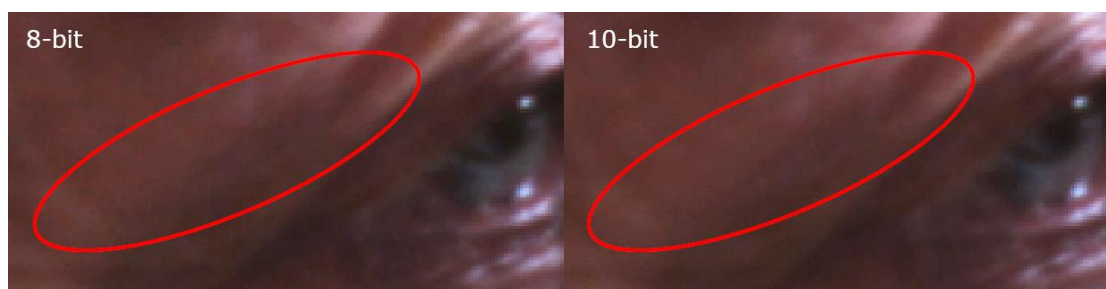
Tallensin jokaisen transkoodaamani formaatin kuvavirrasta stillejä ja vertailin niiden välisiä värivirheitä. Tutkin miten väriavaruuden bittisyvyyden alentaminen ja värien alinäytteistämisen lisääminen vaikuttaa videon kuvanlaatuun ja videotiedoston kokoon. Pohdin myös näiden ominaisuuksien vaikutusta kuvan muokkaukseen editointiohjelmassa.

Eksportoin Premierestä kaksi videota samalla koodekillä mutta eri bittisyvyyden asetuksella. Premiere ei antanut vaihtoehtoja bittisyvyyden asetukselle stillin eksportoinnissa, joten vein videot After Effects -ohjelmaan. Tällöin sain tuotua stillin samasta framesta kunkin videon omalla bittisyvyydellä (kuva 3). Ensimmäinen eksportoiduista videoista oli 8-bittinen ja toinen 10-bittinen. Ensimmäisessä videossa oli siis 256 väriä per RGB-värikanava ja jälkimmäisessä 1024 väriä per värikanava. Jälkimmäisessä videossa on siis $([1024^3] / [256^3])$ 64-kertainen määrä väriyhdistelmiä.



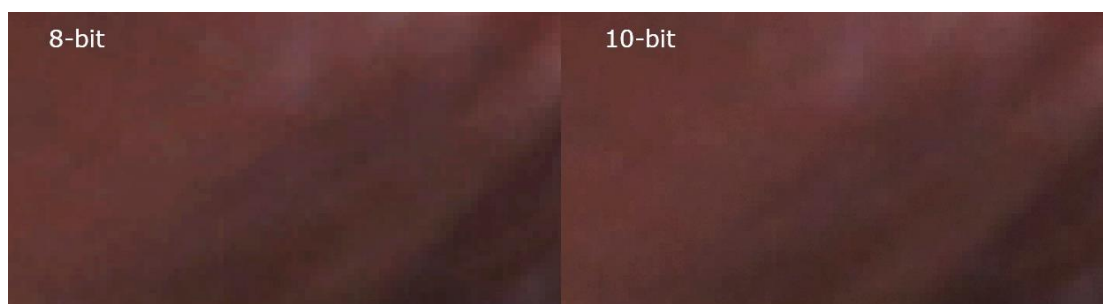
Kuva 3. Suurentamaton kuva (kuva: Karelia Ammattikorkeakoulu).

Kuten kuvista huomaa, tämän kaltaisessa kuvassa ero ei suurennettunakaan ole kovin suuri (kuva 4). Tarkkaan katsoessa voi huomata, että vasemman puoleisessa 8-bittisessä kuvassa näyttää kuin pikselit olisivat suurempia, kun niiden väri-informaatiot ovat sekoittuneet keskenään.



Kuva 4. Kolminkertainen suurennos (kuva: Karelia Ammattikorkeakoulu).

Ero kuvien välillä näytti korostuvan ennen kaikkea tummissa keskisävyissä. Kuusinkertaisessa suurennoksessa 8-bittinen kuva alkoi näyttää laikukkaalta joistain kohdista (kuva 5).



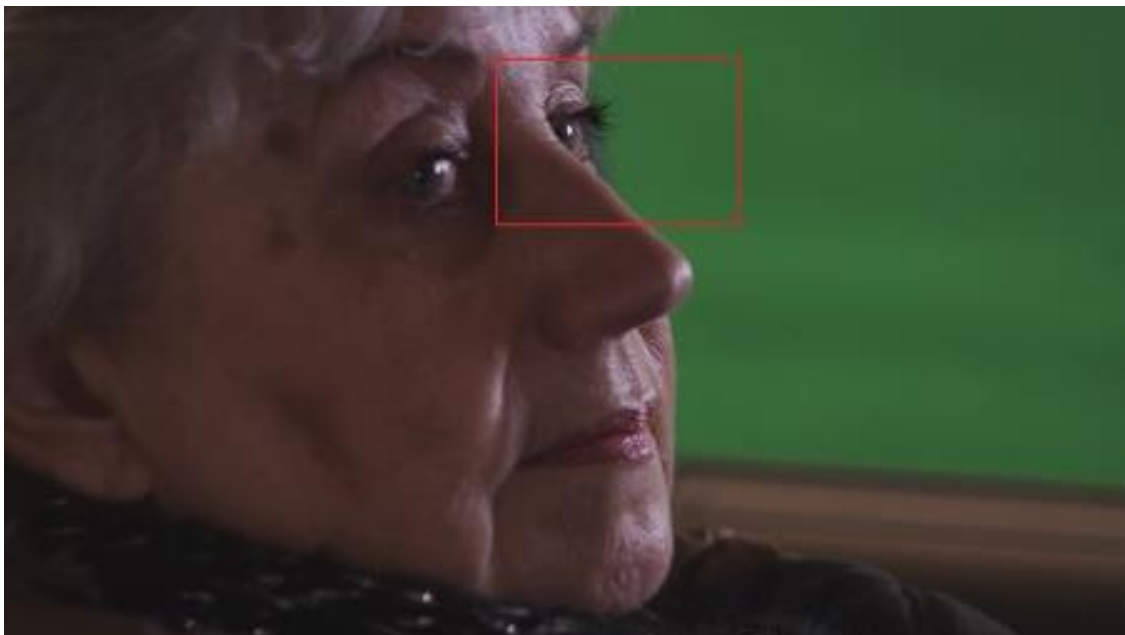
Kuva 5. Kuusinkertainen suurennos (kuva: Karelia Ammattikorkeakoulu).

Pelkän kuvanlaadun kannalta ei näytä olevan kovin suurta merkitystä, onko kuvattu materiaali 8-bittistä vai suurempaa. Tutkimuksessani havaitsin, että pakkaamattomalla YUV-koodekilla eksportoitu 10-bittinen video oli noin 33 prosenttia suurempi tiedostokooltaan kuin 8-bittinen vastaava. Vertailemistani hankintaformaateista ainoastaan 100 Mbps:n bittinopeudella kuvattu AVC-Intra 100 ja RED ONE:n REDCODE RAW -formaatti ovat bittisyvydeltään suurempia kuin 8 bittiä.

Hankintaformaattien kohdalla suurempi bittisyvyys ainakin siis täyttää kameran muistikortin nopeammin. Selvitän editointiformaattien kohdalla miten bittisyvyys vaikuttaa videon käsittelyyn, tietokoneen suorituskykyyn ja renderöintiäikoihin.

4.1.3 Alinäytteistäminen

Vertailen alinäytteistämistäkin stillien avulla (kuva 6). Käytän vertailuun MPEG-2 pohjaisia XDCAM HD 422- ja XDCAM EX -formaatteja, joiden alinäytteistämisen suhteet ovat 4:2:2 ensimmäisessä ja 4:2:0 jälkimmäisessä. Käytän stillien vertailussa Adobe Photoshopin *Difference* -blending asetusta, joka paljastaa kahden kuvan välisen eroavaisuuden (kuva 7). Mitä mustempi difference-kuva on, sitä vähemmän eroja kuvien välillä on. Tämä havainnollistaa hyvin, millaisissa kohdissa värien alinäytteistäminen näkyy parhaiten. Jotta kuvien erot näkyisivät lukijalle, korostan difference-asetusta nostamalla kuvan kontrastia.

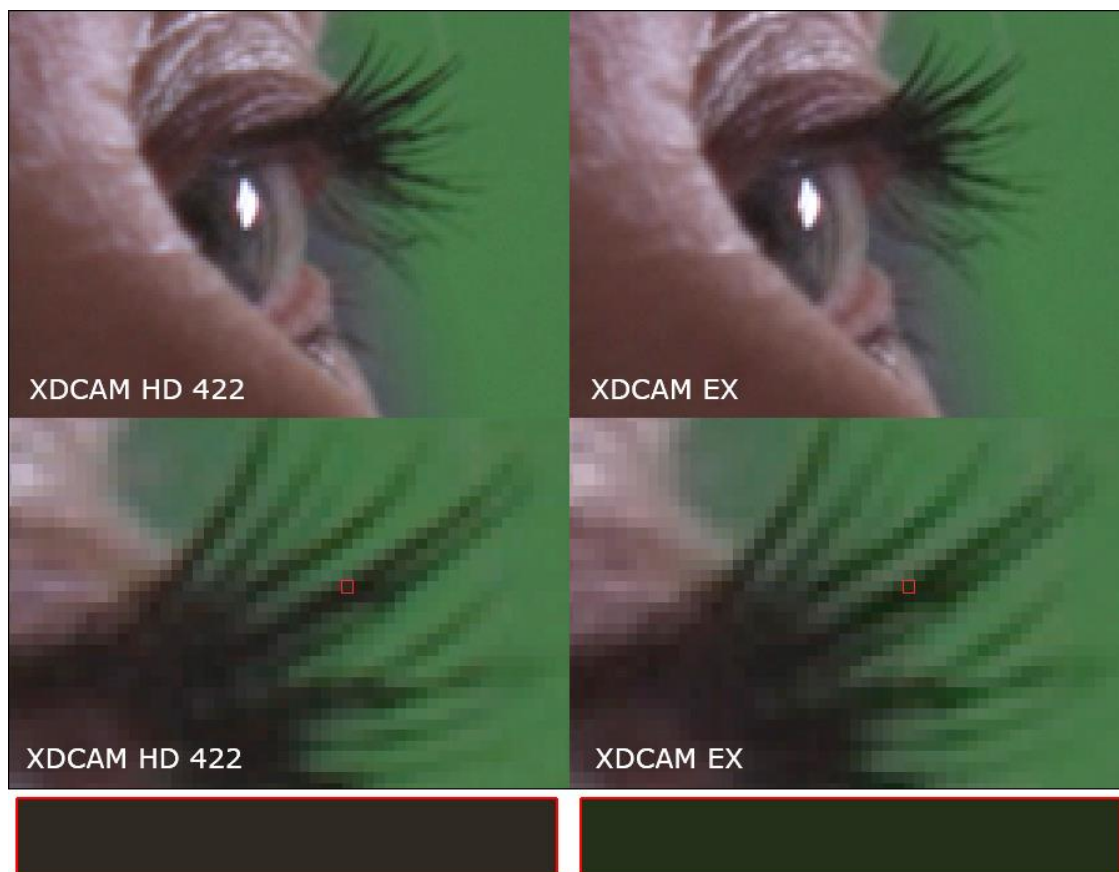


Kuva 6. Suurentamaton alkuperäiskuva, huomiossa silmäripset (kuva: Karelia Ammattikorkeakoulu).



Kuva 7. Difference-blending XDCAM HD422- ja XDCAM EX -formaateista (kuva: Karelia Ammattikorkeakoulu).

Kuten kuvista huomaa alinäytteistämisen aiheuttama värien sekoittuminen näkyy parhaiten kohdissa, joissa chroma-arvojen välillä on suuri kontrasti. Alla olevasta kuvasta näkee miten taustan vihreä väri sekoittuu naisen silmäripsiin (kuva 8).



Kuva 8. Silmäripsien ruskea sävy häviää oikeanpuoleisissa kuvissa (kuva: Karelia Ammattikorkeakoulu).

Havainnollistan alla, miten alinäytteistäminen vaikuttaa esimerkiksi Keying-efektiä käytettäessä. Keying tarkoittaa kuvan läpinäkyvyyden määrittämistä jonkin kuvan valo- tai väriarvon mukaan (Adobe 2015b). Keying-efektillä voidaan helposti vaihtaa vaikkapa kuvan tausta (Adobe 2015b). Kuvassa 9 poistin Adobe Premieren Ultra-Key efektillä kuvan vihreän taustan ja vaihdan sen tasaisen oranssiksi.



Kuva 9. Värien alinäytteistämisen vaikutus Keying-efektiin (kuva: Karelia Ammattikorkeakoulu).

Suurilla kuvan resoluutioilla alinäytteistämisen aiheuttama vahinko kuvalle ei ole suurta, mutta kuitenkin huomattavissa. Kuvassa 9 on käytetty XDCAM HD 422- ja XDCAM EX -formaatteja. Kumpaankin kuvaan on lisätty sama keying-efekti samoilla arvoilla. Kun kuva on alinäytteistetty suhteessa 4:2:0, värien sekoittumisen aiheuttama reuna-alue kohteen ja greenscreenin välissä on selvästi paksumpi. Käyttämäni keying-efekti ei ole tehty niin tarkasti, kuin mitä sen olisi voinut tehdä, jotta alinäytteistämisen aiheuttama virhe olisi lukijalle selkeämpi.

RED.comin (2013) julkaiseman artikkelin mukaan alinäytteistäminen suhteessa 4:2:0 näkyy ennen kaikkea värivirheissä kuvan horisontaalisissa linjoissa, kun taas 4:1:1 näkyy kuvan vertikaalisissa linjoissa. Minulla ei valitettavasti ole käytössä 4:1:1-formaattia tai menetelmää muuntaa muita formaatteja 4:1:1-muotoon.

4.2 Editointiformaattien hyvät, pahat ja rumat

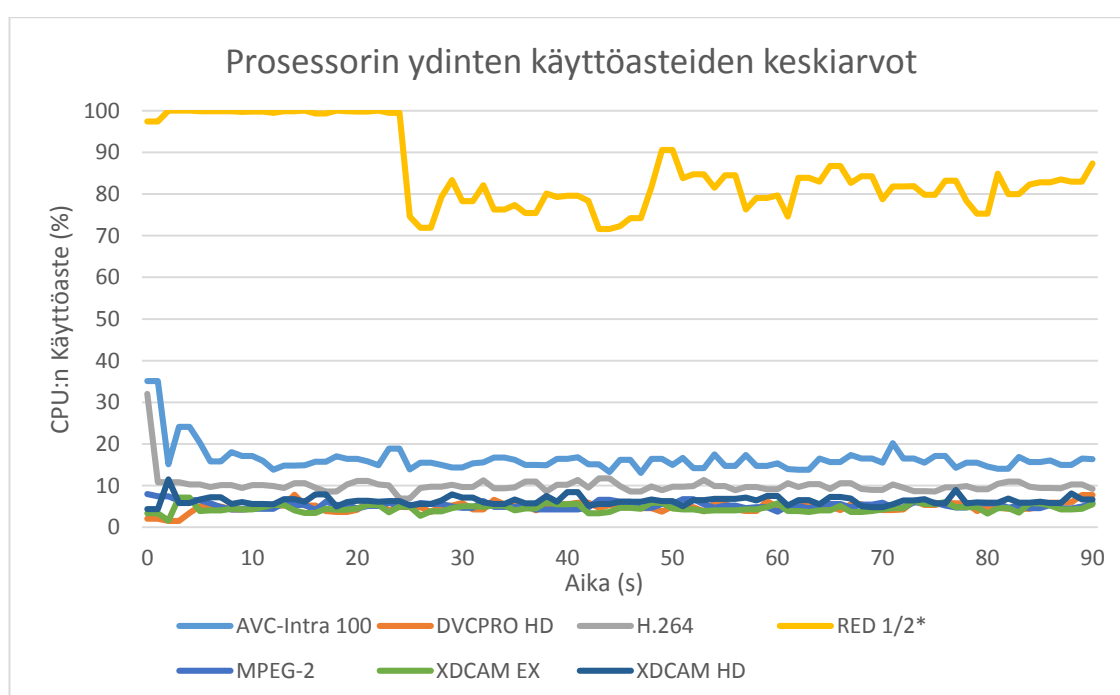
4.2.1 Suorituskykyvertailu

Suorituskykyvertailussa käyttämäni tietokoneen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 2. Vertailen formaatteja enemmän suhteessa toisiinsa kuin suhteessa tietokoneeseen ja sen suorituskykyyn. Liitän tietokoneen tekniset tiedot siltä varalta, että voin viitata niihin tutkimustulosteni poikkeamissa, joita formaattien väliset erot eivät yksinään pysty selittämään.

Yksi huomion arvoinen seikka, joka vaikuttaa formaattien suorituskykyvertailun tuloksiin, on, että Adobe Premieren Mercury Playback Enginen näytönohjaimen laitteistokiihdytys sai ohjelmiston toimimaan epävakaasti testikoneessani. Adobe lisää näytönohjaimia tuettujen näytönohjainten listaansa sitä mukaan, kuin saavat testattua niiden yhteensopivuutta, mutta testikoneeni näytönohjain ei kyseiseltä listalta vielä löydy (Kopriva 2011). Vaikka tukemattomiakin näytönohjaimia on mahdollista pakottaa käyttämään laitteistokiihdytystä, tulokset eivät minun

kohtallani olleet optimaalisia. Tästä syystä mittasin formaattien erot ensin ilman näytönohjaimen laitteistokiihdytystä ja lopuksi vertaan tuloksia laitteistokiihdytettyihin tuloksiin.

Tämä lähestymistapa sopii tutkimukseeni ensinnäkin siksi, että eri formaattien väliset erot korostuvat, kun tietokoneen laskutoimituksia ei siirretä näytönohjaimelle. Toiseksi laitteistokiihdytys auttaa vain tietyissä tilanteissa ja efekteissä, ja sen käyttö monimutkaistaisi tutkimustani. Kuva 10 näyttää, miten eri formaatit rasittivat prosessoria, kun videota toistettiin Adobe Premieren aikajanalla.



Kuva 10. Prossessorin ydinten käyttöasteiden keskiarvot. * RED skaalattu.

Kaikki mittaukset tehtiin samasta puolentoista minuutin videoklipistä, joka oli transkoodattu eri formaatteihin, yhden sekunnin näytteenottotaajuudella. Tässä vertailussa H.264 edustaa AVCHD-formaattia, koska REDCODE-materiaalin transkoodaus AVCHD-formaattiin ei ollut mahdollista. AVCHD:n ja käyttämäni H.264-eksportin ero on käytännössä vain käytetty säiliömuoto. REDCODE-materiaalista on sanottava, että se oli ainoa, joka aktivoi prosessorin virtuaaliset ytimet.

Kaavion tulokset eivät olleet minulle kovin yllätyksellisiä. REDCODE-materiaalissa on ylivoimaisesti suurin bittinopeus, mikä näkyy ylivoimaisesti suurimpana,

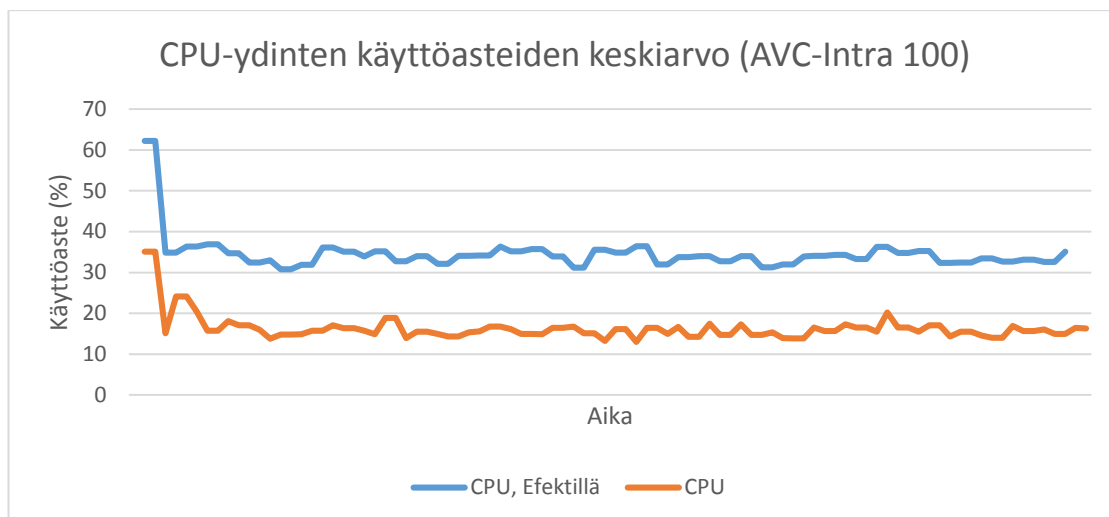
välillä jopa sataprosenttisen prosessorin käyttöasteena. REDCODE-materiaali käyttää niin sanottua Wavelet-pakkausta, jonka yksi tärkeä ominaisuus on mahdollisuus esikatsella hyvälaatuista pienemmäksi skaalattua versiota videosta ilman, että videota tarvitsee prosessoida mitenkään. Tämä nopeuttaa REDCODE-materiaalin käsittelyä hitaammillakin koneilla (RED 2012).

Kaavion tulokset myös näyttävät vahvistavan sitä käsitystä, että H.264 soveltuu työläänsä dekodeamisprosessinsa vuoksi heikosti editoimiseen. Olin kuitenkin yllättynyt, että AVC-Intra 100 -formaatti vaati tietokoneelta enemmän kuin H.264, sillä nämä formaatit käyttävät samaa enkoodausta, mutta AVC-Intra 100 ei käytä Long-GOP kompressiota. Mike Butler (2013), jonka tekstiin olen moneen otteeseen viitannut, esittää Long-GOP-pakkauksen syyksi miksi H.264 ei sovellu editointiin, mutta tulosten perusteella bittinopeudella ja H.264 pakkauksen monimutkaisuudella on enemmän tekemistä asian kanssa. Tätä havaintoa vahvistaa myös se, että myös XDCAM EX:n, MPEG-2 pohjainen enkoodaus käyttää Long-GOP pakkausta, mutta sen aiheuttama prosessorin kuormitus hädin tuskin näkyi käyttämässäni MSI AfterBurner -diagnostiikkaohjelmassa, kun kuormitus vaihteli kolmen ja kahdentoista prosentin välillä.

Puran formaattikohtaisesti, miten kukin formaatti pärjasi. Sen lisäksi, että tutkin toiston rasittavuutta, tutkin toistoa myös niin, että videoon on lisätty tehosteita, sekä miten pitkään eri formaattien transkoodaus editointiformaattiin kestää. Tarkoitukseni on simuloida oikeita editointitilanteita ja miettiä miten hankintaformaatit soveltuvat leikkauskäyttöön.

4.2.2 AVC-Intra 100

AVC-Intra 100 oli RED-materiaalin jälkeen raskainta materiaalia käsitellä. Lisäsin videoon Ultra Key -efektin, joka on melko tyypillinen efekti videon jälkituotannossa. Suoritin sitten samanlaisen suorituskykymittauksen kuin aiemminkin. Efektin kanssa AVC-Intra 100 -videon toisto nosti prosessorin käytön keskimäärin kaksinkertaiseksi (kuva 11).

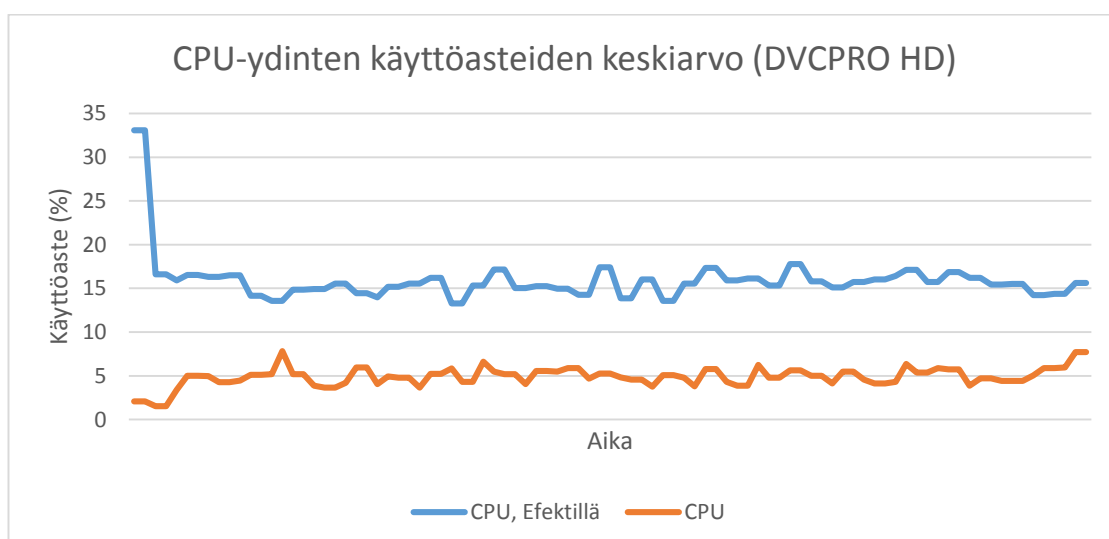


Kuva 11. CPU ydinten käyttöasteiden keskiarvo AVC-Intra 100-formaatilla.

Käytän tätä vertailumenetelmää muidenkin formaattien kohdalla. Tarkoitukseni on etsiä formaattien välillä poikkeavuuksia, joita saattavat selittää formaateille ominaiset erot. Näiden tulosten pohjalta selvitän eri tilanteisiin sopivimmat formaatit.

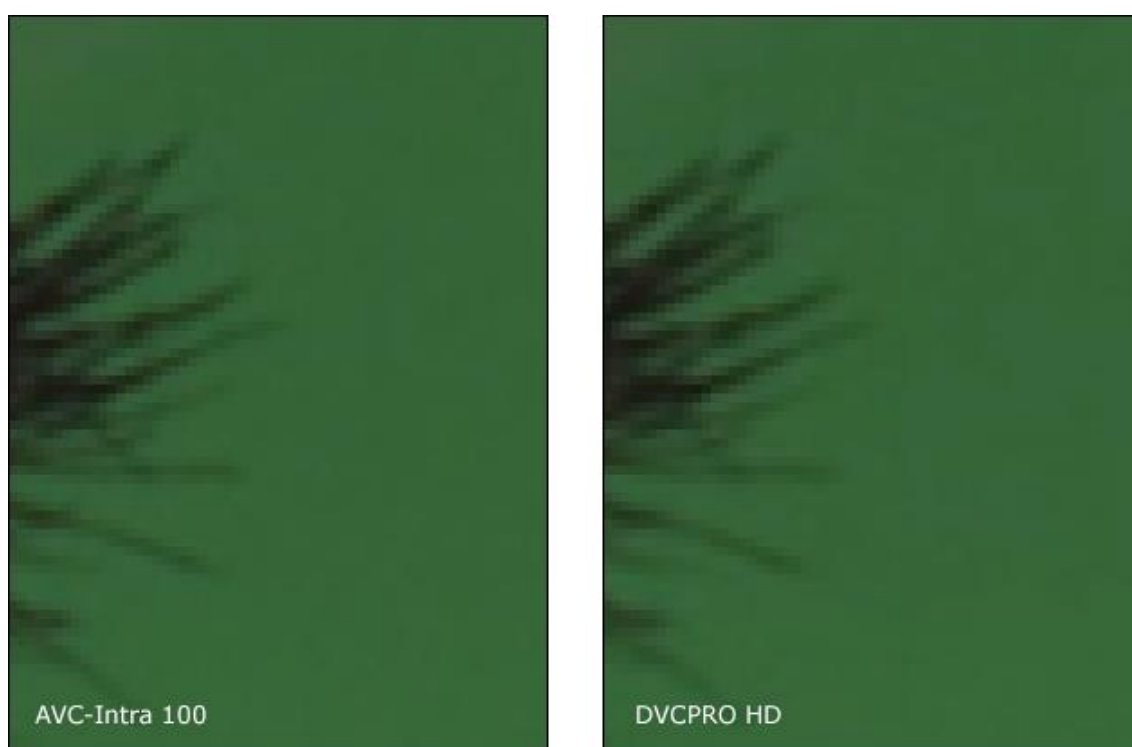
4.2.3 DVCPRO HD

DVCPRO HD -enkoodattu video aiheutti tuskin minkäänlaista kuormaa prosessorille videota toistettaessa. Ultra Key -efektin kanssa prosessorin käyttö kolminkertaistui, mutta ylsi silloinkin keskimäärin vain noin 16 prosenttiin (kuva 12).



Kuva 12. CPU ydinten käyttöasteiden keskiarvo DVCPRO HD -formaatilla.

DVCPRO HD on AVC-Intran tavoin intra-frame -formaatti, jonka bittinopeus on lähestulkoon sama. Olin siksi yllättynyt miten suuri ero suorituskykyvertailussa oli näiden kahden formaatin välillä. Epäilin, että AVC-Intran tehokas mutta laskennallisesti vaativa pakkausalgoritmi aiheuttaa näiden kahden formaatin välillä merkittävän eron pakkauslaadussa, joten tein silmämääräistä stillivertailua varmistakseni asian. DVCPRO HD:ssä on selkeämmin havaittavissa pakkauksesta johtuvia artefakteja. Formaatin anamorfisuus tekee kuvasta myös sumeamman (kuva 13).

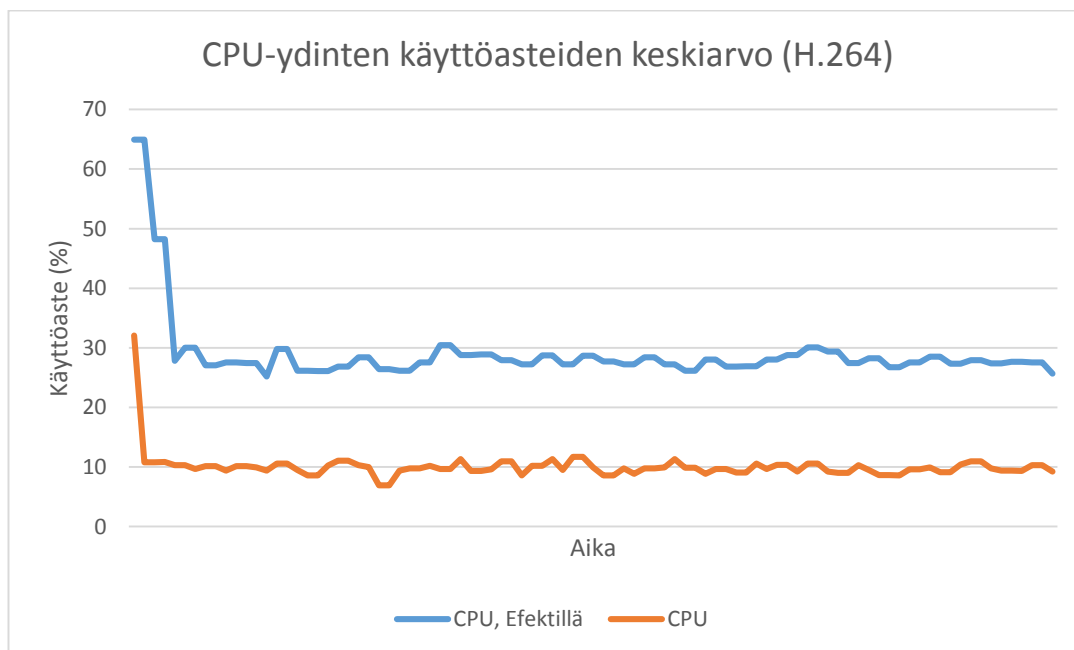


Kuva 13. AVC-Intra 100:n ja DVCPRO HD:n stillivertailu. Kuvassa silmäripset. (kuva: Karelia Ammattikorkeakoulu).

Prossessorin kulutukseen todennäköisesti vaikuttaa myös se, että AVC-Intra 100 on 10-bittinen formaatti, kun DVCPRO HD on 8-bittinen. Molemmat formaatit ovat alinäytteistetty suhteessa 4:2:2.

4.2.4 H.264

H.264 aiheuttama kuorma pysyi melko tasaisena alun piikkiä lukuunottamatta. Prosessorin käyttöaste oli Ultra Key -efektillä noin 2,9-kertainen H.264-formaatissa. H.264 selvisi efektistä siis suhteellisesti huonommin kuin samaa enkoodausformaattia käyttävä AVC-Intra 100 (kuva 14).



Kuva 14. CPU-ydinten käyttöasteiden keskiarvo H.264-formaatilla.

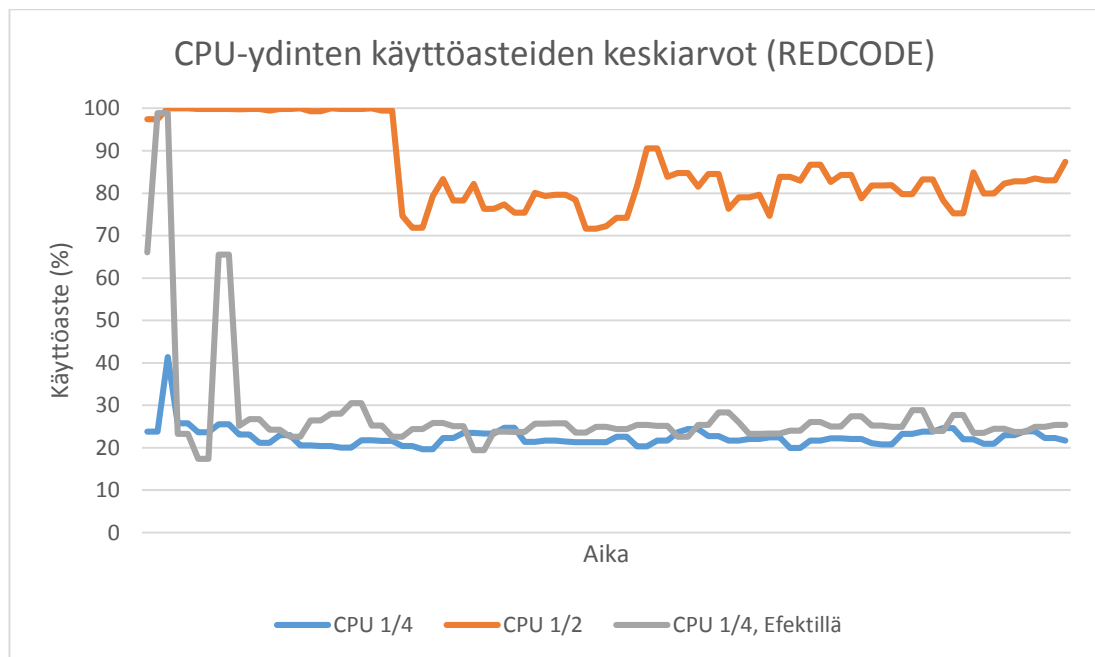
Kuten liikkeelle lähtö autolla ajaessa vaatii eniten vääntöä moottorilta, myös H.264 vaatii huomattavan siivun prosessorin laskentakapasiteetista videoiston alussa. Tämän jälkeen prosessorin käyttö pysyi tasaisena loppuun saakka. Ultra Keyn kanssa videon dekoodaus vaatii prosessorilta H.264 kohdalla jopa enemmän kuin AVC-Intra 100. Epäilen, että tämä voi johtua H.264 Long-GOP rakenteesta, mutta syynä voi myös olla jokin testiin liittymätön Windowsin taustasovellus. Pyrin minimoimaan tällaiset häiriöt sulkemalla kaikki mahdolliset taustaprosessit ja palvelut.

Toistin mittauksen varmuuden vuoksi kahteen kertaan ja sain ensimmäisellä kerralla saman 65 % kuin aiemminkin mutta toisella kerralla 60 %. Muuten prosessorin käyttöaste pysyi toiston aikana samana. AVC-Intran kohdalla käyttöasteen vaihteluväli toiston alussa oli hieman suurempi: 62 % – 80 %. Silläkin käyttöaste

tasaantui alun jälkeen suurin piirtein samoihin lukemiin kuin ensimmäisessäkin mittauksessa.

4.2.5 REDCODE

REDCODE-materiaalia oli skaalattava puoleen alkuperäisestä, jotta sitä pystyi katsomaan reaaliajassa. RED-materiaali oli prosessorin rasittavuudessaan ainoa, joka ilman efektejä aktivoi prosessorin virtuaaliset ytimet. Ultra Key -efektin kanssa toistoresoluutio oli skaalattava neljännekseen alkuperäisestä, jotta toisto sujui reaaliajassa. Toiston resoluutio oli tällöin 1024*512 pikseliä. Vertailun vuoksi lisäsin REDCODE-formaatin vertailuun myös ¼-skaalatun mittauksen ilman efektiä (kuva 15).

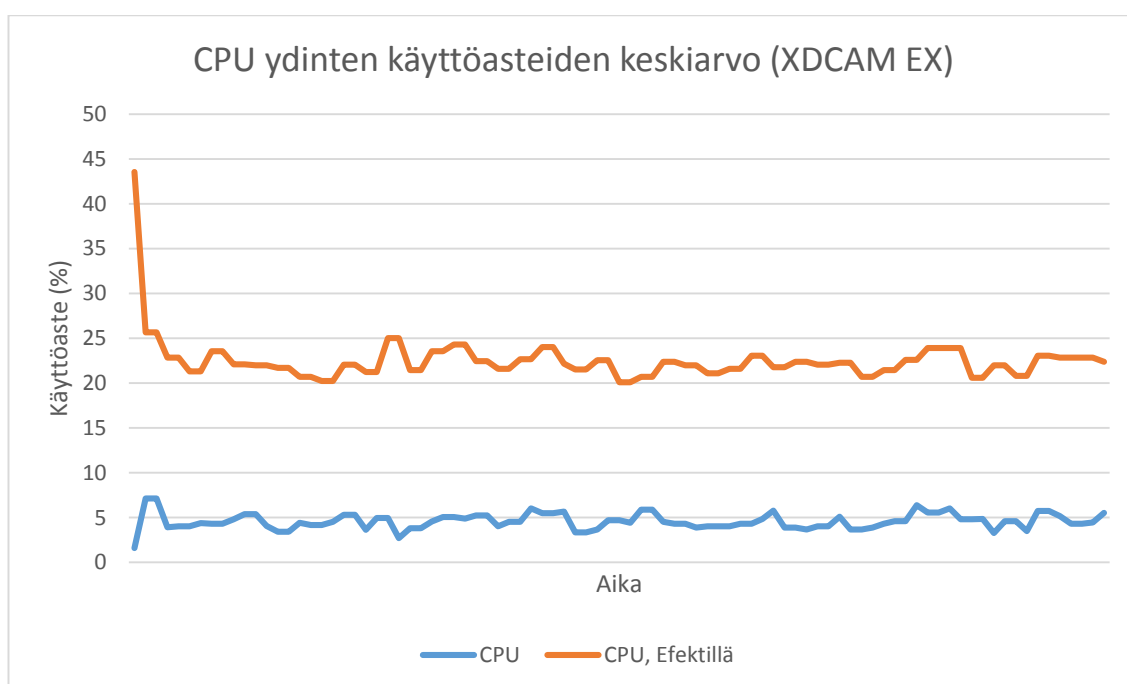


Kuva 15. Toistoresoluution skaalaaminen auttaa suorituskykyä merkittävästi.

Kuten kaaviosta huomaa, pienen yskimisen jälkeen, Ultra Key -efekti häidin tuskin vaikutti suorituskykyyn. Neljännekseen skaalatussa kuvassa efekti nosti prosessorin käyttöä keskimäärin vain 27 prosenttia. Jos kaksi piikkiä mittauksen alusta jätetään pois, prosessorin rasitus oli vain 14 prosenttia suurempi. Koska efekti aiheuttaa esimerkin mukaisen piikin joka kerta kun videota aletaan toistaa, voi formaatin käyttö tuntua tahmealta hitaammilla tietokoneilla.

4.2.6 XDCAM EX

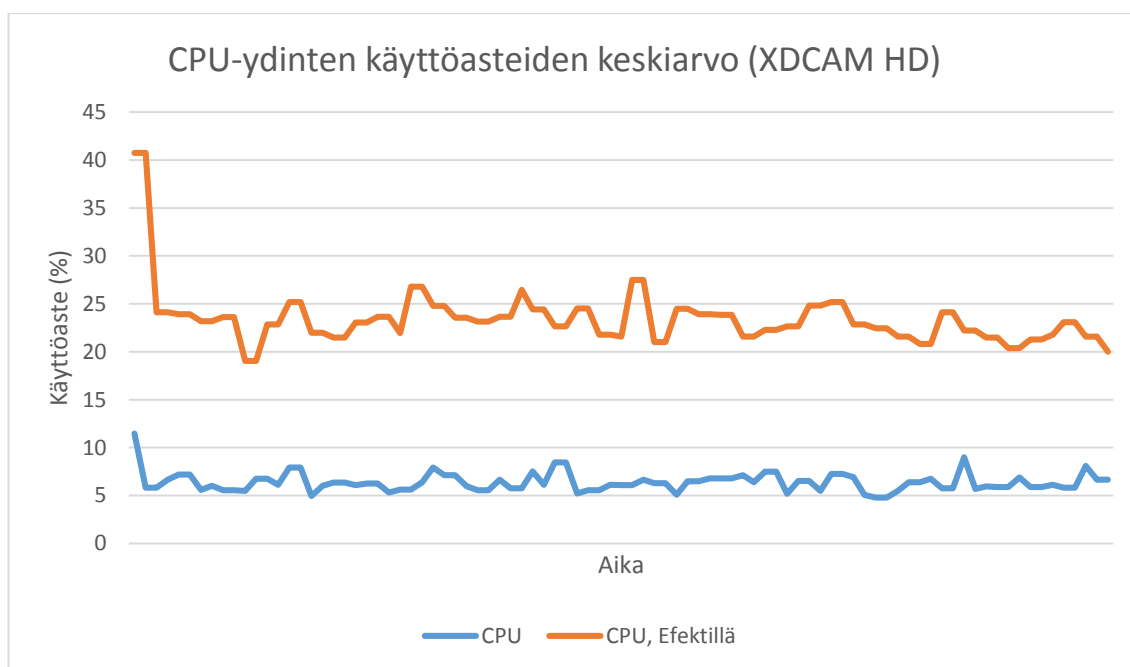
XDCAM EX oli kevyimmistä formaateista videon toistoon. Siinä on AVCHD-formaatin jälkeen alhaisin bittinopeus. XDCAM käyttää MPEG-2 Part 2 -enkoodausta, joka sopii editoitavaksi H.264:ää paremmin yksinkertaisemman enkoodausalgoritminsa puolesta, vaikka sekin on long-GOP -formaatti. Formaatti vaatii kuitenkin korkeamman bittinopeuden saavuttaakseen MPEG-4 AVC vastaavan laadun, etenkin alhaisilla bittinopeuksilla (Wilkinson 2014). Ultra Key nosti prosessorin käytön nelinkertaiseksi (kuva 16).



Kuva 16. Ultra Key'n vaikutus prosessorin käyttöön on huomattava.

4.2.7 XDCAM HD422

Kuten XDCAM EX:nkin kohdalla HD 422:lla on alhainen prosessorin käyttöaste, joka kuitenkin nelinkertaistui, kun videossa käytettiin Ultra Key -efektiä (kuva 17). Tämä vaikutti olevan MPEG-2 -formaatin ominaisuus, joten vertailin vielä tavallisen MPEG-2 -eksportin aiheuttamaa prosessorin kulutusta ja tulos oli sama.



Kuva 17. XDCAM HD422:n tulokset ovat hyvin XDCAM EX:n kaltaisia.

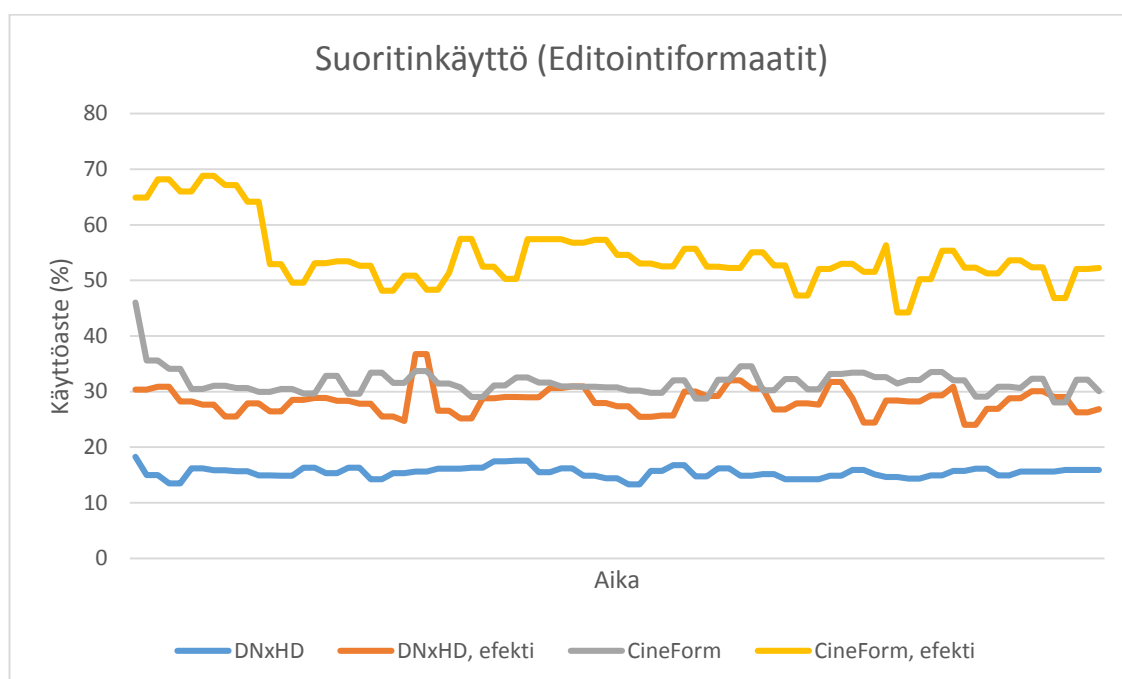
4.2.8 Editointiformaattiin transkoodaus

Editointiformaatit on kehitetty vähentämään tietokoneelta vaadittuja tehoja samalla säilyttäen mahdollisimman hyvän kuvanlaadun (Avid 2015). Hankintaformaatti on tällöin transkoodattava editointiformaattiin, mikä on oman aikansa vievä prosessi. Editointiformaatit ovat poikkeuksetta intra-frame-formaatteja, joissa hyvän pakkaussuhteen sijasta keskitytään dekodauksen nopeuteen (Butler 2010). Tämä tarkoittaa, että editointiohjelman on helppo lukea tiedostoa, mutta tiedostot ovat yleensä suuria.

Adobe Premierellä ei ole omaa editointiformaattia, mutta kun aiheeseen liittyviä foorumeita ja keskusteluita lukee, moni ehdottaa käytettäväksi GoPron CineForm -formaattia tai Avidin DNxHD -formaattia. Tutkimukseni on rajattu Windows-käyttöympäristöön, joten Applen kehuttu ProRes-formaatti jää vertailuni ulkopuolelle, sillä sen käyttö edellyttää OS X-käyttöjärjestelmän.

Efektien aiheuttama prosessorin käyttöasteen nousu oli DNxHD:n kohdalla 81 % ja CineFormin kohdalla 69 % (kuva 18). Vaikka näiltä formaateilta olisi saattanut

toivoa enemmän, nämä prosentit ovat paremmat kuin missään testaamassani hankintaformaattissa neljännekseen skaalattua REDCODEa lukuun ottamatta.



Kuva 18. Editointiformaattien vertailu.

Editointiformaatteja vertaillessa on otettava huomioon, miten kauan aikaa kyseiseen formaattiin transkoodaamisessa kului. Taulukkoon 2 olen listannut eri formaattien transkoodausajat.

Taulukko 2. Hankintaformaattien transkoodauksessa kulunut aika.

	REDCODE	H.264	XDCAM EX (MPEG2)
DNxHD	1m 48s	1m 43s	1m 43s
CineForm	3m 10s	2m 8s	2m 32s

Käytin REDCODE-videon transkoodaamiseen editointiformaattien kohdalla REDin omaa REDCINE-X -ohjelmistoa, koska Premierellä näissä transkoodauksissa kesti yli 15 minuuttia. Käyttämäni video oli kestoaltaan yhden minuutin ja 43 sekuntia pitkä, joten kevyempien formaattien kohdalla DNxHD-formaattiin transkoodaus tapahtui reaaliajassa. Tällöin XDCAM EX -formaatin keveydestä ei testikoneellani ollut hyötyä H.264 verrattuna. CineFormiin transkoodaus oli poikkeuksetta hitaampaa kuin DNxHD. CineFormilla MPEG2:n transkoodaus oli jostain syystä H.264:ää hitaampi.

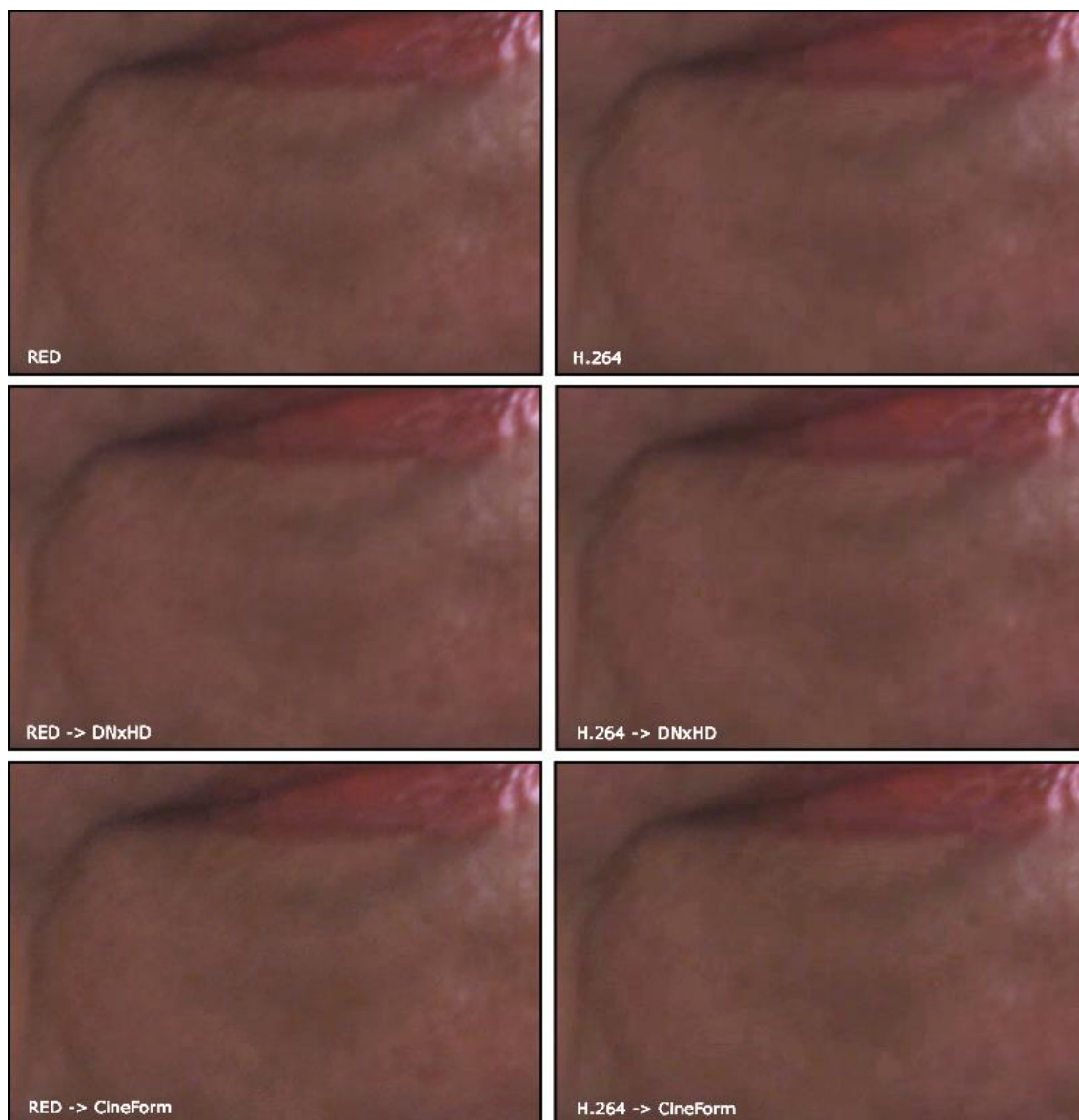
Myös transkoodatun tiedoston koko on hyvä huomioida vertailussa. Taulukkoon 3 olen luettellonut alkuperäisten videotiedostojen koot ja niiden editointiformaateihin transkoodattujen vastineiden koot:

Taulukko 3. Transkoodattujen tiedostojen tiedostokoot.

	RED	H.264	XDCAM EX (MPEG2)
Alkuperäinen	2 096 Mt	349 Mt	331 Mt
DNxHD	2 125 Mt	2 125 Mt	2 125 Mt
CineForm	2 380 Mt	1 998 Mt	2 627 Mt

Kuten transkoodausaikojenkin kanssa, DNxHD osoitti säännöllisyyttä pakattujen tiedostojen koossa. CineForm puolestaan käyttää Constant Quality Variable Bit Rate -pakkausta, eli tiedoston koko määräytyy videon sisällön mukaan niin, että videon kuvanlaatu pysyy samana koko videon ajan. Tämä ei kuitenkaan selitä H.264:n ja XDCAM EX:n eroa, sillä videoiden sisältö on formaatista riippumatta käytännössä sama. Videoissa ei myöskään ole niin merkittävää liikettä, että se selittäisi vaihteluita VBR-pakkauksessa. On mahdollista, että XDCAM EX:n pakkausartefaktien satunnainen liike on CineFormin koodekissa tulkittu nopeaksi liikkeeksi, joka vaatii korkeampaa bittinopeutta.

CineFormin eduksi on sanottava, että stillejä vertaillen huomaa, että REDCODEn pienet yksityiskohdat ovat CineFormissa kestäneet videon skaalaukselta 4K:sta teräväpiirtoon huomattavasti DNxHD:tä paremmin (kuva 19). Tämä saattaa johtua Wavelet-enkoodaukselle ominaisesta skaalautuvuudesta (RED 2012). DNxHD:n kohdalla kuva on skaalatessa hieman summentunut ja menettänyt alkuperäisen kuvan kohinaa. Kummankin editointiformaatin kohdalla vaikuttaa siltä, että transkoodauksessa menetettiin myös hieman väri-informaatiota ja CineFormin kohdalla kuvassa on hieman enemmän kontrastia. H.264:ää vasten DNxHD on lähes identtinen alkuperäiseen, kun taas CineFormin tuoma kontrasti korostaa alkuperäisen formaatin pakkausartefakteja.



Kuva 19. Transkoodaamisen jättämät arvet (kuva: Karelia Ammattikorkeakoulu).

4.2.9 CineForm

CineForm tukee 4K-enkoodausta, mutta testikoneellani 4K-muunnos ei suostunut pyörimään reaaliajassa lainkaan edes pienemmäksi skaalattuna. Tästä syystä sitä ei ole sisällytetty prosessorin käyttöastevertailuun. Kaikki tekemäni mittaukset ja havainnot viittaavat siihen, että CineFormin enkoodauksessa ja dekodauksessa on optimointiongelmia. Täydellä toistoresoluutiolla prosessorin käyttöaste ei käynyt edes 70 %:ssa. Epäilen, että tämä johtuu käyttämästäni Adobe Premieren versiosta. Adobe lisäsi virallisen CineForm tuen Premiereen

vasta syksyllä 2014 Adobe Premiere Pro CC 2014.1 -versiossa, eikä kyseinen tuki tullut käyttämäni Premieren CS6 -versioon. Adoben tukifoorumeilta löytyy myös valituksia, jotka yhdistävät huonon suorituskyvyn Windows-käyttöjärjestelmään eikä Premieren versioon. Minulla ei valitettavasti ole menetelmiä tai taitoa selvittää todellista syytä.

4.2.10 DNxHD

Eksportoin DNxHD-tiedostot koodekin parhailla asetuksilla mitä 25 fps videolle pystyi valitsemaan. Käyttötarpeen mukaan bittinopeuden voi valita 60 Mbps – 220 Mbps:n väliltä, bittisyvyyden 8- ja 10-bitin väliltä sekä alinäytteistämisen suhteen 4:2:0:n ja 4:4:4:n väliltä.

Toisin kuin CineForm, jossa kuvan resoluutiota ei ole rajoitettu, DNxHD on nimensä mukaisesti vain Full HD -formaatti. 4K:ta varten kehitetty DNxHR ei ole vielä yhteensopiva Adobe Premieren kanssa.

4.2.11 Yhteenveto

DVCPRO HD oli formaateista vanhin ja kevyin. Ultra Keyn kanssa prosessorin käyttö nousi vain kuuteentoista prosenttiin. DVCPRO HD on anamorfinen formaatti ja sen pikselitiheys on siis noin kolme neljännestä muiden HD formaattien resoluutiosta. Tämä ja yksinkertainen DCT-enkoodaus näkyy formaatissa heikoimpana kuvanlaatuna.

Seuraavaksi kevyimmät olivat XDCAM EX ja HD 422, joiden prosessorin käyttö erosi toisistaan vain parilla prosentilla. Näiden formaattien ero oli 15 Mbps ja alinäytteistämisen suhde. Filmmaker IQ:n (2013) mukaan 4:2:2 videon alinäytteistäminen edelleen suhteessa 4:2:0 pienentää bittivirtaa noin neljänneksellä, eli alinäytteistäminen saattaa tässä tapauksessa selittää eron bittinopeudessa.

Olin yllättynyt, miten hyvin Avidin DNxHD toimi leikkauskäytössä bittinopeuteensa nähden. Toisaalta sitä varten formaatti on kehitettykin. XDCAM-formaattien hyvät tulokset saivat minut lähes vakuuttuneeksi, että editointiformaatteja ei tarvita ja että videon leikkaus sen hankintaformaattissa on nopeinta ja järkevintä. DNxHD-formaatin käyttö esimerkiksi AVC-Intran sijasta vähentänee tarvetta renderöidä video yhtä usein. Tämä hyöty tulee kuitenkin levytilan kustannuksella.

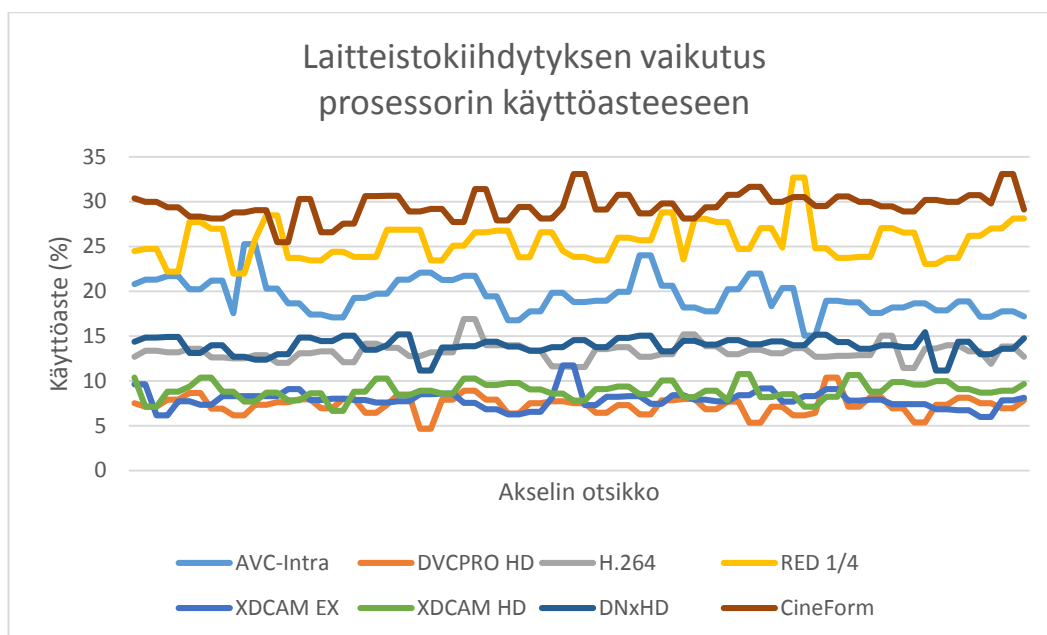
H.264-pohjaiset formaatit AVC-Intra 100 ja AVCHD alkavat olla siinä rajalla, että niitä ei mielellään käyttäisi leikkauksessa, jos leikattava projekti on vähänkään monimutkaisempi kuin vaikkapa uutisjuttu.

CineFormin ongelmat painoivat raskaina mittaustuloksissa. En halua sulkea CineFormia pois laskuista, sillä ongelmat saattoivat yhtä hyvin johtua testikokoonpanostani. Tästä syystä jätän CineFormin tarkastelun vähälle huomiolle ja formaatin tuomion lukijan vastuulle.

Viimeisenä on REDCODE-materiaali, joka voisi hyötyä DNxHD:n tai CineFormin kaltaisista leikkausformaateista. DNxHD on kuitenkin vain Full HD -formaatti ja CineFormilla saadut tulokset 4K-koossa olivat tutkimuksessani poikkeuksetta REDCODEn leikkausta natiivina huonommat. DNxHD:ta voisi hyvinkin käyttää niin sanottuna offline-formaattina. Suorituskyvyssä saavutettu hyöty RED-materiaaliin Full HD -resoluutiolla olisi huomattava.

4.2.12 Laitteiston kiihdytys

Näytönohjaimen laitteistokiihdytys tarkoittaa Premieressä sitä, että tietyt prosessorin laskutoimituksia voidaan sysätä tietokoneen näytönohjaimen taakaksi. Ilman laitteistokiihdytystä näytönohjain olisi tyhjänpanttina editoidessa. Laitteiston kiihdytys auttaa Premieressä kuitenkin vain tiettyihin laskutoimituksiin (kuva 20). Näihin kiihdytettyihin laskutoimituksiin kuuluvat muun muassa osa Premieren efekteistä, kuvan skaalaus, lomituksen poisto ja joitain muita videokuvan käsittelyyn liittyviä laskelmia. (Kopriva 2011.)



Kuva 20. Laitteistokiihdytyksen vaikutus.

Taulukkoon 4 on lueteltu formaattien mittaustulokset. XDCAM-formaatit hyötyivät laitteistokiihdytyksestä eniten. REDCODE puolestaan hyötyi toistoresoluution skaalauksesta enemmän kuin laitteistokiihdytyksestä. REDCODEn saavutettu hyöty laitteistokiihdytyksellä oli vain 4 %:n lasku prosessorin käyttöasteessa.

Taulukko 4. Keskimääräinen suoritinkäyttö: A = Ilman kiihdytystä ja efektiä, B = Efekti kiihdytyksellä, C = Efekti ilman kiihdytystä.

	AVC-Intra	DVCPRO HD	H.264	RED ¼	XDCAM EX	XDCAM HD	DNxHD	Cine-Form
A	16 %	5 %	10 %	22 %	5 %	6 %	16 %	32 %
B	20 %	7 %	13 %	27 %	8 %	9 %	14 %	30 %
C	34 %	16 %	29 %	28 %	22 %	24 %	29 %	54 %

5 Pohdinta

Olen tutkimuksessani mitannut, visualisoinut ja tulkinnut paljon dataa formaattien suoritinkäytöstä, visuaalisista virheistä sekä tilan käytöstä. Jotta tieto ei olisi vanhenevaa, minulle tärkeämpi tavoite oli ymmärtää formaattien olemusta yleisesti kuin benchmarkata yksittäisiä formaatteja, jotka saattavat seuraavana vuonna jo poistua käytöstä. Tämän ymmärryksen pohjalta halusin pystyä laatimaan ohje-
nuoria, miten erikokoisien tuotantojen tulisi valita tuotannossa käytettävät video-
formaatit.

Tuskailin pitkään tutkimusmenetelmieni kanssa. Oli vaikea keksiä tapa mitata formaattien ominaisuuksia ilman, että teksti muuttuisi ylitsepääsemättömän tekniseksi. Monesti tuntui, että olen haukannut liian suuren palan aihetta valitessani. Halusin kirjoittaa selvityksen, josta hyötyisi kaltaiseni medianomin alku. Sellaisia tekstejä ei löytynyt montaa. Olen kuitenkin tyytyväinen opinnäytetyöhöni siinä mielessä, että se täyttää aukon suomenkielisessä aiheeseen liittyvässä kirjallisuudessa.

Henkilökohtainen tarve tutkimukselle syntyi, kun hankin itselleni työkäyttöön uuden tietokoneen ja siihen Adoben Production Premium CS6 -paketin. Halusin selvittää, miten saan kaiken irti työskentelystäni. Täten opinnäytetyö myös rajautui käyttämiini työkaluihin eli Adobe Premieriin Windows-käyttöympäristössä. Opinnäytetyön tutkimuskysymys muuttui prosessin aikana monta kertaa, koska mitä enemmän aihetta tutki, sitä enemmän se herätti kysymyksiä.

Yksi ongelma, jonka kanssa kamppailin pitkään, oli mitä formaattien ominaisuuksista olisi tutkimukseni kannalta hyödyllistä vertailla. Hakemani tutkimusnäkökulman olisi palveltava ennen kaikkea media-alan työntekijöitä. Joitakin vertailusta pois jätettyjä ominaisuuksia, joita harkitsin sisällyttäväni vertailuun, olivat bittinopeuden vertailu ja kuvataajuus. Bittinopeus ei kuitenkaan sopinut vertailtavaksi, koska sen vaikutus esimerkiksi kuvanlaatuun oli formaattikohtainen. Bittinopeudella ei täten pitäisi olla vaikutusta mediatuotannon formaatin valintaan,

mitä kuvanlaatuun tulee, kunhan formaatti täyttää levityskanavan standardit muiden ominaisuuksien osalta. Bittinopeus kuitenkin vaikuttaa projektin tilankäyttöön, mikä on hyvä ottaa huomioon.

Kuvataajuus on puolestaan sellainen ominaisuus, jonka en usko muodostuvan pullonkaulaksi formaattia valittaessa. Televisiossa esitettävä ohjelma on alueesta riippuen joko 25 tai 30¹ kuvaa sekunnissa tai lomitettuna 50 ja 60² puolikuvaa sekunnissa. Kaikki tutkimuksen formaateista kykenivät näihin kuvataajuuksiin.

Ennen kaikkea halusin selvittää, miten optimoida työskentely projektin tarpeisiin. Jos mietitään vaikkapa nopeatempoista uutistuotantoa, laitteiden ja ohjelmistojen on toimittava sen mukaisesti. Samalla tuotanto tuskin tarvitsee kovin kummoista jälkituotantoa, kuten erikoistehosteita tai edes värimäärittelyä. Tällöin voidaan suosiolla jättää jälkituotantoon vaikuttavat suuret bittisyvydet pois kokotoketjusta.

Jos tuotanto puolestaan sisältää paljon jälkikäsitteilyä, hankintaformaatin korkealla bittisyvyydellä maksimoidaan videon käsiteltävyys. Materiaali on myös tärkeää pitää alkuperäisessä bittisyvydessä niin pitkään kuin mahdollista, koska jos materiaali, vaikkapa värimäärittelyä varten transkoodataan formaattiin, jossa on alhaisempi bittisyvyys, materiaalin muokattavuus kärsii. Bittisyvyyden vaikutusta videoeditointiin on hieman hankala havainnollistaa tekstissä, sillä videoeditointiohjelmat tyypillisesti antavat alhaisimpana bittisyvyyden vaihtoehtona 8-bittisen true colorin. Tämän lisäksi videoon tehtävät muutokset, kuten värimäärittely, on videossa vain projektin metatietona, ennen kuin video enkoodataan uudelleen. Videon pilaaminen vahingossa on siis tehty melko hankalaksi. Adobe Premieressä on myös videon transkoodauksen laadun parantamiseen tarkoitettu valinta ”Render at Maximum Depth”, joka pyrkii minimoimaan bittisyvyydestä johtuvat kuvan virheet (Adobe 2015c).

Värien alinäytteistäminen on toinen formaattien väriavaruuteen liittyvä ominaisuus, joka on hyvä ymmärtää, että voi huomioida sen vaikutukset omassa työssä.

¹ NTSC-standardin mukainen kuvataajuus merkataan 30 fps, mutta on todellisuudessa 29.97 fps (Shipsides 2009).

² NTSC-standardin mukainen 60 fps on todellisuudessa 59.94 fps (Shipsides 2009).

Tekemäni kuvien vertailu osoitti, että värien alinäytteistäminen kohdissa, joissa on suuri värien kontrasti, voi aiheuttaa päänvaivaa. Värien alinäytteistäminen on riippuvainen kuvan pikselitiheydestä ja uskon, että 4K- ja sitä suurempiin resoluutioihin mentäessä värien alinäytteistämisen merkitys kuvan käsiteltävyyteen vähenee.

Tutkimukseni suorituskykyä mittaavan osan tutkimushypoteesi oli, että hankintaformaatti kannattaa transkoodata editointia varten kehitettyyn editointiformaattiin, kuten DNxHD tai CineForm. Käyttämäni mittausmenetelmä osoittautui melko työlääksi, mikä puolestaan aiheutti sen, että jotkin mittaukset oli uusittava virheiden minimoimiseksi. Vaikka olen tyytyväinen mittaustulosteni tarkkuuteen, tuloksia ei tule ottaa absoluuttisina totuuksina jonkin yhden formaatin laskennallisesta vaativuudesta, vaan formaatteja tulisi tarkastella suhteessa toisiinsa, koska kaikki mittaukset on tehty yhdellä ja samalla tietokoneella. Mittaustuloksissa esiintyviin piikkeihin (Luku 4.2.4) on voinut vaikuttaa muutkin asiat kuin Premieren ja videoiden toiston aiheuttama rasitus. Käyttämäni mittausmenetelmä oli kuin seismografi kiikkerällä pöydällä, kun tietokoneen muut prosessit saattoivat ohi kulkiesaan kolautella varpaitansa pöydän jalkoihin. Pyrin minimoimaan tällaiset virheet sulkemalla kaikki ylimääräiset prosessit.

Jouduin rajaamaan tutkimukseni melko tarkasti opinnäytetyölle osoitetun aikarajan vuoksi. Mielenkiintoisia jatkotutkimuksen aiheita voisi olla, miten prosessorit ilman virtuaalisia ytimiä suoriutuvat vastaavanlaisista mittauksista. Olisin myös halunnut sisällyttää muut editointiohjelmat vertailuuni. Uskon, että hankintaformaattien kohdalla suorituskyky on jotakuinkin samaa luokkaa käyttöjärjestelmästä ja editointiohjelmistosta riippumatta. Editointiformaattien, kuten DNxHD:n käsittely, on todennäköisesti ainakin hieman tehokkaampaa Avidin Media Composerilla kuin Adobe Premierellä, koska kyseinen formaatti on Avidin kehittämä. Olisi mielenkiintoista myös tutkia, miten Applen ProRes-formaatti pärjää vertailussa.

Suorituskykyä mittaava tutkimukseni pystyy vastaamaan asettamaani tutkimuskysymykseen, että tilannekohtaisesti Adobe Premieren workflow voi tosiaan hyö-

tyä videon transkoodaamisesta niin sanottuun editointiformaattiin. DNxHD-formaatin laatu ei vaikuttanut kärsivän transkoodauksesta, kun videota ei joutunut skaalaamaan pienemmäksi. Tämän formaatin käyttö helpottaa tietokoneiden laskentataakkaa huomattavasti esimerkiksi projekteissa, jotka on kuvattu AVC-Intra ja AVCHD-formaateissa. Vertailussa käyttämäni DNxHD-materiaali oli enkoodattu ehkä turhankin vaativilla asetuksilla. Valitsin materiaalille bittinopeudeksi 185 Mbps ja värien bittisyvyydeksi 10 bittiä per kanava. Siitä huolimatta saamani tulokset olivat kyseisen formaatin käyttöön rohkaisevia. Alemmilla bittinopeuksilla formaatti voisi suorituskykyvertailussa vetää vertoja XDCAM-formaateillekin.

Myös RED-kameralla kuvattua materiaalia käyttävä workflow voisi hyötyä DNxHD:n käytöstä offline-leikkauksessa. Adoben Media Encoderilla 4K-materiaalin muuntaminen DNxHD-formaattiin teki kuvasta hieman sumean. Epäilen, että tämä johtuu Media Encoderin käyttämästä skaalausalgoritmista. Adobe Premieren eksportointiasetuksissa on kohta "Use Maximum Render Quality", joka Adoben Todd Koprivan (2010) mukaan parantaa kuvan skaalauksen laatua enkoodausajan kustannuksella.

Valitettavasti en pysty mittaustulosteni pohjalta sanomaan kovinkaan paljoa GoPron CineForm-formaatista, koska en saanut sitä toimimaan tarkoituksenmukaisesti. Tässä on tarvetta jatkotutkimukselle, koska käyttämäni Premieren versio ei pystynyt riittävän hyvin käsittelemään CineFormia. Tekemieni kuvanlaadun vertailujen perusteella CineForm kuitenkin päihitti DNxHD:n skaalauksen laadussa.

Suorituskykyvertailussa selvisi, että DVCPRO HD:n ja MPEG-2 -pohjaisten XDCAM EX- ja XDCAM HD 422 -formaattien käsittely vaatii niin vähän laskentatehoa tietokoneelta, että niiden transkoodaus johonkin toiseen formaattiin leikkauksikäyttöä varten tuntuu älyttömältä. Näiden formaattien kohdalla transkoodaamisesta on tarve puhua vasta levityskanavaa miettiessä.

Lähteet

- Adcock, G. 2014. Why is My Video Camera Only 8-Bit when My Still Camera is 24-bit? <http://creativeclouduser.com/understanding-bitdepth-part-1/>. 16.4.2015.
- Adobe. 2011. Video Learning Guide for Flash: NTSC and PAL video standards. http://www.adobe.com/devnet/flash/learning_guide/video/part06.html. 14.5.2015.
- Adobe. 2015a. Adobe Premiere Pro Help / Supported file formats. <https://helpx.adobe.com/premiere-pro/using/supported-file-formats.html>. 14.5.2015.
- Adobe. 2015b. Adobe After Effects Help / Keying. <https://helpx.adobe.com/after-effects/using/keying.html>. 16.5.2015.
- Adobe. 2015c. Adobe Premiere Pro Help / About effects. <https://helpx.adobe.com/premiere-pro/using/effects.html>. 20.5.2015.
- AfterDawn. 2015a. Sanasto. <http://fin.afterdawn.com/sanasto/>. 12.5.2015.
- AfterDawn. 2015b. Kuvasuhde. <http://fin.afterdawn.com/sanasto/selitys.cfm/kuvasuhde>. 13.5.2015.
- Apple. 2015a. Final Cut Pro X: About media formats and creating optimized media. <https://support.apple.com/en-us/HT202490>. 20.3.2015.
- Apple. 2015b. Compressor 3 User Manual: MPEG-2 Reference Information. <http://documentation.apple.com/en/compressor/usermanual/index.html#chapter=18%26section=5%26tasks=true>. 10.5.2015.
- Arri. 2015. ALEXA Plus Technical Data. http://www.arri.com/camera/alexaplus/cameras/camera_details/alexaplus/subsection/technical_data/. 20.3.2015.
- Avid. 2015. Avid DNxHR and DNxHD—Get Beauty Without the Bandwidth. <https://www.avid.com/US/industries/workflow/DNxHD-Codec>. 20.5.2015.
- BBC. 2015. Technical Standards for Delivery of Television Programmes to BBC. <http://www.bbc.co.uk/guidelines/dq/contents/television.shtml>. 2.5.2015.
- Butler, M. 2010. Video Compression: Why It Matters & How to Make the Most of It. Soundonsound.com. <http://www.soundonsound.com/sos/aug10/articles/video-compression.htm>. 20.3.2015.
- Filmmaker IQ. 2013. The Journey to Non-Linear Editing (Part 2). <https://www.youtube.com/watch?v=dhHQw5GrwxU>. 20.3.2015.
- Gates, C. 2013. The Anatomy of Chroma Subsampling. <http://www.videomaker.com/article/15788-the-anatomy-of-chroma-subsampling>. 20.3.2015.
- Graphics & Media Lab Video Group. 2012. MPEG-4 AVC/H.264 Video Codecs Comparison. Moskova: Moskovian yliopisto.
- Haskell, B., Puri, A., Netravali, A. 1996. Digital Video: An Introduction to MPEG-2. Lontoo: Chapman & Hall/CRC Press.
- Heywatch. 2015. Video Encoding. <http://www.heywatchencoding.com/what-is-video-encoding>. 20.5.2015.
- Kopriva, T. 2010. Some Details About Scaling in Premiere Pro CS5, CS5.5, CS6, and CC. <http://blogs.adobe.com/premierepro/2010/10/scaling-in-premiere-pro-cs5.html>. 16.5.2015.

- Kopriva, T. 2011. PremierePro. CUDA, OpenCL, Mercury Playback Engine, and Adobe Premiere Pro. <http://blogs.adobe.com/premiere-pro/2011/02/cuda-mercury-playback-engine-and-adobe-premiere-pro.html>. 14.5.2015.
- Microsoft. 2015. Codecs: Frequently Asked Questions. <http://windows.microsoft.com/en-us/windows/codecs-frequently-asked-questions#codecs-frequently-asked-questions=windows-7>. 20.3.2015.
- Monahan, K. 2014. Exporting Media with an Alpha Channel in Premiere Pro. <http://blogs.adobe.com/kevinmonahan/2014/02/13/exporting-media-with-an-alpha-channel-in-premiere-pro/>. 15.5.2015.
- Montgomery, C. 2010. A Digital Media Primer for Geeks. <http://www.xiph.org/video/vid1.shtml>. 10.5.2015.
- MPEG. 2015. The Moving Picture Experts Group: Welcome to MPEG. <http://mpeg.chiariglione.org/>. 23.5.2015.
- Nikulainen, K. 2007. Analogiset kanavat suljetaan lauantaina aamuyöllä. IT-Viikko. <http://www.itviikko.fi/uutiset/2007/08/29/analogiset-kanavat-suljetaan-lauantaina-aamuyolla/200720943/7>. 20.3.2015.
- Nuutinen, M. 2013. Kuvan ja videon tiivistys. Aalto-yliopisto. http://www.helsinki.fi/~msjnuuti/courses/t754100/luento4_kuvan-_ja_videontiivistys.pdf. 20.3.2015.
- Patterson, S. 2015. The Benefits of Working With 16-Bit Images In Photoshop. <http://www.photoshopessentials.com/essentials/16-bit/>. 15.5.2015.
- Peters, O. 2012. Digitalfilms. A Red Post Production Workflow. <https://digitalfilms.wordpress.com/2012/02/18/a-red-post-production-workflow/>. 21.5.2015.
- Poynton, C. 2008. Chroma Subsampling Notation. http://w.poynton.com/PDFs/Chroma_subsampling_notation.pdf. 20.3.2015.
- Red. 2012. Overview of the Redcode File Format. <http://www.red.com/learn/red-101/redcode-file-format>. 12.5.2015.
- Red. 2013. Chroma Subsampling Techniques. <http://www.red.com/learn/red-101/video-chroma-subsampling>. 20.3.2015.
- Red. 2015. Cinematography Tools: Recording Time. <http://www.red.com/tools/recording-time>. 2.5.2015.
- Richter, S. 2011. Converting and Editing AVCHD (.mts) Files on OSX. <http://www.therealtimeweb.com/index.cfm/2011/11/3/rewrapping-mts-avchd>. 10.5.2015.
- Shipsides, A. 2009. AbelCine. Making Sense of HD Formats and Frame Rates. <http://blog.abelcine.com/2009/12/23/hdformats-frequencies-and-frame-rates-for-producers/>. 20.5.2015.
- Sony. 2015. XDCAM EX Workflow. http://www.sonycreativesoftware.com/webhelp/vegaspro/12/ENU/Content/XDCAM_EX_Workflow.htm. 21.5.2015.
- Tallinnan yliopisto. 2014. Analoginen ja digitaalinen siirto. http://www.tlu.ee/~matsak/telecom/lasse/communication/analoginen_ja_digitaalinen_siirto.html. 20.3.2015.
- Usku, J. 2010. Videot sujuvasti maailmalle. Mikro PC 2010 (10). Helsinki: Talentum, 38-40.
- Wilkinson, S. 2014. Comparing MPEG-2, H.264, and H.265 Video Codecs at NAB 2014. <http://www.avsforum.com/forum/286-latest-industry->

news/1528750-comparing-mpeg-2-h-264-h-265-video-codecs-nab-2014-a.html#post24640395. 12.5.2015.

Yle. 2015. Common Specifications and Technical Requirements for High Definition Program Exchange. http://yle.fi/yleisradio/sites/default/files/yle_hd_programme_exchange.pdf. 20.3.2015.

MediaInfo-sovelluksen antamat metatiedot formaateittain

AVC-Intra 100

Format:	AVC
Commercial name:	AVC-Intra 100
Format profile:	High 4:2:2 Intra@L4.1
Format settings, CABAC:	No
Format settings, GOP:	N=1
Bit rate mode:	Constant
Bit rate:	114 Mbps
Width:	1 920 pixels
Height:	1 080 pixels
Display aspect ratio:	16:9
Frame rate:	25 fps
Color space:	Y'CbCr
Chroma subsampling:	4:2:2
Bit depth:	10 bits
Scan type:	Progressive
Bits/(Pixel*Frame):	2.193
Color primaries:	BT.709
Transfer characteristics:	BT.709
Matrix coefficients:	BT.709

AVCHD

Format:	AVC
Format profile:	High@L4
Format settings, CABAC:	Yes
Format settings, GOP:	M=3, N=12
Bit rate mode:	Variable
Bit rate:	20.6 Mbps
Maximum bit rate:	20.9 Mbps
Width:	1 920 pixels
Height:	1 080 pixels
Display aspect ratio:	16:9
Frame rate:	25 fps
Color space:	Y'CbCr
Chroma subsampling:	4:2:0
Bit depth:	8 bits
Scan type:	Progressive
Bits/(Pixel*Frame):	0.398

CineForm

Format:	CineForm
Bit rate mode:	Variable

Bit rate:	173 Mbps
Width:	1 920 pixels
Height:	1 080 pixels
Display aspect ratio:	16:9
Frame rate:	25 fps
Scan type:	Progressive
Bits/(Pixel*Frame):	3.328
Color primaries:	BT.709
Transfer characteristics:	BT.709
Matrix coefficients:	BT.709

DNxHD

Format:	VC-3
Commercial name:	DNxHD 185x
Format version:	Version 1
Bit rate mode:	Constant
Bit rate:	184 Mbps
Width:	1 920 pixels
Height:	1 080 pixels
Display aspect ratio:	16:9
Frame rate mode:	Constant
Frame rate:	25 fps
Color space:	Y'CbCr
Chroma subsampling:	4:2:2
Bit depth:	10 bits
Scan type:	Progressive
Bits/(Pixel*Frame):	3.540

DVCPRO HD

Format:	DV
Bit rate mode:	Constant
Bit rate:	97.8 Mbps
Encoded bit rate:	115 Mbps
Width:	1 440 pixels
Height:	1 080 pixels
Display aspect ratio:	16:9
Pixel aspect ratio:	1.33:1
Frame rate:	25 fps
Standard:	PAL
Color space:	Y'CbCr
Chroma subsampling:	4:2:2
Scan type:	Interlaced
Scan order:	Top Field First
Compression mode:	Lossy
Bits/(Pixel*Frame):	2.515

REDCODE RAW

Format:	REDCODE
Muxing mode:	R3D
Bit rate mode:	Variable
Bit rate:	177 Mbps
Width:	4 096 pixels
Height:	2 048 pixels
Display aspect ratio:	2.000
Frame rate mode:	Constant
Frame rate:	25.000 fps
Bit depth:	12 bits
Bits/(Pixel*Frame):	0.846

XDCAM HD 422

Format:	MPEG Video
Commercial name:	XDCAM HD422
Format version:	Version 2
Format profile:	4:2:2@High
Format settings, GOP:	M=3, N=12
Bit rate:	50.0 Mbps
Width:	1 920 pixels
Height:	1 080 pixels
Display aspect ratio:	16:9
Frame rate:	25.000 fps
Standard:	Component
Color space:	Y'CbCr
Chroma subsampling:	4:2:2
Bit depth:	8 bits
Scan type:	Progressive
Compression mode:	Lossy
Bits/(Pixel*Frame):	0.965
Color primaries:	BT.709
Transfer characteristics:	BT.709

XDCAM EX

Format:	MPEG Video
Commercial name:	XDCAM HD 35
Format version:	Version 2
Format profile:	Main@High
Format settings, GOP:	M=3, N=12
Bit rate:	35.0 Mbps
Width:	1 920 pixels
Height:	1 080 pixels
Display aspect ratio:	16:9

Frame rate:	25.000 fps
Standard:	Component
Color space:	Y'CBCR
Chroma subsampling:	4:2:0
Bit depth:	8 bits
Scan type:	Progressive
Compression mode:	Lossy
Bits/(Pixel*Frame):	0.675
Color primaries:	BT.709
Transfer characteristics:	BT.709

Testikoneen ominaisuudet

Proessori	Intel Haswell i7-4771, LGA1150, 3.5GHz, 8MB
Emolevy	Asus Sabertooth Z87, LGA1150, Intel Z87, DDR3, ATX
Näytönohjain	Asus NVIDIA GeForce GTX 770 DirectCU II OC, 2GB GDDR5
Muisti	Kingston HyperX 2x4GB, DDR3 1600MHz, CL9
Käyttöjärjestelmä	Microsoft Windows 7 Home Premium
Kiintolevy(t)	<ol style="list-style-type: none">1. Kingston 120GB HyperX 3K SSD-kiintolevy, SATA III, 2.5", 552. Western Digital 2TB Caviar Black, SATA III, 7200RPM, 64MB