

Tero Anttila

Digitaalinen videotuotanto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Mediatekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

14.4.2016

Tekijä Otsikko	Tero Anttila Digitaalinen videotuotanto
Sivumäärä Aika	59 sivua + 2 liitettä 14.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Mediatekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Digitaalinen media
Ohjaajat	Viestintäasiantuntija Ulla Ala-Ketola Yliopettaja Erkki Rämö
<p>Insinööriyössä tuotettiin asiakkaalle digitaalista videotekniikkaa käyttäen videoelokuva verkkopohjaiseen videonjakopalveluun ja esitettäväksi yleisötilaisuuksissa. Työssä tutkittiin samalla digitaalisten kuva- ja äänijärjestelmien toimintaa, standardeja digitaaliselle kuvalle ja äänelle sekä videon- ja äänenpakkausta tiedostopohjaisessa tallennuksessa. Työn tavoitteena oli saada kattava kokonaiskuva digitaalisen videotuotannon suunnittelusta, itse tuotantovaiheesta ja HD-videon työasemapohjaisesta jälkikäsitteystä järjestelmävaatimuksiin.</p> <p>Tuotanto suunniteltiin yhdessä asiakkaan kanssa, joka laati videoelokuvan käsikirjoituksen ja toimitti osan kuvituskuvina käytetystä raakamateriaalista. Kuvaus- ja äänityskalusto valittiin asiakkaan vaatimusmäärittelyn mukaisesti. Tuotannon valaisu toteutettiin LED-tekniikkaan perustuvilla kuvausvalaisimilla. Itse videoelokuva kuvattiin 1080i-resoluution teräväpiirtovideoformaattissa, ja raakamateriaali tallennettiin P2-muistikorteille Material Exchange Format -tiedostoihin.</p> <p>Jälkituotantovaiheessa videoelokuva editoitiin, videokuva värikorjattiin ja elokuvan äänet jälkikäsiteltiin työasemapohjaisilla jälkikäsitteilyohjelmilla. Animoitujen grafiikkakompositiot tehtiin myös tietokoneohjelmalla. Videoelokuvaan liitetty grafiikka toteutettiin asiakkaan toimittamien graafisten ohjeiden mukaisesti. Valmiista videoelokuvasta koodattiin kaksi tiedostoa, joissa pakkausmenetelminä käytettiin MPEG-2-videonpakkausta ja MPEG-1 Layer II -äänienpakkausta sekä H.264-videonpakkausta ja AAC-äänienpakkausta.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena syntyi videoelokuva, jossa esitellään asiakkaan hankkeen keskeinen sisältö lukijan äänen kertomana sekä hankkeen yhteydessä toteutetut toimenpiteet ja niiden vaikutukset graafisesti. Video sisältää kaksi haastattelua ja erilaisia kuvituskuvia hankkeen sisällöstä.</p>	
Avainsanat	videotuotanto, digitaalinen video, videojärjestelmät, pakkausmenetelmät, editointi, äänenkäsitely, kompositiot

Author Title	Tero Anttila Digital video production
Number of Pages Date	59 pages + 2 appendices 14 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Media Technology
Specialisation option	Digital Media
Instructors	Ulla Ala-Ketola, Communication Specialist Erkki Rämö, Principal Lecturer
<p>The aim of this thesis is to explore digital video and audio systems, standards for digital video and audio, and compression in digital file-based recording. The purpose of the project was to use digital technology to produce a video film for a customer for a network video sharing service and presentation at events. The goal was to get a comprehensive overview of digital video production planning, standards for digital video and audio as well as video and audio compression in file-based recording.</p> <p>The video production was planned together with the customer, who produced a video film script and provided some of the footage used in the video film. The recording and sound equipment was chosen according to the customer's requirements specification. Lighting was implemented using lamps based on LED technology. Video footage was recorded in HD video format of 1080i resolution on P2 memory cards in Material Exchange Format files.</p> <p>In the post-production phase video material was edited and colour corrected as well as audio edited using workstation-based post-processing software. Animated compositions were also produced using a computer software. Graphics were done in accordance with the graphic instructions supplied by the customer. Finally, two video files were encoded in which the compression methods used were MPEG-2 video compression in combination with MPEG-1 Layer II audio compression and H.264 video compression in combination with AAC audio compression.</p> <p>The result of this project was a video film, where the most important details of the customer's project are narrated, and where the measures taken in connection with the project and their effects are shown graphically. The video includes two interviews, as well as a variety of images of the customer's project.</p>	
Keywords	video production, digital video, video systems, compression, editing, audio editing, compositions

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Digitaalinen kuva ja ääni	2
2.1	Digitaalinen prosessi	2
2.2	Digitaalinen videokuva	4
2.2.1	Videosignaali	4
2.2.2	Resoluutio, kuvanopeus ja kuvasuhde	6
2.2.3	Värijärjestelmä	9
2.2.4	Mittauslaitteet	13
2.2.5	Tallennusmuodot ja kompressointi	16
2.3	Digitaalinen ääni	22
2.3.1	Digitointi ja tallennus	22
2.3.2	Mittauslaitteet	24
3	Videotuotannon suunnittelu	25
3.1	Tuotannon vaiheet ja projektinhallinta	25
3.2	Käsikirjoitus ja kuvaussuunnitelma	27
3.3	Laitteistomäärittely	28
4	Videoelokuvan tuotantovaihe	29
4.1	Kuvaaminen	29
4.2	Äänittäminen	35
5	Videoelokuvan jälkituotanto	36
5.1	Työasema ja ohjelmistot	36
5.2	Editointi	38
5.3	Grafiikka ja animaatiot	47
5.4	Äänenkäsittely	51
5.5	Valmiin videoelokuvan julkaiseminen	53
6	Yhteenveto	55
	Lähteet	58

Liitteet

Liite 1. Valmiin videoelokuvan tekniset tiedot

Liite 2. Tuotannon resursointi ja aikataulutuksen jakaaviona

Lyhenteet

AAC	<i>Advanced Audio Coding</i> . Äänenpakkausmenetelmä.
AES	<i>Audio Engineering Society</i> . Kansainvälinen äänitysalan yhteenliittymä, joka on julkaissut erilaisia audiostandardeja.
AVCHD	<i>Advanced Video Codec High Definition</i> . Sonyn ja Panasonicin kehittämä digitaalisen teräväpiirtovideon tallennusformaatti.
BNC	<i>Bayonet Neill-Concelman</i> . Koaksiaalikaapeleissa käytettävä liitin.
CCD	<i>Charge-coupled device</i> . Kameroiden kuvantamislaitteena käytetty valoherkkä kenno.
CMOS	<i>Complementary metal oxide semiconductor</i> . Mikropiiriteknikka, joka perustuu kanavatransistoreihin.
DVI	<i>Digital Visual Interface</i> . Digitaalisten näyttölaitteiden liitännäraajapinta.
GOP	<i>Group of pictures</i> . I-, P- ja B-kuvien ryhmä MPEG-videonpakkausmenetelmässä.
HD	<i>High-definition</i> . Teräväpiirto.
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i> . Digitaalisten videolaitteiden liitännäraajapinta.
HDV	<i>High-Definition Video</i> . JVC:n kehittämä kuluttajakäyttöön tarkoitettujen teräväpiirtokameroiden digitaalinen tallennusformaatti.
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> . Kansainvälinen sähköalan standardisointiorganisaatio.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> . Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.

ISO	<i>International Organization for Standardization.</i> Kansainvälinen standardisointiorganisaatio.
ITU	<i>International Telecommunication Union.</i> Kansainvälinen televiestintäliitto.
JPEG	<i>Joint Photographic Experts Group.</i> Kuvanpakkausmenetelmien kehittäjäryhmä, joka on julkaissut JPEG-kuvanpakkausstandardeja.
LED	<i>Light-emitting diode.</i> Valoa säteilevä hohtodiodi.
NTSC	<i>National Television System Committee.</i> Pohjois-Amerikassa, Japanissa ja joissain Etelä-Amerikan maissa käytetty analoginen video- ja televisiojärjestelmä.
MPEG	<i>Moving Pictures Experts Group.</i> Videonpakkausmenetelmien kehittäjäryhmä, joka on julkaissut useita versioita MPEG-videopakkauksesta.
MXF	<i>Material Exchange Format.</i> SMPTE:n määrittelemä tiedostomuoto, joka sisältää video- ja audiodataa.
OECF	<i>Opto-electronic conversion functions.</i> Optoelektroniset muuntofunktiot.
PAL	<i>Phase Alternate Line.</i> Euroopassa, Australiassa ja joissain Aasian, Afrikan ja Etelä-Amerikan maissa käytetty analoginen video- ja televisiojärjestelmä.
PCM	<i>Pulse code modulation.</i> Pulssikoodimodulaatio.
PLUGE	<i>Picture line up generating equipment.</i> Näyttölaitteiden kirkkauden ja kontrastin säätämiseen käytetty harmaasävykuvio.
PNG	<i>Portable Network Graphics.</i> Bittikarttakuvien häviötön tallennusformaatti.
RGB	<i>Red, green, blue.</i> Videon värijärjestelmän päävärit eli punainen, vihreä ja sininen.
SD	<i>Standard definition.</i> Standardipiirto.

- SDI *Serial digital interface*. SMPTE:n määrittelemä rajapinta video- ja audiosignaalin siirtämiseksi koaksiaalikaapelissa.
- SECAM *Séquentiel Couleur Avec Mémoire*. Ranskassa, Venäjällä ja joissain Itä-Euroopan, Afrikan ja Aasian maissa käytetty analoginen video- ja televisiojärjestelmä.
- SMPTE *Society of Motion Picture and Television Engineers*. Kansainvälinen yhdenliittymä, joka on julkaissut muun muassa erilaisia videostandardeja.
- UHD *Ultra-high definition*. 4K- ja 8K-videojärjestelmien yleisnimitys.

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on tuottaa Suomen ympäristökeskukselle Hiilineutraalit kunnat (HINKU) -hankkeen esittelyä varten videoelokuva. HINKU-hanke on Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2013 käynnistämä ilmastonmuutoksen hillintään tähtäävä hanke, johon liittyneet kunnat ovat sitoutuneet tavoittelemaan päästövähennyksiä. HINKU-verkostoon kuuluu ilmastoystävällisiä tuotteita ja palveluita tarjoavia yrityksiä sekä energia- ja ilmastoalan asiantuntijoita. Hanketta esittelevä videoelokuva on tarkoitettu verkkojakeiluun ja esitettäväksi yhteistyökumppaneille eri tilaisuuksissa.

Työssä tutkitaan digitaalisen kuvan ja äänen teknologiaa ja standardeja, videoelokuvan tuotantoprosessia sekä digitaalisen videon ja äänen jälkikäsittelyyn käytettäviä tietokoneohjelmistoja. Tarkoituksena on saavuttaa hyvä tuotantoprosessin tunteminen, video- tuotantoprojektin työvälineiden hallinta sekä näkemys asiakaslähtöisten videotuotantojen tehokkaasta suunnittelusta ja toteutuksesta.

Videotuotanto suunnitellaan yhdessä asiakkaan kanssa. Tuotettavan videoelokuvan pituudeksi on määriteltä 3–5 minuuttia, ja siihen on päätetty sisällyttää kaksi haastattelua, lukijan ääni, taustamusiikki sekä grafiikkaa, josta osa animoidaan. Asiakas tekee videoelokuvan alustavan käsikirjoituksen ja toimittaa osan videoelokuvan kuvitukseen käytettävästä kuvamateriaalista. Haastatteluosuudet ja osa kuvituskuvista kuvataan insinööriyön tekemisen yhteydessä. Videotuotannon pääasiallinen mediamuoto on verkkotuotanto, mutta videoelokuva on tarvittaessa esitettävissä myös esimerkiksi kokoustiloissa.

Videotuotanto kuvataan, editoidaan ja julkaistaan HD-tasoisena 1080i-videoformaatissa. Videoelokuvan kuva ja ääni jälkikäsittellään työasemapohjaisia editointi- ja jälkikäsittelyohjelmistoja käyttäen. Jälkikäsittelyvaiheessa videoelokuva editoidaan valmiiksi ja siihen tehdään tarvittavat värikorjaukset. Videoon liitetään myös selostus ja taustamusiikki. Otsikkotekstien lisäksi videoon tehdään animoidut grafiikkakompositiot, joilla esitetään HINKU-hankkeen toimenpiteiden vaikutukset ja hankkeeseen liittyneet kunnat. Valmis videoelokuva koodataan sekä videonjakopalvelua että yleisötilaisuuksissa esittämistä varten ja toimitetaan asiakkaalle tiedostomuodossa tietoverkon kautta.

2 Digitaalinen kuva ja ääni

Kameran linssiin heijastuva valo ja mikrofoniin tuleva ääni ovat analogisia jatkuvia aaltoja, jotka sisältävät rajattoman määrän arvoja. Digitaalisessa järjestelmässä, kuten tietokoneessa, tieto taas käsitellään, siirretään ja tallennetaan täsmällisinä lukuarvoina.

2.1 Digitaalinen prosessi

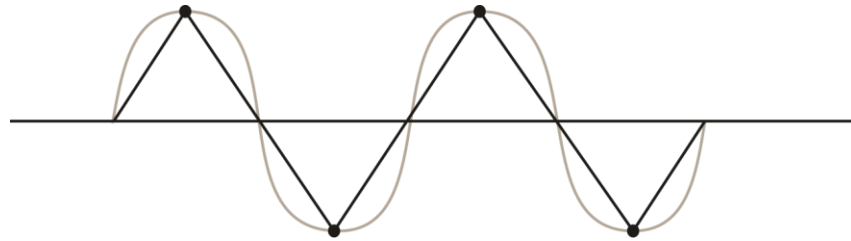
Digitaaliset järjestelmät perustuvat binäärilukujärjestelmään, jossa binäärinumero eli bitti voi olla arvoltaan vain joko 1 tai 0. Nämä kaksi arvoa eli tilaa ovat elektronisessa laitteessa kaksi eri jännitetasoa. Koska bitillä voi olla vain kaksi vaihtoehtoista arvoa, täytyy kahta suuremmat luvut esittää käyttämällä useita bittejä. Vaihtoehtoisten tilojen määrä kasvaa eksponentiaalisesti bittejä lisättäessä, joten esimerkiksi kahdeksalla bitillä voidaan esittää 256 eri tilaa, koska $2^8 = 256$. Vastaavasti 16 bitillä voidaan esittää 65536 tilaa, koska $2^{16} = 65536$. [Luther & Inglis 1999: 46–47.]

Kun rajattomasta määrästä arvoja koostuva analoginen siniaalto muutetaan digitaaliseen muotoon binääriluvuilla esitettäväksi, täytyy asteikkoa rajoittaa rajalliseen määrään arvoja. Signaalin digitointiprosessi itsessään koostuu näytteenotosta ja kvantisoinnista. Näytteenotossa analogisesta signaalista otetaan määrätyn ajan välein näyte, ja kvantisoinnissa määritellään varsinainen tallennettava numeerinen arvo. Mitä enemmän bittejä käytetään, sitä laajempi on myös käytössä oleva asteikko ja lopputuloksena vastaavasti tarkempi digitaalinen esitys analogisesta aallosta. [Weise & Weynand 2007: 111–117.]

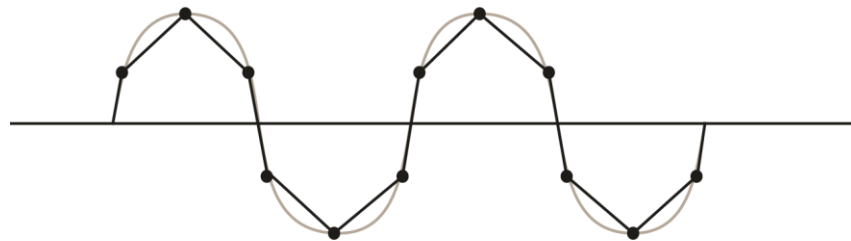
Kameran kuvantamislaitte muuntaa valon sähköiseksi signaaliksi, josta otetuista näytteistä muodostetaan digitaalisen kuvan kuvapisteet eli pikselit. Kuvantamislaitteen pinnalle tulevasta valosta otetaan näyte kuva-alan jokaista pikseliä kohden. Koska video muodostuu useista peräkkäin esitetyistä kuvista, täytyy videon näytteenotto tehdä myös ottamalla ajassa peräkkäin erillisiä kokonaisia kuvia. Vastaavalla tavoin mikrofonin signaalista otetaan määrääjain näyte, joka muutetaan ääntä vastaavaksi digitaaliseksi lukuarvoksi.

Digitaaliset video- ja audiosignaalit ovat siis analogisten siniaaltojen digitaalinen esitys, jotka muodostetaan ottamalla analogisista aalloista tietyin aikaväleihin näytteitä ja määrittämällä näytteelle numeroarvo. Näytteenottotaajuuden on oltava tarpeeksi korkea, jotta

digitaalinen esitys kuvaa riittävän tarkasti analogista aaltoa (kuva 1). Nyquistin teoreeman mukaan näytteenottotaajuuden on oltava ainakin kaksi kertaa korkeampi kuin alkuperäisen signaalin taajuus, jotta signaalista otettujen näytteiden perusteella voidaan tuottaa uudelleen alkuperäistä vastaava signaali. [Waggoner 2010: 16–17.]



Kuvio, joka muodostuu, kun neljä näytettä on otettu.



Kuvio, joka muodostuu, kun kaksitoista näytettä on otettu.

●	= Näytteenottopiste
—	= Siniaalto
—	= Näytteistä muodostuva aalto

Kuva 1. Signaalin näytteenottotaajuuden vaikutus näytteistä muodostuvaan digitaaliseen esitykseen [Weise & Weynand 2007: 113].

Digitaalinen esitys on siis tietyn väliajoin otettuja näytteitä kuvaavia numeroita, jotka kuvaavat kuvan valon ja värin tai äänen taajuuden ja voimakkuuden senhetkistä tasoa. Koska bitin arvo voi olla ainoastaan 0 tai 1, tarvitaan kuvan tai äänen esittämiseen digitaalisesti aina useita bittejä. Jos kuvan yhden pikselin kirkkauden esittämiseen käytetään esimerkiksi 8 bittiä, voidaan niillä teoriassa esittää yhteensä 256 kirkkaustasoa. 8 bitin ryhmää kutsutaan myös tavuksi. Äänen näytteenotossa käytetään useimmiten 16 bittiä, joilla voidaan esittää yhteensä 65536 eri tasoa.

Televisio ja radio perustuvat alun perin analogiseen tekniikkaan, joten sähköiset video- ja audiosignaalit ovat kaikki alun perin olleet analogisia, samoin kuin kuvan ja äänen tallennus magneettinauhoille. Digitaaliseen tekniikkaan ja teräväpiirtovideoon on siirrytty

vähitellen tekniikan kehittyessä. Digitaalisen siirron ja tallennuksen eräänä tärkeimpänä etuna on aineiston säilyminen muuttumattomana kopioitaessa. Analogisen tallenteen kopia on aina hieman muuttunut alkuperäiseen verrattuna, mistä seuraa laadun heikkenemistä. Digitaalisuus myös mahdollistaa kuvan ja äänen käsittelemisen helposti tietokoneella ja näin ollen nopeamman työnkulun jälkituotantovaiheessa.

2.2 Digitaalinen videokuva

Digitaalinen videokuva on kehitetty pitkälti analogisen television ominaisuuksien pohjalta. Tämä tarkoittaa, että digitaalisen videokuvan kuvanopeudet ja osittain myös käytetyt resoluutiot periytyvät analogisesta videokuvasta. Digitaalinen video koostuu filmin tavoin peräkkäin esitetyistä kuvista. Jokainen kuva taas koostuu kuvapisteistä eli pikseleistä. Kuvien esitysnopeutta kutsutaan kuvanopeudeksi ja kuvan erotuskykyä resoluutioksi. Digitaalisista videojärjestelmistä käytetään yleisesti nimityksiä SD (*standard definition*), HD (*high-definition*) ja UHD (*ultra-high definition*) riippuen videokuvan resoluutiosta.

2.2.1 Videosignaali

Nykyään digitaalinen signaali muodostetaan jo kamerassa, joissa A/D- eli analoginen–digitaalinen-muunnos tehdään sisäisesti. Ennen käytettiin erillisiä A/D-muuntimia, joilla analoginen videosignaali muunnettiin digitaaliseksi. Nykyisissä kameroissa ja videolaitteissa on video- ja audiosignaalin digitaalinen uloslähtö. Videokamerat tämän lisäksi myös nykyään tallentavat kuvan ja äänen digitaalisessa muodossa.

Videosignaaleja on pääasiassa kahdenlaisia: komposiitti- ja komponenttisignaaleja. Komposiittivideosignaali koostuu lumasignaalista, värierosignaaleista ja synkronoinista, jotka kulkevat samassa kaapelissa. Komponenttivideossa lumasignaali ja värierosignaalit siirretään erillään, joskin digitaalisessa muodossa samassa siirtotiessä esimerkiksi sarjamuotoisena. Videokuva siirretään laitteiden välillä nykyisin yleensä $YCbCr$ -muotoisena sarjadigitaalisignaalina. [Weise & Weynand 2007: 108–120.]

Alkuperäinen analoginen videokuva on jaettu kahteen kenttään välkkymisen vähentämiseksi. Esimerkiksi Euroopassa käytetyn PAL (*Phase Alternate Line*) -videojärjestelmän kenttätaajuus on sähköverkon taajuuden mukaisesti 50 Hz. Jokainen kuva koostuu

kahdesta kentästä, joten videon kuvanopeus on 25 kuvaa/s. Analogisten video- ja televisiojärjestelmien käytössä on ollut eroja alueittain. Euroopassa, osissa Aasiaa, Afrikkaa ja Etelä-Amerikkaa sekä Australiassa on käytetty PAL-järjestelmää, kun vastaavasti Pohjois-Amerikassa, Japanissa ja joissain Etelä-Amerikan maissa käytetty järjestelmä on NTSC (*National Television System Committee*). Ranskassa, Venäjällä ja joissain Itä-Euroopan, Afrikan ja Aasian maissa on käytetty SECAM (*Séquentiel Couleur Avec Mémoire*) -järjestelmää. Lisäksi näistä kaikista on ollut käytössä hieman eri versioita. [Weise & Weynand 2007: 122.]

Analoginen videosignaali on yhden voltin huipusta huippuun. Analogisen komposiittivideosignaalin tasoa mitataan IRE (*Institute of Radio Engineers*) -yksiköissä. Aaltomuotona näytössä videosignaali on -40:n ja 100 IRE-yksikön välillä ja varsinainen PAL-videokuva 0:n ja 100 IRE-yksikön välillä. [Poynton 2012: 381–382.] IRE-yksiköt muutetaan 8-bittisen digitaalisen videon koodeiksi kaavalla 1 [Poynton 2012: 45].

$$V = 16 + 219 \times \frac{IRE}{100} \quad (1)$$

Kun digitaalinen videosignaali on kvantisoitu 8-bittisenä, saadaan teoriassa jokaiselle komponentille 256 kirkkausastetta. Käytännössä 8-bittisellä kvantisoinnilla videosignaalin lumakomponentin referenssimusta on kooditaso 16 ja huippuvalkoinen 235, joten mustan ja valkoisen välillä on 219 tasoa. Koodit, joiden arvo on alle 16 ja yli 235, jätetään vapaiksi. Koodit 0 ja 255 on käytetty synkronointiin. Värikomponenttien koodialue on vastaavasti 16–240. Studiolaitteista käytetään usein 10-bittistä koodausta, jolloin musta on koodi 64 ja valkoinen 940. [Poynton 2012: 429.] 10-bittisessä videosignaaliissa on siis joka komponentille 876 tasoa.

Analogisissa videojärjestelmissä videokuvan mustan taso on videosignaaliissa määritetty eri tavoin. NTSC-järjestelmässä videokuvan mustan taso on 7,5 IRE-yksikköä [Jack 2007: 260]. Ohjelmistojen asetuksissa käytetään tästä usein merkintää 7,5 %. PAL-järjestelmässä mustan taso on 0 IRE-yksikköä [Jack 2007: 283]. Tämä seikka on huomiotava videokuvan siirrossa eri järjestelmien välillä, sillä laitteiden ja ohjelmistojen asetukset on määritettävä yleensä käsin.

Digitaalisen signaalin siirtoon laitteiden välillä käytetään useimmiten SMPTE 259M -standardin mukaista sarjadigitaaliliitintä, joka tunnetaan myös SDI (*Serial Digital Inter-*

face) -liitäntänä. Sen suurin tiedonsiirtonopeus on 360 Mb/s 10-bittisellä videon koodauksella. Uudempi SMPTE 292M -standardin mukainen HD-SDI-liitäntä on tarkoitettu HD-videokuvan siirtoon. Sen suurin tiedonsiirtonopeus on 1,485 Gb/s. Molemmat ovat yksisuuntaisia, ja kummassakin käytetään BNC (*Bayonet Neill-Concelman*) -liittimillä varustettuja 75 Ω :n koaksiaalikaapeleita. Sarjadigitaalisygnäali on mahdollista jakaa usealle laitteelle jakovahvistimella. Joissain kameroissa ja nauhureissa on IEEE 1394 -standardin mukainen liitäntä, joka tunnetaan myös nimellä FireWire. Se on kaksisuuntainen ja mahdollistaa usean laitteen liittämisen samaan väylään. [Luther & Inglis 1999: 68.]

Muita digitaalisia videolaitteiden liitäntärajapintoja ovat DVI (*Digital Visual Interface*) ja HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*). DVI on tarkoitettu lähinnä näyttölaitteiden ja projektorien liittämiseen. DVI on myös yhteensopiva HDMI:n kanssa. HDMI tukee versiosta 1.4 alkaen 2160p-videokuvaa, 3D-videota ja monikanavaääntä. [Tekalp 2015: 77.] DVI-liitäntän voi muuntaa HDMI-liitäntäksi käyttämällä sovitinta tai HDMI-DVI-kaapelia. Molempia liitäntöjä varten on lisäksi olemassa erillisiä jakajia, joiden avulla signaali voidaan jakaa usealle laitteelle.

2.2.2 Resoluutio, kuvanopeus ja kuvasuhde

Videokuvalla on tiettyjä yleisiä teknisiä ominaisuuksia, jotka ovat kuvan resoluutio ja kuvasuhde sekä kuvanopeus. Resoluutio määrittää videokuvan pikselien määrän ja kuvasuhde kuva-alan muodon. Kuvanopeus on videokuvan peräkkäisten kuvien esitysnopeus sekunnissa. Resoluutio, kuvasuhde ja kuvanopeus muodostavat yhdessä kokonaisuuden, joka on niin sanottu videostandardi. Video- ja televisiokuvaan liittyviä standardeja ja suosituksia ovat kehittäneet ITU-R (*International Telecommunication Union Radiocommunication Sector*) ja SMPTE (*Society of Motion Picture and Television Engineers*). Vanhemmat digitaaliset videostandardit pohjautuvat aiemmin mainittuihin analogisiin videojärjestelmiin, kuten PAL ja NTSC.

Resoluutio

Kuvan resoluutio ilmoitetaan kuvapisteinä eli pikseleinä. Resoluutio on kuvan pikselien määrä vaakasuunnassa kertaa pikselien määrä pystysuunnassa. Yleisesti puhutaan SD- ja HD-resoluutioista, jolloin tarkoitetaan Standard definition -videokuvaa ja High-definition-videokuvaa. HD-televisiosta käytetään myös nimitystä teräväpiirtotelevisio. SD-re-

soluutiot, kuten 576i ja 480i, vastaavat analogisten PAL- ja NTSC-videojärjestelmien juovamääriä. HD-videokuvan resoluutio voi olla 1280×720 (720p) tai 1920×1080 (1080i ja 1080p) pikseliä. Ultra-high definition- eli UHD-videokuvan resoluutio voi olla joko 3840×2160 (2160p eli 4K-televisio) tai 7680×4320 (4320p eli 8K-televisio) pikseliä. [Tekalp 2015: 76–77.] ITU-R-standardit televisiokuvalle on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. ITU-R-televisiostandardit [Tekalp 2015: 76].

Standardi	Resoluutio	Skannaus	Kuvasuhde
BT.601 480i	720×486	lomittain 2:1, 30 Hz (60 kenttää/s)	4:3 tai 16:9
BT.601 576i	720×576	lomittain 2:1, 25 Hz (50 kenttää/s)	4:3 tai 16:9
BT.709 720p	1280×720	lomittamaton, 50 Hz tai 60 Hz	16:9
BT.709 1080i	1920×1080	lomittain 2:1, 25 Hz tai 30 Hz	16:9
BT.709 1080p	1920×1080	lomittamaton	16:9
BT.2020 2160p	3840×2160	lomittamaton	16:9
BT.2020 4320p	7680×4320	lomittamaton	16:9

Kuvan resoluutio vaikuttaa videokuvan näytteenottotaajuuteen. Digitaalisen SD-videosignaalin Y-komponentin näytteenottotaajuus kuvasuhteella 4:3 on 13,5 MHz ja $C_B C_R$ -komponenttien voi olla puolet tästä eli 6,75 MHz. 480i-järjestelmässä tämä tuottaa 858 näytettä juovalta ja 576i-järjestelmässä 864 näytettä juovalta. HD-videokuvan näytteenottotaajuus esimerkiksi kuvanopeudella 25 kuvaa/s on 74,250 MHz. [Jack 2007: 38–64.]

Kuvanopeus

Kuvanopeudella tarkoitetaan sitä nopeutta, jolla filmin tai videon kuvia esitetään peräkkäin. Amerikkalaisessa televisiojärjestelmässä kuvanopeus oli alun perin 30 kuvaa/s ja eurooppalaisessa 25 kuvaa/s. Tämä johtuu siitä, että järjestelmien videokuvien kenttätaajuudet pohjautuivat sähkövirran taajuuteen, joka on Pohjois- ja Etelä-Amerikassa 60 Hz ja Euroopassa 50 Hz. [Waggoner 2010: 68–69.]

Välkkymisen vähentämiseksi analogisessa videokuvassa ruudun vaakajuovia esitettiin vuoron perään eli kahdessa kentässä. Tällaista videokuvaa kutsutaan lomitetuksi (engl.

interlaced) kuvaksi. Lomittamattomassa kuvassa vastaavasti koko kuva esitetään kerrolla. Tästä menetelmästä käytetään myös nimitystä progressiivinen (engl. *progressive*) skannaus. Videokuvan digitaaliseen tallentamiseen ja pakkaamiseen kehitetyt järjestelmät pohjautuvat yhteensopivuussyistä analogisen videon kuvanopeuksiin, ja myös digitaalinen videokuva on nykyäänkin useimmiten lomitettua.

NTSC-videojärjestelmän mukaisen digitaalisen videon kuvanopeus ei kuitenkaan ole täyttä 30:tä kuvaa/s järjestelmän analogisten apukantoaaltojen yhteensovittamisen vuoksi. Kuvanopeus on laskettu 29,97 kuvaan sekunnissa, mikä on huomioitava myös järjestelmän aikakoodin asetuksissa. [Waggoner 2010: 69.] Käytettäessä kuvanopeutta 29,97 kuvaa/s on lisäksi käytettävä drop-frame-aikakoodia, jolloin aikakoodikelloa siirretään videota tallennettaessa jokaisessa minuutissa eteenpäin kaksi kuvaa pois lukien täysien kymmenien minuuttien kohdalla. Aikakoodi ei muussa tapauksessa pitkässä videotallenteessa täsmää tallenteen todellisen keston kanssa. [Weise & Weynand 2007: 218–219.]

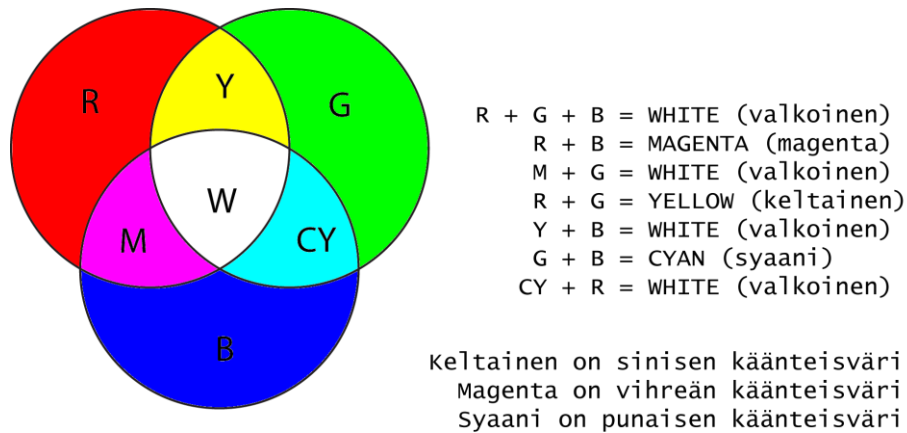
Kuvasuhde

Kuvasuhteella tarkoitetaan kuvan leveyden suhdetta kuvan korkeuteen. Termiä käytetään nimenomaan elokuvien, television ja videon kuvan leveyden ja korkeuden suhteesta toisiinsa, sillä esimerkiksi internetsivulla oleva digitaalinen kuva voi olla kuinka monta pikseliä leveä tai korkea tahansa. Tavallisen digitaalisen SD-videokuvan kuvasuhde on tyypillisesti alkuperäisen analogisen televisiokuvan mukaisesti 4:3, mikä tarkoittaa, että kuva on neljä yksikköä korkea ja kolme yksikköä leveä. Laajakuvalla tarkoitetaan leveämpää kuvasuhdetta kuin 4:3. Elokuvien kuvasuhde on yleisimmin 1,85:1 tai 2,4:1. HD-videokuvan ja -television kuvasuhde on 16:9 eli noin 1,78:1. [Poynton 2012: 4–6.] Kuvapistesuhde taas on digitaalisen kuvan tai videokuvan pikselin leveyden ja korkeuden suhde toisiinsa.

Insinööriyön projektimäärittelyissä HINKU-videoelokuva määriteltiin toteutettavaksi resoluutiolla 1920×1080 , kuvanopeudella 25 kuvaa sekunnissa ja kuvasuhteella 16:9. Tämä on tällä hetkellä yleisimpiä käytössä olevia niin sanottuja teräväpiirto- eli HD-videostandardeja. Siitä käytetään merkintää 1080i, jos kuva on lomitettua ja vastaavasti merkintää 1080p, jos kuva on lomittamatonta. Kuvanopeus 25 kuvaa/s vastaa Euroopassa käytetyn digitaalisen televisiojärjestelmän kuvanopeutta. Asiakkaalla valmiina ollut HINKU-hankkeen kuvituskuvamateriaali oli kuvattu pääosin 1080i-resoluutiossa.

2.2.3 Värijärjestelmä

Värikuvan kuvapisteen väriin vaikuttavat määritteet ovat värisävy ja värikyvyys. Televisio- ja videojärjestelmissä sekä näyttölaitteissa, kuten monitoreissa, projektoreissa ja televisiovastaanottimissa, käytetään additiivista RGB-värijärjestelmää, jonka pääväriä ovat punainen, vihreä ja sininen. Muut värisävyt ja valkoinen tuotetaan näiden päävärien yhdistelmillä (kuva 2).



Kuva 2. Päävärit ja käänteisvärit RGB-värijärjestelmässä (Weise & Weynand 2007: 58).

RGB-värijärjestelmän päävärien eli punaisen (R), vihreän (G) ja sinisen (B) valoisuuden sähköiset vastineet E_R , E_G , ja E_B ovat videokuvan ja sen värienmuodostuksen perusparametrit, joista vastaavasti kaikki muut videokuvan värien määritteet johdetaan [Luther & Inglis 1999: 33]. Kolmea RGB-värikomponenttia ei kuitenkaan yleensä siirretä tai tallenneta videojärjestelmissä sellaisenaan, vaan videokuvan RGB-väriavaruus muutetaan myös digitaalisessa videossa $Y C_B C_R$ -muotoon.

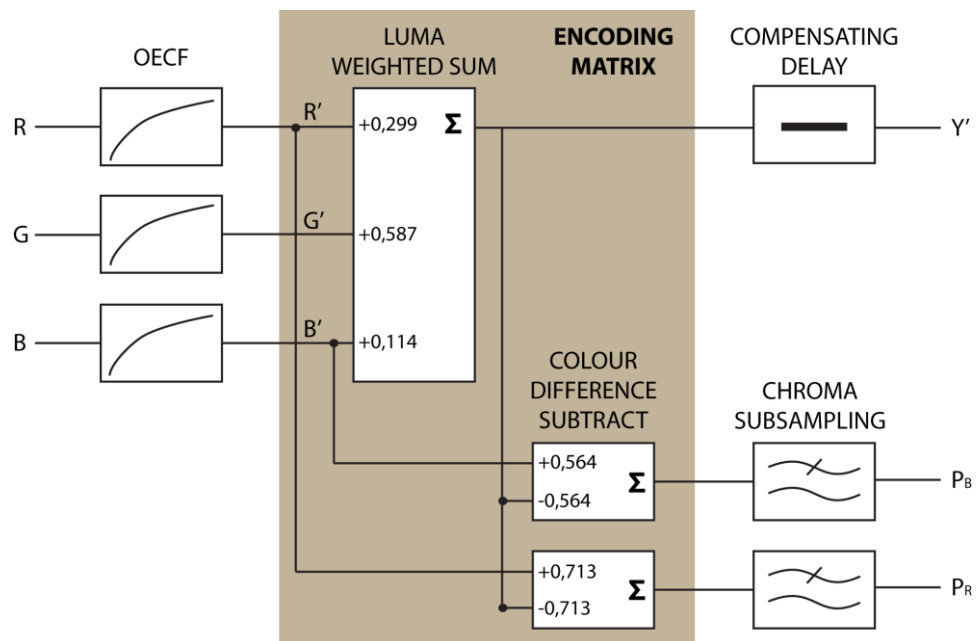
Väriavaruuden muunnos johtuu siitä, että alkuperäinen analoginen televisio oli mustavalkoinen ja värit lisättiin jälkepäin. Tällöin oli tarpeen säilyttää yhteensopivuus mustavalkojärjestelmän kanssa. Koska videosignaali oli jo käytössä valoisuustieto, kehitettiin niin sanotut värierosignaalit $B - Y$ ja $R - Y$, joiden avulla värit saatiin siirrettyä muuttamatta videon lumasignaalia. Tällä tavoin värit sisältävää televisiokuvaa oli mahdollista katsoa myös mustavalkoisella vastaanottimella. [Weise & Weynand 2007: 59.]

Analogisissa PAL-, NTSC- ja SECAM-videojärjestelmissä käytetään YUV-väriavaruutta, jossa lumasignaali on merkitty kirjaimella Y ja väri-informaatio kirjaimilla U ja V [Jack

2007: 17–18]. NTSC-järjestelmässä on ollut käytössä vaihtoehtoisesti myös YIQ-variavaruus, minkä vuoksi myös SMPTE-testipalkkikuvassa on I- ja Q-signaalit [Jack 2007: 18; Weise & Weynand 2007: 69].

$Y_C B_C R_C$ -koodaus on kehitetty digitaalisen kuvalle, ja sitä käytetään videokuvan lisäksi myös esimerkiksi JPEG-kuvanpakkauksessa. $Y_C B_C R_C$ -muotoista videosignaalia kutsutaan komponenttividéosignaaliiksi. Koska RGB-kanavat sisältävät joka tapauksessa runsaasti redundanttia informaatiota, tehdään muunnos RGB-väriavaruudesta $Y_C B_C R_C$ -muotoon nykyisissäkin järjestelmissä tiedonsiirtoon ja tallennukseen vaadittavan kapasiteetin pienentämiseksi. [Jokinen 2004: 34–35.]

Tyypillisen SD-videojärjestelmän luma-värierosignaalikooderin lohko-kaavio on esitetty kuvassa 3. Kuvantamislaitteiden RGB-kanavien signaalit gammakorjataan, ja signaaleista muodostetaan erilliset luma- ja kromakomponentit. Prosessissa kromasignaalit myös alinäytteistetään ja vastaavasti lumasignaaliin lisätään kompensoiva viive. [Poynton 2012: 341.]



Kuva 3. Tyypillinen luma-värierosignaalikooderi [Poynton 2012: 341].

Komponenttisiignaalissa videon valoisuusinformaatio eli luma siirretään siis omana komponenttinaan ja väri-informaatio eli kroma omina komponentteinaan. Lumakomponentti merkitään kirjaimella Y. Värikomponentit merkitään analogisen signaalin kohdalla $P_B P_R$ ja digitaalisen signaalin kohdalla $C_B C_R$ [Weise & Weynand 2007: 68]. Tekalp [2015: 71]

sekä Weise ja Weynand [2007: 67] käyttävät videosignaalin Y-komponentista säännöllisesti nimitystä luminanssi. Poyntonin [2012: 122] mukaan videosignaalista puhuttaessa tulisi käyttää Y-komponentista nimitystä luma ja ainoastaan väriavaruudesta puhuttaessa termiä luminanssi.

Ennen RGB-signaalin muuntamista $Y C_B C_R$ -muotoon tehdään kamerassa niin sanottu gammakorjaus. Sillä on ollut alun perin tarkoitus kompensoida kuvaputkinäyttöjen epälineaarisuutta, koska kuvaputki ei tuota näytölle RGB-komponenteista luminanssia lineaarisena funktiona. Gammakorjaukseen on olemassa erilaisia optoelektronisia muuntofunktioita (engl. *opto-electronic conversion functions*, lyh. *OECF*), jotka on määritelty eri standardeissa, kuten SMPTE 240M ja ITU-R BT.709. [Poynton 2012: 319–320.]

$Y C_B C_R$ -signaalin lumakomponentti Y on SD-videojärjestelmissä ITU-R BT.601 -suosituksen mukaisilla kertoimilla kerrottujen gammakorjattujen R-, G- ja B-värisignaalien summa (kaava 2). Kertoimet perustuvat ihmissilmän herkkyyteen eri pääväreille. [Luther & Inglis 1999: 34; Poynton 2012: 122.]

$$E_Y = 0,299E_R + 0,587E_G + 0,114E_B \quad (2)$$

E_Y on lumasignaali

E_R on punainen värisignaali

E_G on vihreä värisignaali

E_B on sininen värisignaali

Uudemmissa HD-videojärjestelmissä käytetään eri kertoimia (kaava 3), jotka on määritelty ITU-R BT.709 -suosituksessa. Heittomerkki kaavassa tarkoittaa, että kyseessä on nimenomaan gammakorjattu signaali. [Poynton 2012: 122.]

$$Y' = 0,2126R' + 0,7152G' + 0,0722B' \quad (3)$$

UHD-televisiojärjestelmien eli niin sanottujen 4K- ja 8K-televisioiden lumakertoimet (kaava 4) määritellään uusimmassa ITU-R BT.2020 -suosituksessa [Akramullah 2014: 24].

$$Y' = 0,2627R' + 0,678G' + 0,0593B' \quad (4)$$

Videokuvan kromakomponentit C_B ja C_R lasketaan värierosignaaleista, jotka ovat gammakorjatun sinisen värisignaalin B ja lumasignaalin Y erotus eli $B' - Y'$ sekä gammakorjatun punaisen värisignaalin R ja lumasignaalin Y erotus eli $R' - Y'$. SD-videojärjestelmissä käytetään ITU-R BT.601 -suosituksen mukaisia kertoimia (kaavat 5 ja 6). [Akramullah 2014: 25.]

$$C_B = \frac{B' - Y'}{2(1 - 0,114)} \quad (5)$$

$$C_R = \frac{R' - Y'}{2(1 - 0,299)} \quad (6)$$

HD-videojärjestelmissä käytetään ITU-R BT.709 -suosituksen mukaisia kertoimia (kaavat 7 ja 8) [Akramullah 2014: 26].

$$C_B = \frac{B' - Y'}{2(1 - 0,0722)} \quad (7)$$

$$C_R = \frac{R' - Y'}{2(1 - 0,2126)} \quad (8)$$

SD- ja HD-videojärjestelmissä lumakertoimet ovat siis erilaiset. Eri kameroissa on myös yleensä erilaisia valmiita väri- ja gamma-asetuksia. Niiden käyttö tulisi suunnitella esituotantovaiheessa yhdessä jälkituotannon suunnittelun kanssa. Tietokonepohjaisissa värimäärittelyohjelmissä on valittava käytettävä väristandardi, joka vastaa kuvaustilanteessa käytettyä asetusta. Mikäli työnkulkua ei suunnitella huolellisesti, saattaa olla, että lopputulos ei vastaa lainkaan odotettua tai jälkikäsitelyssä kuluu runsaasti aikaa kuvan korjaamiseen.

Kromakomponenttien alinäytteistys

On todettu, että ihminen on herkempi erottamaan kuvan rakenteessa kuin väreissä esiintyvät virheet [Akramullah 2014: 13–15]. Näin ollen kuvan väri-informaation näytteenottoaajuutta on mahdollista alentaa ilman, että se on tallennetusta kuvasta erotettavissa. Komponenttivideon kromakomponentteja C_B ja C_R useimmiten alinäytteistetään eri alinäytteistysjärjestelmien mukaisesti. Värikomponenttien näytteenottoaajuuden alentaminen vähentää tiedonsiirtokapasiteetin tarvetta ja esimerkiksi pienentää videokuvan tallentamiseen käytetyn tiedoston kokoa. Tämä mahdollistaa pienempikapasiteettisen

massamuistilaitteen, kuten muistikortin tai kiintolevyn käytön kamerassa tai muussa tallennuslaitteessa. [Akramullah 2014: 29.] On kuitenkin muistettava, että väri-informaation vähentäminen aina jonkin verran heikentää kuvan laatua. Tuotannon suunnittelussa on siis lopputuloksen vaatimusmäärittely huomioon ottaen huomioitava myös käytettävä alinäytteistysjärjestelmä.

Ennen alinäytteistystä RGB-signaalista $Y C_B C_R$ -muotoon muutettu signaali on 4:4:4-muotoinen eli alinäytteistämätön. Yleisin ammattikäyttöön tarkoitetuissa videolaitteissa käytössä oleva alinäytteistysjärjestelmä on 4:2:2, jossa kromakomponenttien näytteenottoaajuus on puolet lumakomponentin näytteenottoaajuudesta. Halvemmissa videolaitteissa, kuten DV-kameroissa, käytetty alinäytteistysjärjestelmä on 4:1:1. JPEG- ja MPEG-2-pakkausmenetelmissä käytetään myös 4:2:0-alinäytteistystä. [Poynton 2012: 124–125.] $Y C_B C_R$ -komponenttivideon yleisimmät alinäytteistysjärjestelmät on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. $Y C_B C_R$ -komponenttivideon yleisimmät alinäytteistysjärjestelmät [Poynton 2012: 124–125].

Alinäytteistys	Kuvaus
4:4:4	Jokaisella kolmella $Y C_B C_R$ -komponentilla on sama näytteenottoaajuus, eli jokaista neljää Y- eli lumanäytepistettä kohti on neljä C_B - ja C_R -kromanäytepistettä. Ei alinäytteistystä.
4:2:2	Kromakomponenttien näytteenottoaajuus on puolet lumakomponentin näytteenottoaajuudesta, eli jokaista neljää Y-näytepistettä kohti on kaksi C_B - ja C_R -näytepistettä.
4:1:1	Kromakomponenttien näytteenottoaajuus on yksi neljäsosa lumakomponentin näytteenottoaajuudesta, eli jokaista neljää Y-näytepistettä kohti on yksi C_B - ja C_R -näytepiste.
4:2:0	Kromakomponenttien näytteenottoaajuus on vaakasuunnassa puolet ja pystysuunnassa puolet lumakomponentin näytteenottoaajuudesta.

2.2.4 Mittauslaitteet

Videosignaalin mittaamista varten on olemassa kahdentyyppisiä oskilloskooppeja. Aaltomuotinäyttöä käytetään videosignaalin tason tarkkailuun. Digitaalisen aaltomuotinäytön asteikko on -300 mV:n ja 700 mV:n välillä. Analogisen aaltomuotinäytön asteikko on

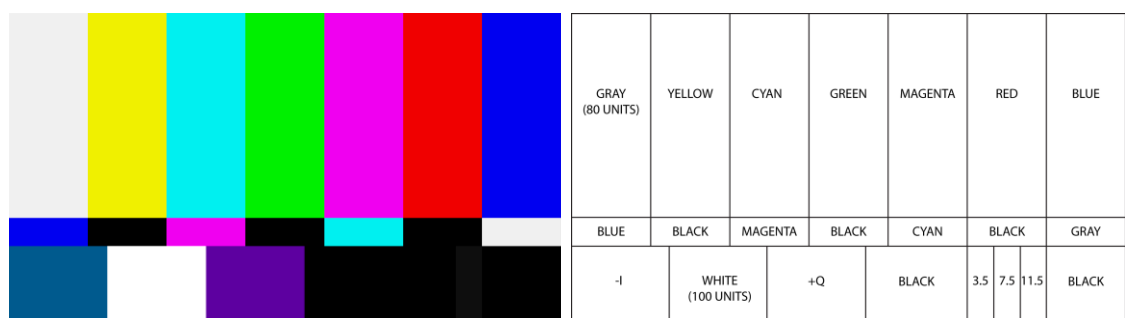
-40:n ja 100 IRE-yksikön välillä. Digitaalisen videosignaalin huipputaso on aaltomuoto-
näytön asteikossa 700 mV ja analogisen komposiittivideon huipputaso analogisessa aal-
tomuotonäytössä 100 IRE-yksikköä.

Vektoriskooppi on tarkoitettu videokuvan värisävyjen tarkkailuun. Sen näytön ympyrässä
on jokaiselle testipalkkikuvassa olevalle videon RGB-värijärjestelmän päävärille ja kään-
teisvärille omat merkkiruutunsa. Testipalkkikuvan värien on osuttava vektoriskoopin näy-
töllä olevien merkkien kohdalle, jotta voidaan todeta, että värisävyt vastaavat videostan-
dardien mukaisia määrittämiä. [Weise & Weynand 2007: 84, 149.]

Testipalkkikuva

Kuvansiirtoyhteyksien kokeilemiseksi ja videolaitteiden säätämiseksi käytetään testisig-
naaleja, kuten testipalkkikuvaa, jolla voidaan varmistaa, että näytöllä toistettava video-
kuva vastaa alkuperäistä kameralla kuvattua ja tallennettua videokuva. Testipalkkikuva
sisältää erilaisia lohkoja videosignaalin luman ja kroman tarkkailuun. Testipalkkikuvaan
liittyy yleensä myös testiääni, joka tavanomaisesti on 1 kHz:n taajuinen jatkuva ääni esi-
merkiksi tasolla -18 dBFS tai -20 dBFS.

Useimmista editointiohjelmissä käytettävässä SMPTE EG 1 -testipalkkikuvassa ylimmäi-
senä on jokaiselle videokuvan päävärille ja käänteisvärille omat lohkonsa sekä harmaa
lohko. Järjestys vasemmalta oikealle on seuraava: harmaa, keltainen, syaani, vihreä,
magenta, punainen ja sininen (kuva 4).



Kuva 4. SMPTE EG 1 -testipalkkikuva selitteineen [Poynton 2012: 419–423].

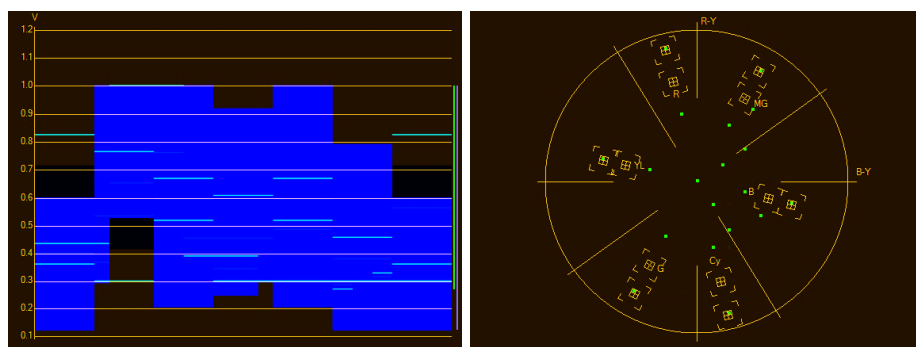
Väripalkiston alla on neljä väripalkistoon nähden käänteisessä järjestyksessä olevaa loh-
koa, joiden jokaisen välissä on musta alue. Nämä lohkot ovat sininen, magenta, syaani
ja valkoinen, ja ne sisältävät kaikki sinisen värin. Kun monitorista kytketään pois vihreä

ja punainen väri, täytyy näiden kaikkien lohkojen näkyä sinisenä. Testipalkkikuvan alimassa rivissä ensimmäinen lohko vasemmalta lukien on NTSC-televisiojärjestelmän YIQ-väriavaruuden I-vektorisignaali, toinen lohko on valkoinen ja kolmas Q-vektorisignaali. I- ja Q-signaalit näkyvät testikuvassa tummansinisenä ja tummanviolettina alueina. Neljäs lohko vasemmalta on musta.

Testipalkkikuvan alarivissä oikealta katsoen toinen lohko on jaettu kolmeen osaan. Tämä on PLUGE (*Picture Line Up Generating Equipment*) -palkisto monitorin kirkkauden säätämiseen. Alueen vasen reuna-alue vastaa 3,5 IRE-yksikön videosignaalia, oikea 11,5 IRE-yksikön videosignaalia ja keskellä oleva 7,5 IRE-yksikön videosignaalia, joka taas vastaa NTSC-järjestelmän mustan tasoa. Monitorin kirkkaus on säädetty oikein, kun 11,5 IRE-yksikön alue on juuri ja juuri erotettavissa. Monitori on säädetty liian kirkkaaksi, jos 3,5 IRE-yksikön alue tulee näkyviin. Viimeisenä alimpana oikealla on musta lohko. [Weise & Weynand 2007: 78.]

Testipalkkikuvasta käytetään useimmiten niin sanottua 75 %:n versiota, koska alkuperäisessä SMPTE-määrittelyssä keltaisen värin on määritetty olevan 133 IRE-yksikköä, mikä ei mahdu analogisen mittauslaitteen näytölle. [Weise & Weynand 2007: 92.] On huomattava myös, että SMPTE EG 1 -testipalkkikuva on siis alun perin suunniteltu NTSC-televisiojärjestelmälle. Käytössä on myös muita ISO:n (*International Organization of Standardization*) hyväksymiä testipalkkikuvia [Weise & Weynand 2007: 74].

Adobe Premiere Pro CS4 -editointiohjelman aaltomuotonäytön asteikko poikkeaa jonkin verran yleisesti käytössä olevista aaltomuotonäytöistä (kuva 5). Videosignaalin huipputaso on asteikossa 1,0 V ja mustan taso 0,3 V. Ohjelmiston vektoriskoopissa on omat kohdistusruutunsa 75 %:n ja 100 %:n testipalkkikuville. Tämä asetus on valittava käsin.



Kuva 5. SMPTE EG 1 -testipalkkikuvan videosignaali Adobe Premiere Pro CS4 -editointiohjelman aaltomuotonäytössä (vas.) ja vektoriskoopissa (oik.).

2.2.5 Tallennusmuodot ja kompressointi

Nykyään videokuva ja ääni tallennetaan useimmiten kiintolevyille tai muistikorteille tiedostoihin aiemmin käytettyjen magneettinauhojen sijaan. Kamerassa tehtävän tiedostopohjaisen tallennuksen etuna on tiedostojen helppo ja nopea siirrettävyys työasemaan ja tietoverkkojen kautta videopalvelimille. Magneettinauhoja on käytetty digitaalisen videon tallentamiseen esimerkiksi Digital Betacam-, DVCAM- ja DVCPRO-järjestelmissä. Nauhoilta työasemaan siirrettävä videomateriaali on kuitenkin ensin siepattava, vaikka se olisikin tallennettu digitaalisessa muodossa. Tämä tarkoittaa, että nauhan sisältö on kopioitava työaseman massamuistilaitteeseen toistamalla nauhaa reaaliajassa ja tallentamalla samalla video- ja audiodata kiintolevyille.

Osa videotiedostomuodoista, kuten QuickTime ja Audio Video Interleaved, mahdollistavat eri koodekkien käytön. Näin ollen esimerkiksi QuickTime-tiedoston sisältämä videodata voi olla esimerkiksi MPEG-2- tai MPEG-4-muotoista. Osa videotiedostomuodoista, kuten MPEG-2, ovat taas sidottuja kyseiseen pakkausmenetelmään. Toisin sanoen MPEG-2-muotoinen tiedosto sisältää aina MPEG-2-pakkausmenetelmällä kompressoitua videodataa. [Waggoner 2010: 137.] Yleisesti käytössä olevia videotiedostomuotoja on lueteltu taulukossa 3. Näitä kaikkia käytetään pääosin videon jakeluun, eivätkä digitaaliset videokamerat yleensä tallenna raakamateriaalia näihin formaatteihin.

Taulukko 3. Yleisesti käytössä olevia videotiedostomuotoja.

Tiedostopääte	Tiedostotyyppi
AVI	Audio Video Interleaved
MPG	MPEG
MP2, M2V	MPEG-2
FLV	Flash Video
MOV	QuickTime Video
RM	RealMedia Video
WMW	Windows Media

Raakamateriaali tallennetaan videokameroissa ja kiintolevytallentimissa esimerkiksi MXF (*Material Exchange Format*) -tiedostoihin. MXF-tiedostomuoto mahdollistaa useiden vaihtoehtoisten koodekkien käytön eikä siis itsessään ole video- tai audioformaatti.

HINKU-videoelokuva kuvattiin Panasonic AG-HPX171E -kameralla, joka tallentaa DVCPRO HD -muotoista videota Panasonic P2 -muistikortille (kuva 6). Muistikortti liitetään PCMCIA Type II -väylään, ja se on 54 mm leveä. P2-muistikortteja on saatavilla tällä hetkellä 2 Gt:n, 4 Gt:n, 8 Gt:n, 32 Gt:n ja 64 Gt:n kokoisina. Data tallennetaan kortille edellä mainittuihin MXF-tiedostoihin.



Kuva 6. HINKU-videotuotannon raakamateriaalin tallennukseen käytetty 32 Gt:n Panasonic P2 -muistikortti.

Kun digitaalista videokuvaa ja ääntä siirretään tai tallennetaan, se yleensä käytännössä myös pakataan jollain pakkausalgoritmilla. Pakkaamaton HD-video kuva tarvitsee tallennustilaa noin 120 Mt/s [Poynton 2012: 147]. Tiedonpakkaus eli kompressointi on tiedon tiivistämiseksi tehtävä toimenpide. Tietoa pakkaamalla vähennetään tiedon tallennukseen tarvittavan tilan tarvetta esimerkiksi massamuistilaitteessa ja pienennetään tiedon siirtoon tarvittavaa kaistanleveyttä. Näin on mahdollista tallentaa ja siirtää suurempi määrä videokuvaa ja ääntä kerralla.

Pakkausmenetelmä voi olla joko häviötön tai häviöllinen. Häviötöntä pakkausmenetelmää käytettäessä pakattu ja takaisin purettu kuva on tarkalleen alkuperäisen kopio ilman tietohäviötä. Häviöllistä menetelmää käytettäessä purettu kuva ei täysin vastaa alkuperäistä, sillä siitä on poistettu pakkaamisen yhteydessä tietoa peruuttamattomasti. [Waggoner 2010: 38.] Videotuotannossa valmiin videoelokuvan pakkaamiseen käytettävän pakkausmenetelmän valintaan vaikuttaa jakelumedia tai tietoverkon kautta jaeltavan sisällön kohdalla esimerkiksi kohteena oleva päätelaite.

Pakkaus voidaan tehdä joko kiinteällä bittinopeudella (engl. *constant bitrate*, lyh. *CBR*) tai vaihtuvalla bittinopeudella (engl. *variable bitrate*, lyh. *VBR*). Kiinteällä bittinopeudella pakattu data kuluttaa saman verran tilaa tai tiedonsiirtokapasiteettia riippumatta datan sisällöstä. Vaihtuvan bittinopeuden käytöllä taas voidaan saavuttaa pakkaamisessa pa-

remppi kokonaistehokkuus, sillä pakkausmenetelmä vähentää bittimäärää niissä kohdissa tiedostoa, joissa se on mahdollista. Vaihtuvaa bittinopeutta suositellaan käytettäväksi ainoastaan tallenteissa, jotka ladataan tietoverkosta kokonaan ennen katselua tai vaihtoehtoisesti jaellaan CD- tai DVD-levyllä. [Waggoner 2010: 142.]

Kuvan- ja videonpakkauksessa useimmiten käytettävä matemaattinen muunnos on diskreetti kosinimuunnos (engl. *discrete cosine transform*, lyh. *DCT*) ja sen käänteismuunnos (kaavat 9 ja 10). Diskreetissä kosinimuunnoksessa kuvan pikseli-informaatio muunnetaan taajuuksiksi ja pakkaus kohdistetaan kuvan korkeisiin taajuuksiin. Kuva jaetaan esimerkiksi 8 x 8 pikselin lohkoihin, jotka kukin muunnetaan erikseen. [Saarelma 2003: 139.]

$$F(u, v) = \frac{4C(u)C(v)}{n^2} \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} f(j, k) \cos \left[\frac{(2j+1)u\pi}{2n} \right] \cos \left[\frac{(2k+1)v\pi}{2n} \right] \quad (9)$$

$$f(j, k) = \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} C(u)C(v)F(u, v) \cos \left[\frac{(2j+1)u\pi}{2n} \right] \cos \left[\frac{(2k+1)v\pi}{2n} \right] \quad (10)$$

$$C(\omega) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & \omega = 0 \\ 1 & \omega = 1, 2, \dots, n-1 \end{cases}$$

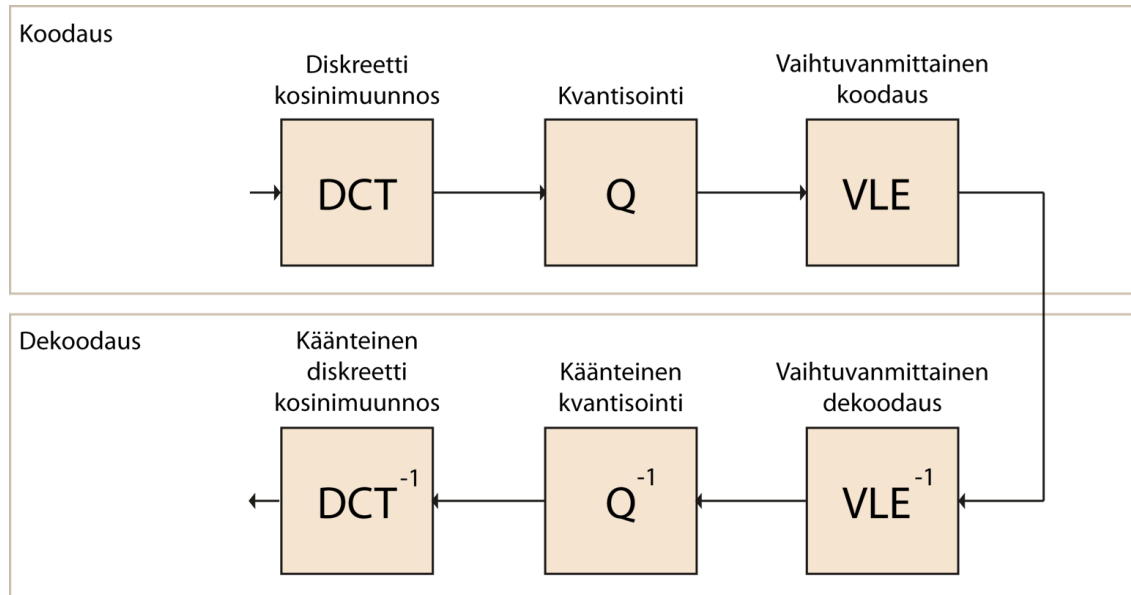
Diskreettiä kosinimuunnosta käytetään esimerkiksi JPEG- ja MPEG-pakkausmenetelmissä.

JPEG-kuvanpakkaus

Eräs yleisimmistä kuvien pakkaamiseen tarkoitetuista menetelmistä on JPEG. Sen on julkaissut vuonna 1992 Joint Photographic Experts Group, ja se on määritetty ITU-T T.81 -suosituksessa ja ISO/IEC 10918-1 -standardissa. Perustason häviöllisen menetelmän lisäksi JPEG-määritelmät sisältävät myös muita pakkausmenetelmiä, kuten laajennetun koodauksen mukaisen, häviöttömän ja lähes häviöttömän, joista on kaikista julkaistu omat standardinsa. [Gonzalez & Woods 2008: 539–541.]

JPEG-pakkausmenetelmää käytetään erilaisissa digitaalisen kuvankäsittelyn sovelluksissa, ja se on samalla myös MPEG-videonpakkauksen ydin. JPEG-kuvalla tarkoitetaan yleensä nimenomaan perustason häviöllisen menetelmän mukaisesti pakattua tiedos-

toa. [Gonzalez & Woods 2008: 579–580]. Itse pakkausprosessissa on kolme eri päävaihetta, jotka ovat diskreetti kosinimuunnos, kvantisointi ja vaihtuvanmittainen koodaus (kuva 7) [Poynton 2012: 494].



Kuva 7. JPEG-pakkauksen lohkokaavio [Poynton 2012: 494].

JPEG-algoritmillä pakattu kuva on ensin muunnettu RGB-syötteestä $Y C_B C_R$ -muotoon ja yleisimmin 4:2:0-alinäytteistetty. Itse JPEG-standardi mahdollistaa myös muita värien alinäytteistysmalleja, mutta 4:2:0 on useimmiten käytetty. [Poynton 2012: 492.]

JPEG-kuvanpakkauksessa lumakomponentille Y ja kromakomponenteille C_B ja C_R käytetään eri kvantisointimatriiseja. Tyypillinen lumakomponentille Y käytettävä kvantisointimatriisi on esitetty yhtälössä 11. [Tekalp 2015: 437–438.]

$$Q = \begin{bmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 51 & 87 & 80 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 109 & 103 & 103 & 77 \\ 24 & 35 & 55 & 64 & 104 & 113 & 113 & 92 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Tyypillinen kromakomponenteille C_B ja C_R käytettävä kvantisointimatriisi on esitetty yhtälössä 12 [Tekalp 2015: 437–438].

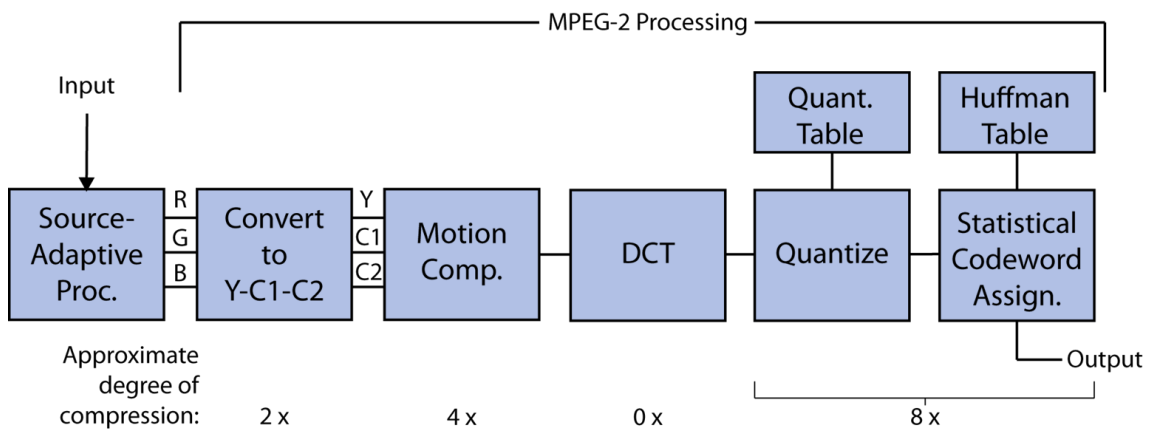
$$Q = \begin{bmatrix} 17 & 18 & 24 & 47 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 18 & 21 & 26 & 66 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 24 & 26 & 56 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 47 & 66 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Eri matriisien käyttö johtuu siitä, että ihminen ei havaitse niin helposti pieniä eroja värisävyissä kuin kirkkaudessa. Näin ollen myös digitaalista kuvanpakkausta kehitettäessä on päädytty käyttämään lumalle ja kromalle eri matriiseja.

Videokuvan pakkaus

MPEG on Moving Pictures Experts Group:n kehittämä videokuvan pakkaamiseen tarkoitettu menetelmä. Alkuperäinen MPEG-1-pakkausmenetelmä optimoitiin 352×240 -resoluution (240p) VHS (*Video Home System*) -tasoisien videokuvan pakkaamiseen ja tallentamiseen CD-levylle kuvanopeudella 30 kuvaa/s ja tiedonsiirtonopeudella 1,5 Mb/s. MPEG-1-pakkausmenetelmä ei sisällä tukea lomitetulle kovalle, vaan ainoastaan kuvan ensimmäinen kenttä koodataan ja toinen jätetään pois. [Poynton 2012: 157.]

MPEG-1-menetelmä on nykyään korvautunut uudemmillä MPEG-versioilla, joista MPEG-2 on tällä hetkellä yleisin digitaalisen videon pakkausmenetelmistä. Se tukee sekä lomitettua että lomittamatonta kuvaa, ja sen suurin tiedonsiirtonopeus on 15 Mb/s. Uusin versio, MPEG-4, on lähinnä videopeleihin, videostriimaukseen ja internetin video-sovelluksiin kehitetty menetelmä. [Luther & Inglis 1999: 205; Poynton 2012: 157–158.] Videonpakkauksen prosessi MPEG-2-menetelmällä on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. MPEG-2-videonpakkauksen prosessi [Luther & Inglis 1999: 179].

MPEG-2-videonpakkauksessa käytetään kahden eri pakkaustekniikan yhdistelmää. Spatiaalisessa pakkauksessa käytetään samaa tekniikkaa kuin JPEG-pakkauksessa redundantin tiedon poistamiseksi videotiedoston sisältämistä yksittäisistä peräkkäisistä kuvista. Temporaalinen pakkaus taas vertaa videon kuvien välillä tapahtuvia muutoksia ja tallentaa tiedon ainoastaan niistä. Tällä tavoin jokaista videon yksittäistä kuvaa ei ole tarpeen tallentaa erikseen edes pakattuna kuvana, vaan osa kuvista voi sisältää tiedot vain muuttuneista alueista videokuvassa.

MPEG-2-pakattu videotiedosto koostuu I-, P- ja B-kuvista. Kuvat on jaettu 16×16 pikselin makrolohkoihin. I- eli intra-kuvat ovat kokonaisia kuvia, jotka pakattu niin, että ne sisältävät riittävästi tietoa toimiakseen referenssikuvina I-kuvien välissä tapahtuvalle temporaaliselle pakkaukselle, jonka tuottamia kuvia nimitetään B- ja P-kuviksi. I-kuvia koodataan videotiedostoon tasaisin välein, ja niitä on tyypillisesti noin kaksi jokaista sekuntia kohti.

P- ja B-kuvat sisältävät huomattavasti vähemmän tietoa kuin I-kuvat. P-kuva on niin sanottu ennustekuva, joka sisältää tiedon kuvassa tapahtuneista muutoksista verrattuna edelliseen I-kuvaan. Pikseleiden etäisyyden ja suunnan muutokset sekä valoisuudessa ja värissä tapahtuneet muutokset kuvien välillä kuvataan P-kuvissa liikevektoreilla. P-kuvaa voi edeltää joko I-kuva tai toinen P-kuva. B-kuva on kaksisuuntainen ennustekuva, joka muutoin vastaa P-kuvaa, mutta sen liikevektorit sisältävät tiedon muutoksista kyseisen kuvan makrolohkoista myös edesspäin olevan kuvan makrolohkoihin.

B-kuva siis sisältää tiedon muutoksista kyseistä kuvaa edeltävän ja myös seuraavana tulevan kuvan välillä, kun taas P-kuva sisältää tiedon ainoastaan muutoksista verrattuna edeltävään kuvaan videoelokuvassa. I-, B- ja P-kuvat ryhmitellään GOP (*group of pictures*)-muotoon. GOP alkaa aina I-kuvalla, ja sen pituus on tavallisesti kahdeksasta kahteenkymmeneen neljään kuvaan. MPEG-pakkauksen tyypillinen GOP-rakenne eli I-, P- ja B-kuvien järjestys on IBBPBBPBBPBBPBB. [Poynton 2012: 153–156.]

Toinen digitaalisen videon pakkauksessa käytetty menetelmä on DV, josta on edelleen kehitetty DVCPRO25, DVCPRO50, DVCPRO HD ja DVCAM. Osa näistä on alun perin tehty nauhapohjaiseen tallennukseen. Myös DV-pakkausmenetelmässä käytetään diskreettiä kosinimuunnosta. DV-pakkaus tukee lomitettua ja lomittamatonta kuvaa sekä 24PsF (*progressive segmented frame*)-muotoa.

Edullisemman hintaluokan kameroissa käytettäviä pakkausmenetelmiä ovat HDV ja AV-CHD. HDV on MPEG-2-pohjainen HD-formaatti, jossa on kaksi resoluutiota, 720p ja 1080i. AVCHD taas perustuu H.264-pakkausalgoritmin käyttöön MPEG-2-ohjelmastriimissä. [Musburger & Ogden 2014: 49–62; Poynton 2012: 505–512.]

2.3 Digitaalinen ääni

Sähköinen audiosignaali muutetaan digitaalijärjestelmissä tallennusta ja jälkikäsittelyä varten numeroarvoiksi eli digitaalseksi esitykseksi. Digitaalisuuden edut äänituotannossa ovat samat kuin videon digitalisoinnissa: parempi äänenlaatu, virheetön kopiointi ja käsiteltävyys tietokoneella. Lisäksi digitaalinen ääni voi kulkea videokuvan kanssa samassa sarjadigitaalisignaalissa, jolloin erillisiä äänikaapeleita ei tarvita.

2.3.1 Digitointi ja tallennus

Äänen digitointiprosessi vastaa peruseräiteeltään kuvan digitointia eli koostuu näytteenotosta ja kvantisoinnista. Ennen digitointia analogisesta äänisignaalista suodatetaan pois liian korkeat taajuudet käyttämällä alipäästösuodatinta. Tämä on tarpeellista, jotta digitaaliseen esitykseen ei jää laskostumista aiheuttavia taajuuskomponentteja. Yleisimmät näytteenottotaajuudet ovat 32 kHz, 44,1 kHz ja 48 kHz, mutta myös 88,2 kHz, 96 kHz, 176,4 kHz ja 192 kHz ovat nykyisin yleisesti käytössä. Ääni-CD-levyn näytteenottotaajuus on 44,1 kHz. [Brixen 2014: 12–13.]

Näytteenoton jälkeen tehdään kvantisointi eli signaalista otetulle näytteelle määritetään numeerinen arvo. Digitaalisen signaalin resoluutio eli bittisyvyys on yleensä 16 tai 24 bittiä riittävän dynaamisen alueen säilyttämiseksi miksausta varten. Äänen dynaaminen alue on 16-bittisessä äänessä teoriassa 96 dB. [Fries & Fries 2005: 145.]

Yleisin häviötön digitaalisen äänen tallennusmenetelmä on pulssikoodimodulaatio (engl. *Pulse Code Modulation*, PCM). Digitaalisen lineaarisen pulssikoodimodulaatiolla koodatun pakkaamattoman äänidatan vaatima tallennustila massamuistilaitteessa, kuten kiintolevyllä tai CD-levyllä, lasketaan kaavalla 13. [Brixen 2014: 18.] Pakkaus pienentää tarvittavaa tallennustilaa.

$$\text{bittimäärä} = \text{näytteenottotaajuus} \times \text{bittisyvyys} \times \text{kanavien lkm} \times \text{kesto} \quad (13)$$

Esimerkiksi tunnin mittaisen tallenteen viemä tila tavuissa 44,1 kHz:n näytteenottotaajuudella 16-bittisenä lasketaan seuraavasti:

$$\frac{44100 \times 16 \times 2 \times 3600}{8} = 635040000 \text{ tavua}$$

$$\frac{635040000}{1024} = 620156,25 \text{ kt}$$

$$\frac{620156,25}{1024} \approx 605,6 \text{ Mt}$$

Lopputuloksena saatu 605,6 Mt on samalla tavallisen CD-levyn kapasiteetti [Brixen 2014: 18]. HINKU-videon lukijan ääni tallennettiin 48 kHz:n näytteenottotaajuudella 16-bittisenä Windowsin WAV-äänitiedostona. Reilun minuutin mittaisen tallenteen tiedostokoko oli hieman yli 13 Mt.

Digitaalisen äänen pakkaamiseen on olemassa useita eri koodekkeja. Data voidaan koodata joko kiinteällä bittinopeudella tai vaihtuvalla bittinopeudella [Waggoner 2010: 159–160]. Yleisimpiä audiokoodekkeja ovat MPEG-1 Layer I Audio, MPEG-1 Layer II Audio, MPEG-1 Layer III Audio ja AAC (*Advanced Audio Coding*). Yleisimmät käytössä olevat äänitiedostomuodot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Yleisesti käytössä olevia äänitiedostomuotoja.

Tiedostopääte	Tiedostotyyppi
AIFF	Applen äänitiedostomuoto
MP3	MPEG-1 Layer III Audio
AAC, M4A, M4P, M4V	Advanced Audio Coding
RA	RealMedia Audio
WAV	Windowsin äänitiedostomuoto
WMW	Windows Media

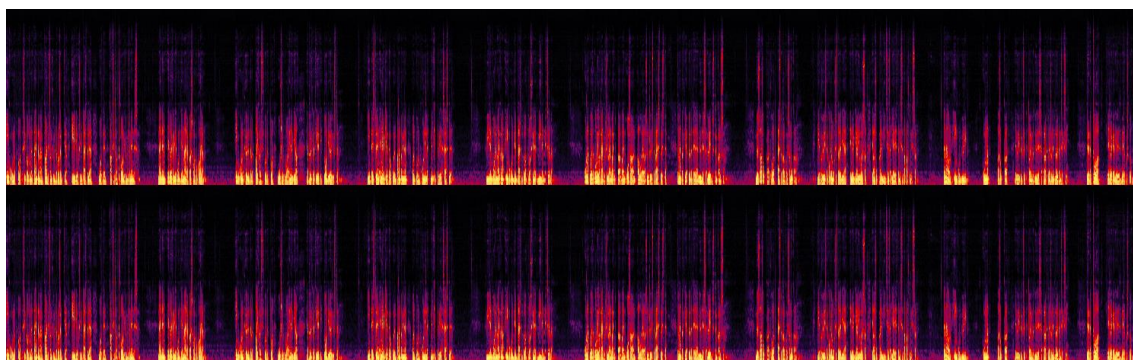
Yleisin käytetty liitäntärajapinta digitaalisen äänen siirrolle laitteiden välillä on sarjamuotoinen AES3, jonka on määritellyt Audio Engineering Society. AES3:n fyysisenä siirtotienä käytetään useimmiten XLR-liittimin varustettuja 110 Ω:n balansoituja äänikaape-

leita. AES3:n ydindata koostuu 20 bitistä ja 4 lisäbitistä. Toinen digitaaliselle äänelle käytössä oleva liitäntärajapinta on IEC 60958-3 eli S/PDIF, jossa siirtotienä käytetään joko 75 Ω :n balansoimatonta äänikaapelia RCA-liittimellä tai vaihtoehtoisesti optista kaapelia. [Brixen 2014: 170–176.]

2.3.2 Mittauslaitteet

Äänimittareita on useita erilaisia ja eri asteikoilla. Vanhin käytössä oleva on VU-mittari, jonka asteikko on välillä -20 VU ja +3 VU. Toinen nykyään yleisempi on VU-mittaria nopeampi PPM (*Peak Program Meter*). Siinä on käytettävissä eri asteikkoja, jotka ovat DIN-asteikko, Nordic-asteikko ja BBC-asteikko. DIN-asteikolla 1 kHz:n testiäänän taso on -9 dB ja Nordic-asteikolla -6 dB. BBC-asteikko on välillä 0 ja 7, missä luku 5 vastaa VU-mittarin nollakohtaa. [Brixen 2011: 87–93.] Äänimittareissa merkintä dBFS tarkoittaa äänen tasoa suhteessa täyteen asteikkoon (engl. *full scale*).

Stereoäänen graafiseen esittämiseen ja mittaamiseen käytetään äänigonometriä. Useimmiten tähän samaan laitteeseen on yhdistetty myös muut äänimittarit eri asteikoilla. Työasemapohjaisissa äänenkäsittelyohjelmistoissa on usein spektritaajuusnäyttö, joka näyttää äänen taajuuskomponentit (kuva 9). Näytön vaaka-akseli on aika ja pystyakselilla näkyvät eri taajuudet, jolloin kirkkaampi väri esittää korkeampaa amplitudia. Näkymän avulla voi poistaa äänestä ei-toivottuja taajuuksia. Tämän lisäksi joissain äänenkäsittelyohjelmissa on spektrivaihenäyttö, joka näyttää äänikanavien välisen vaihe-eron.



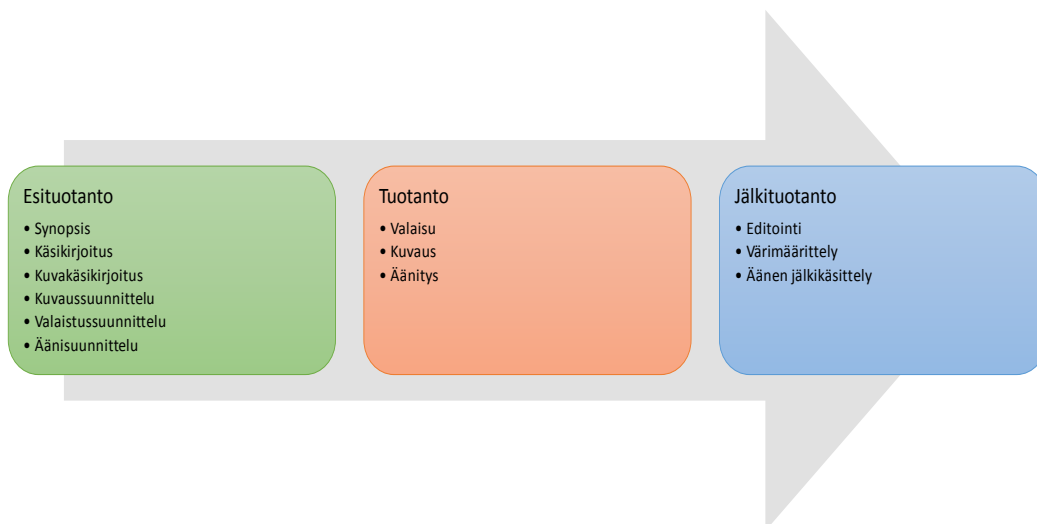
Kuva 9. HINKU-videoelokuvan lukijan äänen tallenne Adobe Soundbooth CS4 -ohjelman spektritaajuusnäytöllä.

3 Videotuotannon suunnittelu

Digitaalisissa videotuotannoissa asiakas ei välttämättä ole digitaalisen median ammattilainen. Videotuotantoja on erilaisia: osa kuvataan studiossa ja osa esimerkiksi ulkona. Käytössä voi olla yksi tai useampia kameroita, joiden kuva saatetaan jo kuvauspaikalla miksata valmiiksi tallenteeksi. Tämän vuoksi projektin suunnittelu ja hallinta ovat tärkeä osa videotuotantoa. Tässä insinööriyössä keskitytään yksikameratuotannon ja työase-
mapohjaisen jälkikäsittelyn suunnitteluun.

3.1 Tuotannon vaiheet ja projektinhallinta

Videotuotantoprojektin hallintaan liittyviä toimenpiteitä ovat tuotannon resursointi ja aikataulutaminen sekä kokoukset asiakkaan ja projektiryhmän kanssa. Suuressa tuotannossa on hyvä tehdä myös perusteellinen riskianalyysi esimerkiksi SWOT-menetelmällä. [Lukkari 2004: 32–39.] Yleisesti ottaen videotuotannon tuotantoprosessi voidaan jakaa kolmeen perusvaiheeseen, jotka ovat esituotanto, tuotanto ja jälkituotanto (kuvio 1) [Zettl 2013: 5].



Kuvio 1. Videoelokuvan kolmivaiheinen tuotantoprosessi.

Tuotantovaiheet sisältävät jokainen omia työprosessejaan ja niiden yhdistelmiä. Osa tuotannon eri vaiheiden tehtävistä sisältää keskinäisiä riippuvuuksia. Tämä tarkoittaa, että edellinen työvaihe on suoritettava loppuun, ennen kuin voidaan siirtyä seuraavaan. Esimerkiksi editointia ei voida aloittaa ennen, kuin raakamateriaali on kuvattu ja äänitetty.

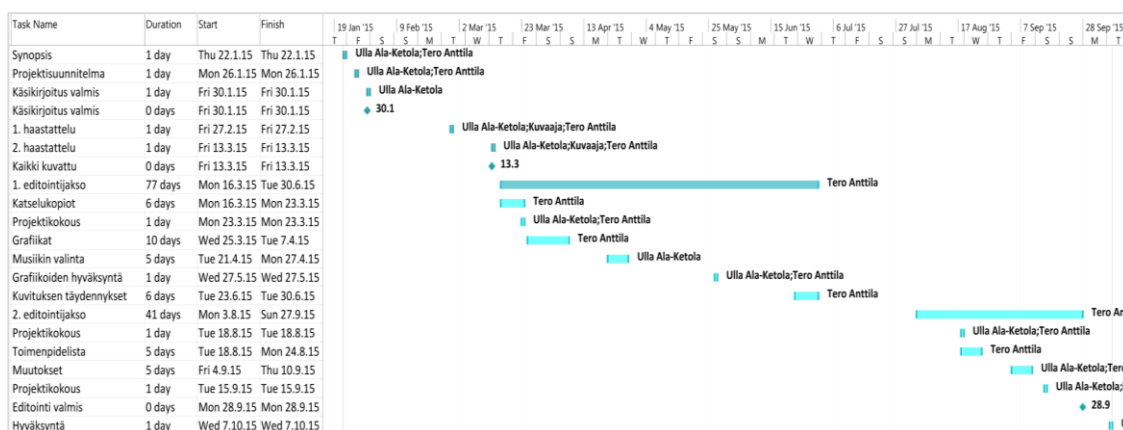
Projektin esituotantovaiheessa tehdään tuotannon määrittely, ja aloitetaan tuotantovaiheen ja jälkituotannon prosessien suunnittelu. Tuotannolle määritellään ensin tavoite, tarkoitus ja kohderyhmä. Tämän jälkeen tehdään tuotannon mediavalinta, mikä tarkoittaa videotuotannon jakeluun ja levitykseen käytettävän median valitsemista. Tuotannon mediamuoto voi olla verkkotuotanto, CD-ROM, DVD, televisiotuotanto tai tuotanto mobiililaitteille tai näiden yhdistelmä. [Lukkari 2004: 23.]

Tuotannon määrittelyn perusteella aloitetaan käsikirjoittaminen ja kuvaussuunnitelman laatiminen sekä projektin henkilöstön ja laitteiston resursointi. Tässä vaiheessa on aloitettava myös jälkituotantovaiheen suunnittelu eli on ainakin päätettävä, missä ja miten raakamateriaali jälkikäsitellään. Tämän jälkeen voidaan päätellä, millaisia laitteistovaatimuksia tuotannon mediavalinta tai esimerkiksi käytetty videoformaatti jälkikäsitelylle asettaa.

Tuotantovaihe on videotuotannon kuvaus- ja äänitys vaihe, jolloin raakamateriaali tallennetaan. Tuotantovaiheen työtehtäviä ovat esimerkiksi valaisu sekä videon kuvaus ja äänitys. Suurissa tuotannoissa kuvauspaikalle rakennetaan usein erilaisia lavasteita. Myös niiden rakentaminen ja pystytys täytyy aikatauluttaa esituotantovaiheessa. Tuotantovaihetta seuraavassa jälkituotantovaiheessa lopulta koostetaan kuvatusta ja äänitetystä raakamateriaalista valmis videoelokuva. Tätä kutsutaan editoinniksi tai leikkaamiseksi. Jälkituotantovaiheessa tehdään myös esimerkiksi kuvan värimäärittely ja äänen jälkikäsitely. [Foust ym. 2013: 5.]

Jokainen tuotantovaihe on lopputuloksen kannalta yhtä tärkeä, joskin esituotantovaiheen merkitys kasvaa suurissa tuotannoissa. Jokainen tuotantovaihe myös vaikuttaa seuraavaan, joten huolellisuus eri työvaiheissa on tärkeää toivotun ja hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi [Musburger & Ogden 2014: 1–2]. Tuotantovaiheessa tehtyjä virheitä, kuten huonolaatuista kuvaa tai ääntä, ei edes aina ole mahdollista täysin korjata jälkituotantovaiheessa.

Projektin eri työvaiheet ja käytettävät resurssit voidaan esittää Gantt- eli janakaaviona, josta voidaan samalla myös seurata projektin etenemistä. HINKU-videotuotannon työvaiheet on esitetty janakaaviona kuvassa 10. Janakaaviokuva on tehty projektihallintaan käytettävällä Microsoft Project -ohjelmalla. Täydellinen janakaavio on esitetty liitteessä 2.



Kuva 10. HINKU-videotuotannon työvaiheet janakaaviona.

HINKU-videon eri tuotantovaiheissa pidettiin säännöllisesti kokouksia asiakkaan kanssa. Niissä käsiteltiin projektin tilannetta, ja asiakas hyväksyi kulloisenkin työvaiheen tuloksen. Samalla aikataulutettiin seuraavat työvaiheet ja varattiin niihin liittyvät resurssit. Jälkituotantovaiheessa kokouksissa päätettiin esiversioiden katselun jälkeen videoelokuvaan tehtävistä muutoksista.

3.2 Käsikirjoitus ja kuvaussuunnitelma

Videotuotannon suunnittelu alkaa usein laatimalla yhden tai kahden sivun mittainen luonnostelma tuotannosta eli niin kutsuttu synopsis. Sen laatii joko asiakas eli videon tilaaja tai sitten tehtävään erikseen palkattu käsikirjoittaja tai tuottaja. Synopsiksen pohjalta voidaan aloittaa tuotannon jatkosuunnittelu eli käsikirjoituksen tekeminen. [Lukkari 2004: 19–20.] Myös lyhyttä videoelokuvaa varten on suositeltavaa tehdä jonkinlainen käsikirjoitus, josta käy ilmi tavoitteena oleva valmiin videoelokuvan keskeinen sisältö. Näin tekninen henkilöstö voi suunnitella laitteiston tarpeen ja käytön eri kohtauksia kuvattaessa [Foust ym. 2013: 10–11].

HINKU-videotuotannon synopsiksen ja käsikirjoituksen laati asiakas, joka toimitti myös osan etukäteen kuvatausta kuvituskuvamateriaalista. Tässä tapauksessa videoon ei ollut mahdollista tehdä etukäteen tarkkaa kuvaussuunnitelmaa. Täydellisen kuvaussuunnitelman laatiminen olisi vaatinut myös ennakkokäynnin kuvauspaikalla. Tällainen käynti on tarpeen tehdä suurissa tuotannoissa ja erityisesti silloin, kun käytetään jotain erikoistekniikkaa. Näin varmistetaan työnkulun sujuvuus ja toteutuksen onnistuminen.

Asiakkaalla oli HINKU-videotuotannon tapauksessa kuitenkin riittävät perustiedot kuvauspaikoista ja määrittely tarvittavista paikan päällä kuvattavista kuvituskuvista. Asiakas halusi sisällyttää videoon kaksi haastattelua, joista toinen haluttiin kuvata Raumalla ja toinen Keravalla. Kuvaustyyli ja tarvittavien kuvituskuvien aiheet päätettiin asiakkaan kanssa pidetyssä kokouksessa.

Tällainen kokouksessa päätetty yleisluontoinen kuvaussuunnitelma on riittävä parin haastattelun kuvaamiseen, mutta mikäli haastatteluita on useita, tulisi myös kuvakulmat miettiä etukäteen. Tämä on leikkaamisen estetiikan kannalta erityisen tärkeää siinä tapauksessa, että haastateltavien kuvia halutaan leikata valmiissa videossa peräkkäin tai mikäli kuvilla halutaan esittää jokin tietty kuvallinen tarina.

3.3 Laitteistomäärittely

Kuvaamiseen ja äänittämiseen tarvittava laitteisto määräytyy käsikirjoituksen ja kuvaussuunnitelman mukaisesti. Laitteiston valintaan vaikuttaa tietenkin myös tuotannon budjetti. Eri valmistajilla on runsaasti erilaisia kameroita, mikrofoneja ja tallentimia sekä muita laitteita erilaisiin tarkoituksiin. Raakamateriaalin tallennukseen käytettävä pakkausmenetelmä määräytyy käytännössä kameran tai tallentimen mukaan.

Varsinkin HD-tasoinen videotuotanto asettaa editointiin käytetyille tietokoneelle tiettyjä vaatimuksia, eikä kaikkien videoformaattien käsittely ehkä ole mahdollista jokaisella editointiohjelmistolla. Tämä on siis otettava huomioon tuotannon suunnitteluvaiheessa kamera- tai tallenninvalintaa tehtäessä.

HINKU-video toteutettiin kokonaan niin sanottuna yksikameratuotantona, mikä tarkoittaa, että kuvaamiseen käytettiin yhtä kameraa ja kaikki videon otokset kuvattiin yksitellen. Yksikameratuotannoissa käytetään yleisesti muistikorttitalentimella varustettua videokameraa. Televisiostudioissa käytetään monen kameran järjestelmiä, joissa kuvalaitteet on kytketty videomikseriin. Videomikserillä voidaan valita se kamera tai kuvalähde, jonka kuva halutaan tallentaa.

Asiakkaan kanssa käydyn neuvottelun perusteella päätettiin, että sekä Raumalla että Keravalla kuvattavat haastattelut kuvataan molemmat yhdellä kameralla. Ensimmäisen haastattelun kuvauspaikaksi määriteltiin toimistohuone ja toinen päätettiin kuvata ulkona

jäteaseman pihalla. HINKU-videon kuvaamiseen käytetty laitteisto saatiin lainaksi Metropolia Ammattikorkeakoulusta.

Haastateltava ja huone päätettiin valaista kuvausvalaisimilla ja kuvaaminen suorittaa koko videon osalta jalustalta yhtenäisen ilmeen saavuttamiseksi. Haastatteluiden äänitykseen päätettiin käyttää langallista solmiomikrofonia. Toinen haastattelu kuvattiin päi- väsaikaan Keravalla ulkotiloissa, eikä kohdetta katsottu tämän vuoksi olevan tarpeen valaista.

Jälkituotannon osalta sovittiin, että suoritan editoinnin omalla tietokoneellani, joka sovel- tui HD-videokuvan editointiin. Tietokoneessa oli valmiiksi liitettynä erillinen eSATA-kiin- tolevy videotiedostoja varten sekä jälkikäsitteilyohjelmistot asennettuina. Metropolia Am- mattikorkeakoulun tiloissa oli mahdollista muuntaa videomateriaalia editointiohjelmiston uudemmalla versiolla. Videon selostusääni päätettiin tallentaa myös koulun studiossa. Valmis video sovittiin toimitettavaksi tiedostomuodossa tietoverkon kautta, samoin kuin haastatteluista editoinnin suunnittelua varten tehtävät katselukopiot.

4 Videoelokuvan tuotantovaihe

Tuotantovaihe on se vaihe, jolloin videoelokuva varsinaisesti kuvataan eli raakamateri- aali kuvataan ja äänitetään. Kuvattava kohde yleensä valaistaan, jollei kuvausolosuhtei- den vuoksi esimerkiksi pelkkä auringonvalo ole riittävä. Suuremmissa tuotannoissa ku- vauspaikalle rakennetaan myös usein lavasteet.

4.1 Kuvaaminen

Ihmissilmälle näkyvä valo on sähkömagneettista aaltoliikettä, jonka aallonpituus on vä- liltä 400–780 nm. Aallonpituus määrittää näkyvän valon värisävyn. Luonnossa esiintyvät värit ovat polykromaattisia, eli ne heijastavat useita eri aallonpituuksia, joista hallitseva aallonpituus määrää näköaistimuksen värisävyn. Näkyvä valo on valkoista tai harmaata, kun säteilyä on kaikilla aallonpituuksilla likimäärin yhtä paljon. Ihmiselle näkymättömiä aallonpituuksia väliltä 780–25000 nm kutsutaan lähi-infrapuna-alueeksi ja aallonpituuk- sia väliltä 100–400 nm ultraviolettialueeksi. [Luther & Inglis 1999: 30.] Näkyvän valon eri värisävyt ja vastaavat aallonpituudet on kuvattu taulukossa 5.

Taulukko 5. Valon värisävy ja aallonpituus [Luther & Inglis 1999: 30].

Värisävy	Aallonpituus likimäärin (nm)
Violetti	400
Sininen	450
Syaani	490
Vihreä	520
Keltainen	575
Oranssi	590
Punainen	640

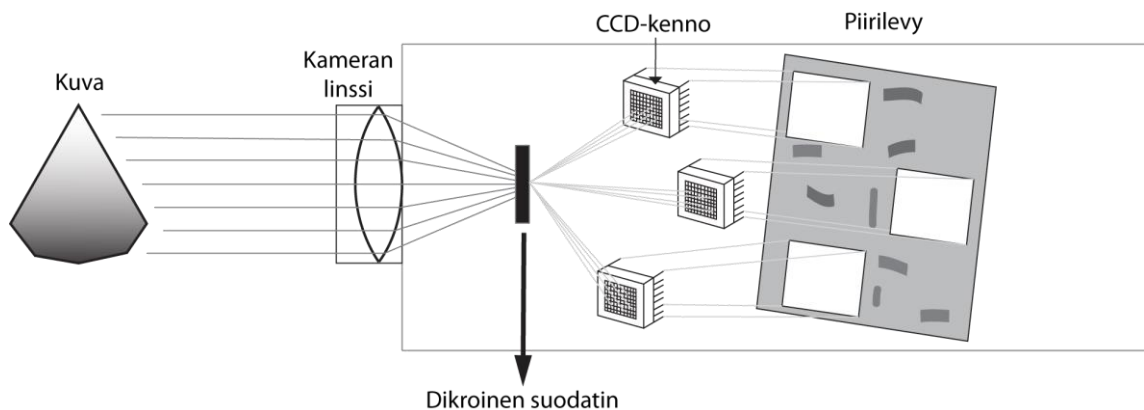
Valon lähteiden sävyä kuvataan tavallisesti värilämpötila-asteikolla, jonka mittayksikkö on kelvin. Päivänvalon värilämpötila on noin 6500 kelviniä, hehkulampun värilämpötila 3000 kelviniä ja kynttilän värilämpötila noin 2000 kelviniä [Jokinen 2004: 20].

Videotuotannossa kuvattava kohde valaistetaan tähän käyttöön erityisesti tarkoitetuilla valaisimilla. Studioissa valaisimet ovat yleensä valmiina, mutta muissa tiloissa valaisu on rakennettava alusta lähtien paikan päällä. Kuvauskäyttöön tarkoitettuja valaisimia on halogeenipolttimoilla ja loisteputkilla varustettuja. Uusimmat valaisimet ovat LED-valaisimia, joissa polttimoiden sijaan käytetään hohtodiodeja (engl. *light-emitting diode*).

Kameran tarkoitus laitteena on muuntaa valosäteilystä muodostuva optinen kuva sähköiseksi videosignaalksi. Kameran perusosat ovat linssi, kuvantamislaitte ja etsin. Kameran linssin kautta valo kohdistuu kuvantamislaitteisiin, missä tapahtuu sähköinen kuvanmuodostus. Kameran kuva näkyy sähköisessä etsimessä. Tämän lisäksi kamerassa on muun muassa säätimet kuvan tarkentamiseksi ja linssin polttovälin muuttamiseksi. [Zettl 2013: 54.]

Useimmissa kameroissa käytetään kuvantamislaitteina CCD-kennoja (engl. *charge-coupled device*) kameran linssiin tulevan valon muuttamiseksi sähköiseen muotoon. Joissain uusissa kameroissa käytetään myös CMOS-kennoja (engl. *complementary metal-oxide-semiconductor*), jotka ovat valmistuskustannuksiltaan CCD-kennoja jonkin verran edullisempia. Ammattikäyttöön tarkoitetuissa kameroissa on yksi CCD-kenno jokaista kolmea pääväriä eli punaista, vihreää ja sinistä varten. Kameran linssin ja CCD-kennojen

välissä on suodatin, joka suodattaa pois kaksi kolmesta väristä kutakin kennoa varten (kuva 13). [Weise & Weynand 2007: 12–13.]



Kuva 11. Kolmikennoisen CCD-kameran rakenne [Weise & Weynand 2007: 13].

Kuvaustilanteessa kamera on ensin säädettävä vallitsevien valo-olosuhteiden mukaisesti. Ensin valitaan valon väriämpötilaa vastaava suodatin. Kun sopiva väriämpötilasuodatin on valittu, täytyy kamerasäätöä valkotasapaino säätää kuvaamalla täysin valkoista kohdetta, esimerkiksi valkoista paperia, ja määrittämällä se kamerasäätöistä valkoiseksi. Tämä valkotasapainon asettaminen kalibroi kamerasäätöä punaisen, vihreän ja sinisen värin yhdistelmän tuottamaan valkoista väriä. Useissa kameroissa on valittavissa erilaisia esiasetuksia eri kuvaustilanteita varten, kuten auringonvaloa, sisävaloa tai kynttilänvaloa vastaavat väriämpötilan asetukset. Kamerasäätöä valkotasapainon säätö voi olla myös täysin automaattinen. [Musburger & Ogden 2014: 76.]

Kamerasäätöä aukko säädetään niin, että kuva on oikein valotettu. Useimmissa kameroissa on käytettävissä valotuksen helpottamiseksi etsimessä niin sanottu zebra-toiminto, joka korostaa raidoilla kuvan ne alueet, jotka alkavat ylivalottua. Hämärässä kuvattaessa saatetaan myös kamerasäätöä vahvistusta joutua säätämään. Kamerasäätöä vahvistus on kamerasta riippuen tyypillisesti säädettävissä 0 dB:n, 6 dB:n, 12 dB:n tai 18 dB:n tasoon [Musburger & Ogden 2014: 74]. Vahvistus aiheuttaa kuitenkin kuvaan kohinaa, joten sitä ei ensisijaisesti tulisi käyttää, vaan kuvattava kohde tulee valaista ja kuvan valotukseen käyttää suodattimia ja kamerasäätöä.

Varsinainen kuvaaminen edellyttää kuvaajalta hyvää silmän ja käden yhteistoimintaa ja kuvan estetiikan tuntemista. Kuvan sommittelu ja rajaus tehdään kamerasäätöä etsimessä kuvan perusteella. Elokuvaamisessa käytetään usein termiä kuvakoko. Tällä tarkoitetaan

kuvan rajausta eli kuvattavan kohteen sommittelua kuva-alaan. Sommitteluun vaikuttaa käytetty kuvasuhde. Kuvakoko merkitään kuvaussuunnitelmaan ohjeeksi kuvaustilannetta varten. Yleisesti käytetään niin sanottua kahdeksan kuvakoon järjestelmää, jossa kuvakoot lyhenteineen ja rajauksineen ovat

- erikoislähikuva (ELK), (osa kasvoista)
- lähikuva (LK), (pää ja olkapäät)
- puolilähikuva (PLK), (pää ja rinta)
- puolikuva (PK), (vartalon yläosa vyötäröä myöten)
- laaja/suuri puolikuva (LPK/SPK), (rajautuu polvien yläpuolelta)
- kokokuva (KK), (koko henkilö)
- laaja/suuri kokokuva (LKK/SKK), (henkilö ja osa ympäristöä)
- yleiskuva (YK), (henkilö ja laajasti ympäristöä laajasti tai maisemakuva).

Kuvakoko tarkoittaa kuitenkin tässä yhteydessä siis nimenomaan kuvan rajausta eli kohteen kokoa kuva-alassa, eikä sitä pidä sekoittaa kuvateknisiin termeihin, kuten kuvan resoluutioon tai kuvasuhteeseen.

HINKU-videon haastatteluiden ja osan kuvituskuvien kuvaamiseen käytettiin Panasonic AG-HPX171E -kameraa, joka tallentaa DVPRO HD -muotoista videota P2-muistikortteille. Kamera on melko kevyt ja pienikokoinen, joten se on helposti kannettavissa yhdessä jalustan kanssa. Ensimmäinen haastattelu kuvattiin tavallisessa toimistohuoneessa, jossa oli kiviseinät, puulattia ja muutama ikkuna sekä katossa epäsuorasti valaisevat valkeat loisteputkivalaisimet. Haastateltavan taustalla olevan ikkunan kautta huoneeseen heijastui jonkin verran auringonvaloa (kuva 12). Haastattelu kuvattiin niin, että kuvan rajauksena käytettiin puolikuvaa.

Haastattelutilanne valaistiin kahdella Litepanels 1x1 LS Bi-Color-LED-valaisimella, joissa on väriämpötilaltaan sekä 3200 kelvinin että 5600 kelvinin hohtodiodeja. Näin valaisimien tuottaman valon väriämpötila oli valaisimen säätimillä portaattomasti säädettävissä 3200 kelvinin ja 5600 kelvinin välillä. Myös valaisimien hohtodiodien valotehokkuus oli portaattomasti säädettävissä. Maksimivalaistusvoimakkuudeksi valmistaja ilmoittaa

1,8 m:n etäisyydellä valaisimesta 464 lx värilämpötilassa 5600 K ja 527 lx värilämpötilassa 3200 K [Litepanels 1x1 LS Bi-Color Specifications 2015: 2]. Tämän todettiin myös käytännössä olevan riittävä haastattelutilanteen valaisemiseksi.

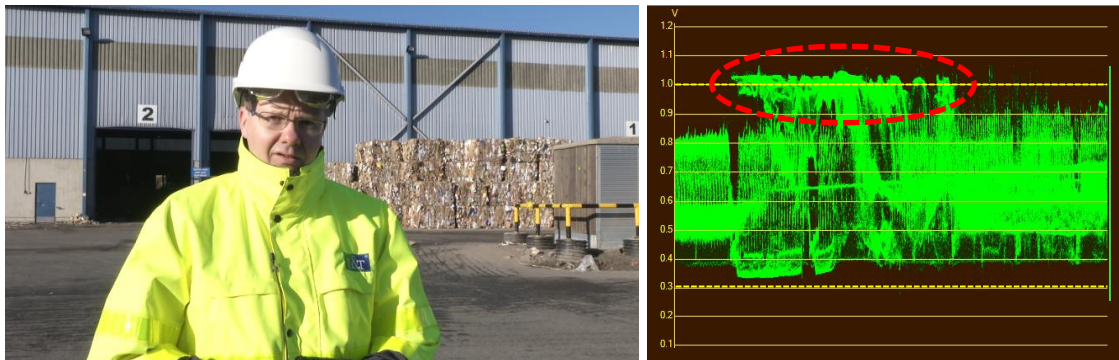


Kuva 12. HINKU-videotuotannon kuvaus- ja äänitystilanne Raumalla.

Valaisimet kiinnitettiin korkeussuunnassa säädettäviin valotelineisiin ja kytkettiin verkkomuuntajilla sähköverkkoon. Näitä valaisimia voidaan käyttää myös akkuvirralla. Valaisimissa on valotelineisiin kiinnittämistä varten kiinnityskolo 16 mm:n kiinnitystapeille. Valotelineitä on saatavilla erikokoisin kiinnitystapein, joten valaisimen sopivuus valotelineeseen on tämän takia etukäteen varmistettava.

Tavoitteena oli valaista kuvattava kohde eli haastateltava henkilö mahdollisimman tasaisesti. Toinen valaisin sijoitettiin kohteen etupuolelle kamerasta katsoen oikealle puolelle ja toinen lähes kohteen taakse kamerasta katsoen vasemmalle puolelle mahdollisimman korkealle. Haastateltavan etupuolella olevan valaisimen värilämpötila säädettiin lähelle 5600:aa kelviniä ja kamerasta päin katsoen ylös vasemmalle sivulle sijoitetun valaisimen värilämpötila säätöasteikon puoliväliin, mikä vastaa noin 4400:aa kelviniä. Valoteho säädettiin kamerasiimen kuvan perusteella käyttäen eräänä vertailukohtana huoneeseen ikkunan kautta tulevaa valoa.

Haastattelujen kuvaamisen yhteydessä tehtiin muutama tekninen virhe. Ensimmäinen haastattelu tallennettiin 1080i-videoformaatin sijaan erehdyksessä 720p-formaatissa. Tämä huomattiin vasta jälkikäsitteilyvaiheessa. Toisen haastattelun kuvauksissa ongelmaksi muodostui voimakas auringonvalo, joka sai kuvan helposti ylivalottumaan. Ylivalottuneessa kuvassa videosignaalin taso on kuva-alassa laajalti sallitulla ylärajalla, eikä tämän vuoksi kuvan tällä alueella näy muita sävyjä (kuva 13). Haastatteluosuuden videokuvaa jouduttiin tämän vuoksi korjaamaan jälkikäsitteilyvaiheessa säätämällä luman ja kroman tasoja värikorjausohjelmassa.



Kuva 13. Keravalla kuvatun haastattelun kuvassa keltainen takki oli hieman ylivalottunut. Aaltomuotonäytössä on ympyröity punaisella sallitun rajan ylittävä videosignaali.

Kameralla tulisi tallentaa aina ennen varsinaista otosta väripalkkeja ja testiääntä, jotta jälkikäsitteilyssä kuvan luman ja kroman tasot ovat helposti tarkastettavissa editointiohjelmiston omasta aaltomuotonäytöstä ja vektoriskoopista sekä äänen taso ohjelman äänimittarista [Zettl 2013: 241].

Kamera tallentaa videotiedostoon tai nauhalle myös aikakoodin, joka on usein raakamateriaalia kuvattaessa kellonaika. Tiedostopohjaisessa raakamateriaalin tallennuksessa aikakoodi on osittain menettänyt merkityksensä, sillä lyhyitä raakamateriaalileikkeitä ei ole tarvetta editoitaessa kelata kuten videonauhoja. Tiedostot voidaan siirtää suoraan editointiohjelmistoon, ja editointi voidaan aloittaa saman tien leikkaamalla raakamateriaalista halutut kohdat aikajanelle.

Sekä haastattelut että kuvituskuvat päätettiin kuvata jalustalta. Tämä johtui siitä, että kuvan haluttiin pysyvän vakaana ja rajauksen ja sommittelun säilyvän muuttumattomana koko haastattelun ajan. Jalustana käytettiin Cartoni HiDV -kolmijalkaa, joka on melko kevyt ja pienikokoinen kamerajalusta. Suurin sallittu paino tähän jalustaan liitettävälle kameralle voi olla 5,9 kg. Täten se soveltuu ainoastaan pienten kameroiden jalustaksi.

4.2 Äänittäminen

Ihmisen kuulema ääni on molekyylien värähtelyä ilmassa tai muussa välittäjäaineessa taajuusalueella 20 Hz – 20 kHz [Brixen 2014: 1–2]. Mikrofoni muuttaa äänen sähköiseksi signaaliksi. Mikrofoneja on erilaisia, ja oikeanlaisen mikrofonin valintaan vaikuttavat pääasiassa äänitysolosuhteet. Mikrofoneissa käytetään erilaisia mikrofonielementtejä, joiden perusteella mikrofonit voidaan jakaa dynaamisiin mikrofoneihin, kondensaattorimikrofoneihin ja nauhamikrofoneihin. [Musburger & Ogden 2014: 87.]

Dynaaminen mikrofoni on lujatekoinen ja antaa hintaansa nähden parhaan taajuusvasteen eikä tarvitse erillistä virransyöttöä. Kondensaattorimikrofonit tuottavat paremman äänen, ja ne tarvitsevat erillisen virtalähteen, joka voi olla paristo tai 48 V:n phantom-virransyöttö äänimikseristä tai kamerasta. Nauhamikrofonit ovat kalliita, ja niitä käytetään useimmiten ainoastaan äänitysstudioissa. [Zettl 2013: 128–129; Musburger & Ogden 2014: 88.] Mikrofonit ovat yleensä analogisia, eli mikrofoniliitin on analoginen ääniliitin. Digitaalisille mikrofoneille käytettävä liitäntärajapinta on AES42 [Brixen 2014: 178].

Kaikkia erityyppisiä mikrofoneja on olemassa eri käyttötarkoituksien mukaan erilaisilla suuntakuviolla, joita ovat

- pallo (engl. *omnidirectional*)
- hertta (engl. *cardioid*)
- hyperhertta (engl. *hypercardioid*)
- haulikko (engl. *supercardioid*)
- kahdeksikko (engl. *bi-directional*).

Pallo-suuntakuviainen mikrofoni poimii äänet joka suunnasta yhtä voimakkaana. Muun suuntakuvioidet mikrofonit poimivat äänet vain tietyistä suunnista. Hertta-suuntakuvioidet ovat yleisimpiä TV-tuotannoissa käytettyjä mikrofoneja, sillä ne poimivat äänet vain yhdestä suunnasta. [Zettl 2013: 137.]

HINKU-videon haastattelujen äänitykseen käytettiin langallista Sony ECM-44B -solmiomikrofonia. Se on kondensaattorimikrofoni, jonka suuntakuviota on pallo. Tässä mikrofonissa on virranlähteenä 1,5 V:n paristo, sillä se ei tue phantom-virransyötön käyttöä.

5 Videoelokuvan jälkituotanto

Videoelokuvan jälkituotantovaiheessa kuvatusta ja äänitetystä raakamateriaalista koostetaan valmis videoelokuva. Leikkaus- ja jälkikäsittelyprosessi toteutetaan nykyään yleensä tietokonepohjaisesti erityisillä editointiin ja jälkikäsittelyyn tarkoitetuilla ohjelmistoilla. Elokuvan leikkaus on hyvin luovaa työtä ja vaatii kykyä tarinankerrontaan. Videoelokuvan leikkaajan on tunnettava leikkaamisen estetiikka ja hallittava kuvakerronnan perusteet.

5.1 Työasema ja ohjelmistot

Työasemapohjaista editointia kutsutaan ei-lineaariseksi editoinniksi (engl. *non-linear editing*, lyh. *NLE*). Nimitys johtuu siitä, että kuva- ja äänimateriaalia voi editoida aikajanalla missä järjestyksessä tahansa ja leikkeiden tai kuvien väliin voidaan jälkeenpäin lisätä uusia leikkeitä. Linearisessa eli nauhapohjaisessa editointijärjestelmässä editoitavat kohdat kopioidaan järjestyksessä nauhalta toiselle eikä nauhalle voi jälkeenpäin lisätä mitään nauhoittamatta kaikkea lisäyskohdan jälkeistä kuvaa ja ääntä uudelleen.

Editointiin käytettävän työaseman suoritustehon on oltava riittävä, sillä esimerkiksi HD-videotiedostot ovat melko suurikokoisia. Tietokoneessa tulisi olla 64-bittinen moniydinsuoritin. Editointiohjelmistot ovat melko raskaita, ja usein on tarpeen suorittaa useaa ohjelmaa samanaikaisesti varsinkin, jos työskennellään erilaisten efektikompositioiden kanssa. Tällöin työasemassa tulisi olla keskusmuistia vähintään 8–16 Gt. Tietokoneen näytönohjaimen tulee olla riittävän tehokas videoeditointikäyttöön.

Myös työaseman massamuistilaitteen on oltava riittävän nopea. On suositeltavaa käyttää videotiedostoille kokonaan omaa kiintolevyä tai RAID-levyjärjestelmää. HD-videon editointi ei ole esimerkiksi mahdollista suoraan ulkoisilta USB 2.0 -kiintolevyiltä, sillä niiden tiedonsiirtonopeus ei ole riittävä tämällyypiseen käyttöön. Videoeditointikäyttöön sopivat parhaiten USB 3.0-, FireWire 800- ja eSATA-liitännällä varustetut kiintolevyt. USB 3.0 -levyjen käyttö edellyttää, että tietokoneessa on käytettävissä USB 3.0 -portteja. [Musburger & Ogden 2014: 198–201.] Editointityöaseman suositeltavat laitteistokoonpanot eri käyttöympäristöissä on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Editointiyöaseman suositeltavat laitteistokokoonpanot eri käyttöympäristöissä [Musburger & Ogden 2014: 201].

	Windows	Mac
Käyttöjärjestelmä	Windows 7 tai 8 Pro tai uudempi (64-bittinen)	OS-X 10.8 Mountain Lion, 10.9 Mavericks tai uudempi (64-bittinen)
Muisti	4 Gt RAM (6 Gt suositeltava)	4 Gt RAM (6 Gt suositeltava)
Näytönohjain	NVIDIA Quadro FX 3 tai Intel HD4000	NVIDIA GeForce 3, Intel HD4000, ATI Radeon tai AMD FirePro
Massamuistilaite	250 Gt – 3 Tt 7200 rpm SATA, 128–512 Gt SSD	3 Tt 7200 rpm SATA, 512 Gt SSD tai 1 Tt Fusion
Toissijainen massamuistilaite	suuriin projekteihin suositeltava, nopeus 7200 rpm	suuriin projekteihin suositeltava, nopeus 7200 rpm

HINKU-videon editoinnissa käytetyssä tietokoneessa oli Windows 7 -käyttöjärjestelmä, 8 Gt muistia, NVIDIA GeForce -näytönohjain ja järjestelmälevyn lisäksi ulkoinen 2 Tt:n eSATA-kiintolevy, jonne muistikorteilta siirretty raakamateriaali kopioitiin. Lisäksi editointiprojektin varmuuskopiointia varten käytettiin ulkoista USB 3.0 -levyä.

Videon editointiin on olemassa useita erilaisia Windows- tai Mac-käyttöympäristöissä toimivia ammattikäyttöön tarkoitettuja ohjelmistoja. Windows-ympäristössä toimivia editointiohjelmistoja ovat

- Sony Vegas Pro
- Grass Valley EDIUS Pro 7
- AVID Newscutter.

Mac-ympäristössä toimivia ohjelmistoja ovat

- Final Cut Pro 7
- Final Cut Pro-X
- Autodesk Smoke
- Media 100 Suite.

Molemmissa käyttöympäristöissä (Windows ja Mac) toimivat

- Adobe Premiere Pro Creative Suite
- Adobe Premiere Pro Creative Cloud
- AVID Media Composer 7
- EditShare Lightworks.

EditShare Lightworks -ohjelmisto on saatavissa myös Linux-käyttöjärjestelmälle. [Musburger & Ogden 2014: 202.] Ohjelmiston uusin maksullinen versio mahdollistaa muun muassa monikameraeditoinnin ja sisältää tuen 3D-videolle.

HINKU-videon editointi ja kuvan- ja äänenkäsittely toteutettiin lähes kokonaan Adobe Creative Suite 4 -ohjelmistolla, mutta editointiin ja tiedostojen muuntamiseen kokeiltiin myös Sony Vegas Pro 13- ja EditShare Lightworks 12 -ohjelmia. Joitain tiedostomuunnoksia tehtiin lisäksi uudemmalla Adobe Creative Cloud -ohjelmistolla. Tarkoituksena oli lähinnä kokeilla editoinnin alkuvaiheessa ilmenneiden yhteensopivuusongelmien jälkeen eri videotiedostojen toimivuutta eri ohjelmistoversioiden välillä.

Adobe Creative Suite 4 -ohjelmistoon kuuluu editointi-, grafiikka- ja kuvankäsittelyohjelmia sekä äänenkäsittelyohjelma. Adobe Creative Cloud on tämän ohjelmiston uusin, pilvipalveluun perustuva versio.

5.2 Editointi

Editointiohjelman käyttöliittymässä on useimmiten aikajana ja kaksi videonäyttöä, joista toinen on raakamateriaalileikkeelle ja toinen editoidulle elokuvalla (kuva 14). HINKU-videon editointiin käytetyssä Adobe Premiere Pro CS4 -ohjelmassa molempien videoikkunoiden alla on ohjauspainikkeet muun muassa videon toistoa, kelausta ja pysäytystä varten.

Käyttöliittymän vasemmassa laidassa on tiedostonhallinta, jonka listassa näkyvät editointiprojektiin tuodut raakamateriaalileikkeet ja esimerkiksi nimiketektieditorilla luotu grafiikka ja erilliset Adobe After Effects CS4 -ohjelmalla tehdyt kompositiot. Käyttöliitty-

män alalaidassa on niin sanottu aikajana, jolle editoitava elokuva koostetaan. Sen vasemmalla puolella on lisäksi näkyvissä valikoima käytettävissä olevista kuvasiirtymistä ja efekteistä.



Kuva 14. Adobe Premiere Pro CS4 -editointiohjelman käyttöliittymä ja editoitavana oleva HINKU-videoelokuva.

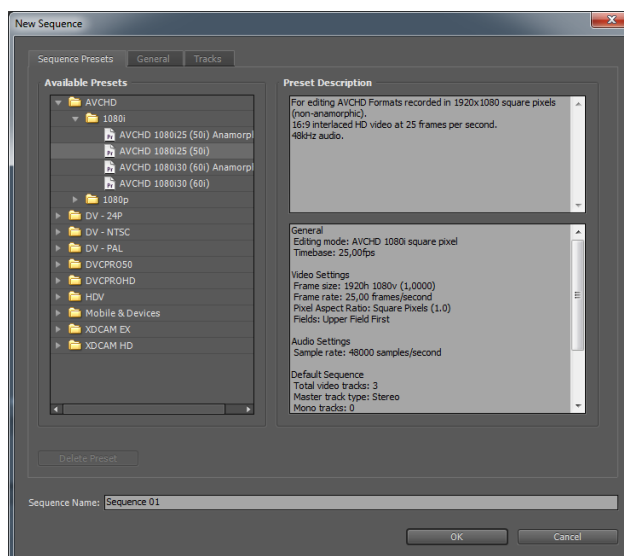
Editointi aloitetaan luomalla editointiohjelmassa uusi projekti, määrittelemällä sen perusasetukset ja luomalla projektiin ainakin yksi uusi sekvenssi, jonka aikajanalla oleville kuva- ja ääniraidoille koostetaan itse editoitavana oleva videoelokuva. Projektin ja sekvenssien asetukset määritetään videoelokuvan kuvaustilanteessa tallennukseen käytetyn video- ja audioformaatin mukaisesti.

On huomattava, että eri valmistajien ohjelmistoissa käytetään samoista toiminnoista ja ominaisuuksista hieman toisistaan poikkeavia nimityksiä. HINKU-video editoitiin Adobe Premiere Pro CS4 -ohjelmalla, jossa aikajanasta käytetään tässä tapauksessa nimitystä sekvenssi (engl. *sequence*). Lightworks-ohjelmistossa aikajanasta käytetään englanninkielistä termiä ”*edit*”.

Mikäli raakamateriaali koostuu useista eri formaateissa olevista leikkeistä, kannattanee riippuen editointiohjelmasta joko projektin tai sekvenssin formaatiksi valita sellainen,

jonka muodossa suurin osa projektiin tuoduista raakamateriaalitiedostoista on tallennettu. Näin on vältettävissä turhien muunnoksien tekeminen, sillä sekvenssin formaatista poikkeava videoleike on useimmissa tapauksissa ensin renderöitävä editoitaessa sitä aikajanalla tai muussa tapauksessa aikajanan toisto ja kuvasiirtymien esikatselu eivät yleensä ole reaaliajassa mahdollista. Valmis editoitu videoelokuva on kuitenkin aina julkaistavissa sekvenssin asetuksista riippumatta useissa eri tiedostomuodoissa ja eri videonpakkausmenetelmillä kompressoituna.

Osa HINKU-hankkeen toimenpiteisiin liittyvästä kuvamateriaalista oli valmiiksi kuvattuna ja asiakas toimitti sen suoraan tietoverkon kautta tiedostoina editoitavaksi. Pääosa valmiina olleesta kuvituskuvamateriaalista oli kuvattu AVCHD (*Advanced Video Codec High Definition*) -formaattissa, joten editointiohjelman sekvenssin formaatiksi esiasetuksista valittiin AVCHD 1080i25 (kuva 15). Sekvenssin videokuvan resoluutioksi määritettiin 1920×1080 pikseliä ja kuvanopeudeksi 25 kuvaa/s. Kenttäjärjestyksenä on ylempi kenttä ensin. Äänen näytteenottotaajuus on 48 kHz ja sekvenssin master-ääniraita stereomuotoinen.



Kuva 15. Uuden sekvenssin luominen projektiin Adobe Premiere Pro CS4 -ohjelmassa.

Editointiohjelmasta riippuen joko projektiin tai sekvenssin asetuksissa määritetään siis myös käytettävä äänijärjestelmä (stereo tai 5.1) eli äänikanavien lukumäärä. Ohjelmisto luo editointisekvenssiin määrityksen perusteella ääniraidat. Niitä voi ainakin Adoben ohjelmistoissa lisätä editoinnin aikana myöhemminkin, mutta on työnkulun kannalta järkevää määrittää myös ne jo heti editointiohjelman projektiin perusmääritysten tekemisen

yhteydessä. Tällöin raakamateriaalia aikajanalle tuotaessa äänileikkeiden editointi on helpompaa.

Kun editointiprojekti on luotu, voidaan tiedostopohjaisesti tallennetut raakamateriaalileikkeet tuoda suoraan projektin tiedostonhallintaan, jolloin ne ovat saman tien käytettävissä editointiin. Tiedostopohjaisesta tallennuksesta poiketen nauhapohjaista järjestelmää käytettäessä video- ja äänidata on ensin siepattava editointiohjelman käyttöön leikkeiksi. Tämä tarkoittaa, että nauhalla oleva raakamateriaali siirretään tiedostoiksi editointiin käytettävän työaseman kiintolevylle. Siepattavat kohdat määritetään nauhalle tallennetun aikakoodin perusteella. Tämä toimenpide tehdään reaaliajassa, joten siihen on varattava riittävästi aikaa, mikäli nauhat ovat pitkiä ja niitä joudutaan kelaamaan paljon.

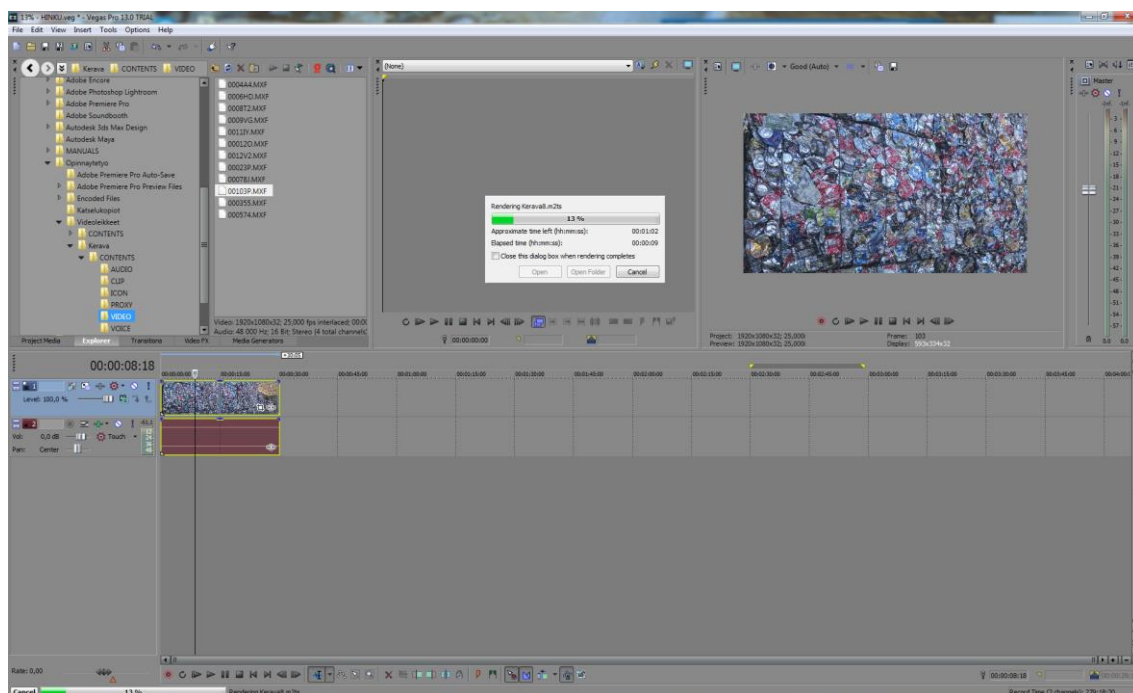
Videon kuvituksena käytetyistä valmiista kuvituskuviosta osa oli kuvattu resoluutiolla 1920×1080 (kuvapistesuhde 1:1) ja osa resoluutiolla 1440×1080 (kuvapistesuhde 1,333:1). Useimmissa tapauksissa editointiohjelmat tunnistavat raakamateriaalitiedoston tallennetun videon kuvanopeuden ja kuvasuhteen sekä kuvan mahdollisen alfa-kanavan oikein, mutta joskus projektiin tuodun tiedoston kyseiset määritykset on tehtävä käsin, mikäli ohjelmisto syystä tai toisesta tulkitsee esimerkiksi kuvasuhteen väärin niin, että kuva näyttää venyneeltä tai litistyneeltä.

Haastatteluosuudet tallennettiin kuvaustilanteessa 32 gigatavun suuruisille P2-muistikorteille MXF-tiedostoihin DVCPRO HD -videoformaattissa. Niistä oli tämän vuoksi tehtävä ennen varsinaisen editoinnin aloittamista Windows Media -muotoiset matalaresoluutioiset katselukopiot. Tämä antoi asiakkaalle mahdollisuuden valita kuvatuista haastatteluista lopullisessa videoelokuvassa käytettävät osuudet. MXF-tiedostoja ei ole tavallisesti mahdollista katsella tietokoneella ilman, että järjestelmään on asennettu erillinen katseluohjelma ja tiedoston sisältämän kuvan ja äänen mukainen pakkauksenhallinta eli video- ja audiokoodekit.

Editointia aloitettaessa todettiin, ettei P2-muistikorteille tallennettujen MXF-videotiedostojen tuominen projektiin Adobe Premiere Pro -editointiohjelman versiossa 4.0.1 onnistunut. Ohjelma antoi tuontivaiheessa ilmoituksen virheellisestä tai ei-tuetusta tiedostomuodosta. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, ettei kyseinen ohjelmaversio sisällä tukea Panasonicin kameran tallentamalle videoformaatile. Ohjelman versioon 4.2.0 on lisätty tuki muutamille uusille tiedostomuodoille mukaan lukien tuki AVC-Intra-formaatile. Ilmeni

kuitenkin, että Adobe Creative Suite 4 -ohjelmiston päivityksen jälkeen AVCHD-formaatissa olevia tiedostoja ei ollut enää mahdollista toistaa tai editoida. Lisäksi AVCHD-sekvenssien luomiseen tarvittavat esiasetukset puuttuivat päivitetystä versiosta. Tämän vuoksi koko Adobe Creative Suite 4 -ohjelmisto oli palautettava alkuperäiseen versioon, jotta editointia voitiin jatkaa.

En yrityksistä huolimatta löytänyt ratkaisua tähän Adoben päivityksen mukanaan tuomaan AVCHD-tuen puuttumiseen. Aikataulussa pysymisen vuoksi asia ratkaistiin ensin muuntamalla MXF-tiedostot Sony Vegas Pro 13 -editointiohjelmistolla AVCHD-formaattiin ja tuomalla nämä muunnetut tiedostot varsinaiseen videoelokuvan editointiin käytettyyn Adobe Premiere Pro CS4 -ohjelmaan (kuva 16). Käytettävissä oli ainoastaan Sony Vegas Pro 13 -ohjelman kokeiluversio, joten varsinaista editointia ei voitu suorittaa tällä ohjelmalla.

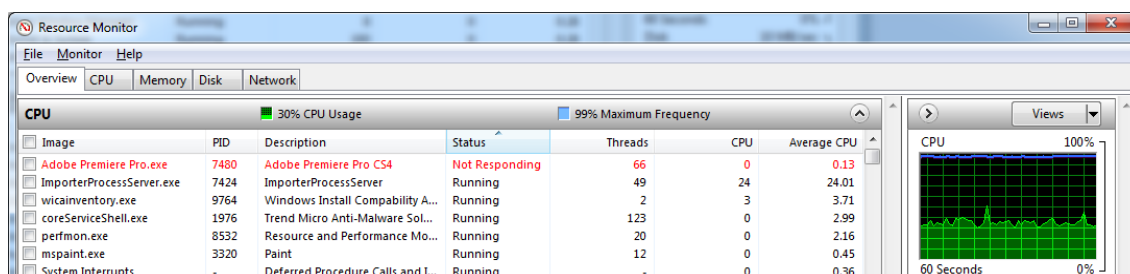


Kuva 16. Sony Vegas Pro 13 -ohjelmiston käyttöliittymä ja käynnissä oleva videon renderöinti AVCHD-muotoon.

Muunnoksen yhteydessä haastattelun videoleikkeistä koodattiin myös Windows Media -muotoiset katselukopiot matalalla resoluutiolla tiedonsiirtonopeudella 512 kb/s. Nämä pienikokoiset tiedostot oli mahdollista siirtää verkkoyhteyden kautta työn tilaajalle katseltaviksi käsikirjoituksen viimeistelyä ja editoinnin suunnittelua varten. Katselukopioiden siirtoon tilaajalle tietoverkon kautta käytettiin WeTransfer-tiedostonsiirtopalvelua.

DVCPRO HD -muotoisen videon muuntaminen AVCHD-muotoon ei kuitenkaan välttämättä ole järkevää, sillä kuvan laatu saattaa heikentyä pakkausmuotoa muutettaessa. Paremman lopputuloksen saavuttamiseksi alkuperäiset MXF-tiedostot avattiin uudemmalla Adobe Premiere Pro CC -ohjelmalla, ja niistä tehtiin Adobe Media Encoder CC -ohjelmaa käyttäen uudelleen P2-muotoiset MXF-tiedostot. Todettiin, että ne oli mahdollista tuoda suoraan editointityöaseman Adobe Premiere Pro CS4 -ohjelmaan editoitavaksi. Kokeilin avata alkuperäiset tiedostot myös Lightworks 12 -ohjelmistossa. Videotiedostojen toistossa tai editoinnissa ei tällöin ilmennyt mitään ongelmia. Ilmaiseksi ladattava ”VLC media player” versio 2.2.1 sen sijaan ei toistanut tiedostoja.

Adobe Premiere Pro CS4 -ohjelmassa esiintyi myös muita ongelmia raakamateriaalitiedostojen käytössä. Kaikkien MPEG-4-muotoisten videotiedostojen tuominen projektiin ei kunnolla onnistunut, ja valmista videotiedostoa julkaistaessa AVCHD-muotoisen materiaalin ja MPEG-4-muotoisen materiaalin välille tehdyt ristihäivytykset aiheuttivat koodausvirheitä lopulliseen julkaistuun videotiedostoon. MPEG-4-videotiedostoja tuotaessa editointiohjelmisto lakkasi toisinaan vastaamasta käyttäjän ja järjestelmän kutsuihin ja samalla ImporterProcessServer-prosessi kulutti Windowsin resurssienvälvönnän mukaan liki 25 % tietokoneen suorittimen resursseista (kuva 17).



Kuva 17. Editointiohjelmiston virhetilanne Windowsin resurssienvälvönnän näkymässä.

Annoin prosessin jatkaa lähes puolen tunnin ajan, mutta editointiohjelma ei tämänkään jälkeen vastannut järjestelmälle. Ohjelma ei antanut missään vaiheessa minkäänlaista virheilmoitusta. Kyseessä on todennäköisesti ohjelmistossa oleva virhe tai muu yhteensopivuusongelma, jollaiset ovat ilmeisesti yleisiä erityisesti videoeditointiohjelmistoissa. Tiedoston tuontiin liittyvä ongelma ratkaistiin lopulta muuntamalla MPEG-4-muotoinen tiedosto MPEG-2-muotoon ja tuomalla tämä muunneltu tiedosto editointiohjelman projektiin.

Varsinainen leikkaaminen aloitettiin koostamalla aikajanelle käsikirjoituksen mukaisesti selostus ja haastatteluista valitut kohdat. Tämän jälkeen käytiin läpi asiakkaan toimittamaa kuvituskuvamateriaalia, josta valittiin parhaat otokset videon kuvitukseksi. Kuvituskuvista pyrittiin leikkaamaan kuvallisesti ehjiä kokonaisuuksia, jotka mahdollisimman hyvin sopivat selostukseen ja HINKU-hankkeen eri osa-alueiden esittelyyn lyhyessä alle viiden minuutin mittaisessa videossa. HINKU-videon editointi tehtiin vaiheittain, ja asiakas hyväksyi aina kuvituksena käytetyn kuvamateriaalin.

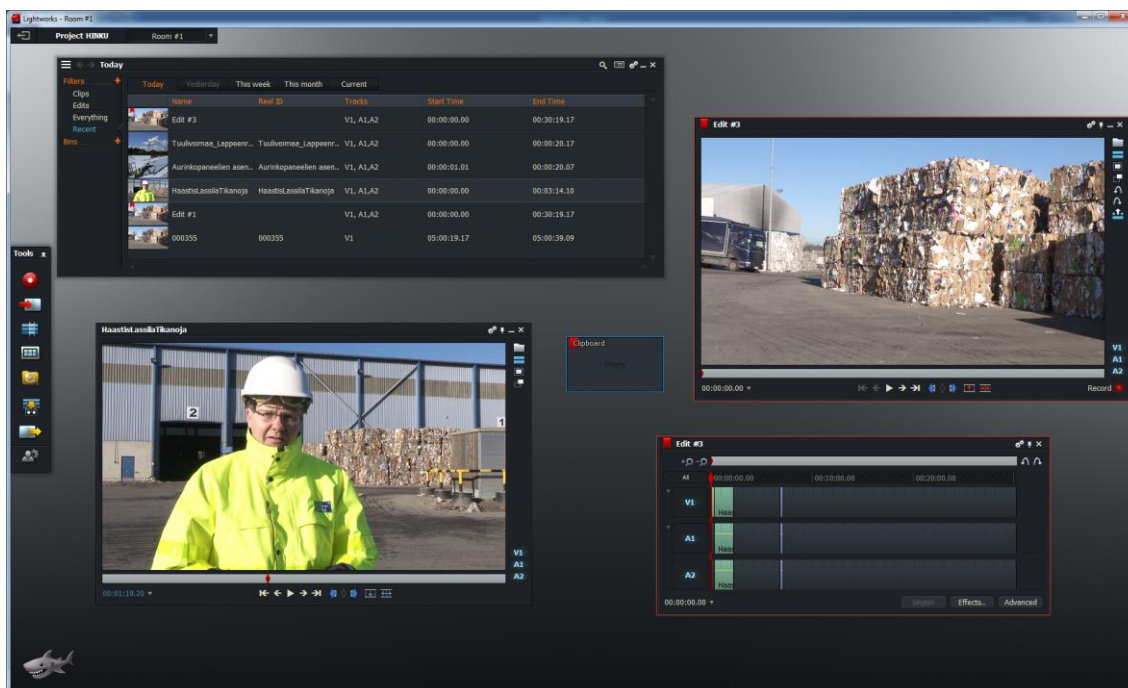
Raumalla kuvattua haastattelua editoitaessa huomattiin, että video oli tallennettu 720p-formaatissa, vaikka alkuperäisen määrityksen mukaisesti tallennus olisi pitänyt tehdä 1080i-formaatissa. Tämän vuoksi haastattelun videokuva oli muunnettava 1080i-muotoon. Tämä onnistui kuitenkin helposti renderöimällä videoleike editointiohjelmassa. Samalla todettiin, ettei kuvanlaadussa onneksi ollut havaittavissa suurta poikkeavuutta muuhun kuvamateriaaliin verrattuna.

Kuvituksena käytettyjen valokuvien kuvasuhde ei ollut videon 16:9-kuvasuhteen mukainen. Tämän vuoksi kuvia jouduttiin skaalaamaan ja jonkin verran myös rajaamaan, jotta ne saatiin sovitettua videokuvan kuva-alaan. Tässä yhteydessä todettiin, että asiakkaan toimittamien kuvien resoluutio oli riittämätön kuvien käyttämiseen 1920 × 1080 -resoluution videossa. Asiakas toimitti tilalle uudet korkearesoluutioiset kuvat, joita voitiin skaalata riittävästi käytettäväksi videossa.

Aikajanelle tuotujen videoleikkeiden, grafiikan ja kuvien välille on editointiohjelmassa mahdollista tehdä erilaisia siirtymiä ja leikkeisiin on mahdollista määritellä erilaisia efektejä. Yleisesti käytetty siirtymä leikkeiden välillä on ristihäilytys eli ristikuva, jossa päättyvä leike muuttuu hitaasti alkavaksi leikkeeksi. Kuvasiirtymien käyttö ja leikkauksen nopeus vaikuttavan videoelokuvan rytmiin. Myös erilaisten siirtymien käyttö edellyttää siis hyvää elokuvaleikkaamisen estetiikan tuntemusta. HINKU-videossa käytettiin kuvasiirtyminä ristihäilytystä ja valokuvien välissä siirtymää valkoisen kautta.

Videon editointia kokeiltiin myös Lightworks 12 -editointiohjelman ilmaisella perusversioilla. Lightworks-ohjelman käyttöliittymä on jonkin verran erilainen verrattuna Adoben ohjelmistoihin tai Sony Vegas Pro -ohjelmaan, vaikkakin sen perustoiminnallisuudet ovat niitä vastaavia. Myös Lightworks-ohjelmassa on kaksi videoikkunaa, aikajana ja erillinen

ikkuna projektiin tuodun raakamateriaalin hallintaa varten (kuva 18). Lightworks-ohjelmistosta on saatavilla sekä ilmainen perusversio että maksullinen Lightworks Pro -versio.



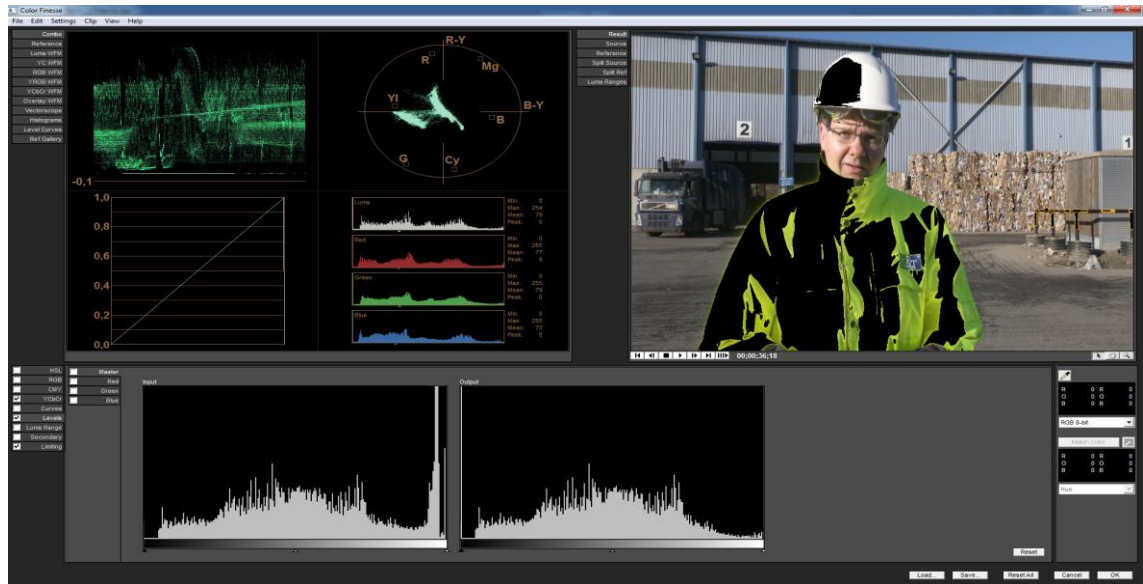
Kuva 18. Lightworks 12 -editointiohjelmiston perusversion käyttöliittymä.

Adobe Premiere Pro CS4 -ohjelmassa haluttu siirtymä tai efekti vedetään aikajanalla olevan leikkeen päälle. Vastaavasti Lightworks 12 -ohjelmassa efektit ja muut komennot aikajanalla oleville leikkeille asetetaan hiiren oikealla painikkeella avattavasta valikosta. Myös video- ja ääniraitojen toiminnoissa on ohjelmistokohtaisia eroja, vaikkakin peruseriaatteeltaan editointi aikajanalla tehdään kaikissa ohjelmistoissa samalla tavoin.

Editointivaiheessa todettiin, että HINKU-videon toisen, ulkona auringonvalossa kuvatun, haastattelun kuva oli hieman ylivalottunutta, joten videosaunan taso oli laajalti kuva-
alassa ylärajalla. Tämä haluttiin korjata jälkikäsitelyssä värikorjausohjelmalla. Korjaukseen käytettiin Adobe After Effects CS4 -ohjelman Color Finesse 2 -lisäosaa, jolla on mahdollista muun muassa säätää sekä videon luman että kromin tasoja. Kuvan luman tasoa pudotettiin riittävästi, jotta kuva ei näytä ylivalottuneelta.

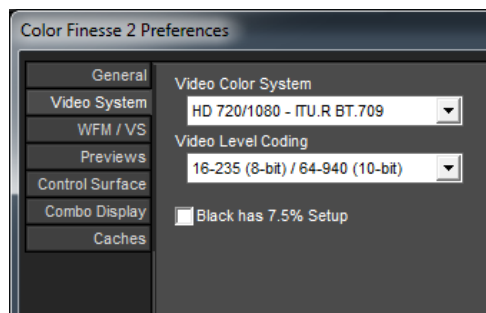
Raja-arvon ylittävä luma ja kroma näkyy kuvassa mustana, kun raja-arvojen ylitykselle on valittu esikatselutoiminto käyttöön (kuva 19). Tämän asetuksen käyttö vaikuttaa Color

Finesse 2 -liitännäisessä kuitenkin jonkin verran harhaanjohtavasti myös ohjelman aaltomuotonäyttöön ja vektoriskooppiin, sillä esikatselutoimintoa käytettäessä myös niissä signaali muuttuu esikatseluikkunan mukaisesti vastaamaan mustaa. Esikatselua käytettäessä täytyy siis huomata, ettei varsinaista korjausta ole vielä tehty, vaikka aaltomuotonäyttö osoittaaakin kuvasignaalin luman olevan sallituissa rajoissa.



Kuva 19. Adobe After Effects CS4 -ohjelman Color Finesse 2 -värikorjausliitännäisen käyttöliittymä ja korjattavana oleva haastattelun videokuva.

Käytettävä videovärijärjestelmä on useimmiten ensin valittava värikorjaus- tai värimäärittelyohjelmiston asetuksista (kuva 20). Käytettäessä standardiresoluution NTSC- tai PAL-videojärjestelmää käytetään ITU-R BT.601 -suosituksen mukaista määrittelyä. HD-videojärjestelmää käytettäessä on valittava ITU-R BT.709 -suosituksen mukainen määrittely.



Kuva 20. Color Finesse 2 -värikorjausliitännäisen perusasetukset.

Color Finesse 2 -liitännäisen asetuksista valitaan myös videon koodauksen bittisyvyys ja videokuvan mustan taso. NTSC-videojärjestelmässä videokuvan musta on tasolla 7,5 IRE-yksikköä, joten tämä on otettava asetuksissa huomioon, mikäli raakamateriaali on alun perin kuvattu ja tallennettu NTSC-videojärjestelmän mukaisesti. Videokuvan luman ja kromin tasoissa tapahtuu virheellisiä muutoksia, mikäli näitä asetuksia ei ole säädetty oikein.

5.3 Grafiikka ja animaatiot

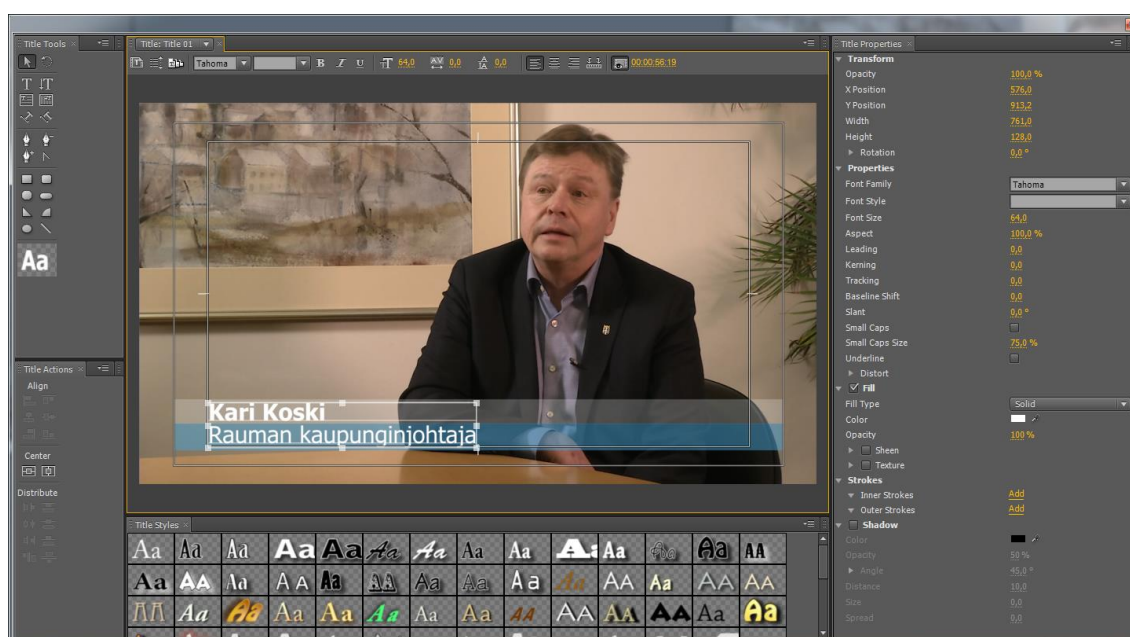
Videokuvassa käytetään grafiikkaa välittämään sellaista tietoa, jota ei voida kertoa kuvin tai selostuksena tai on muuten perustellumpaa esittää se kuvassa kirjoitetussa muodossa. Videokuvan graafisten elementtien suunnittelun peruseriaatteena on, että kaikki kuvassa oleva informaatio on esitettävä selkeästi ja tekstin on oltava helposti luettavissa. Yleisesti ottaen tekstejä käytetään esimerkiksi kuvassa näkyvien henkilöiden esittelyyn. [Foust ym. 2013: 166–167.]

HINKU-videoon haluttiin tehdä otsikkoteksti, liittää kuvan päälle haastateltavien nimet, esittää kartta HINKU-hankkeeseen liittyneistä kunnista ja animoitu grafiikka HINKU-kuntien päästövähennyksistä sekä rullaavana tekstinä lista HINKU-kuntien toimenpiteistä. Asiakas toimitti grafiikkaan tulevat tekstit ja graafisen ohjeiston, jossa oli määritelty käytettävät värit ja fontit.

Kuvan päälle tulevat tekstit ja grafiikka voidaan tehdä editointiohjelmiston omalla työkalulla, tai ne voidaan tuoda omina grafiikkatiedostoinaan editointiohjelman projektiin. Mikäli grafiikka tehdään jollain muulla kuin editointiohjelmistolla, täytyy käytettävän tiedostomuodon sisältää niin sanottu alfa-kanava, joka määrittää kuvan pikseleiden läpinäkyvyyden. Editointiohjelmat tukevat poikkeuksetta kaikkia yleisimpiä grafiikka- ja kuvatiedostomuotoja.

Grafiikkatiedostomuotoja on yleisesti ottaen kahdenlaisia: bittikarttakuvia ja vektorigrafiikkaa. Bittikartta on esimerkiksi tavallinen valokuva, jonka jokaista kuvapistettä kohti on otettu kameralla näyte. Vektorigrafiikka koostuu vektoreista ja lasketaan erilaisilla matemaattisilla funktioilla. Lisäksi on olemassa näiden kahden yhdistelmiä, jotka sisältävät sekä bittikarttoja että vektoreista muodostuvia objekteja.

HINKU-videoelokuvan alussa oleva otsikkoteksti, henkilöiden esittelytekstit sekä HINKU-kuntien rullaava toimenpidelista tehtiin Adobe Premiere Pro CS4 -ohjelman omalla otsikkotekstieditorilla, jossa on käytettävissä perustason piirtotyökalut sekä runsaasti erilaisia mallipohjia ja muokkausvaihtoehtoja itse tekstille sekä muille graafisille elementeille. Otsikkoteksteihin on mahdollista lisätä muun muassa erilaisia liukuvärejä, reunuksia ja varjostuksia. HINKU-videon otsikkotekstit tehtiin noudatellen pääosin asiakkaan graafista ohjeistoa, joskin fonttikoko sovitettiin videokuvaan ja nimitekstien taustapohja määritettiin läpinäkyväksi (kuva 21).

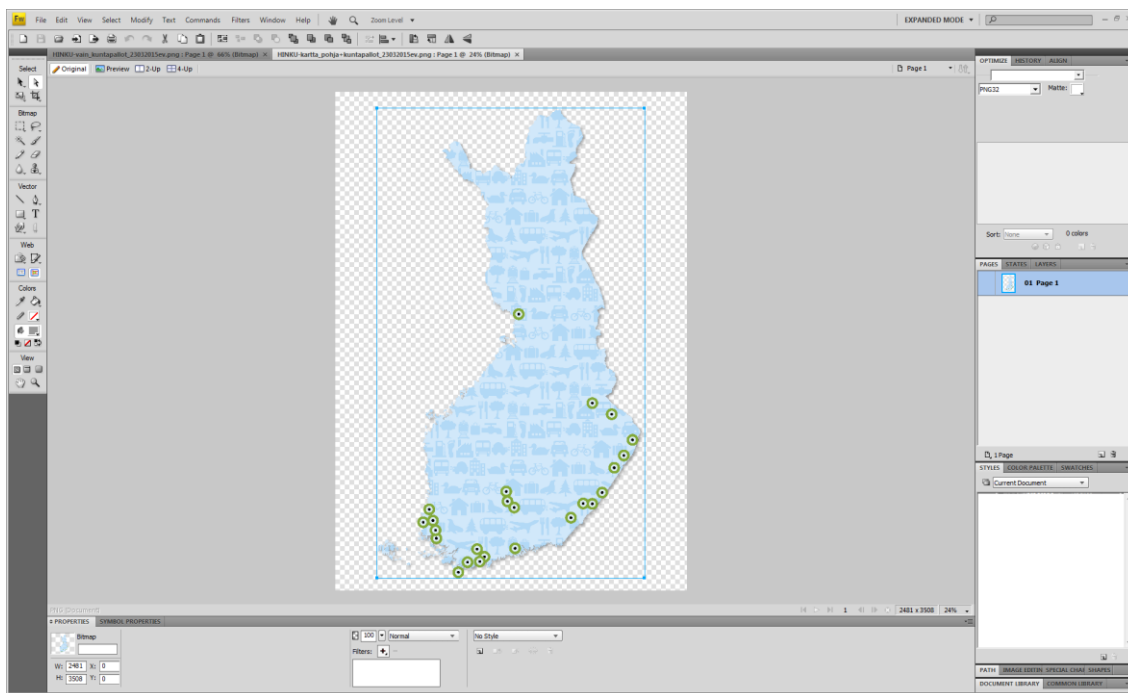


Kuva 21. Adobe Premiere Pro CS4 -ohjelman otsikkotekstieditori.

HINKU-videossa käytetty kartta toteutettiin lopulliseen muotoonsa Adobe Fireworks CS4- ja Adobe After Effects CS4 -ohjelmilla. Adobe Fireworks on bittikarttakuvien ja vektorigrafiikan muokkausohjelmisto. Adobe After Effects on videokuvan käsittelyohjelma, jolla tehdään digitaalisia kuvakompositioita ja erikoistehosteita videoelokuvia varten. Ne kumpikin sisältyvät Adobe Creative Suite 4 -ohjelmistoon.

Kuntien liittymisjärjestys hankkeeseen haluttiin esittää animaationa niin, että karttaan ilmestyy aikajärjestyksessä kunnan kohdalle pallo ja sen viereen kunnan nimi. Myös HINKU-kuntia koskevat tilastot haluttiin esittää graafisesti animoituina pylväsgraafiikkana, joka editoitiin selostukseen sopivaksi.

Asiakas toimitti Suomen kartan ja HINKU-kuntia esittävät pallot erillisinä PNG (*Portable Network Graphics*) -tiedostoinaan. HINKU-kuntia esittävät pallot ovat muokattavana kuvassa 22 Adobe Fireworks CS4 -ohjelmassa omalla kerroksellaan (engl. *layer*) ja varsinainen Suomen kartta omallaan. Kartan tekemisen jälkeen HINKU-kuntien määrä oli kasvanut, joten myös pallojen määrää oli lisättävä kopioimalla niitä ja sijoittamalla ne uusien kuntien kohdalle. Pystysuunnassa korkean ja leveysuunnassa kapean kartan sommittelu videokuvaan tuotti pieniä ongelmia videonkuvan 16:9-kuvasuhteen vuoksi.

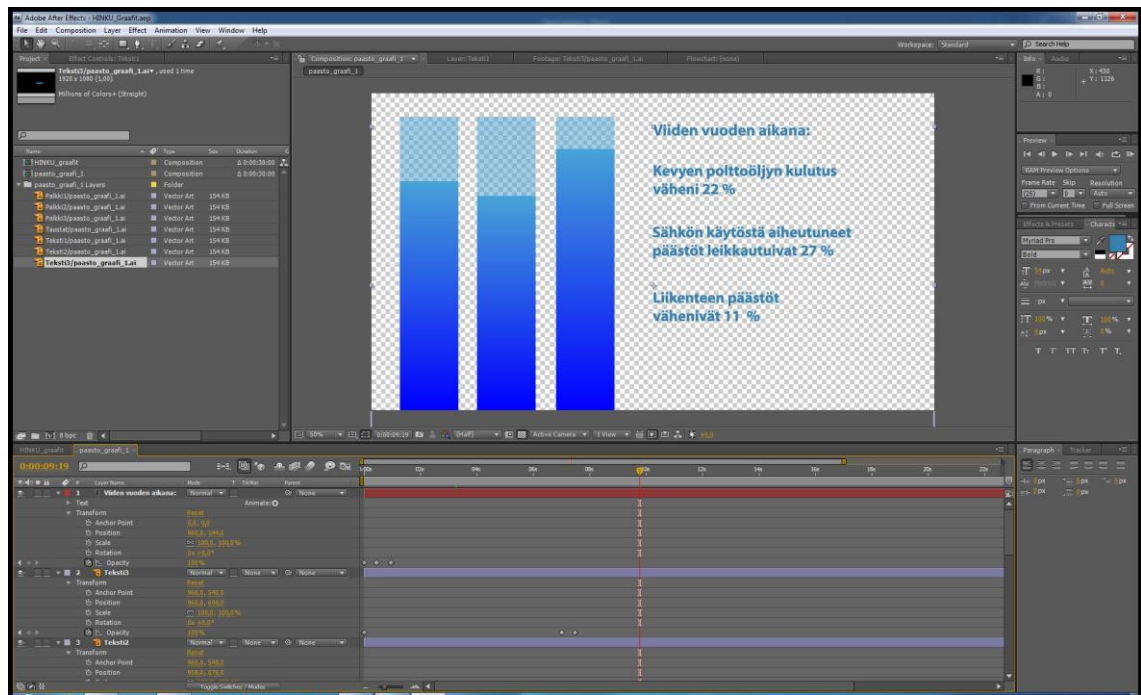


Kuva 22. Adobe Fireworks CS4 -ohjelmiston käyttöliittymä ja muokattavana oleva kartta HINKU-hankkeen kunnista.

Kuntien päästövähennyksiä esittävä grafiikka tehtiin Adobe Illustrator CS4 -ohjelmalla. Varsinainen animointi taas toteutettiin Adobe After Effects CS4 -ohjelmalla, johon AI-muotoiset tiedostot tuotiin muokattavaksi. Adobe Creative Suite 4 -ohjelmat tukevat suoraan kaikkia ohjelmiston tuottamia tiedostomuotoja, joten esimerkiksi Adobe Illustrator -ohjelmassa tehtyä grafiikkaa voidaan muokata helposti myös animoinnin jälkeen.

Kompositio tehdään Adobe After Effects CS4 -ohjelmistossa aikajanalla tekemällä eri objektien ominaisuuksille niin sanottu avainruutuja (engl. *key frame*). Nämä ovat eräänlaisia ohjausmerkkejä, joihin on tallennettu kompositioon tuotujen objektien määrittelyt, kuten objektin sijainti, leveys, korkeus tai läpinäkyvyys. Aikajanan vaakasuuntainen asteikko on kuluva aika ja pystysuunnassa ovat objektien määritteet (kuva 23).

Toteutin HINKU-kuntia esittävän kartan ”kuntapallojen” animoinnin käyttämällä peitettä eli maskia, jonka läpinäkyvyyden määritin aikajanana avainruutujen avulla muuttumaan halutussa kohdassa 100 %:n ja 0 %:n välillä. Lopputuloksena kunnan kohdalla oleva pallo nousee esiin nimen ilmestyessä pallon viereen. Vaihtoehtoisia toteutustapoja on tietenkin useita, ja laajan ohjelmiston tehokas käyttö edellyttää hyvää kokemusta kompositioiden tekemisestä.



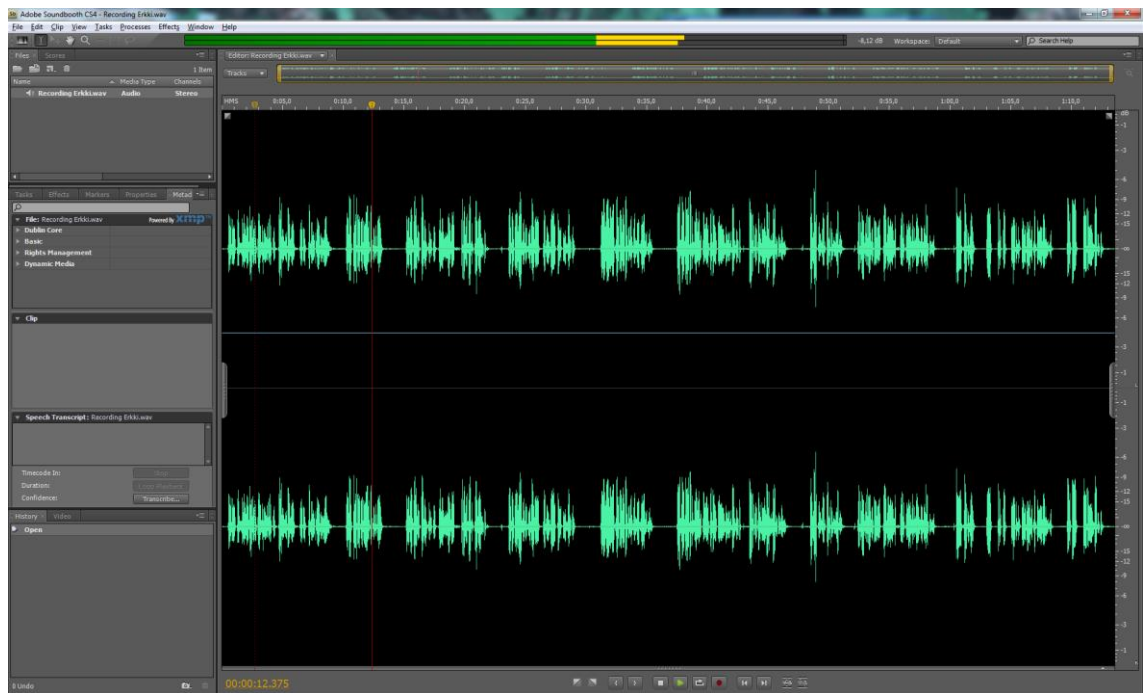
Kuva 23. Adobe After Effects CS4 -ohjelmiston käyttöliittymä ja muokattavana oleva kompositio HINKU-kuntien energiansäästöstä ja päästövähennyksistä.

Valmiit kompositiot tuotiin Adobe Premiere Pro CS4 -editointiohjelmistoon ja liitettiin videoelokuvaan aikajanalla. Tässä tapauksessa kompositioiden taustat jätettiin läpinäkyväksi ja varsinainen taustojen väri määriteltiin vasta editointiohjelman aikajanalla. Alun perin syynä tähän oli tarve käyttää mahdollisimman pitkälti asiakkaan toimittamaa graafista ohjeistusta. Kaikki grafiikka ja kompositiot hyväksyttiin asiakkaalla jälkituotannon aikana pidetyissä kokouksissa.

Taustavärin olisi voinut tietenkin tehdä suoraan myös kompositioon, mutta tässä tapauksessa tuntui editoinnin kannalta joustavammalta säilyttää animoidut kompositiot mahdollisimman yksinkertaisina, jolloin niiden muokkaaminen editoinnin edetessä oli teknisesti helpompaa.

5.4 Äänenkäsittely

Useimmiten on tarpeen muokata ja käsitellä videoelokuvan ääntä esimerkiksi poistamalla siitä taustakohinaa tai muokkaamalla äänen sävelkorkeutta. HINKU-videoelokuvan selostajan ääni käsiteltiin Adobe Soundbooth CS4 -äänenkäsittelyohjelmistolla, johon WAV-muotoon tallennettu äänitiedosto tuotiin. Stereoäänen vasenta ja oikeaa äänikanavaa varten ohjelmistossa on kummallekin omat aaltomuotonäyttönsä ja desibelimitarinsa. Aaltomuotonäyttö esittää äänikanavien sisällön graafisesti (kuva 24).



Kuva 24. Adobe Soundbooth CS4 -ohjelmiston käyttöliittymä ja lukijan äänen tallenne aaltomuotonäytöissä.

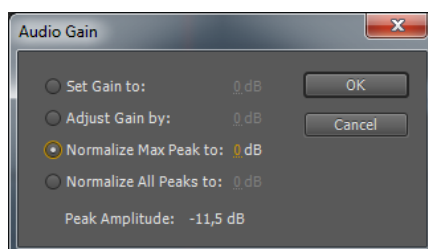
Äänenkäsittelyohjelmistossa ääneen voidaan lisätä eri efektejä, kuten

- viivettä
- flangeria
- kaikua
- säröä.

Lisäksi äänen dynamiikkaa ja vaihetta voi muokata, samoin kuin sen sävelkorkeutta ja nopeutta on mahdollista muuttaa.

Ääntä voi myös leikata videokuvan tavoin, eli raakaäänestä voidaan poistaa kohtia ja väliin voidaan liittää muuta ääntä. HINKU-videon selostusäänestä poistettiin ensin taustakohinaa ja rasahduksia sekä kumua ohjelmiston käsittelytoiminnoilla. Tämän jälkeen äänen dynaamista aluetta kompressoitiin, jotta se oli helpommin miksattavissa yhteen taustamusiikin kanssa.

Äänenkäsittelyohjelmistossa käsitellyt äänitiedostot tuotiin editointiohjelmaan, minkä jälkeen äänileikkeiden vahvistus säädettiin niin, että kaikissa aikajanalla olevissa leikkeissä äänen huiput oli normalisoitu tasoon 0 dB (kuva 25). Tämä helpottaa äänen tason säätämistä aikajanalla avainruutujen avulla. Ääni on säädettävä editointiohjelman äänimittareiden mukaan niin, ettei äänentaso milloinkaan ylitä sallittua rajaa. Muussa tapauksessa ääni säröytyy ja siitä leikkautuu osa pois [Musburger & Ogden 2014: 223].



Kuva 25. Leikekohtaisen äänenvahvistuksen säätäminen Adobe Premiere Pro CS4 -ohjelmassa.

Selostajan ja haastateltavien äänen on kuuluttava selkeästi, minkä vuoksi äänen miksaus esimerkiksi taustamusiikin kanssa yhteen on tehtävä huolellisesti. Editointiohjelmassa ääntä voidaan käsitellä leikekohtaisesti tai vaihtoehtoisesti miksata eri äänikanavia keskenään. Äänileikkeiden alkuun ja loppuun tai niiden välille on myös mahdollista lisätä häivytykset.

HINKU-videon äänet miksattiin leikekohtaisesti editointiohjelman aikajanalla muuttamalla äänenvoimakkuutta niin sanotun rautalankatyökalun ja avainruutujen avulla. Editointiohjelman käyttöliittymässä on aikajanalla olevissa äänileikkeissä eräänlainen rautalanka, jonka avulla äänileikkeen senhetkistä äänentasoja voi nostaa tai laskea. Äänen voimakkuutta voi siis muuttaa liikuttamalla rautalankaa tietokoneen hiirellä. Tämän lisäksi rautalankaan voi asettaa avainruutuja, joiden kohdalla äänen tason nosto tai lasku alkaa tai päättyy.

Kaikki videon äänileikkeiden alut nostettiin ja loput häivytettiin, ja sen lisäksi leikkeiden väliin tehtiin ristihäivytykset. Asiakkaan valitsema taustamusiikki tuotiin MP3-muotoisissa tiedostoissa editointiohjelmaan ja miksattiin omilla ääniradoillaan selostuksen ja puheäänten kanssa yhteen.

5.5 Valmiin videoelokuvan julkaiseminen

Kun videoelokuva on leikattu editointiohjelmassa valmiiksi ja kaikki tarvittavat elementit, kuten grafiikka, on lisätty ja äänet ja musiikki miksattu, tehdään aikajanasta videoelokuvan esittämistä varten tuotannon mediavalinta huomioon ottaen lopullinen videotiedosto. Lopullisen videotiedoston formaatti määräytyy siis sen mukaan, mihin käyttöön videoelokuva tulee ja millä tavoin se on tarkoitus esittää.

Kuten todettua, osa tiedostomuodoista, kuten QuickTime, mahdollistavat videokuvan ja äänen koodaukseen käytettävän koodekin valinnan. Toiset tiedostomuodot, kuten MPEG-2, voivat taas sisältää ainoastaan yhdellä ja tietyllä koodekilla koodattua videodataa. Koodekin valinta tehdään asiakkaan valitseman jakelutavan eli tuotannon mediavalinnan mukaisesti. Valmiista tuotannosta on tietenkin aina mahdollista koodata useita eri kopioita eri tiedostomuodoissa sekä eri videon- ja äänenpakkausmenetelmiä käyttäen, mikäli jakelumuotoja on useita.

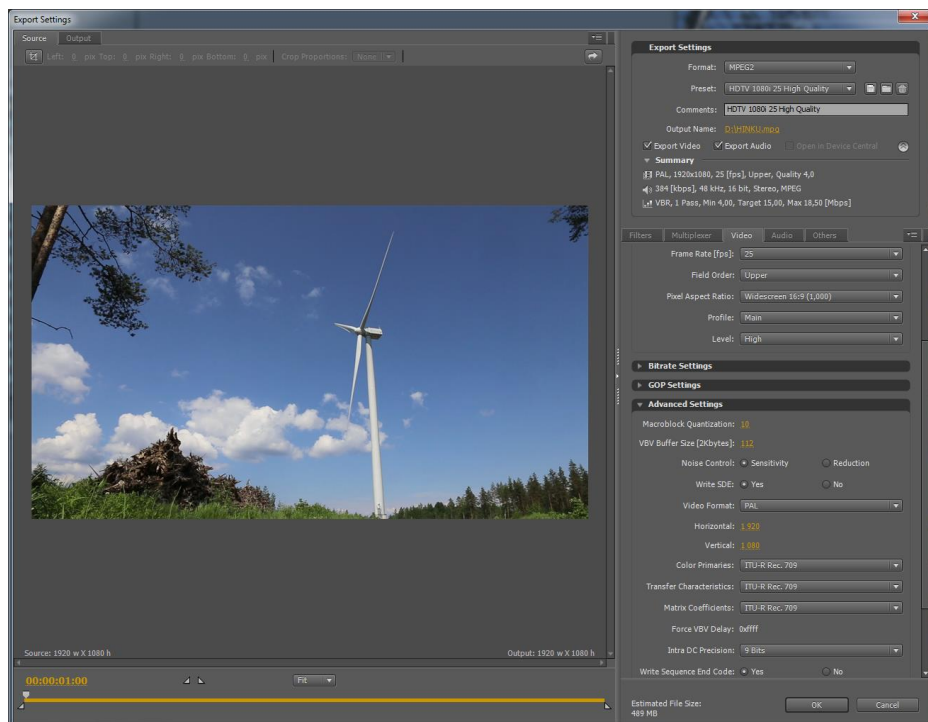
MPEG-1 on kaikkein yleisimmin tuettu pakkausmenetelmä, joten sen käyttöä jakelussa kannattaa harkita silloin, kun videotiedostoa saatetaan katsella vanhemmilla laitteilla. MPEG-2 on sopivin pakkausmenetelmä, jos videoelokuva on tulossa DVD-jakeluun tai esitetään televisiossa. MPEG-4- tai H.264-pakkaus sopivat paremmin verkkojakeluun tai mobiililaitteille [Waggoner 2010: 173–174.] QuickTime-tiedostojen toisto edellyttää, että tietokoneeseen on asennettu QuickTime-ohjelmisto.

Pakkausmenetelmien asetuksissa käytetään erilaisia profiileja (engl. *profile*) ja tasoja (engl. *level*). MPEG-2-pakkauksessa käytetyt profiilit ovat Main Profile, jossa kromakomponenttien alinäytteistysjärjestelmä on 4:2:0, ja High Profile, jossa alinäytteistysjärjestelmä on 4:2:2. [Waggoner 2010: 169.] Yleisimmät MPEG-2-pakkauksessa käytetyt tasot on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. MPEG-2-pakkausmenetelmän tasot [Waggoner 2010: 169].

Lyhenne	Nimi	Maksimiresoluutio	Maksimikuvanopeus	Bittinopeus
ML	Main Level	720 × 576	30 kuvaa/s	15 Mb/s
H-14	High 1440	1440 × 1152	30 kuvaa/s	60 Mb/s
HL	High Level	1920 × 1152	30 kuvaa/s (tai 720p60)	80 Mb/s

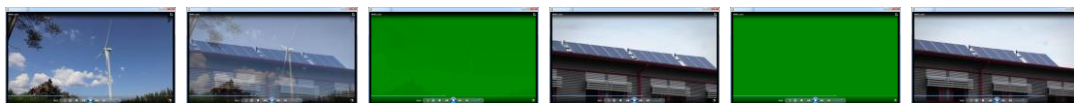
HINKU-videotuotannon lopullinen julkaistava tiedosto koodattiin Adobe Media Encoder CS4 -ohjelmalla sekä MPEG-2- että H.264-muotoisena. MPEG-2-koodaus tehtiin käytämällä MainConcept MPEG Video -koodekkia (kuva 26). Koodauksessa käytettiin Main-profiilia ja High-tasoa sekä ITU-R BT.709 -suosituksen mukaisia värimäärittäjiä ja luma-kertoimia. Äänen koodaukseen käytettiin MPEG-1 Layer II -koodausta. H.264-koodaukseen käytettiin MainConcept H.264 Video -koodekkia ja ääni koodattiin AAC-muotoisena. Julkaistun videotiedoston tekniset tiedot on esitetty liitteessä 1.



Kuva 26. Videotiedoston koodausasetusten määrittäminen Adobe Media Encoder CS4 -ohjelmalla varten.

HINKU-videota editoitaessa todettiin siis, ettei kaikkia videoformaatteja voinut tuoda editoitavaksi samalle aikajanelle editointiohjelmassa tapahtuvien virheiden vuoksi. Vastavia ongelmia esiintyi myös lopullisen videotiedoston koodaamisessa, kun aikajanelle oli

käytetty eri pakkausmenetelmillä pakattuja videoleikkeitä. MPEG-4-muotoisen videoleikkeen ja AVCHD-muotoisten leikkeiden välille ei voinut tehdä aikajanalla ristihäivytyksiä, sillä valmista videoelokuvaa julkaistaessa Adobe Media Encoder CS4 -ohjelmassa tapahtui näissä kohdissa runsaasti koodausvirheitä. Osa videojakson kuvista jäi vihreiksi tai leikkauskohdat olivat siirtyneet useita kuvia aikajanelle editoituihin raakamateriaalileikkeisiin merkittyihin sisään- ja ulosleikkauskohtiin verrattuna (kuva 27). Tämän vuoksi MPEG-4-muotoinen raakamateriaali oli muunnettava MPEG-2-muotoon ennen editointia. Ongelma esiintyi siis Adobe Creative Suite 4 -ohjelmistossa ja saattaa olla jo korjattu uudempiin versioihin.



Kuva 27. Virheellisesti koodautunut jakso lopullisessa videotiedostossa.

Toinen esitysversion videotiedoston koodausta haitannut ongelma oli pian elokuvan alun jälkeen lopulliseen H.264-pakattuun tiedostoon ilmestynyt kuvan nykiminen. Ongelma vaikutti jälleen selvästi ohjelmistovirheeltä ja esiintyi kohdassa, jossa oli käytetty AVCHD-muotoista 1440 × 1080 -resoluution videoleikettä. Ratkaisuna oli eräänlainen satumalta löydetty kiertotie, sillä huomasi kokeilemalla eri asetuksia, että nykimistä ei esiintynyt, kun koodaukseen lisättiin Gaussian Blur -efekti. Asettamalla epätarkkuussäätö nollassa efekti ei vaikuttanut videokuvan tarkkuuteen ja koodaus onnistui virheettömästi. Valmis videotiedosto toimitettiin lopulta asiakkaalle tietoverkon kautta WeTransfer-tiedostonsiirtopalvelun avulla.

6 Yhteenveto

HINKU-videotuotannon toteutus onnistui pääosin odotusten mukaisesti. Suurimpina ongelmina olivat kuvausvaiheessa tehdyt muutamat virheet ja jälkikäsitelyssä todetut yhteensopivuusongelmat eri videoformaattien välillä. Kuvausvaiheen virheet pystyttiin jälkikäsitelyssä korjaamaan niin, ettei niillä ollut sanottavaa vaikutusta lopputulokseen. Yhteensopivuusongelmat hieman hidastivat editointia, mutta myös ne saatiin kohtuullisen helposti ratkaistua käyttämällä tiedostomuunnoksiin toista ohjelmistoversiota.

Yleisesti ottaen videotuotannon koko työnkulku tuotannon ja jälkituotannon eri vaiheiden osalta on aina hyvä suunnitella kirjallisesti, ja kaikki vaaditut muutokset on dokumentoitava. Työvaiheiden aikataulut ja resursointi on tehtävä esituotantovaiheessa ennen tuotantovaiheen alkua. Myös tarkka kuvaussuunnitelma on aina parempi kuin pelkkä suullinen katsaus tarvittavaan kuvitukseen, joskin sellaisen tekeminen nopealla aikataululla on haastavaa ja vaatii myös tarkan käsikirjoituksen laatimista. Jälkituotantovaihetta se kuitenkin helpottaa, joten tuotannon ideointivaiheessa onkin punnittava, onko työn tavoitteena tehdä esimerkiksi pelkkä kuvitettava reportaasi vai kuvallisesti tarkkaan suunniteltu mainoselokuva.

Tuotantovaiheessa on tärkeää huomata, että koska uudet kamerat mahdollistavat useiden eri videoformaattien käytön, on oltava huolellinen tehtäessä tallennukseen liittyviä asetuksia. Nyt ensimmäisen haastattelun tallennusformaatti oli asetettu virheellisesti 720p-muotoon, minkä vuoksi raakamateriaalin videokuvan resoluutio ei ollut tuotannon alkuperäisen määrittelyn mukainen. Jos raakamateriaalin resoluutio on lopputuotteelle määriteltäessä resoluutiota matalampi, on helposti seurauksena näkyvästi heikompi kuvanlaatu lopullisessa videoelokuvassa. Virheellisesti 720p-muodossa kuvattu raakamateriaali jouduttiin jälkikäsitelystä muuntamaan 1080i-muotoiseksi.

Kuvaamisessa ja äänittämisessä on tärkeää tarkkailla kuvan valotusta ja äänentasoja. Tallennettavien video- ja audiosignaalien tasot eivät saa ylittää sallittuja rajoja niin, että niistä leikkaantuu osa pois. Kuva näyttää palavan puhki ja ääni säröytyy, jos signaalista leikkaantuu osa pois. Tällaisen virheen korjaaminen jälkituotantovaiheessa voi olla mahdotonta, sillä poisleikkaantunutta osaa signaalista ei ole raakamateriaalitallenteessa. Tämä tarkoittaa pahimmassa tapauksessa, että raakamateriaali on kuvattava tai äänitettävä uudelleen.

Tärkeää on myös, että editointiohjelmiston yhteensopivuus raakamateriaalin tallennuksessa käytettävän videoformaatin kanssa selvitetään esituotantovaiheessa perusteellisesti jälkikäsitelystä suunnittelun yhteydessä. Kaikki raakamateriaali on pyrittävä tallentamaan samassa formaatissa jälkikäsitelystä työnkulun helpottamiseksi. Mikäli tämä ei ole mahdollista, täytyy tiedostomuunnoksille varata riittävästi aikaa, sillä HD-videon renderöinti on nopeallakin työasemalla melko hidasta.

Tietokoneohjelmistoihin julkaistaan jatkuvasti päivityksiä ja korjauksia, mutta on huomattava, että niitä ei ole järkevää asentaa tuotannon ollessa käynnissä. Päivityksen vaikutukset järjestelmään tulisi aina selvittää ennen sen asentamista. Nyt kun editointityöaseman Adobe Premiere Pro -ohjelmaan asennettiin korjauspäivitys, ei AVCHD-videoleikkeitä enää ollut mahdollista editoida. Sen vuoksi päivitys oli poistettava ja ohjelmisto palautettava aiempaan versioon. Ongelmaan ei löytynyt ratkaisua myöskään internetistä osittain ehkä siksi, että ohjelmistovalmistaja Adobe on jo julkaissut koko ohjelmistopakettista uudemman täysversion.

Koko videotuotannon tuotantoketju tuotantovaiheen kuvaus- ja äänitystilanteista lopullisen videoelokuvan julkaisemiseen asti on teknisesti suunniteltava niin, että raakamateriaali tallentuu ja siirtyy virheettömästi, ja tämän lisäksi jälkikäsitteily on toteutettava siten, ettei kuvan tai äänen laatu heikkene prosessin aikana. Julkaistavan videotiedoston koodauksessa otetaan huomioon tuotannon mediavalinta eli jakelu- tai esitystapa katsojille. Eri käyttöympäristöjen ohjelmistoversioiden mahdollinen vaikutus videotiedoston toistettavuuteen on myös huomioitava.

Kaikkiaan HINKU-videon tuotantoprojekti oli riittävän laaja ja monipuolinen kokonaisuus yksikameratuotantona toteutetun videotuotannon prosessin ja sen eri työvaiheiden oppimiseen. Projektin aikana oli mahdollista saavuttaa selkeä kokonaiskuva asiakaslähtöisten videotuotantoprojektien suunnittelusta ja toteutuksesta sekä saada laaja käsitys videotuotantojen teknologiasta tuotantoon käytettävine laitteistoineen. Insinööriyön lopputuloksena syntyi Suomen ympäristökeskukselle Hiilineutraalit kunnat (HINKU) -hankkeen keskeiset toimenpiteet ja niiden vaikutukset esittelevä videoelokuva.

Lähteet

- 1 Akramullah, Shahriar. 2013. Digital Video Concepts, Methods, and Metrics: Quality, Compression, Performance, and Power Trade-off Analysis. New York: Apress Media.
- 2 Brixen, Eddy B. 2014. Audio Metering: Measurements, Standards and Practice. Burlington: Focal Press.
- 3 Foust, James C. Fink, Edward J. Gross, Lynne S. 2013. Video Production: Disciplines and Techniques. 11th Edition. Scottsdale: Holcomb Hathaway.
- 4 Fries, Bruce. Fries, Marty. 2005. Digital Audio Essentials. Sebastopol: O'Really Media.
- 5 Gonzalez, Rafael C. Woods, Richard E. 2008. Digital Image Processing. 3rd Edition. New Jersey: Pearson Education.
- 6 Jack, Keith. 2007. Video Demystified. 5th Edition. Burlington: Elsevier.
- 7 Jokinen, Jussi. 2004. Digikuva. Helsinki: Edita Publishing.
- 8 Litepanels 1x1 LS Bi-Color Specifications. 2015. Verkkodokumentti. Vitec Video.com. <www.litepanels.com>. Luettu 25.3.2015.
- 9 Lukkari, Ulla. 2004. Digitaalisen sisältötuotantoprojektin hallinta. Helsinki: Edita Publishing.
- 10 Luther, Arch. Inglis, Andrew. 1999. Video Engineering. 3rd Edition. New York: McGraw-Hill.
- 11 Musburger, Robert B. Ogden, Michael R. 2014. Single-Camera Video Production. 6th Edition. Burlington: Focal Press.
- 12 Poynton, Charles. 2012. Digital Video and HD: Algorithms and Interfaces. 2nd Edition. Waltham: Morgan Kaufmann.
- 13 Saarelma, Hannu. 2003. Kuvatekniikan perusteet. Helsinki: Yliopistokustannus.
- 14 Tekalp, A. Murat. 2015. Digital Video Processing. 2nd Edition. New Jersey: Pearson Education.
- 15 Waggoner, Ben. 2010. Compression for Great Video and Audio. 2nd Edition. Burlington: Elsevier.

- 16 Weise, Marcus. Weynand, Diana. 2007. How Video Works: From Analog to High Definition (2nd Edition). Burlington: Focal Press.
- 17 Zettl, Herbert. 2013. Video Basics. 7th Edition. Boston: Wadsworth.

Valmiin videoelokuvan tekniset tiedot

Videoelokuvan kesto: 4:21

MPEG-2-enkoodattu tiedosto

Tiedostokoko: 597 Mt

Video

Koodekki: MainConcept MPEG Video
TV-standardi: PAL
Kuvan leveys: 1920
Kuvan korkeus: 1080
Kuvanopeus: 25
Kenttäjärjestys: Ylempi
Kuvasuhte: 16:9
Profiili: Main
Taso: High
Koodauksen bittinopeus: VBR, 1 Pass
Päävärit: ITU-R BT.709
Matriisikertoimet: ITU-R BT.709

Audio

Koodekki: MainConcept MPEG Audio
Audiokerros: MPEG-1, Layer II Audio
Audiotila: Stereo
Näytteen koko: 16-bittiä
Taajuus: 48 kHz
Bittinopeus: 384 kb/s

H.264-enkoodattu tiedosto

Tiedostokoko: 785 Mt

Video

Koodekki: MainConcept H.264 Video
TV-standardi: PAL
Kuvan leveys: 1920
Kuvan korkeus: 1080
Kuvanopeus: 25
Kuvasuhte: 16:9
Profiili: Main
Taso: 4.2
Koodauksen bittinopeus: VBR, 1 Pass

Audio

Koodekki: AAC
Äänikanavat: Stereo
Näytteen koko: 16-bittiä
Taajuus: 48 kHz
Bittinopeus: 160 kb/s

Tuotannon resursointi ja aikataulutus janakaaviona

