

Juha Kärkkäinen

ELOKUVATEATTERIEN DIGITALISOITUMINEN SUOMESSA

Opinnäytetyö
Tietotekniikan koulutusohjelma


Joulukuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä 2.12.2011				
Tekijä(t) Juha Kärkkäinen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Tietotekniikan koulutusohjelma, Mediatekniikka				
Nimeke Elokuvateatterien digitalisoituminen Suomessa					
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyöni tarkoituksena oli selvittää miten elokuvateatterien digitalisoituminen on muuttanut elokuvanäytöksen tekniikkaa ja minkälaisia eri mahdollisuuksia tämä uusi tekniikka elokuvateattereille tuo. Sen lisäksi tutkin miten omasta tekemästään videomateriaalista saa nykyaikaisessa elokuvateatterissa toimivan digitaalisen kopion. Tavoitteenani oli oppia uutta alan termistöä ja millä tekniikalla digitaalinen projektori toimii.</p> <p>Insinöörityössäni käyn aluksi läpi elokuvateatterien historiaa Suomessa. Sen jälkeen kerron teoriaa videotekniikasta ja sivuan elokuvaäänen syntyä. Perehdyn myös miten filmiaikana elokuvat projisoitiin kankaalle. Siitä siirryn elokuvateatterien digitaalitekniikkaan ja digitaalisen kopion tekemiseen. Viimeiseksi otan kantaa, miltä elokuvateatterien tulevaisuus Suomessa vaikuttaa.</p> <p>Työn aikana opin paljon uutta videotekniikan teorian ja käytännön puolelta ja jään mielenkiinnolla seuraamaan miten digitaalisten elokuvateatterien kehitys tästä eteenpäin jatkuu. Sain työssäni myös selville, että itse tekemä digitaalinen kopio toimi elokuvateatterissa.</p>					
Asiasanat (avainsanat) elokuvateatterit, videotekniikka, projektorit					
Sivumäärä 34	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Kieli</td> <td style="width: 33%;">URN</td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td>http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011111714744</td> </tr> </table>	Kieli	URN	Suomi	http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011111714744
Kieli	URN				
Suomi	http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011111714744				
Huomautus (huomautukset liitteistä)					
Ohjaavan opettajan nimi Reijo Vuohelainen	Opinnäytetyön toimeksiantaja				

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 2 December 2011
Author(s) Juha Kärkkäinen	Degree programme and option Information Technology, Media Technology	
Name of the bachelor's thesis Digitalization of Finnish cinemas		
Abstract The purpose of this bachelor's thesis was to explore how the digitalization of cinemas has changed the movie projection technique and what kind of different possibilities this new technology offered. In addition I examined if it would be possible for a private user to produce a digital cinema copy of one's own video material. My goal was to learn the new terms of the industry and how the digital cinema projector worked. In the beginning of my bachelor's thesis I surveyed the history of Finnish cinemas. After that I explained the theory of the video technique and the history of film sound. I also dealt with how to project a film to a big screen with a film projector. Then I moved on to the digital cinema technique and producing a digital cinema copy. Finally, I considered how the future of Finnish cinemas would be like. During my bachelor's thesis I learnt a lot about the theory and practice of the video technique. And it would be interesting to follow how the evolution of digital cinema industry is going to proceed. I also found out that producing a digital cinema copy that worked in a cinema environment was possible, for a private person.		
Subject headings, (keywords) cinema, video technique, projectors		
Pages 34	Language Finnish	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011111714744
Remarks, notes on appendices		
Tutor Reijo Vuohelainen	Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ELOKUVATEATTERIEN HISTORIA SUOMESSA	2
3	VIDEOTEKNIikka	3
	3.1 Elokuva- ja televisiokuvan standardeja.....	7
	3.2 Elokuvaääni	10
	3.2.1 Analogiset äänijärjestelmät.....	11
	3.2.2 Digitaaliset äänijärjestelmät.....	12
4	ELOKUVAN PROJISOINTI KANKAALLE	14
5	ELOKUVATEATTERIEN DIGITAALITEKNIikka.....	16
	5.1 Näytöstekniikka	17
	5.2 3D-tekniikka	17
	5.3 Dolby Show Store-palvelin.....	19
	5.4 Dolby Show Manager-käyttöliittymä	20
6	DIGITAALISEN KOPION TEKEMINEN	24
7	SUOMEN ELOKUVATEATTERIEN TULEVAISUUS.....	27
8	PÄÄTÄNTÖ	29
	LÄHTEET	32

LIITE/LIITTEET

- 1 Yksisivuinen liite
- 2 Monisivuinen liite

1 JOHDANTO

Yli satavuotias perinne esittää elokuvanäytökset filmiltä alkaa tulla tiensä päähän /1, s. 3/. Vanhat mekaanisesti raksuttavat filmiprojektorit on yhä useammassa elokuvateatterissa alettu korvata tietotekniikan voimin hiljaa hurraaviin digiprojektoreihin. Elokuvateatterit ovat tämän myötä saaneet uuden standardin ja laatuohjeistuksen DCI-organisaatiolta (Digital Cinema Initiatives) /2/. Ohjeistus määrittää digitaaliselle elokuvalle sellaisen laadun, joka on vähintään yhtä hyvä kuin filmiltä esitetty. Mielestäni on hieman hämmäntävää huomata, että elokuvat ovat vasta nyt muuttuneet biteiksi ja tavuiksi. Onhan esim. videokuvausta jo pitkään pystynyt tekemään digitaalisesti ilman analogisia nauhoja.

Elokuvatuotannossa on siis viimeinenkin linkki eli elokuvan esittäminen digitalisoitunut. Tuotannossa ei välttämättä tarvita enää yhtään analogista laitetta, vaan kaikki elokuvan kuvauksesta jälkituotantoon ja editointiin voidaan hoitaa digitaalisesti.

Olen itse ollut vuoden 2009 maaliskuusta lähtien töissä Mikkelin elokuvateattereilla ja oli hienoa kun pääsin huomaamaan muutoksen miten filmiprojektoreista siirryttiin digiprojektoreihin. Mikkelissä toimii tällä hetkellä kaksi elokuvateatteria Kinolinna ja Ritz, joista ensimmäisessä on kaksi salia ja jälkimmäisessä yksi. Ne digitoitiin asteittain ja ensimmäisenä uuden laitteiston sai Ritz, johon palaan aina käytännön esimerkein opinnäytetyössäni.

Opiskeluni tietotekniikan puolella sai lisäpontta, kun konehuoneessa hurrasikin filmilautasten tilalla palvelin ja elokuvanäytöksen kasausta tapahtui graafisen käyttöliittymän kautta. Sain tästä tietotekniikan valtaamasta konehuoneesta idean insinööriyöhöni. Digitaaliset elokuvakopiot ja itse projektori sekä siihen liittyvä tekniikka kiinnostavat kovasti. Myös aihe on verrattain tuore Suomessa, koska ensimmäinen digiprojektori saapui Suomeen vasta vuoden 2006 lopulla.

Miten nykyään kovalevyllä teatteriin saapuva filmikopio saadaan näkymään isolla kankaalla ja miten se eroaa filmiprojisoinnista? Aloin myös miettimään millä tavalla elokuva on saatu kovalevylle ja millaisia laatumäärittelyjä kuvalla on. Käsittelen työssäni näitä asioita sivuten alussa Suomen elokuvateatterien syntyä. Tutkin miten help-

poa nykyaikana on luoda esim. omasta haluamastaan videosta teatterissa toimiva digitaalinen kopio. Olkoon se sitten joko yrityksen mainos tai teatterin oma ohjevideo näytöksen alussa. Käyn myös läpi videotekniikan yleisiä perusteita liikkuvasta kuvasta analogi- ja digitaalivideotekniikkaan niin televisiossa kuin elokuvateattereissa.

2 ELOKUVATEATTERIEN HISTORIA SUOMESSA

Ensimmäinen julkinen elokuvanäytös nähtiin Suomessa kesäkuussa vuonna 1896 hotellilla Seurahuoneella, vain noin puoli vuotta kaikkien aikojen ensimmäisen näytöksen jälkeen. Ranskalaisten Lumière-veljesten kehittämä kinematografi, eli liikuteltava elokuvakamera, oli mullistava keksintö. Se oli yhtä aikaa kamera, filmin kehittäjä ja projektori. Kinematografi oli lähtölaukaus elokuvien maailmanvalloitukselle. /3, s. 18-21./

Helsinki sattui oivasti elokuva-alan pioneiryhtiön Lumièren paluumatkan varrelle. Yhtiö oli käynyt kuvaamassa Venäjällä tsaari Nikolai II:n kruunajaiset, ja takaisin Ranskaan mennessään he päättivät pysähtyä pariaksi päiväksi Helsinkiin näyttämään elokuviaan. Vaikka pääsylipun hinta oli korkea, oli ensimmäinen elokuvaesitys Suomessa suuri yleisömenestys. Pari päivää kestävä vierailu venyikin viikoksi ja suomalaiset olivat saaneet kokea jotain uutta ja ihmeellistä. /3, s. 18-21./

Kauaa ei Lumièren näytöksistä kulunut aikaa, kun kotimaiset elokuva-alan uranuurtajat lähtivät liikkeelle. Vain vuotta myöhemmin helsinkiläinen insinööri Karl Emil Ståhlberg toi Ranskasta kinematografian ja kymmenen lyhytelokuvaa. Ensiesityksensä hän piti tammikuussa vuonna 1897 Ylioppilastalossa Helsingissä. Tästä lähtien alalle alkoi tulla paljon kilpailevia yrityksiä. Parhaimmillaan elokuvateattereita syntyi Suomessa kuin sieniä sateella. Kiinteät teatterit syntyivät aluksi suurimpiin kaupunkeihin, ja pienemmissä maakunnissa pyöri operatöörejä, eli kiertäviä elokuvaesittäjiä. /3, s. 18-21./

Ennen ensimmäistä maailmansotaa Helsinki oli kansainvälisesti katsoen arvostettu elokuvateatterikaupunki. Elokuvateatterien lukumäärä ja niiden korkea taso löivät mm. Tukholman vastaavat. Ensimmäisellä maailmansodalla ei varsinaisesti ollut isoa vaikutusta Suomen elokuvateattereille. Suurin muutos oli ylimääräinen vero suurimpi-

en kaupunkien elokuvateattereille, jolla katettiin puna-armeijan sotakuluja. Sota-aikaan elokuvia ei ollut yhtä runsaasti liikkeellä kuin ennen ja filmikopiot liikkuivat hitaasti rajojen yli. Elokuvissa käytettävää filmimateriaalia gelatiinia käytettiin enemmän räjähdysaineiden valmistamiseen kuin elokuvaan. Tämä johti siihen, että amerikkalaiset elokuvat ottivat vahvan otteen Euroopan elokuvateatterien ohjelmistoista. /3, s. 74, s. 76./

Elokuvateatterikulttuuri parani entisestään itsenäistymisen ja kieltolain aikana. Elokuvateatterien kanssa ihmisten vapaa-ajasta kilpailleet ravintolat saivat pahan iskun suosiolleen. Vuonna 1923 kotimaisia elokuvateattereita oli jo 132. Toisen maailmansodan aikaiseen ahdistukseen ihmiset hakivat lievittäjää elokuvista. Elokuvateatteritoiminta oli hyvinkin kannattavaa, koska lähes ainut yhteinen ajanviettomuoto oli mennä elokuvaan. Sodan aikaan elokuvatuotanto elikin kulta-aikaansa, joka jatkui pitkälle jatkosodan jälkeen. /3, s. 79-81./

Vuonna 1948 toiminta lähti pahaan syöksykierteeseen, eikä lamakausi ainakaan helpottanut teatterien tilannetta. Uutuuden viehätys ”Suomi-filmiä” kohtaan oli laskenut ja ulkomaisia elokuvia tuli entistä enemmän ohjelmistoon. Television yleistymisen oli myös ongelmallista elokuvateattereille. Enää ei tarvinnut lähteä kotia pidemmälle ihmettelemään liikkuvia kuvia. Elokuvastudiot alkoivatkin satsata kuvan isompaan kokoon. Cinerama ja CinemaScope laajakangasesitystekniikat tulivat Suomeen 1950-luvun puolivälissä. /3, s. 167-169, s. 173-178./

Television suosion ohella 1960-luvulla alettiin myös purkaa paljon vanhoja rakennuksia, joista sai moni elokuvateatterikin kärsiä. Vuosikymmenen aikana suljettiin noin 260 elokuvateatteria. 1980-luvulla korttelikinot olivat poistuneet katukuvasta lähes kokonaan ja 1990-luvulla Suomeen alkoikin syntyä monisalaisia elokuvateattereita eli multiplexejä. /3, s. 173-178./

3 VIDEOTEKNIikka

Ihmissilmä havaitsee sulavan liikkeen vain, jos kuvia näytetään sekunnin aikana tarpeeksi monta. Ihmisen verkkokalvolle muodostuu vaikutelma liikkuvasta kuvasta, kun kuvia näytetään vähintään 17 sekunnissa. Tätä kuvien määrää mikä näkyy sekunnin

aikana, kutsutaan kehysnopeudeksi (frames per second). Käytän tästä lähtien opinnäytetyössäni siitä yleistä fps lyhennettä. Mitä enemmän kuvia on sekunnin aikana, sitä pehmeämmältä liike näyttää. /4, s. 199./ Kehysnopeuksia on muutamia erilaisia eri tekniikoille.

Elokuvateatterien näytöksissä yleisin on tällä hetkellä 24fps. Jos kuva heijastetaan kuvaputkelle tällä nopeudella, se näyttää ihmissilmälle kuitenkin välkkyvän häiritsevästi. Kuvaputkea varten onkin kehitetty kuvan lomitusta.

Videokuva jaetaan lomittamattomaan (progressive) ja lomitettuun (interlaced) kuvaan. Kuvaa lomittamalla elektronisäde piirtää kuvan juova kerrallaan vasemmalta oikealle televisioruudulle. Piirto tapahtuu kahdessa osassa: ensin parittomat ja sen jälkeen parilliset juovat. Välkkymiseffektin takia kuva pitää piirtää 50 kertaa sekunnissa, joten täyden tv-kuvan piirtäminen kuitenkin vaatisi kaksinkertaisen kaistamäärän. Tätä varten kehitetyssä kuvan lomituksessa neljäsosa-sekuntia kestävä kuva on jaettu kahteen puolikkaaseen. Näitä kuvanpuolikkaita näytetään 50 kertaa sekunnissa, joten kaistamäärä ei kasva ja kuvan välkkymistä pystytään vähentämään merkittävästi. /4, s. 200./

Yleisiä kuvataajuuksia:

24p Käytössä elokuvissa

25p/50i Käytössä PAL-järjestelmässä

30p/60i Käytössä NTSC-järjestelmässä

50p Käytössä teräväpiirtotuotannoissa

Kuvasuhde

35 mm:n filmin kuvasuhde 1,33:1, eli sama kuin 4:3 televisioruudussa, oli käytössä jo mykkäfilmeistä lähtien. Äänen tullessa elokuvaan osa filmin pinta-alasta meni kuitenkin ääniraidalle, joten kuva-ala kapeni. Kuvaa piti tästä johtuen madaltaa, jotta kuvasuhde pysyisi edelleen samana. Kuvien välissä oleva kuvaviiva siis paksuni. Kuvaviiva on filmissä olevien kuvien välissä oleva musta raja-alue, joka erottaa peräkkäin olevat kuvat toisistaan.

Vaikka värifilmi alkoikin yleistyä 1930-luvulla, teatterit kaipasivat silti jotain, mikä estäisi katsojia jäämstä kotiin television ääreen. Kuvan kokoa alettiin kasvattaa ja laajakangaselokuvat syntyivät. Ns. normaalifilmin eli 35 mm:n elokuvafilmillä laajakuva saadaan aikaan rajaamalla osa kuvan pinta-alasta pois. Euroopassa yleistyneessä 1,66:1- ja Pohjois-Amerikassa vähän leveämmässä 1,85:1 -kuvasuhteissa menee näin kuvapinta-alaa hukkaan.

Tätä vaikutusta kumoamaan keksittiin anamorfinen linssi, jonka avulla pystyttiin hyödyntämään koko filmin ala. Siinä 2,35:1 laajakulmainen kuva kuvataan täyteen ruutuun eli 1,33:1 anamorfisella linssillä. Kun filmi projisoidaan teatterissa kankaalle, se näytetään anamorfisen objektiivin kautta ja saadaan entistä laajempi kuva. Tätä tekniikkaa kutsutaan Cinemascopeksi ja sen muunnelmia käytetään yhä. Vaikka nykyään kuvattavan kuvan suhde onkin 2,39:1, käytetään siitä edelleen monesti muotoa 2,35:1 vanhan Cinemascope:n mukaan. /5, s.122./

Yleisimmät kuvasuhteet /5, s. 125/:

1,33:1	Kuvaputkitelevisio (4:3)
1,37:1	35mm:n elokuvaruutu (myös 1,33:1)
1,66:1	35mm:n laajakangas (eur.)
1,77:1	Taulutelevisio (16:9)
1,85:1	35mm:n laajakangas (amer.)
2,2:1	70mm:n elokuvaruutu
2,35:1	35mm:n anamorfinen

Resoluutio

Resoluutiolla määritellään digitaalisen ja analogisen kuvan tarkkuutta. Analogisen kuvan resoluution kertovat vaak- ja pystyjuovat. Digitaalisen kuvan resoluution yksikkönä voi olla joko pikseliä pituusyksikköä kohti esim. painotuotteissa 300 dpi (dots per inch) tai pelkästään kuvassa olevien pikselien määrä esim. digitaalisessa videokuvassa 720 x 576. Digitaalinen kuva muodostuu pienistä pisteistä, pikseleistä, joita on pituus- ja leveyssuunnassa tietty määrä. Pikselit määräävät kuvan yksityiskohtien erotelutarkkuuden. Mitä enemmän niitä on, niin sen tarkempia ja suurempia kuvia voi-

daan luoda. Digitaalisten kuvien pikselien määrä vaakasuunnassa kerrotaan pikselien määrällä pystysuunnassa. /4, s. 84-86./ Tällä tavalla ilmaistu resoluutio on käytössä digitaalisessa tv- ja elokuvamaailmassa.

TAULUKKO 1. Televisiotekniikan resoluutiot /5, s. 40/

Kuvanlaatu	Resoluutio	Markkinointitermi
Normaalipiirto	720 x 576	Standard
Teräväpiirto	1280 x 720	HD Ready
Teräväpiirto	1920 x 1080	Full HD

Taulukko 1 sisältää yleisimpiä resoluutioita televisiotekniikasta. Nykyään jo television puolella on mahdollisuus suhteellisen tarkkaan ja hyvään kuvaan (Full HD). Televisiolähetysten digitalisoituminen mahdollistaa entistä tarkemmat tv-lähetykset ja resoluutioidensa puolesta ne alkavat lähennellä jo elokuvateatterien käyttämiä erottelutarkkuuksia, joita taulukko 2 kuvaa. Myös televisioiden koot kasvavat vauhdikkaasti.

TAULUKKO 2. Elokvateatteritekniikan resoluutiot /6, s. 21/

Kuvasuhde	2K-resoluutio	4K-resoluutio
Täysi	2048 x 1080	4096 x 2160
1,85:1 (flat)	1998 x 1080	3996 x 2160
2,39:1 (scope)	2048 x 858	4096 x 1716

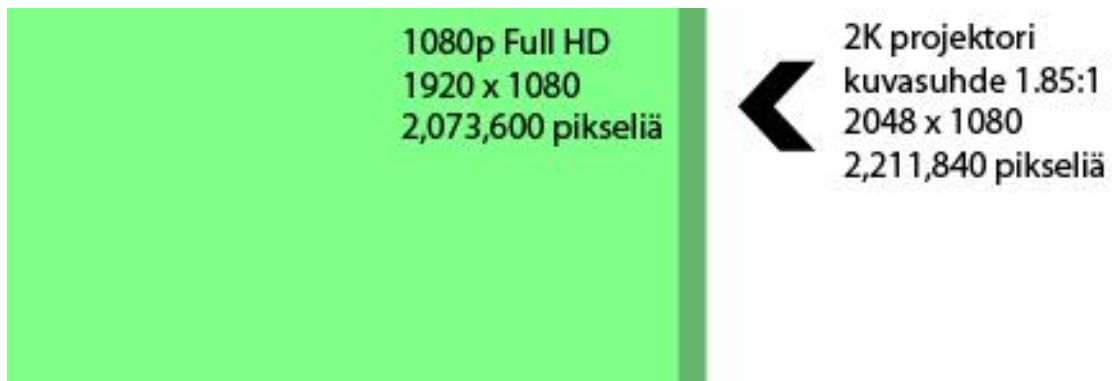
Mutta jos televisioiden resoluutiot kasvavat, niin vähintään yhtä tahtia kasvavat myös elokuvateatterien resoluutiot. Digitaaliset projektorit kehittyvät entistä kovempaa vauhtia ja jos ennen vanhalla projektorilla pärjäsi jopa monta kymmentä vuotta, joutuu nykyisiä projektoreja päivittämään paljon tiuhempaan /7/.

Esim. kaikki ensimmäiset digiprojektorit eivät välttämättä pysty toistamaan pikku hiljaa yleistävämpää 4K-resoluutiota, jolla saadaan entistä tarkempaa kuvaa aikaan. Kuten kuvasta 1 huomaa 4K-projektorilla päästään jo neljä kertaa parempaan kuin 2K-projektorilla. Ja tähän tuskin tyydytään, vaan kuvaa tullaan kehittämään koko ajan enemmän ja 8K-resoluutio tuskin on kovin kaukana nykypäivästä.



KUVA 1. 2K- ja 4K-projektorien resoluutioiden kokoero

Elokuvateatterien on kuitenkin laadullisesti pysyttävä kuluttajalaitteiden edellä ja tähän asti se on onnistunutkin. Laatua ja kuvan tarkkuutta on parannettava koko ajan ja teattereissa pyörivät elokuvat voittavatkin kuvan- ja äänenlaadussa niin DVD- kuin teräväpiirto Blu-ray-levytkin. Kuten kuvasta 2 huomaa, myös pikseleitä on 2K-tasoisella kuvalla enemmän.



KUVA 2. Full HD Televisio ja 2K-projektorin resoluutioiden kokoero

3.1 Elokuva- ja televisiokuvan standardeja

Videokuva voidaan jakaa analogiseen ja digitaaliseen videokuvaan. Analogisessa videokuvassa on väri- ja valoissignaalit. Nämä krominanssi- ja luminanssisignaalit ovat joko yhdessä komposiittivideona tai erikseen S-videona. Tallennettu analoginen

video kuuluu käytössä eikä siinä yleisesti ole aikakoodia niin kuin digitaalisessa kuvassa.

Kun videokuvaa pystytään tallentamaan, editoimaan ja esittämään täysin digitaalisesti, voidaan puhua digitaalisesta videokuvasta. Se sisältää enemmän dataa kuin analoginen signaali. Signaalissa on meta- eli kuvailutietoa ja aikakoodi. Digitaalinen video on siitä kätevä, ettei se kulu käytössä ja kopioita voi ottaa loputtomasti laadun kärsimättä. Myös televisiolähetykset ovat digitalisoituneet ja lähetysten kuvanlaatu on alkanut nousta kovaa vauhtia. /8./ Olen havainnollistanut eri analogiset- ja digitaaliset tv-standardit värikarttakuvilla 3 ja 4.

Analogisen televisiokuvan järjestelmät ovat sovittuja standardeja. Niitä on kolme erilaista: NTSC (National Television System Committee), PAL (Phase Alternating Line) ja SECAM (Sequential Couleur Avec Memoire). Niistä vanhin on NTSC, joka kehitettiin amerikkalaisille väritelevisiolle vuonna 1953. PAL- ja SECAM-standardit ovat molemmat luotu tämän pohjalta. Vaikka varsinkin PAL- ja SECAM-standardit muistuttavat paljon toisiaan, eivät esim. PAL-laitteet toimi sellaisinaan NTSC- tai SECAM-järjestelmissä. Videokuva on kuitenkin mahdollista muuttaa toiseen standardiin, mutta tällöin kuvan laatu heikkenee.

PAL

PAL väritelevisio-standardi on kehitetty vuonna 1967. Sitä käytetään pääasiassa Euroopan, Afrikan, Aasian ja Australian tv-lähetyksissä. Se on lomitettua videokuvaa, jossa on käytössä 625 juovaa (videokuvalle käytössä kuitenkin vain 576 juovaa), virkistystaajuus on 50 Hz ja videokuvan nopeus on 25fps.

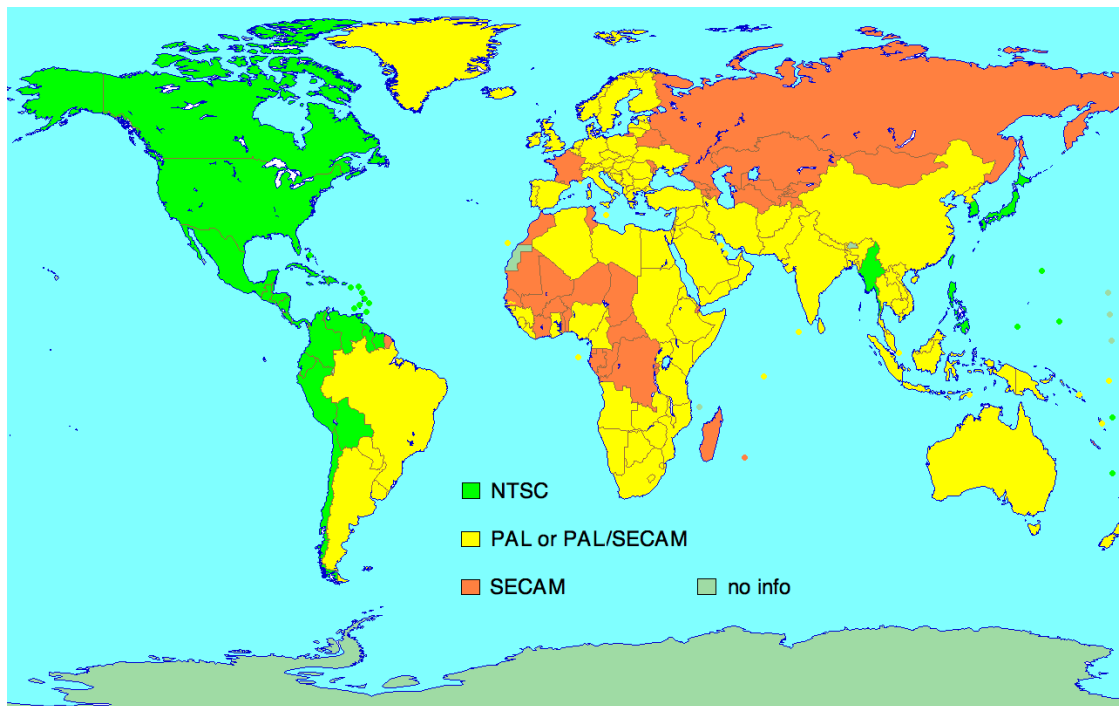
NTSC (National Television System Committee)

NTSC on käytössä Yhdysvalloissa, Japanissa, Kanadassa ja muutamassa Latinalaisen Amerikan maissa. PAL-standardin tapaan se on lomitettua kuvaa, mutta juovia siinä on 525, virkistystaajuus 60 Hz ja videokuvan nopeus on 29.97fps.

SECAM (Sequential Couleur Avec Memoire)

SECAM on 1960-luvulla kehitetty väritelevisio-standardi. Käytössä se on entisen Neuvostoliiton maissa, Ranskassa ja Ranskan siirtomaissa. SECAM on myös lomitettua kuvaa ja juovia siinä on käytössä 625, virkistystaajuus 50 Hz ja videokuvan nopeus on 25fps.

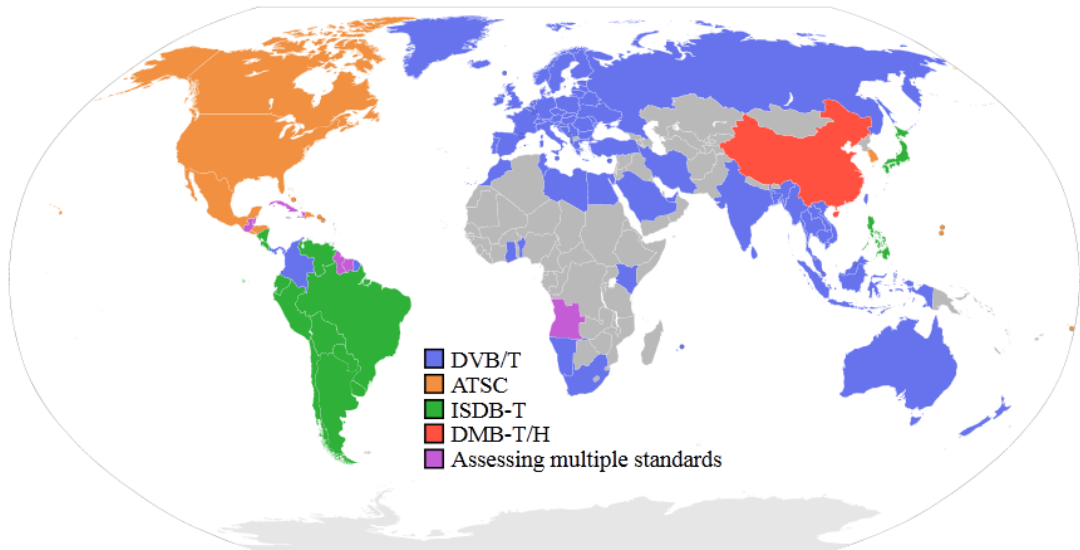
/8, 9./



KUVA 3. Television värijärjestelmien levinneisyys

DVB (Digital Video Broadcasting)

Television lähetyjärjestelmät muuttuivat digitoinnin vuoksi. Kuvan- ja äänenlaadun parannuksen ohella taajuusalue tulee tehokkaammin käyttöön kuin analogisissa lähetyksissä. Tällä hetkellä televisiolähetykset yltyvät parhaimmillaan Full HD resoluutioon. Mm. Euroopassa ja Australiassa yleisin digitaalitelevision standardi on DVB. Televisiolähetys siirtyy MPEG-2 formaatilla pakattuna digitaalisena lähetteenä. Standardin kehittymisestä vastaa DVB Project niminen organisaatio, ja nykyään televisiolähetettä tulee myös MPEG-4 formaatilla. /9./



KUVA 4. Digilähetysten standardit

Elokuvateatterien digitaaliprojektorit toistavat JPEG-2000 ja MPEG-2 formaatteja. Alun perin digikopiot olivat MPEG-formaattipohjaisia, mutta vuodesta 2004 lähtien kaikki saapuvat elokuvat käyttävät JPEG-2000 formaattia. /10./ MPEG-2 koodaus on käytössä mm. dvd-laitteissa, satelliittilähetyksissä, kaapeli-tv ja teräväpiirtotelevisioissa. /9./ JPEG-2000 perustuu JPEG kuvaformaattiin. DCI:n nykyisissä laatuvaatimuksissa digitaalinen elokuva tulee pakata JPEG-2000 formaattia käyttäen. Maksimi bittinopeudeksi se määrää 250Mbps. Tämä mahdollistaa sen, että elokuvat voidaan esittää joko 2K- tai 4K-formaatilla käyttämällä kyseistä formaattia. /9./

3.2 Elokuvaääni

Äänen läpimurtoa elokuvaan voidaan Outi Heiskasen mukaan verrata taloudelliselta vaikutukseltaan nykyään tapahtuvaan elokuvateatterien digitalisoitumiseen /3, s. 9/. Molemmat vaativat teatterinomistajilta suuria rahallisia ponnisteluja teatterisalien teknilliseen uudistamiseen. Vaikka äänen lisäämistä elokuvaan oli tehty kokeiluja jo 1800-luvun lopulla, vakiinnutti se asemansa vasta noin 1930-luvulla /3, s. 103/.

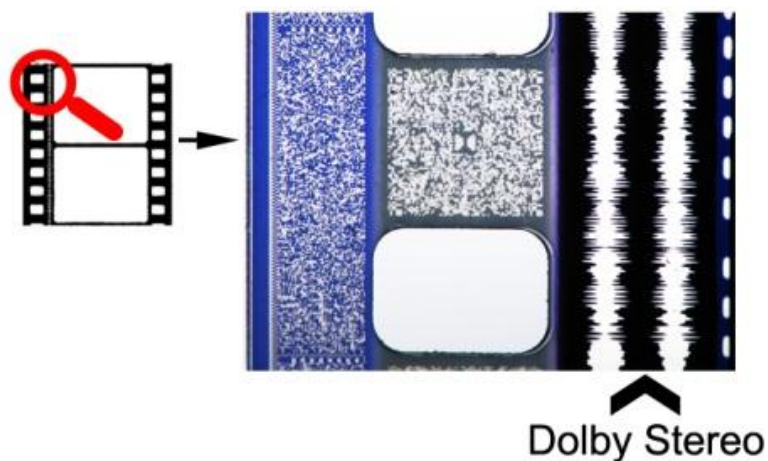
Äänielokuvalla oli aluksi kaksi kilpailevaa teknologiaa: sound-on-film eli valoääni- ja sound-on-disc eli levyäänimenetelmät. Valoäänimenetelmässä ääni muunnetaan optiseksi ääniraidaksi ja kuvataan filmille. Näin ääni ja kuva ovat molemmat filmillä. Levyäänimenetelmässä kuvalle ja äänelle on erilliset lähteet, joten elokuvafilmin lisäksi

mukana piti tuoda erillinen gramfonilevy, jolla elokuvan ääni oli. Esitystilanteessa nämä synkronoitiin vastaamaan toisiaan. Synkronointiongelmien lisäksi gramfonilevyt olivat myös herkkiä rikkoutumaan eivätkä ne kestäneet kovaa kulutusta. Valoääninen suosio jätti levyäänen varjoonsa helppoutensa ja varmuutensa ansiosta.

Elokuvaäänien kehityksessä olivat myös suomalaiset vahvasti mukana. Turkulaiset Lennart ja Alvar Hamberg ja Yrjö Nyberg järjestivät ensimmäisen äänifilmikoesityksen viikkoa ennen äänifilmin Suomen ensi-iltaa ja heiltä tuli myös oma levy- ja valoäänilaitteisto jo vuonna 1929. /3, s. 103./

3.2.1 Analogiset äänijärjestelmät

Dolby Stereo on Dolby Labs. Inc.:n kehittämä monikanavainen elokuvaäänijärjestelmä. Kuvassa 5 näkyvästä stereoääniraidasta saadaan neljä erillistä äänikanavaa dekodauksella. Äänikanavat jakautuvat etu- ja takakanaviin. Kolme kanavaa (vasen, keski ja oikea) sijaitsevat kankaan takana. Taka- eli surround-kanavat salin sivulla ja perällä. Etukanavien lisäksi käytössä on myös subwoofer, joka toistaa matalia ääniä. /11./

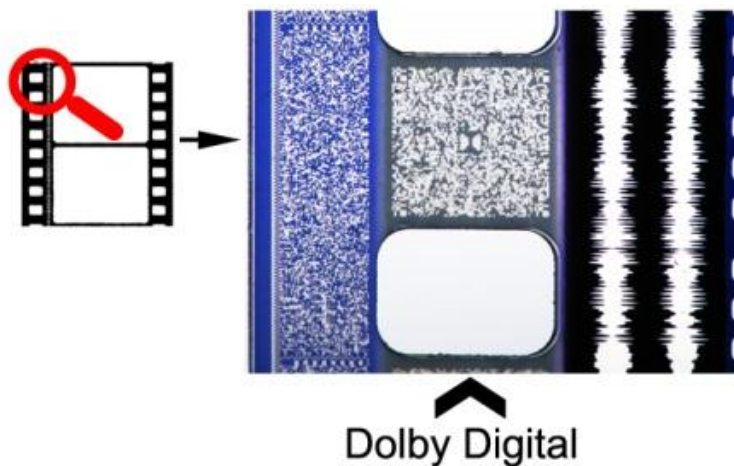


KUVA 5. Dolby Stereo -ääniraita

Dolby SR-äänijärjestelmä on lähes sama kuin Dolby Stereo, mutta on kuitenkin hieman kehittyneempi. Lisänä aikaisempaan versioon on kohinansuodatusjärjestelmä Spectral Recording, joka on laadukkaampi kuin Dolby Stereon A-tyyppin kohinansuodatus. Huomattavasti parempi ja laadukkaampi äänen taajuusalue saa kohinansuodattimen lähes digitaalisten äänten tasolle. /11./

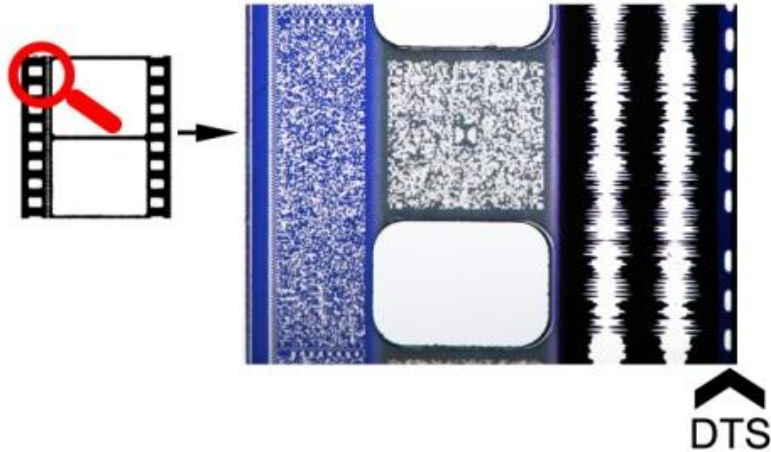
3.2.2 Digitaaliset äänijärjestelmät

Kuvassa 6 olevassa Dolby Digital -äänijärjestelmässä digitaalisella ääniraidalla on datakenttiä, joissa hyvin pienet pisteet kuvaavat 1- ja 0- bittejä. Tämä äänijärjestelmä vaatii projektoriin erillisen lukulaitteen, joka lukee äänen optisesti. Ääni on pakattu Dolbyn omalla AC3-formaatilla. Digitaalinen ääni täytyy muuttaa analogiseksi, joten lisäksi on myös digitaaliääniprosessori. Näin saadaan kuusi toisistaan riippumatonta erillistä äänikanavaa. Subwooferille on erotettu oma äänikanava, jolloin esim. tehos- teiden käyttö saadaan rajattua tarkasti ilman kanavien sekoittumista. Yleinen nimitys tästä onkin 5.1-järjestelmä. /11./



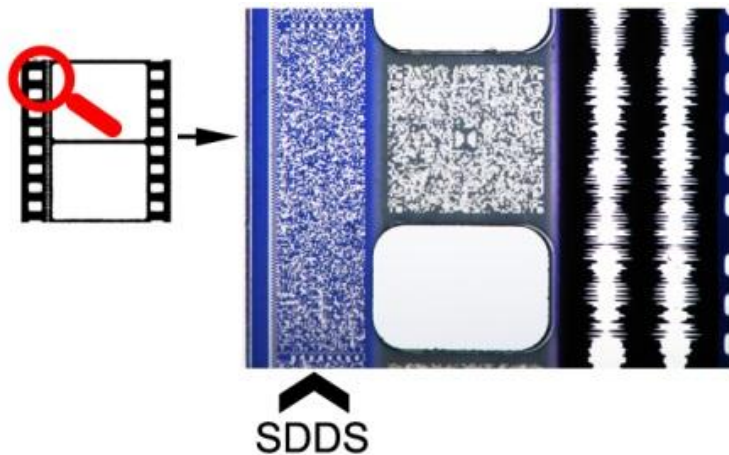
KUVA 6. Dolby Digital -ääniraita

DTS on Digital Theatre Systemsin kehittämä vastine Dolbyn digitaaliselle 5.1-järjestelmälle. Itse ääni tulee tässä järjestelmässä erillisiltä DTS-levyiltä. Kuvasta 7 nähdään, että filmillä on morse-koodia muistuttavaa aikakoodia, jonka avulla levy tahdistuu oikein. Projektori vaatii aikakoodilukijan ja DTS-laitteen, joka muistuttaa kolmeasemaista DVD-soitinta. Yhteen levyyn mahtuu ääntä noin 70 minuuttia, ja näyttöksen aikana levyasemat vaihtuvat automaattisesti äänen katkeamatta. Hyötynä tässä järjestelmässä on sen vähäinen tilantarve filmillä. /11./



KUVA 7. DTS -ääniraita

SDDS (Sony dynamic digital sound) on Sonyn kehittämä äänijärjestelmä, jossa voidaan käyttää jopa kahdeksaa erillistä äänikanavaa eli 7.1-järjestelmää. Ääniraita sijaitsee filmin molemmilla ulkoreunoilla, joista kuvassa 8 näkyvässä on vain toinen. Koska tämä alue filmistä on herkkä kulumiselle, on ääniraitoja siksi kaksi. Toinen raita on siis lähinnä varmistamassa, ettei ääneen tule häiriöitä. /11./



KUVA 8. SDDS -ääniraita

THX ei varsinaisesti ole äänijärjestelmä, vaan Lucasfilm Ltd.: kehittämä laatuluokitus elokuvateatterien äänentoiston ja äänentoistolaitteiden vaatimuksille. Luokitukseen kuuluu monia vaatimuksia, niin ilmastointilaitteiden äänitasoille kuin salin ulkopuolelta kuuluvien äänien minimointiin. THX-lisenssin saava teatteri joutuu maksamaan sen käyttämisestä Lucasfilm Ltd.:lle vuosittaista maksua. Myös Suomessa muutama

teatteri on saanut tämän laatuluokituksen, joista ensimmäinen oli Helsingin Bristol.
/11./

4 ELOKUVAN PROJISOINTI KANKAALLE

Elokuvaprojektori on laite, joka liikuttaa elokuvafilmiä polkua pitkin niin, että jokainen filmin ruutu pysäytetään sekunnin murto-osan ajaksi valolähteen eteen. Valonlähde tarjoaa erittäin kirkkaan valaistuksen, joka heittää kuvan linssin kautta kankaalle.
/12./

Tyypillinen kahden tunnin elokuva jaettiin filmiaikaan viiteen tai kuuteen pieneen kelaan, joissa oli noin 20 minuuttia filmiä per kela. Alkuaikoina elokuvia esitettiin kahden projektorin avulla. Ensimmäiseen projektoriin pujotettiin ensimmäinen kela ja toiseen projektoriin seuraava. Koneenhoitaja aloitti elokuvan käynnistämällä ensimmäisen projektorin. Kun ensimmäinen kela alkoi lähentyä loppua, elokuvan yläkulmassa välähti ns. yliheittomerkki. Tämä ympyrä-merkki kertoi koneenhoitajalle, milloin toinen projektori tuli käynnistää. Toisen kelan pyöriessä koneenhoitajan tuli ladata ensimmäiseen projektoriin elokuvan kolmas kela ja odottaa jälleen yliheittomerkkiä kakkosprojektorista, jonka jälkeen ykkösprojektori pääsisi taas vuoroon. Koko elokuva siis projisoitiin vaihdellen koko ajan kahden projektorin välillä. /12./

Vuonna 1960 teattereissa alkoi yleistyä lautassysteemi. Se koostuu esim. viidestä vaakalautasesta, jotka on pinottu korkeussuunnassa päällekkäin. Ne ovat sen verran kookkaita, että niille mahtuu kokonainen elokuva. Lautaselta lähtevä elokuva ajetaan projektorin läpi toiselle tyhjälle lautaselle. Näin koko elokuvan pystyi esittämään vain yhtä projektorista käyttäen, eikä koneenhoitajan tarvinnut enää tarkkailla yliheittomerkkejä ja vaihdella projektoreita. Myös näytöksen jälkeen filmiä ei tarvinnut enää kelata alkuun, vaan lautaselle kasaantunut elokuva oli aina näytösvalmiina heti. Tämä mahdollisti myös sen, että yksi koneenhoitaja pystyi vastaamaan useammasta näytöksestä yhtä aikaa. /12./

Elokuvafilmin sivuilla on pieniä neliön muotoisia perforaatioreikiä. Nämä reiät sopivat projektorin rattaisiin, joiden avulla filmi liikkuu projektorin läpi. Filmliikkuu kerrallaan yhden kuvan verran ja pysähtyy sekunnin murto-osan ajaksi kuva-aukon

kohdalle ja siirtyy sitten seuraavaan kuvaan. Kuva-aukon läpi rullaa 24 kuvaa sekunnissa. /12./

Avainasemassa projektorissa on valonlähde. Ennen nykyaikaisia projektoreita lampuina käytettiin hiilielektrodisia kaarilamppuja. Niiden käyttöikä oli kuitenkin suhteellisen lyhyt. Niiden jälkeen käyttöön otetut ksenonlamput ovat yleisimmin käytettyjä lampuja nykyään. Ksenonlamppu tuottaa erittäin kirkasta valoa vähäisellä tehomäärällä. Ksenonlampun toimintaperiaate perustuu ksenonkaasuun, joka tuottaa hehkussa erittäin kirkasta valoa. Valokaari syntyy polttimon sisälle korkealla sytytysjännitteellä kahden elektrodin välille, mutta valon ylläpitämiseen ei kuitenkaan tarvita niin suurta jännitettä. Tehot liikkuvat 1,8kW ja 6,5kW välillä ja käyttöikä niillä on enintään noin 2000 tuntia /6, s. 29/. Mitä isompi kangas salissa on, sitä isomman valotehon se tarvitsee. Ja mitä isompaa valotehoa käytetään, sitä nopeammin lampun käyttöikä vähenee. /12./

Ksenonpolttimo on asennettu parabolisen peilin keskelle lamppukammioon. Peili heijastaa valoa lampusta ja keskittää sen kokoojalinssiin. Kokoojalinssi on linssipari, joka syventää valon ja keskittää sitä päälinssilaitteistoon. Näin keskitetyn valon lämpö on todella kuuma, ja jos filmi olisi paikallaan lampun ollessa päällä, sulattaisi se siihen nopeasti reiän. /12./

Lamppukammion jälkeen valo siirtyy projektoriin. Valo törmää ensimmäiseksi sulkimeen, joka pyörii 24 kertaa sekunnissa. Suljin on propellimainen laite, jonka jokainen pyörivä siipi estää valonheijastuksen kankaalle sillä sekunnin hetkellä, kun filmin ruutu aina vaihtuu. Ilman sitä elokuva näyttäisi välkkyvän tai sen tahdistus näyttäisi väärältä. /12./

Sulkimen jälkeen valo tulee kuvaportille. Kuvaportti on pieni metallinen läpyskä, johon on tehty muutama erikokoinen vaakasuora-aukko. Sen avulla kuva rajataan oikean kokoiseksi, ettei kankaalla näkyisi mitään ylimääräistä esim. elokuvan ääniraitaa. Eri kuvasuhteille kuvaportissa on omat aukkonsa, joka vaihdetaan aina elokuvan mukaan. Viimeiseksi ennen kangasta valo kulkee edessä rullaavan filmin läpi ja lopulta linssiin. Yleisimmät elokuvaprojektorilinssit ovat laaja (flat) ja CinemaScope (scope).

Myös linssi tulee vaihtaa aina elokuvasta riippuen, jotta elokuva saadaan näkymään oikeanlaisena kankaalla. /12./

5 ELOKUVATEATTERIEN DIGITAALITEKNIikka

Nykyisissä digitaalisissa elokuvateattereissa eli D-Cinema teattereissa on tarkat laatu-
luokitukset /13/. Tämän luokituksen takana on Disney, Fox, Paramount, Sony Pictures
Entertainment, Universal ja Warner Bros yhtiöiden luoma DCI. Se on julkaissut laajan
ohjepaketin DCI Specification:in, jonka viimeisin versio 1.2. on ilmestynyt maalisi-
kuussa 2008. Kirja on hyvin seikkaperäinen ja kertoo mm. ohjeet digielokuvan jakeli-
jalle ja elokuvateatterin omistajille, millä teknisillä ratkaisulla saadaan korkeatasoi-
nen D-Cinema elokuvaelämys.

Suuren osan elokuvateatterinautintoa tuo ison kankaan ja muhkeiden äänien lisäksi
kuvan tarkkuus ja laatu. Vaikka filmiaikana koskemattoman elokuvan ensimmäinen
projisointi saattoikin näyttää tarkalta ja hyvältä, jokainen näytös kuitenkin kulutti fil-
miä. Joidenkin viikkojen päästä elokuvassa saattoi näkyä paljonkin naarmuja tai muu-
ta likaa. Vanhojen filmiprojektoreiden korvaaminen uusilla digiprojektoreilla korjasi
tämän. 35 mm:n filmin sijasta projektorissa rullaa joukko 1- ja 0- bittejä ja vaikka
elokuvan laittaisi pyörimään sadatta kertaa, se näyttäisi ja kuulostaisi silti samalta kuin
ensimmäinen näytös /14/. Digitoidut teatterit perustuvat nykyään pääasiassa Texas
Instrumentsin DLP- tai Sonyn SXRD-tekniikkaan. Tekniikat ovat lähes samanlaisia ja
koska Ritzin projektorissa on Texas Instrumentsin DLP-tekniikka, käyn sen toiminnan
lopputyössäni läpi näytöstekniikka kappaleessa.

Mikkelin Ritzissä on käytössä Barcon DP-1200 digiprojektori, jolla pystyy esittämään
normaali- ja 3D-elokuvia 2K-resoluutiolla. Itse elokuvat ladataan Dolby Show Store
(DSS100) serverille. Serverin ja projektorin välillä on vielä Dolby Show Player
(DSP100) laitteisto, jonka avulla projektori ja palvelin saadaan toimimaan keskenään
ja sitä myöten kuva kankaalle. Itse näytöksen luominen tapahtuu Show Playerissa mu-
kana olevalla graafisella käyttöliittymällä Dolby Show Manager-ohjelmalla. Äänipro-
cessorina toimii Dolby CP750 Digital Cinema Processor.

5.1 Näytöstekniikka

DLP-mikropeilitekniikka (Digital Light Processing) on Texas Instrumentsin kehittämä. Tällä hetkellä se on yleisin käytössä oleva esitystekniikka ja myös Mikkelin elokuvateatterien digiprojektorit käyttävät tätä tekniikkaa. Näissä ns. mikropeiliprojektoreissa on iso määrä alumiinipinnoitettuja äärimmäisen pieniä peilejä, jotka kääntyvät toisistaan riippumatta jopa 50 000 kertaa sekunnissa. Peilit ovat projektorissa pienen DMD-sirun (Digital Micromirror Display) sisällä. Peilejä kääntämällä saadaan kankaalle kirkkaampia ja tummempia valonasteita. Texas Instrumentsin mukaan 2K-projektorilla peilejä on noin 2 miljoonaa, yksi jokaista pikseliä kohti ja jokaisella niistä voidaan saada jopa 1024 eri harmaansävyä. Peilit ohjautuvat palvelimelta saaduilla elokuvabiteillä.

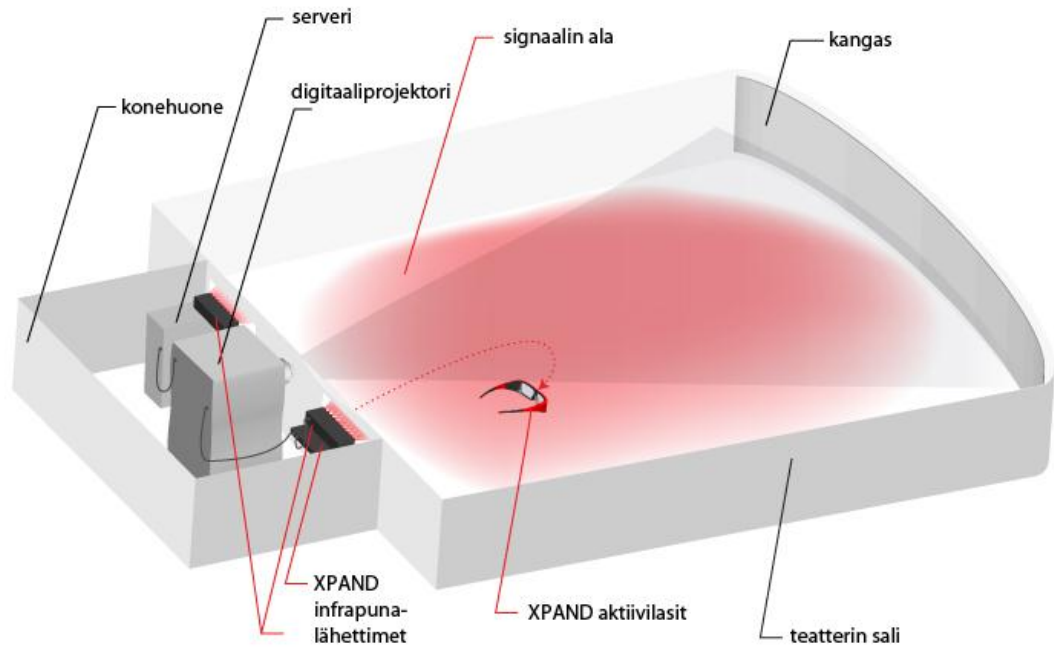
Itse värit voidaan tuottaa kankaalle DLP-tekniikassa kahdella eri tavalla. Yksisirutekniikassa lampusta lähtevä valo osuu värisuodinkiekkoon, jossa on jokainen kiekon pääväri (punainen, vihreä, sininen) ja mahdollisesti myös välivärejä. Tämän jälkeen kuva-data väri mukanaan heijastuu DMD-sirulle, jonka kautta se edelleen siirtyy linsien läpi kankaalle. Suodinkiekko pyörii sen verran vauhdikkaasti, että peräkkäiset värit sekoittuvat keskenään kankaalle kokonaiseksi värikuvaksi.

Kolmisirutekniikassa värisuodinkiekkon tilalla on prisma. Valo heijastuu ensiksi lampusta prismaan ja jakautuu kolmeen osaan. Jokaiselle kolmelle osalle (punainen, vihreä, sininen) on oma DMD-siru. Valo tunnistautuu tietyksi väriksi kuljettuaan siruun, heijastuu mikropeilien kautta ja yhdistyy yhdeksi värikuvaksi kankaalle. /15./ Mikkelin elokuvateatterien projektoreissa on käytössä kolmisirutekniikka.

5.2 3D-tekniikka

Ihmisen silmät näkevät ympäristön kahdesta eri kulmasta ja aivojen avulla aistimme näin ympäristössä syvyyttä ja etäisyyttä. Tätä binokulaarista näköaistia elokuvien 3D-tekniikka yrittää simuloida. Siirtyminen filmiltä digiaikaan on myös muuttanut elokuvien 3D-tekniikan täysin. Ja ehkä hieman jo unohtunutkin 3D-elokuva on alkanut tehdä toista tulemistä. Enää silmille ei laiteta pahvisia puna- viherlaseja vaan vankan

muoviset aktiivi- tai passiivilasit. Elokuvateatteri Ritzissä on käytössä Xpandin 3D-aktiivijärjestelmä, jonka toimintaa kuva 9 kuvaa.



KUVA 9. Kaavakuva Xpand 3D-elokuvan toiminnasta salissa /16./

Kuvassa 10 näkyvät 3D-lasit ovat paristokäyttöiset, jotka tahdistavat kuvan infrapunasignaalia hyväksikäyttäen projektorin kanssa. Laseissa on nestekidesulkimet, jotka toimivat 700 mikrosekunnin nopeudella. 3D-näytöksen aikana projektoriin liitetty infrapunalähtin ampuu tahdistuspulsseja kankaalle. Kun signaali osuu teatterin kankaaseen, kimpoaa se siitä katsojien laseihin ja niiden vastaanottimiin. Näin vastaanotetut tahdistuspulssit pitävät huolen, että oikeat kuvat tulevat linssihin oikeaan aikaan. 3D-kuvaa pystytään projisoimaan täydellä 2K-resoluutiolla, joten kuva on todella tarkka. Laseissa on myös hyvä valon hyötysuhde, eikä häiritseviä ns. haamukuvia synny. /16./



KUVA 10. Ritzin Xpand 3D-lasit

Normaalielokuvassa sekunnin aikana näkyy 24 kuvaa, mutta Xpand 3D-elokuvassa kuvien määrä kolminkertaistuu. Tämä määrä kuvia tulee vain yksittäiselle linssille, koska kummallekin silmälle ei tule täysin samanlaista kuvaa. Sekunnin aikana molemmille silmille näkyy siis yhteensä 144 kuvaa.

5.3 Dolby Show Store-palvelin

Dolby Show Store-palvelimessa (DSS100) on etupaneelissa DVD-soitin, paikka kovallevylle elokuvien latausta varten ja USB-portti, jotka näkyvät ottamassani kuvassa 11. Sisäisillä kiintolevyillä tilaa on yhteensä 1300 gigabittiä (Gb). Yksi elokuva vie keskimäärin 100-200 Gb, joten elokuvia mahtuu viidestä-kymmeneen kerrallaan palvelimelle. /17./

Kiintolevyt käyttävät RAID 5 (Redundant Array of Independent Disks) tekniikkaa, jolla monta kiintolevyä saadaan koottua yhdeksi loogiseksi levyksi. Tämä kasvattaa levyjen nopeutta ja vikasietoisuus paranee. /18./ Kiintolevyissä on myös hot-swap tekniikka, jonka avulla rikkoontuneen kiintolevyn voi vaihtaa laitteen ollessa päällä. Kiintolevyn rikkoontuessa näytös ei keskeydy, vaan tekniikka pystyy ottamaan lennossa käyttöönsä varalevyn. /19./ Palvelimen takapaneelissa on mm. muutama USB-portti lisää, verkkoportteja ja VGA-liitin näytölle.



KUVA 11. DSS 100

Dolby Show Playerin (DSP100) tehtävä on purkaa serverille ladatun elokuvan data eli kuva ja ääni. Esiityksen lähtiessä käyntiin se ohjaa kuva-datan projektorille ja äänidatan ääniprosessorille. Paneelissa on valikkonapit ja pieni näyttö näytöksen käynnistämiseen, jotka näkyvät ottamassani kuvassa 12. Selkeästi helpompi tapa on kuitenkin kiinnittää serveriin näyttö ja hiiri-näppäimistö yhdistelmä, jolla Show Managerin käyttö on nopeaa ja vaivatonta.



KUVA 12. DSP 100

Kuvan purkamisessa DSP100 tukee DCI-standardien mukaista JPEG-2000 ja MPEG-2 tiedostoformaatteja. JPEG-2000-formaatin maksimi bittinopeus on 350Mbps kun käytetään 2K-resoluutiota ja progressiivista kuvaa 24fps. JPEG-2000 pystyy siis bittinopeudeltaan nopeampaan, kuin mitä DCI luokitus vaatii (250Mbps). MPEG-2 formaatin maksimi bittinopeus on 150Mbps ja se tukee kehysnopeuksia: 23,98, 24, 29,97 ja 30. Kuva on tälläkin formaatilla progressiivista ja tuetut resoluutiot ovat 1920x1080 ja 720x1280. /17./

5.4 Dolby Show Manager-käyttöliittymä

Dolbyn Show Manager ohjelmisto on graafinen käyttöliittymä digitaalielokuvien lataamiseen serverille, näyttösten kasaukseen ja itse näyttösten käynnistämiseen. Ohjel-

man käyttäminen tapahtuu hiirellä ja näppäimistöllä. Graafinen yleisilme on selkeä ja ensikertalaisenkin on suht helppoa saada valmiiksi luotu näytös päälle. Selkeytän ohjelman toimintaa ottamillani kuvilla 13-17.

Ohjelma on jaettu kuuteen päävälilehteen: monitor, control, build, content, schedule ja system, jotka näkyvät kuvassa 13. Niiden kautta onnistuu mm. elokuvien lataus, esittäminen ja ajastaminen helposti ja sujuvasti.



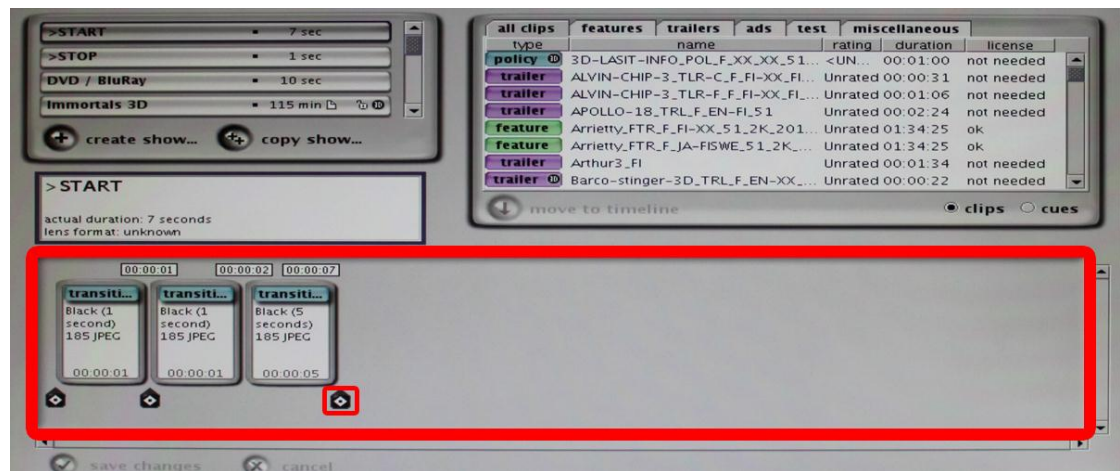
KUVA 13. Dolby Show Manager -ohjelman välilehdet

Monitor-välilehden takaa näkee esityksessä olevan elokuvan yleiset tiedot esim. keskon ja äänenvoimakkuuden. Kuvassa 14 olevasta control-ikkunasta näkee esityksestä seikkaperäisempää tietoa. Tämän kautta hoituu esim. näytöksen käynnistäminen ja äänenvoimakkuuden nostaminen tai laskeminen. Ikkunasta näkee myös kaikki näytökseen luodut palaset trailereista kuvasuhteen muutos automaatioihin.



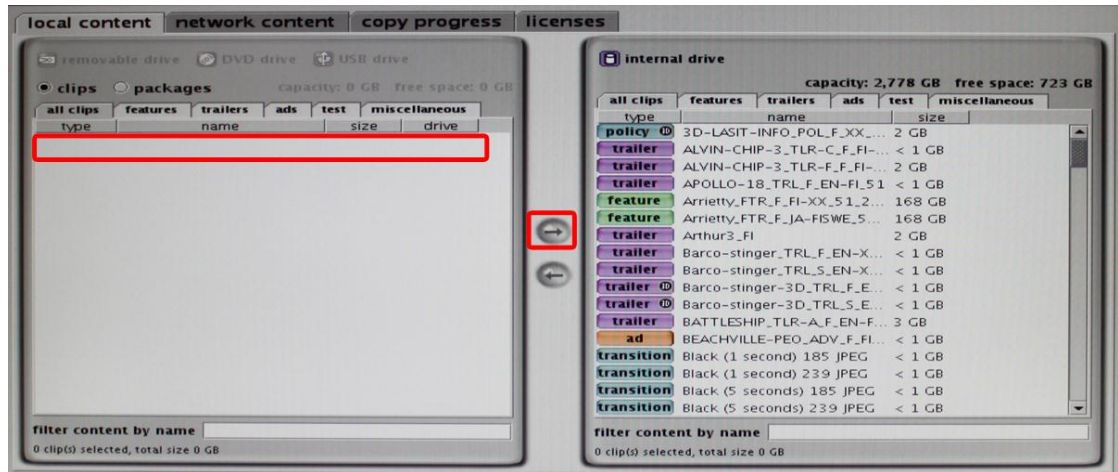
KUVA 14. Control-näkymä

Itse elokuvan kasaaminen tapahtuu build-välilehden kautta, josta on ottamani kuva 15. Näytös luodaan aikajanelle eräänlaisia palasia siirrellen. Kaikki tarvittavat palaset löytyvät aikajanan yläpuolella olevasta pikkuikkunasta. Features-alavalikosta saa elokuvat, trailers-alavalikosta trailerit ja cue-napin takaa löytyy automaatiopalasia esim. projektorin lampun sytyttämisestä kuvasuhteen ja äänenvoimakkuuksien vaihtoon. Trailereiden äänet voivat monesti olla todella kovalla itse elokuvaan nähden, joten niiden eteen voi laittaa äänenvoimakkuuden alkamaan hiljaisemmalla. Itse elokuvan alkuun äänenvoimakkuuden voi laittaa taas nousemaan kovemmmalle.



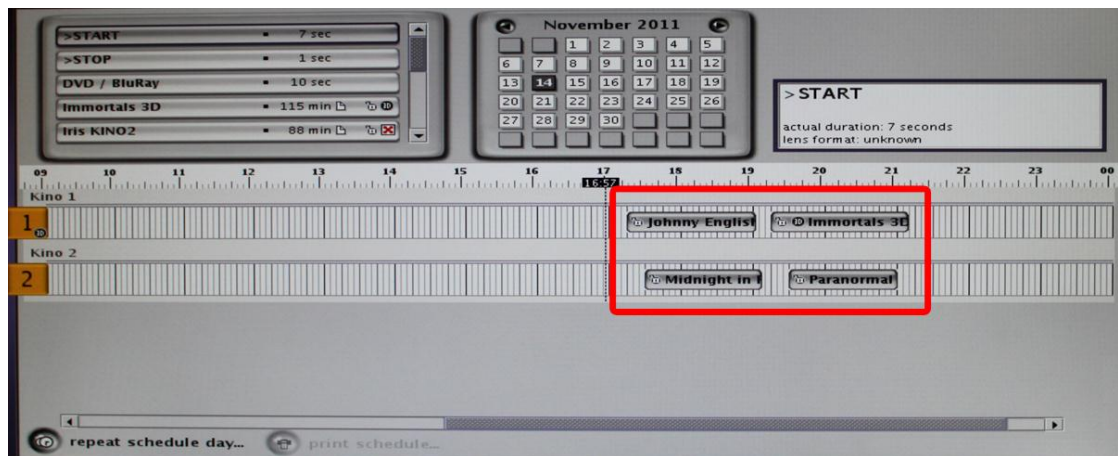
KUVA 15. Elokuvanäytöksen kasausvälilehti

Elokuvan lataus palvelimelle tapahtuu content-ikkunasta. Kun projektoriin laitetaan USB-tikku tai siirrettävä kovalevy, tulee local content välilehdelle (kuvassa 16 merkitsemäni vasen punainen suorakulmio) tallenteen sisältö esiin. Tämän sisällön saa yksinkertaisesti palvelimelle painamalla oikealle osoittavaa nuolta. Se toimii myös toisinpäin. Jos jotain on saatava palvelimelta kovalevylle, niin valitsee internal drive puolelta jonkun videotiedoston ja painaa nuolta, joka osoittaa vasemmalle. Content-ikkunan kautta serverille ladataan myös elokuvien lisenssit, jotka saapuvat yleensä sähköpostin välityksellä. Ilman elokuvalla kuuluvaa lisenssiä ei sen esittäminen onnistu.



KUVA 16. Content-välilehti videotiedostojen lataamiseen serverille

Elokuvia voi myös ajastaa alkamaan tiettyä aikana schedule-ikkunan kautta. Tämä on hyvä väline silloin, jos saleja on enemmän kuin yksi. Näytös lähtee automaattisesti määriteltynä kellonaikana päälle, eikä koneenhoitajan tarvitse olla välttämättä konehuoneessa painamassa sitä itse päälle. Kuvassa 17 on Kinolinnan erään illan ajastukset molemmille saleille. Molemmissa saleissa oli illan aikana kaksi elokuvaa, jotka ovat laitettu schedule-ikkunaan alkamaan oikeaan aikaan.



KUVA 17. Neljä elokuvaa ajastettuna kahden salin kesken Kinolinnassa

Viimeinen ohjelman ikkunoista on system, jonka kautta näkee järjestelmän yleisen tilan ja laitteistoa.

6 DIGITAALISEN KOPION TEKEMINEN

Insinööriyön mielenkiintoisin osio oli digitaalisen kopion tekeminen. En ollut koskaan tehnyt sellaista, ja kokemukseni niiden suhteen olivatkin vain elokuvan tai trailerin lataamisesta serverille. Näissä valmiissa paketeissa kaikki määrittelyt kuvalle ja äänelle on tehty valmiiksi, joten niiden säätämisestä toimivaksi minulla ei ollut mitään tietoa. Päätin tehdä esimerkkinä elokuvateatteriin sopivan tervetuloa-videon, mitä voidaan esittää ennen varsinaista elokuvaa. Videotiedostossa on kuva, joka näkyy kankaalla 15 sekunnin ajan. Videon yläosassa on teksti, joka toivottaa katsojat tervetulleeksi elokuvaan ja videon alaosassa on muistutus kännykän laittamisesta äänettömälle. Tyylille sopivaksi visuaaliseksi elementiksi laitoin kuvaan myös filmikelan.

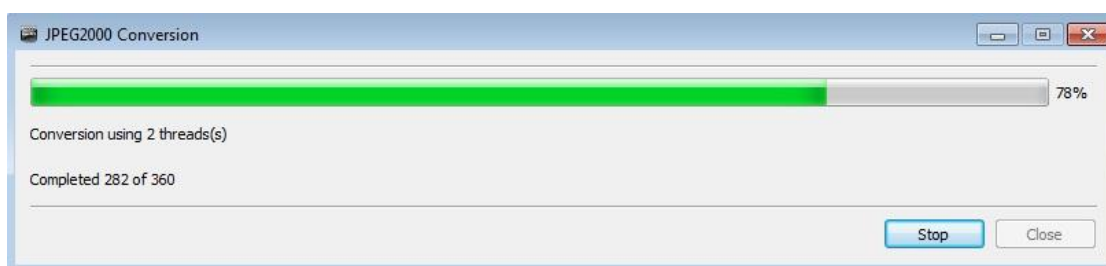
Aloitin työn tekemällä haluamani tervetuloa-kuvan Adobe Photoshop CS5 ohjelmalla. Tein sen flat-kuvasuhteelle sopivaksi eli kokoon 1998x1080. Koska yleisimmin trailerit esitetään flat muodossa, on se kaikkein luontevin ratkaisu tämän tyylliselle videotiedostolle. Tämä video kuitenkin näkyisi juuri ennen trailereiden alkua. Se säästäisi siis turhaa objektiivin ja kuvasuhteen vaihtelua esityksen aikana projektorin sisällä, jos varsinainen elokuva olisi scope-kuvan elokuva. Tallensin kuvan Adoben omalla PSD-formaatilla, koska se on yhteensopiva käyttämäni Adobe Premiere CS5:sen kanssa suoraan.

Kuvankäsittelyn jälkeen toin (import) sen Adoben editointiohjelmaan Premiere Pro CS5:seen. Premieriin tein sekvenssin, joka vastasi kooltaan kuvan kokoa. Toinen tärkeä asetus mikä sekvensseihin piti laittaa, oli kehysnopeus vastaamaan 24fps. Minikäänlaista musiikkia tai puhetta en alkanut nauhoittaa, joten audio-raidat jäivät tyhjiksi. Kun siirsin kuvan aikajanelle, venyitin sen kestämään 360 kehystä eli 15 sekuntia. Tämän jälkeen videotiedosto voidaan viedä Premieristä ulos. Video otetaan ulos yksittäisinä TIFF-formaatin kuvina, joita käyttämäni digitaalisen kopion teko-ohjelma tunnisti. Koska video otetaan ulos yksittäisinä kuvatiedostoina, tulee siitä niin monta kuvatiedostoa kuin videotiedostossa on kehyksiä, eli tässä tapauksessa kuvia tuli 360 kappaletta.

Digitaalisen kopion eli DCP:n (Digital Cinema Package) tekemiseen on jo nyt tarjolla monta eri ohjelmaa. Osa niistä on maksullisia ja osa ilmaisia. Myös niiden toimintata-

vat vaihtelevat paljon. Joissakin saattaa olla esim. graafinen käyttöliittymä ja useampi tuettu formaatti kuin toisessa. Käytin itse kopion tekoon OpenDCP-nimistä ilmaista ohjelmaa, joka on omasta mielestäni selkeä, helppo ja yksinkertainen käyttää. Se tukee 2K- ja 4K-resoluutioita, muutamia eri kuvatiedostoformaatteja ja siinä on mm. sisäinen muunnostyökalu kuvan väriavaruudelle. Elokuvakopiot ovat XYZ-avaruudessa yleisen RGB-avaruuden sijaan. Omakin videotiedostoni oli alun perin RGB-avaruudessa, joten OpenDCP näytti tässä tapauksessa kätevyytensä, ettei muunnokseen tarvinnut vielä jotain toista ohjelmaa. XYZ-väriavaruus on DCI-standardin mukainen ja myös laajempi kuin RGB-väriavaruus.

Ensimmäisenä TIFF-kuville tehdään OpenDCP:ssä muunnos JPEG-2000 -muotoon, joka on myös DCP-kopion tekemisessä eniten aikaa vievä osuus. JPEG2000-välilehdessä on muutama asetus, joita täytyy katsoa vähän tarkemmin. Profiilin täytyy olla tässä tapauksessa Cinema 2K ja kehysnopeus 24. Koska kuvat olivat RGB-avaruudessa, täytyi minun laittaa rasti ruutuun XYZ-muunnoksen käyttämiseksi. Bitinopeus eli kaistanleveys on oletuksena asetettu nopeuteen 125Mb/s. Tämä täytyy kuitenkin nostaa 250Mb/s asti, että se vastaa DCI-standardia. Viimeiset asetukset tässä vaiheessa ovat enää määrittää kansio missä TIFF-kuvat sijaitsevat ja toinen kansio minne muunnetut JPEG-2000 -kuvat menevät. Kuvassa 18 näkyy loppusuoralla oleva JPEG2000-muunnos.



KUVA 18. JPEG2000-muunnos käynnissä

Kun TIFF-kuvat ovat muunnettu JPEG2000-muotoon, voidaan niistä tehdä videotiedosto. Seuraavaksi OpenDCP:ssä siirrytään MXF Creator välilehteen. Tässä lähteeksi merkitään JPEG2000, paketin tyyppiä SMPTE ja kehysnopeudeksi edelleen 24fps. Sen jälkeen osoitetaan, missä kansiossa JPEG2000 kuvat sijaitsevat. Jos lopulliseen videoon tulee ääntä, tulee niidenkin kansiot osoittaa. Viimeiseksi määrätään minne ja millä nimellä MXF-tiedoston haluaa tallentuvan ja tehdään MXF-muunnos.

Näiden eri muunnosten jälkeen päästään itse DCP-paketin luomiseen. Tässä vaiheessa luodaan paketille nimi Title Generatorin avulla, josta otin havainnollistavan kuvan 19. Tällä työkalulla nimestä saa virallisia DCP-paketteja muistuttavan nimihirviön.

KUVA 19. Title Generatorin tietovalikko

Omassa työssäni nimen pituus jäi siedettävän lyhyeksi, koska esim. ääni- ja ikärajalaukset jäivät tässä tapauksessa tyhjiksi. Generaattorin luomasta nimestä voidaan päätellä kaikki tärkeimmät asiat DCP-paketin kuvasuhteesta aina puhuttuun kieleen asti.

Kopiolle voidaan lisätä myös digitaaliset XML-allekirjoitukset. Ne sisältävät tarpeellista tietoa esim. kopion ääni- ja videotiedostojen kestosta ja kehysnopeuksista. Ne myös mahdollistavat sen ettei tiedostoa pysty enää esittämään, jos DCP-pakettiin on jollakin tavalla koskettu. Nykyään yleistä piratismia vastaan elokuvakopiot on suojattu 128-bittisellä AES-salauksella. Ilman KDM-avainta (Key Delivery Message) elokuvaa ei saa avattua. Avaimet on mahdollista lähettää mm. sähköpostin kautta teattereille ja ne toimivat vain siinä tietyssä teatterissa avaimelle määritellyn ajan verran.

DCP-paketin ollessa valmis tarvitsee se enää siirtää muistitikulle tai ulkoiselle kovalevyllä elokuvateatterille viemistä varten. Oma 15-sekunnin mittaisen videon sisältävä pakettini oli kooltaan 326Mb, joten se mahtui vaivatta muistitikulle. Videon pituuden ei kuitenkaan tarvitse olla kovin pitkä, kun siirrytäänkin koon puolesta jo useille kymmenille ja jopa sadoille gigatavuille. Lopuksi kävin testaamassa tervetuloa-videoni elokuvateatteri Kinolinnassa. Siirsin tikun sisällön projektorin serverille ja sain sen onnistuneesti näkymään isolle kankaalle, josta mallina on kuva 20.



KUVA 20. Tekemäni digikopio elokuvateatterin kankaalla

7 SUOMEN ELOKUVATEATTERIEN TULEVAISUUS

Suomen Elokuvasäätiön mukaan vuonna 2010 Suomessa oli 172 elokuvateatteria 127:llä eri paikkakunnalla ja multiplex-saleja Suomessa oli viisi /20/. Elokuvateatterien digitointi jatkuu vauhdikkaasti ja vuoden 2010 loppuun mennessä saleista yli kolmannes oli digitoitu. Suurimmassa osassa digitoituja saleja on mahdollista esittää myös 3D-elokuvia ja kaikissa saleissa on vähintään 2K-tason projektorit.

2010 vuosi oli monellakin tavalla hieno vuosi suomalaisille elokuvateattereille ja itse suomalaiselle elokuvalle myös. Kotimaiset elokuvat vetivät teattereihin enemmän katsojia kuin koskaan (2,1 miljoonaa) ja elokuvanäytösten kokonaiskävijämääräkin nousi huippulukemiinsa sitten vuoden 2003. Vertailun vuoksi voidaan ottaa tallentei-

den myynti, jonka liikevaihto laskee toista vuotta peräkkäin ja elokuvien vuokrauksenkin suosio laskee edelleen. On hienoa huomata, että ihmiset arvostavat tänä kotiteatterin aikana ihan oikeaa elokuvateatteriakin.

Vaikka ainut syy teatterien kasvuun ei olekaan salien digitointi, on sillä varmasti suuri ja koko ajan entistä suurempi rooli lisääntyvissä kävijämäärissä. Elokuvajakelun digitointi on mahdollistanut sen, että kotimaisten esityskopioiden tekeminen on halvempaa ja ensi-iltajakelua voidaan levittää entistä laajemmalle. Ennen filmikopio joutui olemaan koko esitysaikansa tietyssä teatterissa, mutta nyt digikopio kulkee jo viikonkin aikana monet teatterit läpi ennen ensi-iltaansa, eikä sitä tarvita enää itse esitysvaiheessa. Enää ei tarvita kuin elokuvan lataaminen projektorin palvelimelle ja kopio on valmiina suuntaamaan seuraavaan teatteriin. Digikopiot ovat myös käteviä niiden jatkuvan käytön takia. Kun elokuva poistuu teatteriesityksestä, voidaan se yksinkertaisesti poistaa kovalevyiltä ja ladata siihen seuraava ensi-ilta elokuva.

Elokuvateatterit saavat laajaa tukea julkisesti. Suomen Elokuvasäätiö jakoi vuonna 2010 digitalisointitukea teattereille yli 2,2 miljoonaa euroa. Se oli päälle viidenneksen enemmän kuin edellisenä vuonna. Säätiö on tehnyt myös suomalaisen elokuvan tavoiteohjelman vuosille 2011-2015 /21/. Sen rohkea tavoite digitaalisessa elokuvateatteriverkostossa on, että viimeistään vuonna 2013 kaikki Suomen elokuvateatterit ovat digitoitu. Aikomus onkin nostaa digitalisointituki neljään miljoonaan euroon.

Tavoiteohjelmassa otetaan myös kantaa jatkuvaan tekniikan kehittämiseen. Elokuvaesityksen on erotuttava kotisohvalla nähdystä niin laadultaan kuin yhteisöllisyydeltään. Digitoitu teatteri mahdollistaa myös vaihtoehdoisen ohjelmatarjonnan, kuten ooppera- ja balettiesitykset ja mm. livebändikeikkoja satelliitin välityksellä toiselta puolen maapalloa. Tätä kirjoittaessani oopperaesitykset ovat Mikkelin elokuvateattereissa vain muutaman päivän päässä ensiesityksestään. Mikkelissä tullaan näkemään ainakin toukokuuhun 2012 saakka The Royal Opera Housen oopperaa tai balettia keran kuussa /22./ Tämä on pienemmille paikkakunnille oiva tilaisuus laajentaa niiden kulttuuritarjontaa.

Suomalainen elokuvateatteriverkosto elää siis jännittäviä aikoja ja uutta on tarjolla paljon, niin tekniikan kuin esitysten kehittymisen suhteen. Luulen, että tämä on vasta

alkua sille, mihin kaikkeen elokuvateatterit tulevat vielä venymään. Kuitenkin pääasiainen tarjonta pysyy mitä luultavimmin itse elokuvissa ja niiden kehitys jatkuu hui-maa vauhtia. Elokuva-alan suunnannäyttäjät James Cameron ja Peter Jackson ovat ensimmäisenä ottamassa kaiken hyödyn irti uusista elokuvateatterilaitteista. Esim. Jackson kuvaa jo tulevaa The Hobbit elokuvaansa suuremmalla kehysnopeudella iän-ikuisen ja vieläkin käytössä olleen 24 fps:n sijasta /23/. Jacksonin mukaan tämä tulee nostamaan kuvan laatua etenkin nopeasti liikkuvissa kamera-ajoissa, eikä kuva näytä liikkeessä niin sumealta.

Cameron on taas väläytellyt Avatar jatko-osiensa kuvauttamista jopa 60 fps nopeudel-la /24/. Tästä kehysnopeuden muutoksesta on muutenkin ollut puhetta suomalaisessa elokuvayhteisössä; että se on isompi muutos kuvalaadun parantamiseen kuin muutos 2K-resoluutiosta 4K:hon /25/. Se pystyvätkö kaikki projektorit esittämään näitä uudel-la tekniikalla tehtyjä elokuvia tulevaisuudessa, on toinen asia. Teatterinomistaja saa odottaa jännityksellä, täytyykö hänen vaihtaa esim. vasta viisi vuotta ostettu digipro-jektori heti jo uuteen, vai hoituuko uuden tekniikan käyttöönotto ohjelmistopäivityk-sillä.

8 PÄÄTÄNTÖ

Kun aloitin työni vuoden 2009 alussa Mikkelin elokuvateattereilla, en uskonutkaan miten tietotekniikka painotteiseksi työni siellä vielä tulisi muuttumaan. Ensimmäisen vuoden aikana kerkisin kuitenkin vielä kokemaan filmiprojektorin ja 35mm:n filmin pujotuksen, josta olen onnellinen. Tämän jälkeen konehuoneiden projektorit kokivat vuorotellen uudistuksen digitaalisiin projektoreihin. Työni mekaanisten projektorien parissa muuttuikin äkisti tietoteknisiin laitteisiin. Otin muutoksen innolla vastaan, koska olinhan opiskellut jo muutaman vuoden ajan Mikkelin ammattikorkeakoulussa tietotekniikkaa. Syvennyin opinnoissani mediatekniikkaan, joten olen päässyt työni ja opiskeluideni avulla kokemaan videotuotannon eri vaiheita laajassa skaalassa.

Heti kun digitaaliset projektorit ja palvelimet valtasivat konehuoneet, sain myös idean niistä opiskelujeni lopputyölle. Nämä tietotekniikan voimin toimivat laitteet alkoivat kiinnostaa yhä enemmän ja varsinkin niiden käyttämä tekniikka elokuvien näyttämi-seen kiinnosti. Tiesin työni puolesta jonkin verran elokuvaesityksen tekniikkaa val-

miiksi, joten halusin kartuttaa itselleni myös tätä osaamista enemmän. Tuntui luontevalta yhdistää tällä tavalla työ ja opiskelut. Myös aihe on sen verran tuore ilmiö Suomessa, ettei siitä ole tehty vielä montaa tutkimusta. Ensimmäinen digitaalinen projektori tuli Suomeen vasta vuoden 2006 lopussa Helsingin Tennispalatsiin ja tähän mennessä saleista on digitoitu vasta noin joka kolmas /26./. Teoriaosuuden kasaamisessa olikin ongelmallista kirjalähteiden vähäinen määrä. Digitaalisten elokuvateatterien tekniikasta ei yksinkertaisesti ole tehty vielä montaa ainakaan suomenkielistä teosta. Internetistä löytyy kuitenkin paljon englanninkielisiä sivustoja ja pdf-dokumentteja aiheesta, joita käytin insinööriytyössäni paljon.

Teoriaosuudessa olen mielestäni saanut hyvin kasattua digitaalisten elokuvanäytöksi- en toimintaperiaatteen ja tekniikan. Eri tekniikoihin olisi voinut perehtyä vielä paljon perusteellisemminkin, mutta tarkoitukseni ei ollut tehdä täysin syväluotaavaa katsausta. Myös työni kaari toimii mielestäni sujuvasti. Ajattelin, että alussa on hyvä käydä perus videotekniikan lainalaisuuksia läpi, ennen kuin siirtyy elokuvateatteritekniikkaan. Pidän koko ajan työni taustalla aiheeni mukaisesti elokuvateatterit alkuosan historiakatsauksesta lähtien. Muutos digitaaliprojektoreihin on parantanut selvästi kuvan ja äänenlaatua elokuvateattereissa. Katsojat saavat entistä hienompia kokemuksia elokuvateattereissa ja omasta mielestäni juuri tämän takia elokuvateatterien digitalisoituminen on ollut mieleeni. Nautin tarkasta kuvasta ja selkeistä ja muhkeista äänistä.

Tutkin työssäni miten omasta tekemästään videomateriaalista on mahdollista tehdä elokuvateatterissa toimiva digitaalinen kopio. Luomani tervetuloa-video olisi ihan yhtä hyvin voinut olla mikä tahansa videotiedosto elokuvasta mainokseen, vaikka työssäni käynkin sen tekemisen läpi pelkkänä esimerkkinä. Digitaalisen kopion tekeminen käyttämällä OpenDCP-ohjelmaa sujui ongelmitta. Ohjelman hahmottamista ja käyttämistä tosin auttoi varmasti opiskeluni alalla ja päivittäinen tekeminen tietotekniikan parissa. Ihmettelin kuitenkin miten helposti kopion tekeminen kävi. Videotiedoston resoluutiota valitessa täytyy kuitenkin olla tarkkana, koska yleisimmät teatterikuvasuhteet ovat flat tai scope. Jotta kuva näkyy oikeassa suhteessa kankaalla, tulee videotiedoston käyttää mielellään näistä toista. Kopiota tehdessä oli erikoista huomata, että nämä elokuvaresoluutiot eivät kumpikaan ole täyttä 2K-resoluutiota. Kuva on aina joko pysty- tai vaakasuunnassa vähän leikattua. Siirrettyäni kopion serverille toistui se myös elokuvateatterin kankaalla niin kuin pitikin.

Digikopion pystyy siis tekemään tietokoneella kotona itse. Esimerkiksi mainostajien on entistä helpompi saada nykyään tuotteitaan elokuvateatterin kankaalle ilman aikaa vieviä ja kalliita filmimuunnoksia. Digitaalisiin kopioihin on myös äänen lisäksi mahdollista lisätä mm. tekstitykset. Myös oman 3D-videon tekeminen onnistuu ja olisikin mielenkiintoista tutkia mitä se vaatii. Kaiken kaikkiaan opin insinööriyötä tehdessäni paljon alan termistöä ja lisää elokuvan esitystekniikasta. Mielenkiintoista ja koko ajan kehittyvää elokuvatekniikkaa seuraan mielelläni insinööriyöni jälkeenkin.

LÄHTEET

1. Siitonen, Petri. Digital Cinema Suomessa. Pdf-dokumentti.
<http://www.ses.fi/dokumentit/Digital%20Cinema%20Suomessa.pdf>. Päivitetty 24.10.2006. Luettu 15.10.2011.
2. Digitaalisen elokuvateaterikeskuksen kehittämisprojekti. Mitä on digitaalinen elokuva?. WWW-dokumentti.
http://www.cadimef.net/dek/digitaalinen_elokuva.htm. Ei päivitystietoja. Luettu 25.9.2011.
3. Heiskanen, Outi. Elohuvia elokuvateatterien kotimainen kultaa-aika. Helsinki. Kustannusosakeyhtiö Otava. 2009.
4. Keränen, Vesa. Lamberg, Niko. Penttinen, Jukka. Digitaalinen media. Jyväskylä. Docendo Finland Oy. 2005.
5. Leponiemi, Kari. Videokuvaus taitoa ja tekniikkaa. Jyväskylä. WSOYpro Oy. 2010.
6. French Image and Sound Superior Technical Commission. National Federation of French Cinemas. Technical guide for the projection booth in digital cinema. Pdf-dokumentti. http://www.fncf.org/updir/1/fncf_cst_guide.pdf. Päivitetty 1.6.2010. Luettu 23.9.2011.
7. Korteila, Maria. Elokuvateatterin digivallankumous jää suutariksi. WWW-dokumentti.
<http://www.tekniikkatalous.fi/tyo/elokuvateatterin+digivallankumous+jaa+suutariksi/a45529>. Päivitetty 6.3.2003. Luettu 31.8.2011.
8. Rastas, Perttu. Videoiden digitointi. WWW-dokumentti.
http://www.digiwiki.fi/fi/index.php?title=Videoiden_digitointi#Digitaalinen_video. Päivitetty 17.10.2011. Luettu 8.11.2011.
9. Afterdawn. Sanasto. WWW-dokumentti. <http://fin.afterdawn.com/sanasto/>. Ei päivitystietoja. Luettu 2.11.2011.
10. IntoPIX. Everything you always wanted to know about JPEG 2000. Pdf-dokumentti. <http://www.intopix.com/pdf/JPEG%202000%20Handbook.pdf>. Päivitetty 2008. Luettu 10.11.2011.
11. Halonen Alf, Äänijärjestelmät. WWW-dokumentti.
<http://www.hyvleffat.fi/info.htm>. Ei päivitystietoja Luettu 28.10.2011.

12. Tyson, Jeff. How Movie Projectors Work. WWW-dokumentti.
<http://entertainment.howstuffworks.com/movie-projector.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 5.11.2011.
13. Digital Cinema Initiatives, LLC. Digital Cinema System Specification Version 1.2. Pdf-dokumentti.
http://www.dcinovies.com/DCIDigitalCinemaSystemSpecv1_2.pdf. Päivitetty 7.3.2008. Luettu 1.9.2011.
14. Harris, Tom. How Digital Cinema Works. WWW-dokumentti.
<http://entertainment.howstuffworks.com/digital-cinema.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 5.11.2011.
15. Texas Instruments. How DLP Technology Works. WWW-dokumentti.
<http://www.dlp.com/technology/how-dlp-works/default.aspx>. Ei päivitystietoja. Luettu 6.11.2011.
16. Xpand. Xpand 3D. WWW-dokumentti.
<http://www.xpand.me/technology/xpand-3d/>. Ei päivitystietoja. Luettu 2.11.2011
17. Dolby Laboratories. Dolby DSP100, DSS100 Dolby Digital Cinema System. Pdf-dokumentti.
http://www.dolby.com/uploadedFiles/Assets/US/Doc/Professional/DSP_DSS100_Spec_Sheet.pdf. Päivitetty 2006. Luettu 10.11.2011
18. Vähimaa, Aleks. Kaikki irti levyistä. WWW-dokumentti.
http://www.mbnet.fi/nettijatkot/2010/08/lisatehoa_raidilla/. Ei päivitystietoja. Luettu 15.11.2011.
19. Tietokoneopas. Sanasto, Hot Swap. WWW-dokumentti.
<http://www.tietokoneopas.com/sanasto/Hot+Swap/>. Ei päivitystietoja. Luettu 15.11.2011.
20. Suomen Elokuvasäätiö. Elokuvuvuosi 2010 Facts & Figures. Pdf-dokumentti.
<http://www.ses.fi/dokumentit/Elokuvuvuosi%202010%20Facts%20&%20Figures.pdf>. Päivitetty 2011. Luettu: 15.11.2011.
21. Suomen Elokuvasäätiö. Suomalaisen elokuvan Tavoiteohjelma 2011-2015. Pdf-dokumentti.
<http://www.ses.fi/dokumentit/Suomalaisen%20elokuvan%20tavoiteohjelma%202011-2015.pdf>. Päivitetty 21.1.2011. Luettu 15.11.2011.
22. Mikkelin elokuvateatterit. Ooppera. WWW-dokumentti.
<http://www.leffabuumi.fi/ooppera.php>. Ei päivitystietoja. Luettu 1.11.2011.

23. Billington, Alex. Firstshowing.net. WWW-dokumentti.
<http://www.firstshowing.net/2011/peter-jackson-talks-at-length-about-using-48fps-for-the-hobbit/>. Päivitetty 11.4.2011. Luettu 10.11.2011.
24. Billington, Alex. Firstshowing.net. WWW-dokumentti.
<http://www.firstshowing.net/2011/cameron-working-towards-no-sick-3d-viewers-better-framerates/>. Päivitetty 2.2.2011. Luettu 10.11.2011.
25. Film-Tech Suomi. WWW-dokumentti. <http://www.film-tech.fi/index.php?topic=126.0>. Päivitetty 3.2.2011. Luettu 5.2.2011.
26. Lehtonen, Veli-Pekka. Tennispalatsiin Suomen ensimmäinen digitaalinen projektori. WWW-dokumentti.
<http://www.hs.fi/kulttuuri/artikkeli/1135223097902>. Päivitetty 19.11.2006. Luettu 20.11.2011.