



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Henriikka Mäkelä

360°-video ja tilaääni

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikka

Insinöörityö

21.5.2019

Tekijä Otsikko	Henriikka Mäkelä 360°-video ja tilääni
Sivumäärä Aika	32 sivua 21.5.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine	Mediatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Toni Spännäri
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa 360°-video ja sen tilääni eli monikanavainen äänentoisto sekä perehtyä tarkemmin 360°- ja tiläänituotantoon. Tavoitteeksi valikoitui 360°-musiikkivideo, jossa tilääntä hyödyntäen käytettiin itse tuotettua musiikkia.</p> <p>360°-videoissa kamerat kuvaavat jatkuvasti joka suuntaan, mikä mahdollistaa sen, että videoita pystyy katselemaan mistä suunnasta tahansa. 360°-videot antavat paremman katseluelämyksen ja tuovat jotain uutta tavallisiin videoihin verrattuna.</p> <p>Projektityö aloitettiin 360°-videon kuvaamisella, musiikin äänittämisellä ja editoimisella sekä 360°-videomateriaalin stitchaamisella eli videoiden yhdistämisellä, minkä jälkeen oli mahdollista aloittaa 360°-musiikkivideon editointiprosessi. Video editoitiin käyttämällä videon editointisovellusta, joka tukee 360°-videomateriaalia, jolloin sitä on mahdollista käsitellä ja editoida. Se tukee myös tilääntä, jolloin ääniraidat sai panoroitua oikein 360°-videolle. Lopuksi videolle tehtiin hienosäätöä videon jälkikäsittelyyn tarkoitetulla sovelluksella ja video tallennettiin oikeanlaiseen videomuotoon, jotta se olisi mahdollista lisätä katseltavaksi joko Youtubeen tai Facebookiin, joissa on 360°/VR-tuki.</p> <p>Lopputulos oli odotuksien mukainen mutta kehittämisen varaa työssä olisi ollut. Tämän kuitenkin pystyy perustelemaan sillä, että aiempaa kokemusta 360°-videototeutuksista tai tiläänestä ei ollut. Paras hyöty insinööriyöraportista on lukijalle, joka on kiinnostunut 360°-video- ja tiläänituotannosta ja haluaisi itse oppia, kuinka toteuttaa vastaavanlainen video.</p>	
Avainsanat	virtuaalidellisuus, 360°-video, tilääni

Author Title	Henriikka Mäkelä 360° video and spatial audio
Number of Pages Date	32 pages 21 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communications Technology
Professional Major	Media Technology
Instructor	Toni Spännäri, Senior Lecturer
<p>The purpose of the thesis was to design and produce 360° video with spatial audio but also learn more about 360° and spatial audio production. The goal was to make a 360° music video using self-produced music.</p> <p>In 360° videos, cameras continuously shoot in every direction, allowing you to watch videos from any direction. 360° videos give you an immersive experience and something new compared to regular videos.</p> <p>The work was started with 360° video filming, music recording and stitching the 360° video. After that it was possible to start the 360° music video editing process. The video was edited by using video editor that supports 360° video materials and spatial audio. After little fine adjustments the video was ready to be saved to the correct video format.</p> <p>The result was as expected but the 360° video could be better. This can be justified by the fact that there is no previous experience of 360° video or spatial audio production but this was a very good learning experience. Thesis report is for people who are interested in 360° video and spatial audio production and would like to learn how to produce a similar video.</p>	
Keywords	virtual reality, 360° video, spatial audio

Sisällys

Lyhenteet

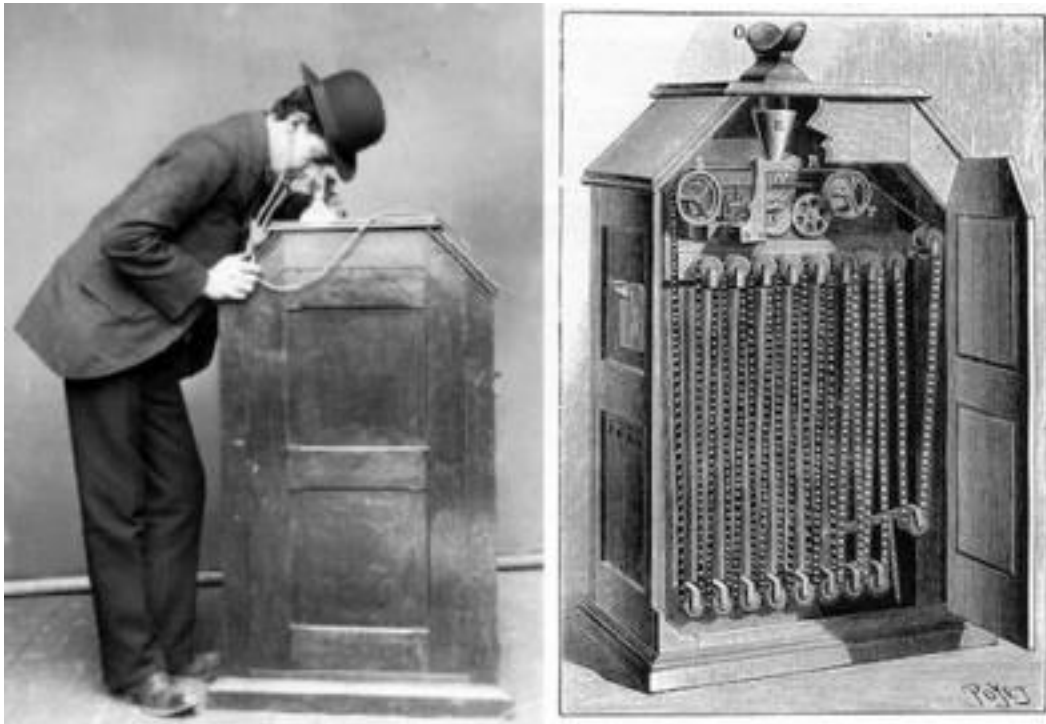
1	Johdanto	1
2	360°-video	2
2.1	Historia ja kehitys	2
2.2	360°-kamerat	4
2.3	Videoformaatit	11
3	360°-videon käsittely	14
3.1	Editointiohjelmat	14
3.2	Stitching – Videoiden yhdistäminen	15
4	Tilääni	16
4.1	Historia	17
4.2	Käyttöalueet	18
4.3	Monikanavaiset äänentoistojärjestelmät	19
4.4	Tilääni 360°-videossa	23
5	360°-videoalustat ja sovellukset	23
5.1	Mobiililaitteet	23
5.2	Työpöytä	24
5.3	VR-lasit	24
5.4	Sovellukset	26
6	360°-videon suunnittelu ja toteutus	27
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

Lyhenteet

VR	Virtuaalitodellisuus, jolla pyritään luomaan simulaatio joko kuvitteellisesta tai todellisesta ympäristöstä.
2D	2-dimensional eli kaksiulotteinen grafiikka, joka sisältää kaksi ulottuvuutta eli pituuden ja leveyden.
3D	3-dimensional eli kolmiulotteinen grafiikka, joka sisältää kolme tilaulottuvuutta ja on yleensä vektorigrafiikkaa.
HD	Teräväpiirtokuva, joka ylittää enimmillään 1920 x 1080 pikselin tarkkuuteen mutta on vähintään 1280 x 760 pikseliä.
UHD	Ultra HD eli 4K, jonka pikselimäärä on 3840 x 2160.
microSD	Micro Secure Digital-kortti. Vastaa toiminnaltaan samaa kuin perus-SD-kortti mutta on kooltaan huomattavasti pienempi ja muistikapasiteetti vaihtelee.
THX	Lucasfilmin kehittämä laatuluokitus elokuvateattereille ja äänentoistolaitteille.

1 Johdanto

Liikkuva kuva on tullut tutuksi jo 1800-luvulla ja erityisesti 1800-luvun lopulla, kun Edison sai valmiiksi liikkuvien kuvien esityskoneen, kinetoskoopin (kuva 1), jonka avulla pystyi katsomaan liikkuvaa kuvaa. Tästä kehitys jatkui, ja lopulta onnistuttiin kuvan lisäksi lisäämään ääntä samanaikaisesti fonografilla. Tätä tekniikkaa kutsutaan kinetofonografiksi. [1.]



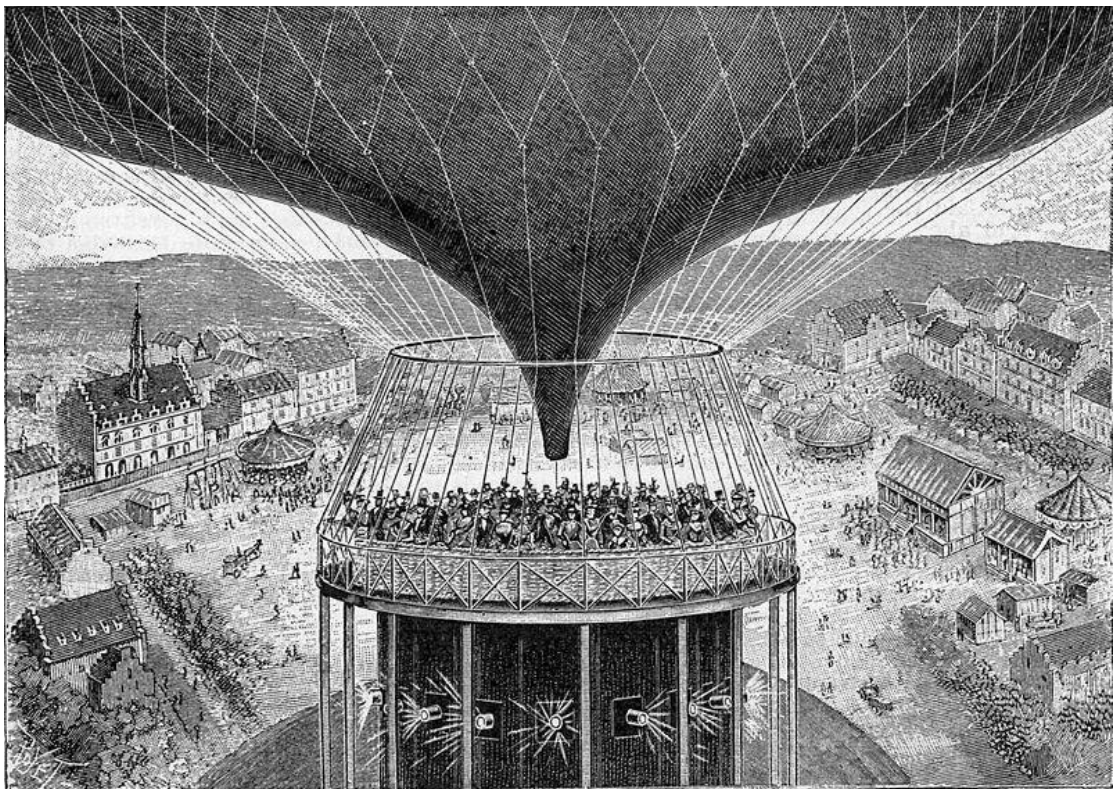
Kuva 1. Edisonin kehittämä kinetoskooppi [28].

Liikkuvan kuvan historiaan on mahtunut monta eri kehitysvaihetta, joista uusimpiin kuuluvat 360°-videot, joihin perehdytään lähemmin tässä insinööriyössä. Tämän lisäksi tutkitaan tilääntä, joka on uusimpia tulokkaita 360°-videoissa ja tuo lisää todentuntua videoiden katseluun. Työn tarkoitus oli myös suunnitella ja toteuttaa 360°-video tiläänellä, ja tuotantoprosessi käydään läpi alusta loppuun asti.

2 360°-video

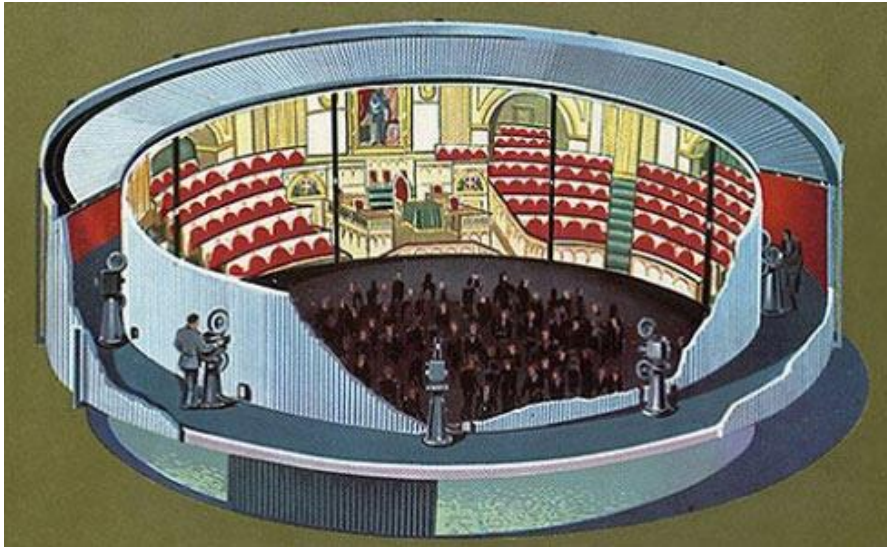
2.1 Historia ja kehitys

360°-videot ovat hyvin suosittuja Youtubessa, mutta immerstiivisten videoiden käsite johtaa kuitenkin 1900-luvulle asti. Esimerkkinä voidaan käyttää cineoramaa, jossa käytettiin kymmentä elokuvaprojektorin näyttämään kuumailmapalloon Pariisissa elokuva, joka ympäröi yleisöä 360°-panoraamakuvana (kuva 2). Projektorien äärimmäinen kuumuus johti yhden työntekijän pyörtymiseen ja tulipalon mahdollisuus johti cineoraman sulkemiseen muutaman päivän päästä. [2.]



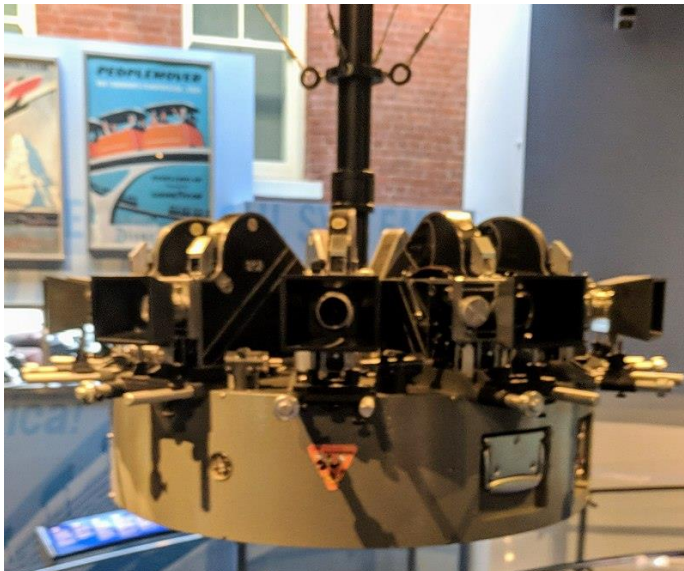
Kuva 2. Maalaus cineoramasta [3].

Ajan kuluessa kehitystä tapahtui ja 1900-luvun loppupuolella keksittiin Walt Disneyn Circle Vision (kuva 3), joka on edelleen suosittu nähtävyys Disney-maailmassa. Se käyttää yhdeksää kameraa, joista kuva heijastuu yhdeksälle todella suurelle näytölle, jotka on järjestetty ympyrän muotoon. [4; 5.]



Kuva 3. Walt Disney'n Circle-Vision vuonna 1967 [4].

Circle-Vision 360° -kamera (kuva 4) on esillä myös Walt Disney'n perhemuseossa. Se konkretisoi, millaisella laitteistolla Circle Vision on toteutettu.



Kuva 4. Tällä kamera-asettelulla kuvattiin Circle-Vision 360° [6].

Nykyään 360°-kameroita on monenlaisia ja kuvaus on huomattavasti yksinkertaisempaa kuin vuosia sitten. Kameravaihtoehtoja on monia ja erihintaisia riippuen siitä, millaiseen käyttöön 360°-kameraa tarvitsee. Videoiden katseleminenkin onnistuu erilaisten sovelusten kautta, eikä se vaadi katsojalta mitään erityistoimia. Parhaan mahdollisen

elämyksen kuitenkin saa katsomalla 360°-videota VR-lasien (virtual reality, virtuaalito-dellisuus) kautta, jolloin tuntuu siltä, kuin itse olisi videossa mukana.

2.2 360°-kamerat

360° kamerat voidaan karkeasti luokitella neljään eri luokkaan:

- 2D-kamerat, joissa HD-laatu. Ne tuottavat melko suttuista videokuvaa mutta valokuvat ovat käyttökelpoisia.
- 2D-kamerat, joissa 4K-resoluutio. Ne tuottavat jo laadukkaampaa videota mutta niistä puuttuu syvyysvaikutelma virtuaalilaseilla katsottaessa. Videota voi käyttää esimerkiksi sosiaalisessa mediassa.
- 3D-kamerat, joissa on olemassa syvyysvaikutelma virtuaalilaseilla katsottaessa.
- Light field -kamerat, jotka mahdollistavat pienen liikkumisen VR-laseilla katsottaessa.

Se, minkä luokan kameran valitsee, riippuu siitä, millaiseen käyttötarkoitukseen 360°-kamera tulee. Valinnassa on hyvä huomioida kuvataajuus, resoluutio eli tarkkuus, millä laitteella toisto tapahtuu ja halutaanko videon olevan 2D vai 3D. Käytännössä tämä tarkoittaa, ettei välttämättä tarvitse ammattitason kameraa tuottaakseen hyvää sisältöä joko älypuhelinlaskeluun tai VR-laseilla katseltavaksi. [7.]

360°-kameroita on todella monenlaisia, ja saattaa olla hankalaa valita omaan käyttöön sopiva kamera. Osa kameroista sopii ammattikäyttöön, osa taas paremmin harrastelijalle tai aloittelijalle. Seuraavaan on kerätty muutama vaihtoehto eri hintaluokista ja erityyppisistä 360°-kameroista.

Samsung Gear 360 (2017)

Samsung Gear 360 on pieni ja kevyt kamera, minkä ansiosta se kulkee helposti mukana paikasta toiseen (kuva 5). Sillä pystyy tallentamaan 4K-kuvaa ja videota microSD-kortille, jota kamera tukee enintään 256 gigatavuun asti. Kameralla on myös mahdollista lähettää suoraa lähetystä muiden nähtäväksi luomalla pariliitos kameran ja älypuhelimien tai tietokoneen välille. [8; 9.]



Kuva 5. Samsungin Gear 360 -kamera, joka on julkaistu vuonna 2017 [8].

Samsung Gear 360 -kameraan on olemassa sovellus, jolla voi luoda, tarkastella ja jakaa 360°-sisältöä älypuhelimella. Tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu muun muassa videon kuvaaminen etäältä ja tallenteiden esikatselu, tallennetun sisällön tarkastelu ja tiedostojen tallentaminen älypuhelimien sekä suora lähetys -toiminto. Sovellus tukee kuitenkin vain Samsungin uusimpia älypuhelimia ja Applen iPhone-älypuhelimia. [8; 9.]

Ricoh Theta V

Ricoh Theta V -kameralla pystyy tallentamaan 4K- ja 2K-videokuvaa (kuva 6). Siinä on kaksi 180 asteen alueen kattavaa objektiivia, jotka muodostavat yhdessä 360°-kuvan. Kamerassa on myös WiFi- ja Bluetooth-yhteys, joka mahdollistaa yhteyden älypuheliin tai tablettiin, jotka voivat toimia esimerkiksi kameran monitorina. Ricohissa on sisäistä muistia 19 gigatavua, mikä mahdollistaa noin 300 kuvan ottamisen tai 80 minuuttia videokuvaa. [10.]



Kuva 6. Ricoh Theta V 360° -kamera [10].

GoPro Fusion

GoPro Fusion -kamerassa on kaksi 18 megapikselin linssiä (kuva 7). Se tukee 360 asteen video- ja still-kuvausta, joten sillä on mahdollista kuvata kaikkea, mitä ympärillä on, ja rajata kuvaa myöhemmin. Fusionissa on myös erittäin tehokas kuvanvakautus ja 5,2K-videotarkkuus. Se tekee materiaalista hyvin ammattimaista. Kuitenkin kuvamateriaalia tallentaakseen kamera vaatii kaksi microSD-korttia, jotka saavat olla enintään 128 Gt:n kokoisia. [11.]



Kuva 7. GoPro Fusion 360 -kamera [11].

Garmin Virb 360

Garmin Virb on iskunkestävä ja vesitiivis kamera, jonka tarkkuus on 5,7K ja jossa on pallomaisen kuvan 4K-vakautus (kuva 8). Siinä on neljä mikrofonia, jotka tallentavat 360 asteen ääntä. Kameraa varten on olemassa VIRB Mobile -sovellus ja VIRB Edit -tietokoneohjelmisto, joilla pystyy muokkaamaan, vakauttamaan ja jakamaan videoita, lisäämään päällekkäistietoja ja liittämään RAW-materiaalia. [12.]



Kuva 8. Garmin Virb 360° -kamera [12].

Insta 360 Pro

Insta 360 Pro (kuva 9) on ensimmäisiä 360°-kameroita, jotka soveltuvat ammattikäyttöön järkevän kokonsa vuoksi. Sillä on mahdollista kuvata 8K-video- ja stillkuvaa mutta tällöin stitchaaminen eli videoiden yhdistäminen on tehtävä jälkikäteen. Muiden tarkkuuksien osalta se tapahtuu reaaliajassa. Jos haluaa videoihin hieman syvyyttä, ne on myös mahdollista kuvata 3D 360° -tilassa. Insta 360 Pro on muiltakin ominaisuuksiltaan hyvin kattava. Siinä on muun muassa hyvä akun kesto, neljä mikrofonia ja kuusi 200°:n kalansilmälinssiä. [29; 30.]



Kuva 9. Insta 360 Pro -kamera [29].

Yi Halo

Yi Halo on 3D 360° -kamera (kuva 10), joka luo videokuvaan syvyysvaikutelman ja tekee videosta aidomman tuntuksen. Tämän lisäksi siinä on 17 linssiä, joissa jokaisessa on 12 megapikseliä. Kameralla pystyy kuvamaan 8K- ja 5K-materiaalia, jolloin materiaalin laatu on todella korkealla. [13.]



Kuva 10. Yi Halo 3D 360 -kamera [13].

360°-kameroita on siis olemassa monenlaisia, ja taulukkoon 1 on poimittu tässä luvussa esiteltujen kameroiden tiedot, jotta niitä olisi helpompi vertailla keskenään ja tutkia, mikä olisi esimerkiksi omaan käyttöön sopiva 360°-kamera. Tämä myös havainnollistaa paremmin sitä, että eri hintaluokan kameroilla tosiaan on eroja.

Taulukko 1. 360°-kameroiden vertailutaulukko [8; 10; 11; 12; 13; 31; 32].

Ominaisuudet	Yi Halo	Insta360 Pro	Garmin Virb 360	GoPro Fusion	Ricoh Theta V	Samsung Gear 360 (2017)
Kuva						
Linssien lukumäärä	17	6	2	2	2	2
Videon resoluutio	2560 x 1920 29.97fps	8K, 6K, 4K - 30fps	5.7K 30fps	5.2K 30fps	4K, 3840 x 1920 29.97fps	4096 x 2048 24fps
Kuvan resoluutio	12 Mpix - 4000 x 3000	max. 7680x3840, 8K	15 Mpix	18 Mpix	12 Mpix - 5376 x 2688	15 Mpix - 5472 x 2736
Stitching	Kyllä	Reaaliajassa tai jälkikäteen	Reaaliajassa	Sovelluksella	Reaaliajassa	Sovelluksella
360 livestream	-	Kyllä - 4K	Kyllä - 4K	Ei	Kyllä, 4K USB:n kautta	Kyllä
Vedenkestävä	Ei	Ei	Kyllä, 10 metriin	Kyllä, 16 jalkaan asti	Ei	Kyllä, roisketiivis
Iskunkestävä	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei, pölytiivis
Kuvanvakain	-	Kyllä	Kyllä, 4 vaihtoehtoa	Kyllä	Kyllä	Kyllä, osittainen
Muisti	MicroSD U3 32/64 GB	SD tai USB 3.0 kiintolevy	MicroSD 256GB asti	2x MicroSD, 128GB asti	19 GB sisäinen muisti	microSD 256 GB asti
Akku	ATL 93Wh, 100 min videota	5100 mAh, kuvaa ja lataa samanaikaisesti	1 tunti videota Android/iOS,	Noin tunti	Noin 80 min	1160 mAh, kuvausaika jopa 130 min Android/iOS, Samsung ja iPhone yhteensopiva
Yhteensopivuus	Android 5.0 -> Time lapse	Windows/Mac/iOS/Android Slow-mo -kuvaus, 3D 360°	livestream vain iOS	Android/iOS	Android/iOS	Bluetooth, wifi, time lapse
Muut ominaisuudet			Gyroskooppi, timelapse, AR-äänikontrolli	Overcapture, Floating camera mode, Spherical Audio	360-tilääni, kauko-ohjattava kuvaus, Bluetooth	
Hinta	noin 15 000 €	3 990 €	800 €	660 €	458 €	199 €

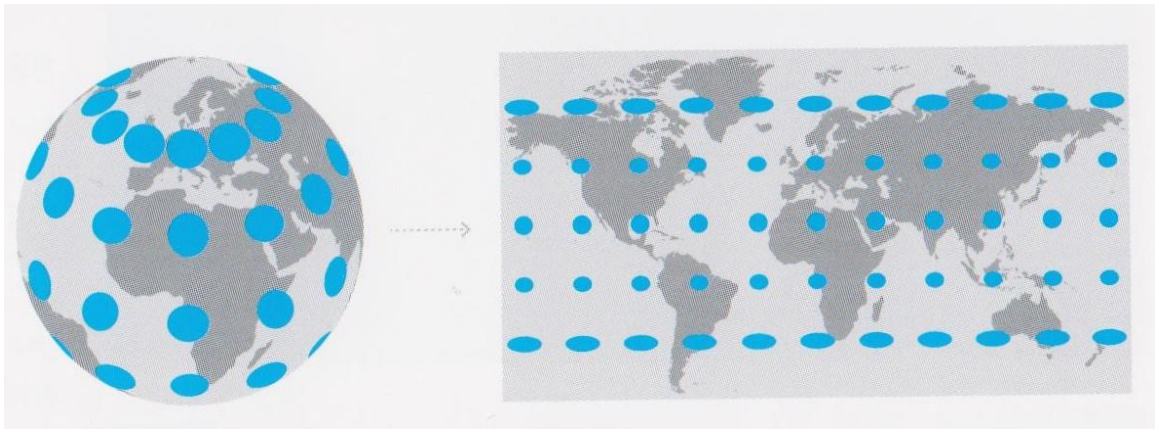
2.3 Videoformaattit

360°-video vaatii jokaisen näkymän kulman samanaikaisesti, jotta niitä voidaan katsoa vapaasti päätä liikuttamalla mihin suuntaan tahansa. Samalla tavalla kuin panoraamatoiminto toimii puhelimessa, tämä video tehdään yhdistämällä useita eri kamerakulmia yhdestä kiinteästä näkökulmasta. Tämän jälkeen video projektoidaan 2D-muotoon erilaisten karttaprojektoiden avulla. [2.]

Tasavälinen lieriöprojektiio – Equirectangular

Tasavälinen lieriöprojektiio on yleisempiä kartoituksen muotoja. Kreikan kartografit keksivät tekniikan ensimmäisen kerran 2000 vuotta sitten, ja se on yhä maailman karttojen standardi. Periaate on melko yksinkertainen: leveyslinjat, esimerkiksi ekvaattori, muuttuvat suorakulmion vaakasuoriksi viivoiksi ja kaikki pituuspiirin linjat tulevat pystysuoriksi viivoiksi. [2.]

Kuva 11 havainnollistaa paremmin, mitä tällä tarkoitetaan käytännössä. Usein 360°-viideot ovat tässä muodossa, kun ne on kuvattu.

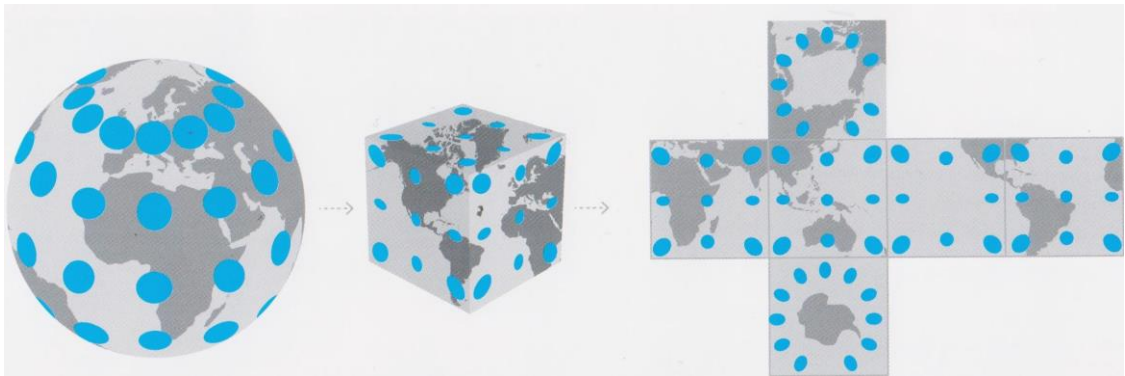


Kuva 11. Tasavälinen lieriöprojektiio [2].

Vaikka tasavälinen lieriöprojektiio onkin suosittu monien valmistajien kameroissa ja yleisimmin käytetty, siitä huolimatta senkin käytössä on omat ongelmansa. Verrattuna kuu- tiokarttaprojektiioon videossa tai kuvassa on enemmän vääristymää ja sitä on erityisesti videon tai kuvan polaarilla alueilla, mikä hankaloittaa niiden retusointia. [31; 32.]

Kuutiokarttaprojektio - Cube map projection

Kuutiokarttaprojektio (kuva 12) on suosituin muoto Facebook 360 -videoille, vaikka se on ollut käytössä jo vuosia ja sitä on käytetty videopeleissä 1980-luvulta lähtien. Se ei vääristä kuvaa tai sisällä mitään tarpeettomia, pikseleitä samalla kun pidetään tiedostokoko mahdollisimman alhaisena. Voi kuvitella pallon, joka on jaettu kuuteen tasaiseen osaan ja sitten jokainen osa projektoidaan kuution pinnalle. Jokainen puoli asetellaan uudelleen 2 x 3 neliön ruudukoksi, jotta suorakulmion kokoa voidaan pienentää. [2.]



Kuva 12. Kuutiokarttaprojektio [2].

Vaikka kuutiokarttaprojektio onkin kehittyneempi verrattuna tasaväliseen lieriöprojektiioon, se ei kuitenkaan ole virheetön. Projektiossa pikseleitä on enemmän kulmissa kuin keskiosassa, mutta Google on esitellyt EAC (Equi-Angular Cubemap) -kuutiokartan, joka asettaa pikseleitä enemmän kuution keskiosaan kuin tavallinen kuutiokarttaprojektio. Saattaa kuitenkin olla, että tämä on vain Googlen tuotteille tarkoitettu muoto. [33.]

3 360°-videon käsittely

3.1 Editointiohjelmat

Insinööriyöprojektin ohjelmat valittiin sen perusteella, mitkä ovat tunnetuimpia ja tukevat 360°-videoeditointia sekä VR-esikatselua. Tarkoitus on avata hieman sitä, millaisia nämä editointiohjelmat ovat. Vaikka tässä keskitytäänkin editoreihin, jotka ovat muutakin videotuotantoa varten, on myös olemassa editoreita, jotka ovat keskittyneet ainoastaan 360°-videomateriaalin editoimiseen, esimerkiksi Mocha VR ja 360°-kameroiden omat editointisovellukset.

Cyberlink PowerDirector

Cyberlink PowerDirectorilla pystyy tekemään ammattitasoista videon editointia ja tuotantoa riippumatta siitä, onko vasta-alkaja vai ammattilainen. Ohjelmalla pystyy editoimaan 360°- ja Ultra HD -materiaalia sekä uusimpia online-mediamuotoja, mikä tekee käytöstä vaivattomampaa. Vaikka ammattilainenkin pystyy ohjelmaa käyttämään, se silti sopii paremmin vasta-alkajalle, joka aloittaa työskentelyn 360°-videoiden parissa. [14.]

Vegas pro

Vegas pro on toiminut jo 20 vuoden ajan ammattimaisena videon editointiohjelmana, ja uusimpaan versioon on tullut tuki 360°-videoiden editoinnille. Sillä pystyy muun muassa yhdistämään (stitchaamaan) videotiedostot saumattomasti, esikatselamaan videoita 360°-näkyvässä ja lisäämään 360°-suodattimia. On myös olemassa valmiita 360°-pohjia joistakin suosituimmista kameroista, mikä toisinaan saattaa helpottaa videoiden editointia. [15.]

Adobe Premiere Pro

Adobe Premiere Pro on yksi käytetyimmistä ja johtavista editointiohjelmista erilaisissa videotuotantoprojekteissa. 360°-videoita pystyy muokkaamaan halutessaan samalla tavalla, kuin niitä katsellaan, eli joko VR-laseilla tai ilman niitä. Ohjelmistossa on myös erilaisia immersiiivisiä tehosteita ja siirtymiä, joilla pystytään parantamaan työn jälkeä huomattavasti, ja on mahdollista ympäröidä oma 360°-video äänellä muokkaamalla äänen suuntaa videon mukaisesti. [16.]

Adobe After Effects

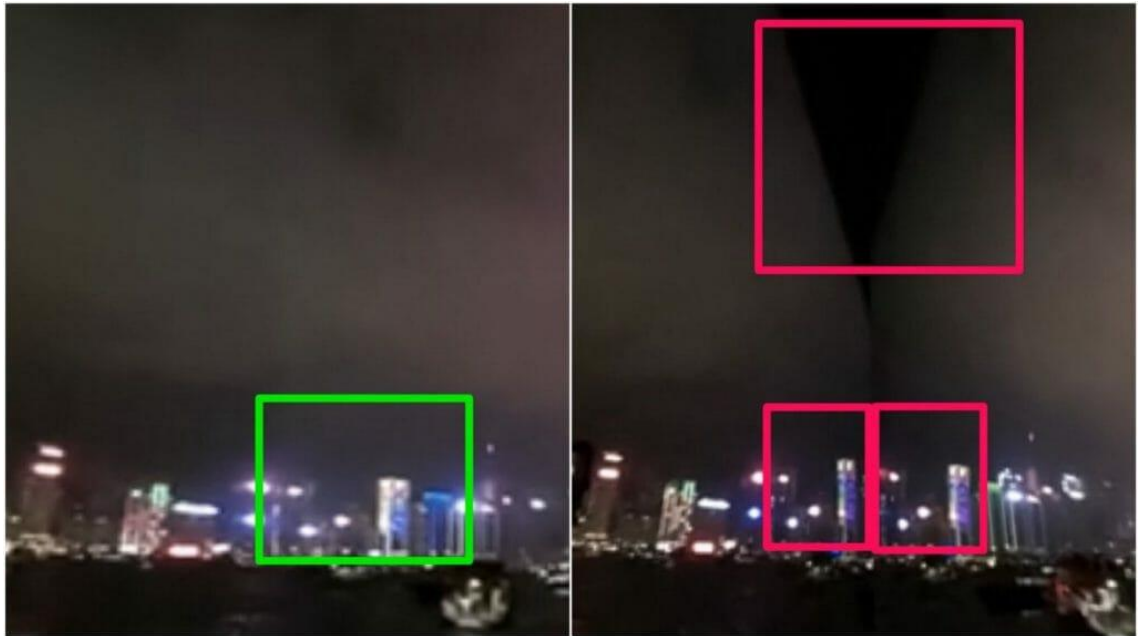
Adobe After Effects on tarkoitettu videoiden jälkikäsittelyyn ja mahdollisten efektien lisäämiseen. Vaikka After Effectsillä ei niinkään editoida 360°-videoita, se on siitä huolimatta hyödyllinen työkalu editointiprosessin aikana. Esimerkiksi sillä saadaan kätevästi peitettyä 360°-videossa näkyvä kamerajalusta tai vastaava vaikka tekijän logolla, mikä tekee videon katselemisesta hieman mukavampaa ja jälki on tällöin ammattimaisempaa. [16.]

3.2 Stitching – Videoiden yhdistäminen

Stitchaus tarkoittaa videoiden yhdistämistä eli käytännössä kahden 180°-videon yhdistämistä toisiinsa, jolloin syntyy kokonainen 360°-video (kuva 13). Jotkin kamerat osaavat tehdä tämän automaattisesti, mutta jos näin ei ole, tämä tehdään jälkikäteen erillisellä ohjelmalla. Joko ohjelma on kameran valmistajan sivuilta ladattava ohjelmisto tai sitten saman operaation voi tehdä esimerkiksi Adobe After Effectsillä, mikä taas on hieman työläämpää. Videoiden yhdistäminen on suoritettava mielellään ennen 360°-videon editoimista.

Ohjelma tai kamera, joka tekee stitchauksen automaattisesti ei kuitenkaan aina ole paras vaihtoehto, jos pyritään tekemään esimerkiksi mahdollisimman ammattimaista sisältöä. Lopputulos harvoin on yhtä tarkka kuin manuaalisesti stitchatussa videossa, minkä takia 360°-videoon saattaa jäädä selkeä raja, vaikka videon olisi tarkoitus olla yhteneväinen. Tämän takia on parempi tehdä stitchaus manuaalisesti sille tarkoitettulla ohjelmalla,

vaikka se vaatiikin enemmän työtä ja tarkkuutta. Suosituin sovellus tähän tarkoitukseen on Kolorin Autopano Adobe After Effectsin lisäksi. [34.]



Kuva 13. Ei-stitchatun ja stitchatun kuvan ero VR-laseilla katsottaessa. Ilman stitchausta kuvaan jää ei-toivottu musta alue [35].

4 Tilaääni

Tilaääni eli surround sound yhdistetään monesti elokuvaääneen tai kotiteatterin 5.1-kaiuttimiin ja subwooferiin. Elokuville sen tunnistaa Dolby Digital- tai THX-trailerista, vaikka itse elokuvan ääni on myös monikanavaista.

Tilaääntä voidaan kuitenkin käyttää muihinkin tarpeisiin, kuten musiikkivideoihin, tietokonepeleihin ja televisio-ohjelmiin. Siitä on hyötyä, kun halutaan luoda tai välittää elämys vastaanottajalle, ja se saattaa parantaa informaation välittymistä sellaisissa tilanteissa, jossa äänen suunnalla on merkitystä vastaanottajalle. Sen avulla pystytään ohjaamaan vastaanottajaa. [17.]

4.1 Historia

Tilaaänellä on pitkä historia, joka ulottuu 1800-luvulle asti. Kuvan 14 aikajanaan on koottu tilaaänen merkittävimpiä tapahtumia vuosien varrelta.



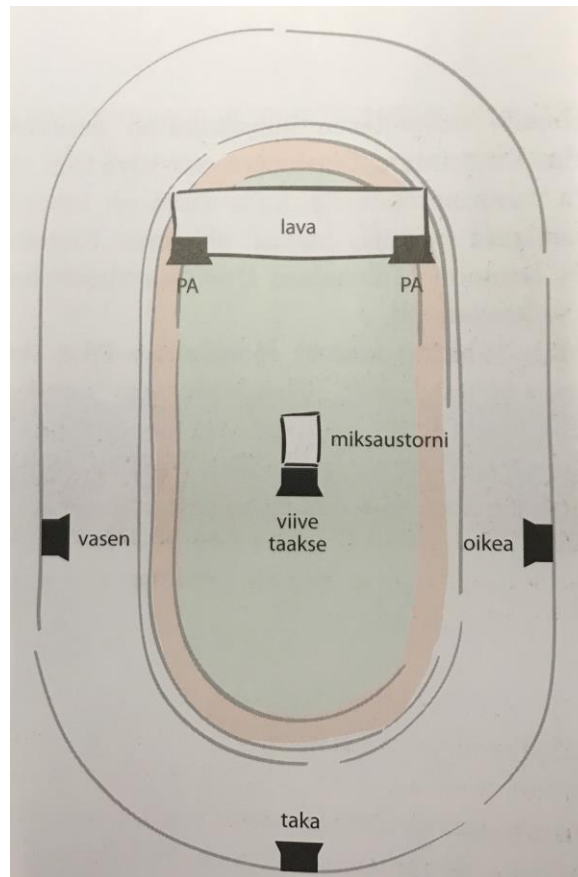
Kuva 14. Tilaaänen historian merkittävien tapahtumien aikajana [17].

4.2 Käyttöalueet

Tilääntä pystyy hyödyntämään muissakin kuin 360°-videoissa, ja formaatteja on useita. Formaattit ovat myös olleet olemassa pidemmän aikaa kuin 360°-videot. Seuraavassa on lueteltuna tiläänen eri käyttöalueita.

- **Elokuva ja musiikkiäänitteet** - Tilääni on ollut käytössä elokuvaäänessä jo pitkään, ja voidaan sanoa, että kaikki vuoden 1982 jälkeen valmistuneiden elokuvien ääni on monikanavaista. Elokuvatuotannossa tiläänen käyttö on myös suosituinta. [17.]
- **Televisio** - Uudehkoissa television lähettämässä elokuvissa on käytössä Dolby Surround -monikanavaääni. On myös mahdollista lähettää diskreettiä 5.1-ääntä, jolloin tv-yhtiöiden omatuotantoiset monikanavaiset konsertit ja urheilukilpailut lisääntyvät. Tämä kuitenkin vaatii, että tuotantotekniikka vaihdetaan monikanavaiseksi. Monikanavaisen televisioäänen edelläkävijöitä ovat Itävallan ORF, saksalainen ZDF ja satelliittiyhtiö Sky TV. [17.]
- **Pelit** - Pelit ovat tiläänelle erinomainen käyttöalue, sillä peleissä ääni voi tulla mistä suunnasta tahansa ja yllättää pelaajan. Tosin tilääntä käytetään yleensä vain taustamusiikissa, koska toistolaitteiden ja äänikorttien suorituskyky vaihtelee ja erilaisista pelilaitteista tulee koko ajan uusia malleja ja niiden äänentoistokyky vaihtelee. Uusimmissa laitteissa tuskin kohdataan tällaista ongelmaa. [17.]

- **Teatterit** - Sähköinen äänentoisto on lisääntynyt teattereissa ja kohentunut erityisesti musikaalien myötä. Tämän lisäksi äänisuunnittelijat ovat sijoitelleet tehospekaiuttimia jo pitkän aikaa muuallekin kuin näyttämön reunoille (kuva 15). Tällä tavoin yleisö on viety näytelmän maailman sisään, ettei se olisi sivustakatsojan roolissa. Teatterissa ääntä sovelletaan kuitenkin tuotantokohtaisesti ja kaiuttimet eivät välttämättä aina ole edes samoissa paikoissa. [17.]



Kuva 15. Nelikanavainen floydophonic-PA-kaiutinjärjestely [17].

4.3 Monikanavaiset äänentoistojärjestelmät

Monikanavaisissa äänentoistojärjestelmissä on enemmän kuin kaksi siirtokanavaa ja kaksi kaiutinta. Ne voidaan jakaa matrisoituihin ja diskreetteihin järjestelmiin. Monikanavaista ääntä merkitään yleensä numeroin, jotka kertovat, montako kaiutinta ja subwooferia järjestelmän käytössä on. Mitä suurempia luvut ovat, sitä tarkemmin äänen tulosuunnat erottuvat. Yleisiä tiläänikanavia ovat 5.1, 7.1, 7.2, 9.1 ja 9.2. [17.]

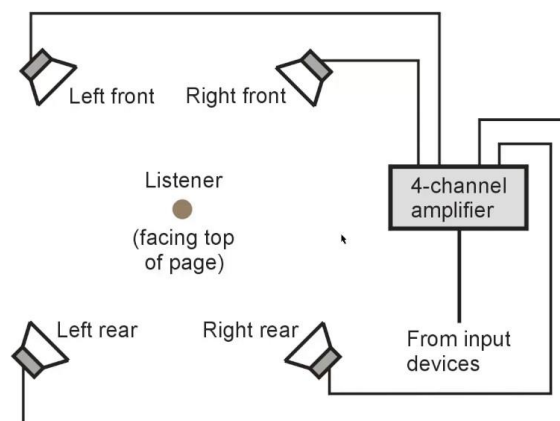
Matriisijärjestelmät

Äänentoistojärjestelmää, jossa on monta äänikanavaa, koodataan tavallisesti kahden kanavan kuljetettavaksi ja myöhemmin dekodataan erillisiksi kanaviksi, mitä kutsutaan tällöin matriisijärjestelmäksi. Niitä käytettiin muun muassa kvadrofoniassa ja edelleen Dolby Surround -kuvaäänijärjestelmässä. [17.]

Kvadrofonia

Kvadrofonisessa äänentoistojärjestelmässä on neljä kanavaa, ja sitä kutsutaan nelikanavajärjestelmäksi (kuva 16). Ensimmäiset nelikanavaäänitykset tehtiin 1960-luvun alkupuolella, ja valmiiksi äänitettyjä avokelanauhoja tuli kaappoihin vuodesta 1968 lähtien. RCA toi markkinoille neliraitaisella kasettinauhurilla toistettavan Quad-8-kasetin, ja jotkut amerikkalaiset radioasemat lähettivät kvadrofonisia koelähetyksiä kahdella FM-stereolähettimellä samanaikaisesti.

Äänet sijoitettiin kvadrofoniseen äänikenttään yleensä pareittaisen panoroinnin avulla, eli signaali jaettiin suuntasäätimellä kahteen vierekkäiseen kanavaan. Lähes kaikki kvadrofoniset mikrofoniäänitykset tehtiin erillismikrofonitekniikkaa käyttäen neljällä mikrofonilla, jotka osoittivat keskipisteestä ulospäin ja joiden väliset etäisyydet vaihtelivat viidestä senttimetristä viiteen metriin. [17.]



Kuva 16. Kvadrofoninen kaiutinasettelu [18].

Dolby Surround

Dolby Surround on kotikäyttöön tarkoitettu järjestelmä, jossa on äänikanavat L, C, R ja S. Dolby Surroundissa ei käytetä kohinanvaimennusta. Siitä on myös olemassa uudempiä versioita, kuten Dolby Pro Logic II ja Dolby Surround EX. Tosin nykyään uusin Dolby Surround -järjestelmä lienee Dolby Atmos, jossa ääni niin ikään kiertää ympärillä ja kotikäytössä käytetään tyypillisesti 5.1- tai 7.1-kaiutinasettelua. [17; 19.]

Diskreettijärjestelmät

Diskreettijärjestelmiksi kutsutaan järjestelmiä, jossa äänikanavat pidetään tallennuksen, siirron ja toiston aikana kokonaan erillään toisistaan. Tällaisia järjestelmiä ovat muun muassa Dolby Digital ja DTS. [17.]

Dolby Digital

Dolby Digital ei ole pelkkä äänentoistojärjestelmä vaan myös erittäin korkealaatuinen häviöllinen pakkausmenetelmä, ja Dolby Digital -signaali voi pitää sisällään kuinka monta äänikanavaa tahansa monon ja surround-äänien välillä.

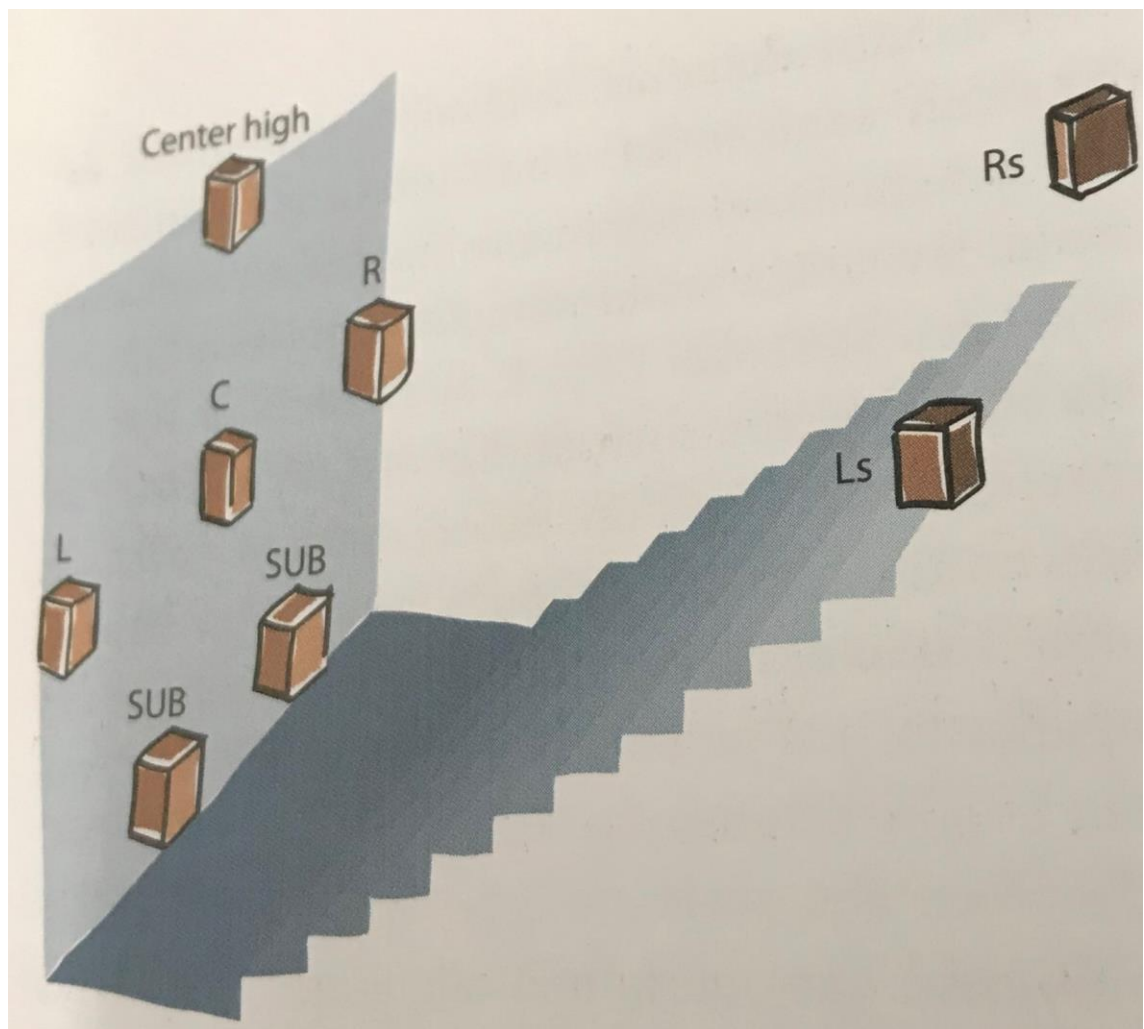
Dolby Digital suunniteltiin analogisen Dolby Stereon korvaajaksi. Filmiformaatissa Dolby Digital ei sisällä virheenkorjausta, mikä tarkoittaa, että jos äänessä havaitaan lukuvirhe, järjestelmä automaattisesti vaihtaa kaiuttimiin analogisen Dolby SR -äänien, joka on matrisoitua Dolby Stereota. Kun datan lukeminen taas onnistuu, järjestelmä palaa takaisin digitaaliääneen. Dolby Digitalia käytetään Blu-rayssa, DVD-levyillä ja digitaalisissa TV-lähetyksissä, joissa data sisältää virheenkorjauksen. [17.]

DTS

Elokuvateattereissa Digital Theatre Systemsin eli DTS:n yleisin kanavajärjestys on sama kuin Dolby Digitalissa eli 5.1. DTS:ssä ääni toistetaan filmiin tahdistetuilta CD-ROM-aseteilta, ja elokuvaformaattissa sen varmuusääninä toimii analoginen optinen ääniraita. Kotikäyttöä varten järjestelmästä on olemassa formaatti nimeltä DTS-6, jossa data on pakattu CAC-pakkausmenetelmällä. [17.]

IMAX

IMAX esiteltiin ensimmäisen kerran vuonna 1970. Se täyttää katsojan koko näkökentän ja kuuloavaruuden. IMAX-teatterin valkokangas on tyypillisesti kokoa 21 x 28 metriä, ja uusimmissa teattereissa kuva on kolmiulotteinen. Kaiutinjärjestys IMAXissa on L, C, R, Ls, Rs ja High center. High center -kaiutin on keskellä valkokankaan yläreunassa (kuva 17). IMAX on ainoa kuvaäänijärjestelmä, jossa on jollain lailla pyritty kolmiulotteiseen äänentoistoon. [17.]



Kuva 17. IMAX-elokuvateatterin kaiutinasettelu [17].

4.4 Tilaääni 360°-videossa

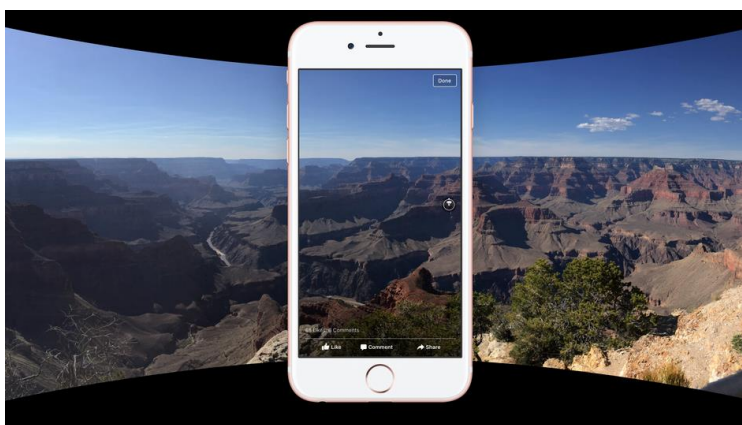
Monikanavainen panorointi on vakio-ominaisuus uusimmissa digitaalimiksereissä. Se toimii samalla periaatteella kuin kaksikanavainen panorointi eli annostelee yhtä mono-signaalia eri kaiuttimiin eri voimakkuuksilla. Monikanavassa äänilähteen haluttaisiin täyttävän tietty alue jossain suunnassa ja äänen ympärille haluttaisiin myös sen ambienssi.

Jos 360°-video halutaan tehdä todentuntuiseksi, tilaääni ja sen panorointi oikein on hyvin tärkeä tekijä. Jos ajatellaan, että katsoja katsoo videota VR-laseilla ja pyörii ympäriä, niin tahdotaan, että videosta kuuluvat äänet kuuluvat oikeasta suunnasta. Ääni voidaan panoroida esimerkiksi neljään eri kanavaan: vasen, oikea, edessä ja takana (L, R, F, B), jolloin saadaan luotua tunnelma siitä, että ääni kiertää ympärillä. [17.]

5 360°-videoalustat ja sovellukset

5.1 Mobiililaitteet

Yleisin alusta 360°-videoille ovat mobiililaitteet, koska siihen tarvitsee ainoastaan älypuhelimien, jolla on helppoa toistaa 360°-videoita. Katselija voi kääntää puhelintaan vasemmalle, oikealle, ylös ja alas nähdäkseen videoon kuvatut muut alueet (kuva 18). [4.]



Kuva 18. Havainnollistus siitä, miten 360°-videot toimivat älypuhelimissa [20].

5.2 Työpöytä

Toiseksi suosituin alusta 360°-videoiden katseluun on työpöytäversio eli tietokoneella katseleminen. Tietokonetta käyttävät katselijat voivat katsoa 360°-videoita samalla tavalla kuin älypuhelimella, mutta sen sijaan, että he kääntelisivät tietokonettaan, heidän tulee käyttää hiirtä tai mahdollista näytön kosketusominaisuutta, jotta he voivat katsella videota kokonaisuudessaan. [4.]

5.3 VR-lasit

Vaikka VR-lasit ovat yhä kehittyvä teknologia, niiden käytöstä on tullut suosittua. Laseja on eri hintaluokissa, ja osa on tarkoitettu älypuhelimille, kuten esimerkiksi Google Cardboard ja Google Daydream. Tietokoneella tai pelikonsoleilla käytettäviä laseja ovat muun muassa HTC Vive ja Playstation VR. [4.] Kuvassa 19 on Google Daydream -VR-lasit, jotka soveltuvat älypuhelimille.



Kuva 19. Google Daydream -VR-lasit [21].

HTC Vive -VR-laseja (kuva 20) taas pystyy käyttämään tietokoneen avulla, ja ne sisältävät enemmän osiakin kuin Google Daydream -VR-lasit, koska lasit on tarkoitettu myös pelaamista varten 360°-videoiden katselun lisäksi.



Kuva 20. HTC Vive -VR-lasit ja niihin kuuluvat tarvikkeet [22].

5.4 Sovellukset

Ainakaan toistaiseksi ei ole monta paikkaa, mistä pystyisi katsomaan 360°-videoita, mutta ainakin Youtubessa ja Facebookissa on tuki 360°-videoille, joiden kautta pystyy katsomaan joko itse ladattuja tai muiden lataamia videoita.

Youtube

Jotta Youtubesta on mahdollista katsoa 360°-videoita ja ladata niitä, on oltava viimeisin versio Chrome-, Firefox-, MS Edge- tai Opera-selaimesta. Mobiililaitteilla puolestaan riittää, että on ladattuna viimeisin versio Youtube-sovelluksesta. Mikäli on kiinnostunut tuottamaan 360°-sisältöä, niin 360°-videoiden lataamisesta Youtubeen on erillinen ohje Googlen tukisivuilla. Siinä kerrotaan muun muassa videon luomisesta, lataamisen valmistelemisesta ja tiedoston latauksesta. Jos vain katseleminen kiinnostaa, riittää, että menee Youtubeen joko selaimen tai sovelluksen kautta ja hakee haluamallaan hakusalla 360°-videoita. Niiden katseleminen ei vaadi mitään erityistoimenpiteitä. [23.]

Facebook

Facebookissa 360°-videoiden lataus onnistuu melkein samalla tavalla kuin tavallisen videon lataus. Ainoana lisänä on, että ennen julkaisua pitää avata Facebookin 360 Director -työkalut, joiden kautta pystyy säätämään oikeat asetukset omalle 360°-videolle, minkä jälkeen video voidaan julkaista. Myös Facebookilla on olemassa tukisivut, joiden kautta saa apua videoiden lisäämiseen. Videoiden katselu onnistuu niin älypuhelimilla kuin tietokoneillakin, joten riittää, että video klikataan auki katselua varten. [24.]

6 360°-videon suunnittelu ja toteutus

Videon tuotantoprosessi lähti liikkeelle siitä, että hain vaikutteita muiden tekemistä 360°-videoista ja yritin luoda ideaa omasta videosta niiden pohjalta huomioon ottaen sen, mikä on 360°-videon kuvaamisen lähtöpiste eli millaisilla varusteilla kuvataan, onko mahdollista budjettia kuvaamiselle ja onko halukkaita avustajia videolle, mikäli heitä tarvitaan.

Tulin siihen lopputulokseen, että kuvaan musiikkivideon, koska koin sen olevan tarpeeksi yksinkertainen aloittelevalle 360°-videokuvaajalle, joka hyödyntää videossaan tilääntä. Päätin, että videossa käytetään omaa musiikkiani, jolloin ei tarvitse huolehtia tekijänoikeuksista ja ääntä on helpompi käsitellä, kun musiikin on tuottanut itse.

Minulla oli kolme kappalevaihtoehtoa, joista yksi valikoitui musiikkivideota varten. Tässä vaiheessa olin myös ehtinyt sopimaan, että ystäväni auttaa minua videon kuvauksissa ja hän myös osallistui sen ideointiin. 360°-videon käsikirjoitus syntyi valitun kappaleen pohjalta, eli alkuun kuuntelimme kappaletta, kerroimme tuntemuksiamme siitä, muuttimme ne ideoiksi, joista lopulta syntyi kokonainen idea videota varten. Kun kaikki oli varmaa, sovimme ystäväni kanssa kuvauspäivän ja -paikan 360°-videolle.

Koko työ aloitettiin kuvauksilla. Kuvauspaikoiksi valikoitui Uutelan ulkoilupuisto (kuva 21), joka sijaitsee Vuosaarella Itä-Helsingissä, sekä oma asuntoni, joka sijaitsee Vantaalla. Suurin osa kuvausmateriaalista on Uutelasta lukuun ottamatta videon ensimmäistä kohtausta. Kuvauksissa käytetty kamera oli Samsung Gear 360 (2017), joka sopii hyvin matalan budjetin kuvauksiin, aloittelijalle ja harrastuskäyttöön, mutta ammattikäyttöön vaaditaan jo suuremman hintaluokan kameraa. Mikrofonina oli käytössä Zoom H2N. Sillä pystyy tallentamaan tilääntä, minkä takia se oli osana kuvauksia. Kuvauksien ajan kamera oli koko ajan tripod-jalustan päällä, jotta videokuva olisi vakaata ja saataisiin kuvattua koko ympäristö kameralle ilman, että kuvaaja näkyy videolla. Kuvaukset saatiin suoritettua yhden päivän aikana, ja sen jälkeen oli mahdollista siirtyä editoinnin pariin.



Kuva 21. Insinööriyön 360°-videon kuvauspaikka: Skatanniemen tykkipatteri Uutelassa [25].

Ennen editoimista aloitin stitchaamalla eli yhdistämällä jokaisen kuvatun videon Gear 360 -sovelluksella (kuva 22), joka on ladattavissa PC:lle ja Mac-tietokoneille. Stitchaaminen oli helppoa mutta aikaa vievää. Sovellus teki kaiken, ja minun piti vain odottaa ja tarkistaa, että videot oli varmasti stitchattu yhteen. Gear 360 -sovelluksen pystyy myös lataamaan älypuhelimille, mikä on todella hyödyllistä varsinkin kuvausten aikana, koska videoita pystyy esimerkiksi esikatselamaan sen kautta ja jos jokin ei onnistu, voi kohdauksen kuvata uudestaan.



Kuva 22. Samsung Gear 360 -sovellus PC:lle tai Macille [26].

Videoiden stitchaamisen jälkeen tuntui viisaalta siirtyä musiikin pariin ja alkaa äänittää kappaleestani uutta versiota, koska aikaisempi ei ollut käyttökelpoinen tähän projektiin. Kappale äänitettiin Garage Bandilla (kuva 23), joka on ainoastaan Mac-tietokoneille. Jokainen ääniraita äänitettiin monona, koska niitä on helpompi käyttää tuotettaessa monikanavaista ääntä. Syy, miksi aloin ensin työstää kappaletta, on se, että se tekee videon editoinnista helpompaa, kun kohtaukset voi leikata ja asetella musiikin kanssa yhteensopiviksi ja työskentely on tällä tavoin tehokkaampaa.



Kuva 23. GagareBand-sovellus Macille [27].

Tässä vaiheessa koko lopputuotanto tehdään Adobe Premieressa, jossa video editoidaan halutunlaiseksi ja ääni muutetaan monikanavaiseksi, jotta videoon saadaan enemmän todentuntua. 360°-videon editointi ei oikeastaan paljon poikkea tavallisen videon editoinnista, koska Premierestä pystyy kytkemään päälle asetuksen, jonka avulla 360°-videota pystyy esikatselemaan oikeanlaisessa näkymässä, mikä auttaa hahmottamaan videon kulkua paremmin editointiprosessin aikana ja näin editointi onnistuu melkein yhtä helposti kuin tavallisen videon editointi. Kun editointi saatiin päätökseen, oli aika aloittaa äänen muuttaminen monikanavaiseksi ja panoroida se oikein.

Ensin äänitetyn kappaleen jokainen raita muutettiin ambisonics muotoon, jossa on neljä eri kanavaa, jonka jälkeen ne pystyi vasta siirtämään Premiereseen. Tämä toimenpide

tehtiin Adobe Auditionissa. Musiikkiraidoille ei tarvinnut Premieressä tehdä mitään muuta kuin asettaa oikeille paikoille videon kanssa yhteensopiviksi, minkä jälkeen ne olivat valmiita panoroitavaksi, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että määritetään, mistä suunnasta mikäkin ääni tulee 360°-videota katsellessa. Tässä hyödynsin Premieren tarjoamaa binauralizeria, jolla pystyy simuloimaan panorointia ja sen jälkeen syöttämään oikeat arvot Premieren panner-efektiin, joka oli asetettu jokaiselle ääniraidalle.

Lopuksi vielä tarkistettiin, että videon ja äänten osalta kaikki on kunnossa ja tehtiin pientä hienosäätöä videoon Adobe After Effectsin tarjoamilla toiminnoilla. Tässä vaiheessa 360°-video oli valmis ja sen pystyi Premierestä tallentamaan oikeaan tiedostomuotoon ja toistamaan joko soittimella, joka tukee 360°-videoita, tai lataamalla Youtubeen ja toistamaan sitä kautta. Facebookiin lataaminen ei tämän videon osalta ole tarpeellista.

Jotta koko työn kulku olisi selkeämpää ja helpommin ymmärrettävissä, kuvassa 24 on prosessikaavio havainnollistamaan sitä.



Kuva 24. 360°-videotuotannon prosessikaavio.

Videon valmiista versiosta tuli katsottava, mutta VR-laseille resoluution pitäisi olla huomattavasti korkeampi, jotta 360°-videosta tulisi entistäkin parempi. Voidaan siis todeta,

että video sopii paremmin esimerkiksi sosiaaliseen mediaan katsottavaksi kuin VR-la-seilla katsottavaksi elämykseksi. Toisaalta taas ensimmäiseksi 360°-videoksi lopputulos oli hyvä ja osittain laatua voi perustella valitulla kameralla, joka kuuluu edullisimpiin kameroihin, mitä markkinoilla on tarjolla. Äänet videossa ovat juuri sellaiset kuin pitikin.

7 Yhteenveto

360°-videoprojekti onnistui hyvin siihen nähden, että aiempaa kokemusta 360°-videotuotannosta ei ollut. Kokemuksena tämä opetti hyvin paljon, ja jatkoa ajatellen on varmasti mahdollista tuottaa vielä parempaa sisältöä, mikäli tulee vastaan uusia 360°-videotuotantoprojekteja. Tavoitteisiin siis päästiin, ja missään vaiheessa ei odotettu sitä, että lopputulos olisi hyvin ammattimaista vaan enemmänkin lähestyttiin työtä mielenkiinnon ja uuden oppimisen kautta.

Työtä tehdessä opin, että jos koskaan aikoo tehdä videotuotannon parissa töitä, on huolehdittava siitä, että välineet ovat oikeanlaiset työskentelyyn tietokoneesta lähtien ja tulee miettiä, mitkä ovat juuri oikeat välineet työskentelyyn. Itse yliarvioin omat työskentelyvälineeni, mikä hieman hidasti työn etenemistä mutta ongelmista selvitettiin.

Jos jotain olisi voinut tehdä uudelleen, olisi ollut viisasta toteuttaa editointiprosessi esimerkiksi kirjaston tarjoamilla editointipisteillä, jolloin työn eteneminen olisi saattanut olla hieman nopeampaa, koska kirjastojen laitteet ovat todennäköisesti tehokkaampia kuin omani. Olin kuitenkin jo ehtinyt tekemään niin paljon kotona, ettei siirtyminen kirjaston tiloihin ollut enää viisasta. Tässä tilanteessa olisi siis pitänyt ennakoida tulevaa.

Työn perusteella voidaan päätellä, että vaikka olisi vasta-alkaja, voi pystyä mihin tahansa, jos vain tahtoo oppia ja toteuttaa haluamansa. 360°-teknologia on vielä sen verran uutta, että aiheeseen liittyen ei löydy paljon kirjallisuutta tai muutakaan tietoa, mutta siitä huolimatta onnistuin siinä, missä pitikin, ja tuotin ensimmäisen 360°-videoni.

Jatkokehitystä ajatellen olisi hienoa kehittää 360°-video, jossa olisi jonkinlaista interaktiivisuutta. Lukuun ottamatta kuvauksia, toteutin kaiken itsenäisesti, joten sen osalta tekeminenkin oli rajallista. Varmasti suuremmalla työryhmällä olisi mahdollista luoda jotain suurempaa, kun on monta tekijää samaan aikaan. Paras hyöty insinööriyöstä on

lukijalle, joka on kiinnostunut 360°-video- ja tilääniutuotannosta ja joka haluaisi itse oppia, kuinka toteuttaa vastaavanlainen video.

Lähteet

- 1 Kurki, Eeva. ... ja alussa oli liike. Verkkoaineisto. Elokuvantaju. <http://elokuvantaju.uiah.fi/oppimateriaali/elokuvakulttuuri/artikkelit/kurki_ja_alussa_oli_liike.jsp>. Luettu 3.1.2019.
- 2 Tustain, Jonathan. 2018. The complete guide to VR & 360° photography. London: ILEX.
- 3 Paine, Tamara. 2017. Cinéorama. Verkkoaineisto. IDIS. <<http://proyectedis.org/cineorama/>>. Luettu 4.5.2019.
- 4 Shukla, Umang. An introduction to 360° video. Verkkoaineisto. Knight lab. <<https://studio.knightlab.com/results/storytelling-layers-on-360-video/an-introduction-to-360-video/>>. Luettu 5.5.2019.
- 5 Circle-Vision 360°. Verkkoaineisto. Fandom. <https://disney.fandom.com/wiki/Circle-Vision_360%C2%B0>. Luettu 5.5.2019.
- 6 Episode 11: Reimagining The Great Movie Ride. Verkkoaineisto. Madchatters. <<https://madchatters.net/show-notes/shows-5-14/#Ep11>>. Luettu 5.5.2019.
- 7 Pänkäläinen, Tero. 360-kamera videokuvaukseen – mikä on paras vaihtoehto? Verkkoaineisto. Virtuaalimaailma. <<https://www.virtuaalimaailma.fi/360-kamera/>>. Luettu 4.2.2019.
- 8 Samsung Gear 360 kamera (2017). Verkkoaineisto. Samsung. <<https://www.samsung.com/fi/wearables/gear-360-2017/>>. Luettu 4.2.2019.
- 9 Samsung Gear 360 (Uusi). Verkkoaineisto. Google Play. <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.samsung.android.gear360manager&hl=fi>>. Luettu 4.2.2019.
- 10 Ricoh Theta V 360 -kamera. Verkkoaineisto. Rajala. <<https://www.rajalacamera.fi/ricoh-theta-v.html>>. Luettu 4.2.2019.
- 11 GoPro Fusion 360 -kamera. Verkkoaineisto. Verkkokauppa.com. <<https://www.verkkokauppa.com/fi/product/59071/kcfkj/GoPro-Fusion-360-kamera>>. Luettu 4.2.2019.
- 12 VIRB 360. Verkkoaineisto. Garmin. <<https://static.garmincdn.com/en/products/010-01743-00/g/rf-lg.jpg>>. Luettu 4.2.2018.

- 13 Yi Halo. Verkkoaineisto. YI Technology <<https://www.yitechnology.com/yi-halo-vr-camera>>. Luettu 4.2.2019.
- 14 PowerDirector 17. Verkkoaineisto. Cyberlink. <https://www.cyberlink.com/products/powerdirector-video-editing-software/features_en_EU.html>. Luettu 1.5.2019.
- 15 Vegas Pro. Verkkoaineisto. Vegas. <<https://www.vegascreativesoftware.com/us/vegas-pro/new-features/#productMenu>>. Luettu 1.5.2019.
- 16 Adobe180- ja 360/VR-muokkaus: Immersiivisempää tarinankerrontaa. Verkkoaineisto. Adobe. <<https://www.adobe.com/fi/creativecloud/video/virtual-reality.html?promoid=5S7K87QL&mv=other>>. Luettu 1.5.2019.
- 17 Aro, Eero. 2006. Tilaääni. Helsinki: Idemco.
- 18 Giblisco, Stan. 2017. Quadraphonic Sound. Verkkoaineisto. Youtube. <<https://www.youtube.com/watch?v=37OCZd8aZ0E>>. Katsottu 6.5.2019.
- 19 Dolby Atmos. Verkkoaineisto. Dolby. <<https://www.dolby.com/us/en/brands/dolby-atmos.html>>. Luettu 1.5.2019.
- 20 Beck, Kellen. 2016. Facebook just became a much better place to share 360 photos. Verkkoaineisto. Mashable. <<https://mashable.com/2016/06/09/facebook-360-photo/?europe=true>>. Luettu 5.5.2019.
- 21 Google Daydream View - VR Headset (Slate). Verkkoaineisto. Amazon. <<https://www.amazon.com/Google-Daydream-View-Headset-Slate/dp/B01N634P7O>>. Luettu 5.5.2019.
- 22 HTC Vive VR -lasit (musta). Verkkoaineisto. Gigantti. <<https://www.gigantti.fi/product/gaming/vr-pelaaminen/HTCVIVE/htc-vive-vr-lasit-musta>>. Luettu 5.5.2019.
- 23 360 asteen videoiden lataaminen. Verkkoaineisto. Google. <<https://support.google.com/youtube/answer/6178631?hl=fi>>. Luettu 5.5.2019.
- 24 Miten lataan 360-videon? Verkkoaineisto. Facebook. <https://fi-fi.facebook.com/help/828417127257368?helpref=uf_permalink>. Luettu 5.5.2019.
- 25 Skatanniemen tykkipatteri. Verkkoaineisto. Harppa. <<https://harppa.kuvat.fi/kuvat/Linnoituksia/Skatanniemen+tykkipatteri/>>. Luettu 6.5.2019.

- 26 Gear 360 ActionDirector. Verkkoaineisto. Cyberlink. <https://www.cyberlink.com/upload-file/learning-center/enu/Thumbnail_20160814231938709.jpg>. Luettu 6.5.2019.
- 27 Clover, Juli. 2018. GarageBand for Mac Updated With New Drummers, Loops, Sound Effects and Free Artist Lessons. Verkkoaineisto. MacRumors. <<https://www.macrumors.com/2018/06/21/garageband-for-mac-new-sounds-and-loops/>>. Luettu 6.5.2019.
- 28 Powell, James. 2014. Movie magic. Verkkoaineisto. Today in Ottawa's history. <<https://todayinottawashistory.wordpress.com/tag/kinetoscope/>>. Luettu 8.5.2019.
- 29 Insta360 Pro 8K- Action cam. Verkkoaineisto. Verkkokauppa.com. <<https://www.verkkokauppa.com/fi/product/17725/jhgbr/Insta360-Pro-8K-Action-cam>>. Luettu 10.5.2019.
- 30 Insta360 Pro. Verkkoaineisto. Insta360 Pro. <<https://www.insta360.com/product/insta360-pro>>. Luettu 10.5.2019.
- 31 What is the equirectangular image format? Verkkoaineisto. pix40. <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/212164123-What-is-the-equirectangular-image-format->>. Luettu 11.5.2019.
- 32 Equirectangular Projection. 2008. Verkkoaineisto. Panotools. <https://wiki.panotools.org/Equirectangular_Projection>. Luettu 11.5.2019.
- 33 Peirce, Ben. 2017. Comparing 360 Video Formats. Verkkoaineisto. VRTIGO. <<https://blog.vrtigo.io/comparing-360-video-formats-e82c83fd1ac7>>. Luettu 11.5.2019.
- 34 Daniels, Jake. Stitching 360° Video. Verkkoaineisto. Knight lab. <<https://studio.knightlab.com/results/storytelling-layers-on-360-video/stitching-360-video/>>. Luettu 11.5.2019.
- 35 How To Stitch 360° Videos And Images After Shooting? 2017. Verkkoaineisto. Viar360. <<https://www.viar360.com/how-to-stitch-360-videos/>>. Luettu 11.5.2019.