

Erik Vierkens

Ihmisen näköaisti ja kamera

Perusteita pienen syvyysterävyyden käytölle kamerassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi AMK

Elokuvan ja television koulutusohjelma

Opinnäytetyö

7.6.2013

Tekijä(t) Otsikko	Erik Vierkens Ihmisen näköaisti ja kamera
Sivumäärä Aika	76 sivua 20.05.2013
Tutkinto	Medianomi AMK
Koulutusohjelma	Elokuvan ja television
Suuntautumisvaihtoehto	Radio- ja televisioityön
Ohjaaja(t)	Sampsa Huttunen, vieraileva luennoitsija
<p>Aluksi yritän hahmottaa sitä, mitä ihminen ympäröivästä todellisuudesta näkee. Ihmissilmin näkyvä valo on peruslähtökohta. Opinnäytetyössäni yritin löytää syitä siihen, miksi liikkuvassa kuvassa, keskeisen ilmaisukeinon, eli syvyysterävyysalueen hallinta on nyt suuren kiinnostuksen kohde erityisesti televisiotuotannoissa. Uudet välineet ovat tuoneet ilmaisukeinon myös televisiotuotantoihin, joka ennen mahdollista vain elokuvatuotannoissa.</p> <p>Opinnäytetyössä käytän esimerkkejä Yle Fem-kanavan Pixel-ohjelmasta, jossa juontojen kuvaamiseen käytetään suurikokoista järjestelmäkameraa. Lähtökohtana oli vertailla ihmissilmän ja pieneen syvyysterävyyteen pystyvän kameran optisia ominaisuuksia keskenään. Jos yhtäläisyyksiä näköaistin ja kameran välillä on paljon, se voisi selittää kasvavaa kiinnostusta pienen syvyysterävyyden käytölle televisiotuotannossa.</p> <p>Aluksi on selvitetty miten kameralla voidaan toteuttaa pieni syvyysterävyys. Silmän optisia ominaisuuksia on verrattu kameraan. Menetelminä ovat olleet tiedonhankinta eri lähteistä kuten erikoiskirjallisuudesta, ja useista internetin tietolähteistä sekä omia havaintojani pienestä syvyysterävyydestä kuvaajan työssäni. Optisia ilmiöitä on testattu kameralla, joista on kuvalliset esimerkit, ja tuloksista on tehty taulukot. Toinen keino on ollut todentaa ilmiöitä paperilla, kynällä ja viivoittimella optiikan perussääntöjen avulla. Kaaviokuvat ovat piirroskokeilujeni tuloksia.</p> <p>Monissa yhteyksissä tulivat vastaan kameran ja ihmissilmän yhtäläisyydet, mikä ei ole yllättävää. Kameran kuva on tehty ihmissilmin nähtäväksi. Valikoiva tarkennus kameralla muistuttaa suuresti silmän toimintaa. Siksi pieni syvyysterävyys ja tarkennuksen muutos otoksen aikana voivat tuntua luonnolliselta.</p>	
Avainsanat	Näköaisti, ihmissilmä, optiikka, kuvakenno, objektiivi, syvyysterävyys

Author(s) Title	Erik Vierkens Human Visual Perception and the Camera
Number of Pages Date	76 pages 21 May 2013
Degree	Bachelor of Arts
Degree Programme	Film and Television
Specialisation option	Radio and Television Work
Instructor(s)	Sampsa Huttunen, Visiting Lecturer
<p>Initially, I'll try to picture what individuals visually perceive from their surroundings. The starting point is the light that comes into the human eye. In my thesis, I will try to find out the reasons why the control of the depth of field is now a major focus of interest especially in television production. The new equipment has brought the visual expression to the television productions. Earlier, this was possible only in cinematography.</p> <p>In my thesis, I use examples from the program "Pixel" of the TV Channel Yle Fem, where the speeches are recorded by a still camera with a big image sensor. The purpose? is to compare the optical similarities between the human eye and a camera that can make a shallow depth of field. If the human perception and the camera are compatible, it can explain the growing interest for the use of shallow depth of field in television productions.</p> <p>Firstly, I have explored how the shallow depth of field can be realized by the camera. The optical qualities of the human eye and the camera are compared. The methods for collecting information include various sources such as branch-specific literature, Internet sources as well as my own observations in my work as a director of photography for the television.</p> <p>Optical phenomena are tested by camera images, displayed as visual examples and the results are illustrated by tables. Another method was testing the phenomena by using paper, pencil and ruler and applying the basic rules of optics. The graphics form the results of the drawing experiments.</p> <p>In many contexts, there were similarities between the human eye and the camera, which was to be expected. The image captured by the camera is made for the human visual perception. The selective focus resembles the function of the human eye. Thus, the shallow depth of field and the change of focal point during the take feel natural.</p>	
Keywords	visual perception, human eye, optics, image sensor, lens, depth of field

1	Johdanto	1
2	Ihmisen näköaisti ja todellisuus	4
2.1	Ihmiselle näkyvä valo	4
2.2	Ihmisen näköaisti	5
2.2.1	Ihmisen silmä on optinen elin.	6
2.2.2	Silmän valoa vastaanottavat solut	7
3	Optiikka	8
3.1	Optiikan historiaa	8
3.1.1	camera obscura	9
3.1.2	neulanreikäkamera	10
3.2	Optiikan joitakin perusilmiöitä	10
3.2.1	Valon heijastuma	11
3.2.2	Valon taitto	11
3.2.3	Eri linssityyppien ominaisuuksia	12
3.2.4	Polttopiste ja polttoväli	13
3.2.5	Pallopoikkeama, pallobberaatio (spherical abberetion)	14
3.2.6	Väripoikkeama, kromaattinen abberaatio (chromatic abberation)	15
3.2.7	kuvan muodostuminen kuvatasolle	15
3.2.8	Optiikan kokeilu yksinkertaisin menetelmin	16
3.3	Objektiivilla keskeinen merkitys kuvan muodostumisessa kuvatasolle.	17
3.3.1	Objektiivin polttoväli	18
3.3.2	Objektiivin pääpiste (nodal point)	19
3.3.3	Piirtoympyrä	20
3.3.4	Objektiivin aukko-arvo	20
3.3.5	objektiivin valovoima	22
3.3.6	Objektiivin T-arvo	23
3.4	Erilaisia objektiiveja.	24
3.4.1	Käsi- ja automaattitarkenteiset objektiivit.	24
3.4.2	Eri polttovälin objektiiveja.	25
3.4.3	Kiinteä polttoväli, prime lens	27
3.4.4	Vaihtuva polttoväli	27
3.4.5	Erikoisobjektiivit	29
3.4.6	Objektiivien kiinnitys, lens mount	30
3.4.7	Objektiivien sovitinkappaleet	32
3.4.8	Ihmissilmää jäljittelevä optiikka.	32
4	Tarkennuksen määrittäminen ja apuvälineet	33

4.1	Kamera ja kolmi-ulotteinen kohde	34
4.1.1	DOF, depth of field, eli syvyysterävyysalue.	34
4.1.2	Hypertarkennettu etäisyys, hyperfocal distance	35
4.1.3	Epätarkkusympyrä, circle of confusion	36
4.1.4	DOF laskurit	36
4.1.5	Käytännön apukeinoja tarkentamisessa	37
5	Kuvan syvyysterävyyteen vaikuttavat tekijät	38
5.1	Kameran, objektiivin etäisyys tarkennettavaan kohteeseen	39
5.1.1	Esimerkki etäisyyden vaikutuksesta kuvan syvyysterävyyteen	40
5.2	Objektiivin polttovälin merkitys.	43
5.2.1	Esimerkki, polttovälin muutos, etäisyys kohteeseen sama.	43
5.2.2	Esimerkki, polttovälin muutos kohteen pysyessä samankokoisena	46
5.3	Objektiivin aukkolukeman merkitys	50
5.3.1	Objektiivin aukkoarvon vaikutus syvyysterävyyteen	51
5.4	Kuvakennon vaikutus syvyysterävyyteen ja polttoväliin	53
5.4.1	Kuvataso ja kuvakenno	54
5.4.2	Eri tyyppiset kuvakennot ja niiden edut ja haitat	54
5.4.3	Rolling shutter ja global shutter.	55
5.4.4	Eri kuvataso- ja kennokokoja	56
5.4.5	Kuvakennon vaikutus polttoväliin	58
5.4.6	Kameran kuvakulma polttovälin sijaan	59
5.4.7	Kuvakennolla suuri vaikutus kuvan syvyysterävyyteen	60
5.4.8	Käytännön esimerkki	61
5.5	Bokeh	65
6	Ihmisen näköaistin vertailu kameraan	67
6.1	Ihmissilmän optiset ominaisuudet	68
6.1.1	Ihmissilmää vastaava objektiivi ja kuvakenno.	68
6.1.2	Ihmissilmän valovoima.	69
6.2	valikoiva tarkennus	69
6.2.1	Valikoiva tarkennus silmällä.	70
6.2.2	Valikoiva tarkennus kameralla.	71
6.2.3	Teknologia auttamassa näköaistia.	72
7	Johtopäätöksiä	73
	Lähteet	75

1 Johdanto

Mitä on silmämme, näköaistimme kautta välittyvä tieto? Mitkä ovat ne fyysiset perusteet, joiden avulla tekninen apuväline, kamera, pystyy toistamaan oman aistimuksemme ja näkemyssemme muiden ihailtaviksi. Voivatko kameran tekemät kuvat vastata ihmisen näköaistimusta. Mitä keinoja ja mahdollisuuksia kameralla, etenkin sen optiikalla on muokata ihmiselle näkyvää maailmaa?

Ihminen on pitkään tallentanut kokemaansa ja näkemänsä. Taidokkaat kalliomaalaukset joista välittyivät varhaisen ihmisen maailmankuva ja elämäntavat, ovat kymmeniä tuhansia vuosia vanhoja. Uskonnollisissa taideteoksissa, temppeleissä ja kirkoissa, näkyy myös ihmisen sen aikainen historia ja arki sekä tapa hahmottaa näkyvää todellisuutta. Nykyinen kulttuuri tulvii kuvia. Ensimmäisen kerran historiansa aikana, ihminen pystyy nyt teknisen laitteen avulla tallentamaan kuvia, ja vielä luomaan liikkeen ja jopa tilan illuusion. Liikkuva kuva pystytään esittämään miljoonille ihmisille samanaikaisesti, eri puolille maapalloa.

Ensimmäiset televisiolähetykset Suomessa tehtiin Teknillisen korkeakoulun tiloista 1955 radioinsinööri-seuran televisiokerhon toimesta, vastaanottimia oli pääkaupunkiseudulla 13 kappaletta. Suora mustavalkoinen lähetys kuvattiin yhdellä kameralla, ja oli sidottu studioon koska kuvanauhureita ei ollut. Television ensihetkestä on tehty monta harppausta 1970-luvulle, jolloin suuri kuvallinen muutos oli värilähetysten yleistyminen. Värit toivat uuden ilmaisukeinon. (Wikipedia 2013a;YLE 2013a)

Nykyisin vastaanottimet ovat laaja- ja suurikuvaisia digitaallilaitteita, jotka pystyvät vastaanottamaan teräväpiirtokuvaa, HD, High Definition. Kaupallisilla kanavilla ja Ylellä on jo omat kanavansa teräväpiirtolähetyksille. Tietomäärän, ja varsinkin tiedonsiirtonopeuden jatkuva kasvaminen on mahdollistanut teknisesti laadukkaiden audiovisuaalisten tuotteiden levityksen internetin kautta. Elokuvamaisen kokemuksen voi nyt saada kotona televisio- tai tietoverkkoon kytketyn taulutelevision tai videoprojektorin ja hyvän äänentoiston avulla.

Nykyinen television kuvaus- ja tuotantokalusto on joustavaa, ja antaa tekijöille suuria mahdollisuuksia tehdä monipuolista ja luovaa televisio-ilmaisua. Teknologisen kehityksen mukana rajapinnat elokuva- ja televisiokameran välillä hämärtyvät. Sähköinen

valokuvakamera, eli digitaalinen still-kamera, jossa voi myös olla video- kuvausominaisuus, voidaan jopa käyttää televisiotuotannoissa. Optiset lainalaisuudet ovat kaikissa kameratyypeissä samat. Siksi olen esimerkeissä käyttänyt myös sähköisiä valokuvia. Vaikka tämän tutkielman tiedoista osa vanhenee lyhyessä ajassa, periaatteet kuvan muodostumiseen kamerassa pysyvät samana. Siksi tutkielmani voi olla hyödyllinen monille vielä vuosienkin päästä.

Kuvallisessa ilmaisussa syvyysterävyyden hallinnalla on keskeinen merkitys siihen miten katsoja kokee näkemänsä tallennetun kuvan tai kuvien sarjan. Pieni syvyysterävyys on aina ollut filmille tallentavien kameroiden taiteellinen mahdollisuus. Televisio- ja videokamerat eivät samalla tavalla ole pystyneet vapaasti hallitsemaan tätä kuvallista ilmaisukeinoa. Kuva jossa on pieni syvyysterävyys, koetaan usein elokuvamaiseksi. Sähköisesti tallentavissa kameroissa on tapahtumassa suuri mullistus. Osa kalustosta pystyy jo nyt samaan syvyysterävyyden hallintaan kuin elokuvakamerat, ja uusia kameramalleja tulee miltei kiihtyvään vauhtiin, vastamaan suurta kysyntää. Esimerkiksi Ylesssä toimituksien kiinnostus käyttää tuotannoissaan edullisia kameramalleja, jotka pystyvät pieneen syvyysterävyyteen, on ollut valtava. Voisi puhua jopa buumista yhden kameran televisiotuotannoissa. Monikameratuotannoissa, joissa studio- ja ulkotuotantokalustot ovat arvokkaita järjestelmiä, mahdollinen muutos tulee olemaan hidaskä.

Opinnäytetyöni ensisijainen tavoitteeni oli aluksi paremmin ymmärtää miksi digitaalisen valokuvauskameran syvyysterävyyden arvo on pienempi kuin televisiokameran. Uteliaisuuteni ja tiedonhaluni optiikasta laittoivat liikkeelle pitkän ajatuksenkulun, joka tuntui aluksi sarjalta uuden tiedon herättämiä uusia kysymyksiä. Yhä useammin, ja eri asiayhteyksissä, tuli ihmisen näköaisti vertailukohdaksi. Ihmisen näköjärjestelmällä on paljon yhtäläisyyksiä sähköisesti tallentavan kameran kanssa. Samat optiset lainalaisuudet koskevat niin silmää ja sen verkkokalvoa, kuin kameran objektiivia ja kuvakennoa. Televisio-ohjelmia ja elokuvia tehdään kuulo- ja näköaistin kautta välittyvää kognitiivista elämystä varten. Siksi on mielenkiintoista hiukan verrata keskenään näköaistia ja videokameraa.

Paljon tärkeitä asioita, ja monia optisia ilmiöitä, kuten väri-opin, ja kuvan valotuksen olen joutunut jättämään pois, koska jo nyt tutkielmasta tuli melko pitkä, ja aiheiden mitatakaava on jo miltei avaruudellinen. Opinnäytetyöni päämääräksi tuli ymmärtää niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat kuvallisen ilmaisun keskeiseen keinoon, syvyysterävyyteen. Tavoitteenani on ollut esittää ymmärrettävästi periaatteita kuvanmuodostumisessa.

Laskukaavat, esimerkiksi syvyysterävyyksien määrittämiseksi, olen jättänyt pois. Laskutoimituksiin, on olemassa monia hyviä apuvälineitä, joita pystyy helposti käyttämään, kun ymmärtää periaatteet.

Ihmisen näköaisti on vertailukohta kaikelle kulttuurimme visuaaliselle tiedolle. Videokameran ja ihmissilmän kuvanmuodostuksessa on paljon yhtäläisyyksiä, etenkin syvyysterävyydessä. Rajoittunut terävyysalue, on ihmissilmälle ominainen tapa muodostaa kuva näkyvästä ympäristöstä. Se voi olla yksi syy miksi pieni syvyysterävyyysalue on monen ohjelmantekijän päämäärä. Yritän lopuksi tietojeni perusteella hiukan hahmottaa tulevaisuutta, etenkin sähköisen kuvanmuodostuksen ja ihmisen aistikokemusten vuorovaikutuksesta.

2 Ihmisen näköaisti ja todellisuus

Näköaistimme välittää meille osan tietoa ympäröivästä todellisuudesta, ja muovaa käsitystämme siitä. Pystymme näkemään vain osa säteilevästä valosta, ja maailmankaikkeudesta pystymme havainnoimaan vain pienen osan, vaikka apuna olisi teknisiä mittalaitteita. Esimerkiksi pimeätä ainetta, jonka olemassaolo on päätelty epäsuorien mittausten avulla, on miltei kolmannes maailmankaikkeudesta. (Nummila Sakari 2013a.) Koemme itse kaiken neliulotteisessa pituuden, korkeuden, syvyyden ja ajan avaruudessa. Teoreetikkojen mukaan ulottuvuuksia voi olla huomattavasti enemmän, niin kuin maailmankaikkeuksiakin. (Annikka Mutanen 2007a.) Aistimme ja koemme todellisuuden hyvin rajallisena. Kameralla ja näköaistilla on ensimmäinen yhtäläisyys kun ne välittävät tietoa sellaisesta osaa todellisuutta jonka ymmärrämme ja koemme.

2.1 Ihmiselle näkyvä valo

Valo on aaltoliikettä, joka koostuu energiahiukkasista, fotoneista. Valon nopeudesta tyhjiössä, 299 792 km/s, käytetään lyhennettä *c*. Valon säde tulee auringosta maapallopille hiukan yli kahdeksassa minuutissa. (Roberts 2009,229; Wikipedia 2013b.)

Jos valkoinen valonsäde kulkee prisman läpi, siitä heijastuu ihmisen näköaistin havaittavat värit violetista punaiseen.(Roberts 2009,231) Äänessä aaltoliikkeen taajuuden muutos vaikuttaa äänen korkeuteen, pienet taajuudet vastaavat matalia ääniä ja suuret taajuudet korkeita ääniä. Valon jokaisella värillä on oma taajuutensa, aallonpituus, jotka ovat ääniaaltoja huomattavasti lyhempiä, koska valo liikkuu ääntä huomattavasti nopeammin.

Ihmiselle näkyvän valon aallonpituus ilmaistaan nanometreinä, eli 10^{-9} metriä (0,000000001), millimetrin miljoonasosia. Ihmisen oma havainnointikyky on siis rajallinen ja näköaisti rekisteröi tietoa vain taajuusalueilta 380–760nm. Parhaiten ja tarkimmin erotamme vihreän alueen, syynä voi olla evoluutio, koska oli tärkeitä erottaa eri kasvit ja niihin mahdollisesti naamioituneet eliöt. (Brown 2002,128–129; Roberts 2009, 231,275)

Taulukko 1. Ihmissilmin näkyvät valotaajuudet

violetti	sininen	vihreä	keltainen	oranssi	punainen
350 – 450	450 – 490	490 – 560	560 – 590	590 – 630	630 – 760

Näköaisti ei näe infrapunäsäteilyä, joka on taajuusalueella 760–1000nm. Teknologia pystyy hyödyntämään säteilyä lämpökameroissa, ja monissa kulutuselektronikan laitteiden kaukosäätimissä, sekä CD-soittimien lukusäteissä. Ultraviolettisäteily, 100–350nm on ihmiselle melko haitallinen. Auringosta tuleva säteily suodattuu onneksi suurimmaksi osaa maapallon ilmakehään. Ultraviolettisäteitä käytetään mm. desinfiointissa kemikaalien sijaan, sekä seteleiden aitouden tutkimisessa. (Wikipedia 2013c; Wikipedia2013d.)

Maailma missä elämme, on täynnä eri taajuuksilla olevaa aaltoliikettä. Mahdollinen elämänmuoto avaruudessa saattaisi aistia, jopa nähdä radio- ja televisioaaltoja. Kun maapallosta on sinkoillut informaatiota jo vuosikymmeniä, valon nopeudella etenevät signaalit ovat voineet tavoittaa jo kaukaiset asukkaat. Heillä olisi ihmeteltävää kun saippuasarjat ja tosi-TV kilpailut tulisivat perille.

2.2 Ihmisen näköaisti

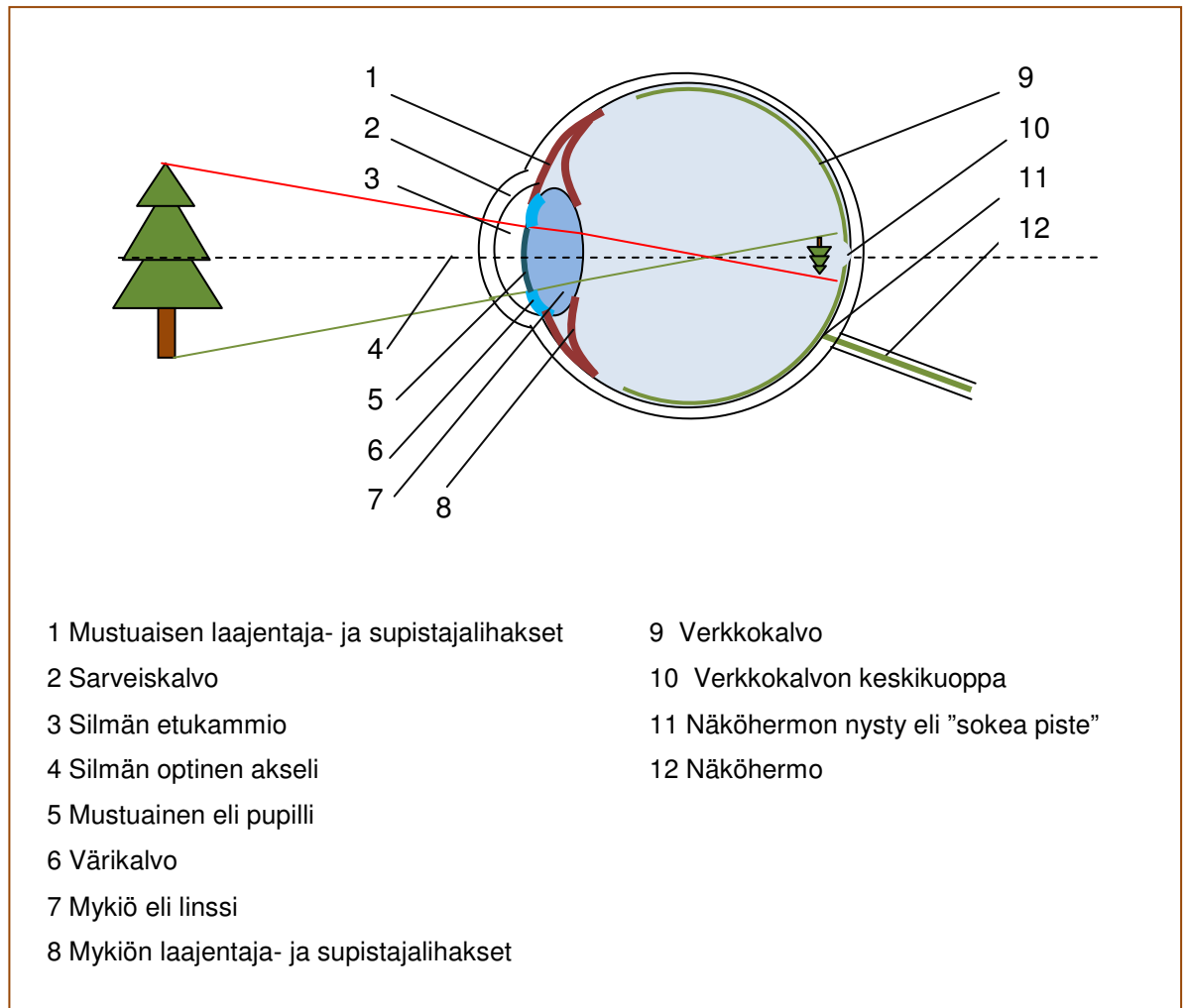
Näköaisti on silmien, niistä aivoihin lähtevien hermoratojen, ja aivoissa tapahtuvan tietojenkäsittelyn kokonaisuus. Aivojen takaosassa on oma alueensa, joka käsittelee sinne tullutta kuvainformaatiota. (Arstila Antti, Björkqvist Stig-Eyrik, Hänninen Osmo, Niensted Walter 1999, 498–514) Omat kokemuksemme ja motivaatiotekijämme vaikuttavat näköaistimukseen. Keskittyessään tiettyyn asiaan, voi oleellistakin informaatiota jäädä havaitsematta. Jos koehenkilöä pyydetään katsomaan palloja pompottavia henkilöitä, ja laskemaan tarkasti pallojen liikkeitä, takana kuvan poikki liikkuva apinahahmo voi jäädä huomaamatta. Seuraavalla keralla hahmo kyllä huomataan. (SVT, vetenskapsens värld 2013)

Se miten aivot käsittelevät kuvainformaatiota on vielä melko huonosti tiedossa. Silmät ovat vain lyhyen aikaa keskittyneet, tarkentuneet tiettyyn kohteeseen. Nähdessään toisen henkilön, huomio kiinnittyy ensimmäiseksi kasvoihin, jonka jälkeen kerätään muuta informaatiota. Itseäni voisi hyvin pian kiinnostaa vaikka kädessä oleva kamera. Jos kaikki silmien liikkeet ja tarkennukset välittyisivät sellaisenaan tietoisuuteemme, kuvamme maailmasta olisi aika kaottinen. Aivot luovat tilanteesta kokonaiskuvan. Näkeminen onkin kognitiivinen, tietoa käsittelevä prosessi. (Cambridge in colour 2013a.)

Kamera ei pysty hahmottamaan kohteita, vaan kuva on väri- ja valoinformaatiota. Ihmisen kyvystä hahmottaa asioita olisi valtava etu monessa sovelluksessa. Ohuen pitkä-vartisen vesilasin ottaminen pöydältä on ihmiselle rutiiniteko. Lasi nähdään, ja varsinkin tiedetään kolmiulotteiseksi melko hauraaksi esineeksi, johon tartutaan sopivalla liikkeellä, ettei vesi läikkyisi ja esine rikkoontuisi.

2.2.1 Ihmisen silmä on optinen elin.

Silmä on kuin kahden linssin järjestelmä. Valo tulee silmään läpinäkyvän sarveiskalvon läpi silmän etukammioon. Sarveiskalvo taittaa valoa jo voimakkaasti. Värikalvon, joka antaa silmille värin, keskellä on pyöreä reikä mustuainen eli pupilli. Suomessa silmien tyypillinen väri on sininen. Värikalvon keskellä on mustuainen, joka toimii kameran objektiivin himmentimen tavoin. Lihakset laajentavat tai supistavat mustuaista silmään tulevan valon määrän mukaan. Valo taittuu lisää mykiössä eli linssissä, jota silmän lihakset supistavat tai laajentavat muuttaen näin valon taittumista, linssin ominaisuuksia. Silmämunan takaosan verkkokalvoon heijastuu mykiön tarkentama ylösalainen kuva. Verkkokalvossa silmän optisessa akselissa on halkaisijaltaan puolentoista millimetrin alue keskikuoppa, joka tarkimman näkemisen alue. (Arstila Antti, Björkqvist Stig-Eyrik, Hänninen Osmo, Niensted Walter 1999, 498–514; Roberts 2009, 273–283; Brown 2002,130–131)



Kuvio 1. Silmän, silmämunan rakenne

2.2.2 Silmän valoa vastaanottavat solut

Silmän verkkokalvossa on 100 miljoonaa sauvasoluja, jotka keräävät kuvainformaation mustavalkoisena. Värien näkemiseen erikoistuneita tappisoluja on huomattavasti vähemmän, noin 5mljoonaa, eivätkä ne ole niin herkkiä valolle kuin sauvasolut. Siksi hämärässä ihmisen näkökyky toimii ilman värejä. Tappisolut ovat melko pienellä alueella verkkokalvon takaosassa, ja ne reagoivat sinisen, punaisen ja vihreän valonsäteiden energiaan. Solujen keräämä informaatio kulkeutuu aivoihin näköhermoa pitkin, verkkokalvossa ei ole siinä kohdassa valoa aistivia soluja. Silmässä on tässä kohtaa sokea piste, jossa käytännön elämässä ei ole haittaa. Ihmissilmä erottaa parhaiten värisävyt punaisen ja vihreän alueella, mikä voi olla evoluution seuraus, kasvillisuuden seasta piti erottaa eri kasvilajit, ja hedelmien kypsyysaste. (Arstila Antti, Björkqvist Stig-Eyrik, Hänninen Osmo, Niensted Walter 1999, 498–514; Roberts 2009, 273–283; Brown

2002,130–131) Myöhemmin tässä opinnäytetyössä, kun olen käynyt enemmän läpi optisia käsitteitä, ja hiukan kameran toimintaperiaatetta, tulen vertamaan uudestaan näköaistia ja kameraa keskenään.

3 Optiikka

Oli kyseessä ihmisen rakentama kamera, jossa on monimutkainen linssijärjestelmä, tai ihmisen hienostunut silmä, molempia koskevat samat fysiikan lainalaisuudet. Sillä ei myöskään ole eroa, jos kamera tallentaa optiikan avulla muodostetun kuvan filmille, tai sähköiselle muistikortille. Yksittäistä kuvaa, tai kuvia nopeasti peräkkäin näytettäessä, eli elokuvassa, valon käyttäytyminen ei muutu. Näköaisti tulkitsee nopeasti peräkkäin olevat kuvat liikkeenä.

Käytän esimerkkeinä kuvia kuvakaappauksista, jotka on tehty videokameralla, tai kuvattu videona still-kameralla. Osa esimerkeistä on yksittäisiä digitaalisella still-kameralla otettuja valokuvia. Optisen käyttäytymisen kannalta ei ole merkitystä millä kuvat on otettu, periaatteet ovat kaikille kuvausvälineille samat, vaikka käytettäisiin hyvin arvokasta elokuvakameraa ja optiikkaa, tai vaatimatonta harrastelijakameraa.

Opinnäytetyössäni, kuvat ovat tulostettuina suhteellisen pieniä, muutokset kuvissa voivat tuntua pieniltä ja vähäpätöisiltä. Moni kotitalous katselee videokuvaa jo suurelta taulutelevisioista tai peräti videotykin heijastamana kuvana. Katsomistilanne voi olla myös elokuvateatterissa. Kun katseltavan kuvan koko kasvaa, suurennetaan, optiikan avulla toteutetuilla ratkaisuilla, kuten syvyysterävyuden hallinnalla, on valtava merkitys.

3.1 Optiikan historiaa

Optiikka 1 Valo-oppi. Jaetaan *geometriseen optiikkaan*, joka käsittelee valon etenemisen, taittumisen ja heijastumisen lakeja sekä noille ilmiöille rakentuvia optisia kojeita (esim. silmälaseja, kiikaria, mikroskooppia, kameraa projektoria jne.), ja *fysikaaliseen optiikkaan*, joka käsittelee valon aaltoluonnetta ja siihen liittyviä ilmiöitä kuten polarisaatiota, interferenssiä, difraktiota jne. 2 Nimitys optisen kojeen linssi- ja peilijärjestelmälle erotukseksi kojeen mekaanisesta laitteistosta, sen mekaniikasta.

Taskutietojätti, Gummerus ja PA Nordstedt & Söners förlag, 1984

Linssi on laite jolla muodostetaan kuva kohteen säteilemästä valosta t. muusta sähkömagneettisesta säteilystä. Tavallisimpia ovat lasista valmistetut optiset linssit. *Kupera linssi* kokoaa siihen tulevat yhdensuuntaiset valonsäteet polttopisteeseen. *Kovera linssi* hajottaa siihen tulevat yhdensuuntaiset valonsäteet. Taskutietojätti, Gummerus ja PA Nordstedt & Söners förlag, 1984

Vaikka lainaukset ovat jo yli kolmenkymmenen vuoden ikäisestä teoksesta, ne voisivat olla kaikkein uusimmasta julkaisusta. Optiset lainalaisuudet on tunnettu ainakin antiikin Kreikassa. Vanhin linssi on löydetty muinaisen Assyrian alueelta ja on miltei kolmetuhatta vuotta vanha. Eukleides 300 eaa. julkaisi perspektiiviä käsittelevän teoksen optiikka. Läntisessä kirjallisuudessa aikaisemmin Alhazenina tunnettu arabitieteilijä Ibn al-Haytham, tunnettu myös nimellä Alhazen (965 – 1040 jaa.) oli varhaiskeskiajan kaikkein suurin optiikan tutkija. Hänen teoksensa *Optiikan kirja* (Kitāb al-manāzīr) oli myöhemmin Euroopassa kaikkein tärkein optiikan alan teos. Hänen tutkimusten tuloksena syntyivät geometrisen optiikan keskeisimmät peruskäsitteet kuten polttopiste ja keskussäteet. Tästä hän onkin saanut tieteenhistorian piirissä kunnianimen *optiikan isä*.

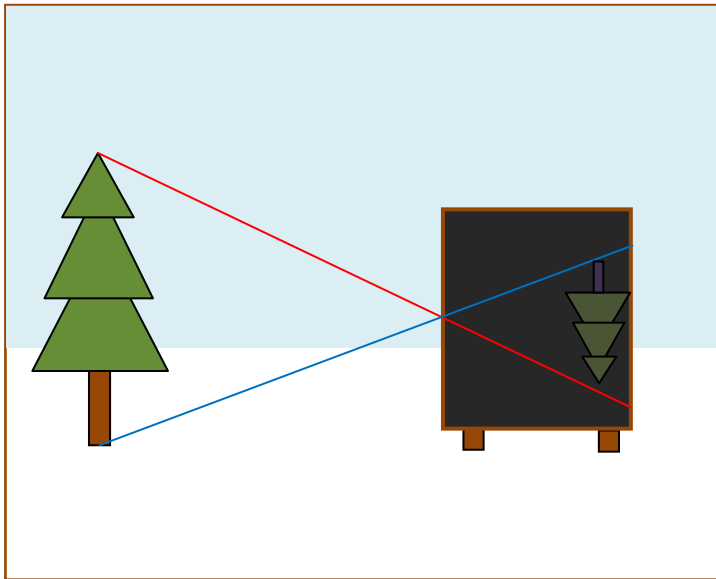
Johannes Kepler (1571 – 1630 jaa) kehitti kaukoputkea, sekä selitti silmän toimintaa, ja sen että kuva heijastuu verkkokalvolle ylösalaisin. Kaukoputket suuntautuivat syvemmälle ihmissilmin näkymättömään avaruuteen. Mikroskoopit kehittyivät Alankomaissa 1600-luvun lopulla paljastaen kokonaisen uuden pieneliöiden, mikrobien, maailman. (Wikipedia 2013e)

Kun valokuvaus ja myöhemmin elokuva syntyivät, optiset laitteet olivat jo sitä ennen hyvin kehittyneitä, ja valon käyttäytyminen tunnettiin aika hyvin. Englantilainen tähtitieteilijä James Bradley pääsi vuonna 1778 valonnopeuslaskelmissaan jo huomattavasti lähelle oikeaa tulosta 294 995 km/s, ero on pieni verrattuna vuonna 1983 vahvistettuun nopeuteen 299,792,458 km/s (Wikipedia 2013b.)

3.1.1 camera obscura

Camera obscura on tila jonka takaseinälle heijastuu kuva linssin sijaan pienen etuseinässä olevan reiän kautta. Laitte tunnettiin Kiinassa jo yli 400v eaa. Antiikin Kreikassa Aristoteles tutki ilmiötä. Renessanssin taiteilijat, kuten Leonardo Da Vinci, käyttivät todellisuudesta heijastettua kuvaa apukeinona varsinkin perspektiivin hahmottamiseen.

Mitä pienempi seinämässä oleva aukko, reikä on, sitä tarkempi on heijastuva kuva. Pienen aukon läpi tulee vähemmän valoa, ja kuva on silloin himmeämpi. (wikipedia 2013f; Roberts 2009, 245.)



Kuvio 2. Camera Obscura, lat. pimeä huone

3.1.2 neulanreikäkamera

Neulanreikäkamerassa, pinnhole camera, on sovellus camera obscurasta. Usein pienhköön laatikon takaseinämässä on valolle herkkä pinta, esimerkiksi filmi tai valokuva-paperi. Laite on suuren syvyyserävyytensä, ja helpon valmistamisen ansiota harrasteli-joiden suosima. Myynnissä olevan sovitteen avulla digitaalinen järjestelmäkamera saa-daan jäljittelemään neulanreikäkameraa. (Roberts 2009, 245; wanderlust 2013a.)

3.2 Optiikan joitakin perusilmiöitä

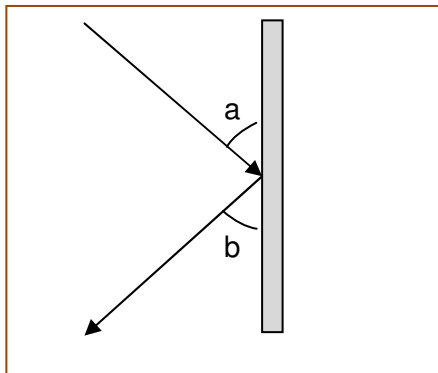
Kuvaamisessa on tärkeitä tietää miten valo heijastuu eri pinnoista, tai kulkee valoa läpäisevien materiaalien läpi. Ihmiselle näkyvässä valossa taajuudet, värit käyttäytyvät optiikassa eri tavoin. Valaistuksessa sovelletaan valon käyttäytymisen samoja perus-sääntöjä. Näköaisti pystyy sopeutumaan suuriin valomäärän muutoksiin, jolloin kuvaajan pitää olla tietoinen ilmiöstä, ja osata säätää sekä kamera että optiikka oikein. Se miten valo kulkeutuu kameran eri optisissa kokonaisuuksissa, eli objektiiveissa, on ää-rimmäisen tärkeä tieto kuvaajalle.

Jotta opinnäytetyö ei tulisi liian laajaksi, en käsittele värioppia kuten subtraktiivista ja additiivista värien sekoittumista, enkä värilämpötiloja. Vaikka valkoinen valo sisältää kaikki näkemämme värisävyt, pääpainoni optiikassa on syvyysterävyyden ymmärtämisessä.

3.2.1 Valon heijastuma

Valolla on hiukkas- ja aaltoluonne, siksi ne voimakkaassa painovoimakentässä, kuten auringon kohdalla hiukan taipuvat. Mustan aukon valtava painovoimakenttä imaisee säteet kokonaan itseensä. Maanpäällisissä oloissa näin voimakkaita painovoimakenttiä ei ole, ja valo kulkeutuu suoraan. (wikipedia 2013g.)

Kun valonsäde osuu heijastavaan pintaan, kuten peiliin, tulokulma on sama kuin heijastuskulma. Valo käyttäytyisi samalla tavalla, jos heijastava pinta olisi tasainen valkoinen alue. (Brown 2002, 178; Roberts 2013, 230)



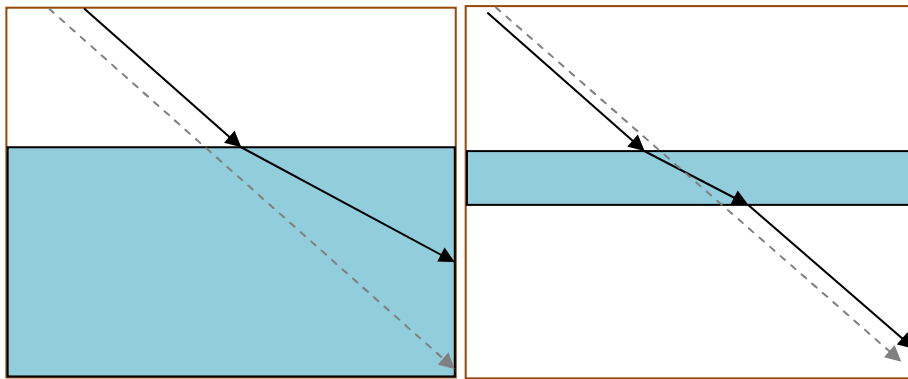
Kuvio 3. Heijastuma, valon tulokulma a on sama kuin heijastuskulma b

3.2.2 Valon taitto

Valon nopeus tyhjiössä, lyhenteenä c , on vakio 299,792,458 km/s. Nopeus hidastuu, kun valo osuu väliaineeseen, jonka rajapinnassa valo taittuu. Aineen taitekerroin määrittää uuden nopeuden ja kulman. Ilman taitekerroin on 1.0003, joten valo hidastuu noin 90 km/s. Vedessä kerroin on 1,333 ja 1.52 lasin läpi.

Yhdensuuntaissiirtymässä väliaineeseen, kuten lasiin tuleva valo taittuu ensin rajapinnassa, kun väliaine loppuu, säde taittuu uudestaan. Poistumiskulma aineesta on silloin sama kuin tulokulma väliaineeseen. Säteet ovat yhdensuuntaisia, mutta eri linjalla.

(Brown 2002, 178,179; Roberts 2013, 230,231; HyperPhysics 2013a.)



Kuvio 4. a: Valon taittuminen

b: Yhdensuuntaisiirtymä

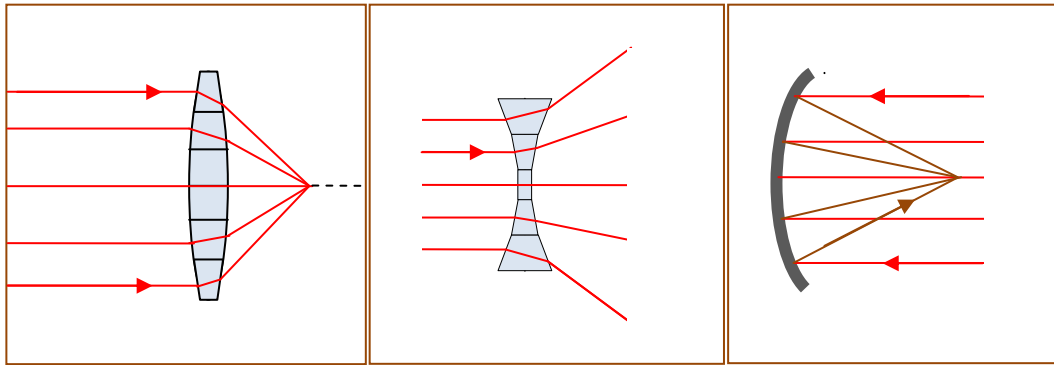
3.2.3 Eri linssityyppien ominaisuuksia

Yhdensuuntaiset valonsäteet tulevat väliaineeseen, joka voi olla taittokertoimeltaan 1.52 olevaa lasia. Pyöreä, keskeltä paksumpi oleva lasiesine kaareutuu reunoiltaan enemmän. Koska jokainen valonsäde osuu kappaleeseen sen muodosta johtuen eri kulmissa, kaikki sisään tulleet valonsäteet tulevat ulos toiselta pinnalta uusissa kulmissa taittuen reunoista enemmän. Valonsäteet ovat juuri läpäisseet kuperan linssin ja keskittyneet toiselle puolella polttopisteeseen linssin pääakselille, joka on linssin keskipisteen läpi menevä kohtisuora linja. Jos linssin suuntaisi aurinkoon, ja käden laittaisi polttopisteeseen, havaitsisi konkreettisesti mistä valokeskittymä on saanut nimensä. Onneksi useimmilla ihmisillä refleksi estää suurempien vaurioiden synnyn. (Roberts 2013, 246,247; digifaq 2011a; wikipedia 2013h)

Kovera linssi on keskeltä ohuempi, ja hajottaa siihen tulevat valonsäteet. Linssin etupuolella on valepolttopiste, johon muodostuu silminnähtävä kuva takana olevasta kohteesta suurennettuna. Suurennuslasi on yleinen sovellus koverasta linssistä. (Roberts 2013, 246,247; wikipedia 2013h.)

Asfäärinen linssi ei ole symmetrisesti kovera tai kupera. Tarkoituksena on yhdistää useita eri optisia ominaisuuksia, jolloin esimerkiksi kameran objektiivi saadaan yksinkertaisemmaksi ja kevyemmäksi. (wikipedia 2013h.)

Peilejä käytetään monissa optisissa laitteissa, kovera pinta kokoaa valonsäteet samalla tavalla kuin kupera linssi. Polttopiste on peilin edessä. Peilien avulla pystytään fyysisesti lyhentämään pitkää polttoväliä. Ratkaisua käytetään kaukoputkissa, ja joskus valokuvauksessa. (Roberts 2013, 262,263.)



Kuvio 5. a:Kupera linssi

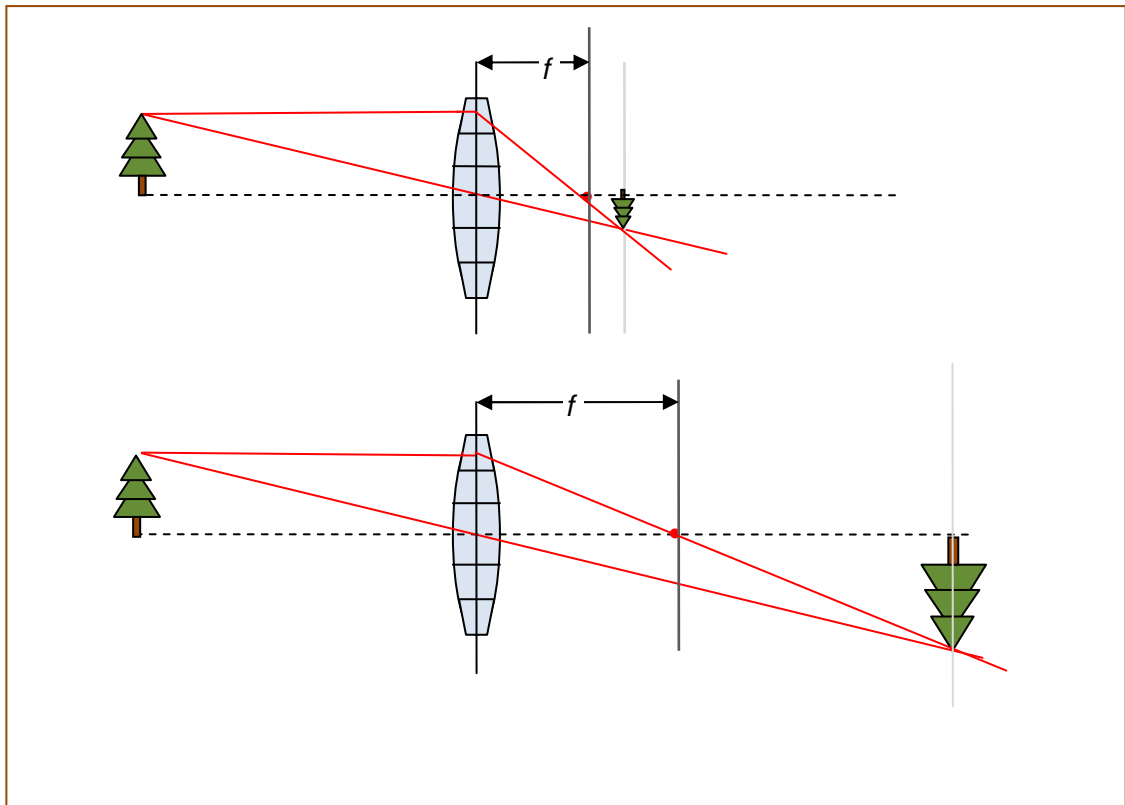
b: Kovera linssi

c: Kovera peili

3.2.4 Polttopiste ja polttoväli

Yhdensuuntaiset valonsäteet kuperan linssin läpäistyään taittuvat samaan kohtaan optiselle pääakselille. Keskittymä on polttopiste, jonka etäisyys riippuu linssin optisesta taittokyvystä. Välimatka on linssin polttoväli, josta yleisesti käytetään lyhennystä f . Voimakkaasti taittava linssi lyhentää polttoväliä, ja vähemmän taittava pidentää etäisyyttä. Valokuvauksessa pitkä polttoväli suurentaa kohdetta, ja kaventaa kuvakulmaa. Lyhyt polttoväli pienentää kohdetta, ja tuottaa laaja-alaisen kuvan. Polttoväli ilmoitetaan yleensä millimetreinä. (Roberts 2013, 246–248; digifaq 2011a; wikipedia 2013i.)

Linssin voimakkuutta eli optista taittokykyä kuvaamaan käytetään diopteria-yksikköä ($1 \text{ diopteria} = 1 \text{ m}^{-1}$), joka on polttovälin käänteisluku. (Esimerkiksi +0.5 diopterin silmälasin polttoväli on 2 metriä). Arvo voidaan laskea yksinkertaisemmin myös tavalla $1/m$, jossa m on polttoväli. (wikipedia 2013j.)



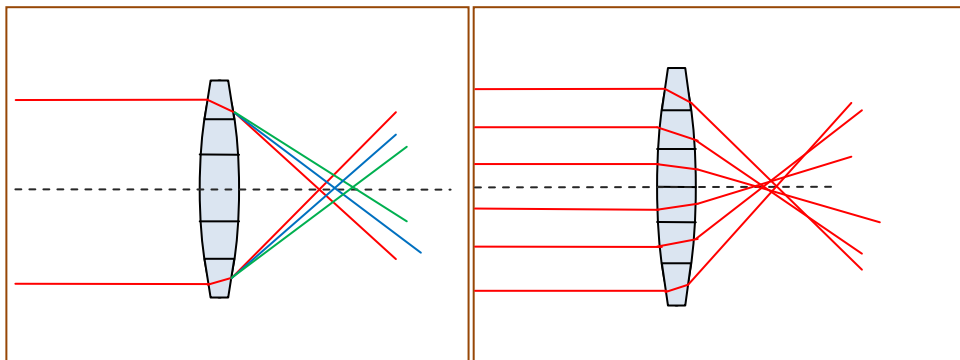
Kuvio 6. Luku f on polttoväli. Ylempänä kuvassa on taittokyvyltään suurempi, eli lyhytpolttovälinen linssi, joka pienentää kohteesta heijastuvaa kuvaa. Alempi pidemmän polttovälin linssi suurentaa kohdetta. Kuvanmuodostumisesta kuvatasolle myöhemmin kappaleissa 4.2.7 ja 4.2.8

3.2.5 Pallopoikkeama, pallobberaatio (spherical aberration)

Tässä ja seuraavassa kappaleessa esitetty kaksi niistä useista virheistä, mitä optiikassa voi syntyä. Yhdensuuntaiset, linssiin tulevat valonsäteet eivät välttämättä kohtaa polttopisteessä. Silloin heijastunut kuva voi olla reunoiltaan, tai jopa koko kuva-alueelta sumea. (Roberts 2013, 256,257.) Väri virheitä voi myös esiintyä. Kuvaaja voi silloin puhua pullonpohjalinssistä, mikä ei kyseistä optiikkaa mairittele. Hyvä optiikka ei tällaisia virheitä tee. Tunnetuin, ainakin suuria kustannuksia tuottanut pallopoikkeama, oli avaruusteleskooppi Hubblen pääpeilin virhe. Kaukoputken ottamat kuvat olivat aluksi sumeita, kunnes useamman huoltolennon jälkeen virhe saatiin korjattua. Nyt Hubblen ottamat tarkat kuvat ovat lisänneet tietämystämme universumista. (Hubblesite 2013a.)

3.2.6 Väripoikkeama, kromaattinen abberaatio (chromatic aberration)

Linssi on kuin lukuisa joukko prismoja, joissa jokaisessa kohtaa valo taittuu väliaineessa. Koska valkoinen valo sisältää eri taajuuden valonsäteitä, ne taittuvat linssin läpi hiukan eri tavoin. Jokaisella värillä onkin oma polttopisteensä linssin takana. Tällaisessa optisessa kuvassa värit ovat ikään kuin levinneet, mikä kameran optisessa järjestelmässä on erittäin ikävä piirre. Väripoikkeama ei ole linssin virhe, vaan valon luonteesta johtuva ominaisuus. Virhettä pyritään korjaamaan lisälinssillä. (Roberts 2013, 259,259.)



Kuvio 7. a: Väripoikkeama (chromatic aberration) b: Pallopoikkeama, palloabberaatio (spherical aberration)

3.2.7 kuvan muodostuminen kuvatasolle

Linssin polttopisteessä voimakkaasta valonlähteestä syntyy vain käryä, ja uteliaalla myös kipua. Valonsäteet ovat harvoin yhdensuuntaisia, vaan ne menevät kohteen jokaisesta pisteestä useasta paikasta linssin läpi. Linssi voikin peittyä osittain, niin lopputuloksena on vielä jonkinasteinen kuva. Jos polttopisteestä hiukan etämmälle laittaa kuvatason, esimerkiksi paperin, sopivalla etäisyydellä siihen muodostuu kuva kuperan linssin edessä olevasta kohteesta. Linssiä siirtämällä suhteessa kuvatasoon, saadaan kohteesta eri alueita tarkaksi. (Roberts 2013, 246–247; hyperphysics 2013b; digifaq 2011a)

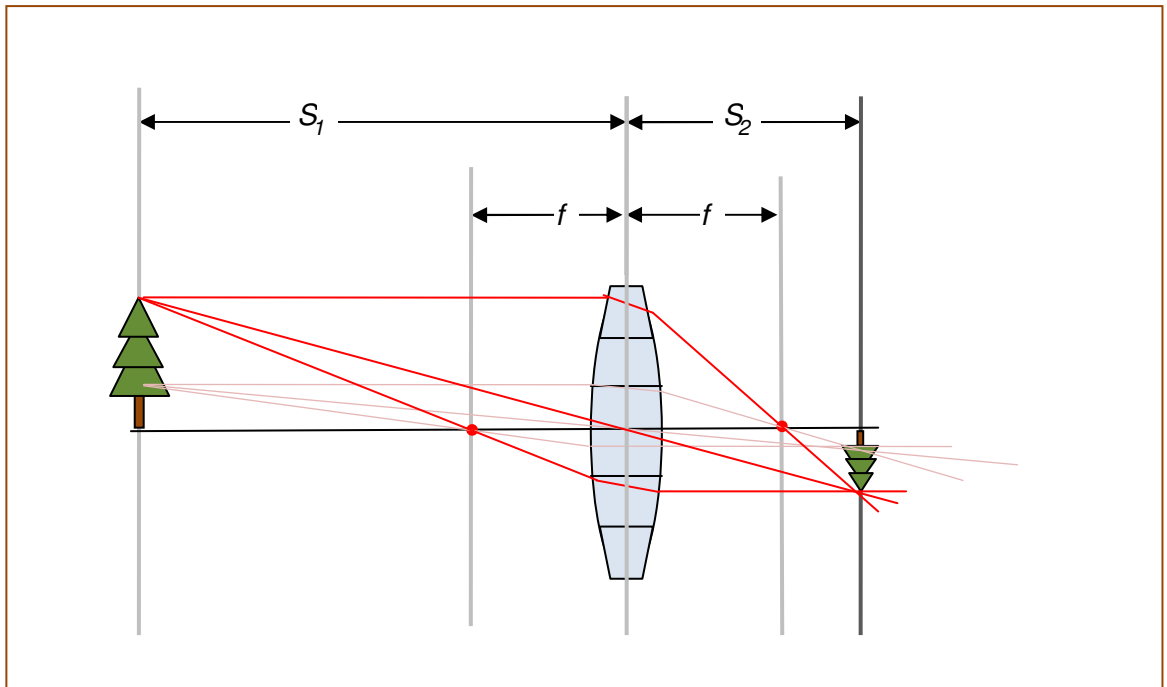


Kuvio 8. Vaikka objektiivin etulinssin suojalasi oli osittain peittynyt tihkusateesta, lopputulos on aika mielenkiintoinen. Kuva on tarkennettu laiturii.
Panasonic DMC GH2 Canon FD 24mm 1.4, iso2000 1/20s

3.2.8 Optiikan kokeilu yksinkertaisin menetelmin

Optiikan kokeiluun ei tarvita kalliita laitteita. Valonsäteet kulkevat suoraan. Kynällä, viivoittimella ja paperilla voi hahmotella itselleen miten linssi toimii, tietysti optiikan sääntöjen mukaan. Kohteesta ei tarvitse piirtää kaikkia säteitä linssin läpi. Kohteen pystysuuntaisen ääripään valitseminen auttaa jo hahmottamisessa. Tässä mallissa on symmetrinen kupera linssi, jolloin polttopisteet linssin keskikohdasta ovat yhtä etäällä toisistaan. Valonsäteet voivat kulkeutua linssiin molemmista suunnista, silloin polttopisteitä on myös kaksi.

Kohteesta lähtevä valonsäde, joka menee linssin keskikohdan läpi, ei taitu. Pisteestä suoraan kohtisuoraan linssitasolle menevä valonsäde taittuu taimmisen polttopisteen kautta. Etummaisesta polttopisteen leikkaava säde jatkaa linssin jälkeen pääakselin suuntaisesti. Suuri taitekerroin vie polttopistettä lähemmäksi linssin keskikohtaa, ja pieni taitekerroin toimii päinvastoin. Jos kohde on lähempänä kuin polttopiste, heijastuspinnalle ei synny terävää kuvaa. Piirtämistä voi yksinkertaistaa, ja valonsäteet voi laittaa taittumaan myös linssin pystysuuntaisesta keskikohdasta. (digifaq 2011a.)



Kuvio 9. Kuvan muodostuminen kuvatasolle. Kohteen jokaisesta pisteestä lähtee valonsäde linssin jokaiseen kohtaan. Tämän piirtäminen tekisi kuvasta sekavan, kaoottisen. Siksi havainnekuvassa on vain kohteen kaksi pistettä. Jos kohde on polttopistettä lähempänä linssiä, tarkkaa kuvaa ei muodostu. Kaukana oleva kohde piirtyy linssin takana hyvin lähelle takapolttopistettä.

3.3 Objektiivilla on keskeinen merkitys kuvan muodostumisessa kuvatasolle.

Seuraava lainaus voisi olla Tietojättiä huomattavasti vanhemmasta julkaisusta ja olla yhtä ajankohtainen kuin tietoverkosta otettu.

Objektiiv on linssi tai linssijärjestelmä joka muodostaa optisen kuvan kohteesta. Objektiivin kuva voidaan projisoida kuvatasolle sellaisenaan (kamera, projektori) tai sitä voidaan tarkastella okulaarin avulla (kiikari, kaukoputki, mikroskooppi). Kuvausobjektiivin on kameran runkoon liitettävä linssijärjestelmä, jonka tehtävänä on keskittää valonsäteet kamerassa olevaan filmiin tai kuvakennolle. [Fi.wikipedia.org/wiki/Objektiiv](http://fi.wikipedia.org/wiki/Objektiiv) .

Objektiiv kameran t. projektorin linssijärjestelmä. Yhdistelmälaiteissa lähinnä kohdetta oleva linssijärjestelmä. Lähinnä silmää olevaa linssiä kutsutaan *okulaariksi*.

Taskutietojätti, Gummerus ja PA Nordsted & Söners förlag, 1984

Edellinen lainaus oli tärkeä, jotta käsitteet objektiiv ja linssi eivät mene sekaisin. Englannin kielessä *camera lens* tarkoittaa objektiivia, mutta hämäävästi pelkkää *lens*-sanaa voidaan myös käyttää. Vuosikymmenien, eikä vuosisadankaan aikana käsite ei ole muuttunut. Nykyaikaisen kameran objektiiv on yleensä useammasta, ja erilaisista linseistä tehty hienomekaaninen vaativa optinen kokonaisuus.

Linssiä ja objektiivia koskevat samat optiset säännöt. molemmissa voi olla pallopoikkeama. Huonosti toteutetussa objektiivissa väripoikkeama on huonosti korjattu. Opin näytetyössäni selkeyden vuoksi, objektiivilla tarkoitan kuvausobjektiivia. Ammattikielessä "lasi" on selkeä ja usein käytetty sana kuvausobjektiivistä.

Objektiivin voi olla kameroissa joko kiinteästi, tai sen pystyy irrottamaan ja vaihtamaan toiseen. Valokuvakamera jossa on vaihdettavat objektiivit on järjestelmäkamera. Ammattikäyttöön tarkoitetuissa videokameroissa objektiivin, lasin pystyy vaihtamaan.

Objektiivin on kuvaajan keskeinen työkalu, jonka avulla rajataan haluttu osa todellisuudesta, eli valitaan kohde ja sen kuvakoko, jota muutetaan joko optisesti polttoväliä vaihtamalla, tai siirtämällä etäisyyttä kohteeseen. Objektiivin on tärkeä väline, kun säädetään kuvan syvyydestä, joka voi olla miltei ääretön tai muutamia senttimetrejä. Tarkennuksen avulla määritellään mikä on visuaalisesti ja kerronnallisesti tärkeätä optiikan muodostamassa kuvassa. Otoksen aikana voidaan muuttaa tarkennusta, ja sen merkitys korostuu pienessä syvyyserävydessä. Valon määrä eri kohteissa voi vaihdella eksponentiaalisesti, jolloin objektiivin avulla kamera sopeutuu eri valotilanteisiin. Vaikka käyttäisi hyvinkin vaatimatonta kiinteätä objektiivia, on erittäin tärkeätä tuntea ne optiset lainalaisuudet joka vaikuttavat kuvalliseen ilmaisuun.

Kuvattiin sitten filmille, sähköisesti videokameralla, tai videokuvauksominaisuudella olevalla digitaalisella Still-kameralla, kaikille on samat optiset lainalaisuudet. Objektiivit voivatkin sopia ristiin erilaisten kameroiden kanssa. Tosin polttoväli voi muuttua. Objektiivin ja kameran välille tarvitaan silloin sovitinta. Optiset lainalaisuudet on myös tunnettava, jos kamerassa on kiinteä objektiivin, koska se toimii samoilla periaatteilla.

3.3.1 Objektiivin polttoväli

Objektiivin on monien, ja erityyppisten linssien kokonaisuus. jossa eri suunnista tulevat valonsäteet kohtaavat optisella pääakselilla, ja risteävät ennen tarkentumista kameran valoa herkälle kuvatasolle, joka voi olla filmi tai sähköinen kuvakenno. Objektiivin ja kuvatason välimatka on tarkkaan määritelty, muutoin kuvasta ei tule missään vaiheessa kunnolla terävä. Teoriassa jokaisella kohteesta tulevalla valonsäteellä on oma polttopiste kuvatasolla. Linssin, objektiivin suunnittelu onkin haasteellista, lukuisten laskelmien takia.

Ihmissilmän lihakset muuttavat joustavan mykiön, eli linssin ominaisuuksia, ja haluttu kohde saadaan tarkaksi. Objektiivissa sama tehdään liikuttamalla linssijä joko mekaanisesti, tai sähköisen moottorin avulla. Ihmissilmästä poiketen objektiivi voi jopa portaattomasti suurentaa kohdetta, muuttamalla polttoväliä. Pitkä polttoväli suurentaa kohdetta, lyhyt pienentää. Kiinteäpolttovälisessä objektiivissa polttoväli ei muutu, kun vaihtuvapolttovälisessä objektiivissa polttoväli on vaihtuva. Eri kuvausobjektiivit voi olla kooltaan hyvin erilaisia. Television ulkotuotantoauton kameroissa, voi olla käytössä objektiivi jonka polttovälialue on 9.3mm – 930mm, ja painoa on lähemmäksi 30 kiloa. Still-kameran objektiivi kiinteällä polttovälillä voi painaa vain muutaman sata grammaa.

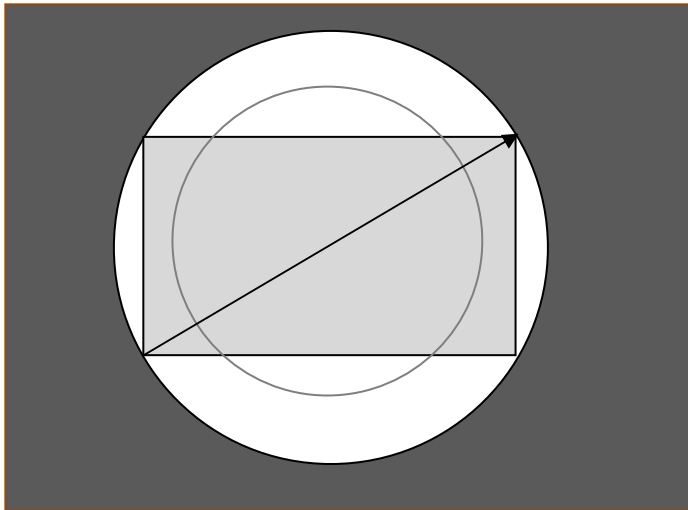
Hyvin yksinkertaisessa kamerassa, kuten kertakäyttökamerassa voi olla yksi ainoa linssi. Polttoväli on silloin etäisyys linssistä kuvatasoon, johon syntyy terävä kuva äärettömän kaukana olevasta kohteesta ja läheltä otetut kuvat olivat yleensä epätarkkoja. Monilinssisen objektiivin fyysinen pituus ei kerro polttoväliä. Työssäni käytän pääasiassa objektiivia jonka polttovälialue on 4.3mm – 60mm. Fyysisesti optiikan pituus on yli 300mm. Polttoväli on laskennallinen arvo joka kertoo objektiivin ominaisuuksista.

3.3.2 Objektiivin pääpiste (nodal point)

Objektiivissa on optinen pääpiste, englanniksi front nodal point. Usein tämä piste on jossain etulinssissä, ja se voidaan merkitä objektiivin ulkopinnalle värillisenä renkaana. Eri rakenteista, ominaisuuksista ja valmistajista johtuen pääpiste voi olla jopa objektiivin edessä tai takana. Koska kuvataso ja pääpiste ovat eri kohdissa, joskus kaukanakin toisistaan, kameraliikkeissä, panoroinneissa eli vaakatasoisissa liikkeissä sekä pystysuuntaisissa tiltauksissa, tulee eri etäisyydellä olevien kohteiden kanssa ongelmia. Liikkeen aikana syvyys suunnassa olevat kohteet siirtyvät suhteessa toisiinsa. Objektiivi tekee suhteessa kameraan pienen pysty- tai vaakasuuntaisen ajon, siirtymän, jonka seurauksena perspektiivi, pakopiste muuttuu. Esimerkiksi, kun kamera kuvaa kohdittuun puurivistöä, jossa etummainen puu peittää takana olevat, liikkeen aikana ne tulevat näkyviin. Panoraamakuvat jotka ovat useamman otoksen yhdistelmiä, pääpisteen tunteminen objektiivissa on tärkeätä. Kameran jalustan kääntyvä osa voi olla rakennettu niin, että objektiivin liikkuu pääpisteessään. Silloin perspektiivimuutoksia ei synny. Kiinteäpolttovälisellä objektiivilla tämä on helpompi toteuttaa, koska pääpiste ei muutu. (Brown 2002, 184–186.)

3.3.3 Piirtoympyrä

Objektiivin kuvatasolle muodostama terävä kuva ei ole neliö, vaan ympyrä. Piirtoympyrän koko ilmaistaan sen halkaisijan mukaan. Kameroissa valolle herkkien filmien tai sähköisten kuvakenttien suuruudet vaihtelevat. Piirtoympyrän pitää aina olla hiukan kuvatason halkaisijaa suurempi, koska paraskaan objektiivi ei tee reuna-alueita niin teräväksi kuin kuvan keskialaa. Liian pieni piirtoympyrä tekee kuvaan tummat reunat, tai jopa suuren pyöreän reunan, vinjetin. Objektiivin piirtoympyrä voi olla kuvatason alan halkaisijaa suurempi. Optiikan muodostamasta kuvasta osa rajautuu silloin pois. Kameran kuva on kuin pidemmän polttovälin objektiivilla otettu. Myöhemmässä kappaleessa palaan tähän ilmiöön. (Roberts 2013, 255–256.)



Kuvio 10. Objektiivin piirtoympyrän suhde kuvatasoon. Ulompi piirtoympyrä peittää koko kuvatason. Sisempi ympyrä on liian pieni, ja jättäisi kuvaan tummat reunat.

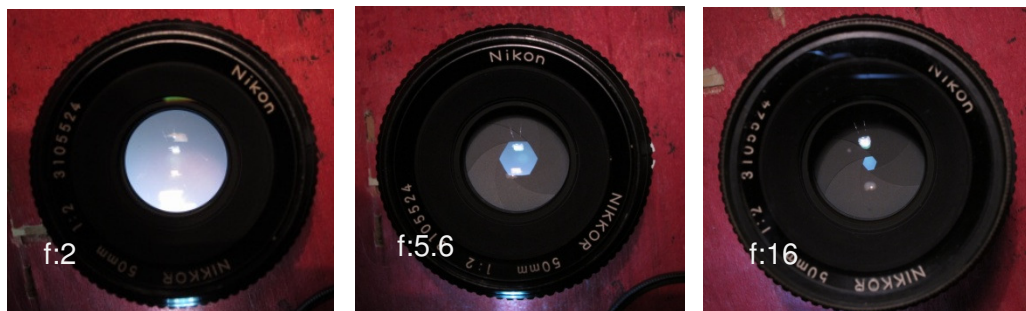
3.3.4 Objektiivin aukko-arvo

Valon määrä kirkkaassa päivänvalossa voi satatuhatta kertaa suurempi kuin yöllä kuun valossa. Erot ovat valtavia ääritilanteista huolimatta, kun sisätiloista mennään ulos päi- väsaikaan, valoa on tuhansia kertoja enemmän. Ihmisen näköaisti pystyy sopeutumaan pienellä viiveellä hyvin eri tilanteisiin. Kun valon määrä kasvaa, silmän värikalvossa oleva pupilli supistuu lihaksen avulla, ja silmän verkkokalvolle tulee vähemmän valoa.

Kameran objektiivissa on useista, yleensä ohuesta metallista, toisiinsa limittäin kehäs- sä oleva liikkuvia levyjä, joilla säädetään kuvatasolle menevän valon määrää. Levyt säätelevät aukon suuruutta, jonka läpi valo tulee.

Aukon säätö on keskeinen tekijä kuvan ominaisuuksien, kuten kirkkauden ja syvyyserävyuden muokkaamisessa, jota käsittelen erillisessä luvussa. Objektiivin suurin aukko on teoriassa polttoväli jaettuna linssin halkaisijalla. Siksi pitkän polttovälin objektiiveilla on harvoin suurta aukkoa. Jos polttoväli on 200mm ja linssin halkaisija 50mm, niin aukko on 4, joka merkitään kirjainyhdistelmänä f:4 tai numeroina 1:4. Mitä suurempi lukema on, sitä pienempi on objektiivin aukon halkaisija ja kuvatasolle tulevan valon määrä. Kun arvo on pieni, aukon halkaisija on suuri. Alla olevan aukkoasteikon tummissa lukemissa, valon muutoksen määrä on kaksinkertainen verrattuna seuraavaan tummaan arvoon. Harmaat lukemat ovat väliasteikko, jonka voisi vielä jakaa osiin. Moni kamera ilmoittaa etsimessä asteikon osia. Alle f:1.0, ja yli f:32 menevät arvot ovat harvinaisempia.

0.7 0.8 1.0 1.2 1.4 1.7 2 2.4 2.8 3.3 4 4.8 5.6 6.7 8 9.5 11 13 16 19 22 27 32 45 64



Kuvio 11. Objektiiviin, kuvatasolle tulevan valon määrä kasvaa aukkoarvon pienentyessä. Kuvan objektiivissa on kuusi levyä säätämässä aukon suuruutta, jonka suurin arvo on f:2

Objektiiviin, kuvatasolle tulevan valon määrän muutoksen voi laskea kaavalla:

$$\frac{(\text{vanha } f \text{ arvo})^2}{(\text{uusi } f \text{ arvo})^2}$$

Jos aukkoa suurennetaan, eli lukemaa pienennetään valon määrä kasvaa kaavan mukaan:

$$\text{esim. 1 } \frac{(2)^2}{(1.4)^2} = 2,04 \quad \text{esim. 2 } \frac{(16)^2}{(2)^2} = 64$$

Aukon muutos yllä olevassa esimerkissä, arvosta f:2 suurempikokoiseen f:1.4 vaikuttaa lukemina mitättömältä.

Kuva-alalle tulevan valomuutoksen määrä on kuitenkin dramaattinen, yli kaksinkertainen. Valonlähde voi silloin olla kaksi kertaa kauempana, tai valokuvauksessa voi käyttää juuri sopivasti lyhyempää valotusaikaa, näin vähentäen kuvan tärähdysvaaraa. Alemmassa asteikossa näkee nopeasti valonmäärän muutoksen suhteessa aukkolukuun. (Brown 2002,104–105,179; Roberts 248–250.)

Taulukko 2. Valomäärän muutos suhteessa aukkoarvoon

f	1.0	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32	45
v	1x	2x	4x	8x	16x	32x	64x	128x	256x	512x	1024x	2048x

3.3.5 objektiivin valovoima

Objektiivin valovoima on sen suurin aukkolukema, joka on polttoväli jaettuna linssin halkaisijalla. Valovoimaisessa objektiivissa on halkaisijaltaan suuret linssit, mikä lisää kokoa. Laadukkaankin objektiivin muodostama kuva ei ole reunoiltaan niin terävä kuin keskikohdasta, joskin erot voivat olla hyvin pieniä. Objektiivin aukosta myös rajataan linssistöön meneviä valonsäteitä, reuna-alueet jäävät pois. Vähempi valo korjataan valotuksen avulla, ja kuva on reunoiltaan terävämpi kuin suurella aukolla, eli pienellä arvolla. Objektiivin suurinta aukkoarvoa rajaamalla voidaan vähentää reunan epäterävyyksiä ja pienentää linssistöä, mutta valovoima kärsii. Aukkoarvon muutoksilla säädetään myös syvyysterävyyttä, jos objektiivi ei ole valovoimainen, kuvaa ei voida muokata halutulla tavalla.

Englannin kielessä *lens speed* tarkoittaa valovoimaa. Termi viittaa valotusaikoihin valokuvauksessa. Valovoimainen objektiivi on *fast*, koska suuremmalla aukolla valotusaika voi olla lyhyempi. Päinvastaisesti heikon valovoiman objektiivista käytetään sanaa *slow*, koska valotusaika pitenee. Aukkolukeman omaavan f:2 kiinteäpolttovälinen objektiivi on jo melko valovoimainen. Alle f.1:0 valovoima on harvinainen. Muuttuvapolttovälinen objektiivi on rakenteeltaan mutkikkaampi, ja niissä on huonompi valovoima. Jos arvo on alle f:2.8 koko polttovälialueen, objektiivi katsotaan nykyään melko valovoimaiseksi. (Cambridge in colour 2013b.)

Elokuvassa Barry Lyndon, jonka Stanley Kubrick ohjasi, ja jossa kuvaajana oli John Alcott, käytettiin Yhdysvaltojen kuu-ohjelmaan suunniteltuja objektiiveja jotka oli muokattu elokuvakameralle. Zeiss Planar 50mm valovoima oli f:0.7. (Roberts 2013, 250.)



Kuvio 12. Valovoimaisella objektiivilla voi kuvata äärioloissa jopa ilman jalustaa käsivaralla. Panasonic DMC GH2 Canon FD 24mm 1.4, iso800 1/50s, oikealla 1/60s

3.3.6 Objektiivin T-arvo

Objektiivissa, varsinkin muuttuvapolttovälisessä, on useita linsejä peräkkäin. Vaikka materiaalit olisivat kuinka laadukkaita tahansa linsseissä, osa valosta suodattuu. Aukkolukema kertoo objektiivin aukon halkaisijan suuruuden, ei valonläpäisykykyä. Linssien määrä ja objektiivien rakenne voi vaihdella, vaikka aukkolukema olisi sama. Varsinkin elokuvauksessa, missä voidaan samassa valotilanteessa käyttää erilaisia optiikoita, niiden pitäisi olla valovoimaltaan, valonläpäisykyvyiltään vertailukelpoisia. Valotusmittari ei osaa ottaa huomioon eri optiikoiden valonläpäisykykyä. Vakioarvo T on objektiivin valonläpäisykyky, ja se on aina aukkolukemaa suurempi. Laadukas valovoiman f:2.0 objektiivi voi olla T-arvoltaan 2.3, joka on sitten vertailtavissa muihin optiikoihin. (Roberts 2013, 249–250.)

3.4 Erilaisia objektiiveja.

Valokuvauksessa objektiivien valikoima oli jo laaja kun tallennusvälineenä oli filmi. Vanhat optiikat voivatkin sopia uusiin digitaalisiin järjestelmäkameroihin, joille on kehitetty omat objektiivinsa. Videokamerassa voi käyttää jopa valokuvakameran objektiiveja. Televisiotuotannossa voi olla sama laite kuin digitaalisesti kuvatussa elokuvassa. Filmille tallentaville elokuvakameroille on laaja objektiivivalikoima, jota voidaan käyttää myös videokameroissa.

Objektiivilla, ja sen polttovälin valinnalla on suuri merkitys kuvaustilanteessa, ja se vaikuttaa vahvasti kuvalliseen ilmaisuun. Tässä luvussa myös hiukan selvitetään miten eri objektiivit ja kamerat sopivat yhteen.

3.4.1 Käsini ja automaattisesti tarkentuvat objektiivit.

Automaattisesti tarkentuvat objektiivit ovat yleistyneet valokuvakameroissa ja olleet pitkään olemassa harrastajataso videokameroissa. Tarkennusmenetelmät ovat kehittyneet, kuten kameroiden kasvojentunnistusjärjestelmä, ja kuva-alan usean kohdan etäisyyden mittaus. Hienoista keksinnöistä huolimatta, kamera ei voi tietää kuvaajan päämääriä. Kuvatasolle heijastuva kuva on aina kaksiulotteinen. Kolmiulotteisestikin kuvaava kamera on kaksi hiukan eri kulmissa tallentavaa objektiivia vierekkäin. Tämäkään järjestelmä ei hahmota kohteita syvyysuunnassa. Kamera ei tunne sommittelusaantöjä, kuvataiteita, ymmärrä sisältöjä, eikä osa tehdä luovia ratkaisuja. Yksinkertainen tarkennuksen vaihto kuvassa näkyvän kahden juontajan välillä, joista ensimmäinen kuvan vasemmalla puolella esittää mielipiteensä uusimmasta elokuvasta, johon oikealla oleva hiukan kauempana oleva reagoi, jota ensimmäinen kääntyy hiukan katsomaan, vaikuttaa hankalalta jo kirjoitettuna. Käytännössä kamerankäyttäjä, joka voi olla myös kuvaaja, tekee jatkuvasti vastaavia tarkennuksen muutoksia.

Televisio- ja elokuvakameroiden objektiivit ovat mekaanisesti tai sähköisesti käsintarkenteisia. Objektiivilla voi olla kaukohallintalaite, mutta mikään automatiikka ei määritä tarkennusta, vaan siitä huolehtii kameran käyttäjä. Draamatuotannoissa on yleensä erillinen henkilö, joka hoitaa tarkennuksen saamiensa ohjeiden mukaan.

Television monikameratuotantojen kuvauskalustoon on nyt aivan uutena tullut pitkän polttovälin objektiivihin automaattitarkennus. Hyvin kaukaa kuvatuissa lähikuvissa, kuten urheilussa ja konserteissa, toiminnosta voi olla apua. (Canon 2013a.)

3.4.2 Eri polttovälin objektiiveja.

Objektiivien eri polttovälit toimivat samalla periaatteella kuin yhdessä linssissä. Valmistaja ilmoittaa polttovälin, tai polttovälialueen, koska objektiivin fyysinen koko ei kerro sitä. Tässä kappaleessa selvitetään miten eri polttovälit vaikuttavat kamerassa näkyvään kuvaan. Oli kuvataso minkä kokoinen tahansa, objektiivin polttoväli ei muutu.

Se, mitä piirtoympyrästä rajautuu pois, on eri asia.

Valokuvauksessa käytetään vertailuna Kodakin 1930-luvulla esittelemää 135 filmiformaattia, joka on muunnos 35mm elokuvafilmistä. Valokuvakamera kuvaa elokuvafilmille vaakatasossa, ja yhden kuvan koko on 36x24mm. Yleisesti formaatista puhutaan 35mm still-formaatista, tai täyden koon kuva-alasta. Kun puhutaan polttoväleistä, ja niiden vaikutuksesta kuvaan, käytetään esimerkkinä 135 kuvakokoa, koska se on ollut niin pitkään, ja monien käytössä. Yleisesti puhutaan 35mm still-kuvan polttovälivastavuudesta, tai täydestä kennokoosta digitaalisissa kameroissa. (Wikipedia 2013k.)

Esimerkit ovat tilanteessa, missä kamera on samassa kohtaa, mutta polttoväliä muutetaan. Myöhemmissä luvuissa objektiivin polttovälin ja kohteen välistä etäisyyttä suhteessa syvyystarkkuuteen käsitellään enemmän. Objektiivit luokitellaan niiden ominaisuuksien, eli polttovälien mukaan. (Nikon 2013a; Cambridge in colour 2013b.)

Kalansilmäobjektiivit, polttovälit 8 - 10 millimetriä ja 15 - 16 millimetriä.

Erittäin lyhytpolttovälisiä ja kohteestaan hyvin laajaan yli 130 asteen vaakatasoiseen kuva-alaan, kuvakulmaan pystyviä kalansilmäobjektiiveja on kahta tyyppiä. Aivan lyhyin polttoväli, heijastaa kohteestaan pyöreän kuvan mustalla reunalla. Pidempi polttoväli täyttää koko kuva-alan kamerassa. Varsinkin laajakulmaisempi objektiivi vääristää kuvaa kuin pallomaiselle pinnalle, ja pysty- ja vaakasuuntaiset linjat vääristyvät. Objektiiveja käytetään pää-asiassa tehokeinona.

Erittäin laajakulmainen objektiivi, polttovälit 16 - 21 millimetriä.

Laadukas tämän polttovälialueen objektiivi ei enää vääristä kuvaa. Kuvakulma on laaja, melkein sata astetta ja perspektiivi eli kuvan syvyysvaikutelma on suuri.

Optiikkaa voisi käyttää arkkitehtuurin kuvaamisessa, jossa halutaan korostaa rakennusten kolmiulotteisuutta, ja käytännön syistä kun kohteesta joka halutaan kuvata, ei pääse riittävän etäälle. Syvyysterävyysalue on suuri.

Laajakulmainen objektiivi 21 - 35 millimetriä.

Kuvakulma on laajimmillaan yli 50 astetta. Vääristymiä ei pitäisi olla, eikä kuva saa olla reunoiltaan epätarkka. Laajoja alueita, kuten maisemia kuvatessa, tämä objektiivi voi olla hyvä. Ahtaissa paikoissa laajakulmasta on hyötyä, kuten auton sisällä kuvatessa. Syvyysvaikutelma, perspektiivi on vielä hiukan korostunut. Jos henkilöitä kuvaa laajakulmaisella objektiivilla liian läheltä, kasvojen kolmiulotteisuus korostuu liikaa.

Normaali polttoväli, vakio-objektiivi 35 - 70 millimetriä.

Tämä alue, ja varsinkin noin 50 millimetriä koetaan normaaliksi polttoväliksi, joka suunnilleen vastaa ihmissilmän kuvakulmaa, joka on noin 40 astetta. Perspektiivi on suunnilleen sama kuin ihmisen näköaistissa. Polttoväliä käytetään dokumentti- ja reportaasikuvauksessa. Objektiivi on usein ensimmäinen hankinta kameralle. Suuri valovoima voidaan toteuttaa parhaiten näissä objektiiveissa, ja syvyysterävyys voi olla suuren aukon ansiota hyvinkin pieni. Pieni aukko kasvattaa huomattavasti syvyysterävyysaluetta. Normaaliobjektiivien avulla voidaan myös monipuolisesti hallita syvyysterävyysaluetta.

Normaaliobjektiivi on kamerassa objektiivi, jonka polttoväli on suurin piirtein valaistavan filmiruudun tai (täyden)kennon lävistäjän suuruinen. Näin ollen esimerkiksi kinofilmissä, jonka ruudun korkeus on 24 mm ja leveys 36 mm, on ruudun lävistäjä noin 43 mm. $(24 \text{ mm})^2 + (36 \text{ mm})^2 = 1\,872 \text{ mm}^2$, mistä neliöjuuri on 43,2666 mm).

Näin ollen noin 43 mm tai yleisemmin ottaen jopa 50 mm:n objektiivia pidetään normaaliobjektiivina 35 mm:n kinofilmikamerassa.

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Normaaliobjektiivi>

Keskitele-objektiivi, 70 - 130 millimetriä.

Kuvakulma on jo huomattavasti kapeampi, vaakasuunnassa enää noin 30 – 15 astetta. Perspektiivin vaikutelma ei ole niin voimakas, ja syvyysterävyysalue on pieni. Polttoväliä noin 80 millimetrin alueella käytetään usein henkilökuviissa, koska se ei korosta liikaa kasvojen muotoa, ja jättää taustan epätarkaksi. Tällä polttovälialueella, jos kuvataan käsivaralla, liikkuva kuva muuttuu jo levottomaksi, vaikka objektiivissa olisi kuvanvakaaja. Jalusta alkaa olla välttämätön.

Teleobjektiivit 135 – 300 millimetriä

Kuvakulma voi olla ääritapauksissa vain muutamia asteita, jolloin objektiivin polttoväli on jo 1000mm. Kun kohde on kaukana, kuten luonto- ja urheilukuvauksessa objektiivit ovat tarpeellisia. Syvyysvaikutelma, perspektiivi on litistynyt. Vaikka teleobjektiivit ovat suurikokoisia, valovoima on yleensä vähäinen. Suurin aukko on polttoväli jaettuna linsin halkaisijalla. Teleobjektiivi voidaan tehdä fyysisesti pienemmäksi peilien avulla, mutta valovoima ja polttoväli ovat kiinteät. Ammattikielessä voidaan ”pitkällä putkella” tarkoittaa teleobjektiivia, kun taas ”laaja lasi” on lyhyt polttoväli. Valokuvauksessa ja liikkuvassa kuvassa käytetään jalustaa, jonka laadun merkitys kasvaa erittäin pitkillä polttoväleillä. Televisiokameran objektiivissa polttovälin vastaavuus voi olla miltei 4000 millimetriä!

3.4.3 Kiinteä polttoväli, prime lens

Englanninkielinen nimi voisi tarkoittaa ensimmäistä tai parasta, eikä se kovin harhaanjohtavaa. Objektiivin polttoväliä, eli suurennossuhdetta ei voi muuttaa. Tarkennus on elokuvakäytössä käsikäyttöinen ja valokuvauksessa se voi olla myös automaattinen. Etuna on yksinkertaisempi rakenne, vähemmän linssielementtejä ja hienomekaniikkaa. Valovoima on suuri, ja optiset ominaisuudet ovat yleensä vähintäänkin erinomaisia. Kiinteä, polttoväliltään 50 millimetrin valovoimainen objektiivi, voi olla käyttökelpoinen hyvin monessa tilanteessa. Kuvakoon, suurennossuhteen, muutos vaatii kohteen ja objektiivin välisen etäisyyden muuttamista, eli käytännössä kameraa pitää siirtää joko lähemmäksi tai kauemmaksi. Toinen vaihtoehto on vaihtaa kameraan objektiivi, jonka polttoväli sopii tilanteeseen paremmin. Tosin vaihdon aikana kuvauksellinen lintu on voinut lentää jo kauas kuvaajan ulottumattomiin.

3.4.4 Vaihtuva polttoväli

Samassa objektiivissa voidaan portaattomasti muuttaa suurennussuhdetta, eli polttoväliä. Kyseisestä optiikasta on yleisemmin käytössä sana zoom-objektiivi. Kiinteän polttovälin objektiiviin verrattuna linssijä on enemmän, joista moni vielä liikkuu mutkikkaassa hienomekaanisessa rakenteessa. Valo joutuu kulkemaan useamman materiaalin läpi, ja siksi valovoima ei ole yhtä hyvä kuin kiinteän polttovälin optiikassa. Aukkolukema voi vielä vaihtua polttovälin mukaan, mikä hyvin yleistä edullisissa valokuva- ja videokameroiden optiikoissa. Elokuva- ja televisiokameroiden objektiivit eivät muuta fyysistä kokoaan, vaikka polttoväli muuttuu, ja valovoima on niissä varsin hyvä, ja pysyy samana läpi koko polttovälialueen.

Nämä optiikat ovat vähintäänkin suhteellisen kookkaita, ja niiden paino ilmoitetaan kilogrammoina. Nämäkin arvokkaat lasit voivat ”ryömiä”, eli kaikkein pisimmällä polttovälillä valovoima hiukan heikkenee.

Polttovälialue zoom-objektiivissa ilmoitetaan aina kaikkein lyhyimmästä pisimpään polttoväliin, ja samalla ilmoitetaan valovoima. Lukusarjan 14 – 42 F/3.5 – 5.6, valokuvakameran objektiivissa laajin polttoväli on 14 millimetriä ja toinen ääripää, teleasento, on 42millimetriä. Valovoima vaihtelee f:3.5 ja f:5.6 välillä ollen teleasennossa heikompi. Usein käytetään kerroinlukua, joka on suurin polttoväli jaettuna pienimmällä. Esimerkissä luku olisi 3.5. Mitä suurempi kerroin, eli laajempi polttovälialue, sitä haasteellisempaa on objektiivin suunnittelu ja valmistaminen. Ja usein valovoima heikkenee. Aiemmassa kappaleessa mainittu videokameran objektiivi ilmaistaan lukuina 14 x 4,4, eli polttoväli-alue on 4.3 – 60 millimetriä. Valovoima, joka ilmoitetaan erikseen, on f:1.8, tosin aivan tele-asennossa se hiukan ”ryömii” ollen noin f:2.8. Kun tällä objektiivilla ”tiivistää”, eli kuvaamisen aikana pidentää polttoväliä, olisi hyvä välttää aivan viimeisiä millimetrejä. Kuvan ”avaaminen” on polttovälin lyhentämistä. Jos zoom-objektiivin valovoima vaihtelee suuresti kun polttoväliä muutetaan kuvaamisen aikana, se on videokuvauksessa äärimmäisen kiusallinen ilmiö. Jos digitaalista valokuvakameraa käytetään videokuvaamiseen missä on zoom-objektiivi, valovoiman olisi hyvä olla vakio. Toinen vaihtoehto on kiinteän polttovälin objektiivi.

Mutkikkaan rakenteen takia, zoom-objektiivit ovat kiinteäpolttovälisiä arvokkaampia. Muuttuvapolttovälisessä on tavallaan monta objektiivia samassa, mikä on käytännöllistä monessa tilanteessa. Kuvakoon muutos ei vaadi siirtymistä tai objektiivien vaihtamista. Varsinkin still-kuvaajat ovat tästä mielissään, koska mukana kuljetettava objektiivien määrä voi olla pienempi. Zoom-objektiivit mielletään usein heikkolaatuisemmiksi kuin kiinteäpolttoväliset, varsinkin valokuvauksessa. Tietokonemallintamisen ansiota, optisten järjestelmien suunnittelu on tehostunut, vaihtuvapolttoväliset objektiivit ovat kehittyneet paljon. Laadukas vaihtuvan polttovälin objektiivi on jo parempi kuin keskitasoinen kiinteäpolttovälinen.

3.4.5 Erikoisobjektiivit

Makro-objektiivilla saadaan lähikuvia pienistä kohteista kuten hyönteisistä ja kasveista, jotka heijastuvat kuvatasolle luonnollisen kokoisena, tai jopa suurempana. Tavanomainen objektiivi ei pysty tarkentumaan erittäin lähelle, ja jos kohde viedään kauemmaksi, se ei enää heijastu kuvapinnalle riittävän suurena makrokuvana. Yksi ratkaisu on siirtää tavanomainen objektiivi kauemmaksi kamerasta loittorenkalla tai palkeella. Objektiivin eteen voi myös ruuvata erillisen makrolinssin. Paras lopputulos saadaan makro-objektiivilla, joka voi suurentaa kohteen miltei nelinkertaiseksi.

Kaikissa ratkaisuissa kohde on lähellä, tai hyvin lähellä objektiivia, koska etäisyys kuvatasoon on kasvanut. Polttoväliä lähempänä kohde ei voi kuitenkaan olla. Tämän voi helposti todeta kynällä ja paperilla, aiemmin esitettyjen sääntöjen mukaan (kappale 3.2.8). Objektiivin linssin halkaisija varsinkin loittonusmenetelmällä sama, vaikka polttoväli kasvaa, siksi valovoima heikkenee ainakin yhden aukkolukeman verran.

Lens tilt/shift objektiivilla on kaksi eri toimintoa. Markkinoilla on myös huokeampia malleja, joissa voi olla pelkästään lens tilt ominaisuus. Lens shift toiminnossa, objektiivi siirtyy samansuuntaisesti kameraan, kuvatasoon, nähden. Piirtoympyrä on tavanomaisesta suurempi, koska objektiivin pää-akseli on siirtynyt kuvatason keskipisteestä pois. Objektiivi ei ole enää keskellä kamerassa kiinni. Aukko on yleensä pieni, jotta reuna-alueet pysyisivät terävinä. Sääto on hyvä jos halutaan korjata perspektiivivirheitä. Kun kamera kuvaa rakennusta suoraan edestäpäin, pystysuuntaiset linjat eivät menevät kohti pakopistettä, taitu. Usein silloin vain osa rakennuksesta näkyy, varsinkin jos kamera on lähellä kohdetta. Jos kameraa käännetään ylöspäin, tiltataan, koko kohde näkyy, mutta pystysuuntaiset linjat kääntyvät pakopisteseen. Kamera voidaan pitää samansuuntaisesti pystysuunnassa kohteen kanssa, ja objektiivia siirtämällä suhteessa kameraan saadaan mahdollisesti koko rakennus näkyviin, ilman perspektiivivirheitä. (Juniper, Newton 2011, 30–31; Brown 2002, 191.)

Lens tilt- objektiivia kallistetaan suhteessa kameraan, kuvatasoon. Objektiivi heijastaa kuvan vinosti kuvatasolle, ja syvyysterävyysalue ei ole kameraan nähden pystysuuntainen, vaan on kalteva alue. Kuvassa voi olla vain kapea pysty- tai vaakasuuntainen terävyysalue. Jotkut objektiivit mahdollistavat vielä diagonaalisen hallinnan. Vaikka kohde olisikin laajempi näkymä, kuten katukuva, etuala ja kauempana olevat alueet voidaan säätää hyvin epätarkeiksi.

Jos molemmat toiminnot ovat samassa objektiivissa, maisemat, ja varsinkin arkkitehtoniset alueet, kuten kaupunkinäkyvät, saadaan näyttämään kuin pienoismalleilta. (Juniper, Newton 2011, 30–31; Brown 2002, 191.)

Neulanreikäsovitin, pinhole adapter. Kamera jossa on vaihdettava objektiivi, voidaan muuttaa jäljittämään neulanreikäkameraa. Objektiivin tilalle tulee sovitin, jossa on linsistön sijaan on pieni reikä. Koska ”aukkolukema” on erittäin pieni, syvyysterävyysalue on suuri. Kuvan reuna-alueet jäävät hiukan tummemmiksi ja epätarkoiksi.

3.4.6 Objektiivien kiinnitys, lens mount

Vaikka piirtoympyrä olisi oikean kokoinen, objektiivit eivät usein sovi keskenään eri valmistajien kameroiden, koska kiinnitystavat poikkeavat. Varsinkin valokuvauksessa, monella kameran valmistajalla on oma objektiivin kiinnitysmenetelmä. Lisäksi saman valmistajan aikaisemmin tehdyt objektiivit eivät välttämättä sovi uudempiin kameramalleihin. Vaikka kuvatasot ovat erikokoisia video- ja elokuvakameroissa, tilanne ei onneksi ole ihan niin sekava kuin valokuvakameroissa. Samankokoisen kuvatason kameraan, voi sopia useamman valmistajan objektiivi. Kuvan tallennusväline voi olla filmi tai digitaalinen laite, objektiivi voi olla sama molempiin kameroihin. Alla olevassa taulukossa on joitakin yleisempiä objektiivin kiinnitysjärjestelmiä. Valokuvauksessa olen maininnut vain 135, eli kinofilmikokoa, tai sitä pienempää kuvatasoa käyttävät kamerat. Elokuva- ja televisiokameroissa on mainittu lähinnä uusimmat järjestelmät.

Joitakin objektiivien ja kameroiden eri kiinnitystapoja			
Televisio- ja elokuvakamerat			
Kiinnitystapa	valmistusvuodet	Objektiivin valmistaja	Kamerajärjestelmä ja valmistajia, sekä joitakin malleja. Yhteensopivuus
B4-mount		Angenieux, Canon, Fujinon	television nykyinen monikamera- ja yksikameratuotantojen standardi, myös teräväpiirtokamerat. Kuvakenno 2/3 tuumaa Grass Valley (Philips), Ikegami, JVC, Panasonic, Sony
C-mount/ Cine-mount			Kiinnitystapa tehty usealle kuvatasolle, 8 ja 16 mm filmille. Videokamerat joissa on 1/3", 1/2" ja 2/3" kennot. Teollisuus- ja valvontakamerat.
PL-mount	1982-	Angenieux, Canon, Cook Optics, Carl Zeiss, Fujinon, Schneider Kreutznach (Century Precision Optics)	Arrin (Arnold & Richter Cine Technik), kehittämä standardi 16mm ja 35mm, 65mm filmiä käyttäville elokuvakameroille, sekä digitaaliset elokuvakamerat. Filmi: Arri, Arriflex 35BL4, Aaton 35 Digitaalinen: Arri, Arri Alexa; Red, Red Epic Canon, mallit EOS C500 ja EOS C300
PV-mount Panavision		Panavision	Panavisionin oma järjestelmä digitaalisille ja filmiä käyttäville elokuvakameroille
Arri bajonet	1965 - 1982		16mm Arrin fimikamerat
Sony E	2010	Sony, Carl Zeiss, Samyang, Sigma, Tamron	NEX-FS700, NEX-VG900E

Valokuvauskamerat			
Canon FD	1971	Canon	35mm filmi
Canon EF	1987	Canon, Carl Zeiss	35mm Still-kenno EOS 5D Mkii
Canon EF-S	2003	Canon	APS-C kokoisille kennoille. EOS 7D
Canon EF-M	2012	Canon	Peilittömät APS-C kamerat
Micro four Thirds (MFT,M43)	2008	Panasonic, Olympus, Samyang	Panasonicin ja Olympuksen ke- hittäämä yhteinen formaatti. Olympus PEN, Panasonic GH2/GH3
Nikon F	1959	Nikkor	35mm filmi
Nikon 1	2011	Nikkor	Sovittimella kaikki Nikonin F- sarjan objektiivit
Sony E	2010		Sony NEX-5, NEX-7

3.4.7 Objektiivien sovintokappaleet

Erilaisista kiinnitystavoista huolimatta, voidaan eri järjestelmän objektiivit ja kamerat liittää sovittimilla toisiinsa. Piirtoympyrän halkaisijan pitää kuitenkin olla vähintään samankokoinen kuin kuvataso, jotta kuvaan ei tule tummia reunoja. Piirtoympyrä voi olla suurempi, jolloin kamera tallentaa keskeltä vai osan objektiivin heijastamasta kuvasta. Tästä syntyy vaikutelma, että kuva on otettu todellista pidemmällä polttovälillä. Vaikka objektiivin piirtoympyrä olisi sopiva kameran kanssa, sitä ei välttämättä voi käyttää, koska mekaaninen sovintokappale kasvattaa etäisyyden kuvatasoon liian suureksi, ja kuvasta tulee pehmeä. Peilittömiin valokuvakameroihin, joissa objektiivin etäisyys kuvatasoon on pieni verrattuna yksisilmäiseen peilikameraan, saadaan sovittimien avulla sopimaan hyvin laaja valikoima uusia ja vanhoja objekteja. Tiedonkulku, kuten aukkoarvo, kameran ja optiikan välillä voi mennä poikki.

3.4.8 Ihmissilmää jäljittelevä optiikka.

Ihmissilmässä lihakset muuttivat mykiön, elin linssin, ominaisuuksia. Jos emme ole unitilassa, kiinnostuksestamme, motivaatiotekijöistä, aikaisemmin koetun tiedon ja ympäristön virikkeiden perusteella valitsemme kohteen silmää liikuttamalla.

Jos kohde on lähellä, lihakset muuttavat mykiötä enemmän kuperaksi, eli polttoväli lyhenee. Kun ihmissilmä tarkentaa kauemmaksi, lihakset ovat enemmän lepotilassa, ja mykiö on vähemmän kovera, ja sen polttoväli on pidempi. Kameran objektiivissa, vaikka se olisi kiinteäpolttovälinen, pitää useampi linssi sekä hienomekaaninen rakenne ja nykyisin mutkikas sähköinen rakenne, jotta pystytään matkimaan silmän toimintoja. Ihmissilmän ominaisuudet objektiivin kokoon ja mutkikkuuteen verrattuna ovat ylivoimaisia.

Teollisuuden ja lääketieteen käyttöön on jo valmistettu ainakin Sveitsissä objektiiveja, joissa on muotoaan vaihtava linssistö. Polttovälialue on suuri, ja optiset ominaisuudet muuttuvat hyvin nopeasti, koska raskaita linsejä ei tarvitse liikuttaa. Valonläpäisykyky on erinomainen, koska väliaineita, eli linsejä voi olla paljon vähemmän, jopa yksi. (Varioptic 2012a.) Silmälaseista, jotka muuttavat linssinsä ominaisuuksia, on jo tehty ensimmäisiä malleja. Perinteisiin silmälaseihin verrattuna ne ovat vielä suurehkoja, eivätkä mitään muotiluomuksia. Silmälasimarkkinat voivat kuitenkin tulevaisuudessa muuttua huomattavasti, kun kaksiteholasit voivat kadota. (Fox 2009a.)

Kameramarkkinoille ei ole vielä, vuonna 2013, tullut suurilta objektiivivalmistajilta tuotteita, jotka perustuvat muuttuvamuotoiseen linssiin tai linssistöön. Etuna olisi yksinkertaisempi ja kevyempi rakenne, sekä kyky nopeasti muuttaa optisia ominaisuuksia, kuten polttoväliä suurella kertoimella. Uudenlainen optiikka voisi huomattavasti muuttaa myös kameran muotoilua ja ominaisuuksia.

4 Tarkennuksen määrittäminen ja apuvälineet

Kuva jossa tarkennus ei ole kohdallaan, vaikka virhe olisi pieni, on usein katsojalle heti huono ja epäonnistunut. Toisaalta teknisesti loistava kuva, jossa kaikki on terävää, voidaan kokea tylsäksi. Terävyysalue saattaa olla vain muutamia senttimetrejä, tai puuttua kuvasta kokonaan, ja se kuitenkin miellyttää katsojaa. Taiteellisesti, oikeanlaisesta tarkennuksesta on hankalampi määrittää. Teknisesti, sitten kun kuvaaja on valinnut kohteen, ja syvyysterävyysalueen, kuva on tarkka vain yhdessä kohtaa. Tarkan kohdan määrittämisen apuna ovat optiikan lainalaisuudet, ja niistä kehitetyt laskenta-apuvälineet. Jotta laskureista on hyötyä, pitää ymmärtää miten objektiivi toimii eri tilanteissa, sekä tietää oikeat käsitteet. Kameran useat ominaisuudet auttavat tarkentamisessa, mikä varsinkin video- ja elokuvauksessa on melkein aina käsikäyttöistä. Tämä

luku hiukan selvittää syvyytarkkuuden ja tarkentamisen määrittämiä teoreettisesti sekä käytännössä kameran kanssa.

4.1 Kamera ja kolmi-ulotteinen kohde.

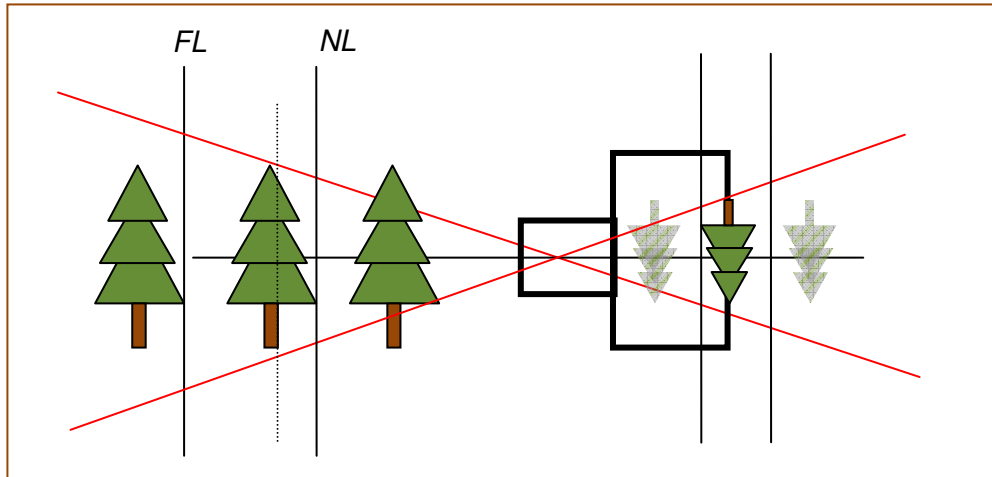
Kameran kuvataso, oli se sitten filmi tai sähköinen kuvakenno, on leveys- ja korkeussuunnassa oleva kaksiulotteinen pinta. Kameran kohteessa, ellei se ole kuva, on myös syvyyssuuntavuus. Eli todellisuus, mikä ihmiselle välittyy näköaistin kautta, on kolmiulotteinen. Eri aikakausina ja kulttuureissa näkyvää todellisuutta on hahmotettu sen hetkisen tietämyksen mukaan. Renessanssin aikana 1400–1520, kehittyi nykyinen tapa luoda syvyyden illuusio kaksiulotteiselle pinnalle kolmiulotteisesti näkyvästä ympäristöstä. Camera Obscura oli apuna, kun opittiin kuvassa käyttämään pakopisteitä. Ennen valokuvauksen keksimistä, kuvataiteissa osattiin jo hyvin luoda illuusio ihmisen havaittavasta kolmiulotteisesta todellisuudesta.

Kameran objektiivissa, niin kuin ihmissilmän linssissä ei voi olla kuin yksi polttopiste kerrallaan. Optinen pää-akseli voidaan kuvitella jatkuvan kamerasta, linssistä äärettömyyteen. Tällä syvyyssuuntaisella linjalla voi olla vain yksi alue kerrallaan voi näkyä terävänä kuvatasolla. Objektiivin polttoväli, aukkoarvo ja kuvataason koko sekä kameran etäisyys kohteeseen vaikuttavat siihen kuinka suuri, eli syvä alue on kameraan nähden.

4.1.1 DOF, depth of field, eli syvyysterävyysalue.

Syvyysterävyysalue on kameran edessä tarkennetun kohteen molemmin puolin oleva syvyyssuuntainen alue, joka näkyy riittävän terävänä kuvatasolla. Englanninkielinen nimi *depth of field*, josta käytetään lyhennettä DOF, ilmaisee käsitteen hyvin. Objektiivin tai linssin heijastaman kuvan syvyyssuuntainen terävyysalue kamerassa kuvatasoon nähden on eri asia. Englanninkielinen nimi *depth of focus*, on hyvä nimi kamerassa optiikan muodostamalle syvyysterävyysalueelle. Valonsäteiden pitää ehdottomasti piirtyä terävänä juuri kuvatasolle, muutoin kuva pysyy aina hiukan epätarkkana. Kun lasketaan, tai ilmoitetaan syvyysterävyysalue, sillä tarkoitetaan nimenomaan kameran edessä olevaa aluetta, jossa on vain yksi tarkin kohta. Kun tarkennetusta pisteestä, alueen keskikohdasta, lähestytään kameraa, syvyysterävyysalue muuttuu vähitellen epätarkaksi. Sama muutos tapahtuu mentäessä tarkimmasta kohdasta toiseen suuntaan, eli pois päin kamerasta.

Rajakohda, missä kohde, kohteet koetaan epätarkaksi, voidaan todeta kokemusperäisesti katsomalla, tai laskemalla kaavojen avulla. (Brown 2002, 180–186; Roberts 2013, 250–253.)



Kuvio 13. Syvyysterävyysalueella tarkoitetaan kameran edessä olevaa syvyysuuntaista aluetta joka näkyy riittävän terävänä kuvatasaalla. Jossain vaiheessa tulee tarkennetun kohdan molemmille puolille rajapinta, missä kohde koetaan epätarkaksi. Kuvassa FL ja NL (Far Limit, Near Limit). Yleensä tarkennetun kohteen takana oleva syvyysterävyysalue on etualaa syvempi.

4.1.2 Hypertarkennettu etäisyys, hyperfocal distance

Syvyysterävyysalue voi olla myös hyvin suuri. Laajojen näkymien, kuten maisemien kuvaamisessa tästä ominaisuudesta voi olla paljon hyötyä. Objektiivin polttovälistä, aukkolukemasta ja kuvatason suuruudesta riippuen, kuva on kameran lähellä olevasta alueesta, etualasta, lähtien tarkka äärettömyyteen asti. Mitä pienempi objektiivin polttoväli ja aukko ovat, sen lähempänä kameraa tarkka alue alkaa. Objektiivin tarkennusetäisyyden säätö pitää olla aivan kohdallaan. Jos etäisyys on säädetty liian pitkälle, etuala ei ole niin tarkka kuin se voisi olla. Tarkennus liian lähelle muuttaa kaukana olevat kohteet epätarkaksi. Sopivalla polttovälillä ja aukkolukemalla, kuva on puolet hypertarkennetun etäisyyden ja kameran välisestä matkasta tarkka äärettömään asti. (Brown 2002, 184–186; Roberts 2013, 250–253; Cambridge in Colour 2013c.)

Kamera jossa olisi 135-kokoinen kuvatasa ja 50 millimetrin objektiivi aukkolukemalla f:8, hypertarkennettu etäisyys olisi 9,8 metriä, silloin kuvassa kaikki olisi terävää 4,9 metristä lähtien. Lukemat vastaavat suunnilleen ihmissilmän toimintaa päivänvalossa, jos tarkennus olisi kymmenen metrin päässä olevassa kohteessa.

Kaikki näkyisi terävänä vajaasta viidestä metristä eteenpäin. Äskeiset esimerkit laskettiin alla olevan sivuston laskuohjelmalla:

<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/hyperfocal-distance.htm>

4.1.3 Epätarkkuusympyrä, circle of confusion

Rajankohdan määrittämiseen, missä kohde muuttuu syvyysuuntaisella terävyyssalueella vähitellen epätarkaksi, on jokaiselle kuvausformaatille olemassa oma vakio-arvonsa, jota käytetään laskutoimituksissa. Epätarkkuusympyrä, *circle of confusion* (CoC) on teoreettinen, halkaisijaltaan erittäin pieni, millimetrin sadasosien kokoinen piste. Jokaiselle kuvausjärjestelmälle on määritelty oma epätarkkuusympyränsä. Digitaalisen kameras kuvatasossa tämä vastaa yhtä valoa vastaanottavan elementin, pikselin, kokoa. Terävyyssalue määritellään kuvatasolle heijastuvan kohteen ja epätarkkuusympyrän avulla. Valitaan pienin mahdollinen kohde, minkä kamera voi tallentaa, kuten valonlähde kaukana, tai piste mustalla taustalla, joka heijastuu objektiivin kautta kuvatasolle. Kun tämä äärimmäisen pieni piste kuvatasolla on suurempi kuin epätarkkuusympyrä, objektiivin tarkennus on säädetty väärin.

Pienen kuvatason, kuten 16millimetrin filmille tallentavassa elokuvakamerassa, epätarkkuusympyrä on hyvin pieni, koska katselutilanteessa kuvaa suurennetaan huomattavasti. Sähköisissä kameroissa, mitä paremmin ne pystyvät toistamaan yksityiskohtia, sen pienempi niissä epätarkkuusympyrä on. Teräväpiirtoon, HD(high definition) kykenevässä kamerassa epätarkkuusympyrä on pienempi kuin nyt vielä television käytössä olevassa SD (Standard Definition) järjestelmässä. Siksi tarkentaminen HD kameralla vaatii suurempaa huolellisuutta kuvaustilanteessa. Katselutilanteessa esityslaitteen, kuten videoprojektorin pitää kyetä toistamaan yhtä paljon yksityiskohtia kuin kameras jolla kuvat on tallennettu. Mitä suurempi toistettava kuva on, sitä tärkeämpää on onnistunut tarkennus kuvaustilanteessa. (Roberts 2013, 250; Brown 2009, 182–189.)

4.1.4 DOF laskurit

Kuvan tekeminen kameralla on taiteellista ilmaisua, ei matematiikkaa. Kuvaajan pitää kuitenkin tuntea ne periaatteet miten kuva optisesti heijastuu kuvatasolle, ja se voi joskus vaatia laskelmia. Kuvaajan ei onneksi tarvitse testata laskutaitoaan kesken luovaa tilannetta. Nykyisin älypuhelimet ovat yleistyneet ja halvimpaankin laitteeseen saa vielä ilmaiseksi varsin kehittyneitä ohjelmia joilla voi laskea eri kameroiden ja

objektiivien polttovälien optisia ominaisuuksia. Älypuhelimesta tai pienestä tabloidista on tullut tärkeä työkalu kuvaajalle. Samassa ohjelmassa on yleensä myös toimintoja, joilla voi laskea kuvakulman, sekä kohteen suuruuden kuvatasolla syvyysterävyysalueen lisäksi. Lisäksi ohjelmiin on syötetty eri kuvausjärjestelmien, kameroiden epätarkkuussympyrät (CoC). Useimmat ohjelmat, joita voi myös käyttää tietokoneissa, löytyvät nimellä *DOF-calculator (Depth Of Field)*, tai *Camera/lens Calculator*. Laskelmat perustuvat objektiivin siihen kohtaan missä valonsäteet taittuvat ensimmäisen kerran, eli ensimmäiseen nodaalipisteeseen, joka on käytännössä lähellä ensimmäistä linssiä. Kohta on yleensä merkitty objektiivin ulkopuolelle värillisenä ohuena renkaana.

4.1.5 Käytännön apukeinoja tarkentamisessa

Tietokoneiden tai älypuhelimien ohjelmat joilla lasketaan syvyysterävyysalueita, voivat olla suureksi hyödyksi kuvauksen suunnitteluvaiheessa. Jos kuvassa haetaan pientä syvyysterävyysaluetta, ja kuvauskaluston optiset ominaisuudet ja kuvaustilan koko on jätetty huomioimatta, tavoitetta ei välttämättä saavuteta. Kokemuksen mukana saatu tuntuma on suureksi avuksi, mutta teoreettisesti voi tavoitteensa vielä varmistaa. Kun sopiva kalusto on valittu, ja kameran sijainnit suunniteltu, kuvaustilanteessa tarkentaminen on käsityötä, joka voi vaatia nopeita päätöksiä ja toimenpiteitä. Teoria on enemmän taka-alalla.

Valokuvauksessa kun tallennusvälineenä on filmi, yli vuosisadan aikana on kehitetty erinomaisia optisia etsimiä kameraan, jotka selkeästi näyttävät etäisyyden säädön, eli tarkennuksen. Filmille tallentavassa elokuvakamerassa, kun etsin oli säädetty oikein, kameraoperaattori tarkkaili myös optista kuvaa valokuvakameran tavoin.

Kameroissa, jotka käyttävät sähköistä kuvatasoa, tarkentaminen on hankalampaa. Videokameran etsimessä on kaksiulotteinen sähköinen kuva. Samoja hienostuneita keinoja, joita on filmiä käyttävissä kameroissa, ei ole olemassa. Etsimen, tai kameraan kytketyn tarkkailumonitorin, korkeatasoinen kuvanlaatu on välttämätön tarkentamisessa. Valtavan suuri apu on myös peaking toiminto, joka korostaa etsimessä niitä alueita joissa on eniten yksityiskohtia, eli tarkennettua aluetta. Video- ja erityisesti elokuvakameroiden objektiiveissa on hyvä asteikko, josta näkee tarkennetun etäisyyden. Digitaalisen elokuvakamera voi vaihtaa tietoja objektiivin välillä, ja ilmoittaa suoraan syvyysterävyysarvot etsimessä, ja tarkkailumonitorissa. Välimatka kohteeseen voidaan yksinkertaisesti mitata mittanauhalla, tai lasermittarilla, mutta silloin pitää työturvallisuus

ottaa huomioon. Elokuvakameroissa etäisyys mitataan kohteesta kameran kuvatasolle, ei objektiivin etulinssistä.

Käsitarkennus digitaalisilla valokuvakameroilla, varsinkin kun kuvataan videota, on hankalaa. Tarkentaminen tehdään kameran näytön avulla, joka on monessa mallissa vaatimatonta. Lisäksi peaking toiminto puuttuu miltei kaikista kameroista. Harrastajat ovat tehneet joihinkin malleihin omia ohjelmistopäivityksiä, ja lisänneet kuvaajalle hyödyllisiä toimintoja. Tarkentamista kirkkaassa päivänvalossa helpottaa kameran näyttöön kiinnitettävä erillinen luuppi. Kuvan pystyy näytössä myös sähköisesti suurentamaan halutusta kohtaa, ratkaisu toimii valokuvatessa.

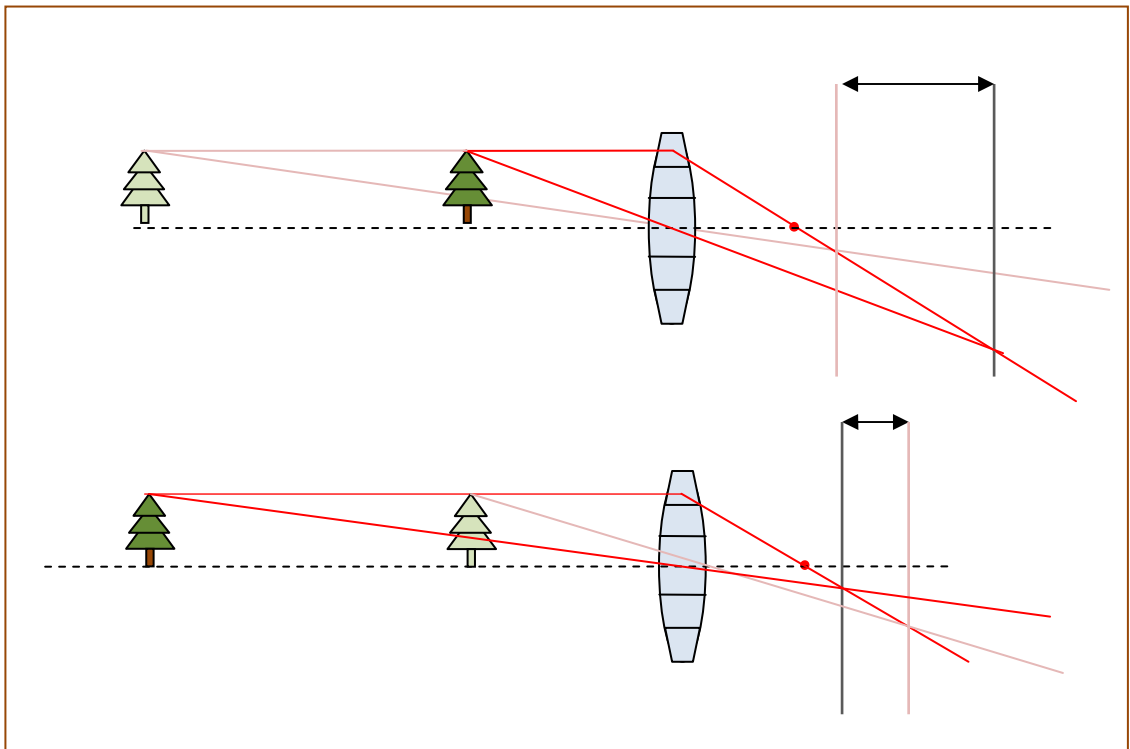
5 Kuvan syvyysterävyyteen vaikuttavat tekijät

Tässä luvussa käsitellään ne keskeiset tekijät, jotka vaikuttavat kuvan syvyysterävyyteen. Optiikan lainalaisuudet ovat samat, kuvattiin sitten filmille tai sähköisessä muodossa eri tallennusvälineille, vaikka jakelukanavina olisivat elokuvateatterit, televisiokanavat tai internet. Eri syvyysterävyyksien käytöllä on keskeinen merkitys kuvallisessa ilmaisussa. Samasta kohteesta, samassa tilanteessa ja valaistuksessa, voidaan kameralla tehdä aivan toisistaan poikkeavia kuvia. Tämä luku käy läpi niitä keinoja ja mahdollisuuksia joilla syvyysterävyyttä kuvassa voidaan jopa täysin hallita. Kuvasarjoista näkee selkeästi, miten objektiivien eri polttovälit ja säädöt vaikuttavat syvyysterävyyteen. Kuva-alan, esimerkeissä kuvakennon, halkaisijan pituudella on suuri merkitys kuvallisen ilmaisun hallinnassa. Kameran ja kohteen välisen etäisyyden muuttaminen antavat vielä lisää mahdollisuuksia vaikuttaa kuvan ilmeeseen.

Esimerkkikuvien ohessa on maininta kuvauskalustosta, kohteen etäisyydestä ja optiikan säädöistä, sekä syvyysterävyytlaskimen antamat arvot kuvaustilanteesta. Kuvia ei ole mitenkään käsitelty jälkikäteen, mahdollisia tiedostomuunnoksia lukuun ottamatta, huomio on syvyysterävyydessä. Muutokset pienissä esimerkkikuvissa voivat vaikuttaa vähäisiltä, mutta jos katselutilanteessa on tietokoneen näytön sijaan suuri taulutelevisio tai jopa suuri valkokangas johon kuvat videotykillä heijastetaan, eroavaisuudet ovat paljon selkeämpiä. Osasuurenokset joistakin kuvista havainnollistavat tilannetta, kun kuvan koko voi olla useita metrejä.

5.1 Kameran, objektiivin etäisyys tarkennettavaan kohteeseen

Mitä lähempänä tarkennettu kohde on kameraa, sitä pienempi syvyysterävyysalue on. Aukko-arvo, ja polttoväli voivat joko lisätä tai vähentää tarkkana näkyvää aluetta, mutta ilmiö on sama. Lähellä oleva tarkennettu kohde muuttaa taustan epätarkaksi. Kuitenkin kohteen takana syväterävyysalue on yleensä suurempi, noin kaksi kertaa kohteen edessä olevan alueen. Ihmissilmä toimii samoin. Jos lähelle silmää vie sormensa, niin että siihen pystyy vielä hyvin tarkentamaan, tausta muuttuu varsin epätarkaksi. Tilanne muuttuu tietysti heti, kun emme enää keskitä katsetta sormeen. Molempien silmien välinen ero on suuri näin lähellä kohdetta. Kahden näin poikkeavan kuvan yhdistäminen on haaste, ja tausta näkyy kahtena. Vähän sama ilmiö kuin kolmiulotteisessa elokuvassa, jossa kamerat tai objektiivit, on sijoitettu liian kauas toisistaan. Taas kerran, kynällä, viivoittimella ja paperilla, sekä optiikan perussäännöillä pystyy hyvin ymmärtämään, miksi tausta on epätarkka kun kohde on lähellä.



Kuvio 14. Koska kamerassa kuvataso, kenno, ei voi liikkua, siirretään linssistöä objektiivin sisällä, kunnes kohde on tarkka. Liikkumavara ei ole loputon, siksi objektiivit eivät pysty tarkentumaan aivan lähellä oleviin kohteisiin. Kuvassa molemmilla linseillä on sama polttoväli. Ylempässä kaaviossa tarkennus on lähelle, ja välimatka kuvatasoon on suuri. Kauempana oleva kohde piirtyy etäälle kuvatasosta, ja on siksi hyvin epätarkka. Alempana tarkennus on kauempana ja välimatka kuvatasoon on pienempi. Lähellä oleva kohde voisi olla kohtalaisen terävä, koska se piirtyy huomattavasti lähemmäksi kuvatasoa, johon terävä kohde heijastuu.

5.1.1 Esimerkki etäisyyden vaikutuksesta kuvan syvyysterävyyteen

Kuvat on otettu digitaalisella valokuvakameralla, jossa on videokameraan verrattuna suuri kuvakenno. Objektiivi oli myös aika laajakulmainen, ja aukkoarvo kohtalaisen suuri. Siitä huolimatta, kun kohde on tarpeeksi lähellä kameraa, syvyysterävyyssalue pienenee. Objektiivi oli niin lyhyt, että etäisyyden kohteeseen mittasin kamerasta. Syvyysterävyyssalueet on laskettu ilmaisella Android- puhelimen *cam calc free*- ohjelmalla.



Kuvio 15. Etäisyys tarkennettuun kohteeseen on 4m, DOF 1.9m – ääretön. Kamera, ja objektiivi ovat säätyneet hyper focal- tilaan. Panasonic Lumix DMC GH2, Sigma 19mm F 2.8 EX DN f.5.6 1/400s ISO 160



Kuvio 16. Etäisyys tarkennettuun kohteeseen on 1m, DOF 55 cm. Panasonic Lumix DMC GH2, Sigma 19mm F 2.8 EX DN. f.5.6 1/400s ISO 160



Kuvio 17. Etäisyys tarkennettuun kohteeseen on 50 cm, DOF 13 cm. Panasonic Lumix DMC GH2, Sigma 19mm F 2.8 EX DN. f.5.6 1/400s ISO 160



Kuvio 18. Etäisyys tarkennettuun kohteeseen on 30 cm, DOF 4,4 cm. Panasonic Lumix DMC GH2, Sigma 19mm F 2.8 EX DN. f.5.6 1/400s ISO 160

Taulukko 3.

Kohteen etäisyyden vaikutus syvyysterävytyteen, cm. Aukko f:5.6							
etäisyys kohteeseen	400	300	200	100	50	30	25
polttoväli 19mm, M43							
syvyysterävyysalue	∞	720	220	55	13	4,4	2,6
polttoväli 25mm, M43							
syvyysterävyysalue	558	270	109	25,6	6,2	2,1	1,5
polttoväli 50mm, täysi							
syvyysterävyysalue	218	118	51	12,3	2,9	1	0,6

Ensimmäisessä kuvassa kamera on hyperfocal-tilassa, eli syvyysterävyysalue on vaajaasta metristä äärettömään. Kun kohde on riittävän lähellä, vaikka objektiivi on laajakulmainen, terävä alue on vain joitakin senttimetrejä. Esimerkkikuvat vahvistavat laskimen antamat syvyysterävyysarvot. Taulukkoon olen lisännyt joitakin välimatkoja esimerkkitilanteesta, ja yhden polttovälin lisää. Vertailuna on vielä täyden kennokoon kamera, 50 millimetrin objektiivilla. Lyhenne M43, tulee sanoista *Micro four thirds*, joka on esimerkkikuvien tehneen kamerasen kennoformaatti, missä 25 millimetrin objektiivi vastaa

täyttä kennokokoa. Kaaviosta voi karkeasti päätellä, että välimatkan puoliintuminen lyhentää syvyysterävyysaluetta nelinkertaisesti.

5.2 Objektiivin polttovälin merkitys kuvassa.

Kappaleessa 4.4.2 esiteltiin eri polttovälien, objektiivien, ominaisuuksia ja vaikutuksia kuvan olemukseen, kuten perspektiivin ja kuvakulman muutoksiin. Tämä luku keskittyy syvyysterävyuden muutoksiin, kun polttoväli muuttuu. Esimerkkikuvat on tehty videokameralla, johon on asennettu vaihtuvapolttovälinen objektiivi, jossa on merkinnät usealle polttovälille, joita olen pystynyt hyödyntämään. Polttovälit toimivat samoin, kuin kamerassa jossa olisi vastaavat kiinteäpolttoväliset objektiivit. Kamerassa on kolme kappaletta 2/3 tuuman kuvatasoa, kennoa. Objektiivin todellisen polttovälin lisäksi on laskettu vastaavuus täyden kennokoon, eli 35 millimetrin still-kameraan. Tarkennuskohta on avaruushahmo, joka on valittu YLE5 Pixel-ohjelman taustapatsaista. Etäisyydet on mitattu objektiivin etulinssistä, kohdasta jota syvyysterävyyslaskurit käyttävät. Edessä ja takana oleva pylväät ovat metrin etäisyydellä hahmosta, kauimmaisat ovat kahden ja neljän metrin päässä kohteesta. Esimerkkikuvat on otettu kameran parhaassa teräväpiirtotilassa (1080, 25p, 100Mbps), ja kuvakaappaukset ovat säilyttäneet saman kuvainformaation.

5.2.1 Esimerkki polttovälin muutoksesta, kun etäisyys kohteeseen pysyy samana.

Kuvasarjassa etäisyys kohteeseen on sama, mutta polttoväli muuttuu. Tämä kuvasarja voisi havainnollistaa yhtä videoleikettä, jossa optisesti muutetaan kohteen kokoa. Kuva on ensin laaja, joka sitten tiivistetään. Perspektiivi ja syvyysterävyys muuttuvat optisen ajan, arkisesti ilmaistuna zoomauksen aikana. Tiiviissä kuvissa kohde ei ole aivan sommiteltu keskelle, jotta taustaa näkyisi hiukan vertailukohteena. Etäisyys kohteeseen on ilmoitettu kameran kuvatasosta. Syvyystarkkuuslaskelmat on tehty objektiivin etummaisesta linssin kohdalta, eli 30 senttimetriä kohdetta lähempänä. Suluissa on polttovälivastaavuus verrattuna 135-filimruutuun, eli 35 millimetrin still-kameraan.



Kuvio 19. 4.3mm (16mm) f4 etäisyys 2.6m, DOF 0,68m - ääretön



Kuvio 20. 8mm (30mm) f4 etäisyys 2.6m, DOF 1,24m - ääretön



Kuvio 21. 15mm (56mm), f4 etäisyys 2.6m DOF 2,26m



Kuvio 22. 30mm(113mm), f4 etäisyys 2.6m DOF 0,47



Kuvio 23. 60mm (225mm), f4 etäisyys 2.6m DOF 0,12m
Taulukko 4.

Syvyysterävyyden muutoksia metreissä eri polttoväleille, kun kohde on samalla etäisyydellä kamerasta, 2,6 metriä.					
polttoväli	4,3 mm.	8 mm.	15 mm.	30 mm.	60 mm.
Kuvanlaatu: teräväpiirto, High Definition, 1080p					
Front Depth	1,92	1,36	0,67	0,21	0,06
Rear Depth	∞	∞	1,59	0,26	0,06
Near Limit	0,68	1,24	1,93	2,39	2,54
Far Limit	∞	∞	4,19	2,86	2,66
DOF	∞	∞	226	0,47	0,12
Kuvanlaatu: SD, Standard Definition					
Front Depth	2,10	1,73	1,06	0,41	0,12
Rear Depth	∞	∞	13,97	0,63	0,13
Near Limit	0,50	0,87	1,54	2,19	2,48
Far Limit	∞	∞	16,57	3,23	2,73
DOF	∞	∞	15,03	1,04	0,25

Taulukossa on myös vertailuna laskettu samoille polttoväleille ja etäisyyksille tulokset, nykyisin vielä käytössä olevalle SD, Standard Definition, järjestelmälle. Epätarkkuussympyrä, Circle of Confusion, on siinä paljon suurempi kuin teräväpiirtolaadussa. Siksi syvyysterävyysalue on suurempi SD- laadulla.

Laskemiseen on käytetty Canonin internet sivuilla olevaa *Lens Calculator*-ohjelmaa, joka erityisesti ottaa huomioon television käyttämät kuvakennot. Syvyysterävyysalue on ensin ilmoitettu kohteesta nähden, front depth on alue kameraan päin, ja rear depth on tarkennetusta kohdasta syvyyssuunnassa poispäin. Alemmat luvut on muunnettu niin, että alueen pystyy hahmottamaan etäisyyksinä kamerasta mitattuna.

Ensimmäinen kuva on otettu erittäin laajalla polttovälillä, ja objektiivi on hyperfocal-tilassa, eli kaiken pitäisi olla terävää. Vaikka kohde on kohtalaisen lähellä, se on pieni kuvassa. Vieressä oleva osasuurennos on hyvin pieneltä alueelta, ja taustalla näkyvän rakennuksen suurennos on huomattava. Järjestelmän rajat tulevat vastaan, vaikka video on tallennettu HD- laatusena. Kun polttoväli on pidempi, 8 millimetriä, ja objektiivi on myös hyperfocal-tilassa, kuten edellisessä kuvassa, pienempi osasuurennos näyttää tarkalta. Kun polttoväli seuraavissa kuvissa pitenee, kohteen koko kuvatasolla kasvaa, ja syvyystarkkuusalue pienenee. Taulukon arvoista voi nähdä kuinka merkittävästi polttovälin pidentyminen pienentää syvyysterävyysaluetta.

5.2.2 Esimerkki, polttovälin muutos kohteen pysyessä samankokoisena

Edellisestä esimerkistä voisi tehdä nopean päätöksen, että syvyysterävyysalue pienee polttovälin kasvaessa. Näin tapahtuukin, kun kohteen koko kasvaa kuvatasolla polttovälin pidentyessä. Kun kohteen koko pysyy samana, vaikka polttoväli kasvaa, syvyysterävyysalue ei muutu. Käytännön tilanteessa, kuvaaja voisi haluta puolilähikuvassa kohteena olevan henkilön taustan epätarkaksi. Ratkaisuksi tulee ehkä ensimmäisenä mieleen polttovälin kasvattaminen. Kuvakoko halutaan kuitenkin säilyttää, eli kameraa pitää siirtää kauemmaksi. Etäisyyden kasvattaminen kohteeseen, pidentää syvyysterävyysaluetta. Jos aukkoarvoa ei voi muuttaa, lopputulos on aivan sama kuin ennen kameran siirtämistä.

Seuraava kuvasarja havainnollistaa sen kuinka syvyysterävyysalue pysyy samana, vaikka polttoväli muuttuu. Kohde on kaikissa kuvissa samankokoinen, etäisyyttä on muutettu polttovälien mukaisesti. Kameran etsimeen oli säädetty viivoilla alue, jonka

sisälle kohde jäi. Jos kuvasarja olisi videoleike, siinä tapahtuisi samanaikaisesti kamera-ajo fyysisesti kameraa liikuttamalla, sekä polttovälin muutos. Kohde olisi kokoajan samankokoinen, mutta perspektiivi muuttuisi ympärillä huomattavasti. Tällainen otos, joka vaatisi kameralle useimmiten ajoradan, on näyttävä tehokeino.



Kuvio 24. 4.3mm, etäisyys 70cm f4 DOF 2,76m



Kuvio 25. 8mm, etäisyys 1.0 m f4 DOF 0,75m



Kuvio 26. 15mm, etäisyys 1.58m, f4 DOF 0,65m



Kuvio 27. 30mm, etäisyys 2.83m, f4 DOF 0,58m



Kuvio 28. 60mm, etäisyys 5,34m, f4 DOF 0,57

Taulukko 5.

Syvyysterävyyden muutoksia metreissä eri polttoväleille, kun kohde pysyy samankokoisena etäisyyden muuttuessa.					
polttoväli	4,3 mm.	8 mm.	15 mm.	30 mm.	60 mm.
etäisyys, m.	0,7	1,0	1,58	2,83	5,34
HD					
Front Depth	0,19	0,21	0,24	0,26	0,27
Far Depth	2,57	0,54	0,41	0,32	0,30
DOF	2,76	0,75	0,65	0,58	0,57
SD					
Front Depth	0,26	0,34	0,41	0,48	0,53
Far Depth	∞	7,29	1,17	0,78	0,67
DOF	∞	7,53	1,58	1,26	1,20

Taulukon arvoista voi myös päätellä kuinka tarkentamisessa pitää olla paljon huolellisempi, kun kuvataan teräväpiirtona. Tarkennus voi olla miltei summittaista SD laadussa, varsinkin lyhyillä polttoväleillä. Normaalioptiikan, ja siitä pidemmissä polttoväleissä, molemmat televisiojärjestelmät käyttäytyvät samalla tavalla, syvyysterävyyssalue ei juuri muutu. Kaikissa teräväpiirtolaadun kuvissa, ensimmäistä lukuun ottamatta on käytännössä sama syvyysterävyyssalue. Kaikkein lyhyimmälläkin polttovälillä, joka miltei vastaa kalansilmäobjektiiä, terävyyssalue on suhteellisen rajallinen. Muutaman senttimetrin muutos lähemmäksi kohdetta, olisi antanut samat arvot muiden polttovälien kanssa. Etäisyyksien mittauksissa on voinut olla pientä epätarkkuutta. Laskuohjelman tuloksia vahvistavat vielä ensimmäisten kuvien osasuurenokset, joissa selkeästi näkyy epätarkka tausta. Jos kuva heijastettaisiin videotykillä hyvin suureksi, pieni syvyysterävyyssalue näkyisi hyvin. Lyhyellä polttovälillä, ei välttämättä saa kauttaaltaan teräviä kuvia, siihen vaikuttaa suuresti etäisyys tarkennettuun kohteeseen.

Alla olevat kaksi esimerkkiä, jotka ovat osasuurenoksia aiemmin esillä olleista kuvista, ovat hyvin erilaisia. Kohde joihin kuvissa on tarkennettu, ovat hiukan erikokoiset, mutta taustalla oleva rakennus on suunnilleen yhtä suuri. Ensimmäinen kuva on tarkka ääretömään asti, nosturissa sininen teksti, joka on yli kahden sadan metrin päässä, on hyvin luettavissa, mitä ei voi sanoa toisesta osasuurenoksesta. Etäisyydellä tarkennettuun kohteeseen, on suuri merkitys, vaikka objektiivi olisi hyvin laajakulmainen. Pitkän polttovälin optiikka kaventaa kuva-alaa ja latistaa perspektiiviä, ja syvyysterävyyssalue vaikuttaa pieneltä. Jos kohde on kaukana, syvyysterävyyssalue voi olla hyvinkin suuri,

mutta etäisyyteen verrattuna se on pieni. Teleobjektiivin saa myös hyperfocal tilaan, jos se tarkennetaan riittävän kauaksi.



8mm (30mm) f4 etäisyys 2.6m, DOF 1,24 - ääretön

8mm (30mm), etäisyys 1.0 m f4 DOF 0,75 cm

Tässä taulukossa on vielä kuvitteellinen tilanne, samalla kuvauskalustolla ja objektiivin pisimmällä polttovälillä, missä kohteet ovat huomattavasti kauempana. Aukkolukema voisi olla sama f:4

Taulukko 6.

Teleobjektiivin syvyysterävyysarvoja metreissä, kun kohde on kaukana 2/3tuuman HD kenno, polttoväli 60mm. (232)					
etäisyys	10	20	40	80	160
Front Depth	1,0	3,64	12,3	37,6	102,4
Far Depth	1,25	5,71	32,0	640	∞
DOF	2,25	9,3	44,3	677,6	∞

Jos televisio-ohjelman ohjaaja haluaisi pienissä sisätiloissa kuvattavasta henkilöstä suuren puolikuvan ja taustan epätarkaksi, ja kamera olisi kaksi kolmasosan tuuman kennolla, kuvaajalla olisi suuria vaikeuksia toiveen toteuttamisessa. Kohde olisi kohtalaisen lähellä, eikä teleoptiikkaa voisi käyttää kun kuvakoko on aika suuri. Vuosikausiin ei olisi voinut paljon muuta tehdä kuin levittää kätensä.

5.3 Objektiivin aukkolukeman merkitys

Kuvatasolle tulevaa valon määrää hallitaan objektiivissa olevalla aukon säädöllä. Mitä suurempi aukko objektiivissa on, sitä valovoimaisempi se on. Pieni aukko, eli suuri lu-

kema, suurentaa syvyysterävyysaluetta. Jos haluaa pienempää syvyysterävyysaluetta, aukko kannattaa olla mahdollisimman suuri. Valokuvauskameroiden vanhoissa objektiiveissa oli asteikko tarkennusrenkaan kohdalla, mistä nopeasti näki syvyysterävyyden eri aukkoarvoilla. Lähinnä täysin käsisääteisissä uusissa objektiiveissa merkinnät voi vielä löytää. Videokamerat näyttävät etsimessä saman kuvan joka myös tallennetaan, eli aukon muutoksen vaikutuksen näkee heti. Digitaalisen valokuvakameran näyttö toimii samoin.

5.3.1 Objektiivin aukkoarvon vaikutus syvyysterävyyteen

Esimerkkisarjassa on taas sama päähenkilö tolppien keskellä. Videokamera käyttää yleensä vain yhtä valotus- eli suljinaikaa. Valon määrä kameraan muuttuu siis objektiivin aukkoarvon säädön mukaan. Siksi videokameroissa on sisäänrakennetut harmaasuotimet eri valonläpäisyominaisuuksilla, joilla voidaan paremmin hallita valon määrää, ilman että syvyysterävyys ja värisävyt muuttuvat. Suotimien ansiota kirkkaasakin valossa voi käyttää suurta aukkoa. Siksi kuvasarjassa valotus on aika kohdallaan, vaikka aukkoarvoa on muutettu. Valokuvauksessa muutoksen voi korjata helpoiten säätämällä valotusaika sopivaksi. Jos valotusajan haluaa pitää samana, pitää objektiivin eteen hankkia harmaasuodin.



Kuvio 29. 15mm f1.8, etäisyys 169 cm, DOF 0,46 m
Panasonic HPX 3000 Canon 4.3 x 15, DOF



Kuvio 30. 15mm f4 Panasonic, etäisyys 169, DOF 1,12m
HPX 3000 Canon 4.3 x 15



Kuvio 31. 15mm f16 Panasonic, etäisyys 169, DOF 0,92m ∞
HPX 3000 Canon 4.3 x 15

Taulukko 7.

Aukkoarvon vaikutus syvyysterävyyteen								
etäisyys kohteeseen 1,69m, polttoväli 15mm								
aukko	1,8	2	2,8	4	5,6	8	11	16
Front Depth	0,20	0,22	0,29	0,39	0,5	0,63	0,76	0,92
Far Depth	0,26	0,30	0,45	0,73	1,23	2,54	8,04	∞
DOF	0,46	0,52	0,74	1,12	1,73	3,17	8,80	∞

Syvyysterävyyden alueen muutos on suurilla aukoilla aluksi aika maltillinen, kunnes aukkoarvolla f:16, objektiivi on hyperfocal-tilassa. Aukko-arvolla voidaan merkittävästi muokata syvyysterävyyden aluetta. Mitä suurempi aukko on objektiivissa, sen huolellisempi pitää olla tarkentamisessa, koska syvyysterävyyden alue on pieni.

5.4 Kuvakennon vaikutus syvyysterävyyteen ja polttoväliin

Aikaisemmista kuvista ja taulukoista voisi päätellä, että keinoja syvyystarkkuuden hallintaan on tarpeeksi. Vaikka esimerkikuvissa tausta ei ole enää tarkka, sen pystyy useimmiten hyvin hahmottamaan. Kuvaaja ei pysty edelleen toteuttamaan ohjaajan toiveita pienestä syvyysterävyydestä sisätiloissa. Lähemmäksi kohdetta ei voi mennä, jos halutaan säilyttää kuvakoko, koska silloin pitää muuttaa polttoväliä pienemmäksi, joka kasvattaa syvyysterävyydsaluetta, ja lisäksi optiikka silloin vääristää kasvoja. Kamerassa on suurin mahdollinen aukko, mutta tausta on edelleen liian selkeä. Ohjaaja haluaa elokuvamaista ilmaisuja, muuttaa taustan melkein väri- ja valopinnoiksi, ja ihmettelee miksi se ei onnistu kalliilla televisiokameralla. Jopa edullinen valokuvakamera pystyy helposti häivyttämään taustan. Kuvaaja voi levittää edelleen kätensä, tai sitten ehdottaa toisenlaista kuvauskalustoa. Samat mahdollisuudet syvyysterävyyden hallintaan, mitkä ovat olleet pitkään valokuva- ja elokuvakameroissa, ovat nyt tulossa televisiotuotantoihin. Kuva-ala, jolla on ratkaiseva merkitys syvyysterävyyden hallinnassa, on televisiokameroissa ollut suhteellisen pieni. Suuntaus, ja kova kiinnostus on nyt kameroihin, joissa on samankokoinen kuvakenno kuin elokuvakameroissa. Kameranvalmistajat ovat jokainen tuoneet markkinoille uusia suurikokoisia malleja, jotka ovat muuttamassa kuvallista ilmaisuja televisiotuotannoissa.



Kuvio 32. Kameralla, jolla kuva on otettu, kuvakenno on huomattavasti suurempi kuin televisiokamerassa, jossa se on 2/3". Vaikka polttoväli on 24 mm, tausta on enää väripinta, jota ei voi hahmottaa. Panasonic Lumix DMC GH2, Canon FD 24mm, F:1.4

5.4.1 Kuvataso ja kuvakenno

Aihe on hyvin laaja, ja opinnäytetyössäni käsittelen vain hyvin yleisesti eri kuvatasoja, syvyysterävyuden hallinta pysyy pääasiana. Valonsäteet, jotka tulevat objektiivin läpi, piirtävät kohteesta terävän kuvan kameran kuvatasolle, joka voi olla filminpinta tai sähköisesti valoa rekisteröivä alue, eli kuvakenno. Filmiä kuvan tallennusvälineenä on käytetty yli vuosisadan ajan, niin valo- kuin elokuvauksessa, ja useita filmikokoja on kehitetty markkinoille.

Televisiokamerat olivat aluksi analogisia. Kuvaputki, johon objektiivin läpi tullut kuva heijastui, muuttivat valonsäteet sähköiseksi signaaliksi. Värikameroissa oli jokaiselle kolmelle päävärille oma kuvaputkensa, joihin valonsäteet tulivat eri valotaajuuksia suodattavan prisman läpi. Kukin valolle herkkä putki vastaanotti vain oman pääväriinsä valoisuusarvot. Nykyisin kuvaputkien tilalla on kuvakenno, joka on suorakaiteen muotoinen alue, jossa ruudukossa on suuri määrä valolle herkkiä mikropiirejä.

Televisiokameroissa on edelleen käytössä järjestelmä, jossa prisma jakaa päävärit kolmelle kuvakennolle, joissa valoisuusarvot muuttuvat kamerassa digitaaliseksi tiedoksi. Kameroissa ei siksi ole selkeätä yhtä kuvatasoa, joka on myös otettu objektiivien suunnittelussa huomioon. Televisiokameran objektiivia ei voi laittaa elokuvakameraan, koska niissä on vain yksi kuvataso, kaikki värit toistuisivat hiukan väärään kohtaan. Vaikka prismassa puoliläpäisevät peilit ovat kiinteässä paketissa, lämpötilan muutokset voivat hiukan muuttaa optisia ominaisuuksia. Siksi back focus säätö objektiivissa, kalibroi sen toimimaan optisesti moitteetta kameran kanssa.

Digitaalisissa valokuvakameroissa, jotka nyt ovat yleisesti käytössä, on kolmen sijaan vain yksi kuvakenno, jossa on samassa kaikille väreille reagoivat mikropiirit. Filmille suunnitellut valokuvausobjektiivit sopivat siksi hyvin optiikkansa puolesta myös digitaalisiin valokuvakameroihin. Digitaaliset tai filmiä käyttävät elokuvakamerat käyttävät yhtä kuvatasoa, kennoa. Siksi vanha objektiivi, jos piirtoympyrä on oikea, sopii optisesti digitaaliseen elokuvakameraan.

5.4.2 Erilaiset kuvakennot ja niiden edut ja haitat

Kuvakennon valoa vastaanottavat mikropiirit, joita HD kamerassa on yli kaksi miljoonaa, vastaavat ihmissilmän verkkokalvon väreille herkkiä tappisoluja, joita on noin viisi

miljoonaa kummassakin silmässä. Valon energia aiheuttaa tappisuluissa sähkökemiallisen reaktion, valo muuttuu sähköiseksi tiedoksi niin kuin nykyisissä digitaalisissa kameroissa. Kuvakenno reagoi valoon sähköisesti, mutta periaate on sama kuin näköäistin.

Ensimmäinen kuvakennotyyppi CCD, charge-coupled device, kehitettiin 1960-luvulla ja siitä merkittävästi parannetut mallit ovat edelleen käytössä. Kuvakennon kehittäjät, Willard Boyle ja George E. Smith, saivat tärkeästä keksinnöstään Nobelin palkinnon vuonna 2009. Laadukkaaseen kuvaan pystyvän CCD-kennon suurin käytännön haitta on sen suuri virrankulutus. Varsinkin jos kennoja on kolme, kamera vaatii hyvin tehokkaan akun, jotta se toimisi riittävän pitkään.

Valokuvakameroissa on nykyään pääasiassa CMOS-kenno, Complementary Metal-Oxide-Silicon, joka myös on tulossa video- ja elokuvakameroihin. Sen etuna on taas pieni virrankulutus. Kennot ovat kehittyneet paljon, ja kuvausominaisuudet hämärässä ovat hyvät. Rakenne on yksinkertaisempi CCD-kennoon verrattuna, ja valmistuskustannukset siten edullisempia. Suuri haitta on rolling shutter- ilmiö, missä kennon kaikki mikropiirit, pikselit, eivät valotu samanaikaisesti, toisin kuin CCD-kennon kameroissa, ja filmille kuvatessa.

5.4.3 Rolling shutter ja global shutter.

Kenno aloittaa valon rekisteröinnin ensin yläreunasta, päättyen lopuksi kuva-alan alimmaisiiin pikseleihin. Tämä tapahtuu hyvin lyhyessä ajassa, videokuvauksessa alle sekunnin viideskymmes osassa. Jos kuvataan nopeasti liikkuvaa kohdetta, kuten ohi ajavaa autoa, sen yläreuna on kallistunut taaksepäin, koska tämä alue on valottunut ensin. Nopeissa valonmuutoksissa, kuten vilkkuvaloissa tai salamoinnissa, osa kuvasta valottuu eri tavalla, sen poikki menee ikävän näköinen palkki. Kamera ei ole ehtinyt rekisteröimään nopeata valotilanteen muutosta. Tämän ilmiön takia osa elokuvantekijöistä on vierastanut kameroita, joissa on CMOS kenno ja rolling shutter. Uusissa malloissa virhettä on pystytty korjaamaan. Kennossa, joka valottaa kuvainformaation yhdellä kertaa, on global shutter ominaisuus. (Juniper, Newton 2011, 78–79.)



Kuvio 33. Rolling shutter ongelma. Salamointi on kuvattu videona still-kameralla, jossa on rolling shutter. Valotilanteen muutos on ollut niin nopea, ettei kenno ole ehtinyt päivittymään mukana. Panasonic Lumix DMC GH2, Canon FD 24mm, F:1.4

5.4.4 Eri kuvataso- ja kennokokoja

Yhden filmiruudun koko on usein vertailukohta myös sähköisille kameroille. Yleisin koko on aiemmin mainittu 35 millimetrin filmi, jota käytetään pystysuuntaisesti elokuva-uksessa, kuva-ala on silloin suurimmillaan 24,9 x 14 millimetriä. Valokuvauksessa filmiä käytetään vaakasuuntaisesti, jolloin yksittäinen ruutu 36 x 20,3 millimetriä, eli huomattavasti suurempi. Taulukossa on yleisimmät kuva-alan koot, mitä liikkuvaa kuvaa tekevissä kameroissa on, sekä joitakin kameramalleja eri järjestelmistä. Joukossa on joitakin digitaalisia valokuvauskameroita, jotka soveltuvat videokuvaukseen. Taulukon reunimmainen crop-arvo, on tärkeä, kun nopeasti haluaa laskea eri järjestelmien polttovälivastaavuuden, verrattuna 135- filmikokoon, eli 35 millimetrin still-kameraan, josta käytetään myös ilmaisua täysi kennokoko.

Taulukko 8.

Kenno/kuvaportti	esimerkkejä kameramalleista	koko, mm (video 16:9)	halkaisija mm	Crop
1/3" (tuumaa)	Panasonic AGHPX171, AG HPX250 Canon XF 305	5,2 x 2,9	6	6,9
1/2" (tuumaa)	Sony PMV 200	7 x 3,9	8	5,2
2/3" (tuumaa)	television nykyinen monikamera- ja yksikamera-tuotantojen standardi, esim. Panasonic HPX3000	9,6 x 5,4	11	3,8
Super 16 filmi	Arriflex 416	11,9 x 6,7	13,7	3
DCC digital cinema cam.	Black Magic DCC	15,8 x 8,9	18,4	2,3
Mircro Four Thids, myös lyhenteet: MFT, M43	Panasonic AF100, Panasonic GH2/GH3, Olympus PEN	17,8 x 10	20,1	2,1
APS-C	Canon 7D / Canon 60D	22,6 x 12,5	26,8	1,5
APS-C	Sony Nex5/7, Nikon D3100	23,4 x 15,6	26,8	1,5
Super 35 Sensor	Sony F55	22,6 x 13,1	22,6	1,6
Super 35 Sensor	Sony F65	23,3 x 13,1	23,3	1,5
Super 35 Sensor	Arri Alexa	23,8 x 13,4	27,8	1,5
Super 35 mm filmi	Panavision XL2	24,9 x 14	28,5	1,4
Super 35 Sensor	Red Epic	25,9 x 14,5	29,7	1,4
35 mm full frame	Nikon D800	32,8 x 18,4	37,6	1,1
35mm still, täysi kennokoko	canon 5D Mkii / Mkiii	36 x20,3	41,3	1
70m filmi (65mm),	Arriflex 765 Vision research Phantom 65 gold, digitaalinen elokuvakamera	52,1 x 30,5	58,7	0,64

5.4.5 Kuvakennon vaikutus polttoväliin

Erikokoisia kuvatasoja on paljon. Jokaiselle kuvatasolle, kennolle, on myös suunniteltu omat objektiivinsa, joille on oikeankokoiset piirtoympyränsä ja polttovälinsä. Pienikennoiselle kameralle pitää olla lyhyen polttovälin objektiivi, joka heijastaa kuvan kohteesta riittävän suppealle alueelle. Suurempi kenno ei tarvitse niin laajakulmaista objektiivia, koska pidemmällä polttovälillä kennolle heijastuu suurempi kuva. Sama polttoväli eri kennokoon kameroissa muuttaa kohteen kokoa, eli antaa vaikutelman polttovälin muutoksesta. Jos kaksi kameraa on vierekkäin yhtä kaukana kohteesta, joista ensimmäisessä on täyden kennon kamera 50 millimetrin objektiivilla, ja toisessa on 2/3 tuuman kenno ja saman polttovälin objektiivilla, kuvakoot ovat aivan erilaiset.

Taulukosta näkee, että 2/3 tuuman kennossa, halkaisija on miltei neljä kertaa pienempi kuin vertailukamerassa. Pienemmän kennon kamerassa polttovälin pitäisi olla melkein neljä kertaa lyhyempi, jos kohde halutaan samankokoisena kuvakennolle. Taas päinvastoin, objektiivi 50 millimetrin polttovälillä, onkin miltei 200 millimetrinen 2/3 tuuman kennolle. Taulukon viimeisestä sarakkeesta, missä on crop-arvo, on helppo laskea polttovälivastaavuus. Objektiivin polttoväli kerrotaan kunkin kennokoon crop-arvolla, jolloin saadaan polttovälivastaavuus täyden kennokoon kanssa.

Kappaleessa 4.3.3 mainitsin, että piirtoympyrä voi olla kuvatasoa suurempi. Objektiivi, jossa on 50 millimetrin polttoväli täyden kennokoon piirtoympyrällä, voidaan laittaa esimerkiksi Micro Four Thirds kameraan, jossa kennon halkaisija on yli puolta pienempi. Kennolle piirtyy objektiivin heijastamasta kuvasta vain keskialue, joka tässä esimerkissä on noin kaksi kertaa pienempi kuin piirtoympyrän halkaisija. Toisin sanoen, verrattuna täyden kennon kameras ottamaan kuvaan, MFT-järjestelmä näyttää vain puolet kuva-alasta. Syntyy vaikutelma, että on siirrytty lähemmäksi kohdetta, eli polttoväli on kasvanut kaksinkertaiseksi. Polttoväli on aina sama riippumatta siitä, minkä kennokoon kameraan objektiivi kiinnitetään. Kun suuremman piirtoympyrän objektiivin laittaa pienempikennoiseen kameraan, se rajaa kuvaa ja syntyy vaikutelma polttovälin kasvamisesta.

Syvyysterävyysalue ei voi muuttua, koska kuvakenno ei voi muuttaa objektiivin optisia ominaisuuksia. Tilanne olisi sama kuin suurentaisi valokuvaa, joka on paperilla tai tietokoneen näytöllä, ja syvyysterävyys alkaisi muuttua. Tilanne, josta käytetään vain osa objektiivin piirtämästä kuvasta, ei heikennä kameras kuvan laatua. Kenno ei suurena

kuvaa, vaan rajaa osan pois. Vaikka kenno on pienempi, siinä voi olla yhtä paljon kuvapisteitä kuin täyden kennokoon kamerassa, eli erottelukyky voi olla varsin hyvä.



Kuvio 34. Ulompi kuvan rajaus on otettu MFT kameralla, 24 millimetrin objektiivilla jossa on täyden kennon piirtoympyrä. Täysi kennokoko on 2,1 kertaa suurempi kuin MFT järjestelmässä. Kennolle on tallentunut vain puolet objektiivin heijastamasta kuvasta. Kuvakoko olisi täyden kennokoon järjestelmässä paljon suurempi, eli ympäristöä näkyisi enemmän. Jos saman objektiivin saisi sovitettua videokameraan, jossa olisi 2/3 tuuman kenno, joka on taas kaksi kertaa pienempi kuin MFT- kamerassa, kuvaa rajautuisi vielä enemmän pois. Kaikissa kolmessa tilanteissa syvyysterävyys ei muutu mitenkään, se vastaa 24 millimetrin objektiivilla, ja täyden kennokoon kameralla otettua kuvaa.

5.4.6 Kameran kuvakulma polttovälin sijaan

Eri kennokoon kameroita on hankala verrata keskenään polttovälien perusteella, koska se vaatii kertoimien käyttöä, ja niiden tarkan arvon tietämistä. Siksi televisio- ja elokuvatuotannoissa on suurta hyötyä yhdestä lukemasta, josta heti ilmenee, minkälaisen kuvan kamera tekee kuvakennon koosta ja polttovälistä huolimatta. Käänteisesti, luvulla voidaan ilmaista tarkkaan se, minkälaista kuvaa haetaan. Kuvakulma on täsmällinen yhteinen määritelmä kaikelle kuvauskalustolle. Yleisesti täyden kennon kameroissa (35 mm. still) käytetään 50 millimetrin vakio-objektiivia, jonka kuvakulma on 40,3 astetta vaakasuuntaisesti. Pystysuuntaista kuvakulmaa televisio- ja elokuvatyössä ei käytetä, koska kamera harvemmin on pystysuunnassa. Taulukossa on joitakin yleisesti käytettyjä polttovälejä, ja niiden vastaavat kuvakulmat eri kuvakennoille.

Taulukko 9.

<u>Kuvakulma (horizontal)</u>					
polttoväli, mm	2/3" 16:9	1/2"	1/3"	35mm filmi	35mm still, täysi kenno
3	115,99	93,70	77,32	149,56	161,08
4	100,39	77,32	61,93	140,92	154,94
5	87,66	65,24	51,28	131,21	148,95
6	77,32	56,14	43,60	122,89	143,13
7	68,88	49,13	37,85	115,18	137,50
8	61,93	43,60	33,40	108,07	132,08
9	56,14	39,15	29,86	101,55	126,87
10	51,28	35,49	26,99	95,48	121,84
13	40,53	27,66	20,92	80,60	108,32
14	37,85	25,75	19,46	76,44	104,25
21	25,75	17,33	13,04	55,40	81,20
35	15,62	10,45	7,85	34,97	54,43
50	10,97	7,32	5,50	24,87	39,60
80	6,95	4,64	3,48	18,89	25,67
107	5,14	3,43	2,57	11,77	19,10
130	4,23	2,82	2,12	9,70	15,77
200	2,75	1,83	1,38	6,32	10,29
296	1,86	1,24	0,93	4,27	6,96
400	1,38	0,92	0,69	3,16	5,15

Taulukosta näkee esimerkiksi, että täyden kennon kamerassa, jossa on 80 millimetrin polttovälin objektiivi, on 25,7 asteen kuvakulma. Sama kuvakulma saadaan 2/3 tuuman kamerassa objektiivilla jossa on 21 millimetrin polttoväli. Tästä voi päätellä, että polttovälivastaavuus on 2/3 kennolla noin neljä kertaa pienempi verrattuna täyden kennon kameraan.

5.4.7 Kuvakennolla suuri vaikutus kuvan syvyysterävyyteen

Kahdella täysin erilaisella kameralla voi olla sama kuvakulma, eli molemmilla saa samanlaisen kuvakoon kohteesta, esimerkiksi puolilähikuvan. Kuvien luonne voivat kuitenkin poiketa toisistaan huomattavasti. Suuri näkyvä ero voi olla syvyysterävyydessä. Aiemmin mainitulla kuvaajalla on edelleen suuria vaikeuksia toteuttaa televisio-

ohjaajan toivetta pienestä syvyysterävydestä ahtaissa tiloissa. Kaikki keinot on käytetty televisiokamerassa, jossa on 2/3 tuuman kenno. Valovoimaisessa objektiivissa on suurin mahdollinen aukko, polttoväliä on hiukan pidennetty kuvakoon kustannuksella, mutta tausta on edelleen liian tarkka. Markkinoille on viimeisten vuosien aikana tulleet suurikennoisia kameroita, jollaisen kuvaaja saa käyttöönsä. Syvyysterävyysalue muuttuu huomattavasti pienemmäksi. Miten se on mahdollista?

Polttoväli on ollut 2/3 tuuman kennon kameran objektiivissa 13 millimetriä, josta saadaan laskettua 40 asteen kuvakulma. Vaihtuvapolttovälisessä objektiivissa aukkolukema f:1.8 eli suurin mahdollinen. Täyden kennokoon digitaalisessa valokuvauskamerassa, jossa on videokuvauksominaisuus, on 50 millimetrin valovoimainen f:1.4 objektiivi, joka vastaa myös 40 asteen kuvakulmaa. Molemmilla kameroilla saadaan samalta etäisyydeltä yhtä suuri kuvakoko, toisen kameran polttoväli on vain paljon pidempi. Pienempikennoisessa kamerassa objektiivin polttoväli on 13 millimetriä, joka on melko lyhyt. Laajakulmainen objektiivi kasvattaa syvyysterävyttä. Toisessa kamerassa objektiivin polttoväli on miltei neljä kertaa pidempi, ja syvyysterävyysalue on silloin huomattavasti pienempi. Molemmissa kameroissa on suunnilleen yhtä valovoimaiset objektiivit. Jos pienempikennoiseen haluttaisiin sama syvyysterävyysalue, aukkolukeman pitäisi olla f:0.4, eikä sellaista objektiivia olemassa.

5.4.8 Käytännön esimerkki

Kuvat, tässä tapauksessa kuvakaappaukset videomateriaalista, havainnollistavat hyvin miten pieni syvyysterävyys vaikuttaa kuvan ilmeeseen. Paikka, missä testikuvat on otettu opinnäytetyötä varten, on Ylen studiotalossa, studioiden yläpuolella oleva pieni 4x7m kuvaustila. Viikoittain esitettävän YLE5 kanavan Pixel- kulttuurimakasiiniohjelman juonnot kuvataan tässä tilassa.

Kuvat oli otettu juuri kuvausten jälkeen, jolloin lavasteet olivat vielä paikallaan, ja juontajilla, Stefan Brünov ja Pia-Maria Lehtola, oli hetki aikaa testikuvien tekoon.

Ohjelman suunnitteluvaiheessa on päädytty mahdollisimman pienen syvyysterävyysalueen toteuttamiseen juontojen kuvauksissa. Pienen tilan takia lähellä olevat taustakangas ja lavasteet muuttuvat epätarkoiksi, luoden illuusion suuremmasta tilasta kuin todellisuudessa. Moni vierasta on nähnyt ohjelman ennen saapumistaan haastatelta-

vaksi. Useimmat haastateltaviksi tulleista vieraista, jotka ovat nähneet ohjelman aikaisemmin, ovat olleet hämmästyneitä pienestä kuvaustilasta. Illuusio on toiminut hyvin.

Tavallisella televisiokameralla, jossa 2/3 tuuman kenno, vaadittua pientä syvyysterävyyttä ei olisi saavutettu. Ohjelman juontoja on nyt neljä kautta kuvattu täyden kennoon digitaalisella valokuvakameralla jossa on videokuvauksominaisuus. Kiinteäpolttovälinen objektiivin polttoväli on 50 millimetriä, ja f:1.4 on suurin aukko. Kamerassa itsessään on huonot äänitysmahdollisuudet, ja siksi käytetään erillistä tallenninta ääntä varten. Kuva ja ääni yhdistetään sitten leikkausvaiheessa, erillisellä apuohjelmalla.

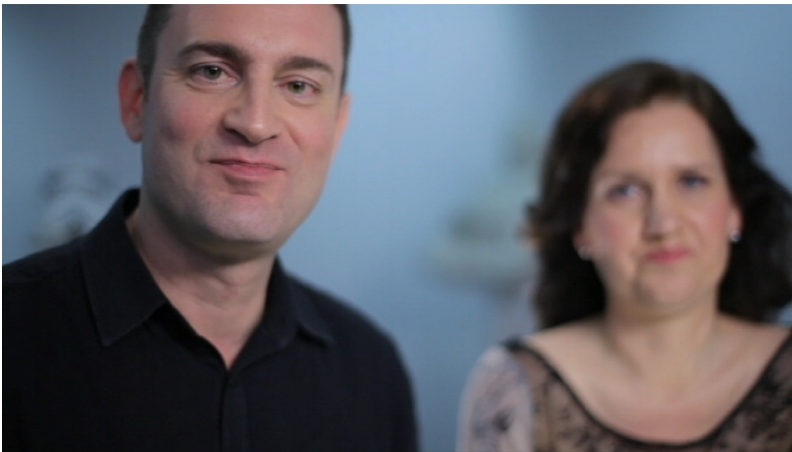
Kuvasarjassa vertailukamerana on televisiokamera jossa on 2/3 tuuman kenno, jonka muuttuvan polttovälin objektiivi on säädetty 13 millimetriin. Kuvakulma on molemmilla kameroilla nyt sama, sekä etäisyys kuvattaviin. Kuvaustilan valot on tehty suurikennoiselle kameralle, siksi vertailukameran valotus ei ole aivan kohdallaan. Suurin aukko vaati harmaasuotimia, jonka jälkeen kuva on hiukan alivalottunut. Testeissä oli tärkeintä tutkia eroja syvyysterävyyksissä, jotka ovat huomattavia. Etäisyydet kohteeseen eivät aivan täsmää, mutta ne ovat riittävän tarkkoja näyttämään eroavaisuudet kameroiden välillä.



Kuvio 35. Tarkennettu etäisyys on 0,89m. Syvyysterävyyalue: 0,37m
Panasonic HPX 3000, Canon J7.8x15 ias, f:1.8



Kuvio 36. Tarkennettu etäisyys on 0,89m. Syvyysterävyysalue: 0,032
Canon 5DMkii, Zeiss Planar 50mm f:1.7



Kuvio 37. Tarkennettu etäisyys on 0,89m. Syvyysterävyysalue: 0,025m
Canon 5DMkii, Zeiss Planar 50mm f:1.4

Sarjan ylimmässä kuvassa (kuva 8) on pienin mahdollinen syvyysterävyysalue, mihin pienempikennoinen kamera pystyy 40 asteen kuvakulmalla, kun kohteen koko on puoli-lähikuva. Tarkennusetäisyys on vielä lähempänä olevaan juontajaan. Seuraavassa kuvassa on sama kuvakulma ja -koko, joka otettu suurikennoisella kameralla. Tarkennusetäisyys ja aukko-arvo ovat samat kuin 2/3 tuuman kamerassa. Jo tietoa ilman syvyystarkkuuslaskelmia, havaitsee kuvassa selkeän eron. Sarjan ensimmäisessä kuvassa taustan lavasteet ovat epätarkkoja, mutta ne ovat vielä hyvin hahmotettavissa. Molemmat juontajat näkyvät suhteellisen tarkkoina, vaikka etäisyys on säädetty Stefaniin. Suurempikennoisen kameran kuvassa Pia-Maria on selvästi epätarkka. Vaikka taustan lavasteet näkyisivät kokonaan, niitä olisi hyvin epätarkkoina hankala hahmottaa. Kiinteäpolttovälisessä 50 millimetrin objektiivissa on f:1.4 valovoima. Kuvassa 10, syvyysterävyysalue on saatu vielä hiukan pienemmäksi täydellä aukolla.



Kuvio 38. Tarkennettu etäisyys on 1,02m. Syvyysterävyysalue: 0,033m
 Canon 5DMkii, Zeiss Planar 50mm f:1.4

Suurikennonisen kameran kuvassa (kuva 11) on sama kuvakoko ja suurin aukko. Vaikka objektiivi on tarkennettu Pia-Mariaan, eli etäisyys kohteeseen on kasvanut, taustan lavasteet ovat tuskin tunnistettavia. Stefan on selkeästi epätarkka.



Kuvio 39. Tarkennettu etäisyys on 1,59m
 Syvyysterävyysalue: 1,27m
 Panasonic HPX 3000, Canon J7.8x15 ias, f 1.8



Kuvio 40. Tarkennettu etäisyys on 0,89m. Syvyysterävyysalue: 0,025m
Canon 5DMkii, Zeiss Planar 50mm f:1.4

Kameroissa on pidetty sama kuvakulma, ja etäisyyttä on lisätty, jolloin kuvakoko on hiukan suurempi, miltei puolikuva. Pienempikennoisen kameran kuvassa tausta näyttää jo hyvinkin terävältä, myös laskutoimitusten mukaan syvyysterävyysalue lähenee lavasteita. Kuvaustila näyttää kutistuneen, koska tausta tuntuu olevan lähellä juontajia. Vaikka kuvakoko on suurempi, täyden kennon kameran kuvassa tausta on edelleen selkeästi epätarkka. Illuusio todellista suuremmasta kuvaustilasta on säilynyt. Taulukossa on vielä yhteenveto esimerkkitalanteesta. Suurikennon kameran syvyysterävyysalue on huomattavasti pienempi. Pienempikennoisen kameran kuvat on otettu SD-tasoisena.

Taulukko 10.

kuvakoko ja tarkennusetäisyys	35mm still, f:1,4	35mm still, f:1,8	2/3" SD f:1,8	2/3" HD f:1,8
Puolilähikuva 0,89 m	0,025	0,032	0,37	0,17
Puolilähikuva 1,02 m	0,033	0,043	0,49	0,22
Puolikuva 1,59 m	0,082	0,11	1,27	0,55

5.5 Bokeh

Käsite on aika uusi, vaikka ilmiö on ollut valokuvauksessa jo sen alkuvaiheessa. Nimi tulee japaninkielisestä sanasta *boke*, tarkoittaen sumua, usvaa. Englanninkielinen vastine *bokeh* tuli tunnetuksi 1997 *Photo Techniques* lehden artikkelissa päätoimittaja

Mike Johnston:in tekemänä. Ilmiö on jonkin verran arvaamaton ja hankalahko hallita, ja sillä voi kuitenkin olla suuri vaikutus siihen, miten katsoja kokee kuvan esteettisesti. Bokeh on kuvan tarkan kohteen ulkopuolisten alueiden sumeuden, utuisuuden tai pehmeiden laatu, epäterävän alueen kokeminen miellyttävänä. Hyvin valovoimainen objektiivi, suurin aukko, pitkäkö polttoväli, riittävä etäisyys ja suuri kuvataso tekevät taustasta mahdollisesti miellyttävän pehmeän. Valopisteet, kuten valaisinrivistö, pienet koristevalot, tai lehvistö läpi tuleva auringonvalo, tarkennusalueen ulkopuolella voivat muuttua suuriksi pehmeäreunaisiksi ympyröiksi. Teräväreunaista ympyrää ei koeta miellyttäväksi. Himmentimessä olevien lehtien, metallilevyjen määrä, vaikuttaa kehän pyöreyyteen, yli kahdeksalla voidaan saada aikaiseksi kaunis bokeh. Jos tuntee ja hallitsee ilmiön, sitä voi hyödyntää kuvan sommittelussa, ja huono tausta kohteen takana voi muuttua mielenkiintoiseksi ja miellyttäväksi. Kuva voi myös kauttaaltaan olla epä-tarkkojen valo- ja värialueiden kaunis sommitelma, vaikka liikkuvassa kuvassa.



Kuvio 41. Haastateltava istuu hotellin käytävällä, jossa on valorivistö. Pehmeä tausta, ja laajentuneet valo-alueet, sekä ympyröiksi laajentuneet valopisteet muuttavat arkisen ympäristön aika mielenkiintoiseksi. Objektiivissa on yhdeksän himmenninlevyä. Yle5, Pixel. Canon 5D Mkii, Zeiss Planar T 50mm, f:1.4



Kuvio 42. Kohteista yli kymmenen metriä takana olevat pienet koristevalot muuttuvat kuvassa valomereksi. Yle5, Pixel. Canon 5D Mkii, Zeiss Planar T 50mm, f:1.4

6 Ihmisen näköaistin vertailu kameraan

Ihmisen silmää voidaan verrata kameraan, molempia koskevat samat optiset lainalaisuudet. Lähelle tarkennettu kohde muuttaa taustan epätarkaksi niin kamerasiiktiivissa kuin silmässä. Digitaalisen kamerasiiktiivin kuvakenno muuttaa valoenergian sähköiseksi tiedoksi samalla tavoin kuin silmässä verkkokalvon tappi- ja sauvasolut sähkökemiallisessa reaktiossa. Silmä optisena elimenä ei kamerasiiktiivin verrattuna ole kovin kummainen, valtava ero on näköaistin kyvyssä käsitellä aivoissa kuvallista tietoa, ja verrata sitä aikaisempiin kokemuksiin. Aivotointojen tutkiminen ja mittaaminen näkemisessä on hankalampi mitata. Tutkimusmenetelmät ja välineet ovat kehittyneet viimeisten vuosikymmenien aikana. Ihmisaivojen toimintoja ja sairauksia tutkiva tieteenala neurotiede, on julkaistujen artikkeleiden määrässä ohittanut tähti- ja tietojenkäsittelytieteen. Ihmisaivojen toiminnan ymmärtäminen onkin tieteen ja ihmiskunnan suuria haasteita. Tiedon lisääntyessä, ymmärretään myös paremmin näkemiseen liittyvät aivojen prosessit.

6.1 Ihmissilmän optiset ominaisuudet

Silmän polttoväli on laskettavissa linssin, eli mykiön, etäisyydestä kuvatasoon, eli verkkokalvoon. Silmä on täynnä nestettä, joka muuttaa optisia ominaisuuksia ilmaan verrattuna. Silmän halkaisija on noin 22–24 millimetriä, verkkokalvo on kaareva, ja valoa vastaanottavat solut eivät ole jakaantuneet tasaisesti. Valoon reagoivia sauvasoluja on huomattavasti enemmän ja laajemmalla alueella. Siksi molempien silmien yhteinen kuvakulma on hyvin laaja, noin 130 astetta, mikä vastaa kalansilmäobjektiivia. Laajan näkemisen alue on epätarkka ja monokromaattinen, eli yksivärinen. Näköaisti tunnistaa liikkeen täältä alueelta, mistä vieläkin ihmisille voi olla jopa pelastava hyöty. Tappisolut ovat keskittyneet verkkokalvon takaosaan. Pienellä alueella, silmän takaosassa optisella akselilla, on pieni syvennys, verkkokalvon keskikuoppa, missä on ainoastaan tappisoluja. Syvennys on muodoltaan ihanteellinen mykiön heijastamalle kuvalle. Tarkin värillinen kuva muodostuu tällä pienellä alueella, ja muuttuu sähköiseksi signaaliksi aivojen näkökeskuksen käsiteltäväksi, missä optinen kuva kääntyy oikeinpäin.

6.1.1 Objektiivi ja kuvakenno joka vastaavat ihmissilmää.

Sähköisesti tallentavassa kamerassa ja ihmissilmässä on sama toimintaperiaate. Kuvakenno tai verkkokalvo, vastaanottavat optisen järjestelmän läpi tulleet valonsäteet, jotka muuttuvat sähköiseksi kuvatiedoksi. Kuvakenno on suorakaiteen muotoinen, ja valoa vastaanottavat mikropiirit ovat jakaantuneet tasaisesti koko alueelle. Ihmissilmässä on tarkan näkemisen alue, macula lutea, jossa on pieni pyöreä halkaisijaltaan puolentoista millimetrin kokoinen tarkimman näkemisen alue, verkkokalvon keskikuoppa, fovea centralis retinae. Alueen keskellä on halkaisijaltaan 0,2 millimetrin kokoinen alue jossa ainoastaan tappisoluja. Kuvakulma kaikkein tarkimmalle näkemiselle on vain muutamia asteita. Verkkokalvon keskikuoppa käyttää kuvainformaation käsittelyyn puolet aivojen näkökeskuksen alueesta.

Ihmissilmän optiikka taittaa valoa melko voimakkaasti, eli polttoväli on silloin melko lyhyt. Silmän etukammio taittaa valoa voimakkaasti, jonka jälkeen muotoaan muuttava mykiö hienosäätää optisen kuvan tarkaksi halutusta kohteesta. Kaiken kaikkiaan valon taittovoimakkuus on noin 60 diopteria, ja silmän polttoväli on noin 17 millimetriä. Keskeinen näkökenttä on noin 40 - 60 astetta, alue jonka ihminen pystyy kerallaan näkemään ilman silmien liikuttamista. Täysikokoisen kennon kamerassa ihmisen näkökent-

tää vastaisi tarkimmin 43 millimetrin normaaliobjektiivi, jossa polttoväli vastaa täyden kennon halkaisijan pituutta. Ihmissilmällä voisi tästä päätellen olla pienempi ”kuvakenno” jonka polttovälikerroin olisi 2,5. Ihmisen näkö aistii valoa kuitenkin paljon laajemmalta alueelta, toisin epätarkkana. Toisaalta erittäin tarkka näkemisen alue on hyvin kapea. Ihmissilmä kameran optiikkaan verrattuna ei ole kovin laadukas. Tilanne tosin muuttuu heti, kun silmät kohdistetaan uuteen kohteeseen.

6.1.2 Ihmissilmän valovoima.

Ihmissilmän valovoima lasketaan samalla tavalla kuin linssin ja kameran objektiivin, eli linssin halkaisija jaettuna polttovälillä. Lihakset supistavat ja laajentavat silmän värikalvossa oleva mustuaista, eli pupillia, joka vastaa objektiivin himmennintä. Koko vaihtelee halkaisijaltaan kahden ja kahdeksan millimetrin välillä. Jos silmän polttoväli on noin 17 millimetriä, silmän valovoima vaihtelee aukkoarvojen $f:2,1 - f:8,5$ välillä. Silmän valovoima ja kyky muuntautua eri valoisuusmuutoksiin vaikuttaisi olevan vaatimaton verrattuna objektiivin. Kamera ei kuitenkaan pysty mitenkään samalla tavalla reagoimaan eri valoenergioiden määrään kuin ihmissilmä, joka pystyy reagoimaan jopa yhteen ainoaan pienimpään valoyksikköön, eli fotonin. Kirkkaassa päivänvalossa valomäärän muutos on biljoonakertainen.

Hämärässä silmän pupilli laajenee, jolloin silmään tuleva valon määrä kasvaa jopa 30-kertaiseksi. Verkkokalvon valoa vastaanottavissa sauva- ja tappisoluisissa tapahtuu kemiallisia muutoksia. Valoon reagoivien pigmenttimolekyylien määrä kasvaa, ja solut herkistyvät enemmän valolle. Tappisolujen väriaine uusiutuu noin 5—10 minuutissa, ja sauvasolut muuntautuvat hitaammin. Muutos, eli adaptaatio on nopeinta ensimmäisten kymmenen minuutin aikana. Täydellisesti silmät ovat sopeutuneet hämäärään puolessa tunnissa. Luonnonoloissa valomuutokset ovat hitaita, siksi auringonlaskuun aikana silmä ehtii hyvin sopeutua hämäärän tuloon. Kun ihminen tulee kirkkaaseen valoon, pupillit supistuvat voimakkaasti. Verkkokalvon solut ärsyyntyvät hetkeksi, kunnes valopigmentit ovat hävinneet valon vaikutuksesta. Muutoksen jälkeen, joka kestää vain kymmeniä sekunteja, silmät reagoivat vain voimakkaaseen valoon, eli herkkyys on vähentynyt.

6.2 valikoiva tarkennus

Kameralla voidaan hallita syvyysterävyysaluetta monipuolisesti. Se voi rajoittua vain muutamaan senttimetriin, tai olla miltei ääretön. Ihmissilmä ei samalla tavalla voi hallita

syvyysterävyysaluetta, koska silmän sopeutuminen eri valomääriin ei ole tahdonalaista. Ihminen ei voi päättää silmänsä aukkoarvoa, eikä käytössä ole harmaasuotimia kompensoimaan muutoksia. Kamerassa tavallisella objektiivilla hallitaan syvyysterävyysaluetta. Silmässä terävyysalue on syvyyden lisäksi myös pysty- ja vaakasuuntainen. Silmän tekemä kuva on vain keskialueilta terävä, reuna-alueet havainnoivat vain liikettä. Yhteistä näköaistissa ja kamerassa on mahdollisuus valita kohde, joka heijastuu tarkkana kuvatasolle. Samat optiset lainalaisuudet koskevat sekä silmää, että kameraa. Esimerkiksi: Lähellä oleva tarkennettu kohde muuttaa taustan epätarkaksi.

6.2.1 Silmä tarkentaa valikoivasti.

Silmässä lihakset säätelevät mykiön eli linssin muotoa, sekä pupillin kokoa. Itse silmämunaan on kiinnittynyt useampi lihas ohjaamaan silmän liikkeitä. Kun ihminen valitsee kohteen, silmät liikkuvat ja siten myös optiset akselit. Silmien keskikuopat, eli tarkimman näkemisen alueet ovat molemmat keskittyneet uuteen kohteeseen. Jos silmänliikkeet eivät riitä tavoittamaan uutta kohdetta, koko päätä ja jopa kehoa voi liikuttaa. Silmät kompensoivat kehon liikkeitä, siksi liikkuvan kohteen seuraaminen onnistuu päätä kääntämällä. Tavallisesti silmät liikkuvat huomattavasti kehoa enemmän. Vaikka pää on paikallaan, silmät hakevat jatkuvasti uusia kohteita, nopeiden sakkadisten liikkeiden avulla. Uuden kohdistumisen aikana, ihminen ei näe mitään.

Silmistä tuleva näköinformaatio on kaoottinen: jatkuvien tietokatkoksien välillä vain keskeltä olevia tarkkoja kuvia, eri kohdistuspisteistä. Kuvatulva on suodattunut hermo-liitosten välissä, eivätkä aivot tietävästi käsittele kaikkea näköinformaatioita. Näköaistimus on kuin kuvien kollaasi, johon myös vaikuttavat opitut tiedot. Tuttu esine ei tarvitse paljoakaan kuvainformaatiota, kun se jo tunnistetaan aikaisemman tiedon perusteella. Aivoissa on myös mekanismeja rajapintojen, ja pysty- ja vaakatasoisten linjojen tunnistamiseksi. Kamerasta poiketen näköaisti pystyy tunnistamaan ja hahmottamaan kohteita.

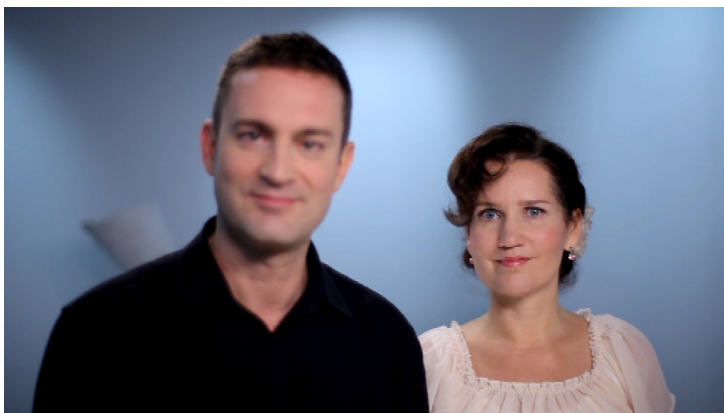
Uusien välineiden, kuten videokameroiden avulla on voitu tutkia silmien liikkeitä, kun koehenkilöt näkevät uuden kuvan, tai ajavat autoa. Huomio keskittyy ensin lähellä olevaan kohteeseen, jonka jälkeen katse hakee kasvoja. Muutaman sekunnin aikana silmä on keskittynyt moneen huomiopisteeseen. Koska silmän kuva on epätarkka, ihminen jatkuvasti tarkentaa valikoivasti.

6.2.2 Valikoiva tarkentaminen kameralla.

Syvyystarkkuusalue kameran muodostamassa kuvassa voi olla vain muutamia senttimetrejä. Jos silloin syvyysuunnassa kameraan nähden on useampi kohde, niistä vain yksi heijastuu tarkkana kuvakennolle. Kuvaaja, kameraoperaattori tai erillinen tarkentaja voivat vaihtaa tarkennuskohdetta otoksen aikana. Valikoivalla tarkennuksella voi olla suuri merkitys kuvallisessa ja draamallisessa ilmaisussa. Ilmaisukeino oli pitkään toteutettavissa vain filmiä käyttävissä elokuvakameroissa. Nyt markkinoille tulleet suurikokoiset videokamerat ovat mahdollistaneet pienen syvyysterävyyden televisiotuotannoissa, ja elokuvauksessa joissa on sähköisesti tallentava kamera.

Silmän tavoin nykyiset kameran objektiivit eivät voi niin nopeasti vaihtaa tarkennusta, kohteesta jatkuvasti toiseen. Poikkeuksena ovat muotoaan muuttavat linssit, jotka toimivat ihmissilmän tavoin. Jatkuva nopea tarkennuksen vaihto, pitäisi suodattaa samalla tavoin kuin ihmisen näköjärjestelmässä, kuvallinen ilmaisu olisi muutoin aika kaoottista. Valikoiva tarkennus kannattaa tehdä harkitummin, ja noudattaa joitakin yleisiä sääntöjä, joita voi tietysti soveltaa. Tarkennus on hyvä olla henkilössä joka puhuu, dialogin aikana voi muuttaa tarkennusta. Kameraa kohti oleva esiintyjä on kuvassa tarkkana. Vahvin tunnetila tai dramaattisin tunnetila on hyvä näyttää, vaikka kohde ei puhuisi. (Brown 2002,51–53.)

Pieni syvyysterävyyalue ei ole sääntö ja ehdoton tavoite kuvauksessa. Elokuvahistoriassa on esimerkkejä päinvastaisesta elokuvailmaisusta. Esimerkiksi elokuvassa ”Citizen Kane” vuodelta 1941 jonka Orson Wells ohjasi, kuvaajana oli Gregg Toland, joka toteutti jokaiseen kohtaukseen suuren syvyysterävyyden kuvassa.



Kuvio 43. Katse kiinnittyy tarkennettuun kohteeseen.

6.2.3 Teknologia voi parantaa näköaistin.

Kaikilla ihmisillä näköaisti ei toimi. Sokeutuminen voi johtua viallisesta verkkokalvosta. Silmä voi muutoin olla optisesti kunnossa. Uusi teknologia hyödyntää silmän ehjät osat, ja toimivan näkökeskuksen aivoissa. Silmämunaan verkkokalvon taakse asennetaan pieni kuvakenno, joka on periaatteessa samanlainen kuin videokamerassa. Keinotekoinen verkkokalvo jossa on 38 x 40 kuva-elementtiä, kytketään silmän näköhermoon, josta tieto välittyy aivojen näkökeskukseen. Valoinformaatiota vastaanottavia mikropiirejä on vielä hyvin vähän, verrattuna ihmisen omiin tappi- ja sauvasoluihin. Lukumäärä ei vastaa edes huonoa digitaalikameraa. Koehenkilöille on kuitenkin tullut karkea näkökyky, joka pystyy erottamaan jo esineiden muotoja ja lukemaan suurikokoista tekstiä ja havaitsemaan huoneessa olevat ihmiset. Hyvin tarkkoja kuvakennoja on jo paljon, jotka vastaavat ihmissilmän tappisolujen määrää. Suurin tekninen ongelma on kytköksien tekeminen näköhermoon. Tekniikka voi kuitenkin kehittyä valtavasti. Ensimmäiset digitaaliset valokuvauskamerat olivat hyvin vaatimattomia vajaat kaksikymmentä vuotta sitten. Keinotekoinen verkkokalvo voisi hyvin myös vastaanottaa muita kuin ihmisen näköaistille ominaisia 397 – 723nm. valotaajuuksia. (Tieteen Kuvalehti 2013/5, 32–33; Susan Young 2013a.)

7 Johtopäätöksiä

Jo sinä aikana kun olen tehnyt opinnäytetyötäni, markkinoille on tullut uusia mielenkiintoisia kameramalleja, joilla pystyy pieneen syvyysterävyyteen. Työpaikallani Ylessä on nyt useampi suurikennoinen kameramalli kokeiltavana eri draamatuotannoissa. Olen ollut useamman tuotantokauden YLE5:n Pixel-kulttuurimakasiinin kuvaajana. Ohjelman juonnot on kuvattu täyden kennon kameralla, ja sama kalusto on ollut myös kenttäkäytössä, mikä on ollut haasteellista varsinkin äänityksen suhteen. Kiinnostus eri toimituksissa uutta ilmaisumahdollisuutta, eli syvyysterävyyden hallintaan, kasvaa jatkuvasti. Olen nyt aloittamassa toista tuotantoa, missä myös tavoitellaan ilmaisussa pientä syvyysterävyyttä. Uskon, että pelkästään uuden kaluston tulo markkinoille ei olisi käynnistänyt murrosta televisiotuotannoissa. Tarve elokuvalliseen, ja uuteen ilmaisuun on ollut olemassa.

Periaatteet miten optiikka vaikuttaa kuvaukseen, ovat olleet ennen opinnäytetyön alkamista selvillä. Sitä en tarkkaan tiennyt, mihin syvyysterävyyden alueen pieneneminen perustuu suurikennoisissa kameroissa. Kun aloin tutkimaan ilmiötä tarkemmin, vastaan tuli asioita, joita olin oletanut, mutta eivät välttämättä pitäneet paikkaansa. Tietämykseni optisista ilmiöistä kasvoi, joita aloin huomioimaan myös työssäni. Voi olla, että opinnäytetyöstäni on hyötyä myös kuvaajakollegoilleni, sekä kuvauksesta kiinnostuneille. Ehkä myös tapani nähdä aistieni kautta välittyvää ympäröivää todellisuutta on hiukan muuttunut. Uteliaisuuteni ja tiedonhaluni omalle ammatilleni tärkeille käsitteille laittoivat liikkeelle pitkän ajatuksenkulun, joka tuntui aluksi sarjalta uuden tiedon herättämiä uusia kysymyksiä. Ehkä suurin tieto ja oivallus olivat paperin, kynän ja viivoittimen käyttö, kun testasin optisia ominaisuuksia. Kun opin perussäännöt, jonkinlaisen optisen ajattelutavan, menetelmä oli erinomainen, ja ratkaisin monta mieltäni askarruttavaa ongelmaa yksinkertaisin menetelmin.

Yhä useammin, ja eri asiayhteyksissä, tuli ihmisen näköaisti vertailukohtaksi. Maalaukset, veistokset ja arkkitehtuuri parhaimmillaan tuottavat elämyksen katsojalle, ja saattavat avartaa tietämystämme. Valokuva- ja elokuvataide tehty aisteillemme, joista kuulo ja varsinkin näkökyky ovat olennaisia. Siksi ei ole sattumaa, että ihmisen näköaisti on lähtökohtana myös kameroiden ja objektiivien toimintaperiaatteissa.

Vaikka suurikennoinen kamera ei vastaa täysin ihmissilmän optisia ominaisuuksia, mikä oli olettamukseni kameramallin suosiolle, löytyi monia yhtäläisyyksiä. Terävän näkemisen alue on hyvin rajoittunut, ja silmämme kohdistuvat kokoajan uusiin kohteisiin. Siksi kamera, jossa on pieni syvyysterävyysalue, ja kuvailmaisussa käytetään valikoivaa tarkennusta, muistuttaa silmämme tapaa havainnoida asioita. Vaikka silmiemme tuottama kuvallinen kaaos suodattuu ennen näkökeskukseen tuloa, näköaistimme on yhtäjaksoista fiksaatioita eri kohteisiin. Ehkä siksi valikoiva tarkennus, ja pieni syvyysterävyysalue tuntuvat luonnolliselta elokuvallisessa ilmaisussa.

Tulevaisuutta on vaikea ennustaa. On paljon innovaatiota, joita ei parikymmentä vuotta sitten juuri osattu edes kuvitella. Kuka olisi uskonut, että olisi olemassa laite joka kertoo ja näyttää tarkan sijainnin, ja vielä neuvoo reitin haluttuun osoitteeseen, ja kaikki se mahtuu kämmeneen. Toisaalta tehokasta, turvallista ja saasteetonta energialähdettä ei ole vielä olemassa, eikä kuuhun tehdä seuramatkoja. Kameran voi ottaa mallia ihmissilmän toiminnasta, kuten muotoaan muuttavissa linssissä. Mielenkiintoista olisi tietää kehitys ihmisen ja teknologian yhdistymisestä, kyborgiasta. Voiko tulevaisuuden ihmisellä olla näköaisti, jota on kehitetty tekniikan avulla? Terveessä toimintakykyisessä silmässä voisi olla lisäksi laadukas kuvakenno, joka voisi myös vastaanottaa tietoa kuten mobiililaitteet. Ihmiset vaihtaisivat keskenään visuaalista informaatiota, jolloin keskinäinen tiedonvälitys tehostuisi ja nopeutuisi valtavasti.

Kun kirjapainon ansiota kirjoitetun informaation määrä kasvoi, ihmiset lukivat tekstejä ääneen. Fransiskaanimunkki, joka oppi sisäluvun hämmästytti muita, ja ehkä herätti jopa pelkoa. Nyt äänenluku on poikkeava tapa. Teknologia ja taide voi muuttaa ihmistä. Olemme syntymästämme asti katsoneet valo- ja elokuvia. Ehkä havainnoimme maailmaa kuten kamera. Kun katsomme lähellä olevaa kohdetta, miellämme sen lähikuvaksi kuten kamera, ja hyväksymme epätarkan taustan. Kun katsomme kauaksi, mietimme kuin käyttäisimme teleobjektiveja. Sekin voi olla tulevaisuudessa mahdollista, että silmäämme lisätään linssijä, jolloin voimme suurentaa kohteita, ja vielä välittää mobiilin tietoverkon kautta kokemuksemme muiden silmiin. Silloin pitäisi oppia uusi näkötaito, kuten uusi lukutapa joitakin satoja vuosia sitten.

Lähteet

Arstila Antti, Björkqvist Stig-Eyrik, Hänninen Osmo, Niensted Walter 1999. Ihmisen fysiologia ja anatomia. Porvoo: WSOY

Juniper Adam, Newton David 2011. Videokuvaa Järkkärillä, 101 huippuvinkkiä. Jyväskylä: WSOYpro/Docendo

Brown Blain 2002. Cinematography: Image Making for Cinematographers, Directors, and Videographers. Burlington: Elsevier Science (USA)

Millerson Gerald 1983. Video Camera Techniques. Exeter: Butterworth Group

Roberts Alan 2009. Circles of Confusion. Geneva: EBU

Tieteen Kuvalehti 5/2013.

Wikipedia 2013a. 'Suomen ensimmäinen televisiolähetys'
http://fi.wikipedia.org/wiki/Suomen_ensimm%C3%A4inen_televisiol%C3%A4hetys
(luettu 17.05.2013)

YLE 2013a
<http://yle.fi/yleisradio/ylen-historia/ylen-vuosikymmenet>
(luettu 17.05.2013)

Nummila Sakari 2013a. Tähdet ja Avaruus-lehden uutisia 16.04.2013
<https://www.avaruus.fi/uutiset/kosmologia-ja-teoreettinen-fysiikka/historiallinen-hiukkasloyto-pimean-aineen-koostumus-saattoi-ratketa.html>
(luettu 17.05.2013)

Annikka Mutanen 2007a. Kutistaako multiversumi olemassaolomme ihmeen
14.03.2007
http://www.tiede.fi/artikkeli/689/kutistaako_multiversumi_olemassaolomme_ihmeen
(luettu 17.05.2013)

Wikipedia 2013b. 'Valon nopeus'
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Valonnopeus>
(luettu 15.05.2013)

Wikipedia 2013c. 'Ultravioletisäteily'
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Ultravioletis%C3%A4teily>
(luettu 17.05.2013)

Wikipedia 2013d. 'Infrapunasäteily'
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Infrapunas%C3%A4teily>
(luettu 17.05.2013)

Cambridge in colour 2013a. 'Cameras vs. human eye'
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/cameras-vs-human-eye.htm>
(luettu 10.05.2013)

Wikipedia 2013e. 'Optics'
<https://en.wikipedia.org/wiki/Optics>
(luettu 17.05.2013)

wikipedia 2013f. 'Camera Obscura'
http://en.wikipedia.org/wiki/Camera_obscura
(luettu 17.05.2013)

wanderlust 2013a. 'A new wide-angle pinhole cap'
<http://wanderlustcameras.com/products/pinwide.html>
(luettu 17.05.2013)

wikipedia 2013g. 'Tähdenpeitto'
<http://fi.wikipedia.org/wiki/T%C3%A4hdenpeitto>
(luettu 17.05.2013)

HyperPhysics 2013a. 'Index of Refraction'
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/refr.html>
(luettu 17.05.2013)

digifaq 2011a. 'Optiikkaa valokuvaajille'
http://digifaq.info/digi_omat/optiikka/
(luettu 17.05.2013)

wikipedia 2013h. 'Lens (optics)'
http://en.wikipedia.org/wiki/Lens_%28optics%29
(luettu 18.05.2013)

wikipedia 2013i. 'focal length'
https://en.wikipedia.org/wiki/Focal_length
(luettu 10.05.2013)

wikipedia 2013j. 'Dioptria'
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Dioptria>
(luettu 17.05.2013)

hubblesite 2013a. 'The Telescope'
http://hubblesite.org/the_telescope/hubble_essentials/
(luettu 17.05.2013)

HyperPhysics 2013b. 'Image formation'
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
(luettu 17.05.2013)

Varioptic 2012a. 'Variable Focus Liquid Lenses'
<http://www.varioptic.com/products/variable-focus/>
(luettu 17.05.2013)

Fox Stuart 2009a. 'TruFocals Use Liquid Lens for Adjustable-Focus Eyeglasses'
Popsci, Popular science 2009.
<http://www.popsci.com/scitech/article/2009-08/adjustable-lenses-replace-bi-trifocals>
(luettu 17.05.2013)

Cambridge in colour 2013b. 'Understanding camera lenses'
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-lenses.htm>
(luettu 18.05.2013)

Wikipedia 2013k. '135 film'
http://en.wikipedia.org/wiki/135_film
(luettu 18.05.2013)

Nikon 2013a. 'Understanding Focal Length'
<http://www.nikonusa.com/en/Learn-And-Explore/Article/g3cu6o2o/Understanding-Focal-Length.html>
(luettu 18.05.2013)

Canon 2013a. 'Canon's Tripple Digit Zoom Lens with Auto Focus Function'
http://www.canon.com/bctv/products/index_box.html
(luettu 18.05.2013)

Cambridge in Colour 2013c. 'Hyperfocal distance'
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/hyperfocal-distance.htm>
(luettu 18.05.2013)

Susan Young 2013a, 'What It's Like to See Again with an Artificial Retina'
MIT technology review.
<http://www.technologyreview.com/news/514081/can-artificial-retinas-restore-natural-sight/>
(luettu 18.05.2013)

