

Topi Leppänen

VIDEOPROJEKTORIN NÄYTTÖTEKNIIKAT

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kandidaatintyö
Kesäkuu 2019

TIIVISTELMÄ

Topi Leppänen: Videoprojektorin näyttötekniikat
Tampereen yliopisto
Kandidaatintyö
Sähkötekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Elektroniikka ja sulautetut järjestelmät
Kesäkuu 2019

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan erilaisiin moderneihin videoprojektoreiden näyttötekniikoihin. Aihe on ajankohtainen, sillä korkearesoluutioisen videokuvan saatavuus mahdollistaa suurikokoiset katselupinnat. Projektitekniikka tarjoaa luontevan tavan skaalata katselupintaa suuremmaksi. Videoprojektorialan tulevaisuuden haaste on kilpailu suuria ledinäyttöjä vastaan. Kotiteatterikäytössä videoprojektori on pitkään ollut edullisin vaihtoehto suuren katselupinnan toteuttamiseen, mutta viime vuosina suurten ledinäyttöjen hinnat ovat laskeneet merkittävästi.

Videoprojektorin tehtävänä on heijastaa videokuvaa ulkoiselle pinnalle. Videoprojektorin sisäinen toiminta voi kuitenkin olla hyvin erilainen riippuen projektorin valmistajasta. Projektoriala on hyvin kilpailullinen ja markkinoilla on useita eri tekniikkaan perustuvia videoprojektoreita kaikissa hintaluokissa.

Projektorin perusrakenne noudattaa lähes aina yhtäläistä kaavaa. Ensinnäkin kirkas valonlähde muuttaa sähköenergian valoksi. Suosituin projektorin valonlähde on kaasupurkauslamppu. Moderneissa projektoreissa käytetään myös puolijohdeisiin perustuvia valonlähteitä, kuten led- ja laser-valonlähteitä. Valon muodostamisen jälkeen valonsäteeseen moduloidaan kuvan informaatio esimerkiksi rajoittamalla valon kulkua tiettyjen pikseleiden kohdalta. Osittain rajoitettu valonsäde ohjataan ulos projektorista heijastuspinnalle, josta katsoja näkee sen kuvana. Kuvan moduloinnissa hyödynnetään esimerkiksi nestekidenäyttötekniikkaa sekä mikroelettromeekaanisia järjestelmiä. Värikuvan muodostamiseksi valonsäteestä tulee erotella päävärikomponentit, jotka moduloidaan erikseen joko ajassa tai tilassa erotettuina. Ajassa erottamisessa hyödynnetään joko nopeasti syttyviä valonlähteitä tai värisuotimista koostuvaa väripyörää. Päävärikomponenttien tilassa erottaminen toteutetaan dichroic-peileillä, jotka läpäisevät tietynväristä valoa. Tässä työssä esitellään ja vertaillaan näitä eri tekniikoita toteuttavaa videoprojektorin kuvanmuodostusta.

Avainsanat: videoprojektori, projektio

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
2.	VIDEOPROJEKTORIN RAKENNE	2
	2.1 Kuvadatan digitaalinen käsittely	2
	2.2 Kuvadatan optinen käsittely.....	3
3.	VALON MUODOSTUS	6
	3.1 Additiivinen värin muodostaminen.....	7
	3.2 Kaasupurkauslamppu valonlähteenä	9
	3.3 Valon muodostaminen laserilla.....	10
	3.4 Valon muodostaminen ledillä.....	12
4.	KUVAN MODULOINTI VALOON	14
	4.1 Nestekidenäyttö	15
	4.2 Nestekidenäyttö piilevyllä	17
	4.3 Digitaalinen peililaite	18
	4.4 Ritilävaloventtiili	20
	4.5 Skannaava laser -näyttö	21
5.	YHTEENVETO	23
	LÄHTEET	24

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CRT	engl. Cathode Ray Tube, katodisädeputki
DLP	engl. Digital Light Processing, digitaalinen kuvan modulointitekniikka, Texas Instruments:in patentti
DMD	engl. Digital Mirror Device, digitaalinen peililaite
GLV	engl. Grating Light Valve, ritilävalventtiin perustuva kuvan modulointitekniikka
HID	engl. High Intensity Discharge, kaasupurkauslamppu
HLD	engl. High Lumen Density, led valonlähde, Philipsin tavaramerkki
HTPS	engl. High Temperature Poly-Silicon, nestekidenäyttöjen valmistusmenetelmä
LCD	engl. Liquid Crystal Display, nestekidenäyttö
LCoS	engl. Liquid Crystal on Silicon, heijastava nestekidenäyttö piilevyn päällä
LSD	engl. Laser Scanning Display, skannaava laser -näyttö
MEMS	engl. Micro Electro Mechanical Systems, mikroelektromekaaniset järjestelmät
MH	engl. Metal Halide lamp, monimetallilamppu
RGB	engl. Red, Green, Blue, punainen, vihreä ja sininen (värimalli)
TFT	engl. Thin-Film Transistor, ohutkalvotransistori
TN-solu	engl. Twisted Nematic, nestekidesolun tyyppi
UHP-lamppu	engl. Ultra High Performance, elohopeakaasupurkauslamppu, Philipsin tavaramerkki
VAN-solu	engl. Vertically Aligned Nematic, nestekidesolun tyyppi

1. JOHDANTO

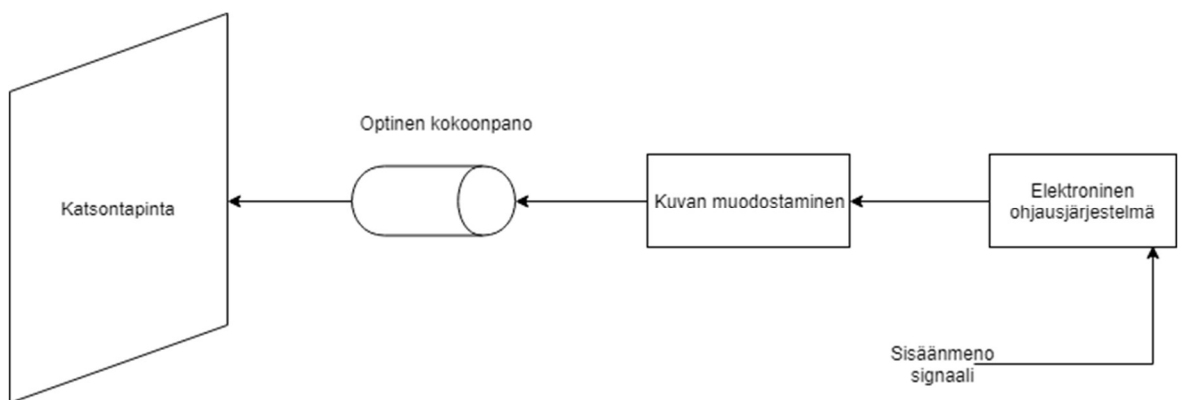
Videoprojektori on laite, joka projisoi kuvan ulkoiselle pinnalle, josta katsoja näkee sen pinnan heijastamana. Elokuvateatteri on videoprojektorin alkuperäinen käyttökohde, mutta tekniikan kehittyminen on johtanut moniin uudenlaisiin sovelluksiin. Projektorin mahdollistama suuri näyttökoko on kannustanut kuluttajia hankkimaan videoprojektorin kotiteatteriinsa. Viime aikoina suurten led-televisioiden halpeneminen on kuitenkin johtanut kotiprojektoreiden suosion laskuun. Projektorivalmistajat ovatkin keskittyneet kustannusten alentamiseen kuluttajaprojektoreissa. Dataprojektori on videoprojektorin alalaji ja sen käyttökohde on staattisen tietokonegrafiikan esittäminen pääosin toimistotiloissa. Sen vaatimukset ovat yleisesti alhaisemmat kuin videokuvan esittämiseen tarkoitettujen projektoreiden.

Videoprojektorialan kilpailullisuus näkyy projektorivalmistajien määrässä. Yleensä valmistajat ovat keskittyneet tiettyyn mahdollisesti itsekehittämäänsä teknologiaan. Markkinoilla onkin lähes joka käyttötarkoitukseen useita merkittävästi eri tekniikalla toimivia projektoreita. CRT-projektori (engl. Cathode Ray Tube, katodisädeputki) oli aikaisemmin laajalti käytössä, mutta nyt sen ovat syrjäyttäneet useat laadukkaammat projektiotekniikat. Tässä työssä esitellään näitä moderneja videoprojektorin näyttötekniikoita. Työssä tarkastellaan videoprojektorien markkinoinnissa käytettäviä käsitteitä ja eri projektiotekniikoiden merkittävimpiä eroja.

Luvussa 2 käsitellään projektorin yleistä rakennetta sekä datan digitaalista ja optista käsittelyä. Tarkemmin työssä perehdytään videoprojektorin erilaisiin valonlähteisiin sekä kuvan modulointitekniikoihin. Nämä kaksi asiaa ovat keskeisimmät ominaisuudet, jotka erottavat markkinoilla olevat videoprojektorit toisistaan. Luku 3 käsittelee videoprojektorin valontuottamista ja luku 4 kuvan modulointitekniikoita. Yhteenvedossa luvussa 5 vertaillaan eri tekniikoita lyhyesti.

2. VIDEOPROJEKTORIN RAKENNE

Videoprojektorin toiminnallisuus voidaan jakaa peräkkäisiin osiin kuvan 1 mukaisella tavalla. Projektorin sisäänmenosignaalinä on kulloinkin näytettävänä oleva kuva. Se sisältää pikselitason informaation kuvan eri osien väriarvoista. Sisäänmenosignaali ohjaa elektronista ohjausjärjestelmää. Elektronisen ohjauksen muodostamien signaalien avulla kuvanmuodostuslohko muodostaa kuvan. Tämän jälkeen optinen kokoonpano ohjaa kuvan ulos projektorista. Kuva heijastetaan katsontapinnalle, josta katsoja näkee sen. [1]



Kuva 1. Videoprojektorin perusrakenne. Perustuu lähteeseen [1].

Kuvan 1 kuvanmuodostuslohkon voi useissa projektitekniikoissa jakaa edelleen kahteen osaan: Valonlähdelohkoon ja kuvan modulointi -lohkoon, joiden välissä on optisia komponentteja [1].

2.1 Kuvadatan digitaalinen käsittely

Kuvadata tuodaan projektoriin yleensä kaapelilla. Myös langattomia tiedonsiirtomenetelmiä hyödynnetään jonkin verran, mutta kaapeli on luotettavampi ja tavallisesti videoprojektoreita ei tarvitse siirtää asentamisen jälkeen. Videoprojektorin kaapelin toinen pää on kytketty kuvadatan lähteeseen eikä lähteen yleensä tarvitse tietää, millä tekniikalla kuvaa näytetään. Projektorin täytyy siis pystyä hyväksymään useita erilaisia videosignaalistandardeja. [2]

Yleensä projektoreissa on kaksi rinnakkaista kuvakoon kokoista rekisteriä. Rekisteri on nopea muistiyksikkö, johon voidaan tallentaa ja josta voidaan lukea dataa. Toisesta rekisteristä voidaan heijastaa sen sisältö ulos projektorista samanaikaisesti, kun toiseen

kirjoitetaan seuraavan kuvan dataa. Kirjoitus- ja lukuvuoroa vaihdellaan rekisterien välillä projektorin virkistystaajuuden mukaan, eli esimerkiksi 60 kertaa sekunnissa. [3]

Kuvadata täytyy käsitellä projektorin näyttötekniikan mukaan siihen muotoon, että siitä voidaan generoida tarvittavat kontrollisignaalit näyttökomponenteille. Digitaalisella datankäsittelyllä voidaan myös toteuttaa lisäominaisuuksia ja komponenttien epätäydellisyyksistä johtuvien virheiden korjauksia. [3]

2.2 Kuvadatan optinen käsittely

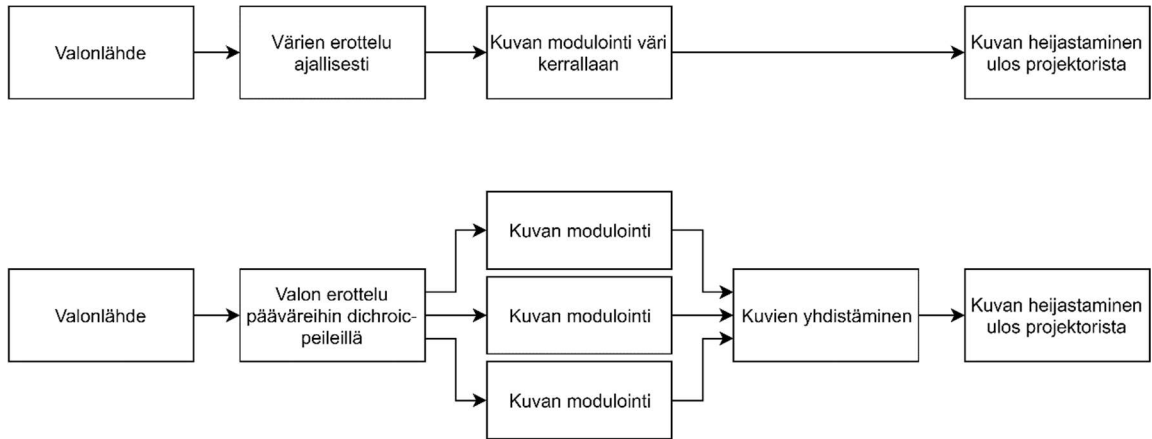
Optinen käsittely alkaa valon muodostuksesta. Videoprojektorissa valo on perinteisesti muodostettu kaasupurkauslampulla, mutta viime aikoina laser ja led -valonlähteet ovat saavuttaneet suosiota. Yksinkertaisimmillaan valonlähde ohjataan asettamalla se täyteen kirkkauteensa. Kirkkaassa päivänvalossa videoprojektorin tulee olla erittäin kirkas, jotta projisoitu kuva näyttäisi terävältä. Valonlähteestä halutaan hyödyntää ainoastaan näkyvän valon alue, joten usein on tarpeellista suodattaa infrapuna- ja ultraviolettialueiden valo pois valonlähteen jälkeen. Riippuen projektoritekniikasta, valonlähteen jälkeen saattaa olla asennettu pyörivä väripyörä, joka erottaa halutut värikomponentit lampun valosta. Väripyörän pyöräminen on synkronoitu siten, että projektori näyttää tietyn värisen kuvan kerrallaan ajassa erotettuna. Ihmisen silmässä nämä ajassa erotetut kuvat yhdistyvät yhdeksi värikuvaksi. Tätä sanotaan peräkkäiseksi valonmuodostukseksi ja sen periaate on esitelty kuvan 3 yläosassa. [4] Kuvassa 2 on esitetty DMD-projektorin (engl. Digital Mirror Device, digitaalinen peililaitte) väripyörä, jossa nähdään kolmen päävärin esiintyvän kahteen kertaan [5]. Lisäksi väripyörässä on valkoinen kohta, mikä lisää projisoitavan kuvan kirkkautta, koska valkoisessa suotimessa valon absorboituminen minimoituu. Tällöin projektorin täytyy myös digitaalisesti muodostaa kuvadatasta valkoiselle valolle sopiva kuva. Peräkkäisen valonmuodostamisen käyttö voi kuitenkin aiheuttaa katsojalle epämukavuutta. Jos kuvassa on nopeaa liikettä, silmän liike voi aiheuttaa valkoisen värin hajoamista komponentteihinsa. Värivirheen huomaaminen on yksilöllistä ja saattaa aiheuttaa silmän väsymistä. Ilmiötä kutsutaan "sateenkaari-ilmiöksi" (engl. Rainbow effect). [4]



Kuva 2. DMD-projektorin väripyörä [5].

Toinen tapa muodostaa peräkkäinen valontuottaminen on käyttää kolmea nopeasti syttyviä valonlähteitä, joita käytetään päällä vuorotellen [6]. Kolmas tapa erotella päävärit valkoisesta valosta on kuvan 3 alaosan mukainen rinnakkainen valonmuodostus, jossa valkoinen valo erotetaan kolmeen päävärikomponenttiin dichroic-peileillä. Tietyn aallonpituusalueen valo heijastuu dichroic-peilistä ja toisen aallonpituusalueen valo läpäisee sen. Kahdella erilaisella dichroic-peilillä voidaan siten jakaa valkoinen valo kolmeen pääväriin. [7]

Muodostettu valo tai valon värikomponentit ohjataan modulointiin hyödyntäen peilejä ja linsejä. Modulointivaiheessa valoon moduloidaan projisoitavan kuvan informaatio. Yksinkertaisimmillaan tämä voidaan tehdä nestekidenäytöllä, jossa jokaisen pikselin valonläpäisykykyä voidaan hallita erikseen. Riippuen siitä eroteltiinko valokomponentit aikaisemmin erilleen, modulointiyksiköitä voidaan tarvita joko yksi tai kolme. Jos käytetään vain yhtä modulointiyksikköä, täytyy valo olla tuotettu peräkkäisellä menetelmällä, jolloin modulointiyksikköön syötetään eri päävärikomponenttien kuvadata peräkkäin ajassa erotettuna. Väripyörän tai valonlähteiden ohjauselektroniikan täytyy tällöin olla synkronoitu modulointiyksikön kanssa, jotta tiedetään, minkä värikomponentin kuva asetetaan modulointiyksikköön. [3] Kuvassa 3 on esitelty sekä peräkkäiseen että rinnakkaiseen valonmuodostamiseen perustuvien kuvanmuodostuslohkojen periaate.



Kuva 3. Videoprojektorin optinen käsittely, peräkkäinen modulointi (yllä) ja rinnakkainen modulointi (alla).

Moduloinnin jälkeen valo ohjataan linssille, joka heijastaa kuvan ulos projektorista. Mikäli käytetään rinnakkaista valon tuottamista sekä kolmea modulointiyksikköä, täytyy eri komponenttien kuvat yhdistää optisesti [7]. Kuvasta 3 voidaan päätellä, että rinnakkaisella moduloinnilla projektorin rakenteesta tulee monimutkaisempi eli kalliimpi. Rinnakkaisen moduloinnin etuna on kuitenkin kuvan suurempi kirkkaus, sillä valonlähde voi olla päällä yhtäjaksoisesti, eikä sen valo absorboidukaan värityörän suotimiin. Lisäksi vältetään värityörän käytöstä syntyvät vääristymät [8].

Kun kuva on ulkona projektorista, se heijastetaan halutulle katsontapinnalle. Katsontapinnan ominaisuudet vaikuttavat havaittuun kuvan laatuun. Tärkeää on huomioida projektorin projektioetäisyys, eli kuinka kaukana katsontapinnasta sen tulee olla asennettuna. [1]

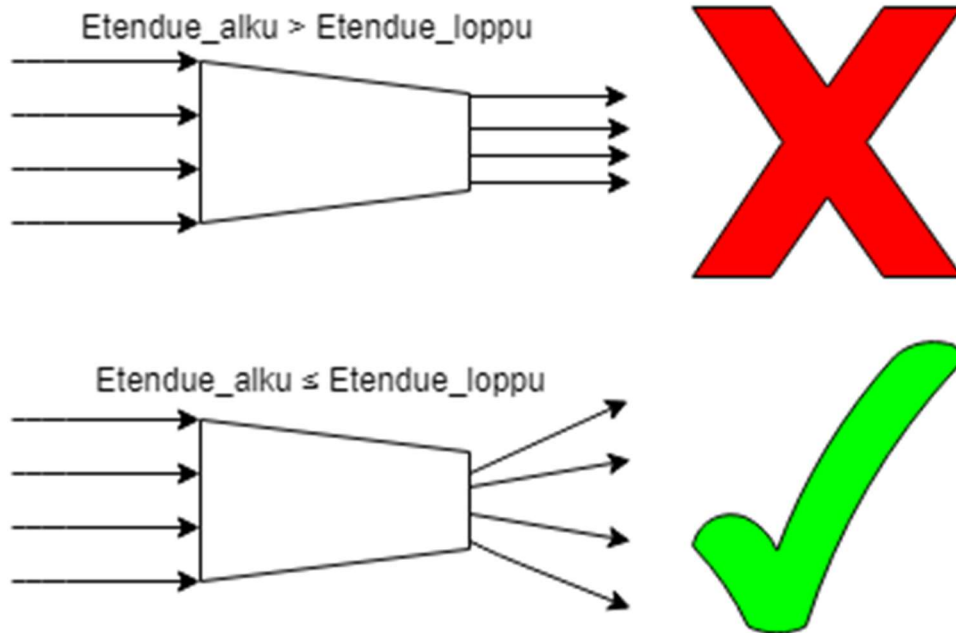
Projisoidun kuvan kontrasti on tärkeä suure vertailtaessa eri projektoreja. Projektorin voi olla hankala tuottaa tarpeeksi kirkasta valkoista pikseliä, sillä kuvan modulointiyksikkö saattaa absorboida valoa. Myös mustan pikselin tuottaminen on hankalaa, sillä kirkkaan valonlähteen valo vuotaa modulointiyksikön läpi. Lisäksi kuvan kirkkaammista pikseleistä voi vuotaa tai heijastua valoa tummempiin kohtiin. Kuvan vaaleimman ja tummimman kohdan suhdetta kutsutaan kontrastiksi. [1]

3. VALON MUODOSTUS

Videoprojektoreissa valo muodostetaan joko yhdellä tai kolmella valonlähteellä. Yhtä valonlähdettä käytetään kaasupurkauslamppuun perustuvissa projektoreissa ja kolmea valonlähdettä lasereihin tai ledeihin perustuvissa projektoreissa, eli jokaiselle päävärille on oma erikseen suunniteltu komponentti, joka pystyy tuottamaan mahdollisimman tarkasti tietyn aallonpituusalueen valoa. Tyypillisesti näiden kolmen lähteen valo yhdistetään tuottamisen jälkeen, joten yhdistämisen jälkeen valonlähdettä voidaan käsitellä yksittäisenä valonlähteenä. [7]

Värien muodostamista näyttötekniologioissa on tutkittu laajalti. Videoprojektorilla on tiettyjä erityisvaatimuksia, jotka tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan sen valonlähdettä. Projektorin valonlähteen tulee olla hyvin kirkas. Ympäristön valaistus heikentää katselukokemusta, kun taustavalo sekoittuu projisoitavaan valoon. Katselupinnan ominaisuudet eivät ole ideaaliset ja vaihtelevat projektorin käyttötarkoituksen mukaan. Kirkkaus on fyysisesti mitattava suure, jonka yksikkönä käytetään luumenia. Yleensä projektorivalmistajat ilmoittavat projektorinsa luumenarvon selkeästi, ja se onkin yleisimpiä käytettyjä arvoja, kun vertaillaan eri projektoreja keskenään. [1]

Toinen projektorien asettama erityisvaatimus valonlähteelle on kapea valonsäde. Tämä on määritelty suurella etendue, joka kuvaa lähteen valon hajautumista. Etendue voidaan laskea kaikille valonlähteille säteilypinta-alan ja säteilykulman avulla. Se säilyy vakiona valon edetessä optisissa järjestelmissä. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että jos valonsäteitä yritetään saada lähemmäksi toisiaan eli pienennetään säteilypinta-alaa, samalla säteiden samansuuntaisuus kärsii. Etenduea ei voida keinotekoisesti saada pienemmäksi, vaan se ainoastaan kasvaa valon kulkiessa optiikan läpi. [9]



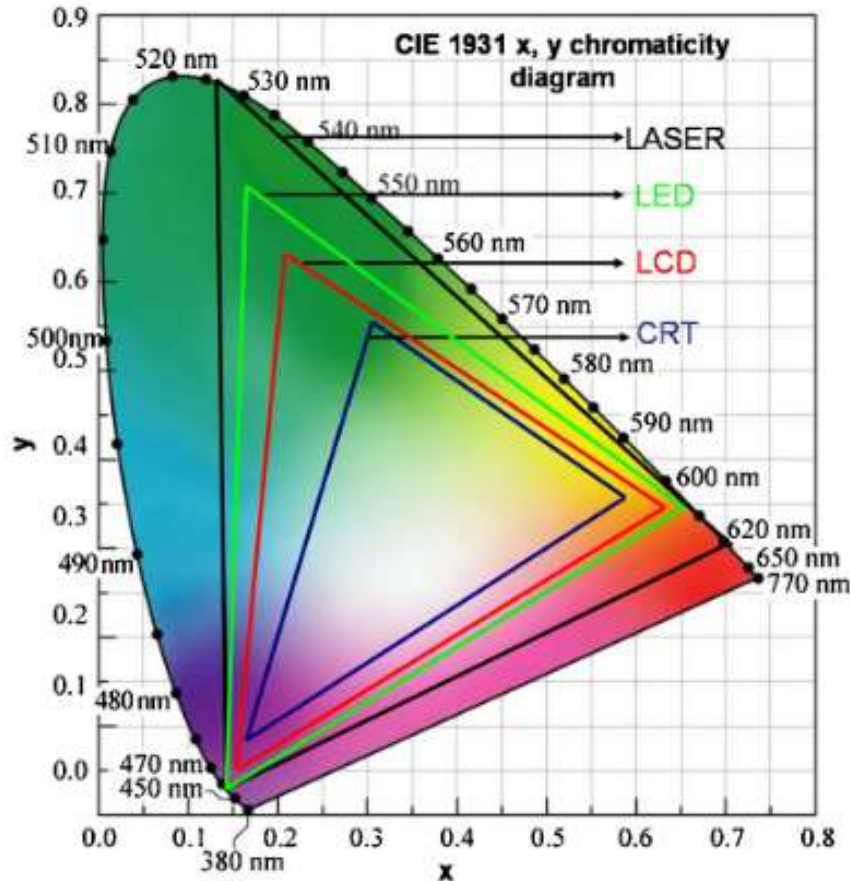
Kuva 4. Etenduen säilymlaki yksinkertaistettuna. Ylempi tilanne ei ole mahdollinen.

Vaikka videoprojektorissa halutaan käyttää pientä säteen pinta-alaa, kuvan 4 alempi tilanne ei ole toivottu, sillä hajautunutta valoa ei voida hyödyntää kuvan modulointiin [9]. Valonlähteen luonnostaan pieni etendue-arvo on tärkeä, koska modulointiin käytettävästä komponentista halutaan mahdollisimman pieni. Se taas mahdollistaa projektorin ulostulon riittävän kirkkauden. Projektorin sisällä on paljon optiikkaa ja pieni säteenkoko mahdollistaa pienten optisten komponenttien käytön, mikä pienentää kustannuksia. [10]

3.1 Additiivinen värin muodostaminen

Additiivinen värin muodostaminen tarkoittaa sitä, että eriväristen valonlähteiden valonsäteiden yhdistäminen muodostaa uuden ihmisen havaitseman värin. Uusi yhdistelmäväri on niin hyvin sekoittunut, että ihminen ei näe valokomponentteja erikseen, vaan näkee niiden summan. [11]

Yleisesti näyttötekniikassa joka pikselille ei voida suodattaa omaa täsmällistä väriarvoaan, joten hyväksi havaittu tekniikka on tuottaa värit additiivisella värinmuodostuksella käyttäen kolmea pääväriä. Yhdistämällä näitä kolmea väriä oikeassa suhteessa voidaan tuottaa iso osa ihmisen havaitsemista väreistä. Kolmella päävärillä muodostettavat mahdolliset värit voidaan havainnollistaa kromaattisuuskaaviolla. Kromaattisuus tarkoittaa värin muita ominaisuuksia kuin sen kirkkautta. [12]

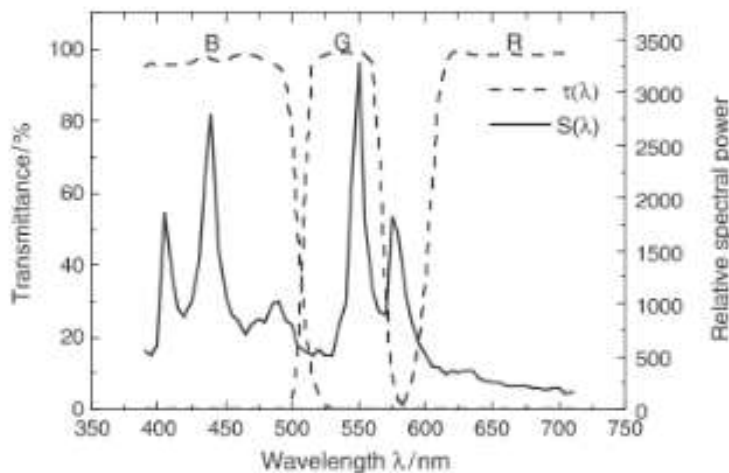


Kuva 5. Kromaattisuuskaavio ja gamut-kolmiot kolmen päävärin valonlähteille [10].

Kuvassa 5 kielenmuotoinen värikäs kuvio kuvaa kaikkia ihmisen erottamia kromaattisuusarvoja. Kuvioon voidaan sijoittaa kolme pääväriä. Yleisimmin käytetään RGB-päävärejä (engl. Red, Green, Blue, suom. punainen, vihreä, sininen). Päävärit muodostavat nurkat kolmiosta, jonka sisälle jäävät kromaattisuusarvot on mahdollista toistaa kyseisten päävärien additiivisena yhdistelmänä. Näyttötekniikassa pyritään tuottamaan kuva, joka hyödyntää mahdollisimman paljon eri kromaattisuusarvoja. Tällöin kuva näyttää väririkkaalta. Kolmion sisään jäävästä alueesta käytetään nimitystä gamut. Gamut kuvaa siis järjestelmällä toistettavissa olevia kromaattisuusarvoja. [12] Kuvasta 5 nähdään, että eri tekniikoilla saavutetaan erilainen gamut. Kuvan 5 LCD (engl. Liquid Crystal Display, nestekidenäyttö) tarkoittaa tavallisen taustavalaistun nestekidenäytön taustavalon spektrin laatua. Päävärien määrää ei ole rajoitettu kolmeen, vaan tarvittaessa voitaisiin käyttää neljää tai viittä pääväriä. Projektorin rakenne monimutkaistuu ja hinta kasvaa, mutta teoriassa niin voidaan saavuttaa laajempi gamut. [10]

Päävärien valinta perustuu ihmisen värierottelukykyyn, ja optimaalista päävärien valintaa on tutkittu laajalti. Päävärien valitsemisen jälkeen projektorijärjestelmän täytyy myös pystyä kontrolloimaan värejä. Peräkkäisessä värinmuodostuksessa väripyörän suodattimien suunnittelussa tulee ottaa huomioon käytetyn valonlähteen tehospektri. Valonlähde ei

yleensä tuota valoa, jonka spektri olisi tasainen. Suotimien tulee siis olla suunniteltu erikseen tietyn valolähteen tehospektrille. Kuvassa 6 esitellään esimerkisuotimet eräälle kaasupurkauslampulle. Jatkuva viiva kuvaa UHP-valonlähteen (engl. Ultra High Performance, elohopeakaasupurkauslamppu, Philipsin tavaramerkki) spektrin tehoa eri aallonpituuksilla. Tämän perusteella on laskettu sopivat katkoviivoilla merkityt suotimet, jotka jakavat valonlähteen valon kolmeen päävärikomponenttiin. [13]



Kuva 6. Esimerkki erään elohopeakaasupurkauslampun tehospektristä ja sille sopivista RGB-suotimista [13].

Rinnakkaisessa kuvan moduloinnissa voidaan käyttää yhtä valonlähdettä, jonka valo jaetaan dichroic-peileillä kolmeen päävärisäteeseen. Tällöin suodinsuunnittelu etenee edelliseen tapaan, suotimina vain toimivat dichroic-peilit. Toinen tapa on käyttää eri pääväreille omia valonlähteitään. Esimerkiksi laser- ja led-lähteet toimivat tähän tapaan. Tyypillisesti näiden lähteiden valo yhdistetään tuottamisen jälkeen, jotta voidaan hyödyntää eri valonlähteiden päällekkäiset spektrit. Tämän jälkeen ne voidaan erotella uudelleen tarkkojen dichroic-peilien avulla. [7]

3.2 Kaasupurkauslamppu valonlähteenä

Suosituin videoprojektorin valonlähde on kaasupurkauslamppu (HID, engl. High Intensity Discharge) [14]. Valonlähteiden suhteellisia suosioita on vertailtu luvun 4 taulukossa 1. Xenon-kaasuun perustuvaa lamppua on käytetty 1950-luvulta saakka elokuvateattereissa. Xenon-lampulla oli pitkään paras värientoistokyky sovelluksissa, jotka tarvitsevat hyvin kirkkaan ulostulon. Xenon-lampun elinikä on noin 1 000 tuntia. [7]

Vuonna 1995 Philips julkaisi elohopeaan perustuvan kaasupurkauslampun (UHP). Elohopealampulla on parempi hyötysuhde kuin xenon-lampuilla. Ne eivät kuitenkaan pysty saavuttamaan yhtä suurta tehoa kuin xenon-lamput, joten elokuvateattereissa saatetaan

käyttää vielä xenon-lamppuja tai usean elohopealampun yhdistelmää. Pienen tehon elohopealamput voivat saavuttaa jopa 10 000 tunnin eliniän, mutta tehokkaammat elohopealamput jäävät alle 5 000 tunnin. Kaasupurkauslamppujen värientoistokyky ei myöskään ole erityisen hyvä. Kuvasta 6 nähdään elohopealampun spektrin olevan hyvin epätasainen ja erityisesti punaisen värin toistossa oleva ongelma. [7]

Monimetallilamppu (MH-lamp, engl. Metal Halide -lamp) perustuu myös elohopeakaasuun valon tuottamisessaan, mutta lisäksi siinä on erilaisia metallihalideja. Nämä halidit parantavat lampun värintoistokykyä. Valitsemalla eri metallihalidien suhteet oikein voidaan lampun spektriä muokata halutun kaltaiseksi. [15]

3.3 Valon muodostaminen laserilla

Laseria videoprojektorin valonlähteenä on kehitetty jo kauan, mutta vasta viime aikoina laserien valmistuskustannukset on saatu tarpeeksi alhaiseksi, jotta niitä olisi järkevä käyttää. Laser-valolla on huomattavia etuja verrattuna kaasupurkauslamppuihin. Laserilla saavutettavat värintoisto-ominaisuudet ovat erinomaiset, sillä yksittäisen laserin spektri on hyvin puhtaasti tietyllä aallonpituudella. Tällöin additiivinen värinmuodostus toimii parhaiten. [10] Kuvasta 5 nähdään, että laserilla saavutetaan laajin väri gamut, eli paras värintoisto. Laserit ovat noin 10 kertaa pitkäikäisempiä kuin kaasupurkauslamput, noin 20 000-100 000 tuntia. Pitkäikäisyys on tärkeä ominaisuus videoprojektoreissa, sillä lampunvaihto on yksi yleisimpiä projektoreille suoritettavia huoltotoimenpiteitä. Laserilla on myös luonnostaan pienempi etendue kuin kaasupurkauslampulla, eli siitä lähtevä valonsäde on kapea. Kapea valonsäde on hyödyllinen, sillä silloin muutkin projektorin komponentit voidaan toteuttaa pienemmässä koossa, mikä pienentää kustannuksia ja projektorin fyysistä kokoa. [7]

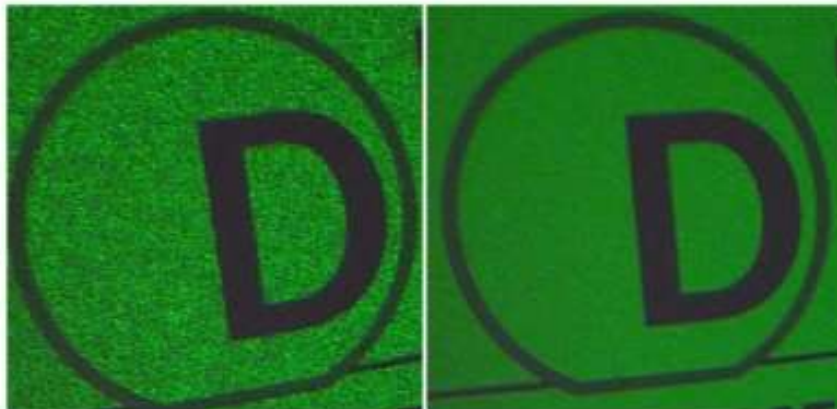
Suurin laser-projektorien käyttöä rajoittava ongelma on edullisen vihreän ja keltaisen laserin puuttuminen. Laserin väri määräytyy pääosin siinä käytettävästä puolijohdemateriaalista. Puolijohdemateriaalit, jotka soveltuisivat vihreän ja keltaisen laserin (tai ledin) valmistukseen ovat kalliita valmistaa. Uusia puolijohdemateriaaleja tutkitaan, sillä se voi johtaa halvempaan massatuotettavaan vihreään laseriin. Yleensä tämä ongelma kuitenkin ratkaistaan suodattamalla sinisen laserin valoa fosforikalvon läpi. Fosforikalvon ominaisuuksien mukaan se vapauttaa joko keltaisen tai vihreän aallonpituusalueen fotoneja. [7]

Toinen mahdollinen ratkaisu on taajuuden kaksinkertaistaminen, jossa infrapunalähteen tuottaman valon taajuus kaksinkertaistetaan optisesti. Taajuuden kaksinkertaistamiseen

tarvitaan monimutkainen optinen rakenne, joten se ei ole kaupallisesti kovin menestynyt. [7]

Tehokkaat laserit voivat aiheuttaa vakavia silmävaurioita, jos niitä käsitellään väärin. Videoprojektorin saatetaan vahingossa katsoa suoraan edestäpäin, jolloin on mahdollista saada silmävaurio. Riippuu kuitenkin modulointitekniikasta, kuinka tehokas altistuminen silmään kohdistuu. [10] Brennesholtz sanoo, että laserturvallisuus on enimmäkseen sääöksellinen ongelma kuin suunnitteluongelma [7].

Laserin valo on koherenttia, eli valon aaltokomponentit ovat samassa vaiheessa. Tämä aiheuttaa uniikin ongelman projektitekniikassa, sillä valon heijastuessa epätasaiselta pinnalta sen komponentit interferoivat toistensa kanssa, jolloin muodostuu kirkkaampia ja tummempia pisteitä. Projisoidussa kuvassa tämä näkyy kuvan rakeisuutena. Rakeisuutta on hankala hallita, sillä se riippuu projektion ominaisuuksista, kuvan resoluutiosta ja katselukulmasta. Eli eri paikoissa istuvat katsojat näkevät eri tavalla kohinaisen kuvan. Tätä ilmiötä kutsutaan speckle-kohinaksi. Kohina voidaan poistaa monella eri tavalla. Se voidaan tehdä esimerkiksi laajentamalla lähteen spektriä tai muodostamalla useita keinotekoisia kohinakuvioita, jolloin kuva keskiarvosuodattuu vähemmän kohinaiseksi. Keskiarvosuodatus täytyy tehdä varovasti, jotta kuvan sisältö ei sumene. [10]



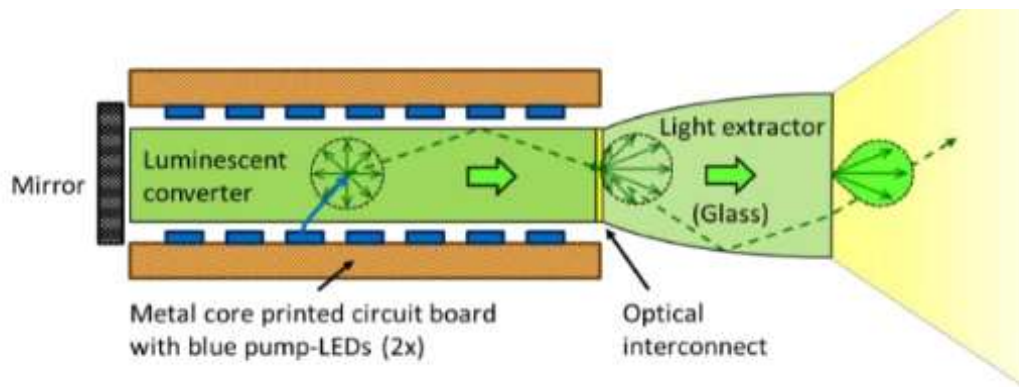
Kuva 7. Esimerkki speckle-kohinasta (vasen) ja Dyoptika-tekniikalla suodatettu kuva (oikea) [10].

Speckle-kohina ei ole täysin ratkaistu ongelma, mutta hyviä ratkaisuja sen vaikutuksen vähentämiseksi on kehitetty useita. Kuvassa 7 on esimerkki Dyoptika-tekniikalla suodatetusta laserprojektorin speckle-kohinasta ja siitä nähdään, että kohinasta on päästy eroon lähes täysin. [10]

3.4 Valon muodostaminen ledillä

Ledit ovat viime vuosina nousseet valtavirran ratkaisuksi monissa eri valaistus- ja näyttölaitteissa. Niiden suuri etu on erinomainen hyötysuhde. Videoprojektoreissa jäähdytysongelmat ovat merkittävät, joten valonlähteen hyvästä hyötysuhteesta olisi paljon etua. Ledin valo ei ole koherenttia, jolloin se on myös turvallisempaa kuin laserin valo, eikä se tuota speckle-kohinaa. Laserin tavoin myös ledit ovat huomattavasti pitkäikäisempiä kuin kaasupurkauslamput. Lediä ongelmana on kuitenkin ollut heikko intensiteetti, joka rajoittaa niiden käytön ainoastaan alhaisen kirkkauden projektoreihin. Lediä kerääminen suuriin paneeleihin ei ole projektoreissa aina mahdollista, sillä se suurentaa etendueta, eli valonsäde hajautuu liian laajalle alueelle. [16]

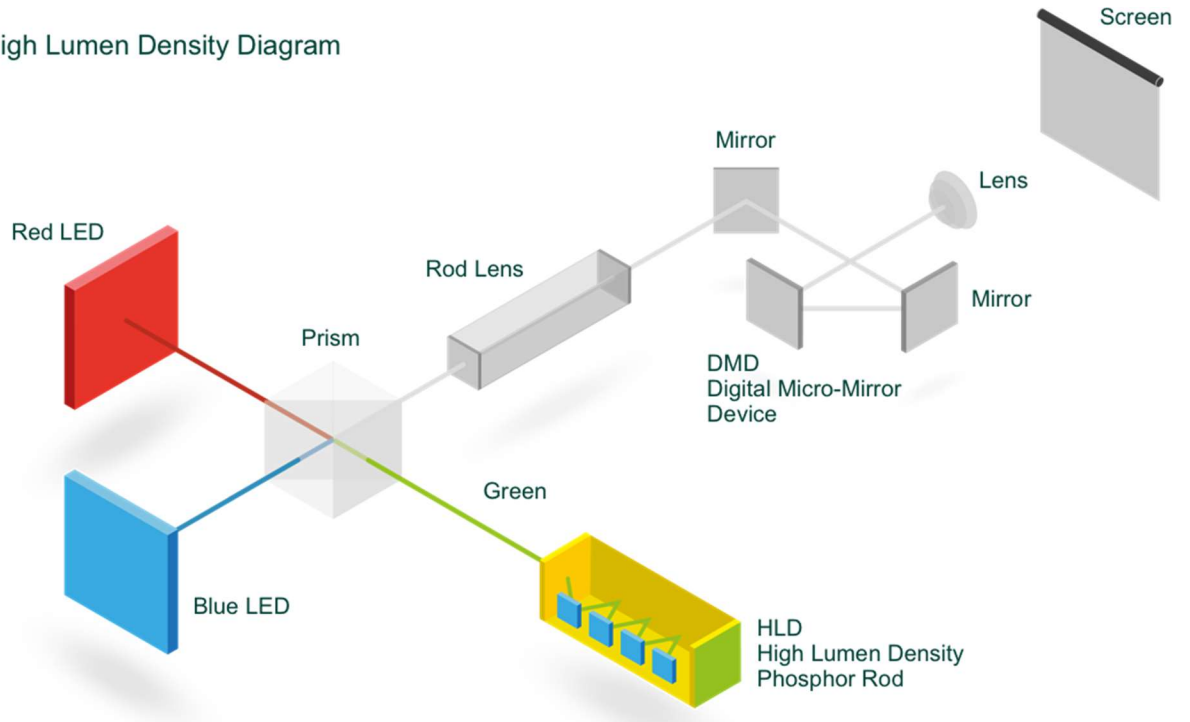
Laserien tavoin erityisesti tehokkaan vihreän valon tuottaminen on ollut ongelmallista. Ratkaisemaan tätä ongelmaa on kehitetty sinisiin ledeihin perustuva vihreä HLD-valonlähde (engl. High Lumen Density, Philipsin tuotemerkki). Sinisten ledien valo keskitetään optiseen värinmuuntimeen, josta saatu vihreä valo heijastetaan ulos. Seuraavassa kuvassa 8 on esitelty yksi ratkaisu, jossa putken reunoilla on sinisiä ledejä. Putken pohjassa on peili, joka auttaa heijastamaan valoa ulos putkesta. Putken suulla valo kerätään parabolisella linssillä säteeksi. Tämä muunnos mahdollistaa täysin ledeihin perustuvien videoprojektoreiden valmistamisen. [6]



Kuva 8. Periaatteellinen toimintakuva HLD-moduulista, joka muuttaa sinisten ledien valon vihreäksi [6].

Tällä hetkellä sinisistä ledeistä voidaan valmistaa kaikkein kirkkaimpia, joten myös punainen valo voidaan tuottaa samanlaisella kytkennällä käyttäen sinisiä ledejä. Muunnoksessa syntyy jonkin verran hukkalämpöä, joka täytyy ohjata pois. [6]

High Lumen Density Diagram



Kuva 9. Esimerkki HLD led -projektorin toteutuksesta [17].

Kuvassa 9 on esitelty yksi mahdollinen tapa toteuttaa projektori käyttäen HLD-moduulia. Kuvan projektorissa käytetään kolmea peräkkäisesti syttyvää valonlähdettä. Punainen ja sininen valo tuotetaan suoraan ledipaneeleilla ja vihreä valo käyttäen HLD-moduulia. Valonlähteiden jälkeen valonsäde ohjataan kuvan modulointiyksikölle.

4. KUVAN MODULOINTI VALOON

Tuotettu valo ei yleensä vielä sisällä informaatiota projisoitavasta kuvasta. Yleinen tapa moduloida kuva valoon on valoventtiilien avulla, eli estetään kokonaan tai rajoitetaan valon eteneminen tiettyjen pikseleiden kohdalla [1]. Vaihtoehtoisesti tiettyjen pikseleiden kohdalta valo voidaan heijastaa muualle käyttäen hyödyksi peilejä tai diffraktioilmiötä [8].

Toinen tapa luokitella modulointitavat on jakaa ne läpäiseviin ja heijastaviin. Läpäisevässä modulointitavassa valo etenee modulointiyksikön läpi suoraan. Näin toimii esimerkiksi nestekidenäyttö. Heijastavassa modulointitavassa modulointiyksikkö sisältää peilin tai peilejä, jotka heijastavat moduloidun valon toiseen suuntaan. Näin toimivat muun muassa myöhemmin esiteltävät heijastavalle piikiekolle rakennettu nestekidenäyttö, sekä DMD. [18]

Eri modulointitapojen ja valonlähteiden suosioita on hankala arvioida tekemättä syvälistä markkinatutkimusta. Tässä työssä on arvioitu näiden suhteellisia suosioita käyttämällä hyödyksi videoprojektoreiden arvostelusivustoa. Arvostelusivusto valittiin helppokäyttöisyyden perusteella. Arvostelusivusto saattaa sisältää vanhentunutta tai väärääkin tietoa, mutta siitä saadaan jonkinlainen arvio eri tekniikoiden suosioista. Taulukon 1 koostamiseksi käytetään arvostelusivuston hakutoiminnallisuutta, jossa voidaan suodattaa hakutuloksia käytetyn teknologian perusteella. Lisäksi suodatetaan pois tuotannosta poistuneet mallit. Suodatetulla hakutuloksella löytyvien eri projektorimallien määrä kerätään taulukkoon 1.

Taulukko 1. Videoprojektoreissa käytettävien valonlähteiden ja modulointitapojen määrät. Perustuu lähteeseen [14].

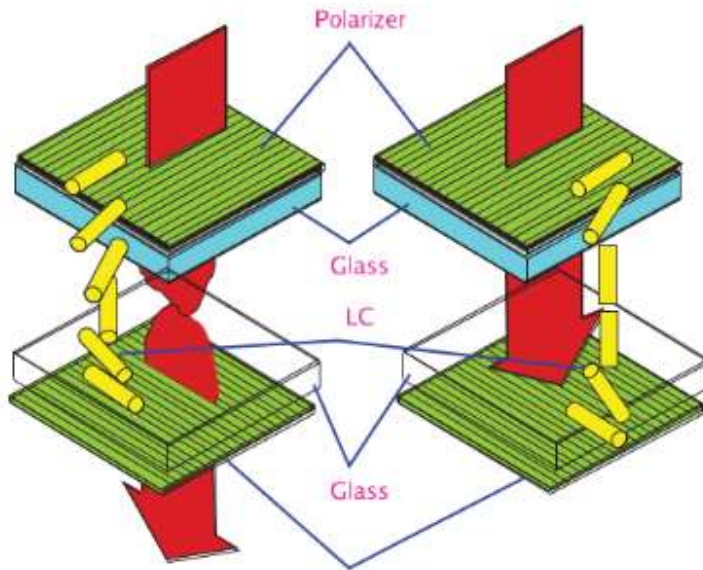
Valonlähde	Projektorimallien määrä	Kuvan modulointitapa	Projektorimallien määrä
Kaasupurkauslamppu	848	3 nestekidenäyttöä	532
Laser	451	3 nestekidenäyttöä piillä	109
Led	147	3 digitaalista peililaitetta	95
Led/Laser -hybridi	35	1 digitaalinen peililaitte	46

Taulukosta nähdään nestekidenäytön olevan projektorimallien määrän mukaan tarkasteltuna suosituin kuvan modulointitekniikka. Nämä lukumäärät eivät kerro teknologioiden keskinäisestä paremmuudesta tai tulevaisuuden näkymistä, vaan ehkä enemmän teknologian iästä. Vanhemmalla teknologialla on kehitetty enemmän erilaisia projektorimalleja. Nämä lukumäärät eivät myöskään ota huomioon, kuinka monta kappaletta tiettyä projektorimallia on myyty.

4.1 Nestekidenäyttö

Nestekidenäyttö on ollut käytössä videoprojektoreissa vuodesta 1989 saakka, jolloin Epson toi markkinoille kehittämänsä nestekidenäyttöprojektorin [18]. Nestekidenäyttöjä on käytetty hyvin paljon lähes kaikissa erilaisissa näytöissä. Videoprojektori asettaa nestekidenäytölle omat vaatimuksensa, joten tekniikan tulee olla erilaista kuin esimerkiksi televisiossa. Nestekidenäytön tulee olla mahdollisimman pienikokoinen, jolloin valolähteen teho saadaan hyödynnettyä mahdollisimman hyvin. Videoprojektorien näyttötekniikassa vaaditaan hyvin suurta kirkkautta, jolloin hyötysuhde- ja lämpenemisongelmat tulee ottaa huomioon. [1]

Nestekidenäyttö koostuu nestekidesoluista, joita on yksi jokaista pikseliä kohden. Solun sisällä on materiaalia, joka koostuu pitkistä monimutkaisista molekyyleistä, joilla on jäykkä keskiosa ja joustavia ulokkeita. Tämä yhdistelmä aiheuttaa sen, että materiaalilla on sekä nestemäisiä että kidemäisiä ominaisuuksia. Molekyylien asentoa pystytään hallitsemaan asettamalla soluun sähkökenttä. Yksinkertainen esimerkki nestekidesolusta on TN-solu (engl. Twisted Nematic). [19] Tämä on projektoreissakin käytetty yleinen nestekidesolu. Viime aikoina projektoreissa on käytetty myös VAN-soluja (engl. Vertically Aligned Nematic). [20] TN-solussa pikselin molemmilla puolilla on polarisaatiosuotimet, jotka päästävät ainoastaan tietyllä tapaa polarisoitunutta valoa lävitseen. Suotimet ovat 90° asteen kulmassa toisiinsa nähden, joten ilman mitään muuta rakennetta ne estäisivät valon läpäisemisen täysin. Kun suotimet välit täytetään nestekidemateriaalilla, valo seuraa nestekidemolekyylin rakennetta kiertyen juuri siten, että toisen polarisaatiosuotimen kohdalla se on kääntynyt 90° ja läpäisee polarisaatiosuotimen täysin. Tällöin pikseli läpäisee lähes kaiken valon. Kun soluun asetetaan tarpeeksi suuri jännite, nestekidemolekyylit asettuvat kohtisuoraan suotimien pinnan suuntaan, jolloin valo ei pääse kiertymään tarpeeksi, vaan absorboituu toiseen polarisaatiosuotimeen. [19]



Kuva 10. TN-solun toimintaperiaate (vasemmalla jännite nolla, oikealla jännite on tarpeeksi suuri estämään valon kiertymisen). [19]

Kuvassa 10 oikealla nähdään kahden keskimmäisen molekyylin olevan kohtisuorassa suotimiin nähden. Kontrollijännitteen suuruudella voidaan hallita, kuinka voimakkaasti molekyyliä vedetään tähän asentoon. Pienemmällä jännitteellä osa valosta pääsee kiertymään tarpeeksi läpäistäkseen solun. Nestekidesolua voidaan ohjata analogisella jännitteellä, joka on käänteisesti verrannollinen läpäisevän valon määrään. [19]

Videoprojektoreiden nestekidenäyttöjen valmistustekniikkana käytetään HTPS-tekniikkaa (engl. High Temperature Poly-Silicon). HTPS-tekniikassa hyödynnetään korkeita lämpötiloja ja se on erityisen sopiva valmistamaan projekteissa käytettyjä pienikokoisia tiheitä nestekidenäyttöjä. Videoprojektoreissa käytetään nykyään aktiivisia nestekidenäyttöjä, joissa jokaisella pikselillä on oma TFT-transistorinsa (engl. Thin-Film-Transistor, ohutkalvotransistori). [18] Tämä mahdollistaa sen, että pikseliin voidaan asettaa tietty jännite käyttämällä yhteistä johdinta koko pikselisarakkeelle, ja aktivoida ainoastaan yksi pikseli sarakkeesta kerrallaan, jolloin nestekidesoluun latautuu sarakkeen johtimessa silloin oleva analoginen jännite [21].

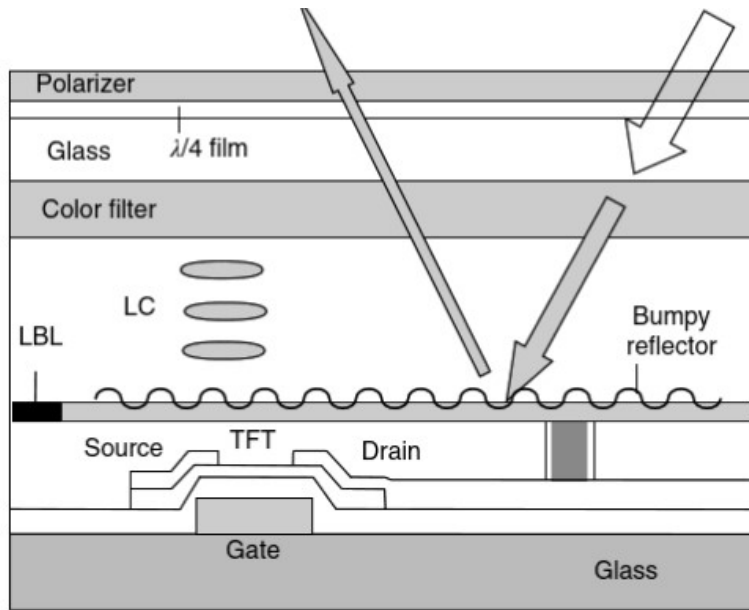
Nestekidenäytöistä rakennetaan yleensä kolmen modulointiyksikön projekteita, jossa on omat nestekidenäytöt eri pääväreille, sillä nestekidesolun hitaus estää peräkkäisen valonmuodostuksen hyödyntämisen. Pikseliä tulisi pystyä päivittämään alle millisekunnin välein, jolloin voitaisiin saavuttaa vähintään 30 hertsin virkistystaajuus. Viime aikoina on tutkittu sinisen vaiheen nestekidesoluja (engl. "Blue-Phase Liquid Crystal"), jotka mahdollistavat peräkkäisen valonmuodostuksen myös nestekideprojekteissa, jos niistä saadaan kehitettyä kaupallisia ratkaisuja. [22]

Nestekidenäyttö asettaa tiettyjä vaatimuksia valolähteelle, sillä kuvan modulointiyksikköä ennen valonsäde täytyy polarisoida vastaamaan nestekidesolun ensimmäistä polarisaatiosuodinta. Vanhemmissa pieniresoluutioisissa nestekidenäyttöprojekteissa esiintyi tietty kuvan vääristymä. Nestekidenäyttö muodostaa terävän kuvan, joka venytettynä heijastuspinnalle aiheutti sen, että tietyissä kuvissa yksittäiset pikselit tulivat näkyviksi. Nykyään projektoreiden resoluutio on sen verran suurempi, että tämä ei ole enää juurikaan ongelmana. [18]

4.2 Nestekidenäyttö piilevällä

Edellisessä luvussa esitelty HTPS-nestekidenäyttö on valoa läpäisevä, eli valo kulkee näytön läpi, josta se ohjataan eteenpäin. Nestekidenäytöstä voidaan tehdä myös heijastava, jolloin piikiekon päälle muodostetaan heijastava alumiinipinta, jonka päällä on nestekidesoluista koostuva matriisi. [18] Nestekidesolujen läpäisykykyä voidaan edelleen hallita jännitteellä, mutta nyt valonlähteen valo heijastuu alumiinipinnasta tietyssä kulmassa. Tämän menetelmän yksi merkittävimmistä eduista on se, että nyt nestekidesolun kontrollielektroniikka saadaan pois valon kulkureitiltä solun taakse. Läpäisevässä nestekidenäytössä tämä ei ole mahdollista, sillä osa näytön pinta-alasta joudutaan käyttämään johdinvetoihin ja komponentteihin. [19] Nestekidenäytöstä piilevällä käytetään yleisesti lyhennettä LCoS (engl. Liquid Crystal on Silicon) [18]. LCoS-projekteissa käytetään eri versioita TFT-nestekidenäytöistä, eli jokaisella pikselillä on oma ohutkalvotransistorinsa [19]. Nestekidesoluna LCoS-projekteissa käytetään VAN-solua. [20] VAN-solussa nestekidemolekyylit ovat asettuneet pystysuoraan, kun ohjausjännite on nolla. Ohjausjännitteen kasvaessa molekyyliden asento muuttuu viistommaksi, jolloin osa valosta pääsee polarisoitumaan tarpeeksi läpäistäkseen polarisaatiosuodimen. [23]

Kuvassa 11 näkyy LCoS-solun toimintaperiaate. Solun päällä on nestekidenäytöissä tarpeellinen polarisaatiosuodin. Tämän alapuolella on rakennetta ylläpitävä lasilevy. [19] Lasilevyn alla voi kuvan 11 mukaan olla värisuodin, mutta LCoS-projekteissa värisuodinta ei ole joka solussa erikseen, vaan valo on suodatettu komponentteihinsa jo aikaisemmin [24]. Tämän jälkeen valo kulkee nestekidemateriaalin läpi, jossa sen polarisaatio muuttuu ohjausjännitteen mukaisesti. Polarisaation muutoksen mukaisesti koko solun valonläpäisykyky muuttuu. Valon heijastuminen tapahtuu epätasaisella heijastuspinnalla, mikä hajauttaa heijastunutta valoa hieman. Heijastuspinta on TFT-transistorin päällä, jolloin valon ei tarvitse kulkea transistorin läpi. [19]

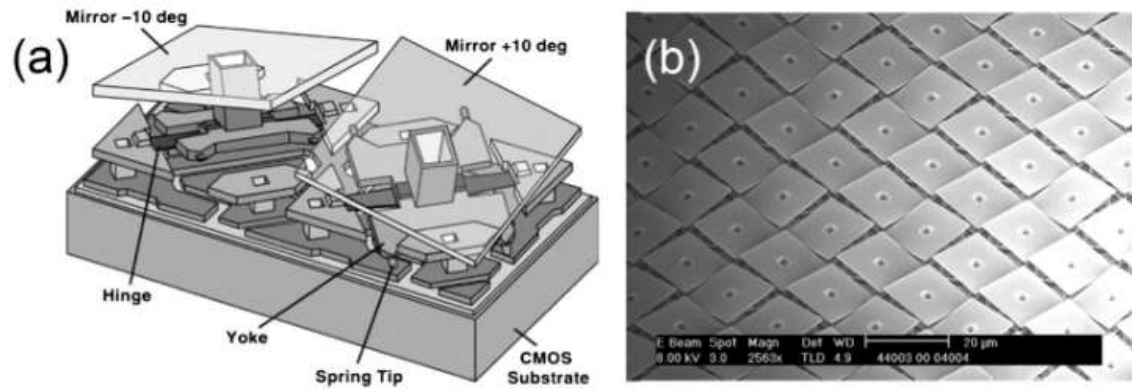


Kuva 11. Esimerkki heijastavan nestekidesolun rakenteesta. [19]

Heijastavassa nestekidenäytössä kuvan 11 mukaisesti valo läpäisee nestekidesolun kahteen kertaan, joten nestekidesolun paksuus voi olla ainoastaan puolet vastaavasta läpäisevästä solusta [19]. Koska ohuemmassa nestekidesolussa on vähemmän nestekidemateriaalia, se reagoi jännitteen muutoksiin nopeammin, joten heijastava nestekidesolu toimii nopeammin kuin läpäisevä. Se ei kuitenkaan ole tarpeeksi nopea hyödyntämään peräkkäistä valonmuodostusta, vaan LCoS-projektoreissa on yleensä kolme erillistä kuvanmodulointiyksikköä. Aikaisemmassa luvussa esitelty nopeampi "Blue-Phase Liquid Crystal" -solu saatetaan tosin ensin toteuttaa yksipaneelisenä LCoS-projektorina. [24]

4.3 Digitaalinen peililaite

Mikroelektromekaaninen järjestelmä (MEMS, engl. Micro Electro Mechanical Systems) on integroitu piiri, jonka merkittävänä toiminnallisena osana on liikkuva mekaaninen osa, jota ohjataan sähköisesti [8]. MEMS-piirien valmistus on kehittynyt viime vuosina hyvin paljon. Suuri haaste niiden valmistuksessa on pieneksi jäävä saanto. Prosessien kehittyttyä nykyään voidaan tiettyjä MEMS-piirejä valmistaa taloudellisesti tarpeeksi suurella saannolla. Suosituimpana näistä on Texas Instrumentin kehittämä DLP-tekniikka (engl. Digital Light Processing, digitaalinen valonkäsittely), joka esiteltiin markkinoille vuonna 1996. Se perustuu MEMS DMD -peileihin. [3] Havainnollistava kuva DLP:n rakenteesta on kuvassa 12.



Kuva 12. Kaksi DMD-peiliä (vasen) ja mikroskooppikuva DMD:n pinnasta (oikea) [8].

Digitaalinen peililaitte eli DMD on kaksiulotteinen matriisi hyvin pieniä peilejä. Jokainen peili tuottaa yhden pikselin projisoitavasta kuvasta. Yhden peilin koko on noin 14-17 μm . Peilit on kiinnitetty keskeltä nivelellä ja niillä on kaksi stabiilia tilaa. Toisessa tilassa peili suuntaa valon ulos projektorista, jolloin pikseli on ”päällä” ja toinen tila suuntaa valon absorptiopinnalle, jolloin pikseli on ”pois päältä”. Peilin hallinta perustuu sähköstaattiseen voimaan, joka syntyy peilin reunan ja kontrollisignaalin välille. DMD perustuu siihen, että jokainen pikseli voidaan asettaa päälle tai pois. Tällä tavoin voidaan harmaasävyasteikolla tuottaa joko valkoinen tai musta pikseli. Väriarvot mustan ja valkoisen välillä muodostetaan kääntämällä peiliä hyvin nopeasti, jolloin ihmissilmä tulkitsee vilkkuvan mustan ja valkoisen pikselin harmaaksi. [8] Peilin kääntämiseen kuluu aikaa noin 16 μs [3].

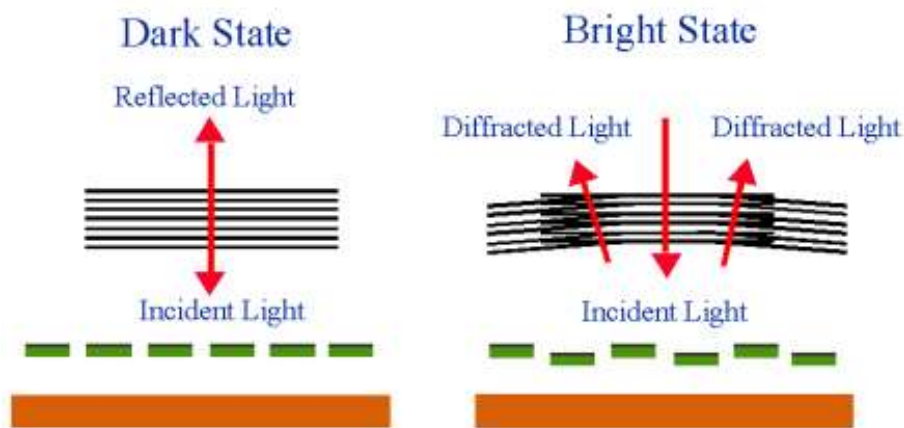
Modernien videoprojektorien tulee pystyä näyttämään myös värikuvaa. Tämä voidaan toteuttaa kahdella eri tapaa. Ensimmäisenä voidaan hyödyntää samaa tekniikkaa kuin kolmen nestekidenäytön projektoreissa. Voidaan käyttää kolmea DMD-piiriä, joihin jokaiseen suunnataan yksi pääväreistä. DMD-piireistä ulostulevat valot voidaan yhdistää optisesti käyttämällä tarkoitukseen valmistettua prismaa. Toinen tapa toteuttaa värikuva on käyttää vain yhtä DMD-piiriä ja peräkkäistä valoa (engl. ”sequential light”). [8] Etuna tässä on projektorin rakenteen yksinkertaistuminen ja kustannusten pieneneminen. Peräkkäisen valon käyttäminen tuo mukanaan myös ongelmia. Nyt yhden piirin tulee näyttää kaikki kolme väriä, jolloin sillä on vain kolmasosa aikaa toimia verrattuna kolmen DMD-piirin rakenteeseen. Kun käytetään peräkkäistä väriä ja päävärien erottelu tehdään väripyörällä, voi muodostua DMD:lle ominainen ”sateenkaari-ilmiö”. [4]

Valmistusteknisesti DMD on haastava valmistaa, sillä jokaisen peilin rakenne on saatava toimivaksi. Käytössä DMD kestää kuitenkin hyvin. Merkittävin kuluma syntyy peilin nivelen virumisesta, jos sitä käytetään pitkiä aikoja vain toisessa asennossa. Tällöin sen

kulma voi jäädä pysyvästi hieman siihen suuntaan. DMD-piirin elinikä on tästä huolimatta yli 100 000 tuntia. [3]

4.4 Ritilävaloventtiili

Mikroelektromekaanisia modulointitekniikoita on muitakin, mutta DMD:n suosion tasolle ne eivät ole vielä yltäneet. GLV (engl. Grating Light Valve, ritilävaloventtiili) on valon diffraktio-ominaisuutta hyödyntävä modulointitekniikka. Se pystyy muodostamaan kuvasta yhden rivin tai sarakkeen kerrallaan, joten sitä kutsutaan yksiakseliseksi skannausmodulointitekniikaksi. [10]. GLV:n rakenne muistuttaa ritilää, jossa yhtä pikseliä kohden on kuusi 100 μm pituisia ja 100 nm paksuista jännityksessä olevaa nauhaa. Kuvan 13 vasemmassa kuvassa pikseliä ei ohjata, jolloin se heijastaa kaiken valon takaisin. Oikeassa kuvassa pikseliin kohdistetaan ohjaussignaali, jolloin joka toista nauhaa vedetään elektrostaattisella voimalla alaspäin. Tällöin nauhat muodostavat tilan, jossa siihen suoraan tuleva valo diffraktoituu vasemmalle ja oikealle tietyssä kulmassa. Ohjaussignaalin voimakkuudella voidaan säätää diffraktiokulmaa. Diffraktoitunut valo kerätään optisesti ja suoraan heijastunut valo hylätään. [25]



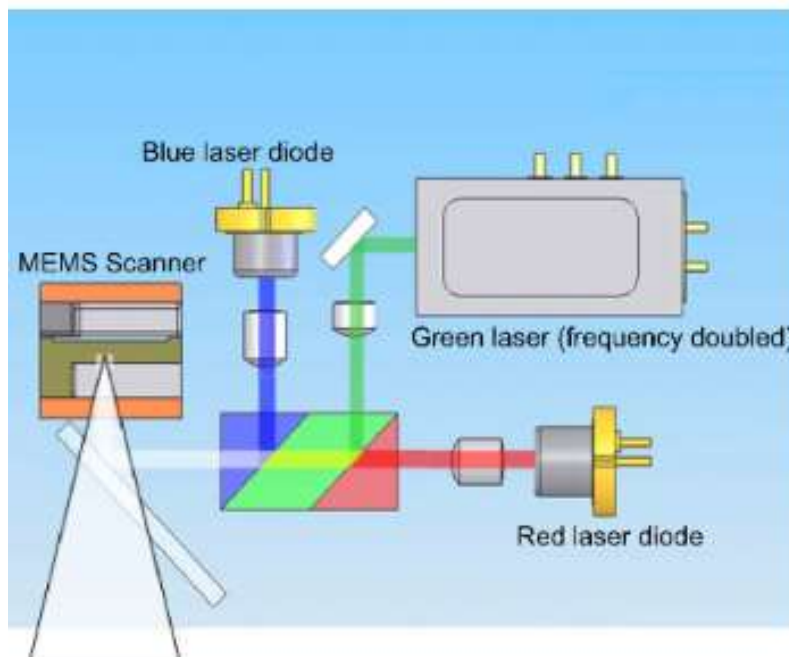
Kuva 13. GLV:n toimintaperiaate [25].

GLV:n ohjausmekanismien etu on se, että ohuet nauhat liikkuvat hyvin nopeasti. GLV:n toimintanopeus voi olla parhaimmillaan 20 ns verrattuna DMD-piirin 16 μs :iin. Nopean toiminnan takia GLV:tä voidaan käyttää joko analogisella ohjaussignaalilla, jolloin signaalin arvo on suhteellinen nauhojen siirtymään, tai digitaalisella ohjaussignaalilla, jossa nauhalla on vain kaksi tilaa, pois päältä ja päällä tietyssä etukäteen määritellyssä diffraktiokulmassa. [25] GLV tuottaa ainoastaan yhden sarakkeen kuvasta. Kokonainen kuva voidaan muodostaa käyttäen yksinkertaista elektromekaanista peiliä, jolla skannataan kuva sarake kerrallaan [10]. Valonlähteenä GLV:n kanssa käytetään yleensä laseria.

GLV mahdollistaa halpojen lasereiden pinoamisen päällekkäin sarakkeeksi, jota voidaan käyttää suoraan sarakemaisena valonsäteenä GLV piirille. [25]

4.5 Skannaava laser -näyttö

Laser-valonlähdettä voidaan myös skannata kaksiakselisesti suoraan heijastuspinnalle. Tällöin modulointiyksikön rakenne yksinkertaistuu ainoastaan kahdeksi MEMS-peiliksi. Tekniikan nimi on LSD (engl. Laser Scanning Display, Skannaava laser -näyttö). [8] LSD-järjestelmästä voidaan tehdä hyvin pienikokoinen ja helppo valmistaa. Tuotantoprosessin saanto on yleensä parempi, sillä liikkuvia komponentteja on huomattavasti vähemmän kuin DMD-piirissä. LSD ei vaadi paljon optiikkaa, jolloin se on käyttökelpoinen halvissa projektoreissa. Se perustuu ”lentävän pisteen” -skannaamiseen, eli kuva piirretään suoraan projektiopinnalle pikseli kerrallaan. Kuva 14 esittää esimerkkirakenteen LSD-projektorin rakenteesta. Se perustuu kolmella eri valonlähteellä tuotettavaan peräkkäiseen valonmuodostukseen. Punainen ja sininen valo tuotetaan tavallisilla lasereilla ja vihreä valo muodostetaan infrapuna-alueen laserilla, jonka taajuus kaksinkertaistetaan optisesti. Yksi valonlähde on päällä kerrallaan, jolloin MEMS-skanneri käy läpi koko kuvan pikselit. Jokaisen pikselin kohdalla valonlähteen voimakkuutta säädetään siten, että saavutetaan haluttu väriarvo. [10]



Kuva 14. LSD-projektorin sisäinen rakenne [10].

LSD-projektori vaatii valonsäteeltä pienen etendue-arvon. Koska skannuselementtikin on hyvin pieni, tulee valonsäteen olla hyvin kapea. LSD-projektorit voivat tulevaisuudessa menestyä pikoprojektoreiden näyttötekniikkana, eli hyvin pienikokoisissa projektorissa, jotka on tarkoitettu liikkuvaan käyttöön. [10]

Mikroelektromekaaninen modulointi on menestynyt tällä hetkellä ainoastaan DMD-piirien muodossa. Uusia MEMS-piirejä tutkitaan kuitenkin koko ajan. Erityisesti valon diffraktioilmiöön perustuvia modulointipiirejä on kehitetty useita erilaisia, joista tulevaisuudessa voi tulla markkinoille kelpaavia ratkaisuja. [8]

5. YHTEENVETO

Videoprojektorin sisäinen rakenne noudattaa lähes aina työn alussa esiteltyä rakennetta. Videoprojektorin yleiseen rakenteeseen voidaan sijoittaa monia erilaisia valonlähteitä ja kuvan modulointiyksiköjä. Eri tekniikoiden yhdistelyssä tulee kuitenkin ottaa huomioon eri moduulien erikoisvaatimukset.

Tässä työssä on keskitytty esittelemään useita erilaisia videoprojektorin valonlähteitä. Vertaillaan valonlähteitä lyhyesti. Kaasupurkauslamppu on tässä työssä esitellyistä valonlähteistä suosituin ja vanhin. Sen heikkoutena on kuitenkin heikohko spektrin laatu ja lyhyt elinikä. Laserin etuna on erinomainen värintoistokyky, mutta se on varsin kallis. Ledeihin perustuvalla valonlähteellä on paras hyötysuhde, mutta kirkkaus ei vielä ole riittävä kaikkiin projektoreihin.

Vertaillaan hieman myös kuvan modulointiyksiköitä. Tässä työssä esitellyistä tekniikoista ainoastaan LCD, LCoS ja DMD ovat menestyneet projektorimarkkinoilla. LCD on näistä vanhin ja edullisin käyttää. LCoS on hieman nopeampi kuin LCD ja se skaalautuu paremmin suurille resoluutioille. DMD-projektorit ovat melko kalliita, mutta niillä saavutetaan erinomainen korkearesoluutioinen kuva. Lisäksi DMD:tä käytettäessä voidaan halutessa hyödyntää peräkkäistä valonmuodostusta.

Videoprojektorin valmistaminen vaatii kuitenkin myös paljon muuta monimutkaista tekniikkaa, kuten optiikkaa ja digitaalitekniikkaa. Videoprojektorin sisäinen rakenne on siten varsin monimutkainen ja sen suunnitteleminen on kallista. Näin ollen, projektitekniikka on melko kallis toteuttaa, eikä välttämättä ole enää paras ratkaisu alemman hintaluokan sovelluksissa. Toisaalta videoprojektoreille on syntynyt uusia käyttökohteita kuten ulkoilmaprojektio, joka vaatii hyvin kirkkaan valonlähteen ja usein usean projektorin yhteistoimintaa. Kuluttajakäytössä videoprojektorien tulee tulevaisuudessa pystyä toistamaan entistä korkearesoluutioisempaa kuvaa. Tämä on valmistuksen kannalta ongelmallista, sillä toisaalta kuvan modulointiyksikkö halutaan pitää mahdollisimman pienikokoisena, jotta valo osuu siihen tasaisesti. Projektoriala vaikuttaa elinvoimaiselta, sillä uusia projektoritekniikoita tutkitaan paljon ja valmistajat julkaisevat uusia projektorimallejaan säännöllisesti.

LÄHTEET

- [1] J.C. Whitaker, B. Benson, Projection Display Systems, Standard Handbook of Video and Television Engineering, 4. ed. McGraw Hill Professional, Access Engineering, 2003.
- [2] A. Koebel, Fundamentals of Projection Technology, 2014, Saatavissa: <https://www.christiedigital.com/Documents/Presentations/simuniversity2014/SIM%20U%202014%20-%2001%20-%20Fundamentals%20of%20Projection%20Technology%20-%20Alen%20Koebel.pdf>, Viitattu: 18.05.2019.
- [3] P.F. Van Kessel, L.J. Hornbeck, R.E. Meier, M.R. Douglass, A MEMS-based projection display, JPROC, Vol. 86, Iss. 8, 1998, pp. 1687-1704.
- [4] S. Kim, T. Shibata, T. Kawai, K. Ukai, Ergonomic evaluation of a field-sequential colour projection system, Displays, Vol. 29, Iss. 2, 2008, pp. 132-137.
- [5] Projector Colour Wheel Repair, Saatavissa: <https://www.projectorrepair.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/projector-colour-wheel-repair.jpg>, Viitattu: 08.03.2019.
- [6] C. Hoelen, P. Antonis, D. de Boer, et al, Progress in extremely high brightness LED-based light sources, SPIE, Vol. 10378, 2017.
- [7] M.S. Brennesholtz, The Revolution in Solid State Light Sources in Projection, SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol. 48, Iss. 1, 2017, pp. 509-512.
- [8] J. Ma, Advanced MEMS-based technologies and displays, Displays, Vol. 37, 2015, pp. 2-10.
- [9] M. Wood. Etendue, 2012, Saatavissa: <https://www.mikewoodconsulting.com/articles/Protocol%20Winter%202012%20-%20Etendue.pdf>, Viitattu: 08.03.2019.
- [10] K. Chellappan, E. Erden, H. Urey, Laser-based displays: A review, Applied Optics, Vol. 49, 2010, pp. 79.
- [11] J. H. Krantz, B. L. Schwartz, Additive and Subtractive Color Mixing, Saatavissa: <https://isle.hanover.edu/Ch06Color/Ch06ColorMixer.html>, Viitattu: 18.05.2019.
- [12] M.G. Robinson, J. Chen, G.D. Sharp, Color in projection displays, Journal of Display Technology, Vol. 1, Iss. 1, 2005, pp. 118-124.
- [13] X. Zhao, Z. Fang, G. Mu, Analysis and design of the color wheel in digital light processing system, Optik - International Journal for Light and Electron Optics, Vol. 118, Iss. 12, 2007, pp. 561-564.
- [14] Find a Projector, Saatavissa: <https://www.projectorcentral.com/projectors.cfm>, Viitattu: 04.04.2019.
- [15] P. Flesch, Light and Light Sources, 1. ed. Springer-Verlag, 2006, pp. 45-48, 343 p.
- [16] C. Hoelen, D. de Boer, D. Bruls, et al, LED light engine concept with ultra-high scalable luminance, SPIE, Vol. 9768, 2016.
- [17] Hitachi's New Ultra Solid Engine Projector, Saatavissa: <http://www.hitachidigitalmedia.com/en-gb/led-technology>, Viitattu: 08.03.2019.

- [18] B. D. Guenther, Duncan G. Steel, *Encyclopedia of Modern Optics*, 2. ed. Academic Press, GB, 2018, pp. 32–35, 2250 p.
- [19] D. Yang, S. Wu, *Fundamentals of Liquid Crystal Devices*, John Wiley & Sons, Incorporated, New York, 2014, pp. 375-376, 882 p.
- [20] G. Cristobal, P. Schelkens, H. Thienpont, *Optical and Digital Image Processing : Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons, Incorporated, Weinheim, 2011, pp. 430, 988 p.
- [21] M.J. Bell, An LCD column driver using a switch capacitor DAC, *JSSC*, Vol. 40, Iss. 12, 2005, pp. 2756-2765.
- [22] S. He, J. Lee, H. Cheng, J. Yan, S. Wu, Fast-Response Blue-Phase Liquid Crystal for Color-Sequential Projection Displays, *Journal of Display Technology*, Vol. 8, Iss. 6, 2012, pp. 352-356.
- [23] H. Yoshida. Vertically Aligned Nematic (VAN) LCD Technology, *Handbook of Visual Display Technology*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, pp. 1485-1505.
- [24] L. Rao, S. He, S. Wu, 65.2: Blue-Phase Liquid Crystals for Projection Displays, *SID Symposium Digest of Technical Papers*, Vol. 44, Iss. 1, 2013, pp. 902-904.
- [25] D. Corbin, D.T. Amm, R. W. Corrigan, Grating Light Valve and Vehicle Displays, *Proceedings of the 5th Annual Flat Panel Display Strategic and Technical Symposium*, 1998.