

Ville Lampela

# PROJEKTOREIDEN NÄYTTÖTEKNOLOGIAT

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Tarkastaja: Katja Laine  
Marraskuu 2019

## TIIVISTELMÄ

Ville Lampela: Projektoreiden näyttötekniikat  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tieto- ja sähkötekniikan TkK-tutkinto-ohjelma  
Marraskuu 2019

Tämä työ on kirjallisuusselvitys projektoreissa käytettävistä eri teknologioista. Työssä keskitytään erityisesti projektorin valon moduloinnista vastaavaan osaan, jonka perusteella projektorit voidaan jakaa kolmeen selvästi luokiteltavaan ryhmään: LCD- (liquid crystal display), LCoS- (liquid crystal on silicon) ja DLP-projektoreihin (digital light processing). Tämän lisäksi tutustutaan toiseen hyvin tärkeään projektorin osaan, valonlähteeseen. Valonlähteistä käymme läpi kolme tärkeintä teknologiaa: perinteiset suurpainekaasupurkauslamput sekä uudempaa teknologiaa edustavat LED- (light-emitting diode) ja laser-valonlähteet.

Lopuksi työssä vertaillaan eri teknologioita keskenään ja yritetään jäsenellä niiden hyviä ja huonoja puolia. Pienikokoisissa kannettavissa projektoreissa RGB-LED-valonlähteellä ja DLP-paneelilla toteutettu systeemi vaikuttaa pääsääntöisesti kaikkein parhaimmalta vaihtoehdolta. Isommissa ja enemmän yleiskäyttöön tarkoitetuissa projektoriluokissa on vaikeaa antaa yleispätevää päätelmää minkään teknologian paremmuudesta.

Avainsanat: projektori, LCD, LCoS, DLP

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

## **ALKUSANAT**

Tämä tekniikan kandidaatintyö on tehty Tampereen yliopistolle. Haluan kiittää kandidaattityön ohjaajaa ja tarkastajaa TkL Katja Lainetta hyvistä ohjeista ja pitkästä kärsivällisyydestä työn tekemisessä. Lisäksi haluan kiittää kaikkia läheisiäni, jotka olivat mukana kannustamassa työn viimeistelyssä.

Tampereella, 3.11.2019

Ville Lampela

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	LCD-PROJEKTORIT .....	2
2.1	Nestekideteknologia .....	2
2.2	TFT-Matriisi .....	4
2.3	Rakenne .....	5
3.	DLP-PROJEKTORIT .....	7
3.1	DMD .....	7
3.2	Rakenne .....	8
4.	LCOS-PROJEKTORIT .....	10
4.1	LCoS-paneeli .....	10
4.2	Rakenne .....	11
5.	PROJEKTORIN VALONLÄHTEET .....	13
5.1	HID-lamput .....	13
5.2	LED .....	13
5.3	Laser .....	14
6.	TEKNOLOGIOIDEN VERTAILU .....	15
6.1	Värientoisto .....	15
6.2	Kontrasti .....	15
6.3	Kuvan tarkkuus .....	16
7.	YHTEENVETO .....	17
	LÄHTEET .....	18

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

3LCD	Seiko Epsonin omistama nestekidepaneeliteknologia
CMOS	engl. Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, kanavatransistoreihin perustuva mikropiiritekniikka
DLP	Digital Light Processing, peileihin perustuva projektoritekniikka
DMD	engl. Digital Micromirror Device, DLP-projektoreissa käytettävä mikropeilisiru
FSTN	engl. Film Super Twist-Nematic, kiertonemaattisen erityismuoto
HID	engl. High Intensity Discharge lamp, suurpaineikaasupurkauslamppu
IPS	engl. In Plane Switching, nestekidepaneeleissa käytettävä tekniikka
ITO	engl. Indium Tin Oxide, indiumtinaoksidi
LC	engl. Liquid Crystal, nestekide
LCD	engl. Liquid Crystal Display, nestekidepaneeli
LCoS	engl. Liquid Crystal on Silicon, nestekiteitä hyödyntävä projektoritekniikka
LED	engl. Light-emitting Diode, valoa säteilevä diodi
LSB	engl. Least Significant Bit, vähiten merkitsevä bitti
MEMS	engl. Micro Electro-Mechanical System, sähkömekaaninen järjestelmä
MSB	engl. Most Significant Bit, eniten merkitsevä bitti
PBS	engl. Polarized Beam Splitter, polaarisuuden mukaan toimiva säteenjakaja
SRAM	engl. Static Random-Access Memory, staattinen lukumuisti
STN	engl. Super Twist-Nematic, kiertonemaattisen erityismuoto
TFT	engl. Thin Film Transistor, ohutkalvotransistori
TIR-prisma	Total Internal Reflection -prisma
TN	engl. Twisted Nematic, kiertonemaattinen
UHP	engl. Ultra-High-Performance, Philipsin tavaramerkin mukainen projektorilamppu
VA	engl. Vertical Alignment, nestekidepaneeleissa käytettävä tekniikka

# 1. JOHDANTO

Historian saatossa ihmiset ovat lukuisin eri tavoin projisoineet staattista ja liikkuvaa kuvaa. Esihistoriallisena aikana tämä saattoi tarkoittaa varjojen heijastamista nuotion valossa luolan seinämälle. Myöhemmin opittiin hyödyntämään neulanreikää ja erilaisia linssi- ja peilisysteemejä valon projisoimisessa. Myös kuvan tai videon tallennusmuoto on muuttunut. Perinteisessä jo vuosisatoja käytössä olleessa tavassa informaatio tallennetaan erilaisille dioille tai filmeille, joiden läpi heijastamalla kuva saadaan muodostettua. Nykypäivänä lähes kaikki informaatio tallennetaan digitaalisessa muodossa. Tämä on mahdollistanut useiden eri projektoriteknologioiden rinnakkaisen kehittämisen.

Useiden teknologioiden rinnakkainen olemassaolo aiheuttaa vääjäämättä erityisesti kulluttajille epäselvyyttä. Itselleen sopivimman projektorin valitsemiseksi on siksi tärkeää tietää projektoreissa käytettävien eri teknologioiden vahvuuksista. Tämän ymmärtämiseksi on hyvä tietää eri teknologioiden toiminnalliset peruseriaatteen. Valintaa tehdessä on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota projektorin valon manipulaatiosta vastaavaan tekniikkaan sekä itse valonlähteeseen. Tässä kirjallisuusselvityksessä keskitytään näihin kahteen projektorin osa-alueeseen.

Luvuissa 2, 3 ja 4 tutustutaan kolmeen markkinoita tällä hetkellä ja lähitulevaisuudessa hallitsevaan teknologiaan, jotka liittyvät valon manipulaatiosta hoitavaan osaan. Nämä ovat järjestyksessä LCD-, DLP- ja LCoS-projektoriteknologiat. Luvussa 5 tutustutaan projektoreiden valonlähteisiin, joihin kuuluvat perinteiset kaasupurkauslamput sekä yleistymässä olevat LED- ja laser-ratkaisut. Luvussa 6 vertaillaan eri projektoritekniikoiden soveltuvuutta erilaisissa käyttöympäristöissä. Luvussa 7 on työn yhteenveto.

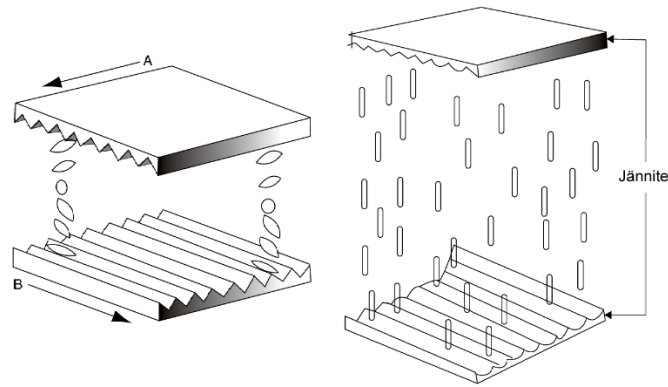
## 2. LCD-PROJEKTORIT

LCD-projektorit ovat yksi kolmesta suosituimmasta projektoriteknologioista. Ne hyödyntävät LCD-näytöistä tuttua nestekidepaneeliteknologiaa, jossa paneelin läpäisevän valon määrää voidaan säätää nestekiteeseen johdettavan jännitteen avulla. Tyypillisesti LCD-projektori koostuu valkoista valoa tuottavasta valonlähteestä, jonka valo suunnataan peilien avulla kolmelle erilliselle nestekidepaneelille. Nämä kolme paneelia vastaavat videosignaalin kolmen eri päävärin tuottamisesta (punainen, vihreä ja sininen). Valkoinen valo muutetaan videosignaalin pääväreiksi joko värijakosuotimien tai värijakopeilien avulla. Lopuksi paneelien läpäisevät valot kerätään yhteen prisman avulla ja heijastetaan linssisysteemin avulla valkokankaalle. [1, s. 372–374]

### 2.1 Nestekideteknologia

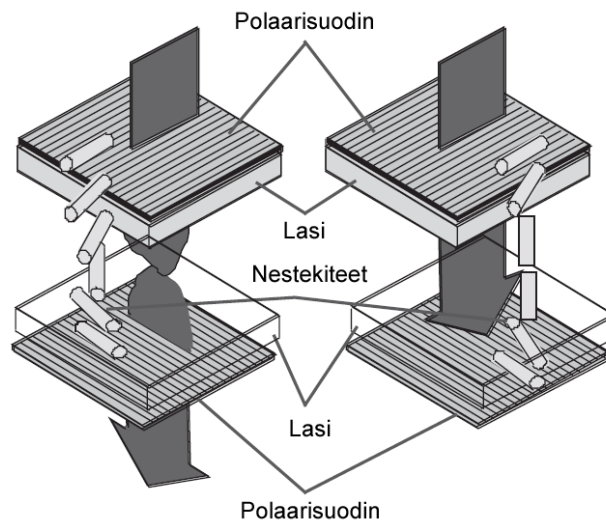
Nestekidepaneelit perustuvat valon eli sähkömagneettisen säteilyn polaarisuuden manipuloimiseen. Nestekiteillä on sekä kiinteän kiteisen aineen että homogeenisen nesteen ominaisuuksia. Ne käyttäytyvät nesteen tavoin säilyttäen kuitenkin rakenteellisen järjestyksensä [2, s. 60]. Sähkökentän avulla tätä rakennetta pystytään muokkaamaan [1, s. 179].

Yksi yleisesti LCD-paneeleissa käytetty valmistusteknologia on kiertonemaattinen (twisted nematic tai TN). Tässä tekniikassa nestekidemolekyylit pinotaan kahden uritetun lasilevyn väliin. Levyjen urat ovat toisiinsa nähden  $90^\circ$  kulmassa pakottaen pitkänomaisten nestekidemolekyylien rakenteen kierteiseksi. Tämä rakenne aiheuttaa läpäisevälle lineaarisesti polarisoituneelle valolle saman suuruisen polariteetin suunnan muutoksen. Rakenteen ylä- ja alapinnan välille kytketyllä jännitteellä tätä kierteisyyttä pystytään vähentämään. Riittävän suurella jännitteellä kierteisyys katoaa kokonaan ja valo kulkee lähes muuttumatta rakenteen läpi. Seuraavalla sivulla, kuvassa 1, on havainnollistettu TN-paneelin peruseriaa. [1, s. 179–181]



**Kuva 1.** Nestekidemolekyylien asennoituminen TN-paneelissa. Vasemmalla ilman sähkökentän vaikutusta ja oikealla sähkökentän vaikutuksen alaisena. [1, s. 181]

Jotta LCD-paneeli suodattaisi valoa halutun mukaisesti, tarvitaan vielä polaarisuotimia. Tavallisen valonlähteen, kuten auringon tai lampun, lähettämä valo on polarisoimatonta. Tällöin valo sisältää sekä pysty- että vaakapolarisoituneet komponentit. Polarisoimatonta valoa voidaan muuttaa lineaarisesti polarisoituneeksi polaarisuotimen avulla. Polaarisuotimet päästävät vain tiettyyn suuntaan polarisoituneen valon läpi suodattaen näin  $90^\circ$  kulmassa siihen nähden olevan komponentin pois. Sijoittamalla vaakaja pystypolaaarisuotimet peräkkäin valo suodattuu kokonaan pois. Kun nestekidepaneeli sijoitetaan näiden kahden polaarisuotimen väliin, pystytään säätämään systeemin läpäisevän valon määrää [1, s. 179]. Tilannetta havainnollistaa kuva 2.

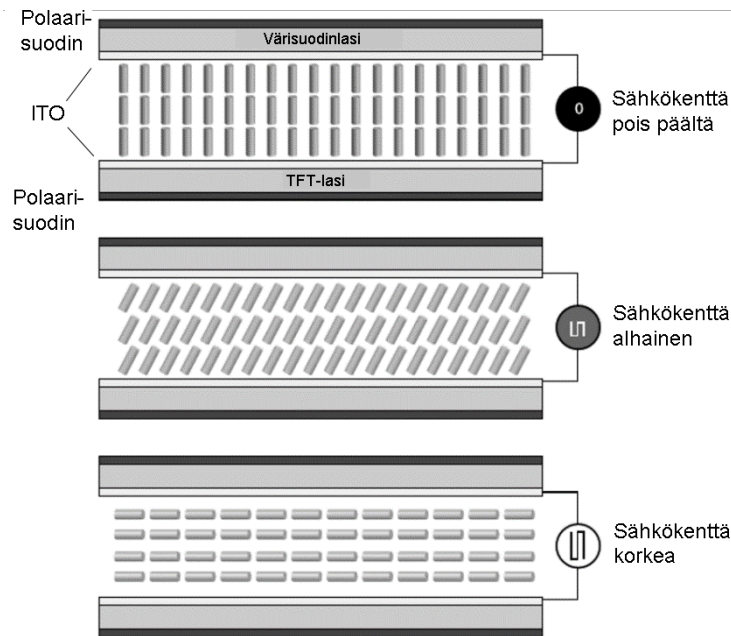


**Kuva 2.** TN-paneeli kahdessa eri ääritilanteessa. Vasemmalla valoa päästävissä tilassa ja oikealla "pimeässä"-tilassa. [2, s. 74]

Toinen projektorissa käytetty TN-paneeliin verrattavissa oleva tekniikka on VA (vertical alignment). Siinä nestekidemolekyylit ovat asennoituneet normaalitilassaan kohtisuoraan tasoon nähden. Tällöin valo kulkee muuttumattomana nestekiteiden läpi ja jää



jälkimmäiseen polaarisuodattimeen Jännitettä kasvattamalla nestekiteiden kulmaan pysytään vaikuttamaan, jolloin läpäisevän lineaarisesti polarisoidun valon polariteetin suunta muuttuu. VA-paneelin toimintaa on havainnollistettu kuvassa 3. [3, s. 370–371]

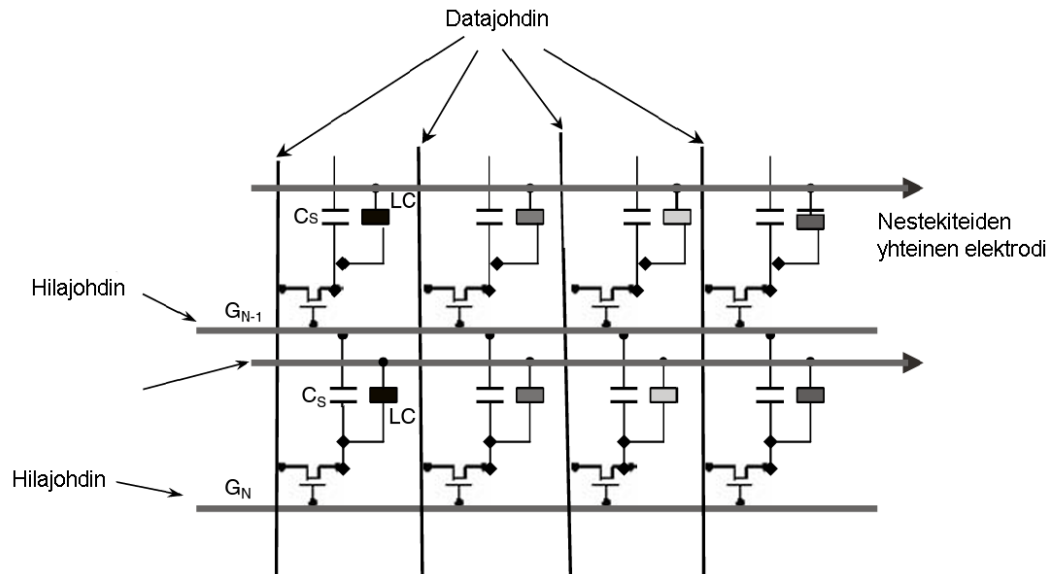


**Kuva 3.** VA-paneeli ”pimeässä”-tilassa (ylhällä), ”harmaassa”-tilassa (keskellä) ja ”valkoisessa” tilassa (alhaalla) [3, s. 370].

Nestekidepaneeleista löytyy lisäksi lukuisia muita eri variaatioita, joita ei käsitellä tarkemmin tässä työssä. Esimerkiksi TN-paneelista on olemassa suuremmalla nestekiteiden kierteisyydellä olevia versioita: STN (super twist-nematic)  $180^{\circ}$ – $260^{\circ}$  ja FSTN (film super twist-nematic)  $360^{\circ}$ . [1, s. 183]

## 2.2 TFT-Matriisi

Projektoreissa käytettävät LCD-paneelit ovat aktiivimatriisiohjauksisia (active-matrix LCD). Toisin sanoen jokaista paneelin pikseliä ohjaa oma ohutkalvotransistori (thin film transistor tai TFT). Projektorin LCD-paneelin pienestä koosta johtuen paneelit valmistetaan korkeassa lämpötilassa monikiteisestä piistä. Monikiteisen piin käyttäminen takaa paremman elektroni- ja aukkoliikkuvuuden mahdollistaen näin pienemmän transistorikoon. Pieni koko on erityisen tärkeää, sillä TFT-matriisi peittää osan paneelin läpäisevästä valosta. Korkeassa lämpötilassa valmistaminen pienentää vuotovirtoja. Tyypillinen LCD-paneelissa käytetyn TFT-matriisin sijaispiirikaavio on esitettyä kuvassa 4. [1, s. 372]



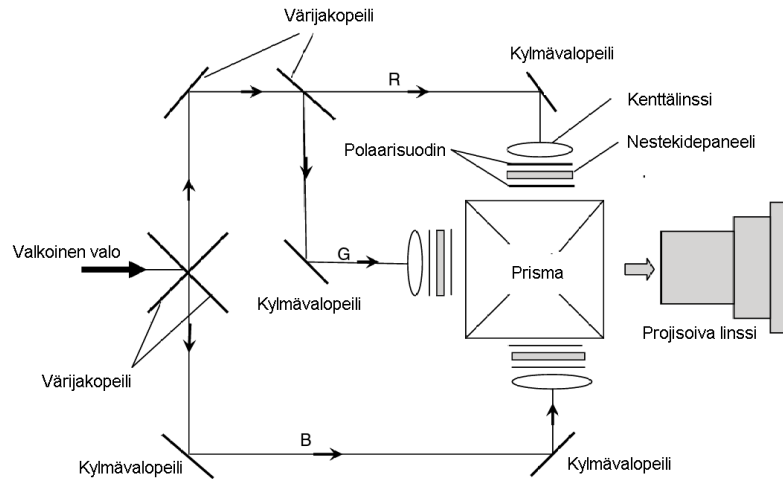
**Kuva 4.** LCD-paneelin ohjauksessa käytetty tyypillinen TFT-matriisi [1, s. 185].

LCD-paneelin ohjaus tapahtuu pikselirivi kerrallaan. Transistorin hilalle menevään johtimeen syötetään jännitepulssi, joka asettaa transistorit johtavaan tilaan aktivoiden kyseisen rivin. Tämän aikana datajohtimelle annetaan pikselin haluttua kirkkautta vastaava jännite. Kondensaattorin  $C_s$  tehtävä on ylläpitää nestekiteen ylioleva jännite muiden rivien läpikäynnin ajan. [1, s. 186]

### 2.3 Rakenne

Paljon korkeammasta pikselitiheydestä johtuen tavallisista LCD-näytöistä poiketen LCD-projektorit tyypillisesti sisältävät kolme erillistä LCD-paneelia. Tästä tekniikasta käytetään nimitystä 3LCD ja sen omistaa japanilainen yritys Seiko Epson [4]. Jokainen LCD-paneeli moduloi yhden päävärin (punainen, vihreä ja sininen) kirkkautta. Tällä tavoin datalinjojen määrä tippuu paneeleissa kolmasosaan vähentäen näin TFT-matriisin aiheuttamaa peittoa. [1, s. 372–373]

Valkoinen valo voidaan jakaa punaiseen, vihreään ja siniseen väriin käyttäen värijako-peilejä. Erilaisilla peileillä ja linseillä tämä valo ohjataan LCD-paneelien läpi ja kootaan lopuksi prisman avulla ja heijastetaan linssisysteemin avulla valkokankaalle. Systemiä on havainnollistettu kuvassa 5. [1, s. 372–373]



**Kuva 5.** Esimerkki värijakopeilejä hyödyntävästä 3LCD-projektorista [1, s. 374].

Värijakopeilien sijaan LCD-paneelien yhteydessä voidaan käyttää myös värisuotimia. Värisuotimia käytettäessä menetetään kuitenkin suuri osa valonlähteen valotehosta. Tämä tarkoittaisi käytännössä tarvetta suuremmalle valonlähteelle ja paremmalle jäähdytykselle. [1, s. 372–373]

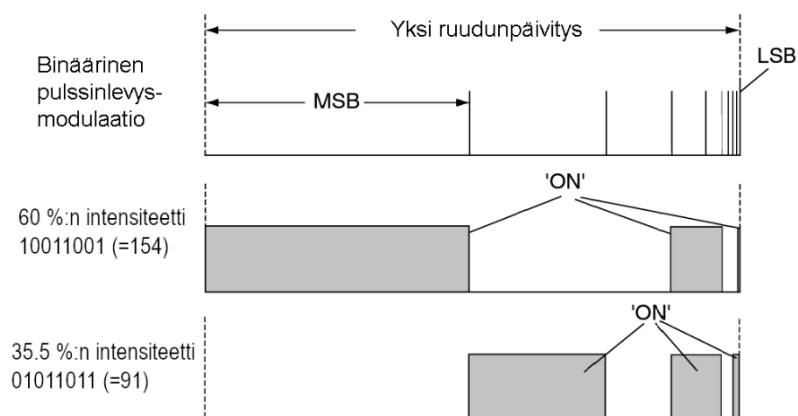
### 3. DLP-PROJEKTORIT

DLP-projektorit ovat LCD-projektorien ohella yksi suosituimmista projektoriteknologioista. DLP-projektoreissa kuvan muodostaminen perustuu miljooniin nopeasti liikuteltaviin pieniin peileihin. Nämä peilit muodostavat matriisin, jota kutsutaan nimellä DMD (digital micromirror device). Tekniikan kehitetti Texas Instruments vuonna 1987 [5]. Tyypillisesti DLP-projektorit sisältävät vain yhden DMD-sirun, jolloin värientoisto perustuu valonlähteen edessä nopeasti pyörivään useita eri värisuodattimia sisältävään ”värikiekkoon” (color wheel).

#### 3.1 DMD

DMD-sirut perustuvat miljooniin itsenäisesti liikuteltaviin pieniin peileihin. Näillä peileillä on kaksi asentoa. ON-asennossa peili on kääntynyt siten, että valonlähteeltä tuleva valo taittuu peilistä kohti projisoivaa linssiä. OFF-asennossa peili taittaa valon pois päin projisoivalta linssiltä, jolloin valo absorboituu projektorin sisällä. Tällä tavoin voidaan muodostaa valkoinen ja musta pikseli. [1, s. 207]

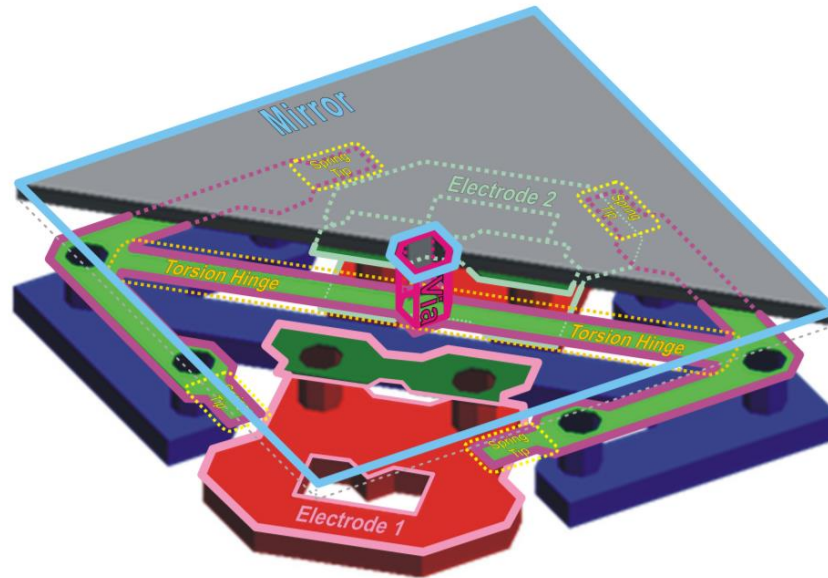
Harmaan eri sävyjen muodostamiseen peilin asentoa täytyy kääntää useita kertoja yhden ruudun aikana, jolloin ihmissilmä tulkitsee pikselin kirkkauden sen ON-asennossa käytetyn ajan mukaan. Käytännössä tämä tapahtuu pulssinleveysmodulaation (binary-weighted pulse width modulation) avulla, jossa eniten merkitsevä bitti kuvaa  $\frac{1}{2}$  kuvan kestoajasta, seuraavaksi merkitsevin bitti  $\frac{1}{4}$  kuvan kestoajasta ja niin edelleen. Peilien ohjausta on havainnollistettu kuvassa 6. [1, s. 208–210]



**Kuva 6.** DMD-sirun peilien ohjaukseen käytettävä PWM-signaali [1, s. 210].

DMD-sirun rakenne koostuu nopeasta CMOS SRAM -muistista sekä sähkömekaanisesta järjestelmästä (micro electro-mechanical system tai MEMS). DMD-sirun MEMS-rakenne voidaan jakaa kolmeen osaan. Päällimmäisenä rakenteena on valon heijastamisesta

vastaava peili. Keskimmässä kerroksessa ovat peilien kääntämiseen tarvittavat sarana ja ies, johon peili on kiinnitetty. Alimpana on pohjakerros, joka sisältää tarvittavat elektrodit [1, s. 210]. Yksittäisen peilijärjestelmän rakennetta DMD-sirussa on havainnollistettu kuvassa 7.



**Kuva 7.** Tarkennettu kuva DMD-sirun yksittäisestä peilijärjestelmästä [6].

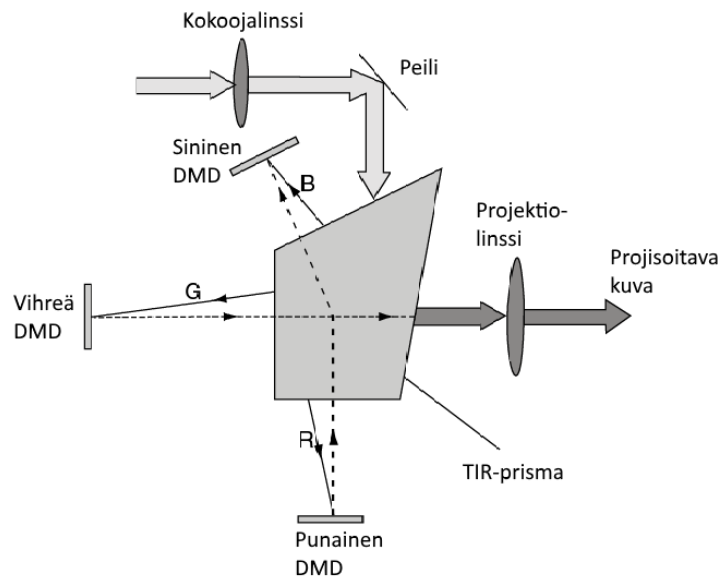
Peilin ohjaus tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa CMOS-muistille ladataan binaarinen tieto peilin halutusta asennosta. CMOS-muisti pitää tiedon tallessa niin kauan kunnes uusi tieto peilin asennosta lähetetään. Toisessa vaiheessa peilisysteemille annetaan jännitepulssi, jolloin peili irrottautuu edellisestä asennostaan ja asennoituu sähköstaattisen voiman vaikutuksesta senhetkisen muistissa olevan tiedon mukaisesti. Systemi pitää vanhan asentonsa niin kauan, kunnes sille annetaan uusi jännitepulssi. Tämä toistuu useita kertoja yhden ruudunpäivityksen aikana, jolloin saadaan aikaiseksi ihmisilmän havaitsemat harmaasävyt. [6]

### 3.2 Rakenne

Tyypillinen markkinoilla oleva DLP-projektori sisältää vain yhden DMD-sirun. Näissä projektoreissa värien toisto on yleensä toteutettu valonlähteen edessä pyörivän ”värikiekkon” avulla. Yksinkertaisimmillaan värikiekkon on jaettu kolmeen yhtä suureen värisektoriin (punainen, vihreä ja sininen). Synkronoimalla värikiekkon liike ja DMD-sirun toiminta saadaan aikaiseksi vuorotellen vaihtuvat värit. Ihmissilmä havaitsee nopeasti vaihtuvien värien sijaan näiden kombinaation. Joillekin ihmisille värien vuorottainen vaihtuminen aiheuttaa häiritsevää sateenkaariefektiä (rainbow effect), joka näkyy päävärien erottumisena toisistaan etenkin liikkuvassa kuvassa. Tätä efektiä voidaan vähentää kasvattamalla värikiekkon kierrosnopeutta. Toinen vaihtoehto on jakaa värikiekkon värisuodattimet useampaan, esimerkiksi kuuteen, eri sektoriin. Nykyaikana sateenkaariefekti on yhä vähemmän ongelma DLP-projektoreissa. Tyypillinen markkinoilla oleva DLP-

projektorin päivittää värejä 240 Hz:n tai korkeammalla taajuudella, mikä poistaa ongelman täysin suurimmalta osalta katsojista. [1, s. 217–218]

Värisuotimina voidaan käyttää myös muita värejä tavallisten päävärien lisäksi. Esimerkiksi Texas Instruments BrilliantColor -tekniikassa on kolmen päävärien lisäksi keltainen, syaniini ja magenta värisuotimet. Tällä tavoin on mahdollista kasvattaa projektorin väriavaruutta. [7]



**Kuva 8.** Esimerkki värijakopeilejä ja TIR-prismaa hyödyntävästä DLP-projektorista [1, s. 219].

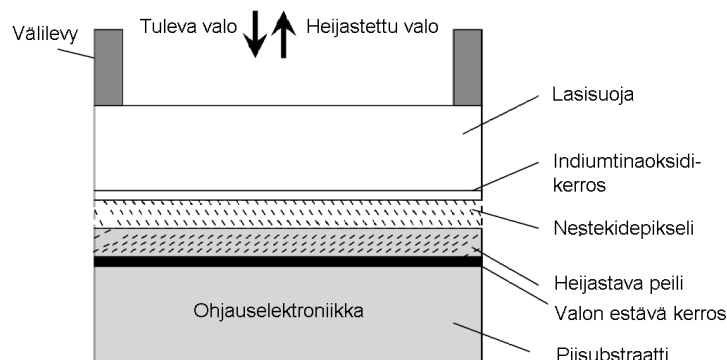
3LCD-projektorien tavoin myös DLP-projektori on mahdollista valmistaa kolmesta erillisestä DMD-sirusta. Tällöin jokainen DMD-siru suorittaa yhden päävärien muodostamisen eikä väripyörää tällöin tarvita. Kolmen DMD-sirun DLP-projektori voidaan toteuttaa TIR-prisman (total internal reflection) avulla, mitä havainnollistaa kuva 8. TIR-prisman avulla valonlähteeltä tulevan valkoinen valo voidaan jakaa värijakopeilin tavoin kolmeen pääväriin, jotka suunnataan kolmelle DMD-sirulle. Samaan aikaan TIR-prisma myös kokoaa DMD-siruilta palaavat valonsäteet yhteen, minkä jälkeen ne voidaan projisoida valkokankaalle. [1, s. 218–219]

## 4. LCoS-PROJEKTORIT

LCoS on kolmas varsinkin kalliimmissa projektoreissa yleisesti käytetty teknologia. LCoS-sirun rakenne koostuu nimensä mukaisesti piin päälle sijoitetuista nestekiteistä. LCoS-paneelissa valonmäärän modulointi perustuu täysin samaan ideaan kuin LCD-paneelissa. Rakenne, ohjaus ja valmistus eroavat kuitenkin merkittävästi perinteisistä nestekidepaneeleista. Käytännössä kaikki markkinoilla olevat LCoS-projektorit sisältävät kolme erillistä LCoS-paneelia. Uusien LCoS-projektorien hinnat alkavat useammasta tuhannesta eurosta, joten ne eivät kilpaile kohtuuhintaisten 3LCD ja DLP-projektorien kanssa.

### 4.1 LCoS-paneeli

LCD-paneelien tavoin pikselin kirkkautta säädelään nestekiteiden avulla valon polaarisuuden suuntaa muuttamalla. LCD-paneelista poiketen LCoS-paneelissa aktiivimatriisiohjaus on piilotettu heijastavan peilin taakse, minkä vuoksi sirun toiminta ei vaadi läpinäkyvää TFT-kerrosta. LCoS-siru ja sen ohjaus voidaan sen vuoksi valmistaa suoraan pii-kielekölle [1, s. 376]. Kuvassa 9 on esiteltyä LCoS-sirun rakenne.

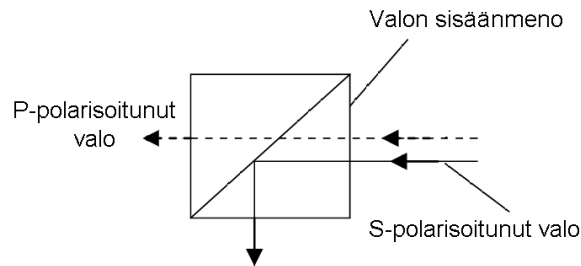


**Kuva 9.** LCoS-paneelin yksittäisen pikselin läpileikkaus [1, s. 377].

LCoS-paneelin rakenteesta johtuen valmistuksessa voidaan käyttää perinteisiä puolijohdemenetelmiä mahdollistaen korkean elektronijohtavuuden. Rakenteen vuoksi kuvassa ei myöskään nähdä LCD-projektoreissa esiintyvää ohjauselektronikan aiheuttamaa varjostumaa, jolloin on mahdollista saavuttaa korkea valohyötysuhde ja kuvanlaatu [1, s. 376].

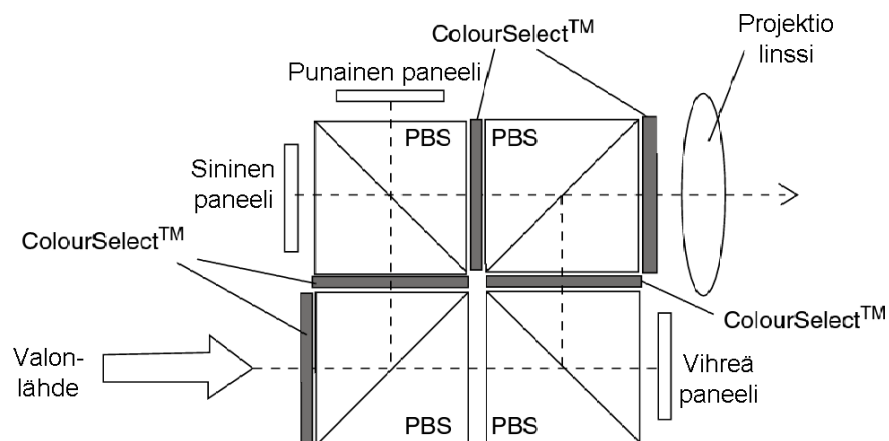
## 4.2 Rakenne

LCoS-sirun heijastavasta rakenteesta johtuen tuleva ja lähtevä valo kulkevat samaa reittiä. Nämä säteet voidaan erottaa toisistaan polaarisuuden mukaan toimivalla säteenjakajalla eli PBS:llä (polarized beam splitter) [1, s. 377]. PBS:n toimintaa on havainnollistettu kuvassa 10.



**Kuva 10.** Polaarisuuden perusteella toimiva säteenjakaja, PBS [1, s. 377].

Valonlähteeltä tuleva valo polarisoidaan ensin lineaarisesti haluttuun suuntaan ennen sen saapumista säteenjakajalle, joka heijastaa sen LCoS-sirulle. Saapuvan valon polaarisuutta voidaan kääntää LCD-paneelin tavoin nestekiteiden avulla, minkä jälkeen se heijastetaan takaisin peilin avulla. Säteenjakaja jakaa lähtevän valon pysty- ja vaakapolarisoituneihin komponentteihin. Yksi komponenteista heijastuu valonjakajalta takaisin valonlähteelle, kun taas toinen komponentti kulkee sen läpi muuttumattomana. Toista erillistä polaarisuodinta ei tarvita, sillä säteenjakaja toimii eräänlaisena suotimena. Käyttämällä kolmea LCoS-paneelia ja värijakopeiliä on mahdollista rakentaa LCoS-projektori [1, s. 376–378]. Systemi muistuttaa hyvin paljon 3LCD-projektorin peruseriaatetta, jota on havainnollistettu aikaisemmin kuvassa 5.



**Kuva 11.** ColorSelect-suotimia hyödyntävä LCoS-projektorisysteemi [1, s. 379].



Vaihtoehtoisesti LCoS-projektorisysteemi on mahdollista valmistaa käyttämällä Color-Select™-suotimia. Colorselect-suodin kääntää läpäisevän valon polariteetin 90° tietyltä kaistanleveydeltä. Käyttämällä Colorfilter-suotimia sekä PBS säteenjakajia on mahdollista rakentaa systeemi, jossa valkoinen valo ensin erotetaan pääväreiksi kolmelle LCoS-paneelille ja sen jälkeen kootaan näistä heijastuvat valonsäteet värikuvaksi. Systeemi on esiteltyinä kuvassa 11. [1, s. 378–379]

## 5. PROJEKTORIN VALONLÄHTEET

Tämän päivän projektoreissa käytettävät valonlähteet voidaan luokitella kolmeen ryhmään. Nykyiset suurpainekaasupurkauslamput ovat teknologista jatkumoa jo vuosikymmeniä projektoreissa käytössä olleille kaasupurkauslamppuille. Uudempaa teknologiaa edustavat LED- ja laser-valonlähteet.

### 5.1 HID-lamput

Suurin osa tämän päivän projektoreista käyttävät suurpainekaasupurkauslamppuihin (high intensity discharge lamp tai HID) luokiteltavaa valonlähdettä. HID-lamppujen toiminta perustuu lampun sisällä olevan kaasun olomuodon muuttamiseen plasmaksi, joka tuottaa halutun valon. Kaasun olomuodon muutos vaatii hyvin korkean lämpötilan, joka saadaan aikaan kahden elektrodin välisellä valokaarella. Toiminta edellyttää hyvin korkeita jännitteitä [8, s. 23]. HID-lamppuja on käytetty jo pitkään projektoreissa niiden hyvän valotehokkuuden sekä suuren valovoiman vuoksi.

Lähes kaikki markkinoilla olevista projektoreiden HID-lampuista ovat korkeapaine-elohopeahöyrylamppuja. Yleisesti näistä käytetään Philipsin tavaramerkin mukaista nimitystä UHP-lamput (ultra-high-performance). UHP-lampuissa on muihin kaasupurkauslamppuihin verrattuna pitkä käyttöikä [9, s. 1]. Tyypillinen valmistajan antama käyttöikä normaaliasetuksilla on alle 4000 tuntia, mutta himmeämmillä kirkkauksilla tätä voidaan kasvattaa merkittävästi. Joillekin malleille lampun kestoksi luvataan projektorin säästötilassa jopa 15 000 tuntia [10]. Todellisessa käytössä projektorilampun käyttöikä voi olla merkittävästi valmistajan antamaa arvoa pienempi. Erityisen suurta valovoimaa ja erityisen hyvää värientoistoa vaativissa kohteissa, kuten elokuvateattereissa, on tyypillisesti käytetty ksenonlamppuja, joiden käyttöikä on huomattavasti UHP-lamppuja lyhyempi [11]. Kaikille HID-lampuille yhteisiä ominaisuuksia ovat huono mekaanisen rasituksen kesto, suuri koko, lamppujen sisältämät ympäristölle ja ihmiselle haitalliset kaasut sekä verrattain hidas syttyminen [12, s. 295].

### 5.2 LED

LED:ien käyttö projektorin valonlähteenä on yleistynyt paljon viimeisten vuosien aikana. Ledeillä on useita ominaisuuksia, joista on hyötyä projektorikäytössä. Suurimpana etuna on niiden huomattavasti pidempi käyttöikä. Tyypillisessä tapauksessa LED-projektorille luvataan noin 20 000 h käyttöikää normaalikäytössä. Ledeille on ominaista myös pieni koko sekä hyvä mekaanisen rasituksen sieto. Nämä yhdessä puolijohdeluonteesta johtuvan hyvän lämmönsiirron vuoksi tekevät ledeistä hyvän vaihtoehdon kannettavissa projektoreissa. [13]

Projektoreissa käytettävät perinteiset HID-lamput ovat valotehokkuuden eli hyötysuhteen puolesta jo varsin hyviä eikä niiden korvaaminen suoraan ledeillä tuo merkittävää parannusta energiankulutuksessa. Ledien pieni koko sekä välitön päälle-/poiskytkytyminen mahdollistavat kuitenkin projektorin toteuttamisen siten, että suurempi osa valonlähteeltä tulevasta valosta pystytään hyödyntämään. Esimerkiksi hyvin yleisissä yhden DMD-sirun DLP-projektoreissa värien muodostamisesta vastaava värikiikko voidaan korvata kolmella synkronoidusti välkkyvällä punaisella, vihreällä ja sinisellä ledillä. Tällöin vältytään värisuotimissa tapahtuvalta noin 2/3 valon menetykseltä. RGB-valonlähteellä pystytään myös yleensä saavuttamaan suurempi väriavaruus. [13]

Suurin este LED-projektoreiden suosion kasvulle on niiden verrattain pieni valovoima. Markkinoilla olevat LED-projektorit ovat valovoimaltaan yleensä korkeintaan 1500 ANSI luumenia, kun käytöstä riippuen halutaan usein 2000–4000 ANSI luumeniin kykenevä projektori. Yksittäisen ledin pienekköä valovoimaa voidaan kompensoida käyttämällä useiden ledien ryppäitä [12]. Tällöin ongelmaksi syntyy kuitenkin valon epätasaisuus.

### 5.3 Laser

Laserin käytöllä projektorin valonlähteenä on pitkälti samat edut kuin ledeillä. Ledien kanssa yhteisiä ominaisuuksia ovat muun muassa: pieni koko, välitön päälle-/poiskytkytyminen, hyvä mekaaninen kestävyys ja lämmönsiirto sekä pitkä, LED-lamppuihin verrattavissa oleva, käyttöikä. Suurimpana erona LED-projektoreihin ja käytön kannalta hyvin ratkaiseva tekijä on, että laser-projektoreista on mahdollista tehdä jo tänä päivänä hyvin valovoimaisia. Valovoimassa voidaan kilpailla jopa kirkkaiden ksenonlamppujen kanssa. Tämän lisäksi laser valonlähteeltä tuleva valo on hyvin kapeassa valokeilassa, mikä helpottaa projektorin sisäisen optiikan suunnittelua ja mahdollistaa yksinkertaisempien ja pienempien peilien ja linssien käyttämisen. Samalla myös valoa menee vähemmän hukkaan [14]. Tehokkaiden lasereiden käyttö voi herättää turvallisuuden kannalta epäilyksiä, mutta projektorilta ulostuleva valo on hajotettua ja ei-koherenttia eikä eroa turvallisuuden kannalta mitenkään muista kirkkaista valonlähteistä.

LED-projektoreiden tavoin värit voidaan tuottaa RGB-laseryksiköllä, jolloin DLP-projektoreissa ei tarvita värikiikkoa. Laserin emittoivan valon tarkasta aallonpituudesta johdettua laser-projektoreilla voidaan saavuttaa laaja ja tarkka väriavaruus. Laser-projektoreiden potentiaalista kertoo ehkä eniten se, että osa elokuvateattereista on ottanut ne jo käyttöönsä. Suomessa laser-valonlähteellä toteutettuja projektoreita on jo käytössä Finnkinon Premium-saleissa [15].

## 6. TEKNOLOGIOIDEN VERTAILU

Eri projektoriteknologioiden käytännönerojen vertailu on varsin vaikeaa. Valmistajien toteutukset samasta teknologiasta vaihtelevat usein paljon toisistaan, joten eri tekniikoiden vahvuuksista on vaikea antaa yleispätevää johtopäätöstä. Esimerkiksi DLP-teknologiaa pidetään yleisesti hyvänä vaihtoehtona viihdekäyttöön suunnatuissa projektoreissa johon sen hyvästä mustantoistosta sekä tarkasta kuvasta. Tästä huolimatta tänä päivänä useissa kuluttajille suunnatuissa vertailuissa Epsonin valmistamat 3LCD-projektorit pärjäävät kontrastin ja yleisesti kuvanlaadun puolesta hyvin tai jopa paremmin kuin samanhintaiset DLP-projektorit. Toisaalta vaatimaan kotistudio- tai ammattikäyttöön tarkoitetuissa projektoreissa käytetään yleensä joko DLP- tai LCoS-tekniikkaa LCD-projektorien jäädessä halvempaan hintaluokkaan. Vertailua vaikeuttaa lisäksi valmistajien antamien tuotetietojen epämääräisyys. Esimerkiksi kontrastisuhteen mittaus vaihtelee paljon eri valmistajien kesken, joten annettujen tuotetietojen vertailu ei ole usein mielekäästä.

### 6.1 Värientoisto

Tyypillinen markkinoilla oleva LCD- ja LCoS-projektori sisältää oman paneelin kolmelle eri päävärille, jolloin värit voidaan projisoida valkokankaalle yhtäaikaaisesti päällekkäin. Tämä on suuri etu värientoiston kannalta etenkin liikkuvassa kuvassa. DLP-projektorit, jotka lähes yksinomaan sisältävät vain yhden paneelin, voivat näyttää kuvasta vain yhden värikomponentin kerrallaan. Osa ihmisistä pystyy erottamaan värikomponenttien nopean vaihtelun, mikä voi häiritä katselukokemusta suuresti.

DLP-projektoreiden etuna on, että niiden väriavaruutta pystytään säätämään verrattain helposti lisäämällä väripyörään muita värisuotimia punaisen, vihreän ja sinisen lisäksi. Toisaalta värisuotimien käyttö vähentää aina läpäisevän valon määrää. Siksi värijakopeileihin perustuvilla 3LCD ja LCoS-projektoreilla saavutetaan yleensä kirkkaammat värit. RGB-ledin tai -laserin käyttäminen projektorin valonlähteenä poistaa tarpeen käyttää värisuotimia, joten DLP-projektorit pysyvät todennäköisesti suosittuna vaihtoehtona myös tulevaisuudessa.

### 6.2 Kontrasti

Projektoreita vertailtaessa on hyvä ymmärtää, että ympäristön valaistuksella ja pinnoilla sekä valkokankaalla on suuri vaikutus saavutettuun kontrastiin. Projisoitu musta pikseli ei voi olla koskaan ympäristön valaistusta tummempi. Hyvän kontrastin saavuttamiseksi onkin yleensä kannattavampaa panostaa huoneen himmennykseen ja käyttötarkoitukseen sopivaan laadukkaaseen valkokankaaseen kuin itse projektoriin. Käytännössä tämä voi

tarkoittaa esimerkiksi paksumpia verhoja ja tummaa seinämaalia. Tummempien pikselien saavuttamiseksi voidaan myös valita valoa vähemmän heijastava harmaa tai musta valkokangas, mutta tällä menetelmällä kadotetaan myös osa kirkkaan pään valotehosta, jolloin kontrastisuhde ei välttämättä parane.

Projektoritekniikoiden paremmuudesta kontrastin suhteen on vaikea antaa yleispätevää vastausta. Tyypillisesti DLP-projektoreilla voidaan saavuttaa mikropeilien ansiosta tummimmat pikselit. Toisaalta värijakopeileihin perustuvilla 3LCD ja LCoS-projektoreilla voidaan saavuttaa värisuodinkiekkoon perustuvia DLP-projektoreita parempi valohyötysuhde ja samalla myös kirkkaampi kuva, kun verrattavilla laitteilla on samantehoinen valonlähde. Valitsemalla tilanteeseen sopiva valkokangas jokaisella tekniikalla voidaan saavuttaa kontrastin suhteen tasapainoinen kuva. Tehokkaiden RGB-lasereiden yleistyessä tulevaisuudessa DLP-projektoreilla todennäköisesti saavutetaan paras kontrastisuhde.

### 6.3 Kuvan tarkkuus

Projektoreiden kuvan suurennussuhde on usein hyvin suuri, joten kuvan tarkkuus on tärkeä osa projektoria valittaessa. Projektorin objektiivin ohella myös paneelitekniikalla on suuri vaikutus kuvan terävyyteen. Kaikkien projektoreiden, mutta erityisesti LCD-projektoreiden, heikkoutena on niin sanottu ”Screen door” -efekti, jossa kuvaa läheltä tarkasteltaessa voidaan erottaa yksittäisten pikselien lisäksi myös niiden välissä olevat tyhjät linjat. Tällöin kuva näyttää siltä kuin sitä tarkasteltaisiin ohuen verkon läpi. Ilmiötä voidaan vähentää kasvattamalla pikselien täyttöpinta-alaa, mutta LCD-paneeleissa tätä rajoittaa pikselien ohjauksesta vastaava TFT-matriisi, joka peittää aina jossain määrin kuvaa. DLP- ja LCoS-projektoreissa ei ole samaa ongelmaa, sillä niissä ohjaus on piilotettu peilin taakse. DLP-projektoreiden mikropeileillä tyypillisesti saavutetaan nestekiderakennetta parempi pikselin peittopinta-ala. ”Screen door” -efektiä voidaan myös vähentää kasvattamalla paneelin resoluutiota.

Useampaa kuin yhtä paneelia käyttävissä projektoreissa voi lisäksi ilmetä haamukuvaa. Tällöin paneelien kohdistus ei ole täysin onnistunut ja projisoidut kuvat eivät ole siksi täydellisesti päällekkäin. Tyypillisesti vain yhtä paneelia käyttävissä DLP-projektoreissa ei esiinny tätä ongelmaa.

## 7. YHTEENVETO

Tänä päivänä myytävät projektorit perustuvat yhteen kolmesta eri paneeliteknologiasta. LCD-projektorit muodostavat kuvan hyödyntämällä yhtä, tai tyypillisesti kolmea, nestekidepaneelia. Nestekidepaneeleissa kuva muodostetaan nestekiteiden ja polaarisuotimien avulla tulevan valon polaarisuuden suuntaa säätämällä. DLP-projektorit hyödyntävät DMD-sirua, joka sisältää miljoonia pieniä itsenäisesti liikuteltavia peilejä. Kuva muodostetaan kääntelemällä peilejä hyvin nopeasti ON- ja OFF-asentojen välillä. Tyypillinen DLP-projektori sisältää vain yhden DMD-sirun, joten värit muodostetaan yleensä värisuodinkiekkon avulla. LCoS-projektorit perustuvat LCD-projektoreiden tapaan nestekiteisiin ja valon polariteetin säätämiseen. Erona perinteiseen nestekidepaneeliin LCoS-paneelissa ohjaus on sijoitettu heijastavan pinnan taakse, mistä johtuen paneelin rakenne on hyvin erilainen.

Projektoreiden valonlähteenä markkinoilla käytetään kolmea eri teknologiaa. Perinteiset kaasupurkauslamput kuten UHP-lamput ovat edelleen hyvin suosittuja projektoreiden valonlähteinä erityisesti niiden suuren valovoiman takia. Tekniikan huonot puolet, kuten verrattain lyhyt käyttöikä, korkea käyttölämpötila ja -jännite, huono mekaaninen kesto sekä hidas päälle- ja poiskytketyminen ovat antaneet tilaa LED- ja laser-pohjaisille ratkaisuille. Suurta valovoimaa ja erityisen hyvää kuvanlaatua vaativissa käyttökohteissa kuten elokuvateattereissa laser-projektorit ovat yleistyneet viime aikoina, mutta suosiota rajoittaa niiden korkea hinta. Pientä valovoimaa vaativissa käyttökohteissa kuten kannettavissa projektoreissa käytetään useimmiten LED-valonlähdettä. Yhden DMD-sirun DLP-projektoreissa värisuodinkiekkoo voidaan korvata RGB-LED tai -laser kokonaisuudella.

Eri projektoriteknologioiden kuvanlaadullinen vertailu osoittautui vaikeaksi erojen ollessa enemmän mallikohtaisia kuin teknologiakohtaisia. Vertailua hankaloitti myös valmistajien antamien tuotetietojen epämääräisyys. Minkäänlaisen johtopäätöksen saavuttamiseksi jouduin turvautumaan useiden käyttäjien Internetissä julkaistuista tuotearvosteiluista saamaani kokonaiskuvaan. Keskihintaluokassa kotikäyttöön tarkoitettut 3LCD-projektorit pärjäsivät keskimäärin paremmin kuvanlaadullisesti kuin samanhintaiset värisuodinkiekkoon perustuvat DLP-projektorit. Erot selittyvät ainakin osittain värisuodattimesta johtuvasta valotehon alenemisesta, mikä vaikuttaa sekä värientoistoon että kontrastiin. Tämän lisäksi osa ihmisistä pystyvät näkemään värisuodinkiekkon liikkeen. Toisaalta DLP-projektoreiden potentiaalista kertoo niiden suosio myös kalliimmassa hintaluokassa. LCoS-projektoreiden etuna verrattuna LCD-projektoreihin on TFT-matriisin aiheuttaman varjostuman puuttuminen kuvasta.

## LÄHTEET

- [1] K.F. Ibrahim, *Newnes Guide to Television and Video Technology*, 4th ed. Newnes, 2007, 608 p.
- [2] J. Lee, D.N. Liu, S. Wu, *Introduction to flat panel displays*, Wiley, 2008, 280 p.
- [3] Robert H. Chen, *Liquid Crystal Displays: Fundamental Physics and Technology*, Wiley, 2011, 520 p.
- [4] 3LCD, Seiko Epson Corporation, Saatavissa: <http://www.3lcd.com/> [Viitattu 11.12.2017]
- [5] Larry Hornbeck, National Inventors Hall of Fame, Saatavissa: <http://www.invent.org/honor/inductees/inductee-detail/?IID=397> [Viitattu 5.10.2017]
- [6] B. Lee, *DMD 101: Introduction to Digital Micromirror Device (DMD) Technology*, Texas Instruments, 2013, Saatavissa: <http://www.ti.com/lit/an/dlpa008a/dlpa008a.pdf> [Viitattu 2.9.2017]
- [7] BrilliantColor(TM) Technology Proliferates Line of DLP(R) Projectors With More Colors Than LCD, Projector Central, Saatavissa: [http://www.projectorcentral.com/news\\_story\\_1028.htm](http://www.projectorcentral.com/news_story_1028.htm) [Viitattu 13.10.2017]
- [8] F. Peter, *Light and Light Sources: High-Intensity Discharge Lamps*, Springer, 2006, 344 p.
- [9] Y. Lee, L. Chen, P. Kuo, *The Projector Light Source: Ultra-High Performance (UHP) Lamps*, IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference - Conference Record, 2006 pp. 1-6.
- [10] W2700 Specifications, BenQ Corporation, Saatavissa: <https://www.benq.eu/en-fi/projector/cineprime-home-cinema/w2700/specifications.html> [Viitattu 22.6.2019]
- [11] William Burgess, *The days of the Xenon lamp are numbered*, Saatavissa: <https://spie.org/news/spie-professional-magazine/2018-july/the-days-of-the-xenon-lamp-are-numbered?SSO=1> [Viitattu 23.6.2019]
- [12] X. Yu, Y.L. Ho, L. Tan, H. Huang, H. Kwok, *LED-Based Projection Systems*, *Journal of Display Technology*, Vol. 3, Iss. 3, Sep 2007, pp. 295-303
- [13] Xing Zhao, Zhi-liang Fang, Ji-cheng Cui, Xin Zhang, and Guo-guang Mu, *Illumination system using LED sources for pocket-size projectors*, *APPLIED OPTICS*, Vol. 46, No. 4, Feb 2007, pp. 522-526
- [14] A.-R. Bellancourt, U. Mackens, H. Moench, U. Weichmann, *Blue diode pumped solid-state lasers for digital projection*, *Laser Physics*, Vol. 20, No. 3, 2010, pp. 643-648

[15] Premium-salit, Finnkino, Saatavissa: <https://www.finnkino.fi/premiumsalit> [Vii-  
tattu 17.8.2019]