

PAPERIRADAN REUNAN HAVAINNOINTI JA RATAKATKON ILMAISEMINEN VALON ERI AALLONPITUUKSILLA

Mikko-Paavali Salonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2011

Automaatioteknologian koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) SALONEN, Mikko-Paavali	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 9.5.2011
	Sivumäärä 100	Julkaisun kieli suomi
	Luottamuksellisuus () - saakka	Verkkojulkaisulupa myönnetty (x)
Työn nimi PAPERIRADAN REUNAN HAVAINNOINTI JA RATAKATKON ILMAISEMINEN VALON ERI AALLONPITUUKSILLA		
Koulutusohjelma Automaatioteknologian koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) SELOSMAA, Seppo; RANTAPUSKA, Seppo		
Toimeksiantaja(t) SKS Vision Systems Oy		
Tiivistelmä <p>Toimeksiantajan järjestelmät, joilla havainnoidaan paperi- tai kartonkiradan reunaa ja ilmaistaan ratakatoja, käyttävät hyväkseen näkyvää valkoista valoa. Tällaisella järjestelmällä on tiettyjä heikkouksia, eikä sillä pystytä kaikissa olosuhteissa luotettavasti mittaamaan edellä mainittuja asioita. Kun esimerkiksi viiran tai huovan väri on hyvin lähellä paperin tai kartongin väriä, on reunan havainnointi ja ratakaton ilmaisu usein epäluotettavaa. Ympäristö, esimerkiksi vesisumu tai viiran likaisuus, vaikuttavat luotettavuuteen olennaisesti.</p> <p>Työn tavoitteena oli määritellä eri viira tai huopa sekä paperi tai kartonki -yhdistelmien heijastaman säteilyn aallonpituudet (spektri) riippuen valonlähteestä ja valonlähteen valaistuskulmasta. Tarkoituksena oli löytää parhaat aallonpituudet ja valaistuskulmat valonlähteelle, jotta takaisin heijastuvan valon perusteella voitaisiin radan reuna havainnoida ja ratakato ilmaista luotettavasti mahdollisimman monilla viira tai huopa sekä paperi tai kartonki -yhdistelmillä.</p> <p>Työtä varten pyrittiin löytämään relevantteja mittaus- ja tutkimustuloksia, joita oli tarkoitus käyttää työssä soveltuvilta osin hyväksi.</p> <p>Työtä varten suoritettiin kaksi erilaista mittaussarjaa, joissa tutkittiin edellä mainittuja asioita. Mittausten perusteella saatiin selville, millaisia valon aallonpituuksia erilaisista viira tai huopa sekä paperi tai kartonki -materiaaleista heijastuu takaisin erilaisilla valonlähteillä ja valaistuskulmilla. Tämän tiedon perusteella valittiin suositeltavat valon aallonpituudet ja valaistuskulmat kullekin viira tai huopa sekä paperi tai kartonki -yhdistelmille.</p> <p>Tuloksia voidaan käyttää hyväksi, kun kehitetään reunan havainnointi ja ratakaton ilmaisujärjestelmää ja niihin liittyviä asennusohjeita.</p>		
Avainsanat (asiasanat) aallonpituus, heijastuminen, paperirata, ratakato, reunanilmaisu, SKS Vision Systems Oy, spektrit, sähkömagneettinen säteily, valo		
Muut tiedot		



Author(s) SALONEN, Mikko-Paavali	Type of publication Master's Thesis	Date 9.5.2011
	Pages 100	Language finnish
	Confidential () Until -	Permission for web publication (x)
Title OBSERVING THE EDGE OF THE PAPER WEB AND DEFINING WEB BREAKS USING DIFFERENT WAVELENGTHS OF LIGHT		
Degree Programme Automation technology		
Tutor(s) SELOSMAA, Seppo; RANTAPUSKA, Seppo		
Assigned by SKS Vision Systems Oy		
Abstract <p>The assigning company's systems, for detection of the edge of the paper web and defining web breaks, use visible white light. This fact has some disadvantages since visible white light does not always give reliable result in this utilization. For example, when a color of a wire or a felt in a paper machine is very close to the color of paper or board, observing the edge of the paper web and detection of web breaks is often unreliable. The environmental conditions like mist or soiled wire/felt also affect the reliability considerably.</p> <p>Relevant studies and measurement data was explored with an intention to use them to the appropriate extent for the thesis.</p> <p>The objective of the thesis was to define the reflected spectrum of light from different paper machine fabrics as well as from paper and board examples using different kinds of light sources and lighting angles. The target was to find the best wavelengths of light as well as the best lighting angles for the preceding tasks.</p> <p>These matters were examined in two different measuring events. It was found out through these measuring events, which wavelengths of light are reflected back from the paper machine fabrics, papers and boards with different kinds of light sources and lightning angles. It was possible to find out the commendable wavelengths and lightning angles for each set of examples.</p> <p>The results of the thesis can be utilized when a system for observing the edge of the paper web and defining web breaks is developed and instructions for their installation is given.</p>		
Keywords electromagnetic radiation, light, detection of the edge of the paper web, paper web, reflection, SKS Vision Systems Oy, spectrum, wavelength, web break		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1 LÄHTÖKOHDAT OPINNÄYTETYÖLLE.....	6
1.1 Toimeksiantaja.....	6
1.2 Opinnäytetyön aihe.....	9
2 SÄHKÖMAGNEETTINEN SÄTEILY.....	10
2.1 Säteily: Energiaa ja hiukkasia.....	10
2.1.1 Infrapuna-, näkyvä- ja ultravioletivalo.....	12
2.1.2 Aaltojen käyttäytyminen.....	13
2.1.3 Valaistussuureet.....	17
3 PAPERIN VALMISTAMINEN.....	19
3.1 ERILAISET PAPERILAADUT.....	19
3.2 PAPERIKONE.....	20
3.2.1 Kudokset paperikoneessa.....	20
3.2.2 Kudosten ohjaaminen.....	24
3.2.3 Paperiradan reunan havainnointi ja ratakatkon ilmaiseminen kone- näöllä.....	26
4 PAPERIN OPTISET OMINAISUUDET.....	27
5 KONENÄKÖ.....	32
5.1 Sovelluskohteet.....	32
5.2 Konenäköjärjestelmä.....	34
5.2.1 Valaistus.....	36
5.2.2 Optiikka.....	36
5.2.3 Kamera.....	36
5.2.4 Kuvankaappauskortti.....	46
5.2.5 Ohjelmisto.....	47
5.3 Valaistus konenäössä.....	47
5.3.1 Valaistusmenetelmän valinta.....	50
5.3.2 Yleisimmät valaistusmenetelmät.....	52
5.3.3 Valonlähteet.....	55
6 TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN.....	60
6.1 Olemassa olevan tutkimustiedon hankkiminen.....	60
6.2 Tutkimusta varten tehdyt mittaukset.....	60
6.2.1 VTT:llä tehdyt mittaukset.....	61
6.2.2 VTT:llä tehtyjen mittausten data.....	66
6.2.3 SKS Vision Systems Oy:llä tehdyt mittaukset.....	71

6.2.4 SKS Vision Systems Oy:llä tehtyjen mittausten data.....	75
7 TUTKIMUKSEN TULOKSET.....	80
7.1 Johtopäätökset VTT:llä tehdyistä mittauksista.....	80
7.2 Johtopäätökset SKS Vision Systems Oy:llä tehdyistä mittauksista.....	88
8 POHDINTA.....	90
8.1 Nykyhetki.....	90
8.2 Tulevaisuus.....	91
8.3 Työn hyödyllisyys.....	92
LÄHTEET.....	95
LIITTEET.....	98

KUVIOT

Kuvio 1. Säteilyn jako ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn.....	10
Kuvio 2. Sähkömagneettisen säteilyn sähkökenttä (E) ja magneettikenttä (B)	11
Kuvio 3. Sähkömagneettisen säteilyn spektri ja aallonpituus.....	12
Kuvio 4. Valon spektrijakauma ja alueiden nimitykset.....	12
Kuvio 5. Näkyvän spektrin eri värien aallonpituudet ja taajuudet.....	13
Kuvio 6. Valon heijastuminen (a) peilipinnasta ja (b) epätasaisesta pinnasta.	14
Kuvio 7. Aallon taittuminen kahden aineen rajapinnassa.....	14
Kuvio 8. Eri paperi- ja kartonkilajikkeiden lopputuoteanalyysi.....	19
Kuvio 9. Ohjauksen periaate.....	24
Kuvio 10. Kudoksen ideaalinen ohjausgeometria.....	25
Kuvio 11. Metso Paper Oy:n valmistama paperikoneen märänpään viiran- ja huovanohjain.....	26
Kuvio 12. Valon vuorovaikutus paperin kanssa.....	27
Kuvio 13. Paperin pinnasta tehty viistemalli, missä valo heijastuu eri suuntiin riippuen viisteiden kulmasta.....	28
Kuvio 14. Mittauksen suhteellinen valoherkkyys aallonpituuden funktiona ISO- vaaleuden ja Y-luvun mittaamisessa.....	29
Kuvio 15. Paperista heijastuneen valon spektri aallonpituuden funktiona kun valaistuksessa on käytetty valoa, jossa on mukana ultraviolettisäteilyä ja paperi sisältää fluoresoivia optisia kirkasteita.....	30
Kuvio 16. Kaksi hajasäteilyyn ja yksi suunnattuun säteilyyn perustuvaa mittausperiaatetta.....	31
Kuvio 17. Tyypillisen konenäköjärjestelmän komponentit.....	34
Kuvio 18. Digitaalisen CCD-kameran pääkomponentit.....	38
Kuvio 19. CCD- ja CMOS-kuvaseensorien herkkyys valon eri aallonpituuksilla verrattuna ihmissilmän vastaavaan päivänvalossa.....	43
Kuvio 20. Ihmissilmän herkkyys eri aallonpituuksilla päivänvalossa ja hämä- rässä.....	44
Kuvio 21. Bayer-tyyppinen suodatinryhmä kuvasensorin päällä.....	45
Kuvio 22. Tyypillisen CCD-kuvaseensorin herkkyys eri aallonpituuksilla väreillä punainen, vihreä ja sininen.....	45
Kuvio 23. Erilaisia hajaheijastavia etuvaloja.....	52
Kuvio 24. Erilaisia suunnattuja etuvaloja.....	53

Kuvio 25. Suunnattu pimeäkenttävalaistus etuvalolla.....	54
Kuvio 26. Hajaheijastettu vaaleakenttä taustavalo.....	54
Kuvio 27. Telesentrinen vaaleakenttä taustavalo.....	55
Kuvio 28. Eri väristen LED:ien emittoima valo normalisoituna aallonpituuden funktiona.....	56
Kuvio 29. Kaasupurkauslampun emittoima valo normalisoituna aallonpituuden funktiona.....	57
Kuvio 30. Tyypillisen xenon-salamavalon emittoima valo normalisoituna aallonpituuden funktiona.....	58
Kuvio 31. Loisteputkirengasvalon emittoima valo normalisoituna aallonpi- tuuden funktiona.....	59
Kuvio 32. VTT:llä mitatut materiaalit.....	61
Kuvio 33. Spektrofotometri Minolta CM-3610d.....	62
Kuvio 34. Minolta CM-3610d yksinkertaistettu rakenne.....	63
Kuvio 35. Valkoisen paperin mittaus valkoisen viiran päällä.....	63
Kuvio 36. Märän kartongin mittaus punaisen viiran päällä.....	64
Kuvio 37. PaperControl ver 2.10 -käyttöliittymä.....	65
Kuvio 38. Minolta kalibrointikivi.....	65
Kuvio 39. Yhteen viiraan liittyvät eroarvojen minimi eri aallonpituuksilla.....	68
Kuvio 40. Kaikkien näytteiden eroarvojen minimi käyrästä.....	70
Kuvio 41. Mittausten eroarvojen minimien minimi kaikilla aallonpituuksilla.....	70
Kuvio 42. VisiEye-mittalaitteen ja mittauspöydän välisen kulman asettaminen.	72
Kuvio 43. VisiEye testijärjestely päältä päin.....	72
Kuvio 44. VisiEye testijärjestely sivulta päin kymmenen asteen kulmalla.....	73
Kuvio 45. Näytönkaappaus VisiEye Metso Simulator 57600 bit/s -käyttöliit- tymä.....	74
Kuvio 46. Heijastuksen eroarvot (B, G, R) eri kulmilla yhdellä näytteellä (Mondicee), kuivana ja märkänä.....	77
Kuvio 47. Heijastuksen eroarvot (B, G, R) eri kulmilla yhdellä näytteellä (WorthPM1), kuivana ja märkänä.....	78
Kuvio 48. Heijastuksen eroarvot (B, G, R) eri kulmilla yhdellä näytteellä (halkaistu wc-paperi), kuivana ja märkänä.....	79
Kuvio 49. Yhteen viiraan liittyvät mittausten eroarvojen minimi eri aallonpi- tuuksilla ja näytteillä.....	83

TAULUKOT

Taulukko 1. Spektrofotometrin mittaamaa dataa mitta-alueen alkupäästä käyttäen ultraviolettivaloa.....	66
Taulukko 2. Spektrofotometrin mittaamaa dataa mitta-alueen alkupäästä ilman ultraviolettivaloa.....	67
Taulukko 3. Spektrofotometrin mittaamaa dataa mitta-alueen loppupäästä ilman ultraviolettivaloa.....	68
Taulukko 4. Kaikkien viirojen/huopien mittausten eroarvojen minimi kootusti (ultraviolettivalo mukana).....	69
Table 5. Näytönkaappauksista kootut mittausarvot yhdestä viirasta.....	75
Taulukko 6. Heijastuksen eroarvot kuivana (B, G, R) kaikilla viiroilla/huovilla ja näytteillä kaikilla kulmilla.....	88
Taulukko 7. Heijastuksen eroarvot märkänä (B, G, R) kaikilla viiroilla/huovilla ja näytteillä kaikilla kulmilla.....	89

1 LÄHTÖKOHDAT OPINNÄYTETYÖLLE

1.1 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantaja on Jyväskylässä toimiva SKS Vision Systems Oy, joka kuuluu osana SKS Group Oy:öön. Alla tietoa SKS Group Oy:stä sekä SKS Vision Systems Oy:stä.

SKS Group

SKS Group on kasvuhakuinen koneenrakennusalan moniosaaja. Konserniin kuuluvat yritykset muodostavat Suomessa ainutlaatuisen kokonaisuuden tuotteineen ja palveluineen. Yksittäiset komponentit, puolivalmisteet, kokoonpanot ja vaativat laitetositukset - SKS Groupiin kuuluvat yritykset toimittavat kaiken tarvittavan luotettavasti ja kustannustehokkaasti.

Tavoitteenamme on asiakkaidemme kilpailukyvyyn ja tuottavuuden parantaminen. Kehitämme jatkuvasti omaa toimintaamme ja osaamistaamme, jotta voisimme vastata asiakkaiden muuttuviin tarpeisiin. Alan parhaat tuotteet, toimiva logistiikka ja asiantunteva henkilöstö ovat asioita, joista emme tingi.

TOIMINTATAPAMME

Tuotteemme ja palvelumme ovat laadultaan erinomaisia. Laatu toteutuu vain, jos asiakas on tyytyväinen. Kuuntelemme asiakasta ja kehitämme palveluja sen mukaan. Hyödynnämme konsernissa olevan tiedon ja taidon asiakkaan parhaaksi.

Asiakkaamme saavat kilpailuetua esim. ulkoistamalla SKS-konsernille kehitysprojektin, kokoonpanon tai muun työn, jolle syntyy tätä kautta parempi hinta/laatusuhde. Asiakasyrityksen tase kevenee ulkoistamisen seurauksena ja asiakkaan omat prosessit virtaviivaistuvat. SKS-konsernin erikoisosaaminen on asiakkaamme käytettävissä ja tuotamme palvelua, joka tukee ja parantaa asiakkaan brändin laatumielikuvaa. Keskittämällä hankinnat saamme asiakkaillemme aikaan kustannussäästöjä.

AINUTLAATUINEN KOKONAISUUS SUOMESSA

Automaation, sähkötekniikan ja koneenrakennuksen komponentit, sähkökäytöt ja ohjauksjärjestelmät, konenäkötekniikan tuotteet ja ratkaisut, suunnittelu ja palvelut, kokoonpanot ja sopimusvalmistus, huolto ja ylläpito - SKS hallitsee koneiden ja laitteiden koko elinkaaren.

SKS GROUP LYHYESTI

Suomalainen perheyriutus, perustettu vuonna 1924. Toimipisteitä Suomessa, Venäjällä, Baltiassa ja Kiinassa. Liikevaihto 77,0 milj. euroa ja noin 650 työntekijää (2009). Päätoimipaikka Vantaalla, aluetoimistot ovat Vantaalla, Tampereella ja Turussa. Logistiikkakeskukset sijaitsevat Vantaalla ja Hyvinkäällä, johdinsarja-, lämpötila-anturi- ja kiskovalmistus on Hyvinkäällä ja sopimusvalmistusta Toijalassa, Viialassa ja Hämeenlinnassa sekä johdinsarjavalmistusta Vieremällä. Konenäkötekniikan tuotteet valmistetaan Jyväskylässä. SKS:n valikoimassa 183 674 tuotenimikettä. 23 945 varastotuotetta, toimitusvalmius heti. (SKS Group yritystiedot 2011.)

SKS Vision Systems Oy

SKS Vision Systems Oy on erikoistunut optiseen mittaustekniikkaan sekä konenäkötuotteiden ja -sovellusten kehittämiseen, valmistamiseen ja asiakasprojektien toteuttamiseen teollisuuslaitoksille. Yhtiö tarjoaa asiakkaidensa käyttöön kokonaisvaltaiset mittaus- ja laadunvalvontaratkaisut 25 vuoden kokemuksella. SKS Vision Systems on yksi johtavia vaativien prosessiteollisuuden konenäköjärjestelmien ja integroitujen älykkäiden antureiden toimittajia Suomessa. SKS Vision Systems tunnetaan myös kansainvälisesti, ja sen asiantuntemusta arvostetaan alalla.

Maaliskuussa 2010 SKS Vision Systems Oy sopi liiketoimintakaupasta, jolla optisia antureita toimittava Opto-Control Oy liitettiin osaksi SKS Vision Systemsiä. Yrityskaupan taustalla on SKS Vision Systemsin strategia vahvistaa paperiteollisuuden optisten antureiden tarjontaa. Opto-Controlin henkilöstö siirtyi SKS Vision Systemsin palvelukseen.

TAPAMME TOIMIA

Yhtiön strateginen linjaus on ollut kehittää mahdollisimman pitkälle vietyjä integroituja ratkaisuja, jotka ovat helposti liitettävissä tuotantolinjojen ohjausjärjestelmiin. Toimitukset koostuvat laite- ja asiakaskohtaisista kokonaisratkaisuista asiakkaiden tarpeiden pohjalta. SKS Groupin tapaan myös SKS Vision Systemsissä katsotaan eteenpäin ja kehitetään asiakasyrityksille ratkaisuja, joiden valossa huomina näyttää entistäkin paremmalta.

Tuotteet ja palvelut

Älykamerapohjaiset anturit

Konenäköjärjestelmät

LINE-TEC® optiset tuotteet paperi- ja terästeollisuuteen

EGE-erikoisanturit

Tunnusluvut 2009

Liikevaihto 0,9 milj. euroa

Henkilöstömäärä 11. (SKS Vision Systems yritystiedot 2011.)

1.2 Opinnäytetyön aihe

Toimeksiantajan järjestelmät, joilla havainnoidaan paperi- tai kartonkiradan reunaa ja ilmaistaan ratakatoja, käyttävät hyväkseen näkyvää valkoista valoa. Tällaisella järjestelmällä on tiettyjä heikkouksia, eikä sillä pystytä kaikissa olosuhteissa luotettavasti mittaamaan edellä mainittuja asioita. Kun esimerkiksi viiran tai huovan väri on hyvin lähellä paperin tai kartongin väriä, on reunan havainnointi ja ratakaton ilmaisu usein epäluotettavaa. Ympäristö, esimerkiksi vesisumu tai viiran likaisuus, vaikuttavat luotettavuuteen olennaisesti. (Rahkola 2011.)

Työn tavoitteena oli määritellä eri viira tai huopa sekä paperi tai kartonki -yhdistelmien heijastaman säteilyn aallonpituudet (spektri) riippuen valonlähteestä ja valonlähteen valaistuskulmasta. Tarkoituksena oli löytää parhaat aallonpituudet ja valaistuskulmat valonlähteelle, jotta takaisin heijastuvan valon perusteella voitaisiin radan reuna havainnoida ja ratakato ilmaista luotettavasti mahdollisimman monilla viira tai huopa sekä paperi tai kartonki -yhdistelmillä. Työtä varten pyrittiin löytämään relevantteja mittausta- ja tutkimustuloksia, joita oli tarkoitus käyttää työssä soveltuvilta osin hyväksi.

Työtä varten suoritettiin kaksi erilaista mittaussarjaa, joissa tutkittiin edellä mainittuja asioita. Mittausten perusteella saatiin selville, millaisia valon aallonpituuksia erilaisista viira tai huopa sekä paperi tai kartonki -materiaaleista heijastuu takaisin erilaisilla valonlähteillä ja valaistuskulmilla. Tämän tiedon perusteella valittiin suositeltavat valon aallonpituudet ja valaistuskulmat kullekin viira tai huopa sekä paperi tai kartonki -yhdistelmille.

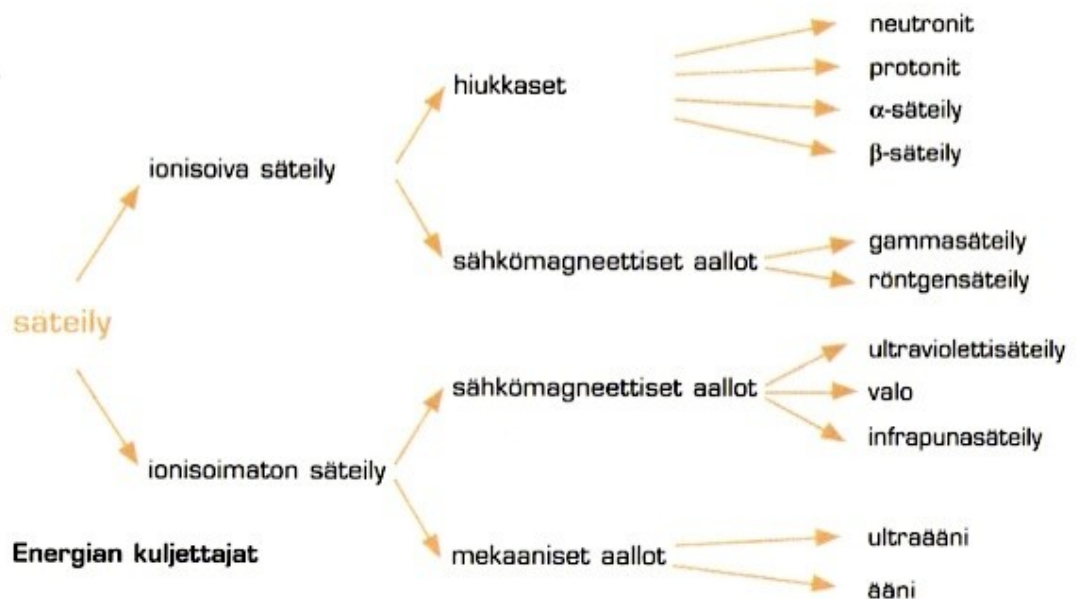
Tuloksia voidaan käyttää hyväksi kun kehitetään reunan havainnointi ja ratakaton ilmaisujärjestelmää ja niihin liittyviä asennusohjeita.

2 SÄHKÖMAGNEETTINEN SÄTEILY

2.1 Säteily: Energiaa ja hiukkasia

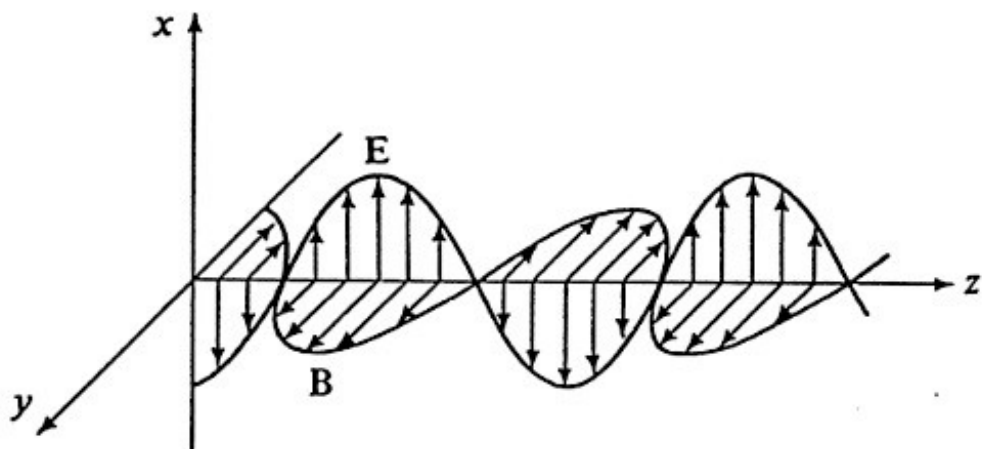
Säteily, joka on energiaa, virtaa kaikkialla joko hiukkasten liike-energiana tai sähkömagneettisena aaltoliikkeenä. Esimerkiksi radioaktiivisten aineiden lähettämä säteily, röntgensäteily, ultraviolettisäteily, näkyvä valo ja infrapunasäteily ovat tällaista säteilyä ja osa niistä on jopa välttämättömiä elolliselle luonnolle. Erilaiset säteilylajit sisältävät erilaisia energiamääriä (energiapaketteja), joiden voidaan ajatella tunkeutuvan aineeseen ja luovuttavan sille energiansa. Säteilyn ja ympäröivän aineen välille syntyy erilaisia vuorovaikutuksia riippuen säteilyn lajista ja sen luovuttamasta energiamäärästä. (Hyvä tietää säteilystä 2003, 3.)

Kuviossa 1 esitellään säteilyn jako ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn. Sähkömagneettista säteilyä ovat gamma-, röntgen-, ultravioletti-, valo- ja infrapunasäteily. Jatkossa keskitytään näistä kolmeen viimeiseen.



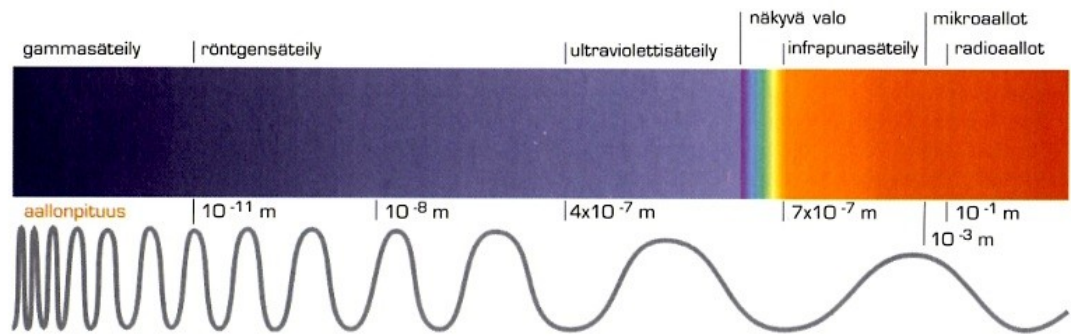
Kuvio 1. Säteilyn jako ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn (Hyvä tietää säteilystä 2003, 3).

Jaarinen ja Niiranen (2005, 46) esittävät sähkömagneettisen säteilyn sähkökentän ja magneettikentän suhteessa niiden etenemissuuntaan kuvion 2 mukaisesta. Sen mukaan sähkömagneettisen säteilyn sähkökenttä (E) ja magneettikenttä (B) ovat toisiaan vasten kohtisuorassa ja kohtisuorassa säteilyn etenemissuuntaa (Z) vastaan. Kahden toisiaan seuraavan jakson välimatka on säteilyn aallonpituus (λ). Mäkelä, Mäkelä ja Siltanen (2002, 183) esittävät sähkökentän ja magneettikentän esiintyvän aina yhdessä, koska ajallisesti muuttuessaan ne aiheuttavat toinen toisensa.



Kuvio 2. Sähkömagneettisen säteilyn sähkökenttä (E) ja magneettikenttä (B) (Jaarinen & Niiranen 2005, 46).

Säteilyspektri koostuu sähkömagneettisen säteilyn aallonpituuksista kuvion 3 mukaisesti. Säteilyn taajuus ja energia ovat pienempiä pidemmillä aallonpituuksilla verrattuna lyhyempiin aallonpituuksiin. Gamma- ja röntgensäteilyssä on siis paljon energiaa ja ne läpäisevät ainetta tehokkaasti. Jos säteily pystyy aiheuttamaan atomiin sähkövarauksen, puhutaan ionisoivasta säteilystä. Muu säteily on ionisoimatonta ja luonteeltaan vaarattomampaa kuin ionisoiva säteily. Näkyvän valon osuus säteilyspektristä on hyvin pieni, kuten kuviosta 3 ilmenee.



Kuvio 3. Sähkömagneettisen säteilyn spektri ja aallonpituus (Hyvä tietää säteilystä 2003, 4).

2.1.1 Infrapuna-, näkyvä- ja ultraviolettivalo

Stegerin, Ulrichin ja Wiedemannin (2008, 6) mukaan standardi DIN 5031 esittää ultravioletti- ja infrapunasäteilyn aallonpituusjaon ja nimitykset kuvion 4 mukaisesti. Edellisten mukaan Lee (2005) esittää näkyvän valon aallonpituusjaon ja nimitykset kuvion 4 mukaisesti (kuvion keskiosa).

Range	Name	Abbreviation	Wavelength λ
Ultraviolet	Vacuum UV	UV-C	100 nm–200 nm
	Far UV		200 nm–280 nm
	Middle UV	UV-B	280 nm–315 nm
	Near UV	UV-A	315 nm–380 nm
Visible	Blue-purple		380 nm–430 nm
	Blue		430 nm–480 nm
	Green-blue		480 nm–490 nm
	Blue-green		490 nm–510 nm
	Green		510 nm–530 nm
	Yellow-green		530 nm–570 nm
	Yellow		570 nm–580 nm
	Orange		580 nm–600 nm
	Red		600 nm–720 nm
Red-purple		720 nm–780 nm	
Infrared	Near IR	IR-A	780 nm–1.4 μm
		IR-B	1.4 μm –3 μm
	Middle IR		3 μm –50 μm
	Far IR	IR-C	50 μm –1 mm

Kuvio 4. Valon spektrijakauma ja alueiden nimitykset (Steger, Ulrich & Wiedemann 2008, 6).

Kuviossa 5 on Bandin (2006, 25) määritelmä näkyvän valon aallonpituusjaosta ja nimityksistä. Kuvioista 4 ja 5 voi helposti huomata etteivät jaottelut ja nimitykset ole täysin toisiaan vastaavia. Nimiä vastaavat aallonpituusalueet limittyvät osittain, eivätkä ne ole täysin yksiselitteisiä. Sama pätee ultravioletti- ja infrapuna-alueella. Taulukon 4 mukaan näkyvä valo on alueella 380–780 nm

kun taas taulukon 5 mukaan sen aallonpituudet ovat 390-780 nm. Tämä pieni ero johtuu edellä mainitusta alueiden limittymisestä ja siitä johtuvasta käsitteiden tulkinnan varaisuudesta. Lisäksi ihmissilmän valoherkkyys vaihtelee hieman yksilöittäin.

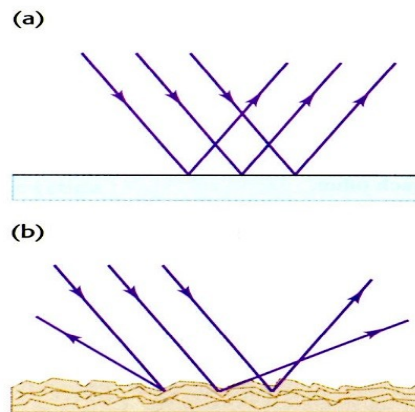
Color	λ (nm)	ν (10^{12} Hz)
Red	780–622	384–482
Orange	622–597	482–503
Yellow	597–577	503–520
Green	577–492	520–610
Blue	492–455	610–659
Violet	455–390	659–769

Kuvio 5. Näkyvän spektrin eri värien aallonpituudet ja taajuudet (Band 2006, 25).

2.1.2 Aaltojen käyttäytyminen

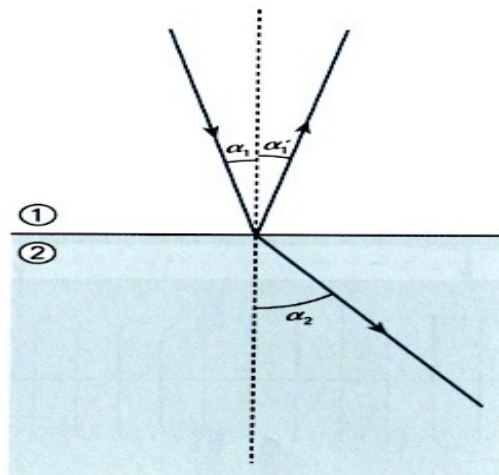
VALON HEIJASTUMINEN JA TAITTUMINEN

Kuviossa 6 on kuvattu samansuuntaisina saapuvien valonsäteiden heijastuminen kahdesta erilaisesta pinnasta. Tapauksessa (a) kaikki valonsäteet heijastuvat samansuuntaisesti kun taas tapauksessa (b) säteet heijastuvat eri suuntiin johtuen heijastavan pinnan epätasaisuuksista. Suvannon ja Laajalehdon (2006, 351) mukaan tapauksen (a) kaltaista ilmiötä sanotaan peiliheijastukseksi (spekulaarinen heijastus) ja tapauksen (b) kaltaista ilmiötä hajaheijastukseksi (diffuusi heijastus). Kaikki todelliset pinnat aiheuttavat hajaheijastuksen, minkä ansiosta esineet voi ylipäänsä nähdä.



Kuvio 6. Valon heijastuminen (a) peilipinnasta ja (b) epätasaisesta pinnasta (Young, Freedman 2008, 1124).

Kuviossa 7 esitetään aallon heijastuminen ja taittuminen kahden aineen rajapinnassa. Aallon taajuus ei muutu heijastumisen ja taittumisen yhteydessä. Heijastumiseen ja taittumiseen liittyvät lain'alaisuudet pätevät sekä mekaanisille että sähkömagneettisille aalloille. (Suvanto & Laajalehto 2006, 248-249.)



Kuvio 7. Aallon taittuminen kahden aineen rajapinnassa (Suvanto & Laajalehto 2006, 248).

Heijastuslain mukaan tulevan aallon ja heijastuvan aallon kulmat ovat yhtä suuret, eli:

$$\alpha_1 = \alpha_1'$$

Valon etenemisnopeus c_n riippuu väliaineesta. Se on väliaineessa aina pienempi kuin valon etenemisnopeus tyhjiössä. Väliaineen taitekerroin n saadaan kaavasta:

$$n = c / c_n,$$

missä c = valon nopeus tyhjiössä.

Taitekerroin riippuu myös aallonpituudesta. Ilmiötä kutsutaan dispersioksi. Dispersion takia valkoinen valo hajaantuu taitumisessa spektriiksi.

Monogromaattinen valo on Youngin ja Freedmanin (2008, 1095) mukaan valoa, jossa on vain yhtä aallonpituutta. Käytännössä kuitenkin tarkoitetaan hyvin kapeaa aallonpituusaluetta, koska vain yhtä valon aallonpituutta on käytännössä mahdotonta saada aikaiseksi. Laservalolla päästään hyvin lähelle ideaalista tilannetta eli monogromaattista valoa.

Taittumislaki voidaan kirjoittaa monogromaattiselle valolle muotoon:

$$n_1 * \sin \alpha_1 = n_2 * \sin \alpha_2,$$

missä n_1 ja n_2 ovat kyseisten väliaineiden taitekertoimet.

Kun aalto saapuu taitekertoimeltaan suurempaan väliaineeseen, taittunut aalto taipuu pinnan normaalia kohti. Aallon saapuessa taitekertoimeltaan pienempää väliaineeseen, taipuu taittunut aalto pinnan normaalista pois päin. Aallon saapuessa aineiden rajapintaan sellaisesta väliaineesta, jossa sen nopeus on suurempi kuin väliaineessa rajapinnan jälkeen, voi tapahtua niin sanottu kokonaisheijastus. Kokonaisheijastuksen rajakulman yhtälö voidaan kirjoittaa muotoon:

$$\sin \alpha_r = n_2 / n_1,$$

missä α_r on kokonaisheijastuksen rajakulma, n_1 väliaineen 1 taitekerroin ja n_2 väliaineen 2 taitekerroin. (Mäkelä ym. 2002, 191-92; Smith 1990, 3-8; Suvanto & Laajalehto 2006, 248-251 Young & Freedman 2008, 1125.)

VALON POLARISOITUMINEN

Mäkelän ja muiden (2002, 194) mukaan polarisoitumaton valo polarisoituu heijastuessaan. Auringosta ja yleensä muistakin valonlähteistä lähtevä valo on yleensä polarisoitumatonta, eli valon sähkökentän voimakkuusvektorin vaihtelua tapahtuu kaikissa suunnissa etenemissuuntaa vastaan kohtisuorassa tasossa. Heijastunut säteily on kokonaan heijastuspinnan suuntaisesti polarisoitunutta ja taittunut säteily osittain polarisoitunutta jos heijastuneen ja taittuneen säteilyn kulma on suora. Kun edellä mainittujen säteilyjen välinen kulma poikkeaa suorasta kulmasta, on heijastunut säteily vain osittain polarisoitunutta pinnan suuntaisesti. Tulokulmaa, jolla heijastuneen ja taittuneen säteilyn välinen kulma on suora, sanotaan polarisaatiokulmaksi ja se noudattaa yhtälöä:

$$\tan \alpha_p = n_2 / n_1,$$

missä α_p on polarisaatiokulma, n_1 väliaineen 1 taitekerroin ja n_2 väliaineen 2 taitekerroin.

VALON SIRONTA

Youngin ja Freedmanin (2008, 1143) sekä Mäkelän ja muiden (2002, 196) mukaan valon muuttuva sähkökenttä saa aineiden elektronit värähtelemään valon taajuudella, jolloin ne lähettävät itse säteilyä samalla taajuudella mutta osa säteilystä lähtee eri suuntaan verrattuna alkuperäiseen säteilyyn. Tätä sanotaan sironnaksi. Sironnan yhteydessä valo myös polarisoituu. Valo siroaa parhaiten aallonpituuden suuruusluokkaa olevista hiukkasista, kuten ilmamole-

kyyleistä. Lyhyemmillä aallonpituuksilla siroamista tapahtuu enemmän kuin pidemmällä aallonpituuksilla.

2.1.3 Valaistussuureet

Alla on tärkeimmät valaistukseen liittyvät suureet.

AVARUUSKULMA

Kun pallopinnasta erotettu alue jaetaan säteen neliöllä saadaan avaruuskulma, jonka yksikkö on steradiaani, $[\omega] = (\text{sr})$. Avaruuskulman määrittelee yhtälö:

$$\omega = A / r^2 \text{ sr, (Mäkelä ym. 2002, 224).}$$

VALOVIRTA

Määtän (2001, 8) mukaan valovirta on valonlähteen näkyvän valon alueen säteilyteho painotettuna **silmän** spektriherkkyydellä. Sen yksikkö on lumen $[\Phi] = \text{lm}$. Kuvio 20 esittää silmän spektriherkkyyssäyrän. Käyrästä näkee, että päivänvalossa silmän herkkyys on suurin valolle, jonka aallonpituus on 555nm, eli keltavihreä valo. Silmän spektriherkkyyssäyrän arvoksi tuolla aallonpituudella on sovittu arvo 1. Kaikilla muilla aallonpituuksilla tarvitaan suurempi säteilyteho, jotta saadaan aikaiseksi yhtä voimakas valoistimus. Mäkelän ja muiden (2002, 224) mukaan mitattaessa valovirran suuruutta, on huomioitava valonlähteen säteilyteho sekä silmän spektriherkkyyssäyrä.

VALOVOIMA

Kun valonlähde säteilee tiettyyn suuntaan valovirran Φ ja se jaetaan vastavalla avaruuskulmalla ω , saadaan valovoima I tiettyyn suuntaan. Valovoiman siis määrittelee yhtälö:

$$I = \Phi / \omega,$$

Valovoiman yksikkö on kandela, $[I] = \text{cd}$ (Mäkelä ym. 2002, 225).

VALAISTUSVOIMAKKUUS

Valaistusvoimakkuuden määrittelee yhtälö:

$$E = \Phi / A,$$

missä Φ on pinnalle A osuva valovirta. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luxi, $[E] = \text{lx} = \text{lm} / \text{m}^2$ (Mäkelä ym. 2002, 227).

LUMINANSSI

Luminanssi on toinen valaistuja pintoja kuvaava suure. Luminanssi saadaan kaavasta:

$$L = \rho * E / \pi,$$

missä ρ on pinnan heijastussuhde, joka ilmoittaa kuinka suuri osa pintaan osuvasta valovirrasta heijastuu. Luminanssin yksikkö on $[L] = \text{lm} / \text{m}^2$ (Mäkelä ym. 2002, 227).

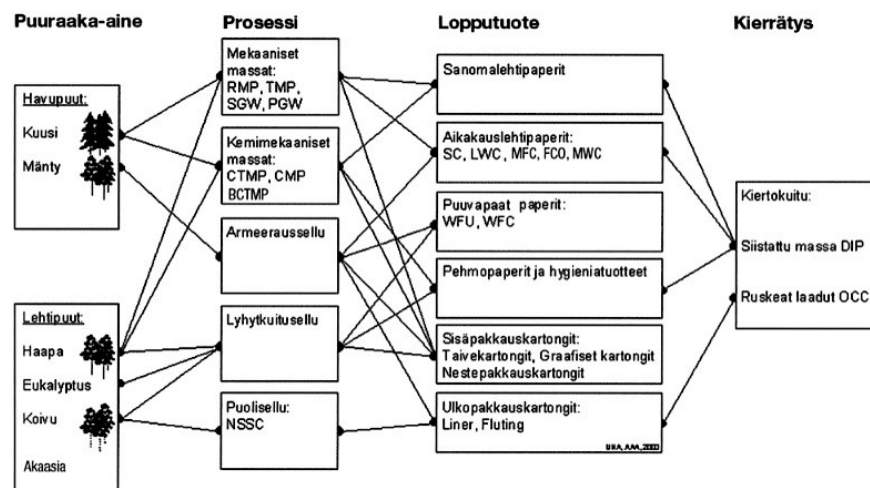
3 PAPERIN VALMISTAMINEN

3.1 ERILAISET PAPERILAADUT

Paperit ja kartongit voidaan karkeasti jakaa seuraaviin kategorioihin:

- painopaperit
- pakkauslaadut
- pehmopaperit
- erikoispaperit kuten suodatinpaperit, laminoointipaperit ja sähköiset paperit. (Paulapuro 2008, 11.)

Kuviossa 8 esitellään tarkempi paperi- ja kartonkilaatujen jako, niiden raaka-aineet, niitä tuottavat prosessit sekä kierrätysmahdollisuudet. Kuvion perusteella saadaan jonkinlainen käsitys paperi- ja kartonkilaatuihin liittyvästä monipuolisuudesta, vaikka kuvioista ei käykään ilmi esimerkiksi erilaisia täyteaineita, joilla vaikutetaan paperin ja kartongin ominaisuuksiin huomattavasti.



Kuvio 8. Eri paperi- ja kartonkilajikkeiden lopputuoteanalyysi (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 77).

3.2 PAPERIKONE

Nykyään lähes kaikki paperi valmistetaan teollisesti erilaisilla paperikoneilla. Paperikoneen pääosat ovat perälaatikko, viiraosa, puristinosi ja kuivatusosa. Varsinainen paperiraina muodostuu paperikoneen määrässä päässä, mikä koostuu perälaatikosta, viira- ja puristinosasta. Perälaatikolla laimea kuituseos syötetään viiraosan viiran päälle mahdollisimman tasaisesti, jolloin paperiraina saa alkunsa. Viiraosalla poistetaan valtaosa perälaatikosta syötetystä vedestä. Paperiraina jatkaa matkaansa puristinosalle, missä siitä poistetaan vettä edelleen. Puristus vaikuttaa myös rainan rakenteeseen. Puristinosalta paperiraina johdetaan kuivatusosalle ja sen läpi, missä rainasta haihdutetaan vettä. Kuivatusosalla tai sen jälkeen voi olla erilaisia jälkikäsittelylaitteita, joilla parannetaan paperin ominaisuuksia. Käsittely voi tapahtua jatkuvana prosessina paperikoneen jatkona tai erillisenä prosessina. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 15-16.)

3.2.1 Kudokset paperikoneessa

Liimataisen (2003, 4) mukaan kudoksella tarkoitetaan paperikoneen yhteydessä viiraosan viiroja, puristinosan huopia ja kuivatusosan viiroja ja huopia. Kaikille edellä mainituille yhteistä on se, että ne ovat päätyöttömiksi valmistettuja lenkkejä, joiden tehtävänä on tukea paperia sen valmistusvaiheessa paperikoneessa sekä auttaa vedenpoistossa. Eri koneenosien välillä kudosten ominaisuudet vaihtelevat kuitenkin paljon.

Kudoksilla on taipumus kulua ja likaantua kaikilla koneenosilla. Ne ovatkin käyttötavaraa, joita on vaihdettava säännöllisesti. Kudokset likaantuvat eri koneenosilla eri tavoin mutta pääasiallisesti likaantumisessa paperin, kartongin tai niiden lisäaineiden partikkelit tarttuvat kudokseen johtuen mekaanisista voimista tai edellä mainittujen partikkelien ja kudoksen materiaalin vuorovaikutteisista voimista. Kasvaneet konenopeudet, lisääntynyt kierrätyskuidun käyttö ja toisaalta vähentynyt puhtaanveden käyttö ovat syitä miksi likaantuminen on viime vuosina lisääntynyt. Kudoksia puhdistetaan eri koneenosilla perustuen eri metodeihin. Viiraosalla viiraa puhdistetaan ajon aikana oskilloivilla korkeapainesuihkuilla. Puristimen huopia puhdistetaan vastaavasti ja lisäksi niitä puhdistetaan erilaisilla imulaatikoilla. Kuivatusviiroja

puhdistetaan ajon aikana ilmasuihkuilla, yksittäisillä korkeapainesuihkuilla tai höyryllä. Mikäli kuivatusviiroihin on tarttunut paljon epäpuhtauksia voi harjalla puhdistaminenkin tulla kysymykseen. Seisokkien alussa voidaan kudosten pesuun käyttää myös kemikaaleja koneen ollessa ryömintänopeudella, jolloin on muistettava suorittaa kudosten perinpohjainen huuhtelu. (Paulapuro 2008, 329-334, 418-422; Karlsson 2010, 569-572.)

VIIROJEN TEHTÄVÄ JA OMINAISUUDET VIIRAOSALLA

Viirojen päätehtävät viiraosalla ovat seuraavat:

- Toimia tasaisena alustana perälaatikosta tulevalle massalle
- toimia vedenpoistoelementtinä
- siirtää paperirata viiraosalta puristinosalle.

Vettä poistetaan viiran läpi erilaisilla vedenpoistoelementeillä, joiden rakenne riippuu viiraosan rakenteesta. Viirat toimivat nopeusalueella 100 m/min – 1900 m/min. Paperin tai kartongin paino viiraosalla vaihtelee laadusta riippuen alle kymmenestä grammasta neliömetrille aina useisiin satoihin grammoihin neliömetrille. Koneeseen valittavan viiran ominaisuudet perustuvat pitkälti paperin tai kartonkilaatuun sekä viiraosan rakenteeseen. Vedenpoisto ja retentio-ominaisuudet, stabiliteetti, kulutuskestävyys ja merkkamattomuus ovat viiraosalla viiran tärkeimmät ominaisuudet. (Paulapuro 2008, 310.)

Viiraosan viirat valmistetaan monilla eri menetelmillä useista eri materilajeista. Eurooppalainen paperikonekudosten liitto (European Paper Machine Clothing Association, PCA) luokittelee viiraosan viirat rakenteen mukaan seuraavasti:

- Yksikerrosviirat (single layer, SL)
- kaksikerrosviirat (double layer, DL)
- kaksikerrosviirat, alhainen loimitiheys (double layer – low warp density, DL-LWD)

- kaksikerrosviirat, korkea loimitiheys (double layer – high warp density, DL-HWD)
- kaksikerrosviirat, lisätty ylimääräinen kude (double layer – extra weft added, DL-EWA)
- kolmikudeviirat (triple weft, TW)
- kolmikerrosviirat (triple layer, TL)
- monikerrosviira (self-support binding, SSB).

Viirujen lankojen raaka-aineena käytetään pääosin polyesteriä (PES) ja viiran kulutuspuolella osittain myös polyamidia (PA). Lisäksi viirujen ominaisuudet vaihtelevat lankapaksuuden, kuvioinnin ja värin osalta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 173-174; Paulapuro 2008, 310-314.)

HUOPIEN TEHTÄVÄ JA OMINAISUUDET PURISTINOSALLA

Puristinhuopien päätehtävät ovat:

- Toimia joustavana alustana viiraosalta tulevalle paperirainalle
- toimia vedenpoistoelementtinä
- siirtää paperirata viiraosalta puristinosalle.

Puristinhuovan pitää mahdollistaa paperirainan tasainen puristus telanipissä, jotta vältetään paperin markkeeraukselta. Sen tehtäviin kuuluu myös niiden telojen pyörittäminen, joilla ei ole omaa sähkömoottoria niitä pyörittämässä. Puristinhuovalla pitää olla riittävä vedenpoistokyky, hyvä vastustuskyky siihen vaikuttaville haitallisille tekijöille kuten tiivistymiselle, hankautumiselle ja huonontumiselle. Puristinhuovan pitää lisäksi olla helposti ohjattavissa, aiheuttaa vähän tärinää, olla hyvä rainansiirrosta ja helposti puhdistettavissa. Näistä moninaisista vaatimuksista johtuen puristinhuovat ovat usein puristin-kohtaisesti suunniteltuja ja valmistettuja. Jopa eri positiot samassa puristinosassa käyttävät erityisesti tuohon position tehtyä huopaa. (Paulapuro 2008, 404-405.)

Alun perin puristinhuovat valmistettiin villakudosta huovuttamalla. Nykyään huovissa on peruskudos polyamidimonofilamentistä, jonka molemmin puolin on neulottu polyamidi katkokuitua. Lisäksi on laminaattihuopia, joissa kaksi eri kudosta on hahtuvan avulla neulottu yhteen. Puristinhuopia valmistetaan monia eri värejä. (Hägglom–Ahnger & Komulainen 2003, 175.)

VIIROJEN JA HUOPIEN TEHTÄVÄ JA OMINAISUUDET KUIVATUS- OSALLA

Viirujen päätehtävät kuivatusosalla ovat seuraavat:

- Mahdollistaa tasainen ja tehokas kuivatus
- taata rainan stabiiliteetti kuivatusosan läpi
- saada osaltaan aikaan halutut aerodynaamiset ominaisuudet.

Kuivatusviiran avonaisuus, sen rakenne ja kontakti paperiin vaikuttavat paljon kuivatusprosessiin. Kuivatusviira tukee paperia koko viiraosan läpi ja samalla pyörittää niitä sylintereitä ja teloja joilla ei ole omia sähkömoottoreita. Tähän ominaisuuteen vaikuttaa paljon viirujen kulutuskestävyys sekä mitta- ja rakenteellinen stabiiliteetti. Muita tärkeitä ominaisuuksia kuivatusviiruille on hyvä ohjattavuus ja puhdistettavuus. (Karlsson 2010, 544-545.)

Kuivatusviirat voidaan jakaa rakenteensa puolesta seuraavasti:

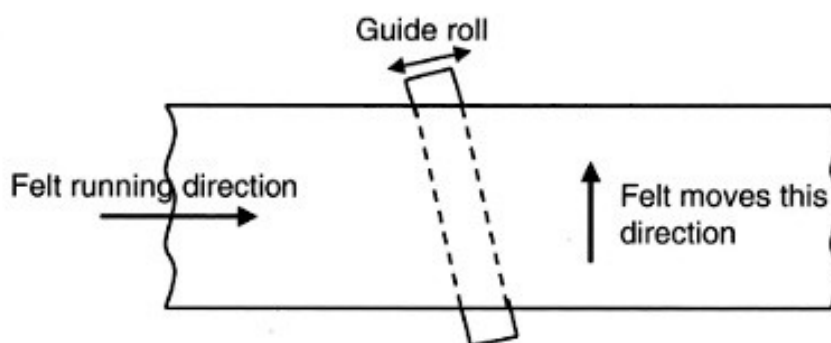
- Yksikerrosviirat
- puolitoistakerrosviirat
- kaksikerrosviirat.

Lisäksi markkinoilla on ollut kaksi ja puolikerros -viiruja sekä kolmikerrosviiruja, mutta ne ovat nykyään erittäin harvinaisia. Kuivatusviirat on pääasiallisesti kudottu 100% monofilamenttirakenteeksi. (Karlsson 2010, 563.)

Pääasiallinen raaka-aine kuivatusviirroissa on polyesteri. Lankamateriaalina voidaan erittäin kuumissa olosuhteissa käyttää myös polyfenyylisulfidia tai polyeetterieetteriketonia. Kuivatusviirroilla on hyvin erilaisia läpäisyarvoja riippuen toisaalta viiran positioista kuivatusosalla ja toisaalta paperi- tai kartonkilaadusta. Suuri läpäisyarvo parantaa veden haihtumista. Kuivatusviirroja valmistetaan monia eri värejä. (Hägglom–Ahnger & Komulainen 2003, 177.)

3.2.2 Kudosten ohjaaminen

Kudoksia pitää ohjata sivusuunnassa kaikilla koneenosilla, jotta ne pysyisivät halutulla paikalla koneen suuntaiseen keskilinjaan nähden. Monet ympäristötekijät saattavat poikkeuttaa kudosta halutulta linjalta, jolloin se pitää pystyä ohjaamaan takaisin halutulle paikalle. Tällaisia ympäristötekijöitä ovat muun muassa telojen epäsuora linjaus, kudosten muodonmuutokset, katkot ja suuremmat paperimäärät, jotka joutuvat esimerkiksi puristimen nippiin yhtäaikaaisesti. On myös mahdollista, että kudoksia halutaan oskilloida koneen suuntaiseen keskilinjaan nähden esimerkiksi telojen kulumisen estämiseksi. Kudosten ohjauksen periaate on kaikilla koneenosilla samanlainen. Ohjaus tapahtuu telalla, joka on tarkoitettu nimenomaan ohjaamaan kudosta. Ohjaustela on yleensä toisesta päästään kiinteä ja toisesta päästä säädettävissä kuvion 9 mukaisesti. Se reuna kudoksesta, joka kohtaa telan kulkusuunnassa aikaisemmin, pyrkii liikkumaan saman puolen telan päätä kohti.



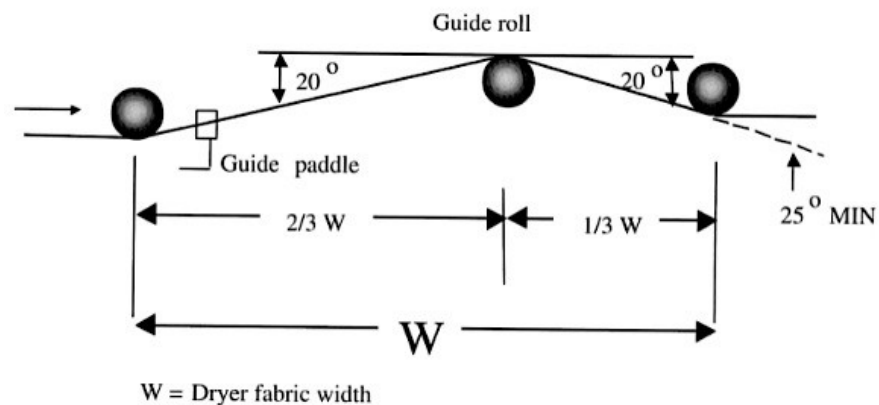
Kuvio 9. Ohjauksen periaate (Paulapuro 2008, 417).

Paulapuron (2008, 417) mukaan Clement (1992) ja Albany Fennofelt Oy esittävät kudoksen ideaalisen ohjausgeometrian kuvion 10 mukaiseksi.

Ohjausgeometriassa on otettava huomioon seuraavat kolme asiaa:

- Ohjaustelan peittokulma
- ohjaustelan paikan suhde tulo- ja jättöpuolen telaan
- tulo- ja jättöpuolen telojen etäisyys toisistaan verrattuna kudoksen leveyteen.

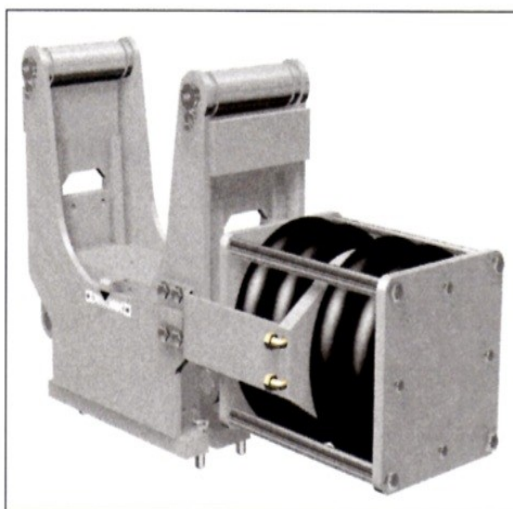
Ohjaustelan peittokulma vaikuttaa yhdessä kudoksen ja telan välisen kitkan avulla kudoksen ohjattavuuteen. Pääperiaatteena voidaan pitää 25-asteen vähimmäispeittokulmaa. Tulopuolen telan etäisyys pitäisi olla $2/3$ ja jättöpuolen telan etäisyys $1/3$ telojen kokonaisetäisyydestä verrattuna ohjaustelaan. Lisäksi tulo- ja jättöpuolen telojen välinen etäisyys pitäisi olla vähintään kudoksen leveyden verran. (Mts. 417.)



Kuvio 10. Kudoksen ideaalinen ohjausgeometria (Paulapuro 2008, 417).

Kudoksen ohjaamiseen oikeasuuntaisesti tarvitaan toimilaitte, joka liikuttaa ohjaustelan päätä (Ks. kuvio 11). Lisäksi tarvitaan **anturi, jolla tunnistetaan kudoksen reuna** sekä ohjausjärjestelmä, joka ohjaa toimilaitetta anturilta saamiensa tietojen perusteella. Aiemmin kudoksen reunan tunnistavat anturit olivat lähinnä mekaanisia, kudoksen reunaan nojaavia läppiä, jotka ohjasivat vipuvarrella ilmaventtiiliä ja sen avulla ohjasivat ohjaustelaa/kudosta haluttuun

suuntaan. Toisessa kosketuksellisessa reunanmittaustavassa käytetään sähkömekaanista lusikka-anturia, joka muistuttaa ulkoisesti edellä mainittua mekaanista anturia. Koska jatkuva kosketus kudoksen reunaan kuluttaa sitä, on kehitelty muita mittaustapoja. Kosketuksettomia mitta-antureita on kehitetty perustuen ultra-ääneen, laser- ja infrapunavaloon sekä näkyvään valoon (konenäkö). (Liimatainen 2003, 19-28.)



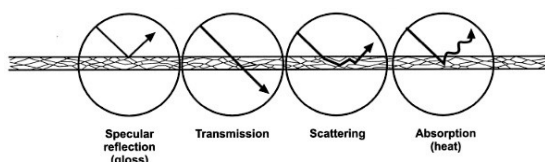
Kuvio 11. Metso Paper Oy:n valmistama paperikoneen määrän-
pään viiran- ja huovanohjain (Liimatainen 2003, 11).

3.2.3 Paperiradan reunan havainnointi ja rata- katkon ilmaiseminen konenäöllä

Konenäöllä voidaan nykyään ilmaista ratakatkot ja mitata paperiradan tai kudoksen reunan paikka sekä määrittää paperiradan leveys. Lisäksi sillä voidaan havainnoida paperin reunaan tehdyt värimerkinnät, joita käytetään viallisissa paperiradan kohdissa, mikä mahdollistaa viallisen paperin ohjaimisen hylkyyn. Aiemmin näiden tehtävien hoitamiseen tarvittiin monia erillisiä antureita ja järjestelmiä, mutta nykyään yksi konenäköjärjestelmä antureineen pystyy hoitamaan kaikki nämä tehtävät. Tämän mahdollistaa erittäin valoherkkä kamerateknologia yhdistettynä hyvin nopeaan signaalinkäsittely-elektroniikkaan ja -ohjelmistoon sekä kehittyneeseen valaistusteknologiaan. (VISIEDGE Sheet measurement system and web break detector 2009.)

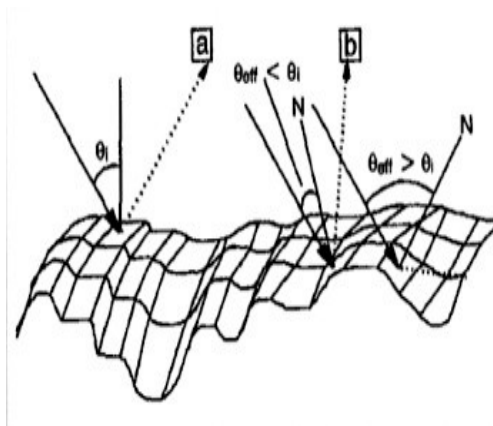
4 PAPERIN OPTISET OMINAISUUDET

Levlinin ja Söderhjelmin (1999, 163) mukaan Crawford (1996) määrittelee valon vuorovaikutuksen paperin kanssa kuvion 12 mukaiseksi. Kyseessä on jo kappaleessa 2.1.2 osittain esiteltyjä asioita kuten peiliheijastus (specular reflection) ja sironta (scattering). Lisäksi kuvio esittää kuinka valo läpäisee paperin (tässä yksinkertaistettuna ilman taittumista) sekä valon absorptioon paperiin, mistä syystä se lämpenee. Peiliheijastuva osuus valosta saa aikaan paperin ominaisuuden, jota kutsutaan kiilloksi. Koska lähinnä hajaheijastuva ja siroava valo saavat aikaan paperin vaaleuden, kirkkauden ja värien suhteen, pyritään edellä mainittujen ominaisuuksien mittauksissa peiliheijastuva osuus valosta eliminoimaan.



Kuvio 12. Valon vuorovaikutus paperin kanssa (Levlin & Söderhjelm 1999, 163).

Niskasen (2008, 134) mukaan Béland ja Mattsson (1997) esittävät paperista heijastuvan valon heijastumisen eri suuntiin riippuen paperin pinnan epätasaisuudesta kuvion 13 mukaisesti. Niskanen esittää myös, että mikäli paperin pinnan korkeuserot ovat pienempiä kuin $1/16$ aallonpituudesta, paperia sanotaan optisesti litteäksi. Tällöin pinnan mikrokarheus aiheuttaa heijastuksen vaimentumista sitä enemmän mitä pienempi kulma valolla on paperiin normaaliin nähden. Hyvin hieno mikrokarheus aiheuttaa suuremman vaimennuksen kuin karkeajakoisempi mikrokarheus. Karkeajakoisemman mikrokarheuden aiheuttama heijastuksen vaimennus pienenee lähelle nollaa noin 40-60 asteen kulmilla.

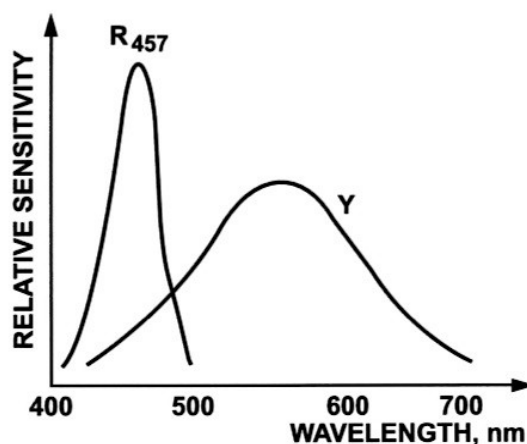


Kuvio 13. Paperin pinnasta tehty viistemalli, missä valo heijastuu eri suuntiin riippuen viisteiden kulmasta (Niskanen 2008, 134).

Paperin heijastusta mitataan yleisesti valolla, jossa on kaikki näkyvän valon aallonpituudet jakautuneena ihmissilmän herkkyyden mukaan. Tällaisen valon maksimi-intensiteetti on aallonpituudella 557 nm. Tällaisella valolla mitattua ominaisheijastusarvoa kutsutaan Y-arvoksi, joka kuvaa värin vaaleutta eli luminanssia.

Sellun valkaisuissa pyritään poistamaan ligniiniä, joka on luonnostaan kellertävää. Jotta jäljelle jäänyt keltaisuus saataisiin paremmin määriteltävä, on kehitetty toinen mittaustapa. Keltainen väri absorboi sinisen valon, mutta heijastaa vihreän ja punaisen. Käyttämällä sinistä valoa saadaan tarkempi mittausta paperin (sellun) vaaleudesta. ISO-vaaleus mitataan käyttämällä sinistä valoa, joka on lähes monogromaattista. Sen aallonpituuden maksimi-intensiteetti on kohdalla 457 nm, mistä syystä ISO-vaaleudesta käytetään myös nimitystä R_{457} . ISO-Standardi 2470:1999 määrittää ominaisheijastusluvun. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 50, 101 ;Levlin & Söderhjelm 1999, 173-174.)

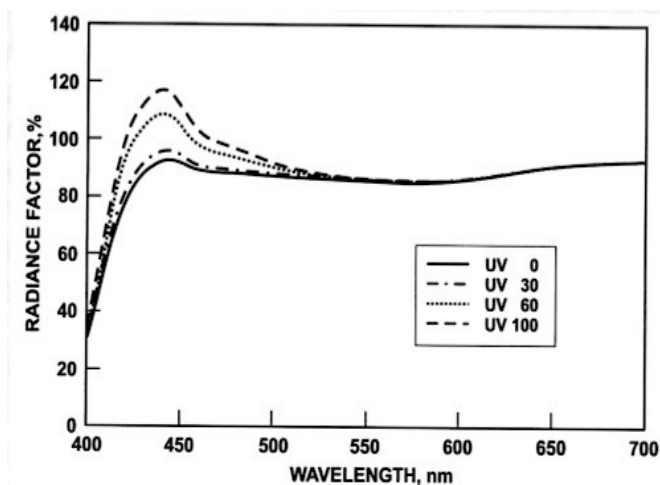
Kuviossa 14 esitellään mittauksen suhteellinen valoherkkyys aallonpituuden funktiona ISO-vaaleuden ja Y-luvun mittaamisessa.



Kuvio 14. Mittauksen suhteellinen valoherkkyys aallonpituuden funktiona ISO-vaaleuden ja Y-luvun mittaamisessa (Levlin & Söderhjelm 1999, 173).

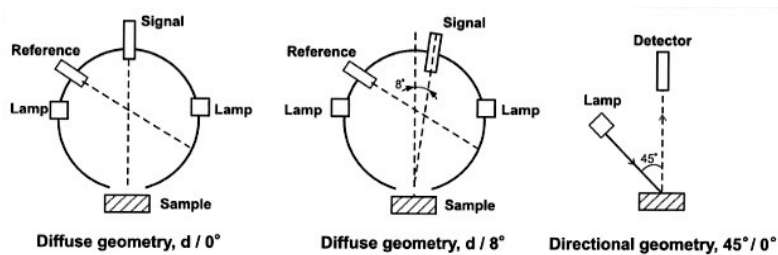
Kun aine absorboi tiettyä/tiettyjä säteilyn aallonpituuksia ja emittoi photoneja jollain toisella aallonpituudella, puhutaan ilmiöstä nimeltä fluoresenssi. Yksi tapa tehdä paperi valkoisemman näköiseksi on lisätä siihen optista kirkastetta, eli fluoresoivaa ainetta. Nämä paperin optiset kirkasteet absorboivat säteilyn aallonpituuksia lähi ultravioletialueella 350-370 nm ja emittoivat säteilyä sinisen valon alueella 430-460 nm. Tällöin paperin näkyvä heijastus lisääntyy, sen vaaleus kasvaa ja paperi tulee neutraalimman ja usein jopa sinisemmän sävyiseksi. Edellä mainittu ilmiö toteutuu valossa, joka sisältää ultraviolettisäteilyä, kuten esimerkiksi päivänvalossa.

Kuviosta 15 ilmenee paperista heijastuneen valon spektri aallonpituuden funktiona kun valaistuksessa on käytetty valoa, jossa on mukana ultraviolettisäteilyä ja paperi sisältää fluoresoivia optisia kirkasteita. Mitä enemmän valaistuksessa on ollut mukana ultraviolettisäteilyä, sen paremmin paperi on heijastanut valoa takaisin sinisen valon alueella, jolloin paperi on näyttänyt vaaleammalta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 53; Levlin & Söderhjelm 1999, 177.)



Kuvio 15. Paperista heijastuneen valon spektri aallonpituuden funktiona kun valaistuksessa on käytetty valoa, jossa on mukana ultraviolettisäteilyä ja paperi sisältää fluoresoivia optisia kirkasteita (Levlin & Söderhjelm 1999, 177).

Levlinin ja Söderhjelmmin (1999, 178-179) mukaan ISO-vaaleus voidaan määrittää kahdella metodilla, nimittäin laskemalla spektrin heijastuskertoimista tai suoralla mittauksella käyttäen valosensoreita ja filttareita. Spektrofotometri on laite, joka käyttää ensin mainittua metodia. Sen antamat heijastuskertoimet edustavat kukin kapean aallonpituusalueen aiheuttamaa heijastusta mitatusta pinnasta. Kuviossa 16 esitellään kaksi hajasäteilyyn ja yksi suunnattuun säteilyyn perustuvaa mittausgeometriaa. Näistä keskimmaisessä vaihtoehdossa vastaanotin näkee heijastuvan valon kahdeksan asteen kulmassa verrattuna pinnan normaaliin. Tämä mittausperiaate on suosittu, koska se mahdollistaa kaksi erilaista mittausta. Toisessa mittaustavassa peiliheijastus on mukana mittausarvoissa (SCI) ja toisessa mittaustavassa peiliheijastuksen vaikutus on poistettu mittausarvoista (SCE). Katso luku 6.2.1.



Kuvio 16. Kaksi hajasäteilyyn ja yksi suunnattuun säteilyyn perustuvaa mittausperiaatetta (Levlin & Söderhjelm 1999, 179).

ISO 12625-7 (2007, 9) standardin mukaan paperin optisia ominaisuuksia määritellään seuraavissa standardeissa:

- ISO 2469
- ISO 2470 (vertaa VTT:llä tehdyt mittaukset, luku 6.2.1)
- ISO 2471
- ISO 5631
- ISO 11475
- ISO 11476.

5 KONENÄKÖ

Näköaisti auttaa ihmisiä ymmärtämään ympäröivää maailmaa. Konenäöllä pyritään monissa tapauksissa jäljittelemään ihmisen näköaistia. Ihmisen näköaisti on kuitenkin hyvin pitkälle kehittynyt ja hienostunut aisti, joka on kehittynyt miljoonien vuosien saatossa eikä konenäkö yllä sen tasolle kuin joissain erityisissä sovelluskohteissa. Tällaisia sovelluskohteita ovat esimerkiksi viivakoodin luku tai esineen mittaaminen konenäön avulla. Näissä ja vastaavissa tehtävissä konenäkö onkin sitten ylivoimainen ihmisen näköaistiin verrattuna.

Konenäköjärjestelmissä kohteeseen lankeava valo johdetaan optiikan kautta valoherkille fotodetektoreille, jotka saavat aikaan valon intensiteetistä kussakin kohteen pisteessä riippuvan varauksen. Tieto valon intensiteetistä kohteen kussakin pisteessä voidaan siten siirtää sensoreilta tietokoneen muistiin. Tätä tietoa voidaan tietokoneessa käsitellä ohjelmallisesti sekä tehdä sen perusteella haluttuja toimintoja.

5.1 Sovelluskohteet

Hornbergin (2006, 694-696) mukaan Bauer (2001) ja Jähne, Massen, Nickolay ja Scharfengenberg (1995) luokittelevat konenäön sille annettujen tehtävien mukaan seuraavasti:

KOODIN TUNNISTUS

Tämä tarkoittaa kohteiden tunnistamista niissä olevien merkintöjen avulla. Tällainen merkintä voi olla vaikkapa viivakoodi, Data matrix -koodi tai jokin erikoismerkintä. Koodin tunnistusta käytetään esimerkiksi materiaalivirta- ja logistiikkasovelluksissa.

KOHTEEN TUNNISTUS

Tässä tapauksessa kohde tunnistetaan perustuen sen muotoon, geometriaan, mittoihin, väriin, rakenteeseen, topologiaan tai pintarakenteeseen. Esimerkiksi asemantunnistus tai valmiustilan tarkastaminen saattavat vaatia kohteen tunnistusta ennen niiden omaa tehtävää.

ASEMAN TUNNISTUS

Esimerkiksi kokoonpanotyötä tekevät robotit tarvitsevat asemantunnistusta, jotta ne pystyvät asentamaan oikean osan oikeaan paikkaan koottavassa kohteessa. Tällöin niiden pitää tietää kohteen asema ja suunta määrätyssä ympäristössä. Asemantunnistus voi tapahtua kaksi- tai kolmiulotteisena.

VALMIUSTILAN TARKISTUS

Valmiustilan tarkistusta tarvitaan esimerkiksi kokoonpanolinjalla tehtävien asennusten tarkistamiseen tietyssä vaiheessa asennusta.

MUOTO- JA MITTATARKISTUS

Muoto- ja mittatarkistus keskittyy kappaleen geometrinen ominaisuuksien tarkasteluun, jotta voidaan todeta niiden olevan toleranssien sisäpuolella ja siten hyväksyttäviä.

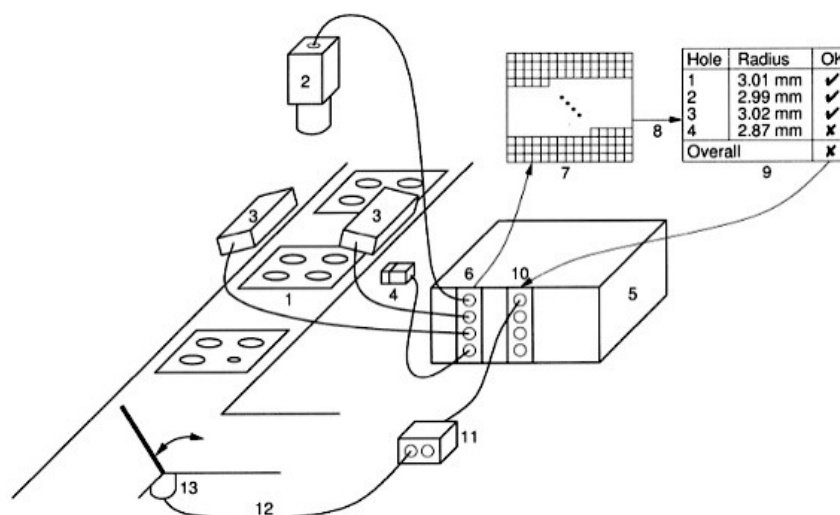
PINNANTARKISTUS

Pinnantarkistuksella voidaan esimerkiksi tarkistaa valmiin tuotteen pinta virheiden kuten naarmujen, lovien ja pullistumien suhteen.

Myöskin Steger ja muut (2008, 1) käyttävät yllä mainittua luokittelua, lukuun ottamatta koodin tunnistusta, joka on Hornbergin (2006, 694) lisäys.

5.2 Konenäköjärjestelmä

Kuviossa 17 on kuvattu tyypillisen konenäköjärjestelmän kokoonpano.



Kuvio 17. Tyypillisen konenäköjärjestelmän komponentit (Steger ym. 2008, 2).

Kokoonpanon komponentit:

1. Tarkasteltava esine
2. kamera jonka avulla saadaan kuva esineestä
3. kuvattavan kohteen valaistus
4. valokenno kuvan ottamisen ja valaistuksen ajoittamiseen
5. tietokone tietojenkäsittelyyn
6. kameran ja tietokoneen välinen rajapinta (kuvankaappauskortti)
7. esineestä saatu kuva tietokoneen muistissa
8. konenäköohjelmisto
9. konenäköohjelmistosta saatu arviointi kohteesta
10. järjestelmän digitaalinen I/O
11. edellisen kautta tietokoneeseen liitetty PLC (logiikka)
12. kenttäväylä
13. edellisen kautta logiikkaan kytketty toimilaite.

Liukuhihna kuljettaa valmistettuja tuotteita eteenpäin konenäköjärjestelmän tunnistettavaksi ja lajiteltavaksi. Kuvankaappauskorttiin on yhdistetty valo-kenno, joka ohjaa valaistuksen ja kuvanoton päälle oikea-aikaisesti.

Kuvankaappauskortin laiteajuri kerää kameralla saadun kuvan tietokoneen muistiin. Konenäköohjelmisto arvioi kohteesta kriittiset ominaisuudet. Ominaisuuksien perusteella tietokone antaa logiikalle tiedon hyväksyttävistä ja hylättävistä esineistä liukuhihnalla. Logiikka ohjaa toimilaitetta siten, että vialliset esineet ohjataan pois tuotantolinjalta. (Steger ym. 2008, 2.)

Kuviosta 17 ilmenee, että konenäköjärjestelmät ovat luonteeltaan monialaisia ja niiden toteuttaminen vaatii asiantuntemusta muun muassa mekaniikan, sähköistyksen, optiikan ja ohjelmoinnin alueelta.

Hornbergin (2006, 41-56) mukaan ainakin seuraavia asioita pitäisi tarkastella ja pohtia konenäköjärjestelmän suunnittelussa:

- Kameratyyppi (viiva- tai matriisikamera)
- näkökenttä
- resoluutio
- kamera, kuvankaappauskortti ja tietojenkäsittelylaite -yhdistelmä
- optiikka
- valaistus
- mekaniikka
- sähköistys
- ohjelmisto.

5.2.1 Valaistus

Valaistus on konenäköjärjestelmän perusta koska valaistus saa aikaan sen heijastuksen, johon kameran kuvasensori reagoi. Mikäli valonlähde ja/tai valaistusjärjestely on huonosti valittu voi hyväksyttävän kuvan saaminen kohteesta olla mahdotonta tai sen aikaansaamiseksi on tehtävä tarpeettoman paljon työtä. Toisaalta oikein valittu valaistus voi tehdä kuvan ottamisesta helppoa ja kuvaolosuhteista stabiileja ja häiriöttömiä. (Azad, Gockel & Dillmann 2008, 14.) Valaistuksesta löytyy lisää tietoa kappaleesta 5.3.

5.2.2 Optiikka

Optiikan tehtävänä on konenäön kyseessä ollessa muun muassa kohdistaa kohteesta heijastuvasta valo kuvasensorille. Määtän (2001, 5) mukaan optiksi komponenteiksi voidaan laskea linssit, peilit, prismat, suodattimet, pinnoitteet, himmentimet ja aukot, joista tärkeimmäksi komponentiksi hän nostaa kameraan kiinnitettävän optiikan. Hornbergin (2006, 48-50) mukaan ennen optiikan valintaa pitää olla tiedossa konenäköjärjestelmän vaatima näkökenttä ja kameran resoluutio. Optiikan suunnittelussa tulisi ottaa huomioon ainakin seuraavat seikat:

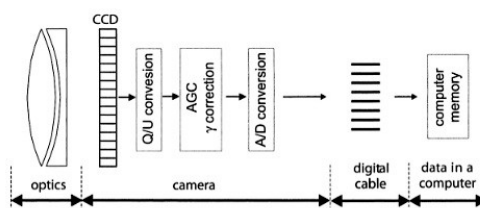
- Kuvausetäisyys, jonka perusteella voi laskea linssin polttovälin
- linssin kiinnityslaipan tyyppi
- linssin halkaisija ja valosensorin koko
- sensorin resoluutio verrattuna linssin laatuun.

5.2.3 Kamera

Kameran tehtävänä on muodostaa kohteesta heijastuneesta valosta kuvio ja aikaansaada sen perusteella analoginen tai digitaalinen videosignaali. Kameran tärkein osa on fotodetektor (photodetector). Fotodetektorin toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa fotodetektorille tulevan valonsäteen energia (fotoni) saa anturin puolijohdemateriaalin atomin elektronin siirtymään valenssikaistalta johtavuuskaistalle aiheuttaen sähkövirran. Tämä sähkövirta on suoraan verrannollinen fotodetektorille tulevan valoenergian määrään. (Azad ym. 2008, 40; Sonka, Hlavac & Boyle 2008, 41; Steger ym. 2008, 35.)

Sonkan ja muiden (2008, 43) mukaan yksivärikamera koostuu optiikasta, kuvasensorista ja elektroniikasta, jonka avulla kuvatietoa voidaan käsitellä ja siirtää jatkokäsittelyä varten. Kameran jaetaan analogisiin ja digitaalisiin sen mukaan minkälaista signaalia ne antavat ulospäin. Analogiset kamerat ovat perinteisesti antaneet ulospäin signaalin, joka on yhteensopiva TV-tekniikan kanssa. Tällä tekniikalla kuvan rivit saattavat lomittua toisiinsa nähden, mikä ei kuitenkaan normaalissa TV-kuvassa häiritse. Mittaavissa konenäkösovelluksissa edellä mainittua ominaisuutta ei voi hyväksyä, mistä syystä on kehitetty tekniikka, jolla rivit eivät lomitse keskenään. Konenäkösovelluksissa, joissa mitataan kohteen fyysisiä mittoja, on kuitenkin parempi käyttää digitaalista kameraa. Mikäli analoginen kamera halutaan liittää tietokoneeseen, pitää käyttää kuvankaappauskorttia.

Kuviossa 18 esitellään tyypillisen digitaalisen CCD-kameran pääkomponentit. Ensimmäisenä vasemmalta lukien ovat optiikka ja kuvasensori. Q/U-muuntimessa fotonien energia muunnetaan jännitteeksi. Automaattinen vahvistuksen säätö (Automatic Gain Control) säätää kamerasiirron vahvistusta kuvan valoisuuden mukaan siten, että huonosti valaistut alueet tulisivat mahdollisimman hyvin näkyviin eivätkä kirkkaat alueet satureituisi. Tämä säätö on monesti kompromissi näiden kahden vaatimuksen välillä. Y-korjaus muuttaa tarvittaessa kamerasiirron intensiteettiskaalan lineaarisesta epälineaariseksi. Tämä on tarpeen mikäli kamera liitetään perinteiseen kuvaputkitelevisioon. Muissa tapauksissa Y-korjaus otetaan pois toiminnasta. Digitaalisessa kamerassa muunnos analogiasignaalista digitaaliseksi signaaliksi tehdään itse kamerassa, minkä jälkeen signaali voidaan siirtää tietokoneelle jatkokäsittelyä varten. Siirto tapahtuu rinnakkais- tai sarjamoituisena. Sarjamoituisia siirto-
muotoja ovat esimerkiksi IEEE 1394 -standardin mukaiset FireWire ja USB. (Sonka ym. 2008, 44.)



Kuvio 18. Digitaalisen CCD-kameran pääkomponentit (Sonka ym. 2008, 44).

Tyypillisen CCD-kameran pääkomponentit ovat:

- Optiikka
- CCD-kvasensori
- fotonien energia/jännite -muunnin
- automaattinen vahvistuksen säätö ja γ -arvomunnin
- A/D-muunnin
- sarjamuotoinen tai rinnakkaismuotoinen yhteys tietokoneeseen
- tietokone muisteineen. (Sonka ym. 2008, 44.)

KUVASENSORITYYPIT

Kaksi yleisintä kuvasensorityyppiä käyttävät hyväkseen edellä mainittua valosähköistä ilmiötä. Nämä kuvasensorityypit ovat CCD (charge-coupled device) ja CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor). Stegerin ja muiden (2008, 35) mukaan Gamal ja Eltoukhy (2005) esittävät näiden kuvasensorityyppien poikkeavan toisistaan etupäässä sen suhteen kuinka tieto luetaan niistä ulos. Molemmissa kuvasensorityypeissä on omat hyvät ja huonot puolensa eikä toisen voida sanoa olevan toista parempi, eli kuvasensorityypin valinta täytyy tehdä tapauskohtaisesti. Ojanperän (2010) mukaan CMOS-kuvasensorit ovat nykyään yleisempiä jopa yli yhdeksänkymmenen prosentin markkinaosuudella. Niiden markkinaosuuden arvioidaan jatkossa vielä kasvavan.

CCD-KUVASENSORITYYPPI

CCD-kuvaseensorissa valosähköisen ilmiön seurauksena aikaansaadut varaukset varastoituvat kuvaseensorin osasiin (fotodetektoreihin) muodostaen kuvan yksittäiset rakenne-elementit, pikselit. Varausten välittäminen eteenpäin fotodetektorien välillä tapahtuu niin sanotulla ämpäriketju-periaatteella (bucket-brigade principle). Voidaan ajatella, että varaukset siirretään eteenpäin kuten ämpärit ketjussa. Ensin on annettava oma ämpäri eteenpäin, ennen kuin voi ottaa seuraavan ämpäriin vastaan. Tämä saadaan aikaan käyttämällä hyväksi erilaisia porttipiirejä, jolloin varaukset saadaan siirrettyä sarjassa kuvaseensorin ulostuloon, missä ne muutetaan jännitteeksi tai virraksi. (Azad ym. 2008, 40; Hornberg 2006, 364; Steger ym. 2008, 36.)

Yksinkertaisimmillaan fotodetektorit laitetaan peräkkäin, jolloin ne muodostavat viivakameralle soveltuvan kuvaseensorin (line sensor). Viivakamera muodostaa kuvan, jonka korkeus on yksi pikseli, eli se muodostaa 1D-kuvan. Viivakameroihin soveltuvien kuvaseensoreiden resoluutio vaihtelee välillä 512 – 12888 pikseliä. Viivakameroita voidaan käyttää liikkuvan kohteen kuvaamiseen, jolloin kuvanottotaajuus on tahdistettava oikein kohteen nopeuden suhteen. Viivakamera asennetaan poikittain kohteen liikkumissuuntaan nähden. Viivakamerasovellukset ovat luonteeltaan erityisiä, eikä niiden käyttö ole kovin yleistä. (Hornberg 2006, 364; Steger ym. 2008, 36-45.)

Kun fotodetektorit asetetaan matriisiin kaltaiseen muodostelmaan, saadaan aikaiseksi 2D-kuvaseensori (area sensor), joka siis aikaansaa kuvan kaksiulotteisesta alueesta. 2D-kuvaseensoreita on monia eri tyyppisiä, jotka poikkeavat toisistaan lähinnä siinä kuinka kuvaseensorin rivit skannataan sekä kuinka varauksia käsitellään ja siirretään kuvaseensorin ulostuloon. (Hornberg 2006, 364; Steger ym. 2008, 36-37.) Alla on käyty lyhyesti läpi yleisimmät CCD-kuvaseensorityypit.

Koko kuvan periaate (Full frame principle)

Nimensä mukaisesti tässä tapauksessa kaikki kuvaseensorin pikselit luetaan riveittäin välirekisteriin, josta ne luetaan ulos sarjamuotoisena varauksenmuuntimen ja vahvistimen kautta. Tämä periaate sopii lähinnä tieteellisiin sovelluksiin. Tämän periaatteen mukaisella kuvaseensorilla on suuri täyttöaste

ja korkein mahdollinen herkkyys. Haittana voidaan pitää sitä, että tämän periaatteen mukainen kuvasensori sotkee erittäin helposti kuvan kun dataa luetaan ulos kuvasensorista, jollei käytetä mekaanista suljinta ja/tai salamavaloa. Sotkeminen johtuu siitä, että ylimmät pikselit joutuvat kulkemaan niiden alla olevien pikseleiden kautta välirekisteriin, mistä ne luetaan ulos. Ylempien pikseleiden sisältämä varaus muuttuu niiden kulkiessa välirekisteriin, koska ne valottuvat koko matkan ajan. Elektroninen suljin ja elektroninen asynkroninen suljin eivät ole mahdollisia tällaisella piirillä. (Hornberg 2006, 364-365; Steger ym. 2008, 36-37.)

Kuvan siirto periaate (Frame transfer principle)

Tämän periaatteen mukaisessa kuvasensorissa on kaksinkertainen alue fotodetektoreita. Alueen toinen puolikas on peitetty metallisella valon estävällä päällysteellä. Tällaisella järjestelyllä saadaan kuvan sotkeutumista huomattavasti vähennettyä, koska kuvasensorille muodostunut kuva saadaan siirrettyä nopeasti muistielementtiin ja vasta sieltä kuva luetaan ulos riveittäin välirekisteriin ja edelleen ulos piiristä. Kuvan siirto muistielementtiin on nopeampaa kuin kuvan lukeminen ulos piiristä. Etuina tällä periaatteella on suuri täyttöaste ja korkein mahdollinen herkkyys. Periaate soveltuu tieteellisiin sovelluksiin. Haittoina ovat sotkemistaipumus ja piirin fyysinen koko. Elektroninen suljin ja elektroninen asynkroninen suljin eivät ole mahdollisia tällaisella piirillä. (Hornberg 2006, 365-366; Steger ym. 2008, 37-38.)

Interline-periaate (Interline principle)

Azadin ja muiden (2008) mukaan yleisin CCD-kuvasensoryyppi on interline-periaatteeseen perustuva kuvasensori. Tässä kuvasensoryyppissä jokaisella pikselillä on vieressään ylimääräinen muistipaikka, johon kyseessä olevan pikselin sisältämä varaus nopeasti siirretään. Varaukset luetaan sitten riveittäin ulos muistipaikoista välirekisteriin ja edelleen ulos piiristä. Koska varausten luku muistipaikkoihin tapahtuu erittäin nopeasti, eikä varausten muuttumista enää normaalisti tapahdu, ei myöskään kuvan sotkeutumista pääse tapahtumaan. Etuina tämän periaatteen mukaisella kuvasensorilla on seuraavat ominaisuudet: Elektroninen asynkroninen suljin on mahdollinen, voidaan käyttää myös liikkuvan kohteen kuvaamiseen, ei tarvitse salamaa eikä mekaanista suljinta. Haittoina ovat huonompi täyttöaste ja huonompi

herkkyys (erityisesti infrapunavalo). Herkkyyttä näkyvälle valolle voidaan parantaa mikrolinsseillä, jotka ohjaavat valon suoraan fotodetektoreille. Interline-periaatteen mukaiset kuvaelementit jakautuvat kahteen luokkaan riippuen siitä, kuinka pikselirivit luetaan. Ensimmäinen luokka on lomitettu skannaus ulosluku (Interlaced scan readout) ja toinen luokka on progressiivinen skannaus ulosluku (Progressive scan readout). (Hornberg 2006, 366-367; Steger ym. 2008, 38-39.)

CMOS-KUVASENSORITYYPPI

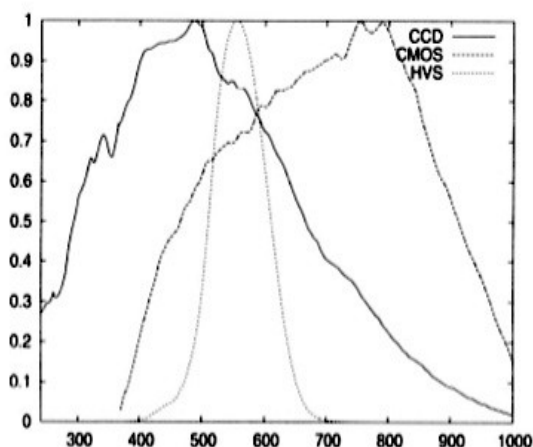
CMOS-kuvase nsorit perustuvat samaan valosähköiseen ilmiöön kuin CCD-kuvase nsoritkin. Kun CCD-kuvase nsorissa on vain itse valosähköiset komponentit, on CMOS-kuvase nsoriin integroitu varaus/jännite -muunnokseen tarvittavat komponentit pikselikohtaisesti, mistä syystä pikseleitä voidaan CMOS-kuvase nsorissa osoittaa yksittäin. CMOS-kuvase nsorit tarvitsevat huomattavasti vähemmän ulkoisia piirejä kuin CCD-kuvase nsorit, koska kaikki tarvittavat toiminnot voidaan integroida itse CMOS-kuvase nsoriin. CMOS-kuvase nsorista pikselit voidaan lukea vapaassa järjestyksessä piiristä ulos. Tämä mahdollistaa sen, että CMOS-kuvase nsorista voidaan lukea ulos vain esimerkiksi tietty ikkuna, eli kiinnostava alue (region of interest, ROI). Tätä menetelmää käyttämällä tiedon ulos lukua voidaan vastaavasti kiihdyttää. Jos CMOS-kuvase nsorissa käytetään multipleksattuja ulostulokanavia, voidaan sillä saavuttaa erittäin korkea 2 Gigapikseliä/s pikselimäärä yli tuhannen kuvan kuvanottonopeudella sekunnissa. CMOS-Kuvase nsoriin voidaan integroida esimerkiksi A/D-muuntimet jopa pikselikohtaisesti, joten piiristä saadaan kuvati eto ulos digitaalisessa muodossa. Koska CMOS-kuvase nsorissa on paljon muitakin komponentteja kuin kuvadataa kerääviä fotodetektoreita, jää CMOS-kuvase nsorin täyteaste alhaiseksi. Tästä syystä niissä käytetään mikrolinssejä kuten CCD-kuvase nsoreissakin (Interline principle) parantamaan herkkyyttä. CMOS-kuvase nsoreissa käytetään kahta erilaista suljintekniikkaa, nimittäin jatkuvan sulkimen (rolling shutter) ja globaalin sulkimen (global shutter) tekniikkaa. Jatkuvan sulkimen tekniikassa CMOS-kuvase nsorissa on kolme transistoria pikseliä kohden. Tällä tekniikalla CMOS-kuvase nsorin kukin rivi luetaan toinen toisensa jälkeen, mistä syystä rivien valotusajat ovat yhtä pitkiä mutta ne ovat limittyneet keskenään. Mikäli kohde liikkuu, tulee kuvasta vääristynyt. Globaalin sulkimen tapauksessa CMOS-kuvase nsoriin on lisätty

vielä yksi transistori pikseliä kohden, mikä mahdollistaa kunkin pikselin nollaimisen, mutta edelleen huonontaa täyteastetta. Tätä tekniikka käyttäen kuvan valotusajan alkaminen ja loppuminen voidaan ohjata pikselikohtaisesti tapahtumaan samanaikaisesti ja tuloksena on onnistunut kuva liikkuvastakin kohteesta. CMOS-kuvasensori voidaan rakentaa siten, että kunkin pikselin vaste valoenergialle on logaritminen lineaarisen sijaan. Tätä voidaan käyttää hyväksi sovelluksissa, joissa valon intensiteetin erot ovat huomattavia. (Azad ym. 2008, 43-44; Hornberg 2006, 373-379; Steger ym. 2008, 40-42.)

KUVASENSOREIDEN KOKO

2D-kuvasensoreja valmistetaan resoluutioissa 640x480 – 4008x2672 ja sitäkin suurempia resoluutioita on olemassa. Kuvasensoreiden fyysinen koko ilmaistaan yleensä tuumina. Yleisimmät koot ovat seuraavat: 1, 2/3, 1/2, 1/3, 1/4 (tuumaa). Itse kuvasensorin leveys on noin puolet kuvasensorin kokomerkinästä, mikä johtuu historiallisista syistä. Kamerassa käytettävän optiikan pitää olla suunniteltu siinä käytettävälle kuvasensorin koolle tai sitä suuremmalle kuvasensorille, jotta kuvanmuodostus voisi onnistua. (Steger ym. 2008, 45.)

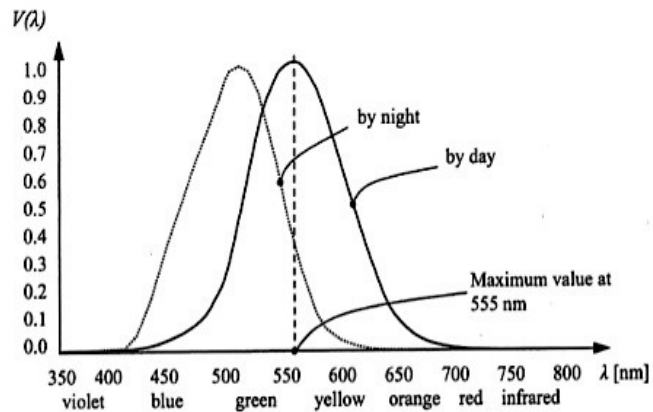
Kuviossa 19 esitetään tyypillisten CCD- ja CMOS-kuvasensorien herkkyys eri aallonpituuksilla verrattuna ihmissilmän vastaavaan päivänvalossa. Herkkyden yksikkö on skaalattu siten, että maksimi on yksi. (Steger ym. 2008, 42-43.)



Kuvio 19. CCD- ja CMOS-kuvasensorien herkkyys valon eri aallonpituuksilla verrattuna ihmissilmän vastaavaan päivänvalossa (Steger ym. 2008, 43).

Kuvion 19 käyrästä on merkille pantavaa se, että kuvasensorien aktiivinen aallonpituusalue on huomattavasti laajempi kuin ihmissilmän vastaava. Tämä mahdollistaa esimerkiksi infrapunavalon hyödyntämisen infrapuna(pulssi)valoa ja infrapunapäästöfilteriä käyttämällä. Vaikka kuvasensorit ovat herkkiä myös ultravioletivalolle, ei tätä ominaisuutta yleensä päästä hyödyntämään. Kameran linssit tai suodattimet ovat usein lasia, mikä estää ultravioletivalon pääsyn kuvasensorille saakka. (Steger ym. 2008, 42-43).

Azadin ja muiden (2008, 14) mukaan vain hyvin pieni alue sähkömagneettisesta säteilystä on relevanttia kun ajatellaan konenäköä. Toisaalta ihmissilmän havaitsema aallonpituusalue (380-780 nm) ja toisaalta tällä hetkellä markkinoilla olevien kuvasensoreiden aallonpituusalue (noin 350-1000nm) on relevanttia. Kuvio 20 esittää ihmissilmän herkkyden valon eri aallonpituuksille, sekä herkkyden muutoksen valaistuksen muuttuessa.

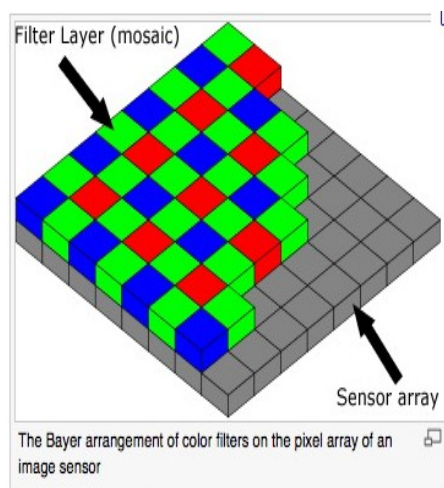


Kuvio 20. Ihmissilmän herkkyys eri aallonpituuksilla päivänvalossa ja hämärässä (Azad ym. 2008, 15.)

Koska kuvasensorit ovat herkkiä kaikille näkyvän valon aallonpituuksille, ei niillä sellaisenaan saada aikaiseksi värikuvaa. Normaaleja CCD- tai CMOS-kuvasensoreita käyttävästä kamerasta saadaan värikamera kolmella eri tapaa:

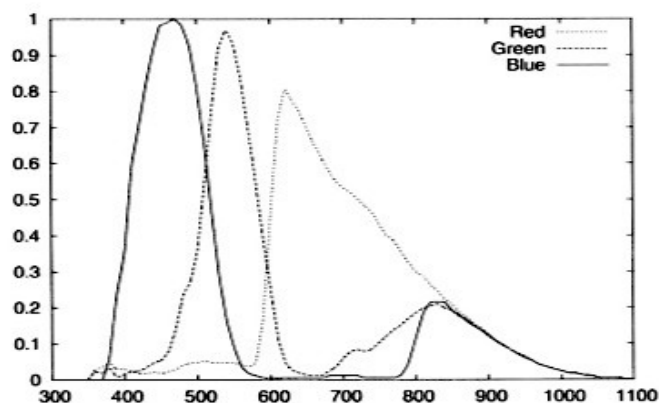
- Kuvasta otetaan kolme eri kuvaa kolmella eri suodattimella. Tätä tapaa käytetään vain harvoin ja lähinnä laboratorio-olosuhteissa menetelmän epäkäytännöllisyyden takia. Menetelmällä ei voi kuvata liikkuvaa kohdetta lainkaan
- kameraan tuleva valo jaetaan prisman kaltaisella laitteella eri värisiin valokanaviin, jotka johdetaan erillisille kuvasensoreille
- kuvasensorin eteen laitetaan suodatinryhmä, jolla eri värit erotellaan eri fotodetektoreille. (Sonka ym. 2008, 45.)

Kuviossa 21 esitellään yleisimmin käytössä oleva suodatinryhmä tyypiltään ”Bayer”.



Kuvio 21. Bayer-tyyppinen suodatinryhmä kuvasensorin päällä (Practical photography tips 2010).

Suodatinryhmä koostuu väreistä punainen, vihreä ja sininen siten, että vihreää väriä on saman verran kuin punaista ja sinistä väriä yhteensä. Tämä johtuu siitä, että ihmissilmä on herkin juuri vihreän värin aallonpituudella ja kameran suodatinryhmällä yritetään karkeasti matkia ihmissilmän herkkyyssäyrästä. (Sonka ym. 2008, 45; Steger ym. 2008, 43). Kuviossa 22 esitetään tyypillisen CCD-kuvasensorin herkkyys eri aallonpituuksilla väreillä punainen, vihreä ja sininen.



Kuvio 22. Tyypillisen CCD-kuvasensorin herkkyys eri aallonpituuksilla väreillä punainen, vihreä ja sininen (Steger ym. 2008, 44).

Kuvion 22 käyrästä on merkillä pantavaa herkkyys lähi-infrapuna-alueella. Herkkyyden yksikkö on skaalattu siten, että maksimi on yksi. (Steger ym. 2008, 44.)

5.2.4 Kuvankaappauskortti

Kamera välittää kuvatiedot tietokoneelle rajapinnan kautta, joka voi olla vaikkapa kuvankaappauskortti. Kuvankaappauskortti on tietokoneen lisälaite (kortti), jossa on tarvittavat liitännät esimerkiksi kameraa varten sekä prosessorit, joilla hoidetaan datan käsittely ja tarvittavat ohjaukset.

Kuvankaappauskortti muodostaa kuvatiedoista uudelleen matriisin joka sisältää harmaasävy- tai väritiedot pikselikohtaisesti. Kuvankaappauskortti saa kameran antamat tiedot joko analogisessa tai digitaalisessa muodossa. Jos kameran antamat tiedot ovat analogisessa muodossa, tarvitaan tietokoneeseen kuvankaappauskortti, jotta kamera voidaan liittää siihen. Mikäli kameran antamat tiedot ovat digitaalisessa muodossa, on liityntätapoja useampia. Tällöin kameran liittämiseen voidaan käyttää kuvankaappauskorttia tai esimerkiksi IEEE 1394 tai Gigabit Ethernet -liityntää. (Steger ym. 2008, 49-58.) Hornbergin (2006, 46) mukaan kameran valinta vaikuttaa kuvankaappauskortin valintaan ja päinvastoin. Lisäksi pitää ottaa huomioon ainakin seuraavat seikat:

- Yhteensopivuus pikselimäärän kanssa
- yhteensopivuus ohjelmakirjaston kanssa
- liitettävien kameroiden määrä
- mahdollisuudet ohjata kameraa kortilta
- kameran ajoittaminen ja liipaisu
- kortin prosessointikyky
- kortin muu I/O
- hinta ja saatavuus

5.2.5 Ohjelmisto

Kaikki edellä mainitut konenäköjärjestelmän osa-alueet ovat sinänsä tärkeitä ja välttämättömiä. Kuitenkin juuri tietokoneessa tapahtuva ohjelmallinen tietojenkäsittely on konenäön ydin. (Steger ym. 2008, 65.) Hornbergin (2006, 54) mukaan useimmissa tapauksissa käytetään ohjelmakirjastoa, eli kaikkia ohjelmallisia toimintoja ei ohjelmoida itse vaan käytetään valmiita algoritmeja. Valittavan ohjelmakirjaston pitää luonnollisesti olla yhteensopiva laitteiston ja käyttöjärjestelmän kanssa. On olemassa konfiguroitavia ohjelmistopaketteja, joiden avulla voidaan luoda konenäköohjelmisto. Näissä paketeissa on yleensä myös laitteisto mukana. Joihinkin tarkoituksiin tarvitaan kuitenkin avoimempia ohjelmointiympäristöjä, joiden käyttöönotto on usein monimutkaisempaa. Avoimempi ohjelmointiympäristö tarjoaa kuitenkin vapaammin ohjelmoitavat algoritmit ja tiedon käsittelyn. Korkeimman tason ohjelmoinnissa käytetään hyväksi sovellusohjelmointirajapintaa (API), joka mahdollistaa suurimman joustavuuden ohjelmoinnissa.

5.3 Valaistus konenäössä

Valaistus on yksi konenäköjärjestelmän tärkeimmistä osa-alueista. Jos valaistus on toteutettu väärin tai huonosti ei muilla järjestelmän komponenteilla pystytä asiaa välttämättä korjaamaan tai se vaatii kohtuuttomasti ponnistuksia eivätkä tulokset silti ole varmoja. Valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen kannattaa siis uhrata aikaa ja vaivaa, jotta lähtökohta järjestelmän toimimiselle olisi parhain mahdollinen. Hornbergin (2006, 50) mukaan paras valaistusjärjestely on usein teoriaan perustuvien kokeilujen tulos. Valaistuksen tarkoituksena on tuoda kohteesta esiin ne asiat, jotka siinä ovat kiinnostavia ja toisaalta estää ei toivottujen ominaisuuksien näkyminen. Edellä mainittuihin seikkoihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi seuraavilla tekijöillä:

- Valaistuksen suuntaus hajavalona tai kohdistettuna valona
- valon ja valaistavan kohteen spektrin koostumus. Monogromaattisen valon, ultraviolettivalon, infrapunavalon tai optisten suodattimien käyttäminen

- valon polarisaatio. Polarisoitu valo suurentaa peiliheijastuksen ja hajaheijastuksen välistä kontrastia. (Hornberg 2006, 51; Steger ym. 2008, 5.)

Kaikki tieto, jota konenäköjärjestelmässä prosessoidaan, perustuu valon avulla saatuihin alkutietoihin. Kuvassa näkyvä kontrasti, vaaleus, tummuus, varjot, pinnanmuodot, reaktiot, juovat ja muut elementit ovat kaikki valon aikaansaamia. Kaksi kolmasosaa toimivan konenäköjärjestelmän yksityiskohdista liittyy valoon. (Hornberg 2006. 76.)

NÄKYVÄ VALO – MONOGROMAATTINEN VALO

Värillisinä näkyvät kohteet absorboivat tiettyjä valon aallonpituuksia ja heijastavat toisia. Esimerkiksi sininen kohde heijastaa valkoisesta valosta sinisen valon osuuden ja absorboi muut aallonpituudet. Tästä johtuen sininen kohde saadaan kirkkaimmin näkyviin kun sitä valaistaan sinisellä valolla ja punainen kohde kun sitä valaistaan punaisella valolla ja niin edelleen. Kohteen heijastamaa valoa voidaan vastaavasti vähentää jos kohde valaistaan sen niin sanotulla vastavärillä. Esimerkiksi sininen kohde näkyy tummana punaisessa valossa. Yksivärikameroissa valon värin vaikutus on yllä mainitun kaltainen. Värikameroissa asiaan vaikuttaa lisäksi kuvasensorin spektriset ominaisuudet, mistä syystä eri värisen valon vaikutus pitää aina testata. (Hornberg 2006, 116; Steger ym. 2008 10.)

NÄKYVÄ VALO – VALKOINEN VALO

Valkoinen valo sisältää näkyvän valon kaikkia aallonpituuksia. Valkoista valoa käytetään yksivärikuvauksessa värillisten kohteiden tutkimiseen tai monivärikuvauksessa. Yksivärikuvauksessa valkoinen valo saa aikaan vaatimattoman kontrastin eri väristen kohteiden välille. Monivärikuvauksessa valkoinen valo mahdollistaa eri värien realistisen havainnoinnin. (Hornberg 2006, 118-119.)

INFRAPUNAVALO

Kuvasensorit ovat perinteisesti herkkiä infrapunavalolle alueella 780-1000nm, mistä syystä sitä voidaan käyttää hyväksi joissain sovelluksissa. Infrapuna-valoa voidaan esimerkiksi käyttää hyväksi ympäristössä, jossa on paljon häiritsevää näkyvää valoa. Näkyvä valo voidaan suodattaa pois ja käyttää

infrapunavaloa sen sijaan. Infrapunavaloa voidaan käyttää myös salaman tavoin sovelluksissa, jotka vaativat suurta nopeutta. Koska infrapunavalo ei näy ihmissilmällä, ei välkkyvä salamakaan häiritse sen ympäristössä työskenteleviä ihmisiä. Jotkin yksityiskohdat kohteissa näkyvät vain infrapunavalolla. Infrapunavalon vaikutusta kussakin sovelluksessa on hyvin vaikea ennustaa, mistä syystä sen vaikutus pitää testata. Mikäli infrapunavaloa halutaan hyödyntää, on ensin varmistuttava, että optiikan kaikki komponentit ovat sellaisia, että ne päästävät infrapunavalon fotodetektoreille saakka. Kamerassa voi olla sisäänrakennettu suodatin, joka estää infrapunavalon pääsyn fotodetektoreille tai kuvasensori voi olla päällystetty infrapunavalon estävällä materiaalilla. (Hornberg 2006, 119-120.)

ULTRAVIOLETTIVALO

Mikäli konenäössä halutaan käyttää ultravioletivaloa, pitää käyttää erikoisvalmistettua kuvasensoria, joka on herkkä ultravioletivalolle. Kuvasensorin fotodetektorit on päällystetty fluoresoivalla aineella, mikä muuttaa fotodetektorille tulevan ultravioletivalon näkyvän valon alueelle. Esimerkiksi Lumogen-niminen päällyste muuttaa aallonpituudet 190-380nm näkyväksi valoksi. Tällaisen kuvasensorin kanssa voi olla tarkoituksenmukaista käyttää päivänvalon estävää suodatinta, jotta ultravioletivalon vaikutus saataisiin oikeasti esiin. Fotodetektorit eivät pysty erottamaan ultravioletivalosta muunnettua valoa ja vastaavaa aallonpituutta päivänvalosta. Ultravioletivalon vaikutus pitää testata vastaavasti kuten infrapunavalonkin. Ultravioletivalolle herkät kuvasensorit ovat nopeita ikääntymään ja kalliita. Ultravioletivalon yhteydessä on myös varmistuttava optiikan kaikkien komponenttien soveltuvuudesta kyseiseen käyttöön. (Hornberg 2006, 121-122.)

POLARISOITU VALO

Konenäkösovelluksissa käytetään yleisesti kahta eri järjestelyä liittyen valon polarisointiin:

- Valonlähteen ja kameran edessä käytetään polarisaatiosuodattimia, joiden avulla käytetään hyväksi kohteen polarisoivia ominaisuuksia

- kameran edessä käytetään polarisaatiosuodatinta. Kohdetta valaistaan polarisoimattomalla valolla joka polarisoituu ainakin osittain heijastuessaan kohteesta.

Polarisaatiolla saadaan poistettu esimerkiksi läpinäkyvien kohteiden pintaheijastuksia ja korostettua peili- ja hajaheijastuksen välistä eroa. Infrapunavaloa ei pysty polarisoimaan. (Hornberg 2006, 122-123.)

5.3.1 Valaistusmenetelmän valinta

Valaistusmenetelmän valinta on monitahoinen asia, johon vaikuttaa monta tekijää. Määttä (2001, 13) mukaan Saarinen (1999) määrittää konenäön kannalta tärkeimmiksi kuvattavan kohteen ominaisuuksiksi sen värin, pinnan- karheuden ja muodon. Kuvattavaa kappaletta pitää tarkastella eri valaistuksessa ja selvittää millä valaistusmenetelmällä halutut piirteet saadaan parhaiten esille. Eri valaistusmenetelmiä rajoittaa muun muassa kohteen peilimäinen, kaareva tai epäsäännöllinen pinta, läpinäkyvyys, monivärisyys sekä epämääräiset reunat ja rajapinnat. Yleensä valaistus on sitä parempi mitä kirkkaampi se on. Valon määrä ei kuitenkaan ole aina vapaasti valittavissa, vaan valaistusmenetelmää valittaessa pitää ottaa huomioon kameran herkkyys, kohteen lämmönsieto-ominaisuudet ja ihmisten mahdollinen läsnäolo alueella. Suurteholasereita, suuritehoista pulssitettua- tai ultraviolettivaloa ei voi käyttää ihmisten läsnä ollessa. Liikkuvaa kappaletta kuvataan pulssitetulla valolla tai kameran integrointi-aikaan pienentämällä. Tarvittava valon intensiteetin määrä, valon tasaisuus, mahdolliset varjot, valon polarisaatio ja valon spektrivaati- mukset asettavat valaistusmenetelmän valintaan omat kriteerinsä. (Määttä 2001, 13-14.)

Hornbergin (2006, 78) mukaan teolliseen käyttöön tarkoitetuissa valaistusjär- jestelmässä on tyypillisesti seuraavia komponentteja:

- Valonlähde
- mekaaninen säätölaitteisto
- optiset elementit valon ohjaamiseen

- stabilisointi-, ohjaus- ja rajapintaelektroniikka
- tarvittaessa sisäinen ohjelmisto
- tukeva asennuskotelo
- kestävä kaapelointi.

Valaistukseen valitun valonlähteen spektrijakauman ja kirkkauden pitää olla määrätty ja pysyvä, eli se ei saa ikääntyessään muuttua. Lämpötilan muutosten vaikutus valonlähteeseen pitäisi olla mahdollisimman pieni. Ominaisuudet samanlaisten valonlähteiden kesken pitäisi olla samat, eli yksilöeroja ei saisi esiintyä. Valonlähteen kirkkausjakauma pitäisi olla tasainen ja toistettavissa. (Hornberg 2006, 79.)

Valaistusmenetelmää valittaessa valon suuntausominaisuudet on otettava huomioon. Valo voi olla hajaheijastavaa tai suunnattua. Hajaheijastavalla valolla pyritään siihen, että valo tulee kohteeseen tasaisesti joka suunnasta. Kohdistetussa valossa valo tulee kohteeseen hyvin kapeasta kulmasta. Telesentrisessä valaistuksessa valonsäteet tulevat kohteeseen yhdensuuntaisina yhdestä suunnasta.

Jos valonlähde on samalla puolella kohdetta kuin kamera, puhutaan etuvalosta. Valonlähteen ollessa vastakkaisella puolella kohdetta kuin kamera, puhutaan takavalosta.

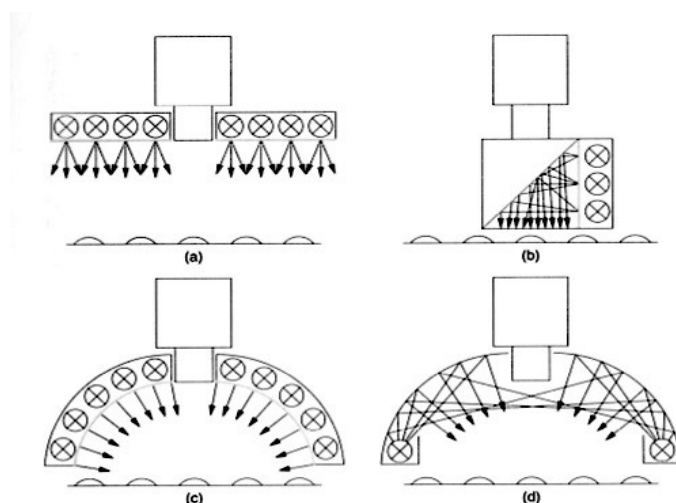
Mikäli valonlähde asetetaan siten, että suurin osa kohteesta heijastuneesta valosta ohjautuu kameralle, puhutaan vaaleakenttävalaistuksesta. Päinvastaisessa tapauksessa puhutaan pimeäkenttävalaistuksesta. Edellä mainittuja valaistusmenetelmiä voidaan yhdistellä monin tavoin. (Steger ym. 2008, 12-13.)

5.3.2 Yleisimmät valaistusmenetelmät

Tässä kappaleessa esitellään yleisimmät valaistusmenetelmät.

HAJAHEIJASTAVA ETUVALO

Hajaheijastavaa etuvaloa käytetään tyypillisesti poistamaan varjoja ja vähentämään tai estämään peiliheijastuksia. Kuviossa 23 esitellään erilaisia hajaheijastavia etuvaloratkaisuja. Valonlähteessä on heijastin, joka hajottaa valonsäteet mahdollisimman tasaisesti laajemmalle alueelle.



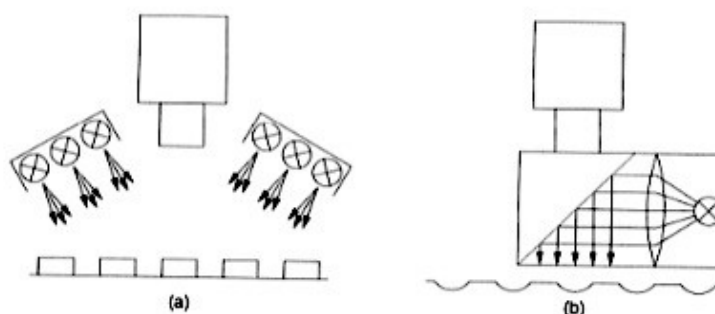
Kuvio 23. Erilaisia hajaheijastavia etuvaloja (Steger ym. 2008, 13).

Kuvion 23 kokoonpanot ovat seuraavat:

- a) LED-paneeli tai rengasvalo, jonka edessä on heijastin
- b) koaksiaalinen hajavalon. Rakenteessa on viisto puoliläpäisevä peili ja hajottaja valojen edessä
- c) kupolivalaisin, jossa valojen edessä on hajottaja
- d) kupolivalaisin, jossa itse kupoli toimii hajottajana. (Steger ym. 2008, 13-14.)

SUUNNATTU ETUVALO

Suunnattua etuvaloa käytetään kun halutaan muodostaa varjoja kolojen ja kiinnostavien kohteiden yhteyteen. Telesentristä suunnattua etuvaloa käytetään peiliheijastavien kohteiden valaisuun. Kuviossa 24 esitellään kaksi eri vaihtoehtoa suunnatulle etuvalaistukselle.



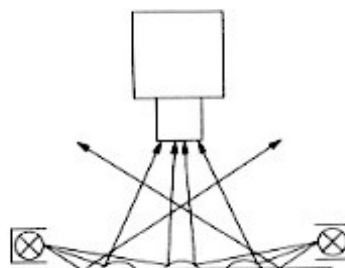
Kuvio 24. Erilaisia suunnattuja etuvaloja (Steger ym. 2008, 14).

Kuvion 24 kokoonpanot ovat seuraavat:

- Kohdistettu rengasvalo
- telesentrinen (yhdensuuntainen) valaistus. Rakenteessa on myös viisto puoliläpäisevä peili. (Steger ym. 2008, 14.)

PIMEÄKENTTÄVALAISTUS ETUVALOLLA

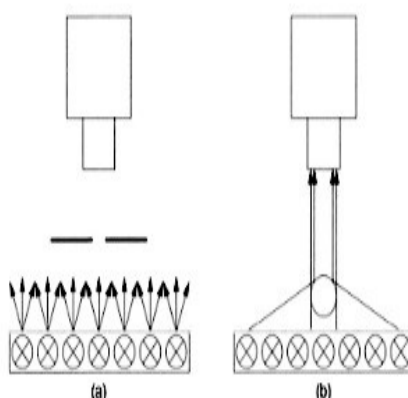
Pimeäkenttävalaistus etuvalolla saadaan kohteesta näkyviin uurteita ja ulkonemia. Naarmut, pinnanmuodostus ja kaiverrukset saadaan tällaisella valaistuksella paremmin näkyviin. Kuviossa 25 esitellään suunnattu pimeäkenttävalaistus etuvalolla. Kuvion mukainen valaistus toteutetaan tyypillisesti LED-rengasvalolla. (Steger ym. 2008, 15.)



Kuvio 25. Suunnattu pimeäkenttävalaistus etuvalolla (Steger ym. 2008, 15).

HAJAHEIJASTETTU VAALEAKENTTÄ TAKAVALO

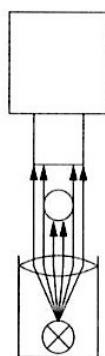
Hajaheijastetulla vaaleakenttä takavalolla saadaan läpinäkymättömästä kohteesta muodostetuksi siluetti. Tätä voidaan käyttää hyväksi mikäli kohteen muoto on tarkasteltavana. Toisaalta tällä menetelmällä voidaan tarkastella läpinäkyvän kohteen sisempiä osia ja välttyä etuvaloon liittyviltä heijastuksilta vastaavassa tilanteessa. Kuviossa 26 esitellään hajaheijastettu vaaleakenttä takavallo, joka usein toteutetaan LED-paneeleilla tai kaasupurkauslampulla, jonka eteen asetetaan heijastin. Kohdan (b) mukaisesti tarkasteltavasta esineestä voi aiheutua heijastuksia kameran linssiin, koska esine on syvyydeltään suuri. (Steger ym. 2008, 15-16.)



Kuvio 26. Hajaheijastettu vaaleakenttä taustavallo (Steger ym. 2008, 16).

TELESENTRISESTI TAKAVALOLLA VALAISTU VAALEAKENTTÄVA- LAISTUS

Sovelluksissa, joissa kohdetta mitataan konenäköjärjestelmällä, käytetään usein telesentrisesti (yhdensuuntaisesti) takavalolla valaistua vaaleakenttävalaistusta. Lisäksi tällainen valaistusmenetelmä poistaa kuvion 26 kohdan (b) mukaisen ongelman. Tämän menetelmän yhteydessä pitää kamerassa käyttää telesentristä optiikkaa ja valaistuksen pitää olla tarkasti linjattu linssin kanssa. Kuviossa 27 esitellään telesentrisesti taustavalolla valaistu vaaleakenttävalaistus. (Steger ym. 2008, 16-17.)



Kuvio 27. Telesentrinen vaaleakenttä taustavalo (Steger ym. 2008, 17).

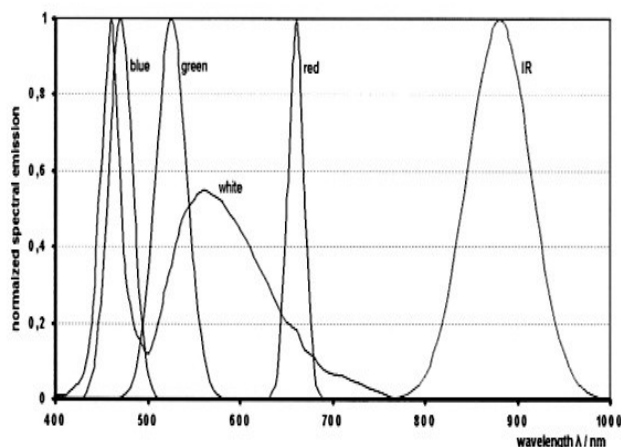
5.3.3 Valonlähteet

Valonlähde pitää valita kameraa eikä ihmissilmää varten. Kuvasektorin valoherkkyys eri aallonpituuksilla poikkeaa ihmissilmän valoherkkydestä (ks. kuvio 19). Koska esimerkiksi valovirran ja valaistusvoimakkuuden laskenta-kaavat perustuvat ihmissilmän valoherkkyteen, eivät ne suoraan päde konenäköille. Kaikilla materiaaleilla on omat spektriset ominaisuutensa, mikä vaikuttaa niistä heijastuneen valon spektriin. Kuvasektorille tulevan valon spektrijakauma riippuu siis itse valonlähteen spektrijakaumasta, kohteen spektrisistä ominaisuuksista sekä kohteen ja valosensorin välissä olevan materiaalien (optiikka) spektrisistä ominaisuuksista. Siksi valonlähde pitää valita aina tapauskohtaisesti konenäkösovelluksissa. Konenäkösovellukset käyttävät useimmiten valonlähteitä, joiden spektrialue on välillä 380-1100nm johtuen sensoreiden herkkyysalueesta. (Hornberg 2006, 84-85.) Alla käydään

lyhyesti läpi yleisimmät konenäkösovellusten valonlähteet.

LED-VALOT

LED-valot ovat puolijohdetekniikkaan perustuvia valonlähteitä, jotka ovat nykyään konenäköjärjestelmien yleisin valonlähde. Niillä on monia etuja puolellaan, mutta kaikissa tapauksissa niitä ei voi käyttää. Esimerkiksi niiden valaistusvoimakkuus on vielä vaatimaton verrattuna halogen- tai kaasupurkauslampuihin, mutta LED:it saavuttavat tuota etumatkaa koko ajan. Lisäksi LED:ien valaistusvoimakkuus ja elinikä pienenevät lämpötilan kasvaessa. LED:jä valmistetaan infrapuna-, näkyvän valon ja lähiultravioletialueelle. Myös valkoista valoa antavia LED:jä valmistetaan nykyään. LED:it tuottavat lähes monogromaattista valoa (ks. kuvio 28). LED:ien vahvuutena on muun muassa niiden pieni koko, pieni virrankulutus, pitkäikäisyys, mahdollisuus käyttää salamana (myös infrapuna-alueella), helppo ohjaus, pieni lämmöntuotto ja tärinänkesto. (Azad ym. 2008, 26; Hornberg 2006, 95-98, Steger ym. 2008, 8.) Kuviossa 28 esitellään eri väristen LED:ien emittoima valo aallonpituuden funktiona. Emission yksikkö on skaalattu siten, että maksimi on yksi.



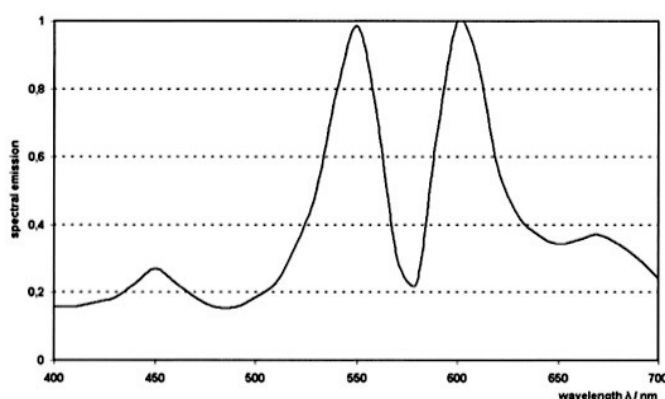
Kuvio 28. Eri väristen LED:ien emittoima valo normalisoituna aallonpituuden funktiona (Hornberg 2006, 86).

KAASUPURKAUSLAMPUT

Kaasupurkauslamppuja ovat esimerkiksi metallikaasulamput, Xenon-lamput ja loisteputkilamput.

Metallikaasulamppu

Hornbergin (2006, 91-92) mukaan metallikaasulamput tuottavat erittäin tehokkaasti valoa. Tyyppi ei kuitenkaan ole laajasti käytössä konenäkösovelluksissa. Tyypillisiä ominaisuuksia ovat varsin rajallinen elinikä, vaatii optiikkaa, käyttää korkeajännitettä, itse lamppu on paineistettu, kallis hinta, käyttölämpötila hyvin rajoitettu ja suuri lämmöntuotto. Kuviossa 29 esitellään metallikaasulampan emittoima valo aallonpituuden funktiona. Emission yksikkö on skaalattu siten, että maksimi on yksi.

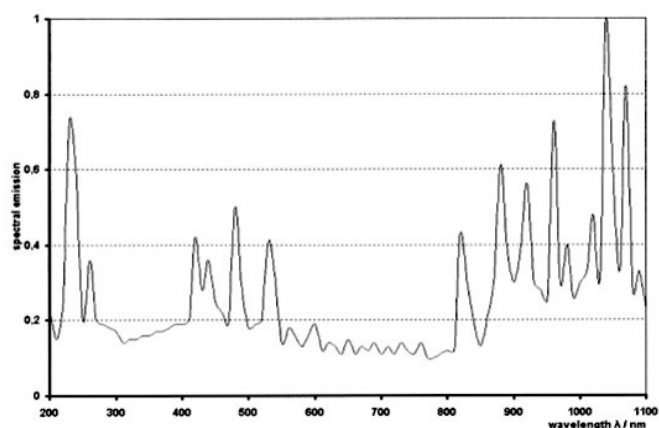


Kuvio 29. Kaasupurkauslampan emittoima valo normalisoituna aallonpituuden funktiona (Hornberg 2006, 92).

Xenon-lamppu

Xenon-lamppuja saa sekä jatkuvatoimisina että salamakäyttöön. Konenäkösovelluksissa, joissa on mukana nopeaa liikettä, käytetään usein Xenon-salamavaloa kuvan pysäyttämiseen. Xenon-lamput tuottavat näkyvän valon alueella tasaisen spektrijakauman, mistä syystä valo on valkoista. Etuina tyypillä on kirkkaus, valkoisuus, hyvin lyhyet salamat mahdollisia suurella taajuudella ja suuri salamamäärä lampun eliniän aikana. Haittoja tyypillä on suojauksen tarve, ohjauselektronikka on monimutkaista ja kallista, elektronikka aiheuttaa EMC-ongelmia, suurehko koko, joustamaton muotoilu ja

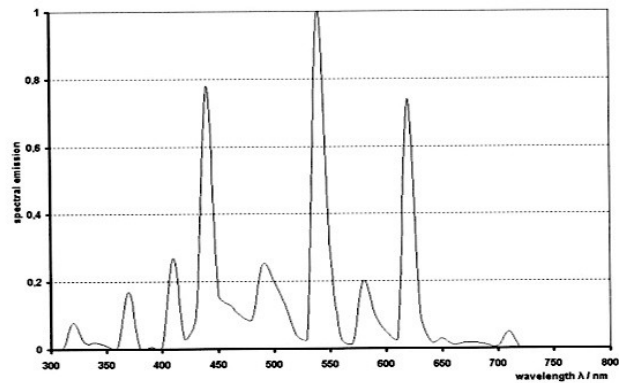
ikäntyminen. (Mts. 92-93.) Kuviossa 30 esitellään tyypillisen xenon-salamavalon emittoima valo aallonpituuden funktiona. Emission yksikkö on skaalattu siten, että maksimi on yksi.



Kuvio 30. Tyypillisen xenon-salamavalon emittoima valo normalisoituna aallonpituuden funktiona (Hornberg 2006, 94).

Loisteputkilamput

Loisteputkilamput tunnetaan huonevalaistuksesta. Loisteputkilamput kiihdytetään sähköllä elohopeahöyryä jalossa kaasussa (argon tai neon), mikä saa aikaan ultraviolettivalon emittoitumisen. Loisteputkilamput sisäpinta on päällystetty fluoresoivalla aineella, mikä saa aikaan näkyvää valoa (ks. luku 4). Eri päällysteillä saadaan aikaan erilaista valoa. Loisteputkilamput ohjataan vaihtojännitteellä, minkä pitää konenäkösovelluksissa olla korkeataajuisia. Tyypin etuihin kuuluvat halpa hinta, eri väriaihtoehdot ja kyky valaista suuria alueita. Haittoina tyypillä on joustamaton muotoilu, lyhyehkö elinikä, korkeataajuisohjaus (EMC ongelmat), spektrihiikit, lämpötilan vaikutus, ei salamamahdollisuutta, nopea ikääntyminen ja rajoitettu käyttölämpötila. (Hornberg 2006, 93-95, Steger ym. 2008, 8.) Kuviossa 31 esitellään korkeataajuisella jännitelähteellä syötetyn loisteputkirengasvalon emittoima valo aallonpituuden funktiona. Emission yksikkö on skaalattu siten, että maksimi on yksi.



Kuvio 31. Loisteputkirengasvalon emittoima valo normalisoi-
tuna aallonpituuden funktiona (Hornberg 2006, 95).

HEHKU- JA HALOGEENILAMPUT

Hehkulamppujen valo synnytetään syöttämällä sähkövirta volframilangan lävitse. Virta saa langan hehkumaan niin suurella kuumuudella, että se emittoi näkyvää valoa. Lanka on asennettu lasilamppuun, jonka sisällä on tyhjä tai halogen kaasua (jodi tai bromi). Emittoituneen valon spektrialue on hyvin laaja, mistä syystä hehku- ja halogenlampun tehokkuus on huono. Etuina tyypillä on kirkkaus, jatkuva spektrialue ja toimivuus korkeissakin lämpötiloissa. Haittoina tyypillä voidaan pitää hyvin lyhyttä elinikää, huonoa tärinänkestoa, ei salama mahdollisuutta, valovoimakkuuden vaihtelut jännitevaihteluiden mukaan, vaatii suojauksen ja suuri lämmöntuotto. (Hornberg 2006, 89-91, Steger ym. 2008, 7.)

6 TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

Kappale 6 on poistettu toimeksiantajan vaatimuksesta.

6.1 Olemassa olevan tutkimustiedon hankkiminen

6.2 Tutkimusta varten tehdyt mittaukset

6.2.1 VTT:llä tehdyt mittaukset

6.2.2 VTT:llä tehtyjen mittausten data

6.2.3 SKS Vision Systems Oy:llä tehdyt mittaukset

6.2.4 SKS Vision Systems Oy:llä tehtyjen mittausten data

7 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Kappale 7 on poistettu toimeksiantajan vaatimuksesta.

7.1 Johtopäätökset VTT:llä tehdyistä mittauksista

7.2 Johtopäätökset SKS Vision Systems Oy:llä tehdystä mittauksista

8 POHDINTA

8.1 Nykyhetki

Paperitehtaat ovat nykyään kovien suorituspainneiden alla. Niiden tehokkuutta tarkkaillaan ja niiden kustannuksia verrattuna tuotetun paperin määrään vertaillaan herkeämättä. Laatuksiteerit ovat kovia ja asiakkaat laatu-tietoisia. Paperitehtaan tehokkuuteen ja paperinteon kustannuksiin vaikuttaa monien muiden asioiden ohella paperikoneella tehdyn hyllyn määrä. Hyllyn määrään taas vaikuttaa suoraan muun muassa paperikoneen ohjausjärjestelmän ratakatkotiedon luotettavuus. Ohjausjärjestelmä itsessään ei voi parantaa ratakatkotiedon luotettavuutta vaan avainasemaan nousee itse ratakatkoanturi, jonka perusteella tieto muodostetaan. Ratakatkoanturin hyvyys tai huonous vaikuttaa siis monen mutkan kautta koko paperitehtaan tehokkuuteen. Aivan vastaava vaikutus on antureilla, joilla ohjataan paperikoneen kudoksia. Mikäli kudosta ohjaava anturi ei onnistu tehtävässään, voi seurauksena olla pahimmillaan kudoksen ja laitevaurio, sekä luonnollisesti tuotantokatkos. Tällaisessa tapauksessa epäonnistuneesta kudoksen ohjauksesta aiheutuvat kustannukset nousevat helposti erittäin suuriksi, koska kudokset ja laitteet ovat kalliita ja tuotantokatkos venyy helposti useiden tuntien mittaiseksi.

Konenäköjärjestelmät ovat viime vuosien aikana yleistyneet ja niiden avulla on toteutettu kokonaan uudenlaisia sovelluksia. Tämä trendi tulee jatkumaan, koska konenäköjärjestelmillä on omat, kiistatta hyvät, puolensa. Ne ovat tietyissä sovelluksissa ylivoimaisia ihmisisilmään verrattuna, eikä konenäköjärjestelmä esimerkiksi väsy koskaan. Konenäköteknologian avulla on pystytty ratkaisemaan pulmakoh-tia, joita muilla teknologioilla ei ole onnistuttu ratkaise-maan. Esimerkkinä voidaan mainita vaikkapa SKS Vision Systems Oy:n kehittämä yhdistetty ratakatko- ja reunanmittausanturi, joka korvaa useita eri antureita paperikoneessa.

Konenäköjärjestelmät on monessa tapauksessa rakennettu korvaamaan ihmisen näköaistia, joten niiden suunnittelu on usein lähtöisin tuosta näkökulmasta. Edellä mainitusta syystä johtuen useimmat konenäköjärjestelmät käyttävät hyväkseen näkyvää valoa kuten ihmisen näköaistikin. Asiaan on vaikuttanut myöskin se, ettei konenäkölle hyvin soveltuvia valaisimia esimerkiksi ultraviolettivalolle ole ollut markkinoilla. Koska kuvasensoritkaan eivät aiemmin ole soveltuneet ultraviolettivalolle ja vain rajoitetusti infrapunavalolle, ovat sovellukset pääosin rajoittuneet näkyvän valon alueelle. Näkyvän valon käyttäminen konenäkösovelluksessa aiheuttaa tiettyjä rajoituksia, mistä syystä on kehitetty muita vaihtoehtoja. LED-tekniologiaa hyväksi käyttämällä on viime vuosina saatu aikaan valaisimia, jotka soveltuvat hyvin konenäköjärjestelmien kanssa käytettäväksi, ja jotka tuottavat ultravioletti-, infrapuna- tai värillistä valoa kapealla aallonpituusalueella. Kun kuvasensortechnologiaakin on kehitetty esimerkiksi päällystämällä fotodetektorit fluoresoivalla aineella, on konenäkösovelluksia voitu laajentaa näkyvän valon ulkopuolisille aallonpituuksille. Infrapunavaloon perustuvia sovelluksia on toteutettu enemmän, koska kuvasensorit ovat olleet alunperinkin osittain herkkiä infrapunavalolle ja sopivia valonlähteitä on ollut saatavilla. Ultraviolettivaloon perustuva tekniologia on uudempaa, mistä syystä johtuen niitä on toteutettu vähemmän. Tämän voi helposti todeta, kun hakee internetistä tai alan kirjallisuudesta asiaan liittyvää tietoa. Sovelluksia, joissa on käytetty infrapunavaloa löytyy huomattavasti enemmän kuin niitä, joissa on käytetty ultraviolettivaloa.

8.2 Tulevaisuus

Paperitehtaiden tehokkuusvaatimukset ja tuotantokustannusten vähentäminen laatua heikentämättä tulevat edelleen korostumaan tulevaisuudessa. Paperikoneen ratakato- ja reunanmittausanturit ovat yksi osa-alue, jolla edellisiin pyritään positiivisesti vaikuttamaan. Lisäksi edellä mainituista antureista voi tulevaisuudessa olla mahdollista saada ulos jotain lisätietoa, jota tällä hetkellä ei vielä ole hyödynnetty. Toisaalta on mahdollista, että käyttämällä konenäköjärjestelmää jossain toisessa tehtävässä paperikoneella, saavutetaan uusia tuotantosäästöjä. Konenäköjärjestelmien käyttämisessä monesti vain mielikuvitus on rajana. Saavutetut edut verrattuna kustannuksiin on tapauskohtaisesti tarkasteltava.

Konenäköjärjestelmät tulevat edelleen yleistymään mitä erilaisimmissa sovelluksissa. Kuvagensoreiden ja konenäköjärjestelmien muiden komponenttien hinnat laskevat suuremman volyymin takia. Sovellukset, joissa käytetään ultraviolettivaloa, infrapunavaloa tai näkyvän valon kapeaa aallonpituusalueita, tulevat myöskin yleistymään, kun soveltuvia komponentteja tulee enenevässä määrin markkinoille. Kun kyseiset sovellukset yleistyvät, kasvaa myös yleinen asiaan liittyvä tietotaito ja tietoa asiasta on siten helpompi löytää. Laiterakentajalle on kuitenkin edullista olla markkinoilla ensimmäisten joukossa, jotta asiakassuhteet ja markkinaosuus saadaan otettua haltuun. Tämä tarkoittaa sitä, että laitevalmistajien on syytä panostaa tuotekehitykseen myös valaistukseen liittyen. Kuvagensoreiden päällystysaineet kehittynevät nekin, eli tulevaisuudessa voi markkinoilla olla kuvagensoreita aivan uusille aallonpituusalueille.

8.3 Työn hyödyllisyys

Työssä esitettyä tietoa konenäköjärjestelmistä voidaan käyttää hyväksi, kun suunnitellaan esimerkiksi ultraviolettivalon, infrapunavalon tai näkyvän valon kapean aallonpituusalueen käyttämistä konenäkösovelluksissa. Työssä tuodaan esiin rajoituksia, joita asiaan liittyy, kuten esimerkiksi optiikan ja kuvagensoreiden spektrivasteen huomioimisen jo suunnitteluvaiheessa.

Valaistuksen osalta työ antaa kokonaiskuvan konenäkösovelluksissa yleisemmin käytössä olevista vaihtoehdoista sekä siitä, mitä pitää ottaa huomioon mikäli halutaan käyttää muuta kuin valkoista näkyvää valoa. Tämä tieto on kerätty useista eri lähteistä ja esitetään keskitetysti työn tietoperustassa.

Lisäksi työssä on kootusti esitettyä tietoa, jota tarvitaan paperikoneen kudosten ohjauksessa ja toisaalta tietoa paperin optisista ominaisuuksista, sekä tietoa sähkömagneettisen säteilyn käyttäytymisestä ja ominaisuuksista.

Työtä varten tehdyt mittaukset antoivat käytännön tietoa siitä, minkä aallonpituusalueen valo heijastuu kyseessä olleista materiaaleista parhaiten kullakin valaistuskulmalla. Mittauksia tehtiin kattava määrä monilla erilaisilla materiaaleilla. Mittauksissa käytettiin kahta erilaista mittaustapaa ja laitetta, joista saatiin tarvittavaa tietoa heijastuksen selvittämiseksi. Sellaista yhtä tai useampaa aallonpituusaluetta ja/tai valaistuskulmaa, jolla kaikki näytteet saataisiin ideaalisesti havainnoitua, ei löydetty. Mittaustulosten perusteella voidaan kuitenkin antaa suositukset aallonpituuksista ja valaistuskulmista kunkin materiaaliyhdistelmän ideaaliselle havainnoinnille.

Tehtyjen mittausten perusteella ultravioletti- ja infrapunavalon hyödyllisyydestä kyseessä olleessa sovelluksessa ei saatu yleispätevää näyttöä.

Kuten työn tietoperustasta käy ilmi, on erilaisia viiroja ja huopia satoja, jollei jopa tuhansia erilaisia. Ne poikkeavat toisistaan muun muassa rakenteen, materiaalien ja värien suhteen merkittävästi. Paperi- ja kartonkilaatuja on myös erittäin suuri määrä ja niissä käytetään lisäksi erilaisia lisäaineita, joilla vaikutetaan myös niiden optisiin ominaisuuksiin. Erilaisia viira tai huopa sekä paperi tai kartonki -yhdistelmiä on siis olemassa lähes loputtomasti. Edellä mainituista syistä johtuen on ymmärrettävää, ettei mittausten perusteella löytynyt yhtä tai useampaa sellaista aallonpituusaluetta ja/tai valaistuskulmaa, joilla kaikki mahdolliset materiaaliyhdistelmät löytyisivät.

Mittauksissa ehkä suurimpana heikkoutena oli molemmissa tapauksessa se, että mittauksissa käytetyt viirat ja huovat olivat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta puhtaita ja kuivia. Käytännön olosuhteissa viirat ja huovat likaantuvat paperi- tai kartonkimassasta, mikä vaikuttaa niiden erottelumahdollisuuteen paperista tai kartongista olennaisesti. Sen lisäksi, että paperikoneympäristö on paperimassan likaamaa, on se usein myös kostea tai märkä. Asiaan vaikuttavaa kosteutta yritettiin simuloida kastelemalla näytteet mittauksissa, eli mittaukset tehtiin sekä kuiville että märille näytteille. Paperikoneympäristössä on usein lisäksi myös vesisumua, mikä vaikuttaa konenäön suorituskykyyn, mutta sitä ei mittausolosuhteissa pystytty simuloimaan. Osa näytteistä oli raakapaperia tai -kartonkia suoraan paperi- tai kartonkikoneelta. Nämä näytteet olivat niin autenttisia kuin mahdollista, eli ne vastasivat aidosti

paperikoneella liikkuvaa paperia tai kartonkia. Värilliset näytteet olivat niin sanottuja kansioiden välilehtiä. Ne eivät tiettävästi vastaa aitoa kartonkikoneella liikkuvaa kartonkia, koska ne olivat käyneet läpi erilaisia jälkikäsittelyjä. Lisäksi varsinkin ohuemmat mittanäytteet olivat erityisesti märkänä vaikea saada asettumaan mittauspinnalle tasaisesti, mikä saattoi aiheuttaa virhettä mittauksiin.

Mittauksia on jo jatkettu VTT:n valmistamalla laitteella, jolla pystytään mittaamaan takaisin heijastuneen valon spektri tarkasti eri valaistuskulmilla. Mittauksia tällä laitteella tehtiin noin 260 käyttäen suurempia valaistuskulmia ja pienempiä kulmamuuutoksia verrattuna VisiEye-mittauksiin. Näiden mittausten analysointi jäi ajanpuutteen johdosta tämän työn ulkopuolelle. Lisäksi mittauksia on tarkoitus jatkaa likaantuneilla viiroilla ja huovilla, jolloin saadaan tuloksia, jotka paremmin vastaavat todellisuutta. Olisi ehkä hyödyllisintä käyttää seuraavissa kulmamittauksissa esimerkiksi VisiEye ratakatko- ja reunamittausanturia, koska tällöin saadaan simuloitua koko konenäköjärjestelmäketju alusta loppuun. Mikäli halutaan tarkastella ultraviolett- ja infrapunavalon vaikutusta kyseisen laitteen vasteeseen on ensin varmistauduttava siitä, että laitteen optiikka ja muut komponentit mahdollistavat kyseisen valon käyttämisen.

Konenäköjärjestelmät, niiden eri komponentit ja kuvaamiseen liittyvät yksityiskohdat olivat työn alussa allekirjoittaneelle täysin uutta aluetta. Työn ansiosta olen saanut hyvän käsityksen konenäköjärjestelmistä, niiden tarjoamista vaihtoehtoista ja niiden tulevaisuudennäkymistä. Olen saanut valmiudet suunnitella ja kehittää konenäköjärjestelmiä ja uskon työn puitteissa hankituista tiedoista ja taidoista olevan jatkossa minulle hyötyä.

LÄHTEET

Azad, p., Gockel, T., Dillmann, R. 2008. *Computer vision – Principles and practice*. Englanti: Elektor international media BV.

Band, Y. 2006. *Light and matter, Electromagnetism, optics, spectroscopy and lasers*. West Sussex, Englanti: John Wiley & Sons Ltd.

Bench top spectrophotometers CM-3610d catalogue download. n.d. Materiaalia Konica/Minolta sivustolla. Viitattu 21.3.2011.

http://www.konicaminolta.com/instruments/download/catalog/color/pdf/cm3610d_e10.pdf.

Bench top spectrophotometers CM-3610d specifications. n.d. Materiaalia Konica/Minolta sivustolla. Viitattu 21.3.2011.

<http://www.konicaminolta.com/instruments/products/color-measurement/spectrophotometer/cm3600d-3610d/specifications.html>.

Hietala, P. 2011a. Tutkimusinsinööri. VTT. Haastattelu 22.2.2011.

Hietala, P. 2011b. Tutkimusinsinööri. VTT. Sähköposti 12.4.2011.

Hornberg, A. 2006. *Handbook of machine vision*. Weinheim, Saksa: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.

Hyvä tietää säteilystä. 2003. Helsinki: Energia-alan keskusliitto.

Hägglom-Ahnger, U., Komulainen, P. 2003. *Paperin ja kartongin valmistus*. 5. p. Helsinki: Opetushallitus.

ISO 12625-7. 2007. *Tissue paper and tissue products – Determination of optical properties*. International organization for standardization. Viitattu 16.2.2011. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.

Jaarinen, S., Niiranen, J. 2005. *Laboratorion analyysitekniikka*. 5. uud. p. Helsinki: Edita Prima.

Karlsson, M. 2010. *Papermaking Part 2, Drying*. 2. uud. p. Helsinki: Paperi ja puu.

Liimatainen, T. 2003. *Paperikoneen kudosten ohjaus ja ohjauksen periaatteet*. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Tekniikka ja liikenne. Paperiteknologian koulutusohjelma.

Levlin, J-E., Söderhjelm, L. 1999. *Pulp and paper testing*. Helsinki: Paperi ja puu.

Mäkelä, M., Mäkelä, R., Siltanen, O. 2002. *Insinöörikoulutuksen fysiikka*. Tampere: Tammertekniikka.

Määttä, T. 2001. ultraviolettivalaistuksen soveltuvuus konenäköön. Opinnäyte-työ. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan koulutusyksikkö.

Niskanen, K. 2008. *Paper Physics*. 2. uud. p. Helsinki: Paperi ja puu.

PaperControl ver. 2.xx. n.d. Käyttöohje. Oy Mitaten Finland Ab.

Paulapuro, H. 2008. *Papermaking Part 1, Stock preparation and wet end*. 2. uud. p. Helsinki: Paperi ja puu.

Practical Photography tips. 2010. Internet-sivusto digitaalisesta valokuvauksesta. Viitattu 30.3.2011. <http://www.practicalphotographytips.com/history-of-digital-photography.html#axzz1I4Gj9WFg>

Ojanperä, V. 2010. *Proessori* lehden verkkosivut. Viitattu 18.4.2011. <http://www.proessori.fi/uutiset/uutinen2.asp?id=56675>

Rahkola, K. 2011. *Toimitusjohtaja*. SKS Vision Systems Oy. Haastattelu 21.2.2011.

SCAN-P2:75 Test-standardi. 1975. *Paperi ja kartonki*. Näytteiden ilmastoiminen testausta varten. Suomen paperi- ja kartonkiteollisuuden keskuslaboratoriot.

SKS Group yritystiedot. n.d. Materiaalia SKS Groupin sivustolla. Viitattu 20.1.2011. <http://www.sks.fi/sks/SKS-Group-Yritystiedot>.

SKS Vision Systems yritystiedot. n.d. Materiaalia SKS Groupin sivustolla. Viitattu 20.1.2011. <http://www.sks.fi/sks/SKS-Vision-Systems-Oy-yritystiedot>.

Smith, W. 1990. *Modern optical engineering, The design of optical systems*. 2. p. USA: McGraw-Hill, Inc.

Sonka, M., Hlavac, V., Boyle R. 2008. *Image processing, analysis, and machine vision*. International student edition. Stamford, USA: Cengage learning.

Steger, C., Ulrich, M., Wiedemann C. 2008. *Machine vision algorithms and applications*. 2. p. Weinheim, Saksa: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.

Suvanto, K., Laajalehto, K. 2006. *Tekniikan fysiikka*. 1.-2. p. Helsinki: Edita Prima.

VISIEDGE intelligent web break detector and edge position sensor. 2009. Esitemateriaalia. SKS Vision Systems Oy. Viitattu 11.4.2011. [http://www.sks.fi/download/sks_VisiEdge_paperiradan_reunantunnistusjarjestelma/\\$file/visiedge_eng_1174196.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_VisiEdge_paperiradan_reunantunnistusjarjestelma/$file/visiedge_eng_1174196.pdf)

VISIEYE intelligent web break detector and edge position sensor. 2009. Esitemateriaalia. SKS Vision Systems Oy. Viitattu 25.3.2011. [http://www.sks.fi/download/sks_VISIEYE_ratakatko_ja_reunanmittausanturi/\\$file/visieye_eng_1174196.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_VISIEYE_ratakatko_ja_reunanmittausanturi/$file/visieye_eng_1174196.pdf)

Young, H., Freedman, R. 2008. University physics with modern physics. 12. uud. p. San Francisco, USA: Pearson education, Inc.

LIITTEET

Liite 1. Spektrofotometri Minolta CM-3610d tekniset tiedot (*Bench top spectrophotometers CM-3610d specifications*).

Illuminating/viewing system	Reflectance: d/8 (diffuse illumination/8° viewing angle), capable of simultaneous SCI (specular component included)/SCE (specular component excluded) measurement. Conforms to CIE No. 15, ISO 7724/1, ASTM E-1164, DIN 5033 Teil 7, and JIS Z8722 Condition C standards. Transmittance: d/0 (diffuse illumination/0° viewing angle). Conforms to CIE No. 15, ASTM E-1164, DIN 5033 Teil 7 standards
Detector	Dual 40-element silicon photodiode arrays
Spectral separation device	Diffraction grating
Wavelength range	360 to 740nm
Wavelength pitch	10nm
Half bandwidth	Approx. 10nm
Photometric range	0 to 200%; Display resolution: 0.01%
Sphere size	Φ152mm
Light source	Four pulsed xenon lamps
Measurement time	Approximately 1.5s (until data output)
Minimum interval between measurements	Approx. 4 seconds when SCI/SCE measured
Measurement/illumination areas	Reflectance: Changeable between LAV, MAV, and SAV LAV: Φ25.4mm/Φ30mm MAV: Φ8mm/Φ11mm SAV: Φ4mm/Φ7mm Transmittance: Approx. 17mm
Repeatability	Spectral reflectance: Standard deviation within 0.1% Colorimetric values: Standard deviation within ΔE^*_{ab} 0.02

Inter instrument agreement	Mean ΔE^*_{ab} 0.15 (LAV/SCI) Average for 12 BCRA Series II color tiles compared to values measured with master body
Temperature dependence	Spectral reflectance: Within $\pm 0.10\%/^{\circ}\text{C}$ Color difference: Within $\Delta E^*_{ab} 0.05/^{\circ}\text{C}$
UV adjustment	Instantaneous numerical adjustment
UV cut filters	400nm cutoff and 420nm cutoff
Transmittance chamber	Width: 133mm, Depth: Approx. 50mm; Measurement diameter: Approx. 17mm Transmission sample holder (optional accessory): Sample holder; for both plate-shaped and liquid samples (removable)
Interface	RS-232C, D-sub 9-pin (female) terminal
Power	AC 120V/230V 50/60Hz (using included AC adapter)
Operating temperature/humidity range	13 to 33°C, relative humidity 80% or less (at 33°C) with no condensation
Storage temperature/humidity range	0 to 40°C, relative humidity 80% or less (at 33°C) with no condensation
Dimensions (W × H × D)	CM-3600d: 244 × 208 × 378mm CM-3610d: 300 × 597 × 315mm
Weight	CM-3600d: 12kg CM-3610d: 16.5kg
Standard accessories	White Calibration Plate, Target Mask ($\Phi 4\text{mm}$), Target Mask ($\Phi 8\text{mm}$), Target Mask ($\Phi 25.4\text{mm}$), Zero Calibration Box, AC Adapter, Dust Cover, Accessory Case, Unit Driver, RS-232C Cable (9-pin, 2m)
Optional accessories	Color Data Software SpectraMagic™ NX, Transmittance Specimen Holder, Cell (2mm)/(10mm)/(20mm), Transmittance Zero Calibration Plate, RS-232C Cable (IBM PC/AT; 5m)/(IBM PS/2;

2m)/(IBM PS/2; 5m)

Liite 2. VisiEye tekniset tiedot (*VISI EYE intelligent web break detector and edge position sensor*).

Specifications:	
Resolution	640 x 480 pixel (color CMOS-sensor)
Measurement area	Ø 100 - 150 mm, Option: A wider image area
Detector distance from web	500 - 700 mm
Illumination	Integral LED lamp or external light source
I/O interfaces	2 x opto-isolated digital inputs, Calibration via digital input, 3 x opto-isolated digital outputs, Diagnostic and break signals via digital outputs, Option: AI 0-10 VDC/4-20 mA, AO 0-10 VDC/4-20 mA
Serial / parallel interfaces	RS232, Option: Ethernet or Profibus
User interface	Windows-based user interface for a PC
Operating temperature	+10 to +45°C, +10 to +60°C (cooling with compressed air), +10 to +125°C (cooling with vortex tube)
Compressed-air connection	Ø 8/10 mm connection for clean/dry air at 1,5 - 4 bar pressure, volumetric rate 100 - 300 l/min max.
Measurement head housing	Stainless steel AISI316, protection class IP65
Measurement head dimensions	Ø 105/125 x 300 mm
Measurement head weight	4 kg
Power consumption	24 VDC, 2,5 A