

**Toni Honkala**

**KONENÄÖN SOVELTUVUUS TIILIVERHOUS-  
ELEMENTTIEN LAADUNTARKKAILUUN**

**Opinnäytetyö**

**KESKI – POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU**

**Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto**

**Teknologiaosaamisen johtaminen – koulutusohjelma**

**Toukokuu 2010**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Toukokuu 2010	Tekijä/tekijät Toni Honkala
Koulutusohjelma Teknologiaosaamisen johtaminen ylempi amk		
Työn nimi Konenäön soveltuvuus tiiliverhouselementtien laaduntarkkailuun		
Työn ohjaaja TkL Sakari Pieskä, Ins.Ylempi Amk Jari Kaarela , KTL Pekka Nokso-Koivisto		Sivumäärä 50 + 4
Työelämäohjaaja Ins. Marko Hokkanen		
<p>Stonel oy valmistaa kevyttiiliverhouselementtejä lähinnä saneerausrakentamiseen. Yhtiöllä on valmistusta Kangasniemellä ja Oulaisissa. Opinnäytetyöni aihe lähti tarpeesta tutkia konenäön soveltuvuutta tiiliverhouselementtien laaduntarkkailuun. Työssä tiiliverhouselementeistä etsittiin konenäöllä tyypillisimpiä valmistusvirheitä, joita tuotannossa esiintyy.</p> <p>Työni rakenne koostuu laatukustannusten, konenäön ja investointilaskelmien teorioista. Tutkimusosuus suoritettiin laboratoriotutkimuksena , jossa konenäköjärjestelmällä etsittiin erilaisia virheitä oikeasta tuotteesta. Tutkimustulosten pohjalta kysyttiin tarjous konenäköjärjestelmästä laitetoimittajalta. Tarjouksen pohjalta laskettiin investointilaskelmat, joilla arvioitiin investoinnin kannattavuutta olemassa oleviin laatukustannuksiin nähden. Laitetarjoukset, yrityksen laatukustannukset ja investointilaskelmat ovat työssäni salaisia.</p> <p>Opinnäytetyöni tuloksena syntyi selkeä käsitys siitä miten konenäkö soveltuu kyseiseen ongelmaan. Työni toimii tärkeänä tietoperustana mahdolliselle konenäköjärjestelmä investoinnille.</p>		
Asiasanat Investointilaskelmat, konenäkö, laatukustannukset		

**ABSTRACT**

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date May 2010	Author Toni Honkala
Degree programme Master's Degree for Technology Competence Management		
Name of thesis Usability of machine vision system to control brick elements quality		
Instructor Sakari Pieskä, Jari Kaarela, Pekka Nokso-Koivisto	Pages 50+4	
Supervisor Marko Hokkanen		
<p>This thesis was commissioned by Stonel Oy. The purpose of this work was find out if machine vision system could be used in detecting manufacturing faults in a brick elements.</p> <p>The theoretical part of this thesis concentrates quality costs, important issues of machine vision system and investment calculations. Testing part of thesis was made by laboratory investigation. Calculations of this thesis were secret.</p> <p>As a result, the study gave knowledge how machine vision system can handle this kind of problems. This thesis also created good knowledge to company for making machine vision investment.</p>		
Key words  Investment calculations, machine vision, quality costs		

## SISÄLLYS

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 LAATUKUSTANNUSTEN TEORIAA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Laatumukustannusten historiaa ja kehitysaskeleita .....	3
2.2 Juranin laatumukustannusmalli.....	3
2.3 Nollavirhemalli .....	4
2.4 Taguchin malli .....	5
2.5 Laatumukustannukset yleisellä tasolla.....	8
2.6 Laadunparannuskohteiden valinta .....	10
<b>3 KONENÄKÖ.....</b>	<b>11</b>
3.1 Konenäköjärjestelmä yleisesti .....	11
3.2 Konenäköprosessin vaiheet yksinkertaistettuna .....	12
3.3 Yleistä valaistuksesta.....	14
3.4 Fluoresoivat valaisimet ja Led – valaisimet .....	15
3.5 Muut valaisimet .....	16
3.6 Erilaiset valaistustekniikat .....	17
3.7 Kamerateat.....	21
3.8 Optiikka .....	24
3.9 Kuvankäsittely ja tiedonsiirto.....	26
<b>4 INVESTOINTILASKELMAT JA INVESTOINTI PÄÄTÖKSET.....</b>	<b>28</b>
4.1 Investointien suunnittelu.....	28
4.2 Investointien luokittelu .....	29
4.3 Takaisinmaksuajan menetelmä.....	30
4.4 Annuiteettimenetelmä.....	30
4.5 Sisäisen korkokannan menetelmä.....	31
4.6 Nykyarvomenetelmä.....	32
4.7 Investointilaskelmien epävarmuustekijöitä.....	32

<b>5 TYÖN SUORITUS .....</b>	<b>34</b>
5.1 Testilaitteiston valintaperusteet ja testiympäristön esittely .....	34
5.2 Testilaitteiston käyttö tutkimuksessa.....	37
5.3 Hiekoituksen onnistumisen tutkiminen .....	39
5.4 Halkinaisten tiilien havaitseminen.....	41
5.5 Tiilien ja runkopellin paikan mittaaminen.....	42
<b>6 TULOKSET .....</b>	<b>44</b>
6.1 Hiekoitusvirheen havaitseminen.....	44
6.2 Halkeaman havaitseminen ja tiilien paikan mittaaminen .....	46
6.3 Investoinnin kannattavuus .....	47
<b>7 JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>48</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>50</b>
<b>LIITTEET</b>	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on saada vastauksia tutkimusongelmaan: Soveltuuko konenäköjärjestelmä kevyttiilielementtien tuotantolinjalle tarkkailemaan valmistuksen laatua? Opinnäytetyössäni tutkitaan konenäön soveltuvuutta tiilielementtien tuotannon laadunvarmistukseen. Opinnäytetyön pohjalta tehdään investointiesityksiä toimivista sovelluksista investointilaskelmineen. Työn tavoitteena on luoda käsitys konenäköjärjestelmän käytön mahdollisuuksista kohdeyrityksessä ja sen kannattavuudesta investointina.

Työni rajattiin niin että teoriaosuus koostui tuotannon laatukustannusten, konenäön ja investointilaskelmien teorioista. Laadun osuus rajattiin käsittelemään laatukustannuksia. Konenäköä käsittelevä teoria rajattiin käsittelemään konenäön tekniikkaa ja tutkimuksessani tarvitsemiamme oleellisia osa-alueita. Investointien osalta teoria rajattiin käsittelemään yleisimpiä investointilaskelma tapoja. Teoriaan kerättiin sellainen aineisto mitä tulimme tarvitsemaan tässä tutkimuksessa.

Kappaleessa kaksi käsitellään laatukustannusten perinteisiä teorioita, sekä laatukustannuksia yleisellä tasolla. Kappaleessa kolme käydään läpi konenäköön liittyvää asiaa, kuten konenäköprosessin vaiheet, valaistus, kamerat, optiikka ja kuvankäsittely. Kappaleessa neljä käsitellään erilaisia investointilaskenta menetelmiä ja investointien epävarmuustekijöitä.

Kappaleessa viisi mennään työn tutkimuksen ja tutkimuksessa käytetyn laitteiston esittelyyn sekä käytettyihin menetelmiin. Kappaleessa kuusi käydään työstä saadut tulokset lyhyesti lävitse. Luku kuusi sisältää myös investoinnin kannattavuuslaskelmat. Luvussa seitsemän pohditaan työn tuloksia ja onnistumista sekä mietitään mahdollisia jatkotutkimusmahdollisuuksia.

Tutkimusosuus toteutetaan laboratoriotutkimuksena Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulun Ylivieskan yksikön tuotantotekniikan laboratoriossa. Tutkimus suoritetaan oikealle tuotteelle. Tutkimuksessa simuloidaan oikean tiilielementin valmistusprosessin eri vaiheita ja niissä yleisesti esiintyviä laatu poikkeamatilanteita. Tuotteelle tehdään erilaisia virheitä ja

konenäköjärjestelmän toimivuutta ja tarkkuutta testataan näiden virheiden havaitsemiseen. Tutkimuslaboratoriossa on käytössä Omron älykamerajärjestelmä, jonka työkaluilla tutkimus suoritetaan.

## **2 LAATUKUSTANNUSTEN TEORIAA**

### **2.1 Laatukustannusten historiaa ja kehitysaskelaita**

Kirjallisuudessa laatukustannusten käsite tuli julkisuuteen Juranin vuonna 1951 julkaisemassa kirjassa Quality Control Handbook. Tällöin laatukustannusten nähtiin olevan lähinnä tuotteissa olevia virheitä, joita ehkäisemällä saadaan nopeasti parannettua tulosta. Nykyaikana laatukustannusten käsite on laajentunut huomattavasti. Laatukustannuksiin on otettu mukaan huononlaadun lisäksi myös laadun tekemisestä aiheutuvat kulut, sekä on myös alettu laskemaan kuluja heikon laadun aiheuttamista menetetyistä asiakkaista ja pienentyneistä katteista.

Laatukustannusten mitattavuuden perusteella huonon laadun kustannukset voidaan jakaa viiteen eri ryhmään:

1. Perinteiset kustannukset, jotka ovat selkeästi tuotannon virheistä johtuvia.
2. Piilokustannukset, joita ei tunnisteta laskentatoimessa.
3. Asiakkaiden tyytymättömyydestä menetetyt tuotot.
4. Toimitetusta tuotteesta asiakkaalle syntyneet kustannukset,
5. Yhteiskunnalle aiheutetut sosioekonomiset kustannukset.

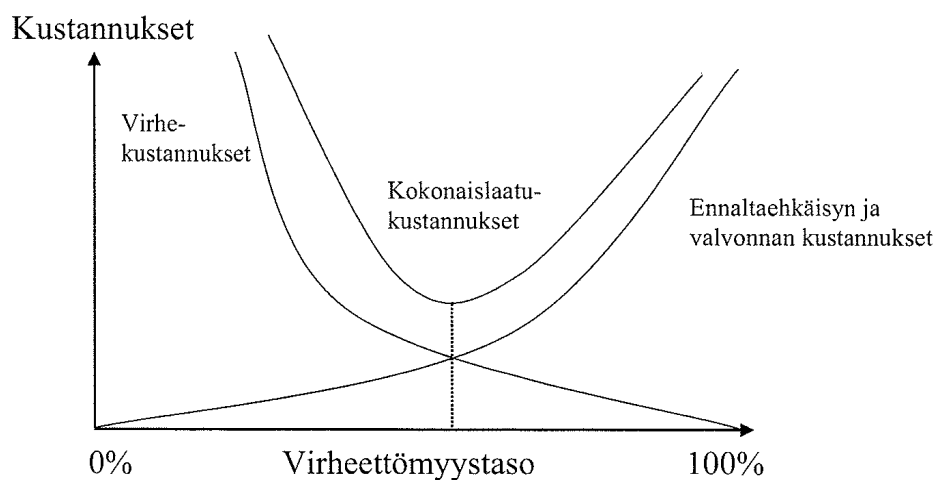
Tästä jaottelusta käy hyvin ilmi että perinteiset huonon laadun kustannukset ovat vain pieni osa huonon laadun aiheuttamista kokonaiskustannuksista. (Järvinen, Lemetti, Virtanen, Lillrank & Malmi 2001, 10-22.)

### **2.2 Juranin laatukustannusmalli**

Juranin laatukustannusmallin mukaan ennaltaehkäiseviä ja valvontaan liittyviä kustannuksia lisäämällä saadaan sisäiset ja ulkoiset virhekustannukset alenemaan tiettyyn pisteeseen



saakka. Kuviossa 1 nähdään että lähestyttäessä täydellistä virheettömyyden rajaa, virheiden korjaamisen kulu nousee korkeammaksi kuin itse virheet. Mallin mukaan täydellisen virheettömyyden kohdalla on ennaltaehkäisevän ja valvontatoiminnan kustannussumma lähes ääretön. On siis olemassa tietty optimilaatutaso. Juranin malli perustuu Vilfredo Pareton teorioihin. Pareton mukaan suurin osa kustannuksista syntyy muutamasta virhetyypistä, joita eliminoimalla yritys voi saavuttaa merkittävän paljon taloudellista hyötyä. Juranin malli on saanut aikaiseksi paljon kritiikkiä. Ei ole pystytty yksiselitteisesti todistamaan optimaalisen laatutason olemassaoloa.



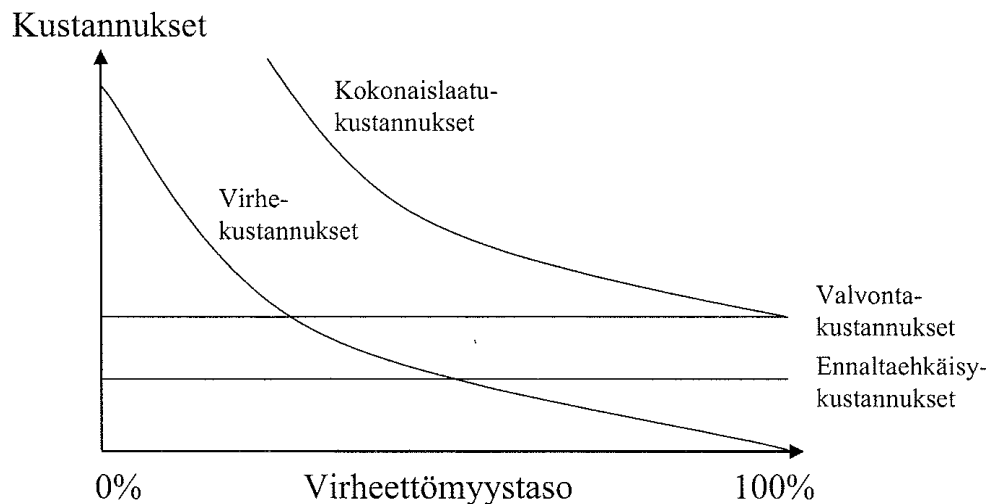
KUVIO 1. Juranin laatukustannusmalli ( Järvinen ym. 2001. )

Yrityksen ei välttämättä tarvitse lisätä ennaltaehkäisevän laadunparannuksen kustannuksia saavuttaakseen parempaa laatua, nykyisen automaatiotason kasvaessa ei välttämättä tarvitse lisätä kustannuksia, vaikka tarkastettavien kappaleiden määrät nousisivat.(Järvinen ym.2001.)

### 2.3 Nollavirhemalli

Nollavirhemalli kuviossa 2 edustaa täysin vastakkaista ajattelutapaa Juranin malliin nähden. Sen mukaan kokonaislaatukustannukset ovat aina minimissään sadan prosentin vir-

heittämyystasolla. Nollavirhemallin mukaan laatu on ilmaista ja on aina halvinta tehdä asiat kerralla oikein. Tämä teoria on saanut monien tutkijoiden tuen, koska laatutasoa ei voida pysäyttää tiettyyn kohtaan ja ilman jatkuvaa parantamista laatutaso alkaa heiketä vääjäämättä. Virhekustannukset nousevat sitä kalliimmiksi mitä myöhäisemmässä vaiheessa virheet havaitaan.



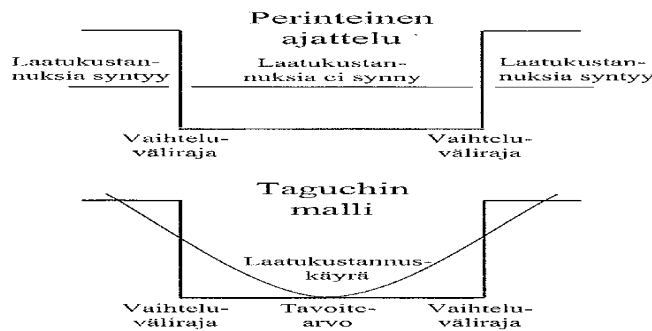
KUVIO 2. Nollavirhemalli (Järvinen ym. 2001.)

Lillrankin mukaan laadun kehittämissuunnitelmat ovat investointeja, joille on pystyttävä tekemään kannattavuus laskelmat. Laadun kehittämistoimenpiteet ovat yleensä kannattavia investointeja, mutta yleensä vastaan tulee myös ongelmia joille ei vain mahda mitään. (Järvinen ym. 2001, 27-30.)

## 2.4 Taguchin malli

Japanilaisen Taguchin malli kuviossa 3 perustuu hävikkiin, jonka tuote aiheuttaa käyttäjälle, jos tuotteen ominaisuudet vaihtelevat. Mitä vähemmän on hävikkiä sitä laadukkaampi tuote on kyseessä. Tämä ajattelu kaataa edellä mainitut perinteiset laatukustannusajattelut,

koska tässä mallissa asiakkaan kokema hävikki minimoidaan suunnittelu ja prosessitekni-  
sin keinoin, eikä mitaamalla ennaltaehkäisy- ja tarkastuskustannusten sekä sisäisten ja  
ulkoisten kustannusten yhteismäärää.



KUVIO 3. Taguchin malli ( Järvinen ym. 2001.)

Eli hävikkiä ei määritellä virheprosentteina ja niistä johdettuina kustannuksina, vaan tuotteen poikkeamat tavoitearvoista tai parhaasta arvosta lasketaan rahana.

Genichi Taguchin laatufilosofia tiivistyy seuraaviin seitsemään eri kohtaan:

1. Tuotteen yhteiskunnalle aiheuttama kokonaishävikki on erittäin tärkeä laadun mita. Nykyisten vihreiden arvojen yleistyessä on tärkeää, ettei tuhata energiaa, materiaalia, työvoimaa ja pääomia. Tällöin on tärkeää että kokonaishävikki on minimoitu. On uskottavaa että yhteiskuntamme suosii yrityksiä, jotka eivät hukkaa sen voimavaroja.
2. Kilpailuyhteiskunnassamme on välttämätöntä parantaa laatua ja alentaa kustannuksia jatkuvasti, jotta markkina-asema säilyisi. Paras tapa saada lisää markkinaosuuksia on tuottaa korkealaatuisia tuotteita alhaisella myyntihinnalla. Menestyvät yritykset käyttävät hyvää laatua ja alhaista myyntihintaa kilpailustrategianaan.
3. Jatkuvalla laadunparantamisella pienennetään tuotteiden ominaisuuksien vaihtelua kohti asetettuja tavoitearvoja. Lähtötilanteessa tuotteen laatuominaisuudet on tun-

nistettava ja mitattava, muuten laadun parantaminen on mahdotonta. Laatuominaisuudet vaihtelevat tuotteesta toiseen ja myös ajan suhteen. Laatua parannettaessa on tärkeimpänä tavoitteena pyrkiä koko ajan vaihtelun pienentämiseen kohti tavoitearvoa. Tuotteista valitaan laadun kannalta tärkeimmät ominaisuudet, ei ole järkevää lähteä parantamaan kaikkia ominaisuuksia. Valittuja ominaisuuksia kutsutaan tuotteiden suoritusarvoiksi. Mitä vähemmän suoritusarvoissa on poikkeamia sitä parempaa laatu on. Tuotteiden speksit laitetaan aina samaan mittayksikköön kuin ominaisuudet esimerkiksi mm, kg. Nykyisten teollisuus standardien mukaan tavoitearvot ovat yleensä toleranssivälejä. Taguchin mukaan nämä pitäisi muuttaa niin että tavoitteena on aina nimellismitta. Etäisyyttä ideaalimitasta mitataan rahana.

4. Tuotteen suoritusarvojen vaihtelun hävikki on verrannollinen suoritusarvon poikkeaman neliöön sen tavoitearvosta. Kaikki poikkeamat tuotteen suoritusarvon tavoitearvosta aiheuttavat kustannuksia asiakkaille. Taguchin kehittämä kaava tunnetaan nimeltä *Quality Loss Function*:

$$L(y)=k(y - t)^2$$

L= kokonaislaatukustannus

y= mitattu arvo

k= kerroin, esim. sisäinen virhekustannus

T=tavoitearvo

Tämän mukaan kokonaislaatukustannukset nousevat eksponentiaalisesti, kun hajonta tuotteen valmistusprosessissa lisääntyy.

5. Tuotteen suunnittelu ja valmistusprosessit määräävät tuotteen kustannukset ja vaihtelun pienuuden(lopullinen laatu). Tuotteissa oleva vaihtelu voi olla kotoisin kolmesta eri lähteestä: ympäristöstä, tuotteen vanhenemisesta tai tuotteen valmistuksesta.
6. Tuotteen tai prosessin suoritusarvojen vaihtelua voidaan pienentää käyttämällä hyväksi tuotteen tai prosessin arvojen epälineaarisia ominaisuuksia. Tällöin vaihtelu tukahdutetaan epälineaarisuudella.

7. Tuotteen tai prosessin parametrien tunnistamiseen voidaan käyttää tilastollisesti suunniteltuja koejärjestelyjä silloin kun pienennetään ominaisarvojen vaihtelua. Tällöin voidaan käyttää apuna erilaisia ortogonaalimatriiseja, lineaarikuvaajia, ja signaali-kohinasuhteita.

Taguchin ajattelulla on pääpaino kokeellisessa suunnittelussa, jonka kautta voidaan tehdä tuotteista ja prosesseista vahvoja erilaisia häiriöitä vastaan. (Järvinen ym.2001; Karjalainen 1990.)

## 2.5 Laatumuutokset yleisellä tasolla

Yleisemmällä tasolla laatumuutoksia selvitellessä jaetaan muutokset yleisesti neljään eri ryhmään:

1. Ennalta ehkäisevän toiminnan muutokset
2. Tarkastustoiminnan muutokset
3. Sisäiset virhemuutokset
4. Ulkoiset virhemuutokset

Näistä kaksi ensimmäistä luokkaa ovat panostuksia tavoitellun laadun aikaansaamiseksi ja loput kaksi luokkaa ovat muutoksia jotka aiheutuvat huonosta laadusta. Ennaltaehkäisevän toiminnan muutokset muodostuvat :

- laatumuutoksen kehittämisestä ja ylläpidosta
- tuotannon aloittamista edeltävästä toiminnasta
- valmistusedellytysten selvittämisestä
- laaduntarkastusjärjestelmän laatimisesta
- toimittajien ja alihankkijoiden arvioinnista
- laadunohjauksesta ja laadunohjauksen johtamisesta
- laatumuutoksista
- laadunohjaustoiminnan johtamisesta
- koulutuksesta ja laatumuutosten tiedosta

Nämä toiminnot ovat pääsääntöisesti kiinteiden toimihenkilöiden palkkoja sosiaalikulunnuksineen. Nämä kulut näkyvät kirjanpidossa yleensä yhtenä kokonaissummana. Nämä kulut voidaan jakaa esimerkiksi käytettyjen tuntien perusteella.

Tarkastustoiminnan kustannukset koostuvat:

- vastaanottotarkastuksista
- valmistuotetarkastuksista
- lopputarkastuksista
- asennusten tarkastuksista
- laadun arvostelusta
- erikoistarkastuksista

Tarkastustoiminnan kustannukset ovat helpompia saada selville kuin ennaltaehkäisevien toimintojen kustannukset. Vastaanotto, valmistuote ja lopputarkastuksia suorittavat yleensä tehtäviin nimetyt ja koulutetut henkilöt. Laadun arvostelukustannukset ovat yleensä vähäisiä, koska niitä suorittavat muutenkin laadun kehittämisestä vastuussa olevat henkilöt.

Sisäiset virhekustannukset ovat kustannuksia jotka aiheutuvat:

- hylkäyksestä ja romutuksesta
- korjaus ja uusintatöistä
- arvon vähennyksestä
- uusintatarkastuksista
- lajittelusta
- virheiden analysoinnista
- ylituotannosta

Nämä kustannukset ovat huonon laadun kustannuksia joita yrityksissä on perinteisesti seurattu. Nämä kustannukset havaitaan ennen tuotteen toimittamista asiakkaille.

Ulkoisia kustannuksia ovat kustannukset joita syntyy tuotteen tai palvelun toimituksen jälkeen. Yleisimpiä tällaisia kustannuksia ovat reklamaatiot, palautukset, romutus ja takuukustannukset. Nämä kustannukset ovat helppoja löytää kirjanpidosta, koska ne yleensä kirjataan omille tileilleen. (Lipponen 1998, 40-43.)

## 2.6 Laadunparannuskohteiden valinta

Laatukustannusten selvittämisen jälkeen valitaan ongelmat joita kehitetään. Valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat taloudellinen vaikutus ja strategiset vaikutukset. Eli mikä on rahallinen vaikutus ja kuinka ongelman poistaminen tukee yrityksen päämääriä.

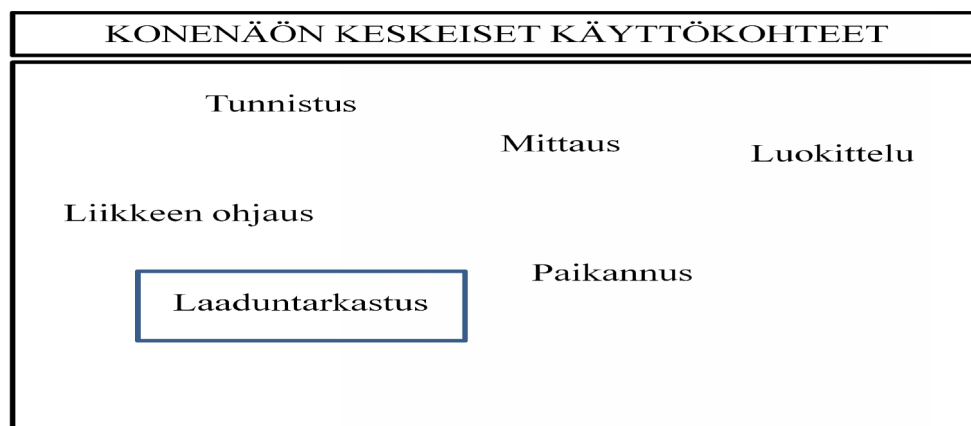
Parannustoimenpiteiden luonne, laajuus ja helppous. Osa ongelmista voidaan poistaa pienillä muutoksilla ja erilaisilla kannustimilla. On myös ongelmia jotka vaativat poistukseen investointeja. Kaikkia ongelmia ei voida välttämättä poistaa ollenkaan. Isoihin projekteihin lähdetessä on tärkeää tarkastella löytyykö yrityksestä voimavaroja ja tietoa projektiin.

Parannustoimenpiteillä saavutettava hyöty ja hyödyn pysyvyys. Laadunparannusinvestoinneille on pystyttävä tekemään investointilaskelmat. Laskelmissa on pystyttävä vertaamaan saavutettua hyötyä investoinnin kustannuksiin verrattuna. Isoissa yrityksissä voi olla menossa projekteja jotka koskettavat samoja ongelma-aloja. Tällöin ei kannata aloittaa laadunparannustoimenpiteitä alueelle jossa on jo käynnissä jokin toinen kehitysprojekti. (Järvinen ym. 2001, 56-57.)

### 3 KONENÄKÖ

#### 3.1 Konenäköjärjestelmä yleisesti

Konenäkö on käsitteenä hyvin laaja. Kuvio 4 selventää konenäön käyttöä. Konenäköä käytetään tunnistukseen, liikkeiden ohjaukseen, paikantamiseen, mittaamiseen, luokitteluun, sekä tarkastustehtäviin.

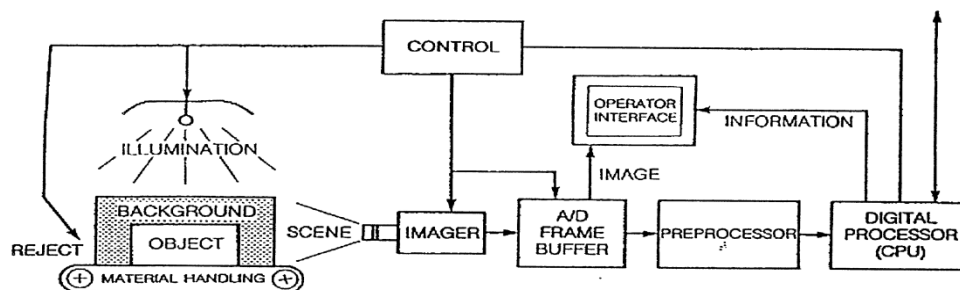


KUVIO 4. Konenäön keskeiset käyttökohteet

Konenäkö on koneellinen ihmisen silmää vastaava aisti. Se on laitteistojen käyttöä optiseen ja ilman kosketusta tapahtuvaan havainnointiin. Kohteista vastaanotetaan ja tulkitaan automaattisesti kuvamateriaalia. Tavoitteena on saada tietokone ymmärtämään kuvatun materiaalin sisältö. Konenäköä käytetään tunnistukseen, ohjaukseen, tarkastustehtäviin, mittaukseen, paikannukseen sekä luokitteluun. Konenäön kannalta on erittäin tärkeää luoda kuvaamiselle suotuisat suhteet. Käytännössä tämä tarkoittaa oikeita valintoja kameroiden, valaistuksen, taustan ja käytettävien suurennuksien suhteen. (Suomi 1992.)



Kuvien tulkinta tapahtuu sovittamalla kuvan rakenteeseen ennalta tunnettujen kohteiden malleja ja tällä tavoin on mahdollista saada selville mitä kuva sisältää. Konenäköjärjestelmissä käsiteltävä tieto on rasterin pisteitä, pikseleitä tai kaksiulotteisen matriisin lukuja, nämä edustavat tietyistä paikasta tiettyyn mitattua valoisuutta ts. valon intensiteettiä. Konenäkö komponenttien hinnat ovat tekniikan kehittyessä tulleet viime vuosina huimasti alaspäin. Konenäkö pääsee parhaiten oikeuksiin sellaisissa tehtävissä, joissa ihmistä ei voida käyttää tai sen avulla päästää hyvin tuottavuuden ja laadun parannuksiin (Ruuti 2002, 3.) Konenäköjärjestelmä on yleensä kokoonpano, joka koostuu kuvanmuodostuksesta eli kamerasta, kuvankaappauksesta, kuvan käsittelystä, ohjausjärjestelmästä, sekä valonlähteestä.



KUVIO 5. Konenäköjärjestelmän yleinen rakenne. (Suomi 1992, 43.)

Kuviossa 5 on yleinen konenäköjärjestelmän kokoonpano. Kuvan muodostamiseen käytetään yleensä CCD = charge coupled device tekniikalla tai CMOS = Complementary Metal-Oxide-Silicon tekniikalla varustettuja kameroita. Kamerrat voivat olla joko väri tai mustavalkokameroita, käyttötarkoituksesta riippuen. (Suomi 1992; Ruuti 2002.)

### 3.2 Konenäköprosessin vaiheet yksinkertaistettuna

Kaksiulotteisen konenäköprosessin vaiheet yksinkertaistettuna menevät seuraavasti:

- Kuvan muodostus
- Esikäsitteily
- Segmentointi

## Sisällön kuvauksen muodostus

Sovitus, tässä verrataan opetettuja malleja sisällön kuvaukseen

### Tunnistus

Kuva muodostetaan yleensä kameralla, hyvin järjestetyissä valaistusolosuhteissa. Digi-  
toiduissa kuvissa on eri sovelluksista riippuen eri määrä kuvapisteitä. Useasti käytetään  
harmaasävykuvia, näiden sävyasteikko kvantisoidaan 256 tasoon. Värikuvissa käytetään  
yleisesti pisteen värin määrittämisessä  $3 \times 256$  kvantisointitasoa jokaista värinosaa kohden.

Esikäsittelyssä kuvaa muokataan digitaalisen kuvankäsittelyn menetelmillä analyysin kan-  
nalta selkeimpään muotoon. Kuvaa voidaan muovata esimerkiksi niin että ulkoisten teki-  
jöiden vaikutus ja vaihtelut eivät vaikuta liikaa lopputulokseen. Yleensä kuvasta suodate-  
taan pois kohinaa ja analyysiä häiritseviä sävynvaihteluja, monesti myös korostetaan halut-  
tuja kohteita paremmin näkyville.

Segmentoinnissa on tavoitteena erottaa kohteet ja kohteiden osat toisistaan. Käytössä on  
yleensä kaksi erilaista menetelmää: aluepohjaisilla menetelmillä kuva jaetaan harmaasävy-  
jen, värien tai muiden ominaisuuksien perusteella homogeenisiin alueisiin. Reunanil-  
maisissa kuvista etsitään jyrkkiä sävymuutoskohteita eli erilaisten alueiden reunoja. Ylei-  
sesti segmentointi on kuva-analyysin onnistumisen kannalta kriittisin vaihe. Huonolla  
segmentoinnilla voidaan analyysin teko saada jopa mahdottomaksi.

Sisällön kuvauksen muodostamisessa lasketaan segmentoitujen alueiden ominaisuuksia ja  
piirteitä, näiden perusteella voidaan erilaisia kohteita erotella toisistaan. Alueiden ominai-  
suuksia ovat esimerkiksi muodot, tekstuurit ja värit. Kohteen rakenteen kuvauksessa tarvi-  
taan lisäksi tietoa alueiden keskinäisistä relaatioista. Rakenteita kuvataan yleensä semantti-  
sillä verkoilla, joissa solmut ovat reunoja ja linkit keskinäisiä riippuvuuksia.

Sovituksessa edellä muodostettuja kuvauksia verrataan etukäteen opetettuihin malleihin ja  
tätä kautta tunnistamaan kuvissa esiintyviä kohteita tai etsimään poikkeamia malliin verrat-  
tuna. Yleensä kohteet rakentuvat useista alueista tai reunasegmenteistä, tällöin käytetään  
rakenteellista hahmontunnistusmenetelmää ja siinä usein semanttisten verkkojen sovitusta.  
Tunnistuksessa on kyse täsmäviivien verkkojen etsimisestä etukäteen järjestelmälle opetettu-

jen malliverkkojen ja kohteista luotujen usein piirteiltään paljonkin poikkeavien verkkojen välillä. (Hyvönen, Karanta & Syrjänen 1993.)

### **3.3 Yleistä valaistuksesta**

Valaistuksen oikea toteutus on hyvin tärkeä osa luotettavaa ja toimivaa konenäköjärjestelmää. Nyrkkisääntönä voidaan pitää että valaistuksen merkitys näköjärjestelmästä on 50%. Valaistuksen on oltava riittävä ja mahdollisimman tasainen. Sen on katettava koko kuvausalue. Ulkoisten muuttuvien varjojen ja päivänvalon vaikutus järjestelmään olisi mahdollisuuksien mukaan poistettava. (Kuivanen 1999,57.) Valo on aaltoliikettä jolla on tietty aallonpituus, ihminen näkee aallonpituusalueen 480 nm-780 nm. Värisävyt sininen, keltainen, vihreä ja punainen muodostuvat eri aallonpituuksista. Valkoinen valo sisältää kaikkia aallonpituuksia. Värit syntyvät silloin kun kappale imee itseensä erilaisia aallonpituusalueita ja heijastaa loput pois. Ihminen ja konenäkösensorit havaitsevat juuri nämä takaisin heijastumat.

Valaistukseen vaikuttavia tekijöitä ovat kohteen materiaali, heijastuskyky ja alueen koko. Valaistustaajuuden on oltava vähintään viisinkertainen kuvaustaajuuteen nähden, tällä estetään kuvan välkkyminen. Järjestelmän herkkyys ja käytetyn objektin koko vaikuttavat myös oleellisesti siihen millainen valaistus pitää rakentaa. Konenäköjärjestelmissä pyritään käyttämään mahdollisimman paljon valoa, jolloin ulkoapäin tulevan valon vaikutus saadaan minimoitua. Objektiivin valitaan pieni valotusaukko, jonka vaikutuksesta syvyysterävyys paranee. Suljinaika valitaan mahdollisimman lyhyeksi, tällä eliminoidaan mahdolliset kuvan tärinät. Kamera kannattaa sijoittaa mieluummin kohteesta liian kauas, kuin että liian lähelle, näin saadaan optiset vääristymät mahdollisimman vähäisiksi. (Omron vision CD 2002.)

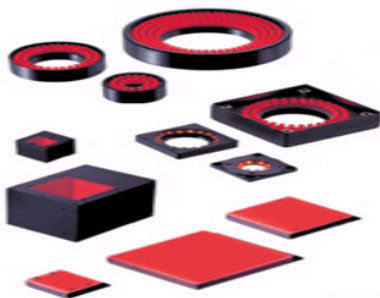
### 3.4 Fluoresoivat valaisimet ja Led – valaisimet

Fluoresoivat valonlähteet, esimerkiksi loisteputket kuviossa 6 ovat eniten käytettyjä valonlähteitä. Ne ovat halpoja ja pitkäikäisiä. Muodoltaan ne ovat rajoitettuja ja niillä voidaan valaista suuriakin kohteita. Normaalit loisteputket ovat taajuudeltaan 50Hz, konenäkösovelluksissa käytetään huomattavasti korkeampia taajuuksia loisteputkissa esimerkiksi 30 KHz, tällä pyritään poistamaan kuvan huojuntaa. Yleensä loisteputkia käytetään vastavalosovelluksissa.



KUVIO 6. Fluoresoiva valaisin (Beijer electronics 2008.)

Led valonlähteet ovat usein paras vaihtoehto konenäköjärjestelmiin. Kuviossa 7 käy hyvin ilmi, että ledejä on saatavilla monen muotoisia, värisiä ja kokoisia.



KUVIO 7. Led-tekniikalla toteutettuja valaisimia. (Beijer electronics 2008.)

Ledejen hankintakustannus on kallis, mutta sitä kompensoi ledejen pitkä käyttöikä joka voi olla jopa yli 50 000 tuntia.

### 3.5 Muut valaisimet

Halogeenivalaisimet ovat erittäin kestäviä ja tehokkaita, niitä on saatavilla yli 1500w tehoisinakin. Halogeenivalaisimet sopivat hyvin kappaleiden pintojen valaisemiseen. Haittapuolena halogeeneissa on niiden hankintahinta.

Kuituvalaisimilla voidaan valaista kohteiden vaikeita paikkoja, kuituvalaisimiin on saatavilla monen mallisia päitä. Kuituvalaisin mattoa käytetään usein taustavalaisuun. Etuna kuituvalaisimissa on se, että ne eivät kuumenna kuvattavaa kohdetta.

Strobo - valaistusta kuviossa 8 käytetään nopeissa sovelluksissa, joissa kuvattava kohde halutaan pysäyttää kuvauksen ajaksi.



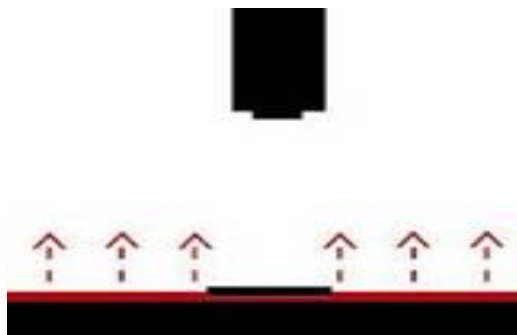
KUVIO 8. Strobovalaisin (Parameter 2010.)

Strobovalon haittapuolena on sen tahdistaminen kameran kanssa. Strobo -valaisimilla on myös varsin lyhyt käyttöikä

Lisäksi on olemassa joukko erilaisia röntgen, ultravioletti, infrapuna ja laser valaisimia sovellusten ja erilaisten kameroiden tarpeen mukaan.

### 3.6 Erilaiset valaistustekniikat

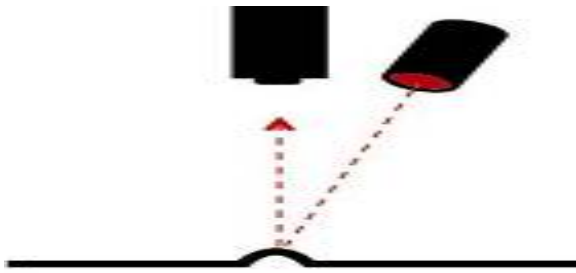
**Taustavalaistus** voidaan järjestää joko hajautetulla, suunnatulla tai rajatulla valaistuksella. Suunnattua taustavalaistusta käytettäessä kuvio 9, saadaan aikaan iso kontrastiero kappaleen ja taustan välille on järkevää käyttää taustavalaistusta. Taustavalaistuksessa valonlähde laitetaan kappaleen alle, tällöin kappaleesta muodostuu varjokuva. Taustavalaistuksella saadaan kappaleiden reunat hyvin esille. Taustavalaistusta käytetään yleensä kun halutaan tutkia kappaleiden pinta-aloja, reikien ja aukkojen mittoja tai reunojen tasaisuutta. Hajautetulla taustavalaistuksella saadaan aikaan vielä suurempi kontrastiero kuin suunnatulla taustavalaistuksella. Hajautetussa valaistuksessa käytetään yleensä valoa ja diffusaattoria jolla saadaan valo hajautettua tasaisesti. Rajatussa taustavalaistuksessa tarkastelun kohde näkyy mustana, koska taustavalaistukseen asennetaan musta kappaleen muotoinen maski. Tällöin saadaan kappaleen epäjatkuvuudet hyvin esille. Rajattua taustavalaistusta käytetään yleensä tilanteissa, joissa halutaan korostaa kappaleiden reunoja, pieniä hiukkasia ja pintavaurioita kuten esimerkiksi naarmuja. (Omron vision CD 2002.)



KUVIO 9. Suunnattu taustavalaistus (Beijer electronics 2008.)

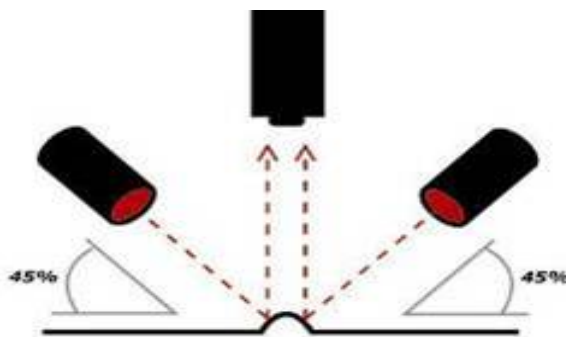
**Suorakohdevalaistus** kuviossa 10 on yleisimmin käytetty valaisumuoto. Valo pyritään saamaan tulemaan mahdollisimman suoraan ja tasaisesti kappaleesta kameraa kohti. Suorassa valaistuksessa, joudutaan yleensä käyttämään useampia valonlähteitä, jotta koko kappale saadaan valaistua kokonaan. Useamman valonlähteen käytöllä saadaan kuvattavas-

ta kohteesta poistettua varjot ja heijastavat kohdat. Hyvää kontrastia haettaessa käytetään apuna hajaheijastavia peilejä. Suoraa kohdevalaistusta käytetään esimerkiksi tuotteiden laskemiseen, paikoituksen tarkistamiseen ja leimojen tarkkailuun.



KUVIO 10. Kohdevalaistus (Beijer electronics 2008.)

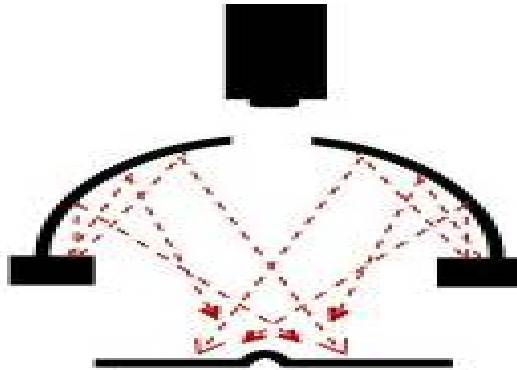
**Pienikulmaisella valaistuksella** kuviossa 11 tuodaan kappaleen pinnan epätasaisuudet hyvin esille. Siinä valo tuodaan hyvin loivassa kulmassa tarkasteltavan kappaleen pintaan. Tällöin valo korostaa kohteen pinnassa olevia epätasaisuuksia. Tätä menetelmää käytetäänkin esimerkiksi kappaleiden pintojen tasaisuuden tutkimisessa.



KUVIO 11. Pienikulmainen valaistus. (Beijer electronics 2008.)

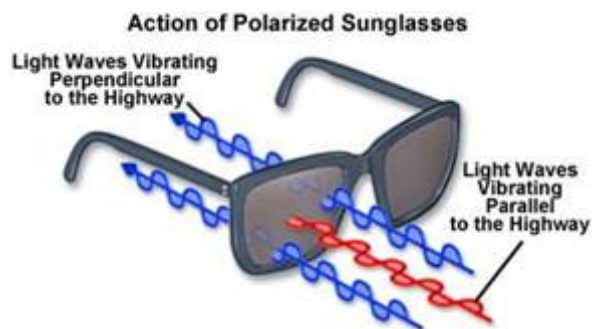
**Diffusoivalla kupolivalaistuksella** kuvio 12 saadaan poistettua suorat heijastukset kameran näelmästä, kameralle kuva muodostuu tällöin diffuusin heijastuksen kautta. Erilaisilla

kupolin muodoilla voidaan vaikuttaa mitä kohtaa kappaleesta halutaan korostaa. Lisäksi kupolin kautta heijastettu valo leviää kuvattavaan kohteeseen tasaisesti. Diffuusoiva kupolivalaistus käytetään kuvattaessa heijastavia ja kiiltäviä pintoja esimerkiksi kiillotettuja metallipintoja ja lasia.



KUVIO 12. Diffuusoiva kupolivalaistus (Beijer electronics 2008.)

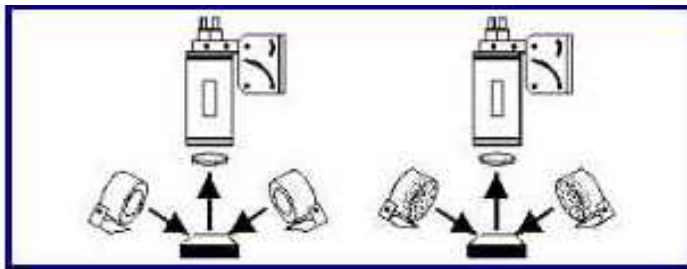
**Polarisoidussa valaistuksessa** kuvio 13 valon suodattamiseen käytetään samaa periaatetta kuin aurinkolaseissa. Polarisoivalla suodattimella saadaan suodatettua pois valon heijastuneet komponentit. Kameran eteen asennetaan suodatin ja kohdetta valaistetaan polarisoidulla valaistuksella. Tämä tekniikka vaatii paljon valotehoa. Ristiin polarisoinnilla saadaan hankittua tietoa läpikuultavista optisesti aktiivisista materiaaleista.( Omron vision CD 2002.)



KUVIO 13. Polarisoidun valaistuksen suodattamisen periaate. (Beijer electronics 2008.)

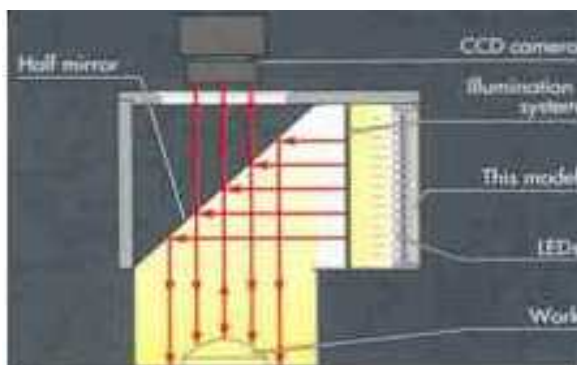


**Värisuodatetulla valaistuksella** kuvio 14 saadaan harmaasävykuvissa värien erottelua parannettua. Sopivia suodattimia käyttämällä saadaan halutut värit näkymään vaaleina ja toiset värit tummina. Esimerkiksi käyttämällä punaista suodinta saadaan kontrastia valkoisen ja vihreän värien välille. Sinisellä suotimella saadaan aikaiseksi kontrastia punaisen ja vaalean välille, sekä vaalean ja keltaisen välillä. Laser tai Led - valaisimia käyttämällä saadaan sopivalla suotimella suodatettua ympäristön valo pois.



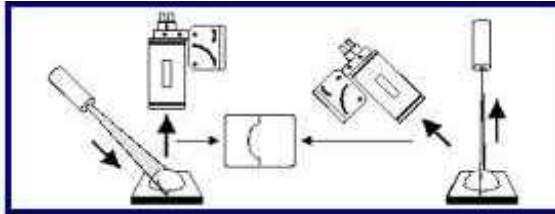
KUVIO 14. Värisuodatettu valaistus (Omron vision CD 2002.)

**Koaksiaalisella valaistuksella** kuviossa 15 valo saadaan tulemaan kameran suunnasta. Valo heijastetaan puoliläpäisevien peilien avulla. Tällaisen valaistuksen käyttökohteita ovat yleensä sovellukset, joissa tarkastellaan syviä kuoppia. Tämän tyyppinen valaistus on silloin kuvaamisen kannalta välttämätön kuvaamista häiritsevien varjojen poistamiseksi. Esimerkiksi kaiverretun tekstin kuvaaminen kohteesta onnistuu tällaisella valaistuksella.



KUVIO 15. Koaksiaalinen valaistus.(Omron vision CD 2002.)

**Valojuovavalaistuksella** kuvio 16 luodaan viivamainen valaistus kuvattavaan kohteeseen. Tällä valaistustyyppillä saadaan kohteen pinnanmuodostus esille. Tämän tyyppistä valaistusta käytetään esimerkiksi kaarevien muotojen tarkistamisessa ja levyjen kappalemäärien tarkastuksesta erilaisista pinoista.(Omron vision CD 2002.)



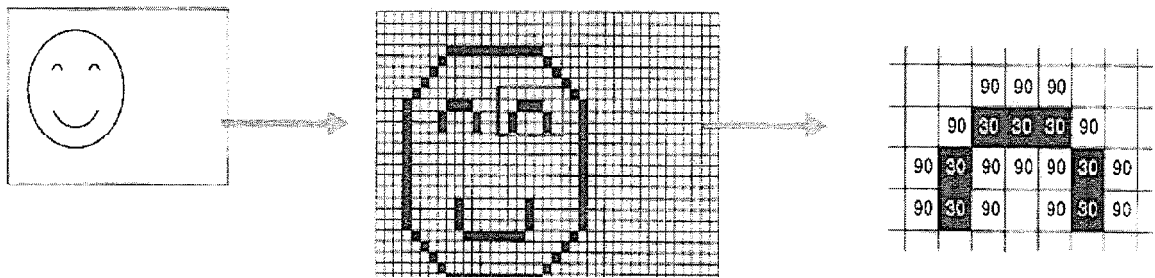
KUVIO 16. Valojuovavalaistus.(Omron vision CD 2002.)

### 3.7 Kamerat

Kamerat voidaan jaotella eri ryhmiin niiden toimintaperiaatteen ja niissä käytettävän tekniikan perusteella. Rivikameroissa käytetään yksirivistä kennoa. Tällöin kuvasta muodostuu pikselin korkuinen, kuvan leveys on riippuvainen kennon pituudesta.

Matriisikamerassa kenno sisältää pysty- että leveyssuunnassa tietyn määrän pikseleitä. Pikseli on pienin osa digitaalista kuvaa, se ilmoitetaan kameroissa resoluutiona. Esimerkiksi kuva-alue jossa resoluutiona käytetään 640 x 480, ilmoitetaan kennoissa 0,3 megapikseliksi. Jokainen pikseli sisältää paikkatiedon ja intensiteettitason. Paikkatieto koostuu rivi ja sarake tiedoista.

Kameroita on myös saatavilla mustavalkotekniikalla tai värikuvatekniikalla. Intensiteettitieto koostuu mustavalkokuvissa harmaasävyasteikon arvoista. Käytettäessä 8-bittistä AD-muunninta saadaan harmaasävy asteikkoon 256 erilaista sävyä eli arvoa. Kuvio 17 havainnollistaa sävyjen ja arvojen yhtenäisyyttä.



KUVIO 17. Kuvan muodostuminen pikseleistä. (Prusi 2010.)

Värikuvissa intensiteetti arvo kerrotaan usein RGB arvona. RGB arvo kertoo punaisen, vihreän ja sinisen värin osuuden arvoina. Esimerkiksi jos näiden värien osuuden skaala on 0- 255, tällöin jos jokainen väri saa arvoksi 255 on kyseessä valkoinen väri. TV- järjestelmät perustuvat RGB määrittelyyn. Värikamera on tekniikaltaan mustavalkokameraa monimutkaisempi. Värikameroissa käytetään objektiivin jälkeen valoa taittavaa prismaa, joka taittaa valot aallonpituuksien mukaan kolmelle erilliselle kennolle. Kennoilta saatavat bitit yhdistelemällä saadaan pikseleitä, joiden väri koostuu kolmen osavärin summasta.

Usein nykyisissä konenäköjärjestelmissä käytetään CCD -kennoja.(Charge Coupled Device). CCD-kenno on kamerassa optiikan takana oleva mikrosiru, joka muuntaa valon tehon digitaaliseen muotoon pikseleiden arvoiksi. Kenno koostuu kahdentyyppisistä fotodiodeista parillisista ja parittomista. Kuvaustilanteessa fotodiodit reagoivat kohteesta tulevaan valoon ja ne muodostavat sähköjännitteitä. Fotodiodien jännite muunnetaan biteiksi. Kuva muodostetaan yhdistämällä nämä bitit toisiinsa.

Interlaced- kameroissa parillisten ja parittomien fotodien tiedot luetaan eriaikaan. Tästä johtuen tämän tyyppin kameroilla ei voida ottaa kuvia liikkuvista kohteista. Kamera on myös pidettävä paikallaan kuvauksen ajan. Kameran liikahtaessa kuvasta tulee epätarkka.

Progressive Scan-tyyppisillä kameroilla fotodiodien tilat luetaan yhtä aikaa, jolloin on mahdollista kuvata liikkuvaa kohdetta tai siirtää kameraa kuvauksen aikana. Tämä kamera-tyyppi on hankintakustannukseltaan interlaced – kameraa kalliimpi.

Nykyisissä konenäkösovelluksissa käytetään usein mustavalkokameraa. Mustavalkokameralla saatu informaatio kuvattavasta kohteesta on usein tarkempaa, kuin värikameralla saa-

tu. Tämä johtuu siitä että värikameratekniikalla yhden pisteen tieto on hajautettu kolmelle eri kennolle. Mustavalkokamera tekniikassa tieto löytyy yhdeltä kennolta. Tästä johtuen kuvatiedon käsittely on mustavalkotekniikalla nopeampaa. Värikameroita käytetään yleensä silloin kun sovelluksissa halutaan tunnistaa värejä.(Beijer electronics 2008; Koskela 2000; Ruuti 2002.)

Uusin suuntaus markkinoilla on kuviossa 18 oleva älykamera. Älykameroissa on kompaktissa koossa koko konenäköjärjestelmä. Älykamerat koostuvat kamerasta, keskusyksiköstä kuvankäsittelyineen sekä näytöstä. Näiden kameroiden käyttäminen erilaisissa konenäkösovelluksissa on yleistänyt ja älykameroiden hankintahinnat ovat tipahtaneet alaspäin. Varjopuolena älykameroissa voidaan pitää laajennettavuutta ja rajallista muistin kapasiteettia. Älykamerat ovat yleensä koteloitu valmiiksi vastaamaan teollisuusolosuhteita ja niistä löytyy RS- sarjaliikenne yhteydet, ethernet eli lähiverkkoliitäntä, sekä I/O liittymät. Älykameroita on saatavana 0,3 megapikselin kennoista aina viiden megapikselin kennokokoihin saakka.



KUVIO 18. Älykamerajärjestelmän kamera (Beijer electronics 2008.)

Älykameroiden ohjelmistoista löytyy valmiiksi rakennettuja työkaluja esimerkiksi kuvan suodatukseen, kappaleiden pinta-alojen ja massakeskipisteiden mittaukseen, reunanetsintään ja värien tunnistukseen. Kameroita yhteen keskusyksikköön voidaan keskusyksikön tyyppistä riippuen asentaa yhdestä neljään kappaletta, lisäksi keskusyksikköjä voidaan liittää yhteen ja saada esimerkiksi tuotannon prosessin eri konenäköjärjestelmät keskustelemaan keskenään. Etuna älykameroissa on niiden suhteellisen helppo ohjelmointi.

### 3.8 Optiikka

Optiikan valinnalla on keskeinen merkitys konenäköjärjestelmän suunnittelussa, tarkkuudessa ja sen toimivuudessa. Optiikka fokusoii kappaleen kuvan kameran kennolle. Optiikan toimintaa voidaan havainnollistaa yksinkertaisella neulanreikäkamerateorialla. Neulanreikäkamerateoriassa oletetaan, että kameran aukko on kuin neulanreikä, jonka läpi kappaleesta heijastuneet valon säteet kulkevat. Käytännössä aukko on kuitenkin suurempi, jotta kameran kennolle saadaan riittävästi valoa.

Kaiken optisen laskennan perustana on lissiyhtälö. Polttoväli merkitään pienellä  $f$  – kirjaimella. Polttoväli määrää kuvan terävyyden ja se ilmoitetaan yleensä millimetreinä. Polttoväli ( $f$ ) voidaan laskea seuraavan lissiyhtälön mukaan, kun tiedetään kohteen etäisyys linssistä ( $z$ ) ja kuvan etäisyys linssistä ( $z''$ ).

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{z} + \frac{1}{z''}$$

Suurennos voidaan laskea kuvan suhteesta tai seuraavalla kaavalla.

$m$  = suurennos                       $h$  = kohteen korkeus                       $h''$  = kuvan korkeus

$$m = \frac{z''}{z} = \frac{h''}{h}$$

$F$ -luvulla tarkoitetaan linssin polttovälin ( $f$ ) ja linssin tehollisen halkaisijan ( $d$ ) suhdetta

$$F - luku \quad \frac{f}{d}$$

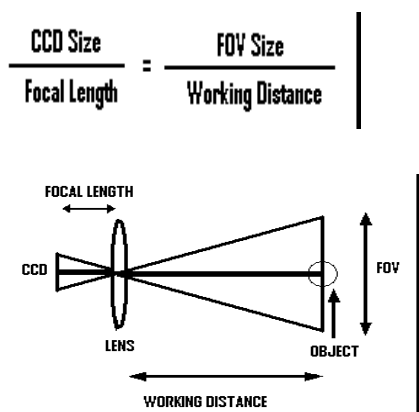
Edellä mainittuja kaavoja käytettäessä on huomioitava, että todellisuudessa linssin fyysinen paksuus vaikuttaa laskentaan, tällöin polttoväli, kohteen ja kuvan etäisyydet pitää laskea linssin määräävistä pisteistä, eikä keskipisteestä.

Kuvan spatiaaliresoluutio eli näytteistystaajuus (pikseliä/mm), kertoo kuinka tarkka kuvasta saadaan. Mitä enemmän kuvassa on pikseleitä, sitä tarkempi kuvasta tulee. Oletetaan että kuvassa pikseleiden välistä tilaa kuvataan symbolilla  $\Delta$ . Tällöin resoluution rajaksi muodostuu  $\frac{1}{2\Delta}$ , koska asioiden erottamiseksi kuvasta tarvitaan vähintään yksi pikseli väliin erottamaan tekijät toisistaan. Resoluutio ilmoitetaan usein kaavalla:

$$RP: \frac{1}{RL} \text{ lines/mm} = \frac{1}{2\Delta} \text{ lines/mm}$$

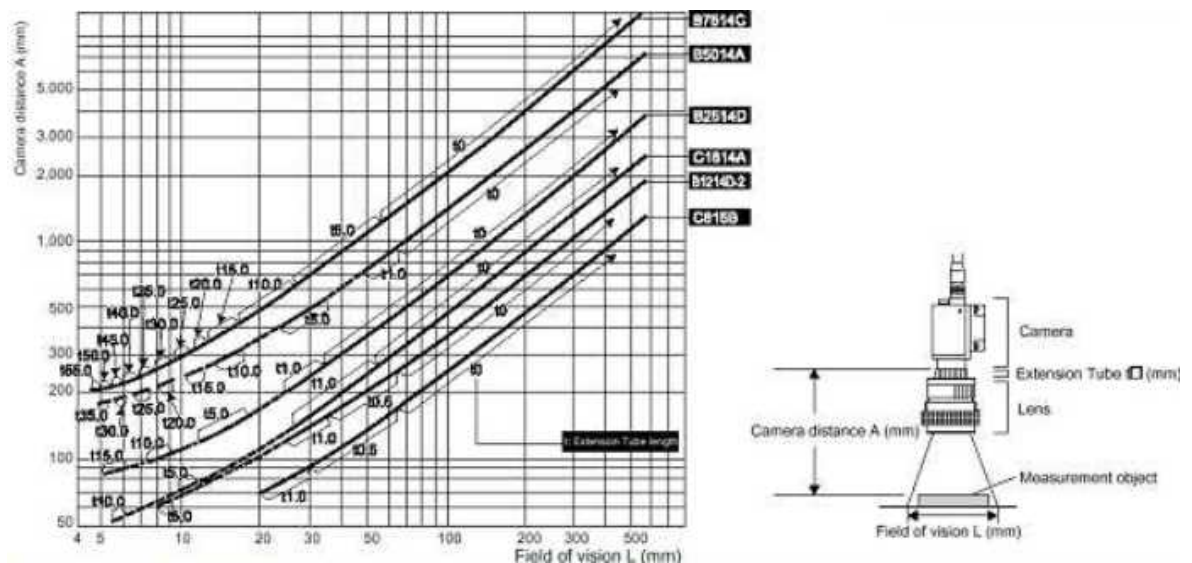
RP tarkoittaa resoluutiota (resolving power) ja RL( resolving power in units of lines) tarkoittaa esimerkiksi digikameroissa photodioidien rivimäärää. Tällöin nähdään suoraan että resoluutioita rajoittava tekijä on photodioidien etäisyydet toisistaan.(Ramesh, Rangachar & Brian 1995.)

Edellä mainittujen laskukaavojen kautta konenäköjärjestelmän optiikan valinnassa keskeisiä tekijöitä ovat kuviossa 19 olevat asiat; kennokoko (CCD Size), polttoväli (Focal length), työskentelyetäisyys (Working distance) ja kuva-alueen koko jonka kamera näkee (FOV Size).



KUVIO 19. Linssin valinnan keskeiset tekijät (Beijer electronics 2008.)

Laskemalla saadaan hyvin peruspohjaa valittaville objektiiveille, mutta usein kokeilemalla erilaisia vaihtoehtoja löydetään paras yhdistelmä. Käytännössä linssien valintaa helpottamaan ovat laitetoimittajat tehneet erilaisia optiikan valinta taulukoita. Kuviossa 20 on Omronin optiikan valintataulukko. Taulukosta voi lukea suoraan millainen objektiivi pitää valita, jos kuva-alueen koko ja kameran etäisyys kappaleesta on tiedossa.



KUVIO 20. Objektiivien valintataulukko. (Omron vision CD 2002.)

Objektiivien lisäksi on olemassa joukko muita optisia komponentteja, kuten kaistasuotimia joilla päästetään läpi vain tietyn aallonpituuden valoa ja näin voidaan estää turhien värien näkyminen kuvassa. Polaroid suotimilla estetään heijastumien pääseminen kameralle. Polaroid suotimien toiminta-ajatuksena on että ne päästävät vain tietyn suuntaiset värähtelevät valon säteet lävitseen. (Omron vision CD 2002.)

### 3.9 Kuvankäsittely ja tiedonsiirto

Digitaalisen kuvan käsittelyyn on olemassa kahden tyyppisiä ratkaisuja. Yleinen tapa on käyttää kuvankaappauskorttia PCI- väylällä ja suorittaa kuvankäsittely PC:n omalla pro-

sensorilla. Toinen tapa on että kamerajärjestelmässä on sulautettu prosessori kuvankaappaukseen ja käsittelyä varten. Tällöin erillistä PC:tä ei tarvita ja kameraselä ohjelmointi tapahtuu suoraan järjestelmän mukana tulevalta näyttöltä. Sovelluksissa joissa tarvitaan paljon laskentatehoa on erillisen PC:n käyttö lähes välttämätöntä.

Kuvankäsittelyn perustana on joukko monimutkaisia laskenta-algoritmeja. Laskennassa käsitellään erilaisia bittikarttoja ja bittitietoja. Kuvankäsittelyohjelmistoissa on suuria eroja kuvankäsittelyn nopeuden suhteen. Yleensä kalliimmat kuvankäsittelyohjelmistot ovat monipuolisempia ja nopeampia kuin halvemmän hintaluokan ohjelmistot.

Konenäkösovellusten ohjelmistoilla pyritään mallintamaan kuvattavista kohteista tehtävän kannalta tärkeitä erilaisia piirteitä. Tunnistusohjelmistoissa etsitään yleensä kohteiden äärioviivoja tai nurkkapisteitä. Segmentoinnissa ja kuvauksen muodostamisessa haetaan kuvasta kokonaisuuksia. (Koskela 2000, 12-13.)

Reunanhavainnointi perustuu vektorin suuntaisesti laskettujen pikseliarvojen muutoksiin. Sitä käytetään sovelluksissa, joissa halutaan etsiä erisuuntaisia, erivärisiä tai erilaisessa järjestyksessä olevia reunapisteitä. Reunanhavainnointia käytetään esimerkiksi mittaus ja -paikoitus sovelluksissa.

Blob- menetelmällä etsitään kuvasta riittävän saman sävyisten pikseleiden yhteen liittyneitä joukkoja. Tällä menetelmällä saadaan selvitettyä esimerkiksi kuvattavan alueen koko, massakeskipisteen koordinaatit ja reunan pituus. (Prusi 2010.)



## 4 INVESTOINTILASKELMAT JA INVESTOINTI PÄÄTÖKSET

### 4.1 Investointien suunnittelu

Investoinneissa tietty rahasumma sijoitetaan kohtalaisen pitkäksi aikaa tiettyyn kohteeseen. Investointi käsite rajataan koskemaan tiettyä osaa menoista, ja investointeina käsitellään menoja joissa rahamäärät ovat kohtalaisen suuria ja joissa tulon odotusaika on pitkä. Investoinneilla on suuri vaikutus yrityksen tulevaisuuteen, joskus ne jopa saattavat ratkaista suurelta osin yrityksen tulevaisuuden. Useita yrityksiä on kaatunut epäonnistuneiden investointien vaikutuksesta. Investoinnit luovat toiminnalle mahdollisuuden, mutta yleensä pääomista on pulaa. Tällöin niukat resurssit on osattava kohdentaa mahdollisimman järkevästi. (Neilimo & Uusi-Rauva 1999, 199.) Investointi lisää yleensä tuottoja lisäämällä volyyymia. Volyymia voidaan kasvattaa uusien tilojen tai konehankintojen kautta. Volyymia voivat myös lisätä mainoskampanjat ja henkilöstön koulutus. Investoinneilla voidaan myös rationalisoida eli etsiä kustannussäästöjä. Tällöin voidaan hankkia koneita, joiden käyttökustannukset ovat alhaisemmat. (Andersson, Gabrielsson & Ekström 1992, 133.)

Suurissa yrityksissä investointikohteiden etsiminen on jatkuvaa työtä, pienemmissä yhtiöissä yleensä resurssien niukkuus rajoittaa investointi mahdollisuuksia. Investoinnin pitää olla aina yrityksen kannalta kannattava. Investointeja on rahoitus- tai reaali-investointeja. Rahoitusinvestoinnissa sijoitetaan rahoja esimerkiksi obligaatioihin. Reaali-investoinneissa rahat käytetään tuotannontekijöiden ja tulojen hankkimiseen. Uusinvestoinneilla yrityksen pääoma laajenee. Korvausinvestoinnilla korvataan vanhentunutta reaali-pääomaa.

Investoinnin suunnittelu etenee pääsääntöisesti seuraavasti:

1. Heräte investointiin.
2. Investointiongelman ja -tarpeen toteaminen. Mihin asioihin halutaan muutoksia?
3. Tavoitteiden täsmennys.
4. Etsitään ideoita investointiin.
5. Kehitetään ideoita erilaisiksi investointivaihtoehdoiksi.

6. Tehdään erilaisia vaihtoehtolaskelmia, karsitaan ja verrataan vaihtoehtoja.
7. Selvitetään investoinnin pääomatarve ja rahoituskuviot.
8. Suoritetaan riskien tarkastelu.
9. Päätöksen teko.
10. Investointi hankkeen käynnistys ja etenemisen valvonta.

Yleensä laskentatoimen kannalta investoinneissa on ongelmana erilaisten määrällisten ja laadullisten tavoitteiden muuttaminen rahalliseksi arvoksi, koska monesti investointien vaikutukset ulottuvat todella pitkälle tulevaisuuteen.( Neilimo & Uusi-Rauva 1999, 200-201.)

## 4.2 Investointien luokittelu

Investoinnit voidaan luokitella niiden merkitysten perusteella erilaisiin luokkiin, tällöin niille voidaan määrittää tietynlaisia tuotto ja kiireellisyysvaatimuksia. Tuottovaatimukset ovat suuntaa antavia, monesti ne määritellään tapauskohtaisesti. Pakollisissa investoinneissa kuten lakien ja asetusten tai viranomais määräysten täyttämässä ei ole tuotto-odotusta.

- Markkina-aseman turvaamisessa investoinneilla tuotto-odotus on 6 %
- Uusintainvestoinneissa, kuten koneiden korjaus ja uusinta tuottovaatimus on 12 %
- Investointien avulla tapahtuva kustannusten alentaminen, tuottovaatimus 15%
- Tuottojen lisääminen investoimalla, tuottovaatimus 20%
- Uusien alueiden valtaus tai uusien tuotteiden luominen riskillä, tuottovaatimus 25%

On myös olemassa näkemyksiä joiden mukaan näille kaikille investoinneille lukuun ottamatta pakollisia investointeja pitäisi asettaa yhtä korkeat tuottovaatimukset.( Neilimo & Uusi-Rauva 1999, 200 – 204.)

### 4.3 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmä on yksinkertainen investointilaskelma muoto. Menetelmää käytetään usein laskettaessa pieniä investointeja. Tässä menetelmässä vähennetään tulevien vuosien tuotoista investoinnin vuosittaiset käytön kustannukset. Näin saadaan laskettua investoinnin nettotuotto. Jos investoinnin nettotuotto ei ole vakio, selvitetään, monenko vuoden nettotuotot pitää laskea yhteen hankintamenon peittämiseksi. Perus investoinnin hankintakustannus jaetaan vuotuisella nettotuotolla, jolloin saadaan investoinnin takaisinmaksuaika vuosina.

$$\frac{\textit{perusinvestointi}}{\textit{vuotuinen nettotuotto}} = \textit{takaisinmaksuaika}$$

Tämä menetelmä ei huomioi korkokuluja. Yrityksen on itse päätettävä mitä takaisinmaksuaikaa se pitää kannattavana. Usein takaisinmaksuajan on oltava lyhyempi kuin investoinnin pitoajan. Tätä menetelmää käytettäessä on silti tärkeää pitää korkokustannukset mielessä. Takaisinmaksuaika menetelmä kertoo enemmän rahoitus kuin kannattavuus vaikutuksista. (Neilimo & Uusi-Rauva 1999.)

### 4.4 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmällä perusinvestoinnin korot ja kustannukset jaetaan samankokoisiksi eriksi läpi investoinnin pitoajan. Annuiteettitekijän laskemista varten päätetään käytettävä korkokanta ja investoinnin pitoaika. Annuiteettitekijä määritellään seuraavanlaisella kaavalla:  $i(1+i)^n / (1+i)^n - 1$ . Kaavassa pitoaika = n, laskentakorkokanta = i. Investointiin liittyviä riskejä voidaan kompensoida nostamalla hieman laskentakorkoa. Tuotto määritellään jakamalla investoinnin nettotuotto siihen sidotulla keskimääräisellä pääomalla.

Annuiteettitekijän määrittelyn jälkeen saadaan vuotuinen annuiteetti kertomalla annuiteettitekijä perusinvestoinnilla. Investoinnin nettotuotto on silloin positiivinen kun investoinnin tuotot ovat joka vuosi suurempia kuin investoinnin käyttö - ja pääomakustannukset. Ylijäämän vastatessa yrityksen tavoitteita voidaan investointia pitää kannattavana. (Andersson ym.1992.)

#### **4.5 Sisäisen korkokannan menetelmä**

Sisäisen korkokannan menetelmällä saadaan laskemalla selvitettyä korkokanta, jonka mukaan investoinnin nykyarvo on nolla. Ensin määritellään minkä suuruisilla pääomakustannuksilla investointi saadaan vuosittain katettua. Seuraavaksi saatu pääomakustannus jaetaan perusinvestoinnilla. Tulokseksi saadaan annuiteettitekijä. Annuiteettitekijän muuttamisessa koroksi käytetään yleensä taulukoita, joista nähdään mitä laskennallista korkokantaa annuiteettitekijä vastaa. Investointia voidaan pitää kannattavana silloin kun laskenta-korkokanta ylittää yrityksen tuottovaatimuksen. Investointi voidaan myös jakaa vuotuisella pääomakustannuksella. Tällöin saadaan selville vuosittain toteutuvien summien nykyarvotekijä. (Andersson ym.1992.)

Pääoman tuottoasteen laskeminen on yksinkertaistettu menetelmä sisäisen korkokannan menetelmästä. Pääoman tuottoaste saadaan jakamalla investoinnin vuotuinen nettotuotto keskimääräisellä investoinnilla. Sisäisen korkokannan menetelmään verrattuna jätetään suoritusten eriaikaisuus pois laskelmista. Suoritusten eriaikaisuuden huomioimisen poisjättämistä voidaan kompensoida ottamalla huomioon poistot. Vaikka tämä menetelmä on yksinkertainen, on se usein kuitenkin riittävän tarkka. Investointeihin liittyy kuitenkin usein niin paljon tiedostamattomia epävarmuustekijöitä ja näin ollen täsmällinen laskenta ei ole aina välttämättä perusteltua. (Neilimo & Uusi-Rauva 1999.)

## 4.6 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmällä laskettaessa kaikki tuotot ja kustannukset diskontataan valitulla laskentakorkokannalla samaan ajankohtaan, yleensä investoinnin hankintahetkeen. Nykyarvomenetelmää käytetään silloin kun investoinnin tuotot ja kulut jakautuvat pitoaikana epätasaisesti. Menetelmä perustuu siihen että tulevaisuudessa olevien tuottojen ja kustannusten arvot ovat vähäisemmät kuin nykyhetkenä. Diskonttaustekijä voidaan laskea laskentakaavalla:  $(1 + i)^n - 1 / i (1 + i)^n$ . Kaavassa pitoaika = n, laskentakorkokanta = i. Kuten huomataan on diskonttaustekijän laskentakaava on käänteinen annuiteettitekijän laskentakaavaan verrattuna. Nykyarvomenetelmän mukaan investointi on kannattava silloin kun nykyarvojen summa on positiivinen. Tällöin investoinnin nettotulot ovat jäännösarvo mukaan luettuna suuremmat kuin investoinnin hankinta menot. Jäännösarvolla tarkoitetaan arvioitua myyntituloa, joka voidaan investoinnin pitoajan loputtua investoinnista saada. (Neilimo & Uusi-Rauva 1999; Andersson ym. 1992.)

## 4.7 Investointilaskelmien epävarmuustekijöitä

Investointilaskelmiin liittyy useita epävarmuustekijöitä: Mikä korko on oikea tulevaisuudessa? Korkotasoa voi muuttua oleellisesti vuosien kuluessa. Tätä voidaan kompensoida lyhentämällä pitoaikaa tai nostamalla laskentakorkoa. Tuottojen ja kulujen arviointi pitkälle tulevaisuuteen on usein vaikein tehtävä investointia suunniteltaessa. Tuotot ovat usein riippuvaisia markkinoista ja kilpailijoiden toimenpiteistä. Kustannukset voivat muuttua yleisen hintatason noustessa. Kustannusten nousun vaikutuksen riskiä voidaan pienentää lyhentämällä pitoaikaa.

Pitoajan määrittelyssäkin on omat ongelmansa ei tiedetä tarkkaan kuinka kauna investoitava tuote kestää esimerkiksi teknisiltä ominaisuuksiltaan tai kuinka nopeasti korvaava teknologia kehittyy ja investointi ei ole enää tarkoituksensa mukainen. Näitä edellä lueteltuja riskitekijöitä ei voida kuitenkaan kokonaan poistaa, on yritettävä rakentaa mahdollisimman

totuudenmukainen kehityksen polku esimerkiksi tekemällä erilaisia laskelmia eri korkotasolla ja erilaisilla pitoajoilla. Tätä kautta voi selvittää korkojen vaikutuksia ja erilaisia kipupisteitä, jolloin investointi ei enää kannata. (Andersson ym.1992.)

## 5 TYÖN SUORITUS

Tässä kappaleessa kerrotaan aluksi tutkimuksessa käytetystä testilaitteistosta ja testiympäristöstä. Tutkimusmenetelmänä käytettiin laboratoriotutkimusta. Tutkimuksessani simuloitiin neljää tärkeintä eri tuotantolinjan vaihetta laadunvarmistuksen näkökannalta. Testasimme konenäkölaitteistoa rikkinäisen tiilen havaitsemiseen, tiilien asemaan muotin runkoon nähden, runkopellin asemaa muotin runkoon nähden, sekä hiekoituksen havaitsemista tiilien saumoissa. Kappaleessa kaksi mainittujen tuotannonlaadukustannusten teorioiden pohjalta nämä edellä mainitut vaiheet osoittautuivat laadun tekemisen kannalta tärkeimmiksi. Jos näissä tuotannon vaiheissa vaihtelut ja virheet saadaan minimoitua, on lopputuloksena laadukas ja virheetön tuote.

### 5.1 Testilaitteiston valintaperusteet ja testiympäristön esittely

Tutkimusosuus suoritettiin Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun Ylivieskan yksikön tuotantotekniikan laboratoriossa. Testilaitteistona tutkimuksessa käytettiin Omron Xpectia-sarjan FZ-SC värikameraa varustettuna FZ-LEH 8 optiikalla. Keskusyksikkönä järjestelmään kuului kosketusnäytöllä varustettu kahden kameran keskusyksikkö FZ – 505. Tämä tekniikka valittiin tutkimukseeni, koska tämä konenäköjärjestelmä edustaa konenäkötekniikan uusinta sukupolvea niistä kamera vaihtoehtoista, joita tuotantotekniikan laboratoriossa oli käytettävissä.

Omronin Xpectia sarjan FZ-SC värikameran resoluutio on 640 X 480 pikseliä, eli kennon kooksi saadaan silloin 0,3 megapikseliä. Omronin Xpectia – tuoteperheessä on saatavilla kameroita aina viiden megapikselin kennokokoihin saakka. Kuviossa 20 on Omronin älykameroita ja ohjelmoitava näyttö.



KUVIO 20. Omron Xpect – sarjan kameroita ja ohjelmoitava näyttö. (Omron 2010.)

Optiikan osalta kameraan valittiin FZ-LEH 8 optiikka, koska se oli toimivin vaihtoehto tarjolla olleista optiikoista. Optiikan valintaa tutkimuksessa rajoitti tutkittavan alueen eli muotin ja siinä olevan elementin koko 1400mm x 700mm, käytettävissämme ei ollut täysin sopivaa optiikkaa noin suurille alueille. Valitsemamme optiikan polttoväli oli 8 mm. Omron - tuoteperheestä löytyy erityyppisiä objektiiveja polttoväliltään 5mm- 100 mm. (Omron vision CD 2002.)

Oikeassa sovelluksessa 5mm polttoväli voisi olla toimivin vaihtoehto laajemman kuva-alueensa ansiosta. Teorian perusteella voidaan todeta, että mitä kauemmaksi samanlaisella kennolla ja optiikalla varustettu kamera viedään kuvattavasta kohteesta, sitä suurempia ovat pikselit, joista kuva muodostuu, tällöin mittaustarkkuus huononee. (Beijer electronics 2008; Omron vision CD 2002.) Tarkkuutta parannetaan tällöin valitsemalla korkeampi resoluutioisen kennon omaava kamera, esimerkiksi kahden megapikselin kennolla varustettu FZ – SC2M tai lisätään samaa kohdetta kuvaamaan useampia kameroita.

Valaistuksena testiympäristössämme olivat normaalit 50 Hz loisteputket katossa. Valaistusta ei saatu toimimaan testin alussa ollenkaan, laboratorion ikkunoista tulviva päivänvalo toi liikaa vaihtelua laitteiston testaukseen. Valaistukseen lisättiin 300 watin halogeeni koh-tisuoraksi valaistukseksi ja tilanne helpottui hieman, mutta ongelma ei poistunut kokonaan kuvio 21. Konenäköteorian mukaan riittävä kohteeseen tuotu valo kompensoi sivusta tulevaa valoa. (Omron vision CD 2002.) Valaistus saatiin kuitenkin näin rakennettua niin että konenäön toimivuuden testaaminen tuotteelle oli mahdollista. Sivuväläistusta käytettiin

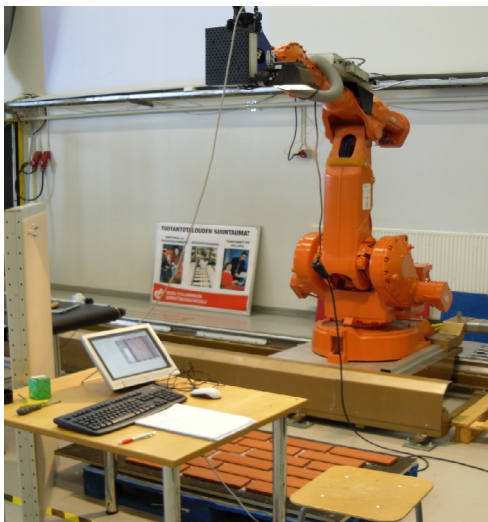


tiilien halkeamien etsimis- sovelluksessa. Tällöin halogeeni suunnattiin 45 asteen kulmassa kuvattavaan kohteeseen.



KUVIO 21. Valaistuksen toteutus.

Tutkimusympäristö kuviossa 22 sisälsi robotin johon kamera ja halogeenivalaisin oli kiinnitetty.



KUVIO 22. Tutkimusympäristö ja tutkittava tuote.

Robotilla on helppo säätää kameran etäisyyttä kohteeseen. Tutkittava kevyttiiliverhouselementti oli suoraan kameran alapuolella. Konenäköjärjestelmän näyttö ja keskusyksikkö olivat kuvattavan kohteen vieressä. Tuotteen alla oli sama muottilevy, jota tuotannossamme käytetään.

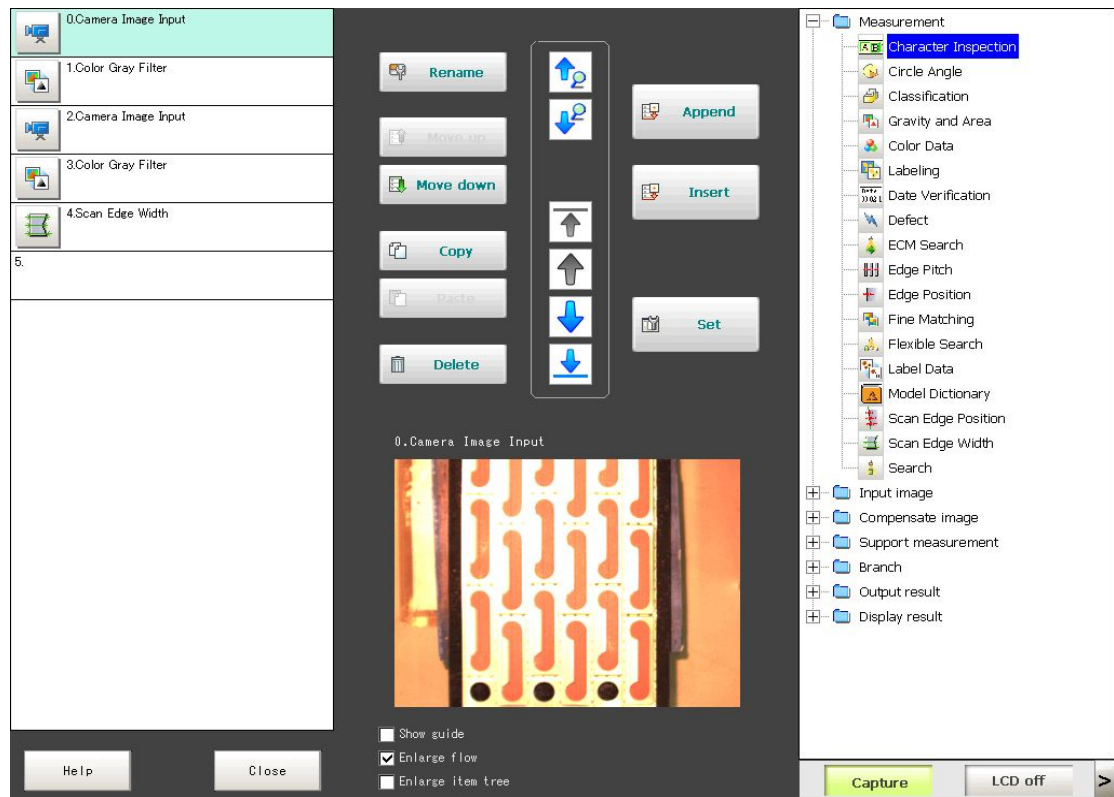
Tutkittava tuote oli kevyttiiliverhouselementti, jonka valmistuksen eri vaiheita ja laatu-  
poikkeamia simuloitiin tekemällä siihen käsin erilaisia laatuvirheitä. Aluksi tiilet ladottiin  
muottiin käsin erityisen sapluunan avulla oikeaan muotoon. Seuraavaksi terran väristen  
tiilien saumat hiekoitettiin tuotannossa käytettävällä R250 - hiekka sirotteella. Kokeen ai-  
kana hiekoitukseen ja tiilien asemointiin tehtiin tahallisia virheitä. Näitä virheitä etsittiin  
sitten konenäköjärjestelmän eri työkalujen avulla. Kameran etäisyyttä kuvattavaan kohtee-  
seen muutettiin tutkimuksessa. Etäisyyden muutoksella haluttiin selvittää kuinka paljon  
kuvausetäisyys vaikuttaa järjestelmän tarkkuuteen.

## **5.2 Testilaitteiston käyttö tutkimuksessa**

Tässä kappaleessa esitellään tutkimuksessa käytetyn laitteen käyttöliittymän rakenne ja  
tutkimuksessa tarvittut järjestelmässä olevat työkalut. Kappaleessa käydään läpi ne järjes-  
telmän keskeiset työkalut, joita tutkimuksen suorittamisessa tarvittiin.

Omronin FZ käyttöliittymä kuvio 23 koostuu kosketusnäytöstä, jolla kamerajärjestelmän  
ohjelmointi suoritetaan. Oikealla puolella sijaitsevat mittaustyökalut joista vasemmalle  
puolella valitaan tilanteen mukaan tarvittavat mittaustyökalut. Käyttöliittymän keskellä  
sijaitsevat työkalut, joilla lisätään ja muutetaan mittaustyökalujen järjestystä.

Käyttöliittymä perustuu ns. Flow -ratkaisuun eli mittausmetodi rakennetaan eräänlaiseksi  
virtauskaavioksi, jota voidaan vapaasti muovata mittaustarpeiden mukaan. Mittauksen kul-  
ku etenee suoraan ylhäältä alaspäin. Tällaisella järjestelmällä voidaan rakentaa hyvinkin  
monimutkaisia mittaus sääntöjä mitattaville kohteille kohtuullisen lyhyellä opiskeluajalla.

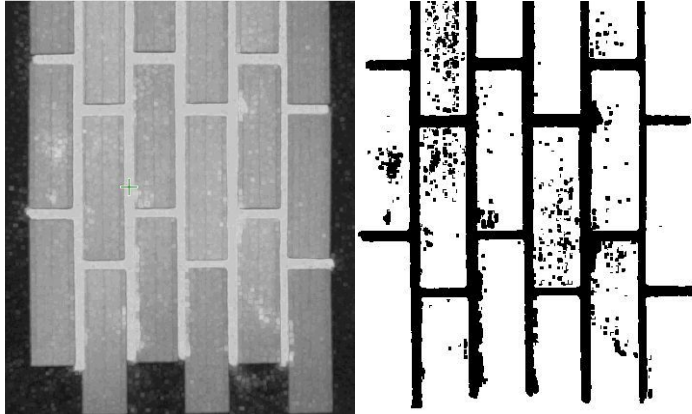


KUVIO 23. Omron FZ -käyttöliittymä.

Mittauspuun rakentaminen lähtee käyntiin kuvalähteen valitsemisesta, kuvaa voidaan syöttää joko kameroilta tai vaihtoehtoisesti voidaan ottaa kuva normaalilla digitaalikameralla ja ladata kuva tiedostoista analysointia varten. Erillisestä valokuvasta mittaamalla voidaan asetukset ja mittauspuu esisäätää alustavasti kohdalleen. Tällöin säästetään esiohjelmoinnin ansioista esimerkiksi tuotantolinjastojen kallista tuotantoaika verrattuna paikanpäällä ohjelmointiin. Konenäkökameroita voidaan tämän tyyppiseen järjestelmään asentaa keskusyksikön mallista riippuen yhdestä neljään kappaletta. Kameran asennus järjestelmään tapahtuu *Camera image input* – työkalulla. Tämän työkalun valikoista löytyy kameran säätöparametrit, kuten valonvahvistus ja suljinajan säätö. Lisäksi saman työkalun kautta voidaan syöttää muuntokertoimia, jolloin kuvasta ohjelman mittaamat pikselit muunnetaan järjestelmän tuottamissa mittaustuloksissa vastaamaan esimerkiksi todellisia millimetrejä.

Kuvanlähteen valinnan jälkeen valitaan tarvittavat kuvan suodattimet, kuvasta pyritään suodattamaan ennen varsinaisia mittauksia kaikki mittauksen kannalta epäoleelliset asiat

pois, kuten värikuva muunnetaan mustavalkoiseksi, kuvaa terävöitetään tai se muutetaan negatiiviseksi. Suodatuksen valintaan vaikuttaa oleellisesti asiat joita kuvasta halutaan saada selville. Suodatuksen kautta saadaan järjestelmä havaitsemaan tehokkaammin ne asiat joita halutaan tutkia.



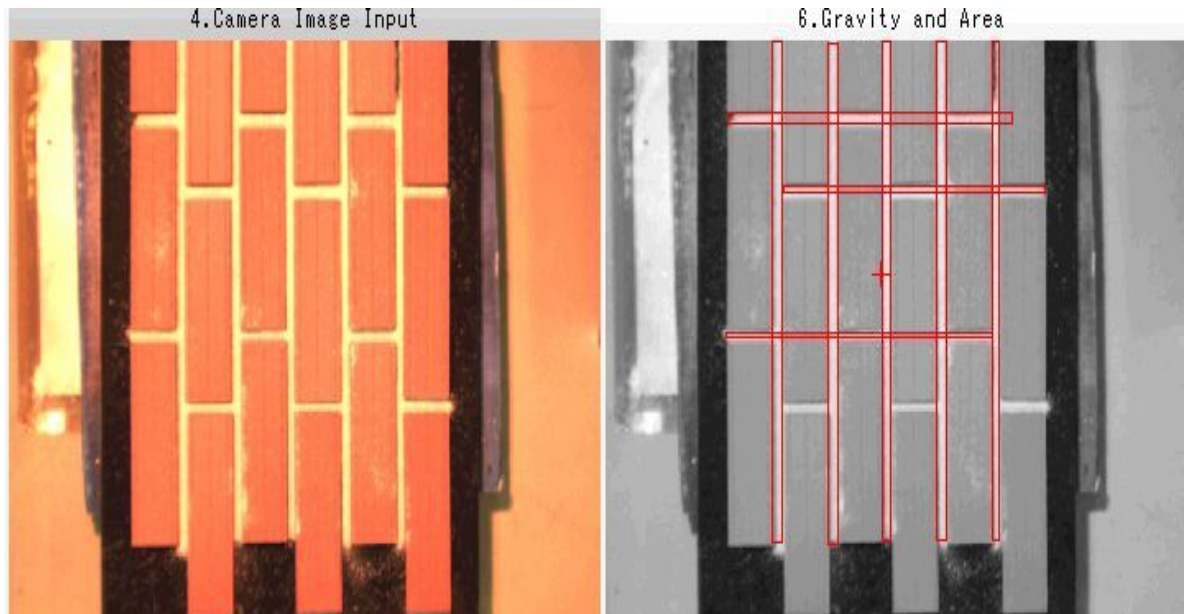
KUVIO 24. Suodatuksen vaikutus kuvaan.

Kuviossa 24 on harmaaksi suodatettu kuva ennen lopullista suodatusta ja vieressä kuva lopullisen suodatuksen jälkeen. Kuvan kautta haluttiin tutkia hiekoituksen onnistumista, tällöin suodatin rakennettiin niin että saumojen esille tuloa korostettiin. Tutkimuksessa käytettiin *Color gray filter* ja *Gravity and area* – työkalujen suodatuksia, joilla saatiin värikuva muunnettu mustavalkoiseksi sekä tehostettua tutkittavaa aluetta.

### 5.3 Hiekoituksen onnistumisen tutkiminen

*Gravity and area* – työkalulla mitataan kohteen värien perusteella pinta-aloja ja kappaleen painopistettä. Menetelmä perustuu selvästi Blob- teoriaan, jossa etsitään samanvärisiä pikseli alueita. (Prusi 2010.) Työkalulla määritellään tutkittava alue, yhden työkalun alle voidaan asettaa kahdeksan erilaista mitattavaa aluetta, jos tutkittavia alueita on kappaleessa enemmän niin, silloin ohjelmapuussa voidaan käyttää useampaa samaa työkalua peräkkäin.

Työkaluun voidaan määrittellä halutut väri alueiden vaihtelurajat. Kun mittaustulos ylittää nämä rajat järjestelmä hylkää tuotteen eli päätös on silloin negatiivinen. Kuvio 25 selvittää kuinka mittausalueita voidaan asettaa, kuvan tapauksessa haluttiin mitata ainoastaan värin pinta-ala poikkeamia hiekoitetuissa elementin saumakohdissa.

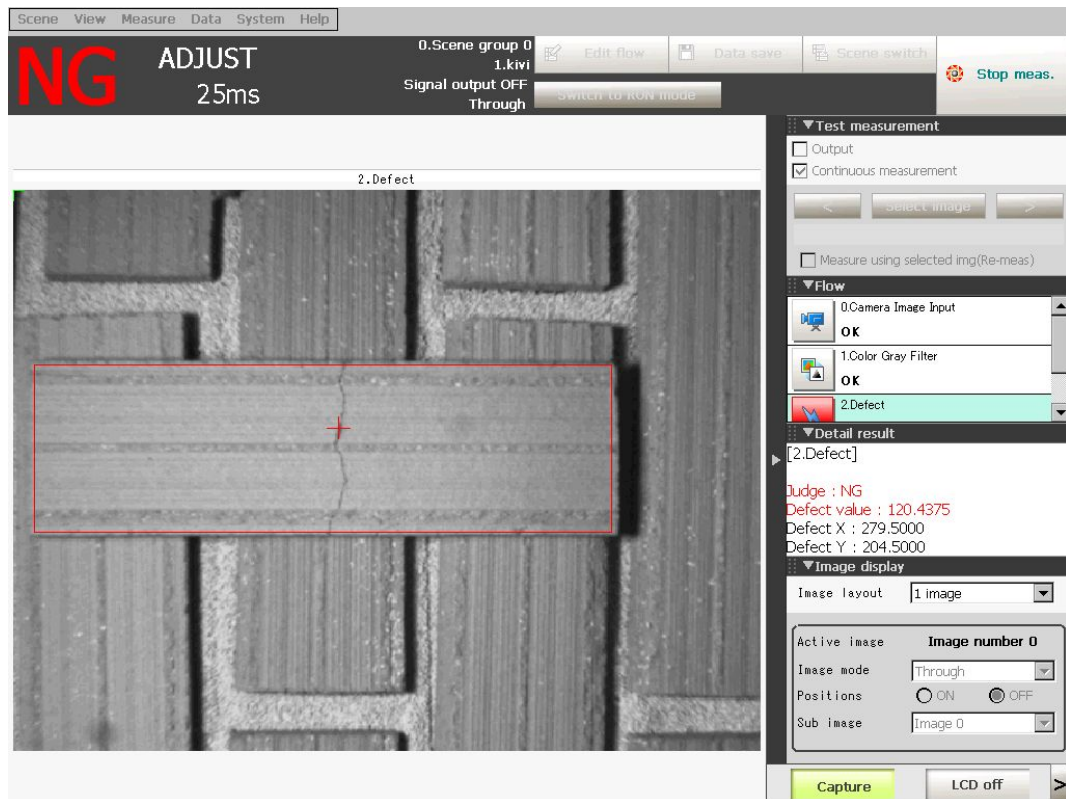


KUVIOA 25. Tutkittavien alueiden määrittely gravity and area – työkalulla

Kuten kuviosta 25 näkyy, tutkittavana olleen hiekoitetun elementin saumojen kohdat määriteltiin mittausalueiksi, joista tutkittiin onko hiekkaa mitattavalla – alueella. Pinta-alat määriteltiin niin, että kun elementin saumat ovat oikein hiekoitettuna otetaan järjestelmällä kuva kohteesta. Saadut mittaustulokset syötetään tapauksesta riippuen joko vaihteluvälin ylä tai ala –rajoiksi. Seuraavaksi kappaleeseen tehdään virhe eli raaputetaan hiekkaa pois ja testataan havaitseeko kamera tehdyn virheen ja miten suuri virheen täytyy olla ennen kuin järjestelmä havaitsee poikkeaman. Tätä työkalua käytettiin tutkimuksessa havaitsemaan tiilien asemointia muotissa, sekä hiekoituksen onnistumista tiilien välisissä saumoissa.

## 5.4 Halkinaisten tiilien havaitseminen

Halkinaisten tiilien havaitsemiseen tutkimuksessa käytettiin *defect* – työkalua. Tämä työkalu havaitsee sävyerojen perusteella mahdollisia vikoja tutkittavassa kappaleessa. Työkalun alavalikosta voidaan määritellä kuinka isoja havaittavat virheet ovat ja kuinka paljon niitä kuvattavassa kohteessa sallitaan. Työkalun rajat määriteltiin tutkimuksessa niin että ensin otettiin järjestelmällä kuva ehyestä tiilestä ja saadut arvot asetettiin vaihteluvälien rajoiksi. Seuraavaksi tiili rikottiin ja kokeiltiin kuinka ison halkeaman järjestelmä tiilestä löytää. Tutkimuksessa kameran korkeus säädettiin niin että halkeama näkyi kameran kuvassa. Myös valaistusta säädettiin niin, että halogeeni suunnattiin kappaleen pintaan noin 45 asteen kulmassa, jotta pinnan virheet saataisiin paremmin esille. Kuviossa 26 nähdään miten järjestelmä havaitsee ja ilmoittaa rikkonaisessa tiilessä virheen.



KUVIO 26. Konenäköjärjestelmä on havainnut virheen tiilessä.

Kun virhe on havaittu, näytön vasempaan yläreunaan ilmestyy punaisella kirjaimet NG, mikä tarkoittaa että tulos on negatiivinen eli kappale ei ole tällöin täyttänyt järjestelmään asetettuja hyvän kappaleen raja-arvoja. Kursori kuvassa osoittaa virheen paikan kappaleessa. Oikealla laidalla keskellä kuvassa näkyy että päätös on ollut negatiivinen, virheen arvo joka on mennyt rajojen yli, sekä virheen paikan x ja y – koordinaatit virheen paikantamista varten.

## 5.5 Tiilien ja runkopellin paikan mittaaminen

Tiilien asemoinnin ja elementin runkopellin paikan mittaukseen tutkimuksessa käytettiin järjestelmässä olevaa *Edge position* – työkalua. Työkalulla etsitään kuvattavasta kohteesta reunoja ja mitataan kappaleen reunojen välistä etäisyyttä. Työkalun alavalikosta määritellään erilaisten suodattimien avulla kuinka tarkasti reunat luetaan, ja mistä väristä ja suunnasta mittaus aloitetaan tai mihin reunaan mittaus lopetetaan. Tiilien asemoinnin tutkimuksessa mittaus suoritettiin muotin reunasta ensimmäisen tiilirivin reunaan. Runkopellin paikan mittauksessa mittaus tapahtui muotin reunasta runkopellin reunaan. Aluksi kamera täytyi kalibroida niin että kameran ilmoittamat arvot mittauksessa tarkoittivat millimetrejä. Tämä tapahtui niin että aluksi mitattiin etäisyys, josta saatiin pikselien arvot. Seuraavaksi mitattiin oikea etäisyys metrinmitalla. Arvoiksi saatiin sellaiset luvut että 60 millimetriä vastaa 34 pikseliä. Tästä jakolaskulla saatiin muuntokertoimeksi 1,764 . Muuntokerroin käytiin ilmoittamassa kameran kalibroitivalikkoon.

Tutkimuksessa tiilien ja runkopellin paikkaa mitattiin kolmesta eri pisteestä. Kuviossa 27 on mittaustyökalun näkymä järjestelmän ruudussa. Kuvasta näkyvät tutkimuksen mittauspisteet.

Mittaukset suoritettiin kolmesta pisteestä, koska haluttiin olla varmoja että pelti ja tiilet ovat oikeilla paikoillaan. Tutkimuksessa mittausarvojen rajat määriteltiin niin, että kun pelti oli oikein paikallaan asetettiin muotin reunasta pellin reunaan mitattu matka raja-



arvoiksi molempiin suuntiin. Runkopellin paikkaa muutettiin käsin ja seuraavaksi mitattiin kuinka paljon pellin paikka sai muuttua ennen kuin järjestelmä havaitsi virheen.



KUVIO 27. Runkopellin paikan mittauspisteet.



## 6 TULOKSET

### 6.1 Hiekoitusvirheen havaitseminen

Hiekoituksen tarkastamisessa suoritettiin kolmen erilaajuisen alueen tutkiminen elementistään. Kamera asennettiin 213 cm korkeuteen suoraan kuvattavan kohteen yläpuolelle. Kameran suljin säädettiin 1/100 ja gain -arvo oli säädetty 58. Taulukossa 1 on gravity ja area -toiminnon kautta rajattu tutkimusalueeksi koko elementti, arvojen vaihtelu johtuu valaistuksen vaihtelusta. Area-arvo ok kertoo mitatun pinta-alan hyvästä kappaleesta.

TAULUKKO 1. Mittaus arvoja koko elementille

Mittausalue elementti

Mittaus	Area -arvo ok	Area-arvo ng
1	8 124	8 004
2	8 092	8 006
3	8 102	8 008
4	8 100	8 015
5	8 068	8 051
6	8 136	8 049
7	8 134	8 002
8	8 136	8 048
9	8 157	8 021
10	8 153	8 153
Maksimi	8 157	8 153
Minimi	8 068	8 002
Keskiarvo	8 120	8 036

Area arvo ng kertoo pinta-alan, silloin kun järjestelmä on havainnut virheen. Taulukon pohjalta järjestelmään asetettiin raja-arvoksi 8052. Tämän perusteella saatiin tulokseksi

että järjestelmä pystyy tällaisella rajauksella havaitsemaan n. 1 x 1 senttimetrin laajuisen vika-alueen elementin saumojen hiekoituksessa.

Seuraavassa mittauksessa mittausalueeksi rajattiin yksi tiili ja sen sauma. Kamera oli samoilla säädöillä kuin edellä on mainitussa mittauksessa. Taulukosta 2 huomaa että rajauksen myötä mitattavan alueen pinta-ala vähenee ja samalla myös pinta-alan vaihteluväli pienenee.

## TAULUKKO 2. Mittausarvoja yhdelle tiilelle ja saumalle.

Mittausalue tiili+saumat

Mittauskerta	Area -arvo ok	Area-arvo ng
1	3 134	3 095
2	3 149	3 058
3	3 152	3 070
4	3 130	3 052
5	3 127	3 054
6	3 145	3 053
7	3 126	3 068
8	3 117	3 089
9	3 126	3 049
10	3 122	3 073
Maksimi	3 152	3 095
Minimi	3 117	3 049
Keskiarvo	3 133	3 066

Taulukon 2 mukaisesti järjestelmään syötettiin raja arvoksi 3095. Tällä menetelmällä päästiin samaan tarkkuuteen kuin aikaisemmin eli järjestelmä havaitsi n. 1 x 1 cm laajuisen virheen hiekoituksessa.

Kolmannessa mittauksessa mitattava alue rajattiin käsittämään ainoastaan tiilen levyisen sauma-alueen. Kameran asetukset olivat samat kuin edellä olevissa mittauksissa. Järjestel-

mään syötettiin saman periaatteen mukaan raja-arvoksi 610. Mittausten perusteella saatiin tulokseksi että järjestelmä havaitsee yhden neliösenttimetrin laajuisen virheen alueessa.

Tehtyjen mittausten perusteella voidaan todeta että hiekoituksen tutkimuksen osalta päästään tarkkuuteen, jolla voidaan havaita yhden neliösenttimetrin virhe-alue elementin-saumojen hiekoituksessa.

## **6.2 Halkeaman havaitseminen ja tiilien paikan mittaaminen**

Tiilen halkeaman havaitsemisessa tiili rikottiin käsin ja sen jälkeen murtumakohdat liitettiin uudelleen. Murtumakohdan leveyttä pienennettiin niin kauan, että kamerajärjestelmä ei enää havainnut virhettä. Tällä menetelmällä päästiin halkeaman leveyden minimiarvoon n. 0,5mm. Tutkimuksen mukaan järjestelmä pystyy siis havaitsemaan 0,5mm ja sitä leveämmät halkeamat tiilistä.

Tiilien asemointia mitattiin mittaamalla etäisyys muotin reunasta tiilien reunaan kolmesta eri kohdasta. Tiiliä liikuttelemalla ja sen jälkeen kuvaamalla saatiin selville kuinka paljon tiilet voivat liikkua, ennen kuin järjestelmä huomaa virheen. Mittauksia suoritettiin kymmenen. Mittausten perusteella päästiin tulokseen +-1mm, eli järjestelmällä pystyttiin havaitsemaan varsin pieni muutos tiilen asennossa.

Runkopellin paikan mittaamisen osalta mittaus suoritettiin samalla tavalla kuin tiilien asemoinnin mittaus, tulokseksi järjestelmän tarkkuuden suhteen saatiin +-1 mm.

### 6.3 Investoinnin kannattavuus

Investoinnin kannattavuuslaskennassa liite 1 tarkasteltiin vuoden 2009 tammikuun ja loka-kuun välisenä aikana tuotannossa virheiden vuoksi hylättyjen tuotteiden määrää. Tuotevirheet laskettiin yhteen ja saatu tulos kerrottiin tuotteen omakustannushinnalla. Näin saatiin selville kokonaisrahämäärä joka oli mennyt huonon laadun vuoksi tuona aikavälinä hukkaan. Seuraavaksi laskettiin huonojen tuotteiden tilalle tuotettujen hyvien tuotteiden valmistuksen työkustannus. Laadunvalvontakustannukseksi (Järvinen ym.2001.) arvioitiin yhden henkilön vuosittainen työpanos.

Laitetoimittaja vieraili ensin tutkimuslaboratoriossa ja sitten tehtaassa ja heiltä kysyttiin tarjous liite 2 tuotantoon investoitavasta konenäköjärjestelmästä komponentteineen. Investoinnin kannattavuuslaskennassa käytettiin takaisinmaksuaikamenetelmää. (Neilimo & Uusi-Rauva 1999.) Menetelmä soveltuu hyvin tämän tyyppisen kertaluonteisen ja nopeasti itsensä takaisinmaksavan investoinnin kannattavuuden arviointiin. Laitteiston arvioitiin pienentävän laadunvarmistuskustannuksia puolella nykytilanteeseen nähden, liitteessä 3 laskettiin järjestelmän investoinnin takaisinmaksuaikaa, kolmella erilaisella skenaariolla. Laskelmissa kokeiltiin pienempiä hukkaprosentteja ja tulevaisuutta ajatellen myös isompaa tuotteiden vuosittaista valmistusmäärää. Mitä enemmän tuotteita valmistetaan vuositasolla sitä nopeammin investointi maksaa itsensä takaisin.

Takaisinmaksuajaksi saatiin skenaariosta riippuen kolmesta seitsemään kuukautta. Näin lyhyttä takaisinmaksuaikaa voidaan pitää investoinneissa erittäin järkevänä.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimustyö suoritettiin laboratoriotutkimuksena. Tämä tutkimusmenetelmä valittiin työn suorittamiseen koska haluttiin saada mahdollisimman totuudenmukainen käsitys konenäköjärjestelmän toimivuudesta. Tutkimustyön tuloksena saatiin vastaus tutkimuskysymykseen: Soveltuuko konenäköjärjestelmä kevyttiielementtien tuotantolinjalle tarkkailemaan valmistuksen laatua? Konenäön avulla löydettiin tutkittavasta tuotteesta kaikki ne virheet joita tuotteesta haluttiin etsiä. Hiekoituksen onnistumisen tarkkailussa päästiin riittävään tulokseen ja tarkkuuteen. Tiilien ja runkopellin paikoituksessa järjestelmä olisi saanut olla vielä tarkempi, mutta mittaustuloksiin vaikutti tutkimuslaboratorion vaihtelevat valaistusolosuhteet. Teorian perusteella valaistuksen vaikutus konenäköjärjestelmän toimivuuteen on noin puolet koko järjestelmästä. Tiilien halkeamat järjestelmä löysi erittäin hyvin. Keskustelussa laitetoimittajan kanssa kävi ilmi, että paras valaistusratkaisu olisi ollut diffusoiva valaistus korkeataajuus loisteputkilla toteutettuna. Tämän tyyppisen valaistuksen kokeiluun tässä tutkimuksessa ei valitettavasti ollut mahdollisuutta.

Työn tuloksena saatiin myös laitetoimittajalta tuotantoon soveltuvan konenäköjärjestelmän tarjous. Tarjouksen ja saatujen tutkimustulosten pohjalta laskettiin investointilaskelmat, laskelmien mukaan järjestelmä maksaisi itsensä takaisin muutamassa kuukaudessa. Tämä vesittää kappaleessa kaksi esitellyn Juranin – laatukustannusmallin. Mallin mukaan mentäessä lähelle täydellistä tuotteiden virheettömyyttä laadunvalvontakustannukset kasvavat lähes äärettömiksi. Investoitaessa automaattiseen laaduntarkastukseen näin ei kuitenkaan näyttäisi olevan. Investoinnin kautta laadunvalvontakustannukset näyttäisivät laskevan ja tuotteiden laadun paranevan oleellisesti. Tässä työssä tutkijana pääsin perehtymään konenäköjärjestelmiin ja tutkimuksen suorittamisen myötä myös oppimaan kuinka järjestelmää käytetään ja kuinka järjestelmää ohjelmoidaan. Tämä oli työnantajani kuin myös oman osaamiseni kasvun kannalta erittäin hyvä asia. Tutkimuksen kautta työnantajallani on nyt automaattisen laadunvarmistuksen osalta käytössä tarjous toimivasta järjestelmästä investointilaskelmineen.

Työn validiteetti eli luotettavuus on mielestäni varsin hyvä, koska tutkimuksessa käytettiin oikeaa konenäköjärjestelmää todelliseen tuotteeseen. Validiteettia heikentävinä asioina pitäisin sitä että tutkimuksessa testattiin vain yhden väristä tiiltä ja saumahiekkää. Todellisuudessa hiekan ja tiilen erilaisia väriyhdistelmiä on useita erilaisia. Tämän suhteen ei pitäisi olla kuitenkaan ongelmia, koska käytettäessä värikameroita voidaan havaita ja tunnistaa myös erilaisia värejä. Keskusteluissa laitetoimittajan kanssa kävi ilmi että laboratorio-tutkimuksessa oli valittu konenäköjärjestelmästä oikeat työkalut tutkimuksen suorittamiseen. Mielestäni tämä lisää myös osaltaan tutkimuksen validiteettia. Aikaisempaa tutkimusta konenäköjärjestelmän toimivuudesta laaduntarkkailussa on vielä aika niukasti saatavilla. Investointien laskemisessa käytettiin takaisinmaksuajan menetelmää, koska investoitava summa oli suhteellisen pieni ja takaisinmaksuaika muodostui lyhyeksi. Takaisinmaksuajan menetelmän tarkkuus oli tällöin riittävä. Tämän tyyppisen tuotteen tutkimisesta en löytänyt aikaisempaa tutkimusmateriaalia.

Työn reliabiliteetti eli yleistettävyys on varsin vaikeaa, koska tutkittavana tuotteena oli uniikki tuote. Työtä voidaan toki yleistää samantyyppisten vikojen etsinnässä, työssä käytettyjen konenäköjärjestelmän työkalujen osalta. Tulosten osalta yleistettävä asia on että tuotannon laadunvalvontakustannukset laskevat ja tuotteen laatu paranee investoitaessa automaattiseen laadunvalvontaan. Uskoisin että tämä tutkimustulos pätee lähes kaikille valmistettaville sarjatuotanto tuotteille.

Tutkimuksen aikana syntyi mahdollisina jatkotutkimusideoina konenäön ja robotin liikkeen yhteensovittaminen laadunvarmistuksessa, tällöin voitaisiin tutkia olisiko mahdollista ohjata robottia konenäöllä niin että tuotteen laatua voitaisiin dynaamisesti säätää valmistuksen aikana. Toisena jatkotutkimusideana voisi olla konenäön käytön mahdollisuudet tuotteen tunnistamisessa, eli silloin konenäkö tunnistaisi kappaleen esimerkiksi koon tai värin perustella ja kertoisi tuotantolinjan seuraaville vaiheille millainen kappale linjalla on seuraavaksi tulossa, jonka jälkeen robotit vaihtaisivat oikean ohjelman automaattisesti.

## LÄHTEET

Andersson Jan-Olof, Gabrielsson Anders & Ekström Cege. 1992. Kannattavuussuunnittelu ja –laskenta. Helsinki. Valtion painatuskeskus.

Beijer Electronics, Koulutusmateriaali 2008.

Hyvönen Eero , Karanta Ilkka & Syrjänen Markku.1993. Tekoälyn ensyklopedia. Hämeenlinna. Karisto Oy.

Järvinen Pekka, Lemetti Piia, Virtanen Tommi, Lillrank Paul & Malmi Teemu.2001. Laatukustannuslaskenta: Käyttötarkoitus ja menetelmät, Käytännön työkirja yrityskäyttöön ja opiskeluun. Espoo. Monikko Oy.

Karjalainen Eero.1990.Tuotteen ja prosessin optimointi koesuunnittelulla, Taguchi-menetelmä. 2.painos.Tampere.Tammerpaino Oy.

Koskela, Saku. 2000. Tarratlostuksen laadun varmistus konenäköjärjestelmän avulla.Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Kokkolan yksikkö.

Kuivanen, R.(toim.). 1999. Robotiikka. Suomen Robotiikka yhdistys Ry. Vantaa. Talentum Oy.

Lipponen Toivo. 1998. Yrityksen toiminnan laatukustannukset. Mänttä. Mäntän kirjapaino Oy.

Neilimo Kari & Uusi-Rauva Erkki. 1999. Johdon laskentatoimi.2.painos.Helsinki.Oy Edita Ab.

Omron. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.omron.fi> Luettu 30.4.2010

Omron Vision koulutus CD v1.0.2002. CD-ROM. Omron corporation.

Parameter. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.parameter.fi> Luettu 30.4.2010

Prusi Timo. Konenäkö koordinaattimittauksessa, AEL Insko, 30-31.3.2010, TTY/TTE

Ramesh Jain, Rangachar Kasturi & Brian G. Schunck. 1995. Machine Vision. U.S.A McGraw-Hill Inc.

Ruuti, Marko. 2002. Konenäön hyödyntäminen Scanfilin mekaniikkatehtaalla. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Kokkolan yksikkö.

Suomi, Sari. 1992. Automaattinen tunnistus. VTT tiedotteita 1374. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

**LIITE 1**

**SALAINEN**



**LIITE 2**

**SALAINEN**

**LIITE 3**

**1/2**

**SALAINEN**

**LIITE 3**

**2/2**

**SALAINEN**