



# Vaatimusmäärittely suurnopeuskameralle kunnossapidon käyttöön

Tatu Puolitaival

Opinnäytetyö, AMK

Joulukuu 2024

Insinööri (AMK), Konetekniikan tutkinto-ohjelma

**Tatu Puolitaival****Vaatimusmäärittely suurnopeuskameralle kunnossapidon käyttöön**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Joulukuu 2024**, 48 sivua.

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö, AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: Kyllä

**Tiivistelmä**

Toimeksiantajana toimi Metsä Tissue Oyj Mäntän paperitehdas. Työn yhtenä tavoitteena oli tehdä vaatimusmäärittely suurnopeuskameralle kunnossapidon apuvälineeksi. Toisena tavoitteena oli löytää vaatimukset täyttävä suurnopeuskamera tehtaan käyttöön. Suurnopeuskameralle on ollut tehtaalla pitkään tarve, koska paperinvalmistuksessa ja jalostuksessa koneiden nopeudet ylittävät silmän reaktio nopeuden, jolloin ihmissilmä ei hahmota mitä todellisuudessa tapahtuu. Ongelmatilanteissa on esitetty arvauksia tai perustettu päätelmiä aikaisemmin koettuun. Tehtaalla on ollut käytössä suurnopeuskamera ja kamera koettiin silloin todella hyödylliseksi. Suurnopeuskamera jäi pois käytöstä arvioilta 15 vuotta sitten.

Työ toteutettiin toimintatutkimuksena käyttäen laadullisia menetelmiä. Vaatimusmäärittelyssä hyödynnettiin teoreettista viitekehystä, omaa havainnointia, loppukäyttäjille suunnattua lomakekyselyä sekä suurnopeuskameroiden käytännön kokeilua tehdasympäristössä. Opinnäytetyössä oli mukana alalla toimiva yritys, jonka laitteistolla käytännön kokeilu toteutettiin. Aineistoa kerättiin lomakekyselyllä, joka lähetettiin vastattavaksi tehtaan kunnossapidon työntekijöille. Lomakekyselyssä tiedusteltiin vastaajien näkemyksiä suurnopeuskameran tarpeellisuudesta heidän työssään. Lomakekyselyssä oli avoimia kysymyksiä, joissa vastaajat kertoivat hyödyllisistä ominaisuuksista ja esittivät mahdollisia käyttökohteita. Käytönkokeilulla nähtiin mil-laista suurnopeuskuvaus on käytännössä ja pyrittiin löytämään piileviä rajoitteita ja vaadittavia ominaisuuksia.

Tuloksena syntyi vaatimusmäärittely, jonka perusteella valittiin sopivin suurnopeuskamera. Työn rajauksen ulkopuolelle ja yrityksen vastuulle jäi suurnopeuskameran hankinta ja käyttöönotto. Vaatimukset oli luokiteltu kolmeen luokkaan ja vaatimukset pisteytettiin niiden merkityksellisyyden mukaan. Luokat olivat pakollinen, tärkeät ja toissijainen/ei pakollinen. Pakollisiksi vaatimuksiksi muodostui 4000 fps kuvataajuus, yhden megapikselin resoluutio, elektroninen global shutter -suljin ja, että kameralta on oltava suunniteltu teollisuuden käyttöön. Vaatimusmäärittelyllä vertailtiin eri suurnopeuskameroita ja näistä valikoitui eniten pisteitä saanut suurnopeuskamera. Tehtyä vaatimusmäärittelyä voidaan käyttää myöhemmissä kamera hankinnoissa.

Opinnäytetyössä saavutettiin alussa asetut tavoitteet, jolloin projektia voidaan pitää onnistuneena.

**Avainsanat (asiasanat)**

Suurnopeuskuvaus, Suurnopeuskamera, EMVA 1288 -standardi, Vaatimusmäärittely, Kunnossapito, Metsä Tissue Oyj

**Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Tatu Puolitaival**

### **Specification of requirements for a high-speed camera for maintenance use**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2024, 48 pages.

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The thesis was commissioned by Metsä Tissue Oyj Mänttä paper mill. One main goal of the project was to create a requirements list for a high-speed camera to help with maintenance work. Another goal was to find a high-speed camera that matched the mill's needs. The mill has needed a high-speed camera for a long time because the machines in paper production and processing run at speeds faster than the human eye can follow. This makes it hard to see what is really happening especially in problem situations. Where guesses or experience were often used to find solutions. The factory used to have a high-speed camera which was very useful. It was taken out of use about 15 years ago.

The project used action research and qualitative methods. The requirement specification was based on a theory, personal observations, a questionnaire targeted at end users and practical test of high-speed cameras in the factory. A company specializing in high-speed imaging was also part of the project providing equipment for the testing. The questionnaire asked about the need for a high-speed camera in their work. The questionnaire had open questions where respondents mentioned useful features and possible places where to use the high-speed camera. The testing showed what high-speed imaging is like in real life and helped find hidden limits and needed features.

The project created a requirements list that was then used to choose the best high-speed camera. Buying and implementing the high-speed camera were outside the project's scope and left to the company. The requirements were grouped into three categories and scored based on importance. The categories were mandatory, important and secondary/non-mandatory. The mandatory requirements were a 4000 frame rate, one megapixel resolution, electronic global shutter and the camera have to be designed for industrial use. The requirements list was used to compare different high-speed cameras and the camera with the highest score was chosen. The completed requirement specification can be used for future high-speed camera purchases.

The project met its goals and therefore it can be considered successful.

### **Keywords/tags (subjects)**

High speed imaging, High-speed camera, EMVA 1288 standard, Requirements specification, Maintenance, Metsä Tissue Oyj

### **Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>7</b>
1.1	Opinnäytetyön tausta, ongelma, rajaukset ja tavoitteet.....	7
1.2	Metsä Tissue Oyj .....	8
<b>2</b>	<b>Kameratekniikka</b> .....	<b>8</b>
2.1	Toimintaperiaate .....	8
2.2	Suurnopeuskameroiden käyttökohteita .....	9
2.3	Resoluutio.....	10
2.4	ISO-arvo ja EMVA 1288 -standardi.....	12
2.5	Kenno eli sensori .....	13
2.5.1	CCD- ja CMOS -kenno .....	13
2.5.2	BSI -kenno .....	14
2.6	Objektiivi .....	15
2.7	Kameran suljin.....	18
2.7.1	Suljin ja suljinaika.....	18
2.7.2	Rolling- ja global shutter .....	19
<b>3</b>	<b>Vaatimusmäärittely</b> .....	<b>20</b>
3.1	Vaatimuksen kuvaus .....	20
3.2	Sidosryhmät ja priorisointi .....	21
3.3	Vaatimusmäärittelyn vaiheet.....	22
<b>4</b>	<b>Kunnossapito</b> .....	<b>22</b>
4.1	Kunnossapidon määritelmä .....	22
4.2	Korjaava kunnossapito .....	24
4.3	Suunniteltu kunnossapito .....	24
<b>5</b>	<b>Tutkimusasetelma</b> .....	<b>25</b>
5.1	Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset .....	25
5.2	Menetelmät.....	26
<b>6</b>	<b>Tehtaan nykytilanne</b> .....	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Tutkimuksen toteutus</b> .....	<b>27</b>
7.1	Lomakekysely ja vastaajien priorisointi .....	27
7.2	Käytännön testaus ja kokemukset .....	30
<b>8</b>	<b>Vaatimusmäärittely kameralle</b> .....	<b>32</b>
8.1	Pakolliset vaatimukset .....	33
8.2	Tärkeät vaatimukset.....	33

8.3	Toissijainen/ei pakollinen.....	35
8.4	Vaatimukset täyttävä suurnopeuskamera .....	35
<b>9</b>	<b>Johtopäätökset.....</b>	<b>39</b>
<b>10</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>40</b>
10.1	Luotettavuus .....	41
10.2	Eettisyys.....	41
10.3	Jatkokehitysideat.....	41
	<b>Lähteet .....</b>	<b>43</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>47</b>
	Liite 1. Lomakekyselyn kysymykset 1-3.....	47
	Liite 2. Lomakekyselyn kysymykset 4-7.....	48
 <b>Kuviot</b>		
	Kuvio 1. Kuvataajuuden erot .....	9
	Kuvio 2. Havainnekuva yksittäisestä pikselistä .....	10
	Kuvio 3. Bayerin malli .....	11
	Kuvio 4. Havainnollistava kuva kohteen rajaukseen .....	12
	Kuvio 5. Pikselin rakenne BSi- ja CMOS-kennossa .....	14
	Kuvio 6. Polttoväli ja polttopiste .....	15
	Kuvio 7. Polttovälin vaikutus kuvakulmaan .....	16
	Kuvio 8. Esimerkki rajaavasta kennosta .....	17
	Kuvio 9. Aukon koko .....	18
	Kuvio 10. Syväterävyyden havainnointi .....	18
	Kuvio 11. Suljinaikojen eroja .....	19
	Kuvio 12. Rolling- ja global shutterin eroavaisuus .....	20
	Kuvio 13. Kunnossapitolajit .....	23
	Kuvio 14. Strobovalo .....	27
	Kuvio 15. Hidastuskameran hyödylliseksi kokeminen .....	28
	Kuvio 16. Ominaisuuksien priorisoinnin vaihtoehdot.....	29
	Kuvio 17. Tärkeimmäksi luokitellut ominaisuudet.....	30
	Kuvio 18. Suurnopeuskameran ominaisuuksien tulokset.....	30
	Kuvio 19. Suurnopeuskuvauslaitteisto.....	31
	Kuvio 20. Kiinnitettävyyden pisteytys.....	34
	Kuvio 21. Videon pituuden pisteytys .....	34

Kuvio 22. Akulla toimivuuden pisteytys.....	35
Kuvio 23. Suurnopeuskameran hinta.....	35
Kuvio 24. Phantom Miro C321 .....	36
Kuvio 25. Phantom VEO-E 310L .....	36
Kuvio 26. Pakolliset vaatimukset suurnopeuskameralta .....	37
Kuvio 27. Phantom Miro C321 -suurnopeuskameran tärkeiden vaatimusten pisteytys.....	37
Kuvio 28. Phantom C321 ja VEO-E 310L -suurnopeuskameroiden toisijaisten/ei pakollisten vaatimusten pisteytys .....	39

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta, ongelma, rajaukset ja tavoitteet

Suurnopeuskamerat tunnetaan tutummalla nimellä hidastuskamerat. Suurnopeuskamera ottaa enemmän kuvia sekunnissa verrattuna perinteiseen kameraan, jolloin videota voidaan hidastaa. Kuvia otettaessa tuhansia sekunnin aikana kameralta vaaditaan teknisiä ominaisuuksia, muun muassa enemmän muistia ja nopeaa kuvien käsittelyä.

Suurnopeuskameratekniikkaa käytetään muun muassa teollisuudessa, tieteessä ja elokuvissa. Teknologian kehittymisen myötä suurnopeuskameroita on alettu hyödyntää teollisuudessa muun muassa värähtelymittauksiin ja liikkeen vahvistuskuvaukseen. Suurnopeuskameroiden kanssa on saatavilla erilaisia ohjelmistoja, joilla saadaan analysoitua kuvattua videota. Ohjelmistojen avulla on mahdollista mitata videosta esimerkiksi, kuinka monta millimetriä kohde huojuu. (YLEISTÄ SUURNOPEUSKUVAUKSESTA n.d; Granberg 2024.)

Opinnäytetyössä toimeksiantajan ongelmana oli se, että paperin valmistuksessa ja jalostuksessa koneen liikkeet tapahtuvat suurilla nopeuksilla, jolloin ihmissilmä ei pysty erottamaan mitä tarkalleen ottaen tapahtuu. Suurnopeuskameralla näistä asioista tehdään nähtäviä. Suurnopeuskameran avulla saadaan ongelmanratkaisusta tehokkaampaa ja lyhennettyä yllättäviä tuotantokatkoksia. Ennen suurnopeuskameroiden käyttöä ongelmatilanteiden viansyitä on selvitetty pitkälti hyvien arvauksien ja kokemukseen perustuvien arvioiden avulla. Ongelmat ovat laatuun tai koneen ajettavuuteen vaikuttavia, tai vikaantuneen komponentin etsintää. Ongelmatilanteiden nopeammalla ratkaisulla parannetaan koneiden tehokkuutta, joka tuo kustannussäästöjä ja parantaa yrityksen kilpailukykyä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ominaisuudet, joita suurnopeuskameralta vaaditaan kunnossapidon käytössä huomioiden tehtaan olosuhteet ja suurnopeuskameroiden tekniset rajoitteet. Opinnäytetyö rajautui suurnopeuskameroiden tekniikkaan, vaadittavien ominaisuuksien ja haluttavien ominaisuuksien selvitykseen. Opinnäytetyössä selvitettiin myös rajoitteita, joita kameran käyttöön liittyy. Opinnäytetyössä vaatimusmäärittelyn lopputuloksena esiteltiin soveltuva suurnopeuskamera kunnossapidon käyttöön.

## 1.2 Metsä Tissue Oyj

Metsä Tissue Oyj valmistaa pehmo- ja ruoanlaittopaperia yksityis- ja ammattikäyttöön. Pääasiallisesti Mäntän tehtaassa valmistetaan wc-paperia, talouspaperia, nenäliinoja sekä ruoanlaittopaperia. Mäntässä on neljä paperikonetta ja 11 jalostuslinjaa. Tuotanto vuodessa tehtaalla on 92 000 tonnia. Tuotemerkkejä ovat Lambi, Serla, Katrin ja SAGA. Yritykselle tärkeimpiä arvoja ovat vastuullinen tulokseteko, yhteistyö, uudistaminen ja luotettavuus. (Arvot n.d.)

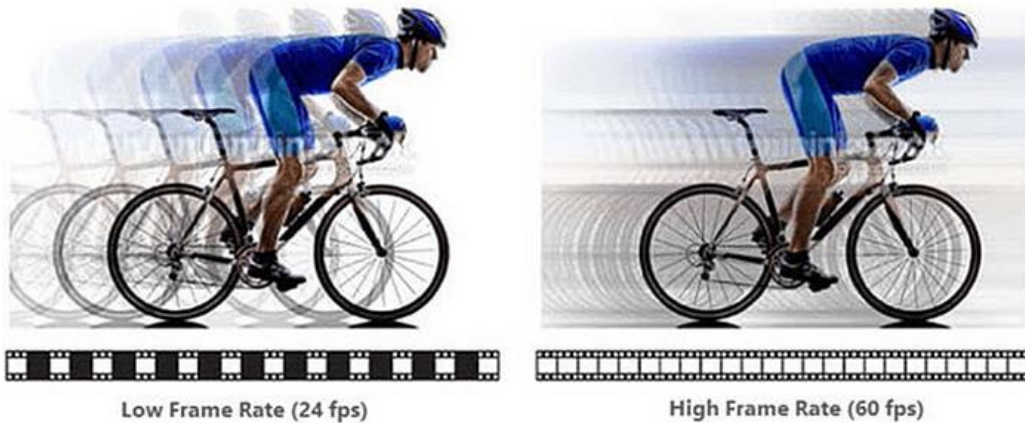
Metsä Tissuen omistaa Metsäliitto Osuuskunta, joka koostuu suomalaisista metsänomistajista, ja on Metsä Groupin emoyhtiö. Metsä Tissue kuuluu Metsä Groupiin. (Management and Board of Directors n.d; Metsäliitto Osuuskunta n.d.) Mäntän tehdas sijaitsee Pirkanmaalla ja on yksi suurimmista Metsä Tissuen tehtaista ja ainoa Metsä Tissuen tehdas Suomessa. Paperia kuljetetaan Mäntän tehtaalta noin 500 km säteellä ympäriinsä. Tehtaalla on todella pitkät perinteet ja Mäntän tehtaalle on suunnitteilla 100 miljoonan euron investointisuunnitelma, jonka tarkoituksena on tuoda jatkumoa tehtaalle. Tehdas on perustettu vuonna 1868 ja nykyään tehtaalla työskentelee noin 400 henkilöä. (Metsä Tissue Suomessa n.d.)

## 2 Kameratekniikka

### 2.1 Toimintaperiaate

Suurnopeuskameroiden toimintaperiaate on samanlainen kuin perinteisessä videokamerassa. Kamerat tallentavat kuvia tietyllä nopeudella, ja kun kuvat toistetaan peräkkäin, syntyy videokuvaa. Videokuvauksessa puhutaan lyhenteestä fps (frames per second), joka tarkoittaa kuvataajuutta. Fps ilmaisee, kuinka monta kuvaa tallennetaan sekunnissa. Normaalit videokamerat kuvaavat 25 fps kuvataajuudella, mutta monissa videokameroissa on mahdollista valita tiheämpi kuvataajuus. Yleisimmät valittavat kuvataajuudet ovat 60 fps ja 120 fps. (Hwung 2023.)

Perinteistä 25 fps kuvataajuudella kuvattua videota hidastettaessa syntyy nykivää videokuvaa, koska kuvattava kohde liikkuu tallennettujen kuvien välillä liian pitkän matkan. Kohteen liikkuminen kuvien välillä havainnollistuu alapuolella olevassa kuviossa (kuvio 1.).



Kuvio 1. Kuvataajuuden erot (Hwung 2023.)

## 2.2 Suurnopeuskameroiden käyttökohteita

Hidastettua videokuvaa tarvitaan, kun ihmisen silmä ei kykene erottamaan liikettä. Ihmisen silmä erottaa 30-60 yksittäistä kuvaa sekunnissa. Yksittäisillä suurnopeuskameroilla on mahdollista kuvata jopa kymmeniä biljoonia kuvia sekunnissa (Robert 2024). Yleisimmät suurnopeuskamerat kuvaavat kuitenkin sadoista kymmeniin tuhansiin kuviin sekunnissa. Suuremmalla kuvataajuudella kuvattaessa videota voidaan hidastaa enemmän.

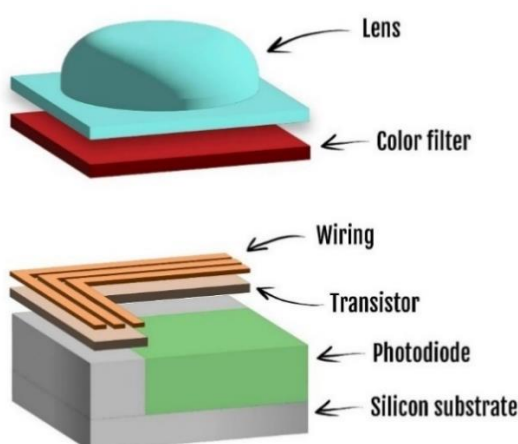
Suurnopeuskameroiden käyttö on kasvanut eri aloilla. Tekniikka on kehittynyt, tieto saavutettavista hyödyistä on lisääntynyt ja laitteistojen hinnat ovat laskeneet. Suurnopeuskameroiden fyysinen koko on pienentynyt, joka mahdollistaa kameroiden asennuksen ja käytön yhä monipuolisimmissa kohteissa. Suurnopeuskameroita käytetään esimerkiksi teollisuudessa tuotantolinjojen seuraamisessa. Suurnopeuskamera asennetaan kuvaamaan kohdetta, jossa vikaantumisen aiheuttaa tuotantoseisäkin. Tuotantolinjoille asennettu kamera kytketään tuotantolinjaan, josta se saa signaalin lopettaa kuvaamisen, kun linja pysähtyy. Suurnopeuskamera tallentaa ennen pysähdystä tapahtuneen ennalta määrätyn ajanjakson, esimerkiksi 8 sekuntia. Tämä video voidaan katsoa heti tuotantokatoksen syntymisen jälkeen ja paikantaa vika. Suurnopeuskamera nauhoittaa koko ajan, mutta poistaa muistista samalla vanhaa videota. Tätä kutsutaan rengasmuistiksi. Mitä suurempi kuvataajuus ja resoluutio, sitä enemmän muistia kuvaaminen vaatii. (Wejberg 2013, 17-18.)

## 2.3 Resoluutio

Resoluutiolla tarkoitetaan kuvantarkkuutta eli kuinka paljon pikseleitä on yhdessä kuvassa korkeus- ja leveys suunnassa. Korkeus- ja leveys suunnan pikselit kerrotaan keskenään, jolloin saadaan koko pikselimäärä. 4K kuvanlaadussa pikseleitä on 3840 x 2160 eli 8 294 400 pikseliä. Pikselien määrän ilmoittamisessa käytetään termiä megapikseli. Yksi megapikseli vastaa miljoonaa pikseliä. Suurempi pikselimäärä tarkoittaa terävämpää kuvanlaatua, jolloin videokuvaa on mahdollista suurentaa ilman, että laatu heikkenee merkittävästi. (Rouse 2020.)

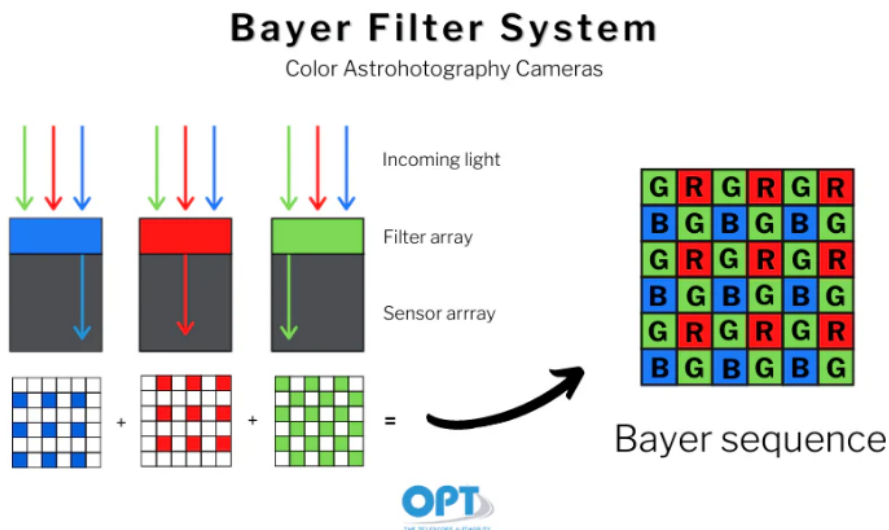
Kuviossa 2 on esitetty yksittäisen pikselin rakenne. Digitaalinen valokuva syntyy, kun pikselit keräävät fotoneita eli valoa. Pikseleitä on erikokoisia, ja mitä suurempi pikselin pinta-ala on, sitä valovoimaisempi se on. Aurinkopaneelit toimivat samalla periaatteella. Isolta pinta-alalta saadaan kerättyä enemmän valoa. (Difference Between 480p, 720p, 1080p, 1440p, 2K, 4K, And 8K Resolutions 2023; What Happens When Light Hits A Pixel? n.d.)

Kuviossa 2 oleva ”photodiode” on valoa keräävä komponentti pikselissä. Kerätyt fotonit muuttuvat sähkövaraukseksi eli elektroneiksi. Elektronit kerääntyvät pikselikaivoon, josta niiden määrä luetaan ja jokainen pikseli saa oma kirkkausarvonsa. Kirkkausarvojen perusteella valokuvaprosessori muodostaa pikseleistä lopullisen kuvan. (Camera Sensors: What Are They and How Do They Work? n.d.)



Kuvio 2. Havainnekuva yksittäisestä pikselistä (Camera Sensors: What Are They and How Do They Work? n.d.)

Kameran pikselit tuottavat ainoastaan mustavalkokuvia, koska pikselit tunnistavat ainoastaan valoa, ei värejä. Tästä syystä jokaisella pikselillä on oltava oma värisuodin. Suodin päästää läpi ainoastaan tietyn väristä valoa, jolloin muu valo menetetään. Värisuodin näkyy kuviossa 2 linssin alapuolella. Yleisin käytetty värisuodattimien järjestely on Bayerin malli, joka on kuviossa 3. Bayerin mallia käytetään yleisimmin, koska ihmissilmä on herkin vihreälle valolle. Kun vihreää valoa on eniten, näkyy kuva luonnollisen näköisenä ihmissilmälle. Suurnopeuskameroissa ei yleensä käytetä värisuodinta, koska mustavalkokuvat eivät vaadi yhtä paljon valoa kuin värikuvat. Tämä tekee mustavalkokuvauksesta tehokkaampaa erityisesti heikossa valaistuksessa. (Camera Sensors: What Are They and How Do They Work? n.d.; Vuohensilta 2019; Astrophotography 101: The Bayer Filter System n.d.)



Kuvio 3. Bayerin malli (Astrophotography 101: The Bayer Filter System n.d.)

Videokuvauksessa resoluutio ja kuvataajuus ovat kääntäen verrannolliset. Tämä tarkoittaa, että mitä korkeammalla resoluutiolla kuvataan, sitä matalampi kuvataajuus voidaan saavuttaa. Valittaessa resoluutiota ja kuvataajuutta, on syytä rajata kuvatta kohde kamerassa eli pienentää resoluutiota. Kun kameran kuvaamasta kuvasta rajataan epäoleellinen pois jo ennen nauhoittamista, saadaan suurennettua kuvataajuutta, eikä kamera tallenna turhia pikseleitä. (Vuohensilta 2019.) Suurnopeuskameralla kuvattaessa nyrkkisääntönä on käyttää mahdollisimman pientä soveltuvaa

kuvataajuutta, jotta voidaan hyödyntää parasta mahdollista resoluutiota (Wejberg 2013, 3). Kuviossa 4 nähdään kuvitteellinen esimerkki kohteen rajauksesta. Kun halutaan nähdä vain harmaan kiskon käyttäytymistä, on turhaa tallentaa reunoilta sinistä taivasta kuvaan.



Kuvio 4. Havainnollistava kuva kohteen rajaukseen (Saari 2012.)

## 2.4 ISO-arvo ja EMVA 1288 -standardi

Hämärässä kuvattaessa, pikseli ei saa kerättyä itseensä tarpeeksi valoa, jolloin kamerasta ISO-arvoa muuttamalla kuva saadaan näyttämään kirkkaammalta. ISO-arvoa nostaessa kohina eli epätarkkuus lisääntyy. ISO-arvon nostamista voidaan verrata mikrofonin herkkyyden nostamiseen. Ääni saadaan kuuluviin, mutta huonommalla laadulla, ja taustalla esiintyy kohinaa. (Engbo 2022.)

ISO-arvon käytössä suurnopeuskuvauksessa on pitkään ollut väärinkäsitys. On ajateltu, että ISO-arvo lisää kennon herkkyyttä, mutta todellisuudessa ISO-arvo kertoo, kuinka nopeasti kuva valottuu. Valokuva valottuu nopeammin, mitä pienempi ja matalampi pikselikaivo on eli ISO-arvolla muutetaan pikselikaivon tilavuutta. Kun kaivo on tilavuudeltaan pieni eli käytössä on suuri ISO-arvo, pikselistä tulee nopeammin kylläinen ja saa korkean kirkkausarvon, joka määrittää pikselin harmaasävyä. Mitä suurempi lukema, sitä valkoisempi pikseli, mutta matalan pikselikaivon seurauksen kuvaan syntyy enemmän kohinaa. Pikselikaivon ollessa suuri, eli pienellä ISO-arvolla kuvattaessa, mahtuu kaivoon enemmän oikeaa valoa. Oikea valo peittää kohinan, jolloin kuvasta saadaan laadukas. ISO-arvoa nostaessa valokuva näyttää ainoastaan kirkkaammalta, mutta ISO-arvon muuttamisella ei ole mitään tekemistä sen kanssa, kuinka hyvin fotonit muuttuvat elektroneiksi. (Lucatorto n.d; Granberg 2024.)

ISO-arvon merkitys tulee muuttumaan tulevaisuudessa suurnopeuskameroiden parissa EMVA 1288 standardin myötä. EMVA 1288 standardin taustalla on väärinkäsitys, eli ISO-arvo ei kerro kennon herkkyydestä, vaan sen sijaan kuinka nopeasti valottuminen tapahtuu. Kameroissa on ilmoitettuna nimellinen ISO-arvo ja niitä vertaillaan keskenään eri kameroissa. ISO-arvo ilmoitetaan suurena, mutta kuvanlaatuun ei oteta kantaa. EMVA 1288 standardi testaa kameroiden kennot ja niiden valoherkkyyden standardiolosuhteissa, jolloin saadaan vertailukelpoista informaatiota suurnopeuskameroiden kesken. Standardin myötä käyttäjät tietävät tarkalleen, kuinka hyvälaatuista kuvaa kyseisellä suurnopeuskameralla on mahdollista saavuttaa. (Lucatorto n.d; Granberg 2024.)

## 2.5 Kenno eli sensori

Kameroissa on kenno, jota kutsutaan myös sensoriksi. Kenno on täynnä pikseleitä, jotka keräävät valoa itseensä ja muodostavat kuvan. Kennoja on erilaisia, mutta peruseriaate on kaikissa sama. Kennoja on fyysisesti erikokoisia. Fyysinen koko vaikuttaa muun muassa kennon valovoimaisuuteen ja kuvakulmaan. Kuvakulmaan vaikutus käydään läpi luvussa ”2.6 Objektiivit”.

Resoluution pysyessä samana, isommassa kennossa on isommat pikselit, jolloin valovoimaa on enemmän. Pienemmät pikselit eivät ole yhtä valovoimaisia, mutta niitä mahtuu enemmän saman resoluution kennoon, jolloin kuva on terävämpi. Pikselit eivät voi olla suuria ja samanaikaisesti niitä ei voi olla paljon, koska kuvien käsittelyyn menisi kohtuuttomasti aikaa, ja tallennustilaa tarvittaisiin huomattavasti enemmän. (What Happens When Light Hits A Pixel? n.d.)

### 2.5.1 CCD- ja CMOS -kenno

Yleisimmät kennot ovat CCD (Charged-Coupled Device)- ja CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) -kenno, joita käytetään kameroissa. Suurnopeuskuvauksessa CCD-kennoa ei enää käytetä. Molemmat kennot toimivat pitkälti samalla periaatteella, mutta CMOS-kenno pystyy käsittelemään kuvia huomattavasti nopeammin, on energiatehokkaampi ja tuottaa vähemmän lämpöä. (What are high speed cameras? 2021; Räisänen 2008, 3-4.)

CCD- ja CMOS -kennojen suurimmat eroavaisuudet ovat siinä, kuinka varauksia siirretään ja luetaan. CCD-kennossa on vain yksi muunnin, jonka kautta kaikki pikselien tieto kulkee. CMOS-kennossa jokaisella pikselillä on oma muuntaja, joka lukee ja vahvistaa varauksen eteenpäin.

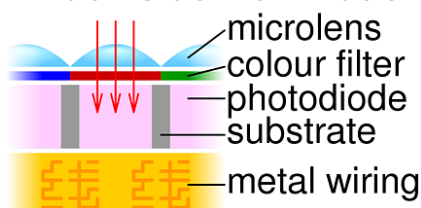
CMOS-kenno kykenee siirtämään nopeammin tietoa eteenpäin tehokkaamman tekniikan ansiosta. Tämän vuoksi CMOS-kenno on käytössä laajalti nykyajan kameroissa ja suurnopeuskameroissa. (Camera Sensors: What Are They and How Do They Work? n.d; Räisänen 2008, 4.)

### 2.5.2 BSI -kenno

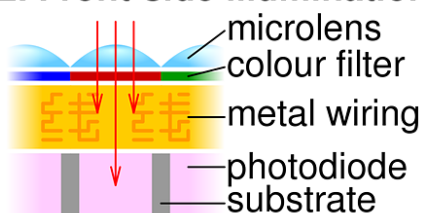
BSI-kenno eli back side-illuminated -kenno. BSI-kenno on uusinta teknologiaa, joka on kiihdyttänyt suurnopeuskameroiden kehitystä. Aikaisempina vuosina kameroiden kuvataajuutta on saatu kehitettyä kymmeniä prosentteja, mutta BSI-kennon avulla kuvataajuus kolminkertaistui. (Granberg 2024.) BSI-kennon etuna on erilainen pikselirakenne, verrattuna normaaliin CMOS-kennon rakenteeseen. (What is a BSI Sensor (Back Side-Illuminated Sensor)? 2022).

Kuviossa 5 nähdään CMOS- kennon ja BSI- kennon rakenne. Kennon rakennetta on muunnettu niin, että "photodiode" eli valoa keräävä osa on siirretty heti värisuotimen alapuolelle ja loput komponentit pikselin alaosaan. Tämä rakennemuutos mahdollistaa paremman suorituskyvyn heikossa valaistuksessa, koska valolla on lyhyempi matka valoa keräävään komponenttiin. CMOS-kennoissa valon kulkiessa pidemmän matkan, valon voimakkuus heikentyi, joka näkyi valotuksessa. BSI- kennossa melkein koko kennon pinta-ala on valoa keräävää, mikä tekee BSI-kennosta entistä valovoimaisemman. Normaalisissa CMOS- kennossa sensorin valoa keräävä osa on peitetty muilla tärkeillä kennon komponenteilla. (CMOS vs BSI Sensor 2024.)

#### 1. Back-side illumination



#### 2. Front-side illumination

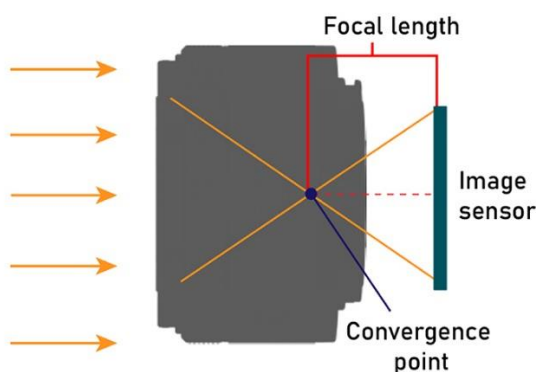


Kuvio 5. Pikselin rakenne BSI- ja CMOS-kennossa (CMOS vs BSI Sensor 2024.)

BSI-kenno tuottaa vähemmän aikaisemmin mainittua kohinaa kuviin. BSI-kennolla kennon herkkyttä ei tarvitse nostaa, koska kenno pystyy tehokkaammin keräämään oikeaa valoa itseensä. Vastaavasti herkkyttä nostaessa kohinaa esiintyy paljon vähemmän verrattuna perinteiseen CMOS-kennoon (What is a BSI Sensor (Back Side-Illuminated Sensor)? 2022; Engbo 2022.) Valoherkkyden lisäksi BSI-kenno on nopeampi käsittelemään ja siirtämään tietoa eteenpäin, jolloin se soveltuu suurnopeuskuvaukseen tai valokuvaukseen, jossa otetaan pitkiä kuvasarjoja. (What is a BSI Sensor (Back Side-Illuminated Sensor)? 2022.)

## 2.6 Objektiivi

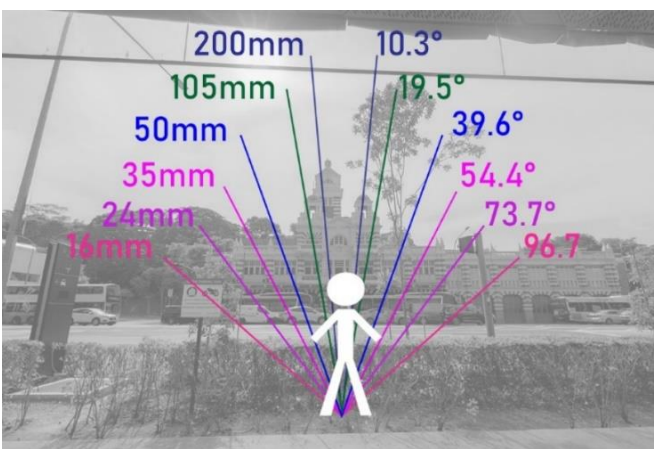
Objektiivi on kamerassa kiinteänä oleva, mutta usein myös irrotettavissa oleva komponentti. Objektiivista käytetään myös nimitystä putki. Valo kulkee objektiivin läpi kameran kennolle. Objektiivi koostuu lasisista linseistä, joilla valo kohdistetaan kennolle (Asikainen 2016). Linssien on oltava virheettömiä, jotta kameran kenno saa parhaan mahdollisen valon kohdistuksen. Linssijä on objektiivissa useita, mutta monesti tilanteet pelkistetään havainnekuviissa yhden linssin tapaukseen. Alempana olevasta kuviosta 6 nähdään polttoväli ja polttopiste (Focal length- ja Convergence point). Polttopiste on kohta, jossa linssin kautta ohjattu valo kohtaa. Polttoväli on polttopisteen ja kennon etäisyys. (Lens FAQ: What is Focal Length? 2023; Vähän polttovälistä ja kennon koostakin 2018; Asikainen 2016.)



Kuvio 6. Polttoväli ja polttopiste (Depth of field: What do I need to know? n.d.)

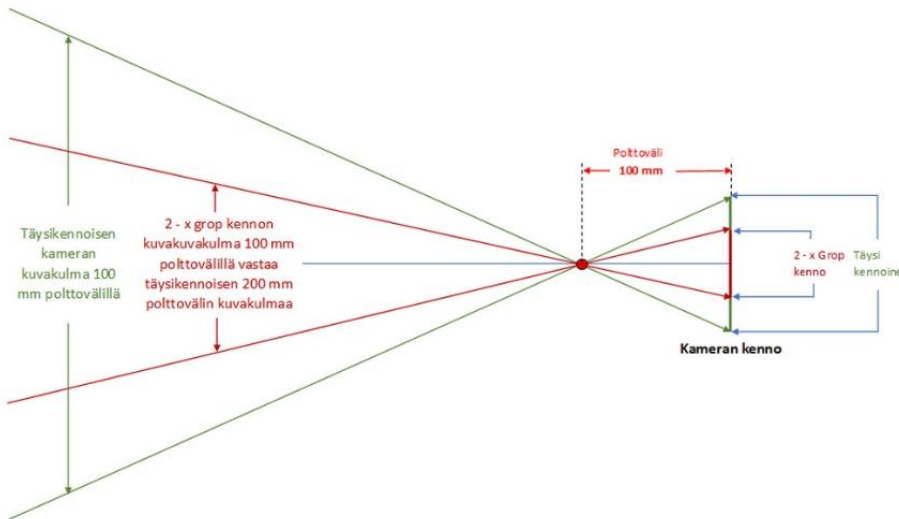
Polttovälin merkitys on oleellista tietää objektiiveja valittaessa, koska objektiivin polttoväli vaikuttaa, kuinka laajakulmaista kuvaa saadaan. Mitä lyhyempi polttoväli, sitä laajempi kuvakulma. Polt-

toivälin suhde kuvakulmaan nähdään alla olevasta kuviosta 7. Polttoväliä mitataan aina millimetreinä. Täyden kennokoon kameroissa 50 mm polttovälillä oleva objektiivi on normaali objektiivi. Normaali objektiivilla tarkoitetaan, että objektiivi näkee samalla perspektiivillä kuin ihmissilmä. Yli 75 mm polttovälillä olevia putkia kutsutaan teleobjektiiveiksi ja alle 35 mm polttovälillä olevia kutsutaan laajakulmaobjektiiveiksi. Teleobjektiiveilla kuvataan kapealla kuvakulmalla, mutta niillä saadaan kuvattua kohdetta pitkältä matkalta. Laajakulmaobjektiiveilla kuvataan usein maisemakuvia, koska halutaan saada mahdollisimman laajakulmainen kuva. (Lens FAQ: What is Focal Length? 2023; Vähän polttovälistä ja kennon koostakin 2018.)



Kuvio 7. Polttovälin vaikutus kuvakulmaan (Lens FAQ: What is Focal Length? 2023.)

Kennon koko vaikuttaa kuvakulmaan. Täysikokoinen kenno on kooltaan 36 x 24 mm ja sitten on rajaavia kennoja, jotka ovat fyysiseltä kooltaan pienempiä ja näin saavat oman kertoimen. Kertoimella kerrotaan objektiivin polttoväli, josta saadaan täyden kennokoon vastaava polttoväli. Täysikokoisessa kennossa kerroin on 1. Esimerkkinä rajaava kenno, jonka koko on 18 mm x 13,5 mm ja kerroin 2, objektiivin polttoväli 100 mm, täytyy polttoväli kertoa kertoimella, jolloin verrattavaksi polttoväliksi saadaan 200 mm. Esimerkki havaitaan kuviossa 8. Polttovälin ollessa vakio, täysikokoisella kennolla saadaan laajakulmaisempi otos, kuin pienemmällä kennolla. (Vähän polttovälistä ja kennon koostakin 2018.)



Kuvio 8. Esimerkki rajaavasta kennosta (Vähän polttovälistä ja kennon koostakin 2018.)

Perinteisessä valo- ja videokuvauksessa käytetään useasti zoom-objektiiveja. Zoom-objektiivilla polttoväliä saadaan muutettua liikuttamalla linssien etäisyyksiä objektiivissa. Suurnopeuskuvauksessa zoom-objektiiveja harvemmin käytetään, siksi kameraa liikutetaan fyysisesti kauemmas ja lähemmäs kohteesta. Saari kutsuu tätä kirjoituksessaan jalkazoomiksi. (Saari 2012; Granberg 2024.)

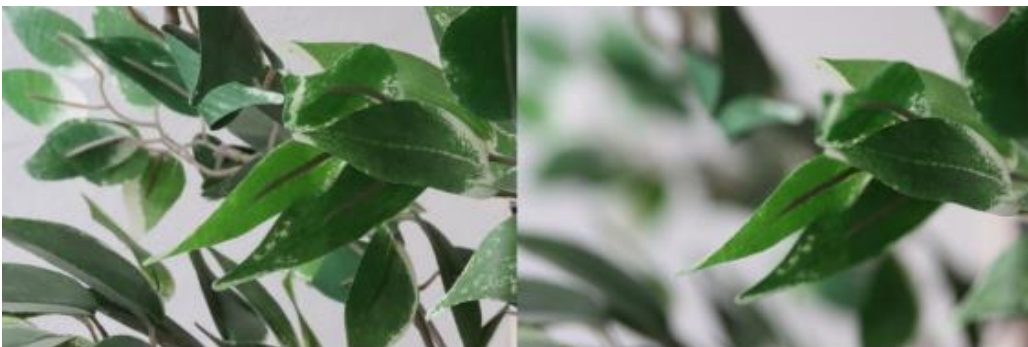
Aukko on objektiivissa oleva fyysinen reikä. Aukon koko on muunneltavissa ja sillä määritetään kuinka paljon valoa pääsee kennolle. Oikea valon määrä on kriittinen tekijä kuvauksen onnistumisessa, jotta otoksesta saadaan selkeä. Aukko toimii samalla tavalla, kuin ihmisen silmässä oleva pupilli. Hämärässä oltaessa pupilli laajenee, jotta valoa pääsee enemmän. Taas päinvastaisessa tilanteessa oltaessa auringon paisteessa, pupilli pienenee ja estää liiallisen valon pääsemisen. (Bryan-Smith 2024; The Landscape Photographer's Complete Guide to f-stop, Aperture, and Depth of Field n.d.)

Kameroissa aukon säätäminen tapahtuu muuttamalla f-arvoa. Mitä pienempi f-arvo on sitä isompi aukko on (kuvio 9). Kameroissa f-lukua säädetään ennalta määrättyjen arvojen mukaisesti  $f/2$  ja  $f/2.8$  ja niin edelleen. Osassa kameroista on saatavilla välipysäytysarvoja. Välipysäytysarvojen avulla saadaan enemmän hienosäädön mahdollisuuksia kuvaukseen. (Bryan-Smith 2024.)



Kuvio 9. Aukon koko (Bryan-Smith 2024.)

Aukon koko vaikuttaa syväterävyyteen. Pienellä f-arvolla syväterävyys on huonompi, kuin suurella. Pienellä f-arvolla kuvattaessa kohteesta vain osa on terävänä. Kuviossa 10 tämä näkyy konkreettisesti. Oikeanpuoleinen kuva on otettu f/2.8-arvolla ja vasemmanpuoleisessa kuvassa on käytetty f/32-arvoa. Vasemmassa kuvassa aukko on fyysisesti pieni ja vaatii paljon enemmän valoa, kuin oikeanpuoleinen kuva. Suurnopeuskuvauksessa tarvitaan paljon valoa, jolloin käytetään pieniä aukkoarvoja. (Tuomela 2021, 4.)



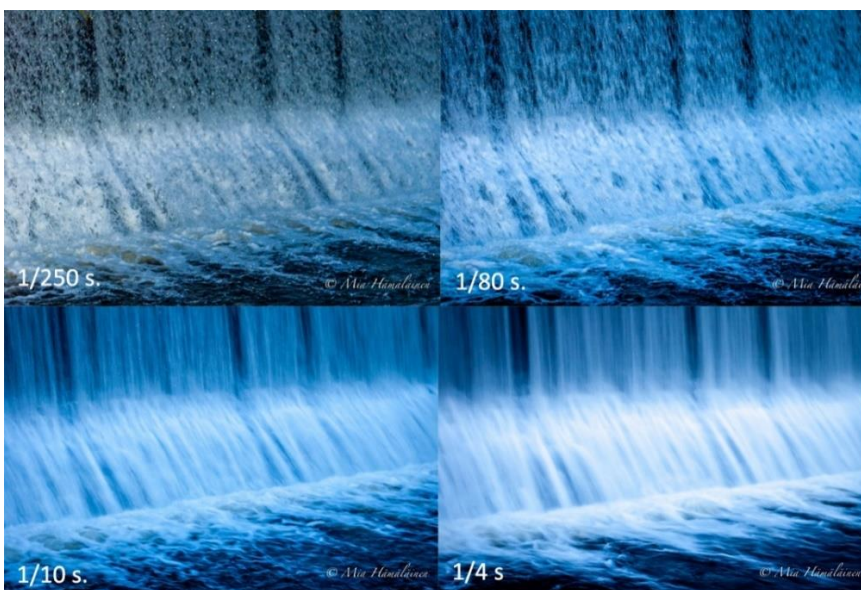
Kuvio 10. Syväterävyyden havainnointi (Tuomela 2021, 5.)

## 2.7 Kameran suljin

### 2.7.1 Suljin ja suljinaika

Suljinaika on ajanjakso, jolloin suljin on auki ja valoa pääsee aukon ja objektiivin kautta kennolle. Sulkimia on mekaanisia ja elektronisia. Nykyään kameroissa on elektroninen suljin. Mekaaninen suljin ei sovellu videokuvaukseen tai suurnopeuskuvaukseen, koska se ei ole tarpeeksi nopea. Lisäksi mekaaninen suljin tuottaa naksuttavaa ääntä, mikä voi olla häiritsevää erityisesti ympäristöissä, joissa ääni on tärkeää. Mekaanisessa sulkimessa suljin liikkuu ja peittää kennoa. Mekaanisen sulkimen osat kuluvat ajan myötä. Elektronisessa sulkimessa tätä ongelmaa ei ole. (Engbo 2021; Amy 2024.)

Lyhyellä suljinajalla pyritään jäädyttämään nopeasti liikkuva kohde. Kuviossa 12 nähdään kuinka suljinajalla on merkitystä. Pienellä suljinajalla (1/250 s) vesipisarat erottuvat selkeämmin verrattuna pidemmällä suljinajalla (1/4 s) otettuun kuvaan. Pitkällä suljinajalla otettuun kuviin, joissa kohde on liikkeessä on jää niin sanotut ”vauhtiviivat” eli liike-epäterävyyttä. Kohde ehtii liikkua suljimen ollessa auki. Suurnopeuskuvauksessa käytetään lyhyttä suljinaikaa, jotta liike-epäterävyyttä ei esiinny ja lopullinen video näyttää selkeältä. Lyhyellä suljinajalla kuvattaessa valoa on oltava riittävästi, jotta pikselit saavat kerättyä tarpeeksi valoa itseensä. (Valokuvauksen käsitteitä selkokielellä n.d.; Amy 2024.)



Kuvio 11. Suljinaikojen eroja (Valokuvauksen käsitteitä selkokielellä n.d.)

Suljinajalle nyrkkisääntönä on, että se on kaksinkertainen verrattuna kuvataajuuteen. Jos kuvataan 60 fps kuvataajuudella, suljinaika on 1/120 sekuntia. Kun kuvataan 120 fps kuvataajuudella, suljinaika on 1/240 sekuntia. Suurnopeuskuvauksessa suljinajat ovat todella lyhyitä, koska kuvataan esimerkiksi 4000 kuvaa sekunnissa, jolloin suljinajan on oltava 1/8000 sekuntia. (Valokuvauksen käsitteitä selkokielellä n.d.)

### 2.7.2 Rolling- ja global shutter

Elektroniset suljimet toimivat rolling shutter tai global shutter -tekniikalla. Rolling shutter -tekniikassa kenno valotetaan ja luetaan eri aikaan rivikohtaisesti. Kennoa luettaessa kohde ehtii liikkua,

jolloin kuvaan syntyy vääristymiä. Vääristymät nähdään kuviossa 13. Tuulettimen lapa pyörii, ja siitä otetaan kuva rolling shutter -tekniikkaa käyttävällä kameralla. Global shutter -tekniikalla varustetuissa kameroissa tätä ongelmaa ei ole, koska kaikki pikselit valotetaan ja luetaan samanaikaisesti. Suurnopeuskameroilla kuvattaessa kohteet liikkuvat suurilla nopeuksilla, jolloin global shutter -tekniikkaa vaaditaan kameralta. (Kumar 2024.)



Kuvio 12. Rolling- ja global shutterin eroavaisuus (Kumar 2024.)

### 3 Vaatimusmäärittely

Kosola (2013, 6) toteaa, että ”vaatimus on tarpeen välittäjä”. Vaatimusmäärittely on oleellisessa osassa erilaisten projektien onnistumisessa. Vaatimusmäärittelyllä kerätään ja määritetään vaadittavat asiat, jotka ohjaavat projektin edistymistä kohti optimaalisinta lopputulosta. Vaatimusmäärittely on monivaiheinen prosessi, joka oikein toteutettuna säästää aikaa, rahaa ja tuo parhaan lopputuloksen. Vaatimusmäärittelyllä pyritään minimoimaan liialliset vaatimukset. Liialliset vaatimukset ovat kalliita tai joskus jopa mahdottomia toteuttaa. Keskitytään asioihin, joita vaaditaan lopputuloksessa. (Vaatimusmäärittely: Mitä se tarkoittaa ja miksi se on tärkeä osa projektin onnistumista? 2023; Kosola 2013.)

#### 3.1 Vaatimuksen kuvaus

Vaatimukselle on oltava tarkka kuvaus. Kuvaus voi olla hyvin vapaamuotoinen, mutta vaatimuksista on käytävä ilmi, mitä pitää saavuttaa ja miten. Siksi kaikki lausahdukset eivät sovellu vaatimuksiksi. Huono vaatimus olisi esimerkiksi, että suurnopeuskameran on kuvattava hidastuskuvaa.

Vaatimusta on tarkennettava. Esimerkiksi, suurnopeuskameran on kuvattava minimissään 5000 kuvataajuudella. Esimerkissä on kohde ja saavutettava asia, jolloin sitä voidaan pitää vaatimuksena. (Kosola 2013, 14.)

### 3.2 Sidosryhmät ja priorisointi

Sidosryhmien tunnistaminen projekteissa on merkittävässä roolissa ja tunnistaminen on tehtävä heti projektin alussa. Kun sidosryhmiä on useita, niiden merkityksellisyyttä on arvioitava. On tiedettävä, mikä sidosryhmä on tärkein lopputuloksen onnistumisen kannalta. (Kosola 2013, 21-22.)

Sidosryhmät esittävät useita ja hyvin erilaisia vaatimuksia. Vaatimukset voivat olla ristiriidassa keskenään riippuen siitä, miten lopputulosta henkilö hyödyntää. Sidosryhmien vaatimukset on priorisoitava sidosryhmien niiden kriittisyyden mukaan. Harvoin kaikkia vaatimuksia voidaan toteuttaa järkevästi. Jos kaikki vaatimukset pyritään toteuttamaan, lopputulos on usein kallis ja/tai tehoton. (Vaatimusmäärittely: Mitä se tarkoittaa ja miksi se on tärkeä osa projektin onnistumista? 2023, Kosola 2013, 22-24.)

Vaatimuksia priorisoidessa kriittisyydelle on oltava vähintään kaksi tai kolme eri kriittisyystasoa. Esimerkiksi pakolliset, tärkeät ja toissijaiset. Luokittelun avulla nostetaan esiin tärkeimmät vaatimukset, jotka on löydyttävä lopputuloksesta. Luokittelussa voidaan käyttää useampia tasoa, mutta kun tasoja on useita, luokittelusta tulee vaikeaa ja epäselvää. (Kosola 2013, 15-16.)

Pakolliset vaatimukset ovat sellaisia, että ilman niitä kohde ei pysty suorittamaan haluttua toimintoa. Nämä vaatimukset on täytyttävä ja ne ovat kriittisimpiä. Pakollisten vaatimusten määrä on pidettävä mahdollisimman alhaisena, jotta lopputulos on järkevästi toteutettavissa. Toissijaiset ja tärkeät vaatimukset ovat vaatimuksia, joiden puuttuminen ei estä käyttöä. Haluttu toiminto pystytään suorittamaan ilman kyseistä vaatimusta. Esimerkiksi autoradio. Autolta halutaan, että sillä pääsee liikkumaan paikasta toiseen. Autolla pystytään ajamaan ilman radiota, mutta radio lisää huomattavasti matkustusmukavuutta. Lopputuloksen onnistumista projekteissa tarkastellaan vaatimusten täyttymisellä. Puutteellisesti ja huonosti toteutettu vaatimustenhallinta antaa lopputulokseksi ratkaisun, joka ei täytä sidosryhmien vaatimuksia ja on esimerkiksi tehoton ja kallis. Jos lopputulos on laite, jää laite hyvin herkästi käyttämättä puutteellisuuksien vuoksi. (Kosola 2013, 14-16, 43.)

### 3.3 Vaatimusmäärittelyn vaiheet

Ensimmäisenä vaiheena projektissa on tunnistaa ja priorisoida sidosryhmät. Tämän jälkeen kerätään vaatimukset sidosryhmiltä. Tietoa vaatimuksista voidaan kerätä monin tavoin, mutta yleisimpiä menetelmiä ovat lomakekyselyt ja haastattelut sidosryhmille. Vaatimusten lisäksi on kerättävä tietoa rajoitteista. Rajoitteita voivat olla esimerkiksi budjetti tai tekniset asiat. (Vaatimusmäärittely: Mitä se tarkoittaa ja miksi se on tärkeä osa projektin onnistumista? 2023; Kosola 2013, 21.)

Toisessa ja kolmannessa vaiheessa tulokset analysoidaan ja dokumentoidaan. Vaatimukset luokitellaan kriittisyyden mukaan selkeästi luettavaan muotoon. Vaatimukset on syytä käydä osan sidosryhmien kanssa läpi, jotta varmistetaan, että ne on kirjattu oikein ja vastaavat haluttuja tarpeita. (Vaatimusmäärittely: Mitä se tarkoittaa ja miksi se on tärkeä osa projektin onnistumista? 2023.)

Neljännessä vaiheessa tarkastetaan, että kaikki mahdolliset asiat on otettu huomioon. Voidaan tehdä käytännön kokeiluja, joissa saadaan nostettua esille huomaamattomia asioita. Onko tullut mahdollisia muutoksia? Onko olemassa tekijöitä, joita ei ole suoraan mainittu, mutta ovat ratkaisevassa roolissa projektin onnistumisen kannalta. Kun vaatimukset ovat selvillä, voidaan aloittaa lopputuloksen määrittäminen. (Vaatimusmäärittely: Mitä se tarkoittaa ja miksi se on tärkeä osa projektin onnistumista? 2023.)

## 4 Kunnossapito

### 4.1 Kunnossapidon määritelmä

Kunnossapito tarkoittaa laitteiden pitämistä toimintakunnossa. Kunnossapito usein ajatellaan vikakorjauksina, mutta se ei ole kunnossapidon pääasiallinen tarkoitus. Vikakorjausten määrä pyritään pitämään mahdollisimman pienenä. Aikaisemmin kunnossapito on ajateltu olevan kustannus yrityksille, vaikka todellisuudessa hyvä kunnossapito on tuotantotekijä. Nykyään ajatusmaailma on muuttunut kunnossapidon suhteen ja yritykset haluavat panostaa kunnossapitoon ja erityisesti ehkäisevään kunnossapitoon. (Mikkonen, Miettinen, Leinonen, Jantunen, Kokko, Riutta, Salo, Komonen, Lumme, Kautto, Heinonen, Lakka & Mäkeläinen 2009, 25.)

Kunnossapito määritellään PSK standardissa seuraavasti:

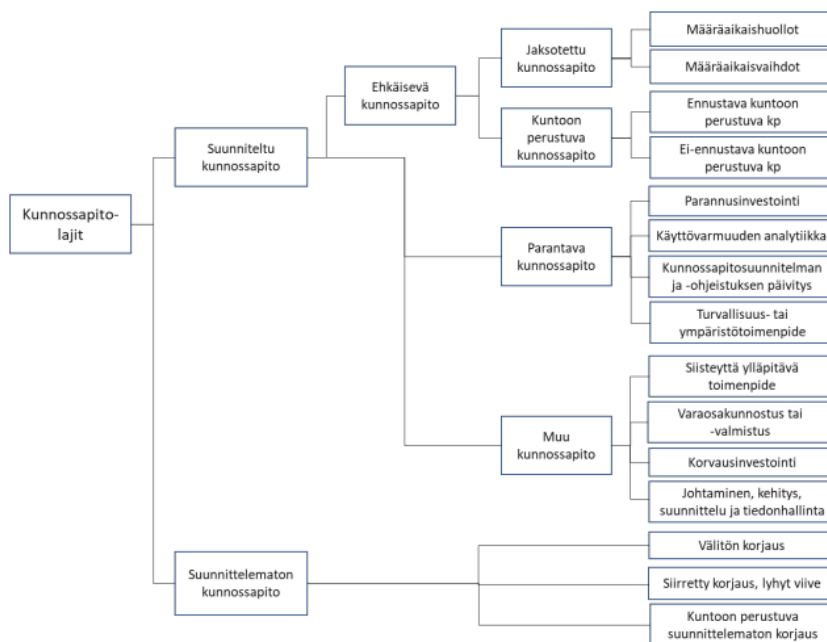
*Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana (PSK 6201:2022, 3.)*

SFS EN 13306 standardi määrittelee kunnossapidon:

*Kunnossapito kaikki kohteen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon (SFS-EN 13306:2017, 5.)*

Kokonaisuutena kunnossapito on suuri käsite ja sen alla on useita erilaisia kunnossapidon strategioita ja menetelmiä, joilla kunnossapidosta saadaan kustannustehokkain. Kuviossa 13 nähdään PSK standardin mukainen kunnossapitolajien luokittelu. (PSK 6201:2022, 40.)

Kunnossapito tulee korostumaan tulevaisuudessa, koska jo olemassa olevia koneita pyritään pitämään käytössä mahdollisimman pitkään. Kestävä kehitys ja vihreät arvot korostuvat yritysten jatkuvaisessa toiminnassa.



Kuvio 13. Kunnossapitolajit (PSK 6201:2022 Ryhmä 62, 40.)

## 4.2 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito eli suunnittelematon kunnossapito on kunnossapidon laji, jossa vian ilmenemisen jälkeen aloitetaan kunnossapidon toimet. Kuviossa 13 PSK standardin (PSK 6201:2022 Ryhmä 62, 40) kaaviosta nähdään, että suunnittelemattoman kunnossapidon alle kuuluu välitön korjaus, siirretty korjaus ja kuntoon perustuva suunnittelematon korjaus.

Kun korjaavaa kunnossapitoa tarvitaan se ei ole suunniteltua työtä ja aiheuttaa tuotannon menetyksiä. Häiriön tai vian ilmetessä kone ei toimi vaaditulla tavalla ja asialle täytyy tehdä korjaavia toimia. Tuotannon menetys loppuu vasta, kun kone saadaan takaisin suorittamaan vaadittua toimintaa. Häiriötilanteiden korjaus vie usein enemmän aikaa. Vika täytyy määrittää ja kohdentaa, etsiä mahdolliset varaosat ja sitten korjata pysyvästi tai väliaikaisesti. Siirretty korjaus vie vähemmän aikaa, koska työ voidaan suunnitella etukäteen toimintatapoja ja varaosien osalta. (Järviö & Lehtiö 2017, 51.)

Seisakkiaikojen lyhenemisellä saadaan enemmän tuottavaa aikaa käyttöön ja voidaan keskittyä tuotannon tekemiseen. Kun korjaavan kunnossapidon osuus saadaan pieneksi, pystytään asiakasta palvelemaan paremmin, saadaan suuremmat tuotot ja näin parantaa omaa kilpailukykyä. (Ennakoiva kunnossapito: maksimoi laitteiden käytettävyyssäikä ja kustannussäästöt n.d.)

## 4.3 Suunniteltu kunnossapito

PSK standardin (PSK 6201:2022 Ryhmä 62, 40) kaaviosta (kuvio 13.) nähdään suunniteltu kunnossapito ja sen alle liittyvät kunnossapidon termit, kuten ehkäisevä- ja parantava kunnossapito.

Ehkäisevä kunnossapito on kunnossapidon laji, jossa ennen vikaantumista koneelle tehdään toimia, jotta yllättävää vikaantumista ei pääse tapahtumaan tai sen todennäköisyys pienenee. Ehkäisevä kunnossapito on tärkeää kohteissa, joissa vikaantuminen aiheuttaa suurta vahinkoa. Esimerkiksi kohteissa, joissa vika hajottaa enemmän konetta tai aiheuttaa ympäristö- tai työturvallisuusriskejä. (Järviö & Lehtiö 2017, 50; PSK 6201:2022 Ryhmä 62, 32.)

Ehkäisevä kunnossapito on aikataulutettua tai kuntoon perustuvaa. Aikataulutettua kunnossapitoa käytetään paljon, koska se on yksinkertaista ja tehokasta. Aikataulutettu kunnossapito on usein

yriykselle helpoin toteuttaa, koska huollot voidaan ajoittaa kalenteriin pitkälle ajanjaksolle toistuvasti. Ehkäisevän kunnossapidon rooli kasvaa, koska tietoisuus saavutettavista kustannus hyödyistä lisääntyy. Samalla tietotekniikka on kehittynyt ja ehkäisevän kunnossapidon palveluita tarjoavat yritykset ovat lisääntyneet. (Manninen 2023.)

Parantavassa kunnossapidossa koneen tai laitteen toiminto pysyy ennallaan. Parantavassa kunnossapidossa tehdään muutoksia, joilla on positiivinen vaikutus kunnossapidettävyyteen, luotettavuuteen tai ihmisten- ja ympäristöturvallisuuteen (PSK 6201:2022. Ryhmä 62, 32-33). Parantavaan kunnossapitoon kuuluu esimerkiksi suojarakenteiden rakentaminen tai toimintavarmemman osan vaihtaminen. Myös parannukset, jotka parantavat kohteen suorituskykyä luokitellaan parantavaan kunnossapitoon. Suorituskykyä voidaan parantaa yksittäisillä osien päivityksillä tai modernisointiprojektin avulla. (Järviö & Lehtiö 2017, 51-53.)

## **5 Tutkimusasetelma**

### **5.1 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset**

Paperin valmistuksessa käytettävien koneiden nopeudet ylittävät silmän reaktionopeuden. Ihmissilmä ei ehdi havainnoimaan, mitä koneella todellisuudessa tapahtuu, mikä tekee korjaavan kunnossapidon ongelmanratkaisusta ja vianhausta haastavaa ja aikaa vievää. Kun ihmissilmä ei näe mitä todellisuudessa tapahtuu, vian aiheuttajaa arvaillaan tai päätelmiä tehdään aiempien kokemusten perusteella. Esioletuksena lopputuloksesta oli, että toimeksiantajalle saadaan kerättyä vaatimuslista suurnopeuskameran ominaisuuksista ja niiden perusteella valittiin sopivin suurnopeuskamera.

Tutkimuskysymyksinä toimivat ”Millaisia ominaisuuksia suurnopeuskameralta vaaditaan, ja millaisia teknisiä sekä ympäristöön liittyviä rajoituksia suurnopeuskameran käyttöön liittyy?” ja ”mikä suurnopeuskamera soveltuu parhaiten käyttöön?”. Näihin opinnäytetyössä haettiin vastausta kyselyjen, oman havainnoinnin ja alalla toimivan henkilön kanssa. Onnistuneella vaatimusmäärittelyllä on suuri vaikutus lopputulokseen. Kun kamera on investoitu sen tiettyjä ominaisuuksia on haastavaa tai mahdotonta muuttaa jälkikäteen (Mikkonen ym. 2009, 137-138).

## 5.2 Menetelmät

Viitekehyksen tueksi opinnäytetyö tehtiin toimintatutkimuksena käyttäen laadullisia menetelmiä. Toimintatutkimus on laadullisen tutkimuksen suuntaus, jossa muutetaan organisaatiota vaikuttamisen kautta. Toimintatutkimukseen kuuluu teorian ja käytännön vuorovaikutus eli abduktio. Toimintatutkimuksessa tutkija osallistuu aktiivisesti arkipäiväiseen toimintaan organisaatiossa. (Kallinen & Kinnunen 2021.)

Laadullisina menetelminä olivat anonyymi strukturoitu lomakehaastattelu, joka koostui monivaihtoinen- ja avoimista kysymyksistä. Haastattelulla kerättiin tietoa mekaanisilta- ja sähköasentajilta, jotka toimivat suurnopeuskameran loppukäyttäjinä. Kyselyn tavoitteena oli selvittää missä suurnopeuskameraa käytettäisiin tehtaalla, ketkä kameraa käyttäisivät ja mitä ominaisuuksia suurnopeuskameralta toivottiin.

Perinteisen kasvokkain tehtävän haastattelun kautta keskustelu olisi jäänyt pintapuoliseksi, koska aihe ei ole kaikille entuudestaan tuttu, ja siksi päädyttiin lomakekyselyyn. Lomakekyselyä tehdessä vastaajalla on aikaa miettiä ja mahdollisesti perehtyä enemmän aiheeseen ennen vastaamista.

Opinnäytetyössä suoritettiin käytännön kokeilu tehtaalla, jonka tarkoituksena oli nähdä laitteisto ja kuvaaminen käytännössä ja millaista lopullinen videomateriaali on. Tavoitteena oli myös saada mielipiteitä suurnopeuskamerasta ja mahdollisesti löytää piilossa olevia rajoitteita ja ongelmia.

Opinnäytetyössä suoritettiin omaa havainnointia tehtaalla. Oman havainnoinnin tavoitteena oli seurata ja tutkia ympäristöä mahdollisten rajoitteiden kannalta. Rajoitteet otettiin huomioon vaatimusmäärittelyssä.

## 6 Tehtaan nykytilanne

Tehtaalla on käytössä strobovalo, jolla luodaan kohteesta illuusio, että kohde olisi pysähtynyt. Strobevaloa käytetään vianhakuun, mutta sen käyttö on rajallista. Valolla ei päästä kohteisiin minne ihmissilmä ei näe. Koneet ovat rakennettu suojien sisään, jolloin strobovalon käytöstä tulee mahdollonta. Valo on kevyt ja helppo kantaa mukana, ja siitä on todettu olevan hyötyä vuosien varrella. Kuvioista 14 nähdään millainen strobovalo on laitteena.



Kuvio 14. Strobovalo

Tehtaalla on ollut käytössä suurnopeuskamera, mutta sitä ei ole käytetty arviolta 15 vuoteen. Vanhan suurnopeuskameran nykytilasta ei ole tietoa. Aikoinaan suurnopeuskamera koettiin hyödylliseksi ja oli aikansa ensimmäisiä liikuteltavia kameramalleja markkinoilla. Suurnopeuskameraa käytettiin koneilla vianhaussa ja koneen säätöjen hakemisessa.

## 7 Tutkimuksen toteutus

### 7.1 Lomakekysely ja vastaajien priorisointi

Anonyymi lomakekysely lähetettiin vastattavaksi eri kunnossapidon asentajille, mekaaniselle- ja sähkökunnossapidolle. Vastauksia tuli 26 kappaletta. Kysely lähetettiin 45 henkilölle. Kysely toteutettiin syyskuun 2024 aikana, kysely tehtiin Google Forms -ohjelmalla. Vastausaikaa kyselyyn annettiin kaksi viikkoa ja kyselyn keskimääräinen vastaamisaika oli 4 minuuttia ja 40 sekuntia.

Lomakekyselyn alussa oli johdattelva teksti, jossa kerrottiin mitä suurnopeuskamerat ovat ja mitä niillä tehdään (liite 1.). Kuvauksessa oli linkki Legendary Shots -YouTube-kanavalle (EVERYTHING Looks Better in Slow Motion! (Volume 9) 2020.), josta jokainen pystyi käydä katsomassa hidastusvideoita. Suurnopeuskamera ja suurnopeuskuvaus ovat virallisia termejä, mutta kyselyyn nämä vaihdettiin hidastuskameraksi ja hidastuskuvaamiseksi, koska ne ovat arkikielessä tutumpia henkilöille.

Kolme ensimmäistä kysymystä olivat johdattelevia ja yksinkertaisia. Ensimmäinen kysymys oli ”Missä työskentelet?”. Kysymyksellä selvitettiin miltä osastolta vastaajan näkemys on. Vaihtoehtoja oli neljä, mekaaninen kunnossapito jalostus, sähkökunnossapito jalostus, mekaaninen kunnossapito paperitehdas ja sähkökunnossapito paperi. Osastojen välillä työ on erilaista, jolloin oli tärkeää tietää miltä osastolta vastaaja on. Vastauksista nähtiin myös, että jokaiselta osastolta saadaan riittävästi vastauksia. Osastot ovat keskenään hieman erikokoisia, mutta sillä ei tässä tutkimuksessa ollut merkitystä.

Toisena kysymyksenä esitettiin, onko vastaaja kuvannut hidastusvideota esimerkiksi puhelimella. Vastaukset jakautuivat lähes tasan kaikkien vastaajien kesken. Puolet olivat kuvanneet hidastusvideoita ja puolet eivät. Vastaus ei ottanut kantaa onko kuvaaminen tapahtunut työssä vai vapaaajalla. Kysymyksellä haluttiin selvittää, millainen lähtötaso vastaajalla on suurnopeuskuvaamiseen. Kyllä vastanneilla oli näkemys suurnopeuskuvauksen ideasta ja mitä suurnopeuskuvauksella pyritään saavuttamaan.

Kolmantena kysymyksenä kysyttiin kokeeko vastaaja, että hidastuskamerasta olisi hyötyä työssä. Kuviossa 15 nähdään vastauksien jakautuminen. Suurin osa kokee, että kamerasta olisi hyötyä. Vastukset kertovat positiivisesta suhtautumisesta suurnopeuskameroihin. Neljä vastaajaa eivät osanneet kertoa hyödyistä. Mekaanisen jalostuksen ja sähkö jalostuksen puolelta kaikki vastaajat kokivat suurnopeuskameran hyödylliseksi.

### 3. Koetko, että hidastuskamerasta olisi hyötyä työssäsi?



Kuvio 15. Hidastuskameran hyödylliseksi kokeminen

Neljännessä kysymyksessä vastaajalla oli valmiina suurnopeuskameroiden ominaisuuksia, jotka oli laitettava vastaajan mielestä tärkeysjärjestykseen (Kuvio 16.). Tarkoituksena oli priorisoida ominaisuuksia ja saada loppukäyttäjän näkemys, koska kaikkia ominaisuuksia ei voida saada yhdistää yhteen suurnopeuskameraan.

4. Mitkä kameran ominaisuudet kokisit tärkeiksi, järjestä vaihtoehdot tärkeimmästä alaspäin (1. tärkein). Vastauslaatikot liikkuvat raahaamalla. \*

Pieni fyysinen koko
Hyvä kiinnitettävyyden kohteeseen (jalustat, magneetit yms.)
Fyysinen näyttö kamerassa
Akulla toimivuus
Kameran yksinkertainen ja helppo käytettävyys

Kuvio 16. Ominaisuuksien priorisoinnin vaihtoehdot

Kysymyksessä oleellista oli, että sidosryhmien priorisointi huomioidaan. Sidoryhmien priorisoinnissa käytettiin lomakekyselyn kuudetta kysymystä (liite 2.). Vastauksia tuli useita, jotka olivat laajoja ja tarkkaan kuvattuja. Melkein kaikkien vastaajien esimerkit kohdistuivat samoihin koneisiin. Esimerkkien kautta tehtiin päätelmä missä suurnopeuskameraa tarvittaisiin eniten ja tämän perusteella tehtiin priorisointijärjestys osastojen kesken. Priorisointijärjestykseksi muodostui: 1. Mekaaninen kunnossapito jalostus 2. Sähkökunnossapito jalostus 3. Mekaaninen kunnossapito paperitehdas 4. Sähkökunnossapito paperitehdas.

Tulokset kerättiin Exceliin jokaisen valinnan kohdalta osastoittain kuvion 17 mukaisesti. Kuviossa 17 on vastaajien tärkeimmäksi luokittelemat ominaisuudet eli ”ykkösvalinnat” jokaiselta osastolta. Ominaisuuden edessä oleva lukuarvo ilmaisee, kuinka moni osaston henkilöistä on asettanut tämän ominaisuuden tärkeimmäksi. Lukuarvo kerrotaan painoarvolla, jolloin saadaan pistemäärä. Jokainen osasto sai oman painoarvokertoimen priorisointijärjestyksen mukaan. Painoarvokertoimen lukuarvo väheni yhdellä siirryttäessä seuraavan valinnan pisteytykseen.

Kysymyksen- ja sidosryhmän painoarvo		Painoarvo
Prio 1	Mekaaninen kunnossapito jalostus	8
Prio 2	Sähkökunnossapito jalostus	7
Prio 3	Mekaaninen kunnossapito paperitehdas	6
Prio 4	Sähkökunnossapito paperitehdas	5

Vastaajien kokonaismäärä ryhmittäin		
Mekaaninen kunnossapito jalostus		7
Mekaaninen kunnossapito paperitehdas		10
Sähkökunnossapito jalostus		5
Sähkökunnossapito paperitehdas		4

Ykkösvalinnat		
Prio 1	Mekaaninen kunnossapito jalostus	Kok. pisteet
3	Yksinkertainen käyttö	24
2	Pieni koko	16
1	Akulla toimivuus	8
1	Hyvä kiinnitettävyy	8
0	Fyysinen näyttö kamerassa	0
7		
Prio 3	Mekaaninen kunnossapito paperitehdas	Kok. pisteet
2	Yksinkertainen käyttö	12
3	Pieni koko	18
2	Akulla toimivuus	12
2	Hyvä kiinnitettävyy	12
1	Fyysinen näyttö kamerassa	6
10		

Ykkösvalinnat		
Prio 2	Sähkökunnossapito jalostus	Kok. pisteet
1	Yksinkertainen käyttö	7
0	Pieni koko	0
0	Akulla toimivuus	0
4	Hyvä kiinnitettävyy	28
0	Fyysinen näyttö kamerassa	0
5		
Prio 4	Sähkökunnossapito paperitehdas	Kok. pisteet
1	Yksinkertainen käyttö	5
0	Pieni koko	0
0	Akulla toimivuus	0
3	Hyvä kiinnitettävyy	15
0	Fyysinen näyttö kamerassa	0
4		

Yhteensumma äänimäärä painokertoimella ykkösvalint		Yht.
Yksinkertainen käyttö		48
Pieni koko		34
Akulla toimivuus		20
Hyvä kiinnitettävyy		63
Fyysinen näyttö kamerassa		6

Kuvio 17. Tärkeimmäksi luokitellut ominaisuudet

Kokonaispistemäärä muodostui, kun valintojen ominaisuuksien pisteet laskettiin yhteen (kuvio 18.). Tärkeimmäksi ominaisuudeksi nousi ”Hyvä kiinnitettävyy kohteeseen (jalustat, magneetit yms.)”. Seuraavaksi tärkeimmäksi koettiin yksinkertainen käyttö ja kolmantena pieni fyysinen koko.

Kokonaistulokset:			
Yksinkertainen käyttö	124	2.	
Pieni koko	116	3.	
Akulla toimivuus	109	5.	
Hyvä kiinnitettävyy	143	1.	
Fyysinen näyttö kamerassa	111	4.	

Kuvio 18. Suurnopeuskameran ominaisuuksien tulokset

Lomakekyselyn kysymykset viisi ja seitsemän olivat avoimia kysymyksiä. Kysymykset olivat ” Mitä muita ominaisuuksia toivoisit hidastuskameralta?” ja ” Vapaa sana”. Esille nousi lämmön- ja pölynkeston ja liitettävyy tietokoneeseen, jotta videota voidaan katsoa isommalta näytöltä. Lomakekyselyssä avoimiin kysymyksiin vastaaminen ei ollut pakollista, mutta yli puolet vastaajista vastasivat kysymyksiin yksityiskohtaisesti ja laajasti.

## 7.2 Käytännön testaus ja kokemukset

Suurnopeuskuvausta testattiin tehtaalla Citius Imagingin suurnopeuskameroilla. Suurnopeuskamerat olivat Phantom-merkkisiä ja kuvauskalusto koostui suurnopeuskamerasta, kolmijalasta ja kahdesta lisävalosta. Kunnossapidon henkilöstöltä kysyttiin ennakkoon, mitkä kohteet olisivat tärkeitä

kuvata. Esille nousi jalostuskoneen 1 ongelmakohdat, joissa on käytetty strobovaloa. Kohteet valittiin kuvattavaksi myös niiden haastavuuden takia. Haasteita aiheuttivat valon puute ja jalostuskoneen nopeus. Jalostuskoneen 1 nopeus on 1100 kappaletta/minuutissa. Nopeuden perusteella määritettiin riittävä kuvataajuus ja resoluutio. Määritettyjen teknisten vaatimusten avulla voidaan kuvata suurin osa tehtaan muistakin koneista.



Kuvio 19. Suurnopeuskuvauslaitteisto

Kuvauksissa todettiin, että tehtaan käyttökohteisiin ei vaadita värikuvaamista. Värikuvaamisella ei saavuteta lisähyötyä kohteissa. Mustavalkokuvaamisen etuja on sen pienempi valontarve verrattuna värikuvaamiseen. Värikuvaaminen vaatii arviolta kolme kertaa enemmän valoa.

Kuvauksissa esille nousi objektiivissa olevien linssien lukitseminen. Linssien lukitsemisella tarkennus pysyy samassa paikassa. Jos kamera kuvaa pidempään tärisevässä kohteessa, tarkennus siirtyy ennemmin tai myöhemmin pois paikaltaan. Objektiiviksi tehtaalle on valittava lyhyen polttovälin objektiivi. Useimmat kohteet ovat kuvattavissa läheltä, jolloin lyhyen polttovälin objektiivi riittää. Objektiiveja on ostettavissa kameraan jälkikäteen tarpeiden noustessa esille.

Kuvauksissa huomattiin, että verkkovirran saanti on rajallista, jolloin jatkojohtoa tarvitaan useita metrejä. Kameroita ja valoja on saatavilla akuilla varustettuna, mutta useimmissa tapauksissa on helpompaa käyttää verkkovirtaa. Akkuja on muistettava ladata ja niitä tarvitaan useita. Riippuen akun koosta, akun kesto voi olla vain 10 minuuttia suurnopeuskameroiden käytössä.

Koneet ovat pääosin suojien sisällä työturvallisuuden vuoksi. Suojia on rakennettu läpinäkyvästä polykarbonaattilevystä. Läpinäkyvä levy mahdollistaa suurnopeuskuvauksen suojien läpi, jolloin työ voidaan toteuttaa turvallisesti ja tuotanto pitää käynnissä. Koneen olleessa pysähdyksissä, suurnopeuskamera voidaan viedä suojien sisäpuolelle ja tuoda kameraa ohjaava laitteisto suojien ulkopuolelle. Kameraa ohjataan kaapeleiden välityksellä kymmenien metrien päästä. Molempia tapauksia kokeiltiin, ja käytännöt todettiin toimiviksi.

Kuvaustilanteessa esille nousi ajatus suurnopeuskameran käytöstä perinteisenä videokamerana. Suurnopeuskameroilla voidaan kuvata hitaammalla kuvataajuudella, jolloin kamera toimii normaalin videokameran tapaan. Samalla todettiin, että kameraa voitaisiin käyttää reaaliaikaiseen kuvan katselemiseen. Kamera voidaan asettaa kohteeseen, johon ei käynnin aikana nähdä. Tietokoneen tai tabletin kautta voitaisiin seurata reaaliajassa ilman hidastusta mitä kohteessa tapahtuu.

Kuvausten aikana kunnossapidon asentajat kävivät katsomassa kuvausprosessia. Yleinen kysymys koski suurnopeuskuvauksen valontarvetta. Muiden kysymysten myötä saatiin uusia ideoita, kuinka suurnopeuskuvaukseen toimisi parhaiten tehtaalla. Yhtenä kehitysideana nousi esiin ajatus tabletin käytöstä kannettavan tietokoneen sijaan.

## **8 Vaatimusmäärittely kameralle**

Vaatimusmäärittelyn perusteena käytettiin lomakekyselyä, tietoperustaa suurnopeuskameroista, käytännön kokeilua ja omia havaintoja tehtaalta. Vaatimusmäärittelyssä priorisointitasoja oli kolme. Tasot olivat pakollinen, tärkeät ja toissijainen/ei pakollinen. Jokainen vaatimus luokiteltiin johonkin luokkaan. Tärkeissä ja toissijainen/ei pakollinen luokassa vaatimukset pisteytettiin vaatimuksille asetettujen raja-arvojen mukaan. Tärkeiksi luokitellut vaatimukset saivat enemmän pisteitä, kuin toissijaiset/ei pakolliset vaatimukset. Pakollisiin vaatimuksiin pistetystä ei voida käyttää. Pakolliset vaatimukset on löydettävä tai kyseistä suurnopeuskameraa ei hyväksytä.

## 8.1 Pakolliset vaatimukset

Koneiden liikkeet määräävät paljonko hidastusnopeutta eli kuvataajuutta suurnopeuskameralta vaaditaan. Muutaman käytännön esimerkin avulla suurnopeuskameralle määritettiin laskennallisesti kuvataajuus, joka oli noin 5000 fps. Tehtaalla kuvattaessa todettiin, että 4000 fps kuvataajuus on riittävä. 4000 fps kuvataajuudesta luotiin pakollinen vähimmäisvaatimus.

Suurnopeuskamerassa on oltava vähintään yhden megapikselin kenno. Tämä takaa tarpeeksi hyvän kuvanlaadun, jota voidaan vielä suurentaa jälkeempään katsellessa. Kuvataajuuden ollessa 4000 fps on kennon toimittava elektronisella sulkimella Global Shutter -tekniikalla, jotta videoon ei tule vääristymiä (kuvio 12.).

Oman havainnoinnin ja lomakekyselyn perusteella esille nousivat lämmön, kosteuden ja pölyn kesto. Käyttöympäristö vaihtelee kuumasta ja kosteasta aina pölyisiin olosuhteisiin. Kameroille ei ole suoraa tiiveysluokitusta, mutta pölyisessä ja lämpimässä ympäristössä kamerat pärjäävät tiettyyn rajaan saakka. Käytännön kuvauksissa todettiin, että kamerat kestävät suurimmassa osassa tehtaan alueita. Poikkeuksena ovat paperikoneen kosteat alueet ja kohteet, joissa lämpötila on yli 50 °C. Suoralta vesisuihkulta kamerat on suojattava erillisellä rakenteella esimerkiksi kotelolla. Vaatimukseksi asetettiin, että suurnopeuskamera on suunniteltu teollisuuden käyttötarpeisiin.

Suurnopeuskameraan tulevalta objektiivilta vaaditaan, että siinä on lukittavat linssit. Eli tarkennus voidaan lukita, jolloin värinöiden vuoksi tarkennus ei muutu kesken kuvauksen. Tämä on huomiotava kamera valinnan jälkeen, kun objektiivia valitaan.

## 8.2 Tärkeät vaatimukset

Lomakekyselyssä hyvä kiinnitettävyyys nousi tärkeimmäksi vaatimukseksi. Koneiden ympärillä on paljon suoja- ja kapeita rakoja, jolloin kameran saaminen kohteeseen ei ole yksinkertaisinta. Kameralle on oltavat hyvät kiinnitettävyyden mahdollisuudet, esimerkiksi erilaisia jalkoja, magneetteja ja puristinkiinnikkeitä. Näitä komponentteja on mahdollista ostaa jälkikäteen, mutta jos niitä ei voi kiinnittää kameraan, niistä ei ole hyötyä. Siksi hyvä kiinnitettävyyys pisteytettiin sen perusteella, kuinka monella suurnopeuskameran sivulla on kamerakierre kiinnitykselle, johon erilaisia jalkoja

on mahdollista kiinnittää. kamerakierteen ollessa useammalla sivulla voidaan kamera asettaa monipuolisemmin kohteeseen ja saada rajattua kuvaa enemmän. Rajauksen avulla saadaan nostettua kuvataajuutta. Pisteytys jakautui kuvion 19 mukaan.

Kamerakierre useammalla sivulla= monipuolinen kiinnitys	1-4	1: Yhdellä sivulla	2: Kahdella sivulla	3: Kolmella sivulla	4: Neljällä sivulla
---	-----	--------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Kuvio 20. Kiinnitettävyyden pisteytys

Suurnopeuskameran fyysinen koko pidetään mahdollisimman pienenä, jotta se saadaan asennettua useisiin kohteisiin. Käyttöympäristössä on kohteita, joissa koneiden suojat rajoittavat kameran asettelua. Fyysinen koko määräytyy suurnopeuskameran teknisten ominaisuuksien mukaan. Tehokkaampi suurnopeuskamera on suurempi kokoinen. Pisteytyksessä pienin suurnopeuskamera sai yhden pisteen. Vaatimusmäärittelyssä tekniset vaatimukset luokiteltiin tärkeämmäksi kuin fyysinen koko.

Suurnopeuskuvauksessa video pituus on tärkeää määrittää käyttökohteen mukaan. Videon pituus luokiteltiin tärkeäksi ja pisteytettiin kuvion 20 mukaan. Sekuntimäärä on aika, joka kuluu todellisuudessa. Katseltava video on paljon pidempi, riippuen siitä paljonko hidastetaan.

	Pisteytys			
Videon pituus	1-3	1=alle 2s	2=2-4s	3=Yli 4s

Kuvio 21. Videon pituuden pisteytys

Tärkeäksi luokiteltiin akulla toimivuus. Osassa suurnopeuskameroissa on sisäänrakennettu lyhytkestoinen akku. Sisäänrakennetun akun idea on pitää kamera päällä verkkovirtakatkosten aikana, jotta tallennettu materiaali ei katoa muistista. Kuvauspaikan vaihto tai hetkellinen verkkovirrasta irtautuminen eivät keskeytä kuvaamista. Vaatimusmäärittelyssä sisäänrakennettu akku pisteytettiin kuvion 21 mukaan. Suurnopeuskameroihin on saatavilla ulkoisia lisäakkuja, jolla saadaan tarpeen mukaan kamerasta kokonaan akkukäyttöinen.

	Pisteytys			
Sisään rakennettu akku	0-2	0: Akkua ei ole	1: Akku on, lyhyt kesto, noin 10min	2: Akun kesto yli 20 minuuttia

Kuvio 22. Akulla toimivuuden pisteytys

Suurnopeuskameran hinta pisteytettiin kolmeen luokkaan. Kuviossa 22 nähdään pisteiden raja-arvot. Raha otettiin pisteytykseen, jotta vältetään yli-investoinnilta. Kuvion 22 hintatiedot ovat viitteellisiä.

Hinta	1-3	1: 30-40 €	2: 20-30 €	3: 10-20 €
-------	-----	------------	------------	------------

Kuvio 23. Suurnopeuskameran hinta

### 8.3 Toissijainen/ei pakollinen

Ei pakollisiin vaatimuksiin luokiteltiin vaatimukset, jotka eivät ole kriittisiä suurnopeuskameran käyttämisen kannalta ja vaatimuksilla ei ole suurta merkitystä lopputulokseen. Tiedonsiirtonopeus pisteytettiin asteikolla 0-2. Kaksi pistettä sai jos suurnopeuskamera tukee 10 Gb (Gigabyte) Ethernet tiedonsiirtoa, yhden pisteen 1 Gb Ethernetista. Pisteitä ei saanut, jos tiedonsiirto tapahtuu jollain muulla tavalla tai nopeudella. Toissijaisena vaatimuksena oli BSI-kenno, joka on valovoimaisempi ja tehokkaampi. Yhden pisteen sai, jos suurnopeuskamerassa on BSI-kenno.

### 8.4 Vaatimukset täyttävä suurnopeuskamera

Yhtenä tutkimuskysymyksenä oli selvittää mikä suurnopeuskamera soveltuu parhaiten käyttöön. Suurnopeuskamera valmistaja valittiin syistä, joita tässä opinnäytetyössä ei käsitellä. Opinnäytetyössä lopullinen suurnopeuskamera valittiin Phantom-merkkisistä suurnopeuskameroista. Kaksi soveltuvinta, jotka täyttivät pakolliset vaatimukset olivat Phantom Miro C321 (kuvio 23.) ja Phantom VEO-E 310L (kuvio 24.). Suurnopeuskameroiden kesken tehtiin vaatimusmäärittelyn pisteytys, jossa Miro C321 -suurnopeuskamera sai eniten pisteitä. Miro C321 sai 11 pistettä ja VEO-E 310L sai 8 pistettä.



Kuvio 24. Phantom Miro C321 (C321 n.d)



Kuvio 25. Phantom VEO-E 310L (VEO-E 310L n.d)

Molemmat suurnopeuskamerat täyttivät kuvion 25 pakolliset vaatimukset. Miro C321 suurnopeuskamerassa on 2 megapikselin kenno ja VEO-E 310L suurnopeuskamerassa on 1 megapikselin kenno. Molemmissa on Elektroninen Global shutter -tekniikalla toimiva suljin. Molemmilla on mahdollista kuvata 4000 fps kuvataajuudella. VEO-E 310L -suurnopeuskamera mahdollistaisi kuvaamisen suuremmalla kuvataajuudella, mutta tälle ei ole tarvetta tämän tutkimuksen perusteella. (C321 n.d; VEO-E 310L n.d.)

Pakollinen	Kyllä/Ei
Vähintään 4000 fps kuvataajuus	Kyllä
Global shutter	Kyllä
Lukittavat linssit objektiivissa, etteivät linssit liiku kuvattaessa, jolloin tarkennus muuttuu	Kyllä
Vähintään 1 Megapikselin kenno	Kyllä
Kameran on sovelluttava ympäristöön tehtaalla, suunniteltu tehdas ympäristöön	Kyllä
	OK

Kuvio 26. Pakolliset vaatimukset suurnopeuskameralta

Tärkeissä vaatimuksissa Miro C321 pisteytys nähdään kuviossa 26. Miro C321 etuna oli pienempi koko, sisäänrakennettu akku ja edullisempi hinta. Nämä vaatimukset ratkaisivat eron Miro C321 ja VEO-E 310L -suurnopeuskameran välillä.

Tärkeät	Pisteytys					Pisteet
Kamerakierre useammalla sivulla= monipuolinen kiinnitys	1-4	1: Yhdellä sivulla	2: Kahdella sivulla	3: Kolmella sivulla	4: Neljällä sivulla	3
Mahdollisimman pieni fyysinen koko, tekniset vaatimukset määrittävät koon	0-1	Pienin suurnopeuskamera=piste				1
Hinta	1-3	1: 30-40 €	2: 20-30 €	3: 10-20 €		3
Videon pituus	1-3	1=alle 2s	2=2-4s	3=Yli 4s		3
Sisään rakennettu akku	0-2	0: Akkua ei ole	1: Akku on, lyhyt kesto, noin 10min	2: Akun kesto yli 20 minuuttia		1
					Yhteensä	11

Kuvio 27. Phantom Miro C321 -suurnopeuskameran tärkeiden vaatimusten pisteytys

Molemmissa suurnopeuskameroissa on hyvät kiinnitys mahdollisuudet. Kameroissa on kolmella sivulla mahdollisuus kiinnittää jalka kamerakierteeseen. Kamerakierre on yleinen ¼ tuuman kierre. Hyvästä kiinnitettävyydestä molemmat suurnopeuskamerat saivat kolme pistettä.

Miro C321 on edullisempi kuin VEO-E 310L. Suurnopeuskameran hinnan pisteytyksessä Miro C321 sai kolme pistettä ja VEO-E 310L sai kaksi pistettä.

Molemmilla suurnopeuskameroilla on mahdollista kuvata yli 4 sekunnin videota täydellä resoluutiolla ja maksimi kuvataajuudella (C321 n.d; VEO-E 310L n.d). Pisteytyksessä molemmat saivat täydet kolme pistettä. Kuvattaessa resoluutiota ja kuvataajuutta säädellään, jolloin kuvattavan videon pituutta voidaan kasvattaa. Nopeasti liikkuvaa kohdetta ei katsota useita sekunteja, koska kiinnostava asia tapahtuu sekuntien osissa, jolloin lyhyt tallennus kohteesta riittää.

Miro C321 suurnopeuskamerassa on sisäänrakennettu akku, joka tuo joustavuutta kuvaustilanteeseen. VEO-E 310L suurnopeuskamerassa sisäänrakennettua akkua ei ole. Kamera voidaan irrottaa verkkovirrasta, viedä kohteeseen ja kuvata, mutta aikaa on vain 10-15 minuuttia kunnes kamera tarvitsee kytkeä takaisin verkkovirtaan. Molempiin kameroihin voidaan tarvittaessa liittää ulkopuolinen akku, jolla saadaan kesto pidemmäksi. Miro C321 sai yhden pisteen ja VEO-E 310L ei saanut pisteitä sisäänrakennetun akun puuttuessa.(C321 n.d; VEO-E 310L n.d.)

Kameran tekniset vaatimukset määrittävät suurnopeuskameran fyysisen koon. VEO-E 310L -suurnopeuskamera on tehokkaampi, mikä tekee siitä suurempikokoisen kuin Miro C321. Miro C321 on kooltaan 73 mm x 73 mm x 87,2 mm (C321 n.d). VEO-E 310L koko 127 mm x 127 mm x 111 mm (VEO-E 310L n.d). Miro C321 sai yhden pisteen, koska oli pienin kooltaan. VEO-E 310L -suurnopeuskamera ei saanut pisteitä.

Kuviossa 27 nähdään toissijaiset/ei pakolliset vaatimusten pisteytykset. Molemmissa suurnopeuskameroissa on 1 Gb Ethernet tiedonsiirtonopeus, jolloin molemmat saivat yhden pisteen (C321 n.d; VEO-E 310L n.d). Kameralla kuvataan muutaman sekunnin pituisia videoita, jotka siirtyvät sekunneissa tällä nopeudella. Nopeammalla tiedonsiirtonopeudella ei saavuteta merkittävää hyötyä, jolloin se ei ole vaadittu vaatimus. Kummassakaan suurnopeuskamerassa ei ole BSI- kennoa, vaan toimivat normaalilla CMOS- kennolla, joten kumpikaan ei saanut pisteitä.

Toissijainen/ Ei pakollinen	Pisteytys				Pisteet
Tiedonsiirtonopeus	0-2	0: muu tiedonsiirto	1: Gb ethernet	2: 10gb ethernet	1
BSI-Kenno	0-1	0: Ei ole	1: On		0
Yhteensä					1

Kuvio 28. Phantom C321 ja VEO-E 310L -suurnopeuskameroiden toissijaisten/ei pakollisten vaatimusten pisteytys

## 9 Johtopäätökset

Tutkimuskysymyksiä oli ” Millaisia ominaisuuksia suurnopeuskameralta vaaditaan, ja millaisia teknisiä sekä ympäristöön liittyviä rajoituksia sen käyttöön liittyy?” ja ”mikä suurnopeuskamera soveltuu parhaiten käyttöön?”. Näihin kysymyksiin haettiin vastaukset ja opinnäytetyön tavoitteeksi muodostui tehdä vaatimusmäärittely suurnopeuskameralta vaadittavista ominaisuuksista ja löytää niiden mukainen suurnopeuskamera korjaavan kunnossapidon apuvälineeksi. Vaatimusmäärittelyssä huomioitiin kameroiden tekniset rajoitteet sekä toimeksiantajan Metsä Tissue Oyj Mäntän paperitehtaan rajoitteet ja toiveet kameralta.

Opinnäytetyössä tehtiin lomakekysely kunnossapidon henkilöille. Lomakekyselyllä selvitettiin ominaisuuksia, jotka loppukäyttäjät kokivat tärkeinä. Kunnossapidon osastot priorisoitiin sen perusteella, ketkä käyttäisivät kameraa eniten. Priorisointi järjestykseksi muodostui 1. Mekaaninen kunnossapito jalostus 2. Sähkökunnossapito jalostus 3. Mekaaninen kunnossapito paperitehdas 4. Sähkökunnossapito paperitehdas. Priorisointi järjestyksellä oli vaikutus lomakekyselyssä vastausten merkityksellisyyteen. Vastaajien mielestä kolme tärkeintä kameran ominaisuutta olivat hyvä kiinnitettävyyden, yksinkertainen käyttö ja pieni fyysinen koko. Kiinnitettävyydestä ja pienestä koosta muodostettiin vaatimus suurnopeuskameralle. Yksinkertaiseen käyttöön voidaan vaikuttaa kouluttamalla henkilöitä kameran käyttöön ja tekemällä ohje kameran käytöstä.

Oman havainnoinnin, tietoperustan, lomakekyselyn ja käytännön kokeilun kautta saatiin määritettyä vaatimukset. Vaatimukset luokiteltiin kolmeen luokkaan. Pakolliset, tärkeät ja toissijaiset/ei pakollinen. Jokainen vaatimus luokiteltiin yhteen näistä luokista. Pakolliset vaatimukset oli löydettävä

suurnopeuskamerasta. Luokissa tärkeä ja toissijainen/ei pakollinen suoritettiin pisteytys. Pisteytyksen avulla saatiin eroja suurnopeuskameroiden välille. Vaatimusmäärittelyä voidaan käyttää myöhemmin uudempien suurnopeuskameroiden kanssa.

Vaatimusmäärittelyn tuloksena Phantom Miro C321 -suurnopeuskamera täytti kaikki pakolliset vaatimukset ja sai enemmän pisteitä muista vaatimuksista kuin Phantom VEO-E310L -suurnopeuskamera. Pisteytyksessä ero suurnopeuskameroiden välillä oli kolme pistettä. VEO-E310L -suurnopeuskamera ei saanut riittävästi pisteitä kalliimman hinnan, suuremman koon ja sisäänrakennetun akun puuttumisen vuoksi. Lopputuloksessa oli tärkeää saada täytettyä mahdollisimman monia tärkeitä vaatimuksia, jotta suurnopeuskamera olisi mahdollisimman tehokas.

## 10 Pohdinta

Opinnäytetyöprojekti onnistui hyvin. Opinnäytetyössä löydettiin vastaus kaikkiin tutkimuskysymyksiin. Vaatimusmäärittelystä saatiin kattava, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta. Tehtaalla on vaativat olosuhteet, joten suurnopeuskameran on kestettävä tehtaan ympäristön olosuhteet. Pääosin kamerat kestävätkin, mutta suoraa tiiveysluokitusta kameroille ei ole. Tämä aiheutti ongelmia vaatimusmäärittelyssä, mutta ympäristön kartoituksen myötä todettiin, että suurnopeuskamerat pärjäävät tehtaalla valtaosassa kohteissa, varsinkin paperin jalostuksen puolella. Suurnopeuskameran on oltava suunniteltu teollisuuden käyttöön, jolloin se kestää enemmän pölyä ja kolhiintumista. Paperikoneiden ympäristössä suoralta vesisuihkulta kamera on suojattava ulkopuolisella suojalla. Tähän aiheeseen Koljonen (2024) perehtyi omassa kandidaatintyössään. Työssään Koljonen suunnitteli prototyypin kotelosta suurnopeuskameralle paperiteollisuuteen. Vastaava kotelo tai suoja tarvitaan, jos suurnopeuskamera viedään kuumaan ja kosteaan ympäristöön tehtaalla. Tästä voisi tehdä jatkotutkimuksen, jossa suunnitellaan suojakotelo suurnopeuskameralle niin kuin Koljonen teki omassa kandidaatintyössään.

Opinnäytetyön rajauksen ulkopuolelle jäi suurnopeuskameran hankinta ja käyttöönotto. Prosessi mahdollisesti jatkuu yrityksessä. Seuraavana vaiheena olisi suurnopeuskameran hankinta ja koulutusten järjestäminen loppukäyttäjille.

## 10.1 Luotettavuus

Työn viitekehys koostui monipuolista lähteistä. Lähteinä oli kirjallisuutta, akateemisia julkaisuja, alalla toimivien yritysten verkkosivuja ja standardeja. Lähteitä voidaan pitää luotettavina. Yritysten kaupallisia lähteitä on luettava kriittisesti, koska taustalla voi olla tuotemainontaa.

Lomakekyselyllä kerättyä aineistoa käsiteltiin huolellisesti. Huolellinen käsittely takasi aineiston muuttumattomuuden koko opinnäytetyö prosessin ajan. Oma havainnointia tehdessä asiat kirjattiin kohteessa vihkoon muistiin sellaisenaan, kun ne koettiin siinä hetkessä.

Vaatimusmäärittelyssä huolellisuus ja syvällinen perehtyminen tuovat hyvän lopputuloksen. Mitä enemmän aikaa käytettäisiin perehtymiseen ja prosessin seuraamiseen, sitä syvällisemmäksi ja kattavammaksi vaatimusmäärittely tulisi. Opinnäytetyössä aika on rajallinen ja kaikkea ei kyetä huomioimaan. Päätelmänä on, että lopputulos ole välttämättä kaikista optimaalisin. Syvemmillä vaatimusmäärittelyllä ja suurnopeuskameroihin perehtymisellä voidaan saavuttaa entistä parempi lopputulos. Tässä kohtaa asiaa on tarkasteltava näkökulmasta, jossa pohditaan onko vaatimusmäärittely tarpeeksi syvällinen ja kattava. Aiheesta voisi tehdä jatkotutkimuksen, jossa tutkittaisiin tehtyä vaatimusmäärittelyä ja tämän toimivuutta.

## 10.2 Eettisyys

Opinnäytetyössä noudatettiin eettisiä periaatteita. Opinnäytetyön alkuvaiheessa yrityksen ja tutkijatehtävän tekijän kanssa tehtiin salassapitosopimus. Ennen työn julkaisua toimeksiantaja luki opinnäytetyön sisällön ja varmisti, että sisältö on asianmukainen. Opinnäytetyö käytettiin plagioinnin tarkastuksessa ennen julkaisua. Lomakekysely tehtiin anonymisti ja tämä kerrottiin vastaajille heti lomakekyselyn alussa. Opinnäytetyössä ei kerätty henkilötietoja ja kerätystä tutkimusaineistosta ei ole mahdollista tunnistaa yksittäisiä henkilöä. Lähteitä on käytetty asianmukaisesti ja niihin on viitattu oikealla tavalla.

## 10.3 Jatkokehitysideat

Käytännön kokeilun kautta tuli uusia ideoita, joilla suurnopeuskameroiden käytöstä tehtaalla saataisiin tehokkaampaa. Kuvauksissa pohdittiin laajemmin suurnopeuskameroiden käyttö tehtaalla,

kuin pelkästään kunnossapidon tarpeisiin. Suurnopeuskameroiden käyttöä laajennettaisiin linjalla työskenteleville henkilöille. Suurnopeuskameroille suunniteltaisiin kiinteät paikat koneille, josta voitaisiin havaita koneen säätöihin liittyviä ongelmia. Kun nähdään mitä koneessa tapahtuu päästään suoraan kiinni oikeaan juurisyyhyn. Jokainen tuotantolinja ei tarvitse omaa tai useita omia suurnopeuskameroita vaan yhtä tai kahta kameraa kierrätettäisiin tarpeen mukaan koneiden kiinteiden pisteiden välillä. Kiinteiden pisteiden avulla kameran käyttäminen olisi yksinkertaisempaa ja nopeampaa, kun kameran asetteluun ja säätöihin kuluisi vähemmän aikaa. Kiinteissä pisteissä olisi kiinnike kameralle, kaapelit valmiina yhdistettynä tietokoneeseen, valmiit ennalta määrätyt asetukset, jotka kameralle annetaan ja tarpeen mukaan kiinteät valot. Tällä lisättäisiin työturvallisuutta, sillä konetta voidaan tarkastella tietokoneen näytöltä suojien ulkopuolelta. Kone voidaan myöhemmin ajaa hallitusta alas ja tehdä tarvittavat säädöt.

Kuvausten aikana tehtaalla pohdittiin reaaliaikaista kuvan katselua suurnopeuskameran kautta. Tähän suurnopeuskameraa voidaan käyttää ja tarpeen mukaan nauhoittaa kuvaa halutulla kuvataajuudella. Kyseiseen käyttötarkoitukseen voisi miettiä oman laitteiston tai ratkaisun, joka ei välttämättä olisi suurnopeuskamera. Ratkaisu olisi pienikokoinen, langaton ja akulla toimiva videokamera. Markkinoilla on olemassa suurnopeuskameroita, joiden maksimi kuvataajuudet ovat huomattavasti pienemmät, mutta niiden etuna on erittäin pieni koko. Kyseiset suurnopeuskamerat sopisivat useisiin kohteisiin, joissa ei vaadita suurta kuvataajuutta vaan kameraa voitaisiin käyttää reaaliaikaiseen kuvan katseluun. Pienien suurnopeuskameroiden kuvataajuudet riittäisi varmasti moniin kohteisiin tehtaalla.

Yhtenä isoimpana asian opinnäytetyössä esille työturvallisuuden merkittävä parannus. Suurnopeuskameroilla ja samoin perinteisillä videokameroilla saadaan tehostettua työturvallisuutta, kun kameran kautta voidaan katsella tapahtumaan. Tähän olisi jatkossa hyvä panostaa, koska työturvallisuus on kaikkein tärkein asia.

## Lähteet

Amy. 2024. Complete shutter speed for video guide. Blogi teksti. Scouty verkkosivut. Viitattu 16.9.2024. <https://www.scouty.com/blog/complete-shutter-speed-for-video-guide>

Arvot. N.d. Metsä Groupin www-sivut. Viitattu 4.11.2024. <https://www.metsagroup.com/fi/tietoametsa-groupista/kasvun-strategia/arvot>

Asikainen O. 2016. Kameran rakenne ja sen toiminnat. Artikkel. Suomen valokuvataiteen museon verkkosivut. Viitattu 27.9.2024. <https://www.valokuvataiteenmuseo.fi/fi/tietopalvelut/tietoa-ja-oppaita/lehtikuvaajan-valineet-1800-luvulta-1900-luvun-loppuun/kameran>

Astrophotography 101: The Bayer Filter System. N.d. Blogi teksti. optcorp verkkosivu. Viitattu 20.9.2024. <https://optcorp.com/blogs/astrophotography-101/bayer-filter-system>

Bryan-Smith, C. 2024. What Is Aperture? (Understanding Aperture in Photography). Artikkel. Expert photography www-sivuilta. Viitattu 30.8.2024. <https://expertphotography.com/how-to-understand-aperture-5-simple-steps/>

C321. N.d. Phantom high speed verkkosivut. Viitattu 6.11.2024. <https://www.phantomhigh-speed.com/products/cameras/mirocnn/c321>

Camera Sensors: What Are They and How Do They Work?. N.d. Artikkel. Fujifilm verkkosivut. Viitattu 3.9.2024. <https://fujifilm-x.com/en-us/series/fundamentals-of-photography/camera-sensors-what-are-they-and-how-do-they-work/>

CMOS vs BSI Sensor. 2024. Blogiteskti. Nevsemi.com verkkosivut. Viitattu 27.9.2024. <https://www.nevsemi.com/blog/cmos-vs-bsi-sensor>

Difference Between 480p, 720p, 1080p, 1440p, 2K, 4K, And 8K Resolutions. 2023. itechtics verkkosivut. Viitattu 3.9.2024. <https://www.itechtics.com/screen-resolution-types-explained/#what-is-resolution>

Engbo, K. 2021, Hyviä syitä käyttää elektronista suljinta. Artikkel. Digi-kuva.fi verkkosivut. Viitattu 16.9.2024. <https://digi-kuva.fi/valokuvaustekniikka/hyvia-syita-kayttaa-elektronista-suljinta>

Engbo, K. 2022. Kameran ISO-arvon ymmärtäminen: 6 asiaa, joita et tiennyt ISO-arvosta. Artikkel. Digi-kuva.fi verkkosivut. Viitattu 27.9.2024. <https://digi-kuva.fi/valokuvaustekniikka/herkkyys/kameran-iso-herkkyys-6-asiaa-joita-et-ehka-tiennyt>

Ennakoiva kunnossapito: maksimoi laitteiden käytettävyyensaika ja kustannussäästöt. N.d. SAP verkkosivu. Viitattu 4.9.2024. <https://www.sap.com/finland/products/scm/apm/what-is-predictive-maintenance.html>

EVERYTHING Looks Better in Slow Motion! (Volume 9). 2020. Lataaja Legendary Shots. Viitattu 4.10.2024. <https://www.youtube.com/watch?v=GdRJCTR1KDQ>

Granberg, M. 2024. Citius imaging Ltd Oy toimitusjohtaja. Haastateltu 26.9.2024.

Hwung, C. 2023. Video Frame Rates: 30fps vs 60fps vs 120fps vs 240fps. Medium www-sivut. Blogi teksti. Viitattu 28.8.2024. <https://ceciliadigiarty.medium.com/video-frame-rates-30fps-vs-60fps-vs-120fps-vs-240fps-22c94845fce4>

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017. Kunnossapito tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 6. p. Helsinki: Pro-maint.

Kallinen, T & Kinnunen, T. 2021. Toimintatutkimus. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 3.10.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/toimintatutkimus/>

Koljonen, V. 2019. SUURNOPEUSKAMERAN KOTELOSUUNNITTELU. Kandidaatintyö. Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto, konetekniikka. Päivitetty 10.6.2024. Viitattu 6.11.2024. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/167770/kandidaatinty%C6%koljonen\\_veikko.pdf?sequence=1](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/167770/kandidaatinty%C6%koljonen_veikko.pdf?sequence=1)

Kosola, J. 2013. Vaatimustenhallinnan opas. Maanpuolustuskorkeakoulu Helsinki, Sotatekniikan laitos. Viitattu 25.9.2024. [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/88931/Vaatimustenhallinnan%20opas%201.0\\_verkkoversio.pdf](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/88931/Vaatimustenhallinnan%20opas%201.0_verkkoversio.pdf)

Kumar, R. 2024. What are Global Shutter and Rolling shutter Cameras? How to choose the one that fits the application?. Viitattu 16.9.2024. <https://www.e-consystems.com/blog/camera/technology/what-are-global-shutter-and-rolling-shutter-how-to-choose-the-one-that-fits-the-application/>

Lens FAQ: What is Focal Length?. 2023. Artikkel. Snapshot verkkosivu. Viitattu 23.9.2024. <https://snapshot.canon-asia.com/article/eng/lens-faq-what-is-focal-length>

Lucatorto, T. N.d. A 'Sensitive' Topic: Why EMVA is the Superior Standard to ISO. Artikkel. Phantomhighspeed verkkosivut. Viitattu 2.10.2024. <https://www.phantomhighspeed.com/-/media/project/ameteksxa/visionresearch/documents/casestudies/english/web/emva-white-paper.pdf?la=en&revision=724b67f0-d629-46b7-a973-783a400ffba3>

Management and Board of Directors. N.d. Metsä Groupin www-sivulta. Viitattu 27.5.2024. <https://www.metsagroup.com/metsatissue/about-metsatissue/about-metsa-tissue/management/>

Manninen, J. 2023. Mitä on ennaltaehkäisevä kunnossapito?. Aneo.fi verkkosivut. Viitattu 18.10.2024. <https://www.aneo.fi/fi/kunnossapito/mita-on-ennaltaehkaiseva-kunnossapito>

Metsä Tissue Suomessa. N.d. Metsä Groupin www-sivut. Viitattu 4.11.2024. <https://www.metsagroup.com/fi/metsatissue/metsatissue/tuotanto/tuotanto-suomessa-mantta/>

Metsäliitto Osuuskunta. N.d. Metsä Groupin www-sivut. Viitattu 27.5.2024. <https://www.metsagroup.com/fi/sijoittajat/metsa-group-sijoituskohteena/metsaliitto-osuuskunta/>

Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Salo, P., Komonen, K., Lumme, V. E., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media.

PSK 6201:2022. Ryhmä 62. Kunnossapidon käsitteet ja laitoksen kuntokartoitus - Group 62. Maintenance terminology and condition audit of process plant. Vahvistettu 11.5.2022. Viitattu 4.9.2024. [https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK6201\\_4p\\_k.pdf](https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK6201_4p_k.pdf)

Räisänen, T. 2008. Konenäkökameroiden testausympäristö. Opinnäytetyö, AMK. Kajaanin ammattikorkeakoulu, tietotekniikka. Viitattu 20.9.2024. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/12899/TTI4STuomasR.pdf?sequence=1>

Robert, J. 2024. Pushing back the limits of optical imaging by processing trillions of frames per second. Institut national de la recherche scientifique verkkosivut. Viitattu 6.11.2024. <https://inrs.ca/en/news/pushing-back-the-limits-of-optical-imaging-by-processing-trillions-of-frames-per-second/>

Rouse, M. 2020. Resolution. Artikkel. Techopedia verkkosivu. Viitattu 3.9.2024. <https://www.techopedia.com/definition/2743/resolution>

Saari, M. 2012. Valokuvauksen perusteita: Polttoväli. Blogi kirjoitus. Mikko Saaren verkkosivut. Viitattu 24.9.2024. <https://www.mikkosaari.fi/polttovali/>

SFS-EN 13306:2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen standardisointiliitto SFS. Vahvistettu 12.10.2018. Viitattu 4.6.2024. <http://janet.finna.fi>, SFS Online.

The Landscape Photographer's Complete Guide to f-stop, Aperture, and Depth of Field. N.d. Meredith fontana verkkosivu. Viitattu 2.9.2024. <https://www.meredithfontana.com/post/aperture-and-depth-of-field-guide>

Tuomela, S. 2021. Älypuhelin ja järjestelmäkamera vaalikampanjassa. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu, tieto -ja viestintätieteiden tutkimusohjelma. Viitattu 2.9.2024. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/504980/tuomela\\_suvi.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/504980/tuomela_suvi.pdf?sequence=2)

Vaatusmäärittely: Mitä se tarkoittaa ja miksi se on tärkeä osa projektin onnistumista?. 2023. Blogiteksti. Metatavu verkkosivut. Viitattu 24.8.2024. <https://metatavu.fi/vaatusmaarittely-mita-se-tarkoittaa-ja-miksi-se-on-tarkea-osa-projektin-onnistumista/>

Vähän polttovälistä ja kennon koostakin. 2018. Iisalmen kameraseuran verkkosivut. Koulutusmateriaali. Viitattu 23.9.2024. <https://www.iisalmenkamera.fi/2018/11/vahan-polttovalista-ja-kennon-koostakin/>

Valokuvauksen käsitteitä selkokielellä. N.d. Million dreams for design verkkosivut. Viitattu 16.9.2024. <https://milliondreamsfordesign.wordpress.com/portfolio/valokuvauksen-kasitteita-selkokielella/>

VEO-E 310L. N.d. Phantom high speed verkkosivut. Viitattu 6.11.2024. <https://www.phantomhigh-speed.com/>

Vuohensilta, L. 2019. Miten hidastuskamera toimii? Kuvataan "super slomo video"! Video. YouTube-videopalvelu. Julkaistu 18.12.2019. Viitattu 3.9.2024. <https://www.youtube.com/watch?v=FgOsF7A0UeU>

Wejberg, V. 2013. Suurnopeuskuvaus käytännössä. Insinööriyö, AMK, Metropolian ammattikorkeakoulu, mediatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 3.9.2024. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58824/suurnope.pdf?sequence=1>

What are high speed cameras?. 2021. Avicon verkkosivut. Viitattu 24.9.2024. <https://avicon.pl/en/news/what-are-high-speed-cameras/>

What Happens When Light Hits A Pixel?. N.d. Teledyne verkkosivut. Viitattu 13.9.2024. <https://www.photometrics.com/learn/imaging-topics/what-happens-when-light-hits-a-pixel>

What is a BSI Sensor (Back Side-Illuminated Sensor)?. 2022. Artikkel. Adorama verkkosivut. Viitattu 27.9.2024. <https://www.adorama.com/alc/faq-whats-a-back-side-illuminated-sensor/>

YLEISTÄ SUURNOPEUSKUVAUKSESTA. N.d. Jaso.fi verkkosivut. Viitattu 9.10.2024. <https://www.jaso.fi/kamerat/suurnopeuskuvauksesta.html>

# Liitteet

## Liite 1. Lomakekyselyn kysymykset 1-3

### Suurnopeuskameran käytön kartoitus

Suurnopeuskamera=hidastuskamera

Hidastuskameroita käytetään laajalti teollisuudessa vianhaussa. Hidastuskameroista on hyötyä, kun kohde liikkuu nopeasti ja halutaan nähdä mitä todellisuudessa tapahtuu. Hidastuskameroilla kuvataan videota lähes samanlailla, kuin normaalilla videokameralla. Erona on, että jälkepäin videota katsellessa, hidastuskameralla kuvattua videota voidaan toistaa hitaammin. Normaalilla videokuvaa hidastaessa syntyy nykivää videota. Hidastuskamera ottaa kuvia enemmän sekunnin aikana, jolloin toistaminen tapahtuu sulavasti. Aikaisemmin hidastuskamerat ovat olleet todella suuri kokoisia, mutta nykyään löytyy jopa golfpallon kokoisia.

Linkistä pääset katsomaan esimerkkejä hidastuksesta. <https://www.youtube.com/watch?v=GdRjCTR1KDO>

Kyselyn tarkoituksena on kerätä näkemyksiä hidastuskameran käytöstä kunnossapidon apuvälineenä. Kyselyllä kerätään informaatiota kamerasta haluttavista ominaisuuksista, käyttökohteista yms. Kysely tehdään anonyymisti. Kiitoksia vastauksestasi!

#### 1. Missä työskentelet? \*

- Mekaaninen kunnossapito paperitehdas
- Mekaaninen kunnossapito jalostus
- Sähkökunnossapito paperitehdas
- Sähkökunnossapito jalostus

#### 2. Oletko joskus kuvannut hidastusvideota esimerkiksi puhelimellasi? \*

- Kyllä
- En

#### 3. Koetko, että hidastuskamerasta olisi hyötyä työssäsi? \*

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

## Liite 2. Lomakekyselyn kysymykset 4-7

4. Mitkä kameran ominaisuudet kokisit tärkeiksi, järjestä vaihtoehdot tärkeimmästä alaspäin (1. tärkein). Vastauslaatikot liikkuvat raahaamalla. \*

Pieni fyysinen koko

Hyvä kiinnitettävyyys kohteeseen (jalustat, magneetit yms.)

Fyysinen näyttö kamerassa

Akulla toimivuus

Kameran yksinkertainen ja helppo käytettävyys

5. Mitä muita ominaisuuksia toivoisit hidastuskameralta?

Kirjoita vastaus

6. Millaisissa tilanteissa/millä koneella hidastuskamerasta voisi olla hyötyä? Kerro esimerkki

Kirjoita vastaus

7. Vapaa sana

Kirjoita vastaus