



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tietotekniikan koulutusohjelma

TIMO OKSANEN

**3D-TELEPEROINNIN SOVELTAMINEN SILTANOSTURIN
OHJAUKSEEN**

Diplomityö

Tarkastaja: professori Hannu Koivisto
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone- ja materiaali-
tekniikan tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 15.01.2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

OKSANEN, TIMO: 3D-teleoperoinnin soveltaminen siltanosturin ohjaukseen

Diplomityö, 58 sivua

Helmikuu 2014

Pääaine: Prosessiautomaatio

Tarkastaja: professori Hannu Koivisto

Avainsanat: teleoperointi, siltanosturi, 3D, älykäs nosturi, stereokamerat

Siltanosturien mekaaniset rakenteet ovat pysyneet melko muuttumattomina jo vuosikymmenten ajan. Asiakkaan näkökulmasta siltanosturi on usein vain työkalu, joka mahdollistaa materiaalien siirtelyn. Tämän vuoksi nosturivalmistajan tulee erottua kilpailijoistaan tuottamalla nosturin avulla lisäarvoa asiakkaan prosessille. Yksi merkittävimpiä keinoja lisäarvon tuottamiseen on lisätä nostureihin älykkäitä toimintoja, jolloin nosturi ei ole enää pelkkä työkalu vaan tärkeä osa asiakkaan prosessia.

Tässä diplomityössä tutkitaan 3D-teleoperoinnin soveltuvuutta siltanosturin ohjaukseen. Teleoperoinnilla ei ole tarkoitus korvata nosturin perinteisiä ohjausmenetelmiä sellaisissa sovelluksissa, jossa perinteiset ohjausmenetelmät toimivat hyvin. On kuitenkin monia siltanostureiden sovelluskohteita, joissa perinteisten ohjausmenetelmien käyttö ei ole turvallista, ergonomista ja tehokasta. Diplomityö keskittyy selvittämään, mitä siltanosturien ohjaamiseen liittyviä ongelmia teleoperoinnilla voidaan ratkaista.

Työn 3D osuus keskittyy selvittämään millaista lisäarvoa teleoperoinnissa voidaan 3D-tekniikoiden avulla saavuttaa. Työ sisältää taustatietona ihmisen stereonäön perusteita. Lisäksi ihmisen stereonäköä verrataan 3D-videokuvan tuottamisen perusteisiin. 3D-osuudessa käydään läpi stereokuvaa aina materiaalin tuottamisesta materiaalin esittämiseen asti.

Osana työtä rakennettiin siltanosturin teleoperointijärjestelmä teleoperointitestejä varten. Testilaitteistoa esiteltiin Konecranesin työntekijöille ja esittelykertojen testiajojen avulla selvitettiin eri tekijöiden vaikutuksia teleoperointijärjestelmän käytettävyyteen ja suorituskykyyn.

Työn lopussa kootaan yhteen teleoperoinnin siltanosturisovelluksien tärkeimpiä huomioitavia asioita. Työssä ei suoranaisesti esitellä soveltuvia käyttökohteita teleoperoinnille. Sen sijaan keskitytään pohtimaan tärkeimpiä edellytyksiä teleoperoinnin käytölle sekä menetelmiä, joilla teleoperoinnista voidaan saada siltanosturin ohjauksessa maksimaalinen hyöty.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Automation technology

OKSANEN, TIMO: 3D-Teleoperation in electric overhead travelling crane

Master of Science Thesis, 58 pages

February 2014

Major: Process automation

Examiner: Professor Hannu Koivisto

Keywords: Teleoperation, EOT-crane, 3D, Smart Crane, Stereo cameras

The mechanical structures of cranes have stayed almost unchanged for decades. From the customers point of view an overhead crane is just a tool for moving payloads from A to B. For these reasons it is very important to bring added value to the customer's process. One effective way to accomplish this is to add smart features to crane. A smart crane is not anymore just a tool but an integral part of the customer's process.

This thesis studies the possibility of using 3D-teleoperation for controlling an electric overhead travelling crane. The goal is not to replace traditional control methods of EOT-crane, but to resolve some problems that are encountered in special EOT-crane applications.

The 3D-part of this thesis covers the basic principles of human stereo vision. These principles are compared against basic principles of producing 3D-video material. The thesis covers producing 3D-video material all the way from capturing the stereo image to displaying the stereo video.

A 3D-teleoperation system was built to a test-crane. This system was used to demonstrate teleoperation of EOT-crane to Konecranes workers. The feedback from demo sessions was used to understand influences of various changes in teleoperation system.

As a conclusion of this thesis the most important concerns are brought forth. The thesis doesn't introduce any direct use cases for teleoperation in the control of EOT-crane. Instead the thesis brings forth the most important aspects that can help to maximize the benefits of teleoperation system.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Konecranes Oyj:n Automation & Electrics osastolle Hyvinkäällä. Työ selvittää mahdollisuuksia soveltaa 3D-teleoperointia siltanosturin ohjauksessa. Haluan kiittää esimiestäni Ari Lehtistä, sekä tuotekehitysosaston Lasse Erikssonia äärimmäisen mielenkiintoisen diplomityön aiheen mahdollistamisesta.

Suuri kiitos kuuluu myös työn ohjaajalle Mikko Heikkilälle, joka on ollut kommentteineen tärkeä tuki työn kirjoittamisessa ja lisäksi osallistunut aktiivisesti käytännön testeihin. Lisäksi haluan kiittää koko Konecranes Oyj:n Automation & Electrics osaston henkilöstöä miellyttävästä työilmapiiristä, sekä rakentavista kommentteista työhön liittyen.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni joka on tukenut kiinnostustani tekniikkaan ja mahdollistanut opiskeluni.

Hyvinkäällä 13.2.2014

Timo Oksanen

SISÄLLYS

Tiivistelmä	II
Abstract	III
Alkusanat	IV
Lyhenteet ja merkinnät.....	VII
1. Johdanto	1
1.1. Työn taustaa	1
1.2. Tutkimuksen tavoitteet.....	2
1.3. Tutkimuksen rajaukset	2
1.4. Työn rakenne.....	3
2. Teleoperoinnin käsitteet ja taustat.....	4
2.1. Perusteet ja historia	4
2.1.1. Edut ja haitat	5
2.1.2. Käytettävyys	5
2.2. Esimerkkisovellukset	7
2.2.1. Sandvik AutoMine.....	7
2.2.2. Curiosity rover – Mars-kulkija	9
2.2.3. ASC-nosturi	11
3. Kolmiulotteisuus	14
3.1. Ihmisen syvyysnäkö	14
3.1.1. Monokulaariset syvyysvihjeet	14
3.1.2. Binokulaariset syvyysvihjeet	16
3.2. 3D:n edut ja haitat	17
3.3. 3D:n käytettävyys.....	18
3.4. Stereokamerat.....	19
3.4.1. Kameroiden tahdistus	19
3.4.2. Kameralinssin valinta	19
3.4.3. Interokulaarinen etäisyys	19
3.4.4. Normaali parallaksi.....	21
3.4.5. Potentiaaliset virheet 3D stereokuvassa.....	22
3.5. 3D näytöt.....	23
3.5.1. Anaglyyfinen stereokuva	24
3.5.2. Passiiviset polarisaatiolasit	24
3.5.3. Aktiiviset suljinlasit	25
3.5.4. Stereovideolasit.....	26
3.5.5. Autostereoskooppinen 3D-näyttö	27
4. Sovellusympäristö	29
4.1. Nosturin mekaniikka ja laitteet	29
4.2. Nosturin ohjausjärjestelmä.....	30
4.3. Siltanosturin ohjaustavat	31
4.3.1. Suoraohjausmenetelmät	31

4.3.2.	Puoliautomaattiohjaus.....	33
4.3.3.	Automaattiohjaus.....	33
4.4.	Teleoperoinnin edut ja haitat siltanosturisovelluksessa	33
5.	Testijärjestelmän toteutus	36
5.1.	Nosturi.....	36
5.1.1.	Nosturin suoraohjaus	37
5.1.2.	Tehtäväpohjainen ohjaustapa.....	37
5.2.	Stereokamerat.....	37
5.2.1.	Verkkoarkkitehtuuri.....	39
5.2.2.	Polttoväli ja tarkennus	41
5.2.3.	Interokulaarinen etäisyys	42
5.2.4.	Konvergenssi	43
5.2.5.	Kameran parametrisointi	43
5.3.	Teleoperointitietokone	44
5.3.1.	Käyttöliittymä	44
6.	Testaus	46
6.1.	3D vs. 2D	46
6.1.1.	1. testikerta.....	46
6.1.2.	2. testikerta.....	47
6.2.	Käyttöliittymä	50
6.2.1.	Hallikamerat 3D-näytöllä	51
6.2.2.	Vaihdeettava kamerapari 3D-näytöllä.....	51
6.2.3.	3D-näyttö + lisänäkyvät 2D-näytöllä	52
6.3.	Näytöt.....	53
7.	Tulokset.....	54
7.1.	Teleoperoinnin soveltuvuus siltanostureihin	54
7.2.	2D- vs. 3D-teleoperointi	54
7.3.	Suljinlasit vs. autostereoskopia	56
8.	Yhteenveto	57
	Lähteet.....	58

LYHENTEET JA MERKINNÄT

2D	Kaksiulotteinen (engl. 2-Dimensional)
3D	Kolmiulotteinen (engl. 3-Dimensional)
ASC	Automaattinen konttinosturi (engl. Automatic Stacking Crane)
Curiosity rover	NASA:n teleoperoitu Mars-kulkija
EDL	Curiosity roverin saapuminen Mars planeetan kaasukehään sekä laskeutuminen Mars planeetan pinnalle (engl. Entrance Descent and Landing)
Hazcam	Curiosityn runkoon asennetut vaaran havainnointikamerat (engl. Hazard avoidance cameras)
Heartbeat-signaali	Tasaisella tahdilla lähetettävä signaali, joka kertoo laitteen olevan toimintakykyinen.
ID	Interokulaarinen etäisyys eli 3D-kameraparin linssien välinen etäisyys (engl. Interocular Distance)
Konvergenssipiste	Piste, jossa stereokameraparin suorat kuvauslinjat kohtaavat
MaHLI	Curiosityn käsivarteen asennettu kamera (eng. Mars Hand Lense Instrument)
MSLICE	Curiosityn seuraavan päivän toiminnot sisältävä ohjelma (engl. Mars Science Laboratory InterfaCE)
MSM-8	(engl. Master Slave Manipulator Mk.8)
NASA	Amerikan Yhdysvaltojen avaruushallinto (engl. National Aeronautics and Space Administration)
Navcam	Curiosityn navigointiin käytettävä stereokamerapari (engl. Navigation cameras)
PoE	Toimilaitteen käyttöjännitteen syöttö Ethernet kaapelin kautta (engl. Power over Ethernet)
PTZ-kamera	Kääntö, kallistus ja zoomaus ominaisuudella varustettu kamera (engl. Pan Tilt Zoom)

Retinaalinen dispariteetti	Ihmisen kahden silmän näkemien kuvien eroavaisuus. Käytetään myös termiä parallaksi.
ROS	ASC-nosturin etäoperointiasema (engl. Remote Operating Station)
RTG	Kiskoilla kulkeva nosturi (engl. Rail Mounted Gantry)
TOS	Satamaterminaalin liikenteen hallintatyöasema (engl. Terminal Operating Station)
UDP	Yksinkertainen tiedonsiirtoprotokolla, jolla voidaan lähettää käyttäjän haluamia viestejä verkon ylitse (engl. User Data Protocol)
Web service	Kahden elektronisen laitteen WWW:tä hyödyntävä kommunikointimenetelmä
WWW	Maailmanlaajuinen tietoverkko (engl. World Wide Web)
WebKey	Konecranesin CXT Smart-nostureissa käyttämä web-pohjainen huoltokäyttöliittymä

1. JOHDANTO

Teleoperoinnin konsepti on ollut olemassa jo pitkään. Sen käyttö on kuitenkin hyvin rajoittunutta. Teleoperoinnista puhuttaessa useimmille ihmisille mieleen tulee ensimmäisenä Mars-kulkija Curiosity, tai sotakenttien päällä lentelevä UAV, eli miehittämätön lentokone. Harvalla ihmiselle tulee mieleen, että teleoperointia löytyy myös arkipöydästä ympäristöistä.

Termi teleoperointi (engl. teleoperation) tarkoittaa laitteen etäohjausta. Periaatteessa radio-ohjattava autokin voidaan laskea teleoperoitavaksi laitteeksi. Yleensä kuitenkin käsitteeseen teleoperointiin liitetään ajatus, että laitetta voidaan ohjata ilman fyysistä yhteyttä laitteeseen ja laitteen toimintaympäristöön.

Teleoperointiin läheisesti liittyy myös termi etäläsnäolo, tai telemaattinen läsnäolo (engl. telepresence). Etäläsnäololla tarkoitetaan läsnäolon tunteen välittämistä toiseen tilaan käyttäen teknisiä apuvälineitä. Vaikka teleoperoinnilla ja etäläsnäololla voidaan monissa tapauksissa tarkoittaa samaa asiaa, on niillä merkittävä periaatteellinen ero. Etäläsnäololla pyritään välittämään läsnäolon tunne, kun vastaavasti teleoperoinnilla pyritään suorittamaan jokin tehtävä etänä. (Walker et al, 1999)

Myös virtuaalitodellisuus (engl. virtual reality) ja lisätty todellisuus (engl. augmented reality) liittyvät läheisesti teleoperointiin. Virtuaalitodellisuus on tietokoneella luotu maailma, jolla simuloidaan oikeaa todellisuutta. Virtuaalitodellisuutta voidaan ajatella eräänlaisena teleoperoinnin sovelluksena, jossa teleoperoinnilla hallitaan virtuaaliseen maailmaan luotuja laitteita. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi koulutus ja tutkimuskäytössä, koska suurin osa riskeistä kohdistuu virtuaaliseen ympäristöön, ei todelliseen. Lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan järjestelmää, jossa ympäröivään maailmaan lisätään käyttäjälle hyödyllisiä tietoja. Yleisimmin lisätyllä todellisuudella viitataan näkymään, jossa videokuvan päälle on lisätty tietokonegrafiikalla tuotettuja elementtejä. Käytännössä lisätty todellisuus on virtuaalitodellisuuden ja oikean maailman yhdistelmä. (Azuma, 1997)

Teleoperoinnilla voidaan saavuttaa lukuisia merkittäviä etuja paikallisohjaukseen verrattuna. Teleoperoinnin mahdollistavia laitteita on hyvin tarjolla, mutta vain harvoissa teollisuuden prosesseissa hyödynnetään teleoperointia. Tässä diplomityössä pyritään tutkimaan syitä teleoperoinnin vähäiseen käyttöön teollisuudessa ja selvittämään teleoperoinnin soveltuvuutta siltanosturin ohjaukseen.

1.1. Työn taustaa

Työ toteutettiin Konecranes Oyj:lle, joka on alansa johtava nostolaittevalmistaja ja yksi maailman suurimmista siltanosturitoimittajista. Konecranesilla uuden teknologian hyödyntämisellä pyritään saavuttamaan todellista hyötyä ja lisäarvoa yrityksen asiakkaille.

Konecranes on jo pitkään pyrkinyt lisäämään siltanostureihin älykkäitä toimintoja, joiden avulla asiakas pystyy tehostamaan toimintaansa ja lisäämään turvallisuutta. Logiikkaohjattuun nosturiin voidaan ohjelmallisesti lisätä käyttöä helpottavia, prosessia nopeuttavia sekä turvallisuutta lisääviä toimintoja. Konecranesin Smarton ja Smart CXT nostureiden yhteydessä näistä älykkäistä toiminnoista käytetään nimitystä Smart-toiminnot. Älytoiminnot voidaan jakaa kahteen kategoriaan, käyttöä helpottaviin ja turvallisuutta parantaviin. Käyttöä helpottavat toiminnot mahdollistavat nopeamman nosturin ajon vähemmällä harjoittelulla. Turvallisuutta lisäävillä toiminnoilla voidaan estää vaarallisten toimintojen suorittaminen.

Esimerkkejä siltanosturien Smart-toiminnoista ovat Sway Control, End Positioning ja Protected areas. Sway Control eli heilahduksenvaimennus estää taakan liiallista heilumista parantaen siltanosturin turvallisuutta ja tehokkuutta. End Positioning helpottaa nosturin lopullista paikoittamista usein käytetyissä työskentelyalueen pisteissä. Kun loppupaikoituksella varustettu nosturi ajetaan lähelle usein käytettyä laskupaikkaa, tunnistaa nosturi kohteen, ja loppupaikoitus voidaan suorittaa automaattisesti käyttäjän valvonnan alaisena. Protected Area eli suojattu alue lisää nosturin turvallisuutta, estämällä nosturin ajamisen ennalta määrätyille vaarallisille alueille. Suojatuilla alueilla voidaan suojata esimerkiksi nosturin toiminta-alueella olevia työkoneita ja varastohyllyjä. Smart-toiminnot ovat erinomainen esimerkki siitä, kuinka älykkäällä ohjausjärjestelmällä voidaan samanaikaisesti parantaa sekä tuottavuutta että turvallisuutta.

1.2. Tutkimuksen tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää 3D-teleoperoinnin hyödyntämismahdollisuuksia ja mahdollisia ongelmia siltanosturisovelluksissa. Lähtökohtaisesti työssä tutkitaan, mitä siltanostureiden prosesseja voidaan tehostaa tai muuten parantaa käyttämällä teleoperointia. Tämän lisäksi selvitetään mitä etuja saavutetaan siirryttäessä 2D-teleoperoinnista 3D-teleoperointiin ja mitä seikkoja tulee huomioida teleoperointijärjestelmää toteutettaessa.

1.3. Tutkimuksen rajaukset

Työn kohteena on teollisuuden siltanosturi. Teleoperointia käytetään jo satamanosturipuolella, mutta teollisuuden siltanostureissa teleoperoinnin käyttö on hyvin rajoitettua. Työn testit tullaan toteuttamaan Konecranesin tuotekehitysosaston CXT-nosturilla.

3D-kuvaa voidaan muodostaa käyttämällä joko stereokameraparia tai syvyyskameraa. Syvyyskameraa käytettäessä 3D-kuva muodostetaan 2D-kuvasta prosessoidulla sitä kuva-alueesta muodostetun syvyyskartan perusteella. Vastaavasti stereokameraparia käytettäessä 3D kuva muodostuu kahdesta 2D kuvasta samaan tapaan kuin ihminen näkee kahdella silmällä kolmiulotteisesti. Tässä työssä tullaan käyttämään stereokameroita, koska teleoperointisovelluksessa sen tuottama kuva voidaan esittää operaattorille ilman erillistä prosessointia.

Käytettävän teleoperointilaitteiston pääkomponentit ovat stereokamerapari, tietokone, 3D-näyttö sekä nosturin ohjainlaite. 3D-näyttöinä työssä käytetään sekä autostereoskooppista näyttöä, että aktiivisilla suljinlaseilla käytettävää näyttöä. Testinosturin ohjainlaitteena käytetään nosturin omaa radio-ohjainta.

Teleoperointi luo erinomaisen mahdollisuuden lisätyn todellisuuden käyttöön. Lisätyn todellisuuden toteuttaminen rajataan kuitenkin tämän työn ulkopuolelle, jottei aihe laajene tarpeettoman suureksi.

1.4. Työn rakenne

Luku 2 esittelee teleoperoinnin perusteita ja käsitteitä. Lisäksi luvussa perehdytään muutamiin esimerkkisovelluksiin, joissa teleoperointia jo hyödynnetään. Esimerkkita-pauksista on pyritty löytämään eri sovellusympäristöissä vastaan tulleita ongelmia. Näiden ongelmien ratkaisumalleja pyritään hyödyntämään teleoperoinnin siltanosturisolvelusta suunnitellussa.

Luvussa 3 käsitellään kolmiulotteisuutta. Aluksi selvitetään syvyysnäön teoriaa, hyötyjä sekä haittoja ihmiselle. Ihmisen syvyysnäön lisäksi luvussa perehdytään myös stereokuvaamisen ja 3D-videon esittämisen perusteisiin. Luvun tavoitteena on selvittää 3D-videokuvan syvyysvaikutelman syntyminen vaikuttavat tekijät kuvattavan kohteen ja katsojan välillä.

Luku 4 esittelee työn sovellusympäristöä. Luvussa selitetään siltanosturin fyysinen rakenne pääpiirteittäin sekä ohjausjärjestelmän periaatteellinen toiminta. Ohjausjärjestelmästä keskitytään teleoperoinnin kannalta oleellisiin ohjausmenetelmiin ja ohjaus-tapoihin.

Luku 5 käsittelee työn toteutusta. Luvussa esitellään työn toteutuksessa käytettävä laitteisto sekä teleoperoinnin kannalta merkitykselliset ohjausrajapinnat. Laitteiston osalta esitellään tarkemmin työn toteutukseen käytetty testinosturi, sekä teleoperointi-laitteisto. Luvussa myös pohditaan miten erilaiset ohjaustavat olisivat sovellettavissa esimerkkinosturiin.

Luku 6 käsittelee testinosturiin toteutetun teleoperointijärjestelmän eri toiminnallisuuksien ja käytettävyyden testaamista. Testit toteutettiin pääasiallisesti esiteltäessä järjestelmää Konecranesin henkilöstölle. Kaikissa testeissä kirjattiin muistiin testihenkilöiden kommentteja, sekä havaittuja muutoksia käyttäytymisessä. Tämän lisäksi osassa testeistä tallennettiin nosturin paikkatietoja, sekä ohjauskäskyjä.

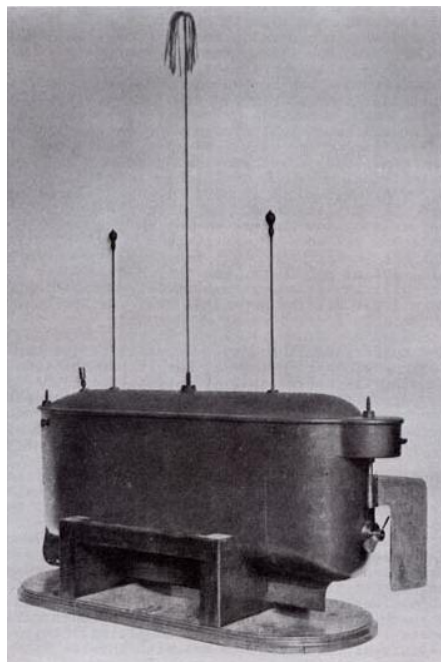
Luku 7 sisältää diplomityön yhteenvedon.

2. TELEPEROINNIN KÄSITTEET JA TAUSTAT

Teleoperoinnin termille ei ole virallista määritelmää ja tämän vuoksi eri lähteet saattavat tulkita hieman eri asioita teleoperointina. Kirjaimellisesti teleoperointi tarkoittaa laitteen etähallintaa. Periaatetasolla keihästä voidaan pitää veitsen teleoperointisovelluksena, koska keihäällä voidaan sama puukon pistoliike suorittaa kauempana kohteesta turvallisemmalla alueella. Yleisesti kuitenkin teleoperoinnilla käsitetään jonkin laitteen etähallintaa, siten ettei operaattorin tarvitse fyysisesti työskennellä samassa tilassa laitteen kanssa.

2.1. Perusteet ja historia

Monien mielestä ensimmäinen teleoperointisovellus oli Nikola Teslan radiokauko-ohjattu vene, jonka hän patentoi vuonna 1898 (Tesla, 1898). Tesla alkoi kehittää radio-ohjausta, kun hän huomasi pystyvänsä havaitsemaan radiotaajuuksia pitkienkin matkojen takaa. Teslan radio-ohjattavalle veneelle ei kuitenkaan löytynyt käyttäjiä, vaikka Yhdysvaltojen laivasto tutkikin lyhyesti radio-ohjattavien veneiden käyttöä aseena.



Kuva 2.1 Nikola Tesla esitteli radio-ohjattavan veneensä Madison Square Gardenin elektorniikkamessuilla vuonna 1899 (Nikola Tesla Museum, 1898)

Vaikka Nikola Teslan radio-ohjausmenetelmät mahdollistivatkin teleoperoinnin toteuttamisen jo 1800-luvun lopulla, ei sille löydetty merkittävää käyttöä vielä pitkään

aikaan. Vuonna 1945 Argonne National Laboratory rakennutti käyttöönsä MSM-8 etämanipulaattorin. MSM-8 kehitettiin, jotta tutkijat pystyivät käsittelemään radioaktiivisia materiaaleja laboratoriossa altistumatta radioaktiiviselle säteilylle. (Angelo, 2006)

2.1.1. Edut ja haitat

Teleoperoinnin käytöllä saavutetaan monia hyötyjä, mutta se tuo mukanaan myös ongelmia. Parhaimmillaan teleoperoinnilla voidaan parantaa turvallisuutta, tehostaa tuotantoa, optimoida tilankäyttöä ja lisätä automaation tasoa. Merkittävimpinä ongelmia teleoperoinnissa on aistien rajoittuminen, viiveiden aiheuttamat ongelmat ja järjestelmän monimutkaistuminen.

Teleoperoinnin avulla työntekijöiden turvallisuutta voidaan parantaa merkittävästi siirtämällä operaattorit pois vaarallisilta työskentelyalueilta. Lisäksi siirtämällä operaattorit pois työskentelyalueelta, voidaan toimintaympäristön tilankäyttöä tehostaa. Paikanpäältä ohjattaessa varastoihin ja koneiden väleihin on jätettävä riittävät kulkuväylät, jotta operaattori pääsee tarkkailemaan liikkumaan toiminta-alueella. Teleoperoinnin ansiosta kulkureittejä ei välttämättä tarvita muuten kuin huoltojen yhteydessä.

Turvallisuuden ja tilankäytön lisäksi teleoperoinnilla voidaan parantaa tehokkuutta. Teleoperointi mahdollistaa helpon operoitavan laitteen vaihtamisen, jolloin yksi operaattori voi hallita useampia laitteita. Etenkin pitkälle automatisoiduissa laitteissa yksi operaattori pystyy hallitsemaan monia laitteita.

Monien hyötyjen lisäksi teleoperointi tuo kuitenkin mukanaan myös haasteita. Teleoperointia käytettäessä operaattorin aistit ovat aina rajoittuneemmat, kuin paikanpäällä ollessa. Normaalisissa tilanteissa ihminen aistii samanaikaisesti monella aistilla. Jos jotkin aistit jätetään käyttämättä, joudutaan muita aisteja tehostamaan saman havainnointikyvyn saavuttamiseksi.

Myös teleoperointijärjestelmän monimutkaisuus tuottaa haasteita monessa ympäristössä. Teleoperointijärjestelmä sisältää monia komponentteja ja kommunikointimenetelmiä, joita paikanpäällä tapahtuvassa ohjauksessa ei tarvita. Järjestelmäkomponenttien lisääntyminen lisää lähes aina kustannuksia, sekä hajoavien komponenttien määrää. Tiedonsiirtoväylät myös aiheuttavat ylimääräisiä viiveitä, jotka on syytä huomioida teleoperointijärjestelmää suunnitellessa.

2.1.2. Käytettävyys

Hyvin suunnitellulla teleoperointijärjestelmällä voidaan parantaa myös laitteen käytettävyttä. Laajalla toiminta-alueella operoivat laitteet aiheuttavat työergonomialle haasteita. Tarkkailtavien kohteiden suunnat saattavat olla työergonomian kannalta erittäin huonoja, koska kuskin näkökentän pitää kattaa operoitavan laitteen koko työskentelyalue. Teleoperointisovelluksen monitorit ja ohjainlaitteet vastaavasti voidaan sijoittaa melko vapaasti huomioiden työergonomia. Lisäksi pienikokoiset kamerat voidaan useimmissa tapauksissa sijoittaa huomattavasti vapaammin, kuin suurikokoinen ohjaa-

mo. Tämän ansiosta hyvin suunniteltu teleoperointijärjestelmä myös parantaa näkyvyyttä operoitavan laitteen työskentelyalueelle.

Teleoperointi kuitenkin tuo mukanaan myös haasteita käytettävyyden kannalta. Kameroita käytettäessä muodostuu helposti sokeita pisteitä. Lisäksi paikanpäältä ohjattaessa ihminen seuraa ympäristön tapahtumia näköaistin lisäksi myös muilla aisteilla. Esimerkiksi yleensä laitteiden vikaantuminen voidaan havaita erilaisista ylimääräisistä äänistä ja värinäistä. Tämän kaltaisen informaation lisääminen teleoperointilaitteistoon on erittäin haastavaa, joskaan ei mahdotonta.

Viiveen suuruudella on suuri vaikutus teleoperoinnin käytettävyyteen. Karkeasti alle 100 ms suuruisia viiveitä ihminen ei kunnolla havaitse. Alle 1 s suuruisella viiveellä operaattori tuntee vielä ohjaavansa laitetta suoraohjauksella. Yli 10 s viiveellä käyttäjän on vaikea pysyä keskittyneenä tehtävän suorittamiseen. (Nielsen, 1993) Ihminen kykenee tottumaan melko pitkiinkin viiveisiin, edellyttäen, että viiveen määrä pysyy vakiona. Kokenut operaattori pystyy kumoamaan viiveiden vaikutusta ennakoimalla ohjauskäskyjä. Viiveellä on kuitenkin negatiivinen vaikutus tehtävien suoritusajkaan ja tarkkuuteen, koska osa toimenpiteistä joudutaan suorittamaan arvauksien perusteella. (Miller, 1968) Viiveen vaikutuksen suorituskykyyn ei voida antaa tarkkoja raja-arvoja. Hitaat prosessit pääsääntöisesti sietävät viivettä paremmin kuin nopeat prosessit.

Etäoperointi saattaa myös aiheuttaa käyttäjälle liiallisen turvallisuuden tunteen. Kun operaattori ei itse ole läsnä toiminta-alueella, saattaa syntyä virheellinen turvallisuuden tunne, joka johtaa turhiin riskinottoihin. Nämä liialliset riskinotot saattavat johtaa merkittäviin materiaalivahinkoihin, vaikka ihmisten terveys ei olisikaan teleoperoinnin ansiosta vaarassa.

Läsnäolon tunteen luominen teleoperointisovelluksessa on hyvin tärkeää, koska se auttaa operaattoria keskittymään tehtävän suorittamiseen. (Nurminen, 2004) Operaattorin läsnäolon tunteen syntymiseen vaikuttaa pääasiallisesti kolme tekijää: informaation laajuus, informaation yhtenevyys sekä mahdollisuus muokata ympäristöä. Informaation laajuudella tarkoitetaan, kuinka paljon informaatiota operaattori saa toiminta-alueelta. Mitä useampia aisteja ihminen käyttää alueen tutkimiseen, sitä paremmin hän tuntee olevansa läsnä. Informaation yhtenevyydellä tarkoitetaan saadun informaation sopivuutta toisiinsa. Jos esimerkiksi samasta tapahtumasta aiheutuva kuva ja ääni informaatio havaitaan eri aikaan, eivät informaatiot ole yhteneväisiä. Tällaisessa tilanteessa operaattorin on vaikea päätellä, kumpi informaatio on oikeassa ja näin ollen luottamus informaatioon, sekä sen myötä läsnäolon tunne, katoaa. Mahdollisuus muokata ympäristöä lisää myös läsnäolon tunnetta. (Ruokojärvi, 2007)

2.2. Esimerkkisovellukset

Teleoperointia käytetään jo monissa erilaisissa sovelluksissa. Siltanosturin teleoperoinnissa on lukuisia erityispiirteitä, jotka eroavat monista muista teleoperointisovelluksista. Kuitenkin myös yhtäläisyyksiä muihin teleoperointisovelluksiin löytyy ja tämän vuoksi muualla käytettyjä toimivia ratkaisuja kannatta pyrkiä hyödyntämään myös siltanosturisolvelluksissa.

Tässä luvussa tutustutaan hieman muutamiin eri teleoperointisovelluksiin. Näistä teleoperointisovelluksista pyritään löytämään erityispiirteitä, joiden oppeja voidaan hyödyntää siltanosturin teleoperointisovellusta suunnitellessa.

2.2.1. Sandvik AutoMine

Maanalainen kaivos on ihmiselle melko ongelmallinen toimintaympäristö. Syvissä kaivoksissa ilmanlaadusta huolehtiminen on erittäin työlästä. Lisäksi ahtaissa tiloissa liikuttellaan suuria kivimassoja isoilla koneilla, jolloin sortumien ja puristuksiin jäämisen riski on merkittävä. Tämän vuoksi ihmiset on pyritty siirtämään pois vaarallisesta maanalaisesta ympäristöstä hyödyntämällä automaatiota kaivoskoneissa.

Sandvik Mining and Construction on kehittänyt maanalaisiin kovan kiven kaivoksiin AutoMine-automaatiojärjestelmän (Sandvik, 2013), jonka avulla operaattorit on voitu siirtää maanalaisista työkoneista maanpäälliseen valvomoon. Maanalainen työskentelyalue on eristetty turvajärjestelmällä, jolloin operoivien laitteiden ei tarvitse varoa alueella liikkuvia ihmisiä. (Ruokojärvi, 2007)



Kuva 2.2 Sandvik AutoMine-järjestelmä mahdollistaa maanalaisten kaivoslaitteiden operoimisen maan pinnalla sijaitsevasta valvomosta (Sandvik, 2013)

Sandvikin tapauksessa tärkein syy teleoperoinnin käyttämiseen on tuottavuuden lisääminen. AutoMine-järjestelmä koostuu automaattisista kaivoskuorma-autoista ja puoliautomaattisista lastauskoneista. Automaattiset koneet toimivat normaalitilanteissa itsenäisesti ja operaattorin tehtäväksi jää vain valvoa toimintaa, sekä puuttua toimintaan poikkeustilanteissa. Puoliautomaattiset laitteet suoriutuvat osasta tehtävistä itsenäisesti, mutta tietyissä toimenpiteissä operaattori ottaa koneen hallintaansa. Esimerkiksi lastauskoneet pystyvät navigoimaan tunneleissa autonomisesti, mutta lastausoperaatio tai

uudelle opettamattomalle alueelle ajaminen vaatii operaattorin hallintaa. Tällainen järjestely nostaa yksittäisen operaattorin tehokkuutta, koska operaattori voi samanaikaisesti hallita useamman laitteen toimintaa. (Ruokojärvi, 2007)

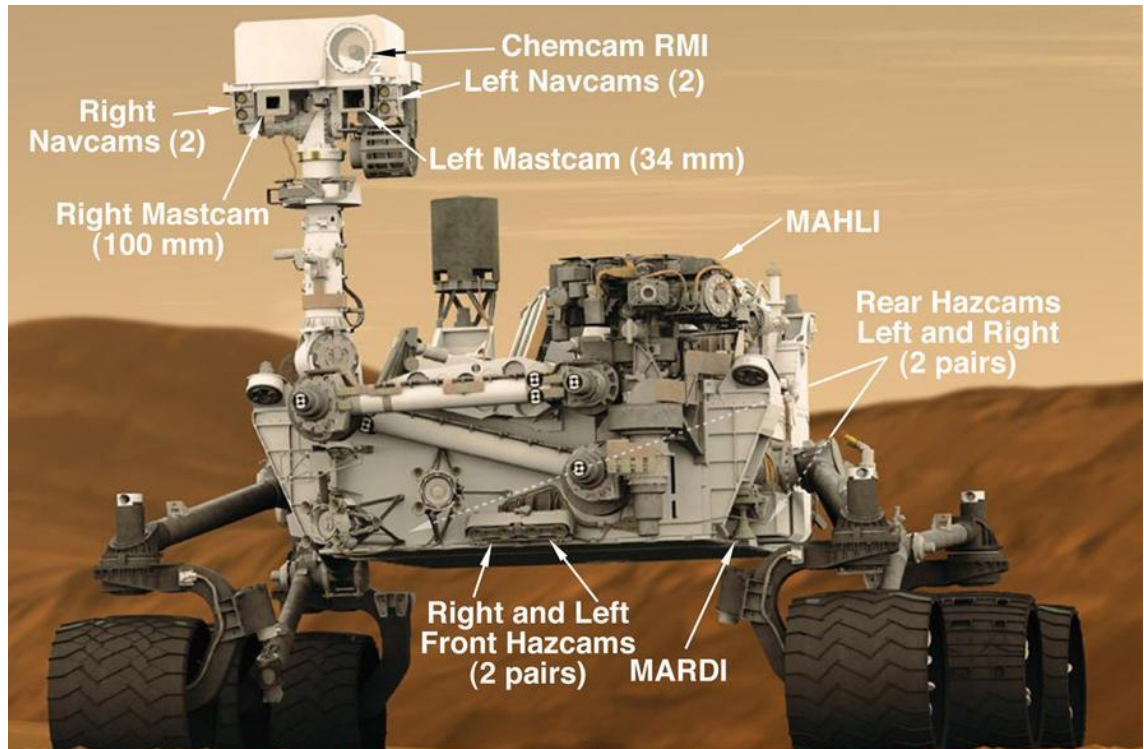
AutoMine järjestelmässä on myös mahdollista operoida laitteita normaalilla kauko-ohjauksella paikanpäältä laitteen toimintaympäristössä. Paikanpäältä tapahtuva ohjaus vaaditaan siksi, ettei kaikkia mahdollisia tilanteita pystytä välttämättä hoitamaan teleoperoinnilla valvomosta käsin. Näissä poikkeustapauksissa operaattori voi siirtyä paikanpäälle ja käyttää normaalia kauko-ohjausta poikkeustilanteen ratkaisemiseen. Laitteiden hätäkatkaisimet on sijoitettu valvomon lisäksi itse laitteeseen, jotta ongelmatilanteessa laitteet voidaan sammuttaa myös paikanpäältä. (Vuorenpää, 2007)

Sekä Vuorenpää (Vuorenpää, 2007), että Ruokojärvi (Ruokojärvi, 2007) painottavat, että teleoperointisovelluksessa operaattorille tulee voida välittää työskentelyalueen olosuhteet mahdollisimman todenmukaisesti. Pelkkä toimilaitteen etäoperointi ei riitä, vaan myös ympäristöolosuhteiden ja itse laitteiston valvonta tulee olla mahdollista etänä. Esimerkiksi laitteiden kunnonvalvonta perustuu useimmissa laitteissa operaattorin havainnointiin. Epänormaalit äänet, palaneen haju tai normaalia kuumempänä käyvä laite on operaattorille selkeä merkki laitteen vikaantumisesta. Mikäli näihin tilanteisiin ei puututa välittömästi, voi laitteen vikaantuminen johtaa merkittävästi suurempaan vaurioon. Tämän vuoksi teleoperointisovelluksessa tulee huomioida operoitavan prosessin valvonnan lisäksi myös operoitavan laitteen valvonta.

Teleoperoinnissa joudutaan aina huomioimaan viiveen vaikutukset. Kun informaatiota ja ohjauskäskyjä siirretään etäohjausaseman ja toimilaitteen välillä, aiheutuu ohjausjärjestelmään aina viivettä. Vuorenpään mukaan ihminen tottuu teleoperointilaitteen suoraohjauksessa pieniin viiveisiin melko helposti, edellyttäen että viive pystytään pitämään vakiona (Vuorenpää, 2007). Sallitun viiveen suuruudelle ei kuitenkaan voida määrittää tarkkaa raja-arvoa. Sallittu viiveen suuruus riippuu hyvin paljon operoitavan laitteen toimintanopeudesta. Pääasiallisesti mitä nopeampi laite on operoitavana, sitä pienempi viive ohjauksessa sallitaan.

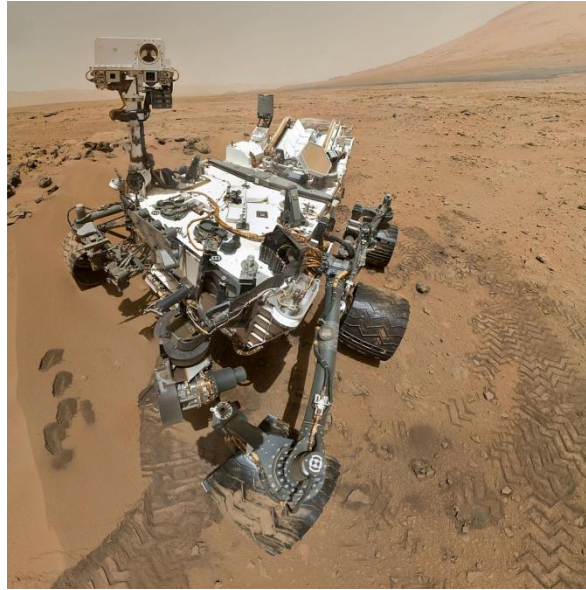
2.2.2. Curiosity rover – Mars-kulkija

Curiosity rover on Mars-mönkijä, joka on kulkenut Mars planeetan pinnalla 6.8.2012 lähtien. Curiosity mönkijä on noin 3m pitkä 2,8m leveä ja se painaa 900kg. Curiosity hyötykuormana on noin 80kg erilaisia mittalaitteita. Curiosity-kulkijan yhteydessä usein puhutaan myös Marsin tiedelaboratoriosta (engl. Mars Science Laboratory), jolla tarkoitetaan Curiosity-kulkijan kyydissä olevaa mittalaitteistojen kokonaisuutta. Curiosity-kulkija toimii tiedelaboratorion liikkuvana alustana, tarjoten sille liikkuvuuden, sähkön, sekä tietoliikenneyhteydet maahan. (NASA A, 2012)



Kuva 2.3 Curiosity on varustettu 16 kameralla, joista jokaisella on oma käyttötarkoitus, mutta niitä voidaan käyttää myös ristiin (NASA, 2013)

Marskulkija on erinomainen esimerkki teleoperoinnin hyödyistä. Mars ympäristönä on vielä toistaiseksi ihmisen saavuttamattomissa. Erilaisia luotaimia on kuitenkin pystytty lähettämään tutkimaan Mars planeettaa jo vuosikymmenten ajan. (Wiens, 2013) Marskulkijan toimintaympäristö korostaa monia teleoperoinnin haasteita. Esimerkiksi Curiosityn huolto- ja korjaustoimenpiteet pitää myös pystyä hoitamaan teleoperoinnin keinoin. Paikanpäälle ei pystytä lähettämään huoltomiestä, tai edes huolto-robotia. Näin ollen itsediagnosointi on hyvin tärkeä ominaisuus teleoperoitavissa laitteissa. Tämän vuoksi Curiosityn käsivarren päähän asennettu kamera (MaHLI) pystyy kuvaamaan ulkopuolisten kohteiden lisäksi myös laitetta itseään. (Wiens, 2013)



Kuva 2.4 Curiosity pystyy kuvaamaan itsensä käyttämällä käsivarren päähän asennettua MaHLI-kameraa (NASA, 2013)

Maan ja Marsin välisen tietoliikenteen viive on 3-21min yhteen suuntaan ja se vaihtelee planeettojen sijainnin mukaan (Cain). Tämän lisäksi suora yhteys laitteeseen ei ole jatkuva, johtuen käytössä olevan sähkötehon rajoitteista. Tämän vuoksi tiedonsiirto joudutaan pääasiassa kierrättämään Marsia kiertävien satelliittien kautta, mutta nekin pystyvät olemaan yhteydessä lyhyitä hetkiä kerrallaan. Tiedonsiirtoyhteyden haasteiden vuoksi mönkijän suoraohjaus ei ole mahdollista, vaan Curiosity toimii autonomisesti kerran päivässä lähetetyn ohjelman mukaisesti. (NASA A, 2012)

Mars-mönkijän tiedonsiirto on myös määrällisesti hyvin rajoittunutta. Päivittäisten ohjaukskäskyjen lähettämiseen on varattu 225 Kbit suuruinen datamäärä suoralla linkkiyhteydellä Maasta Curiosityyn. Yhteyden määrää rajoittaa planeettojen sijainnin lisäksi Curiosityn rajallinen sähköteho. Tämän vuoksi suurin osa mittausdatasta lähetetään takaisin maahan käyttäen hyväksi Mars-planeettaa kiertäviä satelliitteja, jotka pystyvät siirtämään n. 350 Mb dataa vuorokaudessa. Tämän vuoksi mittalaitteiden ja kameroiden dataa joudutaan usein priorisoimaan ja osa datasta siirretään Maahan lähetyspuskurin avulla vasta seuraavina päivinä. (Makovsky;ym., 2009) (NASA C)

Suoritettavat tehtävät lähetetään Curiositylle kerran päivässä ja se toimii täysin autonomisesti seuraavan päivän ajan. Vaikka ohjaukskäskyjä lähetetään vain kerran päivässä, on Curiosityn ohjaaminen erittäin haastavaa. Jokaisen erillisen mittalaitteen toiminnasta vastaa oma tutkijaryhmä. Jokainen ryhmä käsittelee edellisen päivän mittausdatan ja tulokset, sekä suunnittelee omia tarpeita vastaavan seuraavan päivän ohjelman. Tämän jälkeen eri ryhmien ohjelmista luodaan parhaalla mahdollisella tavalla Curiosityn resursseja hyödyntävä yksi MSLICE-ohjelma. MSLICE sisältää kaikki seuraavan päivän operaatiot mukaan lukien Curiosityn ajosuoritteet, käden liikkeet, sekä mittalaitteiden toiminnat. Ennen lähettämistä MSLICE-ohjelma pitää kuitenkin vielä simuloida ja tutkia tarkkaan. Simuloinnilla varmistetaan, että ohjelmaa suoritettaessa ei tehdä peruuttamattomia virheitä. (Wiens, 2013)

Myös Curiositylta saatava informaatio on tietyiltä osin hyvin rajallista. Tämän vuoksi päätöksiä tehdessä pyritään käyttämään kaikki saatavissa oleva informaatio parhaalla mahdollisella tavalla. Esimerkiksi EDL-vaiheessa yhteys Curiosityyn oli hyvin vähäistä. Laitteen lähettämästä heartbeat-signaalista voitiin kuitenkin päätellä EDL-vaiheen eteneminen. Säännöllisellä välillä lähetetyn heartbeat-signaalin muuttumisesta voitiin Doppler-ilmion perusteella laskea laitteen nopeus ja näin ollen voitiin päätellä missä vaiheessa laskeutuminen on. Curiosityn laskeuduttua ensimmäinen lyhyt alle 1 Mb suuruinen viesti sisälsi raportin päätoimintojen testauksesta, sekä kaksi hyvin pieneksi pakattua epäselvää kuvaa. Ensimmäinen kuva kuitenkin oli ylälaidastaan vaalea, ja alalaidastaan tummempi, josta voitiin päätellä, että Curiosity oli laskeutunut pyörilleen. (Wiens, 2013) Kyseessä on malliesimerkki, kuinka vähäisiä tietoja ja asiantunte- musta yhdistämällä voidaan saada hyvä kokonaiskuva laitteen toiminnasta.

Curiosityn mittalaitteiden suunnittelussa on pyritty mahdollisimman monipuoli- seen laitteiden yhteiskäyttöön, koska Curiosityn hyötykuorman määrä on rajallinen. Cu- riosityn päänavigointikeinona toimii laitteen mastoon asennettu Navcam- stereokamerapari, sekä alemmas runkoon eteen ja taakse asennetut Hazcam-kamerat. Vaikka nämä kamerat on ensisijaisesti tarkoitettu laitteen navigointiin, käytetään niitä myös kuvaamaan ympäristöä. Navigointikameroiden kuvilla on erityisen tärkeä rooli, kun valitaan muille mittalaille sopivia mittauskohteita. Vastaavasti navigoinnin apuna voidaan käyttää esimerkiksi EDL-vaiheessa laskeutumismoduulin ottamia valokuvia, joiden perusteella alun perin pääteltiin minne Curiosity oli laskeutunut (Wiens, 2013). Curiosityn renkaiden pääasiallinen tarkoitus on tietenkin laitteen liikuttaminen, mutta yksittäistä pyörää voidaan käyttää myös tarvittaessa esimerkiksi kaivamaan kuoppaa. Hauskana yksityiskohtana Curiosityn renkaiden kuvio sisältää Morse-aakkosina tekstin ”JPL” joka on lyhenne laitteen rakentajasta NASAn Jet Pulse Laboratorysta. (NASA B, 2012) Kuvioinnin tarkoitus ei ole pelkästään kosmeettinen, sillä siitä jäävän renkaanjäl- jen perusteella voidaan kameran avulla mitata liikuttua matkaa sekä pystytään arvioi- maan renkaiden lipsumista. (The national association for Amateur Radio, 2011)

Curiosityn suunnittelussa on kiinnitetty hyvin paljon huomiota mittauksen re- dundanttiosuuteen. Kun laite on otettu käyttöön, on korjauksien tekeminen lähes mah- dotonta. Yksittäisen laitteen hajoaminen ei saa estää muun laitteiston toimintaa. Lisäksi redundanttiset mittaukset lisäävät mittaustulosten luotettavuutta.

2.2.3. ASC-nosturi

ASC-nosturi (Automatic Stacking Crane) on tyypillisesti kiskoilla liikkuva RMG-tyyppinen (Rail Mounted Gantry) konttinosturi. ASC-nostureita käytetään useimmiten satamissa pinoamaan ja siirtelemään merikontteja varastointia sekä edel- leenkuljetusta varten. ASC-nosturin toiminta alue muodostuu tyypillisesti konttipihasta sekä siirtoalueesta. Kontit varastoidaan konttipihoille, mikäli niitä ei voida tai haluta lähettää välittömästi eteenpäin. Konttipihan sisäisiä konttien siirtoja pyritään yleensä välttämään, mutta tulevien ruuhkien helpottamiseksi myös konttipihalla saatetaan tehdä

sisäisiä siirtoja. Konttipihalla standardikokoisia merikontteja säilytetään yleensä maksimissaan viiden kontin korkuisissa pinoissa. (Blomberg, 2009)



Kuva 2.5 ASC tyypisen konttinosturin 3D malli (Konecranes, 2013)

Satamanostureissa teleoperointia käytetään lähinnä ASC-nosturien poikkeustilanteiden hallintaan. Operaattori valvoo nosturin toimintaa ROS-etäasemalta (engl. Remote Operating Station). Konecranesin nostureissa operaattori voi yhdeltä ROS-asemalta tarpeen mukaan ottaa yhteyden mihin tahansa alueella toimivaan nosturiin. Kun yhdellä ROS-työasemalla voidaan hallita useampia ASC-nostureita, voidaan ROS-asema sijoittaa satama-alueelle melko vapaasti. Näin operaattorit saadaan pois nostureiden luota turvallisempaan ja ergonomisempaan työympäristöön. (Blomberg, 2009)

Konecranesin ASC-nosturien ROS-asemalta operaattori pystyy seuraamaan nosturin diagnostiikkaa, sekä työskentelyalueelle sijoitettujen kameroiden livekuvaa. Konttipihan päätyihin sijoitetut PTZ-kamerat tarjoavat hyvän yleiskuvan konttipihan alueesta. Nosturin vaunuun sijoitettu kamera toimii pääasiallisena ajokamerana, kun operaattori haluaa käyttää manuaaliajtoa. Lisäksi konttien poimimisen helpottamiseksi tarttujan neljään kulmaan on asennettu kiinteät kamerat jotka kuvaavat suoraan alaspäin. (Muona, 2006) Nämä neljä kuvaa esitetään operaattorille ruudukossa jonka päälle on piirretty yksinkertainen suorakaiteen muotoinen kehys, joka osoittaa optimaalisen kontin kulmien sijainnin suhteessa tarttujaan. Tämä on hyvä esimerkki, kuinka hyvin yksinkertaisella menetelmällä saadaan aikaan lisätty todellisuus, joka helpottaa operaattorin toimintaa.

Koska ASC-nosturit toimivat normaalitilanteessa täysin automaattisesti, on ROS-operaattorien pääasiallinen tehtävä valvoa nosturien toimintaa. Tämän vuoksi on hyvin tärkeää, että ROS-asemalle välitetään mahdollisimman kattavasti tietoa laitteiston toiminnasta. Erityisesti varoitukset ja vaaratilanteiden osoittaminen on hyvin tärkeää teleoperointijärjestelmässä, sillä turvallisella alueella työskentelevä operaattori saattaa toiminnassaan ottaa turhia riskejä. Vaikka teleoperoinnin ansiosta työntekijän riskit

pienenevät, saattaa onnettomuus johtaa hyvin mittaviin aineellisiin vahinkoihin. (Oksanen, 2013)

ASC-nostureiden teleoperointi on periaatteessa hyvin samankaltaista, kuin Sandvikin AutoMine-järjestelmän teleoperointi, vaikka toimintaolosuhteet ovat hyvin erilaiset. Molemmissa sovelluksissa on erityisen tärkeää välittää vaaralliset tilanteet operaattorille, jotta turhilta riskinotoilta vältytään. Lisäksi molemmissa yhdeltä työasemalta hallitaan useampia samanlaisia laitteita. Tämän vuoksi operoitavan laitteen helppoon tunnistamiseen tulee kiinnittää huomiota.

3. KOLMIULOTTEISUUS

3.1. Ihmisen syvyysnäkö

Ihminen näkee maailman luonnostaan kahdella silmällä ja kolmiulotteisena. Terveen ihmisen näkemä kuva koostuu itseasiassa kahdesta erillisestä kuvasta. Tämän eron avulla ihminen pystyy arvioimaan esimerkiksi ovatko asiat isoja vai pieniä, tai lähestyvätkö ne vai liikkuvatko ne kauemmaksi.

Ihmisen aivot etsivät silmien näkemistä kuvista erilaisia syvyysvihjeitä. Varsinaisen syvyysvaikutelma syntyy useiden erilaisten syvyysvihjeiden yhdistelmänä. Osan syvyysvihjeistä voi havaita yhdellä silmällä ja osa havaitsemiseen tarvitaan kaksi silmää. Tämän vuoksi syvyysvihjeet voidaan jakaa monokulaarisiin sekä binokulaarisiin syvyysvihjeisiin. (3DUniversity.net)

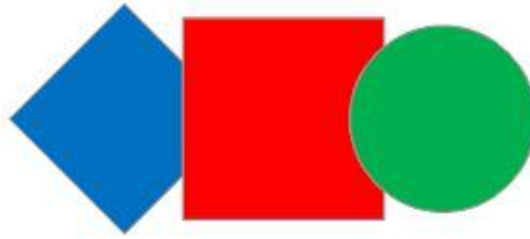
Kun syvyysvihjeitä käytetään tarkoituksellisesti väärin, saadaan aikaan optisia harhoja. Optinen harha tarkoittaa tilannetta, jossa ihmisen tulkinta näkemästään kuvasta ei vastaa todellisuutta. Optisten harhojen avulla voidaan esimerkiksi kohde saada vaikuttamaan suuremmalta, kuin se todellisuudessa onkaan. (Cambridge in Colour)

3.1.1. Monokulaariset syvyysvihjeet

Monokulaariset syvyysvihjeet eivät tarvitse kahta kameraa tai silmää ja ne voidaan havaita myös 2D kuvasta. Monokulaarisia syvyysvihjeitä on useita erilaisia.

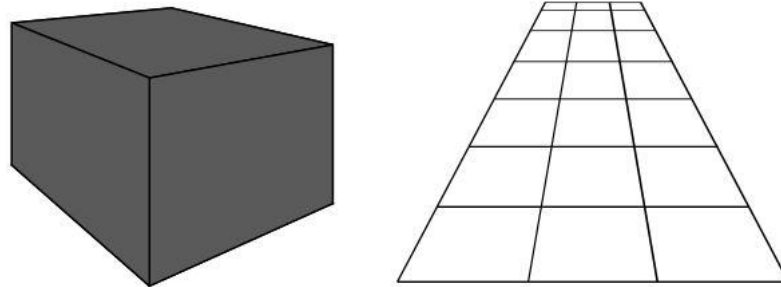
Yksi syvyysvihje perustuu kohteiden suhteelliseen koon tuntemiseen. Vertailemalla tunnettujen kappaleiden kokoja toisiinsa voidaan päätellä kohteiden syvyyssuuntainen sijainti ja järjestys. Etäisyyttä voidaan tunnistaa myös arvioimalla kohteen kokoa. Ihmisellä on melko hyvä käsitys minkä kokoiselta esimerkiksi auto näyttää tietyltä etäisyydeltä katsottaessa. Tämä syvyysvihje saattaa helposti kuitenkin luoda vääränlaisen syvyysvaikutelman, jos kohteen oikea koko poikkeaa arvioidusta koosta. (Goldstein, 2013)

Nähtävien kohteiden limittymisen perusteella voidaan päätellä kappaleiden keskinäistä järjestystä. Kohteiden limittyminen ei varsinaisesti auta arvioimaan etäisyyksiä, mutta se on erinomainen vahvistamaan muiden vihjeiden oletuksia. Kuvien limittymisessä on kuitenkin virheen mahdollisuus, mikäli katsoja ei tunne kohdetta ja arvioi sen oikean muodon väärin. (Goldstein, 2013)



Kuva 3.1 Jos oletetaan että kuvan objektit ovat symmetrisiä, voidaan päätellä että kuvassa vihreä ympyrä on kohteista lähimpänä katsojaa

Säännölliset tekstuurit muuttuvat siirryttäessä kauemmas katselijasta. Tämän vuoksi esimerkiksi katsottaessa kahta yhdensuuntaista viivaa, näyttävät ne lähestyvän toisiaan kauemmaksi liikuttaessa. Tämä on hyvin tehokas monokulaarinen syvyysvihje ja menetelmää käytetään hyvin paljon, kun kolmiulotteisesta kohteesta halutaan esittää kaksiulotteinen viivapiirros. Tekstuurin muutos on hyvin vahva syvyysvihje ja tästä syystä se muodostaa myös suuren riskin. Katselualueelle sijoitettu symmetriseltä näyttävä kuvio, joka ei oikeasti olekaan symmetrinen, sekoittaa suurella todennäköisyydellä katsojan havaitseman syvyysvaikutelman. (Goldstein, 2013)



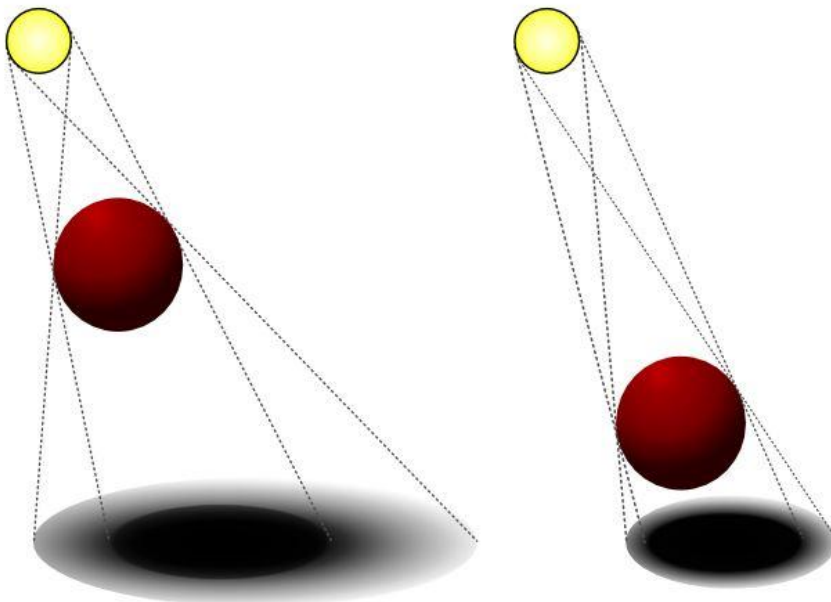
Kuva 3.2 Symmetrisien kappaleiden yhdensuuntaiset viivat näyttävät lähestyvän toisiinsa siirryttäessä kauemmas katsojasta

Ilmaperspektiivillä tarkoitetaan tilannetta jossa kauempana olevat kohteet sumenevat ja näyttävät vaaleammilta. (Mendiburu, 2009) Kun katsojan ja kohteen välinen etäisyys kasvaa, kohteen ja sen taustan välinen kontrasti pienenee, sekä kohteen väri siirtyy kohti taustan väriä. Ilmiö syntyy valon siroamisesta ilmamolekyyleistä ja epäpuhtauksista. Valon aallonpituus vaikuttaa siroamisen voimakkuuteen ja tämän vuoksi ilmaperspektiivi näkyy usein sinisyytenä. (Karttunen) Ilmaperspektiivi on hyvin vähäistä lyhyillä etäisyyksillä, joten teleoperoinnissa ilmaperspektiivistä ei merkittävää hyötyä ole.



Kuva 3.2 Ilmaperspektiivin vaikutuksesta kuvassa kaukana sijaitsevat kohteet näyttävät sumuisemmilta kuin lähellä olevat kohteet

Varjot ja valojen heijastumiset korostavat kappaleen muotoja. Lisäksi jos tunnetaan ympäristön valonlähteen sijainti, voidaan varjon perusteella arvioida kappaleen sijoittumista valonlähteen ja varjon sijaintien välillä. Sisätiloissa valaistus tulee yleensä pääasiallisesti kattolampuista, jolloin varjosta voidaan melko hyvin seurata kohteen sijoittumista lattiatasen yläpuolelle. Jos kuitenkin valaistus on lähtöisin liian monesta pisteestä, ei kunnollista varjoa pääse syntymään ja syvyysvihje heikkenee. (Mendiburu, 2009)



Kuva 3.3 Korkealla sijaitseva kappale synnyttää suuren ja epätarkan varjon.

3.1.2. Binokulaariset syvyysvihjeet

Binokulaariset syvyysvihjeet perustuvat silmien näkemien kuvien eroihin. Ihmisen silmät sijaitsevat noin 60–70 mm:n etäisyydellä toisistaan ja tästä johtuen oikean ja va-

semman silmän näkemät kuvat eroavat hieman toisistaan. Kyseistä silmien näkemien kuvien eroavaisuudesta verkkokalvoilla, eli retinaalisesta dispariteetista, käytetään yleisesti termiä parallaksi. Mitä kauempana esine on, sitä pienempiä ovat vasemman ja oikean silmän kuvien erot. (Goldstein, 2013)

Retinaalisen dispariteetin lisäksi aivot käsittelevät silmämunia liikuttavilta lihaksilta saamaansa tietoa. Katsottaessa lähellä olevia kohteita silmät kääntyvät katsomaan sisäänpäin. Tätä silmien sisäänpäin kääntymistä kutsutaan konvergenssiksi. Konvergenssin vastakohtana on divergenssi eli silmien kääntyminen ulospäin. Divergenssi ei ole ihmiselle luonnollinen tila, sillä divergenssi syntymiseksi katsottavan kohteen tulisi sijaita äärettömyyttä kauempana. Katsottaessa äärettömyyteen silmät katsovat suoraan eteenpäin ilman konvergenssia tai divergenssiä. Tästä ilmiöstä johtuen ihmisen silmät rasittuvat enemmän katsottaessa lähelle, kuin kauas. (Reeve;ym., 2010) (Goldstein, 2013)

Toinen tärkeä binokulaarinen syvyysvihje on okkluusio. Okkluusio muodostuu, kun kohde peittyi toisen kohteen taakse. Tällöin vasen silmä saattaa nähdä molemmat kohteet kokonaisuudessaan, kun taas oikea silmä näkee takimmaisena kohteen vain osittain. Aivot kuitenkin käsittelevät molempien silmien informaation ja pystyvät rakentamaan toisesta näkymästä puuttuvan osan toisen näkymän informaatiosta. Katsottaessa liian voimakasta 3D-kuvaa, saattavat kuvat näkyä kahtena, koska aivot eivät enää kykene yhdistämään kuvia joilla on liian suuri parallaksi.

Ihmisen silmät pystyvät tarkentamaan kerralla vain yhdelle etäisyydelle. Kun ihminen katsoo kaukana olevaa kohdetta, lähellä olevat kohteet näyttävät sumeilta, sillä silmien erilaiset kuvat on kohdistettu kauemmalle etäisyydelle. Kun siirrytään katsomaan lähempänä olevaa kohdetta, käännetään silmiä sisäänpäin jolloin konvergenssin avulla lähellä olevat kohteet kohdistuvat kuvassa. Tämän vuoksi ainoastaan kohde johon on tarkennettu näyttää terävältä ja muut kohteet näkyvät kahtena.

3.2. 3D:n edut ja haitat

3D laitteiden käyttö on viime vuosina yleistynyt kuluttajamarkkinoilla merkittävästi. Viihdeteollisuudessa kolmiulotteisuudella pyritään tekemään katsojaan vaikutus ja parantamaan läsnäolon tunnetta. Stereo ja monikanavaääntä on käytetty jo pitkään viihdeteollisuudessa luomaan läsnäolon ja tilan tunnetta. Viime vuosina stereokuvan esittämiseen kykenevien näyttölaitteiden hinnat ovat madaltuneet siinä määrin, että niiden käyttö on yleistynyt kuluttajasovelluksissa.

Teleoperointisovelluksen kannalta kolmiulotteisuuden vau-efektillä asiakas voidaan saada kiinnostumaan järjestelmästä. Vau-efekti kuitenkin loppuu melko nopeasti ja kolmiulotteisuudesta pitää saada oikeaakin hyötyä. Stereokuvan avulla operaattorin läsnäolon tunnetta saadaan parannettua. Läsnäolon tunteen parantuminen voi jo itsessään madaltaa teleoperoinnin käyttöönoton kynnyksiä, koska operaattori tuntee olonsa luonnollisemmaksi. Suurin hyöty 3D kuvasta saadaan kuitenkin oikean syvyysinformaation vuoksi. Siltanosturi, sekä useimmat muut laitteet, toimivat kolmiulotteisessa koordinaa-

tistossa. Ilman stereokuvan syvyysvihjeitä operaattori joutuu arvioimaan objektien syvyysijainnin pelkästään monokulaaristen syvyysvihjeiden avulla, jolloin syvyysvaikutelma saattaa jäädä melko heikoksi.

Kohteiden kolmiulotteisen sijainnin havaitsemista voidaan 2D-sovelluksessa helpottaa esittämällä kuvaa useammasta eri kuvakulmasta. Tämä kuitenkin joudutaan toteuttamaan käyttämällä useampaa näyttölaitetta, tai vuorottelemalla kameroiden kuvia. 3D-kuvalla tämä sama informaatio voidaan tuoda operaattorille yhdellä stereokuvalla, jolloin operaattori voi keskittyä paremmin laitteen operointiin, kuvakulmien vaihtelemisen sijasta.

Laitteiston osalta 2D- ja 3D-teleoperointi järjestelmä eroaa melko vähän. Käytännössä laitteistojen erot rajoittuvat kameraan ja näyttölaitteeseen. Muilta osin teleoperointi voidaan toteuttaa samoilla komponenteilla. 3D-teleoperointijärjestelmä vaatii kuitenkin huomattavasti suuremman määrän laitteiston säätämistä, sillä huonosti säädetty 3D-videokuva aiheuttaa monia ongelmia. Säätämistä ei voida myöskään tehdä täysin valmiiksi ennen teleoperointilaitteiston asentamista toimintaympäristöön, sillä 3D-videokuvan säätämisessä pitää aina huomioida kaikki järjestelmän osat mukaan lukien työskentely-ympäristö sekä operaattori.

3.3. 3D:n käytettävyys

3D-kuvan katseleminen on ihmiselle luonnollisempaa, kuin 2D-kuvan katseleminen. 3D-kuva ei kuitenkaan täysin pysty imitoimaan oikeaa maailmaa. 3D-kuva ei esimerkiksi pysty useimmissa sovelluksissa reagoimaan katsojan liikkeisiin, muuttamalla näkyvää kuvakulmaa. 2D-kuvaa katsoessa ihminen saattaa hyväksyä suuremman määrän kuvan virheitä, koska lattea kuva ei tuota yhtä suurta läsnäolon tunnetta.

Joillekin ihmisille 3D-videomateriaalin katsominen saattaa tuntua epämiellyttävältä ja aiheuttaa huonovointisuutta. Erilaiset silmien ongelmat saattavat joillain ihmisillä haitata tai jopa täysin estää 3D-materiaalin katsomisen. (Mulkerrins, 2010) Usein tapauksissa epämiellyttävä katselukokemus on seurausta aistien ristiriidasta (engl. cue conflict). Aistien ristiriita syntyy, kun ihmisen tekemät havainnot ympäristöstä eivät vastaa toisiaan. (Welchman et al, 2005) Useimmat 3D-elokuvat eivät pyri realistisimpaan syvyysvaikutelmaan, vaan ylikorostetulla syvyysvaikutelmalla yritetään tehdä katsojaan vaikutus. Liian korostetussa syvyysvaikutelmassa on riskinä 3D-efektin hajoaminen, joka herkästi johtaa aistiristiriitaan. Lisäksi huonosti suunniteltuna ylikorostettu syvyysvaikutelma aiheuttaa esimerkiksi liian suurta konvergenssia, joka pitkäkestoisena alkaa herkästi rasittaa katsojan silmiä.

Hyvin säädetyllä 3D-järjestelmällä voidaan kuitenkin jopa parantaa katsojan käyttömukavuutta. Normaalia 2D-näyttöä käytettäessä katselijan silmät ovat tarkennettuna näytön pinnan tasolle. Useimmissa tapauksissa tämä taso sijaitsee noin metrin etäisyydellä katsojasta, mikä aiheuttaa katsojan silmiin suuren määrän konvergenssia. Tämän vuoksi pitkä yhtäjaksoinen tietokoneen käyttö aiheuttaa usein silmien väsymistä. Sopivasti säädetyllä 3D-järjestelmällä katsoja silmät tarkentuvat näytönpinnan takapuo-

lelle. Tällöin silmien konvergenssin määrä saadaan pidettyä hyvin pienenä, jolloin katsojan silmien rasitus vähenee merkittävästi.

Tämän hetkisten tutkimusten mukaan 3D-kuvan katsomisella ei ole havaittu merkittäviä terveysriskejä terveellä katsojalla. Kuitenkin joillain käyttäjillä tietyt 3D-laitteet ja menetelmät saattavat aiheuttaa ongelmia. 3D-materiaalin katselun pitkäaikaisista vaikutuksista ei kuitenkaan ole vielä olemassa kunnollista tutkimusta. (Welchman;ym., 2005)

3.4. Stereokamerat

Yksittäisien liikkumattomien stereokuvien kuvaaminen onnistuu täysin normaalilla kameralla ottamalla kuva kahdesta kohtaa ja yhdistämällä ne jälkikäteen. Liikettä kuvattaessa tarvitaan kuitenkin kaksi kameraa, jotka muodostavat stereokameraparin. Täysin normaalit kamerat soveltuvat stereokuvaamiseen, mutta laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi molempien kameroiden tulisi olla identtiset.

Stereokamerakäytössä kameraparin asetukset tulee säätää identtisiksi, jotta kuvien välille ei synny asetuksista johtuvia eroja. Myös mahdollinen kuvanvakautus tulee kytkeä pois käytöstä, jotta stereokameroiden optiset akselit eivät pääse liikkumaan itsenäisesti.

3.4.1. Kameroiden tahdistus

Käytettäessä stereokameraparia reaaliaikaisen videokuvan esittämiseen, pitää kameroiden ajoitus olla synkronoitua. Tämän vuoksi stereokuvaamiseen tulisi valita kamerat, joissa on mahdollisuus sulkimen ulkoiseen ohjaamiseen. Mikäli kameroiden sulkimia ei tahdisteta, esitettävät kuvat saattavat olla otettu eri aikaan. Reaaliaikaisessa stereokuvassa kuvia ei voida jälkikäteen tahdistaa, ja näin ollen käyttäjällä saatetaan näyttää kuvapari, joka ei ole otettu samalla hetkellä. Hitaita kohteita kuvattaessa tämä ei tuota ongelmia, mutta nopeasti liikkuvien kohteiden seuraaminen muuttuu epämiellyttäväksi. (Dashwood, 2011)

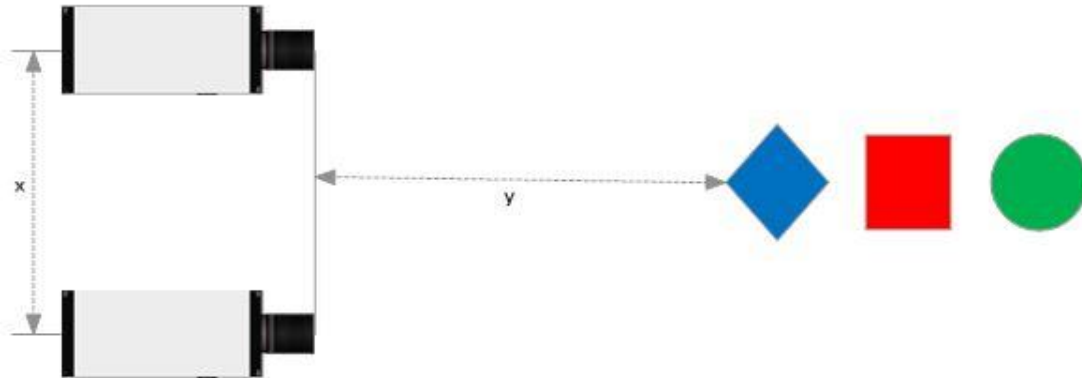
3.4.2. Kameralinssin valinta

Kuvattaessa stereokuvaa kannattaa käyttää laajakulmaisia linssejä. Laajakulmaisten linssien käyttö vahvistaa syvyysvaikutelmaa. Vastaavasti telephoto-linsseillä näkökenttä on kapeampi ja putkimaisempi, joka heikentää syvyysvaikutelmaa merkittävästi. Myöskään kalansilmälinssijä ei kannata stereokameroissa käyttää, sillä niiden aiheuttama linssivääristymä saattaa aiheuttaa virheellistä geometrista dispariteettia kuvien välille. (Dashwood, 2011)

3.4.3. Interokulaarinen etäisyys

Kameroiden välinen etäisyys eli interokulaarinen etäisyys on yksi tärkeimmistä parametreista 3D-kuvaamisessa, koska sillä säädetään syvyysvaikutelman suuruutta. Kuinka

suurta interokulaarista etäisyyttä käytetään, riippuu halutun syvyysvaikutelman määräs-
tä, sekä käytettävistä linseistä. Noin 8 cm suuruinen interokulaarinen etäisyys saa ai-
kaan luonnollisen syvyysvaikutelman, jossa kuvaparin retinaalinen dispartiteetti vastaa
ihmisen silmien näkemää. (Reeve et al, 2010)

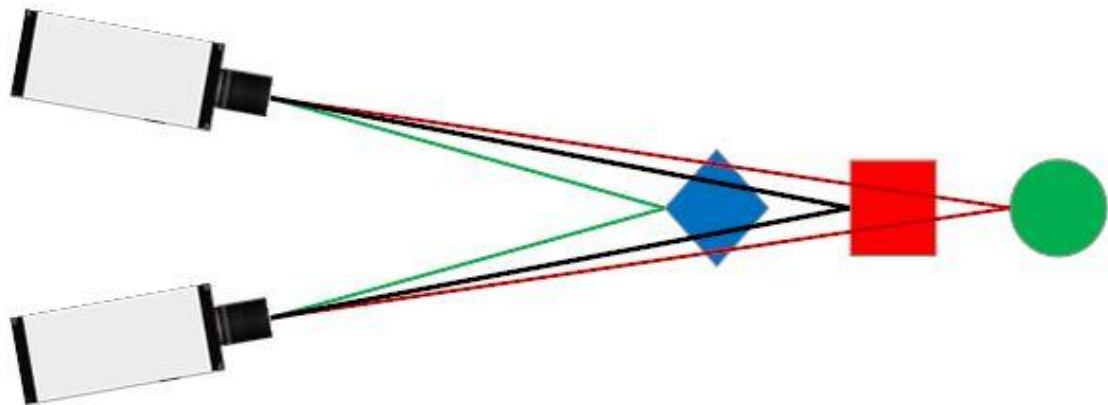


Kuva 3.4 Interokulaarinen etäisyys (x) tulisi olla pienempi kuin lähimmän $1/30$ osa lähimmän kohteen etäisyydestä (y)

Interokulaarisen etäisyyden valitsemiseen on olemassa nyrkkisääntö, joka helpottaa sopivan etäisyyden valintaa. $1/30$ säännön mukaan interokulaarinen etäisyys tulisi pitää pienempänä, kuin $1/30$ osa lähimmän kuvattavan kohteen etäisyydestä. (Dashwood, 2011) Liian suuren interokulaarisen etäisyyden käyttö rasittaa katsojan silmiä, koska se aiheuttaa silmiin suuren konvergenssin. Suuri konvergenssi ei hetkellisesti haitta, mutta pitkäkestoisena se on hyvin epämiellyttävää. Käytännössä $1/30$ sääntöä voidaan tulkita niin, että ihmisen silmät rasittuvat katsottaessa pitkään kohteita jotka sijaitsevat alle kahden metrin etäisyydellä katsojasta.

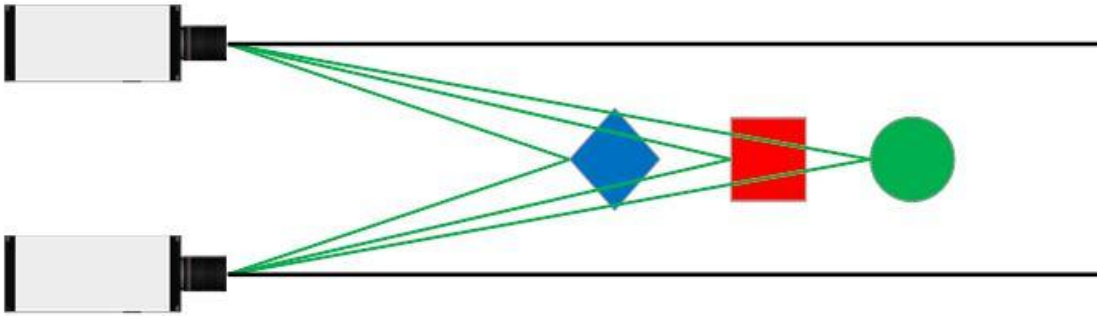
3.4.4. Normaali parallaksi

Toinen tärkeä parametri stereokameraparia käytettäessä on konvergenssi. Konvergenssilla vaikutetaan kuvan neutraalin tason etäisyyteen. Kuvan neutraalitasoa katsottaessa silmät ovat täysin suorassa ja silmän lihakset rentoina. Neutraalitason etupuolelle syntyy negatiivinen parallaksi. Negatiivisen parallaksin alueella katsoja pystyy tarkentamaan haluttuihin kohteisiin, ihmisen silmien kääntyessä konvergenssiin. Neutraalitason takapuolelle syntyy positiivinen parallaksi. Katsoja ei pysty tarkentamaan positiivisen parallaksin alueelle oleviin kohteisiin, koska ihmisen silmät eivät pysty kääntymään divergenssiin. (Dashwood, 2011) (Reeve et al, 2010)



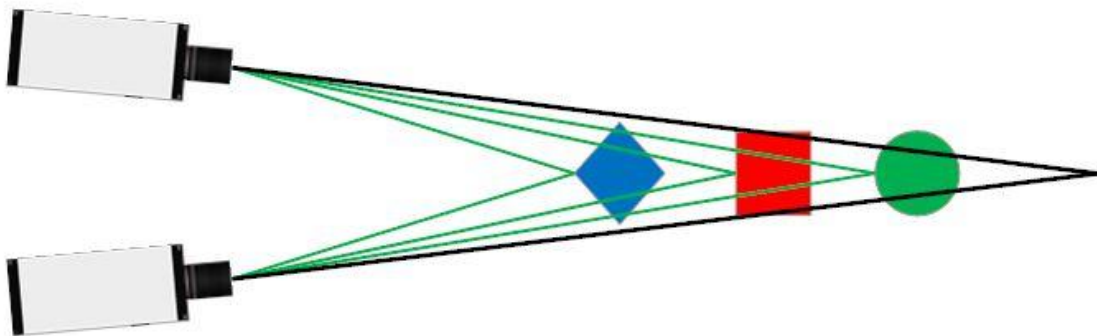
Kuva 3.5 Kameroiden normaali parallaksi on säädetty punaisen neliön tasolle. Vihreä ympyrä asettuu stereokuvan neutraalitason takapuolelle ja sille muodostuu positiivinen parallaksi. Positiivisen parallaksin vuoksi katsoja ei pysty tarkentamaan vihreään ympyrään

Mikäli kamerat suunnataan täysin yhdensuuntaisesti, on kaikilla kohteilla negatiivinen parallaksi, jolloin kaikki kohteet sijoittuvat syvyysvaikutelmassa kuvapinnan etupuolelle. Tällöin katsoja pystyy tarkentamaan kaikkiin kuva-alueen kohteisiin. Kameroiden suuntaaminen suoraan on hyvä perusratkaisu stereokuvaamisessa. Kameroiden lähellä oleville kohteille saattaa kuitenkin muodostua hyvin voimakas negatiivinen parallaksi, joka pitkäaikaisesti katsottuna rasittaa katsojan silmiä. Erityisesti käytettäessä suurta interokulaarista etäisyyttä, syntyy kuvan etualalle hyvin voimakas negatiivinen parallaksi.



Kuva 3.6 Yhdensuuntaisesti asetetuilla kameroilla neutraalitaso muodostuu äärettömyyteen, jonka vuoksi kaikilla kohteilla on negatiivinen parallaksi.

Stereokuvan katsojan silmien rasitusta voidaan vähentää asettamalla kamerat hieman konvergenssiin. Kameroiden konvergenssi pienentää kuvan etualan negatiivista parallaksia, joka vähentää katsojan silmien konvergenssin tarvetta. Kameroiden konvergenssi kannatta kuitenkin pitää melko pienenä, jotta vältetään positiivisen parallaksin syntymiseltä katselualueelle. Lisäksi konvergenssin käyttö aiheuttaa kuvassa keystone-efektin. Keystone efektillä tarkoitetaan tilannetta, jossa vinoon kuvattaessa kuvan toisessa laidassa oleva kohde näyttää pienemmältä kuin toisessa laidassa, koska etäisyys kohteeseen on hieman suurempi. Konvergenssissa olevien kameroiden keystone-efektit ovat vastakkaiset, jonka vuoksi stereokuvaparin kuvat eivät vastaa toisiaan. Keystone-efektin vaikutus voidaan tarvittaessa poistaa kuvan jälkikäsittelyllä, mutta käytettäessä vain hyvin pientä kameroiden konvergenssia ei keystone-efekti aiheuta merkittäviä ongelmia.



Kuva 3.7 Sopivalla pienen konvergenssin käytöllä saadaan pienennettyä negatiivisen parallaksin määrää, menettämättä kykyä tarkentaa toiminta-alueella oleviin kohteisiin.

3.4.5. Potentiaaliset virheet 3D stereokuvassa

Stereokuvan käyttäminen vaatii aina huolellista laitteiston säätämistä. Virheellinen laitteiston säätö saattaa aiheuttaa katsojalle hyvin epämiellyttäviä kokemuksia. Osa virheistä voidaan korjata jälkieditoinnilla, mutta ensisijaisesti kaikki virheet tulisi poistaa mahdollisuuksien mukaan jo laitteita asentaessa.

Stereokuvien pystysuuntainen poikkeama, sekä kuvien kiertymä ovat katsojalle hyvin ongelmallisia. Ihmisen silmät pystyvät kohdistamaan stereokuvan ainoastaan vaakasuunnassa. Mikäli kuvat poikkeavat toisistaan merkittävästi pystysuunnassa tai

kiertymässä, ei ihminen pysty muodostamaan niistä stereokuvaa. Stereokuvan pystysuuntainen virhe on melko helppo korjata jälkikäsitteilyssä rajaamalla kuvaparia, niin että pystysuuntainen kohdistus saavutetaan., Myös kuvaparin kiertymävirhe voidaan korjata jälkikäsitteilyssä kiertämällä kuvat samansuuntaisiksi. Kuvan rajaaminen ja kiertäminen kuitenkin rajaa kuva-aluetta ja vähentää käytettävien pikseleiden määrää. Tämän vuoksi kameraparin kohdistaminen tulisi suorittaa huolellisesti kameroita asentaessa. (Reeve et al, 2010)

Myös kameroiden linseistä ja asetuksista johtuvien linssivääristymien ja väri-vääristymien erot voidaan korjata jälkikäsitteilyssä. (Reeve;ym., 2010) Tämä voi olla hyvä ratkaisu, sovelluksissa joissa stereokameroissa halutaan jostain syystä käyttää erilaisia linsejä. Teleoperointisovelluksessa kuitenkin useimmiten halutaan välttää ylimääräisiä viiveitä, jolloin jälkiprosessoinnin lisääminen ei ole suositeltavaa.

Kuvan reuna-alueet ovat erittäin kriittisiä alueita stereokuvan kannalta. Reuna-alueella kohde saattaa kadota kuvaparin toisesta kuvasta ennen toista. Tällöin kuvan reuna-alueille muodostuu hyvin suuri eroavaisuus, joka useimmiten johtaa stereokuvan hajoamiseen. (Reeve et al, 2010) Tämän vuoksi kuva-alueen olisi hyvä ulottua kohteiden toiminta-alueen ulkopuolelle. Tällöin turhaa liikettä stereokuvan kriittisillä reuna-alueilla on vähemmän.

Sovelluksissa, joissa käytetään hyvin suurta interokulaarista etäisyyttä, saattaa jotkin kuvan kohteen näkyä täysin eri kulmasta. Tämä saattaa johtaa kohteen yhtäläisten piirteiden katoamiseen, jolloin ihminen ei pysty enää tulkitsemaan kohdetta samaksi. (Reeve et al, 2010) Tällaista virhettä ei voida korjata jälkikäsitteilyllä mitenkään, ja ai-noat ratkaisut ovat pienentää stereokameroiden keskinäistä välimatkaa tai kasvattaa etäisyyttä kohteeseen.

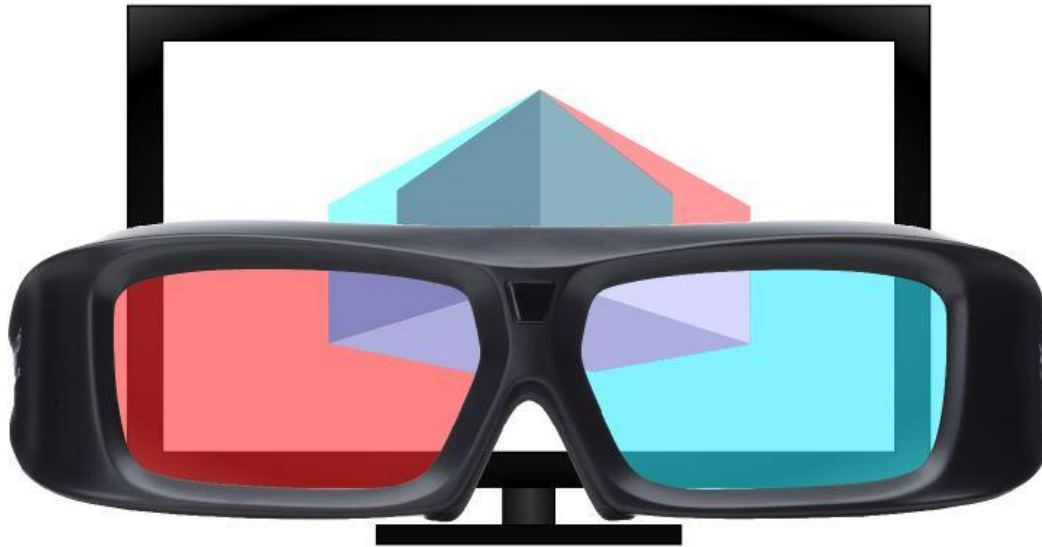
3.5. 3D näytöt

Näyttö on 3D-teleoperointilaitteiston viimeinen osa. Näytön valintaan on syytä kiinnittää huomiota, sillä näyttö on merkittävä osa operaattorin työergonomiassa. Markkinoilla on olemassa moniin eri tekniikoihin perustuvia 3D-näyttöjä. Mikään yksittäinen tekniikka ei ole yksiselitteisesti muita parempi tai huonompi. Näyttölaitetta valittaessa on tärkeää tuntea sovelluskohde ja valita kyseiseen sovellukseen parhaiten soveltuva 3D-näyttö.

Järjestelmää suunnitellessa tulee näyttö huomioida jo aikaisessa vaiheessa. Näytön ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi stereokuvan syvyysvaikutelman syntymiseen ja se pitää huomioida muuta laitteistoa säädettäessä. Sama stereokuva ei toimi samalla tavalla erikokoisilla näytöillä, koska näytön koon suurentaminen kasvattaa kohteiden etäisyyksiä. Tämän vuoksi laitteisto on aina säädettävä kokonaisuutena. (Hayes, 1989)

3.5.1. Anaglyyfinen stereokuva

Anaglyyfinen stereokuva perustuu värillisten suodattimien käyttöön. Anaglyyfinen stereokuva sisältää kaksi värikoodattua kuvaa, jotka esitetään yhdellä normaalilla näytöllä päällekkäisinä. Eri silmille tarkoitetut kuvat erotellaan käyttämällä värillisillä linssillä varustettuja laseja, jotka suodattavat yksittäisen silmän näkymästä vastakkaisen silmän kuvanäkymän pois. Yleisimmät anaglyyfisessä stereokuvassa käytetyt värit ovat oransi/sininen, punainen/vihreä, punainen/sininen ja punainen/syaani. (Dubois)

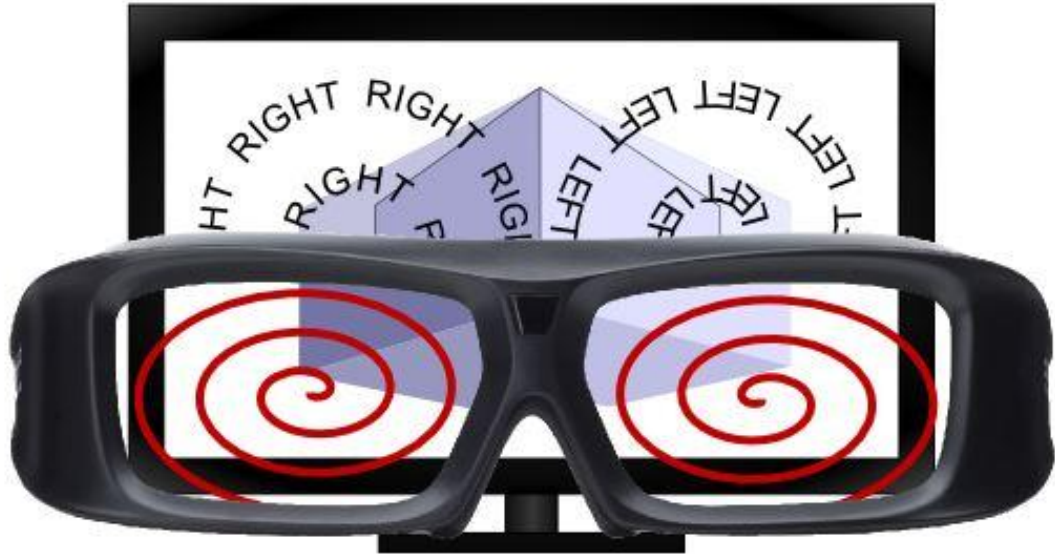


Kuva 3.8 Anaglyyfinen stereokuva perustuu kuvien värikoodaukseen ja erivärisillä linssillä varustettuihin laseihin

Anaglyyfinen kuvan esittämiseen voidaan käyttää täysin normaalia 2D-näyttöä ja laseja, joissa linssinä on kaksi eriväristä pleksiä. Tämän vuoksi laitteiston hinta on erittäin halpa. Hyvin toteutetulla anaglyyfisellä kuvamateriaalilla voidaan saada aikaan erinomainen syvyysvaikutelma. Värillisten linssien käyttö kuitenkin rajoittaa merkittävästi näytöltä havaittavaa väriavaruutta ja heikentää siten kuvan laatua merkittävästi. Lisäksi noin 8 % miehistä ja 0,5 % naisista kärsii jonkinasteisesta värisokeudesta (Saarelma, 2013), jonka vuoksi anaglyyfinen stereokuva ei sovellu kaikille katsojille.

3.5.2. Passiiviset polarisaatiolasit

Passiivisten 3D-lasien toiminta perustuu polarisaatiolinssihin. Eri silmien kuvat erotellaan käyttämällä vastakkaisuuntaista pyöröpolarisaatiota. 3D-lasit on varustettu vastavilla polarisaatiolinssillä, jotka suodattavat näkymästä vastakkaisen silmän kuvan pois. (Reeve;ym., 2010)



Kuva 3.9 Polarisaatiolaeissa silmien kuvat erotellaan hyödyntäen valon polarisaatiota

Polarisaatiolasien hankintahinta on melko edullinen, mutta itse näyttölaitteen hinta on normaalia näyttöä korkeampi. Lisäksi katselukulma vaikuttaa polarisaatiolinsien toimivuuteen, ja stereokuva heikkenee siirryttäessä sivuun katselulinjalta. (American Paper Optics LLC)

3.5.3. Aktiiviset suljinlasit

Vaikutelma kolmiulotteisuudesta tuotetaan aktiivisilla suljinlaseilla näyttämällä kuva vuorotellen vasemmalle ja oikealle silmälle. Lasien tehtävänä on sulkea kuva toiselta silmältä aina vuorotellen videon ruudunpäivityksen tahdissa. Lasien sulkimet pitää tahdistaa näytön ruudunpäivitysnopeuteen käyttämällä tahdistussignaalia. Lasien sulkimen toiminta perustuu linseissä oleviin polarisoituihin nestekiteisiin, jotka tummentavat lasin kun niihin johdetaan sähköä.



Kuva 3.10 Aktiivisia suljinlaseja käytettäessä silmien kuvat näytetään näytöllä vuorotellen

Suljinlasien kanssa voidaan periaatteessa käyttää täysin normaalia näyttöä, jos käytetään erillistä tahdistinyksikköä. Kuitenkin kuvien vuorotellen esittäminen käytännössä puolittaa näytön tehollisen virkistystaajuuden, joten aktiivilaseja käytettäessä tu-

lee näytön pystyä toimimaan vähintään 120 Hz virkistystaajuudella, jotta katsoja ei havaitse suljinten toimintaa. (American Paper Optics LLC)

Aktiivisia suljinlaseja käytettäessä itse näytöltä ei vaadita muuta erityistä ominaisuutta, kuin riittävän nopea ruudunpäivitys. Vastaavasti lasit ja tahdistuslaitteet ovat muihin 3D-laseihin verrattuina monimutkaisia ja kalliita. (Reeve et al, 2010) Tämän vuoksi aktiivisia suljinlaseja käytetään pääasiallisesti sovelluksissa, joissa on vain vähän katsojia yhdellä hetkellä. Näyttölaitteen ollessa käytännössä normaali 2D-näyttö, ei 3D-ominaisuus vaikuta laitteen 2D-käytettävyyteen lainkaan. Aktiivilasien katselualuetta rajoittavat ainoastaan näyttölaitteen katselukulma ja tahdistussignaalin näkyvyysalue, jonka vuoksi näytön katselualue on erittäin laaja.

Merkittävimpiä ongelmia aktiivilaseja käytettäessä ovat lasien aiheuttamat raskuudet. Silmälaseja käyttäville ihmisille kaksien lasien päällekkäinen käyttö voi olla fyysisesti haastavaa. Aktiiviset lasit ovat myös melko suurikokoisia ja tämän vuoksi usein hieman epämiellyttäviä käyttää. Lisäksi etenkin infrapunatahdistusta käyttävät lasit ottavat erittäin herkästi häiriötä esimerkiksi loisteputkivalaistuksesta aiheuttaen epämiellyttävää välkkymistä.

3.5.4. Stereovideolasit

Stereovideolaseista käytetään joskus nimitystä henkilökohtainen 3D-katselulaite (engl. personal 3D viewer). (Sony, 2013) Stereovideolasit koostuvat kahdesta erillisestä silmien eteen asetettavasta näytöstä. Stereovideolasit ovat nykyaikainen versio ensimmäisistä stereokuvien katselulaitteista, joissa peilejä sekä linsejä käyttämällä katsojan molemmille silmille esitettiin eri kuvaa.

Stereovideolasien luoma stereokuva on hyvin voimakas, koska katsojan silmille esitetään kaksi erillistä kuvaa yhden yhteisen kuvan sijasta. Kahta erillistä kuvaa näytettäessä vältetään kuvien erottelun aiheuttamilta ongelmilta (Saurama, 2013). Lasien kehykset eristävät katsojan näkökyvyn ympäristöön, joka auttaa voimistamaan stereokuvan syvyysvaikutelmaa ja parantaa läsnäolon tunnetta.



Kuva 3.11 Stereovideolasit koostuvat kahdesta erillisestä silmien läheisyyteen asetetusta näytöstä

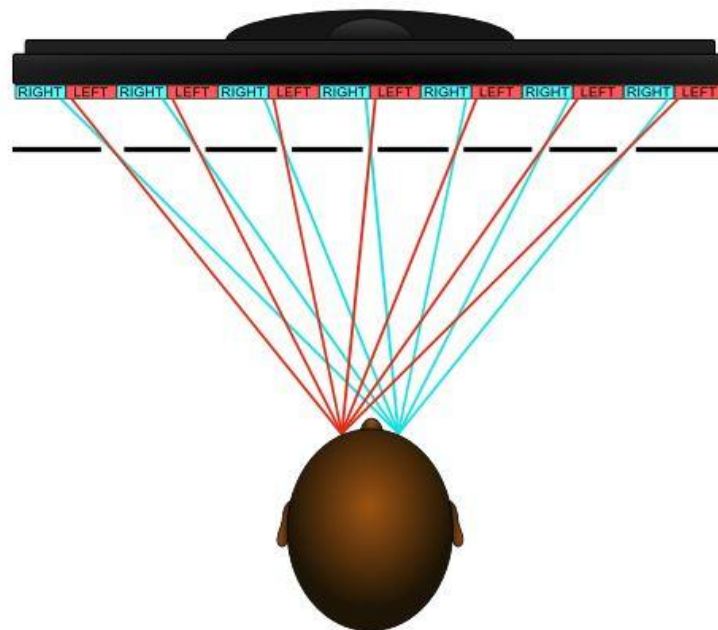
Stereovideolasien ongelmat liittyvät pääasiallisesti näyttöjen sijoittamiseen erityin lähelle katsojan silmiä. Silmien lähellä sijaitsevat näytöt ovat lasien säätöjen ja kohdistuksen osalta erittäin kriittiset. Pienikin lasien siirtäminen saattaa hajottaa stereo-

vaikutelman. Videolasit ovat myös fyysisesti melko kookkaat ja raskaat, jolloin niiden pitkäaikainen käyttäminen voi olla epämiellyttävää. (Saurama, 2013) Katsojan eristymisen katseluympäristöstä asettaa tiettyjä rajoitteita teleoperointikäyttöön. Operaattori ei esimerkiksi pysty näkemään hallintalaitteita, jolloin niitä joudutaan käyttämään muistin ja tuntoaistin varassa. Lisäksi useampien näyttöjen käyttö on mahdotonta jolloin kaikki lisäinformaatio joudutaan esittämään operaattorille lisätyn todellisuuden keinoin.

3.5.5. Autostereoskooppinen 3D-näyttö

Autostereoskopiolla tarkoitetaan menetelmiä esittää stereokuvaa ilman erityisiä laseja. Näistä tekniikoista käytetään joissakin yhteyksissä myös termiä lasiton 3D. Yleisimmät autostereoskooppiset stereovideonäytöt perustuvat joko parallaksiesteen tai lentikulaarikalvon käyttöön. (Perlin et al, 2000)

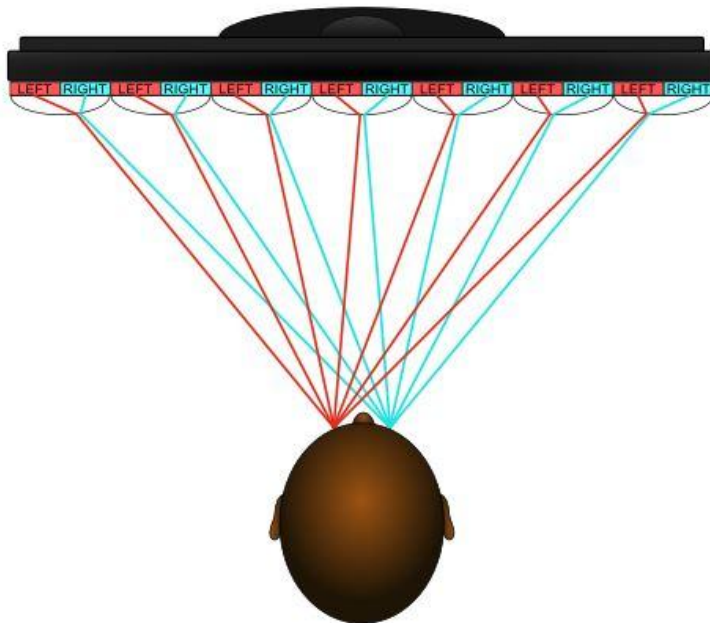
Autostereoskooppisissa näytöissä stereokuva esitetään yhdellä näyttöpaneelilla, siten, että oikea ja vasen kuva on jaettu joka toiseen pystysuuntaiseen pikseliriviin. Parallaksiestettä käytettäessä katsojan yksittäinen silmä kykenee näkemään vain puolet näytön pystysuuntaisista pikseliriveistä (kuva 3.12). Stereokuva näkyy kuitenkin ainoastaan yhdestä katselupisteestä, koska katselupisteen muuttuessa, myös parallaksiesteen tulisi siirtyä. (Bourke, 2010) Yhden katsojan katselualueita voidaan kasvattaa, jos näyttöä säädetään aktiivisesti katsojan pään liikkeitä seuraamalla. Aktiivinen katsojan seuraaminen on kuitenkin erittäin kallis ratkaisu monimutkaisuutensa vuoksi. (Dodgson, 2013)



Kuva 3.12 parallaksiesteeseen perustuvan autostereoskooppisen näytön toiminta perustuu rasterikalvoon, joka estää toista silmää näkemästä toiselle silmälle tarkoitetut pikselit.

1990-luvun alussa Philips kehitti lentikulaarikalvoon perustuvan autostereoskooppisen näytön, jossa stereokuva voidaan havaita useammasta katselupisteestä. Len-

tikulaarikalvon toiminta perustuu LCD-paneeliin päälle viistosti asennettuihin sylinterinmuotoisiin linssihin. Sylinterinmuotoiset linssit taittavat LCD-paneelin valoa siten, että periaatteessa katselupisteestä riippumatta katsoja näkee oikealla ja vasemmalla silmällä eri pystysuuntaiset pikselirivit. (Berkel et al, 1997) Käytännössä lentikulaarikalvollakaan ei saavuteta täysin vapaata katselualuetta. (Bourke, 2010) Katsoja kuitenkin huomaa virheet lähinnä vain liikkeessaan näytön edessä, ja sopivan katselupisteen löytää melko helposti.



Kuva 3.13 Lentikulaarikalvon sylinterinmuotoiset linssit taittavat LCD-paneelin valoa niin, että katsoja näkee vasemmalla silmällä eri pystysuuntaiset pikselirivit, kuin oikealla silmällä.

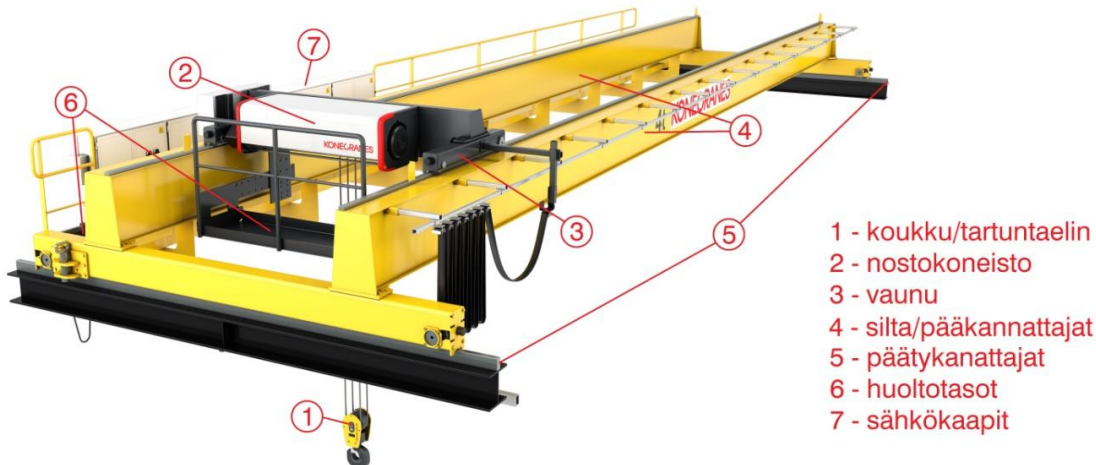
Autostereoskooppisen näytön huonona puolena on pystysuuntaisten pikselirivien tehollisen määrän puolittuminen. Tämän vuoksi näytön tarkkuus kärsii hieman, sillä pikselien fyysistä kokoa ei voida pienentää rajattomasti. Toisaalta erityisten 3D-lasien tarpeettomuus lisää merkittävästi autostereoskooppisen näytön käyttömukavuutta.

4. SOVELLUSYMPÄRISTÖ

Työn teleoperointisovellus toteutetaan siltanosturiin. Siltanosturit ovat teollisuudessa yleisesti käytettyjä nostolaitteita, joita käytetään kaiken tyyppisen materiaalin siirtelyyn. Suurin osa myytävistä siltanostureista on asennusnostureita, joita käytetään tyypillisesti nostoapuvälineenä kappaletavaraa käsiteltäessä. Tämän tyyppisessä nosturissa toimielimenä käytetään koukkua, johon käsiteltävät kappaleet kiinnitetään nostoapuvälineitä käyttäen. Vastaavasti prosessinosturit varustetaan käyttötarkoitukseensa sopivalla tartuntaelimeillä, jotka räätälöidään käyttötarkoitukseensa soveltuvaksi. Esimerkkinä tartuntaelimestä, jäte-energiälaitoksessa materiaalin siirtelyyn käytetään kahmareita. Tyypillisempänä erona asennus- ja prosessinostureiden välillä on kuitenkin se että asennusnostureita ohjataan normaalisti paikanpäältä radiokauko-ohjaimella tai nosturista roikkuvalla kiinteäjohdotetulla ohjaimella, kun taas prosessinosturit ovat tyypillisimmin automaattisia tai ohjaamosta ohjattavia. Näin ollen prosessinosturit ovat luonnollisempi ympäristö teleoperoinnin soveltamiseen.

4.1. Nosturin mekaniikka ja laitteet

Siltanosturin keskeisimmät komponentit ovat päätykannattaja, silta, vaunu ja nostokoneisto. Päätykannattajilla tarkoitetaan kiskoja, jotka ovat tyypillisesti kiinnitetyinä lähelle katonrajaa rakennuksen seiniin, mutta ne voivat joissain tapauksissa sijaita myös ulkotiloissa. Siltanosturin pääkannattaja eli silta liikkuu kiskojen varassa mahdollistaen nosturin pituussuuntaiset liikkeet. Yksille kiskoille voidaan asentaa yksi tai useampia siltanostureita. Sillan päällä sijaitsee yksi tai useampi vaunu, jotka mahdollistavat nosturin poikittaissuuntaiset liikkeet. Vaunu sisältää yhden tai useamman nostokoneiston, joiden avulla tartuntaelintä voidaan liikuttaa pystysuunnassa. Nosturin eri osien liikkeitä yhdistelemällä, voidaan nosturin tartuntaelin siirtää nosturin kolmiulotteisessa toimintaympäristössä mihin tahansa paikkaan.



Kuva 4.1 Siltanosturin mekaaninen rakenne ja pääkomponentit (Konecranes, 2013)

Siltaa ja vaunua liikuttavat siirtokoneistot koostuvat sähkömoottorista, vaihteistosta sekä vetävistä pyöristä. Sähkömoottoreita ohjataan taajuusmuuttajilla, jotka mahdollistavat portaattoman nopeussäädön. Sekä silta, että vaunu kulkevat kiskoilla metallisten pyörien varassa. Nostokoneiston rakenne on vastaava kuin siirtokoneiston, mutta nostokoneistossa vetävän pyörän tilalla on rumpu, johon nostovaijeri kelautuu nostettaessa.

Siltanostureissa hyvin usein käytetään tartuntaelimenä koukkua. Teleoperoinnin kannalta tämä on ongelma, koska koukun kiinnitys joudutaan suorittamaan manuaalisesti paikanpäältä. Tämän vuoksi teleoperointisovelluksen kannalta on välttämätöntä, että nosturissa käytetään etäoperoinnin mahdollistavaa tartuntaelintä. Etähallittavana tartuntaelimenä voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia kahmareita, alipainetarrainta tai magneetitarttuvia.

4.2. Nosturin ohjausjärjestelmä

Aikaisemmin nostureissa käytettiin pääasiallisesti suoraa releohjausta. Suorassa releohjauksessa napin painallus ohjaa sähköisen kytkennän avulla määrättyä toimilaitetta. Suora releohjaus on helppo ja toimiva ratkaisu yksinkertaisissa järjestelmissä, mutta monimutkaisissa järjestelmissä sen käyttö on työlästä. Nykyisissä älykkäissä nostureissa käytetään suoran releohjauksen sijasta ohjelmoitavaa logiikkaa eli PLC:tä (engl. Programmable Logic Controller).

PLC:n käyttäminen sallii järjestelmän monipuolisemman muokattavuuden. Lähtökohtaisesti järjestelmän toiminta ohjelmoitavissa logiikoissa on aina muokattavissa ohjelmallisesti ilman sähköisten kytkentöjen muuttamista. Useimmiten PLC-järjestelmä koostuu kolmen tyyppisistä osista: CPU-moduulista, sisääntulokorteista sekä ulostulokorteista. CPU-moduuli sisältää prosessorin ja muistin. Sisään- ja ulostulokortit ovat ohjaussignaalien siirtoa varten. Nykyään PLC:n yhteydessä käytetään usein myös erilaisia kenttäväyliä. Kenttäväyliä käytettäessä logiikan lähtökortit voidaan hajauttaa kentälle ohjattavien laitteen läheisyyteen. Kenttäväyliä käytettäessä voidaan hyödyntää myös suoraan väliläli-

tännällä varustettuja antureita ja toimilaitteita, jolloin erillisiä sisään- ja ulostulokortteja ei näiden kohdalla tarvita lainkaan.

Ohjelmoitavan logiikan sisääntuloihin voidaan kytkeä erilaisia mitta-antureita. Mitta-antureilla voidaan valvoa nosturin toimintaa, mutta niitä voidaan käyttää myös säätöjärjestelmän takaisinkytkentöinä. Siltanosturin paikoitukseen voidaan käyttää esimerkiksi laseretäisyysmittareita, pyöriin kiinnitettyjä pyöriviä antureita tai moottorienkooderia. Paikantamiseen liittyen voidaan käyttää myös erilaisia rajakatkaisijoita, joilla havaitaan nosturin liikkuminen toiminta alueen laitojen lähelle tai esimerkiksi vaaralliselle alueelle. Kunnonvalvonnan vuoksi voidaan tarkkailla esimerkiksi kuormien suuruuksia tai moottoreiden lämpötiloja.

Nostureiden suoraohjauslaitteina käytetään joko riippuohjainta, langatonta radio-ohjainta tai kiinteää ohjaamo. Riippuohjainta käytetään yksinkertaisimmissa nostureissa edullisen hinnan ja yksinkertaisuuden vuoksi. Monissa siltanosturisolukissa kuitenkin suositetaan hieman kalliimpaa radio-ohjausta, koska radio-ohjain mahdollistaa riippuohjainta vapaamman liikkumisen nosturin toiminta-alueella. Ohjaamoja käytetään yleensä suurissa teollisuuden prosessinostureissa. Ohjaamossa kuljettaja liikkuu siltanosturin sillan mukana ja näkee työalueensa korkealle asennetulta työpisteeltään. Ohjaamossa kuljettajalla on vähintään penkki ja kiinteästi johdotetut ohjauspulpetit.

Osa nykyisistä ohjelmoitavista logiikoista tarjoavat mahdollisuuden Ethernet-pohjaiseen kommunikointiin, sekä Windows tai Linux käyttöjärjestelmän käyttämiseen. Näiden ominaisuuksien ansiosta ohjelmoitavaan logiikkaan voidaan sisällyttää web-service ominaisuus, jonka avulla voidaan esimerkiksi logiikan parametreja muuttaa verkon ylitse. Konecranesin CXT Smart-nostureissa tästä ominaisuudesta käytetään nimitystä WebKey. WebKey mahdollistaa käyttöönoton yhteydessä nosturin parametrisonnin wlan yhteyden ylitse, ilman käyttöönoton tarvetta kiivetä nosturiin. WebKey helpottaa myös laitteiden huoltoa, koska sen avulla ohjelmoitavaa logiikka voidaan diagnosoida kiipeämättä itse nosturiin.

4.3. Siltanosturin ohjaustavat

Nykyaikaisen nosturin moottoreita hallitaan taajuusmuuttajilla, joiden avulla voidaan toteuttaa portaaton nopeudensäätö ja tarkat liikkeet kuormasta riippumatta. Tarpeesta riippuen ohjaus on toteutettu joko painonapein tai ohjausvivuilla.

4.3.1. Suoraohjausmenetelmät

Yleisin ohjaustapa teollisuuskäytössä käytettävälle siltanosturille on suoraohjaus radio-ohjaimella, koska tämä mahdollistaa vapaan liikkumisen nosturin ympäristössä. Radio-ohjaus vaatii lähettimen sekä nosturiin asennettavan vastaanottimen. Konecranesin siltanostureissa voidaan käyttää joko väylä- tai releradioita. Molemmissa radiotyypeissä ohjauskäskyt välitetään radiolta nosturin ohjauslogiikalle, joka ohjelmansa mukaan ohjaa nosturin toimilaitteita. Väyläradioiden käyttäminen mahdollistaa myös tiedon välittämi-

sen ohjausjärjestelmältä radion suuntaan, joka mahdollistaa monipuolisemman käyttöliittymän. Tällöin esimerkiksi nosturin koukun kuorman suuruus voidaan esittää radio-ohjaimen sijoitetulla näytöllä. Koska ohjaukskäskyt kiertävät nosturin ohjausjärjestelmän kautta, voidaan kaikkien ohjauspainikkeiden toimintalogiikka muuttaa ohjelmallisesti. Riippumatta käytettävästä radion tyypistä, on ohjain ja vastaanotin lukittu toistensa pariin käyttäen esimerkiksi sähköistä tunnistusavainta. Työturvallisuuden varmistamiseksi nosturin ja lähtetimen välillä on aina toimintoja suoritettaessa jatkuva radioliikenne. Mikäli radioliikenteessä ilmenee häiriö, lopetetaan nosturin liike välittömästi.



4.1 Siltanosturin ohjaukseen käytettävä ohjaussauvoilla ja näytöllä varustettu radio-ohjain

Toinen yleinen suoraohjausvaihtoehto on riippuohjain, tämä ohjaustapa on rakenteeltaan radiota yksinkertaisempi. Riippuohjaimessa nosturin sillasta ripustetaan roikkumaan tukivaijeri ja kaapeli, jonka päässä riippuu painikeohjain. Tämä ohjaustapa on ollut laajasti käytössä teollisuustuureissa ennen radio-ohjaimien yleistymistä ja on edelleen pääasiallinen ohjaustapa kaikkein edullisimmissä siltanostureissa. Riippuohjaimen painikkeiden tiedot välitetään joko nosturin ohjausreille tai ohjelmoitavaan logiikkaan suoraan kaapelia pitkin. Riippuohjain on yksinkertaisen rakenteensa vuoksi toimintavarma ja edullinen ohjausmenetelmä.

Suurissa teollisuuden prosessintuureissa käytetään myös erillistä ohjaamoja. Ohjaamo sijaitsee kiinteästi nosturissa ja se liikkuu sillan mukana. Korkealla sijaitsevasta ohjaamosta kuljettajalla on yleensä hyvä näkymä työalueella. Ohjaamossa kuljettajalla on vähintään penkki ja kiinteästi johdotetut ohjauspulpetit.

4.3.2. Puoliautomaattiohjaus

Puoliautomaattiajossa nosturi suorittaa kohteeseen ajamisen automaattisesti operaattorin valvonnassa. Konecranesin yleisimmät puoliautomaattiajosovellukset ovat maalipaikoitus (Target Positioning), sekä loppupaikoitus (End Positioning). Puoliautomaattiajolla varustettuja nostureita voidaan käyttää myös suoraohjauksella.

Maalipaikoitusta käytettäessä nosturin maalipiste valitaan ennalta opettujen maalipisteiden joukosta käyttäen radiokauko-ohjausta. Kun maalipiste on valittu ja ajo liikkeen suorittaminen on turvallista, sallii operaattori nosturin ajoliikkeen pitämällä radio-ohjaimesta maaliinajopainike painettuna. Automaattiajo voidaan milloin tahansa pysäyttää vapauttamalla radio-ohjaimen maaliinajopainike. Maaliinajon aluksi nosturi nostaa taakan ennalta määrätyle ajokorkeudelle, jonka jälkeen silta ja vaunu ajetaan maalipisteen yläpuolelle. Maalipisteen yläpuolella taakka lasketaan maalipisteen mukaiselle korkeudella ja ajosuorituksen onnistumisesta ilmoitetaan kuljettajalle esimerkiksi äänimerkin avulla. Sillan ja vaunun ajo voidaan suorittaa joko yhtäaikaaisesti tai erikseen riippuen toivotusta ajoreitistä.

Loppupaikoitus toimintaperiaate on pääosin vastaava kuin maalipaikoituksessa. Maalipaikoituksesta poiketen, loppupaikoituksessa radio-ohjaimella ei voida valita maalikohtetta. Sen sijaan nosturia ajetaan suoraohjauksella, kunnes saavutaan riittävän lähelle haluttua loppupaikoitusmaalia. Kun nosturi havaitsee lähellä sijaitsevan loppupaikoitusmaalin, ilmoitetaan kuljettajalle maalin löytymisestä. Jos löydetty maali on oikea, kuljettaja voi suorittaa taakan loppupaikoituksen sallimalla automaattiajon samaan tapaan kuin maalipaikoituksessa.

4.3.3. Automaattiohjaus

Erikoisnostureissa voidaan käyttää myös automaattiohjausta, jonka toiminta perustuu materiaalien olinpaikan hallintaan tietokoneohjelmistolla. Automaattiohjausta käytetään pääsääntöisesti automaattivarastoissa.

Nosturin automaattiseen ajoon vaaditaan suljettu toiminta-alue, jossa ei toimi nosturille tuntemattomia laitteita tai ihmisiä. Tällä järjestelyllä varmistetaan, ettei toiminta-alueella tapahdu muutoksia, jotka voisivat vaikuttaa negatiivisesti nosturin suoriin. Suljettu alue järjestetään useimmiten rajaamalla työskentelyalue seinillä tai aidoilla ja varustamalla tarvittavat kulkuväylät kulunvalvonnalla. Kulkuväylät nosturin toiminta-alueelle ovat yleensä välttämättömiä huoltotoimenpiteiden vuoksi.

4.4. Teleoperoinnin edut ja haitat siltanosturisovelluksissa

Luvussa 2.1 esitetyt teleoperoinnin höydyt ja haitat ovat päteviä myös siltanosturisovelluksissa. Tämän vuoksi teleoperointia ei kannata automaattisesti soveltaa kaikkiin siltanosturisovelluksiin. On äärimmäisen tärkeää selvittää teleoperoinnin edut ja haitat juuri kyseiselle siltanosturiprosessille.

Turvallisuus on sekä Konecranesille, että yleisesti teollisuudelle hyvin tärkeä asia. Konecranesin toimitusjohtaja Pekka Lundmark painottaakin, että ei ole olemassa niin tärkeää tai kiireellistä työtä, ettei sitä voida toteuttaa turvallisesti. Nostureilla käsitellään yleensä hyvin raskaita taakkoja. Hyvin raskaita taakkoja siirrellessä käsitellään jatkuvasti hyvin suuria energiamääriä potentiaali- tai liike-energian muodossa. Onnettomuustilanteessa varastoitu energia saattaa purkautua hyvin nopeasti, joka johtaa usein suuriin vahinkoihin. Vaikka nostureihin on toteutettu paljon turvallisuutta parantavia ratkaisuja, on esimerkiksi kuljettajan virheestä johtuvan onnettomuuden riski aina olemassa. Usein raskaiden taakkojen käsittely nosturilla onnistuu niin vaivattomasti, että työntekijät unohtavat raskaiden kappaleiden aiheuttamat vaarat. Teleoperoinnin avulla työntekijöiden turvallisuutta voidaan parantaa merkittävästi siirtämällä operaattorit pois vaarallisilta työskentelyalueilta.

Nosturin toimintaympäristön tilankäyttöä voidaan tehostaa teleoperoinnin avulla. Pääsääntöisesti siltanosturi sijoitetaan rakennuksen kattoon, jossa se voi melko esteettömästi liikkua toiminta-ympäristössä. Vastaavasti operaattori useimmiten liikkuu lattiatasolla, jolloin varastopaikkojen tai koneiden väliin pitää jättää riittävästi kulkureittejä, jotta operaattori pääsee tarkkailemaan nosturin toiminta-alueita. Teleoperoinnin avulla kulkureittejä ei välttämättä tarvita, jolloin samaan tilaan saadaan mahtumaan suurempi määrä laitteita ja tavaraa.

Turvallisuuden ja tilankäytön lisäksi teleoperoinnilla voidaan parantaa tehokkuutta. Monissa sovelluksissa älykäs siltanosturi pystyisi suorittamaan suurimman osan materiaalien siirroista täysin automaattisesti. Poikkeustilanteissa kuitenkin vaaditaan operaattorin toimenpiteitä, jolloin operaattori joutuu valvomaan nosturin toimintaa. Teleoperoinnin avulla yksi operaattori voi valvoa samanaikaisesti useampaa nosturia. Tämän ansiosta monia operaattoreita ei tarvitse pitää jatkuvassa valmiudessa nosturin luona, vaan poikkeustilanteet voidaan hallita keskitetysti.

Viiveet aiheuttavat herkästi ongelmia teleoperointijärjestelmissä. Nosturisolukuksessa nosturin liikenopeedet ovat kuitenkin melko pieniä. Siltanosturin liiketilan muutokset kuitenkin aiheuttavat herkästi taakan heilumista, sillä köysien varassa roikkuva taakka muodostaa luonnostaan fyysikaalisen heilurin. Heilunnan hallinta voi muodostua operaattorille hankalaksi, jos viiveet käyvät liian suuriksi. Järjestelmän viiveiden sietoa voidaan kuitenkin parantaa käyttämällä nosturin heilunnanesto-ominaisuutta paikallisena takaisinkytkentänä.

Nosturisolukuksessa siirrettävät taakat liikkuvat paljon sekä vaaka, että pystysuunnassa ja näin ollen suoraa näköyhteyttä on usein melko vaikea saada kiinteästi sijoitetusta paikallisesta ohjaamosta. Kameroiden sijoittaminen näkyvyydeltään hyviin asemiin on huomattavasti helpompaa, kuin kokonaisen ohjaamon. (Muona, 2006)

Laajalla toiminta-alueella operoivat laitteet aiheuttavat myös työergonomialle haasteita. Tarkkailtavien kohteiden suunnat saattavat olla työergonomian kannalta erittäin huonoja, koska kuskin näkökentän pitää kattaa operoitavan laitteen toimintaympäristö. Standardit SFS 4953, sekä SFS-EN 13557 asettavat nosturin ohjaamon suunnittelulle melko paljon vaatimuksia esimerkiksi turvallisuuden, ergonomian ja kulkureittien

osalta. Teleoperoinnin avulla ohjaamo voidaan siirtää pois nosturista, joka helpottaa merkittävästi ohjaamon suunnittelutyötä.



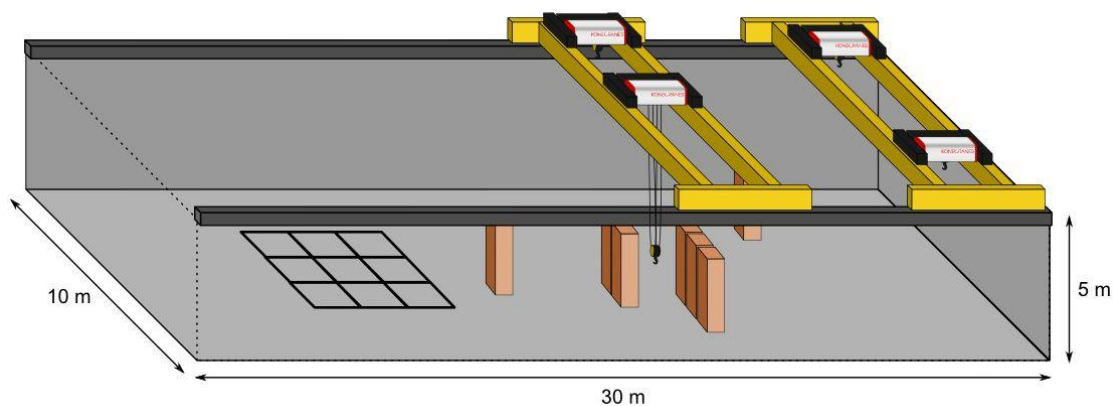
4.2 Teleoperoinnin merkittävimpiä hyötyjä ja haasteita siltanosturisovelluksen kannalta

5. TESTIJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

Tässä luvussa esitellään työssä käytettävä testilaitteisto ja toimivuuden kannalta tärkeimmät säätökohteet. Teleoperointijärjestelmä koostuu operoitavasta laitteesta, kame-roista, tiedonsiirtoväylistä, valvontapääteestä sekä ohjausjärjestelmästä. Tämän diplo-mityön testijärjestelmässä operoitavana laitteena toimii Konecranesin CXT Smart-tyyppinen testinosturi. Teleoperoinnin kameroina käytetään kahta stereokameraparia, joista toinen pari on sijoitettu kiinteästi halliin ja toinen pari vaunun mukana liikkuvak-si. Kameroiden tiedonsiirtoväylänä käytetään langallista ethernet-yhteyttä. Valvonta-pääteenä käytetään tavallista PC-tietokonetta, sekä 3D-näyttöä. Testilaitteiston ohjaus-laitteena käytetään nosturin omaa radio-ohjainta.

5.1. Nosturi

Teleoperoinnin testilaitteisto rakennettiin Konecranesin testinosturiin. Testinosturi on kahdella 3.2 tonnin vaunulla varustettu CXT Smart siltanosturi. Nosturi on sijoitettu tes-tihalliin, missä testiajot voidaan suorittaa turvallisesti ilman vaaraa ihmisille. Teleope-rointijärjestelmässä käytetty nosturi toimii samalla radalla toisen nosturin kanssa. Nos-turit on kuitenkin varustettu törmäyksenesto-ominaisuudella, joten yhteentörmäyksen vaaraa ei ole.



Kuva 5.1 Testihallin nosturien periaatekuva

Teleoperointisovellusta varten testinosturin PLC-ohjelmaan jouduttiin tekemään vain pieniä muutoksia. Ohjelmaan lisättiin UDP-lähetys. Muutoksen jälkeen nosturi pystyy kertomaan teleoperointitietokoneelle tarvittavia tietoja, kuten nostokoukun paik-katiedon. Nosturin paikkatieto on teleoperointilaitteiston kannalta merkityksellinen etenkin jos jotkin kamerat sijoitetaan liikkumaan nosturin mukana. Tällöin kameran nä-kemä koordinaatisto muuttuu nosturin liikkeiden mukaan.

Teleoperointisovelluksessa voidaan hyödyntää useita CXT-siltanosturin Smart-ominaisuuksia. Suoraohjausta käytettäessä heilahduksenesto ominaisuus auttaa ehkäisemään taakan nopeuden muutoksista aiheutuvia heilahduksia. Heilahdukseneston hyöty korostuu erityisesti jos teleoperointijärjestelmässä on viiveitä. Tehtäväpohjainen ohjaustapa voidaan vastaavasti toteuttaa hyödyntäen nosturin TargetPosition maalipaikoitusominaisuutta. Nosturin Webkey-huoltokäyttöliittymää voidaan myös hyödyntää monin tavoin teleoperointisovelluksessa. Webkeyn avulla operaattori pystyy reaaliaikaisesti seuraamaan nosturin kunnonvalvontatietoja, paikkatietoa sekä kuormatietoa.

5.1.1. Nosturin suoraohjaus

Testinosturin suoraohjaukseen voidaan käyttää kahta erilaista radio-ohjainta tai riippuohjainta. Testijärjestelmässä käytetään kahdella ohjainsauvalla varustettua monipuolisempaa radiokauko-ohjainta. Kauko-ohjaimen toisella ohjainsauvalla ohjataan sillan sekä vaunun liikkeitä ja toisella nostoliikkeitä. Ohjaimella voidaan myös hallita nosturin eri Smart-ominaisuuksia ja sen näytöillä voidaan esittää nosturin ilmoituksia, hälytyksiä ja varoituksia.

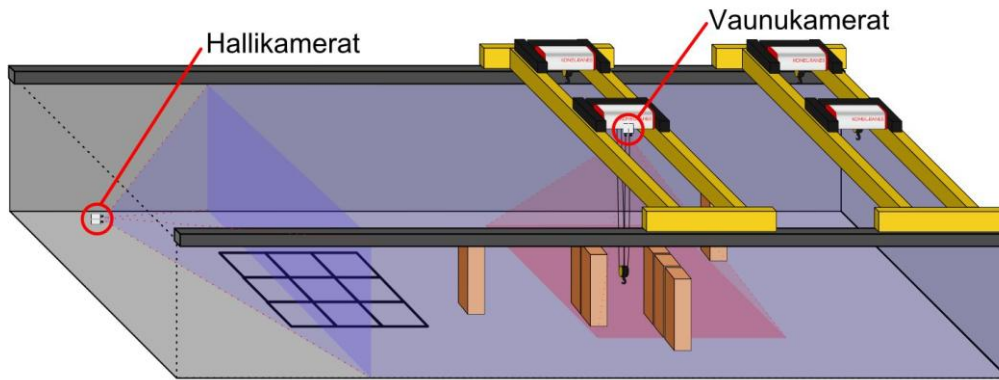
5.1.2. Tehtäväpohjainen ohjaustapa

Tehtäväpohjainen ohjausmenetelmä toteutettiin hyödyntäen CXT-nosturin maalipaikoitusta. Stereokameran kuvasta voidaan laskea hiirellä osoitetun pisteen koordinaatit. Laskettu piste lähetetään testinosturin maalipisteeksi. Maalipisteen tallentamisen jälkeen operaattori sallii maaliin ajon pitämällä maaliinajopainiketta pohjassa.

Maalinajo voitaisiin teknisesti toteuttaa myös ilman operaattorin jatkuvaa vahtimista. Tällöin kyseessä olisi automaattiajo, ja se asettaisi laitteiston turvallisuudelle lisää vaatimuksia. Automaattiajo voidaan toteuttaa suljetuissa ympäristöissä, joissa ei työskentele henkilöitä tai laitteita joista nosturin ohjausjärjestelmä ei ole tietoinen.

5.2. Stereokamerat

Teleoperointijärjestelmässä käytetään kahta stereokameraparia. Toinen kamera on asennettu kiinteäksi hallikameraksi ja toinen on asennettu nosturin mukana liikkuvaksi vauvakameraksi. Testijärjestelmässä käytetään Basler BIP2-1600-25-dn PoE-kameroita. Kamerat on varustettu ulkoisella suljinohjauksella, jolloin synkronointipiirin käytöllä voidaan varmistaa, että stereokameraparin kuvat otetaan samanaan aikaan. Kameroiden resoluutio on 1600×1200 , jolloin kameran kuvasuhteeksi muodostuu 4:3.



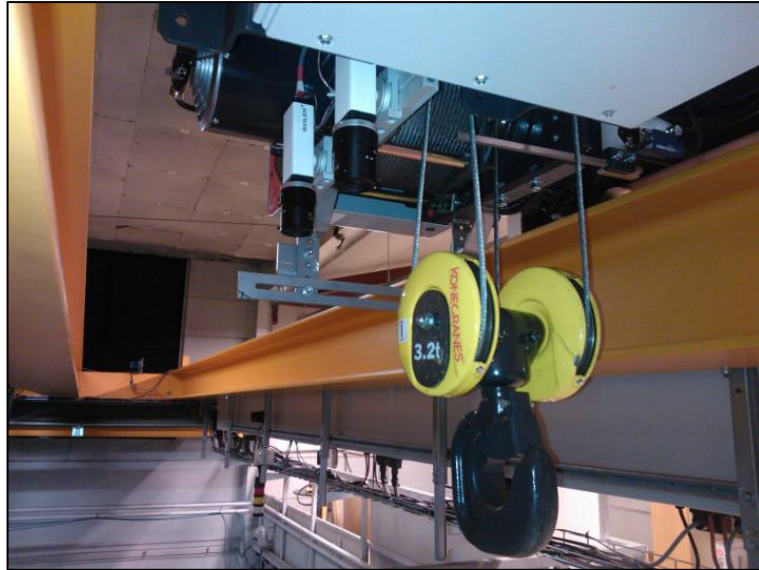
Kuva 5.2 Testijärjestelmän kameroiden sijoittuminen testihalliin

Hallikamerat on sijoitettu hallin päädyssä sijaitsevaan huoltotasoon kuvaamaan hallin yleisnäkymää. Kameroiden kuva-alue kattaa suurimman osan nosturin toiminta-alueesta. Huoltotason läheisyyteen jää kameroiden rajallisen kuvakulman vuoksi katve-alue. Tämän vuoksi kiinteät kamerat tulee sijoittaa aina niin, ettei nosturin pääasiallinen toiminta-alue sijoitu aivan kameras läheisyyteen. Testijärjestelmässä hallikameroiden näkemä kuva-alue ulottuu noin 5 metrin päästä kameroiden edestä aina hallin takalaitaan asti.



Kuva 5.3 Kiinteästi huoltotason kaiteeseen asennettu hallikamera antaa toiminta-alueesta hyvän yleiskuvan

Vaunukamera on sijoitettu kiinteästi nosturin vaunuun. Vaunukamerat kuvaavat suoraan alaspäin, jolloin vaunukameran kuva-alue kattaa aina nosturin toiminta-alueen. Ylhäältä katseluetäisyys on enimmillään nosturin korkeus, jonka vuoksi kuva-alue rajautuu melko pieneksi käytettäessä normaaleja linsejä. Kalansilmäobjektiveja käyttämällä kuva-alueutta voidaan laajentaa, mutta stereokuvaa katsottaessa laajakulmaobjektiivin reuna-alueen linssivääristymät aiheuttavat ongelmia.



Kuva 5.4 Vaunukamerat liikkuvat nosturin mukana ja tarjoavat vaihtoehdoisen kuvakulman nosturin toiminta-alueelta

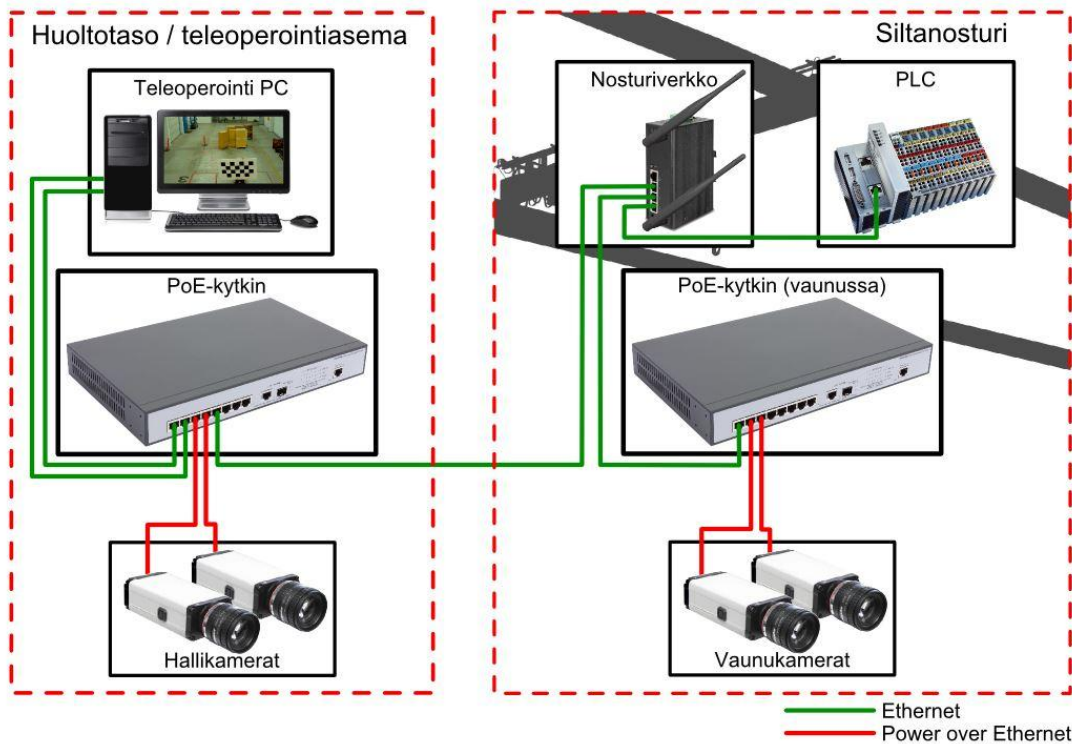
Halli- ja vaunukameroiden yhtäaikaisella käytöllä saadaan koko nosturin toiminta-alue katettua erittäin tehokkaasti. Etenkin jos molempien kameraparien kuvat esitetään operaattorille rinnakkaisesti, saadaan nosturin toiminta-alueelle jäävien katvealueiden määrä pidettyä hyvin pienenä. Katvealueiden vähentymisen lisäksi useampaa kuvakulmaa käyttämällä voidaan myös saavuttaa parempi kolmiulotteinen hahmotuskyky toiminta-alueelta, koska operaattori voi verrata kuvien antamaa informaatiota toisiinsa.

Molempien kameroiden kiinnityksessä käytetään apuna alumiinikiskoja, johon kamerapari voidaan tukevasti kiinnittää. Tämän ansiosta kameraparin suuntausta voidaan muuttaa vaikuttamatta kameraparin väliseen aseteluun.

5.2.1. Verkkoarkkitehtuuri

Kameroiden tiedonsiirtoon käytetään Ethernet-tekniikkaa. Kameroiden käyttöjännitteen syöttö on toteutettu PoE-tekniikalla, jolloin kameroille ei tarvitse tuoda muita johtoja Ethernet-kaapelin lisäksi.

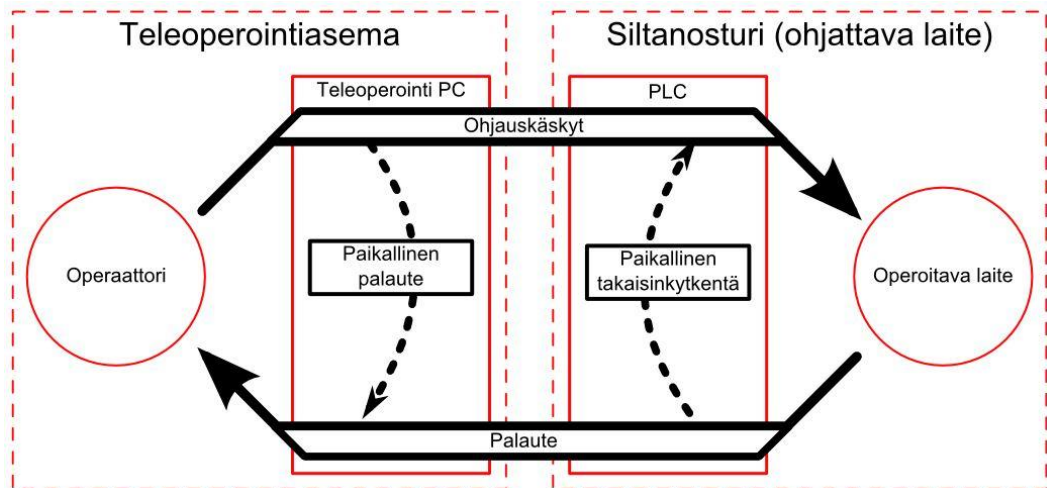
Teleoperointilaitteistossa käytetään omia verkkolaitteita, koska testinosturin oma nosturiverkko ei sisällä PoE-virransyötön mahdollistavia verkkolaitteita. Vaunukameroiden Ethernet yhteydessä hyödynnetään olemassa olevaa nosturiverkkoa, koska nosturiin ei haluttu vetää uusia liikkuvia johtoja olemassa olevien kaapelointien rinnalle.



Kuva 5.5 Teleoperointijärjestelmän testiympäristön verkon rakenne

Siltanosturin normaali ohjausviive radio-ohjainta käytettäessä on noin 500ms. Ohjausviive aiheutuu ohjaimen radioliikenteen viiveistä, ohjelmoitavan logiikan kiertoajasta, nosturin kiihdytys ja hidastusrampeista, sekä toimilaitteiden viiveistä. Manuaalisesti ajettavat nosturit ovat liikkeissään melko rauhallisia ja ohjauksessa käytetään yleensä melko pitkiä kiihdytysramppeja. Tämän vuoksi nosturin ohjaaminen sallii melko suuriakin viiveitä, kunhan viiveen määrä pysyy vakiona.

Testilaitteistossa ei teleoperoinnista aiheudu merkittävää kasvua nosturin ohjausviiveeseen. Teleoperointijärjestelmässä piilee useampia potentiaalisia paikkoja erityisen haitallisille muuttuville viiveille. Jos verkkoyhteys jaetaan muiden laitteiden kanssa, saattaa muu verkkoliikenne vaikuttaa teleoperoinnin pakettien läpimenoaikaan. Tämän vuoksi teleoperointijärjestelmässä kannattaa mahdollisuuksien mukaan käyttää omia verkkolaitteita, tai muilla tavoin hallita järjestelmän verkkoliikennettä. Myös tarpeettomia tietokoneohjelmia kannattaa välttää teleoperointitietokoneessa, jotta teleoperointiohjelmalle voidaan taata riittävä prosessointiteho.



5.1 Viiveen vaikutusta voidaan vähentää lisäämällä järjestelmään paikallinen palaute sekä paikallinen takaisinkytkentä

Jos tiedonsiirto aiheuttaa teleoperointijärjestelmään suurta viivettä, voidaan laitteiston käytettävyys säilyttää lisäämällä järjestelmään paikallinen palaute ja paikallinen takaisinkytkentä. Paikallinen palaute voidaan toteuttaa esimerkiksi lisäämällä käyttöliittymään jonkinlainen ilmaisoin ohjauksikäskyn vastaanottamisesta. Tällöin operaattorin havaitsema viive jaetaan kahteen osaan. Ensimmäisessä vaiheessa teleoperointitietokone antaa nopeasti palautteen ohjauksikäskyn vastaanottamisesta, ja lopullinen palaute saadaan kun nosturin liike havaitaan teleoperointijärjestelmässä. Ilman paikallista palautetta operaattori saattaa alkaa epäillä laitteiston toimivuutta, koska viiveen johdosta tuntuu, ettei laite vastaa ohjauksikäskyihin. Paikallinen takaisinkytkentä voi vastaavasti olla esimerkiksi nosturin logiikassa toimiva heilahduksenesto. Tällöin nosturi tekee paikallisesti korjaavia ohjausliikkeitä ilman operaattorin toimenpiteitä.

5.2.2. Polttoväli ja tarkennus

Objektiivien valinnalla on melko suuri merkitys teleoperointijärjestelmän toimivuuteen etenkin 3D-sovelluksessa. 3D-teleoperointisovelluksessa kameroiden linseillä tulee pyrkiä saamaan koko toiminta-alueesta vääristymätön ja syväterävä kuva. Jos koko toiminta-alue ei pystytä kattamaan yhden kameran tai kameraparin kuvakulmalla, on järkevää jakaa työskentelyalue pienempiin alueisiin, joita kuvataan eri kameroilla. Näitä kameroita välillä vaihdellaan operoitavan laitteen liikkeiden mukaan. Testijärjestelmässä hallikameroilla pystytään kattamaan lähes koko työskentelyalue. Vaunukameroita ei välttämättä tarvittaisi testisovelluksessa katvealueiden vuoksi, mutta niillä pyritään täydentämään hallikameroiden informaatiota.

Hallikameroissa käytetään kiinteällä 9mm polttovälillä varustettuja objektiiveja. Objektiivin kuvakulma on vaakasuunnassa hieman yli 29° ja pystysuunnassa 22°. Linsissä on manuaalisesti säädettävä tarkennus ja aukon koko. Kyseisellä linssillä saavutetaan kyllin leveä kuva-alue, jotta yleisimmin käytetyllä toiminta-alueella nosturia ei voi ajaa sivusuunnassa kuvasta pois. Tällä pyritään estämään nosturin jatkuva toiminta stereokuvan reuna-alueilla, joka saattaa aiheuttaa stereokuvan hajoamisen. Kuvan reuna-

alueille voidaan sallia pieni linssivääristymä, koska operaattoria kiinnostavat kohteet sijoittuvat rajauksen myötä kuva-alueen keskivaiheille, eikä operaattorilla ole yleensä tarvetta kohdistaa katsettaan kuva-alueen reunoilla.

Vaunukameroiden linsseinä käytetään 4.5 – 13.2 mm säädettävällä polttovälillä varustettu objektiiveja. Objektiivin kuvakulman on pystysuunnassa säädettävissä välillä 32.6° - 100.1° ja vaakasuunnassa välillä 24.8° - 83.9°. Ylhäältä katsottaessa katseluetäisyys on melko lyhyt, jonka vuoksi melko lyhyelläkin polttovälillä saavutetaan riittävä erottelukyky katselualueelle. Vaunukameroiden tapauksessa kameroiden kuva-alueita ei voida rajata nosturin toiminta-alueen ulkopuolelle ilman laajakuva-objektiivin käyttöä. Vaunukameroiden polttoväli säädetään niin leveäksi, kuin ilman suurta reuna-alueen linssivääristymää on mahdollista. Sijainnistaan johtuen vaunukameroiden kuva-alueita ei voida toteuttaa siten, ettei kuvan reuna-alueelle voisi muodostua kiinnostavia kohteita. Ongelmaa voidaan tarvittaessa hieman korjata kameroiden suuntauksella tai kuva-alueen rajauksella.

Kameroiden tarkennuksessa pyritään mahdollisimman hyvään syväterävyyteen koko työskentelyalueella. Lyhyen polttovälin käyttö parantaa syväterävyyttä. Myös valotusaukon säädöllä voidaan vaikuttaa kameroiden syväterävyyteen. Pieni aukon koko kasvattaa syväterävyyttä ja vastaavasti suuri aukon koko heikentää syväterävyyttä. Tästä syystä teleoperointiin käytettävissä kameroissa kannattaa käyttää melko pientä valotusaukkoa. Toiminta-alueen valoisuus asettaa kuitenkin rajoitteita aukon koon pienentämiselle. Aukon pienentäminen heikentää objektiivin valonkeräyskykyä. Testihallissa valaistus on melko heikko ja sen vuoksi kameroiden säätäminen on melko haastavaa.

Stereokameraparia säätäessä on hyvin tärkeää, että molemmille kameroille haetaan mahdollisimman tarkasti samat säädöt. Kaikki säädöt kannattaa hakea ensin vain toiselle kameralle. Kun ensimmäisen kameran säädöt on saatu kohdalleen, kopioidaan identtiset säädöt toiseen kameraan ja tarkastetaan säätöjen toimivuus myös siinä. Kopioituja säätöjä voidaan joutua hienosäätämään johtuen kameroiden pienistä eroista.

5.2.3. Interokulaarinen etäisyys

Testinosturin kiskojen pituus on 30 m, sillan pituus 10 m ja nostokorkeus 5 m. Nosturi pystyy toimimaan lähes koko hallin alueella esteettä. Testijärjestelmän kannalta nosturin tärkeimmäksi toiminta-alueeksi oletetaan hallin keskiosa.

Hallikameran kuvakulma rajaa hallin etuosasta pois. Tämän vuoksi nosturin teleoperointi hallin etuosassa pelkkiä hallikameroita käyttäen ei ole mahdollista. Lähin etäisyys, johon kameralla nähdään koko hallin leveys, asettuu noin 5 m etäisyydelle kameroista. Tärkein toiminta-alue sijoittuu noin 10 m etäisyydelle kameroista. Käyttämällä 1/30 sääntöä saadaan interokulaariselle etäisyydelle hyväksi lähtöarvaukseksi 33 cm.

Testijärjestelmässä stereokuvan syvyysvaikutelmaa haluttiin hieman ylikorostaa. Tämän vuoksi kameroiden väliä kasvatettiin suuremmaksi, kuin 1/30 säännön perusteella saatu arvo. 40 cm interokulaarisella etäisyydellä stereokuvan syvyysvaikutelma on melko hyvä vielä hallin takaosassa, mutta aivan hallin etuosassa syvyysvaikutelma al-

kaa käydä hieman liian voimakkaaksi. Hallin etuosassa toimitaan kuitenkin vain hyvin lyhytaikaisesti, joten hieman liian voimakas syvyysvaikutelman voidaan hyväksyä.

Vaunukameroiden suurimmaksi suositelluksi interokulaariseksi etäisyydeksi, lattiatasoon katsottaessa, saadaan 1/30 säännön perusteella noin 15 cm. Nosturia operoitaessa koukku kuitenkin liikkuu yleensä lattiatasoa ylempänä. Lisäksi nosturin nostoköydet näkyvät kuvan laidassa jo melko lyhyellä etäisyydellä kameroista. Tämän vuoksi vaunukameroissa ei voida käyttää erityisen suurta interokulaarista etäisyyttä ja kameroiden väliksi asetettiin 8 cm.

5.2.4. Konvergenssi

Lähtökohtaisesti kameroiden konvergenssi asetetaan neutraaliksi suuntaamalla kamerat yhdensuuntaiseksi. Sisätiloissa käytettäessä hallin takaseinä rajoittaa katselualueen, joten sen operaattorilla ei ole tarvetta kohdistaa katsetaan takaseinää pidemmille etäisyyksille. Tämän johdosta kamerat voidaan kääntää kevyesti konvergenssiin. Kamera tähdättiin osoittamaan samaan pisteeseen hallin takaseinässä. Tällä järjestelyllä kameroiden väliseksi kulmaksi saadaan alle 1°. Käytännössä näin pienellä kulmalla ei kuvassa havaita merkittävää keystone-efektiä tai muita ongelmia.

Myös vaunukamerat tähdättiin osoittamaan lattiatasossa samaan pisteeseen. Vaunukameroiden osalta tällä pyrittiin vähentämään kuvien reuna-alueiden eroavaisuuksia lattiatasolla. Kameroiden väliseksi kulmaksi muodostui laskennallisesti 2°. Myöskään tässä asettelussa keystone-efekti ei muodostunut häiritseväksi.

5.2.5. Kameran parametrusointi

Stereokameran parametreja säädettäessä tärkeintä on, että kameroille asetetaan mahdollisimman samanlaiset parametrit. Identtisiä kameroita ja linsejä käytettäessä samat parametrit pitäisi soveltua suoraan molemmille kameroille. Erityisen tärkeää stereokuvaamisessa on, että erilaiset automaattiparametrit muutetaan manuaalisesti säädettäviksi. Stereokuvauksessa voidaan käyttää automaattisesti säätyviä kameraparametreja ainoastaan silloin jos toinen kamera pystyy asettamaan molempien kameroiden parametrit. Muussa tilanteessa parametrit tulee asettaa aina manuaalisesti.

Kameraparin kuviin saattaa muodostua eroavaisuuksia esimerkiksi valaistuksen suhteen, koska ympäröivät valonlähteet sijoittuvat eri tavalla suhteessa kameraparin osapuoliin. Tällaisessa tilanteessa eroavaisuudet tulisi korjata ensisijaisesti muuttamalla kameroiden sijoitusta. Jos kuitenkin muita keinoja ei voida käyttää, voidaan myös kameroiden parametreilla tehdä pieniä korjauksia.

Manuaaliset parametrit haetaan sopiviksi käytettävän kamera, objektiivin ja ympäristön mukaan. Tärkeimpiä ohjelmallisesti asetettavia parametreja ovat valotusaika, sekä valoisuuden vahvistus (engl. gain). Molempien arvojen kasvattaminen parantaa kuvan valoisuutta, mutta lisää kuvan kohinaa ja rakeisuutta. Käytettäviin arvoihin pitää etsiä sopiva kompromissi, jolla saavutetaan riittävä valoisuus ilman häiritsevää kohinaa

määrää. Jos riittävän hyvää kompromissia ei saavuteta, joudutaan tilanne korjaamaan vaihtamalla valovoimaisempaan objektiivisiin tai parantamalla alueen valaistusta.

Kuva-aluetta voidaan myös tarvittaessa ohjelmallisesti rajata. Rajauksella voidaan vähentää esimerkiksi stereokuvan reuna-alueen eroavaisuuksia, jos kameroiden fyysisen sijoituksen korjaaminen ei ole mahdollista. Kuvien rajausta tulisi kuitenkin useimmiten välttää, koska kuvien ohjelmallinen rajaaminen vähentää kuvan käytettävissä olevien pikselien määrää.

5.3. Teleoperointitietokone

Teleoperointivalvomon käyttöliittymä rakentuu tietokoneen ympärille. Useimmissa teleoperointijärjestelmissä voidaan käyttää tavallista PC-tietokonetta, koska valvomo voidaan sijoittaa normaaleihin toimistotiloihin. Teollisuustietokoneiden käyttöä vaaditaan ainoastaan jos valvomo joudutaan sijoittamaan täriseviin tai pölyäviin olosuhteisiin. Useimmiten kuitenkin tavallinen toimistotietokone riittää, koska teleoperoinnin perusajatuksena on juuri siirtää valvomo pois epäsuotuisista olosuhteista.

Testijärjestelmän käyttöliittymässä käytetään tietokonetta ja radio-ohjainta. Tietokoneen näyttönä testisovelluksessa voidaan käyttää tarpeen mukaan normaalia 2D-näyttöä, aktiivisella suljintekniikalla toimivaa 3D-näyttöä tai autostereoskooppista 3D-näyttöä.



5.2 Testijärjestelmän teleoperointiasema: Vasemmalla 2D-näyttö, keskellä Autostereoskooppinen näyttö, ja oikealla suljintekniikalla toteutettu 3D-näyttö

5.3.1. Käyttöliittymä

Testijärjestelmän käyttöliittymää kehitettiin testien aikana. Käyttöliittymän ulkonäölliisiin tai toiminnallisiin seikkoihin ei tässä vaiheessa kiinnitetty erityistä huomiota. Testien aikana pyrittiin selvittämään millaisia asioita operaattorille kannattaa teleoperointijärjestelmässä esittää.

Testien alussa keskityttiin vertailemaan 2D- ja 3D-tilojen eroja. Operaattorilla oli aluksi käytössä ainoastaan yksi 3D-näyttö, missä esitettiin hallikameran kuvaa joko 2D- tai 3D-tilassa.

Toisessa käyttöliittymäversiossa järjestelmään lisättiin vaunukamerat. Operaattori pystyi valitsemaan tarpeensa mukaan näytetäänkö 3D-näytöllä hallikameran vai vaunukameran kuvaa. Viereistä 2D-näyttöä käytettiin ohjelman hallintaan, mutta siinä ei samanaikaisesti voitu näyttää molempien kameraparien kuvia.

Kolmannessa käyttöliittymäversiossa operaattorille esitetään hallikameroiden stereokuva 3D-näytöltä, sekä samanaikaisesti viereisellä 2D-näytöllä vaunukameran kuvaa 2D-tilassa. Lisäksi 2D-näytöllä esitetään nosturin WebKey-huoltokäyttöliittymä, josta käyttäjä voi lukea esimerkiksi nosturin koordinaatit. 2D-näytöllä esitettävä vaunukameran kuva skaalattiin tarkoituksella melko pieneksi, jotta operaattorit käyttäisivät kattavampaa hallikameran kuvaa pääasiallisena ajokamerana.

6. TESTAUS

Rakennettua teleoperointijärjestelmää testattiin pääasiallisesti tilanteissa joissa järjestelmää esiteltiin Konecranesin työntekijöille. Testiryhmät koostuvat hyvin eritasoisista nosturikuljettajista. Testikäyttäjät eivät pääasiallisesti käytä nosturia työssään aktiivisesti, mutta osa testihenkilöistä on melko kokeneita nosturin käyttäjiä. Osa testihenkilöistä ei ole käyttänyt nosturia aiemmin ollenkaan. Testihenkilöiden kokemuspohjan monipuolisuutta voidaan pitää hyvänä asiana, koska tällöin voidaan havaita, miten eritasoiset testihenkilöt oppivat ohjaamaan nosturia teleoperoinnin avulla.

Osassa testeistä mitattiin suorituksen nopeutta ja ohjausliikkeitä. Tärkeä osa testituloksissa oli myös testihenkilöiden suora palaute, sekä yleinen käyttäytyminen teleoperointia suorittaessa.

6.1. 3D vs. 2D

3D-teleoperoinnin käyttö lisää järjestelmän monimutkaisuutta ja hintaa melko paljon. Tämän vuoksi 3D:n käytöllä tulisi saavuttaa todellisia hyötyjä teleoperointisovelluksessa. Testeillä pyrittiin selvittämään missä asioissa stereokameroiden käytöllä saavutetaan merkittävää hyötyä.

6.1.1. 1. testikerta

Testeissä nosturin työskentelyalueelle oli esteistä tehty rata, joka testihenkilöiden piti suorittaa mahdollisimman nopeasti ilman osumia esteisiin. Esteistä ei erikseen sakotettu, mutta testihenkilöt välttelivät esteisiin osumista keskinäisen kilpailumisen vuoksi. Testi suoritettiin käyttäen pelkkiä hallikameroita. Operointinäyttönä käytettiin suljintekniikalla toimivaa 3D-näyttöä.

Puolet testihenkilöistä suoritti radan ensin 2D-tilassa ja puolet ensin 3D-tilassa. Tällä järjestelyllä haluttiin minimoida radan oppimisen vaikutus ajosuorituksen nopeuteen. Testien suoritusajat paljastettiin testihenkilöille vasta kaikkien suoritusten jälkeen, jotta tieto ei vaikuttaisi testihenkilöiden kommentteihin.

Taulukko 1. 1. testikerran radan suoritusajat

Henkilö	Aloitus ajotapa	Aika [m:ss]		Erotus [s]
		2D	3D	
Testihenkilö 1	2D	1:50	1:40	10
Testihenkilö 2	3D	1:25	1:25	0
Testihenkilö 3	2D	1:45	1:10	35
Testihenkilö 4	3D	2:00	1:20	40
Testihenkilö 5	2D	1:35	1:40	10
Testihenkilö 6	3D	1:45	1:40	5
Testihenkilö 7	2D	2:20	2:00	20
Keskiarvo	2D ensin	112,5	97,5	15
	3D ensin	103,3	88,3	15
	Kaikki	108,6	93,6	15

Tuloksista voidaan havaita, että 3D-tilan käyttäminen nopeutti ajosuritus keskimäärin 15 s, joka tarkoittaa lähes 14 % parannus suoritusajassa. Testihenkilöt myös kommentoivat tunteneensa ajamisen helpommaksi ja varmemmaksi 3D-tilaa käyttäessä. He myös arvioivat suoriutuneensa radasta paremmin 3D-tilassa.

Osa testihenkilöistä piti suljinlasien käyttöä epämukavana. Vastaavasti osa ei pitänyt lasien käyttöä ongelmallisena ainakaan lyhytaikaisessa käytössä. Testihenkilöiden omien silmälasien käyttö ei merkittävästi vaikuttanut testihenkilöiden mielipiteeseen lasien käyttömukavuudesta. Yksi testihenkilö kertoi myös, ettei nähnyt mitään eroa 2D- ja 3D-tilojen välillä.

6.1.2. 2. testikerta

Teleoperointijärjestelmää esiteltiin Konecranesin henkilöstölle. Osana demoa osallistujat pääsivät kokeilemaan teleoperointia testiradalla. Nosturin ohjaukset tallennettiin ajosuoritusten aikana. Myös ajosuorituksen kesto laskettiin tallennetuista ohjauksista. Teknisistä ongelmista johtuen ohjauksien tallennus onnistui vain kahdella ryhmällä. Ryhmät on myös eroteltu, koska ryhmien välillä rataa jouduttiin muokkaamaan ajan säästämiseksi.

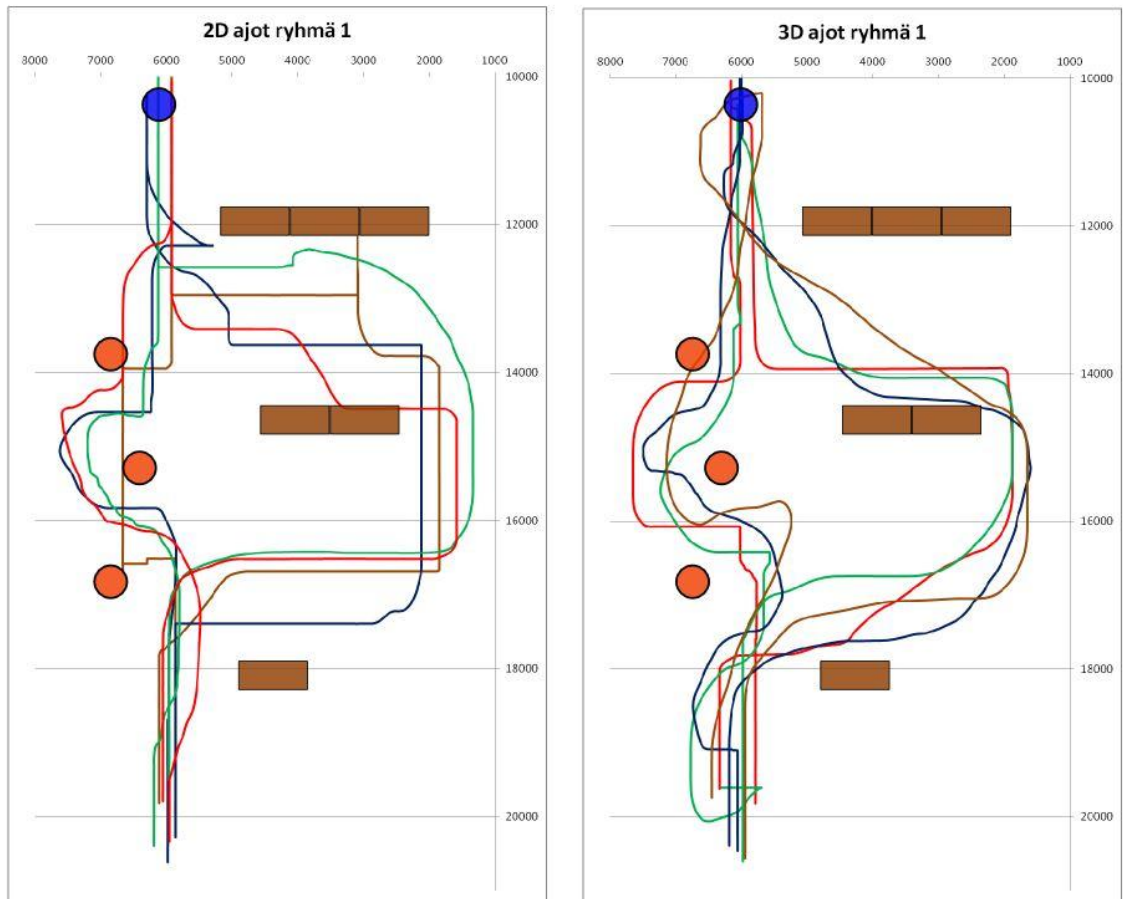
Taulukko 2. 2. testikerran radan suoritusajat.

Henkilö	Aika [m:ss}		Erotus [s]
	2D	3D	
Ryhmä 1			
Testihenkilö 1	3:41	2:58	43
Testihenkilö 2	2:57	1:52	65
Testihenkilö 3	3:13	2:55	18
Testihenkilö 4	2:18	2:09	9
Keskiarvo	3:02	2:28	34
Ryhmä 2			
Testihenkilö 1	1:32	0:58	34
Testihenkilö 2	1:22	1:04	18
Testihenkilö 3	1:40	1:26	14
Testihenkilö 4	1:32	1:34	- 2
Testihenkilö 5	1:17	1:06	11
Testihenkilö 6	0:59	0:59	0
Testihenkilö 7	1:31	1:14	17
Keskiarvo	1:25	1:12	13

Testikerran tulokset ovat hyvin vastaavia 1. testikerran tuloksiin verrattaessa. Lähes kaikilla testihenkilöillä suoritus aika parani 3D-tilaa käytettäessä. Ryhmällä 1 tulos parani keskimäärin lähes 19 % ja ryhmällä 2 parannusta syntyi hieman yli 15 %.

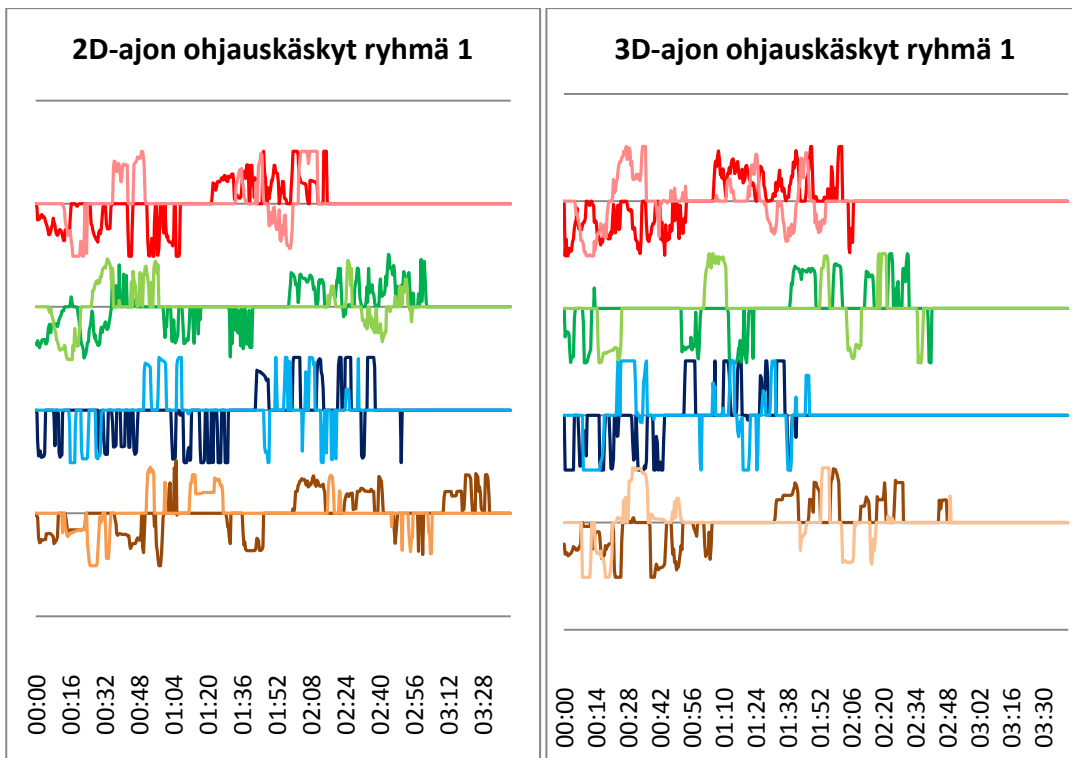
Testihenkilöiden yleisimmät kommentit olivat myös samansuuntaisia kuin ensimmäisellä ryhmällä. Useimmat pitivät 3D-tilaa luonnollisemman tuntuksena ja sanoivat stereokuvan auttavan hahmottamaan työskentelyalueen paremmin.

Muutamit testihenkilöt, jotka suorittivat radan ensin 3D-tilassa, sanoivat että he pyrkivät 2D-tilaan siirtyessään aktiivisesti etsimään muita keinoja kourun syvyysuuntaisen sijainnin selvittämiseksi. Näistä useat kertoivat käyttäneensä lattialle muodostunutta varjoa hyväkseen arvioidessaan kourun syvyysuuntaista sijaintia.



Kuva 6.1 Ryhmä 1. ajoreitit 2D- ja 3D-tilassa. Kuvassa ruskeat laatikot kuvaavat esteinä olleita kaappeja, oranssit ympyrät pujoteltavia keiloja ja sininen ympyrä koukulla kosketettavaa maalipistettä.

3D-tilan nopeammat ajosuoritteet selittyvät osittain kun tarkastellaan esimerkiksi ensimmäisen testiryhmän ajoreittejä. 2D-tilassa reitit ovat melko kulmikkaita, koska nosturia ajetaan vuorotellen sillan ja vaunun liikesuunnassa. Vastaavasti 3D-tilassa ajoreitit ovat jouhevampia, koska sillan ja vaunun liikkeitä suoritetaan enemmän samanaikaisesti.



Kuva 6.2 Ryhmä 1. Neljän testihenkilön ajojen ohjaukäsäkyt 2D- ja 3D-tilassa. Kuvissa yksittäisen testihenkilön molemmat ajot on esitetty vierekkäisinä samalla värillä. Tummemmat sävyt kuvaavat sillan liikesuunnan ohjaukäsäkyjä ja vaaleammat värit vaunun liikesuunnan ohjaukäsäkyjä

Ryhmän 1 nosturin ohjaukäsäkyjä tarkastellessa voidaan myös havaita, että 3D-tilassa nosturille annetaan useammin sillan ja vaunun ohjaukäsäkyjä samanaikaisesti. Lisäksi 3D-tilassa suoritus pystytään useimmiten suorittamaan pienemmällä määrällä ohjauksauvan liikkeitä. Myös sivusta seurattaessa oli havaittavissa, että 2D-tilassa testihenkilöt antoivat nosturin pysähtyä useammin.

6.2. Käyttöliittymä

Testeissä kokeiltiin kolmea erilaista ratkaisua käyttöliittymän osalta. Testien alussa vertailtiin ensisijaisesti 2D- ja 3D-tilojen eroja ja käyttöliittymä pidettiin mahdollisimman yksinkertaisena. Toisessa vaiheessa operaattorille tuotiin mahdollisuus valita eri kamerakulmien välillä ja kolmannessa vaiheessa eri kamerakulmia esitettiin käyttäjille samanaikaisesti.

6.2.1. Hallikamerat 3D-näytöllä



6.1 Käyttöliittymän 1. versiossa operaattorille esitettiin ainoastaan hallikameroiden 3D-kuvaa

Pelkän videokuvan esittäminen yhdellä näytöllä on yksinkertaisin versio teleoperoinnin käyttöliittymästä. Käytettäessä hyvin hallin kattavia hallikameroita, testihenkilöt tottuivat teleoperoinnin käyttöön melko erittäin nopeasti. Etenkin 3D-tilassa hallikameroiden näkymä mahdollistaa hyvin nosturin ajamisen suurimmalla osalla toiminta-alueesta. Esteiden taakse ajettaessa testihenkilöt muuttuivat selkeästi epävarmemmiksi ja varovaisemmiksi. Myös kaukana kameroista sijaitsevat tarkkuutta vaativat toimenpiteet osoittautuivat melko hankaliksi, koska suurilla eteläisyyksillä kohteiden koko kuvassa pienee merkittävästi.

6.2.2. Vaihdeettava kamerapari 3D-näytöllä



6.2 Käyttöliittymän 2. versiossa operaattori sai vaihdella käytettävien kamerakuvien välillä

Toisessa vaiheessa testihenkilöille tarjottiin mahdollisuus vaihtaa käytettävää kameraa ajotilanteen mukaan. Kuitenkin vain harvat testihenkilöt hyödynsivät kameroiden vaihtomahdollisuutta. Useimmat kokeilivat eri kamerakulmia hetken, jonka jälkeen he päätyivät käyttämään vain toista kamerakulmaa.

Osa testihenkilöistä päätyi ajamaan pelkillä vaunukameroilla, koska niiden kuvakulma mahdollisti aina esteettömän näkyvyyden alueelle, missä nosturi sillä hetkellä toimi. Vaunukameran kuvakulma on kuitenkin melko rajoittunut ja nosturin ajaminen suuremmilla nopeuksilla on melko hankalaa.

Suurin osa testihenkilöistä päätyi käyttämään pääasiallisesti hallikameroita, koska ne tarjoavat paremman yleiskuvan toiminta-alueesta. Testihenkilöiden mielestä hallikameroiden kuvasta saa paremman käsityksen kaikista nosturin ympärillä sijaitsevista objekteista. Vaunukameroiden kuvassa uuden objektit ilmestyivät monen mielestä kivaan liian nopeasti, jolloin ajoreitin suunnittelu oli vaikeampaa. Lisäksi vaunukameran 3D-kuvassa monet testihenkilöt pitivät kameroiden lähelle tulevia nostoköyksiä häiritseväinä.

Vain muutamat käyttäjät vaihtelivat aktiivisesti käytettävää kameraa tarpeen mukaan. Testihenkilöt pitivät kamerakulmien vaihtelua liian työläänä suhteessa sen tuomiin hyötyihin.

6.2.3. 3D-näyttö + lisänäkymät 2D-näytöllä



6.3 Käyttöliittymän 3. versiossa operaattorille esitettiin 3D-näytöllä hallikameroiden kuvaa ja lisäksi 2D-näytöllä vaunukameroiden kuvaa, sekä nosturin tietoja WebKeyn avulla

Kolmannessa vaiheessa käyttöliittymässä siirryttiin käyttämään 3D-näytön rinnalla 2D-näyttöä. Tällöin testihenkilöille voitiin esittää samanaikaisesti sekä hallikameran 3D-kuva, 2D-kuvaa vaunukameroista sekä nosturin webkey-huoltokäyttöliittymä.

Aluksi useimmat testihenkilöt keskittyivät katsomaan pelkkää 3D-näyttöä. Kuitenkin kun nosturin koukku asettui ensimmäisen kerran esteen taakse, alkoivat lähes kaikki testihenkilöt hyödyntää myös 2D-näytöllä esitettävää vaunukameran kuvaa. Tästä tilanteesta eteenpäin testihenkilöt vilkuilivat vaunukameroiden kuvaa melko aktiivisesti myös tilanteissa, jossa hallikamerat tarjosivat esteettömän näkyvyyden nosturin koukkuun.

Lähes kaikki testihenkilöt kommentoivat vaihtoehtoisen kuvakulman auttavan toimintaympäristön kolmiulotteisessa hahmottamisessa. Kaikki testihenkilöt myös käyttivät hallikameroita pääasiallisena ajonäkymänä. Pienemmäksi skaalattua vaunukame-

ran kuvaa testihenkilöt käyttivät vain vertailukohtana ja lisäinformaationa hallikameroiden kuvan rinnalla.

Muutamit testihenkilöt hyödynsivät myös webkeyn näyttämää numeerista nosturin paikkatietoa. Nämä testihenkilöt hyödynsivät nosturin paikkatietoa arvioimalla halli- ja vaunukameroiden kuvien perusteella etäisyyden lopulliseen kohteeseen ja ajamalla paikkatiedon perusteella arvioidun matkan.

6.3. Näytöt

Pääasiallisesti testit suoritettiin käyttäen vain yhtä 3D-näyttöä, koska käytetty tietokone kykeni syöttämään 3D-kuvaa vain yhteen näyttöön kerrallaan. Viimeisissä testeissä autostereoskooppista ja suljintekniikalla toimivaa näyttöä testattiin rinnakkain käyttämällä erillisiä tietokoneita. Näyttöjen keskinäistä vertaamista kuitenkin vaikeuttaa huomattavasti näyttöjen erilaiset vaatimukset säädöille. Molemmat näytöt pitää erikseen säätää katsojan, kameroiden ja käyttökohteen mukaan.

Testihenkilöiden yleisin kommentti oli, että suljinlasien kanssa syvyysvaikutelma oli voimakkaampi, kuin autostereoskooppisella näytöllä. Tämä selittyy osittain sillä, että autostereoskooppisella näytöllä liian voimakkaaksi kasvatettu syvyysvaikutelma hajoaa helpommin kuin suljinlaseilla. Suljinlasit saivat kuitenkin melko paljon myös negatiivista palautetta, lasien välkkymisestä ja epämiellyttävästä istuvuudesta.

Useimmat testihenkilöt pitivät autostereoskooppisen näytön käyttömukavuutta parempana, mutta stereokuvan voimakkuutta olisi moni kaivannut lisää. Yleensä pidempään katsellessa testihenkilöt alkoivat nähdä syvyysvaikutelman vähitellen myös autostereoskooppisella näytöllä, mutta se vaati lyhyen tottumisen.

Osalle testiryhmistä 3D-näyttöjen syvyysvaikutelma säädettiin melko korostetuksi ja osalle melko neutraaliksi. Neutraaliksi säädetystä näytöstä moni testihenkilö ei mielestään havainnut 3D-efektiä ollenkaan, vaikka ajosuorituksista voitiin havaita myös näillä henkilöillä 3D-tilan positiivinen vaikutus. Vastaavasti hyvin korostetuksi säädetyn syvyysvaikutelman testihenkilöt havaitsivat ja uskoivat sen vaikuttavan positiivisesti. Kuitenkaan vaikutus ajosuorituksiin ei merkittävästi eronnut melko neutraaliksi säädetyn syvyysvaikutelman vaikutuksesta ajosuorituksiin. Osa testihenkilöistä kertoi myös korostetun syvyysvaikutelman tuntuvan epämiellyttävältä, etenkin jos kourun ajoi kameroiden lähelle.

7. TULOKSET

7.1. Teleoperoinnin soveltuvuus siltanostureihin

Pääasiallisesti testihenkilöt mielsivät teleoperoinnin hyvin luonnolliseksi tavaksi ohjata siltanosturia. Nosturin ajamisen teleoperoinnilla ei merkittävästi eroa paikallisohjauksesta ja sen vuoksi teleoperointi on melko helposti opittavissa.

Merkittävin rajoittava tekijä teleoperoinnin käytöllä siltanosturisovelluksissa on tartuntaelimen tarve. Suurin osa siltanostureista on varustettu nostokoukulla, joka tarvitsee kiinnittää manuaalisesti nostettavaan kappaleeseen. Lisäksi monissa siltanosturin sovelluskohteissa ihminen joutuu muutenkin toimimaan nosturin toiminta-alueella, jolloin pelkän nosturikuskin siirtäminen pois työskentelyalueelta ei ole tarpeellista.

Kuitenkin nykyisin löytyy paljon sovelluksia, joissa tartuntaelimellä varustettua siltanosturia käytetään ihmiselle epäsuotuisissa olosuhteissa. Näissä sovelluskohteissa teleoperoinnilla voidaan merkittävästi parantaa työntekijöiden mukavuutta ja turvallisuutta. Lisäksi etenkin yksinkertaista teleoperointijärjestelmää käytettäessä voidaan jopa säästää kustannuksissa, kun verrataan teleoperoitua nosturia kiinteällä ohjaamolla varustettuun nosturiin.

Teleoperoinnin käyttö myös mahdollistaa nostureiden automaation tason nostamisen. Monissa sovelluksissa nosturit pystyisivät toimimaan suurimman osan ajasta täysin automaattisesti, mutta käyttöliittymä tarvitaan poikkeustilanteiden varalle. Paikalliskäyttöliittymän käyttö poikkeustilanteiden hoitamiseen vaatisi operaattorin jatkuvaa paikallaoloa nosturissa, tai siirtymistä nosturiin poikkeustilanteissa.

7.2. 2D- vs. 3D-teleoperointi

Työskentelyalueen kolmiulotteinen hahmottaminen helpottaa siltanosturin teleoperointia merkittävästi. Stereokameroiden ja 3D-näytön käyttäminen on melko helppo tapa tuoda syvyysvaikutelmaa teleoperointiin. Monissa sovelluksissa syvyysvaikutelmaa ja työskentelyalueen kolmiulotteista hahmottamista voidaan parantaa myös muilla menetelmillä.

Stereokuvan tuottaminen on periaatteessa melko yksinkertaista ja se voidaan toteuttaa kohtuullisen kustannustehokkaasti. Laadukkaan ja tarkoituksenmukaisen stereokuvan kuvaaminen ja esittäminen vaatii kuitenkin monien tekijöiden huomioimista. Väärin säädetyt stereokamerat hajottavat stereokuvan herkästi ja stereokuvan katsomisesta tulee operaattorille epämiellyttävä. Stereokameran säätöjä hakiessa pitää huomioida 3D-tekniikan lisäksi myös toimintaympäristö. Säädöt tulee tehdä aina ensisijaisesti nosturin pääasialliseen toiminta-alueeseen. Tarvittaessa stereokuvaamisen suunnitte-

lusäänöistä voidaan joustaa harvakseltaan käytetyillä alueilla, jos sillä voidaan parantaa pääasiallisen toiminta-alueen stereokuvan toimivuutta. Stereokameran säädöistä tärkeimpiä ovat interokulaarinen etäisyys sekä kameroiden oikea suuntaus. Teleoperointitapauksessa interokulaarista etäisyyttä kasvattamalla voidaan voimistaa stereokuvan syvyysvaikutelmaa. Stereokuva tulee kuitenkin pyrkiä pitämään melko neutraalina, jotta teleoperointijärjestelmän pitkäaikainen käyttö ei aiheuta operaattorille ongelmia. Interokulaarisen etäisyyden jälkeen seuraavaksi tärkein stereokuvan säätö on kameroiden suuntaus. Väärin suunnatut kamerat aiheuttavat jatkuvaa räsitusta operaattorin silmille.

Stereokameroiden tai muiden syvyyskameroiden käyttö ei kuitenkaan ole ainoa keino auttaa operaattoria hahmottamaan teleoperoitava toimintaympäristö kolmiulotteisena. Vahvoja monokulaarisia syvyysvihjeitä korostamalla voidaan useissa sovelluksissa tuottaa erittäin voimakas syvyysvaikutelma ilman binokulaaristen syvyysvihjeiden käyttöä. Monokulaarisia syvyysvihjeitä voidaan vahvistaa esimerkiksi lisäämällä toimintaympäristöön säännöllisiä geometrisia muotoja.

Kolmiulotteisen tilan hahmottamista voidaan auttaa myös esittämällä työskentelyalue samanaikaisesti eri kuvakulmista. Vaihtoehtoisten kamerakulmien käyttö voi olla hyvin yksinkertainen ja kustannustehokas tapa auttaa operaattoria hahmottamaan työskentelyalue kolmiulotteisesti. Lisänäkymiä voidaan hyödyntää teleoperoinnin lisäksi myös esimerkiksi kiinteää ohjaamoä käytettäessä. Lisänäkymien kannalta suositeltavaa on, että operaattorin ei tarvitse jatkuvasti vaihtaa eri kuvakulmien välillä. Operaattori pystyy paremmin hyödyntämään useita kamerakulmia, jos ne kytetään näyttämään samanaikaisesti. Käyttöliittymää suunniteltaessa voidaan tietyt kamerakulmat asettaa päänäkyviksi videoikkunoiden kokoa muuttamalla. Vastaavasti lisänäkymät voidaan asettaa pienemmiksi. Näin operaattori voidaan luonnollisesti ohjata tarkkailemaan teleoperointiympäristöä suunnittelijan haluamalla tavalla. Järjestelyä vois verrata auton taustapeileihin. Taustapeilit tarjoavat kuljettajalle esimerkiksi kaistavaihtotilanteessa tärkeää informaatiota. Jatkuvasti esillä oleva taustapeili mahdollistaa lisäinformaation helpon käytettävyyden, mutta peilien pieni koko varmistaa sen, ettei kuljettaja ohjaa liian suurta osaa huomiosta toissijaiseen informaatioon.

Myös stereokameroita käytettäessä on syytä kiinnittää huomiota monokulaarisiin syvyysvihjeisiin. Pahimmillaan väärin tulkittu monokulaarinen syvyysvihje saattaa hajottaa koko stereokuvan ja johtaa operaattorin virhearvioihin. Stereokuvan tuomat binokulaariset syvyysvihjeet eivät missään nimessä korvaa monokulaarisia syvyysvihjeitä. Hyvin suunnitellussa järjestelmässä monokulaariset ja binokulaariset syvyysvihjeet tukevat toisiaan.

Hyvin luodulla syvyysvaikutelmalla voidaan merkittävästi parantaa teleoperointilaitteiston käyttömukavuutta, tuottavuutta ja jopa nosturin kestoikää. Hyvä toiminta-alueen kolmiulotteinen hahmottaminen lisää operaattorien varmuutta, joka näkyy pienempänä kiihdytysten ja jarrutusten määränä suhteessa nosturin liikkumaan matkaan. Tasaisempi ajotapa johtaa nosturin tehokkaampaan käyttöön, sekä aiheuttaa vähemmän räsitusta nosturin kuluville komponenteille.

7.3. Suljinlasit vs. autostereoskopia

Teleoperointiin parhaiten sopivaa 3D-näyttötekniikkaa valitessa tulee myös huomioida juuri kyseinen sovelluskohde. Jokaisella näyttötekniikalla on omat hyvät ja huonot puolensa. Yksikään tällähetkellä markkinoilla olevista tekniikoista ei ole ylivertainen muihin verrattuna, vaan valinta tulee tehdä sovelluskohteen erikoisvaatimukset huomioiden.

Suljinlasien suurimmaksi eduksi voidaan laskea halpa hinta. Suljinlaseja käytettäessä näytöltä vaaditaan ainoastaan riittävän korkea kuvan päivitysnopeus. Tästä syystä suljinlaseille tarkoitettu 3D-näyttö toimii täydellisesti myös 2D-tilassa. Suljinlasien merkittävimmät ongelmat liittyvät itse suljinlaseihin. Ylimääräisten lasien käyttäminen saattaa monille ihmisille olla epämiellyttävää suljinlasien ergonomian kehittymisestä huolimatta. Ergonomiaa merkittävämpi ongelma suljinlaseissa on vilkkuminen ja häiriöt. Vaikka suljinlasien virkistystaajuutta on uusissa laseissa nostettu, saattaa osa katsojista silti havaita kuvassa vilkkumista tai värinää. Lisäksi lasien tahdistus on erittäin herkkä ulkopuolisille häiriöille. Käytännössä yleisintä infrapunaan perustuvaa tahdistussignaalia ei voida käyttää, jos samassa huoneessa on useampi eri tahdissa oleva 3D-näyttö. Myös esimerkiksi loisteputkivalot aiheuttavat erittäin ärsyttävää lasien vilkkumista.

Autostereoskooppisen näytön suurimmaksi eduksi voidaan laskea lasien tai muiden erillisten laitteiden puuttuminen. Lasien puuttumisen vuoksi näyttö vaatii huolellisen 3D-kuvan säätämisen, jotta kuva näkyy katselupaikalle oikein. Hyvin säädetty autostereoskooppinen näyttö rasittaa silmiä erittäin vähän ja se on jopa miellyttävämpi katsoa, kuin normaali 2D-näyttö. Autostereoskooppisen näytön käyttöä rajoittaa vaakasuuntaisen efektiivisen resoluution puolittuminen, sekä kyvyttömyys esittää 2D-kuvaa. 2D-kuvan näyttämien johtaa sumeaan kuvaan, koska katsoja ei näe lentikulaarikalvon vuoksi pikseleitä oikein.

Teleoperointijärjestelmän kannalta autostereoskooppinen näyttö soveltuu erinomaisesti pääasialliseksi ajonäytöksi. Sen rinnalla on kuitenkin syytä käyttää normaalia 2D-näyttöä, mikäli operaattorille halutaan esittää muutakin kuin 3D-materiaalia. Jos taas halutaan selvittää yhdellä näytöllä ja 3D-tilaa käytetään vain satunnaisesti, on suljinlasit toimivampi valinta.

8. YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää teleoperoinnin soveltumista siltanosturien ohjaamiseen erityisesti 3D-teleoperoinnin osalta. Useat siltanosturisovellukset rajautuvat automaattisesti teleoperoinnin ulkopuolelle, koska niissä käytetään manuaalisesti kytkettäviä nostovälineitä. Siltanostureita varustetaan erilaisilla tartuntaelimillä, jolloin nosturin teleoperointi on mahdollista. Jos vielä nosturi toimii ihmisille vaarallisessa tai epämiellyttävässä ympäristössä, voidaan teleoperoinnilla saavuttaa merkittäviä etuja.

3D:n hyödyntämisellä teleoperoinnissa voidaan saavuttaa määrättyissä siltanosturisovelluksissa huomattavia parannuksia turvallisuudessa, käyttömukavuudessa sekä tuottavuudessa. Stereokameroiden tai syvyyskameran käyttö ei suoraan saa aikaan näitä parannuksia, vaan parannukset ovat seurausta operaattorin paremmasta työskentelyalueen kolmiulotteisesta hahmotuskyvystä. 3D-tekniikan käyttäminen ei ole ainoa keino operaattorin kolmiulotteisen hahmotuskyvyn parantamiseen. Olemassa olevia monokulaarisia syvyysviihkeitä korostamalla ja uusia syvyysviihkeitä lisäämällä voidaan vahva syvyysvaikutelma luoda myös 2D-tekniikoita käyttäen. Stereokuvaan tuomilla binokulaarisilla syvyysviihkeillä voidaan vahvistaa syvyysvaikutelmaa vielä entisestään. Tärkeintä on, että kaikki tarjolla olevat syvyysviihkeet huomioidaan ja hyödynnetään parhaalla mahdollisella tavalla.

Vaihtoehtona 3D-kameroiden käytölle voidaan käyttää useampaa tavallista 2D kameraa. Testien mukaan operaattorit pystyvät hyödyntämään useampia samanaikaisesti näytettäviä kuvakulmia erittäin tehokkaasti tilan kolmiulotteiseen hahmottamiseen. Huolellisesti toimintaympäristö huomioiden sijoitetuilla kameroilla voidaan operaattoreille tarjota erinomaiset työkalut nosturin teleoperointiin ilman stereokameroiden käyttöä. Paras tulos saavutetaan käyttämällä monokulaarisia syvyysviihkeitä, binokulaarisia syvyysviihkeitä, sekä vaihtoehtoisia kuvakulmia yhdessä. Sovelluskohteen vaatimustason ja rajoitteiden mukaan valitaan kyseiseen sovellukseen sopivimmat menetelmät.

3D-näyttötekniikoista mitä tahansa menetelmää voidaan soveltaa teleoperointiin. Autostereoskooppinen 3D-näyttö soveltuu teleoperointiin erittäin hyvin, jos samalla näyttölaitteella ei tarvitse esittää 2D-materiaalia. Autostereoskooppisen näytön kuva on muita tekniikoita luonnollisempi, koska silmien näkemää kuvaa ei jouduta suodattamaan kuten muissa tekniikoissa. Mitä tahansa 3D-tekniikkaa käytettäessä näytön ja 3D-kuvan säätämiseen tulee kiinnittää riittävästi huomiota.

Tulevaisuuden kannalta teleoperoinnin merkittävin hyöty on sen mahdollistama automaatiotason nosto. Monissa teollisuuden prosesseissa lähes kaikki tehtävät voidaan automatisoida, mutta kaikkien tehtävien automatisointi saattaa olla mahdotonta. Teleoperoinnin avulla voidaan tehokkaasti vaihtaa automaattijosta manuaaliohjaukseen.

LÄHTEET

3DUniversity.net. Your 3D Comfort & Health. [WWW]. Viitattu: [18.10.2013].
Saataavissa: http://www.seeing smarter.com/Vision_Problems_with_3D_Movies.html

American Paper Optics LLC. What is the difference between active shutter glasses and passive polarized 3D glasses?. [WWW]. Viitattu: [11.11.2013] Saataavissa:
<http://www.3dglasesonline.com/learn/faq/what-difference-between-active-shutter-glasses-and-passive-polarized-3d-glasses>

Angelo Joseph A. Jr. Robotics: A Reference Guide to the New Technology. 2006.
Greenwood. ISBN-13: 978-1573563376

Azuma Ronald. A Survey of Augmented Reality [Aikakaussjulkaisu] In Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 1997. - 8 : ss. 355-385

Berkel Cees van ja Clarke John A. Characterization and optimization of 3D-LCD module design [Konferenssijulkaisu] Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems IV. San Jose. 1997. s. 179. doi:10.1117/12.274456

Blomberg Mikael. Konttiterminaalinosurinin teleoperointijärjestelmä [Diplomityö]. Tampereen Teknillinen Yliopisto. 2009

Bourke Paul. Stereographics - Stereoscopic 3D technology, history, principles, and limitations [WWW]. University of Western Australia. 2010. Viitattu: [17. 10 2013]
Saataavissa: <http://paulbourke.net/papers/stereo2010/presentation.pdf>

Cain Fraser. Universe Today - Distance from Earth to Mars. [WWW]. Viitattu: [4.10.2013] Saataavissa: <http://www.universetoday.com/14824/distance-from-earth-to-mars>

Cambridge in Colour. Cameras vs. the human eye [WWW] Viitattu: [28.11.2013]
Saataavissa: <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/cameras-vs-human-eye.htm>

Dashwood Tim. A Beginner's Guide to shooting Stereoscopic 3D [WWW]. 2011. Viitattu: [23.8.2013] Saataavissa:
<http://www.dashwood3d.com/blog/beginners-guide-to-shooting-stereoscopic-3d>

Dodgson Neil. Autostereoscopic 3D Displays. [WWW] Viitattu: [11.11.2013].
Saataavissa:
http://classes.soe.ucsc.edu/cmeps290b/Fall05/readings/Dodgson_Computer2005_Autostereoscopic3D.pdf

- Dubois Eric.** ADCNJ's 3D Stereoscopic Gallery - The Science of Anaglyph 3D. [WWW]. Viitattu [11.11.2013] Saatavissa: <http://adcnj3d.wordpress.com/the-science-of-anaglyph-3d>
- Goldstein Bruce.** Sensation and Perception 9. painos. 2013. Cengage Learning. ISBN-13: 978-1133958499
- Hayes R. M.** 3-D Movies - A History and Filmography of Stereoscopic Cinema. 1989. McFarland Publishing ISBN-10: 0-7864-0578-3
- Jarvis Ray.** A stereo vision teleoperated robotic vehicle. [Konferenssijulkaisu]. Intelligent Information Systems. Brisbane. 1994 s. 145-149. doi: 10.1109/ANZIIS.1994.396932
- Karttunen Hannu.** Ilmaperspektiivi [WWW]. Viitattu: [8.10.2013]. Saatavissa: <http://www.astro.utu.fi/zubi/atphenom/persp.htm>.
- Konecranes** materiaalipankki. 2013
- Makovsky Andre, Ilott Peter ja Taylor Jim.** Mars Science Laboratory Telecommunications System Design [Lehtiartikkeli] DESCANSO Design and Performance Summary Series. s. 135. 11/2009. Pasadena
- Mendiburu Bernard** 3D Movie Making - Stereoscopic Digital Cinema. 2009. ISBN-10: 0-2408-1137-2
- Miller R.** Response time in man-computer conversational transactions [Konferenssijulkaisu]. AFIPS Fall Joint Computer Conference Vol. 33. 1968. s. 267-277
- Mulkerrins Jane.** Do 3D films make you sick? [Lehtiartikkeli] The Telegraph. 11.1. 2010. Viitattu: [18. 10 2013]. Saatavissa: <http://www.telegraph.co.uk/health/6952352/Do-3D-films-make-you-sick.html>
- Muona Tommi.** Kamerajärjestelmä satamanosturiin [Diplomityö]. Tampereen Teknillinen Yliopisto. 2006
- NASA (A).** Mars Science Laboratory Landing - Press Kit. NASA Jet Propulsion Laboratory. 16.7.2012. Viitattu: [25.9.2013] Saatavissa: http://www.jpl.nasa.gov/news/press_kits/MSLLanding.pdf
- NASA (B).** Rover Leaves Tracks in Morse Code - Mars Science Laboratory Mission news. 8/2012. [WWW] Viitattu: [10.1.2013]. Saatavissa: http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/news/msl20120829f.html

NASA (C). Fact Sheets - Mars Science Laboratory/Curiosity [WWW]. Viitattu: [25.9.2013]. Saatavissa: http://www.jpl.nasa.gov/news/fact_sheets/mars-science-laboratory.pdf

NASA Photojournal - Systems Malin Space Science. [WWW materiaalipankki] Viitattu: [15.10.2013] Saatavissa: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA16239>.

Nielsen Jakob [Online] // Response Times: The 3 Important Limits. - 1993. - 1. 11 2013. - <http://www.nngroup.com/articles/response-times-3-important-limits/>.

Nikola Tesla Museum. Picture of Tesla's radiocontrolled boat. 1898. [WWW materiaalipankki] Viitattu: [15.7.2013]. Saatavissa: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/Tesla_boat1.jpg

Nurminen Antti. Virtuaaliympäristöjen suunnittelu ja toteutus. 2004. [Luentokalvot]. Viitattu: [5.11.2013]. Saatavissa: <http://www.cs.hut.fi/~andy/T-126.101/2004>

Oksanen Timo. ASC-nosturien toiminnan seuranta sekä ROS-operaattorien haastattelut. 6/2013. Abu Dhabi Terminals - Yhdistyneet Arabiemierrat

Perlin Ken, Paxia Salvatore ja Kollin Joel. An Autostereoscopic Display. 2000.[WWW] Dept. of Computer Science - New York University. Viitattu: [11.10.2013] Saatavissa: <http://mrl.nyu.edu/~perlin/sig2000/autostereo.pdf>

Reeve Simon ja Flock Jason. Basic Principles of Stereoscopic 3D. 2010. [WWW] Viitattu [15. 8 2013] Saatavissa: http://www.sky.com/shop/export/sites/www.sky.com/shop/_PDF/3D/Basic_Principles_of_Stereoscopic_3D_v1.pdf

Ruokojärvi Jarkko: Enhanced user interface for teleoperation of underground mine loader [Diplomityö]. Tampereen Teknillinen Yliopisto. 2007.

Saarelma Osmo. Lääkärikirja Duodecim - Värisokeus ja poikkeava värinäkö. Viitattu. [13.9.2013] Saatavissa: http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_osio=100&p_artikkeli=dlk00347&p_teos=dlk&p_selaus=7728

Sandvik. Sandvik products - Mine automation system. 2013. Viitattu: [7.4.2013] Saatavissa: <http://mining.sandvik.com>

Sandvik. MediaBase. 2013. [WWW materiaalipankki] Viitattu: [15.10.2013]. Saatavissa: <http://mediabase.sandvik.com/>.

Saurama Samu. Sony HMZ-T2 -3D-videolasit testissä. [Artikkeli] AudioVideo.fi. Viitattu: [3.11.2013]. Saatavissa: <http://audiovideo.fi/testi/sony-hmz-t2-3d-videolasit-testissa>

SFS 4953 Nosturit. Ohjaamo. Metalliteollisuuden standardoimiskeskus. Vahvistettu: [24.10.1983]

SFS-EN 13557 +A2 Nosturit. Ohjauslaitteet ja ohjauspaikat. Suomen standardoimisliitto. Vahvistettu: [18.8.2008]

Sony. HMZ-T2 Henkilökohtainen 3D-katselulaite. [WWW] Viitattu: [8.11.2013]. Saatavissa: <http://www.sony.fi/product/head-mounted-display/hmz-t2#tab>

Tesla Nikola Method of and Apparatus for Controlling Mechanism of Moving Vessels or Vehicles [Patentti] : 613 809. - New York, USA, 8. 11 1898.

The national association for Amateur Radio: New Mars Rover to Feature Morse Code. 29.3.2011. [WWW artikkeli] Viitattu: [4.10.2013] Saatavissa: <http://www.arrl.org/news/new-mars-rover-to-feature-morse-code>

Vuorenpää Petri. Työkoneen geneerinen teleoperointikonsepti. [Diplomityö]. Tampereen teknillinen yliopisto. 2007

Welchman Andrew. 3D shape perception from combined depth cues in human visual cortex. [Lehtiartikkeli]. Nature Neuroscience. 5/2005. s. 820-827

Wiens Roger Red Rover: Inside the Story of Robotic Space Exploration, from Genesis to the Mars Rover Curiosity. 2013. Basic Books. ISBN-13: 978-0-465-05598-2.

Walker G. ja Sheppard J. Telepresence. 1999. Kluwer Academic Publishers. ISBN-13: 978-1461374145