

Pekka Toppila

VIDEOJÄRJESTELMÄN UUSINTA

VIDEOJÄRJESTELMÄN UUSINTA

Pekka Toppila
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, automaatiotekniikka

Tekijä: Pekka Toppila
Opinnäytetyön nimi: Videojärjestelmän uusinta
Työn ohjaajat: Aulis Ylikulju (ALTEN), Tero Hietanen (OAMK)
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020
Sivumäärä: 32 + 2 liitettä

Analoginen videovalvontatekniikka on yleisesti käytössä teollisuudessa. Suurin osa analogiatekniikan laitteita valmistavista yrityksistä on siirtynyt kehityksen mukana digitaalitekniikan laitteiden valmistukseen. Analogisen videojärjestelmän laitteiden valmistus on loppumassa ja sitä käytävillä voi olla edessä jopa koko videojärjestelmän uusiminen.

Opinnäytetyön tavoitteena on etsiä analogiselle videojärjestelmälle korvaava järjestelmä digitaalitekniikasta. Korvaavan videojärjestelmän tulisi olla helppokäyttöinen, toimintavarma ja mahdollisimman viiveetön.

Opinnäytetyön tuloksena on vertailu eri videokuvatekniikoista, jota voidaan hyödyntää eri videojärjestelmien uusimista aloitettaessa. Tuloksena saatiin myös suunniteltua toimiva digitaalinen videojärjestelmä. Suunnitelmaa voidaan käyttää pohjana jatkossa uusittavien videojärjestelmien suunnittelussa.

Asiasanat: valokuitu, videomatriisi, analogiatekniikka, digitaalitekniikka

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Automation Engineering

Author: Pekka Toppila
Title of thesis: Video System Upgrade
Supervisor(s): Aulis Ylikulju (ALTEN), Tero Hietanen (OAMK)
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020
Number of pages: 32 + 2 appendices

Analog video surveillance technology is widely used in industry. Most companies manufacturing analog technology equipment have moved to developing digital technology equipment. Analog video system equipment manufacturing is coming to an end and users may even have to upgrade the entire system.

The aim of the thesis is to find a replacement system for an analog video system. The replacement video system should be easy to use, reliable and as delayless as possible.

As a result of the thesis, different video techniques were compared. The results can be utilized in later renewals. Another outcome was also the design of a functioning digital video system. The design will be used as a basis for the design of future renewable video systems.

Keywords: Optical fiber, video matrix, analog technology, digital technology

SISÄLLYS

KÄSITELUETTELO	6
1 JOHDANTO	8
2 NYKYINEN VIDEOJÄRJESTELMÄ.....	9
2.1 Videomatriisi.....	10
2.2 Videokamerat.....	11
2.2.1 Kiinteät kamerat	12
2.2.2 Kääntyvät kamerat.....	13
2.3 Video-ohjaimet.....	14
2.4 Monitorit.....	15
3 UUDEN VIDEOJÄRJESTELMÄN VAIHTOEHDOT	16
3.1 IP-videojärjestelmä	16
3.2 NDI-tekniikka.....	18
3.3 SDI-tekniikka.....	18
4 TYÖN SUORITUS.....	20
4.1 Videokuvan siirto.....	21
4.2 Videomatriisi.....	22
4.2.1 Tulo- ja lähtökortit	23
4.2.2 Multiviewer ja monikuvat	24
4.3 Kamerat.....	25
4.3.1 Kiinteät kamerat.....	26
4.3.2 Kääntyvät kamerat.....	27
4.4 Monitorit.....	28
4.5 Video-ohjaimet.....	29
4.6 Tallennus.....	29
5 YHTEENVETO	31
LÄHTEET.....	32
LIITTEET	33

KÄSITELUETTELO

CCD-kenno on valoherkkä kenno, jota käytetään videokameroissa valon muuntamiseksi digitaaliksi signaaliksi. Kennon valonherkät diodit eivät näe värejä, vaan ne muodostavat kohteesta säteilyn voimakkuuden pohjalta harmaansävyisen kuvan. Värit syntyvät valoherkkien diodien päällä olevista värisuotimista.

BNC-liitin on kevytmetallista valmistettu pikaliitin, joka on tarkoitettu suurtaajuisten signaalien siirtoon käytettävien koaksiaalikaapelien nopeaan liittämiseen eri laitteisiin.

IP-videojärjestelmä on videojärjestelmä, jossa videokuva siirretään digitaalisena bittivirtana tietoliikenneverkossa. IP-videojärjestelmässä videon pakkaus koodekkeja on monia.

NDI-videojärjestelmä on videojärjestelmä, jossa videokuva siirretään digitaalisena bittivirtana tietoliikenneverkossa ja pakataan aina samalla NDI-koodekillä.

SDI-videojärjestelmä on videojärjestelmä, jossa jokainen videokuva siirretään digitaalisena bittivirtana omaa kaapelia pitkin.

HDMI on äänen ja kuvan siirtämiseen suunniteltu digitaalinen liitännästandardi. Siihen sisältyy liitin, kaapeli sekä määräykset, joiden mukaan dataa siirretään laitteiden välillä.

DVI on kuvan siirtämiseen suunniteltu digitaalinen liitännästandardi, jota käytetään pääasiassa tietokoneen ja näytön välillä.

Power over Ethernet (PoE) on tekniikka, jolla Ethernet-lähiverkkoon yhdistetylle laitteelle voidaan järjestää virransyöttö saman kaapelin avulla, jota laite käyttää verkkoliikenteeseen.

H.265 on videon pakkausstandardi.

4K on lyhenne luvulle 4000, joka viittaa vaakasuuntaisten pikseleiden eli kuvapisteen määrä. 4K kuvan resoluutio on 4096 x 2160.

Peltier on lämpösähköiseen ilmiöön perustuva laite, jossa sähkövirta siirtää lämpöä elementin osien välillä. Sähkövirranvaikutuksesta elementin toinen puoli jäähtyy ja toinen lämpenee.

1 JOHDANTO

Teollisuudessa videovalvonta yleistyy ja lisääntyy koko ajan. Videovalvonnalla saadaan lähes reaaliaikainen videokuva valvottavasta kohteesta haluttuun kohteeseen, esimerkiksi valvomoon. Sen avulla saadaan valvomot pois prosessin vaaraetäisyydeltä ja näin ollen myös työntekijöiden turvallisuus paranee. Videovalvonnan avulla prosessivalvomoita voidaan yhdistää ja valvojia vähentää.

Tietoliikenteessä kovasti yleistyvä valokuitu on vienyt myös videokuvan siirron uudelle tasolle. Valokuidun avulla voidaan videokuvaa siirtää viiveettömästi jopa kymmenien kilometrien matkan. Valokuitutekniikan etuna on myös sen häiriönsietokyky, joka korostuu tässäkin projektissa.

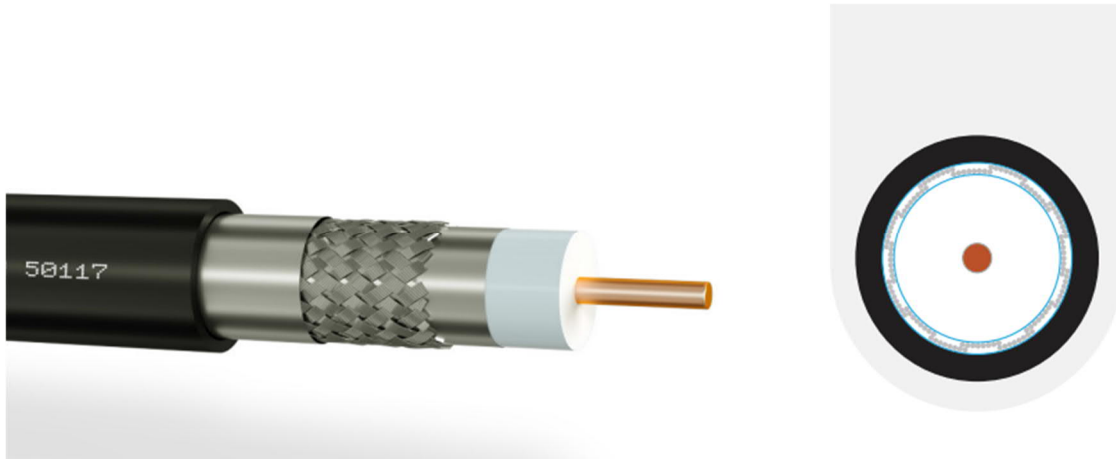
Projektissa tutustutaan erään terästehtaan yhden tuotantoalueen videojärjestelmään. Tarkasteltava videojärjestelmä on analoginen ja videokuvan siirto on pääosin toteutettu koaksiaalikaapeloinnilla. Tarkasteltavassa videojärjestelmässä käytettyjen komponenttien valmistus on loppumassa ja varaosien saatavuus heikkenee. Varaosien puutteen vuoksi koko videojärjestelmä on uusimisen tarpeessa lähiaikoina.

Projektissa vertaillaan vaihtoehtoja tuotantoalueen videojärjestelmän korvaamiseksi uudella videojärjestelmällä. Projektissa tarkastellaan videojärjestelmien haastavia olosuhteita tehdasalueella, sekä myös suunnitellaan nykyiselle analogiselle videojärjestelmälle korvaava järjestelmä digitaalitekniikalla. Digitaalitekniikan sovittaminen tehdasalueen olosuhteisiin tuo oman haasteen projektiin.

2 NYKYINEN VIDEOJÄRJESTELMÄ

Projektissa tutkittava videojärjestelmä on analoginen. Analoginen videojärjestelmä on yksinkertainen ja varmatoiminen. Sen tekniikka perustuu kamerassa olevaan valoherkkään CCD-kuvakennoon, joka muuntaa kameralle heijastuvan valon sähköiseksi signaaliksi. Parhaimmillaan analogisen videokuvan resoluutio eli kuvan tarkkuus on 720 X 576 pikseliä (1).

Projektissa tutkittavan videojärjestelmän kaapelointi on toteutettu pääosin koaksiaalikaapeloinnilla. Koaksiaalikaapelin molemmissa päissä on aina BNC-liittimet. Koaksiaalikaapelin rakenteessa keskellä on johdin, joka voi olla joko yksi- tai monisäikeistä kuparijohdinta. Johtimen ympärillä on eristekerros, jonka ympärillä on ulkojohdin ja se on yleensä punottu kupariverkko. Ulkojohtimen sisä- tai/ta ulkopuolella voi olla kuparifolio parantamassa häiriönsietokykyä. Ulkojohtimen ja mahdollisen häiriösuojan päällä on suojakuori. Koaksiaalikaapelin rakenne näkyy kuvassa 1.

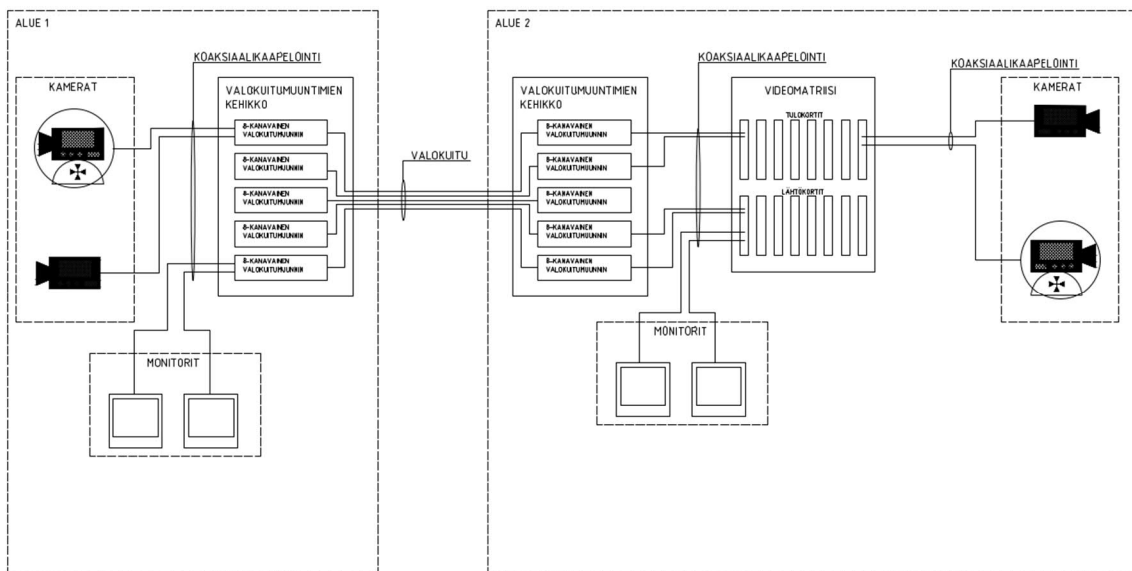


KUVA 1. Koaksiaalikaapelin rakenne (2).

Tarkasteltavaa videojärjestelmää on ajan saatossa laajennettu tarpeiden mukaan. Videojärjestelmässä on tarkasteluhetkellä 72 kameraa, 50 monitoria, 7 video-ohjainta ja videomatriisi. Kameran on sijoitettu tehdasalueelle kuvaamaan prosessin vaiheita, joita prosessin ylläpitäminen vaatii. Monitorit ja video-ohjaimet ovat prosessien ohjauspaikoilla ja kunnossapidon taukopaikalla. Videomatriisi sijaitsee pääohjaamon alapuolella jäähdytetyssä sähkötilassa.

Projektissa tarkasteltava videojärjestelmä on sijoitettu kahdelle samankaltaiselle prosessialueelle. Prosessit ovat keskenään samoja, mutta alueet eroavat hieman toisistaan. Alueet ovat sen verran

isoja ja kaukana toisistaan, että alueelta toiselle on videokuvat jouduttu siirtämään osan matkasta valokuidussa. Alueella 1 kameroiden videokuvat on kasattu koaksiaalikaapeleilla kenttäkoteloon, jossa ne viedään kahdeksankanavaisen valokuitulähttimen kautta valokuituun. Alueella 2 videokuvat muunnetaan valokuidusta vastaanottimella takaisin koaksiaalikaapeliin ja viedään videomatriisille. Alueen 1 monitoreille videokuvat viedään samalla tavoin valokuidun avulla. Videojärjestelmän periaate näkyy kuvassa 2.

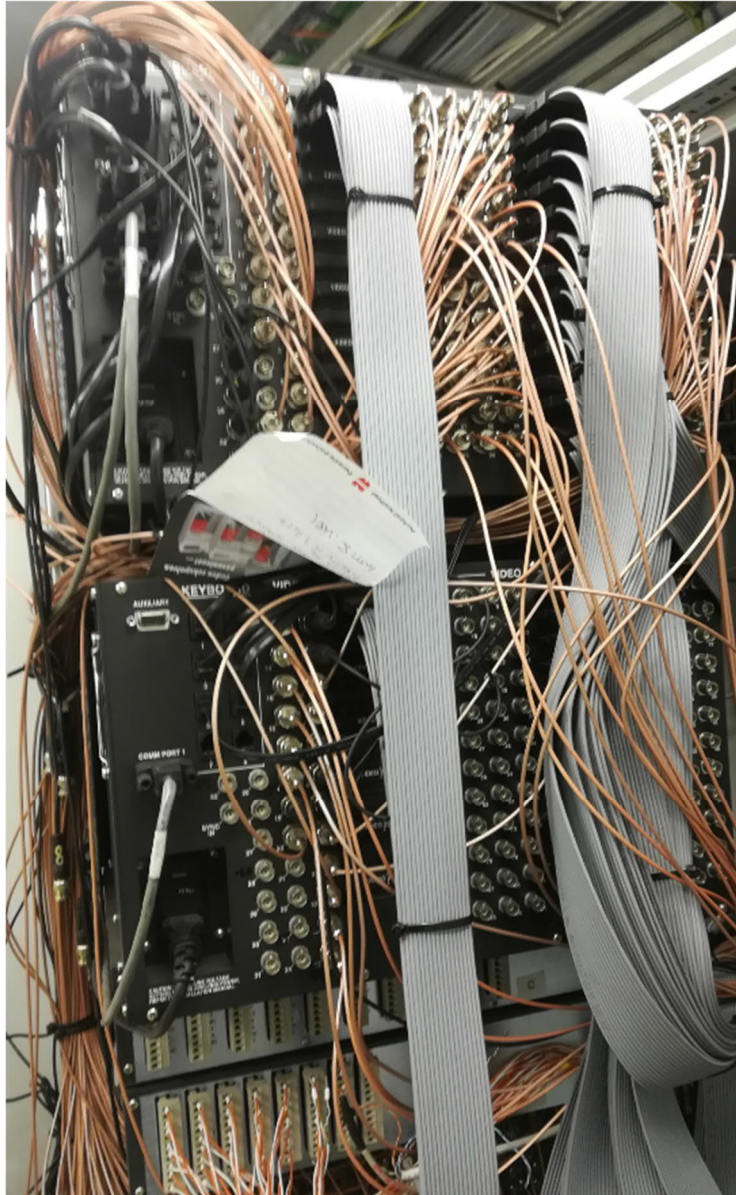


KUVA 2. Videojärjestelmän periaatekuva.

2.1 Videomatriisi

Videomatriisi on laite, johon liitetään kaikki videojärjestelmän osat kuten videokamerat, monitorit ja video-ohjaimet. Videomatriisin ansiosta ohjaimista voidaan vaihtaa ja valita mikä tahansa video-kuva mihin tahansa monitoriin. Videomatriisi myös mahdollistaa saman kuvan kytkemisen useaan monitoriin yhtä aikaa. Sen avulla voidaan myös vaihtaa automaattisesti videokuvia monitoriin esimerkiksi automaatiojärjestelmästä tulevan kosketintiedon avulla.

Nykyinen videomatriisi on Boschin Allegiant -sarjaa LTC 8801 -mallia. Videomatriisia on laajennettu lisäosalla LTC 8802. Laajennuksen jälkeen matriisissa on 256 kameratuloa ja 64 monitorilähtöä. Samaa videomatriisiin on liitetty muidenkin kuin uusittavien alueiden videokameroita, joten videomatriisi jää niiden alueiden käyttöön uusinnan jälkeenkin.



KUVA 3. Videomatriisi kytkettynä käyttöön.

2.2 Videokamerat

Videokameroita on lisätty ajan saatossa prosessin ja sen valvonnan vaatimiin paikkoihin. Videojärjestelmässä on tarkasteluhetkellä yhteensä 72 uusittavaa videokameraa. Kameroista osa on kiinteitä kameroita, jotka kuvaavat tiettyjä prosessin osia. Osa on kääntyviä kameroita, joilla seurataan laajempia alueita ja voidaan tarvittaessa kääntää ja zoomata kamera kuvaamaan tiettyä kohdetta, jota halutaan tarkemmin kuvata.

Osa kameroista on asennettu kamerakoteloihin, jotka suojaavat kameraa tehdasalueen haastavissa olosuhteissa. Ne myös auttavat kameroiden kiinnittämisessä asennusvaiheessa ja myöhemmin mahdollisissa huoltotoissa.

2.2.1 Kiinteät kamerat

Prosessialueella on paikkoja, joissa tulee runsaasti lämpösäteilyä. Näihin paikkoihin on asennettu konepajalla teetätetyt teräksiset kamerakotelot, joita jäähdytetään paineilmalla. Paineilma otetaan prosessialueen paineilmajärjestelmästä. Kamerakoteloon painetaan paineilmaa ja se purkautuu pienestä kameran kuvausaukosta. Paineilma jäähdyttää ja samalla estää kameran linssiä sotkeutumasta pölyyn, sulan raudan roiskeisiin ja muihin alueella oleviin epäpuhtauksiin.

Teräksisen kamerakotelon sisällä on pieni kiinteä kamera, jossa on erillinen objektiivi. Sen ansiosta kameralla voidaan kuvata reiästä, jonka halkaisija on noin 2 millimetriä. 12VDC sähkönsyöttö tuodaan kameralle kauempana ja viileämmässä olevasta syöttökotelosta. Siellä on 230VAC/12VDC virtalähde, jolla kameraa syötetään. Kameran sähkönsyötön johto on asennettu lämmönkestävään suojaputkeen koaksiaalikaapelin kanssa. Osa kamerakotelon paineilmasta johdetaan suojaputkea pitkin syöttökoteloon. Syöttökotelosta paine purkautuu paineentasausnipasta jäähdyttäen samalla virtalähdettä. Syöttökotelossa koaksiaalikaapeli jatketaan jatkoliittimellä, josta se vietään video-matriisille.



KUVA 4. Teräksestä valmistettu ja paineilmalla jäähdytetty kamerakotelo.

Loput kiinteät kamerat ovat Boschin LTC 0610 -mallia. Kamerat on asennettu Boschin UHO-HBGS-50 -sarjan kamerakoteloon, koska kamera pelkäästään ei kestäisi prosessialueen olosuhteita. Kamerassa on käsin säädettävä objektiivi, jonka säätö tapahtuu asennusvaiheessa. Kameralta on vedetty koaksiaalikaapeli suoraan laitekaappiin videomatriisille.

2.2.2 Kääntyvät kamerat

Kääntyviä kameroita käytetään yleensä yleisvalvonnassa tai usean sellaisen kohteen valvonnassa, jotka eivät vaadi kokoaikaista valvontaa. Kääntyviä kameroita videojärjestelmässä on kahta eri tyyppiä. Kaikki kamerat ovat Boschin valmistamia ja niiden ohjaus on toteutettu RS485-tekniikalla.

Ensimmäinen tyyppi on Boschin valmistama MIC 550. Siinä on 36x optinen zoom ja 12x digitaalinen zoom. Se on tiiveysluokaltaan IP68 ja kestäää muutenkin hyvin tehdasolosuhteita. Hyvä puoli MIC-kamerassa on sen laaja kuvausalue, vaikkakin kameran kiinnitys estää suoraan alaspäin kuvaamisen.



KUVA 5. Kääntyvä kamera Bosch MIC 550.

Toinen tyyppi on Bosch autodome 600. Siinä on myös 36x optinen zoom ja 12x digitaalinen zoom. Se on tiiveysluokaltaan IP66. Hyvä puoli siinä on edelliseen kameraan verrattuna, että sillä voidaan

kuvata suoraan alaspäin. Tätä kameraa käytetään yleensä prosesseissa, joita pitää valvoa yläpuolelta.

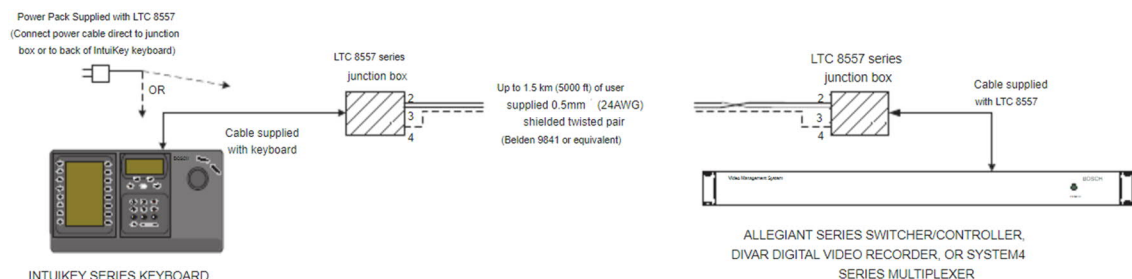


KUVA 6. Kääntyvä kamera Bosch autodome 600

2.3 Video-ohjaimet

Video-ohjaimet ovat Boschin valmistamia KBD-Universal Intukey -mallia. Video-ohjaimella voidaan valita monitori ja siihen valitaan halutun kameras videokuva. Video-ohjaimessa on sauvaohjain, johon on integroitu zoomaustoiminto. Kun kamera on valittu ja kamera on kääntyvä tai zoomattava, ohjaimesta voidaan kameraa kääntää tai zoomata.

Video-ohjaimessa on valmiina kolmen metrin kaapeli. Kaapeli ei riitä ohjaamoihin asti, joten video-ohjaimissa joudutaan käyttämään laajennussarjaa LTC8557. Laajennussarjan toinen haaroitusrasia kytketään kiinni video-ohjaimen kaapeliin ja toinen haaroitusrasia videomatriisiin. Haaroitusrasiat kytketään yhteen parikaapelilla, jonka maksimipituus on 1,5 kilometriä. Laajennussarjan kytkentäperiaate näkyy kuvassa 7.



KUVA 7. Video-ohjain ja laajennussarjan kytkentäperiaate (3).

2.4 Monitorit

Videojärjestelmässä on useita erikokoisia monitoreja. Yleensä isommissa monitoreissa on nelikuva eli neljä videokuvaa on yhdistetty samaan monitoriin. Nelikuvat tehdään Boschin LTC2380 nelikuvajakajalla. Osa nelikuvista on viety takaisin matriisiin, että ne voidaan valita useampaan monitoriin eri ohjauspaikoille. Pieniin monitoreihin valitaan videokuvat prosessin osista, jotka vaativat kokoai-kaista valvontaa.

Monitorit on sijoitettu pääosin ohjaamoihin. Kaikissa monitoreissa on analogialiitäntä BNC-liittimellä, joten videokuva voidaan tuoda koaksiaalikaapelilla suoraan videomatriisin lähtökortilta tai nelikuvajakalta.

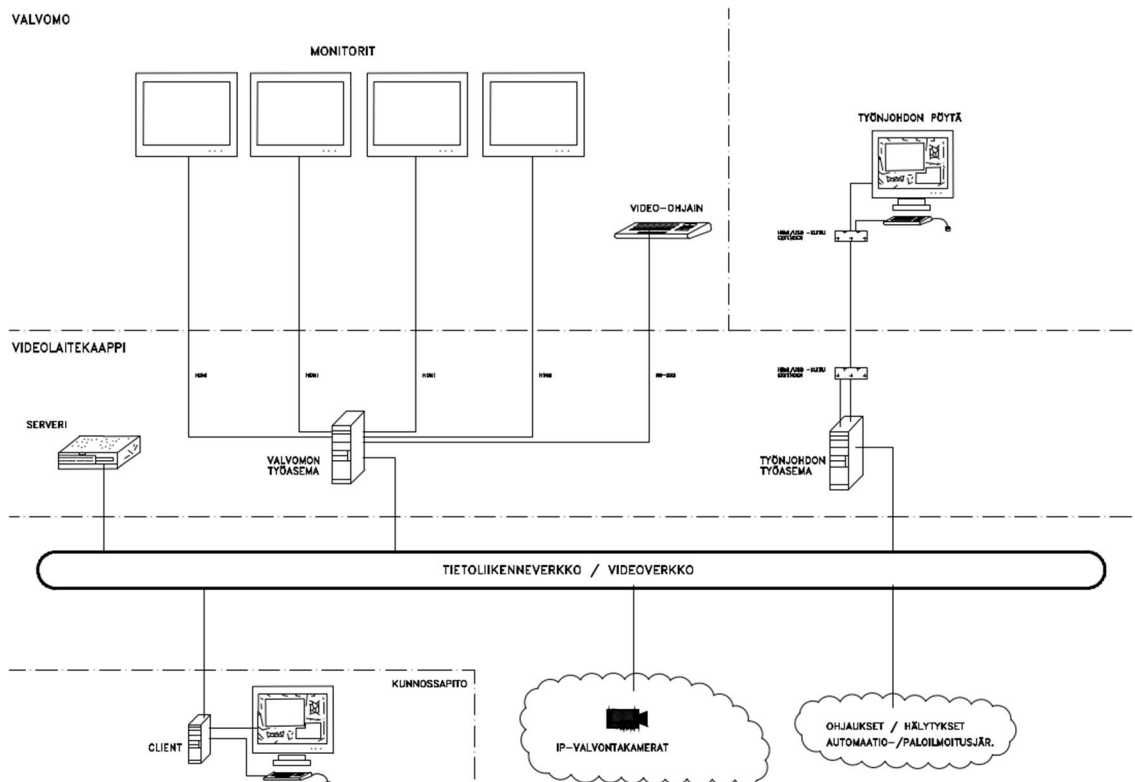
3 UUDEN VIDEOJÄRJESTELMÄN VAIHTOEHDOT

Uuden videovalvonnan valinnassa tärkeimmät kriteerit ovat viiveettömyys, helppokäyttöisyys ja toimintavarmuus. Viive aiheuttaa ongelmia prosessin valvonnassa, joten sitä ei saisi olla juuri lainkaan. Ihmisen silmä alkaa havaita, jos viive ylittää 100 millisekuntia, kun on yhtä aikaa suora näkö- tai ääniyhteys kohteeseen ja videojärjestelmän kautta videokuva kohteeseen. Videojärjestelmää käyttävät monet eri työntekijät monissa eri ohjaamoissa ja monissa eri työvuoroissa. Runsaan käyttäjämäärän takia uuden videojärjestelmän täytyy olla mahdollisimman helppokäyttöinen. Videojärjestelmän avulla valvotaan ja käytetään prosessia. Prosessi saatetaan joutua jopa osittain pysäyttämään, mikäli videokuvat katoavat. Sen vuoksi videojärjestelmän toimintavarmuus on erittäin tärkeää.

3.1 IP-videojärjestelmä

IP-videojärjestelmäksi kutsutaan videojärjestelmää, jossa videokuva siirretään digitaalisena bittivirtana tietoliikenneverkossa. Tietoliikenneverkko sisältää Ethernet-kytkimiä, niiden kaapelointeja, sekä verkkoon liitettäviä laitteita. IP-tekniikka on tällä hetkellä laajimmin käytössä oleva ja nopeimmin laajentuva videovalvontatekniikka. IP-tekniikkaa käytetään yleisesti turvallisuusvalvonnassa kiinteistöissä ja julkisilla alueilla.

IP-järjestelmän toimintaperiaate on yksinkertainen. Kaikki videojärjestelmän osat liitetään samaan tietoliikenneverkkoon, jokainen omalla IP-osoitteella. Kameran muuttavat videokuvan digitaaliseksi signaaliksi. Kameran myös pakkaavat videokuvan sille määrättyllä koodekilla pakettidataksi ja lähettävät sen tietoliikenneverkkoon. Pakettidata kulkee kytkimien ja reitittimien kautta haluttuun osoitteeseen, esimerkiksi työasemalle. Työasema purkaa koodekin monitorille sopivaksi ja lähettää sen monitorille esimerkiksi DVI:nä. IP-järjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. IP-valvontakamerajärjestelmän periaatepiirustus.

IP-videojärjestelmien kaapelointeja on helpottanut yleisesti käyttöön tullut PoE-tekniikka (Power over Ethernet). PoE-tekniikassa virran syöttö laitteelle menee tietoliikenteen kanssa samaa Ethernet-kaapelia pitkin. Tietoliikenne käyttää kahta paria ja virransyöttö kahta paria Ethernet-kaapelista. Virransyötössä käytetään kahta paria yhden sijasta, jotta saadaan resistanssi puolitettua. Kaapelin resistanssin puolittuessa tehohäviö vähenee ja laitteelle saadaan siirrettyä suurempi teho. Useimmissa Ethernet-kytkimissä on PoE-portteja, johon kytketty laite saa suoraan virran Ethernet-kytkimeltä. Jos kytkimessä ei ole PoE-virransyöttöä, voidaan se tehdä erillisellä PoE-virransyöttimellä. PoE-virransyöttimellä syötetään virtaa niille tarkoitetuissa johtimissa ja tietoliikenteelle tarkoitetut johtimet kytketään suoraan virransyöttimen läpi. PoE+ tekniikassa voidaan syöttää jopa 60 watin teho Ethernet-kaapelia pitkin laitteelle. IP-videojärjestelmässä Ethernet-kaapelin maksimipituus on noin 100 metriä, riippuen kaapelin tyypistä.

IP-tekniikan hyviä puolia ovat helppokäyttöisyys ja käyttöoikeuksien hallinta. Lisäksi voidaan hyvin pitkälle hyödyntää valmiina olevaa tietoliikenneverkkoa. IP-videokameroissa on hyvä kuvanlaatu verrattuna analogisiin videokameroihin. IP-tekniikan isoimpia huonoja puolia ovat tietoturvariskit ja toimintavarmuus, joiden pitäisi olla erittäin korkealla tasolla tehdasalueella. Huonoja puolia ovat

myös videokuvan pätkiminen ja sen kasvava viive tietoliikenneverkon kuormittuessa. IP-järjestelmän ylläpitäminen vaatii myös paljon tietotekniikkaosaamista.

3.2 NDI-tekniikka

NDI tulee sanoista Network Device Interface eli verkkolaitteiden rajapinta. NDI julkaistiin huhtikuussa 2016 eli se on vertailluista tekniikoista uusin. NDI on NewTekin kehittämä avoin protokolla, jonka avulla videolaitteet voivat jakaa videota lähiverkossa. NDI-tekniikka on hyvin samankaltainen IP-tekniikan kanssa. NDI-tekniikassa videokuva ja siihen liittyvä data pakataan aina samalla koodekilla. IP-tekniikassa koodekkeja on monia kuten esimerkiksi H.264, H.265 ja MotionJPEG. IP-tekniikassa laitevalmistajilla voi lisäksi olla oma koodaus ja videokuvaa ei saa avattua kuin saman laitevalmistajan laitteella. NDI-tekniikassa kaikki laitevalmistajat käyttävät samaa pakkauskoodekia, joten samaan järjestelmään voidaan valita eri laitevalmistajan laitteita. NDI-tekniikassa mistä tahansa laitteesta lähetetty video saadaan auki millä tahansa samassa tietoliikenneverkossa olevalla laitteella.

NDI-tekniikan pakkausmenetelmä on häviötön ja se voidaan aina purkaa alkuperäiseen muotoon. NDI-koodekki on suunniteltu toimimaan erittäin nopeasti. Esimerkiksi Intelin valmistama i7-prosessori pystyy pakkamaan 1920x1080 resoluutiolla 250 kuvaa sekunnissa yhden ytimen avulla (4). NDI-tekniikassa viive riippuu verkkoyhteyden nopeudesta. Verkkoyhteyden kuormittuessa videon viive kasvaa NDI- ja IP-tekniikoissa.

NDI-tekniikka on uusi ja siitä on vasta vähän kokemusta Suomessa. Tehdasalueella ei ole juurikaan ehditty testata laitteiden toimivuutta sen haastavissa olosuhteissa. Järjestelmän laitteet ovat vielä suhteellisen kalliita sen harvinaisuuden takia.

3.3 SDI-tekniikka

SDI (Serial Digital Interface) eli digitaalinen sarjaliikenne on standardisoitu videokuvan siirtotekniikka. Ensimmäinen SDI-standardi eli SD-SDI on otettu käyttöön vuonna 1989. Se tukee nopeimmillaan 360 Mb/s siirtonopeutta. SD-SDI -tekniikassa käytetään videoformaatteja 480i ja 576i. SDI-tekniikka on kehittynyt ja nykyisin kehittyneellä on 24G-SDI -standardi. 24G-SDI -standardi tukee 24

Gb/s siirtonopeutta, joka on noin 67 kertaa nopeampi kuin SD-SDI -standardin. 24G-SDI -tekniikassa käytetään mm. 4K- ja 8K-videoformaatteja (5). SDI-standardien kehitys näkyy taulukossa 1.

TAULUKKO 1. SDI-standardien kehitys (5).

Standardi	Nimi	Otettu käyttöön	Tiedonsiirtonopeudet	Esimerkkejä videoformaateista
SMPTE 259M	SD-SDI	1989	143 Mb/s, 177 Mb/s, 270 Mb/s, 360 Mb/s,	480i, 576i
SMPTE 344M	ED-SDI		540 Mb/s,	480p, 576p
SMPTE 292M	HD-SDI	1998	1,485 Gb/s, 1,485/1,001 Gb/s	720p, 1080i
SMPTE 372M	DUAL LINK HD-SDI	2002	2,970 Gb/s, 2,970/1,001 Gb/s	1080p60
SMPTE 424M	3G-SDI	2006	2,970 Gb/s, 2,970/1,001 Gb/s	1080p60
SMPTE ST-2081	6G-SDI	2015	6 Gb/s	2160p30
SMPTE ST-2082	12G-SDI	2015	12 Gb/s	2160p60
SMPTE ST-2083	24G-SDI		24 Gb/s	2160p/4k@120, 8k@60

SDI-tekniikan toimintaperiaate on hyvin pitkälle analogiatekniikan kaltainen. Näissä tekniikoissa jokainen videokuva viedään omaa kaapelia pitkin. Tekniikat vaativat paljon kaapelointia verrattuna IP- ja NDI-tekniikoihin. Jokaisen videokuvan viemisessä omalla kaapelilla on hyviäkin puolia. Kaapelin rikkoutuessa vain siinä kaapelissa vietävä videokuva katkeaa. Kun taas esimerkiksi IP-tekniikassa tietoliikenneverkon katketessa voivat kaikki videokuvat hävitä monitoreilta. Vian sattuessa sen paikannus on helpompaa, kun jokainen videokuva viedään omassa kaapelissa.

SDI-tekniikassa voidaan videokuva tuoda kamerasta suoraan monitorille. Jos halutaan vaihtaa videokuvaa monitorilla tai samaa videokuvaa halutaan käyttää useammalla monitorilla, tarvitaan videojärjestelmään videomatriisi.

SDI-tekniikan hyviä puolia ovat yksinkertaisuus ja vähäinen huollon tarve. Hyvä puoli on myös se, että viive pysyy aina samana eikä vaihtele videokuvien määrien mukaan. Huono puoli on hankintahinta, joka on muita tekniikoita korkeampi johtuen kaapeloinneista ja osien hinnoista.

4 TYÖN SUORITUS

Tehdasalueella on haastavat olosuhteet videojärjestelmille. Videojärjestelmien toimintakunnossa pitäminen vaatii ennakoivaa huoltoa. Ennakkohuolloissa puhdistetaan ja huolletaan laitteita tarpeiden mukaan. Ennakkohuolloissa pyritään myös etsimään mahdollisesti tulevia vikoja ja eliminomaan ne.

Teollisuudessa videokuvan välityksellä valvotaan ja ajetaan niin suuria kuin pieniäkin prosessin osia. Osa prosesseista on erittäin nopeita, mikä tarkoittaa videojärjestelmän osalta sitä, että videokuvan siirrossa kamerasta monitorille ei voi juurikaan olla viivettä. Digitaalitekniikassa videokuvan jokaisessa prosessointivaiheessa tulee aina pieni viive, joten videokuva yritetään siirtää monitorille mahdollisimman suoraan. Videokuvaa siirretään yleensä pakkaamattomana, jotta vältytään viiveeltä sekä kuvanlaadun huononemiselta.

Tehdasalue on täynnä erilaisia prosesseja, joista päätyy ilmaan epäpuhtauksia. Ilmassa on runsaasti prosessien tuottamaa pölyä, jota videojärjestelmissä oleva elektroniikka ei kestä. Epäpuhtauksien takia videojärjestelmän komponentit joudutaan asentamaan tiiviisiin koteloihin.

Olosuhteisiin vaikuttavat myös kuvattavat kohteet. Esimerkiksi sula rauta tuottaa lämpösäteilyä kymmenien metrien päähän. Tämä tulee ottaa huomioon tällaista kohdetta kuvattaessa tai sen lähelle tehtävissä asennuksissa. Lämpösäteily pitää ottaa huomioon myös siihen altistuvien laitteiden materiaalien valinnoissa.

Digitaalitekniikkaan siirryttäessä lämpö on tullut ongelmaksi videokuvan siirron jokaisessa vaiheessa. Videokuvan siirto ja käsittely vaatii laitteisiin tehokkaita prosessoreja. Ne tuottavat runsaasti lämpöä toimiessaan. Olosuhteiden pakottamana videolaitteet on asennettava tiiviisiin koteloihin, jolloin prosessoreiden ja muiden komponenttien tuottama lämpö ei pääse haihtumaan ympäristöön. Lämpöongelmat ovat ajaneet etsimään erilaisia ratkaisuja koteloiden ja kaappien jäähdytykseen. Puhtaissa tiloissa pelkkä ilmanvaihto riittää. Likaisissa tiloissa on jouduttu käyttämään kompressori- ja Peltier-jäähdyttimiä. Peltier-jäähdyttimistä on kerrottu lisää luvussa 4.3.

Tehdasalueella on videojärjestelmän haasteena monenlaisia häiriöitä. Yksi häiriönlähteistä on usein taajuusmuuttajat. Niissä olevat tasasuuntaajat aiheuttavat johtumalla eteneviä korkeataajuisia häiriöitä sekä sen syöttöverkkoon harmonisia yliaaltovirtoja (6).

Videojärjestelmän kaapelit kulkevat osan matkasta kaapelihyllyillä, joissa on myös isoja syöttökaapeleita. Syöttökaapelin johtimessa kulkeva virta synnyttää ympärilleen magneettikentän, joka aiheuttaa häiriöitä ympärillä olevissa kaapeleissa. Magneettikentän voimakkuus, eli tässä tilanteessa häiriön voimakkuus, on suoraan verrannollinen virran suuruuteen ja kääntäen verrannollinen etäisyyteen johtimesta. Tehdasalueella häiriöitä pyritään välttämään monilla eri tavoin, kuten esimerkiksi sähkö- ja automaatiotilat sijoitetaan erilleen toisistaan sekä syöttökaapeleille ja tiedonsiirto-kaapeleille rakennetaan omat kaapelireitit. Tiedonsiirtoa on helpottanut yleisesti käyttöön tullut valokuitu. Valokuitua voidaan viedä kaikkien kaapeleiden kanssa samoja kaapelireittejä, valokuitu ei ole altis sähkömagneettisille häiriöille eikä myöskään aiheuta niitä itse.

Uuden videojärjestelmän tekniikaksi valittiin SDI-tekniikka, koska se on tarjolla olevista toimintavarmien ja huoltovapain. Se vaatii enemmän kaapelointia kuin IP-tekniikka tai NDI-tekniikka, mutta videokuvien määrä ei vaikuta videon siirtonopeuteen. SDI-tekniikka ja IP-tekniikka ovat olleet jo pitkään käytössä tehdasalueella. SDI-tekniikka on toiminut kaikissa olosuhteissa lähes ongelmitta, kun taas IP-tekniikassa on ollut toistuvasti ongelmia ja laitteiden osia on jouduttu uusimaan. NDI-tekniikkaa ei vielä juurikaan ehditty testaamaan tehdasalueen olosuhteissa.

Uuden videojärjestelmän suunnitteluun on käytetty paljon aikaa ja järjestelmän eri osia on testattu tehdasalueella. Videojärjestelmän testaus ja kehitys tehdasolosuhteissa vaatii usean vuoden työn. Videojärjestelmään valitut komponentit on testien perusteella todettu toimiviksi, kestäviksi ja sopiviksi juuri tämän prosessialueen käyttöön.

4.1 Videokuvan siirto

Uudessa videojärjestelmässä lähes kaikki videokuvat siirretään yksimuotovalokuidussa. Kaappien ja koteloiden sisäisissä kytkennöissä käytetään muutamia koaksiaalikaapeleita ja monitoreilla käytetään HDMI-kaapeleita. Uuden videojärjestelmän periaatekuva on esitetty liitteessä 1. Valokuitu kestää paljon paremmin häiriöitä kuin koaksiaalikaapeli. Uuden videojärjestelmän kameroissa ei ole valokuitulähtöä, joten videokuva joudutaan muuntamaan valokuituun valokuitulähtetimen

avulla. Valokuitulähetin asennetaan kamerakoteloon, jotta saadaan koaksiaalikaapelointi mahdollisimman vähäiseksi.

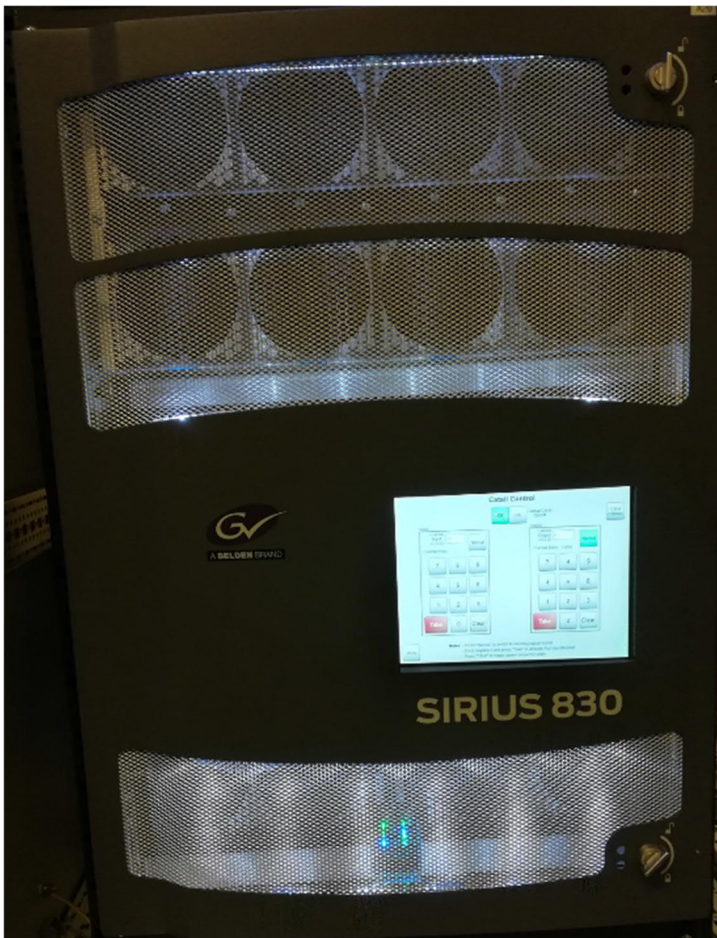
Kamerakotelon viereen asennetaan pieni kotelo, johon päätetään kenttäkotelolta kameralle tuleva valokuitu. Kotelosta valokuitu jatketaan pikaliittimellä, jotta kameran huolto ja vaihto helpottuu sekä nopeutuu vikatilanteessa. Pienkotelolle tuodaan neljäkuituinen valokuitu lähimmältä kenttäkotelolta. Neljästä valokuidusta käyttöön tulee kuitenkin kiinteällä kameralla vain yksi valokuitu ja kääntävällä kameralla kaksi valokuitua. Loput valokuidusta jätetään varalle rikkoutumisia tai lisäyksiä varten.

Kenttäkotelot on mahdollisuuksien mukaan sijoitettu sähkötiloihin, koska kentällä olosuhteet ovat haastavat. Kameroiden pienkoteloilta tulevat valokuidut päätetään kenttäkoteloihin. Projektialueen 1 kenttäkoteloiden runkovalokuidut on kerätty yhteen kaappiin, josta menee kaksi runkovalokuitua projektialueelle 2 matriisikaapille. Projektialueelle 2 kenttäkotelot on kaapeloitu suoraan matriisikaapille.

4.2 Videomatriisi

Korvattavaan videojärjestelmään valittiin Grassvalleyn valmistama Sirius 830 -videomatriisi, joka näkyy kuvassa 9. Videomatriisin tulojen ja lähtöjen määrä määräytyy matriisiin asennettavien korttien mukaan. Korttien määrä on kuitenkin rajallinen. Tulo- ja lähtökortteja voidaan molempia asentaa 12 kpl, jolloin videomatriisiin kapasiteetti maksimissaan on 288x288 eli siihen voidaan liittää 288 kameraa ja 288 monitoria. Videomatriisin kapasiteetti riittää hyvin alueen kamera- ja monitorimääriin. Tilaa saa videomatriisissa olla reilusti, että jatkossa siihen voidaan liittää myös lähialueiden kameroita ja monitoreja.

Videomatriisi tukee kaikkia tämän hetkisiä SDI-standardeja ja IP-tekniikkaa. SDI-signaalina 4K -videoformaattia siirrettäessä videomatriisin läpi, yksi videosignaali vaatii 4 tuloa ja lähtöä videomatriisista.



KUVA 9. Grassvalley Sirius 830 -videomatriisi.

4.2.1 Tulo- ja lähtökortit

Grassvalleyn Sirius 830 -videomatriisissa tulokortti on aina sama ja lähtökortti on aina sama. Riippuen kaapeloinneista korttien takapaneelit vaihdetaan. Vaihtoehtoina on joko koaksiaalikaapeli tai valokuitukaapeli. Tulokortissa on 24 sisääntuloa eli inputtia ja lähtökortissa 24 ulostuloa eli outputtia.

Kaapeloinnit ovat kiinni matriisin takapuolella tulo- tai lähtökortin takapaneelissa. Kortit asennetaan matriisiin sen etupuolelta ja ne voidaan vaihtaa irrottamatta kaapelointeja.

4.2.2 Multiviewer ja monikuvat

Videomatriisin lisävarusteisiin kuuluu multiviewer-kortti. Multiviewerillä voidaan tehdä monitorille minkälaisia monikuvia tahansa. Monikuvassa voidaan esimerkiksi laittaa keskelle ruutua iso kuva, jonka ympärille asetetaan pieniä kuvia (LIITE 2).

Tämän projektin osalta videojärjestelmään ei otettu multiviewer-korttia. Sen ei nähty tuottavan tarpeeksi lisäarvoa ja multiviewer-kortin prosessoidessa videokuvaa siihen tulee lisää viivettä. Viive koettiin liian isona häirtana prosessin valvonnassa. Aiempien kokemusten perusteella multiviewer-kortti myös tuottaa runsaasti lämpöä matriisiin ja sitä kautta laitekaappiin, jossa matriisi sijaitsee. Lämpö lyhentää laitekaapin laitteiden elektroniikan käyttöikää. Lämpöhaitan lisäksi multiviewer tuo merkittävän lisän kustannuksiin.

Projektissa tarvitaan vain nelikuvia eli neljä videokuvaa näkyy samassa monitorissa. Nelikuvat päätettiin tehdä matriisista erillisellä OpenGear-kehikolla. Kehikkoon asennetaan kortteja, jotka tekevät tarvittavat nelikuvat. OpenGear-kehikossa kaapelit kytketään sen takapaneelin BNC-liittimiin. Kortit asennetaan kehikon etupuolelle ja ne pystytään vaihtamaan purkamatta kaapelointeja. Videokuvat tuodaan matriisin lähdoistä ja nelikuvat viedään takaisin matriisin tuloihin, jotta niitä voidaan valita ja vaihtaa useissa eri ohjaamoissa.

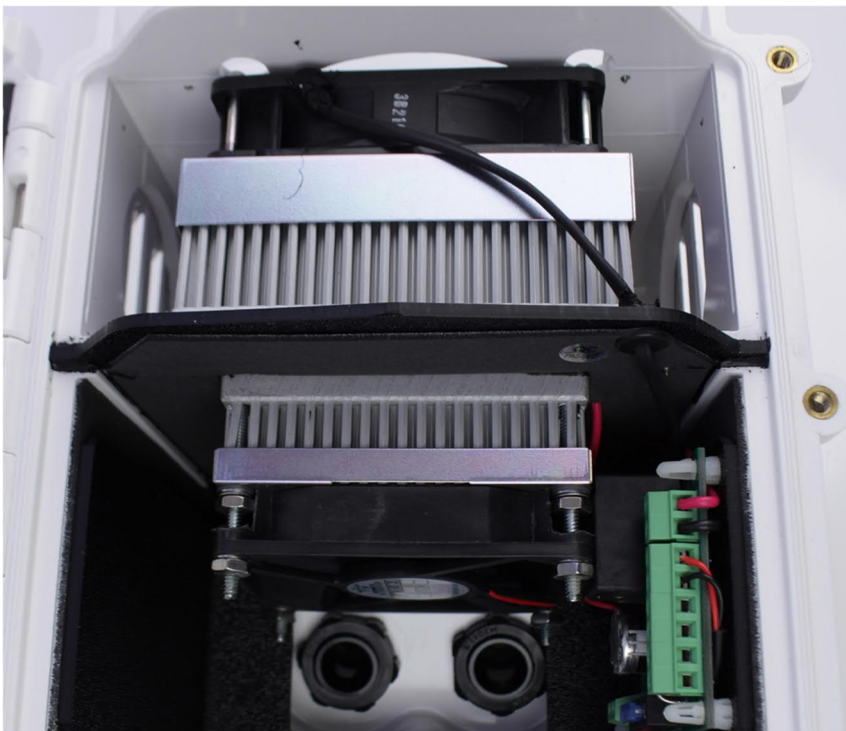


KUVA 10. Rossin valmistama OpenGear-kehikko ja Decimatorin nelokuva-kortteja.

4.3 Kameran

Kaikki uudet kamerat lähettävät videokuvan 3G-SDI -standardilla. 3G-SDI -videokuvan datan määrä on suuri ja videokuvaaminen vaatii tehoa kameran prosessoreilta. Tehokas prosessori tuottaa lämpöä ja haihduttaa sitä ympärilleen. Kun kamera asennetaan olosuhteiden pakottamana tiiviiseen kamerakoteloon, alkaa kamerakotelon lämpötila nousta. Kameran elektroniikka ei kestä kovin korkeita lämpötiloja ja sen käyttöikä lyhenee nopeasti jo pienestäkin lämpötilan noususta. Kamerakoteloon asennetaan kameran lisäksi valokuitulähetin, joka myös tuottaa lämpöä kamerakoteloon.

Kaikissa kamerakoteloissa, lukuun ottamatta paineilmajäähdytettyä kamerakoteloita, on Peltier-jäähdytintä. Peltier-jäähdyttimen sisällä on Peltier-elementti, jonka toiminta perustuu lämpösähköiseen ilmiöön. Sähkövirta siirtää lämmön elementin toiseen reunaan ja toinen reuna viilenee (7). Tässä tapauksessa kamerakotelon puoli alkaa viilentyä. Sähkövirran suuntaa käännettäessä lämmön siirtyminen kääntyy ja kamerakotelo alkaa lämmetä. Kamerakoteloissa on puhaltimet Peltier-elementin sisä- ja ulkopuolella (ks. KUVA 11.). Puhaltimet tehostavat jäähdytystä ja tasaavat kamerakotelon sisälämpötilaa. Peltier-elementin ansiosta kamerakotelo pysyy viileänä, mutta se on tiivis ja saavuttaa IP-luokan 66.



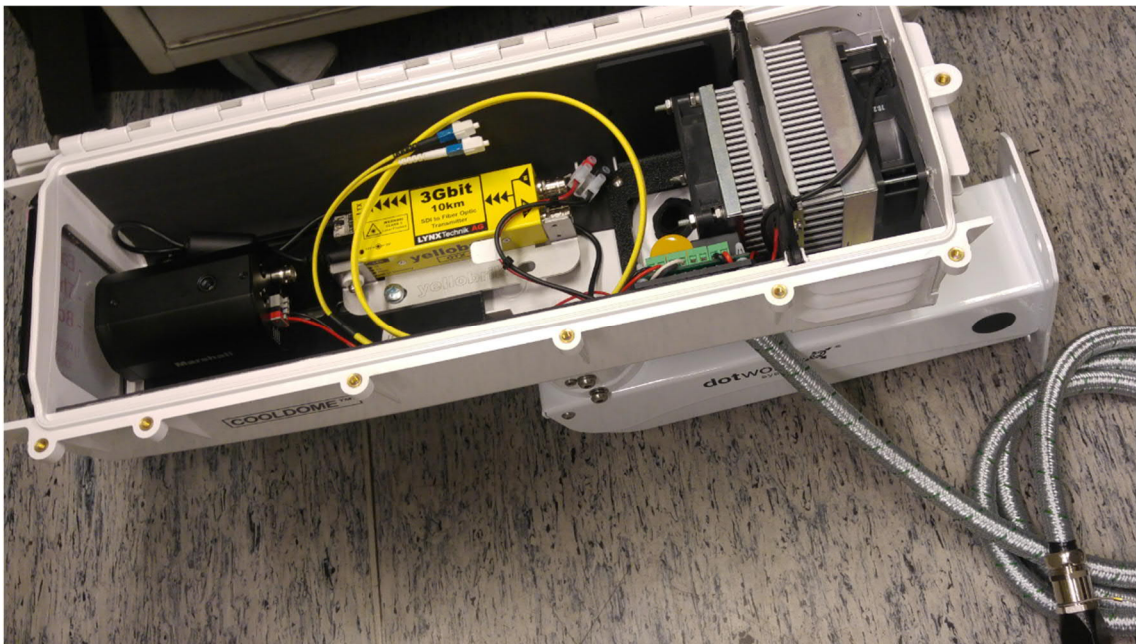
KUVA 11. Kamerakotelon Peltier-jäähdytyslementti.

4.3.1 Kiinteät kamerat

Normaalin kiinteän kameran korvaajaksi valittiin Marshalin valmistama CV350-10X videokamera. Kamerassa on 10x optinen zoom ja 12x digitaalinen zoom. Zoomilla ei ole käytössä etäohjausta, mutta sitä voidaan säätää suoraan kamerasta avaamalla kamerakotelo. Kameran videokuvan kuvasuhde on 16:9 ja resoluutio on 1920 x 1080.

Kamerasta videokuvan ulostulo on BNC-liittimellä tai HDMI-liittimellä. Käyttöön valittiin BNC-liitin, josta videokuva viedään lyhyellä koaksiaalikaapelilla valokuitulähttimelle. Valokuitulähttimestä videokuva viedään suoraan videomatriisille ristikytkentöjen kautta.

Kamera ja valokuitulähtin asennetaan Dotworkzin ST-CD-SS kamerakoteloon, jossa on valmiina Peltier-jäähdytyn. Kamerakotelon jalkaan asennetaan virtalähde, jolla syötetään sähkö kotelon sisällä oleviin liittimiin. Kameralle, valokuitulähttimelle ja jäähdyttimelle saadaan sähkönsyöttö (12VDC) suoraan liittimistä.



KUVA 12. Kiinteän kameran kamerakotelo komponentteineen.

Paineilmajäähdytettyä teräksistä kamerakotelo ei uusittu, mutta sen sisälle uusittiin kamera ja sen kiinnitykset. Kameran korvaajaksi valittiin Marshalin valmistama CV344 videokamera. Kameraan asennettiin Goyo Opticalin valmistama GAPM13824BS objektiivi. Objektiivi mahdollistaa kameran kuvaamisen kamerakotelon pienestä kuvausreiästä.

Paineilmajähdytetyjen kamerakoteloiden lähettyville uusittiin syöttökotelot, joihin asennettiin myös valokuitulähtimet. Syöttökoteloihin päätettiin myös kameralle tulevat valokuidut. Kameroille uusittiin projektin yhteydessä myös niiden paineilmajähdytysjärjestelmät, jotta toimintavarmuus pysyy korkeana.

4.3.2 Kääntyvät kamerat

Kääntyvien kameroiden korvaajaksi valittiin Bolinin valmistama VCC-7HD30S-3SMN/B mallin kamera. Kameraa on testattu tehdasalueella aiemmin ja se on todettu hyväksi. Kamerassa on 30x optinen zoom ja lisäksi 12x digitaalinen zoom.

Videokuvan ulostulo kamerasta on BNC-liittimellä, HDMI-liittimellä, CVBS-liittimellä tai Ethernet-liittimellä. Käyttöön tulee BNC-liitin, josta videokuva viedään lyhyellä koaksiaalikaapelilla valokuitulähtimelle. Valokuitulähtimestä videokuva viedään suoraan videomatriisille ristikytkentöjen kautta. Kääntyville kameroille asennettiin kamerakoteloon myös Ethernet/valokuitu -muunnin. Muuntimen avulla kääntyvälle kameralle tuodaan videojärjestelmän tietoliikenneverkko valokuidussa. Valokuidun toisessa päässä on tietoliikenneverkon kytkin. Tietoliikenneverkossa siirretään kameran käännön ja zoomauksen dataa.

Kamera, valokuitulähtin ja Ethernet/valokuitu -muunnin asennettiin Dotworkzin D2-CD kamerakoteloon, jossa on valmiina jäähdytin. Kamerakotelon jalan sisään asennettiin virtalähde, jolla syötetään sähkö kamerakotelon sisällä oleviin liittimiin. Liittimistä otetaan sähkö 12VDC kameralle, valokuitulähtimelle, jäähdyttimelle ja Ethernet/valokuitu -muuntimelle.



KUVA 13. Kääntyvän kameran kamerakotelo komponentteineen.

4.4 Monitorit

Kaikki uusittavan alueen monitorit uusitaan videokuvien kuvanlaadun parantamiseksi ja myös liitännöiden takia. Monitoreiksi valikoituivat NEC-merkkiset monitorit aiempien kokemusten perusteella. Monitoreja asennettiin kolmea eri kokoa 24", 40" ja 48" -tuumaisia. Yleensä isompiin monitoreihin valitaan nelikuva, mutta matriisin ansiosta kaikkiin monitoreihin voidaan valita mikä matriisin tulo tahansa. Kaikilla monitoreilla kuvasuhde on 16:9, koska kaikkien kameroiden videokuvan kuvasuhde on myös 16:9.

Monitorille videokuva tuodaan HDMI-kaapelilla ohjaamossa olevasta videolaitekaapista. Kaapissa on oma valokuitu-HDMI -muunnin jokaiselle monitorille. Muuntimelle valokuitu tuodaan suoraan videomatriisilta ristiyhteyksien kautta.

4.5 Video-ohjaimet

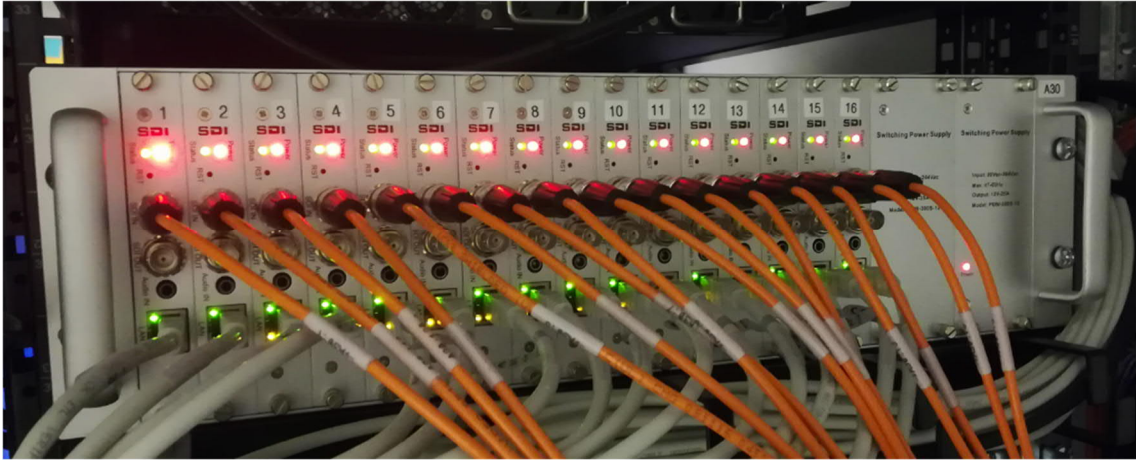
Video-ohjaimiksi valikoitui Skaarhojin valmistama PTZ-Fly-V1. Video-ohjainta laajennettiin XPoint 24 -matriisiohjaimella. Video-ohjaimen jokaiseen painikkeeseen voidaan ohjelmoida erilaisia toimintoja. Video-ohjaimen yhteen painikkeeseen voidaan esimerkiksi ohjelmoida toiminto, että videomatriisi palauttaa kaikkiin ohjaamon monitoreihin tiettyjen kameroiden videokuvat. Video-ohjain konfiguroidaan yksilölliseksi joka ohjauspaikalle, jolloin kullekin paikalle voidaan määritellä käytön kannalta sopivat parametrit.

Video-ohjaimet liitetään kääntyvien kameroiden ja videomatriisin kanssa samaan tietoliikenneverkkoon. Video-ohjain ohjaa kameroita ja videomatriisia niiden IP-osoitteen perusteella.

4.6 Tallennus

Tehdasalueella on keskitetty videokuvien tallennusjärjestelmä. Tallennusjärjestelmään tallennetaan koko tehtaan tallennusta vaativien kameroiden videokuvat. Keskitetyllä tallentimella saadaan pois ympäri tehdasta sijaitsevat pienemmät tallentimet. Keskitetty tallennusjärjestelmä vaatii kuitenkin kattavan tietoliikenneverkon tehdasalueelle. Keskitetystä tallennusjärjestelmästä voidaan katsoa mitä tahansa talletettua videokuvaa myöhemmin. Tallennusjärjestelmään voidaan antaa käyttäjätunnukset, joilla voidaan katsoa niille määrättyjä videokuvia.

Uudessa videojärjestelmässä alueen tallennettavat videokuvat viedään videomatriisilta koaksiaalikaapelilla enkooderille. Enkooderi pakkaa 3G-SDI-signaalin H.265 -signaaliin, jolloin sen datan määrä vähenee ja tallennin ymmärtää H.265 -signaalia. Enkooderi ja sen kytkennät näkyvät kuvassa 12. Enkooderilta videokuvat viedään Ethernet-kaapelilla videoverkon kytkimelle ja sen kautta tietoliikenneverkossa tallentimelle.



KUVA 12. Videoenkooderi pakkaa 3G-SDI signaalin H.265 -signaaliksi.

5 YHTEENVETO

Projektin tavoitteena oli suunnitella korvaava videojärjestelmä prosessialueen analogiselle videojärjestelmälle. Järjestelmän laitteiden valmistus on loppumassa, joten sen toimintaa ei voida kauaa ylläpitää. Videojärjestelmän uusiminen tulee eteen lähiaikoina.

Projektissa päästiin tavoitteeseen ja saatiin suunniteltua korvaava videojärjestelmä nykyisen tilalle. Suunnitelman pohjalta aletaan videojärjestelmää uusimaan lähiaikoina. Suunnittelussa käytettiin apuna tehdasalueen aiempia kokemuksia videojärjestelmään valituista laitteista. Laitteet ovat toimineet ja kestäneet hyvin myös samakaltaisissa haastavissa olosuhteissa.

Prosessialueen haastavien vaatimuksien perusteella valittiin SDI-tekniikka korvaamaan nykyinen videojärjestelmä. SDI-tekniikka on luotettava ja huoltovapaa, vaikkakin vaatii asennusvaiheessa enemmän työtä ja investointeja. Valintaa vahvisti myös laitevalmistajien pitkät takuuajat.

Projektissa opin lisää videovalvonnasta, kun tutustuin digitaalisiin videovalvontateknikoihin ja tarkastelin niiden hyviä sekä huonoja puolia. Projektissa opin tuntemaan myös tehtaan haastavia olosuhteita, jotka pakottavat keksimään uusia ratkaisuja ongelmien edessä. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat lämpöongelmat, jotka tulevat vastaan monissa videojärjestelmän vaiheissa. Projekti opetti myös videovalvonnan tärkeyden teollisuudessa ja kuinka sen avulla saadaan turvallisemmat olosuhteet työntekijöille.

LÄHTEET

1. Pesonen, J. 2013. Kameravalvontajärjestelmä sementtiaterminaalissa. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 20.4.2020, https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/69807/Pesonen_Joni.pdf?sequence=1&isAllowed=y
2. Koaksiaalikaapelin rakenne. Saatavissa <http://kesko-onninen-pim-resources-production.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/9475715.pdf> Hakupäivä 20.1.2020
3. Video-ohjaimen ja laajennussarjan kytkentäperiaate. Saatavissa <https://www.manualslib.com/manual/19144/Bosch-Ltc-8557-Series.html?page=7> Hakupäivä 2.4.2020
4. NDI-koodaus ja dekodaus. Saatavissa <https://support.newtek.com/hc/en-us/articles/218109667-NDI-Encoding-Decoding> Hakupäivä 20.4.2020
5. SDI-standardien kehitys. Saatavissa <https://www.optcore.net/introduction-to-sdi/> Hakupäivä 2.4.2020
6. Koponen, A. 2007. Taajuusmuuttajien käytön ongelmakohdat kiinteistöautomaatioissa. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Diplomityö. Viitattu 1.5.2020, <http://lib.tkk.fi/Dipl/2007/urn007838.pdf>
7. Peltier-elementin toiminta. Saatavissa <https://fi.wikipedia.org/wiki/Peltier-elementti> Hakupäivä 2.5.2020
8. CCD-kennon toiminta. Saatavissa <https://fi.wikipedia.org/wiki/CCD-kenno> Hakupäivä 20.5.2020

