



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Artem Androshchuk

W32/34- JA W31-KIERTOKANGEN
VAIHTOEHTOISTEN KIRISTYSRAT-
KAISUJEN TUTKIMINEN

Wärtsilä Finland Oy

Tekniikka
2018

ALKUSANAT

Opinnäytetyö tehtiin Wärtsilän toimituskeskuksen kiertokankiverstaalle kevään 2018 aikana. Kevään aikataulusta myöhästettiin, mutta loppuviimein projekti saatiin valmiiksi.

Haluan kiittää Wärtsilän kiertokankiverstaan johtoa mielenkiintoisesta aiheesta sekä ohjaajiani työn sekä koulun puolesta hyvästä tuesta ja avusta.

Kiitokset menevät myös Atlas Copcon, Hentecin ja Haitorin myyntipäälliköille, jotka ovat auttaneet tiedon saamisessa sekä auttaneet projektin kanssa.

Lopuksi haluan vielä kiittää puolisoani, omaa ja puolisoni perhettä, ystäviä ja työkollegoita mahtavasta rohkaisusta ja kannustamisesta opinnäytetyön tekemisessä.

Vaasassa 26.5.2018

Artem Androshchuk

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Artem Androshchuk
Opinnäytetyön nimi	W32/34- ja W31-kiertokangen vaihtoehtoisten kiristysratkaisujen tutkiminen
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	61 + 2 liitettä
Ohjaaja	Mika Billing, Sami Koivisto, Mikael Storlund

Opinnäytetyö tehtiin Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan toimitusyksikön kiertokankiverstaalle. Opinnäytetyön aiheena oli tutkia, onko työvaihe mahdollista automatisoida ja jos on, niin minkälaisella menetelmällä ja työkalulla. Työvaiheessa kasataan ja kiristetään hydraulisesti W32/34-kiertokankien alaosa koneistusprosessia varten. Koneistusprosessin jälkeen alaosat löysätään ja puretaan, jonka jälkeen ne palautetaan takaisin automaattilinjaan. Alaosien kokoonpanemisella varmistetaan kampilaakerin reiän pyöreys ja muoto oikeaksi. Tulevaisuudessa myös W31-kiertokankia käsitellään automaattilinjassa. Tämä työvaihe on tällä hetkellä automaattilinjan ainoa käsin tehtävä työvaihe. Tavoitteena on viedä automaattilinjan kehitystä eteenpäin ja pyrkiä saamaan linjasta täysin automaattinen.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdyttiin yleisellä tasolla automaatioon, teollisuusautomaatioon, automatisoinnin hankinnan perusteisiin sekä automatisoinnin hyötyihin ja haittoihin. Teoriaosuudessa kerrottiin myös kiristystekniikasta. Työssä käytettiin aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, verkkojulkaisuja, laitevalmistajien materiaaleja sekä asiantuntijoiden tietoja.

Työn lopputuloksena saatiin kattava kokonaisuus teoriasta sekä teoriassa mahdollisesta potentiaalisesta ratkaisusta. Sähkövääninlaitteistoa ei kuitenkaan keretty testaamaan käytännössä johtuen tiukasta aikataulusta ja kustannuksellisista syistä. Työssä robottisolulle sekä sähkövääninlaitteistolle laskettiin kustannushinnat. Lopuksi vielä laskettiin takaisinmaksuaika sekä investoinnin ansiosta kertyvät säästöt. Opinnäytetyönä tehdyn projektin tulokset antavat mahdollisuuden jatkokehitykselle.

ABSTRACT

Author	Artem Androshchuk
Title	Study on Exploration Optional Tightening Solutions of W32/34 and W31 Connecting Rods
Year	2018
Language	Finnish
Pages	61 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Mika Billing, Sami Koivisto, Mikael Storlund

The thesis was done for Wärtsilä Finland Oy Delivery Center Vaasa. The purpose of the thesis was to examine whether it is possible to automate a work phase and, if so, by what method and tool. At the time of the work, the lower parts of the W32/34 connecting rods are hydraulically tightened for the machining process. After the machining process, the lower parts are loosened and taken apart and then returned to the automated line. By assembling the lower parts it is made sure that the roundness and shape of the bore hole are correct. In the future W31 connecting rods will be also processed in the automated line. This stage of work is currently the only manual step in the automated line. The aim is to advance the automated line progression and try to get the line fully automated.

The first step was to study various tightening methods, which resulted in searching different tensioning alternatives in practice. A few tools were taken into consideration after searching. Most of the tools did not suit for the tightening solutions for this project.

As a result of this thesis, a comprehensive set of theoretical and theoretically possible solutions was obtained. However, the electrical nutrunner has not been tested in practice because of a tight schedule and expense reasons. In the thesis, the cost of the robotic cell and equipment of electric nutrunner were calculated. At the end, the payback period and the savings were also calculated. The results of the thesis give an opportunity to develop the project in the future.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	11
2	WÄRTSILÄ	12
2.1	Organisaatio ja johto	12
2.1.1	Marine Solutions	12
2.1.2	Energy Solutions	14
2.1.3	Services	14
2.2	Wärtsilän historia	14
2.3	Wärtsilä Suomessa	14
3	LÄHTÖTILANTEEN KUVAUS JA TARVEANALYYSI	15
3.1	Kiertokanki	15
3.1.1	Yleistä	15
3.1.2	Toimintaperiaate	16
3.1.3	Rakenne	17
3.1.4	W32/34- ja W31-kiertokanki	17
3.2	Manuaaliasema	19
3.2.1	Alaosakokoonpanon kasausvaihe	20
3.2.2	Alaosakokoonpanon purkuvaihe	22
3.3	Nykyinen kiristysmenetelmä	23
3.3.1	Nykyisen kiristysmenetelmän hyvät ja huonot puolet	27
3.3.2	Nykyisen kiristysmenetelmän automatisoinnin haasteet	27
4	AUTOMAATIO	28
4.1	Automaation määritelmä	28
4.2	Teollisuusautomaatio	28
4.3	Automatisoinnin hyötyjä ja haittoja	30
4.4	Automatisoinnin hankinnan perusteet	30
5	KIRISTYSTEKNIikka	32
5.1	Ruuvi- ja pulttiliitos	32
5.1.1	Perustietoa	32

5.1.2	Ruuvien lujuusluokat	33
5.1.3	Ruuvien kiristysmomentti	34
5.2	Momentin käsite.....	35
5.3	Kiristysmenetelmät	36
5.3.1	Momenttikiristys	36
5.3.2	Myötökiristys	37
5.3.3	Arviokiristys.....	37
5.3.4	Venytyskiristys.....	38
6	PROJEKTIN TOTEUTUSPROSESSI	39
6.1	Projektin aloitus	39
6.2	Hydrauliset työkalut.....	39
6.2.1	Tentec-hydraulimutteri.....	39
6.2.2	RTX-momenttiväännin	41
6.2.3	Tentec Aero WTB hydraulinen pulttikiristin	42
6.3	Sähköväänninlaitteisto	43
6.3.1	Sähköinen QST-mutterinväännin.....	43
6.3.2	PowerMACS 4000 -ohjausyksikkö.....	45
7	INVESTOINTI	47
7.1	Budjettitarjoukset	47
7.1.1	Hydrauliset työkalut	47
7.1.2	Sähköväänninlaitteisto	48
7.1.3	Robottisolu ja sen komponentit.....	49
7.1.4	Yhteiskustannukset	50
7.2	Investointilaskelmat	51
7.2.1	Työvoimakustannukset	52
7.2.2	Takaisinmaksuaika	53
7.2.3	Säästöt	53
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA ARVIOINTI	56
9	JATKOKEHITYS	59
	LÄHTEET.....	60

LIITTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Wärtsilän johto ja organisaatio /2/.....	12
Kuva 2. Wärtsilän W31-moottori /5/.....	13
Kuva 3. Kiertokanki /10/.....	15
Kuva 4. Kiertokanki dieselmoottorissa /11/.....	16
Kuva 5. 42CrMo4-teräseoksen mekaaniset ominaisuudet /12/.....	17
Kuva 6. W32/34- kiertokankikokoonpano.....	18
Kuva 7. W31-kiertokankikokoonpano.....	19
Kuva 8. Automaattilinjan manuaaliasema.....	20
Kuva 9. Pitkä ja lyhyt vaarnaruuvi.....	21
Kuva 10. Alaosakokoonpano ennen kasausvaihetta.....	22
Kuva 11. Alaosakokoonpano ennen purkuvaihetta.....	23
Kuva 12. Telakka, jossa on kiinni kaksi hydraulitunkkia.....	24
Kuva 13. Hydrauliiikkakoneikko.....	25
Kuva 14. Hydrauliikkakoneikon säädin.....	26
Kuva 15. Malli automaattiosolusta teollisuudessa /15/.....	29
Kuva 16. Tavallinen ruuviliitos /20/.....	33
Kuva 17. Vääntömomentin jakauma ruuvin kiristyksessä /26/.....	35
Kuva 18. Tentec-hydraulimutteri /23/.....	40
Kuva 19. RTX hydraulinen momenttiväännin /24/.....	41
Kuva 20. Tentec Aero WTB hydraulinen pulttikiristin /25/.....	42
Kuva 21. QST-mutterinväännin /26/.....	43
Kuva 22. QST-mutterinvääntimen erikoismalli /26/.....	44
Kuva 23. Sähköiset mutterinvääntimet ABB robotin tarttujassa /26/.....	45
Kuva 24. QST-sähköväännin ja PowerMACS 4000 -ohjainyksikkö /26/.....	45
Taulukko 1. Ruuvien myötörajan ja murtolujuuden nimellisarvot /16/.....	34
Taulukko 2. Liitoksen esitutkimuksen ja analyysin kustannushinta.....	48
Taulukko 3. Sähköväänninlaitteiston kustannushinta.....	49
Taulukko 4. Robottisolun komponenttien kustannushinnat.....	50
Taulukko 5. Laitteiden yhteiskustannukset.....	51

Taulukko 6. Operaattorin kahden vuoron työvoimakustannukset.....	52
Taulukko 7. Operaattorin kolmen vuoron työvoimakustannukset.....	53
Taulukko 8. Takaisinmaksuajan laskenta.	53
Taulukko 9. Kahden vuoron säästöt investoinnin jälkeen.	54
Taulukko 10. Yö ajossa kertyneet tunnit.	55

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Investointilaskelmat.**LIITE 1.** Investointilaskelmat 2.

LYHENTEET JA KÄSITTEET

W31	Wärtsilän moottori, jossa sylinterinhalkaisija on 31 senttimetriä.
W32	Wärtsilän moottori, jossa sylinterinhalkaisija on 32 senttimetriä.
CFRP	Carbon fiber reinforced polymer. Hiilikuitu luji-tettua polymeria.
R1	Kiertokankiverstaan automaattilinjan robotti nu-mero 1.
R2	Kiertokankiverstaan automaattilinjan robotti nu-mero 2.
Puskuri	Kappaleiden varastotila automaattiosolussa.
MACS	Monitoring and Control System. Valvonta- ja ohjausjärjestelmä.
Operaattori	Työntekijä, joka työskentelee robottien kanssa.
X	Tarkoittaa kustannushintoja, jotka ovat salassa pidettäviä tietoja.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan moduulitehtaan kiertokankiverstaalle, joka toimii työn toimeksiantajana. Kiertokankiverstas koostuu kahdesta osasta, jotka ovat koneistus ja osakokoonpano. Koneistuspuolella kiertokankia koneistetaan ja viimeistellään valmiiksi tuotteiksi. Osakokoonpanopuolella kiertokangista ja männistä kasataan mäntäkokoonpanoja, jotka lähetetään moottorin kokoonpanolinjalle.

Työn alkuperäinen tausta liittyy kiertokankien tuotantolaitoksen automaattilinjaan. Helmikuussa 2016 W32/34-kiertokankien tuotantolinja uudistettiin täysin. Vanhan manuaalisen tuotantolinjan tilalle rakennettiin uusi automaattilinja, jossa kappaleita käsittelee ja palvelee viisi Fanucin robottia. Automaattilinjalta löytyvät myös pesukone, puhalluskone ja mittauskone. Automaattilinja ei ole täysin automatisoitu, sillä W32/34-kiertokankien alaosat kasataan ja kiristetään hydraulisesti koneistusprosessia varten vielä manuaalisesti. W31-kiertokankia ladataan manuaalisesti eri asemalla. Kahden vuoden aikana automaattilinjan kehitystä on viety eteenpäin ja tulevaisuutta ajatellen alettiin pohtimaan, onko manuaalivaihetta mahdollista automatisoida.

Tavoitteena opinnäytetyölle oli tutkia ja perehtyä erilaisiin kiristysmenetelmiin sekä kiristysratkaisuihin, jotka soveltuvat nykyisen liitoksen kiristämiseen. Tulevaisuutta ajatellen työn taka-ajatuksena oli käsityövaiheen automatisointi. Tavoitteena oli löytää turvallinen ja oikea ratkaisu ongelmaan sekä saada vähintään yhtä hyvä laatu kuin nykyisellä menetelmällä manuaalisesti tehtynä.

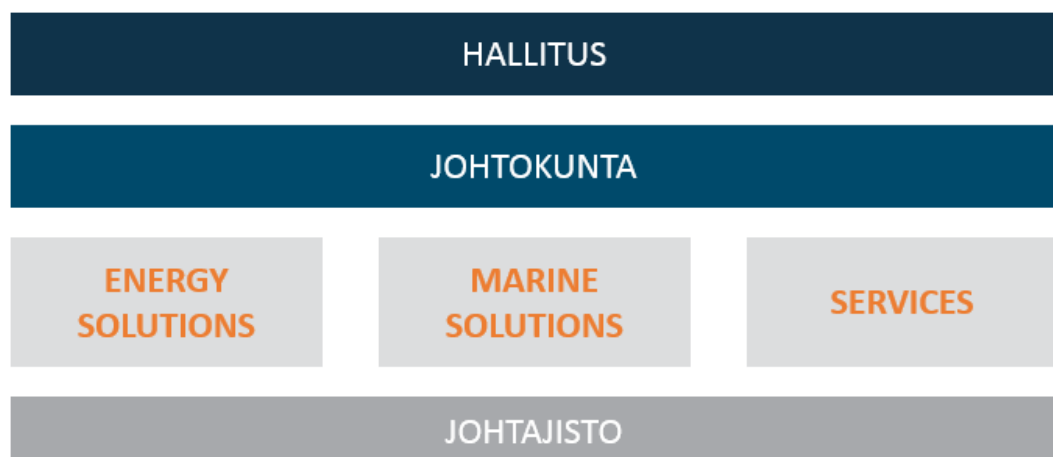
Työ rajattiin ainoastaan kiertokankiverstaalla W32/34- ja W31-kiertokankien kiristystä koneistusprosessia varten.

2 WÄRTSILÄ

Wärtsilä on pörssiyhtiö sekä kansainvälisesti asiantunteva älykkään teknologian ja kokonaislinkaariratkaisujen toimittaja merenkulku- ja energiamarkkinoilla. Wärtsilä pyrkii maksimoimaan voimalaitosten ja alusten taloudellisuuden ja ympäristötehokkuuden keskittymällä kokonaisyhteyksiin, data-analytiikkaan ja kestäviin innovaatioihin. Päätuotteita ovat diesel-, sähkö-, biokaasu-, ja kaksoispolttoainemoottorit sekä biopolttoainevoimalat. /1/

2.1 Organisaatio ja johto

Wärtsilän johto koostuu hallituksesta, johtokunnasta ja johtajistosta (**Kuva 1**). Organisaatio jaetaan kolmeen eri yksikköön: Marine Solutions, Energy Solutions ja Services. /2/



Kuva 1. Wärtsilän johto ja organisaatio /2/.

2.1.1 Marine Solutions

Marine Solutionsin toiminta-alue sijoittuu meri-, öljy- ja kaasuteollisuuteen, jonka tavoitteena on tukea liiketoimintaa tarjoamalla optimoituja, ympäristöystävällisiä ja taloudellisesti järkeviä ratkaisuja. Merenkulku segmenttejä ovat kauppalaivat, offshore (porausalukset ja porauslautat), matkustajalaivat, erikoisalukset ja merivoimat. Wärtsilä Marine Solutionsin tarjontaan kuuluu 4-tahtimoottorit, 4-

tahtiapumootorit, propulsiojärjestelmät, öljy- ja kaasujärjestelmät, pumput ja venttiilit sekä ympäristöratkaisut ja laivasuunnittelu. /3/

Vuonna 2015 Wärtsilän uusiin Wärtsilä 31-moottori pääsi Guinnessin ennätyskirjaan maailman tehokkaimpana nelitahtimoottorina. Wärtsilä 31 on tiivistettynä kaikkien aikojen helppokäyttöisin, monipuolisin ja polttoainetehokkain moottori (Kuva 2.). /4/



Kuva 2. Wärtsilän W31-moottori /5/.

2.1.2 Energy Solutions

Energy Solutionsin tehtävänä on tarjota asiakkailleen joustavat, tehokkaat ja ympäristömyönteiset energiaratkaisut. Tarjontaan sisältyy monipuolisia polttomootorikäyttöisiä voimalaitoksia, energian varastointijärjestelmiä, laitosmittakaavan aurinkovoimaloita ja nesteytetyn maakaasun terminaali- ja jakelujärjestelmiä. Kolme tärkeintä segmenttiä ovat teollisuusasiakkaat, sähkölaitokset ja itsenäiset voimantuottajat. /6/

2.1.3 Services

Services tarjoaa asiakkailleen luotettavaa suorituskykyä optimoimalla laitteiston suorituskyvyn ja parantamalla ympäristötehokkuutta. Servicen palveluvalikoimaan kuuluvat elinkaariratkaisut, Wärtsilä Genius-palvelut, Eniram-palvelut, huoltoprojektit, moottorihuolto, turboahdinpalvelut, potkurihuolto, ympäristöpalvelut, tiiviste- ja laakerihuolto sekä vesivoima- ja teollisuushuolto. /7/

2.2 Wärtsilän historia

Wärtsilä perustettiin vuonna 1834 Tohmajärven Wärtsilän kylään saatuaan läänin maaherralta oikeuden Sahan rakentamiselle. Parin vuoden päästä Sahan omistus siirtyi kiteeläisen teollisuusmiehen Nils Ludvig Arppen omistukseen. Vuonna 1851 Sahan tilalle Arppe rakennutti Wärtsilän rautatehtaan. Arppen menehdyttyä Saha vaihtoi omistajaansa ja saha-ruukkiyrityksen uudeksi nimeksi tuli vuonna 1898 Wärtsilä Ab. Vuonna 1907 syntyi uusi yritys nimeltään Ab Wärtsilä Oy. /8/

2.3 Wärtsilä Suomessa

Wärtsilän suurimpaan tytäryhtiöön kuuluu Wärtsilä Finland Oy. Suomessa Wärtsilä työllistää noin 3600 työntekijää, jotka koostuvat 50 eri kansalaisuudesta. Suomessa Wärtsilällä on kolme toimipistettä: Turussa, Helsingissä ja Vaasassa. Vaasan tehtaalla valmistetaan W20-, W31-, ja W32/34-meri- ja voimalaitosmoottoreita. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Helsingissä. /9/

3 LÄHTÖTILANTEEN KUVAUS JA TARVEANALYYSI

Luvussa käsitellään kokonaisuudessaan lähtötilannetta, jossa kerrotaan yleisesti kiertokangesta, kiertokangen rakenteesta ja toimintaperiaatteesta. Lisäksi tarkastellaan nykyistä työpistettä ja työpisteen vaihteita. Luvun lopussa kerrotaan vielä nykyisestä kiristysmenetelmästä ja sen haasteista automatisoinnin kannalta.

3.1 Kiertokanki

3.1.1 Yleistä

Moottorin sisältä löytyy paljon erilaisia komponentteja ja jokaisella komponentilla on oma tehtävänsä. Mitä suurempi moottori on, sitä suuremmat voimat ja isommat komponentit ovat kyseessä. Kiertokanki on mäntämoottorin tärkein komponentti (**Kuva 3.**), joka yhdistää männän kampiakseliin. Kiertokangen tärkeimpänä tehtävänä on muuttaa männän lineaarisen liikkeen kampiakselin pyöriväksi liikkeeksi.

Kiertokankien vaatimuksina on kevyt paino ja korkea kestävyys, joten niitä valmistetaan seuraavista materiaaleista:

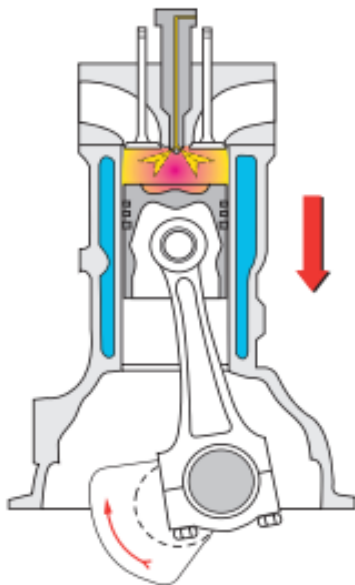
- mikroseostettu teräs
- sintrattu metalli
- korkealuokkainen alumiini
- CFRP ja titaani (tehokkaita moottoreita varten). /10/



Kuva 3. Kiertokanki /10/.

3.1.2 Toimintaperiaate

Kiertokanki on männän ja kampiakselin välissä oleva olennainen osa, jonka tehtävänä on siirtää voimaa. Dieselmoottorissa kiertokangen edestakainen liike syntyy (Kuva 4.), kun polttoneste ruiskutetaan isolla paineella sylinteriin. Sylinterissä polttoneste sekoittuu ilmaan, jolloin syntynyt esiseos syttyy ja tapahtuu nopea palaminen. Palamisen seurauksena sylinterin sisällä seos laajenee voimakkaasti ja paine kohoaa äkillisesti. Paine vaikuttaa sylinterissä tasaisesti joka suuntaan. Näin ollen mäntään kohdistunut voima pakottaa männän ja männäntapin välityksellä kiertokangen liikkumaan alaspäin. Kiertokangen suuntainen voima vaikuttaa kampiakselin kampeen, synnyttäen vääntömomentin, joka saa kampiakselin pyörimään. Voima on välittynyt eteenpäin ja tämän jälkeen alkaa uusi kierros. Edellä mainittua prosessia kutsutaan työtahdiksi. /11/



Kuva 4. Kiertokanki dieselmoottorissa /11/.

3.1.3 Rakenne

Kiertokangen täytyy kestää suuria voimia moottorissa, joten materiaalit joudutaan valitsemaan vaatimusten mukaisesti. Rasiustaso on erittäin korkea, sillä kiertokanki kuormittuu sekä vedolle, puristukselle että taivutukselle. Kiertokanget eivät kuulu moottorin kuluviin osiin, mutta siitä huolimatta niissä esiintyy vaurioita, kuten pysyviä muodonmuutoksia ja säröjä. Tavallinen yksinkertainen taipuma on saattanut syntyä lievän leikkaantumisen seurauksena. /11/

Kiertokangessa on kaksi silmukkaa, yksi silmukka kiertokangen molemmissa päissä. Pienemmästä silmukasta menee männäntappi läpi, joka pitää männän kiertokangessa kiinni ja isommasta silmukasta menee kampiakseli läpi. Molemmissa silmukoissa on laakerit, jotka estävät laakeripintojen nopean kulumisen.

3.1.4 W32/34- ja W31-kiertokanki

W32/34- ja W31-moottorin kiertokanget valmistetaan 42CrMo4-teräseoksesta. 42CrMo4 on kromi- ja molybdeeniseosteinen nuorrutusteräs, joka soveltuu suurille ja keskisuurille kappaleille. Teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin kuuluu lujuus ja sitkeys ja sitä voidaan käyttää nitraukseen ja induktiokarkaisuun (**Kuva 5.**). Terästä käytetään yleensä ajoneuvoteollisuudessa ja koneenrakennuksessa. /12/

Tuotteen halkaisija, d [mm]	Myötöraja, R _e min [N/mm ²]	Murtolujuus, R _m [N/mm ²]	Murtovenymä, A min [%]	Murtokouruma, Z min [%]	Iskusitkeys, KV min [J]
d ≤ 16	900	1100...1300	10	40	30
16 < d ≤ 40	750	1000...1200	11	45	35
40 < d ≤ 100	650	900...1100	12	50	35
100 < d ≤ 160	550	800...950	13	50	35
160 < d ≤ 250	500	750...900	14	55	35
250 < d ≤ 500	460	690...840	L: 15, T: 13, Q: 11	-	DVM, L: 38
500 < d ≤ 750	390	590...740	L: 16, T: 14, Q: 12	-	DVM, L: 38

Kuva 5. 42CrMo4-teräseoksen mekaaniset ominaisuudet /12/.

W32/34- ja W31-kiertokankikokoonpano koostuu kolmesta eri osasta: varsiosasta, välisosasta ja kansiosasta. Tekstissä käytetään kiertokangen alaosa nimitystä ja sillä tarkoitetaan väliosan ja kansiosan kokoonpanoa.

W32/34-kiertokankikokoonpanon (**Kuva 6.**) alaosat kiristetään toisiinsa neljällä pitkällä vaarnaruuvilla ja varsiosa kiristetään alaosakokoonpanoon neljällä lyhyellä vaarnaruuvilla. W31-kiertokankikokoonpanon (**Kuva 7.**) alaosat kiristetään toisiinsa neljällä pitkällä vaarnaruuvilla ja varsiosa kiristetään alaosakokoonpanoon neljällä lyhyellä vaarnaruuvilla. Kiertokankikokoonpanot ovat melkein yhtä pitkiä.



Kuva 6. W32/34- kiertokankikokoonpano.



Kuva 7. W31-kiertokankikokoonpano.

3.2 Manuaaliasema

Manuaaliasema on työpiste, jossa suoritetaan manuaalisesti alaosien hydraulinen kiristys ja purku koneistusprosessia varten. Manuaaliasema on tarkennettuna pyörityslaite (**Kuva 8.**), jossa on kaksi eri puolta: operaattorin puoli ja robotin puoli. Kummallekin puolelle mahtuu yksi alaosakokoonpano. Järjestelmä ohjaa ja kääntää automaattisesti molempia puolia. Tarvittaessa puolia voidaan ohjata manuaalisesti tietokoneelta.

Tämä työpiste on automaattilinjan ainoa manuaalisesti tehtävä käsityövaihe. Työvaihe jaetaan selkeästi kahteen eri vaiheeseen: kiertokangen alaosakokoonpanon kasaukseen ja purkuun. Vaiheiden välissä robotit hoitavat kappaleiden käsittelyn.



Kuva 8. Automaattilinjan manuaaliasema.

3.2.1 Alaosakokoonpanon kasausvaihe

Alaosakokoonpanon kasausvaiheella tarkoitetaan kansiosan, väliosan ja juuripalan kokoonpanemista ja kiristystä. Juuripala on osa, joka simuloi varsiosaa automaattilinjassa. Kansiosa ja väliosia kiristetään yhteen neljällä pitkällä vaarnaruuvilla. Juuripala ja väliosia kiristetään yhteen neljällä lyhyellä vaarnaruuvilla (**Kuva 9**).

Ennen kasausvaihetta kansiosa ja väliosia ovat olleet työstökeskuksessa koneistettavana, johon on kuulunut useita rouhintavaiheita. Koneistuksen jälkeen hyllystöhissi on noutanut alaosat ja tuonut takaisin automaattilinjaan. Siitä eteenpäin R1 ja R2 ovat hoitaneet alaosien siirtoja pesu- ja mittauskoneelle. Mittausten jälkeen R2

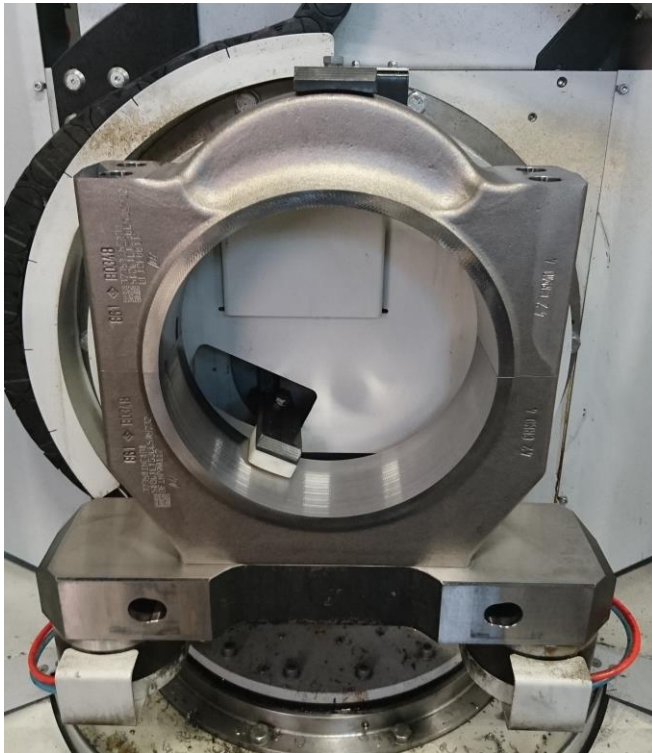
vie alaosat ja kasaa ne manuaaliasemalla (**Kuva 10.**), jos siellä on entuudestaan tilaa. Muuten alaosat viedään puskuriin odottamaan puolen vapautumista.

Ensimmäisenä tarkistetaan, että reikiin ei ole jäänyt koneistuksesta lastuja tai muita ylimääräisiä epäpuhtauksia. Tämän jälkeen tarkistetaan pultinreikien kierteiden laatu sekä oikea syvyys. Tarkistuksen jälkeen neljä pitkää vaarnaruuvia asetetaan reikiin, tehdään esikiristys ja kierretään mutterit alustaan saakka. Seuraavaksi tehdään lopullinen kiristys hydraulisilla tunkeilla, jonka jälkeen juuripala käännetään ylöspäin ja toteutetaan sama työvaihe. Kiristyksestä kerrotaan lisää yksityiskohdaisesti ”Nykyinen kiristysmenetelmä” -osiossa.

Kun alaosakokoonpano on kiristetty vaarnaruuveilla molemmilta puolilta, voidaan tietokoneen järjestelmään kuitata, että kasausvaiheen tehtävät on suoritettu.



Kuva 9. Pitkä ja lyhyt vaarnaruuvi.



Kuva 10. Alaosakokoonpano ennen kasausvaihetta.

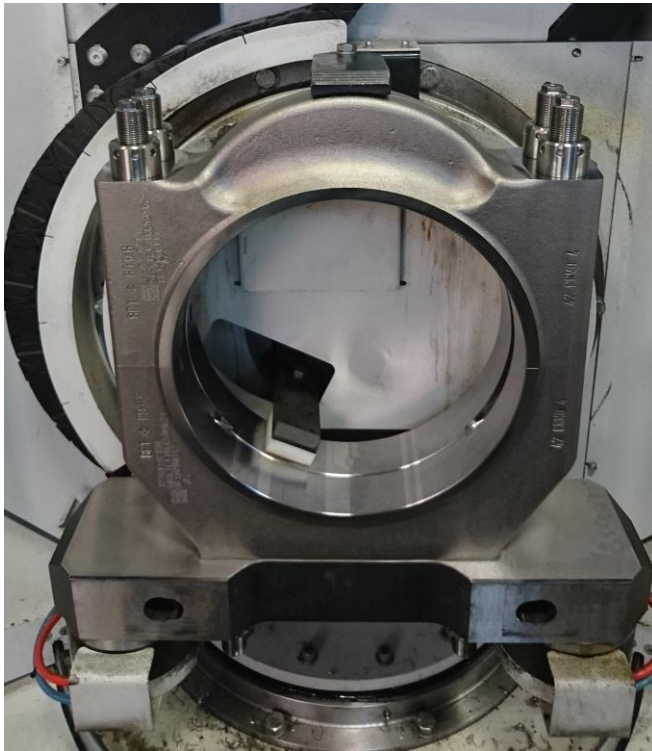
3.2.2 Alaosakokoonpanon purkuvaihe

Nimensä mukaisesti, purkuvaiheessa tehdään vastakkaisella tavalla mitä kasausvaiheessa. Tällöin poistetaan vaarnaruuvit ja puretaan kokoonpano. Alaosakokoonpano on ollut työstökeskuksella, jossa laakeripesä on hienokoneistettu. Hienokoneistuksen jälkeen hyllystöhissi on noutanut alaosakokoonpanon ja tuonut sen takaisin automaattilinjaan.

Siitä eteenpäin R1 ja R2 ovat hoitaneet alaosakokoonpanon käsittelyprosesseja, joita ovat muun muassa pesu, kuivaus ja mittaus. Käsittelyprosessien jälkeen R2 tuo alaosakokoonpanon manuaaliasemalle (**Kuva 11.**), jos siellä on entuudestaan tilaa. Muuten alaosakokoonpano viedään puskuriin odottamaan, jotta paikka vapautuisi.

Vaihe aloitetaan asettamalla hydrauliset tunkit paikalleen, jonka jälkeen mutterit avataan paineen avulla. Seuraavaksi poistetaan vaarnaruuvit ja käännetään juuripala ylöspäin ja toteutetaan sama työvaihe.

Kun alaosakokoonpanon molemmilta puolilta on poistettu vaarnaruuvit, voidaan tietokoneelta kuitata järjestelmään purkuvaiheen tehtävät suoritetuksi.

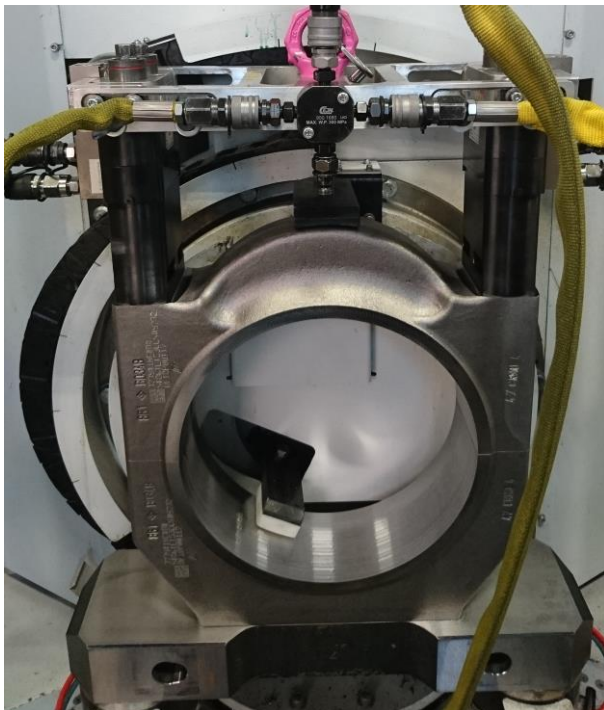


Kuva 11. Alaosakokoonpano ennen purkuvaihetta.

3.3 Nykyinen kiristysmenetelmä

Nykyinen kiristysmenetelmä on ollut käytössä Wärtsilässä lähes 30 vuotta. Kiristysmenetelmänä on pulttien tai ruuvien hydraulinen venyttäminen, joka on nykyään suosituin menetelmä isojen kriittisten liitosten kiristyksessä. Tämä menetelmä on käytössä monilla teollisuudenaloilla, kuten meri-, sähkö- ja tuulienergian tuotannossa. Nimensä mukaisesti kiristys tapahtuu, kun vaarnaruuvit venytetään hydraulisen tehon avulla, jonka tuloksena saadaan kiristysvoima.

Nykyisessä kiristysmenetelmässä venytetään neljä vaarnaruuvia yhtäaikaaisesti. Venytys toteutetaan kahdella hydraulitunkilla, jotka ovat telakassa kiinni (**Kuva 12.**). Hydraulitunkkeihin on kiinnitetty letkuja ja erilaisia liittimiä, jotka johtavat hydraulikkokoneikkoon (**Kuva 13.**). Koneikko koostuu pumpusta ja pumpun voimakoneesta, joka tässä tilanteessa on sähkömoottori. Hydraulikkokoneikon avulla tuotetaan hydraulinen teho. Hydraulinen teho saadaan nesteen tilavuusvirrasta ja paineesta.



Kuva 12. Telakka, jossa on kiinni kaksi hydraulitunkkia.



Kuva 13. Hydraulikkakoneikko.

Kasausvaiheessa hydraulitunkit asetetaan alaosakoonpanon päälle vasta sitten, kun vaarnaruuvit ja mutterit on asetettu paikoilleen ja esikiristetty käsin pneumaattisella mutterinvääntimellä. Tunkit kiristetään mutterinvääntimellä vaarnaruuveihin, jonka jälkeen painet laitetaan päälle säätimestä (**Kuva 14.**). Muutamana sekunnin kuluessa pumppu on pumpannut tarpeeksi painetta hydraulitunkkeihin. Kun hydraulisen tehon avulla on tapahtunut vaarnaruuvien venyminen, voidaan mutterit kiristää alustaan. Tämän jälkeen säätimestä poistetaan paine ja irrotetaan hydraulitunkit alaosakoonpanosta. Tämä hydraulinen kiristysprosessi toistetaan myös alaosakoonpanon toiselle puolelle.

Hyvänä asiana tässä hydraulikkakoneikossa on automaattinen paineen ylläpito. Tämä tarkoittaa sitä, jos paine alkaa tippumaan, niin järjestelmä huomaa sen ja pumppu alkaa automaattisesti pumppaamaan lisää painetta.

Purkuvaiheessa hydraulitunkit asetetaan alaosakokoonpanon päälle ja tehdään esikiristys mutterinvääntimellä. Koska kyseessä on vaarnaruuvien löysäminen ja poistaminen alaosakokoonpanosta, niin hydraulitunkkeja ei kiristetä alustaan asti, vaan jätetään kierroksen verran alustasta tilaa muttereiden avaamista varten. Tämän jälkeen paineet laitetaan päälle säätimestä, odotetaan muutama sekunti, jonka jälkeen muttereita voidaan löysätä muutama kierros. Löysäämisen jälkeen poistetaan paineet säätimestä ja irrotetaan hydraulitunkit alaosakokoonpanosta. Tämä hydraulinen löysäysprosessi toistetaan myös alaosakokoonpanon toiselle puolelle.



Kuva 14. Hydraulikkakoneikon säädin.

3.3.1 Nykyisen kiristysmenetelmän hyvät ja huonot puolet

Nykyisessä kiristysmenetelmässä on paljon hyviä puolia. Menetelmä on valikoitunut käyttöön tarkkuuden ja toimivuuden takia. Kun kyseessä on isot komponentit ja kiristykseen tarvitaan suuret voimat, menetelmällä on päästy tavoiteltuun kiristysvoimaan suhteellisen edullisilla työkaluilla. Yhteenvetona hyviä puolia hydraulisessa kiristyksessä ovat tarkkuus ja edullinen hinta hydraulisille työkaluille.

Nykyisen kiristysmenetelmän huonona puolena on voiman häviäminen. Hydraulisessa kiristyksessä noin kolmannes hydraulisen työkalun tuottamasta voimasta menee hukkaan. Tämän takia ruuvi pystyy hyödyntämään ainoastaan noin 66 % sen myötörajasta. /19/

3.3.2 Nykyisen kiristysmenetelmän automatisoinnin haasteet

Nykyinen kiristysmenetelmä toteutetaan manuaalisesti käsityövaiheena. Kiristysmenetelmä on tähän asti toiminut hyvin ilman suurempia ongelmia. Automatisoinnin kannalta nykyisessä kiristysmenetelmässä haasteena on kiristettävän mutterin paikoitus ja kiertäminen venytyksen jälkeen.

Isona haasteena ilmenee venytettävän työkalun anturointi, jonka avulla tarvittava informaatio saadaan välitettyä robotille. Ilman venytettävän työkalun anturointia, ei tavoiteltuun loppu kiristykseen päästä eikä kiristystapahtumasta saada dataa. Anturoinnin avulla pystytään mittaamaan pulttien venyminen, kiristysvoima sekä puristusvoima.

4 AUTOMAATIO

Maailmassa robotiikka ja automaatio lisääntyvät jatkuvasti hurjaa vauhtia ja näin ollen työvaiheita halutaan korvata koneilla. Vielä nykyään on olemassa sellaisia työvaiheita, jossa ihminen on parempi vaihtoehto kuin automaattisesti toimiva kone. Luvussa käsitellään automaation teoreettista taustaa. Käsiteltäviä asioita ovat muun muassa automaation yleinen määritelmä, teollisuusautomaatio, automatisoinnin hyödyt ja haitat sekä automatisoinnin hankinnan perusteet.

4.1 Automaation määritelmä

Automaatilla tarkoitetaan laitetta tai konetta, joka pystyy liikkumaan itsenäisesti ilman näkyvää ohjausta ja pystyy suorittamaan tietyn tehtävän. Sen lisäksi, että laite tai kone pystyy toimimaan itsenäisesti, myös ihminen voi käynnistää ja ohjata sitä. Automatisoidussa tuotannossa on tyypillistä automaattinen valvonta ja säätely. /13/

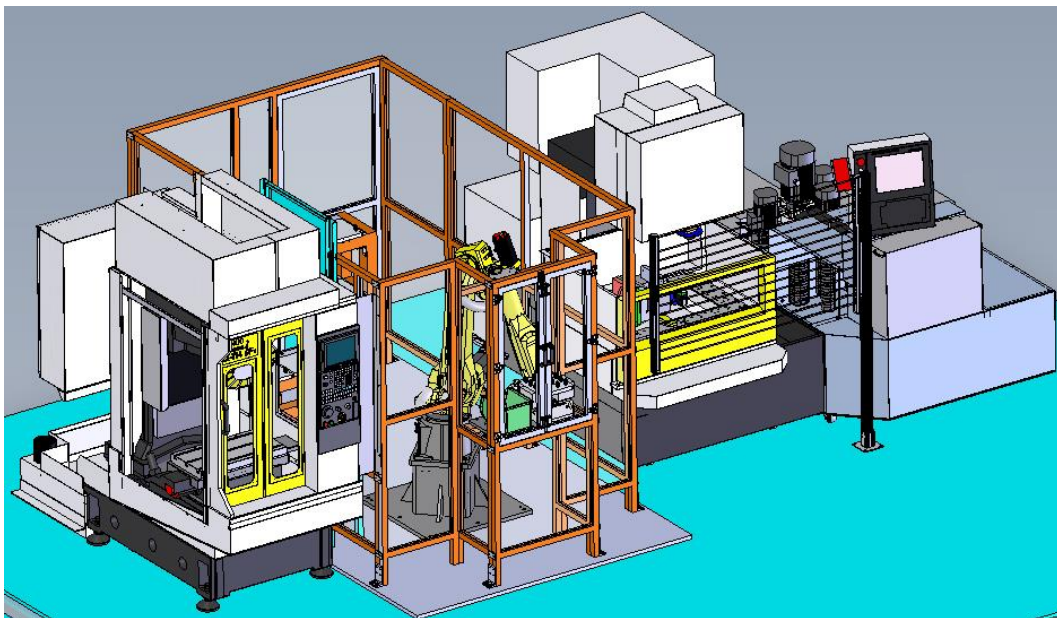
Suomalaiset yritykset ovat keskittyneet omien tuotantoprosessien kehittämiseen, joka näkyy automaation lisääntymisenä viime vuosien aikana. Suursarjatuotannossa tuottavuus on kehittynyt ja kasvanut automaation myötä. Automaatio soveltuu kaikista parhaiten samanlaisten toistuvien vaiheiden suorittamiseen. ja nimenomaan tästä syystä automaatiosta on enemmän hyötyä suursarjatuotannossa kuin piensarjatuotannossa. /13/

4.2 Teollisuusautomaatio

Teollisuusautomaatio on termi, joka lyhyesti ilmaistuna tarkoittaa teollisuudessa tai teollisuuslaitoksissa käytössä sovellettua automaatiota. Toisin sanoen, teollisuusautomaatio on teollisuuslaitosten automatisointiin käytetty tekniikka, joka koostuu erilaisista laitteista kuten toimilaitteista, mittalaitteista, tietokonepohjaisista automaatiojärjestelmistä sekä ohjelmistoista (**Kuva 15.**). Näihin sisältyy erilaisia menetelmiä, joita ovat säätötekniikka, visualisointi, vikadiagnostiikka sekä loogiset operaatiot ja looginen päättely. /14/

Teollisuusautomaatio on iso kokonaisuus, joka voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan: prosessiautomaatioon ja kappaletavara-automaatioon. Prosessiautomaatiolla tarkoitetaan tekniikkaa, joka on erikoistunut virtaavien aineiden käsittelyyn. Nimensä mukaisesti virtaavilla aineilla tarkoitetaan kaasuja, nesteitä, lietteitä sekä jauheita. Tällä tekniikalla voidaan mitata muun muassa lämpötilaa, painetta, pinnan korkeutta, virtausnopeutta tai jotakin muuta suuretta. Kappaletavara-automaatiolla tarkoitetaan tekniikkaa, joka on erikoistunut kappaletavaran käsittelyyn ja valmistukseen. Monissa teollisuuslaitoksissa on käytössä sekä kappaletavara-automaatio, että prosessiautomaatio. /14/

Opinnäytetyössä taka-ajatuksena on manuaalisen työn korvaaminen automaatiolla. Kyseessä on koneistusprosessia varten valmistettavien kappaleiden kokoonpano ja kiristys. Koneistuksen jälkeen valmistettavat kappaleet löysätään ja puretaan. Kappaleiden kokoonpano- ja purkuprosessi kuuluu kappaletavara-automaatioon, koska se liittyy kappaletavaran valmistukseen ja käsittelyyn.



Kuva 15. Malli automaatiolosolusta teollisuudessa /15/.

4.3 Automatisoinnin hyötyjä ja haittoja

Tuotantoautomaatio perustuu tietotekniikan ja ohjaustekniikan väliseen vuorovai-
kutukseen. Automaation suurin hyöty on säästää työtä, mutta sitä käytetään myös
energian ja materiaalien säästämiseksi sekä työn laatua, tarkkuutta ja täsmällisyy-
ttä parantaessa. Kun halutaan parantaa laatua tai tuottavuutta, suositellaan hankki-
maan automaatiotoimintoja niihin työvaiheisiin, joissa halutaan lyhentää prosessin
aikaa. Automaatiotoimintoja suositellaan myös niihin työvaiheisiin, joissa tarvi-
taan erittäin suurta tarkkuutta. Parhaiten automaatio soveltuu valmistus- ja ko-
koonpanotehtäviin. /13/

Automatisoinnilla halutaan tuotannossa korvata yksitoikkoiset, fyysisesti raskaat,
vaaralliset, tarkkuutta ja nopeutta vaativat työvaiheet, jotka eivät sovellu ihmisten
tehtäväksi. Tässä välissä on hyvä mainita myös automatisoinnin haittoja, joita
ovat investointivaiheessa korkeat kustannukset ja jatkossa huolloista ja kunnossa-
pidosta aiheutuvat kulut. Automatisoinnista johtuen haittana voidaan nähdä työn-
tekijän työnkuvan muuttuminen tai työttömäksi joutuminen, koneen syrjäyttäessä
ihmisen aiemmin manuaalisesti tekemä työ. /13/

Automatisoitua tuotantoa voidaan muunnella ja kehittää sen hetkisten vaatimusten
ja tarpeiden mukaiseksi. Yhteenvetona voidaan todeta se, että tehtävien automati-
soinnilla saavutetaan paljon hyötyjä, kuten tuotannon nopeutuminen, tuotanto-
määrien kasvu, korkea laatu sekä paremmat lopputulokset. /13/

4.4 Automatisoinnin hankinnan perusteet

Alkuvaiheessa on hyvä löytää ja punnita automatisoinnin etuja ja haittoja keske-
nään, jotta vältytään turhilta yllätyksiltä ja taataan se, että toteuttaminen on var-
masti kannattavaa. Vaikka tiedetään, että nykypäivänä automatisoinnilla voidaan
saavuttaa paljon, ei se välttämättä silti ole aina kannattavaa.

On olemassa vielä paljon sellaisia tehtäviä ja asioita, joita teknologia ei yksinker-
taisesti kykene tekemään ja, joissa ihmiset ovat vielä ylivoimaisia. Hyvänä esi-
merkkinä ovat sellaiset tehtävät, joissa tarkastellaan ja valvotaan tehdyn työn laa-

tua. Tällaisten toimintojen automatisointi kannattaa suosiosta jättää väliin. On hyvä muistaa, että automaation selkein hyöty on toiminnan toistettavuudessa. Toimintoja voidaan toistaa monia kertoja ilman, että ihminen siitä kärsii.

Tärkeää on myös suorittaa kannattavuus- ja investointilaskelmia. Niiden avulla päästään lähemmäksi totuutta siitä, onko automaation hankinta taloudellisesti kannattavaa. Aiempien kokemusten perusteella voidaan tehdä yhä tarkempia arviointeja automatisoinnin kuluista. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että ennen prosessin automatisointia on hyvä laatia suunnitelma, jonka jälkeen on hyvä pohdita asioita eri näkökulmista.

5 KIRISTYSTEKNIikka

Kiristyksessä on tavoitteena saada oikea puristusvoima liitokseen, jotta kiristyksestä tulee toimiva ja kunnollinen. Kappaleiden välisen puristusvoiman saavuttamiseen löytyy käytännössä kaksi vaihtoehtoista menetelmää: kiristys venyttämällä ja kiristys kiertämällä /19/. Näiden menetelmien toiminnan ymmärtäminen on hyvin tärkeää. Ensiksi on kuitenkin hyvä sisäistää, mistä kiristystekniikassa on kyse, kun halutaan löytää oikea kiristysratkaisu erityisten tarpeiden täyttämiseksi.

5.1 Ruuvi- ja pulttiliitos

5.1.1 Perustietoa

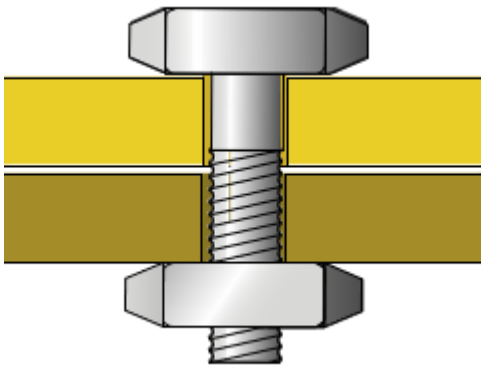
Ruuvi- ja pulttiliitos on yksi tärkeimmistä ja yleisimmistä kiristysmenetelmistä konepaja- ja kokoonpanoteollisuudessa. Ruuviliitos on irrotettavissa oleva liitos, joka on helppo kasata ja purkaa. Liitoksen tarkoituksena on liittää kaksi tai useampi osa yhteen (**Kuva 16.**). Ruuviliitoksen on sidottava toisiinsa liitettävät osat tai komponentit niin suurella puristuksella toisiaan vasten, etteivät ne pääse siirtymään toisiinsa nähden oli kuormitus kuinka kova tahansa. Näin ollen ruuvit eivät saa joutua leikkauskuormituksen alaiseksi. /16–18/

Jos ruuvissa on oikea esijännitys, ruuvi ei kuormitu vaihtelevasta kuormituksesta kuin vain murto-osalla tämän kuormituksen suuruudesta. Paras mahdollinen väsymiskestävyys saavutetaan käyttämällä mahdollisimman jäykkiä, toisiinsa ruuvilla kiinnitettäviä rakenteita sekä joustaviksi muotoiltuja venymäruuveja, jotka ovat luokkaa 8.8 tai 12.9, optimaalisella esikiristyksellä. Suomessa suositellaan käyttämään 8.8 ja 10.9 lujuusluokan ruuveja, koska ne kestävät parhaiten ja kuuluvat eniten käytössä olevaan lujuusluokkaan. /16/

Suuret jännitykset ruuveissa ovat samalla paras varmistus liitosten elämistä sekä ruuvien löystymistä vastaan. Käytön aikana liitospintojen muokkautuminen jatkuu eli liitosten pinnoissa tapahtuu niin sanotusti tasoittuminen. Nyrkkisääntönä voidaan laskea asennus-esikiristysvoiman pienenevän 10–20 % liitoksessa, jossa on käytössä 8.8 lujuusluokan ruuveja lämpötilan ollessa maksimissaan 100 °C:ssa.

Edellinen asia pätee ainoastaan, kun liitettävien metalliosien vetolujuus on vähintään 300 N/mm^2 . /16/

Ruuvien kannan ja mutterin alla vaikuttava pintapaine ei saa ylittää aineen puristusmyötörajaa, joka vastaa vähintään 0,2-rajaa tai vetomyötörajaa. Siinä tilanteessa joudutaan käyttämään tarvittaessa suuria aluslaattoja tai laipparuuveja. Neljän ruuvien kiinnitystapa laippakiinnityksessä on paljon parempi vaihtoehto kuin kiinnitys kolmella ruuvilla. Yhden ruuvien murtuminen jälkimmäisessä rakenteessa voi jopa aiheuttaa koko kiinnityksen pettämisen. /16/



Kuva 16. Tavallinen ruuviliitos /20/.

5.1.2 Ruuvien lujuusluokat

Ruuvien lujuusluokkamerkinneissä käytetään kahta lukua, jotka erotetaan yleensä pisteellä. Ensimmäinen luku ilmoittaa aineen vähimmäisvetomurtolujuuden (N/mm^2) jaettuna sadalla. Toinen luku ilmoittaa kymmenkertaisena myötörajan tai (0,2-rajan) suhteen murtolujuuteen. /16/

Murtolujuudella tarkoitetaan ruuvien lujuuden raja-arvoa, jonka ylittäessä ruuvi murtuu. Murtolujuuden raja-arvoja on hyvä tarkastella, jotta tiedetään missä kohdassa ruuvi rikkoutuu. Myötörajalla tarkoitetaan ruuvien lujuuden raja-arvoa, jonka ylittäessä ruuvissa tapahtuu muodonmuutoksia. Jännityksen loputtua ruuvi ei pala enää samaan muotoon, missä se oli alun perin. /16/

Alla on hyvä esimerkki siitä, miten ruuvien murtolujuus ja myötöraja saadaan lasketta, kun tiedetään ruuvien lujuusluokka. Alla olevasta (**Taulukko 1.**) voidaan huomata, että laskut pitävät paikkansa. /16/

Lujuusluokka 8.8:

$$\text{Murtolujuus } 8 * 100 = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Myötöraja } 0,8 * 800 = 640 \text{ N/mm}^2$$

Taulukko 1. Ruuvien myötörajan ja murtolujuuden nimellisarvot /16/.

Ruuvien lujuusluokka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
Myötöraja (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
Murtolujuus (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

5.1.3 Ruuvien kiristysmomentti

Ruuvien kiristämistä vastustaa kolme asiaa, jotka ovat kierrekitkamomentti, nousuvastusmomentti sekä kantakitkamomentti. Kiristyksessä kierrettävä osa (mutteri tai ruuvi) puristaa reiän kantaa aksiaalivoimalla. Tämä pintapaineesta muodostunut voima vaikuttaa usein ruuvien tai mutterin kantopinnan keskisäteellä. Esikiristykseen tarvittava keskimääräinen kokonaismomentti saadaan yhdistämällä kierrekitkamomentti, nousuvastusmomentti ja kantakitkamomentti. /22/

Vääntömomentin jakauma riippuu yleensä pitkälti kitkan vaikutuksesta. Ainoastaan 10 % kiristysmomentista käytetään esijännityksen tuottamiseen ja loput 90 % menetetään kitkaan (**Kuva 17.**). Tässä on hyvä esimerkki kuinka paljon kitka vai-

kuttaa prosentuaalisesti käytettyyn momenttiin ja kiristysvoiman tuottamiseen. Kun kitkakerroin on 0.1, niin kiristysvoiman tuottamiseen käytetään noin 17 % momentista, kun taas kitkakertoimella 0.2 momentista käytetään vain 9,5 %. Tästä johtuen kierre on hyvä voidella kierrekitkakertoimen vaihtelun pienentämiseksi ja purettavuuden varmistamiseksi myöhäisemmässä vaiheessa. Kierre on rajavoidel-



Kuva 17. Vääntömomentin jakauma ruuvin kiristyksessä /26/.

tu ja rajakerrosten pettäminen merkitsee suurta tai ääretöntä kitkakerrointa. /16/

5.2 Momentin käsite

Momentti eli voiman momentti on voiman kiertovaikutusta kuvaava suure. Momentti lasketaan seuraavasta kaavasta /21/:

$$M = F * r \quad M = \text{momentti} \quad (1)$$

F = voima

r = voiman varsi.

Voiman varrella tässä tarkoitetaan vartta, jolla voima pyrkii vääntämään esimerkiksi pulttia tai mutteria.

SI-järjestelmässä momentin yksikkö on newtonmetri (Nm), joka tässä tilanteessa ei tarkoita joulea (J). Voiman yksikkö on newton (N) ja varren pituuden yksikkö on metri (m). Yksinkertaisuudessaan yksi newtonmetri syntyy, kun väännetään yhden metrin pitkä vartta yhden newtonin voimalla. /21/

Tässä on yksinkertainen esimerkki, miten lasketaan kiristysmomentti liitoksessa:

Ruuvia kiristetään 2 m varrella, jonka päähän kohdistuu massaa 20 kg. Mikä on kiristysmomentti?

$$M = F * r$$

$$F = m * g = 20 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 196,2 \text{ N}$$

$$r = 2 \text{ m}$$

$$M = 196,2 \text{ N} * 2 \text{ m} = 392,4 \text{ Nm}$$

Tässä saatiin tulokseksi 392,4 Nm. Tuolla momentilla kiristetään kyseinen liitos.

5.3 Kiristysmenetelmät

Tarkoista menetelmistä eniten on käytössä ovat momentti- ja myötökiristys. Myös arviokiristystä käytetään edelleen laajasti sen puuttuvasta tarkkuudesta huolimatta. Momentti-, myötö- ja arviokiristyksessä voidaan käyttää käsi- tai konetyökalua, venytyskiristyksessä taas tarvitaan erilainen työkalu. Kiristuksen epätarkkuus ilmaistaan hajontakertoimella, joka on ruuvin vetovoiman maksimi- ja minimiarvon suhde, sellaisena kun se voi toteutua kiristyksessä. Menetelmien epätarkkuus johtuu eri tavoilla itse liitoksesta ja eri työkaluista. /22/

5.3.1 Momenttikiristys

Momenttikiristystä suoritetaan momenttia jatkuvasti mittaavilla työkaluilla, kuten momenttiavaimilla ja momenttiohjauksella varustetuilla ilma-, sähkö- tai neste-toimisilla kiristimillä. Kiristäessä ruuviliitosta perinteisellä momenttimittauksella, kiristysvoimassa esiintyy noin 1:2 hajontaa johtuen hajonnasta kitkakertoimessa (kanta ja kierre) sekä hajonnasta kiristysmomenteissa (käsin tai koneella). /22/

Kiristysmomentin tarkkuus ilmoitetaan sitä mittaavissa työkaluissa toleranssina (\pm) työkaluun säädettyyn momenttiin nähden. /22/

5.3.2 Myötökiristys

Myötökiristyksessä ruuvin mitoitus etenee samalla tavalla ruuvin maksimivoiman laskentaan asti. Laskennan jälkeen momentti on mukana vain työkalujen väliarvona. Myötökiristys suoritetaan työkaluilla, jotka mittaavat momenttia ja kiertokulmaa laskeakseen näistä momentin kulmaderivaatan hetkellisarvoja. Epätäsmällisen alun jälkeen momentti suurentuu likimain vakiosuhteessa kiertokulmaan. /22/

Momentin suurentuminen pysähtyy nopeasti, kun myötöraja ylittyy ruuvissa. Myötökiristys edellyttää ruuvilta riittävää venymiskykyä. Ruuvin kiristyspituuden suhde halkaisijaan ei saisi olla liian pieni, koska ruuviin jäävä, pysyvä venymä on pieni. Venymäruuveja käytettäessä toistuva käyttö on mahdollista, sillä venyminen tapahtuu kierteettömässä varressa. /22/

Momenttikiristykseen nähden myötökiristyksen olennainen etu, on suurempi toteutuva jännitystaso. Tämän ansiosta voidaan käyttää pienempiä ruuveja. Kiristystyökalu on kallis ja soveltuu vain sarjatuotanto-olosuhteisiin. Menetelmää voidaan soveltaa yksittäisiin, riittävän tasalaatuisiin liitoksiin, joiden kiristysarvot on ennalta tutkittu. Ensin suoritetaan kiristys tiettyyn momenttiin, ja sen jälkeen lisäkiristys tietyn kulman verran. /22/

5.3.3 Arviokiristys

Arviokiristys suoritetaan yleensä käsi- tai konetyökaluilla, josta puuttuu momentin mittausta. Työkaluissa voi olla momentin säätö, mutta tarkistukset on hyvä tehdä erillisellä tarkistuslaitteella. Käsillä, avaimella tapahtuvan tiukan kiristämisen oletetaan usein tapahtuvan tietyllä voimalla. /22/

Moottorivääntimissä momentti on usein valittavissa portaittain valitsimella. Vaihtelua tarkistuslaitteella mitattuun momenttiin nähden aiheuttaa muun muassa liitosten jäykkyyksien erilaisuus. Säädettävyys on riittävä silloin, kun tarkistusmitauksia on tehty asianmukaisesti ja useasti. Moottorivääntimen momentti kohdistuu yleensä käyttäjään. /22/

Impulssivääntimessä synnytetään momentti-impulsseja hydraulisessa tai mekaanisessa iskukoneistossa. Mahdollista säädettävyyttä voidaan hyödyntää vain osittain, sillä impulssit vaikuttavat eri liitoksiin ja tarkistuslaitteisiin eri tavalla. Tästäkin tilanteesta säädettävyys on riittävä silloin, kun tarkistusmittauksia on tehty runsaasti ja asianmukaisesti. /22/

5.3.4 Venytyskiristys

Menetelmässä kiristys toteutetaan venyttämällä ruuvia tai pulttia. Venytys voidaan tehdä mekaanisesti, hydraulisesti venyttämällä tai lämmön avulla. Kiristys tehdään yleensä käyttäen ulkoista teholähdettä. Menetelmässä pitää määrittää pultin venymää varten kiristysarvo eli voima, jolla pulttia tullaan venyttämään. Mutteri kierretään paikoilleen, kun vaadittu voima on saavutettu. Tämän jälkeen voidaan vapauttaa venyttävä voima, jolloin pultti tai ruuvi yrittää palautua takaisin muotoonsa ja lopputuloksena liitettävät komponentit kiristyvät toisiaan vasten. /17, 19/

Venyttäminen on tarkkaa tietyissä olosuhteissa. Normaalisti tarkka venytys saadaan sellaisten ruuvien kohdalla, jotka ovat pitkiä sekä ohuita ja siellä, missä tarvitaan suuria voimia. Kun taas päinvastoin, venytys ei ole tarkkaa sellaisten ruuvien kohdalla, jotka ovat lyhyitä sekä paksuja ja siellä, missä tarvitaan pieniä ruuvivoimia. /19/

6 PROJEKTIN TOTEUTUSPROSESSI

6.1 Projektin aloitus

Projekti aloitettiin 2018 tammikuun loppupuolella, kun saatiin selville opinnäytetyön aihe. Ensimmäinen yhteinen epävirallinen palaveri pidettiin kiertokankiverstaan neuvotteluhuoneessa, jossa aihe käytiin läpi pintapuolisesti. Seuraavaksi sovittiin yhteinen aloituspalaveri, johon osallistuivat koulun puolelta ohjaaja ja Wärtsilän puolelta ohjaaja, ohjaajan esimies, kiertokankiverstaan päällikkö ja työnjohtaja. Aihe käytiin yksityiskohtaisesti läpi, jonka jälkeen päästiin aloittamaan projektia. Samalla seurantatiimillä menttiin koko projektin ajan, vaikka kaikki osallistujat eivät aina päässeet paikalle muiden palaverien päällekkäisyyksien vuoksi.

6.2 Hydrauliset työkalut

Projektin aikana olin yhteydessä eri yrityksiin, jotka valmistavat hydraulisia työkaluja. Yrityksiltä tiedustelin hydraulisesti venyttävien työkalujen ratkaisuja, jotka sopisivat automatisoidun kiristyksen toteuttamiseen. Vastauksena saatiin, että valmiita ratkaisuja ei vielä ole kehitetty, koska haasteita on paljon ja työkalut vaativat oman projektin suunnittelusta lähtien. Peruskonseptit ovat kuitenkin mietittynä ajatusmallina.

Tässä luvussa on esitetty muutama hydraulinen työkalu, joka on tullut esille projektin aikana. Alla olevista hydraulisista työkaluista mikään ei suoranaisesti sovelu ratkaisuksi ongelmaan.

6.2.1 Tentec-hydraulimutteri

Tentec-hydraulimutterit ovat yksinkertainen, nopea ja tarkka tapa toteuttaa kiristys (**Kuva 18**). Hydrauliikkamutterin toimintaperiaatteena on tuottaa hydraulipaine jokaiselle mutterille. Hydraulimutterit, jotka perustuvat venyttävään pulttiliitostekniikkaan, ovat hyvä vaihtoehto sellaisiin kohtiin, joissa joudutaan kiinnittämään ja avaamaan pultteja huoltoaikojen minimoimisen saavuttamiseksi. /23/

Hydraulimutteri toimii samalla tavalla, kuin nykyisessä kiristysmenetelmässä käytössä olevat hydraulitunkit. Hydraulisen tehon avulla venytetään pultteja, jolloin mutterin yläosa nousee ylöspäin. Sen jälkeen mutterin yläosa kierretään takaisin alaosaan kiinni. Kun hydraulinen paine on poistunut, venytetty ruuvi on palautunut muotoonsa muodostamalla kiristysvoiman. Tällä menetelmällä voidaan kiristää useita ruuveja samaan aikaan, jolloin varmistetaan tarkka jännitys ruuveille.

/23/

Hydraulimutteria esiteltiin projektin aikana ja todettiin, että se sopii paremmin manuaaliseen kiristykseen. Kiristysvaihtoehdossa ilmenee samat haasteet automatisoinnin kannalta, jotka ovat nykyisessä kiristysmenetelmässä. Haasteena on kiristettävien vaarnaruuvien etäisyys toisistaan. Hydraulimutterin kokonaishalkaisija on liian suuri, joten kaksi hydraulimutteria eivät mahdu vierekkäin toteuttamaan yhtäaikaista kiristystä. Automatisoinnin kannalta haasteena on hydraulimutterin kiristys vaarnaruuviin sekä venytyksen jälkeen yläosan kiertäminen alaosaan. Yhteenvetona voidaan todeta, että hydraulimutteri ei sovellu automatisoidun kiristuksen ratkaisuksi monien haasteiden takia.



Kuva 18. Tentec-hydraulimutteri /23/.

6.2.2 RTX-momenttiväännin

RTX on Atlas Copcon valmistama kestävä, kevyt, laadukas ja turvallinen hydraulinen momenttiväännin (**Kuva 19.**). RTX-sarjasta löytyy erinomaisia vääntimiä, jotka soveltuvat parhaiten laippaliitoksiin. Väännin, joka takaa korkean vääntömomentin, on matalaprofiilinen ja muodoltaan kasettimallinen. Vääntömomentialue RTX-sarjassa on 346 - 43108 Nm, joten vääntöä näissä vääntimissä riittää. Työkalu on valmistettu korkealaatuisista materiaaleista, jonka tavoitteena on taata pitkä käyttöikä. Vääntimen kosketuspinnat soveltuvat raskaaseen käyttöön ja näin ollen varmistavat työkalun kestävyuden. Vääntimestä on saatavilla laaja valikoima eri kuusiokokoja. /24/

Momenttiväännintä esiteltiin projektissa. Työkalu eroaa muista kiristysvaihtoehdoista, koska kiristys tehdään hydraulisesti vääntämällä eikä venyttämällä. Momenttiväännin on alun perin tarkoitettu manuaaliseen kiristykseen. Kiristysvaihtoehto ei sovellu automatisoituun kiristykseen, koska siinä on tiettyjä haasteita. Haasteina ovat muun muassa työkalun paikannettavuus sekä momentin hallitsemattomuus, kun kyseessä ei ole sähköisesti ohjattava työkalu.

Momenttivääntimillä voidaan testata, päästäänkö tällä kiristysmenetelmällä tavoiteltuun puristusvoimaan. Uuden kiristysmenetelmän löytämisellä voidaan korvata vanha menetelmä, mikä vaikuttaa merkittävästi muutamiin asioihin, kuten tuotteiden läpivientiaikaan ja laatuun. Yhteenvetona voidaan todeta, että tämä momenttiväännin ei ole oikea kiristysratkaisu. Vääntimestä voi olla kuitenkin hyötyä tulevaisuudessa, jos halutaan käytännössä testata eri kiristysmenetelmää.



Kuva 19. RTX hydraulinen momenttiväännin /24/.

6.2.3 Tentec Aero WTB hydraulinen pulttikiristin

Tentec Aero WTB on hydraulisesti toimiva pulttikiristin (**Kuva 20.**), joka on varustettu monipuolisilla varusteilla. Tentec Aero WTB -kiristystyökalut on suunniteltu nopeaa kiristämistä varten ja ne tarjoavat luotettavan, turvallisen ja samantapaisen tavan tuuliturbiinin samanaikaiseen kiristykseen. Näitä työkaluja käytetään pääsääntöisesti kiristysratkaisuina tuulivoimateollisuudessa, mutta niitä voidaan myös käyttää muihin kiristyskohteisiin. Tentec Aero WTB -kiristystyökalut soveltuvat erikokoisiin pultteihin. /25/

Hydraulisen pulttikiristimen toimintaperiaate on sama kuin hydraulimutterin. Ainoana erona on, että mutteri kiristetään alustaan eri tyylillä. Venytyksen jälkeen mutteri kiristetään erikseen työkalulla. Pulttikiristimen alaosassa on rattaat, jotka pyörittävät mutteria alustaan.

Pultinkiristintä esiteltiin projektin aikana ja todettiin, että se sopii paremmin manuaaliseen kiristykseen. Kiristysvaihtoehdossa on samat haasteet automatisoinnin kannalta, jotka ovat nykyisessä kiristysmenetelmässä. Ongelmana on kiristettävien vaarnaruuvien pieni etäisyys toisistaan. Kaksi pultinkiristintä ei mahdu vierekkäin toteuttamaan yhtäaikaista kiristystä. Yhteenvetona voidaan todeta, että pultinkiristintä joudutaan kehittämään ja muokkaamaan erilaiseksi, jotta sitä voitaisiin edes harkita kiristysratkaisuksi projektin kiristyskohteeseen.



Kuva 20. Tentec Aero WTB hydraulinen pulttikiristin /25/.

6.3 Sähköväänninlaitteisto

Projektissa haluttiin tutkia erilaisia menetelmiä, jonka kautta voitaisiin löytää mahdollisia potentiaalisia ratkaisuja. Projektin aikana otettiin yhteyttä yrityksiin ja sovittiin yritysvierailuja. Tarkoituksena oli tutkia myös sähköisiä työkaluja. Näin ollen sähköinen mutterinväännin osoittautui teoriassa vaihtoehdoksi. Yksinkertainen sähköväänninlaitteisto koostuu sähkövääntimestä, ohjausyksiköstä, virransyöttöyksiköstä sekä ohjaimen näyttöyksiköstä. Alempana on esitelty tarkemmin työkalua ja sen ohjainyksikköä sekä järjestelmän koostuvuutta.

6.3.1 Sähköinen QST-mutterinväännin

Sähköinen QST-mutterinväännin on Atlas Copcon valikoiman suurin ja tehokkain väännin (**Kuva 21.**). QST-mutterinvääntimestä on saatavana useita erilaisia malleja, kuten offset-, U-, kulmamalleja sekä suoria malleja. Työkalusta on rakennettu luotettava, kestävä ja nopea, jonka johdosta se soveltuu myös erittäin haastaviin kiristuksiin. Työkalua suositellaan kalibroimaan vuoden välein tai vähintään huoltojen yhteydessä. Kalibrointi tehdään tietokoneella tietyn kalibrointiohjelman avulla. /26/



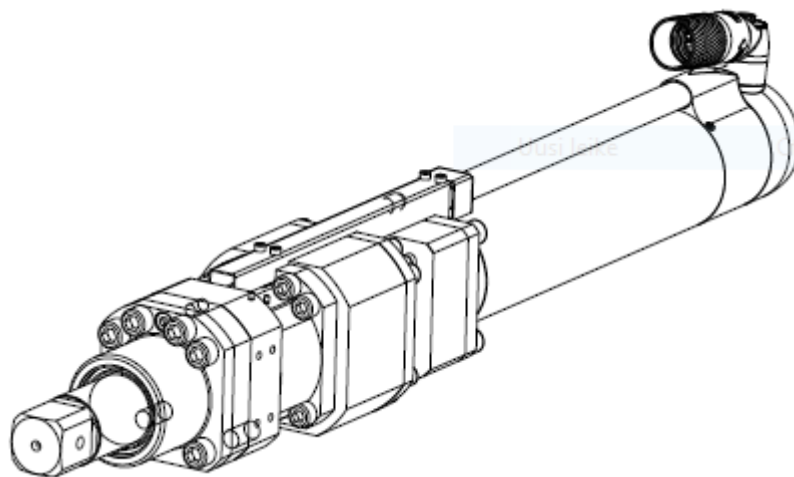
Kuva 21. QST-mutterinväännin /26/.

Tätä projektia varten jouduttiin etsimään sopiva erikoismalli, jonka avulla liitos voitaisiin mahdollisesti kiristää haluttuun voimaan. Kun kyse on isosta vääntömomentista, työkaluksi valittiin järeämpi ja isompi sähköinen mutterinväännin,

kuin kuvassa 21 on esitetty. Työkalusta on tällä hetkellä olemassa 3D-malli ja piirustukset (**Kuva 22.**).

Aluksi päätettiin, että kiristys halutaan toteuttaa yhtäaikaaisesti neljälle ruuville, neljällä sähköisellä mutterinvääntimellä. Myöhemmin neljän sähköisen mutterinvääntimen yhtäaikainen kiristys osoittautui mahdottomaksi, koska W32/34- ja W31-alaosien pultinreikien etäisyys toisistaan on liian pieni. Sähköisten mutterinvääntimien vaihteiston koko oli niin suuri, etteivät ne mahtuneet olemaan pareittain vierekkäin, vaikka vaihtoehtona oli myös offsetmalli. Tästä syystä kiristys joudutaan tekemään kahdella sähköisellä mutterinvääntimellä, jotka ovat robotin tarttujassa kiinni (**Kuva 23.**). Tarkkaan ottaen kiristysprosessissa on yksi sähköinen mutterinvääntin per reikäpari.

Kiristys tehdään momentin ja kulmaohjauksen avulla. Kiristysprosessi tehdään ristiin ja kahdessa vaiheessa. Ensimmäisenä esikiristetään kaksi ruuvia 40–50 % koko kiristysvoimasta, jonka jälkeen toiset kaksi ruuvia myös 40–50 %. Sitten kiristetään molemmat parit lopulliseen 100 % kiristysvoimaan. Näin varmistetaan, että kiristys toteutetaan oikein jokaisen ruuvin kohdalla. Suurimpana haasteena tässä kiristyksessä osoittautuu kitkavaihteluiden minimoiminen.



Kuva 22. QST-mutterinvääntimen erikoismalli /26/.



Kuva 23. Sähköiset mutterinvääntimet ABB robotin tarttujassa /26/.

6.3.2 PowerMACS 4000 -ohjausyksikkö

Sähkövääntimen ohjausyksikkönä toimii PowerMACS 4000 (**Kuva 24.**), joka on uusinta mallia markkinoilla. Se on luotettava, tarkka ja suorituskykyinen huippujärjestelmä, joka on suunniteltu mahdollisimman helppokäyttöiseksi sekä helposti integroitavaksi tuotantolinjoihin. Ohjausyksikkö toimii sähköisen mutterinvääntimen aivoina, jonka tarkoituksena on valvoa ja ohjata kiristystä, analysoida sekä tallentaa mittaustuloksia. Ohjausyksikön ja sähköisen mutterinvääntimen välillä on yksi kaapeli, jonka välityksellä laitteet kommunikoivat digitaalisesti keskenään. /26/



Kuva 24. QST-sähkövääntimen ja PowerMACS 4000 -ohjausyksikkö /26/.

Kokonaisuudessaan järjestelmä koostuu virtalähteestä, ohjausyksiköstä ja sähköisestä mutterinvääntimestä. Jokaista sähköväännintä kohden on oltava yksi ohjausyksikkö. Jos järjestelmässä on neljä sähköistä mutterinväännintä, tarvitaan myös neljä ohjausyksikköä. Jos ohjausyksikköjä on enemmän kuin yksi, niin voidaan puhua primaarisesta tai sekundaarisesta ohjausyksiköstä. /26/

Primaarisella ohjausyksiköllä tarkoitetaan ensisijaista ohjausyksikköä. Sen kautta kaikki data menee ensimmäisenä läpi, vääntimien ohjaus tapahtuu sekä I/O-signaalit kulkevat. Sekundaarinen ohjausyksikkö tekee samalla tavalla niin, kuin primaarinen ohjausyksikkö käskää. Jos järjestelmässä on ainoastaan yksi ohjausyksikkö, niin se voi toimia sekä primaarisena että sekundaarisena.

Nykyään turvallisuus on erityisen tärkeässä roolissa yrityksissä. Yritykset panostavat turvalliseen työskentelyyn, jotta tapaturmien määrät voidaan minimoida. Myös tämä järjestelmä on kehitetty turvalliseksi, jotta sen käyttö sujuu ongelmitta. Järjestelmän ohjaimen näytöstä nähdään reaaliaikainen kiristystapahtuma, sen kautta ollaan tietoisia, mitä kiristyksessä tapahtuu. Laitteiston ohjaimesta löytyy hätä-seis-painike, jolla järjestelmän virrat saadaan katkaistua hätätilanteessa.

Järjestelmä käyttää kenttäväylää, jolla onnistuu tiedonsiirto ja kaksisuuntainen kommunikointi laitteiden välillä. Kenttäväylän etuna on, että laitteiston eri osat saadaan yhdistettyä toisiinsa yhden johdon avulla. Järjestelmä voidaan kätevästi liittää tuotantolaitoksen verkkoon, jolloin data saadaan liikkumaan. Lopuksi on hyvä mainita ohjausyksikön teknisiä tietoja:

- Vääntömomenttialue 2–8000 Nm
- Jännite 400–480V
- Yksi IP-osoite per järjestelmä
- Tehostettua muistia 2 MB, joka vastaa noin 10 000 kiristyksestä saatujen tietojen tallennusta
- LCD näyttö, jossa vikailmoitukset näkyvät selkeällä kielellä
- Kuusi Ethernet-porttia. /26/

7 INVESTOINTI

Investointi on sijoittamista ja käytännössä, sillä tarkoitetaan tuotantovälineiden hankintaa tuotantoa varten. Sen tarkoituksena on työnteon tehostaminen, tuotannon lisääminen sekä yrityksen kasvumahdollisuuksien parantaminen. Investoiniksi kutsutaan niitä hankintoja, jotka ovat ajallisesti pituudeltaan enemmän kuin yksi vuosi. Investoinnin alkuvaiheessa sijoitetaan suuri määrä pääomaa, jonka oletetaan vuosien varrella maksavan itsensä takaisin. Tästä syystä on hyvä ottaa huomioon pääoman pitkä sitoutumisaika. Tässä tapauksessa investointitoiminnalla halutaan siirtää ihmisen tekemä yksitoikkoinen ja toistuva työ koneiden tehtäväksi.

7.1 Budjettitarjoukset

Työssä oli tarkoituksena saada jonkinlaista osviittaa investoinnista aiheutuneista kuluista ja takaisinmaksuajasta. Ennen kuin aloitetaan suunnittelemaan investointia, on hyvä tietää, onko tuleva hankinta taloudellisesti kannattava ja hyödyllinen. Tätä varten on hyvä tehdä kannattavuus- ja investointilaskelmia.

7.1.1 Hydrauliset työkalut

Työssä esitettiin muutamia hydraulisia kiristysvaihtoehtoja. Jokaisessa esitettyssä vaihtoehdossa oli omat haasteensa, eivätkä ne suoranaisesti sovellu tämän työn ratkaisuksi. Työn loppupuolella oltiin vielä yhteydessä muutamaan yritykseen, jotka toimittavat hydraulisia ratkaisuja teollisuuden käyttöön. Tiedusteltiin, löytyykö hydraulisia ratkaisuja automatisoituun kiristykseen sekä niiden hinta-arvioita.

Toisen yrityksen myyntipäälliköltä saatiin vastaukseksi, että ei ole valmista hydraulista ratkaisua automatisoituun kiristykseen. Haasteita on paljon ja työkalun kehitys ja suunnittelu joudutaan tekemään oman projektin kautta. Tämän takia on vaikea tehdä todellista hinta-arviota työkalulle, jota ei ole kehitetty valmiiksi.

7.1.2 Sähkövääninlaitteisto

Ensimmäisenä saatiin budjettitarjous liitoksen tutkimisesta ja analyysistä sekä materiaalikustannuksista (**Taulukko 2.**). Liitosta halutaan tutkia ja sen perusteella tehdä analyysi, jotta tiedetään tarkemmat tekniset tiedot. Liitokseen liittyvät laskelmat tehdään myös esitutkimuksessa. Laskelmien avulla voidaan tehdä konkreettisia johtopäätöksiä, jonka avulla voidaan lähteä testaamaan sähkövääninlaitteistoa käytännössä.

Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät, niistä aiheutuneet kustannukset ja käytössä olleiden laitteistojen hinnat ovat salattua tietoa, eikä niitä sen vuoksi voida tuoda julki yleisesti.

Taulukko 2. Liitoksen esitutkimuksen ja analyysin kustannushinta.

Tuotekuvaus	Hinta
Esitutkimus liitoksesta / analyysi	X €
Materiaalikustannukset	X €
Yhteensä	X €

Sähkövääninlaitteisto koostuu seuraavista komponenteista. Vierestä löytyvät niiden kustannushinnat (**Taulukko 3.**). Sähkövääninlaitteisto koostuu kahdesta sähköväänintimestä, kahdesta sähköväänintimen kaapelista, yhdestä primaari ohjainyksiköstä, yhdestä sekundaari ohjainyksiköstä, yhdestä virransyöttöyksiköstä sekä ohjaimen näyttöyksiköstä, joka on varustettu hätä-seis-painikkeella. Taulukosta saadaan sähkövääninlaitteiston kustannushinnaksi yhteensä X €.

Taulukko 3. Sähköväänninlaitteiston kustannushinta.

Tuotekuvaus	Hinta
Sähköväännin QST114-3250CT, 2kpl	X €
TC-4000P-B-ES	X €
Ohjainyksikkö PM4K TC4000S	X €
QST Kaapeli 5m, 2kpl	X €
PM 4000 Kit	X €
Indicator Box	X €
Yhteensä	X €

7.1.3 Robottisolu ja sen komponentit

Alla mainitut komponentit ovat välttämättömiä robottisolun toimivuuden kannalta (**Taulukko 4.**). Komponenteista saadaan yhdessä hyvä kokonaisuus toimivalle robottisolulle. Ainoastaan manuaaliaseman pyörityslaitte on jätetty pois taulukosta, koska projektin kannalta ei ole tarvetta investoida uutta, vaan yhtä hyvin voidaan hyödyntää vanhaa käytössä olevaa pyörityslaitetta. Taulukon hinnat on saatu Wärtsilän projektinjohtajalta, joka on ollut monissa robottisolun projekteissa mukana. Kustannushinnat eivät ole tarkkoja hintoja, vaan ainoastaan suuntaa antavia. Taulukosta nähdään, että robottisolun kustannushinta kokonaisuudessaan on X €.

Taulukko 4. Robottisolun komponenttien kustannushinnat.

Tuotekuvaus	Hinta
Fanuc R2000iC-210F robotti	X €
Robotin tarttuja, 2kpl	X €
Käyttäjiliittymä (Atlas Copcon ohjausboksi ja Fastems Fastwizard)	X €
Konenäkö	X €
Optio (Suojaseinät 4 x 3 m koppi ja automaattiovet)	X €
Projektin hallinta ja asennukset	X €
Robotin ohjelmarunko ja Fastwizardin käsittelyohjelmat	X €
Yhteensä	X €

7.1.4 Yhteiskustannukset

Budjettitarjouksista voidaan tehdä yhteislaskelma, johon liitetään robottisolun komponenttien ja sähkövääninlaitteiston kustannushinnat (**Taulukko 5.**). Taulukosta saadaan yhteensä kustannushinnaksi X €. Hydraulisten työkalujen hinta-arviot jätetään pois, koska työkalua ei ole kehitelty valmiiksi asti eikä kustannus-hinta ole todenmukainen.

Taulukko 5. Laitteiden yhteiskustannukset.

Tuotekuvaus	Hinta
Robottisolun komponentit	X €
Sähkövääninlaitteisto	X €
Liitoksen esitutkimus	X €
Yhteensä	X €

7.2 Investointilaskelmat

Investointilaskelmat ovat investointihankkeeseen liittyviä pitkän aikavälin kannattavuuslaskelmia, jotka ulottuvat investoinnin pitoajalle. Näiden avulla pyritään selvittämään investoinnin kannattavuus ja järkevyys sekä perusajatuksena vertailla investoinnista syntyneitä tuloja ja menoja. Investointilaskennalla voidaan myös punnita keskenään eri investointivaihtoehtoja ja asettaa niitä kannattavuusjärjestykseen. Laskelmien aikana joudutaan pohtimaan hankintakustannuksia, tuottoja ja samalla erilaisia rahoitusvaihtoehtoja. Mitä suurempi investointi on kyseessä, sitä enemmän pitää panostaa tietojen keräämiseen, jotta saadaan mahdollisimman tarkka lopputulos. /27/

Investoinnin kannattavuutta olisi hyvä tehdä vähintään kahdella eri laskentamenetelmällä. Investointilaskelmamenetelmiä on yhteensä viisi:

- annuiteettimenetelmä
- nykyarvomenetelmä
- sisäisen korkokannan menetelmä
- takaisinmaksuajan menetelmä
- pääoman tuottoaste-menetelmä. /27/

Investointilaskennan lähtöarvoja ei saada suoraan laskemisella eikä mittareilla, vaan ne arvioidaan numeroilla. Numeroilla voidaan arvioida seuraavia asioita:

- hankkeen kokonaiskustannukset
- vuosittaiset kulut
- laskentakorkokanta
- investointihankkeen jäännösarvo
- investoinnin vaikutus- eli pitoaika. /27/

7.2.1 Työvoimakustannukset

Investointilaskentaa varten on hyvä tiedustella työvoimakustannukset (**Taulukko 6.**), jotta voidaan laskea takaisinmaksuaika. Työvoimakustannuksilla tarkoitetaan kaikkia kustannuksia, jotka työnantajat joutuvat maksamaan työntekijöistä. Yhden työntekijän työtunnin työvoimakustannukseksi saadaan X € /28/. Työvoimakustannuksen arvo on realistinen, mutta ei täsmällinen.

Kiertokankiverstaalla työt tehdään tällä hetkellä kahdessa vuorossa. Taulukossa on esitetty kahden vuoron tunnit sekä kustannukset. Kahden vuoron työvoimakustannukset haluttiin laskea, koska tarkoituksena oli saada mahdollisimman realistinen takaisinmaksuaika. Tarkennuksena työviikosta saadaan 104 tuntia, joka on 16 tuntia arkipäivästä ja lauantaista sekä sunnuntaista molemmista 12 tuntia. Taulukosta voidaan nähdä, että koko vuoden työvoimakustannukseksi saatiin X €.

Lopuksi laskettiin työvoimakustannukset myös kolmelle vuorolle (**Taulukko 7.**). Vuoden työvoimakustannuksesi saatiin X €.

Taulukko 6. Operaattorin kahden vuoron työvoimakustannukset.

Operaattori	Tunti [h]	Määrä [€]
Työvoimakustannus / tunti	1	X €
Työvoimakustannus / vuoro	8	X€
Työvoimakustannus / päivä	16	X €
Työvoimakustannus / 5 arkipäivää	80	X €
Työvoimakustannus / työviikko	104	X €
Työvoimakustannus / vuosi	5408	X €

Taulukko 7. Operaattorin kolmen vuoron työvoimakustannukset.

Operaattori	Tunti [h]	Määrä [€]
Työvoimakustannus / tunti	1	X €
Työvoimakustannus / vuoro	8	X €
Työvoimakustannus / vuorokausi	24	X €
Työvoimakustannus / viikko	168	X €
Työvoimakustannus / vuosi	8736	X €

7.2.2 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika tarkoittaa, kuinka nopeasti investointi maksaa itsensä takaisin ja yritys alkaa tienamaan rahaa /27/. Yritykset haluavat tietää investoinneille takaisinmaksuajan, joka on yleensä suurin rajoite investoinnille. Takaisinmaksuaika lasketaan normaalisti investointikustannus jaettuna nettotuotot. Tässä laskelmassa (**Taulukko 8.**) on laskettu investointikustannus jaettuna työvoimakustannus, koska automatisoinnilla halutaan korvata työntekijä. Takaisinmaksuajaksi saatiin pyöristettynä 11 kuukautta, joka on lyhyt aika. Laskennassa ei otettu huomioon muita tekijöitä, kuten laitteiston sähkökuluja tai huoltojen kustannuksia.

Taulukko 8. Takaisinmaksuajan laskenta.

Takaisinmaksu	Määrä [€]
Investointikustannus	X €
Työvoimakustannus [v]	X €
Takaisinmaksuaika desimaalilukuna	0,886
Takaisinmaksuaika [kk]	10,64
Lopullinen takaisinmaksuaika	11 kk

7.2.3 Säästöt

Mitä isommat säästöt ovat kyseessä, sitä enemmän yritykset hyötyvät siitä. Yrityksissä on yleensä paljon säästökohteita, mutta tässä työssä on keskitytty olennaisiin säästöihin. Laskelmassa säästöistä on vähennetty investointikustannukset (**Taulukko 8.**). Taulukosta voidaan nähdä, että kahdessa vuodessa säästöjä tulee X €. Lasketut luvut ovat suuntaa antavia, sillä todellisuudessa ne voivat olla ihan

mitä vain. Laskelmien tulokset voivat olla suurempia tai pienempiä. Laskennassa ei otettu huomioon muita tekijöitä, kuten laitteiston sähkökuluja tai huoltojen kustannuksia.

Investoinnin taloudellinen hyöty näkyy säästöissä. Tässä voidaan huomata, että automatisoinnilla säästetään jatkossa tosi paljon, joka on yleensä päämääränä investoinnissa.

Taulukko 9. Kahden vuoron säästöt investoinnin jälkeen.

Säästöt	Määrä [€]
1 vuosi	X €
2 vuotta	X €
5 vuotta	X €
10 vuotta	X €

Työssä tuli myös laskettua, kuinka paljon työtunteja tulee yöajosta lisää (**Taulukko 9.**). Yöajolla tarkoitetaan miehittämätöntä ajoa öisin. Tällä hetkellä manuaali-asetella työt seisovat öisin. Jos yöajo halutaan ottaa käyttöön, joudutaan palkkaamaan lisää työvoimaa, joka taas merkitsee lisää kustannuksia.

Tulevaisuudessa tuotantomäärät tulevat lisääntymään ja myös W31-kiertokanget saadaan automaattilinjaan. Tämä tarkoittaa, että tarvitaan lisää kapasiteettia solussa. Taulukoista voidaan nähdä, että työvaiheen automatisointi olisi järkevämpää ja taloudellisesti kannattavampaa kuin lisä työvoiman palkkaaminen.

Päivässä yöajosta saadaan kahdeksan tuntia. Vuodessa yöajo tunteja kertyisi 3328 tuntia. Laskelman tulos voi olla todellisuudessa eri, koska laskelmassa ei ole huomioitu koneiden seisomista tai rikkoutumista. Yhteenvetona voidaan todeta sen, että saadaan koneiden käyttöasteita korkeammaksi, kun laitteet tekisivät työtä myös yöllä.

Taulukko 10. Yö ajossa kertyneet tunnit.

Yö ajo	Tunti [h]
Vuorokausi	8
Arkipäivät	40
Viikonloppu	24
Viikko	64
Kuukausi	256
Vuosi	3328

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA ARVIOINTI

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kattava raportti erilaisista vaihtoehtoisista kiristysmenetelmistä, investoinnin kustannuksista, takaisinmaksuajasta sekä säästöistä. Tulevaisuutta ajatellen tämän työn tulokset tulevat varmasti olemaan hyödyllisiä viimeistään siinä vaiheessa, kun aloitetaan kriittisesti harkitsemaan projektin investoimista.

Opinnäytetyössä käy kuitenkin ilmi, että sähkövääninlaitteisto on aika hintava ja projektille tarvitaan hyväksyntää, jotta investointi pystytään toteuttamaan. Investoinnille pitää olla hyvät perustelut ja se pitää todeta hyväksi ratkaisuksi käytännön testeillä, ennen kuin voidaan miettiä laitteiston hankintaa. Sähkövääninlaitteiston investoinnin lisäksi joudutaan hankkimaan robottisolu ja sen komponentit. Kokonaisuudessaan työvaiheen automatisointi tulee olemaan kallis investointi ja näin ollen halutaan olla varmoja, että hankinta tulee varmasti olemaan hyödyllinen ja kannattava.

Työn loppupuolella on muutama laskelma, joka liittyy takaisinmaksu-aikaan ja säästöihin. Laskelmassa takaisinmaksuajan tulos saatiin, kun verrattiin investoinnin kustannushintaa yhden työntekijän vuoden työvoimakustannuksiin. Oli todella yllättävää huomata, kuinka paljon yritys joutuu maksamaan yhdestä työntekijästä. Investoinnin kustannushinta oli pienempi, kuin yhden työntekijän vuoden työvoimakustannukset. Laskelman avulla voidaan nähdä kuinka nopeasti investointi maksaa itsensä takaisin.

Tähän väliin on hyvä mainita myös hydraulisten työkalujen tilanne. Tällä hetkellä automatisoidun hydraulisen työkalun hankinta ei ole mahdollista, koska valmista ratkaisua ei suoranaisesti ole kehitetty. Monet haasteet ovat hidastaneet työkalun protomallin syntymistä. Tulevaisuudessa tekniikan kehittymisen myötä voidaan olla varmoja siitä, että ratkaisuja saadaan keksittyä ja tuotua markkinoille. Siitä voidaan olla myös melko varmoja, että kyseinen työkalu tulee olemaan halvempi kuin opinnäytetyössä esitetty sähkövääninlaitteisto. Yksi ratkaiseva tekijä hinnassa on työkalun koko. Hydraulisen työkalun ei tarvitse olla niin massiivinen

kuin sähköväännin. Syy vääntimen suureen kokoon on se, että kiristys tehdään eri tavalla ja siihen vaaditaan massiivinen työkalu.

Automatisoinnin myötä voidaan todeta se, että työvaihe saadaan turvallisemmaksi kuin aikaisemmin. Nykyään on olemassa riski, että hydraulikka letkut hajoavat, jolloin öljy tulee ulos letkuista kovalla paineella kohti työntekijää ja näin ollen työntekijä voi vahingoittua kohtalokkaastikin. Tällainen vaaratilanne voidaan poistaa, kun kone tekisi työn ihmisen puolesta.

Työvaiheen automatisoinnilla voidaan tuotannossa lisätä alaosien määriä, koska saadaan mahdollisuus ajaa vaihetta myös öisin. Nykyään öisin ajetaan ainoastaan W32/34-varsia. Jatkossa voitaisiin ajaa molempia sekä varsia, että alaosia. Tämä tarkoittaa sitä, että automaattilinja voi pyöriä 24 tuntia vuorokaudessa. Tällä voidaan saavuttaa koneiden käyttöasteita korkeammaksi sekä tuotantomäärien kasvua.

Aiheena opinnäytetyö oli todella mielenkiintoinen, mutta projektin aikana tuli huomattua se, kuinka vaativa aihe todellisuudessa oli. Projektin alussa ei ollut konkreettisesti tietoa siitä, minkälainen työ käytännössä tulisi olemaan. Kolme kuukautta oli varattu opinnäytetyön tekoon ja todellisuudessa se oli todella lyhyt aika.

Kun opinnäytetyö tehdään isolle yritykselle, on hyvä varata reilusti aikaa välttääkseen liiallisen kiireen. Opinnäytetyöprosessi on hieman erilainen, jos se tehdään ainoastaan koululle eikä yritykselle. Tässä opinnäytetyössä oli muita tahoja koulun ja Wärtsilän lisäksi, kuten työkaluista vastaavia yrityksiä. Jos nyt pystyisi jotakin muuttamaan, niin ainakin voisi varata enemmän aikaa opinnäytetyön tekemiseen ja aloittaa paljon aikaisemmin.

Työssä sain kokemusta siitä, miten käytännössä vedetään oikeaa projektia. Tämä tarkoitti käytännössä yritysten välillä kommunikointia, palaverien järjestämistä, yritysvierailuja, yritystapaamisia sekä kommunikointia puheluiden ja sähköpostien välityksellä. Työssä tuli myös huomattua se, että asioiden järjestämisessä menee yllättävän kauan aikaa eivätkä ne aina mene niin kuin on suunniteltu. Lopulli-

senä yhteenvedona tämä työ antoi ainutlaatuista kokemusta projektin läpivientinä työelämää varten.

9 JATKOKEHITYS

Valmistuneen projektin myötä ei saa lopettaa kehitystä, joten tämän työn jälkeen on hyvä miettiä, miten projektia voitaisiin jatkokehittää. Tässä työssä mietittiin erilaisia ratkaisuja teorian tasolla, joten teoriaa ja käytäntöä ei voida pitää samana.

Sähköväänninlaitteisto on valikoitunut potentiaalisesti ratkaisuksi teorian perusteella. Seuraavaksi on kuitenkin hyvä miettiä, miten sähköväänninlaitteistoa on hyvä testata käytännössä, jotta päästään vaadittuun tavoitteeseen.

Ensimmäisenä pitää suunnitella oikeanlaiset ruuvit liitosta varten, jotta voidaan tehdä käytännön testejä. Nykyiset vaarnaruuvit eivät sovellu tämän laitteen testaukseen. Erikoisruuvit voidaan suunnitella ja mallintaa Wärtsilässä tai työ voidaan ulkoistaa eri yritykselle. Ruuvien suunnittelun ja mallinnuksen voi myös teettää opinnäytetyönä. Sen jälkeen, kun ruuvit on mallinnettu, voidaan miettiä laitteiston testausta.

Sähkövääntimen käytännön testeissä halutaan päästä tavoiteltuun puristusvoimaan, jotta voidaan varmistaa kampilaakerin reiän muoto mahdollisimman pyöreäksi. Jotta voidaan varmistua siitä, että oikeat puristusvoimat on saavutettu, joudutaan laittamaan kiristettävien kappaleiden väliin liuskat, jotka näyttävät värien muutoksilla voiman määrää. Samalla tavalla ruuveihin voidaan kiinnittää venymäliuskoja, joista nähdään venymisen pituus. Näiden mittausten avulla voidaan selvittää, voidaanko haettu puristusvoima saavuttaa sähköväänninlaitteistolla.

Vasta, kun sähköväännin on todettu oikeaksi kiristysratkaisuksi, voidaan ruveta suunnittelemaan robottisolua ja miettiä siihen liittyviä asioita.

LÄHTEET

- /1/ Wärtsilä. Wärtsilä lyhyesti. Viitattu 7.3.2018.
<https://www.wartsila.com/fi/wartsila>
- /2/ Wärtsilä. Organisaatio ja johto. Viitattu 26.3.2018.
<https://www.wartsila.com/fi/wartsila/organisaatio-ja-johto>
- /3/ Tämä on Wärtsilä. Marine Solutions. Viitattu 7.3.2018.
<http://www.wartsilareports.com/fi-FI/2017/ar/tama-on-wartsila/marine-solutions>
- /4/ Wärtsilä. Uusi Wärtsilä 31 -moottori. Viitattu 5.4.2018.
<https://www.wartsila.com/fi/media-fi/uutinen/02-06-2015-uusi-wartsila-31--moottori-paasi-guinnessin-ennatystenkirjaan>
- /5/ Modular management. Wärtsilä. Viitattu. 5.4.2018.
<https://modularmanagement.com/us/blog/story/wartsila>
- /6/ Tämä on Wärtsilä. Energy Solutions. Viitattu 26.3.2018.
<http://www.wartsilareports.com/fi-FI/2017/ar/tama-on-wartsila/energy-solutions>
- /7/ Tämä on Wärtsilä. Services. Viitattu 26.3.2018.
<http://www.wartsilareports.com/fi-FI/2017/ar/tama-on-wartsila/services>
- /8/ Wärtsilä. Historia. Viitattu 26.3.2018.
<https://www.wartsila.com/fi/wartsila/historia>
- /9/ Wärtsilä. Wärtsilä Suomessa. Viitattu 26.3.2018. <https://www.wartsila.com/fin>
- /10/ My Car Dictionary. Connecting rod. Viitattu 10.4.2018. <https://www.my-cardictionary.com/engine/connecting-rod.html>
- /11/ Rantala, J. 2008. Auto- ja kuljetusalan perusoppi 6. Keuruu. Otava.
- /12/ Sten. Nuorrutusteräs 42CrMo4. Viitattu. 21.5.2018.
http://www.sten.fi/document/1/27/aea4431/tuote_f8be181_42crmo4.pdf
- /13/ Miniweb. Automaatio. Opetus. Luennot. Valmistusmenetelmät. Viitattu 17.4.2018.
http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Valmistusmenetelm at.pdf
- /14/ Oulun yliopisto. Prosessitekniikan perusta. Automaatiotekniikka. Viitattu 27.4.2018.
http://www oulu.fi/sites/default/files/content/PTperusta_automaatio.pdf
- /15/ Advance Manufacturing. Methods to Show Automation Cell. Kuva. Viitattu 17.4.2018. <https://advancedmanufacturing.org/methods-to-show-automation-cell>

- /16/ Bosch, R. 1993. Autoteknillinen taskukirja. Jyväskylä. Gummerus
- /17/ Haitor. Tukimateriaali. Standardit. Kiristystekniikka. Viitattu 25.4.2018.
<http://www.haitor.com/fi/tukimateriaali/standardit>
- /18/ Imatran pultti. Ruuviliitokset. Viitattu 25.4.2018.
http://www.imatranpultti.fi/images/pdfs/tietoa_ruuviliitoksista.pdf
- /19/ Nord Lock. Bolted. Ruuviliitosta käsittelevä lehti. Viitattu 25.4.2018.
http://cdn.nord-lock.com/wp-content/uploads/2014/03/BOL1_14_fi.pdf
- /20/ Powerpoint. Atlas Copcon koulutusmateriaali. Viitattu 20.5.2018
- /21/ Kotiposti. Voiman momentti. Viitattu 22.5.2018.
<http://www.kotiposti.net/ajnieminen/mom.pdf>
- /22/ Blom, S. Lahtinen, P. 1999. Koneenelimet ja mekanismit. Edita. Helsinki
- /23/ Haitor. Hydrauliset vetokiristystyökalut. Hydrauliset mutterit. Viitattu 16.5.2018.
<http://www.haitor.com/fi/tuotteet/?cat=303ad362514c6573440582d057ecaac4&mf=&rng=&id=1cee383e515adf268d0581f557ecaac4>
- /24/ Hlhydro. Atlas Copco RTX Hydraulinen momenttiväännin. Viitattu 18.5.2018. <http://www.hlhydro.fi/tuote/atlas-copco-rtx-hydraulinen-momenttivaannin>
- /25/ Atlas Copco. Bolt Tightening Solutions. Bolt Tensioning. Wind Turbine Bolt Tensioning. Viitattu 20.5.2018. <https://www.atlascopco.com/en-uk/itba/products/Bolt-tightening-solutions/bolt-tensioning/wind-turbine-bolt-tensioning>
- /26/ Powerpoint. Atlas Copcon tuote-esitys materiaali. Viitattu 25.5.2018.
- /27/ Yritystulkki. Hankasalmi. Toimiva yrittäjä. Investoinnin kannattavuus. Viitattu 18.4.2018. <http://www.yritystulkki.fi/fi/alue/hankasalmi/toimiva-yrittaja/investoinnin-laskenta>
- /28/ Theseus. W20-kiertokangen lataus- ja koneistusmenetelmien kehitys. Viitattu 28.5.2018. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/52053/W20-kiertokangen_lataus-_ja_koneistusmenetelmien_kehitys.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LIITE 1. Investointilaskelmat.

Operaattori (1 hlö)	Tunti (h)	Määrä (€)
Työvoimakustannus	1	X
Työvoimakustannus / vuoro	8	X
Työvoimakustannus / päivä	16	X
Työvoimakustannus / 5 päivää	80	X
Työvoimakustannus / työviikko [5 ap + 2 vkp]	104	X
Työvoimakustannus / Vuosi [52 työviikkoa]	5408	X
Investointi	Tunti (h)	Määrä (€)
Investointikustannus		X
Työvoimakustannus vuodessa	5408	X
Takaisinmaksuaika desimaalilukuna		X
Takaisinmaksuaika (kk)		X
Lopullinen takaisinmaksu		11 kk

LIITE 1. Investointilaskelmat 2.

Yöajo	Tunti (h)		Säästöt (1 hlö)	Määrä (€)
Päivä	8		1 vuosi	X
Arkipäivät	40		2 vuotta	X
Viikonloppu	24		5 vuotta	X
Työviikko	64		10 vuotta	X
Kuukausi	256			
Vuosi	3328			
Operaattori (1 hlö)	Tunti (h)	Määrä (€)		
Työvoimakustannus	1	X		
Työvoimakustannus / vuoro	8	X		
Työvoimakustannus / vuorokausi	24	X		
Työvoimakustannus / viikko	168	X		
Työvoimakustannus / Vuosi	8736	X		