

Joona Merimaa

KUMIPYÖRÄKONTTINOSTURIN SÄHKÖKÄYTTÖJEN MODERNISAATIO

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Toukokuu 2010




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 16.4.2010
Tekijä(t) Joonas Merimaa	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma Sähkövoimatekniikka	
Nimeke Kumipyöräkonttinosurin sähkökäyttöjen modernisaatio		
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitä tarkoittaa Konecranesin kumipyöräkonttinosurin sähkökäyttöjen modernisaatio ja miten sen toteuttaminen on mahdollista tehdä. Lisäksi tarkoituksena oli löytää paras ratkaisu ja tuotteistaa se. Työssä tutkittiin lyhyesti neljää erilaista vaihtoehtoista modernisaatiotapaa, joista valittiin yksi tuotteistettavaksi. Ensimmäisessä vaihtoehdossa vanhat taajuusmuuttajat korvattiin uusilla vastaavan teholuokan laitteilla ja toisessa vaihtoehdossa uuden RTG-nosturin teholuokan taajuusmuuttajilla. Kolmannessa vaihtoehdossa puolestaan vanhan RTG-nosturin käyttöjärjestelmä modernisoitiin uuden nosturin järjestelmän kaltaiseksi ja neljännessä tutkittiin mahdollisuutta toteuttaa modernisaatio korvaamalla yksittäisten liikkeiden taajuusmuuttajat. Työn alussa käytiin läpi RTG-nosturin rakenne ja sähkökäytöt. Seuraavaksi selostettiin tarkemmin taajuusmuuttajien rakennetta sekä toimintaa ja tämän jälkeen käytiin läpi vanhan RTG-nosturin nykyinen toteutus. Lopuksi esitettiin neljä modernisaation vaihtoehtoa, joista valittiin tässä työssä esitellyn vaihtoehdon suunnittelu ja toteutus. Tutkimusten perusteella parhaaksi vaihtoehdoksi todettiin modernisaatio, joka toteutettiin uuden RTG-nosturin teholuokan taajuusmuuttajilla. Se on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin vanha toteutus mutta teknikaltaan vastaa uutta järjestelmää. Lisäksi pelkän ACM-järjestelmän modernisaatio todettiin järkeväksi ratkaisuksi. Työn tuloksena saatiin tietoa modernisaation mahdollisuuksista ja ratkaisu, jota soveltamalla voidaan kehittää modernisaatiopaketti vanhoille nostureille. Työssä saavutettu ratkaisu tullaan toteuttamaan kun tähän saadaan tilaisuus. Koska työn toteutusta ei ole kokeiltu, on mahdotonta arvioida kuinka teoria ja käytäntö kohtaavat.		
Asiasanat (avainsanat) Kumipyöräkonttinosuri, taajuusmuuttaja		
Sivumäärä 35	Kieli Suomi	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201005047653
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Arto Kohvakka	Opinnäytetyön toimeksiantaja Konecranes Port Service	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 16 th April 2010
Author(s) Joona Merimaa	Degree programme and option Electrical engineering Electrical power engineering	
Name of the bachelor's thesis Modernization of drives of rubber tired gantry crane		
Abstract <p>The aim of this Bachelor's Thesis was to study, what a modernization of the drives of rubber tired gantry crane manufactured by Konecranes means and how it would be possible to execute. Another aim was to find the best solution for productization.</p> <p>Four different options were studied briefly in this thesis and one of them was selected for productization. The first option was just to replace old frequency converters with new units. The second option was to use frequency converters equal to new RTG-model. In the third option, the old RTG crane was modernized exactly equal to the new crane and in the last option replacement of frequency converters was planned to be done movements one by one.</p> <p>The basic details of RTG crane and the construction and functioning of frequency converter were introduced at the beginning of the thesis. Then I provide information about the existing assembly of RTG crane and I also introduce all four options. The planning and implementation of chosen modernization option were expounded at the end.</p> <p>According to the studies the second option was found to be the most reasonable solution because it is implemented with equal frequency converters to new RTG-model. The operational principle was nearly to same as in existing system, but the technology of the crane was improved.</p>		
Subject headings, (keywords) Rubber tired gantry crane, frequency converter		
Pages 35	Language Finnish	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201005047653
Remarks, notes on appendices		
Tutor Arto Kohvakka	Bachelor's thesis assigned by Konecranes Port Service	

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty Konecranes Service Oy:lle. Haluan kiittää työni ohjaajaa Juha Santalaa ja esimiestäni Uula Torttilaa sekä kaikkia minua tässä työssä auttaneita työtovereita. Lisäksi haluan kiittää avopuolisoani Elina Kinnusta tuesta ja kannustuksesta.

Hyvinkäällä 16.4.2010

Joona Merimaa

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	RTG-NOSTURI	1
2.1	Rakenne	2
2.2	Sähkökäytöt	5
2.2.1	Taajuusmuuttaja.....	6
2.2.2	DAV-taajuusmuuttajat	10
2.2.3	D2V-taajuusmuuttajat	11
3	MODERNISAATION TARPEEN TAUSTAA	12
4	MODERNISAATIO.....	13
4.1	Nykyinen tilanne	13
4.2	Vaihtoehtojen kartoitus.....	16
4.2.1	Modernisaatio saman teholuokan taajuusmuuttajilla.....	16
4.2.2	Modernisaatio RTG2005:n teholuokan taajuusmuuttajilla.....	18
4.2.3	Modernisaatio RTG2005:n kaltaiseksi	20
4.2.4	Yksittäisen liikkeen modernisointi	21
5	SUUNNITTELU	22
5.1	Valinnan perustelu	22
5.2	Kojelevyt.....	24
5.3	Komponentit	26
5.4	Jarruvastukset	27
5.5	Sähköhuone.....	29
5.6	Vaunun sähkökaapit.....	30
6	TOTEUTUS	31
7	ACM-JÄRJESTELMÄN MODERNISAATIO	33
8	POHDINTA	33
9	LÄHTEET	35

LYHENNELUETTELO

RTG	Rubber Tyred Gantry
DAV	DynAHoist Vector ja DynAC Vector
D2V	DynAHoist Vector 2 ja DynAC Vector 2
ACM	Active Load Control Machinery
PLC	Programmable Logic Controller
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
PWM	Pulse Width Modulation
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor
SSU	Speed Supervision Unit

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni toimeksiantajana on Hyvinkäällä toimiva Konecranes Oyj. Konecranes on yksi maailman johtavista nostolaittevalmistajista, ja sen asiakkaita ovat muun muassa konepaja- ja prosessiteollisuus, telakat, satamat ja terminaalit. Yritys toimittaa asiakkailleen toimintaa tehostavia nostolaiteratkaisuja ja huoltopalveluita kaikille nosturimerkeille ja työstökoneille. Vuonna 2009 Konecranes-konsernin liikevaihto oli yhteensä 1 671 miljoonaa euroa. Yhtiöllä on 9 800 työntekijää ja 545 huoltopistettä 43 maassa. [1]

RTG-nosturi eli kumipyöräkonttinosturi on satamanostureihin lukeutuva kontinkäsittelynosturi. RTG on lyhenne sanoista Rubber Tyred Gantry. Konecranes valmistaa 8- ja 16-pyöräisiä RTG-nostureita, joiden nostokapasiteetti on 40,6 tonnia tai 50,8 tonnia, asiakkaan valinnan mukaan. Tässä työssä käsitellään vain 16-pyöräistä mallia ja siitä käytetään nimitystä kumipyöräkonttinosturi tai RTG-nosturi. Konecranesin RTG-nosturi on laite, joka yhdistää mekaniikan, sähkötekniikan ja automaation yhdeksi älykkääksi kokonaisuudeksi. Nykyään RTG-nosturia liikuttavat taajuusmuuttajaohjatut vaihtosähkömoottorikäytöt, joita ohjataan Profibus-kenttäväylän ja ohjelmoitavan logiikan avulla.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus tutkia mahdollisuutta modernisoida ennen vuotta 2007 toimitettujen RTG-nostureiden taajuusmuuttajat ja niihin perustuvat ohjausjärjestelmät uudemman sukupolven sovelluksella. Työn lähtökohtana on taajuusmuuttajien sukupolvenvaihdos ja tästä myöhemmin johtuva vanhemman sukupolven laitteiden varaosien saatavuuden vaikeutuminen. Toisaalta myös ne Konecranesin asiakkaat, jotka ovat hankkineet uudempia RTG-nostureita vanhojen rinnalle, ovat tiedustelleet päivityksen mahdollisuutta.

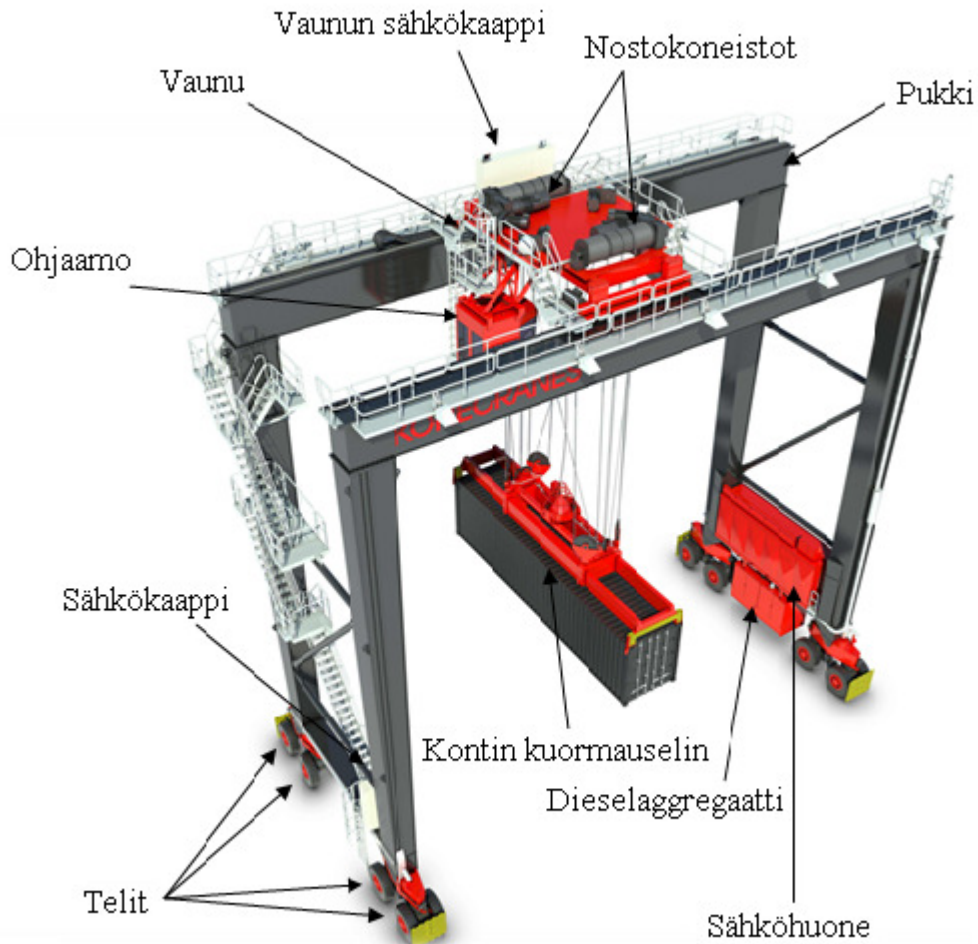
2 RTG-NOSTURI

RTG-nosturi on kumipyörillä liikkuva merikonttien käsittelyyn suunniteltu nosturi ja niitä käytetään pääasiassa satamien konttiterminaleissa. RTG-nosturi on varustettu dieselaggregaatilla, josta nosturi saa tarvitsemansa sähköenergian. Tämä mahdollistaa

nosturin liikuttamisen vapaasti ja näin saadaan maksimoitua laitteen hyöty. Ensimmäinen Konecranesin valmistama RTG-nosturi nousi pystyyn vuonna 1995. Tuolloin taajuusmuuttajat ja niiden ohjausjärjestelmät oli kytketty ”kovalla” sähköllä. Tämän jälkeen nosturi on kehittynyt paljon. Yksi merkittävimmistä kehityksen askeleista RTG-nostureiden historiassa on vuonna 2000 valmistunut malli, joka oli työnimeltään RTG2000. RTG2000–mallissa kaikki taajuusmuuttajat ja niiden ohjausjärjestelmät on kytketty Profibus-kenttäväylään. Malli, jota nykyään tuotetaan, on vuonna 2007 päivänvalon nähnyt laite, työnimeltään RTG2005. Tässä mallissa on käytössä D2V-malliset taajuusmuuttajat. Ennen RTG2005-mallia, nostureissa käytettiin DAV-taajuusmuuttajia.

2.1 Rakenne

Kumipyöräkonttinosturin rakenteen muodostavat pukki, vaunu, ohjaamo, dieselaggregaatti, sähköhuone, kontin nostokehä ja neljä teliä. Nosturi on suurikokoinen laite. Esimerkiksi 5+1 kontin nostokorkeudelle rakennettu laite on lähes 24 metriä korkea ja se painaa noin 140 tonnia. RTG-nosturin perusrakenne on pysynyt samanlaisena alusta lähtien. Nosturin perusrakenne esitellään kuvassa 1.



KUVA 1. RTG-nosturin rakenne (RTG2005). [6]

Pääkannattajat ja jalkakehät muodostavat nosturin teräsrakenteen pääosan, jota kutsutaan pukiksi (engl. gantry). Kaikki muut komponentit ja osat kiinnitetään pukkiin. Pukkia voidaan siirtää ohjaamosta katsottuna oikealle ja vasemmalle, jotka ovat nosturin normaalit ajosuunnat. Pyörien kääntö mahdollistaa myös poikittaisajon, joka tarkoittaa ohjaamosta katsottuna eteenpäin ja taaksepäin liikkumista sekä nosturin pyöryttämisen keskipisteensä ympärillä. [2, s.6.]

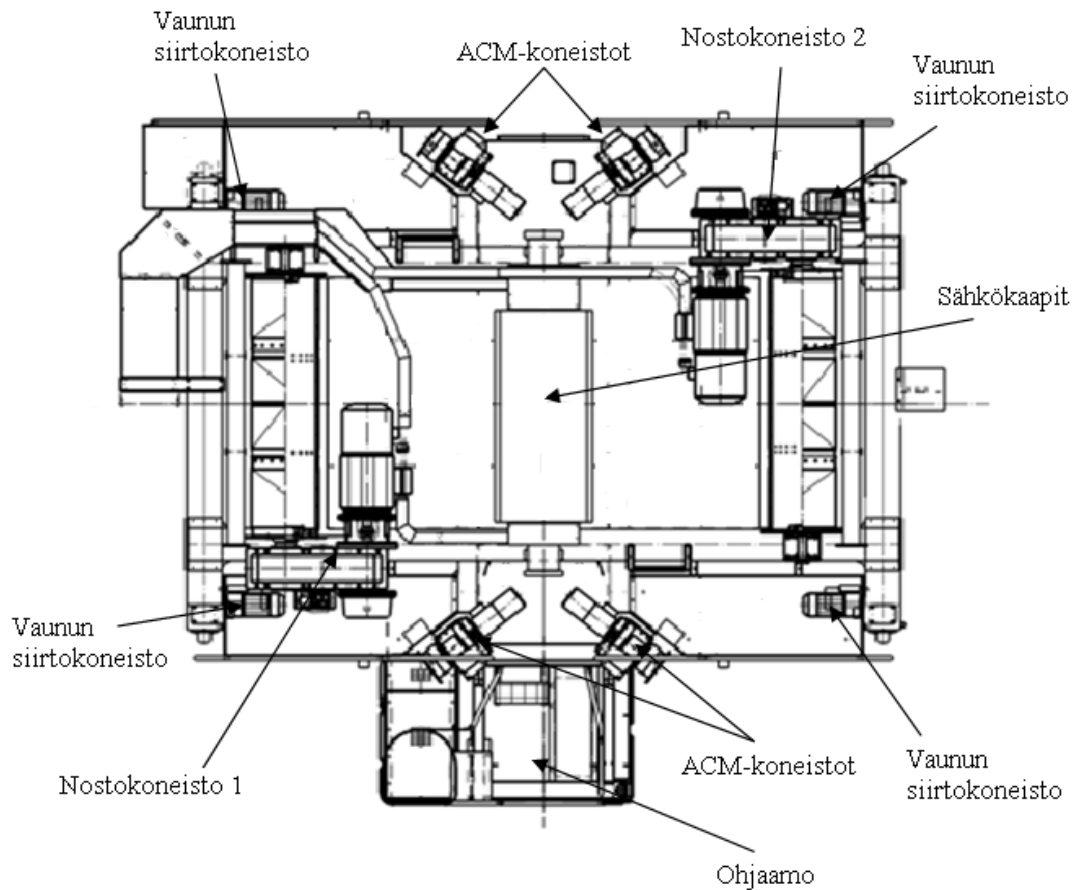
Jokaisen jalan alla on teli, jossa on neljä kumipyörää. Jokaisen telin neljä pyörää on jaettu kahdeksi pyöräpariksi ja jokaisella pyöräparilla on oma siirtokoneisto, johon kuuluu moottori, vaihdelaatikko ja jarru. Pyöräparin siirtokoneisto pyörittää vain toista pyöräparin pyörää ja toinen pyörä pyörii vapaasti akselillaan. Nosturissa on neljä eri asentoa pyörille, joista kolmella voidaan vaikuttaa nosturin ajoliikkeeseen ja neljäs on parkki-asento. Kun pyöriä halutaan kääntää, lukkotappikoneisto nostaa lukkotapin ylös ja vapauttaa pyöräparin. Tämän jälkeen vetävä pyörä kääntää pyöräparin annetun oh-

jeen mukaiseen asentoon, minkä jälkeen lukkitappikoneisto laskee lukkotapin alas lukiten pyörät paikoilleen. Valmiiksi asetetut ohjeet pyörien asennoille kääntävät pyörät automaattisesti oikeisiin asentoihin. [2, s.6.]

Sähköhuone sijaitsee dieselaggregaatin puoleisen jalkakehän keskellä, alapalkin päällä. Sähköhuoneessa sijaitsevat lähes kaikki tärkeimmät sähkökomponentit. Noston, telien ja vaunun taajuusmuuttajat ovat tämän työn kannalta tärkeimmät komponentit sähköhuoneessa. Vain heilahduksenhallintajärjestelmän (ACM) taajuusmuuttajat sijaitsevat vaunun kaapissa. Sähköhuoneen katolla ovat jarruvastukset, joihin johdetaan taajuusmuuttajakäyttöjen jarrutusenergia. [2, s.7.]

Dieselaggregaatin suojakotelo on sijoitettu sähköhuoneen alle, kahden telin väliin. Dieselaggregaatti mahdollistaa nosturille parhaan mahdollisen käytettävyyden ja liikutettavuuden, koska kaikki tarvittava sähköenergia saadaan siitä. Näin ollen ei tarvita ulkoista sähkönsyöttöä. [2, s.7.]

Vaunu on pääkannattimen kiskoilla kulkeva osa, jossa sijaitsevat nostokoneistot, heilahduksenhallintajärjestelmän koneistot ja vaunun siirtokoneistot sekä sähkökaapit. Vaunun rakenne on esitetty kuvassa 2. Kaapeissa sijaitsevat heilahduksenhallintajärjestelmän (ACM) taajuusmuuttajat ohjausjärjestelmineen ja muita sähkökomponentteja. Vaunu liikkuu kiskoillaan neljän kantopyörän avulla kahteen suuntaan. [2, s.7.]



KUVA 2. Vaunu (RTG2000). [3]

Konttikuormauselin (engl. spreader) on laite, jolla tartutaan kiinni nostettavaan konttiin. Kuormauselimen jokaisessa nurkassa on kiertolukko (engl. twistlock), jotka ohjataan kontin ylänurkissa oleviin koloihin. Kun lukot on saatu koloihin, voidaan ne lukita ja kontti nostaa. Konttikuormauselin voidaan säätää standardimittaisten konttien mukaan joko 20, 40 ja 45 jalan pituuksiin. Konttikuormauselin kiinnitetään köysipyöräpalkkiin (engl. headblock) neljällä kiertolukolla. [2, s.8.]

Ohjaamo on kiinnitetty vaunun takareunaan. Ohjaamossa on kuljettajan istuin ohjauspulpetteineen, sähkökaappi ja näyttö. Istuimessa ja kaapin ovelta on kaikki tarvittavat ohjaimet ja kytkimet nosturin ohjaamiseen. Näyttö on yhteydessä nosturin PLC:hen ja sen kautta nosturin kuljettaja saa tietoa kuljettamansa laitteen tilasta. [2, s.8.]

2.2 Sähkökäytöt

Kumipyöräkonttinosurien sähkökäytöt koostuvat taajuusmuuttajasta, oikosulkumoottorista ja mekaanisesta vaihteesta. Tällä kokonaisuudella saadaan sähköenergia muutet-

tua mekaaniseksi energiaksi. Taajuusmuuttajien käyttäminen mahdollistaa portaattoman nopeudensäädön nosturin eri ajoliikkeissä. Konecranesin RTG-nosturit ovat varustettu jännitevälipiirillisillä taajuusmuuttajilla eikä niitä voida verrata tavallisiin taajuusmuuttajiin, sillä ne on suunniteltu erityisesti nostureihin. Tässä työssä käytetään taajuusmuuttajasta nimitystä taajuusmuuttaja tai invertteri.

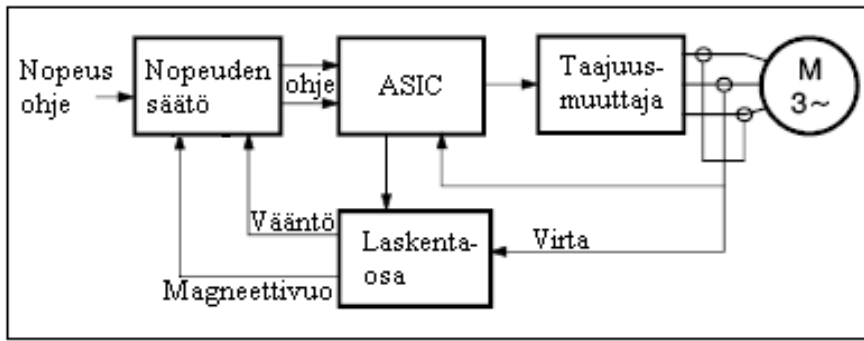
2.2.1 Taajuusmuuttaja

Konecranes käyttää RTG-nostureissa taajuusmuuttajina omia tuotemerkkejään, jotka on kehitetty yhteistyössä vaasalaisen Vacon Oyj:n kanssa. Ensimmäinen taajuusmuuttajasukupolvi on yleisnimeään DAV, joka on lyhenne sanoista DynAHoist Vector ja DynAC Vector. DAV-inverttereitä käytettiin RTG2000- ja sitä vanhemmissa malleissa. Uuden sukupolven inverttereitä kutsutaan yleisnimeään D2V, joka on lyhenne sanoista DynAHoist Vector 2 (D2H) ja DynAC Vector 2 (D2C). D2V-invertterit ovat olleet käytössä RTG2005-mallissa alusta lähtien ja niitä käytetään edelleen kaikissa toimitetuissa RTG-nostureissa. DynAC-invertterit on tarkoitettu kaikille siirto-
liikkeille ja DynAHoist-invertterit on tarkoitettu nostoille. Taulukossa 1 on esitetty RTG2000- ja RTG2005-nostureissa käytettyjen taajuusmuuttajien teholuokat. [11]

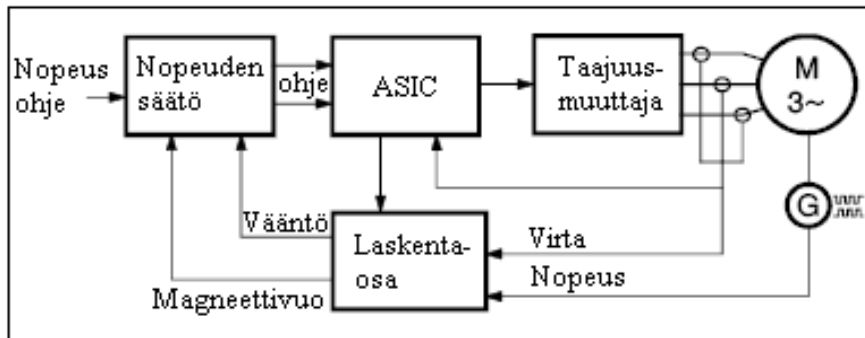
TAULUKKO 1. Taajuusmuuttajien teholuokat. [3; 6]

	RTG2000 DAV	RTG2005 D2V
Nosto	2 x 160kW / 2 x 110kW	2 x 132kW
Vaunu	1 x 30kW	1 x 45kW
ACM	4 x 7,5kW	4 x 5kW
Pukki	8 x 18,5kW	4 x 45kW

Vaunun ja telien taajuusmuuttajat on kytketty avoimen piirin vektoriohjausperiaatteella. Tämän kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 3. Avoimen piirin vektoriohjaus perustuu vain virran mittaamiseen. Noston ja ACM:n taajuusmuuttajat on kytketty suljetun piirin vektoriohjausperiaatteella, jonka kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 4. Suljetun piirin vektoriohjaus perustuu nopeuden ja virran mittaamiseen. Molemmat näistä ovat käytössä sekä DAV- että D2V-taajuusmuuttajilla varustetuissa RTG-nostureissa.



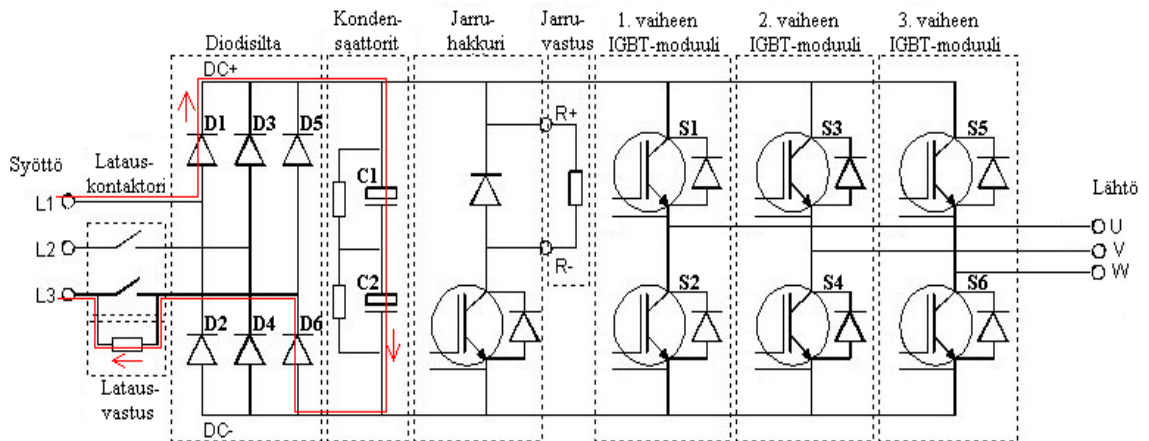
KUVA 3. Avoimen piirin vektoriohjaus. [4, s.22.]



KUVA 4. Suljetun piirin vektoriohjaus. [4, s.22.]

DynAC ja DynAHoist on varustettu sisäänrakennetulla moottorimallilla, joka laskee oikeat ohjearvot moottorille tuhat kertaa sekunnissa. Avoimen piirin vektoriohjauksessa tarvittavat tiedot laskennalle ovat moottorin hetkellinen jännitteen arvo, joka saadaan ASIC:lta ja moottorilta mitattu virta. Moottorin magneettivuo ja akselin vääntömomentti lasketaan mallikohtaisilla tiedoilla. Avoimen piirin vektoriohjaus on herkkä joidenkin moottorin ominaisuuksien muutoksille, esimerkkinä roottorin lämpötilan muutos. [4. s.22.]

Suljetun piirin vektoriohjaus sisältää myös moottorimallin, mutta sillä on yksinkertaisempi konfiguraatio kuin avoimen piirin vektoriohjauksessa, koska tiedon roottorin tilasta antaa absoluuttienkooderi. Suljetun piirin vektoriohjaus käyttää siis roottorin koordinaatteja laskennassa, joka on virheettömin tapa tehdä laskelmia moottorista, kun tiedetään roottorin todellinen sijainti koko ajan. [4. s.22.]

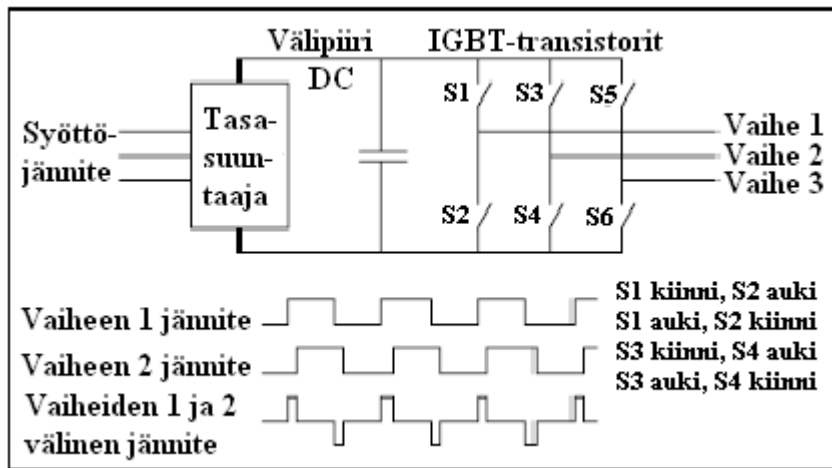


KUVA 5. DAV-taajuusmuuttajan kaaviokuva. [12]

Kuvassa 5. esitetty taajuusmuuttaja koostuu seuraavista osista:

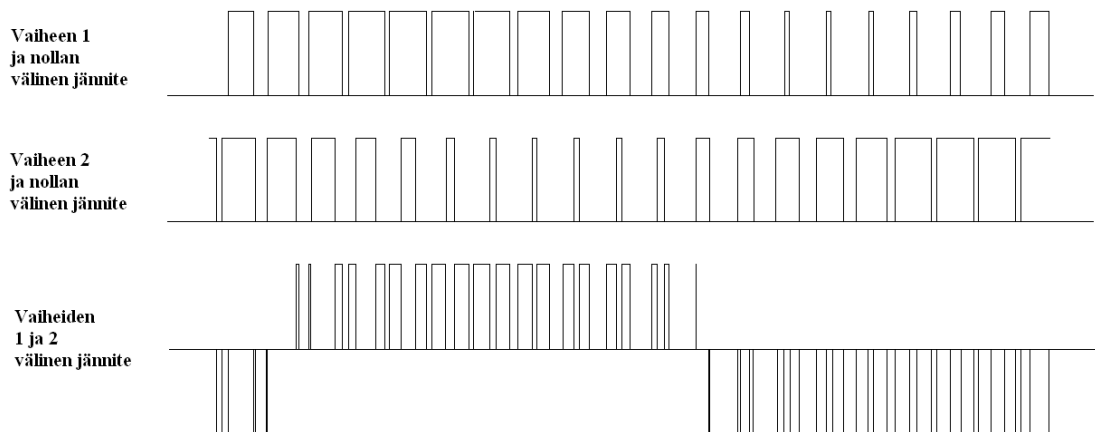
- Verkkotasasuuntaajasta, joka on tässä 6-pulssitasasuuntaaja
- Välipiiristä, joka koostuu kondensaattoreista ja niiden purkuvastuksista
- Jarruhakkurista
- Jarruvastuksista
- IGBT-moduuleista, joka koostuu kahdesta IGBT-transistorista. [12]

Alkutilanteessa vaiheiden L2 ja L3 verkkokontaktori on auki. Kun taajuusmuuttajaa aletaan syöttää, virta kulkee ensimmäistä vaihetta pitkin diodin D1 läpi välipiirin kondensaattoreille C1 ja C2, josta se jatkaa diodin D6 läpi latausvastukselle. Virran kulku on esitetty kuvassa 5. nuolilla. Kun välipiirin kondensaattorit on näin saatu ladattua, sulkeutuu vaiheiden L2 ja L3 verkkokontaktori ja taajuusmuuttaja on käyttövalmis. Jarruhakkuri säättää jännitettä pitäen sen halutulla tasolla ja ohjaa varsinkin jarrutuksessa generoidun energian jarruvastuksiin, jotka ovat pieni-impedanssisia tehovastuksia ja jotka sijaitsevat taajuusmuuttajan ulkopuolella. Jarruvastus pitää mitoittaa moottorin tehon mukaan. Kaikilla kolmella vaiheella on oma IGBT-moduuli, joka pilkkoo tasajännitteen pulsseiksi. Jokainen moduuli sisältää kaksi transistoria. Esimerkiksi vaiheen L1 moduulissa on transistorit S1 ja S2. IGBT-transistori ei ole perinteinen signaalivahvistin vaan suurinopeuksinen kytkin. IGBT-moduulien simuloitu toiminta on esitetty kuvassa 6. Kaikkien vaiheiden IGBT-transistorit toimivat vuorotellen. [11]



KUVA 6. IGBT-moduulien toiminta. [5. s.130.]

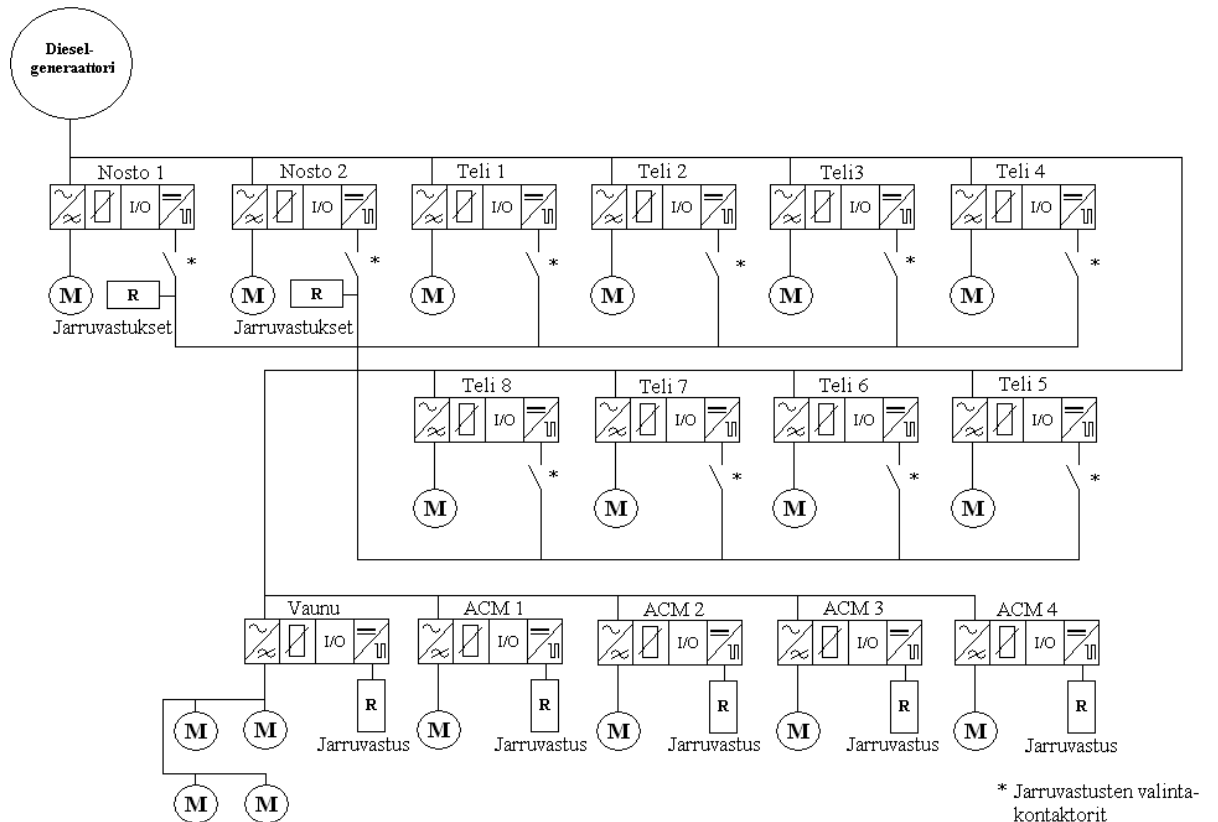
Nosturissa käytetään pulssinleveysmoduloituja (PWM) taajuusmuuttajia. Pulssinleveysmodulaatio on tapa kontrolloida IGBT-transistorien kytkeytymistä invertterissä siten, että jännitteen lyhytaikainen keskiarvo on mahdollisimman lähellä sinimuotoisen jännitteen aaltoa. Tasapainoinen kolmivaiheinen toisiojännite kolmivaiheisessa pulssinleveysmoduloidussa invertterissä on rinnastettavissa kolmivaiheisen jännitteen aaltomuotoon kolmen sinimuotoisen ohjausjännitteen kanssa, jotka ovat 120 asteen vaihesiirrossa. [5. s.130.]



KUVA 7. Pulssinleveysmodulaation periaate. [5. s.131.]

2.2.2 DAV-taajuusmuuttajat

RTG2000-nostureissa kaikki DAV-taajuusmuuttajat saavat syöttönsä omana erillisenä kolmivaihesyöttönä suoraan dieselaggregaatin generaattorilta. Invertterit, joita käytetään RTG-nostureissa, ovat vastusjarruttavia. Kuvassa 8 on esitetty periaatekuva DAV-taajuusmuuttajien kytkennästä ja jarruvastuksista.



KUVA 8. Periaatekuva DAV-taajuusmuuttajien kytkennästä ja jarruvastuksista (RTG2000). [3]

Kuvasta 8 nähdään, että telien invertterit käyttävät samoja jarruvastuksia noston inverttereiden kanssa, josta seikasta johtuen edellä mainitut toiminnot voivat olla käytössä vain vuorotellen. Jarruvastusten valintakontaktorit kytkevät vastukset invertteireihin sen mukaan mitä liikettä käytetään. Valintakontaktorit sijaitsevat sähköhuoneessa ja vastukset on sijoitettu sähköhuoneen katolle. Kontaktoreiden ohjaus tapahtuu PLC:lta tulevan tiedon mukaan. PLC ei anna kontaktoreiden vaihtaa asentoon ennen kuin inverttereiden ja jarruvastusten välillä oleva virtamuunnin ilmoittaa virran olevan nolla ampeeria. Jarruvastusten käyttö on jaettu siten, että noston 1 taajuusmuuttaja käyttää samoja vastuksia telien 1-4 taajuusmuuttajien kanssa ja noston 2

taajuusmuuttaja jakaa vastukset telien 5-8 taajuusmuuttajien kanssa. Muilla taajuusmuuttajilla on omat jarruvastukset, kuten kuvasta 8 voidaan todeta.



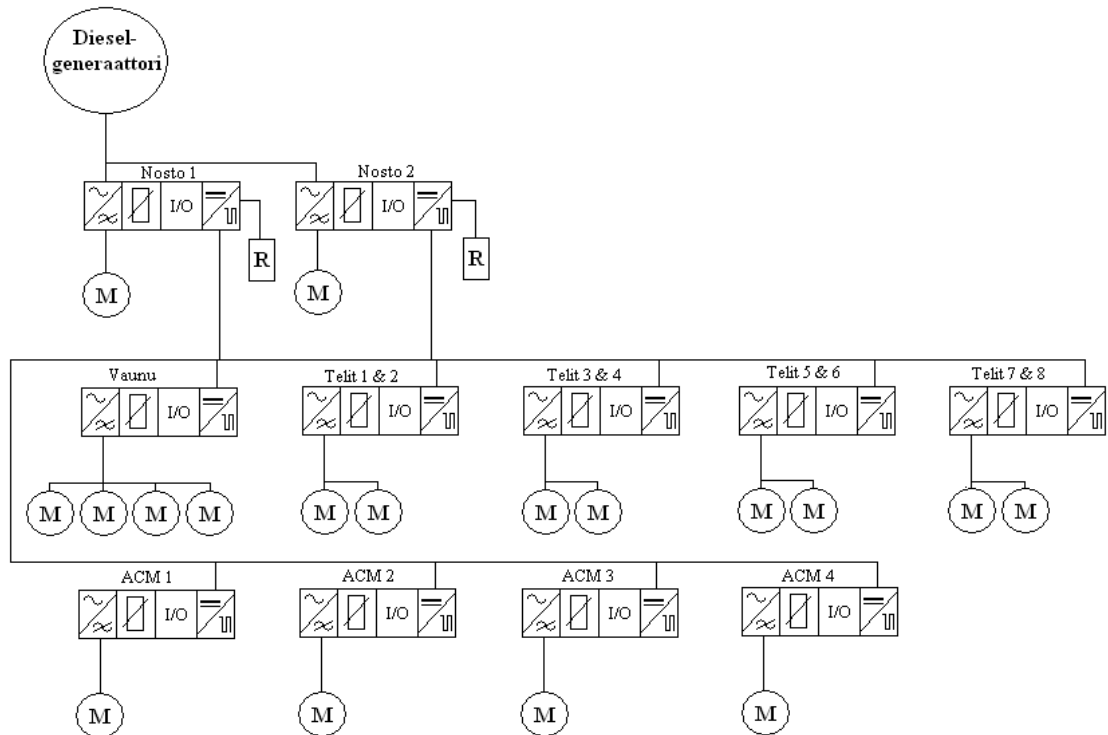
KUVA 9. 18,5 kilowatin DAV-taajuusmuuttajia (Merimaa, Joonas, 2010).

Kuvassa 9 on esitetty telin 18,5 kW:n DAV-taajuusmuuttajia. Laitteissa on integroitu tehonsyöttö ja ohjauspiirit.

2.2.3 D2V-taajuusmuuttajat

D2V on toisen sukupolven taajuusmuuttajamalli. RTG2005-malli on ensimmäinen 16-pyöräinen RTG-nosturi, jossa on käytetty D2V-taajuusmuuttajia. Kuvassa 10 on esitetty periaatekuva RTG2005-mallin taajuusmuuttajien kytkennöistä. Tässä mallissa noston invertterit toimivat koko taajuusmuuttajajärjestelmän tasasuuntaajina ja jarruhakkureina saaden kolmivaihesyötön dieselaggregaatin generaattorilta ja muut saavat syöttönsä yhteisestä välipiiristä. Tässä järjestelmässä käytetään yhteisiä jarruvastuksia.

Latauspiiriin tehtävä on ladata välipiiri ennen nostojen taajuusmuuttajien pääkontaktorien kärkien sulkeutumista. Latauspiiri koostuu tasasuuntaajasta, kontaktoris-
ta, virtaa rajoittavasta vastuksesta, ylikuormasuojasta ja oikosulkusuojasta. [13]



KUVA 10. Periaatekuva D2V-taajuusmuuttajien kytkennästä (RTG2005) [6].

Tässä mallissa pystytään ajamaan kolmea liikettä samanaikaisesti. Merkittävät erot RTG2000-malliin ovat telien taajuusmuuttajien lukumäärän puoliintuminen, yhteinen latauspiiri ja jarruvastukset.

3 MODERNISAATION TARPEEN TAUSTAA

Konecranes valmisti ensimmäisen RTG-nosturinsa vuonna 1995 ja DAV-taajuusmuuttajia käytettiin vuodesta 1996 vuoteen 2007 asti, jonka jälkeen siirryttiin D2V-taajuusmuuttajiin. Vuosien 1996–2007 välisenä aikana toimitettiin satoja RTG-nostureita ympäri maailmaa.

Vanhat nosturit ovat mekaanisesti vielä hyvässä kunnossa, mutta näiden sähkölaitteet ovat lähestymässä elinkaarensa loppua. Lisäksi DAV-taajuusmuuttajien valmistus on jo loppunut ja varaosien saatavuus vaikeutuu koko ajan. Tästä johtuen myös niiden hinnat ovat nousseet. Taajuusmuuttajien käyttöikä vaihtelee riippuen käyttöolo-

suhteista sekä huollon laadusta ja säännöllisyydestä. Kosteus, kuumuus ja lika ovat todennäköisiä syitä taajuusmuuttajan ennenaikaisen hajoamisen. Pitämällä sähköhuone ja sähkökaapit kuivina, viileinä ja puhtaina, saadaan pidempi käyttöikä taajuusmuuttajille. Jarruvastusten huollon laiminlyöminen on myös yleinen syy taajuusmuuttajien hajoamiselle. Asiakkaat, jotka ovat hankkineet uuden sukupolven invertteireillä varustettuja nostureita, ovat tiedustelleet modernisaatiopaketteja vanhempiin nostureihinsa.

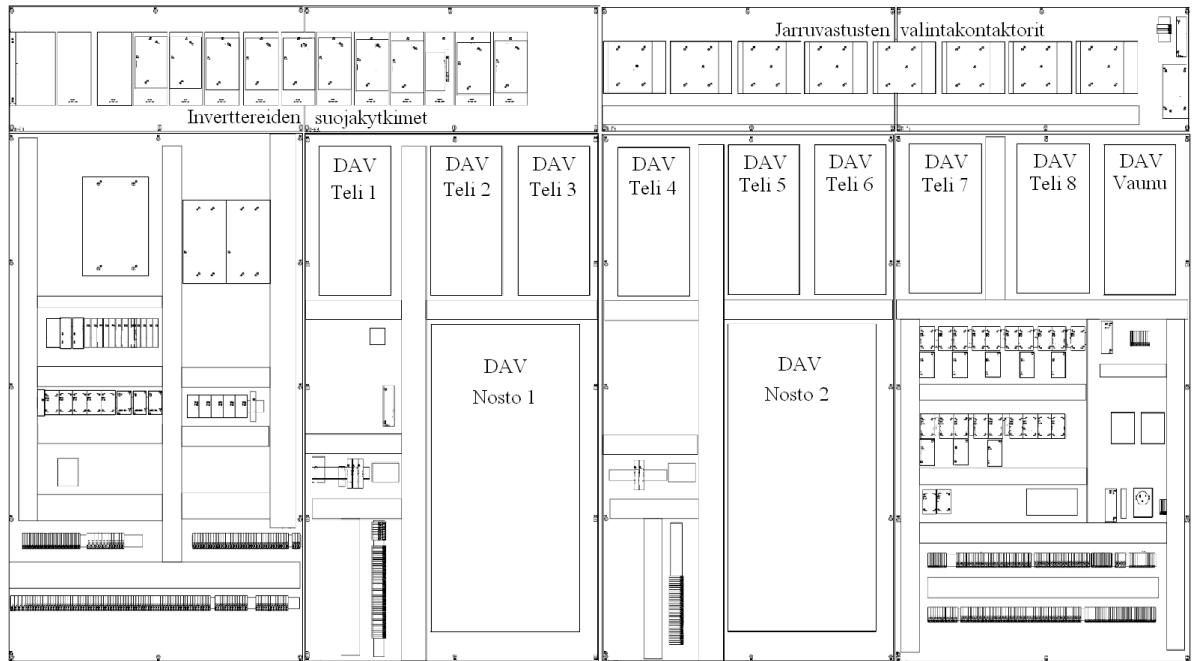
4 MODERNISAATIO

Tapoja tehdä modernisaatio on varmasti monia. Tässä työssä on esitetty neljä erilaista vaihtoehtoa, joista kerrotaan lyhyesti kappaleissa 4.2.1–4.2.4. Tavoitteena on löytää sellainen vaihtoehto, joka on asiakkaalle kokonaisedullisin ja voidaan toteuttaa riippumatta siitä, onko nosturin nostokapasiteetti 40,6 vai 50,8 tonnia. Näistä neljästä vaihtoehdosta valitaan yksi tarkemman tutkinnan kohteeksi, jonka perusteella määritellään mahdollinen myöhempi tuotteistus modernisaatiolle.

4.1 Nykyinen tilanne

Asiakkailla on yleensä useampia RTG-nostureita. Jos nostureiden kokonaismäärä jollakin asiakkaalla on esimerkiksi viisi RTG2000-mallista nosturia ja modernisoitavaksi valitaan yksi, työn yhteydessä ylimääräiseksi jäävät DAV-taajuusmuuttajat ovat asiakkaan omaisuutta, jotka asiakas voi jättää varaosiksi näille neljälle muulle nosturille. Näin saadaan lisää elinaikaa DAV-taajuusmuuttajin varustettuihin nostureihin.

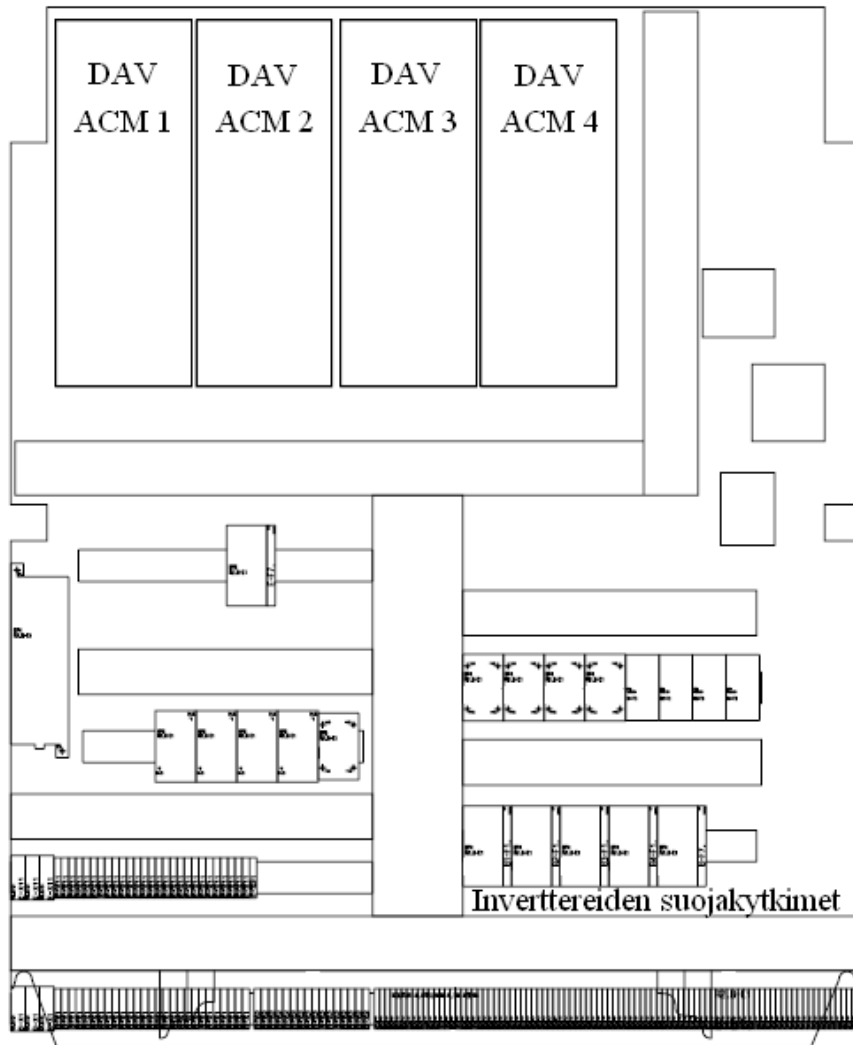
RTG2000-mallissa on 15 DAV-taajuusmuuttajaa, joista 11 kappaletta sijaitsevat sähköhuoneessa ja 4 kappaletta vaunun sähkökaapissa. Laitteet on kiinnitetty sähköhuoneen ja vaunun sähkökaapin kojelevyille. [3]



KUVA 11. Sähköhuoneen nykyinen asettelu (RTG2000). [3]

Kuvassa 11 on esitetty sähköhuoneen sijoittelu, joka koostuu neljästä isosta alalevystä ja kahdesta ylälevystä. Kuvasta on selvyuden vuoksi jätetty pois virransyöttö- ja PLC-levy, sillä näiden merkitys modernisaatiossa on pieni. Inverttereiden suojakytkimet on sijoitettu niiden yläpuolelle ja kuvassa ne näkyvät vasemmassa yläreunassa. Jarruvastusten valintakontaktorit, joita on kahdeksan, ovat sijoitettu inverttereiden suojakytkimien oikealle puolelle. Kuvassa ne ovat ylhäällä oikealla.

Kuvassa 12 on esitetty ACM:n taajuusmuuttajien asettelu kojelevyllä, joka on kiinnitetty vaunun kaappiin.



KUVA 12. ACM-taajuusmuuttajien asettelu vaunun sähkökaapissa (RTG2000). [3]

Taajuusmuuttajat on sijoitettu kojelevyn yläreunaan vierekkäin. Kaapissa ovat inverttereiden suojakytkimet, jotka sijaitsevat oikeassa alareunassa. Taajuusmuuttajien jarruvastukset sijaitsevat kuvassa 12 esitetyn kojelevyn vasemmalla puolella erillisessä suljetussa tilassa.

Nosturissa on sähköhuoneen ja vaunun sähkökaappien lisäksi kuusi muuta sähkökaappia, joista neljä on sijoitettu teleihin, yksi ohjaamoon köysipyöräpalkissa. Teleissä sijaitsevat sähkökaapit pitävät sisällään telien moottoreiden jarrujen ohjaukset ja lämpöreleet. Ohjaamon sähkökaapissa on päälogiikan lisäksi nosturin ohjaukseen liittyvät komponentit ja joitakin ohjaamon toimintoihin liittyviä laitteita. Koska näissä ei ole taajuusmuuttajia, ei näiden esittämistä katsota tarpeelliseksi.

4.2 Vaihtoehtojen kartoitus

Vaihtoehtoja kartoittaessa tulee ottaa huomioon monia asioita. Esimerkkeinä mainittakoon, että nosturin suorituskyky ei saa heikentyä ja modernisaatio on pystyttävä toteuttamaan edullisesti, helposti ja nopeasti ja mahdollisesti ominaisuuksia parantaen. Yhtenä parannusmahdollisuutena voidaan pitää kahden yhtäaikaisen toiminnon korvaamista kolmella yhtäaikaisella toiminnolla. Tämä tarkoittaa sitä, että yhtäaikaisesti voidaan siirtää nosturia ja vaunua sekä käyttää nostoa. Edellä mainittu ei kuitenkaan ole käytännössä aina mahdollista mutta suurin saavutettava etu on nosturin reaktioaikojen lyheneminen kun kaikki ajoliikkeet ovat käytettävissä toistaan riippumatta. Kolmen yhtäaikaisen liikkeen saavuttaminen edellyttää jarruvastuksien uudelleen määrittämistä.

4.2.1 Modernisaatio saman teholuokan taajuusmuuttajilla

Ensimmäisenä on vaihtoehto, jossa vanhojen DAV-taajuusmuuttajien tilalle vaihdetaan uudet D2V-laitteet säilyttäen taajuusmuuttajien teholuokat ennallaan lukuun ottamatta noston laitteita. Taulukossa 2 on esitetty DAV- ja D2V-taajuusmuuttajien kehyskoot.

TAULUKKO 2. DAV- ja D2V-taajuusmuuttajien kehyskoot. [7]

DAV-invertterit	Leveys/mm	Korkeus/mm	Syvyys/mm
Nosto 110/160 kW	496	950	353
Vaunu 30 kW	220	575	290
ACM 7,5 kW	157	452	238
Teli 18,5 kW	220	575	290

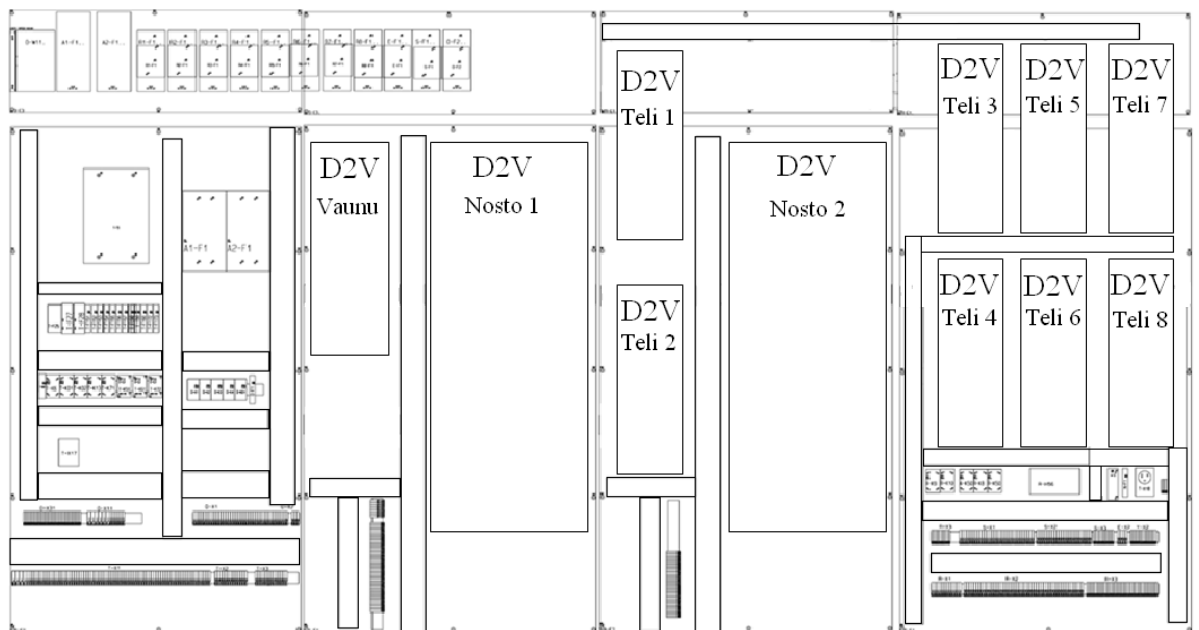
D2V-invertterit	Leveys/mm	Korkeus/mm	Syvyys/mm
Nosto 132 kW	480	1150	362
Vaunu 30 kW	237	630	257
ACM 7,5 kW	143	419	214
Teli 18,5 kW	195	558	237

Kuten taulukosta 2 voidaan nähdä, että vastaavien taajuusmuuttajien koot ovat muuttuneet. Merkittävin ero on noston laitteissa, jossa D2V-malli on 200 mm korkeampi kuin DAV-malli. Niinpä tämän perusteella voidaan todeta, että taajuusmuuttajien

vaihtaminen suoraan samoille paikoille ei ole mahdollista. Uudelleenasettelu on siis tehtävä.

Telin ja ACM:n D2V-mallin taajuusmuuttajat ovat mitoiltaan pienemmät kuin DAV-mallin. ACM:n invertterit sijaitsevat vaunun kaapissa, joten näiden vaihtamisessa ei tule olemaan mitään ongelmaa. ACM:n taajuusmuuttajat pidetään edelleen vaunun kaapissa, ja näin vältetään koneistojen uudelleen kaapeloinnilta.

Telien invertterit ovat nykyisessä asettelussaan sähköhuoneessa ja näistä neljä noston inverttereiden yläpuolella (katso kuva 11). Jotta korkeammat D2V-mallin noston invertterit saadaan mahtumaan, on näille löydettävä uusi sijainti. Noston taajuusmuuttajien sijainti on hyvä pitää samana suurien moottorikaapeleiden vuoksi. Vaunun D2V-mallin invertteri on DAV-mallia 55 mm korkeampi ja 17 mm leveämpi. Kuvasta 11 voidaan nähdä että, tämän tilan saaminen ei ole mahdollista vaunun taajuusmuuttajan nykyiselle paikalle. Kuvassa 13 on esitetty asetteluehdotus, jolla nämä taajuusmuuttajat saadaan sijoitettua asennuslevyille.



KUVA 13. Modernisaatio saman teholuokan taajuusmuuttajilla.

Kuvasta 13 nähdään, että neljä telin taajuusmuuttajaa tulee melko korkealle. Näissä inverttereissä olevat näytöt ylittävät näin ollen 1700 mm korkeuden. Tämä mitta on korkein korkeus, joka saa olla luettavalla näytöllä. Luettavalla näytöllä tarkoitetaan esimerkiksi paneelia, josta voidaan lukea taajuusmuuttajan toimintaan liittyviä tietoja.

Ongelmaksi tässä ratkaisumallissa voi myöhemmässä vaiheessa nousta telien inverttereiden sijoittelu kahteen riviin. Vähäisen tilan vuoksi taajuusmuuttajat tulee sijoittaa lähemmäksi toisiaan. Inverttereiden jäähditys tapahtuu puhaltimilla, jotka kierrättävät ilmaa inverttereiden läpi alhaalta ylös. Tällöin alapuolella oleva invertteri puhaltaisi kuumaa ilmaa yläpuolella olevaan. Pitkäjaksoisessa käytössä tämä johtaa invertterin ylikuumentumiseen, toimintahäiriöihin ja mahdollisesti hajoamiseen.

Telien inverttereiden huonoksi puoleksi voidaan myös todeta näiden tekniset ominaisuudet. Ongelmana on se, että 18,5 kW:n taajuusmuuttaja on alitehoinen. Tämä ilmenee pyöriä käännettäessä epätasaisella alustalla. On mahdollista myös käyttää 22 kW:n taajuusmuuttajaa, mutta tämäkin osoittautuu alitehoiseksi äärioloissa. Tästä seuraava taajuusmuuttaja on teholtaan 30 kW, mutta joka fyysisiltä mitoiltaan on niin suuri kokoinen, että kahdeksan kappaleen sijoittaminen sähköhuoneeseen on mahdotonta.

Kuvasta 13 voidaan myös todeta, että ratkaisumalli tekee kojelevyit ahtaaksi. Vähäinen tila on tämän työn yksi suurimmista haasteista. Jotta taajuusmuuttajat saadaan mahtumaan, olisi jarruvastusten valintakontaktorit poistettava, ja tämä on mahdollista vain lisäämällä jarruvastuksia.

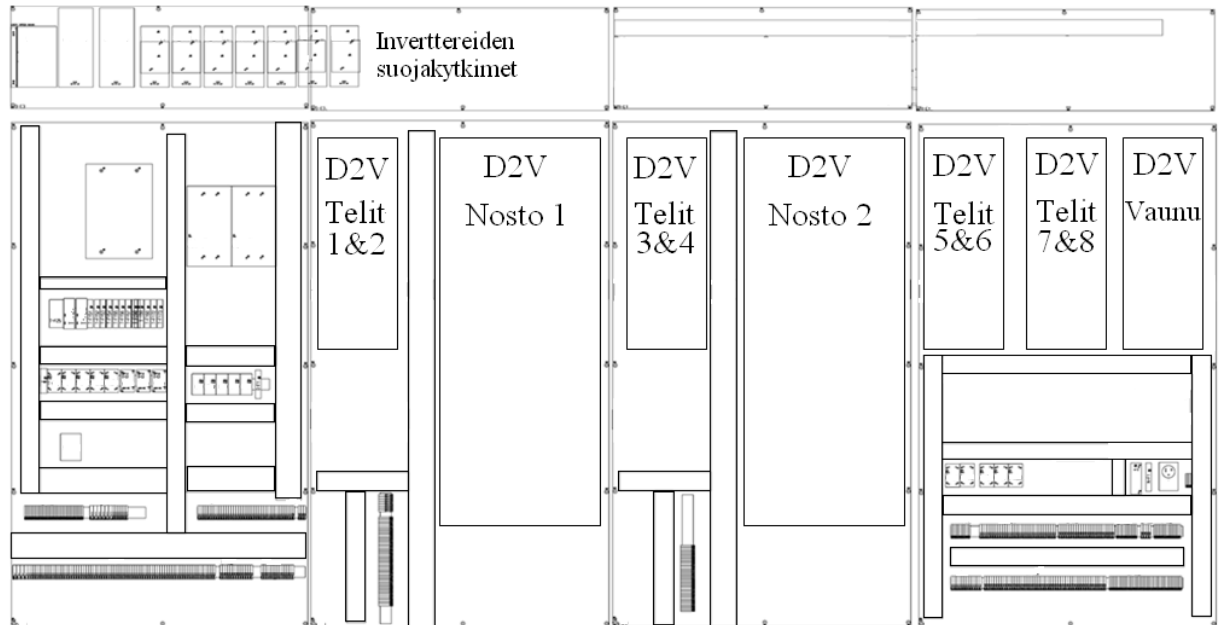
4.2.2 Modernisaatio RTG2005:n teholuokan taajuusmuuttajilla

Toisena vaihtoehtona on tapa, joka mukailee RTG2005:n kokoonpanoa. Uudet D2V-taajuusmuuttajat ovat samat kuin RTG2005:ssä käytettävät (katso taulukko 1). Poikkeuksena kuitenkin ACM, johon valitaan 7,5 kW:n laite. Tämän tehoinen on todettu hyvin toimivaksi ACM-koneistolle. Taulukossa 3 on esitetty toisen vaihtoehdon inverttereiden tehot ja mitat.

TAULUKKO 3. D2V-taajuusmuuttajien kehyskoot. [7]

D2V-invertterit	Leveys/mm	Korkeus/mm	Syvyys/mm
Nosto 132 kW	480	1150	362
Vaunu 45 kW	237	630	257
ACM 7,5 kW	143	419	214
Teli 45 kW	237	630	257

Taulukosta 3 nähdään, että telien ja vaunun inverttereiden tehojen myötä ovat mitat myös suuremmat kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa. Noston invertterit vaikuttavat paljon tässäkin sijoittelumallissa muiden komponenttien sijaintiin. ACM:n taajuusmuuttajat sijoitettaisiin nytkin vaunun kaappiin, joka ei teetä ongelmia. Kuvassa 14 on esitetty tämän toteutusmallin sijoitteluehdotus sähköhuoneelle.



KUVA 14. Modernisaatio mukaillen RTG2005:n kokoonpanoa.

Kuten kuvasta 14 nähdään, on telien taajuusmuuttajien määrä puolittunut neljään, joten yksi taajuusmuuttaja ohjaa kahta telin moottoria. Invertteriksi tulisi 45 kW tehollaan oleva laite, jolla ratkaisulla pystyttäisiin tuottamaan tarpeeksi tehoa pyörien kääntöön ääritilanteissa. Näin saadaan myös inverttereiden suojakytkimien kappalemäärää pienennettyä neljällä, joka vapauttaa tilaa sähköhuoneen vasemman puoleiselta yläkojelevyltä. Lisättäväksi tulevat kuitenkin moottoreiden ohjauskontaktorit. RTG2000-mallissa jokaisen telimoottorin jarrutusenergia ohjataan omalle jarruvastukselle invertterin kautta. Neljän invertterin mallissa yhden jarruhakkurin kautta kulkee kahden moottorin jarrutusenergia. Tämä johtaa jarruvastusten uudelleen määrittämiseen.

Tässä toteutusmallissa sähköhuoneeseen jää tilaa huomattavasti edellistä enemmän ja tämä helpottaa pienempien komponenttien uudelleensijoittelua sekä mahdollisten uusien komponenttien lisäämistä. Lisäksi taajuusmuuttajien sijoittelu mahdollistaa niiden riittävän jäähtymisen, koska invertterit ovat rinnakkain eikä yksikään näin puhalla kuumaa ilmaa toisen sisään.

4.2.3 Modernisaatio RTG2005:n kaltaiseksi

Tässä vaihtoehdossa nosturin sähkökäytöt modernisoidaan RTG2005:n järjestelmää vastaavaksi, joka yhtenäistää Konecranesin RTG-nostureiden taajuusmuuttaja-valikoimaa ja mahdollistaa varaosien helpon saatavuuden. Sähköhuoneeseen tulevien taajuusmuuttajien sijoittelu vastaa edellistä vaihtoehtoa (katso kuva 13).

RTG2005-mallissa syötetään kaikkia muita taajuusmuuttajia noston laitteiden kautta yhteisen välipiirin avulla. Tämä tarkoittaa sitä, että toteutustavassa taajuusmuuttajille luodaan yhteinen välipiiri. Tälläkin vaihtoehdolla saavutetaan kolme yhtäaikaista ajo-liikettä. ACM:n taajuusmuuttajia ei vanhassa nosturissa kuitenkaan voi helposti kytkeä yhteiseen välipiiriin niiden sijainnin vuoksi. Näillä tulee siis olla omat vastukset, kuten RTG2000-mallissa.

Sähkösuunnittelun kannalta tämä vaihtoehto on helpoin, sillä vanhan järjestelmän korvaamiseksi ei tarvita uutta suunnittelutyötä vaan voidaan käyttää jo olemassa olevia suunnitelmia. Toteutuksen ongelmana on kuitenkin tila. Yhteisellä välipiirillä toteutetun RTG2005:n sähköhuone on 600 mm pidempi kuin RTG2000:n. Jotta tarvittavat komponentit saadaan mahtumaan, on tehtävä lisätilaa sähköhuoneen ulkopuolelle. RTG2005-mallissa tämä on ratkaistu sijoittamalla osa kulkutien puoleisten järjestelmien komponenteista ulkopuoliseen sähkökaappiin ja tämä sitten kulkutien puoleiselle kynnyspalkille. Modernisaatiossa tämä tarkoittaa käytännössä sähkökaappien lisäämistä esimerkiksi sähköhuoneen katolle, sillä se on kaapeloinnin kannalta helpoin paikka saavuttaa. Sähkökaapin sijoittaminen samoin kuin RTG2005:ssä edellyttää muutoksia nosturin teräsrakenteen yli menevässä kaapeloinnissa. [6]

Yhtenä vaihtoehtona on vanhan sähköhuoneen korvaaminen täysin uudella, jolloin voidaan toteuttaa sähköhuoneen rakenne RTG2005:n kaltaiseksi ja jossa tila voidaan käyttää tehokkaimmin. Sellaisessa tapauksessa järkevintä on tehdä uusi sähköhuone uusien komponentein Konecranesin sähkölaitetehtaalla. Sähköhuoneen vaihto uuteen kasvattaa työmäärän suureksi. Syitä tähän on useita, kuten esimerkiksi vanhan sähköhuoneen poistaminen ja uuden vastaavan asentaminen. Tämän vaihdon seurauksena kaapelointi on tehtävä täysin uudelleen, sillä vanhojen kaapeleiden läpivientisovittei-

den purku ei ole mahdollista kaapeleita vahingoittamatta. Voidaan siis todeta, että kustannukset ja työn ajallinen kesto nousevat suuriksi.

4.2.4 Yksittäisen liikkeen modernisointi

Neljäntenä vaihtoehtona on tapa, jossa modernisoidaan vain yksi tai yhden liikkeen taajuusmuuttajat asiakkaan toivomuksen mukaan. Voidaan siis todeta, että vaihtoehtoja on neljä, jotka ovat telien, noston, ACM:n ja vaunun taajuusmuuttajien modernisointi.

Telien taajuusmuuttajien modernisointi onnistuu helposti jos käytetään 18,5 kW:n tai 22 kW:n inverttereitä, sillä nämä ovat vastaavan teholuokan DAV-mallia pienempiä mitoiltaan. Ongelmaksi jää kuitenkin näiden alitehoisuus. Toisaalta 45 kW:n tehoisen taajuusmuuttajan sijoittaminen ei ole yhtä helppoa, koska vanhan sähköhuoneen tila on käytetty erittäin tehokkaasti ja isommat laitteet vaativat asennuslevyjen uudelleen asettelua.

Noston päivittäminen uudemman sukupolven laitteilla on hankalaa, koska D2V-sukupolven laite on 200 mm DAV-mallia korkeampi. Koska alapuolella ei ole tilaa laisinkaan, on taajuusmuuttajalle saatava tilaa sen yläpuolelta, jossa on jo telien taajuusmuuttajia. Tästä johtuen pitäisi tehdä laitteiden uudelleen sijoittelu eikä täysi sähköhuone juuri tarjoa mahdollisuuksia tälle. Yhtenä vaihtoehtona voisi olla neljän yläpuolisen taajuusmuuttajan sijoittaminen kojelevyseinän vastaiselle seinälle, mutta ongelmaksi tässä ratkaisussa vastaan tulevat turvaetäisyydet ja ahtaus, joka estää liikkumisen sähköhuoneessa. Taajuusmuuttajan edessä tulee olla 900 mm työtilaa jännitteisistä osista, mikäli vastakkaisella puolella on vain seinä, mutta 1200 mm mikäli vastakkaisella seinällä on sijoitettuna muita sähkölaitteita kuten taajuusmuuttajia. Tässä tilanteessa ainoana ratkaisuna voidaan pitää sähköhuoneen katolle asennettua erillistä sähkökaappia, johon neljä telin taajuusmuuttajaa sijoitetaan. [7]

Vaunun taajuusmuuttajan modernisointi voidaan toteuttaa käyttämällä 30 kW:n tai 45 kW:n laitetta. Tämä edellyttää kuitenkin myös uudelleen sijoittelua, koska D2V-taajuusmuuttaja on 55 mm edeltäjänsä korkeampi. Helpoin ratkaisu on sijoittaa uusi vaunun taajuusmuuttaja ensimmäisen telin paikalle ja tämä puolestaan vaunun laitteen

vanhalle paikalle (katso kuva 11). Tehtäväksi tulee vielä kaapeleiden jatkaminen ja uudelleen kytkeminen.

Viimeisenä on ACM:n modernisaatio. Tämä on työmäärältään pienin, koska modernisaation kohde sijaitsee vaunun kaapissa eikä vaadi uudelleen sijoittelua. Lisäksi uudemman sukupolven taajuusmuuttajat ovat mitoiltaan pienempiä, joten tilakaan ei ole ongelma. ACM:n taajuusmuuttajien vaihtaminen edellyttää jarruvastusten uusimista.

Näistä neljästä erillään tehtävästä modernisaatiovaihtoehdosta voidaan todeta, pelkääntään noston taajuusmuuttajien modernisointi on käytännössä lähes mahdotonta. Mahdollisuus noston laitteiden modernisaatiolle tulee, jos uusitaan myös telien taajuusmuuttajat. Silloin saadaan tarvittava tila noston D2V-malleille.

Kuten kaikki asennus- tai muutostyöt tämäkin edellyttää hyvää dokumentointia ja erityisesti niistä nostureista, jotka on osittain modernisoitu. Muuten käy ajan kuluessa niin, että ei enää tiedetä mitä mihinkin nosturiin on tehty.

5 SUUNNITTELU

Edellisistä vaihtoehdoista tarkemman tutkimuksen kohteeksi valitaan modernisaatio, joka mukailee RTG2005:n kokoonpanoa. Tämä vaihtoehto katsottiin parhaaksi, kun kriteereinä ovat työn nopeus ja helppous ja näistä johtuen kustannustehokkuus. Lisäksi valintaan vaikutti tämän toteutustavan yhtäläisyydet sekä RTG2000- että RTG2005-mallien välillä. Lisäksi valitaan vaihtoehto, jossa modernisoidaan vain ACM-järjestelmän taajuusmuuttajat.

5.1 Valinnan perustelu

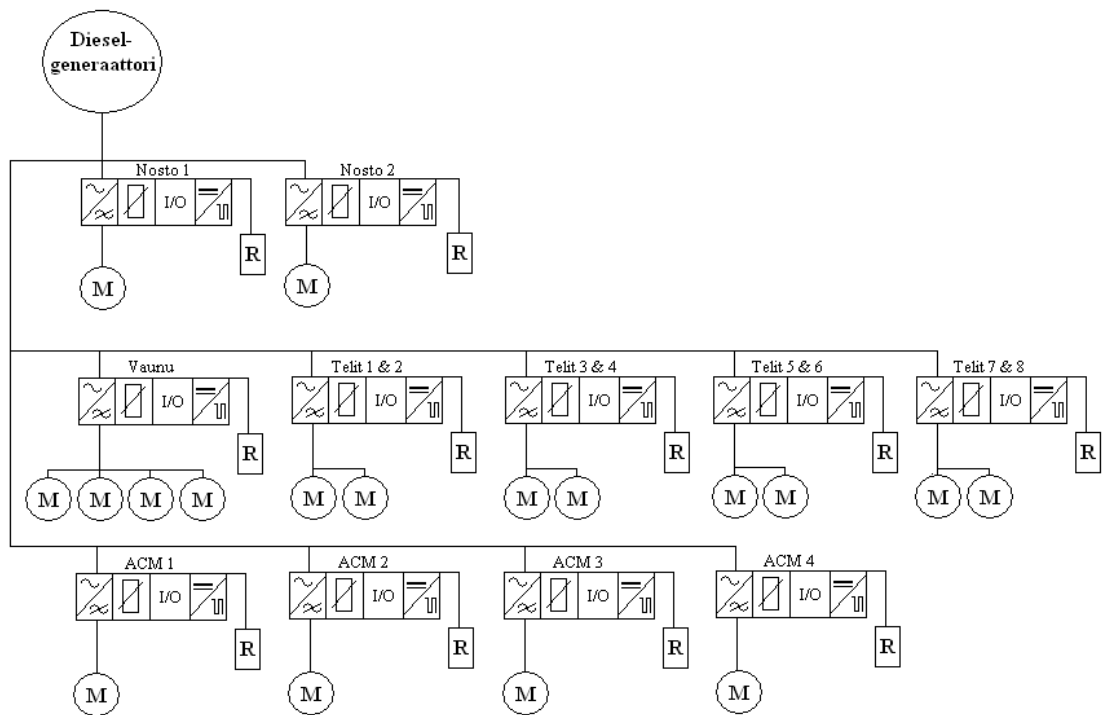
Taloudelliselta kannalta mietittynä, uudet taajuusmuuttajat määrittelevät suurimman osan koko modernisaation hinnasta. Jotta modernisaatio saadaan helpoksi ja työmaalla tehtävä työ minimoitua, on järkevää uusita kaikkine komponentteineen ne kojelevyt, joihin taajuusmuuttajia sijoitetaan. Uusilla komponenteilla parannetaan nosturin

toimintavarmuutta, sillä vanhojen komponenttien joukossa on varmasti jo elinkaarensa päässä olevia laitteita.

Kun vaihdetaan vain kojelevy, voidaan käyttää nykyistä sähköhuonetta. Tällöin kaapelointia ei tarvitse purkaa eikä uusida. Jos sähköhuone halutaan vaihtaa, on riskinä kaapeloinnin vaurioituminen ja tämä puolestaan johtaisi kaapeleiden uusimiseen. Sähköhuoneen vaihtaminen on myös kallista ja aikaa vievää työtä.

Modernisaation lopputuloksen suurimpana erona vanhaan malliin nähden on telien taajuusmuuttajien lukumäärän pienentyminen neljään. Yhdellä taajuusmuuttajalla ohjataan siis kahta moottoria ja tämä toteutetaan siten, että kunkin jalan alla olevat kahden pyöräparin koneistot ovat rinnankytkettyjä. RTG-nosturin pyörien kääntö tapahtuu kahdessa osassa, ensiksi neljä ulompaa ja seuraavaksi neljä sisempää pyöräparia. Pyöräparien asetelma nähdään kuvassa 1. Näin siksi, että mikäli kaikki pyörät käännettäisi yhtä aikaa, liikkuisi koko nosturi pyörien käännön aikana varsinkin vinolla pinnalla satunnaiseen suuntaan. Lisäksi mahdollisista kääntöalustan erilaisuuksista ja siten erilaisista kääntöajoista johtuen pyöräpareja tulee pystyä ajamaan yksi kerrallaan. Jotta tämä olisi mahdollista, jokaista telin koneistoa varten täytyy lisätä moottorin etupuolelle valintakontaktori, jolla määritellään mitä pyöräparia ajetaan. Valintakontaktoreiden valinta ja ohjaus tapahtuvat PLC:n avulla. Lisäksi jokaiselle telikoneiston moottorille lisätään myös suojakytkin, jotka sijoitetaan sähköhuoneeseen. Tällöin ne suojaavat moottorin lisäksi moottorikaapeleita.

Modernisoidussa nosturissa kaikki taajuusmuuttajat saavat edelleen syöttönsä kolmi-vaiheisena suoraan generaattorilta. Kuvassa 15 on esitetty periaatekuva modernisoidun nosturin taajuusmuuttajien kytkennästä.



KUVA 15. Periaatekuva modernisoidun RTG-nosturin taajuusmuuttajien kytkennästä.

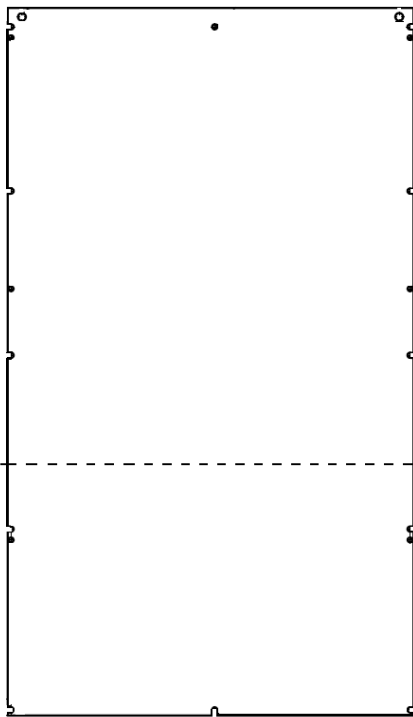
Kuten kuvasta 15 nähdään, on taajuusmuuttajien syöttö toteutettu samalla tavalla kuin RTG2000-nosturissa. Lisäksi jokaisella taajuusmuuttajalla on oma jarruvastus, jolloin mahdollistuu kolmen yhtäaikaisen liikkeen toiminta.

5.2 Kojelevyt

Sähköhuoneessa olevista kojelevyistä uusitaan neljä. Kolme näistä on isompia, joilla taajuusmuuttajat sijaitsevat ja neljäs toinen pienemmistä yläkojelevyistä, jolla jarruvastusten valintakontaktorit sijaitsivat aikaisemmin. Kun taajuusmuuttajia vaihdetaan, vanhoja kiinnitysreikiä ja tappeja ei voida käyttää juuri ollenkaan ja niinpä onkin helpompaa vaihtaa kojelevyt kokonaan uusiin.

Kojelevyt on helpompi kalustaa Konecranesin sähkölaitetehtaalla kuin nosturityömaalla. Koska taajuusmuuttajat määrittelevät hinnasta suurimman osan, kannattaa myös pienemmät ja halvemmat komponentit uusia kun levyjä tehdään. Näin saadaan vähennettyä työmaalla tehtävää työtä. Kun levyt kalustetaan kokonaan uudelleen, voidaan myös komponenttien uusi sijoittelu tehdä helpommin. Kuten jo aikaisemmin on todettu, uudelleen sijoittelulta ei voida vältyä, sillä uusien ja vanhojen taajuusmuuttajien fyysiset mitat poikkeavat joiltakin osin toisistaan erittäin paljon.

RTG2000-mallin sähköhuoneessa on kahdeksan kojelevyä, joista kuusi on suuria alalevyjä ja kaksi pieniä ylälevyjä. Alalevyn korkeus on 1628 mm ja leveys 936 mm kun puolestaan ylälevyn korkeus on 413 mm ja leveys 1891 mm. Levyjen paksuus on 8 mm. Ongelmaksi voi muodostua alalevyjen koko ja paino, sillä ne ovat kokonsa puolesta hankalia käsitellä ahtaissa tiloissa ja jo pelkkä levy painaa noin 50 kg. Järkevä ratkaisu on katkaista levyt sopivasta kohdasta, jolloin ne saadaan helpommin käsiteltäväksi. Kuvassa 16 esitetään alalevy ja tälle sopiva katkaisukohta, joka on merkitty katkoviivalla.



KUVA 16. Kojelevyn katkaisu kohta.

Katkaisukohta on määritelty taajuusmuuttajien mittojen mukaan. Telin taajuusmuuttaja kiinnitetään kokonaan ylemmälle osalle ja noston invertteri kiinnitetään molemmille osille. Kun käytetään samankokoisia levyjä kuin aikaisemmin, voidaan levyt kiinnittää sähköhuoneessa jo olemassa oleviin kiinnityspaikkoihin. Kuvasta 16 nähdään levyn kiinnityskohdat, joita on yhteensä 11 kappaletta. Viisi levyn oikealla ja vasemmalla sivuilla sekä yksi on alhaalla keskellä.

5.3 Komponentit

Suurin osa muista komponenteista tulee pysymään samoina kuin entiset. Ne, jotka sijaitsevat vaihdettavilla levyillä, tullaan uusimaan. Jos vanhoilla levyillä on joitain sellaisia laitteita, jotka vaikuttavat modernisaation kustannuksiin oleellisesti, on tällaisten kohdalla syytä harkita huolellisesti kannattaako uusiminen. Tekniikka on toki kehittynyt vuosien varrella niin paljon, että joitakin laitteita voi olla järkevää vaihtaa uudempaan jo tämän takia.

Taajuusmuuttajien lisäksi tulee myös joitakin muita uusia komponentteja. Telin taajuusmuuttajien määrän vuoksi tulee siis lisätä valintakontaktorit ja moottorisuojakatkaisijat kaikkien kahdeksan moottorin etupuolelle. D2V-mallin taajuusmuuttajille tehdään erillinen OK-piiri, koostuu kontakteista. OK-piirin avulla saadaan tieto taajuusmuuttajan valmiustilasta. Tätä varten käytetään varalla olevia kaapeleita, mutta piiriin liittyvät kontaktorit tulee lisätä. Tavoitteena on sijoittaa nämä kontaktorit mahdollisimman lähelle taajuusmuuttajia, jolloin piirin johdotus on helpompaa.

Lukkotappikoneistojen vanha ohjausreleistö on toteutettu perinteisin vie erittäin paljon tilaa. Kokonsa vuoksi nämä täytyy uudelleen sijoittaa, sillä uudet telin D2V-taajuusmuuttajat. Nykyinen ohjausreleistö sisältää kaksi suuntakontactoria ja lämpöreleen, joka suojaa moottoria ja sen kaapelointia ylikuumentumiselta. Nämä tullaan korvaamaan hybridi-suunnanvaihtokontactorilla, joka sisältää ohjauksen suunnanvaihdolle ja lämpöreleen. Etuna on laitteen koko, sillä uuden releistön leveys on vain 19 cm kun taas vanhan leveys on 72 cm.

DAV-mallin yhteydessä nostomoottoreiden ryntösuojana käytetään NOVA nimisiä laitteita, jotka ovat erillisiä komponentteja taajuusmuuttajien vieressä. NOVA:lla valvotaan nostokoneistojen moottoreiden pyörimisnopeutta. NOVA pysäyttää nostoliikkeen, mikäli se havaitsee jommankumman koneiston ylinopeuden. Uudessa D2V-mallissa käytettä SSU-korttia, joka on taajuusmuuttajan ohjausyksikössä ja niinpä uusien taajuusmuuttajien myötä voidaan luopua NOVA:n käytöstä, sillä SSU-kortti toimii samalla periaatteella. [4. s.5.]

5.4 Jarruvastukset

Kun taajuusmuuttajan ohjaamalla moottorilla halutaan nopeita jarrutuksia, muuttuu moottori generaattoriksi. Moottorin synnyttämä teho virtaa tällöin taajuusmuuttajan välipiiriin aiheuttaen siellä jännitteen nousua, jota taajuusmuuttajan jännitteensäätäjä yrittää kompensoida nostamalla lähtötaajuutta. Taajuusmuuttaja pystyy kuluttamaan jarrutuksessa syntyvästä tehosta vain pienen osan. Kun moottoria on pystyttävä jarruttamaan suuremmalla teholla, mitä moottorin häviöt ovat, on käytettävä vastusjarrutusta. Jarruvastuksessa jarrutusenergia muutetaan lämmöksi. [9. s.3.]

Vastuksen valintaan vaikuttavat siihen jarrutusjaksojen aikana johdettu maksimiteho ja keskimääräinen teho. Maksimiteho määrittää vastuksen resistanssin. Keskimääräisen tehon perusteella määritetään kaapeloinnin koko ja jäähdytyksen tarve. Lisäksi tulee huomioida jarrukatkojen kytkinkomponentin virran- ja tehonkesto. Maksimiteho lasketaan kaavalla 1 ja keskimääräinen teho kaavalla 2.

$$P_{\max} = \frac{T_B \times n}{9550} [kW]$$

KAAVA 1. Jarruvastukseen johdettava maksimiteho.

$$P_{\text{avg}} = \frac{\frac{T_B \times n}{2}}{9550} [kW]$$

KAAVA 2. Jarruvastukseen johdettava keskimääräinen teho.

Joissa T_B on tarvittava jarrutusmomentti ja n moottorin pyörimisnopeus, kun jarrutus alkaa. [9. s.7-9.]

RTG2000-nosturissa on jarruvastuksina ilmajäähdytteiset levyvastukset. ACM-järjestelmän jarruvastukset sijaitsevat vaunun vastuskaapissa, joka on taajuusmuuttajakaapin vieressä. Muiden taajuusmuuttajien vastukset ovat erillisissä kaapeissa sähköhuoneen katolla.

RTG2000-nosturissa ACM-järjestelmän ja vaunun taajuusmuuttajien jarruvastukset ovat aina samat riippumatta nosturin nostokapasiteetista mutta noston ja telien

taajuusmuuttajien vastusten määrät poikkeavat toisistaan. Johtuen vastusten yhteiskäytöstä näiden tehonkesto on määritetty nostokoneistojen mukaan. Vastusten lukumäärän puolestaan määrittelevät telien koneistojen lukumäärä. Koska telejä on kahdeksan, on vastusten määrän myös oltava kahdeksalla jaollinen. RTG2000-nostureiden jarruvastuksien määrät ovat esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Jarruvastuksien kappalemäärät (RTG2000). [3]

Taajuusmuuttaja	40,6 T	50,8 T
Nosto/Telit	8	16
Vaunu	1	1
ACM	4	4

Taulukosta 4 nähdään, että 40,6 tonnin nosturissa on noston ja telien taajuusmuuttajille yhteensä kahdeksan jarruvastusta ja vastaavasti 50,8 tonnin nosturissa on 16 jarruvastusta. Esimerkiksi, kun 50,8 tonnin nosturilla ajetaan telejä, käyttää kukin taajuusmuuttaja kahta jarruvastusta. Nostokoneistoja ajettaessa, on jarruvastuksia käytössä kahdeksan molemmilla taajuusmuuttajilla. Vastukset ovat kytketty rinnan.

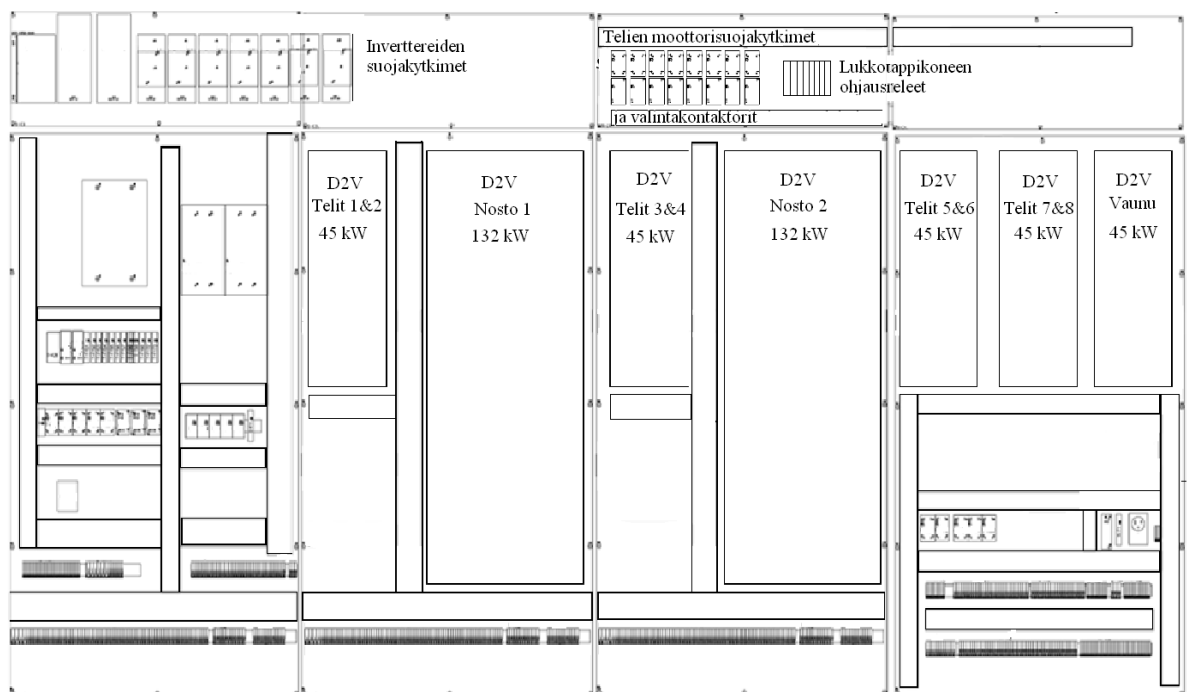
Modernisaatiossa uusien sähkökäyttöjen lisäksi parannetaan nosturin toimintakykyä mahdollistamalla kolme yhtäaikaista ajoliikettä nykyisen kahden sijaan. Tämä ominaisuus saavutetaan kun lisätään jarruvastuksia niin, että jokaisella taajuusmuuttajalla on tarvittava määrä omia vastuksia. Vaunun ja ACM-järjestelmän taajuusmuuttajien jarruvastuksien lukumäärät pysyvät samoina, mutta ACM-järjestelmän vastukset joudutaan vaihtamaan D2V-taajuusmuuttajan asettamien vaatimusten mukaiseksi.

Ensimmäinen ratkaisu on hyödyntää vanhoja vastuksia ja lisätä modernisaation edellyttämät uudet. Nykyiset jarruvastuskokoonpanot on mitoitettu nostokoneistojen maksimitehon mukaan. Paras ratkaisu on siis käyttää nykyisiä vastuksia noston taajuusmuuttajien jarruvastuksina ja lisätä jarruvastukset telien taajuusmuuttajille. Modernisaatiossa telien taajuusmuuttajien määrä puoliintuu ja yksi invertteri ohjaa kahta moottoria, joten jokaisen jarruvastuksen on kestettävä kahden moottorin regeneroitava teho. Järkevää on käyttää putkivastuksia, jotka ovat tehonkestoaltaan huomattavasti levyvastuksia parempia. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että lisätään neljä vastusta ja kaappi, johon ne voidaan sijoittaa.

Toinen ratkaisu on vaihtaa kaikki vastukset, jolloin kannattaa valita putkimalliset. Tämä tarkoittaa jarruvastusten määrittämistä kokonaan uudelleen, koska putkivastusten tehonkesto on suurempi ja mitoitusperuste on erilainen. Esimerkiksi 50,8 tonnin nosturissa noston taajuusmuuttajan kahdeksan levyvastusta voidaan korvata neljällä putkivastuksella. Koska levy- ja putkivastuksien kiinnityskehukset ovat samanlaiset, voidaan käyttää vanhoja vastuskaappeja. Ongelmana on kuitenkin 40,6 tonnin nosturissa se, että tarvittava määrä uusia vastuksia ei mahdu nykyisiin kaappeihin, vaan tähän sovellukseen on lisättävä yksi vastuskaappi lisää sähköhuoneen katolle. Kaikkien vastuksien vaihdolla päästään eroon mahdollisista ikääntyneistä ja likaantuneista jarruvastuksista, jotka voivat myöhemmin rikkoa taajuusmuuttajan. Tämä on kuitenkin kalliimpi ratkaisu kuin vain vastuksien lisääminen.

5.5 Sähköhuone

Sähköhuoneen komponenttien asettelu tulee muuttumaan huomattavasti. Suurimpana haasteena on tila, joka pakottaa sijoittamaan komponentteja uudelleen. Sähköhuoneen asettelua suunniteltaessa taajuusmuuttajat sijoitettiin ensin kuvaan ja sen jälkeen pienemmät komponentit. Kuvassa 17 esitetään modernisoidun sähköhuoneen komponenttien sijoittelu.



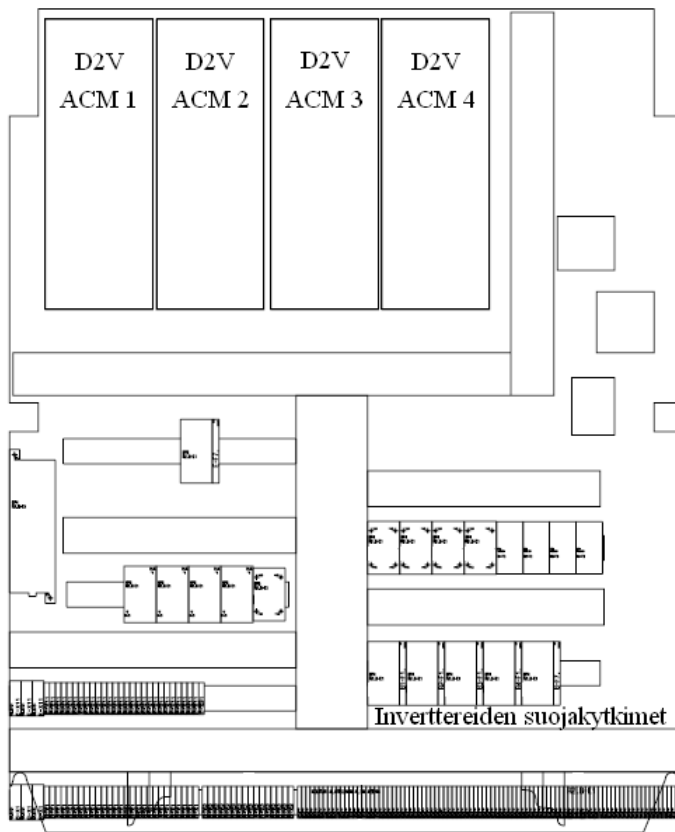
KUVA 17. Sähköhuoneen komponenttien sijoittelu.

Taajuusmuuttajien sijoittelu on esitetty aikaisemmin jo kuvassa 14, joka ei kuitenkaan ole sijoittelultaan yhtä lopullinen kuin yllä olevassa esitetty malli. Kuvasta nähdään, että oikealle ylös on sijoitettu telien moottorisuojakytkimet ja valintakontaktorit sekä lukkotappikoneistojen ohjausreleet. Asennuslevyjen alareunaan tulee koko levyjen leveydeltä kisko riviliittimiä varten, joita voidaan tällöin lisätä tarpeen mukaan helposti. Kiskon yläpuolelle tulee johtokouru, jonka avulla voidaan tehdä sähköhuoneen sisäiset johdotukset ilman moninapaisia kaapeleita käyttäen ainoastaan johtimia.

Aikaisemmin moottoreille menevät syöttökaapelit on kytketty suoraan taajuusmuuttajiin. Koska inverttereiden sijainnit muuttuvat, ei ole varmaa, ovatko vanhat kaapelit riittävän pitkiä aikaisemman kaltaiselle asennukselle. Tämän vuoksi kytketään jokaisen moottorin taajuusmuuttajalta tuleva kaapeli ensin sähköhuoneen riviliittimille, josta ne jatkavat edelleen moottoreille. Näin voidaan hyödyntää nosturin vanha kaapelointi.

5.6 Vaunun sähkökaapit

Vaunun sähkökaapit on järkevintä pitää ennallaan, sillä näihin ei tule suuria muutoksia. ACM-järjestelmän DAV-taajuusmuuttajat ovat ulkomitoiltaan 33 mm korkeampia ja 14 mm leveämpiä kuin D2V-mallin laitteet. Joten näiden sijoittelua varten ei tarvitse tehdä uudelleen järjestelyä kojelevyillä.



KUVA 18. ACM-järjestelmän taajuusmuuttajien sijoittelu vaunun sähkökaapissa.

Kuvasta 18 nähdään ACM-järjestelmän neljä DAV-taajuusmuuttajaa. Ne on sijoitettu sähkökaapin asennuslevyn yläreunaan. D2V-taajuusmuuttajat asennetaan näille samoille paikoille. Sukupolven vaihdoksen seurauksena tulee muutoksia ACM-järjestelmän jarrunohjauspiiriin.

6 TOTEUTUS

Nosturin modernisaatio alkaa siitä, kun Konecranesin sähkölaitetehtaalla tehdään kojelevyt sähköhuoneeseen. Levyt kalustetaan ja komponenteille tehdään tarvittavat kytkennät. Kahdessa osassa olevat isot asennuslevyt sijoitetaan kalustuksen ajaksi todellisuutta vastaavalle etäisyydelle toisistaan, jotta noston taajuusmuuttajien kiinnitykset voidaan mitoittaa oikeille paikoilleen. Osa kytkennöistä kulkee levyiltä toiselle, joten johtimet näitä varten tullaan tekemään valmiiksi. Kun levyt on saatu valmiiksi, suoritetaan niille koeajo, jossa varmistetaan laitteiden toimivuus ja korjataan mahdolliset kytkentävirheet. Koeajon jälkeen taajuusmuuttajat irrotetaan asennuslevyltä ja näiden kytkennät puretaan. Seuraavaksi taajuusmuuttajat ja kojelevyt pakataan ja toi-

mitetaan työmaalle. Yhden kojelevyn valmistus kestää joitakin päiviä. Tämä riippuu hyvin paljon komponenttien määrästä ja koosta. Koeajo on näin pienellä kokonaisuudella nopea tehdä. Hidastavia tekijöitä voivat olla vialliset komponentit, joiden vaihtamiseen menee aikaa.

Nosturissa tapahtuva työ alkaa vanhojen kytkentöjen purkamisella jonka jälkeen voidaan irrottaa vanhat komponentit. Vanhat komponentit, erityisesti DAV-taajuusmuuttajat, on syytä poistaa varovasti, sillä ne jäävät asiakkaalle varaosiksi muita DAV-inverttereillä varustettuja vanhoja nostureita varten. Sähköhuoneesta poistetaan myös aikaisemmin mainitut neljä asennuslevyä, jotta uudet levyt voidaan asentaa tilalle. Vaunun sähkökaapista poistetaan ainoastaan ACM-järjestelmän taajuusmuuttajat. [10]

Modernisaatiopaketin asennus alkaa sijoittamalla uudet asennuslevyt sähköhuoneeseen. Nämä neljä levyä kiinnitetään kolmen työntekijän voimin, jolloin yksi työntekijä nostaa levyt trukilla sähköhuoneen oven tasanteelle, josta kaksi muuta siirtää ne asennettavaksi sähköhuoneeseen. Kun levyt on saatu kiinnitettyä, tuodaan D2V-taajuusmuuttajat sähköhuoneeseen asennettaviksi. Telien ja vaunun 45 kW:n taajuusmuuttajat voidaan kiinnittää kahden henkilön voimin, mutta noston 132 kW:n taajuusmuuttajien asennuksiin tarvitaan vähintään kolme työntekijää. Kun sähköhuoneen taajuusmuuttajat ovat paikoillaan, siirtyy yksi työntekijä vaunun sähkökaapille kiinnittämään ACM-järjestelmän taajuusmuuttajia. Laitteet voidaan viedä vaunuun kulkutietä pitkin, mutta turvallisoin tapa on viedä ne ylös henkilönostimella. Kun taajuusmuuttajat on saatu kiinnitettyä, voidaan kytkeä kaapelit riviliittimiin. [10]

Kun kaapelit on saatu kytkettyä, voidaan aloittaa käyttöönotto. Koska modernisaatio käsittää vain taajuusmuuttajat ja näiden ohjauspiirit, ei valaistus- ja lämmityspiirin käyttöönottoa tarvitse suorittaa uudelleen. Käyttöönotossa taajuusmuuttajiin ladataan parametrit ja laitteiden toiminta kokeillaan käytännössä. Kun koneistot saadaan toimimaan halutulla tavalla, voidaan suorittaa kestoproovi, joka tarkoittaa sitä, että nosturia ajetaan kuormittaen taajuusmuuttajia kahdeksan tunnin ajan.

Nosturissa tapahtuvan työn ajalliseksi kestoksi arvioidaan 12–14 työpäivää, kun yhden työpäivän pituus on kahdeksan tuntia ja työntekijöitä on kolme. Tämä arvio ei sisällä

käyttöönottoon kuluvaan aikaan. Yleinen käytäntö Konecranesin työmailla on se, että työpäivän pituus on 10 tuntia, jolloin tämä työ on mahdollista suorittaa 10–12 päivässä. Todelliset tuntimäärät saadaan tietoon vasta kun työ päästään suorittamaan käytännössä. [10]

7 ACM-JÄRJESTELMÄN MODERNISAATIO

Täydellisen modernisaation lisäksi tarkastellaan vaihtoehtoa, joka käsittää pelkästään ACM-järjestelmän taajuusmuuttajat. Tällöin työn kohteena ovat vain ja ainoastaan vaunun kaapissa olevat taajuusmuuttajat. ACM-järjestelmän uusien taajuusmuuttajien sijoittelusta kerrotaan kappaleessa 5.5.

Pelkkä ACM-järjestelmän modernisaatio on työmäärältään pieni. Työ aloitetaan purkamalla nykyisten taajuusmuuttajien kytkennät ja irrottamalla laitteet kojelevyltä. Uusille taajuusmuuttajille tehdään tarvittavat toimenpiteet niiden kiinnitystä varten. Kun uudet laitteet on kiinnitetty, voidaan kytkeä johdot ja tehdä tarvittavat muutokset jarrunohjauspiiriin. Muutokseen sisältyy jarrunohjauspiiriin edellyttämien kontaktorit, jotka lisätään viereiseen kaappiin, sillä ne eivät mahdu samaan kaappiin missä taajuusmuuttajat ovat. Uusien taajuusmuuttajien myötä ovat jarruvastukset vaihdettava D2V-taajuusmuuttajien vaatimusten mukaiseksi. Tässä mainituiden töiden voidaan arvioida kestävän muutamia päiviä. [10]

Jotta uusi järjestelmä saadaan toimimaan vanhassa nosturissa, on parametrit suunniteltava DAV-taajuusmuuttajaa vastaavaksi. Myös PLC:n ohjelmaan on tehtävä muutoksia, jotta järjestelmä saadaan toimimaan. Uusi ACM-järjestelmä saadaan toimimaan parissa tunnissa, ellei suuria ongelmia ilmene.

8 POHDINTA

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia vanhan sukupolven taajuusmuuttajilla varustettujen kumipyöräkonttinostureiden modernisointimahdollisuuksia. Lisäksi tavoitteena oli löytää ratkaisu, joka voidaan helposti tuottaa. Tarkasteltavana oli

aluksi neljä erilaista vaihtoehtoa, joista yksi valittiin. Ensimmäisenä oli vaihtoehto, jossa tarkasteltiin voidaanko vanhat taajuusmuuttajat yksinkertaisesti vain korvata uusilla vastaavilla. Toisessa vaihtoehdossa tarkasteltiin mahdollisuutta käyttää samoja laitteita, joita käytetään uudessa RTG2005-nosturissa. Kolmannessa vaihtoehdossa tarkasteltiin ratkaisua, jossa vanha nosturi modernisoidaan uuden kaltaiseksi korvaamalla kaikki sähköhuoneen komponentit tai koko sähköhuone. Neljännessä vaihtoehdossa tarkasteltiin nosturin yksittäisten liikkeiden modernisointia. Tutkimuksissa selvitettiin, mitä nosturin sähkökäyttöjen modernisaatio todella tarkoittaa ja miten sen toteuttaminen järkevää.

Työssä tehtiin lyhyet katsaukset kaikkiin edellä mainittuun neljään vaihtoehtoon. Tarkastelujen perusteella todettiin toinen vaihtoehto parhaaksi. Ensimmäisen vaihtoehdon ongelmana oli telien taajuusmuuttajien alitehoisuus ja sähköhuoneen ahtaus. Kolmas vaihtoehto todettiin kalliiksi ja hitaaksi toteuttaa. Neljännen vaihtoehdon toteuttaminen on mahdollista kaikkien muiden yksittäisten liikkeiden kohdalla, lukuun ottamatta nostoja.

Tämän työn myötä saatiin tietämystä siitä, kuinka vanhan RTG-nosturin modernisaatio kannattaa tehdä. Löydetty ratkaisu tullaan toteuttamaan, kunhan siihen saadaan sopiva tilaisuus. Koska työn toteutusta ei ole vielä kokeiltu, on mahdotonta arvioida kuinka kaikki onnistuu käytännössä ja kuinka hyvin käytäntö ja teoria kohtaavat.

9 LÄHTEET

[1] Konecranes lyhyesti. 2010. WWW-dokumentti.

http://www.konecranes.com/portal/fin/sijoittajat/konecranes_sijoituksena/konecranes_lyhyesti/ Päivitetty 4.2.2010. Luettu 4.2.2010

[2] RTG Operator's manual. 2002. Sisäinen julkaisu, KCI Konecranes International.

[3] RTG2000-nosturin sähkökuvat 2003, KCI Konecranes International.

[4] DynAHoist Vector and DynAC Vector, product file. 1998. Sisäinen julkaisu, KCI Konecranes International 19.2.1998

[5] Mohan, Ned, Undeland, Tore M. & Robbins, William P., 1989. Power Electronics: Converters, applications and design, Singapore: John Wiley & Sons, Inc.

[6] RTG2005-nosturin sähkökuvat 2008, Konecranes Oyj.

[7] Vacon 2005. User's manual, NXS/P Frequency converters.

[8] Vacon 2005. User's manual, NXS/P Frequency converters, Brake resistors.

[9] Vacon 2000. Jarrukatkojat ja – vastukset, CX/CXL/CXS Taajuusmuuttajat.

[10] Novak, Mirko 2010. Haastattelu 8.4.2010. Operations manager, Konecranes Oyj, Port Service, Espanja

[11] Merimaa, Jorma 2010. Haastattelu 2.2.2010. Päätuotekehitysinsinööri. Konecranes Oyj, Port Technology

[12] Piironen, Hannu, 2005. Nykyaikaisten taajuusmuuttajien perusteet.

[13] DynAHoist Vector II and DynAC Vector II, product file. 2005. Sisäinen julkaisu, Konecranes Oyj.