

VAASAN YLIOPISTO

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

SÄHKÖTEKNIikka

Juho Jaakkola

ERÄÄN KESKIJÄNNITEKOJEISTON LUOKITUKSEN MUUTTAMINEN

– meriluokitusvaatimukset standardeissa ja laivaluokituslaitosten ohjeissa

Diplomityö, joka on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten

Vaasassa 24.11.2010

Työn valvoja

Professori Kimmo Kauhaniemi

Työn tarkastaja

Professori Timo Vekara

Työn ohjaaja

Tekniikan lisensiaatti Ahti Kuitunen

ALKULAUSE

Diplomityö on tehty Vaasassa toimivalle Vaasa Engineering Oy:n tuotekehitysosastolle. Kiitän työni valvojana toiminutta Vaasan yliopiston professoria Kimmo Kauhaniemeä ja tarkastajaa professori Timo Vekaraa. Paljon kiitoksia työni ohjaajalle keskijännite-tuotepäällikkö Ahti Kuituselle ja koko työyhteisölle tuesta ja avusta.

Haluan kiittää myös äitiäni opiskeluni kannustamisesta ja kieliopillisista neuvoista. Kiitän myös kavereitani rentouttavista vapaa-ajan hetkistä.

Vaasassa 24.11.2010

Juho Jaakkola

SISÄLLYSLUETTELO		sivu
	ALKULAUSE	2
	TIIVISTELMÄ	7
	ABSTRACT	8
1	JOHDANTO	9
	1.1 Työn tarkoitus ja lähtökohdat	9
	1.2 Perusteet kojeiston merikehityksen aloittamiselle ja markkina-alueet	9
	1.3 Työn toteutus	11
2	VEKE 24 -KESKIJÄNNITEKOJEISTON OMINAISUUDET	12
	2.1 Kennon rakenne ja sähköiset ominaisuudet	12
	2.2 Kojeston luokitukset	19
	2.3 Kennojen toiminta ja suojausominaisuudet	20
	2.4 Kojeston käyttökohteet	21
3	LAIVASTANDARDIT JA LUOKITUSLAITOKSET	23
	3.1 Laivojen sähköstandardit	23
	3.2 Luokituslaitokset	24
4	MUUTOSTEN SUUNNITTELU	26
	4.1 Merikojestoa koskevat tärkeimmät standardit ja luokituslaitosten ohjeet	26
	4.2 Testattavat vaatimukset	27
	4.3 Yleiset lisävaatimukset	31
	4.3.1 Käyttöturvallisuutta koskevat lisävaatimukset	31
	4.3.2 Mekaaniset lisävaatimukset	33
	4.3.3 Sähköiset lisävaatimukset	35
	4.3.4 Maadoitusten lisävaatimukset	38
	4.4 Korkeajännitelaitteiden tekniset vaatimukset	39
	4.5 Pienjänniteapulaitteiden tekniset vaatimukset	50
	4.6 Tarvittavat rakenteelliset muutokset ja testit	56

4.7	Muutosten vaikutus kojeiston käytettävyyteen ja asentamiseen	62
5	MERIVAATIMUKSET TÄYTTÄVÄN PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN JA TESTAUS	63
5.1	Muutosten toteuttaminen käytännössä	63
5.2	Kojeistolta vaadittavat uudet testit ja testausohjelmat	66
5.3	Muiden valmistajien vastaavan tuotteen ominaisuudet	69
6	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	71
6.1	Meriluokituksen ehdot	71
6.2	Jatkotutkimuskohteita	73
7	YHTEENVETO	75
	LÄHDELUETTELO	77
	LIITTEET	81

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

f_n	Käyttötaajuus
g	Gravitaatiovakio
I	Virta
I_k	Oikosulun tehollisarvo
I_n	Pääkiskon nimellisvirta
I_p	Oikosulun huippuarvo
U_d	Eristystaso vaihtojännitteellä
U_n	Nimellisjännite
U_p	Eristystaso syöksyjännitteellä
Q	Vahvistuskerroin
R_e	Eristysresistanssi
t_k	Oikosulun kesto aika
ABS	Luokituslaitos (American Bureau of Shipping)
BV	Luokituslaitos (Bureau Veritas)
CCS	Luokituslaitos (China Classification Society)
DNV	Luokituslaitos (Det Norske Veritas)
GL	Luokituslaitos (Germanischer Lloyd)
IAC	Sisäisen valokaarikestoisuuden luokitus (Internal Arc Classified)
IACS	Luokituslaitosten kansainvälinen järjestö (International Association of Classification Societies)
IEC	Kansainvälinen standardisoimisjärjestö (International Electrotechnical Commission)
IK	Iskulujuus (Impact strength)
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö (International Maritime Organization)
IP	Suojausluokka (Ingress Protection)
IRS	Luokituslaitos (Indian Register of Shipping)
KR	Luokituslaitos (Korean Register of Shipping)
LR	Luokituslaitos (Lloyd's Register)

LSC	IEC standardin määrittelemät kojeiston käytön jatkuvuuden ehdot (Loss of Service Continuity)
NH ₄ Cl	Ammoniumkloridi
NK	Luokituslaitos (Nippon Kaiji Kyokai)
PTI	Pintavuotovirtaresistanssin määrittävä testi (Proof Tracking Index)
RINA	Luokituslaitos (Registro Italiano Navale)
RS	Luokituslaitos (Russian Maritime Register of Shipping)
SOLAS	Kansainvälinen sopimus merenkulun turvallisuudesta (International Convention for the Safety of Life at Sea)
VEKE	Vaasa Engineering Keski-jännitekojeisto

VAASAN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Tekijä:

Juho Jaakkola

Diplomityön nimi:

Erään keskijännitekojeiston luokituksen muuttaminen – meriluokitusvaatimukset standardeissa ja laivaluokituslaitosten ohjeissa

Valvoja:

Professori Kimmo Kauhaniemi

Tarkastaja:

Professori Timo Vekara

Ohjaaja:

Tekniikan lisensiaatti Ahti Kuitunen

Tutkinto:

Diplomi- insinööri

Laitos:

Sähkö- ja automaatiotekniikan laitos

Koulutusohjelma:

Sähkö- ja energiatekniikan koulutusohjelma

Suunta:

Sähkötekniikka

Opintojen aloitusvuosi:

2005

Diplomityön valmistumisvuosi:

2010

Sivumäärä: 82

TIIVISTELMÄ

Laivojen lisääntynyt tehontarve ja siitä seuraava kuormitusvirran kasvu ovat saaneet telakat siirtymään lisääntyvässä määrin keskijännitteen käyttämiseen pienjännitteen sijasta. Vaasa Engineering Oy:n VEKE 24 -keskijännitekojeisto on alkujaan suunniteltu sähkölaitosten ja teollisuuden sähkönjakelun tarpeisiin. VEKE 24 -kojeiston meriversiota alettiin kehittää, koska telakoiden kiinnostus keskijännitejärjestelmiin on lisääntynyt. Lisäksi merikäyttöihin soveltuva keskijännitekojeisto täydentää hyvin VEO:n tuotevalikoimaa laajentaen markkina-alaa.

Työ toteutettiin vertailemalla kojeiston nykyisiä teknisiä arvoja ja ominaisuuksia IEC laivastandardien sekä ABS, DNV ja LR laivaluokituslaitosten ohjeisiin. Kojeiston muutosten suunnittelun pohjana ja yleisohjeena käytettiin kansainvälisiä standardeja IEC 60092–101, 60092–503 ja 60092–504. Standardien määräyksiä noudatettiin, jollei laivaluokituslaitosten ohjeissa ole toisin sanottu. Kojeiston meriversio tullaan rakentamaan ja testaamaan vaativimpien ohjeiden ja määräysten mukaan.

VEKE 24 -kojeisto täyttää jo sellaisenaan osan IEC laivastandardien ja laivaluokituslaitosten vaatimuksista. Tärkeimmät testit, jotka kojeiston on läpäistävä meriluokituksen saamiseksi, ovat: värinä- ja kallistustesti sekä lämpenemäkokeet. Lisäksi käyttöturvallisuuden parantamiseksi on oviin asennettava maadoituskytkimen asennosta riippuvainen turvalukitus, tukikahva ja tuulihaka sekä mittaus- ja ohjauslaitteiden valot. Kotelointiluokka on nostettava IP 32:een. VEKE 24 -kojeistosta on mahdollista saada meriluokituksen mukainen laite. Diplomityössä on esitetty tarvittavat muutokset ja testaukset meriluokituksen kelpoisuuden saavuttamiseksi. Diplomityön tulosten pohjalta on jo osittain rakennettu testauksia varten merikäyttöihin soveltuva VEKE 24 -kojeiston katkaisijakennon prototyyppi.

AVAINSANAT: Keskijännitekojeisto, Merikelpoisuus, Standardi, Laivaluokituslaitos

UNIVERSITY OF VAASA

Faculty of technology

Author:	Juho Jaakkola
Topic of the Thesis:	Changing the classification of a medium voltage switchgear – marine classification requirements in standards and ship classification societies guidelines
Supervisor:	Professor Kimmo Kauhaniemi
Evaluator:	Professor Timo Vekara
Instructor:	Licentiate in Technology Ahti Kuitunen
Degree:	Master of Science in Technology
Department:	Department of Electrical Engineering and Automation
Degree Programme:	Degree Programme in Electrical and Energy Engineering
Major of Subject:	Electrical Engineering
Year of Entering the University:	2005
Year of Completing the Thesis:	2010

Pages: 82

ABSTRACT

VEKE 24 -medium voltage switchgear manufactured by Vaasa Engineering Oy has been originally developed for electric utilities and industrial power distribution. The use of medium voltage applications in maritime industry is nowadays more common due to increased power demand and load currents in ships. This was the main reason for developing VEKE 24 -marine switchgear version. In addition VEKE 24 marine version complements the product range of Vaasa Engineering Oy and expands the market area.

The study was carried out by comparing technical specifications and characteristics of the existing switchgear with relevant shipping standards and rules by classification societies like ABS, DNV and LR. The modifications were based on international standards IEC 60092-101, 60092-503 and 60092-504. The regulations of the above mentioned standards were complied with, unless the instructions of classification societies indicate otherwise. The marine version of the switchgear will be built and tested according to the most demanding guidelines and regulations.

VEKE 24 -medium voltage switchgear meets partly IEC standards and the requirements of classification societies. As a result of the thesis a list of tests and modifications required is introduced. The most relevant tests to be performed are tilt, vibration and temperature rise tests. IP coding of the switchgear must be raised up to IP 32. Also operational safety needs improving: door interlocking, handles and hold-ups to be fitted. In addition light for measuring and control equipment is required. The aim of this thesis was to find out the modifications need to be done to VEKE 24 -switchgear in order to have it approved to the marine use. Based on the results of this thesis a prototype of a seaworthy VEKE 24 -circuit-breaker cubicle has assembled for testing purposes.

KEYWORDS: MV switchgear, Seaworthiness, Standard, Ship classification society

1 JOHDANTO

Yleensä voimalasta puhuttaessa tarkoitetaan maalla sijaitsevaa laitosta, joka tuottaa sähkö- tai lämpöenergiaa. Kun tämä laitos sijaitsee laivassa tai lautalla, niin sitä kutsutaan merivoimalaksi. Viime aikoihin asti merivoimaloiden sähköverkko on toiminut pienjännitteellä. Lisääntynyt tehon tarve ja siitä seuraava kuormitusvirran kasvu ovat saaneet telakat siirtymään keskijännitteen käyttämiseen (ABB 2005). Tähän tarpeeseen Vaasa Engineering Oy haluaa vastata tarjoamalla markkinoille merikäyttöihin soveltuvan keskijännitekojeiston.

1.1 Työn tarkoitus ja lähtökohdat

Vaasa Engineering Oy:llä on tuotannossa VEKE 24 -keskijännitekojeisto (Vaasa Engineering Keskijännitekojeisto), joka on kehitetty sähkölaitosten ja teollisuuden sähköjakelun tarpeisiin. Tätä kojeistoa on tarkoitus jatkokehittää niin, että se soveltuu merikäyttöihin. Työssä on tarkoitus tutkia standardeja ja tunnetuimpien luokituslaitosten ohjeistuksia ja niiden perusteella muuttaa VEKE 24 -keskijännitekojeistoa, jotta se täyttäisi luokituslaitosten ja standardien asettamat vaatimukset ja testit.

Kojeiston kehityksessä eteen tulevia haasteita ovat esimerkiksi vaativammat ilmaväli- ja lämpenemävaatimukset, kiinnitysruuvien ja -pulttien kiinni pysyminen tärinässä sekä pääkojeen tärinän kesto ja toimiminen kallistuneena. Sähköisten ja mekaanisten muutosten lisäksi kojeistoon joudutaan tekemään monia henkilö- ja käyttöturvallisuutta parantavia muutoksia, esimerkiksi asentamaan oveen tukikahva ja turvalukitus.

1.2 Perusteet kojeiston merikehityksen aloittamiselle ja markkina-alueet

VEO:lle on tullut keskijännitekojeistoista kyselyjä esimerkiksi Suomen ja Venäjän telakoilta. Venäjällä on perinteisesti käytetty laivoissa keskijännitekojeistoa, joten markkinamahdollisuuksia on erityisesti sinne päin. Sen sijaan Aasian suuret markkinat ovat jo kilpailtuja, eikä sinne ole kannattavaa suuntautua. Pääkohteina ovatkin erikoisalukset,

esimerkiksi erilaiset tutkimus- ja viranomaisalukset sekä offshore-lautat, joilla voi olla tarvetta useiden kymmenien kennojen kokoiselle kojeistolle. (VEO 2010c.) Offshore käsitteellä tarkoitetaan vähän matkan päässä rannasta tai avomerellä tapahtuvaa toimintaa (Aro 2007: 36).

Laivojen sähköjärjestelmien tehot ovat kasvaneet niin suuriksi, että sellaisten tehojen hallitseminen pienjännitepuolen laitteilla ei ole enää kustannustehokasta suurien virtojen vuoksi. Sähkölaitteistossa voi olla esimerkiksi 3,5 MW:n generaattoreita ja yhteensä 8 MW moottoritehoa. Jännitteen nostolla saadaan pienennettyä siirrettävän virran suuruutta. Yleisesti käytetty jännite merikojeistoissa on 2,7–3,0 kV ja myös 6 kV:n järjestelmiä käytetään. Suurimmissa risteilyaluksissa käytetään 11–12 kV:n jännitettä ja offshore-lautoissa jopa 15 kV:n jännitettä. (VEO 2010c.)

Keskijännitekojeiston etuja pienjännitekojeistoon verrattuna ovat kaapelien, moottorien ja generaattorien pieneneminen sekä välimuuntajien pois jääminen. Nämä kaikki parantavat laivan hyötykuormaa. Haittapuolena on kuitenkin se, että laivassa pitää olla keskijännitekojeiston käyttöön koulutettuja henkilöitä, minkä laivavarustamot kuitenkin osaavat ottaa huomioon järjestelmää tilatessaan. (VEO 2010c.)

VEKE 24 -kojeistosta muokattu merikäyttöihin soveltuva malli sopii erittäin hyvin VEO:n tuotevalikoimaan, koska VEO:lla on jo merikäyttöihin soveltuva pienjännitekojeisto. VEO:lla koetaankin tärkeäksi, että sillä on tarjota myös keskijännitepuolelle merikojeisto, koska laivavarustamot ja telakat ovat katsoneet yhä useammin kannattavammaksi siirtyä käyttämään keskijännitekojeistoa pienjännitekojeiston sijasta. Lisäksi kojeisto on keskijännitelaitteiston pääkomponentti, joten sen avulla voidaan päästä paremmin järjestelmätoimittajaksi pelkän komponenttitoimittajan sijasta. VEO voi tarvittaessa esittää myös vaihtoehtoisia toteuttamistapoja. Asiakas kuitenkin tekee valinnan keskijännite- tai pienjännitekojeiston väliltä tarpeidensa mukaan ottaen kustannuserot huomioon. (VEO 2010c.)

VEO toimii sekä komponentti- että järjestelmätoimittajana telakoille toimien yhteistyössä muiden osatoimittajien kanssa. Muiden osatoimittajien kanssa yhteistyötä tekeväällä voidaankin päästä paremmin markkinoille. VEO voi myös tarjota omaa VEKE 24

-merikojeistotuotetta osaksi suuremman osatoimittajan tuotevalikoimaa, jolloin molemmat hyötyvät. Myös laivavarustamot hyötyvät, koska se saavat yhdeltä järjestelmätoimittajalta suurempia kokonaisuuksia. (VEO 2010c.)

VEO:n tärkeimmät kilpailijat merikeskijännitekojeisto puolella ovat: ABB, Siemens ja Schneider. Lisäksi Aasiassa toimivia tunnettuja valmistajia ovat esimerkiksi JRCS ja Hyundai.

1.3 Työn toteutus

Työssä selvitetään ensimmäisenä VEKE 24 -keskijännitekojeiston rakenne ja toiminta sekä mitkä standardien ja luokituslaitosten asettamat testit se on jo läpäissyt. Sen jälkeen kerrotaan olemassa olevista laivastandardeista ja mitkä niistä otetaan tähän työhön mukaan. Myös laivaluokituslaitoksista ja niiden kattojärjestöstä IACS:stä (International Association of Classification Societies) kerrotaan sekä kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n (International Maritime Organization) tehtävistä. Seuraavaksi tutkitaan standardeista ja luokituslaitosten ohjeista, mitä vaatimuksia on merikäyttöihin tarkoitetuilla keskijännitekojeistoilla? Niitä ja VEKE 24:n jo täyttämiä vaatimuksia vertailemalla saadaan selville, mitä muutoksia kojeistolle pitää tehdä? Sen jälkeen suunnitellaan kojeistolle tehtävät muutokset ja testit sekä aloitetaan niiden toteuttaminen käytännössä. Tavoitteena on prototyypin rakentaminen mahdollisimman valmiiksi.

Prototyypin rakennusvaiheessa kojeiston mahdolliset ongelmakohdat löydetään ja sen jälkeen kojeiston tuotekehitystä voidaan yrityksessä viedä eteenpäin aina valmiiksi tuotteeksi asti. Prototyypin tarkastusten ja testausten jälkeen tiedetään onnistuiko suunnittelu ja päästiinkö tavoitteisiin. Jos prototyyppi läpäisee luokituslaitoksen tarkastuksen ja testit, niin silloin tavoitteet on saavutettu. Tuotekehityksen onnistuessa kojeisto on tarkoitus saada markkinoille mahdollisimman pian, koska useilta telakoilta on saatu kyselyjä merikäyttöihin soveltuvasta keskijännitekojeistosta (Veo 2010c).

2 VEKE 24 -KESKIJÄNNITEKOJEISTON OMINAISUUDET

Tässä kappaleessa kerrotaan Vaasa Engineering Oy:n käyttämän VEKE 24 -keskijännitekojeiston ominaisuuksista. Millainen on kojeiston rakenne ja miten se toimii sekä mitä suojausominaisuuksia kojeistolla on? Mitkä standardit ja luokitukset se jo täyttää sekä mihin sitä nykyisessä muodossaan käytetään? Kojeston suurin nimellisjännite on 24 kV, mutta sitä valmistetaan myös 12 kV:n ja 17,5 kV:n nimellisjännitteille.

2.1 Kennon rakenne ja sähköiset ominaisuudet

Kojeisto koostuu useista yhteen liitetystä kennoista, joista yksittäinen laitekaappi eli kenno voi sisältää esimerkiksi katkaisijan. Kuvassa 1 on 12 kennoa sisältävä kojeisto. Kuvassa nähdään esimerkki teollisuuden sähköjakelukojeistosta, jossa on käytetty VE-KE 24 -keskijännitekojeistoa.



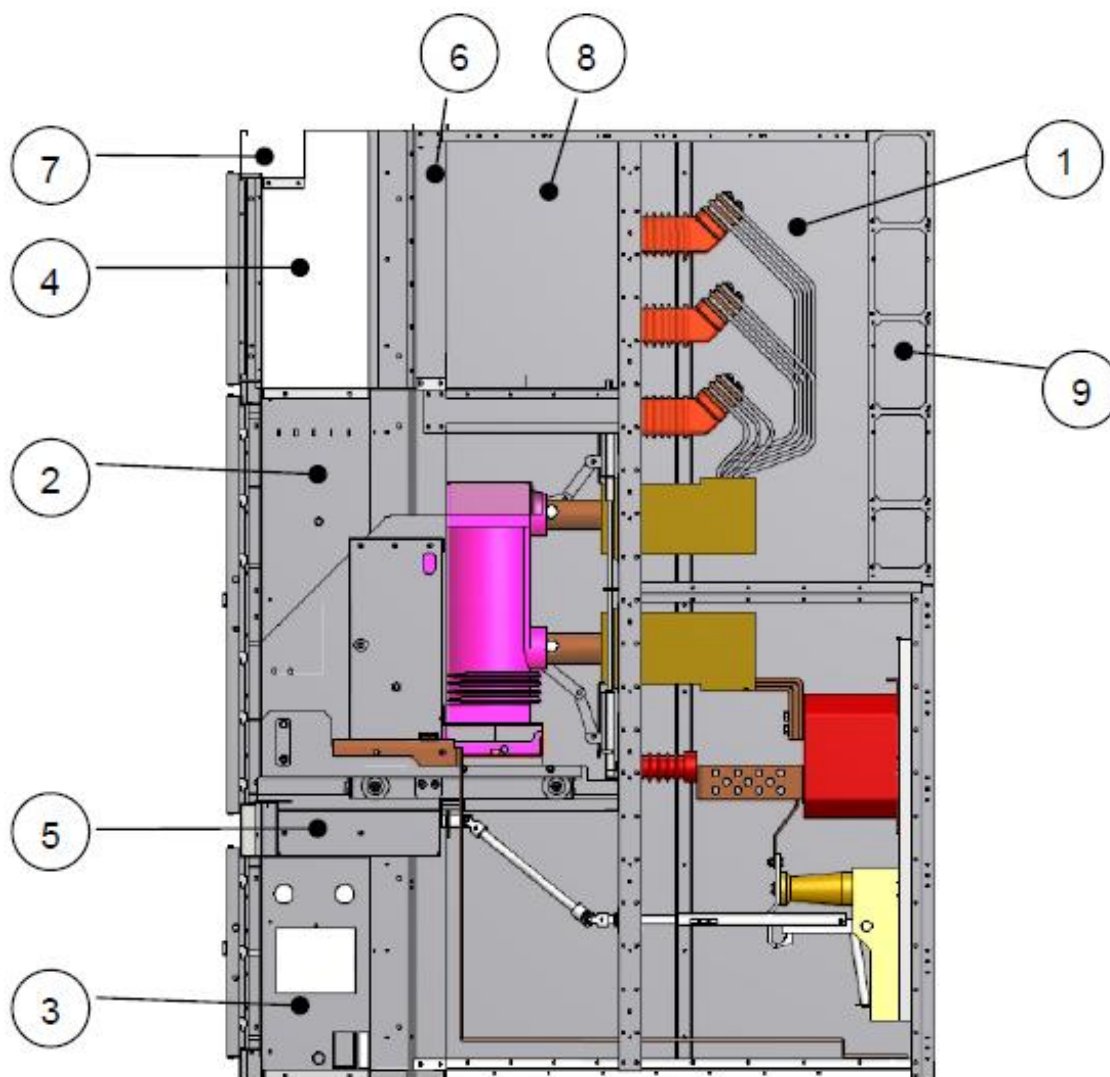
Kuva 1. Teollisuuden sähköjakelukojeisto, jossa on 12 kennoa rivissä (VEO 2010d).

Kenno valmistetaan standardin IEC 62271–200 (International Electrotechnical Commission) mukaan ja se on tyypiltään LSC2B-PM. LSC2B (Loss of Service Continuity) tarkoittaa, että minkä tahansa osaston toimilaitteen ollessa kytkettynä auki voi kaikkien

muiden osastojen ja toimilaitteiden käyttö jatkaa kaapelitila mukaan lukien. Tämä luokitus voidaan saavuttaa, kun jokainen toimilaite on osastoitu. Osastoja on oltava vähintään kolme ja toimilaitteilla kaksi katkaisupaikkaa. Tyyppimerkinnässä 'PM' tarkoittaa, että osastot ja jännitteelliset osat peittävät sulkulevyt (shutterit) ovat metalliset. LSC2B-PM tyyppin sijasta kotelointia kutsutaan IEC 62271–200 standardin mukaisesti metallikoteloiduksi (Metal-Clad) kennoksi. (IEC 62271–200.)

Kuvaan 2 on merkitty numeroin kennon osastot ja niiden sisältämät tärkeimmät pääosat:

1. Pääkiskotila sisältää kennoittain jaetut pääkiskot ja haarakiskot sekä läpivientikotelot. Kojeiston pituussuunnassa yhtenäinen pääkiskotila toimii sisäänrakennettuna valokaarikaasujen purkauskanavana. Kojeistot voidaan rakentaa yksikkö- tai kaksoiskiskojärjestelmiksi. Kiskostoja on nimellisvirraltaan kahdeksaa erilaista 630 A:sta aina 4000 A:iin asti. Kiskot ovat pyöreäsärmäistä alumiinia tai kuparia. Yli 17,5 kV:n jännitteellä kiskot eristetään riittävän jännitekestoisuuden saavuttamiseksi ja päätykennojen kiskot varustetaan kentäntasauspaloilla. Mekaanista tuuletusta käytetään, kun kennon nimellisvirta on 2500 A tai suurempi. Kuvassa 1 näkyy kojeiston päällä peltiset kotelot, joiden kautta valokaarikaasut purkautuvat ulkoilmaan.
2. Pääkojeltila sisältää myös kuvassa 3 (s. 16) näkyvät katkaisijan (1) ja läpivientikoteloiden metalliset sulkulevyt (2). Pääkojeltilassa on myös alaslaskettava silta (3) pääkojeen ulosvetämistä varten. Kuvassa 3 on katkaisija vedetty ulos sillan varaan. Tässä asennossa katkaisijalle voidaan tehdä huoltotoimenpiteitä.
3. Kaapelitila sisältää: alemmat läpivientikotelot, työmaadoituskytkimen, kojeiston pituussuunnassa kulkevan maadoituskiskon, mittamuuntajat, ylijännitesuojat ja kaapelipäätteet. Kennon syöttökaapeleiden kytkeminen tapahtuu tässä tilassa.
4. Toisiokojeltila on erotettu kaksinkertaisella metallikoteloinnilla suurjännitetiloi-
sta. Toisiokojeisiin eli pienjännitekojeisiin kuuluvat esimerkiksi: jännite- ja vir-
tamittarit, mitta-arvomuuntimet, ohjauskytkimet, releet ja kauko-ohjauslaitteet.



Kuva 2. Metallikoteloidun osastoidun katkaisijakennon läpileikkaus, jossa näkyvät pääkomponentit: katkaisija, kokooja- ja haarakiskot, mittamuuntajat ja maadoituserotin. (VEO 2009).

5. Toimilaite sijaitsee pääkojetilan pohjassa ja se sisältää pääkojeen ja maadoituslaitteen käsittelyssä tarvittavat laitteet, joita ovat vaunun siirtoon ja työmaadoituskytkimien ohjaukseen liittyvät mekaaniset ohjaus- ja lukituslaitteet.
6. Tuuletuskanava, johon voidaan kytkeä mekaaninen puhallin.

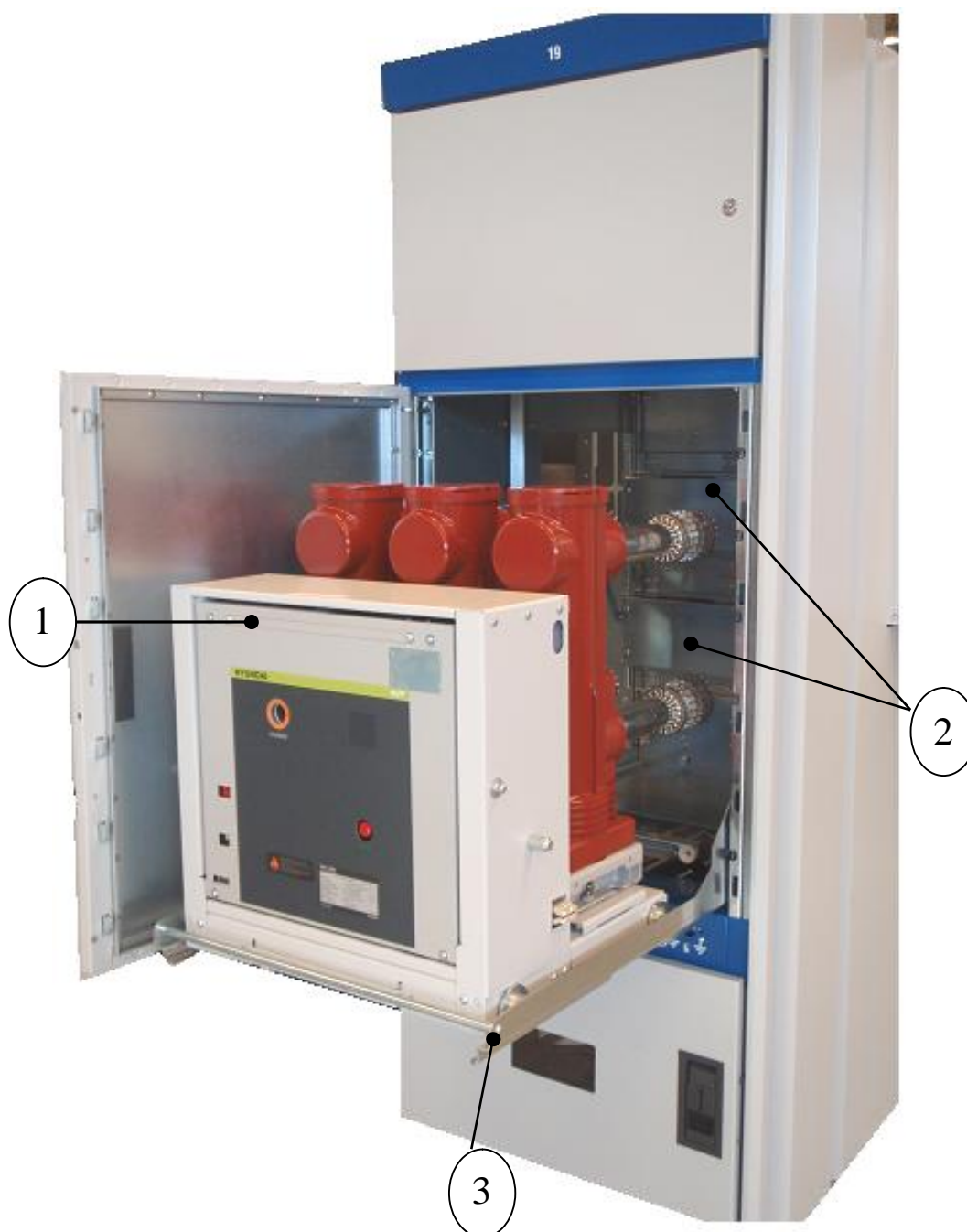
7. Johtokouru yhdistää kojeiston pituussuunnassa kojekaapit ja kennojen väliset pystysuorat toisiopiirien johdotustilat.
8. Kennon sisään rakennettu valokaarikaasujen purkauskanava muodostaa kojeiston pituussuunnassa yhtenäisen pääkojetilan purkauskanavan.
9. Kaapelitilan purkauskanava vastaa tekniseltä toiminnaltaan pääkojetilan purkauskanavaa (8). Purkauskanavat yhdistetään kojeistotyypissä yhdestä tai useammasta kohdasta erillisiin ulospurkauskansiin. Ulospurkauskanavat johdattavat kojeiston vikatilanteessa syntyvät valokaarikaasut ulkoilmaan.

Kaikki osastot on erotettu toisistaan metallikoteloinnilla. Koteloiden välinen suojaus on oltava vähintään IP 2X (Ingress Protection). Sisäisen koteloinnin määräävät sähkötilojen turvallisuusvaatimukset. (VEO 2001.)

Kennoon voidaan sijoittaa useanlaisia pääkojeita. Erilaisilla pääkojeilla varustettuja kennoja yhdistelemällä saadaan rakennettua tarpeen mukainen kojeisto, jolla voidaan suorittaa tarkoituksen mukaiset syötönohjaus-, mittaus- ja valvontatoiminnot. Yhdistämällä kojeistoon tarvittavat suojaus- ja mittauslaitteet voidaan suojattavan laitteiston käyttöturvallisuus varmistaa. Erilaisia pääkojeita sisältävät tavallisimmat kennotyypit ovat:

- katkaisijakennot syöttöjen ja lähtöjen katkaisuun ja erottamiseen
- mittauskennot pääkiskon jännitteen mittaukseen
- varokeuormaerotinkennot kuormien ja lähtöjen erottamiseen
- ohituskytkentäkennot syöttöjen ja lähtöjen erottamiseen jännitteettömässä tilassa
- osituskennot pääkiskon ositukseen, mitkä muodostuvat pitkittäiskennon ja nousukennon muodostamasta parista.

Mainittujen kennotyyppien pääkoje on asennettu siirrettävään vaunuun lukuun ottamatta varokeuormaerotinkennoa, jonka pääkoje on kiinteästi asennettu. (VEO 2001.)



Kuva 3. Katkaisija vedetty ulos pääkojetilasta sillan varaan huoltotöitä varten.

Taulukossa 1 on lueteltu VEKE 24 -keskijännitekojeiston nykyiset sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet, valokaarikestoisuus, käyttöolosuhteet ja kennon ulkoiset mitat. Kappaleessa neljä tullaan näkemään kuinka laivaluokitukset ja standardit vaikuttavat näihin arvoihin. Oletettavasti mekaanisiin ominaisuuksiin ja käyttöolosuhdevaatimuksiin tulee muutoksia muiden teknisten arvojen pysyessä muuttumattomina.

Taulukossa 1 nimellisjännite U_n ja -taajuus f_n ilmoittavat minkälaisille jännitteille ja verkon taajuuksille kojeisto on mitoitettu. Kojesta voidaan käyttää myös nimellisjännitettä pienemmällä jännitteellä. Vaihtojännitekestoisuus U_d ilmaisee kojeiston sähköeristysten vaihtojännitteen kestoisuutta. Syöksyjännitekestoisuus U_p ilmaisee kojeiston sellaisen jänniteaallon kestoisuutta, jossa jännite nousee huippuarvoonsa 1,2 μ s:ssa ja laskee puoleen 50 μ s:ssa. Kojesto on rakenteellisesti mitoitettu annetuille nimellisvirta-arvoille I_n . (IEC 60060–1; VAMK 2010.)

Taulukko 1. VEKE 24 -keskijännitekojeiston tekniset ominaisuudet 12, 17,5 ja 24 kV:lla (VEO 2001).

	Sähköiset ominaisuudet		
Nimellisjännite U_n	12 kV	17,5 kV	24 kV
Nimellistaajuus f_n	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz
Vaihtojännitekestoisuus U_d	28 kV	38 kV	50 kV
Syöksyjännitekestoisuus U_p	75 kV	95 kV	125 kV
Nimellisvirta I_n	630...4000 A	630...4000 A	630...1600 A
	Oikosulkukestoisuus		
Terminen I_k/t_k 3s	40 kA	40 kA	25 kA
Dynaaminen I_p	100 kA	100 kA	63 kA
	Valokaarikestoisuus		
Pääkiskotila	40 kA 1s		
Pääkojetila	31,5 kA 1 s, 40 kA 0,2 s		
Kaapelitila	25 kA 1 s, 40 kA 0,2 s		
	Mekaaniset ominaisuudet		
Kotelointiluokka	IP 30		
Iskulujuus	IK 08		
	Käyttöolosuhteet		
Ympäristön lämpötila	-5 °C...+ 40 °C, (24 h) keskiarvo maks. + 35 °C		
Suhteellinen kosteus	Suhteellinen kosteus keskimäärin (24h) \leq 95 % ja (1 kuukausi) \leq 90 %.		
	Ulkoiset mitat		
Korkeus	2200 mm		
Leveys	800 tai 1000 mm		
Syvyys	1600 mm		

Terminen oikosulkukestoisuus I_k tarkoittaa kojeiston ulkopuolisen verkon aiheuttamaa oikosulkua, joka saa kojeiston pää- ja haarakiskot, toimilaitteet ja mittamuuntajat lämpenemään virran vaikutuksesta. VEKE 24 -kojeisto kestää vahingoittumatta esimerkiksi 17,5 kV:n jännitteellä 40 kA virran kolme sekuntia. Dynaaminen oikosulkukestoisuus I_p tarkoittaa kojeiston sisältämiin laitteisiin erityisesti kiskoston tukieristeisiin kohdistuvaa suurimman virtapiikin aiheuttamaa dynaamista voimaa, jonka kojeisto kestää vahingoittumatta.

Vakavin vika, joka kojeistolle voi tapahtua, on sisäinen valokaari. Valokaarikestoisuus tarkoittaa kojeiston sisäisen valokaaren kestoisuutta, joka voi syntyä pääkisko-, pääkoje- tai kaapelitilassa. Valokaaren seurauksena kojeiston sisään voi syntyä 120 kPa:n paine ja lämpötila voi nousta 20 000 °C:seen (ABB 2010c). Kojeston on kestävä standardin IEC 62271–200 määrittelemien ehtojen mukaan valokaaren aiheuttama mekaaninen rasitus. Myös henkilösuojauksen on toteuduttava. Liitteen 1 mukaan VEKE 24 -kojeiston on testeissä todettu läpäisevän sisäisen valokaarikestoisuuden IAC (Internal Arc Classified) luokitus BFLR:n mukaisella rakenteella. Testin mukaan kojeisto kestää 0,2 sekunnin mittaisen 40 kA valokaarivian pääkisko-, pääkoje- ja kaapelitilassa. Pääkoje- ja kaapelitila kestävät myös yhden sekunnin mittaisen valokaarivian, joista ensin mainitussa testausvirta on 31,5 kA ja jälkimmäisessä 25 kA. Kojeston BFRL mukainen rakenne tarkoittaa, että kojeiston luokse pääsee rajoittamattomasti edestä(Front), takaa(Rear) ja sivuilta(Lateral). (IEC 62271–200.)

Kojeston kotelointiluokka on IP 30 ja iskulujuus IK 08. IP 30 tarkoittaa, että kojeisto on suojattu vierailta esineiltä, joiden halkaisija on suurempi kuin 2,5 mm mutta vedeltä suojausta ei ole (IEC 60092–101). Iskulujuus IK 08 tarkoittaa, että kojeisto kestää viiden joulen iskun (SFS-EN 62262).

Kojeston jännitekestoisuus alenee, jos se joudutaan asentamaan merenpinnasta mitattuna yli 1000 metrin korkeuteen. Tällöin pitää käyttää standardin IEC 62271–1 määrittämiä korjauskertoimia riittävän jännitekestoisuuden takaamiseksi. (IEC 62271–1: 14–15.) Lisäksi ilman jäähdyttävä vaikutus heikkenee (VEO 2001).

2.2 Kojeiston luokitukset

Yleensä laitetta rakennettaessa tavoitteena on sen standardien mukaisuus, jolla varmistetaan laitteen turvallisuus ja yhdenmukaisuus. Lisäksi laitteen vertailu esimerkiksi toisten valmistajien vastaaviin tuotteisiin helpottuu, koska voidaan vertailla laitteiden läpäisemiä standardeja. Tällöin ei tarvitse vertailla laitteiden yksittäisiä mittaus- ja testustuloksia. VEKE 24 -keskijännitekojeiston sisältämät pääkomponentit täyttävät seuraavien standardien vaatimukset:

- IEC 60044 Instrument transformers – Part 1: Current transformers
- IEC 60044 Instrument transformers – Part 2: Inductive voltage transformers
- IEC 60060 High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements
- IEC 60265 High-voltage switches – Part 1: switches for rated voltage above 1kV and less than 52 kV
- IEC 60282 High-voltage fuses – Part 1: Current-limiting fuses
- IEC 62271 High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications
- IEC 62271 High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers
- IEC 62271 High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches
- IEC 62271 High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV
- SFS-EN 62262 Sähkölaitteiden koteloinnin mekaanisen iskunkestävyyden lujuusluokat (IK- koodi)
- SFS-EN 60592 + A1 Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP- koodi).

Lisäksi on joukko muita standardeja, jotka koskevat muita suojaus-, ohjaus- ja mittauslaitteita.

2.3 Kennojen toiminta ja suojausominaisuudet

VEKE 24 -keskijännitekojeistojen suojaukseen käytetään esimerkiksi kuvassa 4 näkyviä VAMP:n ja ABB:n valmistamia suojausreleitä ja niiden eri tyyppisiä tarpeen mukaan. Yleisimmin suojausreleillä mitataan syötön ja lähtöjen virtoja sekä jännitteitä ja kaapelien summavirtoja. Generaattori- ja moottorikäytöissä mitataan myös taajuus. Näiden mittaustietojen avulla voidaan toteuttaa useimmiten tarvittavat suojausominaisuudet: suunnattu maa- ja oikosulkusuojaus, kojeiston syötön katkaisu ja pääkiskoston jännitteensäätö. (VEO 2010a.)



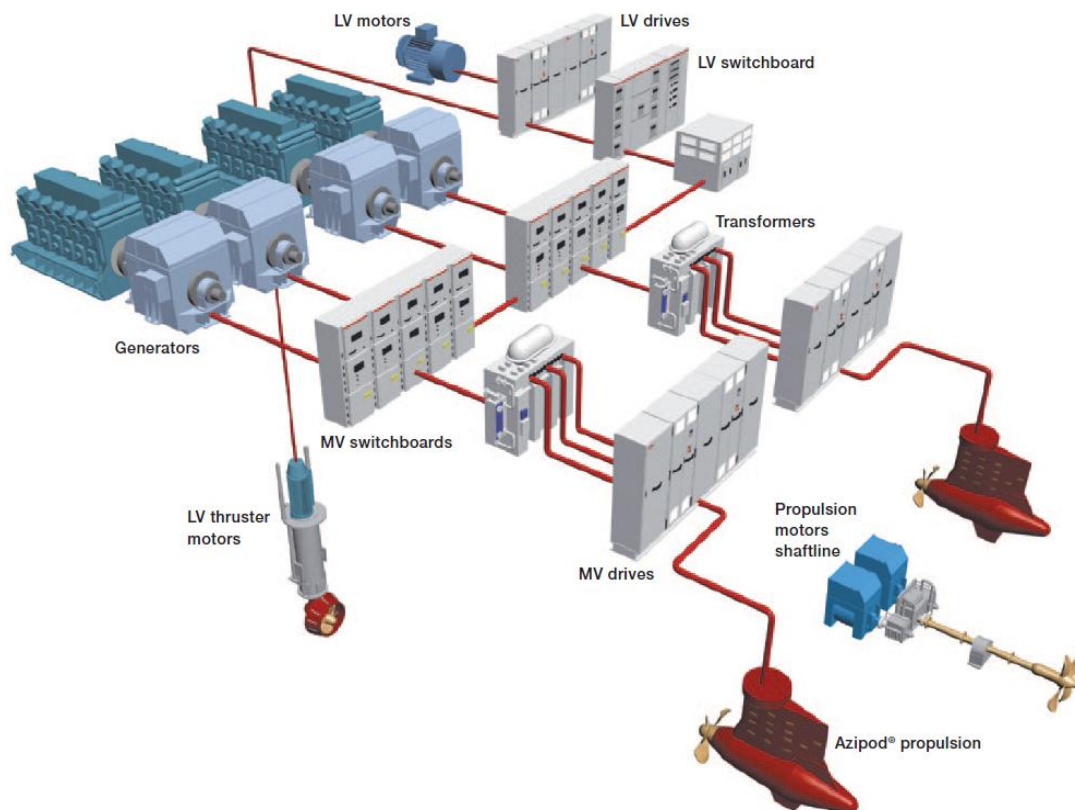
Kuva 4. Esimerkkejä VEKE 24 -kojeistossa käytetyistä VAMP:n ja ABB:n suojausreleistä (ABB 2010b; VAMP 2010).

Lisäksi kojeistoissa on lähes aina valokaarisuojaus. Kisko- ja kaapelitilassa pitää silloin olla lisäksi valoanturit. Kaapelitilassa sijaitsevat myös virta- ja jännitemuuntajat. Generaattori- ja moottorikäyttöjä varten releissä on myös taajuusseuranta ja ylikuormitus-suoja. Suojausreleet mahdollistavat myös pika- ja aikajälleenkytkentöjen tekemisen. (VEO 2001; VEO 2010a.)

2.4 Kojeiston käyttökohteet

VEKE 24 -keskijännitekojeisto on suunniteltu käytettäväksi 3,6–24 kV:n keskijännitejakeluverkoissa. Tavallisia käyttökohteita ovat sähköjakelulaitosten jakelukojeistot, teollisuuden sähköjakelu- ja prosessisähköistyskojeistot sekä voimalaitosten pää- ja apukojeistot. Kojeistolla voidaan toteuttaa generaattorien ja moottorien suojaukset, valvoa verkon tilaa mittauksin sekä katkaista ja erottaa verkon osia järjestelmästä esimerkiksi vian sattuessa. (VEO 2001; VEO 2010a.)

Tämän työn tarkoituksena on tutkia VEKE 24 -kojeiston käyttämistä osana kuvan 5 tyyppistä laivan voimalajärjestelmää. VEKE 24 sijoittuisi keskijännitekojeiston (MV switchboards) paikalle.



Kuva 5. Tyypillinen laivan voimalakoneisto, joka sisältää dieselmoottorit, generaattorit, keskijännitekojeistot, muuntajat, keskijännitetaajuusmuuttajat ja potkurikoneistot (ABB 2010a). Kuvaa on muokattu.

Kuvasta 5 nähdään myös miten keskijännitekojeistot (MV switchboards) sijoittuvat osaksi laivan sähköjärjestelmää. Merivoimalaitoksen toimintaperiaate on se, että dieselmoottorit pyörittävät keskijännitegeneraattoreita (Generators), jotka tuottavat sähköä. Sähkö kulkee keskijännitekojeistojen kautta muuntajille (Transformer), josta jatkaen keskijännitetaajuusmuuttajille (MV drives) ja niistä edelleen sähkökäyttöisille potkureille (Propulsion).

Kuvan 5 kaltaisessa järjestelmässä keskijännitekojeiston tehtävä on suojella generaattoreita ja kuormia oikosulun sattuessa. Se myös kykenee valvomaan verkon tilaa esimerkiksi jännite-, virta- ja taajuusmittauksien avulla. Katkaisijalla voidaan kytkeä tai irrottaa generaattori tai kuorma kojeistosta ja samalla koko verkosta sekä erottaa kojeiston osia toisistaan. (ABB 2003.)

3 LAIVASTANDARDIT JA LUOKITUSLAITOKSET

VEKE 24 -keskijännitekojeiston kehittäminen ja muuttaminen merikelpoiseksi perustuu laivastandardeihin ja luokituslaitosten ohjeisiin. Standardit ovat viranomaismääräyksen omaisia ja asettavat perusvaatimukset kojeistolle. Yleensä luokituslaitosten vaatimukset ovat standardeja rajoittavampia ja niiden vaatimusten täyttäminen on tavoitteena. Luokituslaitosten vaatimukset eivät ole pakollisia, mutta ne ovat saavuttaneet lähes standardien vertaisen aseman. (Aro 2007: 56–57.) Standardeista ja luokituslaitosten ohjeista valitaan yksityiskohdittain vaativin määräys tai ohje, jonka mukaan kojeiston suunnittelu toteutetaan.

3.1 Laivojen sähköstandardit

Tässä työssä käytetään kojeiston muutosten suunnittelun pohjana ja yleisohjeena kansainvälisiä standardeja IEC 60092–101 (Electrical Installations in Ships – Part 101: Definitions and general requirements), IEC 60092–503 (Electrical installations in ships – Part 503: Special features – AC supply systems with voltages in the range of above 1 kV up to and including 15 kV) ja IEC 60092–504 (Electrical installations in ships – Part 504: Special features – Control and instrumentation). Näitä standardeja noudatetaan, jos luokituslaitosten ohjeissa ei muuta mainita.

Tässä työssä tavoitteena on ensisijaisesti saada merikelpoisuus hyväksyntä VEKE 24 -katkaisijakennolle. Standardin IEC 62271–200 (2003:59, 85) mukaan riittää, että meriluokitus saadaan katkaisijakennolle, vaikka kennoissa voi olla myös muita pääkojeita kuin katkaisija. Näin voidaan toimia, koska katkaisijakennon voidaan katsoa teknisten vaatimusten osalta edustavan myös muita kojeita sisältäviä kennoja.

3.2 Luokituslaitokset

Luokituslaitoksia on maailmanlaajuisesti yli 50, joista 11 kuuluu luokituslaitosten kattajärjestönä toimivaan IACS:ään (International Association of Classification Societies). IACS on perustettu 1968 seitsemän johtavan luokituslaitoksen toimesta. Jäseniä on nykyisin 11 ja ne ovat:

- ABS American Bureau of Shipping
- BV Bureau Veritas
- CCS China Classification Society
- DNV Det Norske Veritas
- GL Germanischer Lloyd
- IRS Indian Register of Shipping
- KR Korean Register of Shipping
- LR Lloyd's Register
- NK Nippon Kaiji Kyokai
- RINA Registro Italiano Navale
- RS Russian Maritime Register of Shipping.

IACS on itsenäinen valtioista riippumaton ulkopuolinen tarkastaja, jolla ei ole kytköksiä laivojen suunnitteluun, rakentamiseen, omistamiseen tai muuhun vastaavaan toimintaan. IACS:n päätavoite on suojella ihmishenkiä, omaisuutta ja ympäristöä edistämällä teknisten standardien kehittämistä ja käyttöönottoa. IACS työskentelee parantaakseen merenkulun turvallisuutta ja säännöstöä antamalla teknistä tukea ja tekemällä luokitustarkastuksia. IACS tekee myös omaa tutkimusta sekä kehitystyötä. Yli 90 % maailman merenkulun rahtitonneista kuljetetaan aluksilla, jotka on suunniteltu ja rakennettu luokituslaitosten sääntöjen ja standardien mukaan. (IACS 2009a.)

Kaikkien luokituslaitosten sääntöjen perustana toimii kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n (International Maritime Organization) vuonna 1974 julkaisema SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) sopimus, jota uudistetaan tarvittaessa. IMO:n päätehtävä on kehittää ja ylläpitää kaiken kattavaa laivoja koskevaa säännöstöä, joka sisältää turvallisuuteen, ympäristön suojeluun, lain mukaisuuteen, tekni-

seen yhteistyöhön, merenkulun turvallisuuteen ja laivauksen tehokkuuteen liittyviä ohjeita. SOLAS sopimuksen tavoite on määrittää minimiturvallisuuksitaso laivan rakenteille, varusteille ja toimintakyvylle. IACS toimii neuvonantajana IMO:ssa ja se on ainoa valtioiden hallituksista riippumaton järjestö, joka kykenee kehittämään sääntöjä ja asettamaan ne käytäntöön. (IACS 2009a.)

Enemmistö laivoista on rakennettu ja tarkastettu luokituslaitosten asettamien sääntöjen mukaan. Luokituslaitokset valvovat julkaisemiensa sääntöjen noudattamista. Alukselle, joka on suunniteltu ja rakennettu luokituslaitoksen sääntöjen mukaan, voidaan hakea kyseisen luokituslaitoksen sertifikaattia. Sertifikaatin julkaissut laitos on velvollinen suorittamaan asiaan kuuluvan luokitustarkastuksen. (IACS 2009a.)

4 MUUTOSTEN SUUNNITTELU

Työn kohteena olevan keskijännitekojeiston muutosten suunnittelu perustuu standardien ja luokituslaitosten sääntöihin ja ohjeisiin, joista etsitään vertailemalla vaativimmat ohjeet ja toteutetaan ne VEKE 24 -kojeiston muuttamisessa merikelpoiseksi. Luokituslaitosten säännöt ovat kuitenkin viimeaikoina yhdenmukaistuneet standardien kanssa, joten eroavaisuudet ovat pieniä. Standardit ja luokituslaitosten säännöt ovat usein ohjeellisia. Niissä on kerrottu millaisia sähköteknisiä ja rakenteellisia ominaisuuksia kojeistolla pitää olla, mutta toteutustapa on jätetty valmistajan harkittavaksi. Toteutustavoissa on kuitenkin usein vakiintuneita käytäntöjä, joiden noudattamisella voidaan saavuttaa kaupallista etua. (Lloyd's Register Emea 2010.)

4.1 Merikojeistoa koskevat tärkeimmät standardit ja luokituslaitosten ohjeet

Luokituslaitoksista selvitykseen otetaan mukaan LR, ABS ja DNV, koska ne ovat World Shipping Register yhtiön mukaan rekisterissä olevien alusten määrän perusteella suurimpien luokituslaitoksien joukossa. Lisäksi näitä luokituslaitoksia pidetään tunnetuimpina ja kojeiston suunnittelemisesta näiden luokituslaitosten ohjeiden mukaan voidaan saada hyötyä markkinoinnissa (VEO 2010b). Rekisterissä olevien alusten määrän perusteella LR on suurin (9197 alusta) ja ABS (8432 alusta) toiseksi suurin rekisterissä olevien alusten määrän perusteella. DNV (6264 alusta) otettiin mukaan, koska se on yleisesti tunnetumpi luokituslaitos kuin sitä rekisteröintimäärältään suuremmat luokituslaitokset BV (7983 alusta), NK (7699 alusta) ja GL (6599 alusta). (World Shipping Register 2010.)

Työhön mukaan otettujen luokituslaitosten ohjeet ovat:

- DNV: Rules for classification of ships/high speed, light craft and naval surface craft – Electrical Installations
- LR: Rules and regulations for the classification of ships – Part 6: Control, electrical, refrigerator and fire
- ABS: Rules for building and classing steel vessel – Part 4: Electrical Systems.

Laivasähköasennuksia koskevista standardeista mukaan otetaan:

- IEC 60092–101 Electrical installations in ships – Part 101: Definitions and general requirements
- IEC 60092–503 Electrical installations in ships – Part 503: Special features – AC supply systems with voltages in the range of above 1 kV up to and including 15 kV
- IEC 60092–504 Electrical installations in ships – Part 504: Special features – Control and instrumentation.

Työssä käytetään myös mainittujen luokituslaitosten muita täydentäviä ohjeita sekä aiheeseen liittyviä standardeja.

4.2 Testattavat vaatimukset

Jokaiselle merikojeistotyypille on tehtävä piirustus- ja tyyppihyväksyntätarkastus, jossa tarkastetaan kennon rakenne ja kestävyys, henkilö- ja sähköturvallisuusvaatimusten sekä standardien ja laivaluokituslaitoksien ohjeiden täyttyminen. Laivaluokituslaitoksien vaatimukset tarkastetaan vain niiltä osin, jotka kojeiston halutaan täyttävän. (Lloyd's Register Emea 2010.) IEC 60092–504 standardin määrittelemä tyyppitesti on tehtävä laitteelle tai järjestelmälle, jos siihen on aihetta. IEC 60092–504 ei määrittele samalla lailla asennuspaikasta riippuvaisia ympäristöluokkia kuin LR, ABS tai DNV, minkä mukaan laitteen tai järjestelmän testit pitäisi tehdä. Standardissa on määritelty testien sisältö ja joitakin lisävaatimuksia tai helpotuksia asennuspaikasta riippuen. Standardi IEC 60092–504 koskee enemmän kojeiston sisältämiä laitteita kuin itse kojeistoa.

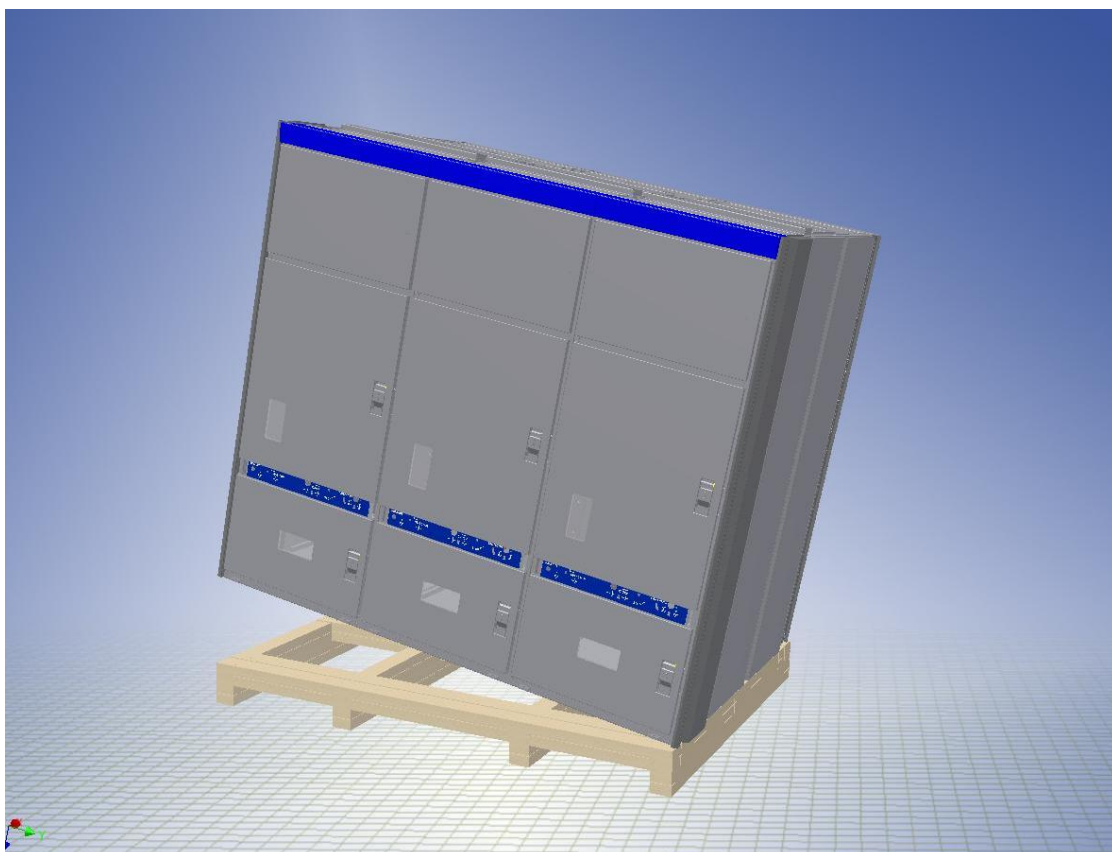
DNV:n korkeajännitelaitteistoa koskevissa ohjeissa (2007: 45) sanotaan, että tyyppitesti on sisäisen valokaarioikosulun osalta tehtävä standardin IEC 62271–200 mukaan. Testillä osoitetaan, että kojeisto kestää sisäisen valokaarioikosulun aiheuttamat vaikutukset rakenteisiin. Myöskään ABS:llä (2010a: 708) ja LR:llä (2009: 6.2.7.18.5) ei ole tyyppitestin suhteen erityisvaatimuksia, vaan testit on suoritettava standardin IEC 62271–200 mukaan. VEKE 24 -keskijännitekojeisto täyttää standardin IEC 62271–200 vaatimuk-

set, joten luokituslaitosten ohjeet eivät aseta kojeiston valokaarikestoisuudelle lisätaustavaatimuksia.

DNV:n ohjeissa (2007: 37) sanotaan myös, että laivan sähkölaitteet ja komponentit on suunniteltava kestäväksi ja toimimaan tyydyttävästi, vaikka laiva kallistuisikin. Tyydyttävä toiminta testataan kallistustesteillä. Staattisessa kallistustestissä kennoa kallistetaan laivan pituusakseliin nähden poikittain 15 astetta ja pitkittäin 5 astetta. Dynaamisessa kallistustestissä kennoa kallistetaan $\pm 7,5$ astetta laivan pituusakselin suunnassa. Lisäksi molemmissa pituusakselin suunnissa kennoa kallistetaan $\pm 22,5$ astetta laivan leveys-suunnassa. LR:n ohjeissa (2009: 6.2.1.9) vastaavat kallistuskulmat ovat: staattinen kallistus poikittain 22,5 astetta ja pitkittäin 10 astetta sekä dynaaminen kallistus poikittain 22,5 astetta ja pitkittäin 10 astetta. Lisäksi 45 asteen kulmassakaan ei saa tapahtua tarkoituksettomia katkaisijan toimintoja tai toiminnan muutoksia. ABS:n ohjeissa (2010a: 7, 15, 680) on täsmälleen samat vaatimukset kuin LR:n ohjeissakin. Standardi IEC 60092–101 (2002: 27) taas on yhtenevä DNV sääntöjen kanssa paitsi, että standardissa ei määritetä staattiselle kallistukselle pituusakselin suuntaista kallistuskulmaa. Kuvassa 6 kojeisto on kallistettu testivaatimuksen ohjeistamaan 22,5 asteen kulmaan.

Kallistustestin lisäksi kojeiston tulee täyttää värinätestin vaatimukset. DNV ohjeiden mukaan (2007: 37) sähkölaitteiden ja komponenttien tulee kestää häiriöittä tai ilman sähköisen kytkennän menettämistä seuraavat värinätestit. Värinää taajuudella 5–50 Hz värinän amplitudin nopeuden ollessa 20 mm/s. Lisäksi maksimikihtyvyyttä $\pm 0,6$ g verran, kun aluksen pituus on yli 90 metriä ja kiihdytyksen tulee kestää 5–10 sekuntia. Kojeiston pitää kestää maksimikihtyvyyttä ± 1 g, jos aluksen pituus on alle 90 metriä. Toisin kuin DNV:n ohjeissa, LR:n yleisohjeissa (2009: 6.2.1.10.9) on vain yleisesti mainittu, että kaikkien sähkölaitteiden toiminta on oltava tehokasta normaalisti vallitsevissa tarpeellisissä olosuhteissa. Samoin ABS:n yleisohjeissa mainitaan (2010a: 714) vain, että kaikki mutterit ja liitokset on värinän aiheuttaman irtoamisen estämiseksi kiinnitettävä soveliaita lukituslaitteita käyttäen. Yleisiä vaatimuksia koskevassa IEC 60092–101 standardissa (2002: 51, 63) on annettu ohjeet värinävaatimuksista, jotka eivät kuitenkaan ole pakollisia. Standardin määritelmä värinän kestosta on, että kojeiston tulisi kestää tä-

rinää taajuudella 2_{-0}^{+3} –13 Hz 1,5 mm amplitudilla ja taajuudella 13–100 Hz ± 1 g kiihtyvyydellä.



Kuva 6. Kolme kennoa sisältävä kojeisto on kallistettu staattisen kallistustestivaatimuksen mukaisesti 22,5 astetta kennorivin pituussuunnassa.

Yleisstandardi IEC 60092–101 eroaa vain vähän amplitudin ja kiihtyvyyden osalta ohjaus- ja mittauslaitteita koskevan standardin IEC 60092–504 tyyppitestausvaatimuksista, joiden mukaan laitteen tulee sietää tärinää taajuudella 2_{-0}^{+3} –13,2 Hz amplitudilla ± 1 mm ja taajuudella 13,2–100 Hz kiihtyvyyttä 0,7 g. Testin tulee kestää 90 minuuttia ja se tulee tehdä kolmeen toisiaan vastaan kohtisuoraan suuntaan sekä sen aikana tulee testata laitteen toimintaa. Testin aikana kaikki ne taajuudet joilla vahvistuserroin $Q \geq 2$, on mitattava ja tallennettava. Jokaisella tällaisella taajuudella kennoa tulee tärisyttää vähintään 90 minuuttia ja lisäksi 30 Hz taajuudella, jos se ei ole resonanssita-

juus. On myös suositeltavaa, että vahvistuskerroin $Q \leq 5$. IACS:n (2009b) ohjaus-, suojaus- ja turvallisuuslaitteita koskevan tyyppihyväksynnän testausohjeistus sanoo täsmälleen samaa, kuin myös ABS (2010b) ja LR:n (2002) vastaavat ohjeet.

IEC 60092–101 standardin, ABS:n (2010a), DNV:n (2007) ja LR:n (2009) yleisohjeet poikkeavat IEC 60092–504 standardin, IACS:n (2009b), ABS:n (2010b) ja LR:n (2002) ohjaus-, suojaus- ja turvallisuuslaitteiden vaatimuksista. Vaikka ensin mainitun ryhmän vaatimuksissa taajuusalue ja kiihtyvyys ovat laajemmat tai erityisiä vaatimuksia ei ole esitetty, niin värinätestit tulisi kuitenkin suorittaa jälkimmäisen ryhmän mukaan. Siksi, että sen vaatimusten voidaan katsoa koskevan myös kojeistoa kokonaisuudessaan ja sen ohjeet ovat myös keskenään yhtenevät. Nyt voidaan todeta, että myös DNV luokituslaitoksen vaatimukset täyttyvät, kun värinätesti suoritetaan jälkimmäisen ryhmän mukaan.

Kallistus- ja värinätestin lisäksi kojeistolle tulee tehdä myös lämpenemätesti, koska laivastandardien ja luokituslaitosten sääntöjen ympäristön maksimilämpötila ja kojeiston sallittu lämpenemä poikkeavat yleisen keskijännitekojeistoa koskevan standardin IEC 62271–200 vaatimuksista. Lämpenemätestissä mitataan esimerkiksi kiskoliitosten, katkaisijan tai kennon eriosastojen sisätilojen lämpenemää, jotta tiedetään lämpenevätkö ne sallittua arvoa enemmän. Lämpenemävaatimuksista kerrotaan myöhemmin tässä kappaleessa kiskostolle sallittujen virtojen ja lämpenemisen yhteydessä.

Lisäksi standardit IEC 60092–101, 60092–504 ja luokituslaitosten ohjeet asettavat lisätetausvaatimuksia kojeiston sisältämille sähköisille, elektronisille ja ohjelmoitaville laitteille, jotka on tarkoitettu ohjaus-, valvonta-, hälytys- ja suojausjärjestelmien käyttöön laivassa. Nämä vaatimukset yhdessä tarkoittavat ympäristöluokitusta. Ympäristöluokitus määrää minkälaiseen paikkaan ja ympäristön olosuhteisiin laitteen voi asentaa. Lisäksi standardi IEC 60092–503 ja luokituslaitosten säännöt asettavat lisävaatimuksia kojeiston rakenteelle. Esimerkiksi kojeiston IP- luokitusta on parannettava sekä asennettava tukikahva ja asennon lukitsin oveen huoltotöitä varten.

4.3 Yleiset lisävaatimukset

Seuraavaksi kerrotaan standardiin IEC 60092–503 ja luokituslaitosten ohjeisiin perustuen, mitä rakenteellisia muutoksia kojeistoon pitää tehdä verrattuna standardiin IEC 62271–200, jonka vaatimukset VEKE 24 -keskijännitekojeisto täyttää. Myöhemmin kerrotaan standardien IEC 60092–101 ja IEC 60092–504 pohjalta täydennettynä luokituslaitosten ohjeilla, mitä lisättestausvaatimuksia kojeiston sisältämille laitteille, esimerkiksi katkaisijalle on asetettu.

Standardissa IEC 60092–503 sanotaan metallikoteloidun (metal-clad) kojeiston suunnittelusta ja rakenteesta, että sen on oltava IEC 62271–200 mukainen täydennettynä merisovellusten vaatimilla poikkeuksilla ja lisävaatimuksilla. Nämä vaatimukset voidaan jaotella käyttöturvallisuutta lisääviin, sähköisiin ja mekaanisiin lisävaatimuksiin. Nämä poikkeukset ja lisävaatimukset käsitellään seuraavaksi.

4.3.1 Käyttöturvallisuutta koskevat lisävaatimukset

Nämä käyttöturvallisuutta koskevat lisävaatimukset ovat koostettu seuraavista lähteistä: IEC 60092–101, IEC 60092–503, IEC 60092–504, DNV 2007, IACS 2009b, LR 2009 ja ABS 2010a. Näistä lähteistä on kerätty jokaisesta asiasta vaativin ohje, jonka mukaan kojeiston muutokset tulee tehdä. Joissakin tapauksissa usealla lähteellä on sama vaatimus.

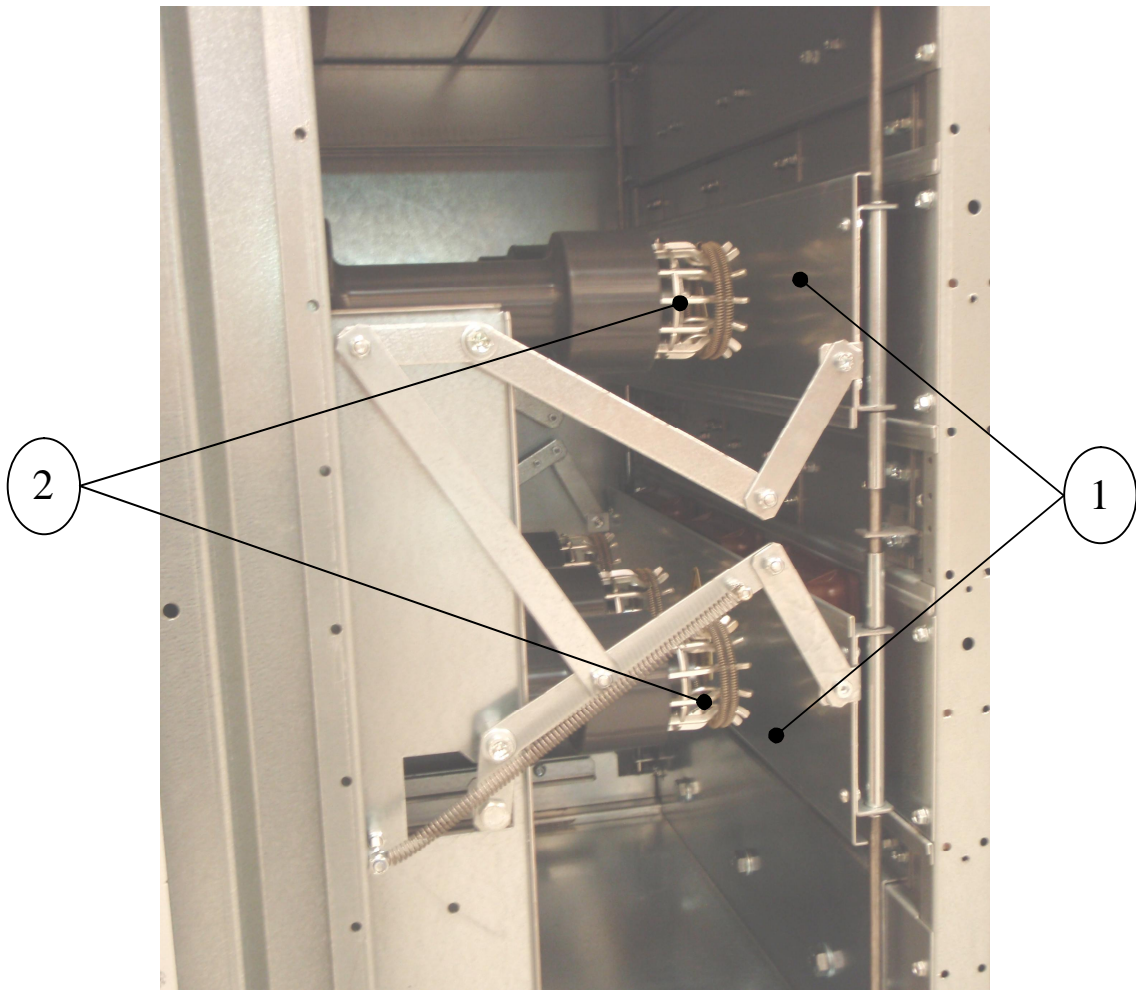
Ohjeiden mukaan kojeiston suojausluokka määräytyy asennuspaikan mukaan, mutta sen pitää olla vähintään IP 32. Kennon sisäinen suojaus on oltava sellainen, että kaikki käyttö- ja tarkastuskohteet ovat suojattu jännitteellisten osien tahattomalta koskettamiselta. Myöskään osien normaali käsittely ja koskettaminen eivät saa aiheuttaa loukkaantumista.

Pää- ja hätäkojeistot sekä muut kytkintaulut, joita joudutaan käyttämään laivan operoidessa, on varustettava eristetyllä tukikahvalla, joka tulee sijoittaa kojeiston etupintaan. Jos kojeiston tai kytkintaulun taakse on päästävä, niin myös sinne on asennettava eristetty tukikahva. Kojeston ovet, jotka voidaan joutua aukaisemaan korkeajännitteisten osien käyttöä tai tarkastusta varten, on turvalukittava niin, että niitä ei voi aukaista

ennen kuin oven takana olevat jännitteelliset osat on eristetty ja tehty turvallisiksi. Kuitenkin pääkojetilan oven aukaisu saa olla mahdollista esimerkiksi katkaisijan tarkastamiseksi tai hätäkytkemiseksi ilman sisäistä turvalukitusta, jos korkeajännitteisten osien käsin koskettaminen ei ole mahdollista. Korkeajännitelaitteen erottaminen apupiirin laitteita hyväksi käyttäen on sallittua, jos erotuskytkin on sijoitettu asianmukaisesti ja käsi-käyttöinen kytkin on katkaisijassa helposti käsiteltävissä, kun osaston ovi on auki.

Turvalukituksen lisäksi kennon ovi pitää varustaa erillisellä lukkolaitteella. Vaihtoehtoisesti kojeisto voi sijaita erityisessä tilassa tai suoja-alueella, jonne sisäänkäynti on lukittavan oven kautta sallien kuitenkin laitteiden turvallisen toiminnan ja huoltamisen siellä. Lisäksi oven mittaus- ja ohjauslaitteet on valaistava niin, että ne ovat selvästi luettavissa ja käytettävissä kaikissa ympäristön valaistusolosuhteissa välttäen epämukavia varjoja ja häikäisyjä.

Sulkimien (shutterit) on oltava sellaiset, että katkaisijaa tai kytkintä ulos vedettäessä kiskon jännitteelliset osat automaattisesti peittyvät. Kuvassa 7 on katkaisija vedetty erotusasentoon, jolloin sulkimet (1) ovat automaattisesti peittäneet virta-aisojen (2) jännitteelliset vastakoskettimet, jotka ovat kiinni kiskostossa.



Kuva 7. Pääkojetilan sulkimet, jotka sulkeutuvat välittömästi peittäen jännitteelliset kiskoihin kiinnitetyt virta-aisojen vastakoskettimet, kun katkaisija virta-aisoineen on vedetty erotusasentoon.

Kisko-, kaapeli- ja katkaisijatilassa pitää olla valokaarisuojasanturit vähentämässä mahdollisen valokaaren kestoaikaa (Lloyd's Register Emea 2010).

4.3.2 Mekaaniset lisävaatimukset

Nämä mekaaniset lisävaatimukset ovat koostettu seuraavista lähteistä: IEC 60092–101, IEC 60092–503, IEC 60092–504, DNV 2007, IACS 2009b, LR 2009, ABS 2010a ja Lloyd's Register Emea 2010. Näistä lähteistä on kerätty jokaisesta asiasta vaativin ohje,

jonka mukaan kojeiston muutokset tulee tehdä. Joissakin tapauksissa usealla lähteellä on sama vaatimus.

Kaikki hankittavat tai rakennettavat sähkölaitteet on asennettava niin, että vedellä, vesihöyryllä, öljyllä tai öljyhöyryllä, joille laitteet ovat alttiina, ei ole vaikutusta niihin. Kojeistoon onkin asennettava lämmittimet, jotka pitävät kosteuden poissa, kun kojeisto on poissa käytöstä merkittäviä aikoja. Laitteiden kaikki mutterit, ruuvit ja lukitsemislaitteet, joilla johtimet ja kiskot kiinnitetään tukieristimiin tai laitteisiin, on kiinnitettävä kestävästi irtoamatta normaalin käytön aiheuttamia värinöitä ja iskuja.

Kojeistossa käytettävien materiaalien tulee olla kulutusta ja kosteutta kestäviä sekä tulta hidastavia. Ne eivät saa heikentyä merikäyttöympäristön ja lämpötilan vaikutuksesta. Sama sääntö koskee myös kaapeleita, joille lisäksi suositellaan halogeenivapautta. Kaikki laitteet on ulkoisesti merkittävä nimikilvellä järjestelmän tuotetietojen mukaisesti ja merkintöjen on oltava pysyviä. Nimikilvessä on oltava valmistajan nimi, laitteen tyyppi, järjestelmän nimellisjännite, -virta ja -teho sekä muut välttämättömät tiedot. Nimikilpi on tehtävä tulenkestävästä korroosiottomasta materiaalista. Lisäksi kilven on sijaittava selvästi havaittavassa paikassa, jotta kaikki komponentit ja laitteet voidaan luotettavasti tunnistaa.

Ohjaus- ja mittaussiirit on asennettava erilleen pääpiiristä lukuun ottamatta lyhyitä kytkentöjä mittamuuntimissa, releissä, apukytkimissä tai muissa vastaavissa laitteissa. Piirien erottaminen tapahtuu käyttämällä tulenkestäviä metallisia tai eristettyjä väliseiniä. Eristettyjen väliseinien käyttäminen kojeiston sisäisen osastoinnin materiaalina on kuitenkin hyväksyttävä asiantuntijalla. Erilleen asentamisvaatimusta voidaan lieventää käyttämällä kaapelikanavia. Eristemateriaalien esimerkiksi tukieristimien on kestävä lämpötila, joka on ympäristön lämpötila ja kiskojen täydellä kuormalla aiheuttama lämpö yhteensä. Lisäksi eristemateriaalien tulee olla tulta hidastavia.

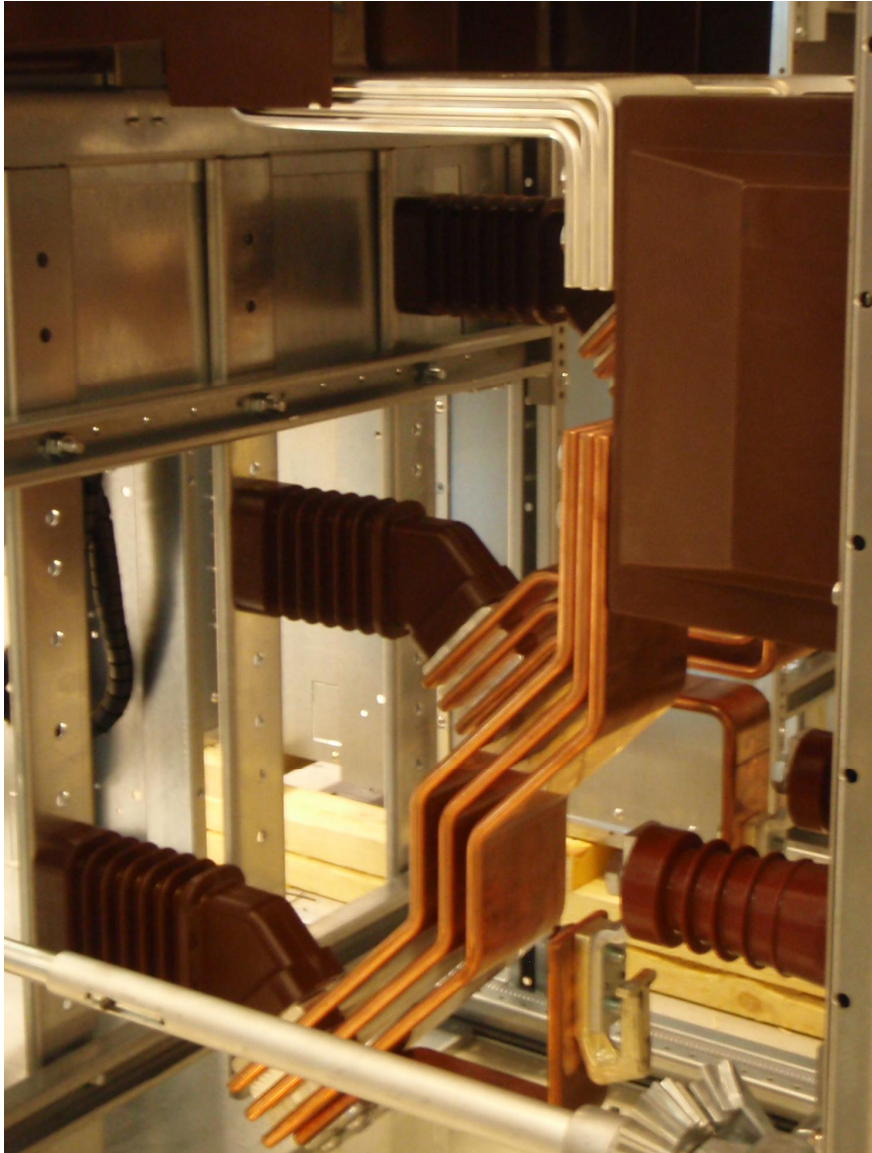
Kojeiston syöttökaapelit tulevat lattiasta päin. Lattialäpivientien tulee olla suljettavia, mihin voidaan käyttää myös peltiä. Niissä sähköpiireissä, joissa sähköä ei ole mahdollista kulkea kuormasta kojeistoon päin, voidaan suojalevy kaapelipäätteen ja kytkinlaitteen väliltä jättää pois.

Kojeiston pääkojevaunun on hyvä olla kiskoilla. Vaunulle riittää alareunasta kiinnittäminen, mutta tuennan on kuitenkin oltava riittävä. Vaunu pitää pystyä lukitsemaan paikoilleen. Vaunussa on tyypillisesti kuvan 3 (s. 16) tapaan katkaisija, joka voi olla tyhjiö- tai SF₆- katkaisija. Kojeiston ovet on saranoitava, jos niiden takana on käyttöä tai huoltoa vaativia laitteita esimerkiksi katkaisija. Tällaiset ovet on myös voitava lukita pysymään auki huoltotilanteessa. Kuvasta 3 (s. 16) nähdään, että ovissa on saranat.

4.3.3 Sähköiset lisävaatimukset

Nämä sähköiset lisävaatimukset ovat koostettu seuraavista lähteistä: IEC 60092–101, IEC 60092–503, IEC 60092–504, DNV 2007, IACS 2009b, LR 2009, ABS 2010a ja VEO 2010e. Näistä lähteistä on kerätty jokaisesta asiasta vaativin ohje, jonka mukaan kojeiston muutokset tulee tehdä. Joissakin tapauksissa usealla lähteellä on sama vaatimus.

Ohjeiden mukaan laitteiston maksimijännite saa olla enintään 15 kV. Järjestelmä kuitenkin koestetaan 17,5 kV:n jännitteellä. Laitteiston kiskot ja muut johteet tehdään normaalisti kuparista, alumiinista tai kuparipinnoitetusta alumiinista. Kuparipinnoitetut alumiinikiskot ja pinnoittamattomat alumiinikiskot on suojattava asianmukaisesti korroosiolta sijoittamalla ne ilmastoituun ympäristöön, tiiviisti pinnoittamalla tai alumiinin on oltava meri-ilmastoa kestävä. Ne liitospinnat, joissa kaksi eri metallia on liitetty yhteen, täytyy suojata korroosiolta ja oksidoitumiselta, koska epäjalomman metallin pinta saattaa ylikuumentua. VEKE 24 -kojeistossa ei käytetä kahden eri metallin liitoksia, mutta samassa kojeistossa voi kuitenkin olla käytössä sekä kuparia että alumiinia kustannussyistä. Kuvassa 8 on eräs tällainen ratkaisu, jossa katkaisija ja virtamuuntaja ovat yhdistetty alumiinikiskoilla. Virtamuuntajasta on edelleen jatkettu kuparikiskoilla. Kupari- ja alumiinikiskot eivät ole yhteen liitettynä, jolloin ei ole korroosio-ongelmia (LR 2009: 6.2.7.2.1).



Kuva 8. Kupari- ja alumiinikiskoa asennettuna kennon kaapelitilassa. Katkaisijan alemmalta vastakoskettimelta on alumiininen kolminkertainen kiskosto virtamuuntajalle, josta on jatkettu edelleen kolminkertaisella kuparikiskolla.

Pinnoittamattoman kuparikiskon muoto ja poikkipinta-ala on oltava sellainen, että sen lämpenemä ei nouse $45\text{ }^{\circ}\text{C}$:n yli nimelliskuormalla. Kiskon pinnan oksidoitumisen estämiseksi voidaan pultiliitos pinnoittaa hopealla, nikkelillä tai tinalla, jolloin lämpenemä saa olla enintään $60\text{ }^{\circ}\text{C}$:ta. Jos kiskon lämpenemä nousee yli $45\text{ }^{\circ}\text{C}$:ta, niin on varmistuttava, että siitä ei ole haittaa kiskoon kytkettyihin tai sitä lähellä oleville laitteille, eikä minkä tahansa kiskoon liitetyn materiaalin enimmäislämpötila ylitä. Pultiliitos-

ten mutterit on kiinnitettävä asianmukaisesti löystymisen ehkäisemiseksi. Kuvassa 9 on hopeoitu kuparikisko. Hopeoidun kuparikiskon lämpötila saa nousta maksimissaan 105 °C:seen asti, mikä on ympäristön maksimilämpötilan (45 °C:n) ja hopeoidun kuparikiskon maksimilämpenemän (60 °C:n) summa. Lisäksi kiskot ja muut johteet tukieristimineen on niin mekaanisesti kuin termisesti mitoitettava ja kiinnitettävä kestämään yhden sekunnin maksimioikosulkuvirran aiheuttamat voimat.



Kuva 9. Hopeoitu kuparikisko.

Kojeistoon tulevien generaattorien nousukiskot on suunniteltava kestämään generaattorien nimellisteho 45 °C:n ympäristölämpötilassa. Tämän vuoksi kokoojakiskon mitoituksen täytyy olla sellainen, että koko generaattorien nimellisteho pystytään siirtämään kiskoston läpi. Haarakisko liitoksineen on suunniteltava kestämään vähintään 75 % kokonaiskuormavirtasta tai generaattorien nimellisvirrasta, joka voi kohdistua kyseiseen kiskoston osaan. Pienempi virta-arvo ratkaisee. Jos haarakisko syöttää yhtä yksikköä tai yksikköryhmää, niin se on suunniteltava kestämään kyseisen yksikön tai ryhmän täyskuormitus.

Niissä järjestelmissä, joissa sähkövoimala on sähkökäyttöisiä potkureita varten pääenergiälähteenä välttämätön, on pääkiskosto jaettava vähintään kahteen osaan. Normaalisti nämä kiskon osat ovat kytkettävissä yhteen katkaisijan tai muun sopivan laitteen välityksellä. Normaalisti generaattorien ja muiden kahdennettujen laitteiden kytkennät jaetaan näiden kiskoston osien välille. Vaikka pääkojeisto on jaettu kahteen toisistaan riippumattomaan ja itsenäiseen osaan, niin yhtenäinen kiskotila on sallittua. Edellytyksenä on, että valokaaren valvonta, kiskon differentiaalirelesuojaus ja muut suojausjärjestelmät ovat asennettuna. Suojauksien tulee tunnistaa sisäiset viat ja erottaa ne järjestelmästä 100 ms:ssa sekä ehkäistä satunnaisten valokaarien syntyminen.

4.3.4 Maadoitusten lisävaatimukset

Nämä maadoitukselliset lisävaatimukset ovat koostettu seuraavista lähteistä: IEC 60092–503; IEC 60092–504; IEC 60092–101; DNV 2007; IACS 2009b; LR 2009; ABS 2010a. Näistä lähteistä on kerätty jokaisesta asiasta vaativin ohje, jonka mukaan kojeiston muutokset tulee tehdä. Joissakin tapauksissa usealla lähteellä on sama vaatimus.

Kaikki korkeajännitelaitteistot on maadoitettava tarkoituksen mukaisilla maadoituskaapeleilla kahdesta kohtaa laivan teräsrunkoon. Lisäksi laivan teräsrunkoon kiinnitetyt korkeajännitteiset koteloidut laitteet tulee maadoittaa muutoinkin kuin kotelon kautta laivan runkoon. Jos kojeisto koostuu metallikoteloiduista komponenteista, jotka on järjestetty erillisiin metallikuorisiin osastoihin, niin myös kojeiston pitää olla metallikuorinen. Metallikuori ja jokainen yksittäinen kotelo tai sen osa on kytkettävä maadoitusjohtimeen tai kiskoon. Myös kojeiston kaikki metalliset osat, jotka eivät ole johtimia, mutta jotka voivat tulla jännitteelliseksi vian sattuessa, on maadoitettava. Pää- ja hätäkytkintaulussa on tämän vuoksi oltava maadoituskisko. Jos kojeisto on jaettu toisistaan riippumattomiin osiin tai kytkintauluihin, on jokaisella osalla tai kytkintaululla oltava oma maadoitus. Maadoitusjohdin on yleensä kuparia ja sen poikkipinta-ala on vähintään 35 mm². Virtatiheys ei saa ylittää 150 A/mm² kuparisessa maadoitusjohtimessa vikavirtaltaan suurimman maasulun sattuessa.

Kaikki kojeiston sisään tulevat ja ulos lähtevät piirit, jotka on mahdollista kytkeä jännitteelliseksi kojeiston ulkopuolelta, on varustettava kiinteällä maadoituskytkimellä. Kiin-

teän maadoituskytkimen on kyettävä toimimaan järjestelmän ollessa jännitteellinen, jos luotettavaa mekaanista estoa ole saatavilla, mikä estäisi maadoituskytkimen sulkemisen laitteen ollessa jännitteellinen.

Kaapin sisäiset liitokset on riittävän johtavan yhteyden varmistamiseksi kiinnitettävä pulteilla tai hitsaamalla. Näitä liitoksia on kehyksen, pintapeltien ja muiden rakenteellisten osien välille. Saranoidut ovet on erikseen maadoitettava kaapin runkoon joustavalla kuparikaapelilla. Korkeajännitelaitteissa tämän kaapelin minimipoikkipinta-ala on 4 mm^2 .

Korkeajännitteisessä laitteistossa maadoitettujen ulosvedettävien komponenttien maadoituksen on säilyttävä laitteen ollessa ulosvedettynä, jollei laitetta ole vedetty kokonaan irti laitteistosta. Maadoitus pitää olla käytössä myös silloin, kun testataan jännitteellisiä apulaitepiirejä.

Maastaerotetussa (korkea impedanssisessa) järjestelmässä, missä syöttöjä ei ole eristetty maasulun varalta, on eristyslaitteet suunniteltava kestäämään pääjännite.

4.4 Korkeajännitelaitteiden tekniset vaatimukset

Kappaleessa 4.3 mainitut vaatimukset olivat yleisluontoisia. Tässä kappaleessa kerrotaan tarkemmin tarkoin rajatuista teknisistä vaatimuksista, jotka merikäyttöön tarkoitettulle keskijännitekojeistolle on asetettu.

Taulukossa 2 vertaillaan IEC 60092–503 standardin ja laivaluokituslaitosten minimi-ilmavälivaatimuksia kojeistossa. Ilmavälillä tarkoitetaan kahden eripotentiaalissa olevan eristämättömän osan välistä vapaata tilaa. Ilmavälivaatimukset ovat samat vaiheiden sekä vaiheen ja maan välillä. Taulukosta nähdään, että DNV ja ABS laivaluokituslaitosten vaatimukset ovat standardia vaativimmat. LR laivaluokituslaitoksellakin on omat minimi-ilmavälivaatimuksensa, mutta niitä käytetään vain, jos standardeja ei ole saatavilla tai niistä ei löydy määrittelyä halutulle jännitetasolle (LR 2009: 6.2.1.10.6). Taulukon viimeisessä sarakkeessa on koostettu yhteen kaikista ohjeista vaativimmat

kohdat jänniteportaittain. VEKE 24 -keskijännitekojeiston pitäisi täyttää nämä vaatimukset.

Taulukko 2. IEC standardin ja laivaluokituslaitosten mukaiset minimi-ilmavälit kojeistossa nimellisjännitteen suhteen. (IEC 60092–503: 10–11; DNV 2007: 40–41; LR 2009: 6.2.7.5; IACS 2009b; ABS 2010a: 705.)

Minimi-ilmaväli kojeistossa [mm]					
Nimellisjännite U_n [V]	IEC 60092–503	DNV	LR	ABS	Kooste
< 3300	32	55	32	55	55
< 6600	60	90	60	90	90
< 11000	100	120	100	120	120
≤ 15000	120	160	120	160	160

Taulukossa 3 vertaillaan IEC 60092–503 standardin ja laivaluokituslaitosten minimipintamatkavaatimuksia kojeistossa. Pintamatkalla tarkoitetaan jännitteellisen osan ja maan välistä lyhintä eristemateriaalin pintaa pitkin mitattua matkaa. Eristeen pinta alkaa johtaa sähköä, kun sen pintaan kertyy kosteutta ja likaa. Tätä kutsutaan pintavuotovirraksi. Jokaisella eristeellä on ominainen kyky vastustaa tätä virran johtumista, jota mitataan IEC 60112 standardin määrittelemällä PTI (Proof Tracking Index) testillä. IEC 60092–503 standardi ja DNV laivaluokituslaitos ilmoittavat vaaditut minimipintamatkat PTI testissä käytettyjen testausjänniteportaiden suhteen, joita ovat 300 V, 375 V, 500 V ja > 600 V. Taulukossa 3 mainitaan pintamatkat vain 300 V testausjännitteen suhteen, koska sillä jännitteellä pintamatkavaatimus on suurin. (IEC 60112.)

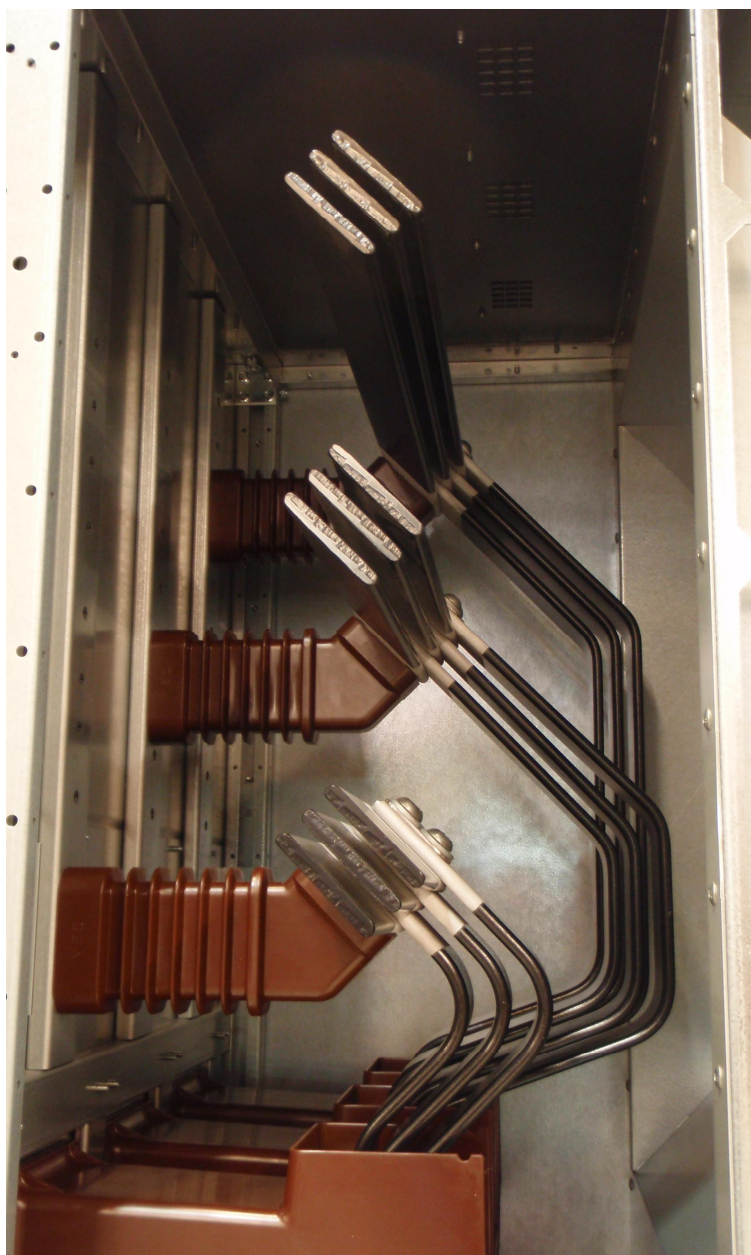
Taulukosta 3 nähdään, että IEC 60092–503 standardi ja DNV ovat vaatimuksiltaan yhtenevät. ABS:llä (2010a: 705) pintamatkavaatimukset ovat samat kuin ilmavälissäkin, mutta ympäristön olosuhteet ja IEC 60112 standardi pitäisi ottaa huomioon. LR:n säännöstössä (2010a: 6.2.7.5.3) mainitaan, että pintamatkan tulee olla vähintään sama kuin ilmavälimatka tai vähintään 16 mm jokaista 1 kV kohden. Näistä vaatimuksista vaativampi otetaan huomioon. Taulukossa 3 'x' tarkoittaa sitä, että kyseiselle jännitteelle ei ole määritelty minimipintamatkaa, jolloin kyseinen arvo on aina harkittava erikseen.

Taulukon viimeiseen sarakkeeseen on koostettu vaativimmat ohjearvot jänniteportaitain.

Taulukko 3. IEC standardin ja laivaluokituslaitosten mukaiset minimipintamatkat kojeistossa nimellisjännitteen suhteen. (IEC 60092–503: 10–11; DNV 2007: 40–41; LR 2009: 6.2.7.5; ABS 2010a: 705.)

Minimipintamatka kojeistossa [mm]					
Nimellisjännite U_n [V]	IEC 60092–503, PTI testi 300 V	DNV, PTI testi 300V	LR	ABS	Kooste
< 3300	63	63	64	55	64
< 6600	113	113	128	90	128
< 11000	183	183	192	120	192
≤ 15000	x	x	240	160	240

Kuvassa 10 on kolminkertainen maalattu haara- ja kokoojakiskosto. VEKE 24 - kojeistossa käytetään pinnoittamattomia kupari- ja alumiinikiskoja tai hopeapinnoitettuja kuparikiskoja. Kiskot peitetään Raychem kumisuojalla, jos kojeiston nimellisjännite on 24 kV.



Kuva 10. Kolminkertainen maalattu kokooja- ja haarakiskosto pääkiskotilassa.

Taulukossa 4 on esitetty VEKE 24 -kojeiston kiskojen väliset minimi-ilmavälit kiskojen koon ja lukumäärän suhteen. Kiskon paksuus on aina 10 mm:ä ja leveys 60 tai 80 mm:ä. Kiskoja kytketään rinnakkain yhdestä neljään kappaletta kojeiston käyttökohteeseen suunnitellusta mitoitusvirrasta riippuen. Vertaamalla taulukossa 4 esitettyjä kojeiston nykyisiä ilmavälejä taulukon 2 (s. 40) koostesarakkeessa esitettyihin vaatimuksiin havaitaan, että VEKE 24 -kojeistoa voidaan käyttää alle 6,6 kV:n jännitteellä kaikilla kis-

korakenteilla. Alle 11 kV:n jännitteellä kojeistossa voidaan käyttää sekä 60 mm:ä että 80 mm:ä leveitä kiskoja korkeintaan kaksinkertaisena. Alle 15 kV:n jännitteellä kiskojen ilmavälit eivät riitä millään kiskorakenteella. Tämän perusteella kuvan 10 mukaista kiskorakennetta voidaan käyttää vain alle 6,6 kV:n jännitteellä. VEKE 24 -kojeiston nykyisiä ilmavälejä voidaan kuitenkin käyttää, jos testeillä voidaan osoittaa, että ne ovat riittävät. Jos kiskojen väliset ilmavälit ovat standardien ja laivaluokituslaitosten vaatimusten mukaiset, niin kojeistoa ei tarvitsisi siltä osin testata lainkaan.

Taulukko 4. VEKE 24 -kojeiston kiskorakenteiden minimi-ilmavälit kiskojen leveyden ja määrän mukaan.

Kiskorakenteiden ilmavälit [mm]	
VEKE 24 kokoojakiskon koko [mm x mm]	Minimi-ilmaväli kokoojakiskostossa [mm]
1x(60x10)	150
2x(60x10)	130
3x(60x10)	110
4x(60x10)	90
1x(80x10)	130
2x(80x10)	130
3x(80x10)	110
4x(80x10)	90

Taulukossa 5 on esitetty VEKE 24 -kojeistossa käytettyjen tukieristimien nimellisjännitteet ja pintamatkat sekä ilmavälit eli eristimien pituudet. Vertaamalla taulukon 5 pintamatkoja taulukon 3 (s. 41) koostesarakkeessa esitettyihin vaatimuksiin havaitaan, että tukieristimiä A ja B voidaan käyttää alle 6,6 kV:n jännitteellä. Kiskotukieristintä ja tukieristimiä C ja D voidaan käyttää myös korkeimmilla alle 11 kV:n ja alle 15 kV:n jännitetasoilla. Kojeistossa nykyisin 12 kV:n nimellisjännitteellä käytettyjä tukieristimiä A ja B ei voidakaan käyttää 11 kV:n nimellisjännitteellä laivastandardien ja laivaluokituslaitosten vaativimpien ohjeiden vuoksi, vaan joudutaan käyttämään 24 kV:lle suunniteltuja tukieristimiä C ja D. Jos testeissä tukieristimet A ja B voidaan osoittaa pintamatkal-

taan riittäviksi 11 kV:lle, niin niitä voidaan käyttää. Kiskotukieristintä, joka on VEO:n omaa tuotantoa, ei ole käytössä kuin yhdenlaista tyyppiä ja se riittää korkeimmallekin jännitetasolle. Tukieristimiä A, B, C ja D käytetään kaapelitilassa tukemaan maadoituskytkintä ja kiskoja. Tukieristinten määrä riippuu oikosulkuvirran suuruudesta. VEKE 24 -kojeistossa käytetään 25 ja 31,5 kA:n mitoitusoikosulkuvirroilla samoja tukieristimiä, mutta 40 kA:lla pitää tukieristimien määrää lisätä.

Taulukko 5. VEKE 24 -kojeistossa käytettyjen tukieristimien pintamatkat ja ilmavälit sekä nimellisjännite (GEORD JORDAN 2010).

Kiskoston tukieristimien pintamatkat ja ilmavälit			
Tukieristimen tyyppi	Nimellisjännite U_n [kV]	Pintamatka [mm]	Ilmaväli [mm]
Kiskotukieristin	24	272	175
Tukieristin A	12	170	130
Tukieristin B	12	170	130
Tukieristin C	24	250	175
Tukieristin D	24	275	210

Kun taulukon 5 tukieristimien ilmavälejä verrataan taulukon 2 (s. 40) minimi-ilmaväli vaatimuksiin, havaitaan, että tukieristimien ilmaväli vaatimus toteutuu kojeiston runkoon eli maahan nähden. Ainoastaan taulukon 2 perusteella tukieristimiä A ja B voitaisiin käyttää 11 kV:lla sekä tukieristimiä C ja D 15 kV:lla nykyiseen tapaan. Taulukossa 4 on kuitenkin kerrottu VEKE 24 -kojeiston kiskojen ilmavälien olevan joillakin kiskorakenteilla pienemmät kuin taulukossa 5 esitetään. Taulukon 4 pienemmät ilmavälit johtuvat siitä, että taulukossa 4 ilmoitetut kiskojen vaiheiden väliset ilmavälit ovat pienemmät kuin taulukossa 5 ilmoitetut kiskojen ja maan väliset ilmavälit. Koska pienempi ilmaväli ratkaisee, täytyy tukieristimien käyttö suunnitella taulukon 4 arvojen mukaan. Tukieristimien A ja B sähköiset ominaisuudet ovat samat, mutta B tukieristimen halkaisija on 15 mm:ä suurempi kuin A:n, jotta se olisi mekaanisesti kestävämpi.

Kuvassa 11 on esimerkki tukieristimestä, jota VEKE 24 -kojeistossa käytetään. Tukieristimen pituus on sama kuin ilmaväli, joka tukieristimellä saadaan tehtyä. Tutkimalla kuvaa 11 huomataan, että tukieristimen pinta on aaltoileva. Mittaamalla matka tu-

kieristimen pintaa pitkin huomataan, että se on enemmän kuin sen pituus. Tämä matka on tukieristimen pintamatka.



Kuva 11. Eräs VEKE 24 -kojeistossa käytettävistä tukieristimistä, jonka pinta on aaltoileva pintamatkan kasvattamiseksi (JORDAN 2010).

Taulukossa 6 esitetään VEKE 24 -kojeistossa käytettävät kiskot ja niiden mitoitusvirrat. Taulukosta nähdään myös DNV laivaluokituslaitoksen ilmoittamat mitoitusvirrat vastaaville kiskoille. Virta-arvoja vertaamalla havaitaan, että kojeistossa tällä hetkellä käytetyt virrat alittavat selvästi DNV:n ohjeet (2007: 45). Lisäksi DNV:n ohjeissa sanotaan, että 45 °C:n ympäristölämpötilassa pinnoittamaton kuparikisko saa lämmitä enintään 45 °C:ta. Kiskon maksimilämpötila voi olla silloin 90 °C:ta. LR ja ABS laivaluokituslaitosten ohjeissa ei anneta selviä ampeeri määriä, vaan niissä annetaan rajoiksi pelkätään kiskoston lämpenemä. ABS:n ohjeissa (2010a: 651, 659–660) sanotaan, että kisko-

jen koon ja sijainnin tulee olla sellainen, että kiskoston lämpenemä ei vaikuta kojeissa olevien muiden sähkölaitteiden normaaliin toimintaan. Generaattorikiskoille eli kokoojakiskoille kiskojen lämpenemän mitoituksen suunnittelussa oletetaan ympäristölämpötilaksi 45 °C:ta. LR:n ohjeissa (2009: 6.2.1.8, 6.2.7.2) taas sanotaan, että kiskosto saa nimellisvirralla lämmitä enintään 45 °C:ta ympäristölämpötilan ollessa 45 °C:ta, jos kiskostoa ei ole suojattu pinnan hapettumista vastaan. Jos taas kiskon pinta on suojattu hapettumista vastaan pinnoittamalla se hopealla, nikkelillä tai tinalla, niin silloin se saa lämmitä nimellisvirralla enintään 60 °C:ta.

Taulukko 6. VEKE 24 -kojeistossa käytetyt kiskot ja niiden mitoitusvirrat sekä DNV laivaluokituslaitoksen vastaavat ohjeet. (DNV 2007: 45.)

Kiskojen mitoitusvirrat		
VEKE 24 kokoojakiskon koko [mm x mm]	Virta I [A]	
	VEKE 24, pinnoittamaton kuparikisko	DNV sallittu, pinnoittamaton kupari
1x(60x10)	902	1460
2x(60x10)	1324	2430
3x(60x10)	1590	3235
4x(60x10)	1805	4075
1x(80x10)	1182	1860
2x(80x10)	1670	2985
3x(80x10)	2063	3930
4x(80x10)	2341	4870

Myös laivojen sähköasennuksien yleisiä vaatimuksia koskevassa IEC 60092–101 standardissa (2002: 27) sanotaan, että jos toimintaympäristön lämpötila on enintään 45 °C:ta, niin 45 °C:n ympäristölämpötilaa sovelletaan suunnittelussa. Kyseinen standardi ei kuitenkaan määrittele kiskon lämpenemää, kuten ei myöskään laivojen korkeajänniteasennuksia koskeva standardi IEC 60092–503. Laivaluokituslaitosten ohjeista voidaan kuitenkin vetää se johtopäätös, että pinnoittamaton kiskosto tulee suunnitella

toimimaan 45 °C:n ympäristölämpötilassa ja maksimilämpenemä saa olla enintään 45 °C:ta. Tämän perusteella pinnoittamattoman kuparikiskoston lämpötila saa olla maksimissaan 90 °C:ta nimellisvirralla. Maksimilämpötila on ympäristön maksimilämpötilan ja maksimilämpenemän summa. Lisäksi ympäristön alin lämpötila ei saa olla alle 0 °C:ta (DNV 2007: 38, ABS 2010a: 15). Taulukon 1 (s. 17) mukaan VEKE 24 -kojeiston nykyinen ympäristön lämpötila-alue on -5 °C...+40 °C:ta. Siihen verrattuna laivaluokituslaitosten vaatimus ympäristön lämpötila-alueesta on kokonaisuudessaan 5 °C:ta lämpimämpi.

Yleisesti korkeajännitekojeistoja koskevassa standardissa IEC 62271-1 (2007: 38) sallitaan pinnoittamattoman kupari-, kupari-alumiiniseos- tai alumiinikiskoliitoksen lämpenemäksi 50 °C:ta. Ympäristön lämpötila saa olla enintään 40 °C:ta, mikä on 5 °C:ta vähemmän kuin laivaluokituksissa sallitaan. Kuitenkin maksimilämpötila on molemmissa sama 90 °C:ta. Laivaluokitusten sallima 45 °C:n lämpenemä on kuitenkin vaativampi, koska se sallii kiskon lämmitä 5 °C:ta vähemmän. Lämpenemäkokeessa ratkaisee lämpenemä eikä kokonaislämpötila. Jos lämpenemäkokeen aikana ympäristön lämpötila on esimerkiksi 20 °C:ta ja kokeen aikana kojeiston pinnoittamaton kuparikisko lämpenee 48 °C:ta, niin kiskon kokonaislämpötila on silloin 68 °C:ta, mikä alittaa selvästi 90 °C:n maksimilämpötilan. Tässä tapauksessa kojeisto läpäisisi yleisen standardin IEC 62271-1 vaatimuksen, koska kiskon lämpenemä jää alle 50 °C:n, mutta ei laiva-standardia IEC 60092-101, koska lämpenemä ylittää 45 °C:n raja-arvon. (IEC 60092-503; IEC 60092-101; DNV 2007; LR 2009; ABS 2010a.)

Kappaleessa 4.3 mainituista yleisistä vaatimuksista VEKE 24 -keskijännitekojeisto täyttää jo ennestään suurimman osan. Teknisesti selvästi rajatut vaatimukset voidaan täyttää muuttamalla kojeistoa tarpeen mukaan. Kuitenkin useat näistä vaatimuksista ovat luonteeltaan sellaisia, että niiden riittävä toteuttaminen käytännössä on todettava harkinnanvaraisesti esimerkiksi valmistajan tai luokituslaitoksen toimesta. Myös materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa vaatimusten toteutumiseen.

Niin kuin aiemmin kerrottiin, kojeisto on testattava, jotta sen vaatimusten mukaisuudesta voidaan olla varmoja. Testit on tehtävä esimerkiksi silloin, jos tukieristimien pinta-

matka ei ole vaatimusten mukainen. Testeillä voidaan osoittaa, että vaatimuksia pienemmätkin arvot voivat olla riittävät.

DNV laivaluokituslaitoksen ohjeissa (2007: 45–48) sanotaan, että kojeistolle on suoritettava seuraavat testit, joiden tulokset on myös esitettävä yhdessä laitteen asiakirjojen kanssa. Kojelistosta on testattava kaikki perustoiminnot ja apulaitteiden toiminnot. Lisäksi tulee testata eristysresistanssi ja vaihtojännitekestoisuus sekä tarkastaa kojeisto silmämääräisesti. Kojeliston tyyppitestauksella, joka suoritetaan IEC 62271–200 mukaan, osoitetaan kojeiston sisäisen valokaaren kestoisuus. Nämä testit aiemmin mainittujen kallistus-, värinä- ja lämpenemätestien lisäksi ovat riittävät kojeiston korkeajännitepuolen laitteille. Pienjännitepuolen laitteille pitää tehdä lisätestejä, joista kerrotaan myöhemmin lisää.

Silmämääräisessä tarkastuksessa katsotaan, että laite on piirustusten ja suunnitelmien mukainen ja noudattaa IEC standardeja ja luokituslaitosten ohjeita sekä työn jälki että laitteen rakenne, käytetyt materiaalit ja komponentit ovat laadukkaita. Lisäksi katsotaan, että laite on vaaditun IP- luokituksen mukainen, kiskojen ilmavälit ja kiskotilan tuuletus ovat riittävät. (IEC 60092–101: 25; IEC 60092–504: 11; DNV 2007: 47–48; LR 2002: 6; ABS 2010a: 788)

Taulukossa 7 luetellaan nimellisjännitetasoittain kojeiston korkein sallittu käyttöjännite, eristystasot vaihto- ja syöksyjännitteellä ja eristysresistanssi sekä eristysresistanssimittauksen testausjännite. IEC 60092–503 standardi määrittelee jännitetasoittain laitteen korkeimmat sallitut käyttöjännitteet. Vaihtojännitteen eristystason ja eristysresistanssin suhteen kaikki laivaluokituslaitokset ovat yhteneväisiä. Ainoastaan ABS ei määritellyt koestusjännitteitä. Syöksyjännitteen eristystasot määrittelee vain DNV (2007: 41). LR:n mukaan (2009: 6.2.7.5.1), jokaisen laitteistotyypin syöksyjännitteen eristystaso on testattava standardin mukaisesti tai ilmavälit pitää olla pinnoittamattomissa johtimissa LR:n vaatimusten mukaiset. ABS:n ohjeessa sanotaan myös, että eristystaso syöksyjännitteellä on testattava soveliaita sääntöjä noudattaen, jos ilmavälit ovat pienemmät kuin ABS:n suositukset. (IEC 60092–503: 9; DNV 2007: 41, 47–48, 53; LR 2009: 6.2.20.1, 6.2.7.5.1; ABS 2010a: 656, 663, 705.) ABS:n ohjeissa soveliailla säännöillä tarkoitetaan ilmeisesti standardia IEC 62271–200 tai vastaavaa.

Vertaamalla taulukossa 1 (s. 17) mainittuja VEKE 24:n nykyisiä eristystasoja vaihto- ja syöksyjännitteellä taulukon 7 ohjeisiin havaitaan, että niissä ei ole eroavaisuuksia.

Taulukko 7. Kojeiston maksimikäyttöjännitteet, eristystaso vaihto- ja syöksyjännitteellä sekä eristysresistanssivaatimukset nimellisjännitetasoittain (IEC 60092–503: 9; DNV 2007:41, 47–48, 53; LR 2009: 6.2.20.1, 6.2.7.5.1; ABS 2010a: 656, 705).

Vaihto- ja syöksyjännitekoe sekä eristysresistanssi R_e						
Nimellisjännite U_n [kV]	Nimellistaajuus [Hz]	Laitteen korkein käyttöjännite [kV]	Eristystaso vaihtojännitteellä [kV]	Eristystaso syöksyjännitteellä [kV]	Eristysresistanssi R_e	
					[M Ω]	Minimi testajännite [V]
3,3	50 tai 60	3,6	10	60	$(U_n/1000)+1$	1000
6,6		7,2	20	75	$(U_n/1000)+1$	1000
11		12	28	95	$(U_n/1000)+1$	5000
15		17,5	38	125	$(U_n/1000)+1$	5000

Vaihtojännitekokeessa jännitettä pidetään yllä yhden minuutin ajan. Testi suoritetaan kahdella tavalla. Ensimmäisessä tavassa testijännite kytketään yhteen kytkettyjen vaiheiden ja maan välille. Toisessa tavassa testijännite kytketään vaiheiden välille. Laitteiston katsotaan läpäisseen testin, jos merkittävää jännitteen putoamista ei tapahdu. Eristysresistanssimittaus on suoritettava välittömästi vaihtojännitekokeen jälkeen. Testi suoritetaan tasavirtaeristysmittaria käyttäen samanlaisin kytkennöin kuin vaihtojännitekestoisuustesti. Lämpötilan on oltava lähellä normaalia toimintalämpötilaa eristysresistanssimittauksen aikana tai on käytettävä sopivia laskentamenetelmiä tuloksen arvioimiseksi. Lisäksi on tarkistettava, että korkeajännitekestoisuustesti ei yhtään heikennä eristystasoa. (DNV 2007: 47, 53; LR 2009: 6.2.20.4.)

4.5 Pienjänniteapulaitteiden tekniset vaatimukset

Kojeiston pienjännitelaitteiston katsotaan standardeissa IEC 60092–504 ja 60092–101 kuuluvan ohjaus- ja mittauslaitteisiin, jolloin sille pitää tehdä myös toimintaympäristön luokitustarkastus. Kuvassa 12 on kojeiston toisiokojetila, jossa sijaitsevat jännite- ja virtamittarit, mitta-arvomuuntimet, ohjauskytkimet, releet ja kauko-ohjauslaitteet. Standardissa IEC 60092–101: 51–65 (liite B) määritellään laitteen asennuspaikasta riippuvaiset testimittaukset. Testauksien suorittamistavat on määritelty standardeissa IEC 60092–101: 25–31 ja IEC 60092–504: 11–17. Näiden standardien mukaan laitteet on suunniteltava toimimaan tyydyttävästi odotetussa ympäristössä annetuilla ehdoilla. Lisäksi on otettava huomioon ne rajoitukset, jotka on annettu standardin IEC 60092–101 liitteessä B. Liitteen B sisältämät ohjeet eivät kuitenkaan ole pakollisia. Mikäli tyyppi-testaukseen on aihetta, on testaus suoritettava standardin IEC 60092–504: 11–17 taulukon 1 mukaisesti.



Kuva 12. VEKE 24 -kennon pienjännitepuolen ohjaus- ja mittauslaitteisto.

Samoin kuin standardissa IEC 60092–101, niin myös LR:n ohjeissa (2009) eri ympäristöluokille määritellään, minkälaisessa ympäristössä jonkin ympäristöluokan mukaista kojeistoa voidaan käyttää ja mitä testejä siltä vaaditaan. Valmistaja huolehtii kojeiston soveltuvuudesta kyseiseen ympäristöluokkaan. Ympäristöluokituksen mukaisuus tarkastetaan yhdessä luokituslaitoksen edustajan kanssa. (Lloyd's Register Emea 2010.) LR:n ohjeissa on kerrottu jokaisen ympäristöluokan vaatimat testit, mutta luokkien vertailu ei ole välttämätöntä, koska erilaisten laivojen sähkötilat ovat samantyyllisiä ja olosuhteitaan vakiintuneita.

Laivojen sähköasennuksien määritteistä ja yleisistä vaatimuksista kertova standardi IEC 60092–101: 25–31 luettelee suunnittelua varten ympäristöolosuhdevaatimukset erilaisille ohjaus- ja mittauslaitteille. Mittaus- ja ohjauslaitteita koskevat testausvaatimukset löytyvät IEC 60092–504: 11–17 standardista, johon IEC 60092–101 viittaakin. Lisäksi kansainvälinen luokituslaitosten yhteisö on julkaissut (IACS 2009b) laivasähköasennuksia koskevan koosteen, joka on yhden mukainen laivaluokituslaitosten ja standardin IEC 60092–504 kanssa. IACS julkaisun ja standardin IEC 60092–101 sisältämät tyyppitestausvaatimukset ohjaus- ja mittauslaitteille kerrotaan pääpiirteittäin seuraavaksi.

Ohjaus- ja mittauslaitteiden testausvaatimukset käydäänkin vain osittain läpi, koska ne eivät varsinaisesti kuulu keskijännitekojeistojärjestelmiin eivätkä työn sisältöön. Vaikka keskijännitekennossa on pienjänniteosasto eli toisiokojetila, joka sisältää suojareleet, ohjaus- ja mittauslaitteet ja valokaarianturin, niin sitä ei kuitenkaan voi lukea varsinaiseksi ohjaus- ja mittauslaitteistoksi vaan apusähköjärjestelmäksi. Esimerkiksi ohjaus- ja mittauslaitteilta vaadittua suolasumutestiä ei ole perusteltua vaatia VEKE 24 -kojeistolta, koska kojeisto sijaitsee apusähkölaitteineen erillisessä laivan sähkötilassa, jonka voidaan olettaa olevan ympäristöolosuhdevaatimuksiltaan luokkaa IP X2. Testissä suolasumulle altistuisi myös kiskosto, jolloin läpilyöntien todennäköisyys kasvaisi huomattavasti. Standardissa IEC 60092–503 ei kuitenkaan mainita, että keskijännitelaitteiston pitäisi kestää tämän kaltaisia olosuhteita, jolloin voidaan olettaa, että toisiokojetilalta ei sitä myöskään vaadita. Lisäksi esimerkiksi suojareleiden ja muiden ohjaus- ja mittauslaitteiden osalta on laitetoimittaja vastuussa siitä, että sen laitteet täyttävät ohjaus- ja mittauslaitteilta vaaditut testit.

Sen sijaan staattiset ja dynaamiset kallistustestit tulisi suorittaa ohjaus- ja mittauslaitteiden asettamien vaatimuksien mukaan, koska luokituslaitosten yleisissä vaatimuksissa on erisuuntiin erilaiset kallistusvaatimukset. Etukäteen ei voida tietää miten päin kojeisto laivassa tulee olemaan, joten kojeisto saattaa täyttää kallistusvaatimukset sopivasti laivaan asennettuna, mutta ei välttämättä kaikissa asennoissa. Sen vuoksi kojeisto on järkevää testata kaikkiin suuntiin saman verran kallistettuna, niin kuin ohjaus- ja mittauslaitteita koskevassa standardissa on mainittu.

Ohjaus- ja mittauslaitteilta vaaditut testit ovat IEC 60092–504 ja IACS (2009b) mukaan seuraavat:

- silmämääräinen tarkastus
- IP- luokituksen testaus
- toiminnallisuuksien testaus
- ulkoisen tehon syötön vikaantumisen kesto
- tehon syötön vaihtelujen kesto
- kosteeton lämmitystesti
- kostea lämmitystesti
- värinätesti
- staattinen ja dynaaminen kallistustesti
- eristysresistanssimittaus
- vaihtojännitteen kestoprofiili
- kylmyyden kestoprofiili
- suolasumutesti
- sähköstaattinen purkaustesti
- elektromagneettisten kenttien kesto
- matalataajuuksisten häiriöiden kesto
- radiotaajuuksisten häiriöiden kesto
- impulssijännitteen kesto
- syöksyaaltojännitteen kesto
- korkeataajuuksisten häiriöiden lähetysteho
- radiotaajuuksisten häiriöiden lähetysteho
- tulen kesto.

Näistä testeistä silmämääräinen tarkastus, IP- luokituksen toteaminen ja toiminnallisuuksien testaus tehdään koko kojeistoa tarkastettaessa. Samalla suoritetaan myös staattinen ja dynaaminen kallistustesti, mitkä kuitenkin suoritetaan ohjaus- ja mittauslaitteita koskevien sääntöjen mukaan, mitkä eroavat kappaleessa 4.2 mainituista kallistustesti-vaatimuksista. Nämä testit on syytä tehdä siksikin, että laivassa esiintyy dieselmootto- reiden vuoksi värinöitä ja lisäksi laiva keinuu ja kallistelee aallokossa. Näistä testeistä ainoastaan pienjännitelaitteistolle tehdään vaihtojännitteen kestotesti sekä eristysresistanssimittaus. Vaihtojännitteen kestotesti ja eristysresistanssimittaus ovat rutiinitestejä ja ne tulee tehdä jokaiselle kennolle.

VEKE 24 -kojeistossa käytetään esimerkiksi VAMP 260 suojaletettä, joka täyttää vaihto- ja syöksyaaltojännitteen kestotestin, sähköstaattisen purkaustestin, radiotaajuisten häiriöiden kesto- ja lähetystestin sekä monien muiden ei vaadittujen testien vaatimukset. Lisäksi korkea- ja radiotaajuisten häiriöiden lähetystehotestit tarvitsee tehdä vain komentosillalle tai laivan kannelle sijoitetuille laitteille. Niitä ei tarvitse tehdä kojeiston apusähköjärjestelmille, jotka sijaitsevat laivan sähkötilassa.

Tästä kaikesta aiemmin kerrotusta voidaan päätellä, että kojeiston toisiokojetilassa oleville ohjaus- ja mittauslaitteille ei tarvitse tehdä tyyppitestausta, eikä niille siksi ole välttämätöntä tehdä VEO:n puolesta aiemmin mainittua ohjaus- ja mittauslaitteilta vaadittuja testejä. Testit on kuitenkin suositeltavaa suorittaa niiltä osin kuin aiemmin mainittiin. VEKE 24 -kojeistoon osia toimittavat laitetoimittajat vastaavat suojaletteläisten ja vastaavien ohjaus- ja mittauslaitteiden osalta siitä, että heidän laitteet täyttävät ohjaus- ja mittauslaitteilta vaaditut vaatimukset.

Seuraavaksi käydään suositeltavien testauksien sisällöt tarkemmin läpi. Mitä testit sisältävät ja miten ne suoritetaan sekä mitä muita olennaisia seikkoja pitää ottaa huomioon laitetta suunniteltaessa? Nämä testit koskevat koko kojeistoa lukuun ottamatta eristysresistanssimittauksia ja vaihtojännitekoetta, koska niiden osalta korkeajännitelaitteistolle on omat testit.

Sähkölaite tulee suunnitella normaalisti toimimaan 45 °C:n lämpötilassa. Suunnittelun ohjelämpötila on 55 °C:ta, jos laitetta tullaan käyttämään normaalia korkeammassa läm-

pötiloissa. Jos laite suunnitellaan toimimaan korkeammissa tai matalammissa lämpötiloissa kuin 45 °C:ta, niin sallittua lämpenemää on lisättävä tai vähennettävä normaaliin toimintalämpötilaan verrattuna. (IEC 60092–504: 27.)

Samoin kuin korkeaännitelaitteistollekin niin myös ohjaus- ja mittauslaitteille pitää tehdä *silmämääräinen tarkastus*, jossa katsotaan laitteen yhdenmukaisuus piirustusten ja suunnittelutietojen kanssa. Samalla voidaan todeta IP- luokituksen riittävyys. *Toiminnallisuus testissä* valmistaja huolehtii, että laite toimii kaikilta osin. Testauksen aikana lämpötilan tulee olla 25 ± 10 °C:ta, suhteellinen kosteus 60 ± 30 % ja ilmanpaine 96 ± 10 KPa. (IACS 2009b.) *Tärinätestissä* kennoa tärisytetään taajuusalueella 2_{-0}^{+3} –13,2 Hz amplitudilla ± 1 mm ja taajuusalueella 13,2–100 kiihtyvyydellä 0,7 g (IACS 2009b; ABS 2010b: 781).

Staattisessa kallistustestissä laitetta kallistetaan pystysuunnassa testauksen aikana 22,5 astetta neljään suuntaan, jotka ovat 90 asteen kulmassa vaakasuunnassa toisiinsa nähden ja laitteen tulee toimia testauksen aikana. Testauksen tulee kestää niin kauan, että laitteen toiminta voidaan riittävästi testata. Nestemäisiä kaasuja ja kemikaaleja kuljettavien alusten hätävoiman syötön täytyy vielä toimia aluksen ollessa kallistunut 30 astetta poikkisuunnassa. *Dynaamisessa kallistustestissä* laitetta kallistetaan samalla tavalla kuin staattisessa testissäkin. Lisäksi jokaiseen suuntaan kallistettuna laitetta pyöritetään pysty akselinsa ympäri 0,1 Hz taajuudella eli yksi kierros kestää kymmenen sekuntia. Testin tulee kestää vähintään 15 minuuttia jokaiseen suuntaan. (IACS 2009b.) Tämä testi vaaditaan yleensä laitteilta, joissa on liikkuvia osia (LR 2002: 8). Tämä testi voitaneen suorittaa myös niin, että 22,5 astetta kallistettua laitetta kierrätetään origopisteensä ympäri 15 minuuttia.

Eristysresistanssi pitää mitata kaikkien piirien ja maan väliltä ja missä mahdollista niin vaiheidenkin väliltä. Resistanssimittaus tulee suorittaa ennen ja jälkeen vaihtojännite-, lämpökosteus-, kylmänkesto- ja suolasumutestiä. Koska lämpökosteus-, kylmänkesto- ja suolasumutestiä ei suoriteta, niin eristysresistanssimittaus tarvitsee suorittaa vain kahdesti vaihtojännitetestin yhteydessä. Taulukossa 8 kerrotaan eristysresistanssivaatimukset ja testausjännitteet käyttöjännitteen suhteen. (IACS 2009b.)

Taulukko 8. Minimieristysresistanssi vaatimukset ja testausjännite käyttöjännitteen suhteen (IACS 2009b).

Eristysresistanssi R_e			
Nimellisjännite U_n [V]	Testausjännite U_n [V]	Minimieristysresistanssi	
		Ennen testiä R_e [M Ω]	Testin jälkeen R_e [M Ω]
$U_n \leq 65$	$2*U_n$, min. 24	10	1
$U_n > 65$	500	100	10

Vaihtojännitekoe on tehtävä kaikkien erillisten piirien ja yhteen kytkettyjen piirien ja maan välillä. Testausjakson pituus on yksi minuutti. Taulukossa 9 on mainittu testausjännitteet nimellisjännitteen suhteen.

Taulukko 9. Vaihtojännitekokeen testausjännitteet nimellisjännitteen suhteen (IACS 2009b).

Vaihtojännitekoe	
Nimellisjännite U_n [V]	Testausjännite, 50/60 Hz [V]
< 65	$2*U_n + 500$
66 - 250	1500
251 - 500	2000
501 - 690	2500

Tässä kappaleessa 4 on aiemmin käsitelty keskijännitekojeiston vaatimuksia kokonaisuudessaan erottelematta VEKE 24 -kojeiston jo täyttämiä vaatimuksia ja siinä esiintyviä puutteita. Käsitelyn kohteena olivat kojeistolle asetetut vaatimukset, jotka jaoteltiin neljään lisävaatimusalueeseen: *käyttöturvallisuuteen, mekaaniseen, sähköiseen ja maadoitukselliseen*. Seuraavaksi käsiteltiin kojeiston keskijännitepuolelle tehtäviä tarkastuksia ja testejä sekä vertailtiin standardien ja DNV, LR ja ABS laivaluokituslaitosten asettamia sähköisiä ja mekaanisia vaatimuksia. Vertailun kohteena olivat myös vapaan ilmapälin ja eristeen pintamatkan pituus kojeistossa. Lopuksi käsiteltiin kojeiston pienjännitepuolen ohjaus- ja mittauslaitteilta vaadittuja tarkastuksia ja vaatimuksia sekä testejä vertailemalla standardeja ja laivaluokituslaitoksia keskenään. Seuraavassa kappaleessa

leessa 4.6 käsitellään niitä VEKE 24 -kojeistolle tehtäviä rakenteellisia muutoksia, jotka kojeistolle pitää tehdä tässä kappaleessa aiemmin kerrottujen vaatimusten pohjalta.

4.6 Tarvittavat rakenteelliset muutokset ja testit

Tässä kappaleessa kerrotaan, mitä rakenteellisia muutoksia VEKE 24 -kojeistolta vaaditaan, jotta se olisi merivaatimusten mukainen ja saisi meriluokituksen. Lähes kaikki muutokset koskevat mekaanisia rakenteita. Joillakin muutoksilla pyritään parantamaan laitteen käyttöturvallisuutta sekä sähköisiä- että maadoitusominaisuuksia. Ne lisävaatimukset, jotka VEKE 24 -kojeisto jo täyttää ei enää tässä yhteydessä mainita. Nyt käsitellään vain muutoksia vaativat kohteet ja ehdotetaan niille korjaustoimenpiteitä.

Käyttöturvallisuutta parantavat muutokset

Kojeiston IP- suojausluokka pitää parantaa nykyisestä IP 30:stä IP 32:een, joka on minimivaatimus (IEC 60092–503: 17; ABS 2010a: 706). Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi asentamalla kennon päälle erillinen kattolevy etu-ulokkeineen, johon voidaan samalla sijoittaa ohjaus- ja mittauslaitteiden valaisemiseen tarvittavat valot. Etukatoksen pitää ulottua vähintään 59 cm päähän kojeiston etupinnasta tai vaihtoehtoisesti oviin voidaan asentaa tiivistet. Jos kojeisto ei sijaitse lukitussa sähkötilassa tai muussa suojatussa paikka, niin suojauksen on silloin oltava vähintään IP 4X (IEC 60092–101: 37; ABS 2010a: 706).

Koska laiva kallistelee aallokossa, niin kennojen oviin tai väliin tulee sijoittaa tukikahvat, joista voidaan ottaa kiinni, kun kojeiston luona työskennellään. Jos kojeiston tai kytkintaulun taakse on päästävää, niin myös sinne on asennettava eristetty tukikahva. Saranoidut ovet on myös voitava lukita pysymään auki. (DNV 2007: 43; LR 2009: 6.2.7.10; ABS 2010a: 661.) Lisäksi kosteuden muodostumisen ehkäisemiseksi kojeistoon on asennettava lämmittimet, jotka pitävät kosteuden poissa, vaikka kojeisto olisi poissa käytöstä merkittäviä aikoja (IEC 60092–504: 16).

Mekaaniset muutokset

Katkaisija- ja kaapelitilan ovet, jotka voidaan joutua aukaisemaan korkeajännitteisten osien käyttöä tai tarkastusta varten, on turvalukittava niin, että niitä ei voida aukaista ennen kuin oven takana olevat jännitteelliset osat on eristetty ja tehty turvallisiksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaapelin maadoituskytkimen on oltava kiinni, ennen kuin kaapeli- ja katkaisijatilan oven aukaiseminen on mahdollista. Kuitenkin katkaisija osaston ovi saa olla mahdollista aukaista ilman sisäistä turvalukitusta katkaisijan tarkastamiseksi tai hätäkytkemiseksi, jos korkeajännitteisten osien käsin koskettaminen ei ole mahdollista. (DNV 2007: 46.)

Pääkojeen esimerkiksi katkaisijan vaunulle riittää, että se on alareunasta kiinnitetty. Laitteen tulee olla riittävästi tuettu, mikä on valmistajan harkinnassa. Lisäksi vaunu pitää pystyä lukitsemaan paikoilleen. Katkaisija voi olla tyhjiö- tai SF₆- katkaisija. (Lloyd's Register Emea 2010). Tällä hetkellä VEKE 24 -kojeistossa käytetään tyhjiökatkaisijaa.

Kojeistolle aiheutuvia värinöitä voitaisiin vähentää asentamalla kumilaattoja kojeiston alle. Käytännössä pitäisi kuitenkin tietää laivan rakenteissa esiintyvät taajuudet sekä sen monikerrat, jotta tietäisi mitä taajuuksia vaimentaa. Lisäksi pitäisi tietää vaimennin kumilaattojen ominaisuudet. Pahimmillaan kumilaatat voivat pahentaa värinöitä ja lisätä resonointia, joten ne jätetään pois. (Lloyd's Register Emea 2010.)

Sähköiset muutokset

Järjestelmän maksimijännite saa olla enintään 15 kV (ABS 2010a: 703; DNV 2007: 14; LR 2009: 6.2.5.1.3). Järjestelmä kuitenkin koestetaan 17,5 kV:n mukaan, koska nimellisjännitteeltään 15 kV järjestelmän korkein jännite saa olla 17,5 kV (DNV 2007: 41). Alumiini- tai kuparipinnoitetut alumiinikiskot on suojattava korroosiolta sähkötilan ilmastoinnilla, tiiviisti pinnoittamalla tai alumiinin on oltava meri-ilmastoa kestävä eli niin kutsuttua merialumiinia. Kuparikiskoja ei tarvitse suojata korroosiolta. (DNV 2007: 44). Pinnoittamattoman kiskon lämpenemä ei saa nousta 45 °C:ta enempää nimellisvirralla, mutta oksidoitumisen estämiseksi hopealla, nikkelillä tai tinalla pinnoitetun kiskon

lämpenemä saa nousta 60 °C:seen (LR 2009: 6.2.7.2.2). Jos kiskostossa on käytetty sekä kuparia että alumiinia, on kahden eri metallin liitospinnat suojattava oksidoitumiselta, jotta epäjalomman metallin pinta ei ylikuumentu (LR 2009: 6.2.7.2.1).

Maadoitusten muutokset

Maadoitusjohdin on yleensä kuparia ja sen poikkipinta-alan on oltava vähintään 35 mm². Virtatiheys ei saa ylittää 150 A/mm² kuparisessa maadoitusjohtimessa vikavirraltaan suurimman maasulun sattuessa. (IEC 60092–503:11.) DNV laivaluokituslaitokselle (2007: 40) riittäisi 30 mm² maadoituskaapeli, mutta lisäksi kojeiston maadoitus laivan runkoon on tehtävä kahdesta kohtaa. Myös IEC 62271–200 standardissa (2003: 39) vaatimuksena on vähintään 30 mm² kuparikaapeli ja yhden sekunnin oikosulussa virtatiheys ei saa olla 200 A/mm² enempää. Näiden perusteella maadoitus tulisi tehdä vähintään 35 mm² kuparikaapelilla kahdesta kohtaa laivan teräsrunkoon. Lisäksi oikosulkutehoa mitoitettaessa on selvitettävä maadoituksen riittävyys, jotta kaapelin suurin sallittu virtatiheys ei ylitä vian sattuessa. VEKE 24 -kojeisto on kuitenkin aina maadoitettu 50 mm² kuparikaapelilla kojeiston molemmista päistä, joten tältä osin vaatimukset täyttyvät hyvin.

Näiden muutosvaatimusten lisäksi kojeisto on rakennettava taulukon 10, johon on koostettu taulukot 2 (s. 40) ja 3 (s. 41), vaatimukset täyttäväksi minimi-ilmavälin ja pintamatkan suhteen. Ainakin tukieristimien käytön suhteen joudutaan tekemään muutoksia, niin kuin aiemmin jo kerrottiin. Jännitteillä 3,3 ja 6,6 kV voidaan käyttää 12 kV:lle tarkoitettuja tukieristimiä A ja B, mutta 11 ja 15 kV:lla joudutaan käyttämään 24 kV:lle tarkoitettua tukieristintä. Tukieristimiä voidaan kuitenkin käyttää entiseen tapaan, jos testeissä voidaan osoittaa, että ne ovat riittävät.

Taulukko 10. Minimi-ilmaväli ja -pintamatka nimellisjännitteen suhteen.

Kojeiston ilmaväli- ja pintamatkavaatimukset		
Nimellisjännite U_n [V]	Ilmaväli [mm]	Pintamatka [mm]
< 3300	55	64
< 6600	90	128
< 11000	120	192
≤ 15000	160	240

Kaikkien näiden muutosten jälkeen kojeisto tarkastetaan ja testataan. Jos kojeisto ei läpäise tarkastusta tai testejä, niin silloin joudutaan tekemään lisää muutoksia tarvittaviin kohteisiin. Niin kuin kappaleessa 4.4 todettiin, DNV:n, LR:n ja ABS:n korkeaajännitelaitteistoa koskeissa ohjeissa sanotaan, että tyyppitesti on tehtävä sisäisen valokaarioikosulun osalta standardin IEC 62271–200 mukaan. (DNV 2007: 45; LR 2009: 6.2.7.18.5; ABS 2010a: 708.) VEKE 24 -keskijännitekojeisto täyttää jo standardin IEC 62271–200 vaatimukset, joten luokituslaitosten ohjeet eivät aseta tältä osin kojeiston rakenteelle pakollisia lisättestausvaatimuksia. VEKE 24 -kojeistolle tehtyjä IEC 62271–200 mukaisia testejä ovat: oikosulkuvirran kestoisuustesti, maadoituskytkimen oikosulkukoe ja kaikkien laitteiden nimellisvirran ja oikosulkuvirran kestoisuuden testaus.

Aiemmin myös todettiin, että valokaarioikosulkutestin lisäksi on myös joukko muita testejä, jotka tulee tehdä laivalla vallitsevista olosuhteista johtuen. Sen vuoksi kojeiston testauksen osalta tulisi toimia seuraavasti. Niin korkeaajännite- kuin pienjännitetestienkin osalta kojeisto tarkastetaan yhdessä esimerkiksi luokituslaitoksen tarkastajan kanssa silmämääräisesti ja tutkitaan IP- luokituksen riittävyys. Toiminnallisuuksien testauksen suorittaa valmistaja. Lisäksi tulee tehdä lämpenemis- ja tärinätesti, staattinen ja dynaaminen kallistustesti, vaihtojännitteen kestoisuustesti sekä eristysresistanssimittaukset. Kaikki muut testit voidaan suorittaa yhtä aikaa molemmille jännitetasoille paitsi vaihtojännitteen kestoisuustesti ja eristysresistanssinmittaus, joissa on omat vaatimuksensa korkea- ja pienjännitelaitteistolle.

Taulukossa 11 on mainittu VEKE 24:n läpäisemät testit. Nämä testit ovat vaatimuksena myös merikojeistolle. Taulukossa 12 on yhteenveto VEKE 24 -kojeistolle tehtävistä li-

sätesteistä ja niiden vaatimuksista merihyväksynnän saamiseksi. Kojeistolle on erikseen määritelty tyyppikokeet, jotka kojeistolle tarvitsee tehdä vain kerran. Tyyppikoe on tehtävä sellaiselle kennolle, jonka voidaan katsoa edustavan kaikkia eri kennotyyppejä, koska testiä ei voida vaatia kaikilta eri kokoonpanovaihtoehdoilta. Valmistajan on myös voitava todistaa, että mikä tahansa kokoonpano on verrattavissa testauskokoonpanoon. Testin tekemiseksi kaksi tai kolme kennoa on kiinnitettävä yhteen. Kappalekokeet pitää tehdä jokaiselle valmistettavalle kennolle tai kojeistolle, jotta tuotteen laadun säilyminen voidaan taata. (IEC 62271–200: 59, 85.)

Taulukko 11. VEKE 24 -kojeistolle jo tehdyt testit, jotka vaaditaan myös merikojeistolta.

Kojeistolle tehdyt testit			
Testi	Vaatimukset	Tyyppikoe	Kappalekoe
Valokaarikoe	IEC 62271 - 200	X	
Korkeajännitepuolen vaihtojännitekoe	Katso taulukko 7, IEC 60060–1	X	X
Syöksyjännitekoe 1,2/50 µs	Katso taulukko 7, IEC 60060–1	X	
Dynaaminen oikosulkukoe	IEC 62271 -1	X	
Terminen oikosulkukoe	IEC 62271-1	X	
KytKentä- ja katkaisukoe	Kaikkien kytkin- ja katkaisulaitteiden on kestävä nimellis-virta, katkaistava oikosulkuvirta ja kyettävä katkaisemaan ja kyttämään sekä kapasitiivista että induktiivista kuormaa (IEC 60265–1, IEC 62271–100).	X	

Taulukko 12. VEKE 24 -kojeiston on täytettävä seuraavat testit vaatimuksineen merihyväksynnän saamiseksi. Tyypikokeet tarvitsee suorittaa vain kerran, mutta kappalekokeet jokaiselle valmistettavalle tuotteelle. (IEC 62271-200: 59-91; DNV 2007: 47, 72; LR 2009: 6.2.7.18, 6.2.20; ABS 2010a: 663-664, 708.)

Kojeistolle tehtävät testit			
Testi	Vaatimukset	Tyypikoe	Kappalekoe
Kytcentöjen tarkastus	Tarkastetaan silmämääräisesti	X	X
Kotelointiluokan tarkastus	IP 32	X	
Mekaaninen toiminta	Kaikkien mekaanisten toimintojen on toimittava tyydyttävästi.	X	X
Lämpenemätesti	Kojeisto on suunniteltava kestäämään 45 °C:n ympäristölämpötila. Maksimi kiskon lämpenemä pinnoittamattomalla pulttiliitoksella on 45 °C:ta ja hopea- tai nikkelipinnoitetulla pulttiliitoksella 70 °C:ta sekä tinapinnoitetulla pulttiliitoksella 60 °C:ta. Vastaavat arvot kiskon kontaktiliitoksille ovat 30, 60 ja 45 °C:ta.	X	
Tärinätesti	Taajuudella 2^{+3}_{-0} –13,2 Hz amplitudilla $\pm 1,5$ mm. Taajuudella 13,2–100 Hz kiihtyvyydellä ± 1 g.	X	
Staattinen kallistus-testi	Kallistus neljään erisuuntaan 22,50 astetta.	X	
Dynaaminen kallistustesti	Kallistus neljään erisuuntaan 22,50 astetta, joissa lisäksi pyöritetään 0,1 Hz taajuudella pituusakselinsa ympäri.	X	
Korkeajännitepuolen eristysresistanssi	Katso taulukko 7	X	X
Pienjännitepuolen eristysresistanssi	Katso taulukko 8	X	X
Pienjännitepuolen vaihtojännitekoe	Katso taulukko 9	X	X

4.7 Muutosten vaikutus kojeiston käytettävyyteen ja asentamiseen

Tässä kappaleessa aiemmin mainitut kojeistolle tehtävät muutokset eivät vaikuta kojeiston asentamiseen, mikä on hyvä asia. Sen sijaan muutokset parantavat kojeiston käytettävyyttä.

Mittaus- ja ohjauslaitteiden käyttäminen on valaistuksen ansiosta helpompaa. Samoin huoltotyöt ovat valaistuksen myötä turvallisempia tehdä. Huoltamista helpottaa myös se, että ovi pysyy auki lukittuna, eikä heilu edestakaisin laivan liikkuessa. Oviin kiinnitetystä tukikahvasta kojeiston huoltaja saa myös tukea laivan keinuessa. Ovien turvalukitus myös parantaa laitteen käyttöturvallisuutta, koska jännitteellisten osien koskettaminen vahingossa ei ole mahdollista.

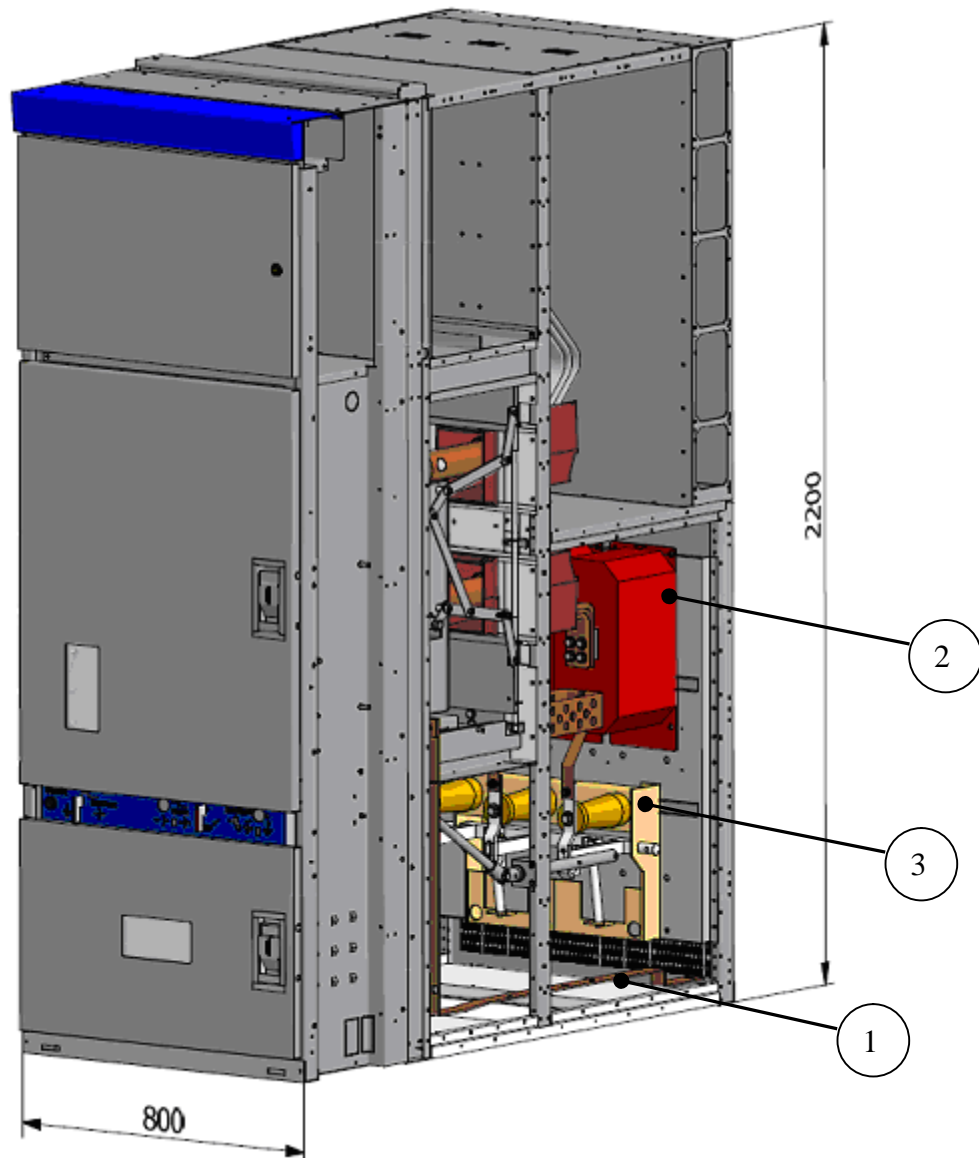
5 MERIVAATIMUKSET TÄYTTÄVÄN PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN JA TESTAUS

Edellisessä kappaleessa kerrottiin vaatimuksista ja testeistä, jotka VEKE 24 -kojeistolta vaaditaan. Tässä kappaleessa kerrotaan kuinka vaatimukset toteutetaan käytännössä ja miten testit suoritetaan. Tarkoituksena on rakentaa prototyyppi mahdollisimman valmiiksi ja testata se niiltä osin kuin voidaan.

5.1 Muutosten toteuttaminen käytännössä

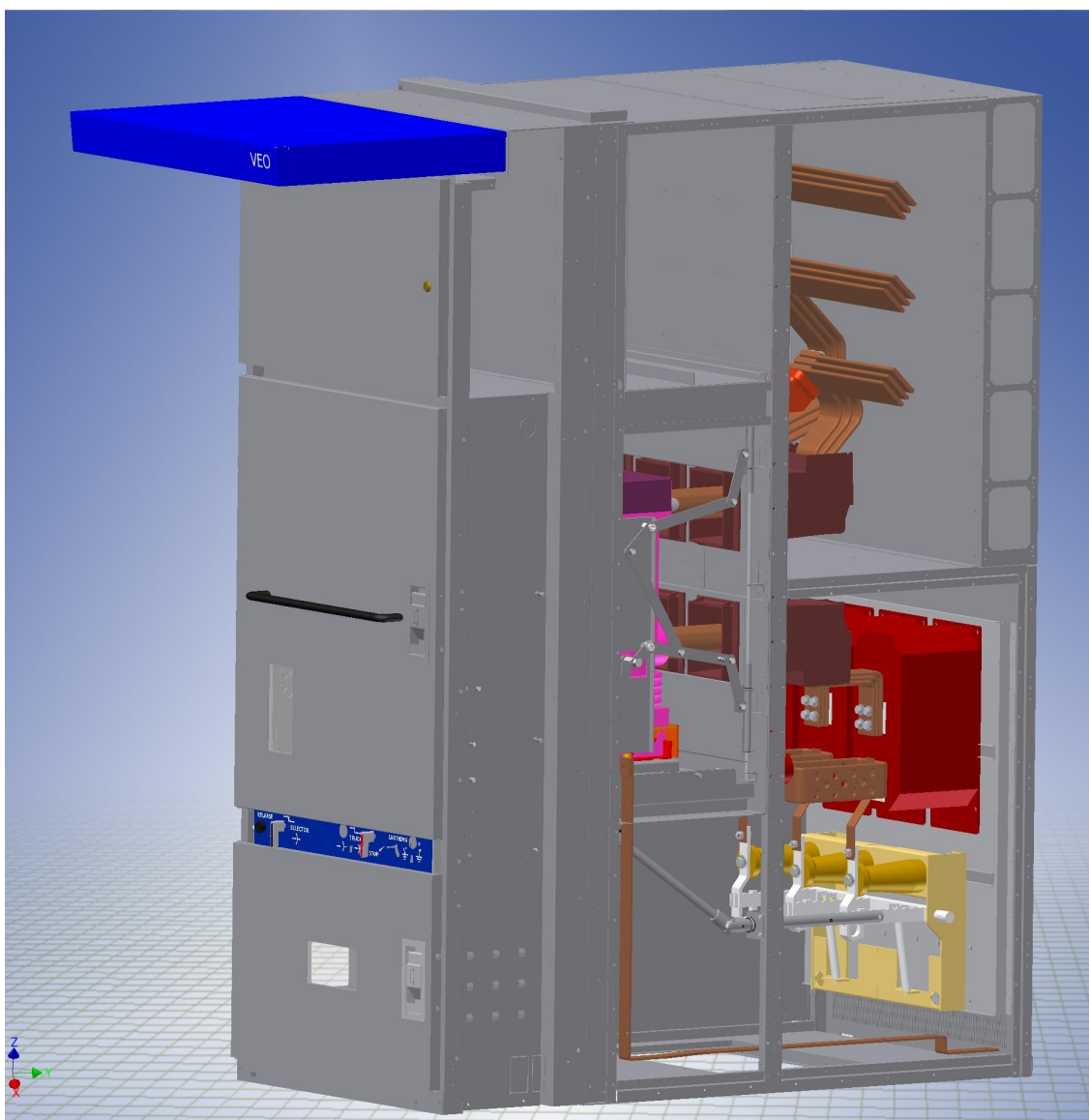
Yksittäisen kennon rakentaminen merikelpoiseksi alkaa tavallisesta kennosta, josta on esimerkki kuvassa 13. Jos yksittäinen kenno täyttää merivaatimukset, niin silloin koko kojeisto täyttää merivaatimukset. Esimerkiksi sähköasemilla käytettyyn katkaisijakennoon lisätään kattolevy, jossa on lippa valojen kiinnittämistä varten. IP 32 vaatimuksen mukaan kennon tulee olla suojattu vierailta esineiltä, joiden halkaisija on suurempi kuin 2,5 mm:ä ja 15 asteen kulmassa pystysuorasta tippuvalta vedeltä. Pölysuojaus on VEKE 24 -kaapin osalta ennestään kunnossa, mutta vedeltä suojausta on parannettava. Kattolevyn lisäksi oviin on joko laitettava tiivisteet tai jos vedeltä suojaus halutaan hoitaa valoilman avulla, niin sen pitäisi ulottua noin 59 cm päähän kojeiston etupinnasta. Koska kennon takaseinän alaosaakin on tuuletusreikiä, niin myös niiden suojaksi on asennettava pieni lippa 15 asteen kulmassa tippuvaa vettä vastaan.

Kojeiston värinän kestävyuden parantamiseksi koneruuvien alle laitetaan lukitusprikat ja kuvassa 13 näkyvän maadoituskiskon (1) kiinnitystä muutettiin niin, että sekä rungon maadoitus että kiskon kiinnityksen pysyminen ovat luotettavia. Myös kennon takaseinän, johon virtamuuntajat (2) ovat kiinnitetty, todettiin olevan rakenteeltaan sellainen, että se ei tue virtamuuntajia riittävän hyvin kennon tärinässä. Virtamuuntajien rikkoutumisen estämiseksi kennon takaseinää vahvistetaan virtamuuntajien kohdalta. Virtamuuntajan alapuolella on maadoituskytkin (3), jonka asennosta riippuvaiseksi ovien turvalukituslaitteisto on rakennettava.



Kuva 13. VEKE 24 – keskijännitekennon rakennekuva, jossa näkyy kojeiston mitat ja rakenne lähtötilanteessa sekä pääkomponentit

Kuvassa 14 on kenno muutosten jälkeen. Kuvasta näkyy kattolevy valolippoineen ja oveen kiinnitettävä tukikahva. Kennon alaosassa on paikka kosteuden poistoon tarkoitetulle lämmittimelle. Kojeiston ulkoiset muutokset ovat vähäisiä, mutta kuitenkin merkittäviä. Kuvassa ei näy oviin mahdollisesti asennettavaa tiivistettä, eikä maadoituskytkimen asennosta riippuvaista ovien mekaanista turvalukituslaitteistoa. Turvalukituslaitteistoa ei ehditty rakentamaan tämän diplomityön aikarajoissa.



Kuva 14. VEKE 24 – keskijännitekennon rakennekuva muutosten jälkeen, missä näkyy valolippa ja tukikahva asennettuna sekä pääkomponentit.

Kuvassa 15 on kennon oven auki asentoon lukitseva salpa. Salvassa on kaksi asentoa, joista toisella ovi aukeaa 90 asteen kulmaan ja toisella vielä suurempaan kulmaan. Kahdesta avauskulmasta on hyötyä silloin, kun halutaan vain tarkastella yhtä aikaa useita

vierekkäisiä kennoja ovet aukaisemalla. Toisaalta huoltotöitä varten ovi saadaan aukeamaan enemmän työskentelyn helpottamiseksi.



Kuva 15. Kennon oven auki asentoon lukitseva salpa.

5.2 Kojeistolta vaadittavat uudet testit ja testausohjelmat

Taulukossa 11 (s. 60) on esitetty ne testit, jotka VEKE 24 -kojeisto on läpäissyt. Samassa taulukossa on myös mainittu minkä standardien mukaan testit on tehty. KytKentä- ja katkaisukokeen osalta laitteiden vaatimusten toteutumisesta vastaavat niiden valmistajat, jotka toimittavat kyseisiä komponentteja VEO:lle. Tavoitteena on tehdä kojeistolle taulukossa 12 (s. 61) esitetyt IEC standardien ja luokituslaitosten vaatimat testit, jotta kojeistoa voidaan käyttää merikäytöissä. Taulukon 12 testeistä kytkentöjen, kotelointi- luokan ja mekaanisen toiminnan tarkastukset kojeiston valmistaja tekee yhdessä luokituslaitoksen tarkastajan kanssa. Tarkastaja toteaa standardien ja luokituslaitosten ohjeiden vaatimusten toteutumisen kojeistossa.

Varsinaiset mittauksia vaativat testit ovat seuraavanlaiset. Lämpenemätestissä kojeiston kokooja- ja haarakiskon sekä katkaisijan kautta johdetaan virtaa katkaisijan nimellisvirran verran. Testi katsotaan läpäistyksi, jos lämpötila ei ole noussut missään mittauspisteessä yhtä Kelvin astetta enempää yhden tunnin aikana ja lisäksi lämpenemä ei ylitä sallittua 45 C astetta pinnoittamattomilla kiskoilla. (DNV 2007: 44; IEC 62271-1 2007:

68–70.) Lämpenemätesti tehtiin 17,5 kV:n nimellijännitteelle suunnitellulle kennolla. Testivirta oli 2000 ampeeria.

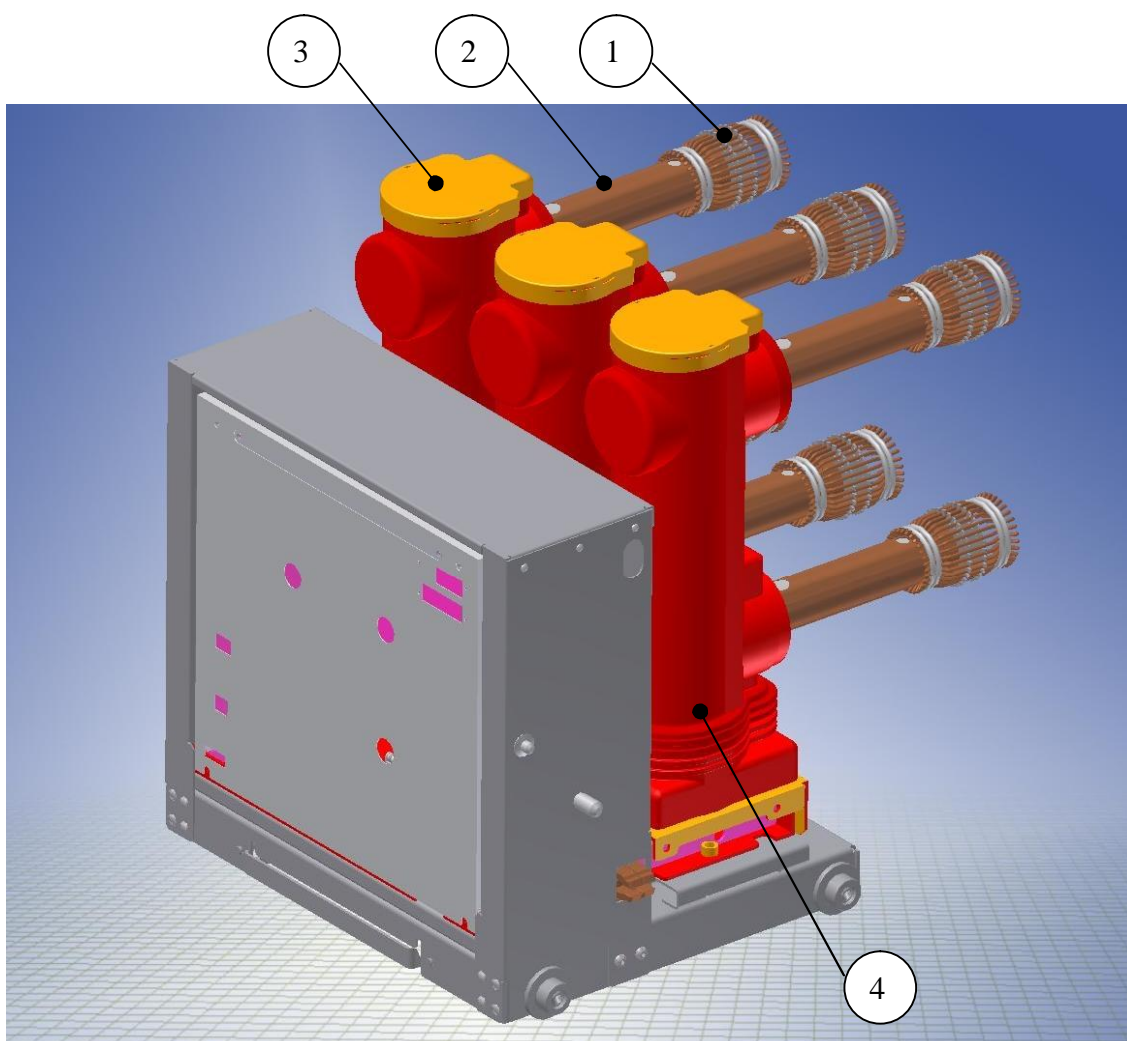
Kenno läpäisi IEC 62271–200 ja IEC 62271–1 standardien vaatimukset. Tässä työssä käytetyistä laivastandardeista ei löydy mainintaa pinnoitettujen kiskojen sallituista lämpenemistä. Kiskot olivat hopeapinnoitettua kuparia, jolloin IEC 62271–1: 38 mukaan sallittu lämpenemä 40 °C:n ympäristölämpötilassa on 75 °C:ta pulttiliitoksilla ja 65 °C:ta kontaktiliitoksilla. LR (2009: 6.2.7.2) ohjeen mukaan 45 °C:n ympäristölämpötilassa lämpenemä saa olla 60 °C:ta kontaktiliitoksilla. Tässä suhteessa IEC 62271–1 ja LR:n ohjeet ovat yhtenevät, koska molemmissa on sama maksimilämpötila 105 °C:ta. Ympäristölämpötilan kasvaessa 5 °C:ta sallittu lämpenemä pienenee 5 °C:ta. Tämän päätelmän mukaan saisi laivaluokituslaitosten sallima lämpenemä olla hopeapinnoituille pulttiliitoksille 70 °C:ta ja kontaktiliitoksille 60 °C:ta. Lisäksi LR (2009: 6.2.7.1), ABS (2010a: 708) ja DNV:n (2007: 43) ohjeissa sanotaan, että ne noudattavat IEC 62271–200 standardia soveltuvilta osin. IEC 62271–200 standardissa sanotaan, että sallittujen lämpenemien osalta noudatetaan IEC 62271–1 standardia. Koska ABS:n, DNV:n ja LR:n ohjeissa ei lämpenemävaatimusten osalta muuta mainita, niin silloin ne noudattavat lämpenemien osalta IEC 62271–1 standardia edellä mainituin sovelluksin.

Testissä katkaisijatolpan ala- ja yläosa lämpenivät eniten, mutta se on katkaisijan ominaisuus eikä siihen voida omilla toimilla vaikuttaa. Seuraavaksi eniten kuumenivat virta-aisat ja sormikoskettimet, mistä johtuen myös virta-aisojen vastakoskettimet ja niiden kiskoliitokset lämpenivät lämmön siirtymisestä johtuen enemmän kuin pelkän virran vaikutuksesta. Ne ovatkin seuraavaksi kuumimmat paikat kojeistossa. Esimerkiksi vaiheen L2 alemman virta-aisan sormikoskettimen lämpenemä jäi alle IEC 62271–1 standardissa kontaktiliitokselle sallitun 65 °C:n. Koska kontaktiliitos ei aiemmin päätelmän mukaan saa merikojeistossa lämmitä 60 °C:ta enempää, niin sillä perusteella kojeisto ei läpäissyt ensimmäisessä lämpenemätestissä ABS:n, DNV:n ja LR:n vaatimuksia. Lisäksi vaiheen L2 alemman virta-aisan ja katkaisijatolpan alaosan lämpenemät ylittivät merikojeiston hopeoidulle kuparikiskolle sallitun 70 °C:n lämpenemän. Tämän lämpenemätestin tuloksen perusteella tiedetään, että näiden kohtien lämpenemää pitää alen-

taa merihyväksynnän saamiseksi. Katkaisijatolpan lämpenemää ei voida muuten alentaa kuin käyttämällä suuremmille virta-arvoille tarkoitettua katkaisijaa, koska testissä ollut katkaisija on mitoitettu 2000 A:n virralle.

Kojeiston nykyistä käyttöä ajatellenkin lämpenemän varmuusmarginaalia haluttiin kasvattaa IEC 62271-1 standardin asettamiin lämpenemän raja-arvoihin nähden, minkä vuoksi kuvassa 16 näkyvien sormikoskettimien (1) ja virta-aisojen (2) rakennetta muutettiin. Kuvassa näkyvät myös katkaisijatolpan ylä (3)- ja alapää (4). Virta-aisa on hopeapinnoitettua kuparia ja putkimainen. Aisa kiinnitetään katkaisijaan kuusiokulmapultilla, jolloin aisan sisään on pultin kiinnittämiseksi sovittava myös hylsy. Kun kuusiokulmapultti korvataan kuusiokolopultilla, niin virta-aisan sisähalkaisija voidaan pienentää nykyisestä 36 mm:stä jopa 24 mm:iin. Aisan ulkohalkaisija pidetään samana, jolloin sen seinämän paksuus kasvaa ja lämpenemä alenee virtatiheyden alentuessa. Sormikoskettimien rakennetta muutettiin niin, että niiden kosketuspinta-ala kasvoi. Myös niiden lämpenemä alenee kosketuspinnan virtatiheyden alentuessa. VEO (2010e).

Tärinätestin sekä staattisen ja dynaamisen kallistustestin vaatimukset on esitetty taulukossa 12 (s. 61). Näitä testejä ei kuitenkaan ehditty tekemään tämän diplomityön aikarajoissa. Myöskään pienjännitepuolen vaihtojännitekoetta ja eristysresistanssimittausta ei ehditty tekemään. Eristysresistanssi pitää mitata myös korkeajännitepuolelta. Myös näiden testien vaatimukset ja ohjeet niiden suorittamiseksi löytyvät taulukosta 12.



Kuva 16. Katkaisija virta-aisoineen ja sormikoskettimiseen.

5.3 Muiden valmistajien vastaavan tuotteen ominaisuudet

Yleisesti tunnettuja valmistajia, jotka rakentavat merikäyttöihin soveltuvia keskijännitekojeistoja ovat ABB, Siemens, Schneider, Hyundai ja JRCS. Näiltä valmistajilla on ainakin seuraavia merikojeistoja tarjolla. ABB:llä on UniGear, Siemens:llä NXCPlus C, Schneider:llä MCset, Hyundai:lla HMS ja JRCS:llä JSB-2. Jokaisella valmistajalla on tarjota erilaisia muunnelmia näistä merikojeistoista. Kojeistoja on saatavilla useilla nimellisjännitteillä ja -virroilla, joiden mukaan muuttuvat myös esimerkiksi termisen ja dynaamisen oikosulkuvirran kestoisuudet.

Kaikkien mainittujen valmistajien merikojeistojen suunnittelussa on noudatettu samoja IEC standardeja kuin VEKE 24 -merikojeiston suunnittelussakin. Kojestojen onkin täytettävä näiden standardien vaatimukset ollakseen merikäyttöihin hyväksytyjä. Sen sijaan laivaluokituslaitosten hyväksynnöissä on eroavaisuuksia valmistajien merikojeistojen välillä. Eroavaisuudet johtuvat siitä, minkä laivaluokituslaitoksien hyväksynät merikojeisto on saanut.

Merikojeistoissa on valmistajien välillä niin rakenteellisia, mekaanisia kuin sähköisiäkin eroavaisuuksia. Osa eroavaisuuksista johtuu siitä, minkä laivaluokituslaitoksien ohjeet on IEC standardien lisäksi otettu kojeiston suunnittelussa huomioon. Sähköisissä ominaisuuksissa ei ole olennaisia eroavaisuuksia. Samoin rakenteellisten kuin mekaanisten ominaisuuksien vertaaminen ei ole tarkoituksenmukaista, koska standardit antavat valmistajalle vapauden vaatimusten toteuttamistavalle. Merikojeiston ostajan kannalta kojeiston valinta vaihtoehtoisten valmistajien väliltä on riippuvainen subjektiivisista mieltymyksistä ja ominaisuuksien painotusarvosta sekä hinnasta.

6 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Diplomityön aikana kävi ilmi, että VEKE 24 -kojeiston meriversiolle on selvää tarvetta ja kysyntää markkinoilla. Se sopii myös erinomaisesti VEO:n nykyiseen tuotevalikoimaan täydentäen sitä. VEO voikin tulevaisuudessa tarjota sekä pien- että keskijännitepuolen merikojeistoratkaisuja. Aiempaa laajemman tuotevalikoiman avulla voidaan tarjota markkinoille myös suurempien laivojen ja offshore-lauttojen sähköjärjestelmiä.

Kojeisto onkin yksi laivojen sähköjärjestelmän pääkomponenteista, mikä mahdollistaa siirtymisen komponenttitoimittajasta järjestelmätoimittajaksi. Järjestelmätoimittajana olemisen kuitenkin edellyttää VEO:lta vahvaa yhteistyötä muiden osatoimittajien kanssa, joiden tuotteita tarvitaan laivan sähköjärjestelmässä. Vaihtoehtoisesti merikeskijännitekojeistoa voidaan tarjota osaksi toisten järjestelmätoimittajien tuotevalikoimaa.

Merikeskijännitekojeistot ovat kuitenkin kilpailtu tuote. VEO:n tunnetuimpia kilpailijoita ovat ABB, Schneider, Siemens, JRCS ja Hyundai. Erityisesti Aasian markkina-alue, jossa JRCS ja Hyundai jo toimivat, on kilpailtua. VEO:n tavoitteena onkin sen vuoksi keskittyä Euroopan ja Venäjän lähialueiden markkina-alueille, joissa on havaittu olevan kysyntää.

6.1 Meriluokituksen ehdot

VEKE 24 -kojeisto on nykyisessä muodossaan vahvarakenteinen ja täyttää jo sellaiseen osan IEC laivastandardien ja -luokituslaitosten vaatimuksista. Olennaisimmat vaatimukset, jotka kojeistolta vaaditaan meriluokituksen saamiseksi ovat:

- toimintakykyisenä pysyminen ja virheellisten toimintojen välttäminen laivan tärkeissä ja kallistelevissa olosuhteissa
- maadoituskytkimen asennosta riippuvaisen mekaanisen turvalukituslaitteiston asentaminen, joka estää kojeiston ovien aukaisun järjestelmän ollessa jännitteellinen

- lämpenemän pysyminen sallituissa rajoissa
- pienjännitepuolen vaihtojännitekokeen sekä pien- ja korkeajännitepuolen eristysresistanssikokeiden läpäiseminen
- IP- luokituksen nosto IP 30:stä IP 32:een
- mittaus- ja ohjauslaitteiden valaiseminen
- tukikahvan ja tuulihaan asentaminen oveen.

VEKE 24 -kojeistosta onkin mahdollista saada merivaatimusten mukainen laite. Näiden vaatimusten toteuttamisella kojeisto noudattaa IEC laivastandardien ja ABS, DNV ja LR laivaluokituslaitosten sääntöjä. Kojesto saavuttaisi merihyväksynnän myös ainoastaan IEC laivastandardeja noudattamalla, jolloin esimerkiksi ilmaväli- ja pintamatkavaatimusten toteuttamiset helpottuisivat. Taulukosta 2 (s. 40) nähdään, että IEC 60092–503 standardin minimi-ilmavälivaatimukset ovat pienemmät kuin ABS:n ja DNV:n. LR luokituslaitoksen ohjearvot ovat samat kuin standardin IEC 60092–503. Sen sijaan LR:n ohjeet ovat IEC 60092–503 standardia vaativammat minimipintamatkojen suhteen, mikä on esitetty taulukossa 3 (s. 41). Taulukossa DNV:n ohjearvot ovat yhtenevät IEC standardin kanssa, kun taas ABS:n minimipintamatkavaatimukset ovat jopa IEC standardia pienemmät. Vastaavanlaisia eroavaisuuksia on sähköön, mekaniikkaan, maadoitukseen ja käyttöturvallisuuteen liittyvissä lisävaatimuksissa. Kojeston merikelpoisuus voitaisiin saavuttaa helpommalla ainoastaan IEC standardeja noudattamalla. Kaupallisista syistä johtuen on kannattavaa hankkia kojeistolle myös laivaluokituslaitosten hyväksynät.

Työn alkuperäisenä tavoitteena oli saada tietää, mitä muutoksia VEKE 24 -kojeistolle pitää tehdä meriluokituksen saamiseksi sekä valmistaa kojeistosta kaikkien merivaatimusten mukainen prototyyppi ja testata se. Käytännössä siihen ei kuitenkaan ollut diplomityön aikarajojen puitteissa mahdollisuuksia eikä resursseja. Kojestolle tehtävät muutokset ja testit ovat kuitenkin tiedossa, mikä oli diplomityön tärkein tavoite. Näiden tietojen perusteella kojeiston meriversion kehitystä voidaan jatkaa.

6.2 Jatkotutkimuskohteita

Keskijännitekojeistoa käytetään vielä suhteellisen vähän laivojen ja lauttojen sähköjärjestelmissä. Uusia toteuttamistapoja IEC standardien ja luokituslaitosten ohjeiden täyttämiseksi on vielä mahdollista löytää. Tutkimus- ja kehittämistyö olisi luonteeltaan erilaista, jos kojeiston suunnittelun voisi aloittaa alusta, eikä muuttamalla olemassa olevaa kojeistoa. Tässä työssä käytiin läpi kojeiston muutostarpeisiin liittyvät pääseikat, mutta ainakin tässä tapauksessa pienemmistä yksityiskohdista voisi vielä tehdä lisäselvitystä.

Koska IEC standardien ja luokituslaitosten säännöt eivät antaneet selviä ohjeita esimerkiksi pulttiliitosten rakenteesta, vaan se on jätetty valmistajan harkittavaksi, joudutaan tällöin turvautumaan kokemukseräiseen tietoon. Esimerkiksi kojeiston sisäisten kaapelointien, mittamuuntajien ja ruuvi- sekä pulttiliitosten kiinni pysymiseen tulisi kiinnittää lisää huomiota. Nämä asiat tulevat todennäköisesti ajankohtaiseksi kojeiston tärinä- ja kallistustestien aikana. Ainoa testi, joka kojeistolle ehdittiin tekemään, oli lämpenemätesti ja se läpäisi IEC 62271–200 standardin vaatimukset, mutta ei kuitenkaan laivaluokituslaitosten vaatimuksia. Se osoittaa, että laivaluokituslaitosten vaativampien ohjeiden vuoksi kojeistoon ehkä joudutaan tekemään rakenteellisia muutoksia tai kojeistossa käytettyjä komponentteja on vaihdettava.

Työn alussa tutkimukseen päätettiin ottaa mukaan laivaluokituslaitoksista vain ABS, DNV ja LR, koska ne ovat World Shipping Register yhtiön mukaan rekisterissä olevien alusten määrän perusteella suurimpien luokituslaitoksien joukossa. Lisäksi näitä luokituslaitoksia pidetään tunnetuimpina ja kojeiston suunnittelemisesta näiden luokituslaitosten ohjeiden mukaan voidaan saada hyötyä markkinoinnissa. Jatkoselvityksen voisi tehdä siitä, miten alusmäärältään suurempien tai kansainvälisesti tunnettujen laivaluokituslaitosten ohjeet eroavat nyt tutkittujen ABS:n, DNV:n ja LR:n ohjeista. Esimerkiksi BV, NK ja GL ohjeiden tutkiminen voisi olla hyödyllistä, koska ne ovat alusmäärältään DNV:tä suurempia. Lisäksi näiden luokituslaitosten taloudellisten vaikutusalueiden voidaan olettaa olevan laajempia, koska BV on ranskalainen, NK japanilainen ja GL saksalainen. Ne kaikki ovat suuria talousmaita. Myös venäläisen laivaluokituslaitoksen RS:n sääntöjen tutkiminen olisi kannattavaa, koska VEO:n yhtenä tavoitteena oli suuntautua Venäjän lähialueiden markkinoille.

Tämän tutkimuksen aikana kävi ilmi, että luokituslaitosten sääntöjen väliset erot ovat kohtuullisen pieniä. BV, GL, NK ja RS laivaluokituslaitosten sertifikaattien saamiseksi kojeistolle ei välttämättä tarvitse tehdä suuriakaan muutoksia nyt tutkimuksessa löydettyjen muutostarpeiden lisäksi. Kojeistolle nyt tehtävien muutosten lisäksi kohtuullisilla lisämuutoksilla voitaisiinkin täyttää useampien luokituslaitosten sääntöjen vaatimukset, millä voidaan saada merkittävää kilpailuetua.

7 YHTEENVETO

Vaasa Engineering Oy:llä on tuotannossa VEKE 24 -keskijännitekojeisto, joka on kehitetty sähkölaitosten ja teollisuuden sähkönjakelun tarpeisiin. Kysyntään ja oletettuihin markkinoihin perustuen kojeiston käyttömahdollisuuksia haluttiin laajentaa merisovelluksien suuntaan. Työn tarkoituksena olikin tutkia standardeja ja tunnetuimpien luokituslaitosten ohjeistuksia ja niiden perusteella muuttaa VEKE 24 -keskijännitekojeistoa niin, että se läpäisee luokituslaitosten sekä standardien asettamat vaatimukset testeineen ja soveltuu merikäyttöihin.

Työn onnistumisen kannalta oli ensin perehdyttävä kojeiston nykyisiin ominaisuuksiin, rakenteeseen ja toimintaan sekä käyttökohteisiin. Minkä standardien mukainen kojeisto on nyt ja mitkä ovat sen tekniset ominaisuudet? Sen jälkeen perehdyttiin laivastandardien ja laivaluokituslaitosten sääntöjen keskinäiseen suhteeseen ja merkitykseen kojeistolle asetettujen vaatimusten täyttämiseksi. Laivaluokituslaitoksia on olemassa useita kymmeniä ja niistä 11 muodostaa kansainvälisen luokituslaitosten kattojärjestön IACS:n. Kaikkien luokituslaitosten sääntöjen perustana toimii kuitenkin kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n SOLAS sopimus.

Seuraavaksi tulikin tutkia mitkä laivastandardien ohjeet VEKE 24 -kojeiston tulee täyttää ollakseen merikäyttöihin sovelias? Laivaluokituslaitoksista työhön otettiin mukaan ABS, DNV ja LR, koska ne katsottiin kojeiston meriversion myynnin ja markkinoinnin kannalta tärkeimmiksi. Sen jälkeen standardeja ja laivaluokituslaitosten ohjeita vertailemalla selvitettiin ne vaatimukset ja testit, jotka kojeiston tulee täyttää. Vaatimukset ryhmiteltiin tärkeimpiin ja yleisiin vaatimuksiin sekä korkeajännite- ja pienjännitepuolen teknisiin vaatimuksiin. Myös sitä pohdittiin onko näillä muutoksilla vaikutusta kojeiston asentamiseen ja käytettävyyteen.

Vaatimusten ja testien selvittyä alettiin suunnitella muutosten toteuttamista käytännössä. Meriversion prototyypin rakentaminen aloitettiin myös käytännössä, mutta rakentamista ei ehditty viedä kovin pitkälle diplomityön aikarajojen puitteissa. Sen vuoksi vaadituista testeistä ehdittiin tekemään vain lämpenemätesti. Työn tärkein tavoite kuitenkin saavu-

tettiin eli nyt tiedetään miten kojeistoa tulee muuttaa ja mitä testejä sille on tehtävä. Myös testien vaatimukset ja toteuttaminen on käsitelty tässä työssä.

Lopuksi verrattiin toisien kojeistovalmistajien vastaavien tuotteiden ominaisuuksia VEKE 24 -kojeiston tulevaan meriversioon. Havaittiin, että eroavaisuuksia on niin rakenteellisissa kuin sähköteknisissä ominaisuuksissakin, mutta ne eivät ole oleellisia kojeiston käytön kannalta. Kaikkien valmistajien täytyy valmistaa kojeisto määrättyjen laivastandardien ja -luokituslaitosten ohjeita noudattaen, jotta kojeisto saavuttaisi merikelpoisuuden. Erivalmistajien kojeistojen väliset eroavaisuudet johtuvat enemmänkin laivastandardien ja -luokituslaitosten vaatimusten toteuttamistavasta.

Työn keskeisin tulos oli se, mikä työn aikanakin kävi ilmi, että VEKE 24 -kojeistosta on mahdollista saada merivaatimusten mukainen laite toteuttamalla IEC laivastandardien ja laivaluokituslaitosten ohjeiden vaatimat muutokset. Kuitenkin meriluokitus voitaisiin saada helpommin ainoastaan IEC laivastandardien ohjeita noudattamalla. Toisaalta tekemällä kojeistoon vielä lisää muutoksia tässä tutkimuksessa löydettyjen muutostarpeiden lisäksi, voidaan saada vielä useampien laivaluokituslaitosten sertifikaatti.

LÄHDELUETTELO

- ABB (2003). *Maritime Electrical Installations And Diesel Electric Propulsion* [online] [siteerattu 3.8.2010]. Saatavana internetistä: <URL: [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c348ae87dd99ce5cc12574e30023fede/\\$File/Maritime%20E1%20Installations%20and%20DE%20Propulsion.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c348ae87dd99ce5cc12574e30023fede/$File/Maritime%20E1%20Installations%20and%20DE%20Propulsion.pdf)>.
- ABB (2005). *UniGear type ZS1 – Medium Voltage, arc-proof, air-insulated, metal-clad switchgear* [online] [siteerattu 15.4.2010]. Saatavana internetistä: <URL: [http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/765d37e2d0e87005c12570b9004f8c98/\\$file/ca_unigear\(en\)b_1vcp000138x.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/765d37e2d0e87005c12570b9004f8c98/$file/ca_unigear(en)b_1vcp000138x.pdf)>.
- ABB (2010a). *Products for marine applications – Performance and reliability in demanding conditions* [online] [siteerattu 8.3.2010]. Saatavana internetistä: <URL: [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/cd3493f09eea155cc125767a00430c93/\\$file/products%20for%20marine%20applications%20low_res_111109.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/cd3493f09eea155cc125767a00430c93/$file/products%20for%20marine%20applications%20low_res_111109.pdf)>.
- ABB (2010b). *Feeder Terminals REF 541/543/545* [online] [siteerattu 21.9.2010]. Saatavana internetistä: <URL: <http://www.abb.fi/product/db0003db004281/c12573e700330419c2256e6300300dd6.aspx?productLanguage=us&country=FI>>.
- ABB (2010c). *Generations. Generations Magazine* [online] Issue 1–2010 [siteerattu 7.10.2010]. Saatavana internetistä: <URL: [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/a81559a141c88f5cc1257781001cc6dc/\\$File/Generations%203.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/a81559a141c88f5cc1257781001cc6dc/$File/Generations%203.pdf)>.
- ABS (2010a). *Rules for building and classing steel vessel – Part 4, Chapter 8: Electrical Systems* [online]. American Bureau of Shipping, ABS Plaza, 16855 Northchase Drive, Houston, TX 77060 USA, [siteerattu 15.6.2010]. Saatavana internetistä: <URL: http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/2_SteelVesselRules_2010/Part4VesselSystemsMachinery>.

ABS (2010b). *Rules for building and classing steel vessel – Part 4, Chapter 9: Remote Propulsion Control and Automation* [online]. American Bureau of Shipping, ABS Plaza, 16855 Northchase Drive, Houston, TX 77060 USA, [siteerattu 15.6.2010]. Saatavana internetistä: <URL: http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/2_SteelVesselRules_2010/Part4VesselSystemsMachinery>.

Aro, Jarkko (2007). *Laivojen ja offshore-alusten sähköjärjestelmät, voimalaitostyyppit ja sähkötaulut – tekniikka- ja markkinatutkimus* [diplomityö]. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu: Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto.

DNV (2007). *Rules for classification of ships/high speed, light craft and naval surface craft –Part 4, Chapter 8: Electrical Installations* [electronic rulebook]. Det Norske Veritas AS, Norway, [siteerattu 10.4.2010].

GEORG JORDAN (2010). *INSULATORS FOR ELECTRICAL ENGINEERING* [online] [siteerattu 16.8.2010]. Saatavana internetistä: <URL: http://www.georg-jordan.de/fileadmin/user_upload/produkte_pdf/Mittelspannungsstuetzer.pdf>.

IACS (2009a). *CLASSIFICATION SOCIETIES – WHAT, WHY and HOW?* [Online] [siteerattu 13.9.2010]. Saatavana internetistä: <URL: http://www.iacs.org.uk/document/public/explained/WHAT_WHY_and_HOW_2009.pdf>.

IACS (2009b). *Concerning – ELECTRICAL INSTALLATIONS* [online] [siteerattu 15.6.2010]. Saatavana internetistä: <URL: http://www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Unified_requirements/PDF/UR_E_pdf150.PDF>.

IEC 60092–101 (2002). *Electrical installations in ships – Part 101: Definitions and general requirements*.

IEC 60092–503 (2007). *Electrical installations in ships – Part 503: Special features – AC supply systems with voltages in the range of above 1 kV up to and including 15 kV*.

IEC 60092–504 (2001). *Electrical installations in ships – Part 504: Special features – Control and instrumentation.*

IEC 60112 (2009). *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials.*

Lloyd's Register Emea (2002). *LLOYD'S REGISTER TYPE APPROVAL SYSTEM: Test Specification Number 1* [online]. Lloyd's Register, [siteerattu 12.6.2010]. Saatavana internetistä <URL: www.lr.org/uk>.

Lloyd's Register Emea (2010). Keskustelu Lloyd's Register Emea:n vanhemman sähköinsinöörin tarkastaja Kari Kohosen kanssa 25.5.2010.

LR (2009). *Rules and regulations for the classification of ships – Part 6: Control, electrical, refrigerator and fire* [online]. Lloyd's Register, [siteerattu 12.6.2010]. Saatavana internetistä: <URL: www.lr.org/uk>.

SFS-EN 50102 (1997). *Sähkölaitteiden koteloinnin mekaanisen iskunkestävyyden lujuusluokat (IK koodi).*

VAMK (2010). *Dielectric Type Test for the Medium Voltage Switchgear VEKE 24 (17,5 kV)* [TEST REPORT No. TA2009-111 15.03.2010]. VAASA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology Research Centre.

VAMP (2010). *VAMP 255 Feeder and motor manager* [online] [siteerattu 21.9.2010]. Saatavana internetistä: <URL: <http://www.vamp.fi/In%20English/Products/Protection%20relays/VAMP%20255%20Feeder%20and%20motor%20manager/Default.aspx>>.

VEO (2001). *VEKE 24 keskijännitekojeisto: Suunnitteluopas.* 58 s.

VEO (2009). *Keskijännitekojeisto VEKE 24: Käyttö- ja kunnossapito-ohje.* 22 s.

VEO (2010a). Keskustelu VEO:n suunnittelupäällikön Ralf Söderholmin kanssa 22.4.2010.

VEO (2010b). Keskustelu VEO:n myyntijohtaja Jouni Rintamäen kanssa 7.4.2010.

VEO (2010c). Keskustelu VEO:n myyntijohtaja Jouni Rintamäen kanssa 13.9.2010.

VEO (2010d). *First delivery of VEKE MV switchgears equipped with Hyundai circuit breakers* [online] [siteerattu 16.9.2010]. Saatavana internetistä <URL: http://www.veo.fi/WebRoot/1046268/3_Taso.aspx?id=1050015>.


VEO (2010e). Keskustelut VEO:n keskijänniteteuotepäällikkö Ahti Kuitusen kanssa 1.4.2010–20.10.2010.


World Shipping Register (2010). *World Shipping Register* [online] [siteerattu 21.6.2010]. Saatavana internetistä: <URL: <http://www.e-ships.net/>>.

LIITTEET

LIITE 1 Sertifikaattitodistus VEKE 24 -kojeiston standardin IEC 62271-200:
2003 mukaisuudesta.


LIITE 1



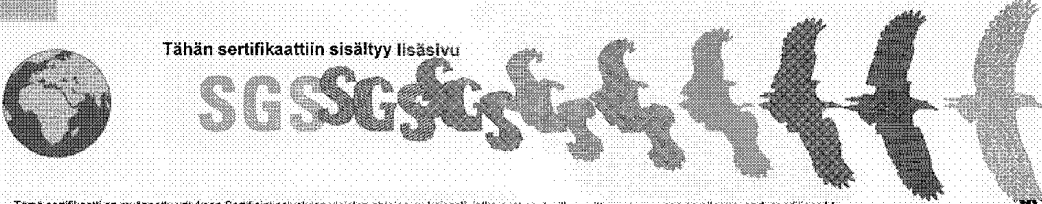


SERTIFIKAATTI FI 24835

Viitteemme 252680-1

Tuote	Keskijännitekojeisto
Tyyppi	VEKE 24
Sertifikaatin haltija	Vaasa Engineering Ltd Runsorinte 5 65380 VAASA, FINLAND
Tekniset tiedot	U _e 12 kV / 17,5 kV / 24 kV I _n 630 A...4000 A IAC BFLR 25 kA...40 kA 0,2 s...1 s
Muita tietoja	Metallikoteloitu kojeisto IP3X IK08 LSC2B
Tuote täyttää standardin/ standardit	IEC 62271-200:2003
Voimassaolo	Tämä sertifikaatti on voimassa 2014-02-19 asti, mikäli yllämainittuihin standardeihin ei ole julkaistu oleellisia muutoksia. Tällöin SGS Fimkolla on oikeus lyhentää sertifikaatin voimassaoloa Euroopan Unionin lainsäädäntöön perustuen. Tähän sertifikaattiin liittyy FI-merkin käyttöoikeus edellyttäen, että FI-sertifioinnin ehdot on täytetty ja mahdolliset muutokset tuotteeseen on tarkistettu SGS Fimkossa ennen tuotteen markkinoille saattamista.
Myöntämispäivämäärä	2009-02-19
Allekirjoitus	SGS Fimko Oy  Sixten Lötkfors Projektipaällikkö

Tähän sertifikaattiin sisältyy lisäsiivu



Tämä sertifikaatti on myönnetty yrityksen Sertifikaativalvon yleisten ehtojen mukaisesti, jotka ovat saatavilla osoitteessa www.sgs.com/terms_and_conditions.htm.
Sertifikaativalvon yleiset ehdot sekä tässä sertifikaatissa viitattu testausraportti, jossa esitettiin havainnot, tämä sertifikaatti perustuu, sisältäviä vastuunottoja ja ne ovat osa tätä sertifikaattia.
Tämän sertifikaatin sisällön tai ulkomuodon kuvaton muuttaminen, värentäminen tai vääristely on lairvastainen ja tekijä voidaan esittää syyttöseen lain enimmäisen tuhkinnan mukaisesti.

SGS Fimko Oy | Särkinlementie 3 PL 30 FI-00211 Helsinki, Finland
t. +359 9 690 361 f. +359 9 692 5474 www.fi.sgs.com
Business ID 0978538-5 | Member of the SGS Group (SGS SA)