

VAASAN YLIOPISTO

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

SÄHKÖTEKNIikka

Lauri Maukonen

**MOOTTORITEHTAAN KUORMITUSVASTUSTEN
UUDISTAMISVAIHTOEHTOJEN ARVIOINTI**

Diplomityö, joka on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten

Vaasassa 27.05.2015

Työn valvoja

Prof. Kimmo Kauhaniemi

Työn ohjaaja

DI Rami Hakala

Työn tarkastaja

Prof. Timo Vekara

ALKULAUSE

Diplomityö on tehty Wärtsilän Finland Oy:n Vaasan keskustan moottoritehtaan testaus- ja viimeistelyosastolle. Erityiskiitoksen haluan osoittaa Heikki Humalamäelle aiheen saamisesta ja asiantuntevasta opastuksesta työn tekemisessä. Kiitokset työni ohjaajalle DI Rami Hakalalle avusta ja neuvoista.

Työni valvojaa professori Kimmo Kauhaniemeä haluan kiittää asiantuntevista neuvoista. Lisäksi haluan kiittää työni tarkastajaa professori Timo Vekaraa.

Koko opiskelujeni ajalta haluan kiittää perhettäni saamastani tuesta. Opiskelutovereitani haluan kiittää yhteisistä opintovuosista.

Vaasassa 27.5.2015

Lauri Maukonen

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE	1
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	4
TIIVISTELMÄ	5
ABSTRACT	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta ja tavoite	7
1.2 Työn rakenne	7
1.3 Wärtsilä Oyj Abp	8
1.4 Polttomoottorit ja moottorivoimalaitokset	11
2 KUORMITUSVASTUSTEN TEKNIikka JA HYÖDYNTÄMINEN	14
2.1 Kuormitusvastusten tekniikka	14
2.1.1 Rakenne ja toimintaperiaate	14
2.1.2 Kuormitusvastustyypit	21
2.1.3 Ohjaus- ja automaatiojärjestelmä	25
2.1.4 Sovelluskohteet	27
2.2 Moottoritehtaan koeajot	28
2.2.1 Koeajojen testauslaitteistot	28
2.2.2 Kuormitusvastuksien hyödyntäminen	33
2.3 Energiankulutus ja -tuotto	34
3 INVESTOINTIPÄÄTÖKSET JA -LASKENTAMENETELMÄT	36
3.1 Investointipäätökset ja suunnittelu	36
3.1.1 Investoinnin ominaispiirteet ja investointityypit	36
3.1.2 Investoinnin suunnittelu ja toteuttaminen	39
3.1.3 Investoinnin kannattavuustekijät	42
3.2 Investointilaskentamenetelmät ja niiden vertailu	44
3.2.1 Nettonykyarvomenetelmä	45
3.2.2 Sisäisen korkokannan menetelmä	45
3.2.3 Pääoman tuottoastemenetelmä	46
3.2.4 Takaisinmaksuajan menetelmä	46
3.2.5 Investointilaskentamenetelmien vertailu ja käyttö yrityksissä	47
3.2.6 Riskitekijöiden huomioiminen investointilaskelmissa	50
4 KUORMITUSVASTUSTEN UUDISTAMISVAIHTOEHDOT	52
4.1 Uudistamisen reunaehdot ja vaatimukset	52
4.2 Mahdolliset vaihtoehdot	55
4.3 Pienjännitekuormitusvastusratkaisu ja sovitustuuntaja	57
4.3.1 Vaihtoehto A	57
4.3.2 Vaihtoehto B	59
4.3.3 Vaihtoehto C	61
4.3.4 Vaihtoehto D	63

4.3.5	Vaihtoehto E	64
4.4	Lämpökattila ja veden hyödyntäminen	66
4.4.1	Suunnitelmat ja hyödyntäminen	67
4.4.2	Jäähdytysenergian tuottamistekniikat	68
4.5	Vaihtoehtojen teknistaloudellinen tarkastelu	73
4.5.1	Tekninen tarkastelu	73
4.5.2	Taloudellinen tarkastelu	77
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	80
6	YHTEENVETO	83
	LÄHDELUETTELO	86
	LIITTEET	91

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

C	Kapasitanssi
$\cos \varphi$	Tehokerroin
f	Taajuus
I	Sähkövirran voimakkuus
L	Induktanssi
n	Pyörimisnopeus
P	Pätöteho
R	Resistanssi
S	Näennäisteho
U	Jännite
X	Reaktanssi
AC	Alternating Current, vaihtovirta
ANSI	American National Standards Institute, yhdysvaltalainen standardi-instituutti
dB(A)	Desibeli, melutaso
DC	Direct Current, tasavirta
EGSA	Electrical Generating Systems Association, sähköntuotantoon keskittynyt yhdistys
FeCrAl	Rauta-Kromi-Alumiini
IP	International Protection Marking, suojausluokitusmerkintä
ISO	International Organization for Standardization
MgO	Magnesiumoksidi
NEC	National Electrical Code, eräs yhdysvaltalainen sähköalan standardi
NEMA	National Electrical Manufacturers Association, standardoimista edistävä yhdysvaltalainen sähkölaitevalmistajien liitto
NiCr	Nikkeli-Kromi
PLC	Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikka
UL	Underwriters Laboratories, kansainvälinen testaus- ja sertifiointilaitos
UPS	Uninterruptible Power Supply, keskeytymätön teholähde

VAASAN YLIOPISTO**Teknillinen tiedekunta**

Tekijä:	Lauri Maukonen	
Diplomityön nimi:	Moottoritehtaan kuormitusvastusten uudistamisvaihtoehtojen arviointi	
Valvoja:	Professori Kimmo Kauhaniemi	
Ohjaaja:	Diplomi-insinööri Rami Hakala	
Tarkastaja:	Professori Timo Vekara	
Tutkinto:	Diplomi-insinööri	
Koulutusohjelma:	Sähkö- ja energiatekniikan koulutusohjelma	
Suunta:	Sähkötekniikka	
Opintojen aloitusvuosi:	2010	
Diplomityön valmistumisvuosi:	2015	Sivumäärä: 94

TIIVISTELMÄ

Energiantarve maailmassa kasvaa jatkuvasti, ja lisää energiantuotantoa tarvitaan aina vain lisää tulevaisuudessa. Wärtsilä on jo pitkään ollut toimialallaan maailmanlaajuisesti menestynyt merenkulun ja myös energiamarkkinoiden voimaratkaisujen toimittaja. Wärtsilän rakentamien laivamoottoreiden ja voimalaitosten kysyntä on jatkanut kasvuun vuosittain.

Tässä diplomityössä tutkittiin Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan moottoritehtaan koeajoissa käytössä olevien 8,5 MW:n kuormitusvastusten uudistamisvaihtoehtoja. Kuormitusvastukset ovat lähes loppuun kuluneet ja niiden uusiminen on edessä lähivuosina. Kuormitusvastuksia käytetään uusien polttomoottoreiden ja niihin kytkettyjen generaattoreiden testaamiseen ennen kuin valmiit tuotteet viimeistellään ja lähetetään asiakkaalle.

Rakenteeltaan kuormitusvastukset ovat yksinkertaisesti suuria vastuspaketteja, joihin on lisätty tarvittavat ohjaus-, suojaus- ja jäähdytyslaitteistot. Työn tarkoituksena oli esittää mahdolliset uudistamisvaihtoehdot kuormitusvastuksille tekemällä esisuunnitelmat ja määrittää vaihtoehtoista paras ratkaisu ottaen huomioon uudistamiseen liittyvät reunaehdot ja vaatimukset. Diplomityössä vertailtiin ratkaisuja sekä teknisesti että taloudellisesti.

Teknisessä tarkastelussa keskityttiin vertailemaan vaihtoehtojen teknisiä ominaisuuksia ja soveltuvuutta olemassa olevaan tekniseen tilaan. Taloudellisesti tarkasteltiin vaihtoehtojen kokonaiskustannuksia laskien eri vaihtoehtojen takaisinmaksuajat ja kannattavuudet neljää eri investointilaskentamenetelmää hyödyntäen. Lisäksi työssä selvitettiin tekniikoita hyödyntää hukkalämpöä kylmäenergian tuottamiseen.

Tarkastelujen perusteella löydettiin paras vaihtoehto korvaamaan vanhat kuormitusvastukset. Työn tuloksia hyödynnetään tulevaisuudessa kuormitusvastuksien uudistamiseen ja investoinnin suunnitteluun. Työ tuottaa kattavan analyysin kuormitusvastusten teknisistä ominaisuuksista ja investointikustannuksista.

AVAINSANAT: Kuormitusvastus, moottorivoimalaitos, investointi, testaus

UNIVERSITY OF VAASA**Faculty of technology****Author:**

Lauri Maukonen

Topic of the Thesis:Evaluation of engine factory's
load banks replacements options**Supervisor:**

Professor Kimmo Kauhaniemi

Instructor:

M.Sc. Rami Hakala

Evaluator:

Professor Timo Vekara

Degree:

Master of Science in Technology

Degree Programme:Degree Programme in Electrical
and Energy Engineering**Major:**

Electrical Engineering

Year of Entering the University: 2010**Year of Completing the Thesis:** 2015**Pages:** 94

ABSTRACT

The need of energy is constantly growing in the world and new energy production will be needed more in the future. Wärtsilä has been a global leader to provide power solutions for the marine and energy markets for a long time. The global demand of Wärtsilä's marine engines and power plants has continued to grow each year.

In this thesis alternative solutions to replace old 8.5 MW load banks in Wärtsilä's engine factory's test runs were studied. The load banks are nearly depleted and replacement will be needed in next few years. They are used to test new engine-generators' "gensets" before the products are finalized and sent to the client.

The architecture of load banks is simple, consisting of big resistor packages with necessary control, protection and cooling equipment. The main goal in this thesis was to present the possible alternatives to replace the old load banks. Possible alternatives were based on preliminary plans and defined boundary conditions. This thesis aims to provide a solution which is the best both technically and economically.

Technical focus of this study was to compare technical properties of the alternatives and suitability to the existing technical space. Economic analysis focused on examining the total costs of the alternatives. Payback period and profitability was analysed by using four different investment methods. In addition, techniques to produce cooling energy from waste heat were examined.

Based on the comparison the best option to replace the old load banks was found. The result of the thesis will be used to renew the load banks and for investment planning. The thesis gives an extensive technical analysis and clarifies investment costs of the load banks.

KEYWORDS: Load bank, engine-generator, investment, testing

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoite

Diplomityö tehtiin Wärtsilän Finland Oy:n Vaasan keskustan moottoritehtaan testaus- ja viimeistelyosastolle. Esiselvityksen tekeminen kuormitusvastusten korvaamisesta on todella ajankohtainen aihe moottoritehtaan koeajoille. Nykyiset kuormitusvastukset ovat lähes loppuun kuluneet ja niiden uusiminen on väistämättä edessä lähivuosina. Kuormitusvastukset ovat yksi käytössä olevista testauslaitteistoista ja niiden toimivuus on edellytys luotettavalle koeajojen testaustoiminnalle.

Diplomityön tavoitteena on tutkia ja selvittää vaihtoehtoja Wärtsilän moottoritehtaan koeajoissa käytössä olevien 8,5 MW:n kuormitusvastuksien uusimiseen. Ratkaisuksi pyritään löytämään sekä taloudellisesti että teknisesti paras vaihtoehto.

1.2 Työn rakenne

Tämän johdantoluvun jälkeinen luku keskittyy kuormitusvastusten tekniikkaan. Luvussa esitellään kuormitusvastusten rakenne ja toimintaperiaate sekä ohjaus- ja automaatiojärjestelmät, sekä käydään läpi eri kuormitusvastustyypit ja kuormitusvastusten sovelluskohteet. Toisessa osassa lukua esitellään moottoritehtaan koeajojen toimintaa ja eri kuormituslaitteistoja testata Wärtsilän uusia polttomoottoreita ja moottorivoimalaitoksia. Lisäksi luvussa käsitellään kuormitusvastusten tarpeellisuutta koeajoissa nykyään ja tulevaisuudessa. Luvun lopussa käydään vielä läpi tehdasalueen energiaratkaisuja liittyen moottoreiden koeajoihin ja testauslaitteistoihin.

Kolmas luku keskittyy investointilaskennan teoriaan. Luvussa käsitellään investointipäätöksiin ja -laskentamenetelmiin liittyvät taloudelliset käsitteet. Lisäksi käydään läpi investoinnin ominaispiirteet ja investointiprosessin kulku suunnittelusta toteutusvaiheeseen. Luvussa esitellään myös yritysten eniten hyödyntämät investointilaskentamene-

telmät kannattavuuksien ja kustannuksien arvioimiseen sekä vertaillaan investointilaskentamenetelmiä keskenään.

Neljäs luku on tutkielman tärkein osa, ja siinä hyödynnetään teoriaosuudessa esitettyjä työkaluja, joiden avulla analysoidaan tutkittuja vaihtoehtoja lähes loppuun käytettyjen kuormitusvastuksien uusimiseen. Ensin luvussa esitellään kuormitusvastusinvestointiin vaikuttavat reunaehdot ja vaatimukset, jotka pitää huomioida vaihtoehtoja etsittäessä. Tämän jälkeen esitellään mahdolliset uudistamisvaihtoehdot, minkä jälkeen aloitetaan vaihtoehtojen teknistaloudellinen tarkastelu.

Lisäksi neljännessä luvussa tarkastellaan kahta eri tekniikkaa hyödyntää lämmityskattiloiden tuottamaa lämpöenergiaa kiinteistön jäähdyttämiseen. Tarkastelussa esitellään vaihtoehdot ja tehdään arviot jäähdytystekniikoiden kustannuksista tuottaa kiinteistöjen jäähdytysenergia jäähdytyskauden aikana.

Johtopäätöksissä analysoidaan neljännen luvun tuloksia ja ratkaisuja. Pohditaan, mitä tutkimuksella saavutettiin ja miten työn tuloksia tullaan hyödyntämään. Tutkielman yhteenvedossa kerrotaan, mitä diplomityössä tehtiin ja mitkä ovat työn lopputulokset.

1.3 Wärtsilä Oyj Abp

Wärtsilä Oyj Abp on toimialallaan maailmanlaajuisesti johtava merenkulun ja energia-markkinoiden voimaratkaisujen tarjoaja ja toimittaja. Wärtsilä pyrkii maksimoimaan alusten ja voimalaitosten ympäristötehokkuuden sekä taloudellisuuden keskittyen tuotteiden teknologisiin innovaatioihin ja kokonaisyhteyksiin. (Wärtsilä 2015a.)

Wärtsilä Oyj Abp toimii globaalisti miltei 70 eri maassa, joissa sillä on yli 200 toimipistettä. Yritys työllistää noin 18 700 henkilöä 132 eri kansallisuudesta (Wärtsilä 2014b, 2015a). Se on jakautunut kolmeen liiketoiminta-alueeseen: Power Plants-, Ship Power- ja Services-yksikköön.

Power Plants-yksikkö tarjoaa ja toimittaa ratkaisuja perusvoimatuotantoon, sähköverkon luotettavaan toimintaan sekä monenlaisen teollisuuden omaan energiantuotantoon.

Voimalaitoksia käytetään varavoiman tuotannossa, kuormitushuippujen tasaamisessa, kuormitusten seuraamisessa ja vaihtelevassa voimantuotannossa erilaisilla nestemäisillä ja kaasumaisilla polttoaineilla. Power Plants -yksikkö tarjoaa räätälöityjä ratkaisuja erikoisratkaisuihin aina kokonaisratkaisuihin. (Wärtsilä 2014b.)

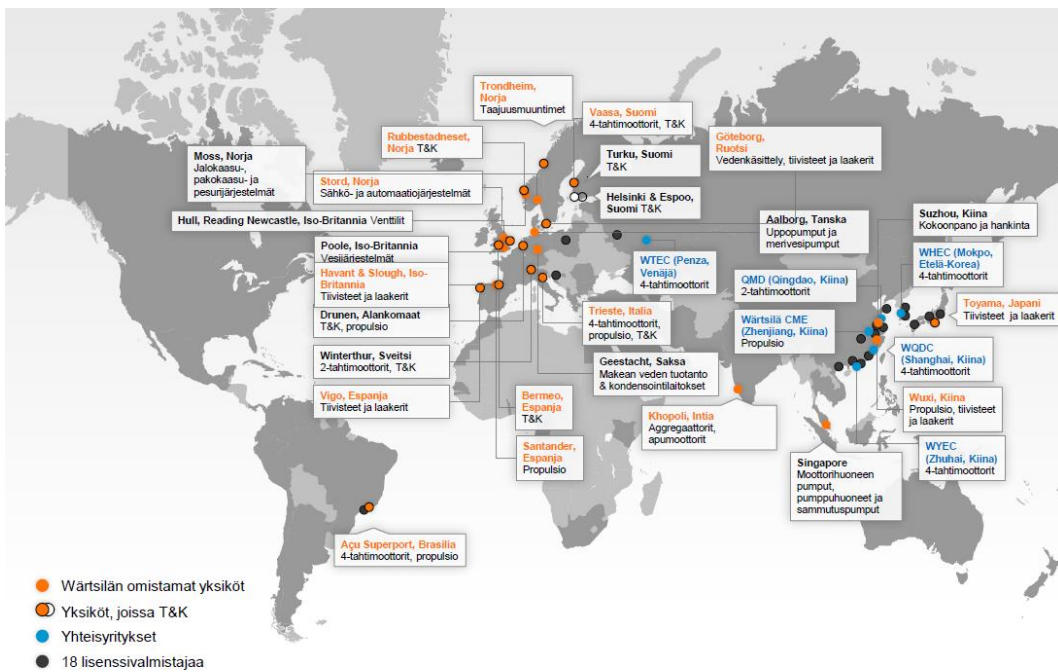
Ship Power -yksikkö on maailman johtava meri- ja offshore-teollisuuden sekä öljy- ja kaasuteollisuuden ratkaisujen ja tuotteiden toimittaja. Yksikkö tarjoaa asiakkailleen laajan tuotevalikoiman painottuen tehokkuuteen, kaasun- ja monipolttoaineratkaisuihin huomioiden ratkaisuisaan ympäristöystävällisyyden. Ship Power -yksikön tuoteportfoliossa on laivasuunnittelu, laivamoottorit, aggregaattorit, propulsiolaitteet, automaatio- ja voimansiirtojärjestelmät, kaasun säilytys- ja käsittelyjärjestelmät sekä ympäristöratkaisut. (Wärtsilä 2014b.)

Services-yksikkö keskittyy asiakkaan tarpeisiin tarjoamalla jatkuvaa tukea niin paikallisen kuin maailmanlaajuisen huoltoverkostonkin avulla. Yksikkö tarjoaa tuotteiden koko elinkaaren aikaista tukea sekä Ship Power- että Power Plant -yksikön laitteille. (Wärtsilä 2014b.)

Wärtsilän tarjoamat laajat tuoteratkaisut on jaoteltu kuvan 1 mukaisesti. Laajan tuotevalikoiman ja markkinajohtajan asemassa Wärtsilän on pidettävä tuotteensa ja palvelunsa kilpailukykyisenä, jolloin tutkimus ja tuotekehitys ovat avainasemassa. Wärtsilän menestekijöitä ovat tuotteiden kokonaishyötysuhde, polttoainejoustavuus, ympäristöhaittojen minimointi sekä luotettavuus. Maailmanlaajuisesti toimivan Wärtsilän tuotanto- ja tuotekehitystoimipisteet ulottuvat kuvan 2 mukaisesti lähes jokaiseen maanosaan. (Wärtsilä 2014b.)



Kuva 1. Wärtsilän tuoteportfolio (Wärtsilä 2014b).



Kuva 2. Wärtsilän tuotanto- ja tuotekehitystoimipisteet maailmanlaajuisesti (Wärtsilä 2014b).

Wärtsilän Oyj Ab:n toiminnasta Suomessa vastaa konsernin tytäryhtiö Wärtsilä Finland Oy, jolla on toimipisteitä Helsingissä, Vaasassa ja Turussa (Kuva 3).



Kuva 3. Wärtsilä Finland Oy:n toimipisteet.

Wärtsilä Finland Oy työllistää Suomessa yli 3600 oman alansa ammattilaista. Helsingissä sijaitsee konsernin pääkonttori ja ylin johto. Vaasassa toimipisteitä on kaupungin keskustassa, Runsorissa ja Vaskiluodossa. (Wärtsilä 2015b.)

1.4 Polttomoottorit ja moottorivoimalaitokset

Wärtsilä on pitkään ollut yksi maailman johtavista laivamoottoreiden ja nykyaikaisten energiaratkaisujen tuottajista sekä toimittajista hyödyntäen huippuluokkaista polttomoottoriteknologiaansa. Wärtsilällä on laaja tuotevalikoima polttomoottoreita ja moottorivoimalaitoksia. Polttomoottorit on lajiteltu moottorin sylinterien halkaisijan, pyörimisnopeuden, tuottaman tehon ja käytettävien polttoaineiden mukaisesti. Polttomoottorista ja generaattorista koostuvia kuvan 4 esittämiä moottorivoimalaitoksia on saatavilla sekä voimalaitosten että laivojen sähköntuotantoon. (Wärtsilä 2014a.)



Kuva 4. Wärtsilän moottorivoimalaitos (Wärtsilä 2014a).

Wärtsilän tuotevalikoimassa on useita erilaisia moottorivaihtoehtoja diesel- ja kaasukäyttöisinä sekä usealla polttoaineella toimivia polttomoottoreita.

Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan tuotantoyksikössä valmistetaan viittä erilaista keskinopeaa moottorityyppiä. Valmistettavat tyypit ovat Wärtsilä 20 ja 20DF, Wärtsilä 32, Wärtsilä 34DF ja Wärtsilä 34SG. Dual fuel (DF) -moottori on monipolttoainepolttomoottorityyppi, jonka polttoaineena voidaan käyttää maakaasua sekä kevyttä että raskasta polttoöljyä. Spark-ignited gas (SG) -moottori on maakaasua polttoaineena hyödyntävä polttomoottori. Wärtsilä 20 ja Wärtsilä 32 -tyypin moottorien polttoaineena voidaan käyttää raskasta tai kevyttä polttoöljyä. (Humalamäki 2015, Wärtsilä 2009.)

Wärtsilä on maailman neljänneksi suurin kaasu- ja nestepolttoaineilla toimivien voimalaitosten toimittaja. Wärtsilän valmistamien perusvoimalaitosten kapasiteetit alkavat kahdesta megawattista ulottuen aina 600 megawattiin asti. Wärtsilän asennettujen voimalaitosten tehokapasiteetti oli vuonna 2014 yhteensä 55 gigawattia, ja laitoksia oli asennettuna 169 maassa ympäri maailmaa. (Wärtsilä 2015c, 2015d.) Kokonaisuudessaan Wärtsilän polttomoottoreita oli asennettuna vuonna 2014 yhteensä 182 gigawatin edestä. (Wärtsilä 2014b)

Wärtsilän tarjoamat polttomoottorit ja moottorivoimalaitokset tarjoavat asiakkailleen laadukkaan ja luotettavan vaihtoehdon energiantuotantoon. Wärtsilän tavoitteena on tarjota asiakkailleen energiatehokkaita, polttoainejoustavia ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja ympäri maailmaa.

2 KUORMITUSVASTUSTEN TEKNIikka JA HYÖDYNTÄMINEN

2.1 Kuormitusvastusten tekniikka

2.1.1 Rakenne ja toimintaperiaate

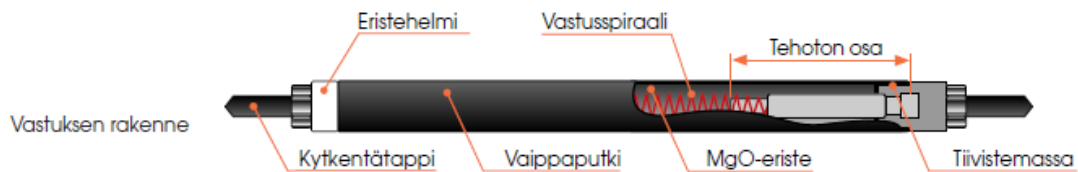
Kuormitusvastukset ovat suuria määriä sähköenergiaa tuottavien laitteiden testaamiseen ja kuormittamiseen käytettäviä sähkötekniisiä laitteita. Kuormitusvastuksien avulla saadaan luotua vakaa hallittavissa oleva sähköinen kuormitus testattaessa sähköntuotantolaitteiston suorituskykyä ja toimintaa. (Simplex 1997, Egsa 2010: 409.)

Rakenteeltaan kuormitusvastus on kaikessa yksinkertaisuudessaan ajateltuna todella suuri vastus, jonka resistanssia säädetään ohjausjärjestelmän avulla. Monimutkaisempi rakenne kuormitusvastuspaketilla on siinä tapauksessa, kun se ei koostu pelkästään resistiivisestä kuormasta vaan mukana on myös reaktiivista kuormitusta, jolloin vastuspaketin tehokerroin $\cos \varphi$ muuttuu. (Egsa 2010: 409.)

Kuormitusvastukset on suunniteltu kestävämmän sähkötehoa kilowateista aina megawatteihin, käyttäjän sekä laitteiston turvallisuus huomioiden. Loppuasennuspaikasta riippuen kuormitusvastusten tulee olla rakennettu viimeisimpien NEMA-, NEC-, ISO- ja ANSI-standardien mukaisesti sekä pysyvien kuormitusvastusasennuksien pitää täyttää UL:n määräykset. Standardien ja määräysten lisäksi tulee noudattaa eri maiden paikallisia säädöksiä, jotta saadaan asianmukaiset laiteasennukset. (Egsa 2010: 409.)

Useimmiten kuormitusvastusten resistiiviset vastuselementit rakennetaan käyttämällä resistiivisiä metalliseoksia. Vastuselementit rakennetaan pääasiallisesti käyttämällä joko NiCr- tai FeCrAl-metalliseoksista valmistettuja johdinlankoja. Kuormituksen suuruutta ohjataan hyödyntäen kontaktoreita tai katkaisijoita. Vastusspiraali valmistetaan käämimällä vastuslangasta, jonka halkaisija vaihtelee 0,1 mm:n ja 0,75 mm:n välillä. Spiraalilangan mitoituksen laskentaan käytetään tarkoitukseen kehitettyä tietokoneohjelmaa, koska mitoittaminen on hankala optimointitehtävä. (Egsa 2010: 409, Loyal 2004.)

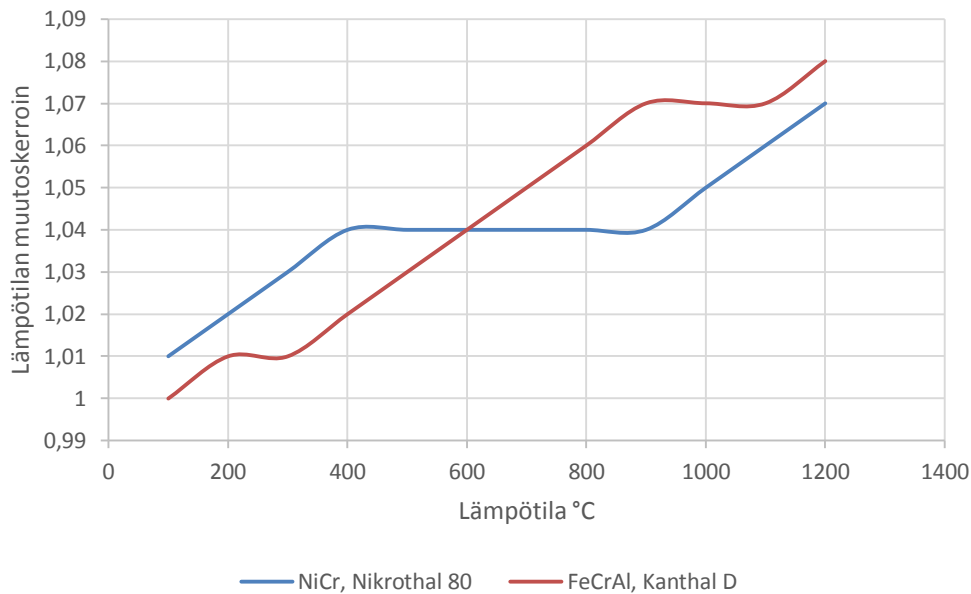
Esimerkiksi vastuksina käytettävät putkivastukset kestävät lujan rakenteensa takia korkeita lämpötiloja, tärinää, mekaanista rasitusta ja useita käyttöympäristöjä. Putkivastuksen rakenne on esitettyä kuvassa 5. Putkivastuksen ydin koostuu vaippaputken sisällä olevasta vastusspiraalista, eristemateriaalina käytetystä magnesiumoksidijauheesta (MgO) ja teräksisestä tehottomasta osa-alueesta. Vaippaputki on eristetty molemmista päistään eristehelmillä, ja vastuksen molemmissa päissä on kytkemistä varten kytkentätapit. (Loval 2004.)



Kuva 5. Lovalin resistiivisen kuormitusvastuksen putkivastuksen rakenne (Loval 2004).

NiCr- tai FeCrAl-metalliseoksesta tehdyt resistiiviset vastuslangat soveltuvat ominaisuuksiltaan hyvin käytettäväksi kuormitusvastusten vastusspiraaleina. Molemmissa metalliseoksissa on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. 1900-luvun alkupuolella kehitetty nikkelikromimetalliseos on ominaisuuksiltaan heikompi kuin 1930-luvulla kehitetty rauta-kromi-alumiinimetalliseos. Verrattuna NiCr-metalliseoksiin on FeCrAl-metalliseoksilla pidempi käyttöikä ja korkeammat toimintalämpötilat. FeCrAl:stä tehdyillä vastuslangoilla käyttöikä voi olla jopa neljä kertaa pidempi. Lisäksi FeCrAl-metalliseoksilla on suurempi kuormituspinta-ala ja suurempi resistiivisyys sekä pienempi tiheys. NiCr-metalliseokset taas ovat parempia sovelluksissa, joissa tarvitaan hyviä mekaanisia ominaisuuksia korkeissa lämpötiloissa. (Kanthal 2009: 5.)

Molemmista metalliseoksista valmistettujen johdinlankojen resistiivinen lämpötilariippuvuus on pieniä. Kuvassa 6 on esitettyä metalliseosten lämpötilariippuvuudet suhteessa ympäristönlämpötilaan. Tarkastelussa on vertailtu Kanthalin valmistamia Nikrothal 80- ja Kanthal D -johdinlankoja. Lämpötilan vaikutusta johdinmateriaalien resistiivisyyteen kuvataan lämpötilan muutoskertoimella, joka ilmaisee resistiivisyyden muutosta verrattuna ympäristönlämpötilassa.



Kuva 6. Lämpötilan vaikutus Kanthalin valmistaamiin NiCr- ja FeCrAl-johdinmateriaaleihin (Kanthal 2015a, 2015b).

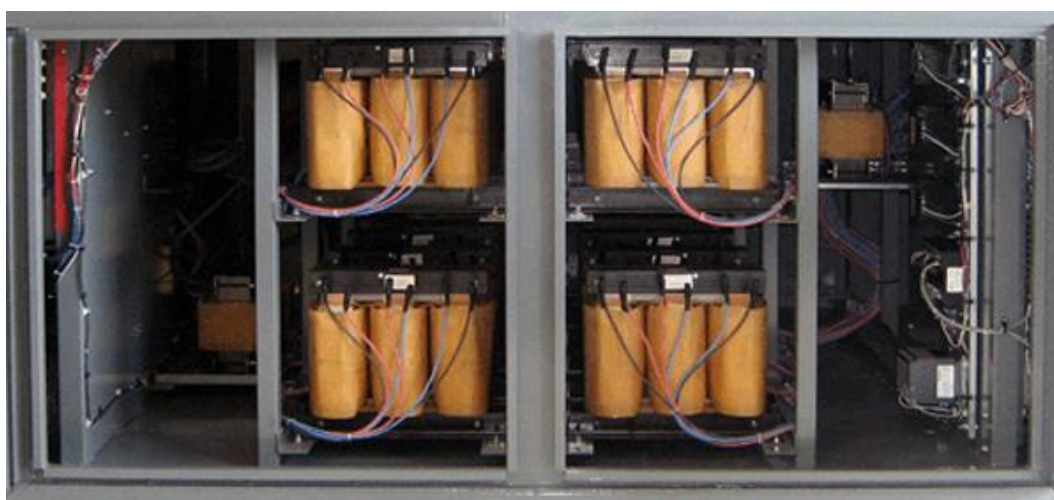
Kuvan 6 vertailusta huomataan lämpötilan vaikuttavan molempien johdinmateriaalien resistiivisyyteen. Alle 400 °C:n lämpötiloissa FeCrAl-metalliseoksen resistiivisyys muuttuu prosenttien verran, kun taas NiCr-metalliseoksesta tehdyn johtimen resistiivisyys elää jonkin verran enemmän. Lämpötilan noustessa yli 400 °C:een nikkeli-kromin muutos tasaantuu ja pysyy vakaana 900 °C:een saakka, kun taas vastaavasti rauta-kromi-alumiinin resistiivisyys muuttuu. Yli 900 °C:n jälkeen nikkeli-kromin resistiivisyys kasvaa ja rauta-kromi-alumiinin tasaantuu. Vertailun perusteella voidaan todeta molempien johdinmateriaalien olevan soveltuvia kuormitusvastuksien vastuselementtien rakentamiseen, kun kuormitusvastusten vastuselementtien lämpötilat toimintalämpötilat ovat alle 1000 °C.

Vastusspiraali muuttaa syötetyn sähköenergian lämmöksi, vastuksessa kulkevan virran suuruus riippuu kytkentäjännitteestä ja vastusspiraalin resistanssin suuruudesta. Vastuksessa syntyvä lämpö johtuu eristemateriaalin läpi vaippaputkeen edeten ympäristöön, joko kuljettumalla ilman mukana, säteilemällä vastusten pinnalta tai johtumalla vastuspakettien rakenteisiin. (Loyal 2004.)

Kuormitusvastuspakettien kuormituskomponentit ovat yleensä joko resistiivisiä, kuten kuvassa 7, tai induktiivista kuormaa kuten kuvassa 8. Usein kuormitusvastuspaketit sisältävät molempia, jotta kuorma vastaisi tositilanteen vaatimuksia. Tyypillisesti kuormitusyksiköt on mitoitettu tehokertoimelle ($\cos \varphi$) 0,8, mikä vastaa yleisesti generaattoreiden mitoitusta. Kapasitiivinen kuormitus on kuormitusvastuksissa melko harvinaista. (Simplex 2014a.)



Kuva 7. Resisttiivisen kuormitusvastuksen yksi vastuspakettiyksikkö (Simplex 2014a).



Kuva 8. Reaktiivisen kuormitusvastuksen induktiiviset kuormituskomponentit (Simplex 2014a).

Vastusten teho voidaan mitoittaa lähes aina vastamaan juuri kyseisiä tarpeita, minkä takia vastuselementtien tehot voivat vaihdella muutamista wateista aina useisiin kilowatteihin. Erilaisissa sovellutuksissa voidaan kytkeä useita vastuksia yhteen, jotta saavutetaan haluttu kokonaisteho. Kuormitustehon lisäksi mitoitusjännite on yleisesti mahdollista valita käyttötarkoitukseen sopivaksi. (Loval 2004.)

Tärkeä osa kuormitusvastusten valinnassa on kuormituksen suuruuden muuttaminen ja kuormitusaskelmien resoluutio, joka määritetään pienimmän mahdollisimman kuormitusaskelman lisäämisellä. Kuormitusaskelmat voivat olla erisuuruisia, mutta kaikkien kuormitusten pitää olla käytettävissä. (Egsa 2010: 409–410, Simplex 2014a) Kuormitusaskeleet vaihtelevat kuormitusvastuspakettien suuruuksien mukaan, ja yleisesti suurilla tehoilla ja keskijännitteillä kuormitusaskeleet ovat suuremmat kuin pienjännitteillä.

Taulukossa 1 on kuvan 9 esittämän Avtronin K875A-MV -resistiivisen keskijännitteisen kuormitusvastuksen kuormituskapasiteetit. Kyseistä kuormitusvastusta on saatavilla sekä 5 kW:n että 50 kW:n kuormitusresoluutiolla kaikilla kuormitusvastukselle mahdollisilla nimellistehoilla ja -jännitteillä.

Taulukko 1. Avtron K875A-MV kuormitusvastuksen kuormituskapasiteetit (Avtron 2014).

Nimellisteho (kW)	Nimellisjännite (kV) (3-vaiheinen, 60 Hz)				Pienin kuormitusaskel (kW)
500	2,4	4,16	12,47	13,8	5 tai 50
750	2,4	4,16	12,47	13,8	5 tai 50
1000	2,4	4,16	12,47	13,8	5 tai 50
1500	2,4	4,16	12,47	13,8	5 tai 50
2000	2,4	4,16	12,47	13,8	5 tai 50
3000	2,4	4,16	12,47	13,8	5 tai 50



Kuva 9. Avtronin K875A-MV keskijännitekuormitusvastus ja sovitusmuuntaja (Steadypowers 2014a).

Kuormitusvastusten jäähdytyksessä käytetään yleisesti joko vapaata tai pakotettua konvektiota, mutta lisäksi erikoissovelluksissa voidaan hyödyntää esimerkiksi generaattorin tuuletinjäähdytystä. Vapaata konvektiota voidaan käyttää vain pienillä kuormitustehoilla ulottuen maksimissaan 20 kW:iin. Suuremmilla tehoilla on siirryttävä pakotetun konvektion käyttöön ja näin varmistamaan vastuselementtien riittävä jäähdytys. (Simplex 2014a.)

Pakotettu konvektio on yleisin kuormitusvastusten jäähdytystekniikka, jossa hyödynnetään tuulettimien kuljettamaa jäähdytysilmaa. Kuvassa 10 on resistiivinen kuormitusvastus vertikaalisella tuuletinjäähdytyksellä varustettuna. (Simplex 2014a). Jäähdytysilma pakotetaan tuulettimien avulla kulkemaan vastuspakettien läpi alhaalta ylöspäin. Vastusten läpi kulkeva ilma kuumenee, ja kuuma poistoilma ohjataan ulos kuormitusvastuksen ylärakenteissa olevien ohjausluukkujen kautta.



Kuva 10. Resistiivinen kuormitusvastus tuuletinjähdytyksellä (Simplex 2014a).

Vesijähdytystäkin käytetään kuormitusvastusten jäähdyttämisessä, mutta se ei ole suosituttua. Vesijähdytyksen käyttö riippuu paljon kuormitusvastusten käyttökohteesta sekä sijoituspaikasta (Simplex 2014a). Vesijähdytyksellä varustetut kuormitusvastuspaketit ovat lähes äänettämiä ja kompaktin rakenteen ansiosta vesijähdytteiset kuormitusvastuspaketit ovat lähes huoltovapaita. Vesijähdytteisiä kuormitusvastuksia hyödynnetään kaupunkien keskusta-alueilla, teollisuusalueilla ja toimistorakennuksissa, joissa ilmajähdytteisten kuormitusvastusten käyttö ei olisi mahdollista tilantarpeen ja meluhaittojen takia. (Simplex Onsite 2015.)

Toimintaperiaatteeltaan kuormitusvastus on yksinkertainen sähkötekniinen laite, mutta siitä huolimatta sen turvallista toimintaa suojataan erityyppisillä suojauslaitteistoilla. Kuormitusvastuksilla voidaan kuormittaa suuria määriä sähköenergiaa tuottavia laitteita ja jännitteet voivat nousta vaarallisiksi.

Vaaratilanteiden ehkäisyyn kuormitusvastuksissa on yleisesti asennettuina oikosulku- ja järjestelmäsuojaus. Oikosulkusuojaus on toteutettu joko sulakkeilla tai katkaisijoilla.

Järjestelmäsuojaus suojaa kuormitusvastuksia toiminnan aikana aiheutuville vioilta, kuten tuuletinvioilta, ylikuumentumiselta ja ylijännitteiltä. (Simplex 2014a).

Yhteenvetona kuormitusvastus on rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan melko yksinkertainen sähkökone, jonka toiminta perustuu sähköenergian muuttamiseen lämmöksi spiraalimaisissa vastuselementeissä. Kuitenkin vastuselementtien lisäksi kuormitusvastus koostuu useista muistakin osista. Kuormitusvastuksen vastuselementtien kuormituskäyttöä ohjataan kontaktoreiden avulla ja jäädytetään yleisesti tuulettimien avulla. Koko kuormitusvastuspaketti sisältää myös suojauslaitteistot, jotka takaavat kuormitusvastusten turvallisen käytön ja ilmaisevat käytön aikana ilmenevät mahdolliset viat.

2.1.2 Kuormitusvastustyytit

Kuormitusvastuspaketteja on olemassa monenlaisia riippuen merkittävästi tulevasta käyttökohteesta, ja yleensä ne suunnitellaan juuri asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Kuormitusvastuspaketteja rakennettaessa otetaan huomioon asiakkaan testaamiseen tarvittava kuormituskapasiteetti, kuormitusresoluutio, jännitetasot ja muut suojaukseen sekä ohjaukseen liittyvät tekijät.

Kuormitusvastustyyppiä on olemassa kolme erilaista tyyppiä: täysin resistiivinen, resistiivista ja reaktiivista kuormaa sisältävä sekä täysin reaktiivinen kuormitusvastuspaketti (Steadypowers 2014b). Resisttiivisiä kuormitusvastuksia käytetään testaamaan polttomoottoreiden generaattorien toimintaa osakuormalla tai täydellä teholla. Resisttiivinen sähköinen kuorma vastaa polttomoottorin tuottamaa mekaanista kuormaa, ja resisttiivisten kuormitusvastusten tehokerroin $\cos(\varphi)$ on 1. (Egsa 2010: 409, Simplex 1997.)

Reaktiivista kuormitusvastuspakettia käytetään tapauksissa, jossa halutaan testata muulla kuin täysin resistiivisellä kuormalla. Reaktiiviset kuormitusvastuskomponentit aiheuttavat joko induktiivista tai kapasitiivista kuormaa. Reaktiiviinen kuorma voi myös olla osana kuormitusvastuspakettia, missä on sekä resisttiivistä että reaktiivista kuormaa. Tämä mahdollistaa resisttiivisen ja reaktiivisen kuorman säätämisen erikseen, jolloin kuormitusvastusten tehokerrointa voidaan säädellä. (Egsa 2010: 409–410.)

Kuormitusvastukset voidaan myös ajatella jaettavan kokonsa, käyttötarkoituksensa ja kuormitustehonsa suhteen. Lisäksi resistiivisiä kuormitusvastuksia on saatavilla sekä vaihto- että tasasähkölle.

Kuvan 11 liikuteltavat kuormitusvastukset on tarkoitettu tilapäiseen testauskäyttöön, ja niiden fyysiset koot vaihtelevat suuresti. Pienimmät kokoluokaltaan 5–10 kW:n kuormitusvastukset on mahdollista kuljettaa käsin. Suuremmat lattialla kuljetettavat kuormitusvastukset ovat kokoluokaltaan 500–1000 kW ja suurimmat trailereilla kulkevat kuormitusvastukset ovat suuruudeltaan jo muutamia megawatteja. (Egsa 2010: 410–411.)



Kuva 11. Esimerkkejä liikuteltavista kuormitusvastuksista Simplex Swift-e, Atlas-Megawatt ja dynaMITE Trailer (Simplex 2014b).

Kiinteästi asennettavat kuormitusvastukset, kuten kuvassa 12 esitetty ovat fyysisesti samassa paikassa olevia vastuspaketteja ja aina käytettävissä kuormitustestauksia varten. Vastuspaketit voidaan sijoittaa sekä ulos että sisälle. Kuitenkin molemmissa tapauksissa on otettava huomioon kuormitusvastukselle tarpeellinen jäähdytysilman saanti vastuselementeille sekä kuormitusvastuksista aiheutuvat meluhaitat. Ulkoasennuksissa on vielä huomioitava turvallisuussäädökset sijoittamalla kuormitusvastukset alueelle, jossa ne ovat suojattuna niin, että niistä ei ole haittaa ulkopuolisille. (Egsa 2010: 411.)



Kuva 12. Kiinteästi asennettava kuormitusvastus Simplex Titan 1500 KVA (Simplex 2014b).

Toiminnaltaan samanlaisia kiinteästi asennettavia kuormitusvastuksia on myös keski-jännitteisinä, jolloin jännitetasot ja kuormituskapasiteetit ovat suuremmat. Keski-jännitekuormitusvastusten etuna on mahdollisuus kytkeä testattava generaattori suoraan kuormitusvastuksiin ilman sovitusmuuntajaa. Yleisesti keski-jännitekuormitusvastusten jännitetasot ovat 5–15 kV välillä ja kuormat ovat 4 MW tai sitä suurempia. Suuremmat järjestelmät voivat vaatia usean kuormitusvastuspaketin kytkemisen rinnakkain. Kuvassa 13 on Avtronin K922A-keski-jännitekuormitusvastus ulos asennettuna. Keski-jännitteelle soveltuvia kuormitusvastuksia on myös mahdollista käyttää sovitusmuuntajan kautta, kuten kuvan 9 Avtronin K875A-MV-kuormitusvastusta. (Egsa 2010: 411.)



Kuva 13. Avtronin K922A-keskijännitekuormitusvastus asennettuna (Steadypowers 2015).

Jäähdyttimeen asennettavat kuormitusvastukset ovat rakenteeltaan kuvan 14 kaltaisia, ja ne rakennetaan räätälöidysti jokaiseen asennettavaan sovellutukseen. Kyseisissä käyttökohteissa kuormitusvastukset asennetaan generaattorin jäähdyttimeen kiinni, jolloin vastuselementtien jäähdytyksessä hyödynnetään generaattorin tuulettimen tuottamaa jäähdytysilmaa.

Jäähdyttimeen asennettavan kuormitusvastuspaketin elementit voivat vaikuttaa heikentävästi generaattorin jäähdytykseen, ja sen takia kuormitusvastusten suunnittelulaskelmat tehdään niin, että vastuspaketit eivät heikennä moottorivoimalaitoksen omaa jäähdytystä. Jäähdyttimeen asennettavat kuormitusvastukset on suunniteltu lisäkuormaksi, ja niiden kuormituskapasiteetti on 50–70 % generaattorin kapasiteetista. Kuormituskapasiteetti on riittävä ennaltaehkäisemään polttoaineen huonoa palamista pienillä kuormilla (wet-stacking) ja ylläpitämään moottorivoimalaitoksen toimintavarmuutta. (Egsa 2010: 411–412.)



Kuva 14. Jäähdytimeen asennettava kuormitusvastus Simplex LBD (Simplex 2014b).

2.1.3 Ohjaus- ja automaatiojärjestelmä

Kuormitusvastusten yksinkertaisesta rakenteesta ja toimintaperiaatteesta huolimatta nykyaikaisessa kuormitusvastuspaketissa on yleisesti myös jonkinlainen ohjausjärjestelmä. Ohjausjärjestelmä sisältää vähintään perustoiminnot kuormitusvastuksen ohjaamiseen ja suojaustoiminnot. Tärkeimpiä ohjaustoimintoja ovat jäähdytystuulettimien ohjauksen säätimet, ylikuumentumisen ja jäähdytysilman indikaattorit sekä tärkeimpänä ohjauskytkimet säätämään kuormitusaskelmia. Ohjausjärjestelmän lisäksi kuormitusvastuksissa on suojauspiirejä, jotka valvovat tarvittavan jäähdytyksen kyseisellä kuormalla tai poistavat kuormituksen kokonaan, jos laitteisto ylikuumentuu tai jäähdytys ei ole riittävää. (Egsa 2010: 412.)

Perustoimintojen lisäksi kuormitusvastusten kuvan 15 esittämästä ohjauspaneelistä löytyvät kuormitusta mittaavat suureet: kuormitusvirta ja -teho sekä testattavan järjestelmän jännite ja taajuus. Nykyään mittarit ovat digitaalisia, ja järjestelmän parametrien tallentaminen tietokoneelle on useimmiten mahdollista. Mittaustulosten tallentaminen on tärkeää osa-alue niissä testaussovelluksissa, joissa vaaditaan tarkat tiedot testattavan järjestelmän toimivuudesta. (Egsa 2010: 412–413.)



Kuva 15. Esimerkki Simplexin kuormitusvastuksen paikallisesta ohjauspaneelistä (Simplex 2014b).

Kuormitusvastusten ohjaukseen on saatavilla myös täysin automatisoituja kuormituksen ohjausjärjestelmiä. Kiinteästi asennettuihin kuormitusvastuksiin voidaan asentaa automaattisesti säätyvä kuormitusjärjestelmä. Automatisoidussa ohjausjärjestelmässä kuormitusaskelmat asetellaan testattavan laitteiston mukaisesti. Ohjausjärjestelmä sisältää virtamuuntajan kuormituksen mittaamiseen sekä kuormanohjauksen ja aikapiirin kuormitusaskelmien säätelyyn. (Egsa 2010: 413.)

Ohjelmoitavaan logiikkaan (programmable logic controller, PLC) perustuvat ohjausjärjestelmät ovat myös vaihtoehto kuormitusvastusten ohjausjärjestelmäksi. PLC:llä ohjataan yleisesti useista kuormitusvastuksista rakennettua testausjärjestelmää. Ohjelmoitava logiikka antaa mahdollisuuden myös rakentaa erilaisia kuormitusprofiileja halutuilla kuormilla ja aikaväleillä. (Egsa 2010: 413.)

Lisäetuna ohjelmoitavassa logiikassa on mahdollisuus käyttää resistiivisiä ja reaktiivisia kuormia yhdessä sekä säätää PLC:n avulla haluttu tehokerroin. PLC:llä ohjattavaa kuormitusvastusjärjestelmää tarvitaan usein myös silloin, kun sovellutus vaatii kuormitusvastusten kommunikoinnin rakennuksessa olevan automaation tai testaussolussa olevan ohjausjärjestelmän kanssa. (Egsa 2010: 413.)

Useilla kuormitusvastusten valmistajilla on olemassa omia ohjausjärjestelmiään ja tietokonesovelluksiaan ohjaamaan kuormitusvastuksia. Kyseiset järjestelmät ovat valmistajan tuotteille räätälöityjä ja ne antavat käyttäjälle laajat mahdollisuudet ohjata kuormitusvastuksia ja tallentaa tietoja testauksien aikana.

2.1.4 Sovelluskohteet

Kuormitusvastuksia hyödynnetään useiden sähkötekniisten laitteiden testaamisessa. Eritään yleinen sovelluskohde on teollisuusyritysten uusien tuotteiden testaaminen. Kuormitusvastuksia käytetään muun muassa moottorivoimalaitosten, tuuli- ja vesivoimageraattoreiden, akkujärjestelmien, keskeytymättömien tehonlähteiden (uninterruptible power supply, UPS), suuntaajien, apuvoimalaitteiden ja maakäyttölaitteiden testaamisessa. Kuormitusvastusten käyttö testauskalustona takaa vakaan ja hallittavan kuormituksen. (Egsa 2010: 413, Simplex 2014a.)

Toinen kuormitusvastuksien sovelluskohde on kenttätestaaminen ja ylläpidolliset testaukset. Kuormitusvastuksia käytetään uusien järjestelmien kenttätestauksessa järjestelmän toimivuuden tarkastamisessa, ja se tuo esille käyttöönoton aikana mahdollisesti ilmenevät viat. (Egsa 2010: 413.) Huoltotesteissä generaattorit ovat asennettuina, ja niiden toimintakykyä testataan tietyn väliajoin liikuteltavien kuormitusvastusten avulla. Ylläpito- ja korjaustestausten avulla pyritään turvaamaan järjestelmien suunniteltu toimivuus. (Egsa 2010: 413, Simplex 2014a.)

Kolmas kuormitusvastusten sovelluskohde on dieselmootoreiden ylläpidossa ja moottorin suorituskyvyn heikkenemisen ennaltaehkäisyssä. Dieselmootorin toimiessa pienellä kuormalla tai ilman kuormaa polttomoottorin lämpötila ei nouse optimaaliselle toimintatasolle. Tämän seurauksena aiheutuu polttoaineen huonoa palamista, ja osa palamattomasta polttoaineesta ajautuu pakoputkistoon. Palamaton polttoaine voi aiheuttaa vikaa polttoaineen ruiskutukseen, moottorin venttiileihin tai pakokaasujärjestelmään heikentäen näin moottorin suorituskykyä. (Egsa 2010: 414.)

Kuormitusvastusten säännöllinen käyttö generaattorin kuormituksena nostaa polttomoottorin lämpötilaa, jolloin polttoaineen palaminen on puhdasta eikä polttoainejäämiä

synny. Toimenpide pidentää myös moottorin toimintavarmuutta, vaikkakaan huono palaminen ei yleensä aiheuta pysyviä vaurioita moottorille. (Egsa 2010: 414.)

Kaikissa kuormitusvastusten sovelluskohteissa hyödynnetään mahdollisuutta kuormittaa kuormitusvastuksia monilla eri tavoilla. Kuormitusvastustyypit ja kokoluokka vaihtelevat sovelluskohteesta riippuen. Kuormitusvastukset mahdollistavat nopean ja luotettavan testaamisen. Monissa sovelluskohteissa kuormitusvastukset ovat varteenotettava vaihtoehto toteuttaa sähkölaitteiden testaus ja kuormitus, vaikka kaikki tuotettu sähköenergia häviääkin lämpönä ympäristöön.

2.2 Moottoritehtaan koeajot

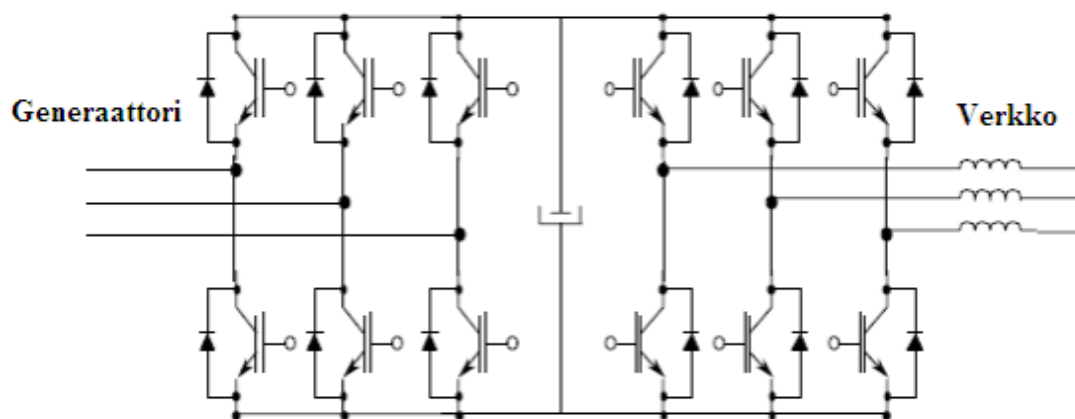
Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan keskustan moottoritehtaalla on koeajot sekä diesel- että kaasumoottoreiden testaamista varten. Molemmissa koeajoissa uudet polttomoottorit ja moottorivoimalaitokset testataan määräysten mukaisesti hyödyntäen käytössä olevia testauslaitteistoja. Koeajojen tehtävänä on tarkastaa ja testata valmiit tuotteet ennen kuin ne viimeistellään ja toimitetaan asiakkaalle.

2.2.1 Koeajojen testauslaitteistot

Koeajoissa on käytössä käytännössä neljä eri mahdollisuutta testata uusia moottorivoimalaitoksia eli polttomoottoria ja siihen kytkettyä generaattoria. Vaihtoehtoina testattava generaattori voidaan kytkeä suoraan verkkoon, verkkovaihtosuuntaajien kautta verkkoon, kytkeä kuormitusvastuksiin ja lämpökattiloihin tai käyttää hyödyksi elektrodikattilaa. Kokonaisuudessaan Vaasan moottoritehtaan koeajoilla ja moottorilaboratoriolla on mahdollisuus ajaa maksimissaan verkkoon 35 MW:n edestä sähköenergiaa. (Humalämäki 2015.)

Käytettävän testauskaluston käyttö riippuu testattavan moottorivoimalaitoksen generaattorin taajuudesta ja ajettavien testien vaatimuksista. Generaattori voidaan kytkeä suoraan verkkoon, jos testattavan generaattorin taajuus vastaa verkon 50 hertsin nimellistä taajuutta.

Mikäli taajuus on muu kuin 50 hertsiä voidaan tuotettu sähköenergia ajaa verkkoon verkkovaihtosuuntaajien kautta, jolloin testattavan generaattorin taajuudella ei ole merkitystä. Verkkovaihtosuuntaajat muuttavat testattavan taajuuden ja jännitteen verkkoon ajamiselle sopivaksi. Verkkovaihtosuuntaajalla varustetun taajuusmuuttajan rakenne on esitetty kuvassa 16. Generaattorin tuottama vaihtosähkö suunnataan tasasähköksi, mikä jälkeen tasasähkö muunnetaan verkkoon soveltuvaksi vaihtosähköksi.



Kuva 16. Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja verkkovaihtosuuntaajalla (Marques, J., H. Pinheiro, H. A. Gündling, J. R. Pinheiro & H. L. Hey 2002).

Vaasan moottoritehtaan koeajot tuottavat paljon sähköenergiaa, sillä koeajossa syntyy muun energiantuotannon lisäksi vuositasolla jopa 10 000 MWh verkkovaihtosuuntaajien kautta sähköverkkoon syötettävää sähköenergiaa (Granlund 2014). Ulkoisesti käytössä olevat verkkovaihtosuuntaajalla varustetut taajuusmuuttajat ovat kuvan 17 näköisiä kaapistoja.



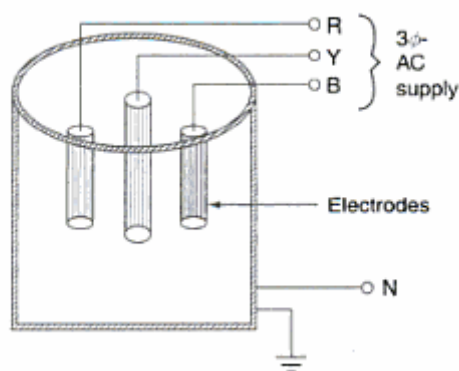
Kuva 17. The Switchin verkkovaihtosuuntaajan kaapisto (The Switch 2013).

Kolmantena vaihtoehtona on käyttää tässä diplomityössä tutkittavia resistiivisiä kuormitusvastuspaketteja ja lämpökattiloita, joihin ajaminen on myös mahdollista eri taajuuksilla. Huonona puolena sähköenergian ajamisessa vastuspaketteihin on testauksen aikana tuotetun energian haihtuminen hukkalämpönä suoraan ilmaan. Lämpökattiloissa sähköenergia muutetaan putkivastuksien kautta lämmöksi, joista lämpö siirtyy veteen. Veteen varastoitua lämpöenergiaa hyödynnetään kaukolämmön tuotannossa.

Neljäs mahdollinen ja melko harvoin käytetty testausvaihtoehto on elektrodikattilan käyttäminen. Elektrodikattilan käyttö on vähäistä sen heikkojen säätömahdollisuuksien vuoksi. Toiminnaltaan elektrodikattila on yksinkertainen ja varma vaihtoehto.

Kuvan 18 elektrodikattilan toiminta perustuu kuumennettavan veden käyttämiseen vastuksena. Suoraan maadoitetussa elektrodikattilassa kolmivaiheinen vaihtosähkö kulkee

veden läpi tuottaen lämpöä, joka nostaa veden lämpötilaa. (Sivanagaraju 2010, Virtanen 1985.)



Kuva 18. Elektrodikattilan toimintaperiaate (Sivanagaraju 2010: 151).

Moottoritehtaan koeajoissa on käytössä useita eri vaihtoehtoja koeajaa ja testata uusia moottorivoimalaitoksia. Käytetyin vaihtoehto on testata moottorivoimalaitoksia hyödyntämällä verkkovaihtosuuntaajia, joiden kautta tuotettu energia voidaan ajaa sähköverkkoon. Kuitenkin kaikki testausvaihtoehdot ovat omalta osaltaan tärkeitä uusien tuotteiden testaamisessa.

Koeajossa tehtävät testit moottoreille ja generaattoripaketeille suoritetaan vaadittujen standardien ja määräysten mukaisesti. Wärtsilän laivamoottoreilla ja moottorivoimalaitoksilla on omat testausvaatimukset, jotka eroavat toisistaan. Lisäksi asiakkaat voivat pyytää tarvittaessa lisätestauksia, mikäli suoritettavat perustestit eivät ole riittävät asiakkaan vaatimuksiin.

Taulukossa 2 on esimerkkinä Lloyd's registerin vaatiman testausohjelman rakenne uusille laivamoottoreille. Kaikki testauksen vaiheet on tehtävä ohjeiden mukaisesti ja valmistajan tulee mitata ja taltioida vaaditut arvot. Taulukossa 2 on esitelty koeajoissa tehtävät testit laivan päämoottorina käytettävälle moottorille sekä generaattoria pyörittävälle polttomoottorille. Jokainen testaamisen vaihe suoritetaan taulukon 2 mukaisesti ja kohdissa, joissa ei ole sanottuna tarkkaa testauksen kestoa odotetaan arvojen tasaantuvan ennen mittauksien tallentamista. (Lloyd's Register 2013: 23–24.) Uusien polt-

tomootoreiden määräyksien mukaiset testit kestävät yleisesti 5 tuntia. Kokonaisuudessaan yhden uuden moottorin testaus asennuksineen ja testiajoineen kestää kaksi työvuo-
roa. (Humalamäki 2015.)

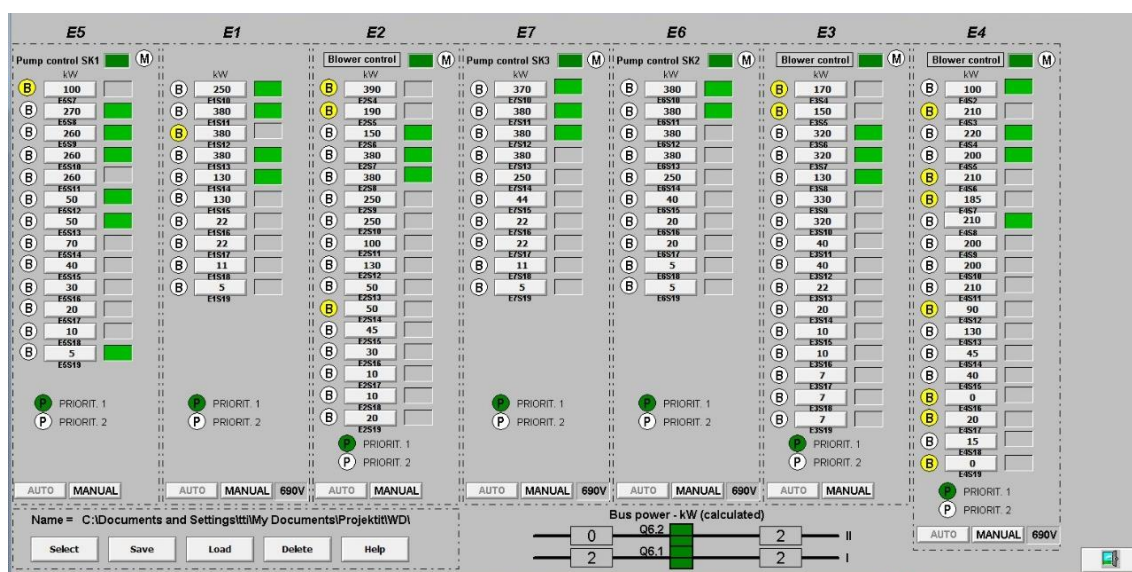
Taulukko 2. Esimerkki moottoritehtaan koeajojen noudattamasta testausohjelman rakenteesta (Lloyd's Register 2013: 24).

A. Päämoottorilla ajettavat potkurit ja vesisuihkupropulsiot		
Testin määrittelyt	Kesto	Huomautukset
100 % teho (nimellisteho) nimellisellä moottorin pyörimisnopeudella, n	≥ 60 minuuttia	Arvojen tasaantumisen jälkeen
110 % teho moottorin pyörimisnopeus vastaa $1,032*n$	30–45 minuuttia	Arvojen tasaantumisen jälkeen
90 % (tai jatkuva maksimiteho), 75 %, 50 % ja 25 %		Tehot yhteen pitäviä nimellisen potkurikäyrän kanssa
Käynnistys ja suunnanvaihto		
Nopeudensäätimen testaaminen ja itsenäinen ylinopeuden suojauslaite		
Laitteen sammutus		
B. Moottoreilla ajettavat generaattorit		
Testin määrittelyt	Kesto	Huomautukset
100 % teho (nimellisteho) nimellisellä moottorin pyörimisnopeudella, n	≥ 50 minuuttia	Arvojen tasaantumisen jälkeen
110 % teho	30 minuuttia	Arvojen tasaantumisen jälkeen
75 %, 50 % ja 25 % teho ja tyhjäkäynti		
Käynnistystestit		
Nopeudensäätimen testaaminen ja itsenäinen ylinopeuden suojauslaite		
Laitteen sammutus		

2.2.2 Kuormitusvastuksien hyödyntäminen

Koeajoissa käytettävistä testausvaihtoehdoista kuormitusvastukset ja lämpökattilat ovat yksi eniten käytetyistä moottorivoimalaitosten testausvaihtoehdoista. Liitteessä 1 on esitetty nykyisten kuormitusvastusten ja lämmityskattiloiden rakenne pääkaaviossa. Vastuksiin testaaminen mahdollistaa moottorin testauksen muulla taajuudella kuin sähköverkon nimellisellä 50 hertsin taajuudella.

Nykyisin koeajoissa on myös mahdollista ajaa verkkovaihtosuuntaajien kautta eri taajuisien generaattoreiden tuottamaa sähköenergiaa verkkoon. Vastuspaketeilla testaaminen antaa myös mahdollisuuden kuormittaa generaattoria vastaavilla tehoilla kuin poltomoottoreiden tuottama mekaaninen teho on. Kuormitusvastusten kuormitusaskelmien säätö ja kuormittaminen tapahtuu kuvan 19 mukaisen ohjausjärjestelmän kautta. Ohjausjärjestelmästä voidaan valita kuormitettava vastuspaketti ja haluttu kuorma. Vastuspaketteja voidaan kuormittaa sekä manuaalisesti että ohjelmoidusti.



Kuva 19. Koeajoissa käytössä oleva kuormitusvastusten ohjausjärjestelmä.

Vastuspaketteihin ajaminen on heti verkkovaihtosuuntaajien käytön jälkeen yleisin tapa testata koeajoissa uusia moottorivoimalaitoksia. Kuormitusvastusten käyttö on kuitenkin vähentynyt verkkovaihtosuuntaajien myötä. Ruuhka-aikoina ja verkkovaihtosuuntaajien ollessa varattuina tai huollettavina tarvitaan useampia testausmahdollisuuksia,

jolloin testaukset kuormitusvastuksien avulla lisääntyvät. Lisäksi kuormitusvastusten uudistaminen kuormitusvastuksilla pitää verkkoon ajamisen yhteistehon alle 35 MW:n, mikä ylittyisi jos kuormitusvastukset korvattaisiin kolmannella verkkovaihtosuuntaajalla.

Kuormitusvastusten käyttö koeajoissa on myös luotettava ja varteenotettava vaihtoehto uusien tuotteiden testaamisessa. Suuntaajatekniikan kehitys on syrjäyttänyt kuormitusvastusten asemaa testaamisessa, mutta silti kuormitusvastuspaketit tulevat pysymään yhtenä vaihtoehtona kuormittaa ja testata uusia moottorivoimalaitoksia. Kuormitusvastukset takaavat koeajoissa riittävän testauskapasiteetin. Huonona puolena kuormitusvastusten käyttämisessä koeajossa on vastuspakettien tuottama lämpöenergia, joka häviää vain lämpönä ilmaan.

2.3 Energiankulutus ja -tuotto

Wärtsilän Vaasan keskustan tehdasalueella energian kulutuksella on merkittävä osuus kustannuksissa. Kulutus koostuu alueella kulutetusta sähkö- ja lämmitysenergiasta. Kiinteistöjen ylläpito kuluttaa koko ajan suuren määrän energiaa. Talvisin lisäkulutusta tuo tilojen lämmittäminen ja kesäisin taas jäähdyttäminen.

Suuren osan energian kulutuksessa vievät moottoreiden tuotannossa käytössä olevat koneet ja laitteet. Toimitilojen valaistus ja yleiset toimistolaitteet kerryttävät pienen osan tehdasalueen energian kulutuksesta. Uusien moottorien koeajot ja tehdasalueen moottorilaboratorio kuluttavat myös suuren osan energiasta, käytettyjen polttoaineiden muodossa. (Humalamäki 2015.)

Pääasiassa Wärtsilä Finland Oy ostaa kaiken kuluttamansa sähkö- ja lämpöenergiansa, vaikka uusia moottoreita ja moottorivoimalaitoksia testattaessa sähköenergiaa tuotetaan paikalliseen sähköverkkoon. Sähköenergiaa tuotetaan sekä diesel- ja kaasukoeajoissa että moottorilaboratoriossa. Sähköenergia ostetaan yhteisiltä pohjoismaisilta Spotmarkkinoilta yhteistyönä kaikille Pohjoismaissa toimiville Wärtsilän yksiköille. (Humalamäki 2015.)

Kiinteistöjen lämmitykseen käytettävän lämpöenergiansa keskustan tehdasalue ostaa ja saa Vaasan alueen kaukolämpöverkosta, jonka asiakkaana Wärtsilän Finland Oy:n Vaasan keskustan tehdas toimii. Talvisin tehtaan koeajoissa käytössä olevien lämpökattiloiden tuottamaa lämmintä vettä kierrätetään Vaasan alueen kaukolämpöverkossa silloin, kun kysyntää on riittävästi. (Humalamäki 2015.)

Wärtsilä Finland Oy on ollut vuodesta 2008 mukana elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksessa, joka kestää vuoteen 2016 asti. Sopimuksessa yritykset ovat sitoutuneet säästämään energiaa 9 % vuonna 2016. Wärtsilän energiansäästötavoite on puolestaan 10 % vuodelle 2016. Energiansäästötavoitteen ovat mahdollistaneet uudet verkkovaihtosuuntaajainvestoinnit tehdasalueen koeajoihin. Verkkovaihtosuuntaajat mahdollistavat tulevaisuudessa maksimissaan jopa 26 MW:n tehon ajamisen sähköverkkoon. (Granlund 2014.)

3 INVESTOINTIPÄÄTÖKSET JA -LASKENTAMENETELMÄT

Tässä luvussa perehdytään investointipäätösten ja -laskentamenetelmien teoriaan. Luvussa esitellään tyypillisimmät investointityypit ja yleisimmin käytössä olevat investointilaskentamenetelmät. Lopussa käydään vielä läpi tutkimusten pohjalta investointilaskentamenetelmien käyttöä yrityksissä ja tutkitaan työkaluja investointilaskelmien riskitekijöiden huomioimiseksi.

3.1 Investointipäätökset ja suunnittelu

3.1.1 Investoinnin ominaispiirteet ja investointityypit

Investoinnit ovat yleisesti merkitykseltään pitkäaikaisia taloudellisia hankkeita, jotka vaikuttavat yrityksen toimintaan monien vuosien ajan (Tevä-Helminen 2013: 4). Neilimo, K. & E. Uusi-Rauvan (2002) mukaan investoinnin käsite rajataan koskemaan sellaisia menoja, jotka ovat rahamäärältään suuria ja joissa tulon odotusaika on pitkä. Tämän seurauksena taloudellisia arvioita tehtäessä pitää ottaa huomioon aika, joka tuo mukanaan investointeihin riskitekijöitä. (Neilimo ym. 2002: 185.)

Investoinnit ovat yrityksille todella tärkeitä menestymisen kannalta. Epäonnistunut rahamäärällisesti suuri investointi voi aiheuttaa yritykselle ongelmia, pahimmassa tapauksessa vaikuttaa jopa koko yhtiön tulevaisuuteen. Yritysten toteuttamilla investoinneilla on myös suuri vaikutus yhteiskunnallisesti työllisyyden ja kansainväliseen kilpailukykyyn. (Tevä-Helminen 2013: 4.)

Luonteeltaan investointi voi olla *rahoitus- tai reaali-investointi*. Rahoitus- ja reaali-investointien välistä yhteyttä havainnollistetaan kuvassa 20. Rahoitusinvestoinnissa sijoitetaan rahaa esimerkiksi obligaatioihin tai debenttureihin eli sijoitetaan yritykseen, joilla on tuotantotoimintaa. Sijoittaja ei suoraan vaikuta investoidun rahan käyttämiseen tuotannontekijöiden hankintaan, mutta voi käyttää äänivaltaansa osakkeenomistajana osakeyhtiössä tai lainanantajana hyväksyä lainatun pääoman käyttötarkoituksen.



Kuva 20. Rahoitus- ja reaali-investointien välinen yhteys (Jyrkkiö, E. & V. Riistama (2000: 203).

Rahoitusinvestointeja suoritetaan pääomamarkkinoilla kuten pörseissä tai kun luottolaitos myöntää lainoja yrityksille. (Haverila, M., E. Uusi-Rauva, I. Kouri & A. Miittinen 2005: 195, Jyrkkiö ym. 2000: 203.)

Reaali-investoinneissa raha käytetään tuotannontekijöiden hankkimiseen tuottojen saamiseksi. Yleisiä reaali-investointeja ovat toimitilojen, koneiden ja laitteiden hankinta sekä markkinointikanavien luominen ja kampanjan toteuttaminen. (Haverila ym 2005: 195.)

Yrityksen suorittamat investoinnit eroavat paljolti toisistaan. Osa investoinneista aiheuttaa merkittäviä kassavirtoja, joiden merkitys yrityksen toiminnalle on todella tärkeää. Investoinneista saatavat hyödyt voidaan osittain mitata rahallisina hyötyinä, mutta alkuvaiheessa osa hyödyistä voi olla ei-rahallista, esimerkiksi työntekijöiden viihtyvyyteen investoiminen. (Martikainen, T & M, Martikainen 2009: 27–28.)

Investoinneilla on myös mahdollisuus vaikuttaa toisiin investointeihin. Osa suunnitelluista investoinneista voi poissulkea toisen kokonaan, täydentää toista tai korvata toisen vaihtoehdon. Investoinnit voidaan luokitella myös niiden tuottamien kassavirtojen ajoittumisen perusteella. Konventionaaliset investoinnit tuottavat negatiivisen alkuinvestoinnin jälkeen voittoa kaikkina vuosina. Investointi voi olla ei-konventionaalinen esimerkiksi silloin, kun siihen liittyy erilaisia vuokramaksuja tai se maksetaan erissä. (Martikainen ym. 2009: 27–28.)

Investointeja on mahdollista luokitella ainakin seuraavin kriteerein (Martikainen ym. 2009: 27–28.):

- Investoinnin suuruus
- Investoinnista saatavan hyödyn muoto
- Investointihankkeiden kytkeytyminen toisiinsa
- Investoinnin tuottamien kassavirtojen tyyppi ja ajoittuminen

Reaali-investoinnit on myös mahdollista luokitella ryhmiin, perustuen niiden merkitykseen esimerkiksi taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Reaali-investointien luokittelu (Haverila ym. 2005: 197, Neilimo ym. 2002: 189).

Investointityyppi	Luonne
Pakolliset investoinnit	lakien, asetusten tai viranomaismääräysten perusteella pakolliset kohteet, esimerkiksi ympäristön pilaantumista estävät tai työsuojeluinvestoinnit, ei asetettua tuottovaatimusta.
Strategiset investoinnit	pitkän aikavälin toimintalinjoja osoittavat investoinnit, esimerkiksi tuotekehitys, markkinointiorganisaatio ja jakelujärjestelmät, tuottovaatimus 6 %.
Välttämättömyysinvestoinnit	toimintavarmuuden luomiseksi pakolliset korjaukset ja investoinnit, esimerkiksi koneiden uusinta ja peruskorjaukset, tuottovaatimus 12 %.
Tuottavuusinvestoinnit	sijoitukset, joissa tuottoja lisäämällä ja kustannuksia vähentämällä parannetaan kilpailukykyä, esimerkiksi aiempaa tehokkaampien koneiden hankinta ja rationalisointi-investoinnit, tuottovaatimus 20 %.
Laajennusinvestoinnit	yriyten toiminnan merkittävä laajentaminen (joka voi liittyä myös strategisiin investointeihin) kuten yritysostot ja tätä kautta diversifioituminen, tuottovaatimus 25 %.

Taulukossa 3 luokitellut investointityypit kattavat useimmat yritysten tekemät reaali-investoinnit. Luokittelussa annetut numeroarvot investointien tuottovaatimuksista on yksi esimerkki mahdollisesta porrastamisesta. (Neilimo 2002: 188)

3.1.2 Investoinnin suunnittelu ja toteuttaminen

Jokaisella yrityksellä on olemassa perustavoitteensa ja toimintaperiaatteensa, joihin yritys perustaa toimintansa. Perustavoitteitaan ja toimintaperiaatteitaan yritys muuttaa melko harvoin, koska muutokset vaativat paljon aikaa sekä aineellisia että henkisiä voimavaroja. Kaikesta huolimatta menestyvän yrityksen on suunniteltava toimintansa siten, että se pystyy reagoimaan markkinoiden muutoksiin. (Jyrkkiö ym. 2000: 205.)

Investointien tarkka ja yksityiskohtainen suunnittelu on yksi tärkeimmistä osa-alueista investointiprosesseissa. Epäonnistunut, väärin suunniteltu tai huonosti ajoitettu investointi voi kaataa koko yrityksen. Tärkeätä investointiprojektin suunnittelussa on se, miten käytettävissä olevat resurssit kohdennetaan eri investoinneille. Jokainen investointi sitoo aina omaa ja vierasta pääomaa sekä työvoimaa. Yritysten on suunniteltava ja toteutettava investointinsa niin, että ne ovat mahdollisimman yhteensopivia yritysstrategian kanssa. (Neilimo ym. 2002: 185.)

Nykyään monet yritykset panostavat tutkimukseen ja tuotekehitykseen, joten uusia investointeja tehdään entistä enemmän. Työntekijöitä kannustetaan suunnittelemaan ja kehittämään uusia investointi-ideoita yrityksissä. Suuremmissa yrityksissä käytetään uusien ehdotusten suunnitteluun investointiehdotuslomaketta, joka edistää investoinnin käsittelyä ja päätöksentekoa. (Jyrkkiö ym. 2000: 205.)

Suurissa yrityksissä investointeja tehdään jatkuvasti ja uusia investointi-ideoita kartoitetaan sekä kehitetään päivittäin. Pienemmissä yrityksissä investointien tekeminen ei yleensä ole yhtä jatkuvaa, vaan niitä tehdään tarpeiden mukaan. Kuitenkin lopputuloksena suunnitelmallinen investointikohtien etsiminen johtaa parempaan lopputulokseen kuin vain satunnaisesti tehtävät päätökset. (Jyrkkiö ym. 2000: 206.)

Kokonaisuudessaan investointiprosessi kestää ajallisesti pitkään aiheuttaen suunniteluun omat haasteensa. Päätöksen tekeminen on hankalaa ja koskaan ei voida tietää, milloin tarkalleen investoinnin tekeminen olisi parasta suorittaa. Mitä suuremmasta investoinnista on kysymys, sitä tärkeämmäksi investoinnin oikea ajoitus tulee. Tulevaisuuteen on vaikea ennustaa, ja aina on olemassa epävarmuus tilanteen muuttumisesta. Investointisuunnittelussa pitäisi olla mahdollista laskea yhteen eri ajanjaksojen tuotot ja kustannukset sekä huomioida merkittävien kassavirtojen ajoittuminen. (Neilimo ym. 2002: 186.)

Investoinnin suunnittelu noudattaa yleensä taulukon 4 mukaista järjestystä.

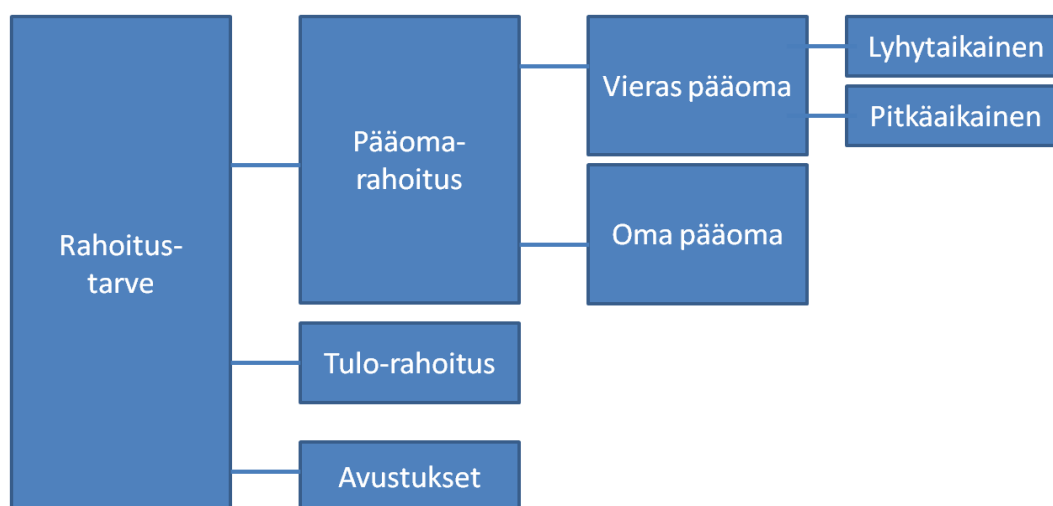
Taulukko 4. Investoinnin suunnittelun eteneminen (Neilimo ym. 2002: 187).

Vaihe	Operaatio
1.	Heräte investointiin syntyy.
2.	Todetaan investointiongelma ja -tarve.
3.	Täsmennetään tavoitteet.
4.	Etsitään investointi-ideoita.
5.	Kehitetään ideoita investointivaihtoehtoiksi.
6.	Laaditaan vaihtoehtolaskelmia, verrataan ja karsitaan vaihtoehtoja.
7.	Suunnitellaan investoinnin pääomantarve ja rahoitus.
8.	Tarkastellaan riskejä.
9.	Tehdään päätös.
10.	Käynnistetään hanke ja valvotaan sen etenemistä.

Aluksi havaitaan tarve investointiin ja kartoitetaan investointiongelma. Kartoittamisen jälkeen täsmennetään investoinnin tavoitteet ja aletaan etsiä ideoita toteuttamiseen. Ideoinnin jälkeen kehitetään ideat investointivaihtoehtoiksi, minkä jälkeen aloitetaan vaihtoehtojen vertailu.

Tämän jälkeen aletaan laatia vaihtoehtolaskelmia, vertaillaan ja karsitaan mahdollisia vaihtoehtoja, ja lopputuloksena löydetään paras investointivaihtoehto. Valinnan jälkeen investoinnille suunnitellaan tarvittava pääoma ja rahoitus, minkä jälkeen tehdään lopullinen päätös investoinnista. Investoinnin hyväksymisen jälkeen aloitetaan investoinnin toteutus, jonka etenemistä valvotaan suunnitelmiin perustuen.

Toteutuakseen investointi vaatii suunnittelun jälkeen aina pääomaa, jolla investointi rahoitetaan. Edellä esitetyssä investoinnin suunnittelun etenemistaulukossa kohta 7 koski investoinnin pääomantarvetta ja rahoitusta. Rahoitukseen pätee vanha nyrkkisääntö, jossa rahan lähteen ja rahan käytön pitää luonteeltaan vastata toisiaan. Ryhdyttäessä pitkävaikutteiseen investointihankkeeseen, tulee investointi rahoittaa pitkävaikutteisella rahoituksella, joko omalla pääomalla tai pitkäaikaisella vieraalla pääomalla. (Neilimo ym. 2002: 188.) Kuvassa 21 on esitelty investoinnin rahoitusvaihtoehdot.



Kuva 21. Investoinnin rahoitusvaihtoehdot (Neilimo ym. 2002: 188).

Investoinnin rahoitukset muodostuvat yleensä pääomarahoituksesta tai tulorahoituksesta. Kolmantena vaihtoehtona ovat mahdolliset avustukset, joilla investointeja on mahdollista tukea. Avustuksia ei tarvitse palauttaa, kun taas pääomarahoitus palaute-taan yrityksen toiminnan aikana rahoittajille. Tulorahoitus pysyy lopullisesti yrityksen käytössä eikä sitä tarvitse palauttaa kuten pääomarahoitusta. Pääomarahoitus jaetaan vieraaseen ja omaan pääomaan. Tyypillistä pääomarahoitukselle on rahoituksen tulemi-

nen yrityksen ulkopuolelta. Vieraalle pääomalle määritellään yleensä hinta ja takaisinmaksuaika. Vieras pääoma voidaan jakaa vielä lyhytaikaiseen ja pitkäaikaiseen. (Aho 1989: 77)

3.1.3 Investoinnin kannattavuustekijät

Investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat monet tekijät, ja niitä pyritään punnitsemaan tarkoin ennen kuin investointipäätöksiä ryhdytään tekemään. Investointien kannattavuutta voidaan mitata seuraavalla kuudella tekijällä (Haverila ym. 2005: 200, Tevä-Helminen 2013: 7, Jyrkkiö ym. 2000: 206–210.):

- hankintakustannus eli perusinvestointi,
- laskentakorkokanta,
- juoksevasti syntyvät tuotot,
- juoksevasti syntyvät kustannukset,
- investointiajanjakso tai pitoaika ja
- investoinnin jäännösarvo.

Perushankintakustannus on kustannus, joka sijoittuu lähimmäksi päätöksentekohetkeä, ja sen määrittämiseen liittyy vähemmän epävarmuutta kuin muihin investoinneista aiheutuviin kustannuksiin ja tuottoihin. Suurten investointien perushankintakustannuksien selvittämisessä niiden laajuus aiheutuu yleensä ongelmaksi, ja siitä syystä investoinneilla voi olla vaikutuksia joita ei huomata. Ongelmien välttämiseksi on olennaista laatia tarkastuslistoja, jottei tärkeitä asioita jäisi huomioimatta. (Haverila ym. 2005: 200.)

Laskentakorkokantaa käytetään investointivaihtoehtojen kannattavuuksien vertailemiseen. Käytettyä laskentakorkokantaa pidetään yleensä investoinnin tuottovaatimuksena, joka suunnitellun investoinnin tulee vähintään saavuttaa. Laskentakoron avulla pystytään eri ajankohtina toteutettavat suoritukset pitämään keskenään vertailukelpoisina. Vertailtavuus on tärkeää, koska usein investoinnin hankinnat tapahtuvat useana eri vuotena. (Haverila ym. 2005: 200.)

Laskentakorko ilmaisee rahanarvon muutoksen ajan kuluessa. Arvon vertaileminen suoritetaan diskonttaamalla tulevaisuuden rahamäärä sovitulla laskentakorkokannalla ny-

kypäivään. Diskonttaus on korkolaskentaan verrattuna käännteinen tapahtuma. Diskonttaustekijä x voidaan laskea yleisesti

$$x = \frac{1}{(1+r)^n}, \quad (1)$$

jossa r on käytetty laskentakorkokanta ja n on investoinnin arvioitu pitoaika. Diskonttauksen laskemisen helpottamiseen on olemassa myös valmiita diskonttaustaulukoita, joissa on valmiiksi laskettuna diskonttaustekijä. (Haverila ym. 2005: 201.)

Investoinneista syntyvää tulosta kutsutaan nettotuotoksi, joka saadaan laskettua vuodessa syntyvien tuottojen ja kustannuksien erotuksena. Nettotuotosta voi aiheutua kustannussäästöjä, mutta muodostuvien kustannuksien arviointiin joudutaan käyttämään markkinointiennusteita sekä mahdollisesti markkinointitutkimuksia. Arvioitaessa vuoden aikaisia kustannuksia arvioidaan yleensä tuottojen ennusteita, minkä jälkeen pystytään pääättelemään kustannukset. Investointi vaikuttaa muuttavasti moniin eri kustannuksiin, minkä takia eri kustannuslajien muutosten arviointi on usein aikaa vievää. Usein investointilaskelmia varten laaditaan erillisiä kustannusanalyysejä helpottamaan päätöksentekoa. (Haverila ym. 2005: 201, Jyrkkiö ym. 2000: 207–208.)

Investointijakso eli pitoaika kuvaa ajanjaksoa, jona investoinnista saatua hyötyä yrityksessä käytetään. Pitoajan pituuteen vaikuttavat sekä yrityksen sisäiset että ulkoiset tekijät. Pitoaikaan vaikuttaa myös paljon se, millaisesta investoinnista on kysymys. Investointijakson pituudeksi voidaan määritellä esimerkiksi uuden koneen investointi, missä aika on niin pitkä kuin kone on toimintakunnossa siihen tarkoitettu tehtävässä. (Haverila ym. 2005: 201, Neilimo ym. 2002: 195.)

Usein investoinnin pitoajaksi valitaan taloudellinen aika, jolloin markkinoille ilmestyy uutta, mikä vanhentaa edellisen investoinnin. Mahdollista on myös investoinnin pitoajan määräytyminen investoinnin avulla saatuihin tuotteisiin. Monesti investointien pitoajoissa turvaudutaan kokemuksiin, jotka perustuvat vanhoihin samantyyppisiin investointeihin muistaen arviointien sisältämä epävarmuus. (Haverila ym. 2005: 201, Jyrkkiö 2000:209.)

Investoinnin jäännösarvoksi kutsutaan myyntituloa, joka arvioidaan saatavan perusinvestoinnista investointijakson päättyessä. Useissa tapauksissa jäännösarvo voi olla nolla tai negatiivinen tarkoittaen, että on maksettava pääsemiseksi hyödykkeestä eroon. Jäännösarvon huomioiminen riippuu usein investointikohteen tyypistä, ja usein jäännösarvon vaikutus investoinnin edullisuuteen on melko pieni. Kaikissa tapauksessa jäännösarvoa ei huomioida, mutta käytettyjen hyödykkeiden markkinat esimerkiksi autoilla ovat laajat, jolloin jäännösarvolla on merkitystä. (Haverila ym. 2005: 202, Jyrkkiö 2000: 209.)

3.2 Investointilaskentamenetelmät ja niiden vertailu

Suunniteltujen investointien kannattavuus on riippuvainen toteutuvista kassavirroista suhteutettuna perusinvestointiin. Kannattavuuteen vaikuttavat edellisessä kappaleessa esitetyt tekijät: investoinnin hankintameno, investoinnin vuotuiset kassatulot ja -menot, investoinnin pitoaika ja laskentakorko, joka muodostuu investointiprojektin painotettuna keskimääräisenä pääoman kustannuksena. (Niskanen, J. & M, Niskanen 2000: 310.)

Kannattavuuden arvioimiseen on kehitetty erilaisia investointilaskentamenetelmiä, joiden avulla suunniteltuja investointeja arvioidaan (Knuper, S. & V. Puttonen. 2012: 103.). Investointilaskentamenetelmät pystytään jaottelemaan rahan aika-arvoon perustuen, toisissa laskentamenetelmissä se otetaan huomioon ja toisissa taas ei (Ikäheimo, S., T. Malmi & R. Walden: 207). Seuraavaksi käydään läpi neljä yleisimmin käytössä olevaa investointilaskentamenetelmää ja vertaillaan niiden tarkkuutta ja sopivuutta investointien arvioimisessa. (Knuper ym. 2012: 103)

Esitellyt investointilaskentamenetelmät ovat nettonykyarvomenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä, laskennallinen pääoman tuottoastemenetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä. Nettonykyarvonmenetelmä ja sisäisen korkokannan menetelmä huomioivat rahan aika-arvon, kun taas pääoman tuottoasteenmenetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä eivät huomioi rahan aika-arvoa. Investointilaskentamenetelmistä eniten Suomen ja muun maailman yrityksissä käytetään takaisinmaksuajan, sisäisen korkokannan ja nettonykyarvon laskentamenetelmiä. (Ikäheimo ym. 2012: 207.)

3.2.1 Nettonykyarvomenetelmä

Nettonykyarvomenetelmä (Net Present Value, NPV) laskee tulevien kassavirtojen nykyarvon tuottovaatimukselle diskonttaamalla, huomioimalla myös ensimmäisen vuoden kassavirran. Kassavirtojen nykyarvosta vähennetään investointikohteen vaatima alkuinvestointi. Nettonykyarvo lasketaan yhtälöstä:

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1-r)^1} + \dots + \frac{CF_n}{(1-r)^n} = CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

jossa NPV on investointikohteen nettonykyarvo, CF_t on vuoden t nettokassavirta ja r yritysten käyttämä tuottovaatimus. Investoinnin nettonykyarvo on positiivinen silloin, kun investoinnin tuotto on suurempaa kuin sijoittajien tuottovaatimus. Investoinnin tuottaessa vähemmän kuin sijoittajien tuottovaatimus on nettonykyarvo negatiivinen. (Knuper ym. 2012: 103.) Nettonykyarvomenetelmällä laskettu investointi kannattaa hyväksyä silloin, kun NPV on suurempi kuin nolla ja hylätä silloin kun NPV pienempi kuin nolla.

3.2.2 Sisäisen korkokannan menetelmä

Nykyarvomenetelmä antaa investoinnista rahamääräisen arvion, kun taas sisäisen korkokannan menetelmä (Internal Rate of Return, IRR) antaa arvion tuottoprosentteina. Investoinnin sisäinen korkokanta pystytään laskemaan yhtälöstä:

$$NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} = 0, \quad (3)$$

jossa NPV on investointikohteen nettonykyarvo, CF_t on vuoden t nettokassavirta ja r projektin sisäinen korkokanta NPV:n ollessa nolla. Sisäisen korkokannan menetelmän tarkoituksena on etsiä korkokanta, jolla investointi on juuri kannattava eli kun NPV on nolla. Investointi on sitä kannattavampi mitä suurempi on sisäisen korkokannan ja investoinnilta vaadittavan tuoton välinen positiivinen ero. (Knuper ym. 2012: 104–105.)

3.2.3 Pääoman tuottoastemenetelmä

Pääoman tuottoasteen (Return of Investment, ROI) laskentamenetelmästä on monia eri variaatioita, mutta perusteena on kuitenkin verrata investoinnin tuottamia kassavirtoja sen sitomaan pääomaan. Pääoman tuottoaste esitetään yhtälöllä:

$$\text{ROI} = \frac{\text{Keskimääräinen nettotulos vuodessa}}{\text{Investoitu pääoma}}. \quad (4)$$

Pääoman tuottoaste kasvaa luonnollisesti nimittäjän pienentyessä. Menetelmä ei huomioi ollenkaan rahan aika-arvoa. (Knuper ym. 2012: 106–107.) Pääoman tuottoastemenetelmä on melko yksinkertainen investointilaskentamenetelmä, mutta yleensä menetelmän käyttö antaa riittävät tulokset investoinnin arvioimiseen. Pääoman tuottoastemenetelmä on riippuvainen lähtöarvoista, ja mikäli arvot ovat epävarmoja, menetelmä antaa epävarman lopputuloksen. (Haverila ym. 2005: 205–206)

3.2.4 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuaika (Payback period) on investointilaskentamenetelmistä yksinkertaisin ilmoittaen investoinnin maksuajan vuosina. Takaisinmaksuajan perusteella investointi on sitä edullisempi mitä lyhempi takaisinmaksuaika on. Investoinnin takaisinmaksuaika on ajanjakso, jonka jälkeen kumulatiivinen kassavirta on nolla. (Knuper ym. 107–108.)

Yhtälön muodossa investoinnin takaisinmaksuajaksi vuosina voidaan kirjoittaa:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Alkuinvestointi}}{\text{Vuotuinen nettokassavirta}}. \quad (5)$$

Takaisinmaksuajan menetelmää käytetään monesti tukevana laskentamenetelmänä muiden investointimenetelmien kanssa. Takaisinmaksuajan menetelmän käyttöön liittyy myös ongelmia. Menetelmä ei huomioi investointien tuottovaatimuksia eikä eri kassavirtaerien syntyajankohtia. (Niskanen ym. 2000: 321, Ikäheimo ym: 2012: 208.). Kuten edellä pääoman tuottoasteen menetelmässä, niin myöskään takaisinmaksuajan menetelmässä ei huomioida rahan aika-arvoa, vaan kassavirrat summataan ilman diskonttaamista vertailukelpoisiksi. (Knuper ym. 2012: 107–108.)

3.2.5 Investointilaskentamenetelmien vertailu ja käyttö yrityksissä

Edellä esitettiin neljä yleisesti käytössä olevaa investointilaskentamenetelmää, joilla suunniteltujen investointien kannattavuutta on mahdollista arvioida. Taulukossa 5 on koottu yhteen esiteltyt investointilaskentamenetelmät ja vertailtu niitä keskenään. Vertailusta huomataan investointilaskennan olevan haastavampaa investointilaskentamenetelmillä, jotka huomioivat rahan aika-arvon.

Taulukko 5. Investointilaskentamenetelmien vertailua (Ikäheimo ym. 2012: 214).

Menetelmä	Laskeminen	Kassavirrat	Rahan aika-arvo	Yksikkö
Takaisinmaksuaika	Helppo	Korostaa lähitulevaisuutta	Ei huomioi	Vuosi
Laskennallinen pääoman tuotto	Helppo	Huomioi kaikki	Ei huomioi	Prosentti
Sisäinen korkokanta	Vaikeahko	Huomioi kaikki	Huomioi	Prosentti
Nykyarvo	Vaikeahko	Huomioi kaikki	Huomioi	Euro

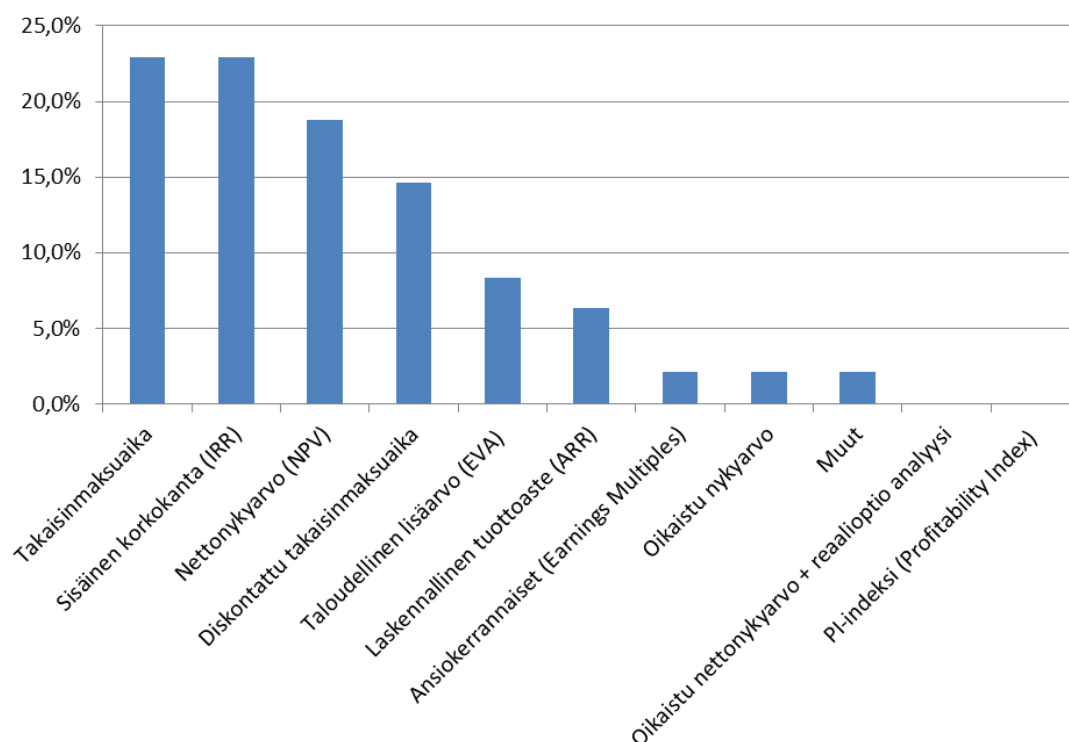
Neilimon & Uusi- Rauvan (2002: 201) mukaan sisäisen korkokannan ja takaisinmaksuajan menetelmät ovat eniten käytettyjä investointilaskentamenetelmiä ja yhdessä käytettynä ne tukevat toisiaan.

Investointilaskentamenetelmien käyttö yrityksissä on nykypäivänä päivittäistä, ja usein yritykset käyttävät rinnakkain useita investointilaskentamenetelmiä tehdessään suunnitelmia ja päätöksiä uusista investoinneista.

Yritysten investointilaskentamenetelmien käyttöä on tutkittu behavioristisilla tutkimuksilla, jotka on toteutettu yleisesti kyselytutkimuksilla. Investointilaskentamenetelmien käyttöä on tutkittu useasti sekä Suomessa että kansainvälisesti erityisesti Yhdysvalloissa ja Isossa-Britanniassa. (Knuper ym. 2012: 110.)

Tarkasteluissa viimeisimpänä kotimaisena tutkimuksena on Liljebloom E. & M, Vaihekosken (2004) kyselytutkimus, jossa tutkittiin Helsingin pörssiin julkisesti noteerattujen

suomalaisten yritysten investointilaskentamenetelmien käyttöä. Kyselytutkimus lähetettiin yhteensä 144 yhtiölle ja vastauksia saatiin 46 yritykseltä. Käytetyistä ensisijaisista investointilaskentamenetelmistä suosituimpia olivat takaisinmaksuaika ja sisäisen korkokannan menetelmä (Kuva 23).



Kuva 22. Ensisijaisten investointilaskentamenetelmien käyttö suomalaisissa pörssiyrityksissä (Liljebloom ym. 2004: 13).

Liljebloom & Vaihekoski (2004) vertailivat taulukon 6 mukaisesti suomalaisia tutkimuksia, jotka koskevat yritysten käyttämiä investointilaskentamenetelmiä niiden suunnitellussa investointeja. Lisäksi vertailuun otettiin mukaan kaksi ulkomaalaista tutkimusta 2000-luvulta. Suomalaisista tutkimuksista huomataan, että takaisinmaksuajan menetelmän käyttö investointilaskentamenetelmänä ei ole suuresti muuttunut. Yhdysvalloissa ja Ruotsissa takaisinmaksuajan menetelmää taas käytetään harvemmin kuin Suomessa. Liljebloomin ja Vaihekosken (2004) tutkimuksessa takaisinmaksuajan menetelmässä on laskettu yhteen yksinkertainen ja diskonttauskorollinen takaisinmaksuajan menetelmä. (Liljebloom ym 2004: 14.)

Taulukko 6. Investointilaskentamenetelmien käytön vertailua (Liljeblom, E. & M, Vaihekoski 2004:14).

Tutkimus	N (%)	Takaisinmaksuaika	IRR	NPV
Suomalaiset tutkimukset				
Liljeblom & Vaihekoski (2004)	46 (32 %)			
- ensisijainen menetelmä		38 %	23 %	19 %
- ensi- tai toissijainen menetelmä		97 %	44 %	52 %
Keloharju & Puttonen (1995)				
- liikevaihto yli 117 milj. €	36 (52 %)	83 %	64 %	33 %
- kaikki yhtiöt	104 (46 %)	87 %	48 %	25 %
Virtanen (1984)	46 (92 %)			
- ensisijainen menetelmä		30 %	58 %	3 %
- yleisesti käytetty		90 %	90 %	35 %
Honko & Virtanen (1975)				
- ensisijainen menetelmä	46 (92 %)	28 %	44 %	7 %
- yleisesti käytetty		99 %	72 %	37 %
Ulkomaalaiset tutkimukset				
Sandahl & Sjögren (2003), Ruotsi	129 (24 %)	78 %	23 %	52 %
Graham & Harvey (2001), USA	392 (9 %)	55 %	76 %	75 %

Liljeblomin & Vaihekosken (2004) tutkimustulosten suurimmat muutokset verrattuna muihin suomalaisiin tutkimuksiin ovat nettonykyarvomenetelmän lisääntyneessä käytössä. Vuonna 2004 tehdyn tutkimuksen perusteella noin viidesosa käyttää sitä ensisijaisena menetelmänä ja yli puolet ensi- tai toissijaisena menetelmänä. Hongon ja Virtasen (1975) tutkimuksessa nettonykyarvon laskentamenetelmä oli ensisijaisesti käytössä vain seitsemässä prosentissa yrityksistä ja Virtasen (1984) tutkimuksessa vain kolmessa prosentissa yrityksistä. Keloharjun ja Puttonen (1995) tutkimuksessa nettonykyarvon menetelmää suurissa yrityksissä hyödynsi 33 %, kun vastaava prosentti Liljeblomin & Vaihekosken (2004) tutkimuksessa oli 52 %. (Liljeblom ym 2004: 14.)

Sisäisen korkokannan menetelmän käyttö on puolestaan vuosien kuluessa vähentynyt. Liljeblomin & Vaihekosken (2004) mukaan syynä vähentymiseen on nettonykyarvon lisääntynyt käyttö, joka on korvannut sisäisen korkokannan menetelmän käyttöä. Ulko- maisista tutkimuksista Grahanin & Harveyn (2001) mukaan sisäistä korkokantaa käytetään enemmän kuin nettonykyarvoa. Sandahlin & Sjögrenin (2004) tutkimuksen mukaan Ruotsissa taas sisäistä korkokannan menetelmää sovelletaan 23 %:ssa yrityksistä. Luku on samaa luokkaa kuin suomalaisten yritysten ensisijaisen menetelmän käytössä vuoden 2004 tutkimuksessa. (Liljebloom ym 2004: 14.)

3.2.6 Riskitekijöiden huomioiminen investointilaskelmissa

Investointilaskelmien tekemiseen sisältyy aina riskitekijöitä, ja koskaan ei voida ennustaa, miten tulevaisuuden kassavirrat tarkalleen muodostuvat. Riskien eli epävarmuuksien analysointiin investoinneissa on kehitetty erilaisia työkaluja.

Herkkyysanalyysi on yksinkertainen keino arvioida investointiin liittyviä riskejä. Herkkyysanalyysin tarkoituksena on tutkia nykyarvon muutoksen vaikutuksia tulevaisuuden tuottoihin ja kustannuksiin. Analysointi auttaa yleensä löytämään ne tekijät, jotka vaikuttavat eniten investoinnin kannattavuuteen. (Knüper ym. 2012: 115.)

Herkkyysanalyysissä lasketaan investoinnin nykyarvoa erilaisilla kassavirta-arvoilla. Investoinnin nykyarvon muuttuessa negatiiviseksi esimerkiksi myynnin pudotuksesta, yrityksen kannattaa panostaa myyntiin suunniteltua enemmän. Toisaalta herkkyysanalyysi voi osoittaa investoinnin kannattavuuden olevan suhteellisen riippumaton jostain kustannuserästä, esimerkiksi energiakustannuksista, jolloin niiden kustannuksia ei ole tarpeen analysoida. (Knüper ym. 2012: 115.)

Toinen tekniikka investointien epävarmuuksien arvioimiseen on todennäköisyysmenetelmä, jolla lasketaan investoinnin nykyarvon odotusarvo erilaisilla todennäköisyyksillä erilaisille tuleville tulevaisuudessa. Todennäköisyysmenetelmässä lasketaan investoinnin tarkka nykyarvo huomioiden epävarmuustekijät. Huonona puolena todennäköisyysmenetelmässä on se, että todennäköisyydet ovat vain subjektiivisia arvioita tulevaisuudesta. (Knüper ym. 2012: 115–116.)

Kolmantena tekniikkana investoinnin riski voidaan huomioida jo tuottovaatimuksessa. Mitä suuremmaksi hankkeen riski kasvaa sitä suurempaa tuottovaatimusta sijoittajat investoinnilta vaativat. Tuottovaatimuksen suuruus määräytyy yrityksen arvioiman tarvittavan riskipreemion perusteella, joka lisätään riskittömään korkoon. Riskin huomioimisen tekniikan vahvuus on siinä, että se huomioi jo suunnitteluvaiheessa sijoittajan tuottovaatimuksen. Listaamattomille yrityksille sijoittajien tuottovaatimuksen arvioiminen on hankalaa. (Knüper ym. 2012: 116.)

Usein suuri puute investointien suunnittelussa ja toteutuksessa on jälkiseurannan puutteellisuus, jolloin tarvittavia korjauksia ei tehdä. Jälkiseurannan tarkoituksena on seurata, miten investointilaskelmien tulokset ovat toteutuneet. Neilimo ja Uusi-Rauva (2002) ovat koonneet tärkeitä kysymyksiä, joihin saadaan jälkiseurannan avulla vastauksia:

- Tuliko yllättäviä kustannuksia?
- Onko investointi kannattava?
- Missä kohdin laskelmien perusolettamukset pettivät?
- Muuttuivatko ulkoiset olosuhteet?
- Mitkä syyt selittävät virheitä?

Jälkiseurannan tehtävänä ei ole syyllistää ketään vaan antaa oppia tulevaisuutta varten. Tieto takaa tulevaisuudessa tarkemmat laskelmat päätöksenteon tueksi ja näin yllätyksiä pystytään paremmin ennakoimaan. (Neilimo ym. 2002: 202–203.)

4 KUORMITUSVASTUSTEN UUDISTAMISVAIHTOEHDOT

Kuormitusvastuksien uudistaminen täysin uudella ratkaisulla tai samantapaisella vaihtoehdolla on rahamäärältään suuri investointi. Tulevalle investoinnille tulee kartoittaa mahdolliset vaihtoehdot sekä niihin vaikuttavat reunaehdot ja vaatimukset yksityiskohtaisesti. Yksityiskohtaiset reunaehdot ja vaatimukset helpottavat investoinnin suunnittelua ja vähentävät epävarmuuksia investointeja arvioidessa. Tehdyt suunnitelmat helpottavat myös työn valvontaa ja etenemistä.

4.1 Uudistamisen reunaehdot ja vaatimukset

Lähtökohtaisesti kuormitusvastusten uudistaminen on suoraviivainen investointiprosessi, joka kulkee teoriaosuudessa esitetyn investoinnin suunnittelun mukaisesti. Uudistaminen tarvitaan takaamaan koeajoissa luotettava testaaminen sekä riittävä testauskapasiteetti testata moottorivoimalaitoksia ruuhka-aikana ja erikoiskuormilla.

Kuormitusvastuksien uudistamiseen vaikuttavat monet tekijät. Kyseiset tekijät muodostavat reunaehdot ja vaatimukset kuormitusvastusten investoinnin suunnittelulle. Reunaehdot ovat tekijöitä, joihin ei ole mahdollista vaikuttaa vaan vaihtoehtojen pitää soveltua reunaehtoihin. Kuormitusvastuksien uudistamiseen vaikuttavat reunaehdot ovat taulukossa 7.

Taulukko 7. Kuormitusvastusten uudistamisen reunaehdot.

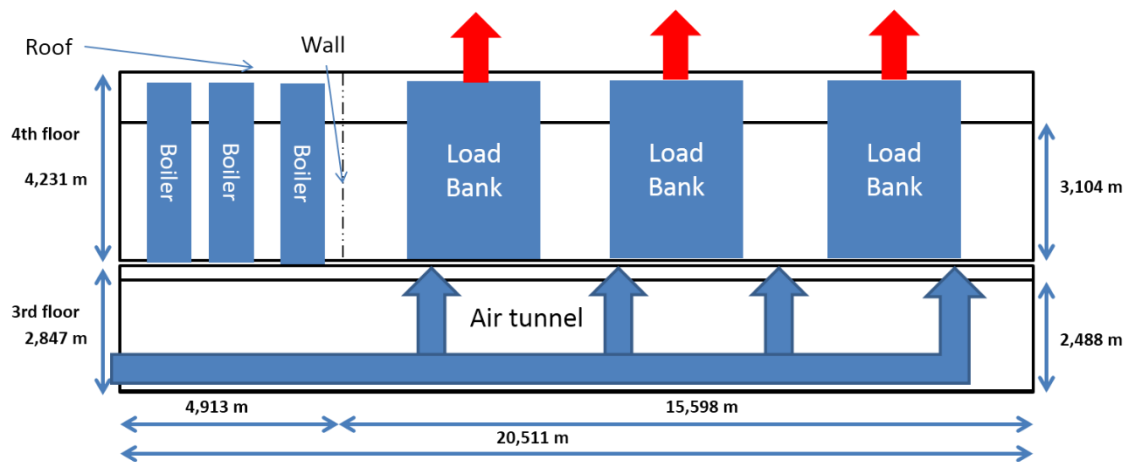
Reunaehto	Rajoitukset
Tekninen tila	Uusien kuormitusvastusten on mahdollista olemassa olevaan tekniseen tilaan ja saatava riittävä jäähdytysilma.
Verkkoliittymä	Käytössä oleva 35 MW:n 20 kV:n liittymä rajoittaa verkkoon ajettavaa sähköenergiaa, mikä estää investoimisen energiatehokkaampaan ratkaisuun, esimerkiksi kolmanteen verkkovaihtosuuntaajaan.

Reunaehtojen lisäksi kuormitusvastusten uudistamiseen vaikuttavat Wärtsilän vaatimukset kuormitusvastusten ominaisuuksista:

- Kuormitusresoluutio, 5 kW
- Kuormituskapasiteetti, vähintään 15,85 MW yhdessä lämpökattiloiden kanssa
- Jännitetaso, soveltuva 21 kV:n tasolle suoraan tai sovitusmuuntajan kautta
- Ohjausjärjestelmä, soveltuva moottoritehtaan automaatiojärjestelmään
- Melutaso, mahdollisimman alhainen melutaso
- Suojausluokitus, takaamaan turvallinen käyttö
- Standardit, tuotteiden laadunvarmistus.

Uusien kuormitusvastuksien reunaehdot ja tekniset vaatimukset perustuivat nykyisen teknisen tilan mittoihin, tulevaisuuden moottoreiden tuottaman tehon tarpeeseen, verkkoliitännän suuruuteen ja koeajoissa ajettaviin testeihin sekä ympäristövaatimuksiin. Lisäksi otettiin huomioon lämmityskattiloiden tuottaman kuumen veden hyödyntäminen, koska kuormitusvastukset ja lämmityskattilat ovat yhtenäistä testauslaitteistoa.

Kuormitusvastusten tekninen tila koostuu kahdesta kerroksesta kuvan 23 mukaisesti. Kuormitusvastuspaketit ja lämpökattilat sijaitsevat ylemmässä kerroksessa ja alempi kerros toimii vastuspakettien jäähdytysilman tunnelina. Nykyiset kuvassa 24 esitetyt kuormitusvastukset ovat Lovalin valmistamia pienjännitevastuksia 1970-luvulta. Vastuspaketteja on yhteensä kolme, ja niiden yhteinen teoreettinen kuormituskapasiteetti on 8,5 MW. Samassa kerroksessa kuormitusvastusten kanssa on kolme lämpökattilaa, joiden yhteinen kuormituskapasiteetti on 7,5 MW. Todellisuudessa kokonaiskuormituskapasiteetti on 12,5 MW, koska kuormitusvastusten vastuskapasiteetti ei enää vastaa alku-
peräistä kuormitettavuutta.



Kuva 23. Kuormitusvastusten teknisen tilan havainnekuva mitoituksineen.



Kuva 24. Nykyään käytössä olevat kuormitusvastukset ja rikkiäinen vastuselementti.

4.2 Mahdolliset vaihtoehdot

Kuormitusvastukset olisi ollut mahdollista uusia täysin uudella ja energiatehokkaammalla ratkaisulla. Yhtenä vaihtoehtona olisi voinut olla investoida kolmanteen verkkovaihtosuuntaajaan, jolloin kaikki koeajoissa tuotettu energia olisi hyödynnetty ja ajettu verkkoon. Ongelmaksi kolmannen verkkovaihtosuuntaajan investoinnissa tulisi reunaehdoissa esitetty tehdasalueen käytössä olevan sähköverkon liitynnän 35 MW:n kapasiteetti, joka ei riittäisi yhteiskäyttöön tehdasalueen koeajojen ja moottorilaboratorion kanssa. Moottorilaboratoriossa hyödynnetään myös testaamisessa moottorilaboratorion omia kuormitusvastuksia verkkoon ajamisen lisäksi.

Mikäli nykyiseen tuotantokapasiteettiin lisättäisiin vielä kolmas 13 MW:n verkkovaihtosuuntaaja, käytössä oleva 35 MW:n verkkokapasiteetti ylittyisi. Pelkästään kolmen verkkovaihtosuuntaajan yhteinen kapasiteetti olisi jo 39 MW riippumatta moottorilaboratorion tuotantokapasiteetista.

Verkkoliitännän kapasiteetin suurentaminen olisi suunnitteluiltaan ja kustannuksiltaan todella suuri operaatio, minkä vuoksi diplomityössä päädyttiin selvittämään vaihtoehtoja ja ratkaisuja uudistaa vanhat kuormitusvastukset uudella kuormitusvastusratkaisulla. Ratkaisuja kuormitusvastusten uudistamisvaihtoehtoiksi oli useita, ja alustavat suunnitelmat muuttuivat diplomityön edetessä. Vaihtoehtojen tarkastelussa lähdettiin liikkeelle edellisessä kappaleessa 4.1 esitettyjen reunaehtojen ja vaatimusten määrittämisellä. Määrittämisen jälkeen tutustuttiin Wärtsilässä jo tehtyihin samantapaisiin projekteihin, joita oli toteutettu eri puolilla maailmaa.

Tutustuminen jo tehtyihin projekteihin antoi hyvin tietoa ja esimerkkejä siitä, mitkä voisivat olla mahdollisia vaihtoehtoja uudistaa koeajoissa käytössä olevat kuormitusvastukset. Kuormitusvastusten uudistamisen lisäksi tuli pohtia testauslaitteistossa olevien lämmityskattiloiden tuottaman lämpimän veden hyödyntämisvaihtoehtoja tehdasalueen kiinteistöjen jäähdyttämiseen.

Työn tarkoituksena on selvittää ja vertailla vaihtoehtoja uusia 8,5 MW:n loppuun kulutetut kuormitusvastukset. Mahdolliset ratkaisut kysyttiin kuormitusvastustoimittajilta

perustuen tulevaisuudessa kasvavaan kuormitustehon tarpeeseen, jolloin myös mahdollisesti olemassa olevat lämmityskattilat korvattaisiin kuormitusvastuspaketeilla. Saaduista tarjouksista rakennettiin vaihtoehdot, joilla korvattaisiin pelkästään kuormitusvastukset.

Tarkasteluissa lähdettiin liikkeelle selvittämällä mahdollisia kuormitusvastustoimittajia ja niiden tarjoamia ratkaisuja. Selvittelyn jälkeen alkoi haastavin osuus eli sellaisten ratkaisujen löytäminen, jotka soveltuisivat reunaehtoihin ja vaatimuksiin. Monilla toimittajilla oli laaja tuotevalikoima ja useita eri vaihtoehtoja uusien kuormitusvastustekijöiden osalta.

Ensimmäiseksi ongelmaksi muodostui vaatimus löytää kuormitusvastuspaketit suoraan sopivaksi 21 kV:n keskijännitteelle, jolloin olisi ollut mahdollista kytkeä vastuspaketit ilman sovitusmuuntajia. Useat toimittajat tarjosivat mahdollista ratkaisua keskijännitteillä, mutta todellisuudessa toimittajat tarjosivat sovitusmuuntajaa ja pienjännitevastuspaketteja. Keskijännitteelle tehtyjen kuormitusvastustekijöiden kuormitusresoluutio kasvaa suuremmilla jännitteillä, minkä vuoksi yleinen ratkaisu on toteuttaa vastuspaketit pienjännitteellä.

Suurimmaksi ongelmaksi muodostui kuormitusvastustekijöiden teknisen tilan ahtaus. Monet ratkaisut perustuivat konttiratkaisuihin, joissa kaikki kuormitusvastustekijöiden laitteistot oli sijoitettuna erikokoisiin merikontteihin riippuen vastuspakettien tehokapasiteetista. Useat toimittajat tarjosivat myös konttiin asennettua sovitusmuuntajaa vastuspakettien viereen.

Tilaongelman lisäksi useat toimittajat tarjosivat vaihtoehdoksi ainoastaan pienjännitteelle valmistettuja kuormitusvastuspaketteja ja eivät ollenkaan sovitusmuuntajia.

Kohdattujen ongelmien takia useat tarjotuista ratkaisuista perustuvat pienjännitteelle suunniteltujen kuormitusvastustekijöiden ja erillisten sovitusmuuntajien käyttämiseen. Erilliset kuormitusvastukset ja sovitusmuuntajat soveltuvat parhaiten korvaamaan vanhat laitteistot ilman suurempia rakenteellisia muutoksia kuormitusvastustekijöiden tekniseen tilaan.

Yhteensä tässä työssä tarkasteltiin viiden eri toimittajan vaihtoehtoja toteuttaa kuormitusvastustekijöiden uusiminen. Ensiksi esitellään tarkastellut vaihtoehdot ja lopuksi vertaillaan

vaihtoehtoja teknisesti ja taloudellisesti. Tarjouksissa kuormitusvastusten kustannukset on selvitetty mahdollisilta kuormitusvastustoimittajilta erikseen, ja kuivamuuntajan kustannukset perustuvat saatuun muuntajatarjoukseen. Investointikustannukset pienjännitteiselle kiskosillalle ja keskijännitekaapeleille arvioitiin jokaiselle vaihtoehdolle erikseen. Laskelmissa hyödynnettiin verkkovaihtosuuntaajille tehtyä kustannuslaskelmaa, josta saatiin tarvittavat kustannusarviot kiskosilloille ja kaapeleille. Arviot rakenteellisista muutostöistä ja materiaaleista saatiin rakennusalan ammattilaiselta.

Eri toimittajien kuormitusvastuksien kuormituskapasiteetit vaihtelevat 9 MW:sta aina 10 MW:iin asti, ja jännitetasot vaihtelivat myös toimittajien tarjoamien ratkaisujen välillä. Useimmilla toimittajilla kuormitusvastusten jännitetaso oli suunniteltu 690 V:lla. Kaikki tutkitut vaihtoehdot perustuivat pienjännitteisiin kuormitusvastuspaketteihin ja erillisten sovitustuuntajien käyttöön. Kaikki kuormitusvastusvaihtoehdot on valmistettu ISO 9001 -laatustandardin vaatimusten mukaisesti.

4.3 Pienjännitekuormitusvastusratkaisu ja sovitustuuntaja

4.3.1 Vaihtoehto A

Vaihtoehto A kuormitusvastusten uudistamiseen perustui Vaasan tehdasalueen moottorilaboratorion kuormitusvastusten uudistamissuunnitelmaan, josta muodostettiin vaihtoehto uudistaa koeajojen kuormitusvastukset. Moottorilaboratorion suunnitelmassa kuormitusvastukset ja niiden ohjauskomponentit uusittaisiin kyseisellä ratkaisulla. Moottorilaboratoriossa oleva ohjausjärjestelmä ja aksiaalipuhaltimet pidettäisiin ennallaan.

Moottorilaboratorion ratkaisu sisältää neljä kuormitusvastusyksikköä, jotka koostuvat 126 kappaleesta 120 kW:n vastuksia. Neljästä vastuksesta oli muodostettu 480 kW:n paketteja. Vastuspaketit olisi jaoteltuna kahteen 3,840 MW:n yksikköön ja kahteen 3,8325 MW:n yksikköön. 2,840 MW:n yksiköitä ohjattaisiin kahdeksalla kontaktorilla ja 3,8325 MW:n yksiköitä seitsemällä kontaktorilla sekä yhtä 480 kW:n vastuspakettia portaattomalla tyristorisäätimellä. Kuormitusvastusyksiköt on suunniteltu 690 V:n jän-

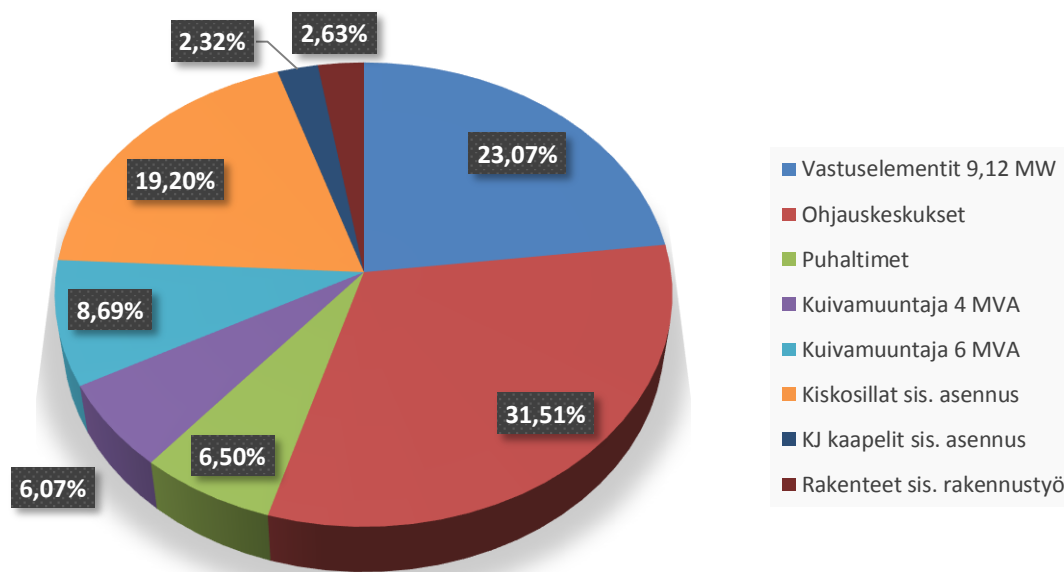
nitetasolle. Ohjausyksiköt rakennettaisiin neljästä eri kaapistosta. Yksi olisi pääkaapisto, kaksi kaapistoa kontaktorien ohjaukseen ja yksi kaapisto tyristoriohjaukseen.

Moottoritehtaan koeajon tekniseen tilaan sopivaksi ratkaisua muokattiin siten, että se koostuisi kolmesta kuormitusvastusyksiköstä, joiden yhteinen kuormituskapasiteetti olisi yhteensä 9,120 MW. Kahden yksikön kapasiteetti olisi 2,880 MW ja kolmannen 3,360 MW sisältäen yhden 480 kW:n pakettin, jota ohjattaisiin portaattomalla tyristorisäädöllä. Muita 480 kW:n vastuspaketteja ohjattaisiin kontakteilla, joita olisi jokaisessa yksikössä kuusi kappaletta. Vastuselementtien lisäksi kokonaisratkaisuun tarvittaisiin kuusi aksiaalipuhallinta jäähdyttämiseen sekä ohjausjärjestelmä kontaktorien ohjaukseen.

Kuormitusvastusyksiköt sijoitettaisiin teknisen tilan keskelle, liitteessä 2 olevan A vaihtoehdon layout-suunnitelman mukaisesti. Tarvittavat sovitustuunajat tulattaisiin sijoittamaan eri tilaan.

Tutkitussa vaihtoehdossa ei ole selvitetty kustannuksia ohjausjärjestelmän toteuttamiseen, vaan on keskitytty selvittämään kuormitusvastusratkaisua ilman ohjausjärjestelmää. Tarjotut vastusyksiköt soveltuvat hyvin suomalaiseen ilmastoon, sillä ne toimivat $-50\text{ °C} \dots +50\text{ °C}$ välillä. Vaihtoehtoon soveltuvan yhden puhaltimen tuottama melutaso on 102,6 dB(A), metrin etäisyydeltä. Suojausluokitukseltaan puhaltimet ovat IP55-tasoisia eli suojattuja pölyltä ja vesisuihkulta joka suunnasta.

Tarjottuun uudistamisvaihtoehtoon tarvitaan lisäksi sopivat 21/0,69 kV:n sovitustuunajat. Ensimmäisen vaihtoehdon investointikustannusten muodostuminen on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Vaihtoehdon A investointikustannusten muodostuminen.

Tarjottu vaihtoehto on vain yksi esimerkki toimittajan tarjoamista kuormitusvastuspaketeista ja niiden ohjauksesta. Etuna yrityksen tarjoamissa ratkaisuisa on mahdollisuus räätälöidä vastusyksiköitä juuri asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Heikkoutena muihin kuormitusvastuksien tarjoajiin nähden on toimittajan puute tarjota kokonaisratkaisuja sisältäen kaikki kuormitusvastuksista niiden ohjausjärjestelmään.

4.3.2 Vaihtoehto B

Vaihtoehto B uusiksi kuormitusvastuksiksi sisältäisi neljä 2,3 MW:n 10 jalan merikonttia, joilla saavutettaisiin yhteensä 9,2 MW:n kuormituskapasiteetti. 9,2 MW:n kuormituskapasiteetti täyttäisi yhdessä lämmityskattiloiden kanssa tulevaisuudessa vaaditun 15,85 MW:n kuormituksen. Kuormitusvastuskontit on suunniteltu 690 V:n jännitteelle.

Merikontteihin on rakennettuna resistiiviset kuormituspaketit, jotka sisältävät suojaus-, ohjaus- ja jäähdytysjärjestelmät. Tarvittava kuormitusvastusten jäähdytys on toteutettu tuulettimilla. Kuormitusvastuskontit kytketään toisiinsa verkkokaapeleiden kautta, jolloin jokaista konttia voidaan käyttää ja ohjata yhdessä tai yksittäin. Toimittajan tarjoa-

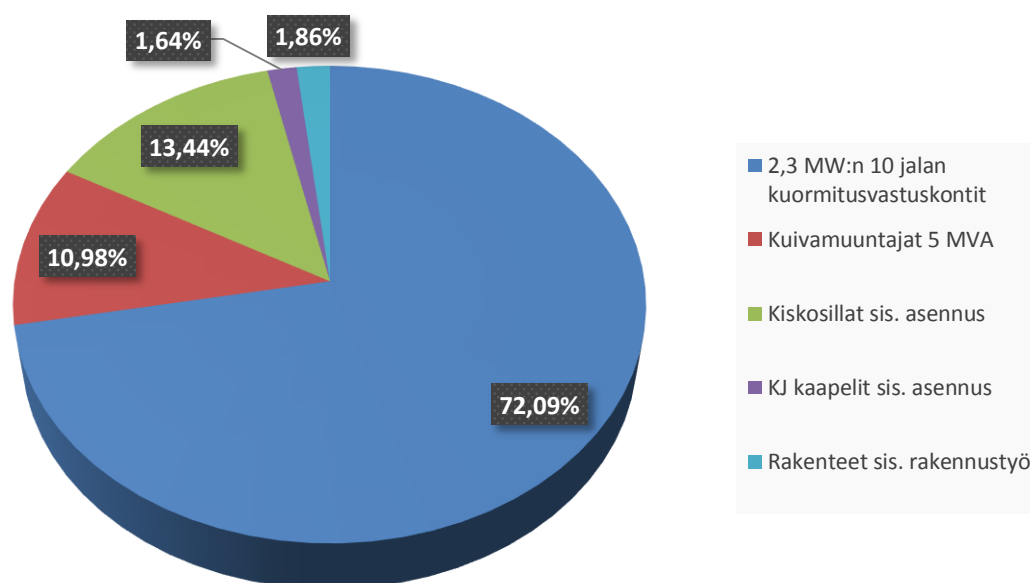
ma ohjausjärjestelmä on myös mahdollista yhdistää suoraan moottoritehtaan Profinet-automaatiojärjestelmään.

Merikonttiratkaisussa hyvänä puolena on kaikkien komponenttien sisältyminen yhteen konttiin. Etuna on myös mahdollisuus asentaa kontit joko ulko- tai sisätiloihin. Kuormitusvastusten kuormitusresoluutio on 1 kW, mikä mahdollistaa tarkan kuormituksen jokaisella kuormalla ja soveltuvuuden koeajoissa tehtäviin moottorivoimalaitosten kuormituksiin. Neljä 10 jalan vastuskonttia sijoitetaan kuormitusvastusten teknisen tilan keskelle peräkkäin. Ne on asennettava osittain ulkoilmaan tarvittavan jäähdytysilman takaamiseksi. Liitteessä 2 on B-vaihtoehdon layout-suunnitelma.

Ympäristöolosuhteiden osalta kuormitusvastukset toimivat $-25\text{ °C} \dots +40\text{ °C}$ välillä, ja vastuskontin tuottama melutaso on noin 95 dB(A) yhden metrin etäisyydellä. Suojausluokituksiltaan kuormitusvastuskonttien tuulettimet ja vastuselementit on suojattu kosketussuojalla IP 20 -luokan mukaisesti. Ohjauskeskus on suojattu pölyltä ja vesiroiskeilta IP 54 -luokituksen mukaan.

B-vaihtoehdokaan ei sisällä sovitusmuuntajia vaan pelkästään pienjännitetason kuormitusvastuspaketit sisältäen kaikki tarvittavat komponentit. Kuormitusvastuskonttien lisäksi tarvitaan vähintään kaksi 5 MVA:n 21/0,69 kV kuivamuuntajaa. Kuvassa 26 on esitetty toisen vaihtoehdon investointikustannusten muodostuminen.

Neljästä kuormitusvastuskontista koostuva vaihtoehto B täyttää kaikki kuormitusvastuksille määritetyt vaatimukset ja on mahdollista sijoittaa olemassa olevaan tekniseen tilaan ilman suurempia rakenteellisia muutoksia. Etuna toisessa vaihtoehdossa on myös mahdollisuus yhdistää kuormitusvastusten ohjausjärjestelmä suoraan moottoritehtaan automaatiojärjestelmään.



Kuva 26. Vaihtoehdon B investointikustannusten muodostuminen.

4.3.3 Vaihtoehto C

Vaihtoehdon C toimittaja tarjoaa vain pienjännitteelle räätälöityjä kuormitusvastusratkaisuja. Tarjotut kuormitusvastuskaapit ovat käyttövalmiita sisältäen kaiken tarvittavan. Kuormitusvastuskaapit sisältävät vastuselementit, ohjaus- ja suojauslaitteistot, tuulettimet ja ohjausjärjestelmän. Kuormitusvastuskaappien standardi jännitetaso on 400 V, mutta kuormitusvastuskaappeja on myös mahdollista saada 480 V:n jännitteellä.

Vaihtoehto C sisältäisi yhteensä neljä kapasiteetiltaan 2,5 MW:n kuormitusvastuskaappia, joiden yhteinen kuormituskapasiteetti olisi 10 MW. Toimittaja tarjoaa vain valmiita kuormitusvastuskaappeja ja rakentaa vaadittavan kuormitustehotarpeen kytkemällä useita kuormitusvastuspaketteja yhteen. Liitteessä 2 on vaihtoehdon C layout-suunnitelma.

Vaihtoehdon C kuormitusvastuskaapin kuormitusresoluutio olisi 5 kW, joka on sopiva Wärtsilän vaatimuksiin ja mahdollistaa riittävän tarkkuuden moottorivoimalaitosten kuormittamiseen.

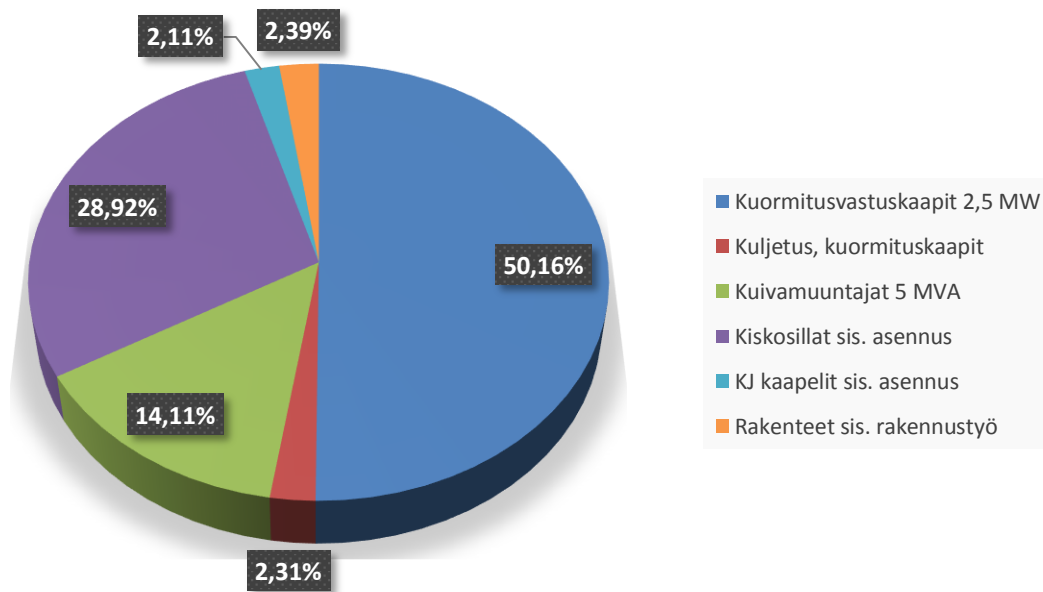
Kuormitusvastukset sisältävät kaikki tarvittavat komponentit toimiakseen ja ovat lähes heti käyttövalmiina. Kuormitusvastusten jäähditys on toteutettu tuulettimilla. Ympäristöolosuhteiden osalta kuormitusvastukset toimivat $-30\text{ °C} \dots +45\text{ °C}$ välillä. Kuormitusvastuskaapin melutaso on 93,5 dB(A), metrin etäisyydeltä mitattuna.

Kuormitusvastuskaapeissa on kolmea eri suojausluokitusta. Vastuselementit on suojattu IP 65:n mukaan pölytiivisti siten, että ne kestävät vesisuihkun. Ohjauskeskus on IP 54:n mukaan suojattuna pölyä ja vesiroiskeita vastaan. Tuulettimien moottorit on suojattu IP 55:n mukaan pölyltä ja vesisuihkuilta joka suunnasta.

Kuormitusvastuskaappeja on mahdollista ohjata Modbus-protokollan avulla. Modbus-protokollan yhdistäminen moottoritehtaan Profinet-automaatiojärjestelmään on mahdollista eri toimittajien tarjoamien väylämuuntimien avulla.

Vaihtoehto C sisältää pienjännitetaso kuormitusvastuspaketit sisältäen kaikki tarvittavat komponentit. Vastuskaappien lisäksi tarvittaisiin kaksi 5 MVA:n 21/0,400 kV kuivamuuntajaa. Vaihtoehdon C investointikustannusten muodostuminen on esitetty kuvassa 27.

Neljästä kuormitusvastuskaapista rakentuva vaihtoehto on myös kokonaisratkaisu, joka sisältää kaiken tarpeellisen kuormitusvastusten käyttämiseen. Erona muihin vaihtoehtoihin vaihtoehdossa C kuormitusvastusten nimellinen jännitetaso on 400 V.



Kuva 27. Vaihtoehdon C investointikustannusten muodostuminen.

4.3.4 Vaihtoehto D

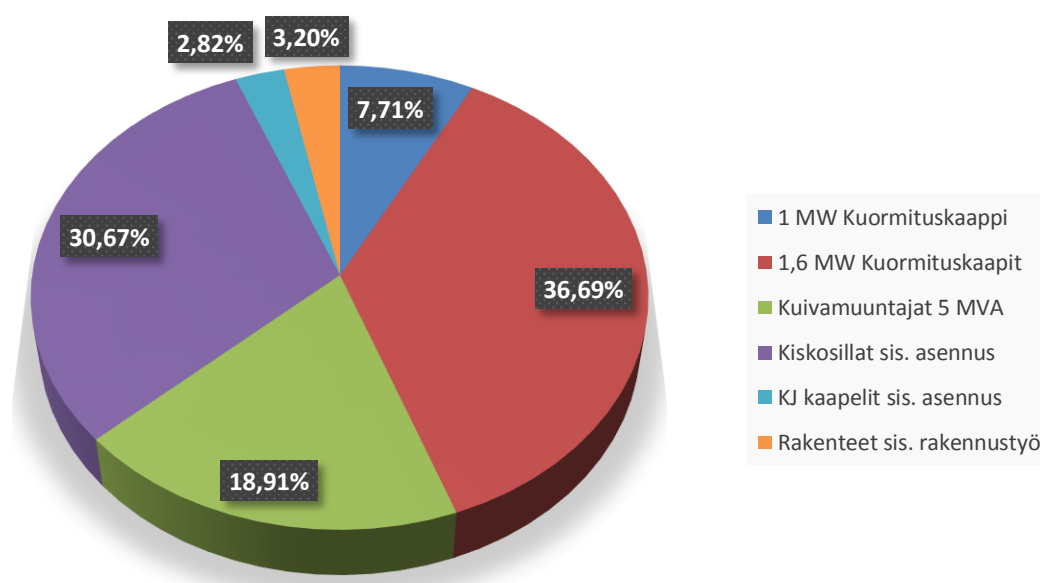
Vaihtoehto D sisältäisi myös 690 V:n pienjännitteelle suunniteltuja kuormitusvastuskaappeja. Vaihtoehdossa olisi yhteensä kuusi kuormitusvastuskaappia, joista yksi olisi 1 MW:n ja viisi 1,6 MW:n kuormitusvastuskaappia. 1 MW:n kuormitusvastuskaapin kuormitusresoluutio olisi 5 kW ja 1,6 MW:n kuormitusresoluutio olisi 200 kW. Liitteessä 2 on vaihtoehdon D layout-suunnitelma.

Kuormitusvastusten kuormitusaskelmien ohjaaminen on toteutettu kontaktoreilla, kuten muidenkin vaihtoehtojen. Kontaktoreita olisi mahdollista ohjata PLC:n avulla, mutta toimittajan tarjous ei sisällä ohjausjärjestelmää kuormitusvastuksien ohjaamiseen.

Kuormitusvastukset on varustettu pakotetulla jäähdytyksellä, joka takaa kuormitusvastuksille vaadittavan jäähdytyksen. Kuormitusvastukset on suunniteltu ulkokäyttöön ja ne toimivat -30 °C ... +40 °C välillä.

Melutasoltaan vaihtoehdon D kuormitusvastukset tuottavat 96 dB(A) melun, yhden metrin etäisyydeltä mitattuna. Suojausluokitukseltaan kuormitusvastusten laitteistot on suojattu IP 54 -luokan mukaisesti pölyltä kestäen vesiroiskeita ja vastuselementit IP 22 -luokan mukaisesti keskikokoisia kappaleita ja ylhäältä tulevaa vettä vastaan.

Kuormitusvastusten lisäksi on investoitava myös kahteen 5 MVA:n 21/0,69 kV:n sovitusmuuntajaan, kuten edellisissäkin vaihtoehdoissa. Vaihtoehdon D investointikustannusten muodostuminen on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Vaihtoehdon D investointikustannusten muodostuminen.

Kuudesta kuormitusvastuskaapista rakentuva vaihtoehto D on myös soveltuva korvaamaan vanhat kuormitusvastukset. Kuormitusvastuskaapit sisältävät kaikki tarvittavat komponentit ja ovat toimintavalmiita. Vaihtoehdon huonona puolena on ohjausjärjestelmän puuttuminen.

4.3.5 Vaihtoehto E

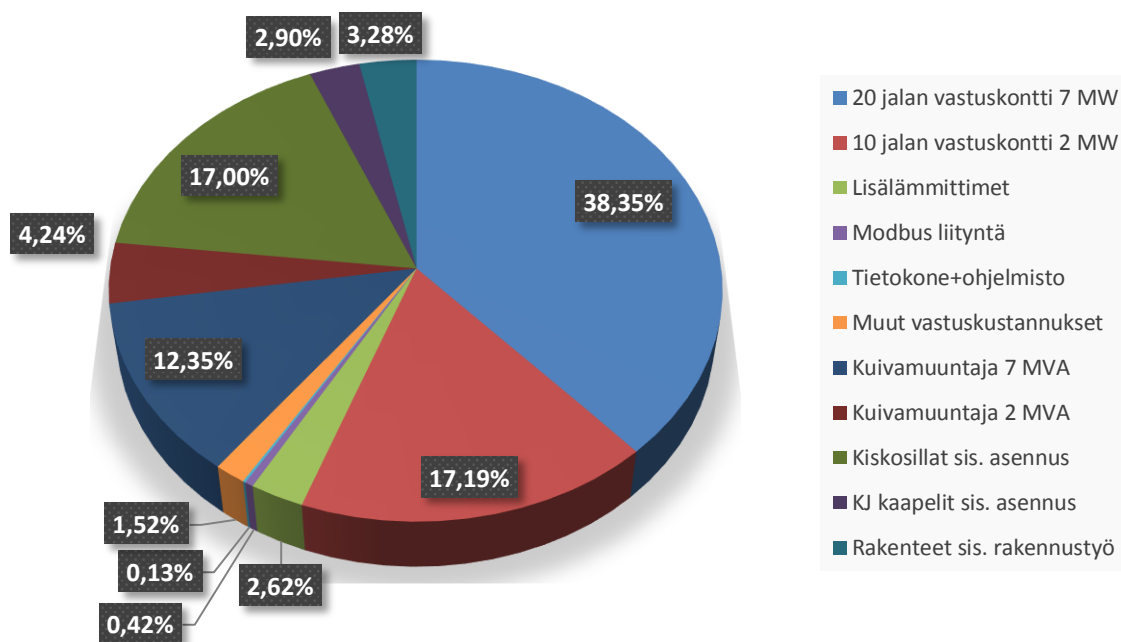
Vaihtoehdon E toimittaja tarjoaisi kompaktin ratkaisun huomioiden hyvin kuormitusvastusten teknisen tilan ahtauden. Tarjotussa vaihtoehdossa 690 V:n kuormitusvastukset

ja muuntajat sijoitettaisiin erilleen, kuten kaikissa edellisissäkin vaihtoehdoissa. Kuormitusvastukset koostuisivat yhdestä 7 MW:n 20 jalan vastuskontista ja yhdestä 2 MW:n 10 jalan vastuskontista tuottaen yhdessä 9 MW:n kuormituskapasiteetin. Sovitusmuuntajien sijoittaminen eri tilaan mahdollistaisi kuormitusvastuksille tarvittavan tilan ja optimaalisimman jäähdytysilman saatavuuden. Liitteessä 2 on vaihtoehdon E layout-suunnitelma.

Teknisiltä ominaisuuksiltaan kuormitusvastukset soveltuvat hyvin Wärtsilän käyttötarkoituksiin. Viidennen vaihtoehdon kuormitusvastuskonttien kuormitusresoluutio on standardina 1 kW, mikä täyttää Wärtsilän 5 kW:n vaatimuksen. Toimittajalla on myös kuormitusvastuksilleen rakennettu oma ohjausjärjestelmä, jonka avulla laitteistoa ohjataan. Toimittaja tarjoaa omaan ohjausjärjestelmäänsä Modbus-protokollan mukaisen liitynnän, mutta ei tarjoa suoranaista kytkentää Profinet-automaatiojärjestelmään. Modbus-protokollan kytkeminen Profinet-automaatiojärjestelmään olisi mahdollista erillisten väylämuuntimien avulla. Kuormitusvastusten ohjaamiseen toimittajalla on oma tietokoneohjelmisto, jonka kautta kuormitusvastusten kuormittaminen ja kommunikointi on mahdollista.

Kuormitusvastukset on suunniteltu ulkokäyttöön ja ne toimivat ilman lisälämmitystä -20 °C ... $+40\text{ °C}$ lämpötilassa ja lisälämmittimellä jopa -50 °C :ssä. Melutasoltaan vaihtoehdon E kuormitusvastukset ovat vertailun hiljaisimpia, 85 dB(A):n tasolla, yhden metrin etäisyydeltä mitattuna. Suojausluokituksestaan kuormitusvastusten laitteistot on suojattu IP 55 -luokan mukaisesti pölyltä kestäen vesisuihkun joka suunnasta.

Kuormitusvastusten lisäksi pitää investoida uusiin 21/0,69 kV:n sovitusmuuntajiin. Vaihtoehdon E investointikustannusten muodostuminen on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29. Vaihtoehdon E investointikustannusten muodostuminen.

Kokonaisuudessaan vaihtoehto E täyttää kaikki vaatimukset kompaktiin pakettiin rakennetuilla konttiratkaisuilla.

4.4 Lämpökattila ja veden hyödyntäminen

Nykyään moottoritehtaan koeajojen testauskalustossa on kuormitusvastusten lisäksi käytössä kolme lämpökattilaa, joiden yhteinen nimellinen kuormituskapasiteetti on 7,5 MW. Lämpökattilat tuottavat lämpöenergiaa moottorivoimalaitoksia testattaessa. Tuotettu sähköenergia lämmittää kattiloiden sähkövastuksia, joista lämpö siirtyy ja varastoituu kattilassa olevaan veteen. Kattiloiden lämmintä vettä hyödynnetään lämmönvaihtimien kautta Vaasan kaupungin kaukolämpöverkossa, silloin kun kysyntää on tarpeeksi. Muina aikoina tuotetulla ylijäämälämmöllä ei ole käyttöä.

Ylijäämälämpö on yleensä teollisuuden prosesseista aiheutuvaa lämpöenergiaa, joka syntyy prosessien sivutuotteena. Ylijäämälämmön tarkoituksena on hyödyntää hukkaenergiaa muissa prosesseissa siten, että ylijäämälämpöä syntyisi mahdollisimman vähän. (Motiva 2014b.)

Monesti teollisuuslaitoksissa tuotettua ylijäämälämpöä esiintyy monissa muodoissa ja eri tavoin. Mikään ylijäämälämpökohde ei ole samanlainen, vaan jokaista kohdetta pitää tarkastella yksityiskohtaisesti. Ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuudet riippuvat monesta eri tekijästä, kuten lämpötilatasosta, lämpötehon suuruudesta, lämpövirran väliaineesta ja faasista sekä väliaineen kemiallisista ominaisuuksista ja aineen puhtaudesta. (Motiva 2014b.)

Hyödyntämisvaihtoehtoja tarkastellaan yleisesti seuraavassa järjestyksessä:

1. Teollisuuskohteen sisäiset hyödyntämismahdollisuudet sekundäärienergiana
2. Teollisuuskohteen ulkopuoliset hyödyntämismahdollisuudet eli lämmön myynti
3. Lämmön muuttaminen sähköksi.

Järjestys pohjautuu oletuksiin ja kokemuksiin hukkalämmön hyödyntämisen taloudellisesta kannattavuudesta ja teknisistä mahdollisuuksista. (Motiva 2014b.)

4.4.1 Suunnitelmat ja hyödyntäminen

Kesällä lämpimällä vedellä ei ole tällä hetkellä hyödynnettävää käyttötarkoitusta, vaan lämmityskattiloiden tuottama lämpöenergia lauhdutetaan mereen. Tuotetun lämpöenergian hyödyntäminen ympäri vuoden nostaisi lämpökattiloiden kokonaishyötyä ja lämmityskattiloita ei kannattaisi korvata uusilla kuormitusvastuspaketeilla.

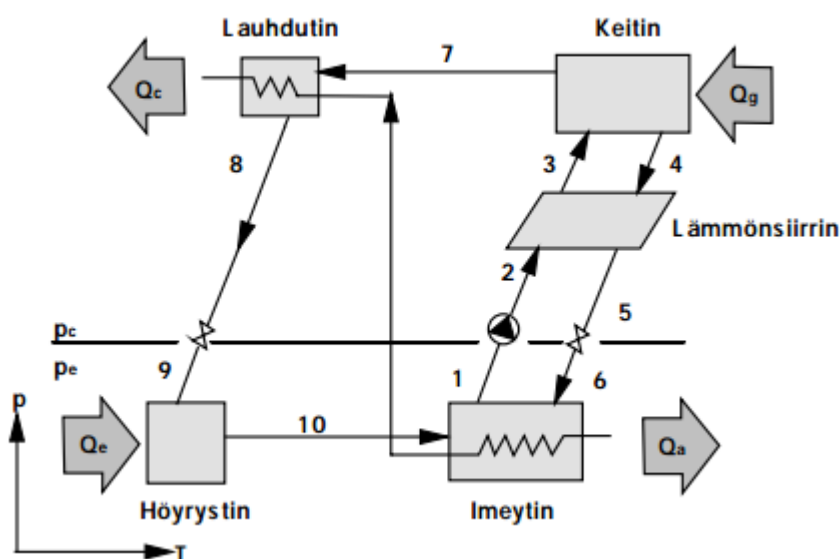
Mahdollinen ratkaisu hyödyntää hukkalämpöä olisi tuottaa jäähdytysenergiaa, jota voitaisiin hyödyntää kiinteistöjen jäähdytyksessä kesäisin. Sitä voitaisiin tuottaa joko absorptio- tai adsorptiojäähdyttimien avulla. Molemmat tekniikat hyödyntävät lämpimän veden energiaa tuottamaan kylmää.

4.4.2 Jäähdytysenergian tuottamistekniikat

Absorptiojäähdytin

Absorptiojäähdytysprosessi perustuu käytettyjen aineparien ominaisuuksiin ja erityisesti niiden käyttäytymiseen liuoksena. Paineen ja lämpötilan ollessa sopivia vallitsee tasapaino kaasun ja nesteeseen absorboituneen kaasun välillä. Tasapainotilaa muutettaessa ainepari sitoo tai vapauttaa kaasua. (Energiateollisuus ry 2006: 534.) Absorptiojäähdytyspumppussa voidaan hyödyntää teollisuuden hukkalämpöjä tai yhteistuotannosta saatavaa lämpöenergiaa, jolle ei ole kesäisin käyttöä vähäisen kulutuksen takia. (Energiateollisuus ry 2015)

Kuvan 30 absorptiojäähdytyksessä kylmäaine virtaa lauhduttimelta paisuntaventtiilin läpi höyrystimelle. Kylmäaineesta osa höyrystyy jo paisuntaventtiilissä ja jäljelle jäänyt aines höyrystimessä. Saatua höyryä absorboituu imeyttimessä olevaan liuottimeen, ja liuoksen paine nostetaan takaisin tasolle p_c . Imeytintä pitää jäähdyttää, jotta saadaan kompensoitua lauhtumis- ja liukenemislämpö. Keittimessä oleva kylmäaines vapautetaan ja kaasulla väkevöitynyt liuos palautetaan imeyttimeen lämmönsiirtimen ja paisuntaventtiilin kautta. (Energiateollisuus ry 2006: 534.)



Kuva 30. Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate (Energiateollisuus ry 2006: 354).

Absorptiojäähdytyksessä höyrystimen tarvitsema lämpö Q_e saadaan jäähdytettävästä nestevirrasta. Prosessin tarvitsema energia otetaan keittimelle tuodusta lämmöstä Q_g . Imeytintä ja lauhdutinta jäähdytetään yleisesti vedellä, joka kiertää jäähdytystornien kautta. (Energiateollisuus ry 2006: 534.)

Absorptiojäähdytyskoneen huoltaminen koostuu lähinnä koneen kunnon ja aineiden pitoisuuksien seuraamisesta. Absorptiojäähdytyskoneen vuosittaisiksi huoltokustannuksiksi eräissä selvityksissä on arvioitu 0,5–2 % hankintakustannuksista. Absorptiojäähdytyskone ei sisällä ollenkaan liikkuvia osia, mikä tekee laitteesta toimintavarman. (Energiateollisuus ry 2006.)

Absorptiojäähdyttimen hyviä puolia ovat luotettavuus, yksinkertaisuus, kestävyys ja laaja säädeltävyys. Absorptiojäähdytintä on mahdollista säätää portaattomasti, ja laitteen hyötysuhde ei heikkene suuresti osakuormilla. Tehonsäätö tapahtuu säätelemällä prosessiin tulevaa käyttölämpöä. Huonoina puolina ovat laitteen vaatima suuri sisäinen lämmönsiirtopinta-ala, melko hidas käynnistyminen ja tyhjiön varmistus kerran viikossa. (Motiva 2014a: 20–21.)

Absorptiolämpöpumppujen karkeat kustannukset voidaan arvioida yleensä hinnoittamalla kokonaiskustannukset välille 200–500 €/kW sekä laitteen vaatima käyttöenergia. Kytkentäkustannukset voidaan arvioida alkamaan 1000 €:stä lisättynä 100 €/llä/m ja tarvittavat putkistotarvikkeet. (Motiva 2014b: 54.)

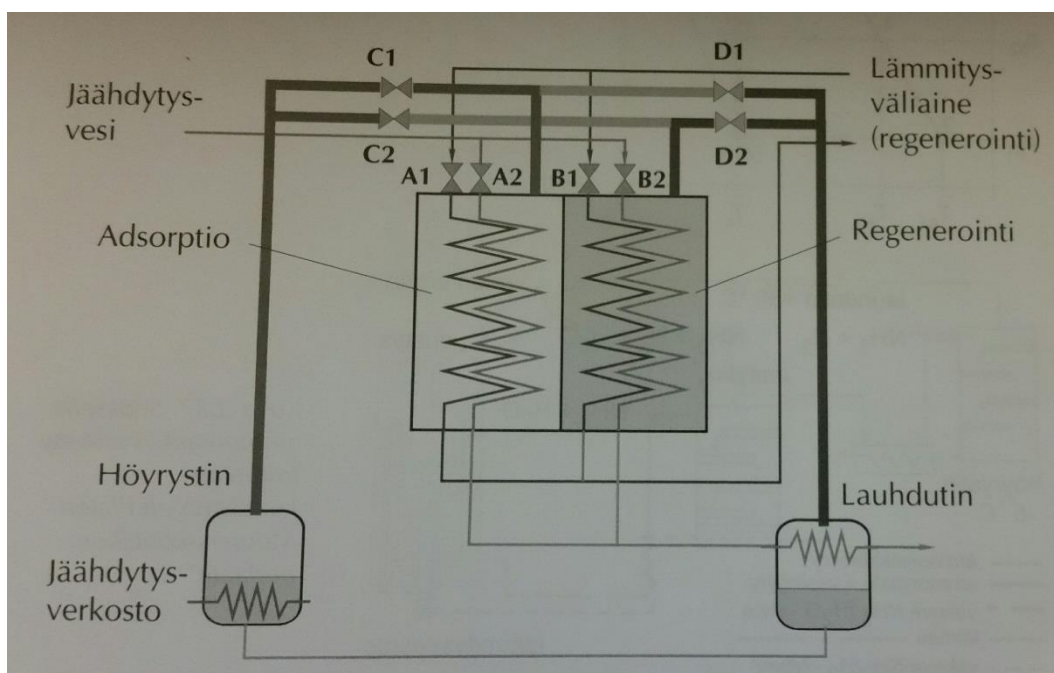
Adsorptiojäähdytin

Toinen mahdollisuus hyödyntää lämmityskattiloiden tuottamaa lämpöenergiaa on adsorptiojäähdyttimen käyttäminen. Adsorptiojäähdytin perustuu samaan tapaan kuin absorptiojäähdytin eli lämmön hyödyntämiseen energianlähteenä. Erona absorptiojäähdyttimeen höyrystimeltä saapuva vesihöyry imeytetään liuoksen sijasta kiinteään materiaaliin. Materiaalit ovat niin sanottuja mikrohuokosellisia aineita kuten aktiivihiili, zeoliitit ja silikageeli. Adsorptioprosessi on jaksollinen prosessi, joka toimii kymmenen sekunnin jaksoista kymmeneen minuutteihin. Lämpö kuivaa silikageelin, jolloin kosteus höyrystyy ja johdetaan lauhduttimeen. Lauhduttimessa jäähdyttävä vesivirta ottaa höyryn

luovuttaman lämmön ja kuljettaa sen esimerkiksi ulkoiseen jäähdytystorniin. (Energiateollisuus ry 2006: 538, Aittomäki 2012: 94.)

Silikageeli-vesiadsorptioprosessilla pystytään tuottamaan kylmää vettä jo matalista lämpötiloista. Käyttövoimaltaan 55 °C:n lämpötila riittää prosessiin toimintaan ja korkeimmillaan käyttövoiman lämpötila voi olla 90 °C. Adsorptiojäähdytyksen tehokkuutta voidaan lisätä kytkemällä sarjaan useampia yksiköitä. Adsorptiokone on rakenteeltaan yhtä yksinkertainen kuin absorptiokone. Laitteiston ylläpitoon riittävät perushuoltotoimenpiteet kuten pumppujen, venttiileiden ja lämmönsiirtimien huoltaminen. (Energiateollisuus ry 2006: 538.)

Adsorptiokone koostuu höyrystimestä, lauhduttimesta ja kahdesta adsorptiosäiliöstä, joissa on kiinteää materiaalia adsorptioaineena. Jaksollisen prosessi on esitetty kuvassa 31.



Kuva 31. Jaksollisen adsorptiokoneen toimintaperiaate (Aittomäki 2012: 94).

Ensimmäisessä jaksossa venttiili C1 on avoina toiseen säiliöön, johon adsorboituu höyrystimen kautta kulkeva vesihöyry. Adsorptiossa vapautuva lämpöenergia poistetaan venttiilin A2 kautta jäähdytysveteen. Toista säiliötä regeneroidaan eli poistetaan vettä lämmittämällä sitä venttiilin B1 kautta kulkevalla lämmittävällä väliaineella, esimerkik-

si kaukolämmön vedellä. Syntyvä vesi siirtyy lauhtuttimeen, jossa jäähdytysvettä käytetään lauhtuttamiseen. Jakson päättyessä vaihdetaan säiliöiden toimintaa venttiilien A, B ja C avulla. Korkean lämpösuhteen saavuttamiseen vaaditaan säiliöiden adsorbenttien lämmön siirtämistä regenerointijakson päättyttyä. (Aittomäki 2012: 94.)

Adsorptiokoneistoja käytetään kaukokylmän tuottamiseen, jossa kaukolämpöä hyödynnetään ilmastointijäähdytyksen tuottamiseen. Adsorptioprosessin etuna absorptioprosessiin nähden on sen toiminta melko matalalla kaukolämpöveden lämpötilatasolla. Haittana adsorptiokoneella on sen koneiston kallis hinta. (Aittomäki 2012: 94.)

Salmi (2013) on tutkinut adsorptiojäähdyttimen kannattavuutta kaukolämpöjärjestelmässä. Työssään hän on selvittänyt adsorptiolaitteiston kustannuksia ja saanut valmistajalta kustannusarvion 600 kW:n laitteistolle, jonka ottama sähköteho on noin 0,6 kW. Laitteen ominaishinnaksi tuli noin 389 €/kW. Kyseinen adsorptiojäähdytin oli Salmen mukaan teholtaan suurin valmistettava adsorptiojäähdytin, ja yksittäisen laitteiston vaatima pohjapinta-ala on noin 12 m². (Salmi 2013: 66, 70–71.)

Absorptio- ja adsorptiojäähdyttimet ovat toimintaperiaatteiltaan sopivia tekniikoita hyödyntämään lämmityskattiloiden tuottamaa lämpöenergiaa jäähdytysenergian tuottamisessa. Investointikustannuksiltaan laitteet ovat kalliita, ja investointien takaisinmaksuajat voivat olla pitkiä. Käytössä absorptio- ja adsorptiojäähdyttimet ovat yksinkertaisen rakenteensa vuoksi luotettavia ja lähes huoltovapaita.

Wärtsilän Vaasan keskustan tehdasalueen nykyisten vedenjäähdytysjärjestelmien yhteinen jäähdytyskapasiteetti on kiinteistöjen seurantaohjelmiston tietojen perusteella noin 1800 kW ja koneiden ottama sähköteho on noin 580 kW. Tuotettua jäähdytysenergian määrää ei mitata, joten tuotto pitää arvioida hyödyntämällä jäähdytyskoneiden yhteistä jäähdytystehoa. Arviolta jäähdytyskausi on toukokuusta elokuuhun eli kestää noin 17 viikkoa. Mikäli vedenjäähdytyskoneiden arvioidaan käyvän keskimäärin 16 tuntia arkisin, saadaan koneiden käyntiajaksi 1360 tuntia. Jäähdytyskaudella tuotetuksi jäähdytysenergiaksi saadaan laskemisen perusteella 2533 MWh ja kulutetuksi sähköenergiaksi 787 MWh. Vaasan Sähkön nykyisellä sähköenergian hinnalla 55 €/MWh ja siirtohinnalla 38,6 €/MWh kustannukset vedenjäähdytyskoneiden osalta ovat noin

73 622 €/jäähdytyskausi, ja lisäksi niitä tulisi jäähdytysjärjestelmien kiertopumpuista, joita ei ole huomioitu laskelmissa.

Esimerkkinä koko kiinteistön jäähdyttämiseen riittävien jäähdytyslaitteiden investointikustannukset olisivat satojatuhansia euroja. Jäähdytystehon kattava absorptiojäähdytin kustantaisi arviolta 360 000 € ja vastaava adsorptiojäähdytin noin 720 000 €. Investointikustannuksiltaan molemmat laitteet ovat kalliita, mutta vuotuiset käyttökustannukset ovat pieniä verrattuna perinteisiin jäähdytyskoneisiin. Suurimmat kustannukset aiheutuvat jäähdytysjärjestelmissä olevien pumppujen energiankulutuksista. Yhden jälleenmyyjän tietojen perusteella 1846 kW:n jäähdytystehon absorptiojäähdytin kuluttaa sähköenergiaa noin 7 kW, ja Salmen (2013) tutkiman adsorptiojäähdyttimen kulutus 1800 kW:n jäähdytysenergian tuottamiselle olisi noin 1,8 kW. Sähköenergian kustannukset samoilla hinnoilla olisivat jäähdytyskaudella absorptiojäähdyttimellä noin 900 € ja adsorptiojäähdyttimellä 230 €.

Edellä tehdyt selvitykset vaihtoehdoista tuottaa jäähdytysenergiaa absorptio- tai adsorptiojäähdyttimen avulla lämpökattiloiden tuottamasta lämpöenergiasta näyttäisivät olevan mahdollisia vaihtoehtoja. Tehdyt laskelmat antavat suuntaa ja suuruusluokkaa siitä, mitkä olisivat kustannukset jäähdytyksen tuottamiseen kyseisillä vaihtoehdoilla. Laskelmissa on vain arvioituna jäähdytyslaitteistojen kustannukset ilman ympärille tulevien laitteistojen kuten kiertovesipumppujen, putkistojen ja muiden tarvittavien laitteiden kustannuksia. Investointikustannuksiin vaikuttavat myös rakennus- ja ylläpitokustannukset.

Teoreettisesti molemmat vaihtoehdot ovat toteuttamiskelpoisia ja nykyisiä vedenjäähdytysjärjestelmiä käyttökustannuksiltaan paljon edullisempia. Diplomityön pääpaino on kuitenkin tutkia vaihtoehtoja kuormitusvastusten uudistamiseen, ja lämmityskattiloiden tuottaman energian hyödyntämisvaihtoehtojen kartoittaminen on vain pieni osa sitä. Esitetyt vaihtoehdot ovat osoitus mahdollisuudesta hyödyntää lämpökattiloiden tuottamaa hukkalämpöä lämmityskauden ulkopuolella. Vaihtoehtojen arvioinnissa on tehtävä vielä tarkempia selvityksiä ja arvioita vaihtoehtojen sopivuudesta ja kannattavuudesta.

4.5 Vaihtoehtojen teknistaloudellinen tarkastelu

Kappaleessa 4.3 esitetyt kuormitusvastusvaihtoehdot ovat kaikki mahdollisia korvaamaan nykyisin käytössä olevat kuormitusvastukset. Vaihtoehtoja esiteltiin yhteensä viisi erilaista. Kaikki vaihtoehtoista perustuvat pienjännitteisten kuormitusvastusten ja sovitusmuuntajien käyttöön.

Kuormitusvastusten uudistaminen on välttämätön investointi, joka takaa paremman varmuuden moottoritehtaan uusien tuotteiden testaamisessa koeajoissa. Verkkovaihtosuuntaajien ja kuormitusvastusten yhteinen kuormituskapasiteetti olisi investoinnin jälkeen vähintään 42,5 MW. Kuormituskapasiteetti takaisi kahden moottorin testaamisen täydellä teholla ja kahden muun testaamisen osateholla. Ilman kuormitusvastusten uudistamista kuormituskapasiteetti mahdollistaisi vain kahden moottorivoimalaitoksen testaamisen yhtä aikaa täydellä teholla. (Humalamäki 2015.)

Teknistaloudellisessa tarkastelussa vertaillaan vaihtoehtoja niiden teknisten ominaisuuksien ja taloudellisten kustannusten perusteella. Teknisessä tarkastelussa on keskitytty ominaisuuksiin, jotka ovat tärkeitä ja välttämättömiä uusille kuormitusvastuksille.

4.5.1 Tekninen tarkastelu

Taulukkoon 8 on koottu yhteen vertailtujen vaihtoehtojen tekniset ominaisuudet. Taulukkoon on listattu kaikki tärkeimmät tekniset tekijät, jotka vaikuttavat kuormitusvastusten valintaan. Taulukon vertailu perustuu kuormitusvastusten uudistamisen teknisiin vaatimuksiin ja reunaehtoihin.

Taulukko 8. Vaihtoehtojen tekninen vertailu.

Vaihtoehto	A	B	C	D	E
Sopivuus tilaan	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kuormitus- kapasiteetti	9,12 MW	9,2 MW	10 MW	9 MW	9 MW
Säätöresoluutio	1 kW	1 kW	5 kW	5 kW	1 kW
Jännitetaso	690 V	690 V	400 V	690 V	690 V
Melutaso	102,6 dB(A), 1 m	95 dB(A), 1 m	93,5 dB(A), 1 m	96 dB(A), 1 m	83 dB(A), 1 m
Suojausluokitus	IP55	IP 20/54	IP54/55/65	IP 22/54	IP55
Ohjausjärjestelmä	Ei tarjoa	PLC, Profinet	Toimittajan oma järjes- telmä, Modbus	Ei tarjoa	Toimittajan oma järjes- telmä, Modbus
Standardit	ISO 9001	ISO 9001	ISO 9001	ISO 9001	ISO 9001
Ympäristön lämpötila	-50 °C ... +50 °C	-25 °C ... +40 °C	-30 °C ... 45 °C	-30°C... +40 °C	-50 °C ... +40 °C
Sovitusmuuntajan tarve	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä

Vertailutaulukossa 8 on huomioitu yhteensä kymmenen teknistä ominaisuutta, jotka vaikuttavat kuormitusvastusten soveltuvuuteen. Vertailussa huomioidaan ratkaisun sopivuus tekniseen tilaan, tarjottu kuormituskapasiteetti, kuormituksen säätöresoluutio, jännitetaso, melutaso, suojausluokitus, ohjausjärjestelmä, standardit, ympäristön olosuhteet ja sovitusuuntajan tarve.

Ensimmäisenä tarkastellaan kuormitusvastusratkaisujen sopivuutta kojeistotilaan sekä sitä, millaisella ratkaisulla kuormituskapasiteetti on saavutettu. Kaikkien toimittajien tarjoamat vaihtoehdot ovat soveltuvia kojeistotilaan, mutta eroavaisuuksia tulee siitä, miten kompaktisti ratkaisut on toteutettu. Kaikki vertailtavat ratkaisut perustuivat use-

aman kuormitusvastusyksikön kytkemiseen yhteen, jotta tarvittava kuormituskapasiteetti saavutettaisiin.

Jokaisen toimittajan osalta yksittäisten kuormitusvastusyksiköiden kuormituskapasiteetit vaihtelivat, ja tarjotuissa ratkaisuisa tarvittiin eri määrä kuormitusvastusyksiköitä. Parhaiten tilaan soveltuivat vaihtoehdon E kaksi kuormitusvastuskonttia, joiden yhteinen kuormituskapasiteetti oli yhteensä 9 MW. Ratkaisussa 20 jalan kontin kuormituskapasiteetti oli 7 MW ja 10 jalan kontin kuormituskapasiteetti 2 MW.

Kuormitusvastusten säätöresoluutiot olivat kaikissa vaihtoehdoissa soveltuvat moottoritehtaan koeajojen 5 kW:n vaatimukseen. Monilla toimittajilla standardina oli jopa 1 kW:n kuormitusresoluutio, mikä mahdollistaisi vielä tarkemman kuormittamisen.

Vertailuissa kuormitusvastusten uudistamisvaihtoehdoissa jännitetaso oli 690 V kaikissa muissa vaihtoehdoissa paitsi vaihtoehdossa C. Vaihtoehdossa C kuormitusvastusten nimellinen jännitetaso oli 400 V ja maksimissaan 480 V.

Kuormitusvastusten tuottama melu aiheutuu pääasiallisesti tuulettimien melusta. Moottoritehtaan sijainnin takia kuormitusvastusten tuottama melutaso on tärkeä kriteeri valittaessa uutta vaihtoehtoa. Vertailun perusteella pienin melutaso on vaihtoehdon C kuormitusvastuskonteilla. Toimittaja ilmoittaa tuotteilleen 83 dB(A):n melutason yhden metrin etäisyydellä.

Suojauksen ja ympäristöolosuhteiden osalta kaikki kuormitusvastukset on suunniteltu toimimaan sekä ulkoilmaan että sisätiloihin. Kuormitusvastusvaihtoehdoista kaikki soveltuvat hyvin Suomen haastaviin olosuhteisiin kestäen talven pakkasia ja kesän mahdollista kuumuutta.

Kuormitusvastusten ohjausjärjestelmät perustuivat rakennettujen kuormitusaskelmien ohjaamiseen. Kuormitusvastuksissa on yleisesti rakennettuna kontaktorit jokaiselle kuormitusportaalille, ja toimintaa ohjataan halutun kuormituksen mukaan. Ohjausjärjestelmiä tarjosi kolme viidestä toimittajasta. Vaihtoehdoissa A ja D ei tarjottu ohjausjärjestelmiä vaan vain kuormitusvastuspaketteja sisältäen ohjauskytkennät kuormitusvastuksien kuormittamiseen. Muilla toimittajilla ohjausjärjestelmä perustui ohjelmoitavaan

logiikkaan ohjaamiseen, ja useilla toimittajilla oli tarjota omia ohjausjärjestelmiä sekä -sovelluksia. Lisäksi useat toimittajat tarjosivat lisämahdollisuutta Modbus-protokollaan, jonka kautta kytkeminen olemassa olemaan moottoritehtaan automaatiojärjestelmään olisi mahdollista väylämuuntimen avulla. Ohjausjärjestelmällisesti paras oli vaihtoehto B, joka tarjosi mahdollisuuden kytkeä kuormitusvastuspaketit suoraan käytössä olevaan moottoritehtaan Profinet-automaatiojärjestelmään.

Jokaisen toimittajan tuotteet on valmistettu noudattamalla ISO 9001 -standardia, mikä on osoitus tuotteiden korkeasta laadusta sekä luotettavuudesta.

Sovitusmuuntajia tarvitaan jokaisessa vaihtoehdossa vastuspakettien kytkemisessä 21 kV:n jännitetasolle. Vaihtoehtojen kuormituskapasiteetit vaihtelevat jokaisella ratkaisulla, ja muuntajat on mitoitettava kullekin ratkaisulle soveltuviksi. Sovitusmuuntajien käyttö antaa myös lisää tilaa kuormitusvastusten tekniseen tilaan, sillä sovitussuuntajat sijoitetaan kuormitusvastusten teknisen tilan vieressä olevaan tyhjiin tilaan. Muuntajien sijoittaminen mahdollisimman lähelle kuormitusvastuksia pitää pienjännitteellä tehtävien kiskosiltojen vedot lyhyinä ja on kustannusten kannalta paras vaihtoehto.

Teknisen vertailun pohjalta toimittajien vaihtoehdoissa oli eroavaisuuksia ja yhtäläisyyksiä. Teknisesti kaikki vaihtoehdot voisivat korvata vanhat kuormitusvastukset. Jokainen vaihtoehto vaatisi kuitenkin jonkin verran muutostöitä soveltuakseen tekniseen tilaan. Tämän lisäksi kuormitusvastuksien ohjausjärjestelmien rakentaminen ja integroiminen moottoritehtaan automaatiojärjestelmään vaatii työtä ja suunnittelua.

Paras vaihtoehto teknisesti olisi vaihtoehdon E tarjoama kompakti kahden kuormituskontin ratkaisu. Valinnassa painoarvoa antoivat teknisen tilan hyödyntäminen, alhainen melutaso ja mahdollisuus kytkeä kuormitusvastusten ohjausjärjestelmä moottoritehtaan automaatiojärjestelmään väylämuuntimen avulla.

4.5.2 Taloudellinen tarkastelu

Taloudellisessa tarkastelussa kokonaiskustannuksia on arvioitu eri korvaamisvaihtoehdoille. Kuormitusvastuspakettien kustannusten lisäksi on arvioitu tarpeita muille tarvittaville sähköteknisille laitteistoille ja komponenteille. Investointikustannuksissa laskettiin tarvittavien sovitusmuuntajien, pienjännitteisten kiskosiltojen ja keskijännitekaapeleiden kustannukset arvioihin perustuen. Sähköisten laitteistojen ja komponenttien lisäksi on huomioitu rakennuskustannukset purkaa vanhat kuormitusvastusvastuspaketit sekä asentaa uudet laitteistot toimintakuntoon. Lisäksi taulukon 9 suhteellisina arvoina esitettyihin investointikustannuksiin on lisätty 10 %:n kustannusvaraus.

Tutkittujen vaihtoehtojen kustannuksissa taulukon 9 mukaisesti on suuria eroja kalleimman ja halvimman vaihtoehdon välillä. Vaihtoehto B on investointikustannusten perusteella kaikkein kallein ja edullisin on vaihtoehto E. Investointikustannuksissa on kuitenkin huomioitava, mitä kaikkea toimittajien tarjoukset sisältävät. Vaihtoehdot B, C ja E tarjoavat kokonaisratkaisut, jotka sisältävät kaiken tarvittavan kuormitusvastusten käyttämiseen. Vaihtoehdot A ja D tarjosivat kuormitusvastukset laitteistoinen ilman ohjausjärjestelmää.

Taulukko 9. Kuormitusvastusvaihtoehtojen alkuinvestointien suuruudet suhteutettuna vuotuisen kassavirtaan.

Ratkaisu	Alkuinvestointi (Suhteellinen arvo)
Vaihtoehto A	118,40
Vaihtoehto B	167,84
Vaihtoehto C	130,59
Vaihtoehto D	97,44
Vaihtoehto E	94,40

Kaikissa investointikustannuksissa on pyritty huomioimaan toimittajien tarjoamien kuormitusvastusten lisäksi kaikki tarvittavat lisälaitteistot ja niiden asennukset. Vaihto-

ehtoissa A ja D ei ole arvioitu ohjausjärjestelmästä aiheutuvia kustannuksia, koska kuormitusvastustoimittajat eivät niitä tarjonneet.

Kokonaisratkaisuihin kustannuksien perusteella voidaan huomioida vaihtoehtojen C ja E olevan edullisempia kuin vaihtoehto B. Kustannuksiin eroja toi myös pienjännitteisten kiskosiltojen tarve. Ratkaisuissa kiskosiltojen määrä vaihteli vaihtoehtojen kuormitusyksiköiden lukumäärän mukaan.

Suurimmat kustannukset kaikissa vaihtoehtoissa muodostivat kuormitusvastuspaketit, tarvittavat sovitussuuntajat sekä kiskosillat ja keskijännitekaapelit. Keskimäärin kuormitusvastuspaketit olivat noin 58 prosenttia kokonaiskustannuksista, sovitussuuntajat noin 15 prosenttia sekä kiskosillat ja keskijännitekaapelit yhteensä noin 24 prosenttia. Rakennuskustannukset olivat alle 3 prosenttia.

Taulukossa 10 on listattuna laskelmissa käytetyt laskentatiedot. Investointilaskelmissa käytetty vuotuinen kassavirta on saatu materiaaleista, jotka eivät ole julkista tietoa. Laskennassa on arvioitu kuormitusvastusinvestoinnin vaikutusta moottoreiden valmistuksen läpimenoaikaan ja sitä kautta vaikuttaviin tuotannollisiin säästöihin. Laskelmissa on arvioitu nykyisen testauskapasiteetin riittävyyttä ja sitä, kuinka paljon säästöä kuormitusvastusten uudistamisinvestointi tuottaisi.

Taulukko 10. Käytetyt laskentatiedot taulukoituna.

Laskentatiedot	
Investoinnin pitoaika, n	10 vuotta
Laskentakorkokanta, r	7,5 %
Vuotuinen kassavirta, CF_t	100
Jäännösarvo	0

Investoinnin pitoaikana pidetään 10:ä vuotta ja laskentakorkokantana käytetään Wärtsilässä yleisesti käytössä olevaa 7,5:ä prosenttia. Laskelmissa vuotuinen kassavirta pidettiin vakiona. Tarkasteluissa vuotuinen kassavirta on muutettu suhteelliseksi lukuarvoksi 100 ja vaihtoehtojen investointikustannukset on suhteutettu vuotuisen kassavirtaan.

Jäännösarvoa investoinnilla ei arvioida olevan, koska kuormitusvastuksia käytetään koko toiminta-aika.

Taulukossa 11 on esitetty tutkittujen kuormitusvastusvaihtoehtojen investointilaskentamenetelmien tulokset luvussa 3 esitellyillä investointilaskentamenetelmillä. Laskennoissa on hyödynnetty Excel-tilukkolaskentaohjelmaa.

Taulukko 11. Investointilaskentamenetelmien tulokset.

Ratkaisu	Nettonykyarvo (Suhteellinen arvo)	Sisäinen korkokanta (%)	Pääoman tuottoaste (%)	Takaisinmaksuaika (kk)
Vaihtoehto A	568,01	84,27	84,46	14,21
Vaihtoehto B	518,56	59,00	59,58	20,14
Vaihtoehto C	555,82	76,31	76,58	15,67
Vaihtoehto D	588,96	102,53	102,62	11,69
Vaihtoehto E	591,51	105,30	105,38	11,39

Investointilaskentamenetelmiin perustuen kaikki tutkitut vaihtoehdot ovat kannattavia, ja kaikkien vaihtoehtojen takaisinmaksuajat ovat alle kaksi vuotta. Vaihtoehtojen D ja E takaisinmaksuaika on jopa alle vuoden. Kaikkien vaihtoehtojen nettonykyarvot ovat positiivisia, ja sisäinen korko sekä pääomantuottoasteet ovat suurempia kuin investoinnille asetettu 7,5 %:n laskentakorkokanta. Usean investointilaskentamenetelmän käyttö takaa laajemman analyysin suunnitellun investoinnin kannattavuudesta sekä antaa luotettavamman arvion. 10 % kustannusvarauksen lisääminen investointikustannuksiin ei suuremmin vaikuta investoinnin kannattavuuteen, joten tutkitut investoinnit eivät ole herkkiä pienille kustannusten muutoksille.

Taloudellisen tarkastelun perusteella vaihtoehto E on investointikustannuksien perusteella edullisin ja investointilaskelmien perusteella kannattavin. Yhteenvedona tehdyn teknistaloudellisen tarkastelun perusteella parhaiten kuormitusvastusten uudistamiseen soveltuu vaihtoehto E.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vanhojen kuormitusvastusten uudistamiseksi vertailtiin viittä eri vaihtoehtoa. Jokainen vaihtoehto oli soveltuva korvaamaan vanhat kuormitusvastukset ja takaamaan koeajojen kasvavan kuormituskapasiteetin tarpeen ja luotettavuuden uusien tuotteiden testaamisessa.

Reunaehtoihin ja vaatimuksiin perustuen tehdyt kyselyt kuormitusvastusten korvaamisesta olivat avainasemassa etsittäessä mahdollisia vaihtoehtoja. Suurimmat haasteet aiheuttivat käytettävissä oleva kuormitusvastusten tekninen tila ja kuormitusvastuksilta vaadittavat tekniset ominaisuudet. Kaikki ehdotetut ratkaisut olisi mahdollista sijoittaa vanhojen kuormitusvastusten tilalle ilman suurempia rakenteellisia muutoksia. Kuitenkin muutoksia joudutaan tekemään purettaessa vanhat vastuspaketit ja asennettaessa uudet tilalle.

Kaikissa vaihtoehtoissa toimittajat tarjosivat kuormitusvastuspaketit kokonaisuutena sisältäen vastuselementit, jäähdytys- ja suojauslaitteistot sekä kytkennät vastusten kuormittamiseen. Vaihtoehtojen A ja D toimittajat eivät tarjonneet kuormitusvastuksilleen ohjausjärjestelmää vastusten ohjaamiseen, kuten muut toimittajat.

Kaikki tutkitut kuormitusvastusvaihtoehdot olivat pienjännitteelle suunniteltuja, ja niiden lisäksi tarvitaan 21 kV:n jännitetason sovitusmuuntajat. Ratkaisu käyttää erillisiä sovitusmuuntajia antoi kuormitusvastuksille riittävän tilan tekniseen tilaan, ja useampi toimittaja pystyi tarjoamaan soveltuvan vaihtoehdon.

Vertailtaessa vaihtoehtoja teknisesti ja taloudellisesti saatiin kattava informaatio tarjolla olevista vaihtoehtoista. Teknisesti kaikki vaihtoehdot olivat sopivia, mutta eroja syntyi ratkaisuihin toteuttaa tarvittava kuormituskapasiteetti. Kaikki toimittajat tarjosivat useamman kuormitusvastuspaketin kokonaisuuden, jossa yhdistämällä useampi kuormitusvastusyksikkö haluttu kuormituskapasiteetti saavutettiin.

Kompakteimman ratkaisun tarjosi vaihtoehto E kahdella kuormituskontillaan saavuttaen yhteensä 9 MW:n kuormituskapasiteetin. Teknisesti vaihtoehto E oli myös parhaimpia vaihtoehtoja, se täytti kaikki tarvittavat vaatimukset.

Taloudellisessa tarkastelussa kaikki tutkitut vaihtoehdot olisivat kannattavia toteuttaa ja niiden taloudellinen hyöty olisi merkittävä Wärtsilän moottoritehtaan toiminnalle. Kustannuksiltaan vaihtoehdot vaihtelivat jonkin verran, ja eroja syntyi konttiratkaisujen ja kuormituskAAPPIEN osalta. Konttiratkaisut olivat hiukan kalliimpia kuin tavanomaiset kuormituskAAPPI. Kustannuksiin eroja toi myös pienjännitteisten kiskosiltojen tarve. Ratkaisuissa kiskosiltojen määrä vaihteli kuormitusyksiköiden lukumäärän mukaan.

Parhaaksi vaihtoehdoksi teknistaloudellisen tarkastelun perusteella selvisi vaihtoehto E. Vaihtoehdon E tarjoamat kaksi kuormitusvastuskonttia olisivat yhdessä olemassa olevien lämmityskattiloiden kanssa testauskapasiteetiltaan riittävät tulevaisuudessa Wärtsilän polttomoottoreiden kuormittamiseen ja testaukseen.

Kuormitusvastusten uudistamisvaihtoehtojen lisäksi tutkittiin kahta eri tekniikkaa hyödyntää koeajoissa käytössä olevien lämmityskattiloiden tuottamaa lämpöenergiaa kiinteistöjen jäähdyttämiseen. Moottoritehtaan kiinteistöjä jäähdytetään nykyään perinteisillä vedenjäähdytyskoneilla, joiden kuluttama sähköenergia on moninkertainen verrattavissa oleviin absorptio- ja adsorptiojäähdyttimiin nähden.

Kyseiset tekniikat hyödyntävät energiana lämpöä ja tuottavat sen avulla kylmää hukkalämmöstä, käyttämällä sähköenergiaa vain murto-osan. Vaihtoehtojen huonoina puolina ovat kyseisten laitteiden korkeat investointikustannukset ja pitkät takaisinmaksuajat. Vuotuiset käyttökustannukset puolestaan ovat pienet yksinkertaisen rakenteen sekä vähäisen sähkökulutuksen ansiosta. Tehty tarkastelu antaa yleiskuvan laitteistojen toimintaperiaatteista ja kustannuksista. Tämän pohjalta on mahdollista lähteä tarkastelemaan tarkemmin vaihtoehtoja hyödyntää hukkalämpöä jäähdytyksen tuottamiseen.

Tutkimus avasi mahdollisuuksia jatkaa lämmitysenergian hyödyntämiseen käytettävien tekniikoiden tarkempaa tarkastelua. Tulevaisuudessa lämmityskattilat tarvitsevat myös

korjausta ja uudistamista. Tullaanko lämmityskattilat korvaamaan samalla ratkaisulla vai vaihdetaanko nekin kuormitusvastuksiin?

Tehty diplomityö antaa kattavan kuvan mahdollisista vaihtoehdoista kustannusarvioineen korvata kuormitusvastukset sekä osoittaa mahdollisuuksia hyödyntää lämmityskattiloiden tuottamaan lämpöenergiaa. Lopputuloksena löydettiin tutkituista vaihtoehdoista paras korvaamaan vanhat kuormitusvastukset.

6 YHTEENVETO

Diplomityössä tutkittiin Wärtsilän Vaasan keskustan moottoritehtaan koeajoissa käytössä olevien loppuun käytettyjen resistiivisten kuormitusvastusten uudistamisvaihtoehtoja.

Wärtsilän Vaasan toimipisteessä valmistetaan ja testataan uusia polttomoottoreita ja moottorivoimalaitoksia. Tehdasalueella valmistetaan viittä keskinopeaa polttomoottorityyppiä Wärtsilä 20- ja 20DF-, Wärtsilä 32-, Wärtsilä 34DF- ja 34SG -moottoreita. Tehdasalueella on koeajot sekä dieselmoottoreille että kaasumoottoreille. Molemmissa koeajoissa uudet polttomoottorit ja moottorivoimalaitokset testataan ja dokumentoidaan käytössä olevien määräysten mukaisesti ennen kuin tuotteet viimeistellään ja lähetetään asiakkaalle.

Diplomityön teoriaosuudessa esiteltiin kuormitusvastusten rakennetta, laitteistoa, ohjausjärjestelmää, kuormitusvastustyyppisiä ja sovelluskohteita. Kuormitusvastus on rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan melko yksinkertainen sähkökone, jonka toiminta perustuu sähköenergian muuttamiseen lämmöksi vastuselementeissä, joita jäähdytetään yleisimmin pakotetusti tuulettimien avulla. Kuormitusvastuksia ohjataan ohjausjärjestelmällä, joka yleisesti perustuu ohjelmoitavaan logiikkaan. Ohjausjärjestelmä säätää ja ohjaa vastuselementtien kuormituksia kontaktoreiden avulla. Kuormitusvastustyyppisiä on kolmea erilaista: täysin resistiivinen, resistiivistä ja reaktiivista kuormaa sisältävä sekä täysin reaktiivinen kuormitusvastuspaketti.

Kuormitusvastukset mahdollistavat nopean ja luotettavan testaamisen. Monissa sovelluskohteissa kuormitusvastukset ovat vartenotettava vaihtoehto toteuttaa sähkölaitteiden testaus ja kuormitus, vaikka kaikki tuotettu sähköenergia häviää hukkalämpönä ympäristöön.

Moottoritehtaan koeajoissa on olemassa neljä mahdollisuutta testata uusia moottorivoimalaitoksia, kuitenkin testattavan moottorivoimalaitoksen generaattorin taajuus ja jännite sekä ajettavat testit määrittävät mitä testauslaitteistoa käytetään. Suoraan verkkoon ajaminen on mahdollista, kun testattavan laitteiston taajuus ja jännite on sama kuin val-

takunnan verkon. Mikäli testattavan moottorivoimalaitoksen generaattorin taajuus on muuta kuin 50 Hz, pitää käyttää muuta testausvaihtoehtoa.

Kun taajuus ei ole 50 Hz käytetään testaamiseen verkkovaihtosuuntaajia, joiden kautta taajuus muutetaan sopivaksi verkkoon syötettäväksi. Toisena vaihtoehtona on käyttää diplomityössä tutkittuja kuormitusvastuksia ja lämmityskattiloita. Vastuksiin ajettaessa tuotettu sähköenergia haihtuu lämpönä ilmaan. Lämmityskattiloissa sähköenergia siirtyy vastusten kautta lämmöksi, joka lämmittää kattiloissa olevaa vettä. Harvoin käytössä oleva testausmahdollisuus on myös hyödyntää elektrodikattilaa, jossa sähköenergia haihtuu myös lämpönä.

Toisena osana diplomityön teoriaa oli investointipäätösten ja -laskentamenetelmien tarkastelu ja analysointi. Neljän eri investointilaskentamenetelmän perusteella tutkittiin ja vertailtiin taloudellisesti uusia vaihtoehtoja kuormitusvastusten korvaamiseen.

Investointilaskentamenetelmissä keskityttiin laskentamenetelmiin, joiden käyttö yrityksissä on suosittua ja jotka antavat parhaimmat arviot investointien kannattavuudesta. Lisäksi tutkittiin sitä, kuinka investointilaskentamenetelmien käyttö on muuttunut vuosien varrella yrityksissä perustuen tehtyihin tutkimuksiin. Lopuksi esiteltiin vielä tekniikoita investointilaskelmien riskitekijöiden huomioimiseen.

Diplomityön empiirisessä osuudessa tutkittiin viiden eri toimittajan tarjoamia vaihtoehtoja korvata vanhat kuormitusvastukset. Tarkastelujen pohjaksi määritettiin uusille kuormitusvastuksille reunaehdot ja vaatimukset, jotka vaihtoehtojen oli täytettävä korvatakseen vanhat kuormitusvastukset.

Reunaehdot ja vaatimukset perustuivat uusien kuormitusvastuksien teknisiin ominaisuuksiin, nykyisen teknisen tilan mittoihin, tulevaisuuden moottoreiden tuottaman tehoon, sähköverkon liitäntäkapasiteettiin ja koeajoissa ajettavien testien vaatimuksiin sekä ympäristötekijöihin.

Teknisten reunaehtoien perusteella kaikki viisi tutkittua vaihtoehtoa olisivat sopivia korvaamaan vanhat kuormitusvastuspaketit. Teknisessä tarkastelussa vaihtoehtoilla oli joitakin eroja, vaikka kaikki täyttivätkin vaaditut ehdot. Suurimmat eroavaisuudet ilme-

nivät kuormitusvastusten teknisen tilan käytössä ja kuormitusvastusyksiköiden rakenteellisissa ominaisuuksissa.

Eroja syntyi myös kuormitusvastusten ohjausjärjestelmien suhteen. Kolme viidestä vaihtoehdosta tarjosi ohjausjärjestelmän ja mahdollisuuden yhdistää kuormitusvastukset osaksi olemassa olevaa automaatiojärjestelmää. Kaksi toimittajaa tarjosi vain kuormitusvastuspaketit ilman mukana tulevaa ohjausjärjestelmää.

Parhaiten teknisen tilan pinta-alan hyödynsi vaihtoehto E:n kahden kuormituskontin ratkaisu, jossa kontit sijoitettaisiin keskelle teknistä tilaa. Asettelu jätti riittävät etäisyydet konttien ympärille ja takasi riittävän jäähdytysilman. E-vaihtoehdossa kuormitusvastuskonttien ohjausjärjestelmä olisi mahdollista yhdistää olemassa olemaan moottoritehtaan automaatiojärjestelmään väylämuuntimien avulla.

Taloudellisessa tarkastelussa kaikki tutkitut vaihtoehdot olivat kannattavia käytettyjen investointilaskentamenetelmien perusteella. Kustannuksiltaan uudistamisvaihtoehtojen hinnat vaihtelivat suuresti kalleimman ja edullisimman vaihtoehdon välillä.

Jokainen vaihtoehto parantaisi koeajojen testauskapasiteettia merkittävästi. Testauskapasiteetin kasvu mahdollistaisi nopeamman läpimenoajan tuotteille ja lisäisi taloudellista tuottoa yritykselle.

Kuormitusvastusten uudistamisvaihtoehtojen tarkastelun lisäksi työssä selvitettiin tekniikoita hyödyntää lämmityskattiloiden tuottamaa lämpöenergiaa kiinteistön jäähdyttämiseen kesäkuukausina. Tarkastelussa arvioitiin absorptio- ja adsorptiojäähdyttimien kustannuksia tuottaa tarvittava jäähdytysenergia kiinteistöjen jäähdyttämiseen. Investointikustannuksiltaan vaihtoehdot ovat kalliita, mutta käyttökustannukset olisivat todella pieniä.

Yhteenvedona diplomityö antaa kattavan kuvan mahdollisista tekniikoista ja vaihtoehdoista korvata vanhat kuormitusvastukset huomioiden kaikki Wärtsilän koeajojen vaatimukset. Diplomityön tuloksia hyödynnetään tulevaisuudessa tehtävän moottoritehtaan kuormitusvastusten investoinnissa. Tuloksia on myös mahdollista hyödyntää ja pitää perustana samantapaisille kuormitusvastusinvestoinneille.

LÄHDELUETTELO

- Aho, T (1989). *Investointilaskelmat*. Ekonomia-sarja. Vaasa: Suomen Ekonomiliitto & Weilin + Göös. 317 s.
- Aittomäki, A (toim.) (2012). *Kylmätekniikka*. 4. painos. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys ry. 413 s. ISBN 978-951-96449-7-4.
- Avtron (2014). Internet sivut [online] *K875A-MV Resistive Load Bank Data Sheet*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.emersonnetworkpower.com/documentation/en-US/Products/Load-Banks/Documents/Permanent-Load-Banks/Medium-Voltage/K875A-MV/K875A-MV-bull423.pdf>.
- Egsa (2010). *On-Site Power Generation: A Reference Book*. USA: Egsa. 599 s. ISBN: 0-9625949-4-6.
- Energiateollisuus ry (2006). *Kaukolämmön käsikirja*. Helsinki: Energiateollisuus ry. 566 s. ISBN 952-5615-08-1.
- Energiateollisuus ry (2015). Internet sivut [online]. [Viitattu 18.02.2015] *Kaukojäähdytyksen toimintaperiaate*. Saatavilla osoitteesta: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukojaahdytys/kaukojaahdytyksen-toimintaperiaate>.
- Granlund (2014). Internet sivut [online] [Viitattu: 2.2.2015] *Merkittävää energiansäästöä Wärtsilälle*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.granlund.fi/ajankohtaista/merkittavaa-energiansaastoa-wartsilalle>.
- Haverila, M., E. Uusi-Rauva, I. Kouri & A. Miettinen (2005). *Teollisuustalous*. Tampere: Infacts johtamistekniikka. 510 s.
- Humalamäki, H (2015), Development Engineer. Wärtsilä Finland Oy. Haastattelu.

Vaasa 6.2.2015.

Ikäheimo, S., T. Malmi & R. Walden (2012). *Yrityksen Laskentatoimi*. Helsinki: Sanoma Pro Oy. 300 s.

Jyrkkiö, E. & V. Riistama (2000). *Laskentatoimi päätöksenteon apuna*. Porvoo: Ws Bookwell Oy. 334 s.

Kanthal (2009). *Resistance heating alloys and systems for industrial furnaces*. Saatavilla osoitteesta: http://www.kanthal.com/Global/Downloads/Furnace%20products%20and%20heating%20systems/Heating%20elements/Metallic%20heating%20elements/S-KA041-B-ENG_2011-09.pdf.

Kanthal (2015a). Internet sivut [online]. [Viitattu 16.3.2015] *Kanthal D- datasheet*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.kanthal.com/en/products/material-datasheets/wire/resistance-heating-wire-and-resistance-wire/kanthal-d/>.

Kanthal (2015b). Internet sivut [online]. [Viitattu 16.3.2015] *Nikrothal 80- datasheet*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.kanthal.com/en/products/material-datasheets/wire/resistance-heating-wire-and-resistance-wire/nikrothal-80/>.

Knuper, S. & V. Puttonen (2012). *Moderni Rahoitus*. Helsinki: Sanoma Pro Oy. 244 s.

Liljeblom, E. & M. Vaihekoski (2004). *Investment Evaluation Methods and Required Rate of Return in Finnish Publicly Listed Companies*. Liiketalouden Aikakausikirja 1. Saatavilla osoitteesta: http://lta.hse.fi/2004/1/lta_2004_01_a1.pdf.

Lloyd's Register (2013). *Rules and regulations for the classification of ships*. Saatavilla rekisteröintiä vastaan osoitteesta <http://www.webstore.lr.org>.

Loyal (2004). *Perustietoa putkivastuksista*. Saatavilla osoitteesta: http://www.loyal.fi/images/stories/eitteet/Loyal_perustietoa_fi.pdf.

- Marques, J., H. Pinheiro, H. A. Gündling, J. R. Pinheiro & H. L. Hey (2002). *Survey on Variable-Speed Wind Turbine System*. Saatavilla osoitteesta: <http://faculty.mu.edu.sa/public/uploads/1338062982.2388A%20SURVEY%20ON%20VARIABLE-SPEED%20WIND%20TURBINE%20SYSTEM.pdf>.
- Martikainen, T & M. Martikainen (2009). *Rahoituksen perusteet*. Helsinki: WSOYpro Oy. 205 s.
- Motiva (2014a). *Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen: Lämpöpumppu- ja ORC-sovellutukset*. Saatavilla osoitteesta: http://www.motiva.fi/files/8900/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_lampopumppu_ORC_www.pdf.
- Motiva (2014b). *Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen: Ylijäämälämpöenergia -analyysit*. Saatavilla osoitteesta: http://www.motiva.fi/files/8808/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_-_ylijaamalampoenergia-analyysit.pdf.
- Neilimo, K. & E. Uusi-Rauva (2002). *Johdon Laskentatoimi*. Helsinki: Edita Oyj. 312 s.
- Niskanen, J. & M. Niskanen (2000). *Yritysrahoitus*. Helsinki: Oy Edita Ab. 421 s.
- Salmi, J (2013). *Adsorptiojäähdyttimen käytön kannattavuus kaukolämpöjärjestelmässä*. Energiatekniikan ko. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- Simplex (1997). *What is a Load Bank?* Saatavilla osoitteesta: <http://hurtado.cc/wp-content/uploads/lb.pdf>.
- Simplex (2014a). Internet sivut [online]. [Viitattu 16.12.2014] *Load Bank Fundamentals*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.simplexdirect.com/loadbanksEducation.aspx>.
- Simplex (2014b). Internet sivut [online]. [Viitattu 16.12.2014] *Load Banks*. Saatavilla

osoitteesta: <http://www.simplexdirect.com/Types.aspx?CatID=11>.

Simplex Onsite (2015). Internet sivut [online]. [Viitattu 19.1.2015] *Load Bank Types – Resistive, Reactive, Water- Cooled*. Saatavilla osoitteesta: <http://simplexonsite.com/load-bank-types-resistive-reactive-water-cooled>.

Sivanagaraju, S (2010). *Generation and Utilization of Electrical Energy*. Intia: Pearson Education. ISBN: 9788131733325.

Steadypowers (2014a). Internet sivut [online]. *Avtron K875A-MV Load Bank information*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.steadypower.com/products.php?product=Avtron-K875A%252dMV-Load-Bank-%28500%252d3000kW%29>.

Steadypowers (2014b). Internet sivut [online]. [Viitattu 16.12.2014] *Types of Load Banks*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.steadypower.com/pages.php?pageid=63>.

Steadypowers (2015). Internet sivut [online]. *Avtron K922A MV Load Bank information*. Saatavilla osoitteesta: [http://www.steadypower.com/products.php?product=Avtron-K922A-MV-Load-Bank-\(3000%252d7000kW\)](http://www.steadypower.com/products.php?product=Avtron-K922A-MV-Load-Bank-(3000%252d7000kW)).

Tevä-Helminen, V (2013). *Investointilaskenta ja päätöksenteko- opetusmoniste*. Saatavilla osoitteesta: http://users.metropolia.fi/~mikalem/investointilaskenta/Opetusmoniste_InvLask_280813.pdf.

The Switch (2013). *FPC 750 – 6000 kW- datasheet*. Saatavilla osoitteesta: http://www.theswitch.com/wp/wp-content/uploads/2013/10/Datasheet_FPC750-6000_EN_final-8.0_121213.pdf.

Virtanen, V (1985). *Sähkökattiloiden teknis-taloudellinen vertailu*. Sähkötekniikan laitost. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Wärtsilä (2009). *Teema: Vaasassa valmistettavat moottorit*. Julkaisematon lähde.

Wärtsilä (2014a). Internet sivut [online]. [Viitattu 10.12.2014] *Wärtsilä Generating Sets*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.wartsila.com/fi/engines/gensets/generating-sets>.

Wärtsilä (2014b). *Wärtsilä Oyj Abp Konserniesittely 2014*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.wartsila.com/file/Wartsila/fi/1278540163361a1267106724867-Konserniesittely-2014.pdf>.

Wärtsilä (2015a). Internet sivut [online]. [Viitattu 8.1.2015] *Wärtsilä lyhyesti*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.wartsila.fi/fi/about/yhtio-johto/yhtiorakenne>.

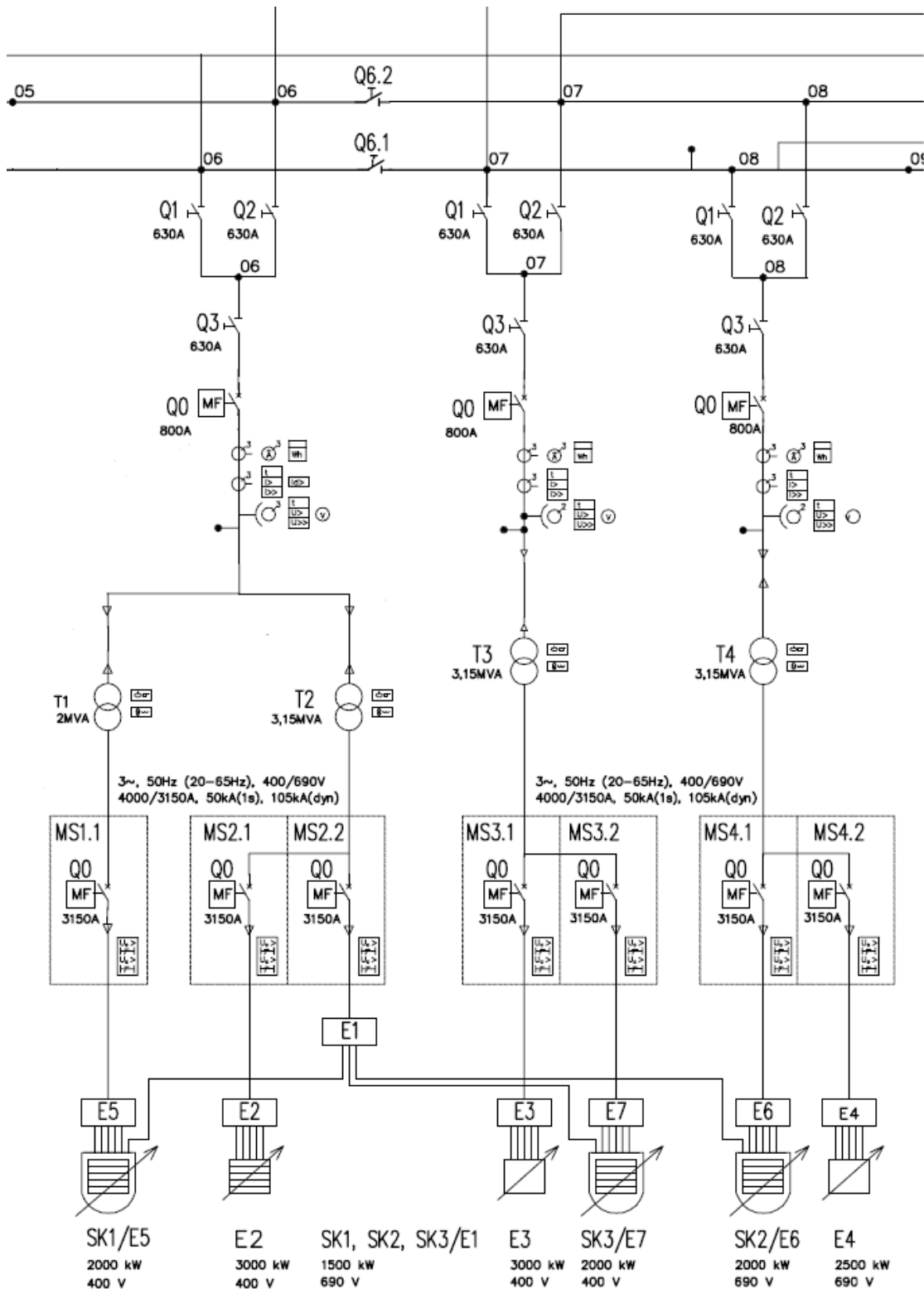
Wärtsilä (2015b). Internet sivut [online]. [Viitattu 5.2.2015] *Wärtsilä Suomessa*. Saatavilla osoitteesta: http://www.wartsila.com/fi_FI/wartsila/wartsila-suomessa.

Wärtsilä (2015c). Internet sivut [online]. [Viitattu 3.3.2015] *This is Wärtsilä.*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.wartsila.com/en/about/company-management/overview>.

Wärtsilä (2015d). Internet sivut [online]. [Viitattu 3.3.2015] *Efficient, flexible and sustainable power generation*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.wartsila.com/en/power-plants/power-generation/overview>.

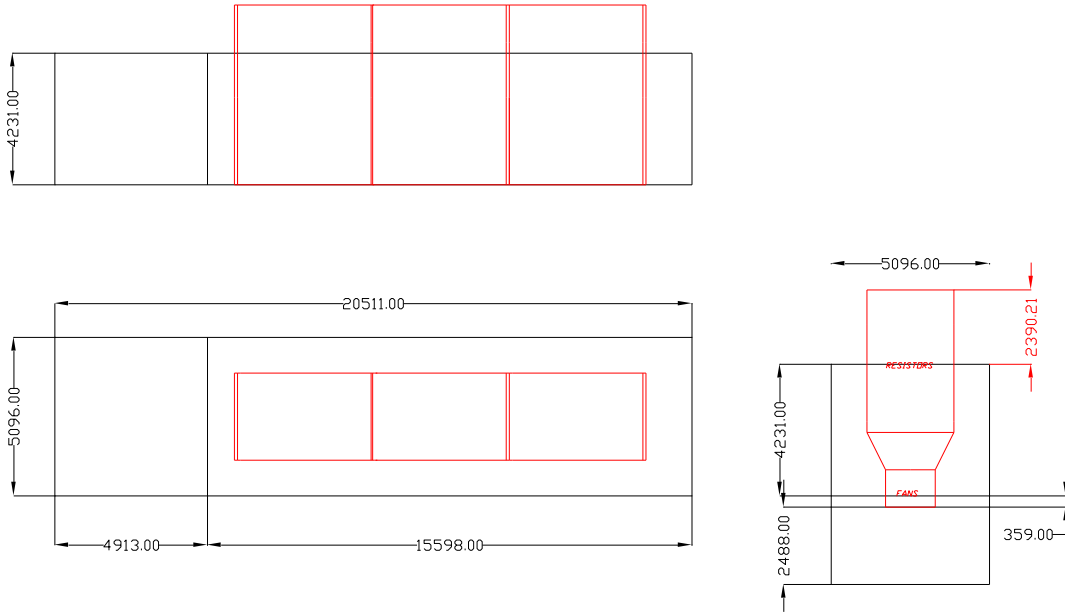
LIITTEET

Liite 1. Nykyisten kuormitusvastusten ja lämmityskattiloiden pääkaavio.

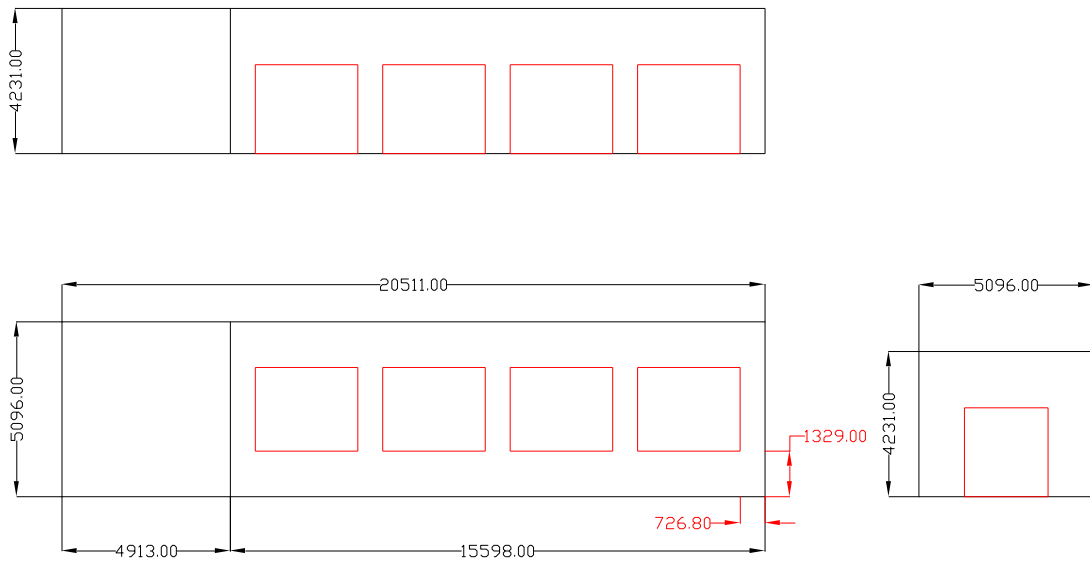


Liite 2. Tarkasteltujen uudistamisvaihtoehtojen layout-suunnitelmat.

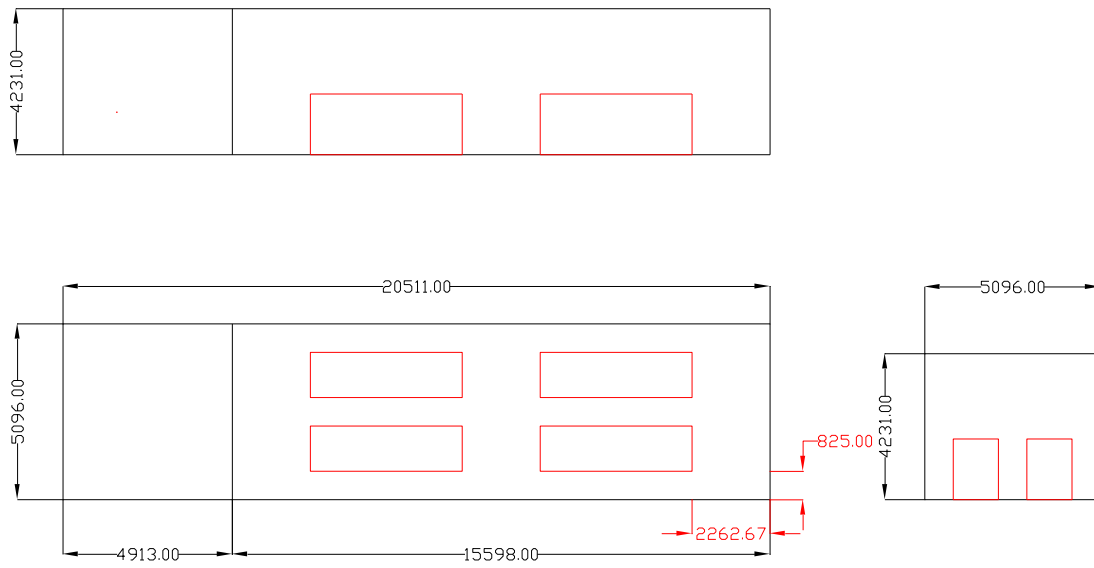
1. Vaihtoehto A



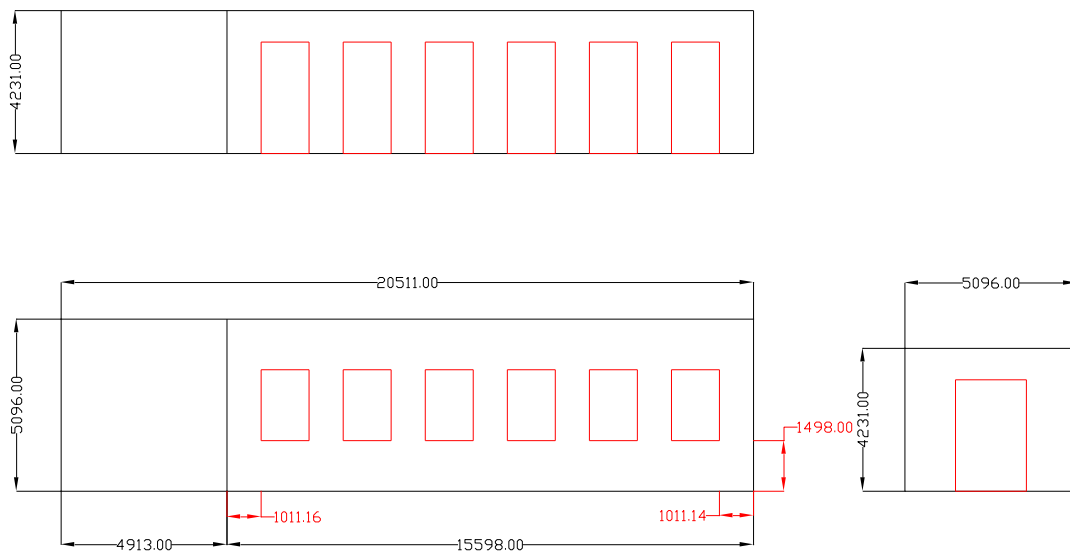
2. Vaihtoehto B



3. Vaihtoehto C



4. Vaihtoehto D



5. Vaihtoehto E

