

# HAPPOJENKÄSITTELYLAITOKSEN SÄHKÖMOOTTOREIDEN KARTOITUS

Ylitrukki Ville

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

2024

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Ville Ylitrukki	Vuosi	2024
<b>Ohjaaja</b>	DI Jaakko Etto		
<b>Toimeksiantaja</b>	Outokumpu Stainless Oy, kunnossapitoinsinööri Juha lisakka		
<b>Työn nimi</b>	Happojenkäsittelylaitoksen sähkömoottoreiden kartoitus		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	59 + 8		

---

Outokummun Tornion tehtaiden kylmävalssaamoiden yhteydessä olevilla regenerointi- ja neutralointilaitoksilla on toistuvasti todettu sähkömoottoreiden rikkoutuessa, että soveltuvan varamoottorin löytäminen tehtaan varastosta on aikaa vievää. Lisäksi tilattu varamoottori ei alueelle saapuessaan välttämättä vastaa varastojärjestelmässä siitä annettujen tietojen kanssa. Opinnäytetyön tavoite oli kartoittaa neutralointi- ja regenerointilaitosten alueella sijaitsevien prosessimoottoreiden varamoottoreiden saatavuus tehtaan omilta varastoilta. Tavoitteeseen päästiin toteuttamalla kenttäkartoitus kaikille alueen sähkömoottoreille, minkä jälkeen saaduilla tiedoilla etsittiin varamoottorit tehtaan varastolta ja varmistettiin niiden soveltuvuus laitepaikoille.

Kartoituksen taustateoriaksi työssä on käsitelty perustiedot oikosulkumoottoreista, niiden vikaantumistavoista ja kunnossapidosta yleisesti. Lisäksi käytiin läpi alueen moottorikannan osalta oleelliset moottoreiden lisävarusteet. Alueen eri laitojen moottoreiden käyttökohteita käytiin myös läpi lyhyesti. Kenttäkartoituksessa käsiteltiin moottorien valokuvaaminen asennukseen vaikuttavien tekijöiden ja arvokilven osalta. Kenttäkartoituksesta tehtiin dokumentaatio saatujen tietojen pohjalta. Dokumentaation avulla tehdyssä varastokartoituksessa läpikäytiin varamoottoreiden haku kunnossapidon tietojärjestelmästä. Lopuksi esiteltiin vielä kartoituksen aikana havaittuja puutteita.

Tuloksena saatiin moottoreista dokumentointi taulukoiden ja kuvatiedostojen muodossa. Puutteet varamoottoreiden suhteen listattiin mahdollista kriittisyysanalyysia varten. Dokumentaation perusteella voitiin päivittää neutralointi- ja regenerointialueen oikosulkumoottoreiden tiedot tehtaan kunnossapitojärjestelmään ajan tasalle. Jatkossa ajantasainen tieto palvelee alueen kunnossapitoa, mikäli tiedot päivitetään tarvittaessa.

Avainsanat

oikosulkumoottori, kunnossapito, kartoitus



## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	OUTOKUMPU OYJ .....	8
2.1	Outokumpu Stainless Oy:n Tornion tehtaat .....	8
2.2	Kylmävalssaamo 1 ja RAP5 .....	9
2.3	Neutralointi- ja regenerointilaitokset.....	10
3	OIKOSULKUMOOTTORIT .....	11
3.1	Rakenne ja toiminta.....	11
3.2	Kilpiarvot.....	12
3.3	Asennusasento .....	15
3.4	Jäähdytys ja kotelointi.....	16
3.5	Eristysluokat .....	18
3.6	Hyötysuhdeluokitukset.....	19
3.7	Käyttötavat.....	21
3.8	Liitinmerkinnät ja pyörimissuunta.....	25
3.9	Laakerit.....	26
3.10	Sähkömoottoreiden lisävarusteet .....	29
3.10.1	Jarrut .....	29
3.10.2	Lämpötila-anturit.....	30
3.10.3	Seisontalämmityselementit.....	32
3.10.4	Erillistuuletin .....	33
4	KUNNOSSAPITO .....	34
4.1	Kunnossapitolajit .....	34
4.2	Laitteiden kriittisyyskartoitus .....	37
4.3	Kunnossapidon tietojärjestelmät.....	37
4.4	Oikosulkumoottoreiden kunnossapito .....	39
4.4.1	Vioittumistavat .....	39
4.4.2	Moottoreiden ennakkohoito .....	43
5	HAPPOJENKÄSITTELYLAITOKSEN MOOTTOREIDEN KARTOITUS .....	45
5.1	Alueen moottorikannan yleiskuva .....	45
5.1.1	Haponpurku- ja ammoniakipurkuasema sekä happovarastot....	45
5.1.2	Regenerointilaitokset 2 ja 3 .....	46
5.1.3	Neutralointilaitokset 1 ja 2 .....	46

5.1.4	Jäähdytysvesilaitokset 1 ja 2 .....	46
5.2	Kenttäkartoitus.....	47
5.2.1	Moottoreiden valokuvaaminen.....	47
5.2.2	Kenttäkartoituksen tulosten dokumentointi .....	48
5.3	Varastokartoitus.....	50
5.4	Kartoituksen aikana havaitut puutteet.....	51
6	POHDINTA .....	54
	LÄHTEET.....	56
	LIITTEET .....	59

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

IEC	International Electrotechnical Commission; kansainvälinen elektroniikan ja sähkötekniikan alan standardisointijärjestö
KUTI	Outokummun kunnossapidon tietojärjestelmä
Nere	neutralointi- ja regenerointilaitokset
RAP5	kylmävalssaamo 2

## 1 JOHDANTO

Outokummun Tornion tehtaiden kylmävalssaamoiden yhteydessä olevilla regenerointi- ja neutralointilaitoksella on toistuvasti todettu sähkömoottoreiden rikkoutuessa, että soveltuvan varamoottorin löytäminen tehtaan varastosta on aikaa vievää ja varastosaldojen paikkansapitävyys epävarmaa. Varamoottoreiden puute, nimikkeiden puutteelliset tiedot ja varastossa olevan moottorin vastaavuus nimikkeelle merkittyjen tietojen suhteen vievät työaikaa aluekunnossapidolta sekä hankintaosastolta. Joissakin tapauksissa tuotantoprosesseja joudutaan ajamaan tilapäisohjeistuksella varamoottoreiden puutteiden vuoksi.

Tämän työn aiheeksi on valittu alueen prosessien sähkömoottoreiden kartoitus. Kartoitus toteutetaan kenttä- ja varastokartoituksena. Kentällä otetaan sähkömoottoreista valokuva asennustavan ja välittömän asennusympäristön dokumentoimiseksi. Näin varamoottorin soveltuvuus kohteeseen voidaan jatkossa todeta tehdyn dokumentoinnin avulla. Lisäksi kuvataan moottoreiden arvokilvet sähköisten ominaisuuksien tallentamiseksi. Moottoreiden tiedot kerätään excel-tiedostoon, josta on jatkossa mahdollisuus siirtää ne edelleen kunnossapitojärjestelmään. Varastokartoituksen tarkoituksena on varmistaa sieltä löytyvien varamoottoreiden soveltuvuus kentälle määritellyille paikoille. Näin saadaan vähennettyä tilanteita, joissa varastolta tulee kentälle vääränlainen moottori. Lisäksi saadaan alueiden moottoreiden tiedot vastaamaan paremmin nykyistä tilannetta.

## 2 OUTOKUMPU OYJ

### 2.1 Outokumpu Stainless Oy:n Tornion tehtaat

Yhtiön tuotanto alkoi 1968 Kemin kaivostoiminnalla ja ferrokromin tuotannolla. Terästuotanto aloitettiin Torniossa vuonna 1976. Kemin ja Tornion yksiköt muodostavat maailman integroiduimman ruostumattoman teräksen tuotantolaitoksen. Tornion tehdasalue sisältää ferrokromitehtaata, terässulaton, kuumavalssaamon, kylmävalssaamot sekä sataman. Kuviossa 1 on Outokumpun Tornion tehtaiden tehdasalue Perämeren rannalla. (Outokumpu Oy 2020a.)



Kuvio 1. Tornion tehtaiden tehdasalue (Outokumpu Oy 2020b)

Kemin kaivoksella louhittava kromimalmi käsitellään kaivoksella pala- ja hienorikasteeksi, minkä jälkeen ne kuljetetaan Tornion ferrokromitehtaille jatkokäsittelyä varten. Ferrokromitehtailla hienorikaste käsitellään kromipelleteiksi, jotka yhdessä kvartsiitin, koksen ja palarikasteen kanssa syötetään sulatukseen. Sula ferrokromi kuljetetaan kiskoja pitkin terässulaton. Terässulaton romupihoille tuodaan kierrätysterästä, joka sulatetaan yhdessä tarvittavien lisäaineiden kanssa valokaariuuneissa. Tämä sula yhdistetään ferrokromitehtailta tulevaan sulaan ja syötetään AOD-konverttereihin, joissa sulasta poistetaan hiili ja rikki sekä lisätään seosaineita. Muodostunut sula kaadetaan senkkaan, jolla se siirretään jatkuvavalukoneelle. Jatkuvavalukoneella sula jäähdytetään ja siitä muodostetaan teräsaihoita, jotka siirtyvät kuumavalssaamolle. Kuumavalssaamolla aihiot läm-



mitetään ennen niiden valssausta haluttuun paksuuteen. Valssatut nauhat kelaataan rulliksi ja siirretään jäähdytyslaitteisiin, joista ne myydään mustana nauhana tai lähetetään jatkokäsittelyyn kylmävalssaamoille. (Outokumpu Oyj 2020c.)

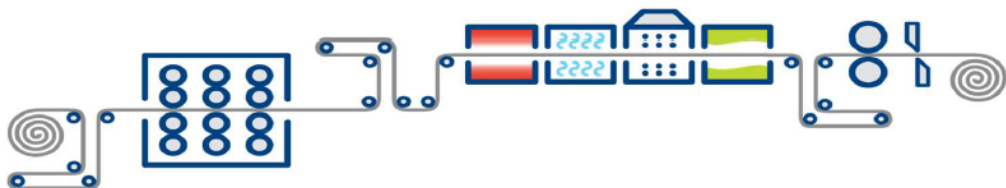
## 2.2 Kylmävalssaamo 1 ja RAP5

Kylmävalssaamolla nauha käy läpi hehkutus- ja peittäusprosessin, jossa palautetaan teräksen mekaaniset ominaisuudet ja poistetaan musta hilse. Kuvion 2 mukaisesti nauha kylmävalssataan tämän jälkeen haluttuun paksuuteen. Hehkutus- ja peittäusprosessi toistetaan vielä valssauksen jälkeen, minkä perään nauha kiillotetaan viimeistelyvalssaimella. Lopuksi nauhasta voidaan leikkaus- ja halkaisulinjoilla tehdä asiakkaan haluamilla mitoilla levyjä ja rullia. (Outokumpu Oyj 2020d.)



Kuvio 2. Kylmävalssaamo 1:n toiminnot (Outokumpu Oyj 2020d)

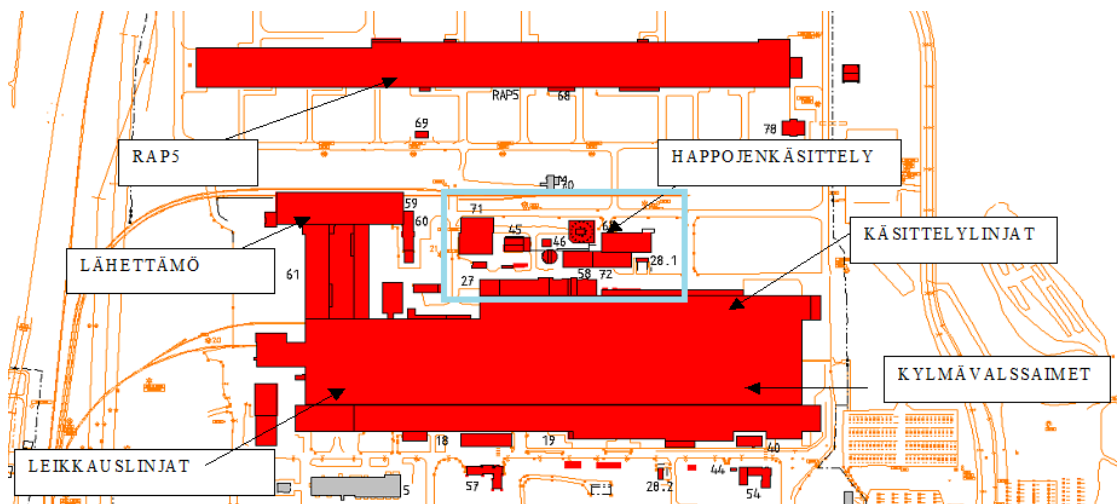
Kylmävalssaamo 2 eli RAP5-linjalla hehkutus- ja peittäus sekä valssaus tapahtuvat kaikki samalla yhtenäisellä linjalla rullan auki kelauksesta päälle kelaukseen. Kuviossa 3 on linja pääpiirteissään. Linjan jatkuvatoimisuuden mahdollistavat nauhavarajaajat. Varaajasta nauhaa saadaan syötettyä esimerkiksi alkupäässä samalla, kun suoritetaan kahden nauhan yhteen hitsausta. Teräsnauha kulkee RAP5-linjan läpi kahdesti. Ensimmäisellä kierroksella musta kuumanauha hehkutetaan ja peitataan kirkkaaksi kuumanauhaksi. Toisella kierroksella nauha kylmävalssataan. (Outokumpu Oyj 2020d.)



Kuvio 3. Kylmävalssaamo 2:n eli RAP5-linjan osat (Outokumpu Oyj 2020d)

### 2.3 Neutralointi- ja regenerointilaitokset

Neutralointi- ja regenerointilaitokset sijaitsevat kylmävalssaamo 1 ja 2 välisellä alueella. Kuviossa 4 rajatulla alueella käsitellään ja varastoidaan kylmävalssaamoiden hehkutus- ja peittäusprosessien hapot sekä käsitellään prosessien vedet. Lisäksi alueella on kylmävalssaamojen ja happojenkäsittelylaitosten itsensä tarvitsemat jäähdytysvesilaitokset. (Outokumpu Oyj 2019.)



Kuvio 4. Nere-laitosten sijainti kylmävalssaamoiden välissä (Outokumpu Oyj 2020e)

Alueen tehtäviin kuuluvat

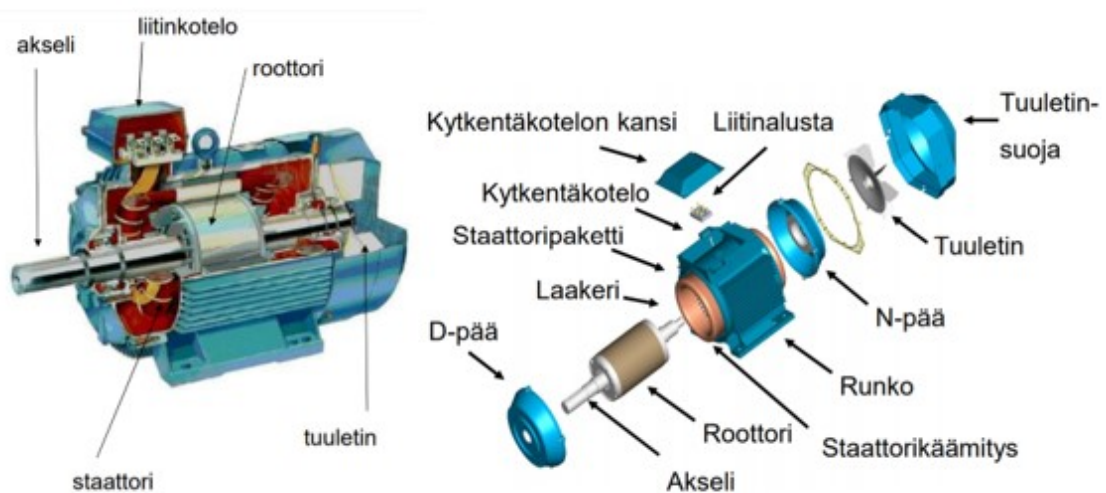
- raakahappojen ja emästen varastointi, valvonta ja jakelu käyttöpisteisiin
- peittäushappojen vastaanotto, varastointi, regenerointi ja jakelu käyttöpisteisiin
- peittauksen happamien ja kromipitoisten huuhteluvesien käsittely neutraloinnissa
- jäähdytysvesien käsittely jäähdytysvesilaitoksilla
- tuorekemikaalien vastaanotto, varastointi ja jakelu käyttöpisteisiin
- rasvanpoistoon tulevien öljyisten ja rasvaisten vesien puhdistaminen
- nesteiden käsittelystä syntyvien sakkojen käsittely ja kuljetus yhtiön vaarallisen jätteen kaatopaikalle sekä jatkokäsittelyyn (Outokumpu Oyj 2019).

### 3 OIKOSULKUMOOTTORIT

Oikosulkumoottorit ovat teollisuuden yleisin sähkökonetyyppi. Yksinkertainen rakenne, kestävyys ja suuret tuotantomäärät mahdollistavat myös niiden suhteellisen edulliset hinnat. (Hietalahti 2013b, 34.) Suomessa teollisuudessa tunnettuja valmistajia ovat mm. ABB, Siemens, VEM ja SEW-EURODRIVE.

#### 3.1 Rakenne ja toiminta

Kolmivaiheisen oikosulkumoottorin pääosat ovat staattori ja roottori. Kuviossa 5 on esitetty oikosulkumoottorin rakenteelliset osat moottorin ollessa kasattuna ja purettuna osiin.



Kuvio 5. Oikosulkumoottorin rakenne (ABB 2014)

Oikosulkumoottorin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Kolmivaiheiseen sähköverkkoon liitetyn oikosulkumoottorin staattorikäänitys muodostaa pyörivän magneettikentän. Tämän magneettikentän vuoviivat leikkaavat roottorin sauvoja. Koska roottorin sauvat on kytketty molemmista päistään yhteen, eli oikosulkuun, indusoituu sauvoihin lähdejännite. Lähdejännite muodostaa suljetuissa piireissä roottorivirran. Syntyy voimavaikutus staattorikentän ja roottorivirran välille. Mikäli kuormitusmomentti on tätä syntyvää vääntömomenttia pienempi, alkaa roottori pyöriä. (Hietalahti 2013a, 138.)

Roottorisauvojen lähdejännite on verrannollinen staattorikäymityksen magneettivuon ja roottorisauvojen leikkausnopeuteen. Roottorin nopeuden kasvaessa leikkausnopeus pienenee, mikä aiheuttaa lähdejännitteen pienenemisen. Tämän takia roottorivirta myös pienenee ja aiheuttaa vääntömomentin pienenemisen. Oikosulkumoottorille onkin ominaista, että pyörimisnopeus kasvaa arvoon, jossa moottorin tuottama momentti on kuormittavan momentin suuruinen. Mikäli roottorin nopeus saavuttaisi staattorikentän nopeuden, olisi magneettivuon leikkausnopeus nolla ja näin ollen myös tuotettu vääntömomentti nolla. Vastaavasti, jos kuormitusta ei ole, kasvaa moottorin pyörimisnopeus lähes staattorikentän pyörimisnopeuteen. (Hietalahti 2013a, 138.)

### 3.2 Kilpiarvot

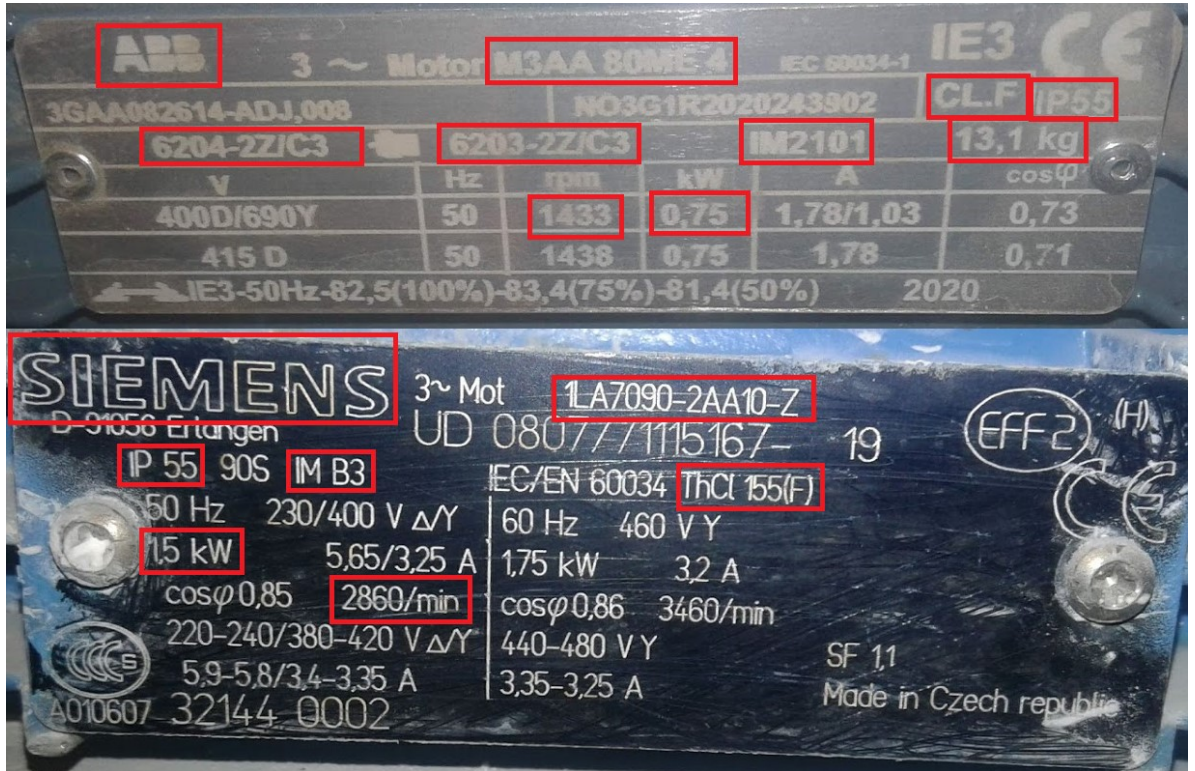
Oikosulkumoottorin kilpiarvoissa ilmoitetaan koneen asennukseen, sähköverkkoon kytkemiseen ja kuormittamiseen liittyvät tarvittavat tiedot. Kilven tulee olla koneessa helposti luettavassa paikassa. Arvokilvessä ilmoitetaan ne tiedot, joiden perusteella moottori voidaan asentaa laitepaikalleen, liittää sähköverkkoon ja kuormittaa sille tarkoitetulla tavalla. Pyörivien sähkökoneiden osalta on olemassa kansainvälinen standardi IEC 60034, jossa määritellään mm. arvokilvessä ilmoitettavat tiedot. (Hietalahti 2013b, 23.)

Arvokilvestä tulisi löytyä mm.

- koneen laji
- käyttötapa
- nimellisarvot teholle, jännitteelle, virralle, taajuudelle, pyörimisnopeudelle ja tehokertoimelle
- kytkentä kullekin jännitteelle
- pyörimissuunta
- eristysten lämpötilaluokka
- asennustapa
- valmistaja ja valmistusnumero
- suojaustapa

- paino (Hietalahti 2013b, 23–24).

Kuviossa 6 on kahden eri valmistajan oikosulkumoottorien arvokilvet. Valmistajien ilmoittamat tiedot poikkeavat hieman toisistaan ja eri aikakausilta olevien moottorien arvokilvet samallakin valmistajalla ovat erilaiset.



Kuvio 6. Kahden eri valmistajan oikosulkumoottorien arvokilvet

Kilpitiedoista käy ilmi, että moottorien akseliltaan antamat nimellistehot ovat 0,75 kW ja 1,5 kW. Nimellistehon avulla voidaan määrittellä vastaava nimellismomentti (Kaava 1).

$$T_N = \frac{P_N}{2\pi \cdot n_N} \quad (1)$$

missä

$T_N$  on moottorin nimellismomentti [Nm]  
 $P_N$  on nimellisteho [kW]  
 $n_N$  on moottorin nimelliskierrosnopeus [r/min] (Hietalahti 2013b, 44).

Nimelliskiertonopeus määräytyy moottorin staattorikäimityksen rakenteesta. Staattoriin asennettavien käänivyhtien lukumäärän mukaan muodostuu staat-

torin magneettikenttä eri määrästä napapareja. Staattorin magneettikentän kiertonopeus määräytyy sähköverkon taajuuden ja napapariluvun mukaisesti (Kaava 2). (Hietalahti 2013b, 35.)

$$n_s = \frac{f}{p} \cdot 60 \quad (2)$$

missä

$n_s$	on	staattorikentän pyörimisnopeus [r/min]
$f$	on	sähköverkon taajuus [Hz]
$p$	on	staattorin napapariluku (Hietalahti 2013b, 35).

Nämä oikosulkumoottoreiden synkroniset pyörimisnopeudet ovatkin 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500, 429, 375 jne. kierrosta minuutissa. Moottorin arvokilpeen merkataan kuitenkin roottorin nimellinen pyörimisnopeus, joka on jättämän verran tätä staattorin magneettikentän pyörimisnopeutta pienempi. Tällä nopeudella moottorin roottori pyörii, kun kone toimii nimellisjännitteellä, kuormitus on nimellinen ja kone on käyttölämmin. (Mäkinen, Kallio, Tantarimäki, Nyström & Kallio 2009, 120.)

Jättämä on yleensä täydellä kuormalla luokkaa 2–5 % ja se voidaan laskea (Kaava 3).

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\% \quad (3)$$

missä

$s$	on	jättämä
$n_s$	on	staattorikentän pyörimisnopeus [r/min]
$n$	on	roottorin pyörimisnopeus [r/min] (Hietalahti 2013b, 35).

Moottori ottaa sähköverkosta kuormitukseen verrannollisesti pätötehoa  $P_1$ , jonka se siirtää mekaaniseksi tehoksi. Tämän lisäksi magnetointiin vaaditaan loistehoa. Moottorin sähköverkosta ottamia tehoja ei merkitä arvokilpeen mutta ne voidaan laskea (Kaava 4 ja Kaava 5), kun tiedetään syöttöjännite, moottorin ottama virta ja tehokerroin. Arvokilpeen merkityillä nimellisjännitteen, -virran ja -tehokertoimen avulla saadaan laskettua sähköinen nimellisteho. (Hietalahti 2013b, 54.)

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (4)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (5)$$

missä

$P_1$	on	moottorin sähköverkosta ottama pätöteho [kW]
$Q$	on	moottorin sähköverkosta ottama loisteho [kVar]
$U$	on	syöttöjännite [kV]
$I$	on	moottorin ottama virta [A]
$\cos\varphi$	on	tehokerroin (Hietalahti 2013b, 54).

Moottorissa syntyy mekaanisia häviöitä, rautahäviöitä ja virtalämpöhäviöitä (Hietalahti 2013b, 54). Moottorin hyötysuhde  $\eta$  saadaan laskettua sähköverkosta otetun sähkötehon ja kuormitukselle annettavan mekaanisen tehon suhteesta (Kaava 6).



$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (6)$$

missä

$\eta$	on	hyötysuhde
$P_1$	on	moottorin sähköverkosta ottama teho [kW]
$P_2$	on	moottorin akseliteho [kW] (Hietalahti 2013b, 55).

### 3.3 Asennusasento

Oikosulkumoottoreiden asennuskoodit on määritelty standardissa IEC 60034-7. Standardointi mahdollistaa erilaisten työkonoiden liittämisen moottoreihin ja moottorien vaihtokelpoisuuden valmistajasta riippumatta. (Mäkinen ym. 2009, 122.) Asennusasento määritellään IM merkinnällä, josta on käytössä kahta erilaista koodia. Koodi II ilmoitetaan neljällä numerolla, joista 1. numero kuvaa rakennetyyppiä, kaksi keskimmäistä asennustapaa ja viimeinen mm. akselin päiden lukumäärää. Koodi I kattaa pelkästään moottorit yhdellä akselitapilla laakerikilpineen ja asennusasento ilmoitetaan kirjaimen sekä korkeintaan kahden numeron yhdistelmänä. Kuviossa 7 on esitetty IM merkintöjä vastaavia asennusasetoja. (Hietalahti 2013b, 18.)

	Koodi I/Koodi II					
Jalkamoottori.	IM B3 IM 1001	IM V5 IM 1011	IM V6 IM 1031	IM B6 IM 1051	IM B7 IM 1061	IM B8 IM 1071
						
Laippamoottori, suuri laippa	IM B5 IM 3001	IM V1 IM 3011	IM V3 IM 3031	*) IM 3051	*) IM 3061	*) IM 3071
						
Laippamoottori, pieni laippa	IM B14 IM 3601	IM V18 IM 3611	IM V19 IM 3631	*) IM 3651	*) IM 3661	*) IM 3671
						
Jalka- ja laippamoottori, jalat, suuri laippa	IM B35 IM 2001	IM V15 IM 2011	IM V36 IM 2031	*) IM 2051	*) IM 2061	*) IM 2071
						
Jalka- ja laippamoottori, jalat, pieni laippa	IM B34 IM 2101	IM V17 IM 2111	IM 2131	IM 2151	IM 2161	IM 2171
						
Jalkamoottori, kaksi akselinpää	IM 1002	IM 1012	IM 1032	IM 1052	IM 1062	IM 1072
						

\*) Ei mainittu IEC 60034-7 -standardissa.

Kuvio 7. Sähkömoottoreiden asennusasennot (ABB 2004, 6)

### 3.4 Jäähdytys ja kotelointi

Oikosulkumoottorin lämpöhäviöt täytyy johtaa pois moottorista. Sähkömoottoreiden jäähdytysmenetelmät on määritelty standardissa IEC 60034–6. Standardi määrittelee IC-luokat, joista taulukossa 1 on esitetty yleisimpiä. Merkintä koostuu kirjaimista IC ja niitä seuraavista numeroista sekä kirjaimista, jotka määrittelevät jäähdytysaineen kierron toteutustavan, jäähdytysaineen sekä kiertotavan. (ABB 2000a, 13.)



Taulukko 1. Sähkökoneiden tavallisimpia IC-luokkia IEC 60034-6 (1991) mukaan (ABB 2000a, 14)

Merkintä	Määritelmän epävirallinen suomennos
IC 00	Konetta ympäröivä ilma jäädyttää koneen sisäosat. Roottorin tuuletusvaikutus on merkityksetön. Jäähdytysaineen liike johtuu lämpötilaeroista.
IC 01	Kuten IC 00, paitsi että akselille tai roottoriin asennettu tuuletin saa aikaan ilman virtauksen.
IC 06	Jäähdytysmenetelmä on sama kuin kohdassa IC 01, mutta jäähdytysaineen virtaus saadaan aikaan koneeseen asennetulla tuulettimella, jonka toiminta on riippumaton pääkoneen pyörimisnopeudesta.
IC 11	Koneeseen kanavan kautta tuleva ilma poistuu vapaasti koneen ympäristöön. Ilmanvirtaus saadaan aikaan tuulettimella, joka on asennettu akselille tai roottoriin.
IC 31	Tuleva ja lähtevä ilma virtaa kanavien kautta. Virtauksen aiheuttava tuuletin on kiinnitetty akselille tai roottoriin.
IC 411	Suljettu, sisäinen ilman virtaus ja vaippajäähdytys koneen akselille asennettujen tuulettimien avulla
IC 511	Suljettu, sisäinen ilman virtaus. Lämpö johdetaan koneen sisään rakennetun ilma-ilma-lämmönvaihtimen kautta (tavallisesti ns. putkijäähdytin) ulkopuoliseen ilmaan, jonka virtaus saadaan aikaan akselille asennetulla tuulettimella
IC 611	Kuten IC 511, mutta lämmönvaihdin on kiinnitetty koneeseen sen ulkopuolelle
IC 7A1 W7	Suljettu, sisäinen jäähdytysaineen virtaus. Sisäisen ilmankierron saa aikaan pääkoneen pyörimisnopeudesta riippuva tuuletin. Lämpö johdetaan koneen sisään rakennetun vesi-ilma-lämmönvaihtimen kautta jäähdytysveteen, jonka virtaus saadaan aikaan joko verkkopaineen tai apupumpun avulla
IC 8A1 W7	Kuten IC 7A1 W7, mutta lämmönvaihdin on kiinnitetty koneeseen sen ulkopuolelle.

Moottoreita käytetään hyvin erilaisissa olosuhteissa. Sähkökoneiden koteloitiluokat määritellään standardissa IEC 60034-5. IP-luokitus ottaa huomioon vesisuojauksen sekä suojauksen vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsystä. Standardin mukainen merkintä koostuu kirjaimista IP sekä kahdesta numerosta. Ensimmäisen ja toisen numeron määritelmät on esitetty taulukossa 2. (ABB 2024a, 9.) Oikosulkumoottorit ovat koteloinniltaan luonnostaan suljettuja. Tyypillisin teollisuudessa käytetty oikosulkumoottori on IP-luokaltaan IP55 ja jäähdytysmenetelmänä IC 411. (Hietalahti 2013a, 160.)

Taulukko 2. IP-koodin ensimmäisen ja toisen numeron kuvaukset (mukaihen Puttonen 2011, 11–12)

Ensimmäinen suojauksen määrittelevä numero	Suojauksentaso	Toimen suojauksen määrittelevä numero	Suojauksentaso
	Kuvaus		Kuvaus
0	Suojaamaton kone	0	Suojaamaton kone
1	Kone suojattu kiinteiltä kappaleilta, jotka ovat yli 50 mm kokoisia	1	Kone on suojattu vesi tipoilta
		2	Kone on suojattu vesi tipoilta, kun kallistettu 15° kulmaan
2	Kone suojattu kiinteiltä kappaleilta, jotka ovat yli 12 mm kokoisia	3	Kone on suojattu vesisuihkeelta
		4	Kone on suojattu vesiroiskeilta
3	Kone suojattu kiinteiltä kappaleilta, jotka ovat yli 2,5 mm kokoisia	5	Kone on suojattu vesisuihkulta
		6	Kone on suojattu kovalta merenkäynniltä
4	Kone suojattu kiinteiltä kappaleilta, jotka ovat yli 1 mm kokoisia	7	Kone on suojattu upottamiselta
		8	Kone on suojattu jatkuvalta upottamiselta
5	kone on suojattu pölyltä		
6	Pölytiiviskone		

### 3.5 Eristysluokat

Moottoreissa käytettävät eristysmateriaalit on jaettu eristysluokkiin, jotka määrittelevät eristeen lämmönkeston. Eristysluokkia ovat A, E, B, F ja H ja ne ilmaisevat moottorin eristysmateriaalin korkeimman käyttölämpötilan normaaleissa käyttöolosuhteissa taulukon 3 mukaisesti. Luokkien maksimilämpötila kertoo lämpötilan, joka käämityksen eristeiden tulee kestää. Valmistajat käyttävät yleisimmin B- ja F-luokan eristysluokkia. (Hietalahti 2013a, 168–169.) Käämityksen eristeet valitaan siten, että niillä saavutetaan tietyssä eristysluokassa kohtuullinen elinikä. Jos moottori käy liian kuumana, sen eristysluokan elinikä lyhenee puoleen jokaista 8–10 °C:een lämpötilan nousua kohti. (ABB 2000a, 13.)

Taulukko 3. Suurimmat sallitut käämityksen lämpötilat ympäristön lämpötilan ollessa 40 °C (Bevi 2024)

<b>Eristysluokka</b>	<b>A</b>	<b>E</b>	<b>B</b>	<b>F</b>	<b>H</b>
Ympäristön lämpötila (°C)	40	40	40	40	40
Sallittu lämpenemä (°C)	60	75	80	105	125
Varmuusmarginaali (°C)	5	5	10	10	15
Maksimi lämpötila (°C)	105	120	130	155	180

Ympäristön lämpötila, sallittu lämpenemä ja varmuusmarginaali ovat tekijöitä, jotka määrittävät kuinka paljon moottoria voidaan kuormittaa. Moottorin nimellisteho määritetään normaalisti 40 °C:n ympäristön lämpötilaan. Jos ympäristön lämpötila on korkeampi, on tavallisesti pienennettävä moottorin nimellistehoa. (Hietalahti 2013b, 25.)

### 3.6 Hyötysuhdeluokitukset

Hyötysuhteella kuvataan moottorin kykyä muuttaa sähköenergia mekaaniseksi työksi. Osa sähköenergiasta kuluu moottorissa häviöihin. Häviöt muodostavat

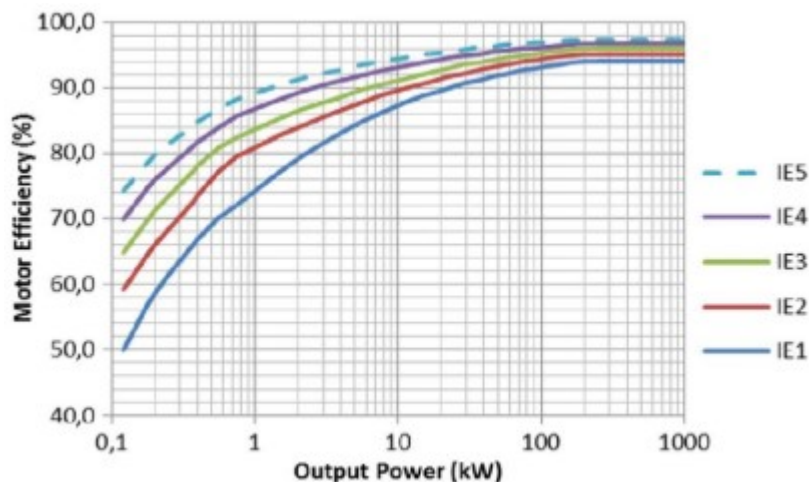
- staattorin rautahäviöt (käämien rakenne ja materiaalit)
- tuuletus-, kitka- ja laakerihäviöt (materiaalit, geometria)
- staattorin kuparihäviöt (käämitys)
- roottorihäviöt (materiaalit)
- lisähäviöt (staattori- ja roottoriurien geometria).

Näistä merkittävimmin hyötysuhteeseen vaikuttavat staattorin ja roottorin häviöt. (Motiva 2020, 7.)

Vuonna 1998 EU:n alueella otettiin käyttöön hyötysuhteiden luokitusjärjestelmä. Oikosulkumoottorit jaettiin hyötysuhteiden mukaan kolmeen luokkaan: EFF1, EFF2 ja EFF3 (Hietalahti 2013b, 28–29.). Myöhemmin standardissa IEC 60034-30-1 määritellään hyötysuhdeluokat IE1, IE2, IE3 ja IE4. Standardin hyötysuhdeluokat ovat

- IE1 = normaali (standard, entinen EFF2) hyötysuhde
- IE2 = korkea (high, entinen EFF1) hyötysuhde
- IE3 = erittäin korkea (premium) hyötysuhde
- IE4 = korkein (super premium) hyötysuhde.

Standardi koskee 2-, 4-, 6- ja 8 napaisia moottoreita. Tehoalueeksi on määritelty 0,12–1000 kW jännitteillä 50–1000 V ja taajuuksilla 50 Hz sekä 60 Hz. Kuviossa 8 on esitetty hyötysuhdeluokat määrittelevät käyrät. Käyristä nähdään myös, että hyötysuhde laskee moottoritehon pienentyessä. Pienemmillä moottoreilla kitkailmiöt ja resistiiviset häviöt korostuvat. (Motiva 2020, 9–10.) Kuviossa esitetty IE5 luokka, jonka moottoreita on eri valmistajilta jo tarjolla. Nämä moottorit ovat kuitenkin taajuusmuuttajilla käytettäviä tahtireluktanssi- tai kestromagneettimoottoreita. (Motiva 2020, 14–15.)

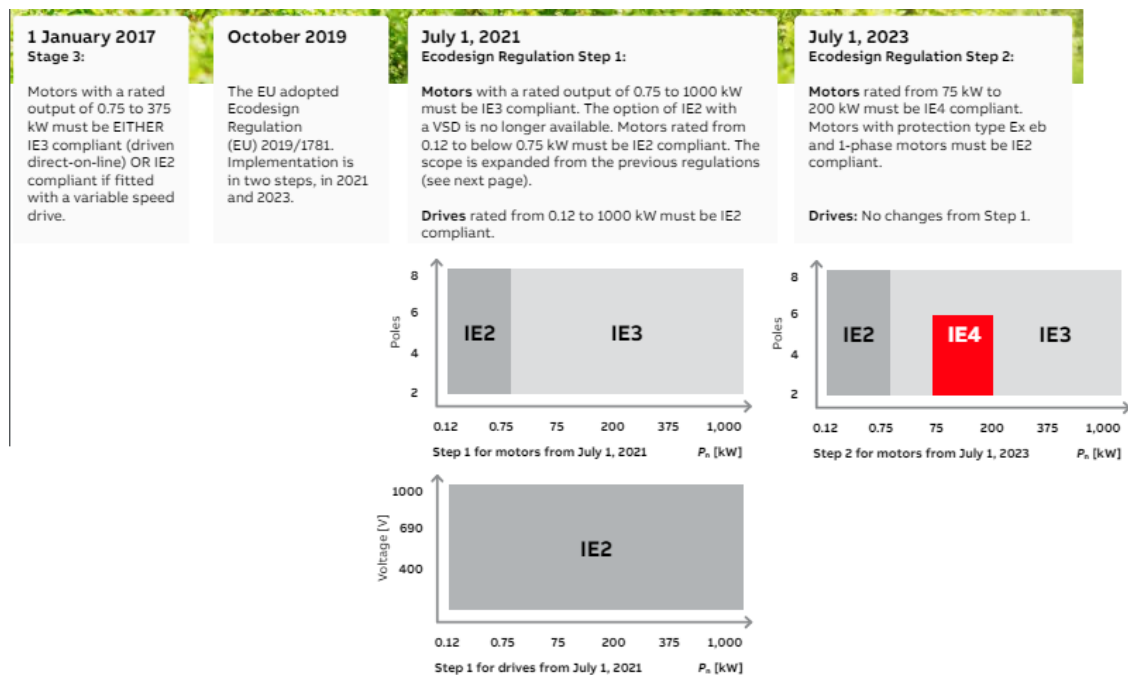


Kuvio 8. IE-hyötysuhdeluokat 4 napaiselle oikosulkumoottorille taajuudella 50Hz (Motiva 2020, 10)

Vuoden 2017 alun jälkeen valmistettujen 0,75–375 kW:n 2-, 4- ja 6 napaisten moottoreiden on tullut täyttää hyötysuhdeluokka IE3 tai taajuusmuuttajakäytössä luokka IE2. EU:n ekosuunnitteluasetuksen (2019/1781) mukaisesti on valmistettävien moottoreiden hyötysuhdeluokkavaatimuksia kiristetty kuvion 9 mukaisesti kahdessa vaiheessa. Vuoden 2021 heinäkuusta alkaen vaatimuksia tiukennettiin IE3-luokan osalta 1000 kW:iin saakka ja 0,12–0,75 kW:n moottoreille asetettiin IE2-luokan vaatimukset. 8-napaisten moottorit tulivat mukaan säätelyn piiriin. Sa-

moin Ex-tilan moottorit, lukuun ottamatta Ex eb-tyyppin moottoreita. Lisäksi taajuusmuuttajakäytössä luokan IE2 moottoreiden käyttömahdollisuus poistettiin ja taajuusmuuttajille asetettiin IE2-luokan vaatimukset. (Komission asetus (EU) 2019/1781.)

Viimeisin vaatimus tuli voimaan 1.7.2023. Se koskee tehoalueen 75–200 kW 2–6-napaisia sähkömoottoreita, joita käytetään turvallisessa käyttöympäristössä joko suorassa verkko- tai taajuusmuuttajakäytössä jarrulla varustettuja moottoreita lukuun ottamatta. Lisäksi nimellisteholtaan 0,12–1 000 kW Ex eb-tyyppin korotetun räjähdysuojan moottoreiden, joilla on kaksi, neljä, kuusi tai kahdeksan napaa, on vastattava vähintään hyötysuhdetasoa IE2. Myös yksivaihemoottoreiden nimellisteholtaan vähintään 0,12 kW:n moottoreiden on yllettävä IE2-luokan. (Komission asetus (EU) 2019/1781.)



Kuvio 9. EU:n hyötysuhdeluokkavaatimusten kiristymisen eteneminen (mukailien ABB 2023)

### 3.7 Käyttötavat

Sähkömoottorin käyttötavat määritellään standardissa IEC 60034-1 ja merkitään tunnuksilla S1-S10. Luokka määrittelee moottorin käyttötavan kuormitukselle,

jonka valmistaja takaa moottorilleen. Käyttötavan tunnus ilmoitetaan moottorin arvokilvessä. (Kauppila ym. 2013, 9.)

Käyttötavassa S1 (jatkuva käyttö) sähkömoottori toimii vakiokuormituksella loppulämpötilan saavuttamiseen asti. Arvokilvessä käyttötavan merkintä ilmoitetaan S1. (ABB 2000a, 11.)

Käyttötavassa S2 (lyhytaikainen käyttö) kone toimii vakiokuormituksella määrätyn ajan. Aika on niin lyhyt, että loppulämpötilaa ei saavuteta. Toimintajakson jälkeen on riittävän pitkä tauko, jotta moottori saavuttaa ympäröivän ilman tai käytettävän jäähdytysaineen lämpötilan. Käyttöajoiksi suositellaan 10, 30, 60 tai 90 minuuttia. Arvokilvessä käyttötavan merkintä ilmoitetaan esimerkiksi S2 30 min. (ABB 2000a, 11.)

Käyttötavassa S3 (jaksollinen käyttö) käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella ja sen jälkeinen seisonta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana ja käynnistykset eivät sanottavasti vaikuta lämpenemiseen. Ajoittaiskäyttökertoimena käytetään 15, 25, 40 tai 60 %. Jakson pituudeksi on määritelty 10 minuuttia. Arvokilvessä käyttötavan merkintä ilmoitetaan esimerkiksi S3 60 %. (ABB 2000a, 11.)

Käyttötavassa S4 (jaksollinen käynnistyskäyttö) käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella ja sen jälkeinen seisonta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Jaksollisessa käynnistyskäytössä moottori pysähtyy mekaanisella jarrulla tai luonnollisella tavalla hidastuen, jolloin pysähtyminen ei rasita moottoria termisesti.

Arvokilvessä on käyttötavan jälkeen ilmoitettava

- ajoittaiskäyttökerroin
- jaksojen lukumäärä tunnissa [c/h]
- moottorin hitausmomentti  $J_M$
- moottorin nimellinopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti  $J_{ext}$
- sallittu keskimääräinen nopeuden muutoksen aikana

- esiintyvä vastamomentti  $T_V$  nimellismomentin  $T_N$  avulla ilmoitettuna.

Tällöin leimaus voi olla esimerkiksi S4 - 25 % - 120 c / h -  $J_M = 0,1 \text{ kgm}^2$  -  $J_{ext} = 0,1 \text{ kgm}^2$  -  $T_V = 0,5 T_N$ . (ABB 2000a, 11.)

Käyttötavassa S5 (jaksollinen käynnistys- ja jarrutusikäyttö) käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella, jarrutusaika ja sen jälkeinen seisonta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Jarrutus tapahtuu sähköisesti esimerkiksi vastavirtajarrutuksena.

Arvokilvessä on, kuten käyttötavassa S4, käyttötavan jälkeen ilmoitettava

- ajoittaiskäyttökerroin
- jaksosten lukumäärä tunnissa [c/h]
- roottorin hitausmomentti  $J_M$
- moottorin nimellinopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti  $J_{ext}$
- sallittu keskimääräinen nopeuden muutoksen aikana
- esiintyvä vastamomentti  $T_V$  nimellismomentin  $T_N$  avulla ilmoitettuna.

Tällöin leimaus voi olla esimerkiksi S5 - 40 % - 120 c / h -  $J_M = 1,3 \text{ kgm}^2$  -  $J_{ext} = 2,6 \text{ kgm}^2$  -  $T_V = 0,3 T_N$ . (ABB 2000a, 11.)

Käyttötavassa S6 (pysähtymätön ajoittaiskäyttö) käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella ja tyhjäkäyntiaika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Ajoittaiskäyttökertoimena käytetään 15, 25, 40 tai 60 %. Jakson pituudeksi on määritetty 10 minuuttia. Arvokilvessä käyttötavan merkintä ilmoitetaan esimerkiksi S6 40 %. (ABB 2000a, 11.)

Käyttötavassa S7 (keskeytymätön käynnistys- ja jarrutusikäyttö) käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella ja jarrutusaika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Jarrutus tapahtuu sähköisesti esimerkiksi vastavirtajarrutuksena.

Arvokilvessä on käyttötavan jälkeen ilmoitettava

- jaksojen lukumäärä tunnissa [c/h]
- roottorin hitausmomentti  $J_M$
- moottorin nimellinopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti  $J_{ext}$
- sallittu keskimääräinen nopeuden muutoksen aikana
- esiintyvä vastamomentti  $T_V$  nimellismomentin  $T_N$  avulla ilmoitettuna.

Tällöin leimaus voi olla esimerkiksi S7 - 500 c / h -  $J_M = 0,08 \text{ kgm}^2$  -  $J_{ext} = 0,08 \text{ kgm}^2$  -  $T_V = 0,3 T_N$ . (ABB 2000a, 12.)

Käyttötavassa S8 (pysähtymätön määräjaksollinen käyttö) käyttö muodostuu keskenään samanlaisista jaksoista, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakio-kuormituksella tietyllä nopeudella. Tätä seuraa välittömästi toiminta-aika toisella vakio-kuormituksella eri nopeudella. Nopeuksia voi olla kaksi tai useampia. Lop-  
pulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana.

Arvokilvessä on käyttötavan jälkeen ilmoitettava

- jaksojen lukumäärä tunnissa [c/h]
- roottorin hitausmomentti  $J_M$
- moottorin nimellinopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti  $J_{ext}$ .

Tämän lisäksi erikseen ilmoitetaan jokaiselle pyörimisnopeudelle

- ajoittaiskäyttökerroin
- sallittu keskimääräinen nopeuden muutoksen aikana
- esiintyvä vastamomentti  $T_V$  nimellismomentin  $T_N$  avulla ilmoitettuna.

Tällöin leimaus voi olla esimerkiksi:

S8 -  $J_M = 2,2 \text{ kgm}^2$  -  $J_{ext} = 40 \text{ kgm}^2$

30 c/h -  $T_V = T_N$  - 24 kW - 740 r/min - 30 %

30 c/h -  $T_V = 0,5 T_N$  - 60 kW - 1460 r/min - 30 %

30 c/h -  $T_V = 0,5 T_N$  - 45 kW - 980 r/min - 40 %.

Kuormitus- pyörimisnopeusyhdistelmät leimataan siinä järjestyksessä kuin ne esiintyvät käytössä. (ABB 2000a, 12.)



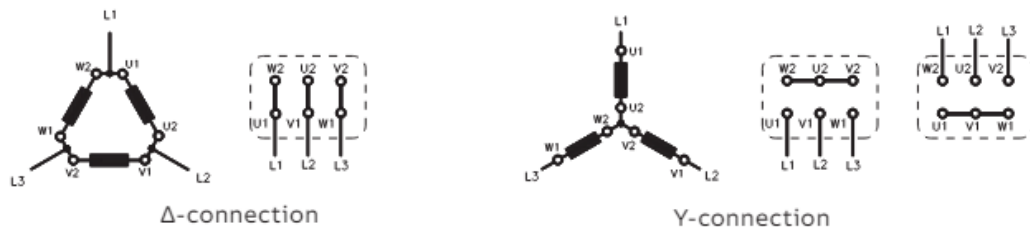
Käyttötavassa S9 (käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella) käyttö muodostuu sallitulla käyttöalueella tapahtuvista kuorman ja nopeuden vaihteluista, jotka yleensä eivät ole jaksollisia. Käyttötapa sisältää usein tapahtuvia ylikuormituksia, jotka voivat merkittävästi ylittää nimelliskuorman. Ylikuormituksen suuruus tulee huomioida moottorin nimellistehon valinnassa. (ABB 2000a, 12.)

Käyttötavassa S10 (käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla) käyttö muodostuu korkeintaan neljästä osajaksosta erisuurilla kuormilla. Jokaisen osajakson aikana saavutetaan loppulämpötila. (ABB 2000a, 12.)

### 3.8 Liitinmerkinnät ja pyörimissuunta

Pyörivän sähkökoneen liitinmerkinnät ja pyörimissuunnan sekä liitinmerkintöjen ja pyörimissuunnan välinen riippuvuus määritellään standardissa IEC 60034-8. Kolmevaiheisen yksinopeuksisen oikosulkumoottorin liittimien merkinnät on esitetty kuviossa 10. Kolmen käämin päät on merkitty U1-U2, V1-V2 ja W1-W2. Käämit kytketään joko kolmio- tai tähtikytkentään moottorin liitäntäkotelossa kuvion 10 mukaisesti. (ABB 2000a, 3–5.)

Standardissa IEC 60034-7 on määritelty sähkökoneen päiden tunnuksiksi D (Drive end) ja N (Non-drive end). Kun kolmivaiheisen sähkömoottorin vaiheet L1, L2 ja L3 kytketään moottorin liittimiin U, V ja W tässä järjestyksessä, niin akseli pyörii myötäpäivään D-päästä katsottuna. Pyörimissuuntaa muutetaan vaihtamalla minkä tahansa kahden vaiheen keskinäistä järjestystä. (ABB 2000a, 3–5.)



Kuvio 10. Kolmevaiheisen yksinopeuksisen oikosulkumoottorin kytkennät (ABB 2019, 56)

### 3.9 Laakerit

Käytännössä oikosulkumoottorin ainoat kuluvat osat ovat laakerit. Roottori pyörii laakereiden avulla staattoriaukossa. Laakerit asennetaan laakerikilpiin. Laakerikilvet kiinnitetään staattoriin, joka muodostaa koneen rungon. (Korpinen 1998, 1.) Laakereiden tarkoitus on roottorin tukeminen ja paikoitus. Ne pitävät roottorin ja staattorin välisen ilmaraon tasaisen pienenä ja siirtävät kuormitusta akselilta moottorin runkoon. Laakerin tulee moottorikäytössä kyetä toimimaan suurilla ja pienillä pyörimisnopeuksilla sekä minimoida kitkan vaikutus, jotta energia siirtyy mahdollisimman tehokkaasti käytettävään laitteeseen. (SKF 2013, 9.)

Laakerityypit voidaan jakaa liuku- ja vierintälaakereihin. Tyypillisesti vierintälaakereissa pintojen välinen kosketuspinta on ainoastaan piste tai viiva. Liukulaakereissa kosketuspinta on suuremmalla alueella. Liukulaakerin ja akselin välillä pinnat liukuvat toisiaan vasten, minkä vuoksi oikea voitelu on tärkeä liukulaakerin suhteen. Liukulaakereiden ja vierintälaakereiden ominaisuuksia voidaan vertailla taulukon 4 mukaisesti. (Keinänen & Kärkkäinen 2010, 282.)

Taulukko 4. Liuku- ja vierintälaakereiden ominaisuuksia (Keinänen & Kärkkäinen 2010, 282)

<b>Liukulaakerit</b>	<b>Vierintälaakerit</b>
-soveltuu raskaammalle kuormalle	-pieni kitkakerroin
-hiljaisempi käytössä	-laaja valikoima
-suuri voitelun tarve	-standardimitoitettuja
-jaettavissa osiin	-kehittyneet asennusmenetelmät
-vaatii paremman voitelun	-arka lialle ja pölylle
-yksinkertainen rakenne	-pieni leveys ja suuri korkeus

Vierintälaakereiden ominaisuuksien takia oikosulkumoottoreissa käytetään yleisesti tätä laakerityyppiä. Yleisimmin vierintäelimenä on kuvion 11 mukaisesti

kuula tai rulla. Kuulalaakerissa kosketuspintana on piste, minkä vuoksi se soveltuu suurille nopeuksille ja pienemmille kuormituksille. Rullalaakerin kosketuspinta taas on viiva ja se soveltuu siten paremmin kovemmille kuormituksille hitaammilla nopeuksilla. Tyypillisin vakiomootoreiden laakeri onkin urakuulalaakeri. (SKF 2013, 15.)



Kuvio 11. Urakuula- ja rullalaakeri (SKF 2013, 23–24)

Laakerin valinnassa on huomioitava mm.

- asennusmitat
- kuormituksen suuruus ja suunnat
- pyörimisnopeus: vakio, vaihteleva vai nopea
- akselin ja rungon materiaali
- kytkin, hihna vai vaihteistokäyttö
- vaaka- vai pystyasennus
- ympäristö
- värähtelytasot
- melutasot
- lämpötila
- vaadittu laakerin elinikä
- rasva- vai öljyvoitelu
- kunnossapito ja kunnonvalvonta
- tiivistys (integroitu vai erillinen ulkoinen) (SKF 2013, 11).

Taulukossa 5 on esitetty erään valmistajan vakiomootoreissa käytettäviä laakerityyppejä. Liitteiden 1 ja 2 avulla voidaan tulkitä kyseisen moottorivalmistajan käyttämien laakereiden olevan erikokoisia C3-välyksellisiä urakuulalaakereita ja osa on varustettu suoja levyillä laakerin molemmin puolin.

Taulukko 5. ABB:n vakiomootoreiden laakerityyppejä (ABB 2004)

Vakiorakenteiset moottorit		
Moottorin koko	Jalka- ja laippamoottori	
	D-pää	N-pää
56	6201-2Z/C3	6201-2Z/C3
63	6202-2Z/C3	6201-2Z/C3
71	6203-2Z/C3	6202-2Z/C3
80	6204-2Z/C3	6203-2Z/C3
90	6205-2Z/C3	6204-2Z/C3
100	6306-2Z/C3	6205-2Z/C3
112 <sup>2)</sup> lyhyt	6206-2Z/C3	6205-2Z/C3
112 <sup>2)</sup> pitkä	6206-2Z/C3	6206-2Z/C3
132 <sup>2)</sup> lyhyt	6208-2Z/C3	6206-2Z/C3
132 <sup>2)</sup> pitkä	6208-2Z/C3	6208-2Z/C3
160	6309-2Z/C3	6209-2Z/C3
180	6310-2Z/C3	6209-2Z/C3
200 <sup>1)</sup>	6312-2Z/C3	6209-2Z/C3
200	6312/C3	6210/C3
225 <sup>1)</sup>	6313/C3	6210/C3
225	6313/C3	6212/C3
250 <sup>1)</sup>	6315/C3	6212/C3
250	6315/C3	6213/C3
280 2-napainen	6315/C3	6213/C3
280 4-8-napainen	6316/C3	6213/C3

Erytisesti taajuusmuuttajakäytöissä esiintyvien laakerivirtojen vuoksi voi olla tarpeen käyttää sähköeristettyjä laakereita. Kuviossa 12 on erään valmistajan eristävillä pinnoitteilla käsiteltyjä laakereita. Pinnoite estää sähkövirran kulkemisen laakerin lävitse ja pidentää näin sen käyttöikää.



Kuvio 12. Sähköeristettyjä urakuulalaakereita (SKF 2016a, 11)

Laitteen kuormituksella ja pyörimisnopeudella on vaikutus laakereiden käyttöikään. On tärkeää valita laakerille sopiva rasva ja käyttää sitä oikea määrä ennen laakerin käyttöönottoa. Käyttöönoton jälkeen laakerit vaativat määräaikaista voiteluhoitoa valmistajan ohjeiden mukaisesti. Voitelulla on erittäin suuri merkitys laakerin käyttöiän saavuttamisen kannalta. Laakeri toimii luotettavasti vain, jos se ja voiteluaine eivät pääse kosketuksiin epäpuhtauksien kanssa. (Zener Oy 2024.)

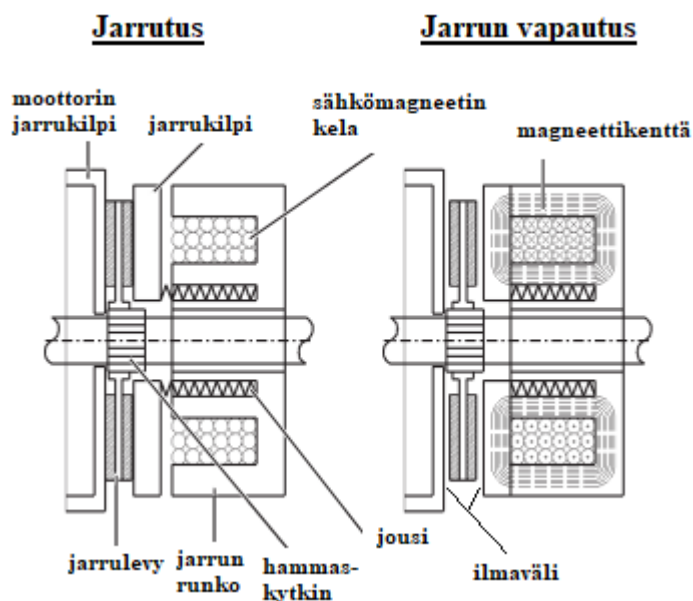
### 3.10 Sähkömoottoreiden lisävarusteet

Moottoreihin on saatavilla erilaisia lisävarusteita valmistajilta tarpeen mukaan. Tämä on huomioitava moottorin tilausvaiheessa yleensä ilmoittamalla valmistajalle halutut lisäominaisuudet. Liitteessä 3 on esitetty esimerkiksi taulukoissa ABB:n prosessisähkömoottoreille mahdolliset lisävarusteet ja ominaisuudet.

#### 3.10.1 Jarrut

Moottorin N-päähän asennettavalla jarrulla voidaan nopeuttaa sähkömoottorin pyörimisliikkeen pysähtyminen ja pitää pysähtynyt liike lukittuna paikoilleen. Liikkeen pysähtymiseen käytettävää jarrua nimitetään käyttöjarruksi. Vastaavasti pysähdyksissä pitämiseen käytettävää jarrua pitojarruksi. Käyttöjarrulta vaaditaan parempaa kitkapintojen kulumisen kestoa ja pitojarrulta suurempaa pitomomenttia. Hätäseis-jarrulta puolestaan vaaditaan kuorman pysäyttämistä nopeasti. (NORD 2023, 50.) Jarrituksen aiheuttaa jousivoima, joka jännitteen katketessa painaa jarrulevyn moottorin ja jarrun väliin poistaen liikkeen mahdollistavan ilmävälin. Ohjaus jarrulle voi olla kytketty suoraan moottorin syöttöliittimiltä tai se voi tulla erillisenä ohjauksena. Esimerkiksi taajuusmuuttajakäytössä jännite ei aina riitä jarrulle, jolloin jarrulle on tuotava erillinen syöttö. Jarrun vapauttamiseen käytetään joko tasa- tai vaihtojännitettä. DC-jännitettä käytettäessä se useimmiten tuodaan jarrun läheisyyteen vaihtojännitteellä, josta tasasuunnataan jarrun nimellisyännitteen suuruiseksi tasajännitteeksi. Jarrun vapauttamiseksi voi olla myös käsikäytön mahdollisuus. (NORD 2023, 46.)

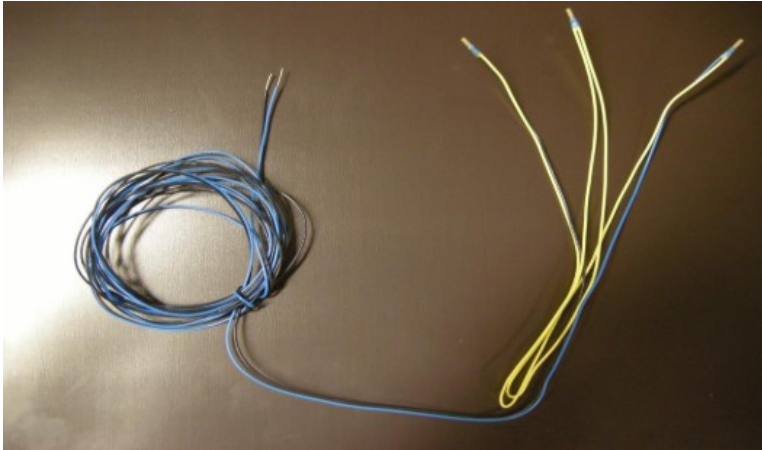
Kuviossa 13 jarrutuksen aikana jouset painavat jarrukilven avulla akselin suunnassa hammaskytkimellä vapaasti liikkuvan jarrulevyn moottorin jarrukilpeä vasten. Jarrulevyn molemmin puolin olevat kitkapinnat aloittavat jarrutuksen ja jarrutusmomentti siirtyy jarrulevystä hammaskytkimen kautta moottorin akselille. Jarrun vapautuksessa sähkömagneetti aktivoidaan, jolloin jarrun jarrukilpi vetäytyy jarrurunkoon kiinni ja vapauttaa jarrulevyn jarrukilpien välistä. (NORD 2023, 46.)



Kuvio 13. Jarrun rakenne (mukaiillen NORD 2023, 46)

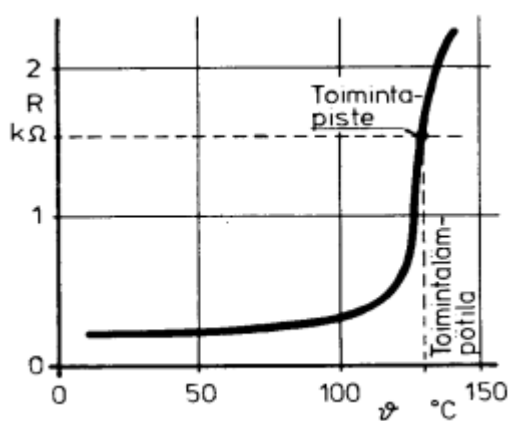
### 3.10.2 Lämpötila-anturit

Oikosulkumoottorin ylikuumentuminen tuhoaa ajan mittaan käämityksen ja laakerit. Yleisesti käämien ylikuumentumisen havaitsemiseen käytetään PTC-termistoreja, jotka on sijoitettu käämivyyhtien yhteyteen moottoria käämittäessä. Jokaiselle vaiheelle voidaan asentaa oma termistorinsa ja tavallisesti termistorit kytketään tällöin sarjaan. Termistorin johtimet tuodaan moottorin kytkentäkoteloon, josta on johdotus edelleen esimerkiksi termistorireleelle, logiikalle tai taajuusmuuttajalle vikatilän ilmaisemiseksi. Kuviossa 14 on kolme termistoria sarjaan kytkettynä ja kytkentäkotelolle yhdistettävät johtimet. (ABB 2000a, 8–9)



Kuvio 14. Moottorin käämitykseen asennettavat termistorit (Seppälina 2014, 46)

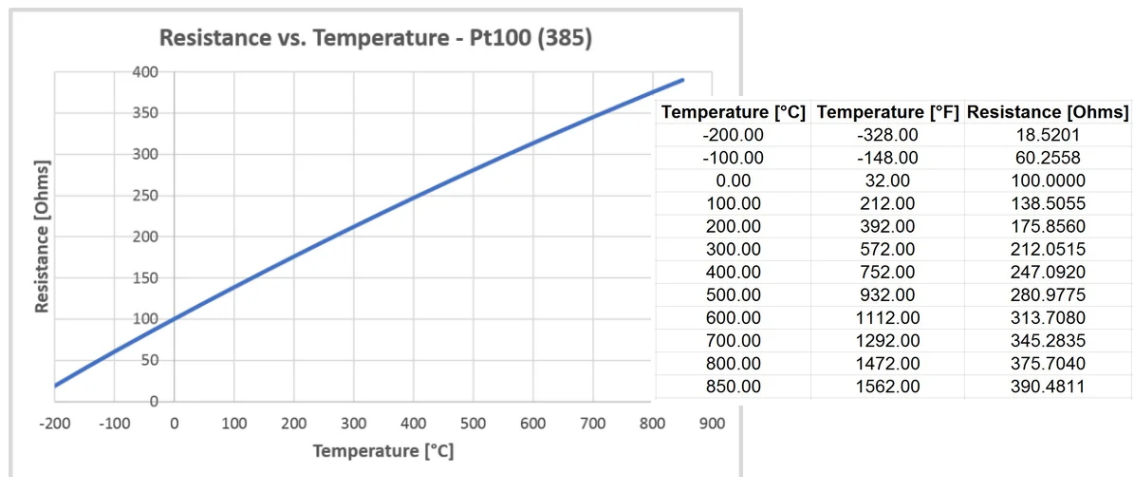
Termistorin vastusarvo on verrannollinen sen lämpötilaan. PTC-termistorilla vastusarvo kasvaa lämpötilan noustessa. Tietyn lämpötilan saavuttamisen jälkeen vastusarvo kasvaa jyrkästi, kuten kuvion 15 PTC-termistorin ominaiskäyrästä nähdään. Termistoreja on saatavana useita eri toimintalämpötiloja varten. Moottorin termistorin toimintalämpötila valitaan käämityksen eristysluokan mukaan. Yleisen eristysluokan F käämityksen korkein sallittu lämpötila esimerkiksi on 150 °C, joten käytettävien termistorien toimintalämpötila valitaan sitä alhaisemmaksi. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää termistorien sijaan tietyssä lämpötilassa kytkevää lämpökytkintä, joiden toiminta perustuu bimetalliliuskan taipumiseen (ABB 2000a, 8–9.)



Kuvio 15. PTC-termistorin ominaiskäyrä (ABB 2000a, 9)

Mikäli tarvitaan jatkuvaa lämpötilatietoa käämityksen tai laakereiden lämpötilasta, voidaan käyttää vastuslämpötila-antureita. Niiden toiminta perustuu metallien sähkövastuksen lämpötilariippuvuuteen. Kun tunnetaan metallin vastusarvon

riippuvuus lämpötilasta, voidaan lämpötilan mittaus tehdä mittaamalla resistanssia. Yleisimmin teollisuudessa käytetty vastuslämpötila-anturi on Pt100 tyyppinen platinasta valmistettu anturi. Platinalla on hyvä kemiallinen kestävyys ja sen resistanssin arvo muuttuu suhteellisen lineaarisesti lämpötilan muuttuessa. Tyypimerkintä Pt100 kuvaa anturia, jonka resistanssi 0 °C:ssa on 100 ohmia. Kuviossa 16 on esitetty Pt100-anturin vastusarvon riippuvuus lämpötilasta. (Mäkinen ym. 2009, 172.)



Kuvio 16. Pt100-anturin vastusarvokäyrä ja vastusarvoja (mukaillen Laurila 2018)

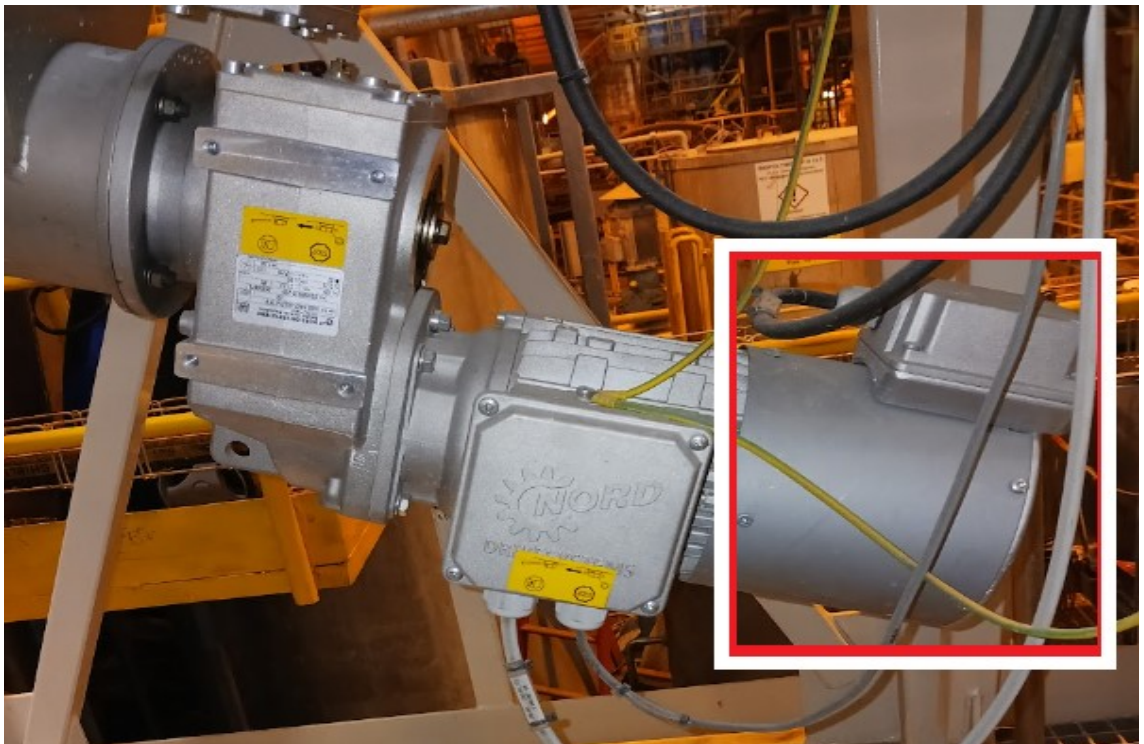
### 3.10.3 Seisontalämmityselementit

Mikäli moottorin käyttöympäristössä on suuret lämpötilan vaihtelut tai muuten otolliset olosuhteet kondensoitumisen suhteen, voidaan moottori varustaa seisontalämmityselementeillä. Tällä ehkäistään kosteuden muodostuminen moottoriin, mikä heikentää käämien eristystä, hapettaa liitoksia ja vioittaa laakereita. Kun moottori ei pyöri, pidetään seisontalämmityksellä käämityksien lämpötilaa muutama aste ympäristön lämpötilaa korkeammalla kondensoitumisen estämiseksi. Moottorin käynnistyessä kytketään seisontalämmitys pois päältä, jotta käämejä ei lämmitetä liiaksi. (Bevi 2024.)



### 3.10.4 Erillistuuletin

Etenkin taajuusmuuttajakäytöissä alhaisilla pyörimisnopeuksilla ja kovalla kuormituksella voi jäähdytysilman saanti normaalilla kiinteällä moottorin N-päähän asennettavalla puhaltimella olla riittämätön. Tällöin moottorin jäähdytysilman saanti pienillä pyörimisnopeuksilla voidaan turvata erillistuulettimen avulla. Kuviossa 17 on esimerkkinä taajuusmuuttajalla käytettävän ruuvisyöttimen moottorilla erillistuuletin.



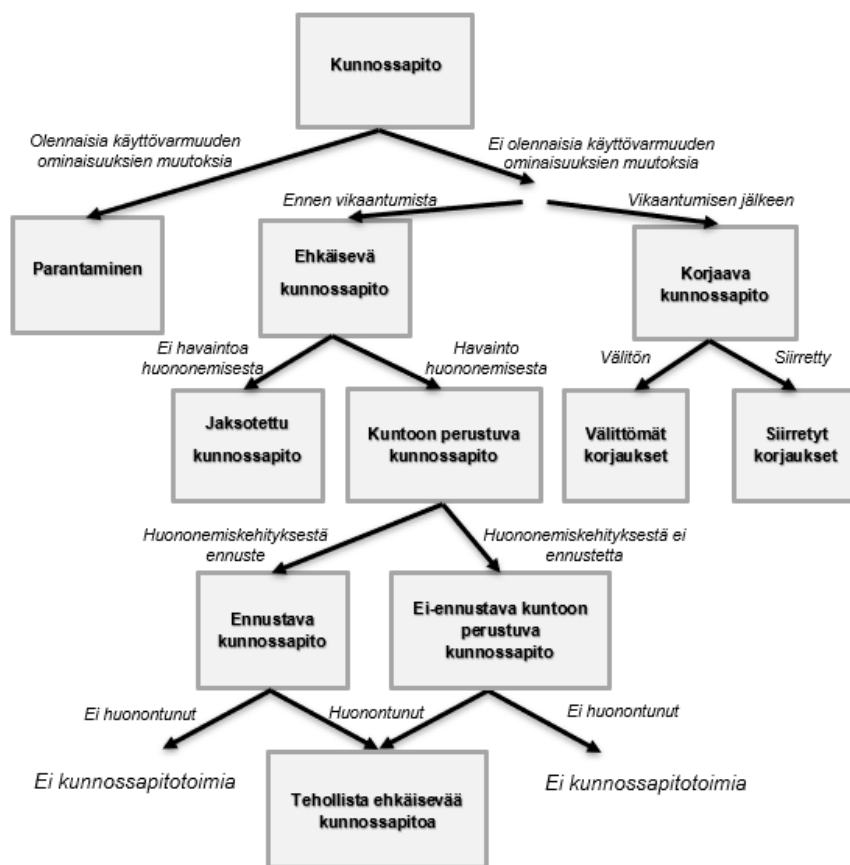
Kuvio 17. Ruuvisyöttimen moottorille asennettu erillistuuletin

## 4 KUNNOSSAPITO

EU-standardi SFS-EN 13306:2017 mukaan kunnossapito käsittää *"kaikki kohteen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon"* (SFS-EN 13306:2017, 5). Suomessa teollisuudessa käytössä olevan PSK 6201 standardin mukaan *"kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson ajan"* (PSK 6201, 2).

### 4.1 Kunnossapitolajit

SFS-EN 13306:2017 -standardi jakaa kuvion 18 mukaisesti kunnossapidon ennen vikaa perustuvaan kunnossapitoon ja vikaantumisen jälkeiseen kunnossapitoon. Näiden rinnalla voidaan suorittaa parantavia toimenpiteitä. Parantamisella tarkoitetaan kaikkia niitä teknisiä, hallinnollisia ja liikkeenjohdollisia toimenpiteitä, joilla pyritään parantamaan kohteen toimintavarmuutta, turvallisuutta tai kunnossapidettävyyttä. Toimenpiteet eivät vaikuta alkuperäiseen toimintoon. Vian havaitsemisen jälkeen tapahtuvassa korjaavassa kunnossapidossa kohde palautetaan siihen kuntoon, jossa se pystyy vaadittuun toimintoon. Ehkäisevällä kunnossapidolla arvioidaan sekä vähennetään koneen heikentymistä ja vikaantumisen todennäköisyyttä. Ennustavaan kunnossapitoon tarvittavaa tietoa saadaan toistuvista analyyseistä, tunnetuista tunnusmerkeistä ja tarkastelemalla kohteen huononemista kuvaavia olennaisia arvoja. Tehollisessa kunnossapidossa toimenpiteet kohdistuvat suoraan kohteeseen. Tämän tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa laite siihen tilaan, jossa se pystyy haluttuun toimintoon. (SFS-EN 13306:2017, 13–14.)

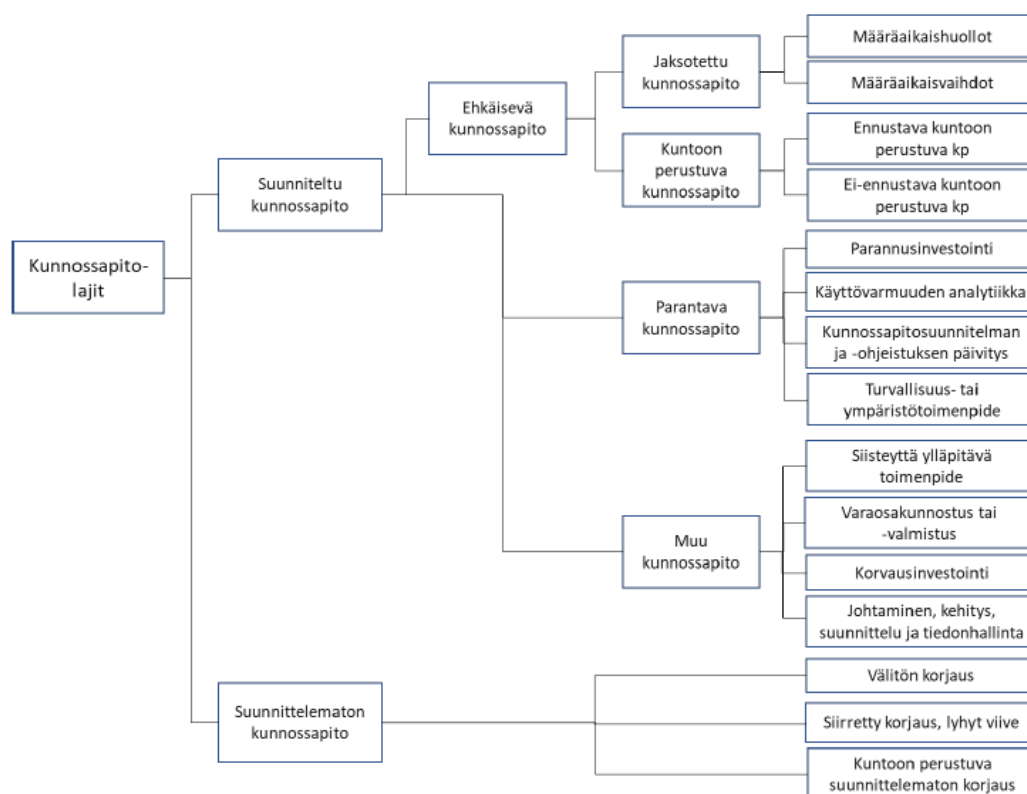


Kuvio 18. Kunnossapitolajit SFS-EN 13306:2017 mukaan (mukaillen SFS-EN 13306:2017, 22)

Kuviossa 19 on PSK 6201 mukainen esitys kunnossapitolajeista ja niihin liittyvistä toimenpiteistä. PSK 6201 perustuu edellä esitettyyn standardiin SFS-EN 13306:2017. PSK 6201 -standardissa käsitteet on esitetty teollisuuden kunnossapidon näkökulmasta merkitystä tai periaatetta kuitenkin muuttamatta. (PSK 6201:2022, 3.)

Kunnossapito on jaettu suunniteltuun ja suunnittelemattomaan kunnossapitoon. Suunnittelemattomassa kunnossapidossa suoritetaan poikkeaman havaitsemisen jälkeen korjaus tilanteen vaatiessa joko välittömästi tai siirretään sopivampaan ajankohtaan. Korjauksia voidaan yleensä siirtää, jos laitteella ei ole välittömiä vaikutuksia tuotantoon tai turvallisuuteen. Jos laitteen poikkeaman korjausta voidaan laitteen kuntoon perustuen siirtää, puhutaan kuntoon perustuvasta suunnittelemattomasta korjauksesta, jota ei suoriteta suunnitellun seisokin aikana. Tällöin korjaus valmistellaan ja siirretään tehtäväksi ennen vikaantumista kohteeseen, tuotannon tai organisaation tilan sen salliessa. (PSK 6201:2022, 27–30.)

Suunnitellussa kunnossapidossa ehkäisevyys pitää yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palauttaa toimintakykyä ennen vian syntymistä tai estää vaurioitumista. Ehkäisevä kunnossapito voidaan suorittaa kuntoon perustuen tai jaksotetusti. Suunnitellut jaksot voivat olla käyttötunteihin, kalenteriaikaan, tuotantomäärään tai energian käyttöön sidottuja. Yleisesti puhutaan määräaikaishuolloista ja -vaihdosta. Kunnossapito suoritetaan tällöin ilman edeltävää toimintakunnon tutkimusta. Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa suoritetaan tarkastuksia ja kunnonvalvontaa, joiden avulla voidaan arvioida kohteen toimintakunnon tila. Kunnon tarkkailu voi olla joko jatkuvaa tai määräajoin tehtävää. Tämän perusteella voidaan määrittää kohteen vikaantumis-, huolto- ja korjausajankohta. Parantava kunnossapito parantaa kohteen luotettavuutta, kunnossapidettävyyttä tai henkilö- ja ympäristöturvallisuutta muuttamatta kohteen toimintoa. Muuksi kunnossapidoksi luokitellaan kunnossapito, joka ei ole korjaavaa, kuntoon perustuvaa, jaksotettua tai parantavaa kunnossapitoa. (PSK 6201:2022, 29–33.)



Kuvio 19. Kunnossapitolajit ja niihin liittyviä toimenpidetyyppejä (PSK 6201:2022, 40)

## 4.2 Laitteiden kriittisyyskartoitus

PSK 6800 -standardin mukaan kriittisyys on kohteeseen liittyvän riskin suuruutta kuvaava ominaisuus. Riski voi liittyä henkilöiden loukkaantumiseen, merkittäviin aineellisiin vahinkoihin, tuotannon menetykseen tai muihin ei hyväksyttäviin seurauksiin. Riskin suuruus määritellään vikaantumisen vaikutuksen ja sen toteutumisen todennäköisyyden tuloksi. Jos kohteeseen liittyvä riski ei ole hyväksyttävällä tasolla, on kohde kriittinen. (PSK 6800, 2.)

Kaikki laitteet eivät ole kriittisiä, joten laitteet on kartoitettava ja laitettava tärkeysjärjestykseen. Kartoituksessa laitteet arvioidaan järjestyksessä sen perusteella mistä laitteesta aiheutuu suurin haitta ja mistä seuraavaksi suurin. Arviointi tehdään kokemukseen, seurantaan ja riskianalyysiin perustuen. On tärkeää kartoittaa mm. sellaiset laitteet, joihin on vaikea saada varaosia, jotka työllistävät eniten tai aiheuttavat paljon kustannuksia. (Heinonkoski & Luotonen 2013, 224.) Kriittisyyskartoituksen tuloksena saadaan tarkastellun alueen laitteet järjestettynä niiden kriittisyyden kannalta. Kun kartoituksen parametrit on valittu oikein ja kun arviointia tehtäessä on käytetty riittävää asiantuntijuutta, on analyysin tulos yleensä luotettava. (Mikkonen ym. 2009, 150.)

Kriittisyyskartoituksesta saadaan tietoja kunnossapitosuunnitelman lähtötiedon tuottamiseen. Kartoitusta voidaan myös käyttää hankintavaiheen tukena määriteltäessä hankittavan kriittisen laitteen ominaisuuksia, laatutasoa ja vastaanotto-kriteerejä. Laitetason kriittisyyteen vaikuttavat turvallisuus- ja ympäristötekijät, tuotantovaikutukset sekä korjaus- ja seurauskustannukset. (PSK 6800, 3,7.)

## 4.3 Kunnossapidon tietojärjestelmät

Kunnossapidon tietojärjestelmällä tarkoitetaan tiedonhallintajärjestelmiä, joita tarvitaan laitoksen tuotantovälineiden käyttövarmuuden suunnittelussa, ohjaamisessa ja seurannassa tavoitteena laitoksen käyttövarmuuden pitäminen halutulla tasolla koko sen elinjakson ajan. Se on kunnossapidon toiminnanohjaukseen ja materiaalivirtojen hallintaan tarkoitettu järjestelmä. Järjestelmä sisältää tarvittavat yhteydet muihin tuotantolaitoksen tietojärjestelmiin. (Kiiveri 2000, 3.)

Ennakkohuollon ja korjaamisen tietojen hallinta voidaan toteuttaa useilla tietojärjestelmävaihtoehdoilla. Tietojärjestelmä antaa käyttäjälle, työnjohdolle ja asentajille mahdollisimman oikeaa ja reaaliaikaista tietoa laitteista ja niihin kohdistuneista toimenpiteistä. Kunnossapidon tietojärjestelmä sisältää tyypillisesti seuraavia osia:

- Kortisto, joka muodostaa rekisterin kunnossapidettävistä kohteista. Kortistossa on prosessipaikkojen tai laitteiden teknisiä tietoja sekä varaosa- ja asiakirjatietoja.
- Kuvakortisto, josta löytyy sähköisten dokumenttien liitos eri kunnossapitokohteille, kuten laitteet ja työt.
- Töiden hallinta, johon voidaan syöttää mm. työtilaukset ja vikailmoitukset. Sisältää työnsuunnittelua varten esimerkiksi kuormitukseen, ositukseen ja työnvaiheistukseen liittyvät työkalut. Tapahtumat kohdistetaan laiterekisterin korteille.
- Posti, jossa on työtilausten ja tilauskehotusten käsittely sekä hyväksyntä. Liitetään yleensä yrityksen omaan sähköpostiin.
- Päiväkirja, johon voidaan kirjata muistiin tietoja tuotannon tärkeimmistä tapahtumista.
- Huoltotöiden hallinta, joka hoitaa määräaikaisten kunnossapito- ja ennakkohuoltotöiden luomisen. Ohjaavana tekijänä kalenteriaika tai mittaavat laitteet.
- Varaosakirjanpito, josta ilmenevät varastossa olevat varaosat ja niiden ominaisuudet. Huolehtii usein myös varastosaldoista.
- Hankinta, johon kuuluu tarjouspyyntöjen ja tilausten laadinta, toimitusten valvonta ja vastaanotto sekä laskun käsittely. Hankinta voi tapahtua joillekin kohteille myös automaattisesti automaattitilausten tai vuosisopimusten perusteella.
- Kunnossapidon kustannuslaskenta, josta saadaan toteutumat eri työkohteissa, projektissa tai seisokissa.

- Liittymät muihin järjestelmiin, kuten automaatiojärjestelmät, logiikkajärjestelmät, palkkajärjestelmä, ostoreskontra, kirjanpito, projektinhallinta ja suunnittelujärjestelmät. (Heinonkoski & Luotonen 2013, 225–226.)

#### 4.4 Oikosulkumoottoreiden kunnossapito

Prosessin keskeytyksetön ja jatkuva toiminta ovat olennaisia asioita. Moottoreiden korjaava kunnossapito aiheuttaa aina prosessin keskeytyksistä johtuvia kustannuksia. Tyypillisesti käyttökatkos aiheuttaa suuremmat kustannukset kuin moottorin korjauksen kustannus. Yleisimpiä vikoja, jotka aiheuttavat epätahtimoottoreille korjaavia kunnossapitotoimenpiteitä, ovat laakeri- ja käämiviati. Vikojen ehkäisemiseksi tehtävä ennakoiva kunnossapito, kuten moottoreiden reaaliaikainen kunnonvalvonta ja diagnostiikka, on merkittävässä osassa nykyaikaisessa kunnonvalvonta-ajattelussa. (Valtonen 2013, 7.)

##### 4.4.1 Vioittumistavat

Kunnossapidon kannalta on tärkeää tunnistaa moottorin vioittumistavat. Oikosulkumoottorin rakenteelliset viat voidaan jaotella karkeasti laakeri-, staattori- ja roottorivikoihin. Oikosulkumoottorissa on vähän kuluvia osia. Laakerien mekaanisen kulumisen vuoksi niihin kohdistuvat viat ovatkin yleisimpiä. Useimmat laakerivauriot voidaan jakaa kahteen vaurioluokkaan: ennen käyttöä ja käytöstä aiheutuvat. Vauriot ennen käyttöä tapahtuvat yleensä ennen laakerin asennusta tai sen aikana. Käytöstä aiheutuvat vauriot tapahtuvat käytön aikana. (SKF 2016b, 298.)

Vaurioiden aiheuttajat ennen käyttöä ovat

- virheelliset akselin ja laakeripesän sovitteet
- vialliset akselin ja laakeripesän sovitteet
- staattinen linjausvirhe
- virheelliset asennustavat

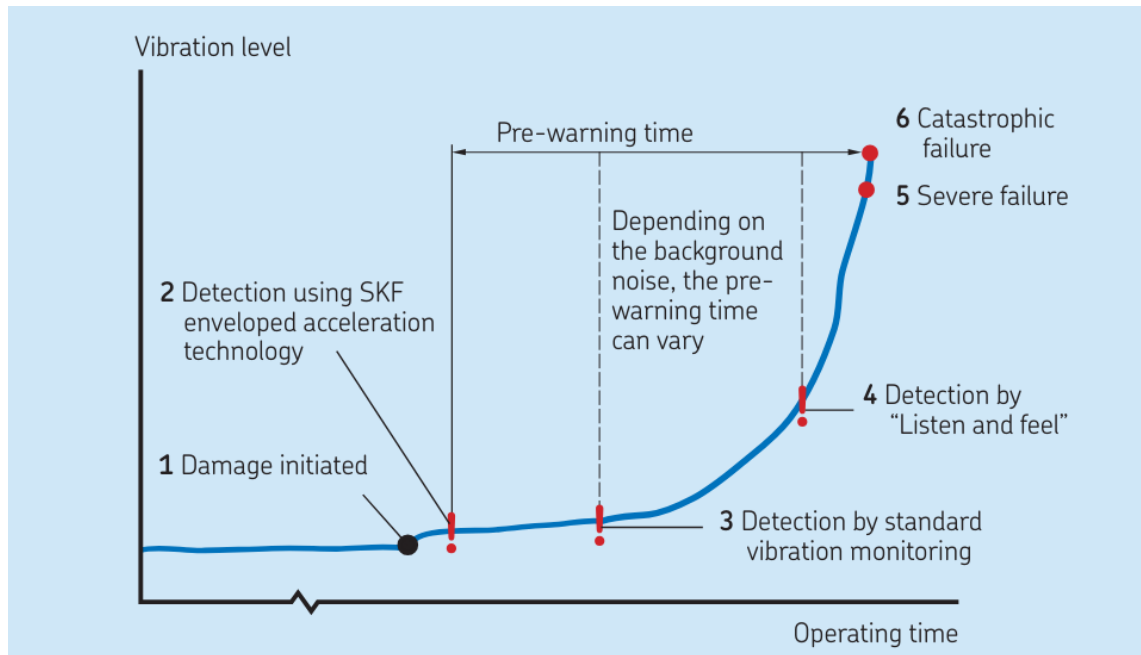
- sähkövirran kulkeminen laakerin läpi (liian suuri jännite)
- kuljetus, käsittely ja varastointi (SKF 2016b, 298).

#### Käytössä vauriota aiheuttavat

- materiaalin väsyminen
- puutteellinen voitelu
- riittämätön tiivistys
- värinävauriot
- dynaaminen linjausvirhe
- sähkövirran kulkeminen laakerin läpi (laakerivirta) (SKF 2016b, 298).

Suurin osa sähkömoottoreiden laakeroinneista on toteutettu vierintälaakereilla. Laakerivaurioita aiheuttavat mm. lämpö, mekaaniset, voiteluun sekä asennuksiin liittyvät ongelmat. Vierintälaakerien vikaantumiset ovat yleensä hitaasti kehittyviä, minkä vuoksi niiden osalta ennakoivalla kunnossapidolla on tärkeä rooli. Kuvi-  
ossa 20 on esitetty tyypillinen laakerin vikaantuminen ajan mittaan. Vian kehittyminen on aluksi hidasta. Lopussa vikaantuminen kiihtyy ja lopulta laakeri hajoaa. Lika tai liian suuri käyttölämpötila vioittavat laakeria. Vikaantumisen alkusyy voi olla myös liiallinen kuormitus, värinä tai liian suuri pyörimisnopeus. Moottorin liittämisessä työkoneseen asennusvaiheessa on oltava tarkka linjauksen kanssa, jottei laakeriin kohdistu vääransuuntaisia rasituksia. Voiteluun liittyen ongelmia aiheuttaa liiallinen tai vähäinen voitelu, sekä sopimaton voiteluaine. Liiallinen voitelu aiheuttaa laakerissa lämpenemistä, kun taas vähäinen voitelu aiheuttaa laakerin lämpenemistä, väsymistä, kulumista ja murtumia. Väärä voiteluaine voi lisäksi aiheuttaa korroosiota laakerissa. (SKF 2017, 16–31.)





Kuvio 20. Laakerin vioittumisen eteneminen (SKF 2017, 10)

Taajuusmuuttajakäytöissä tehoasteiden nopeasti nousevat jännitepulssit ja korkeat kytkentätaajuudet voivat aiheuttaa laakereiden kautta purkautuvia virtapulsseja, mikä voi aiheuttaa laakerivaurioita jo muutaman kuukauden kuluttua käyttöönotosta. Tällaisten laakerivaurioiden ehkäisemiseksi on varmistettava kunnollinen maadoitus, joka sallii hajavirtojen palaamisen vaihtosuuntaajan runkoon muuta tietä kuin laakereiden kautta. Virtoja voidaan pienentää käyttämällä symmetrisiä moottorikaapeleita tai vaihtosuuntaajan lähtösuodinta. Moottorin laakerirakenteen eristäminen katkaisee laakerivirtojen reitit tehokkaasti. (ABB 2000b, 6.)

Yliämpö on sähkömoottorin vihollinen. Käyttölämpötilan nousu aiheuttaa ongelmia sekä eristysaineille että laakerin voitelulle. Siksi on tärkeää, että moottori voi käydä normaalilämpöisenä. (Kujala & Randell 2010, 46.) Oikosulkumoottori voi lämmitä liikaa mm. seuraavissa tapauksissa:

- Moottoria ylikuormitetaan liikaa. Näin voi käydä, kun työkonetta jumittuu, moottorin akselilla on liikaa kuormaa tai on valittu liian pienitehoinen moottori.
- Moottori kytketään väärin. Verkon pääjännite vaikuttaa kolmiokytkentään, vaikka kytkennän pitäisi olla tähdessä.

- Kuormitettu moottori käy alijännitteellä. Kun moottorin syöttöjännite pienenee, kone pyrkii ottamaan verkosta lisää virtaa, jotta vääntömomentti säilyisi riittävänä.
- Moottorin jäähdytys on puutteellinen. Moottorin jäähdytyspuhallin saattaa olla rikkoutunut tai se puuttuu kokonaan, staattorirungon jäähdytysurat ovat likaiset tai ympäristön lämpötila on liian korkea. Moottorin jäähdytys heikentyy myös, kun sitä käytetään taajuusmuuttajalla pienillä kierrosluvuilla.
- Moottoria käytetään väärin. Kone käynnistetään liian usein ja liian lyhyessä ajassa. Tällöin käynnistysvirta nostaa staattorikämmityksen lämpötilaa. (Mäkinen ym. 2009, 124–125.)

Staattorikämmityksen liiallisen lämpiämisen lisäksi voi kostuminen pienentää kämmityksen eristysvastuksen riittämättömäksi, joka aiheuttaa maasulun, käämin sisäisen oikosulun, käämien välisen oikosulun tai vaiheiden välisen oikosulun. Myös ympäristön aiheuttama sähkömoottorin likaantuminen ja syövyttävät aineet voivat heikentää käämien eristystä. Mekaanisesti staattorikämmisiin kohdistuu voimia käynnistyksen, kuorman muutoksen ja tasaisen käynninkin aikana. Jos vyyhden pää pääsee liikkuman, se aiheuttaa eristyksen kulumista. Paikallinen läpilyönti synnyttää kuumen pisteen, jonka lämpövaikutuksesta vieressä olevat eristykset vaurioituvat ja vika laajenee. (Mikkonen 2009, 372–373.)

Ali- ja ylijännitteen lisäksi suuri moottorin lämpenemiseen vaikuttava tekijä on kolmivaihe-epäsymmetria. Jos jännite-epäsymmetria on esimerkiksi 1 %, virtaepäsymmetria voi nousta 6–10 %:iin. Nopeita jännitteen muutoksia aiheuttavat taajuusmuuttujan jännitepulssit, huono maadoitus, kontaktorien kytkentäpiikit ja salamointi. (Mikkonen 2009, 376–377.)

Ylikuormitus aiheuttaa myös roottorin ylikuumentumisen. Kuumentunut roottori nostaa akselin lämpötilaa, joka voi johtaa akselin taipumiseen tai laakereiden lämpötilan liialliseen kasvuun. (Mikkonen 2009, 371.) Tyypillinen oikosulkumoottorin roottorivika on roottorisauvan murtuminen. Vaurio alkaa usein rasituksen aiheuttamasta pienestä halkeamasta roottorisauvan ja oikosulkurenkaan liitoskohdassa. Tämä vikakohta kuumenee, kunnes roottorisauva on kokonaan poikki.

Katkenneen roottorisauvan virta siirtyy tämän viereisille sauvoille. Viereisten sauvojen kasvanut virta nostaa niiden lämpötilaa, mikä lopulta aiheuttaa myös niiden murtumisen sekä katkeamisen. (Mikkonen 2009, 383–384.)

#### 4.4.2 Moottoreiden ennakkohuolto

Jotta moottorit pysyisivät käyttökuntoisina ja toimisivat hyvin, tarvitaan kunnonvalvontaa ja ennakkohuoltoa. Isoissa ja tärkeissä kohteissa käytettävissä moottoreissa tarkkaillaan laakerien kuntoa monesti värähtelymittausten avulla. Mittaus voi olla kiinteillä värähtelymittausantureilla tapahtuvaa jatkuvaa mittaamista tai säännöllisesti tapahtuvaa erillisellä laitteella tapahtuvaa mittausta. Kuviossa 21 suoritetaan laakereille värähtelymittaus ja pyörimisnopeuden mittaus. Laakereiden ja moottorin lämpötilan nousuun voidaan reagoida joko moottoriin asennettävien kiinteiden termistorien, Pt100-anturien tai lämpökytkimien avulla. Säännöllisillä lämpökuvauksilla voidaan myös seurata lämpenemien kehittymistä. Näin moottorin korjausta tai vaihtoa varten voidaan järjestää tarvittava seisokki, eikä moottori pääse rikkoutumaan ja pysäyttämään prosessia.



Kuvio 21. Värähtelymittausta jäähdytysvesilaitos 2:n eräällä moottorilla (Ellala 2013, 64–65)

Tyypillisiä moottorin huoltoon liittyviä töitä laakereiden osalta ovat voideltavien laakerien säännöllinen voitelu ja värähtelymittaukset. Kuula- ja rullalaakereilla varustetut sähkömoottorit toimitetaan tehtaalta valmiiksi voideltuina. Tämä tehdasvoitelu riittää hitaissa pienissä moottoreissa yleensä useiksi vuosiksi. Niissä ei usein olekaan ulkopuolisia voitelunippoja. Suurissa ja nopeasti pyörivissä sähkömoottoreissa on voitelunipat, jotta niiden laakerit pystytään voitelemaan. Laakerit

voidellaan koneen pyöriessä rasvapuristimella voitelunippojen kautta. Voiteluväli ja rasvan määrä vaihtelevat laakerin koosta, lajista, pyörimisnopeudesta, koneen käyntiasennosta ja ympäristöolosuhteista riippuen. Voiteluväli ja rasvamäärä selviää koneen valmistajan antamasta taulukosta. Laakerien tiedot saadaan selville koneen arvokilvestä tai valmistajan luetteloista. Poistuvan rasvan laatua havainnoimalla voidaan tehdä johtopäätöksiä laakerin kunnosta. Värähtelymittausten lisäksi laakereiden kuntoa pystytään kuuntelemalla tarkkailemaan käynnin aikana tuotantotiloissa tehtävillä kenttäkierroksilla. Laakerin ollessa kunnossa kuuluu vain hiljaista surinaa. Kovemmaksi muuttuessaan laakerin ääni on merkki laakerin vioittumisesta. (Aura & Tonteri 1996, 210.)

Käämityksen lämpötilan nousu ylikuormituksen tai puutteellisen jäähdytyksen vaikutuksesta lyhentää moottorin käyttöikä. Jokaista 8—10 asteen lämpötilanousua kohti eristysten käyttöikä lyhenee noin puoleen. Moottorin lämpenemiä voidaan seurata säännöllisillä lämpökuvauksilla. Ylikuormitustilannetta valvoo yleensä moottorin etukojeina olevat ylikuormitussuojat, kuten lämpörele, ylivirtarele, moottorinsuojakatkaisija tai taajuusmuuttaja. Moottorin staattorikämmityksessä voi olla termistorit, Pt100-anturit tai lämpökytkimet, joilla seurataan moottorin todellista lämpötilaa. Niiden avulla saadaan yllimmästä tieto suoraan moottorin ohjausvirtapiiriin ja automaatiojärjestelmään, jolloin niistä saadaan esimerkiksi lämpötilahälytys. (Mäkinen ym. 2009, 125.) Moottorin runko, tuuletin sekä tuuletusritilä on syytä pitää puhtaana, jotta moottorin jäähdytys toimii suunnitellulla tasolla. Kosteus ja lika voi vaikuttaa myös käämien eristystasoon ja tätä voidaan seurata eristysvastusmittauksilla. Niin ikään kaapeleiden kiinnitys, läpiviennit ja kytkennät on syytä tarkastaa säännöllisesti. Taajuusmuuttajakäytöissä voidaan suorittaa laakerivirtojen mittauksia, mikäli epäillään niiden aiheuttavan laakerien vikaantumista.

## 5 HAPPOJENKÄSITTELYLAITOKSEN MOOTTOREIDEN KARTOITUS

Työssä kartoitettiin kaikki alueen prosesseihin liittyvät sähkömoottorit. Yhteensä moottoreita käytiin läpi 300 kappaletta. Kartoituksen pohjana toimivat vanhat käyttöpaikkakartoitukset. Ne eivät kuitenkaan olleet ajan tasalla, joten kartoituksella saatiin nykyinen moottorikanta dokumentoitua.

Moottorit kartoitettiin suorittamalla kentällä jokaiselle prosessikäytössä olevalle moottorille valokuvaus asennuksen yleiskuvan ja arvokilpitietojen dokumentoimiseksi. Saatujen tietojen perusteella etsittiin kohteisiin varamoottorit ja käytiin varastoilla varmistamassa varamoottoreiden soveltuvuus laitepaikoille.

### 5.1 Alueen moottorikannan yleiskuva

Alueen tuotantoprosessit sisältävät paljon nesteiden siirtämistä, joten pumppukäyttö on tavallisin oikosulkumoottorin käyttökohde. Osassa säiliöistä tarvitaan sekoittajia ja kaasujen liikuttamiseen käytetään puhaltimia. Suurin osa moottoreista on erillisiä oikosulkumoottoreita ilman lisävarusteita. Nimellistehot ovat välillä 0,12–400 kW. Käytössä on myös joitakin vaihdemoottoreita.

#### 5.1.1 Haponpurku- ja ammoniakinpurkuasema sekä happovarastot

Raakahapot ja ammoniakkivesi tuodaan laitoksille haponpurkuasemien kautta. Haponpurkuasemalla on pumput, joilla hapot saadaan siirrettyä raakahappojen varastoihin. Lisäksi tiloissa on happohöyryimurit ja pohjakaivoissa omat pumppunsa. Kaasunpesurilla on lisäksi oma pumppu ja puhaltimensa. Ammoniakinpurkuasemalla on omat säiliönsä ja niistä ammoniakkivesi siirretään kohteisiin pumpuilla. Happovarastojen säiliöistä on pumppaus kohteisiin, osassa säiliöistä sekoittajat ja pohjakaivoilla sekoittajia sekä pumppuja.

### 5.1.2 Regenerointilaitokset 2 ja 3

Regenerointilaitokset ovat hyvin pitkälti identtiset. Regenerointilaitos 3:lla kapasiteetti on isompi, joten laitteiston määrä myös suurempi. Tyypillinen oikosulkumoottori käyttää keskipakopumpppua. Säiliöissä oikosulkumoottorit pyörittävät sekoittajia vaihteiston välityksellä. Säiliöstä hönkäkaasut johdetaan kaasunpesurien kautta ulkoilmaan ja niissä ovat omat pumpppunsa sekä puhaltimet. Pohjakaivoilla on sekoittajat ja pumpput. Painesuodattimilla on moottoreita pumpppukäyttöjen lisäksi suodatinkankaan kuljetukseen, ohjaukseen ja kiristykseen sekä sulkulaitteen liikuttamiseen.

### 5.1.3 Neutralointilaitokset 1 ja 2

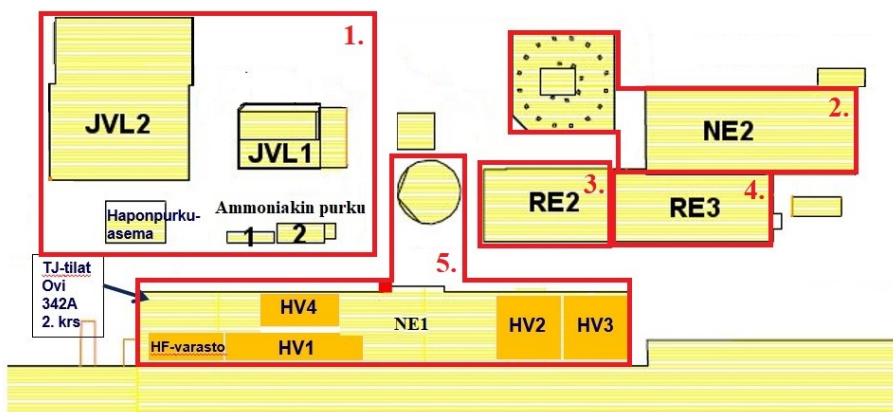
Tyypillinen oikosulkumoottori käyttää neutralointilaitoksillakin keskipakopumpppua. Pohjakaivolla on sekoittaja ja pumpppu. Osassa säiliöistä oikosulkumoottorit pyörittävät sekoittajia vaihteiston välityksellä. Hönkäkaasut johdetaan kaasunpesurin kautta ulkoilmaan ja niissä ovat omat pumpppunsa sekä puhaltimet. Painesuodattimella ovat hydraulikkakoneikon pumpuille oikosulkumoottorit, ja suodatinkankaan ohjauksen hoitaa vaihdemoottori. Laitokselle kalkkimaidon valmistavalla erillisprosessilla ovat lisäksi kalkin kuljetukseen liittyen ruuvien ja loke-rosoyttimien käytöissä vaihdemoottorit.

### 5.1.4 Jäähdytysvesilaitokset 1 ja 2

Jäähdytysvesilaitoksilla jäähtynyt vesi pumpataan takaisin jäähdytyskiertoon keskipakopumpuilla, ja tornipuhaltimia pyörittävät vaihteistojen välityksellä oikosulkumoottorit. Jäähdytysvesilaitos 1:llä puhallinmoottorit ovat Dahlander-kytkentäisiä 2-nopeusmoottoreita. Ulkona olevat tornipuhaltimien moottorit on lisäksi varustettu seisontalämmityselementeillä molemmilla laitoksilla. Jäähdytysvesilaitos 2:lla osa pumpppujen moottoreista on taajuusmuuttajakäyttöjä 690 V:n jännitteellä, joten niissä on vahvistettu eristys staattorikämeissä sekä eristetyt laakerit moottorin N-päässä.

## 5.2 Kenttäkartoitus

Kenttäkartoitusta varten Neren alue jaettiin viiteen osaan. Kuviossa 22 nämä alueet ovat merkattuina. Alueella 5 sijaitsevien happovarastojen ja haponpurkuasemien kohdalla täytyi noudattaa erityistä varovaisuutta pumppausten suhteen. Ennen näille alueille menoa varmistetaan valvomosta, ettei alueella ole pumppauksia menossa. Tämän lisäksi alueiden 3 ja 4 painesuotimien suodatintiloihin pääsee vain niiden huoltoseisakeissa. Muuten moottoreita pääsi kuvaamaan suhteellisen vapaasti. Kuvaus suoritettiin kuvion 22 mukaisessa järjestyksessä aloittaen jäähdytysvesilaitos 2:lta.



Kuvio 22. Moottorikartoituksen karkea alueellinen jaottelu (mukailien Outokumpu Oyj 2019)

### 5.2.1 Moottoreiden valokuvaaminen

Kohteesta kuvattiin ensin moottorin turvakytkimestä sähköpositio. Tämä kuva toimi kuvina lajitellessa rajoittimena eri moottoreista otettujen kuvien välillä. Turvakytkimen kuvauksen jälkeen otettiin moottorista riittävän etäältä valokuva, jotta asennustapa, kytkentäkotelon asemointi, kaapelointi ja ympäristössä mahdollisesti olevat rajoitukset asennusmittoihin liittyen saatiin dokumentoitua. Lopuksi kuvattiin vielä moottorin arvokilpi. Kuviossa 23 ovat eräästä moottorista otetut valokuvat. Etenkin kilpitietojen kuvaamisessa oli tärkeää heti kuvauksen yhteydessä varmistaa, että kuvasta varmasti pystyy riittävän hyvin arvot erottamaan.

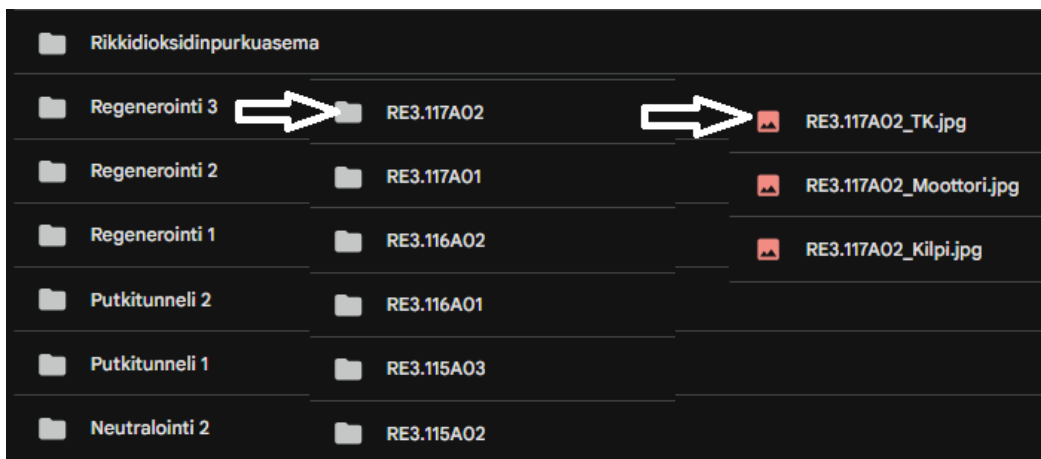
Tätä varten piti arvokilvet puhdistaa huolellisesti. Tähän käytettiin jarrujen puhdistusainetta, hiomalaikkaa ja rättejä. Osassa kohteista tähän puhdistukseen kuului suhteettoman paljon aikaa, jotta kilpitiedoista saatiin luettavissa oleva kuvat. Alueella vallitsevien olosuhteiden vuoksi kaikista arvokilvistä ei saatu tietoja enää näkyville. Näiden moottoreiden osalta tiedot pääteltiin moottorin mittojen ja moottorista löytyvän dokumentaation perusteella. Heijastukset metallisista arvokilvistä tuottivat myös välillä ongelmia valotuksen säätämiseen. Hankalissa tapauksissa otettiin arvokilvestä useampi kuin yksi kuva, jotta tiedot saatiin vaadittavalla tarkkuudella näkyviin.



Kuvio 23. Eräästä moottorista kartoituksen yhteydessä otetut valokuvat

### 5.2.2 Kenttäkartoituksen tulosten dokumentointi

Moottoreista otetut kuvat tallentuivat Googlen Kuvat-pilvipalveluun, josta ne oli helppo turvakytkimistä otettujen kuvien avulla jakaa kolmen kuvan kansioihin sähköposition mukaan. Kuvien jakaminen kansioihin kuvion 24 mukaisesti tehtiin sen jälkeen, kun oli saatu yhden alueen moottorit kuvattua.



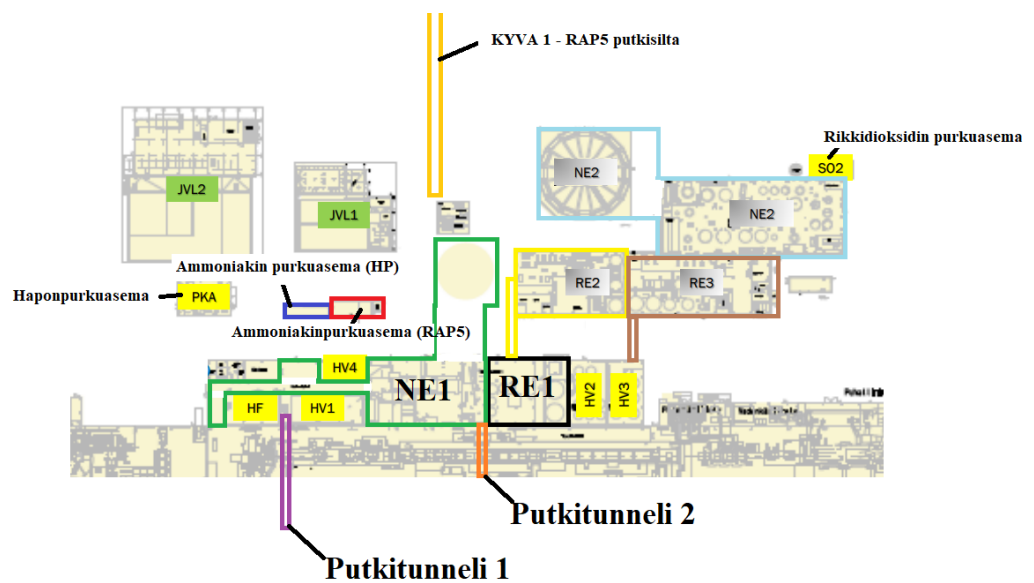
Kuvio 24. Kuvien kansiointi alueittain moottorin sähköposition mukaan



Moottoreista kerättiin taulukkoon

- valmistaja
- tyyppi
- IEC-koko
- asennustapa
- teho
- jännite
- pyörimisnopeus
- nimellisvirta
- paino
- tehokerroin
- hyötysuhdeluokitus
- IP-luokka
- eristysluokka
- käyttötapa
- laakeritiedot
- lisävarusteet.

Kuvat jaettiin kansioihin kuvion 25 mukaisen aluejaottelun perusteella. Näin jokainen moottori on fyysisen sijaintinsa mukaisesti lajiteltu.



Kuvio 25. Nere-alueen tarkempi aluejaottelu (mukaillen Outokumpu Oyj 2020e)

### 5.3 Varastokartoitus

Kun moottoreiden tiedot saatiin taulukoitua, voitiin varamoottoreita alkaa hakea varastosta kunnossapidon KUTI-tietojärjestelmän tehdasetsijän avulla. Haut tehtiin nimikehakuina ja hakukriteereinä käytettiin pääasiassa moottorin nimellisteho kuvion 26 tapaan. Vaihdemoottoreille käytettiin myös hakukriteerinä tyyppi-merkintää.

Tehdasetsija

Tiedosto Muokkaa Näytä Työkalut Ohje

Mää & mistä | Nimikehaku | Lisäkriteerit | Muutos tiedot

Mää

Etsi:  Selaa...

Laji:

Tunnus:

Nimi:

Mistä

Hierarkia:

Etsi:

Tunnus & Nimi:

Tunnus	Nimike	Nimi	Nimikkeen nimi SAPissa	Lisäteksti SAPissa	Lisäteksti SAPissa rivi 2	Nimikkeen salidiedot
1	680258	VAIHDEMOOTTORI SA67/T DRE80M4BE1/TH	VAIHDEMOOTTORI SA67/T DRE80M4BE1/TH	0.79kW N2-19RPM I=75.06 400/630VAC M2A	VALMISTUS NO 64.1963605605.0001.14	REP1 6-N-02.38 1KPL
2	680800	VAIHDEMOOTTORI GM FA47/G DRE80M4BE1/TF	VAIHDEMOOTTORI GM FA47/G DRE80M4BE1/TF	0.79kW N2-33RPM I=42.86 230/400VAC 50HZ	VALMISTUS NO 64.7188657801.0001.15	REP1 6-O-02.55 1KPL
3	682581	MOOTTORI 75kW 1000RPM IEC3555B IM B3 (K)	MOOTTORI 75kW 1000RPM IEC3555B IM B3	M3RP 3555B 6 660VAC 50HZ	OIKOSULKUMOOTTORI IP55	KUV1 OKPL,REP1 6-N-01-18 3KPL
4	666601	MOOTTORI 0.75kW 1410RPM	MOOTTORI 0.75kW 1410RPM	DEMAG ZBA 80 B 4 B020		JTV1 1/A11 1KPL
5	666168 P	MOOTTORI 75kW 1500RPM B3	MOOTTORI 75kW 1500RPM B3	1LG6 280-4PM80Z / Z= A11+L27	IP55	REP1 6-M-02.09 OKPL
6	667337	JARRUMOOTTORI 0.75kW 1410RPM IEC808 IMB3 (K)	JARRUMOOTTORI 0.75kW 1410RPM IEC808 IMB3	M3VRF 808 400V 50HZ	OIKOSULKUMOOTTORI IP65	KVY1 6/A3 3KPL
7	668060	VAIHDEMOOTTORI SG3-34/DK84-200L	VAIHDEMOOTTORI SG3-34/DK84-200L	0.79kW N2-98 I=14.49 400V 50HZ	VALMISTUSNO 1577007-1	REP1 6-N-03-10 2KPL
8	654411	MOOTTORI 75kW 1479RPM 2505 1001/B3	MOOTTORI 75kW 1479RPM 2505 1001/B3	M2BA 2505M4	OIKOSULKUMOOTTORI	REP1 6-Q-02-30 1KPL
9	672418 P	VAIHDEMOOTTORI 0.75kW I=84.36 N=17.5RPM	VAIHDEMOOTTORI 0.75kW I=84.36 N=17.5RPM	BK40-11U/DHE09SA4-TF/SP	H2/H3 II/A 400VAC 50HZ IP65	REP1 4-B-04-02 1KPL,KVY1 OKPL
10	655226 P	MOOTTORI 0.75kW 700RPM	MOOTTORI 0.75kW 700RPM	KMER B100L8		REP1 5-O-02-21 1KPL
11	669196	VAIHDEMOOTTORI LF80/AM-11	VAIHDEMOOTTORI LF80/AM-11	0.79kW 1400RPM I=21 400VAC 50HZ IM B5	2.5/A 35A ED 100 MOOTTORIOHJAIMELLE	REP1 7-C-04-17 1KPL
12	665266	VAIHDEMOOTTORI RF27 DT80N4/TH	VAIHDEMOOTTORI RF27 DT80N4/TH	0.79kW N2-245RPM I=5.6 230/400V 50HZ M1	VALMISTUS NO 64.1368546501.0001X10.50	REP1 6-N-03-15 1KPL
13	K654578 P	MOOTTORI 0.75kW 3000RPM B3	MOOTTORI 0.75kW 3000RPM B3	3GVAD81001-ADB/3GBP081322ADB 690V 1.8A		TWMY OKPL
14	666928	MOOTTORI 75kW 1480RPM IEC280 SMA4 B3	MOOTTORI 75kW 1480RPM IEC280 SMA4 B3	M2BA 280 SMA4 B3	OIKOSULKUMOOTTORI IP55	REP1 6-P-01-06 1KPL
15	671179	VAIHDEMOOTTORI BS30-62U/D08MA4-S/ESX010A9	VAIHDEMOOTTORI BS30-62U/D08MA4-S/ESX010A9	0.79kW N2-7.5RPM I=186.7 400VAC 50HZ H1/	II/C	REP1 6-N-04-05 1KPL
16	K643992	MOOTTORI 0.75kW 3000RPM IEC80M B3	MOOTTORI 0.75kW 3000RPM IEC80M B3	M3BP 80MB 2 400/690V 1/1.8A	OIKOSULKUMOOTTORI IP55	KATK OKPL,TWMY OKPL,HVOK H3/

Kuvio 26. Varamoottorien haku tehdasetsijällä

Hakutulokset tulostettiin läpikäymisen helpottamiseksi pdf-tiedostoihin. Näin voitiin tehdä pdf-lukijan hakutoiminnon avulla tarkentavia hakuja esimerkiksi pyörimisnopeuden, asennustavan tai moottorin rungon koon mukaan. Kuviossa 27 osa pdf-tiedostoa, johon merkattuna mahdollisia varamoottoreita. Pienelle osalle moottoreista löytyi varamoottori sijoitettuna tehdashierarkiaan käyttöpaikan osaluetteloon. Näidenkin suhteen tehtiin kuitenkin varastolla tarkastukset.

	Tunnus	Nimike	Nimi	Nimikkeen nimi SAPissa
1	680258		VAIHDEMOOTTORI SA67/T DRE80M4BE1/TH	VAIHDEMOOTTORI SA67/T DRE80M4BE1/TH
2	680800		VAIHDEMOOTTORI GM FA47/G DRE80M4BE1/TF	VAIHDEMOOTTORI GM FA47/G DRE80M4BE1/TF
3	682581		MOOTTORI 75KW 1000RPM IEC355SB IM B3 (K)	MOOTTORI 75KW 1000RPM IEC355SB IM B3
4	666601		MOOTTORI 0.75KW 1410RPM	MOOTTORI 0.75KW 1410RPM
5	666168	P	MOOTTORI 75KW 1500RPM B3	MOOTTORI 75KW 1500RPM B3
6	667337		JARRUMOOTTORI 0.75KW 1410RPM IEC80B IMB3 (K)	JARRUMOOTTORI 0.75KW 1410RPM IEC80B IMB3
7	668060		VAIHDEMOOTTORI SG3-34/DK84-200L	VAIHDEMOOTTORI SG3-34/DK84-200L
8	654411		MOOTTORI 75KW 1479RPM 250S 1001/B3	MOOTTORI 75KW 1479RPM 250S 1001/B3
9	672418	P	VAIHDEMOOTTORI 0.75KW I=84.36 N=17.5RPM	VAIHDEMOOTTORI 0.75KW I=84.36 N=17.5RPM
10	655226	P	MOOTTORI 0.75KW 700RPM	MOOTTORI 0.75KW 700RPM
11	669196		VAIHDEMOOTTORI LF80/4M-11	VAIHDEMOOTTORI LF80/4M-11
12	669266		VAIHDEMOOTTORI RF27 DT80N4/TH	VAIHDEMOOTTORI RF27 DT80N4/TH
13	K654578	P	MOOTTORI 0.75KW 3000RPM B3	MOOTTORI 0.75KW 3000RPM B3
14	666928		MOOTTORI 75KW 1480RPM IEC280 SMA4 B3	MOOTTORI 75KW 1480RPM IEC280 SMA4 B3
15	671179		VAIHDEMOOTTOR BS30-62U/D08MA4-S/ESX010A9	VAIHDEMOOTTOR BS30-62U/D08MA4-S/ESX010A9
16	K643992		MOOTTORI 0.75KW 3000RPM IEC80M B3	MOOTTORI 0.75KW 3000RPM IEC80M B3
17	K644262		MOOTTORI 75KW 1475RPM 250M B3 (K)	MOOTTORI 75KW 1475RPM 250M B3
18	K644306	P	MOOTTORI 75KW 1000RPM 280S B3	MOOTTORI 75KW 1000RPM 280S B3
19	K670247		MOOTTORI 75KW 1000RPM IEC315SMA IM B3	MOOTTORI 75KW 1000RPM IEC315SMA IM B3
20	K676333		MOOTTORI 375KW 594RPM IM B3	MOOTTORI 375KW 594RPM IM B3
21	675993	P	MOOTTORI 0.75KW 1500RPM IEC80M IM B5	MOOTTORI 0.75KW 1500RPM IEC80M IM B5

Kuvio 27. Osa hakutuloksista tulostetusta pdf-tiedostosta.

Kun varamoottoreille oli saatu etsittyä ehdokkaat varastopaikkoineen, suoritettiin tehdasalueen Repolan varastolla varmistukset hyllyissä olevien moottoreiden soveltuvuudesta käyttöpaikoille. Pieni osa moottoreista käytiin tarkastamassa myös kylmävalssaamoiden 1 ja 2 omilla varastoilla. Oikeiksi todettujen varamoottoreiden materiaalikoodit syötettiin moottoriluetteloon, josta ne voidaan jatkossa syöttää edelleen kunnossapidon tietojärjestelmään. Puutteet kerättiin erilliseen taulukkoon, josta ne voidaan käydä läpi ja arvioida, olisiko varamoottori joihinkin kohteisiin syytä olla heti varastolta saatavissa.

Varsinaisen varastokartoituksen lisäksi kerättiin tiedot alueella olevista varamoottoreista. Löydettiin 48 varamoottoria eri puolelta aluetta, jotka dokumentoitiin kuten kentällä käytössä olevat moottoritkin. Näin niitä voidaan joko siirtää varsinaiseen varastoon tai löytää varamoottoriksi tarvittaessa.

#### 5.4 Kartoituksen aikana havaitut puutteet

Kenttäkartoituksen aikana todettiin joitakin virheellisiä moottorien asennustapoja, kuten kuvion 28 vasemmanpuoleisen B35 asennusasennon moottorin asentaminen sekoittajakäyttöön. Oikea moottori olisi asennusasennoltaan V1. Todennäköisesti vanhan moottorin rikkouduttua ei ole varamoottoria oikealla asennusasennolla löydetty. Jos joudutaan asentamaan vaaka-asentoon asennettavaksi

tarkoitettu moottori pystyasentoon, suosittelee valmistaja voideltavien laakereiden osalta puolittamaan voiteluvälin. Kosteudenpoistoreikien osalta tällaisessa tapauksessa tulee ylempi reikä tuplata ja alempi reikä aukaista, jotta mahdollinen kosteus pääsee poistumaan moottorista. Lisäksi tuuletin ylöspäin asennettaviin moottoreihin olisi hyvä asentaa suojahattu, jolla ehkäistään vieraiden esineiden tai nesteiden pääsy tuulettimeen (ABB 2024b). Kuvion 28 oikeanpuoleisessa moottorissa jäähdytys on puutteellinen likaantumisen vuoksi. Tällaisia moottoreita alueelta löytyi muutamia.



Kuvio 28. Moottorilla väärä asennusasento ja likainen moottori

Tehdasetsijällä varamoottoreita hakiessa tuli esille nimikkeiden yhtenäisyyksissä puutteita. Nimikkeille olisi syytä tehdä yhtenäinen standardoitu merkintätapa, jolloin moottoreiden hakeminen järjestelmästä olisi helpompaa. Tällä hetkellä nimikkeen tiedoista voi puuttua esimerkiksi asennusasento. Tiedoista olisi syytä löytyä valmistaja, nimellisteho, tyyppimerkintä, asennusasento, staattorikentän pyörimisnopeus, IEC-koko, jännite, IP-luokka ja lisälaitteet. Moottorinimikkeiden yhdistämisiä voisi myös tehdä, sillä tällä hetkellä samanlaisia moottoreita on järjes-

telmässä erillisillä nimikkeillä. Näin saataisiin varastoitavien moottoreiden määrää vielä varmaankin pienemmäksi. Varastopaikoilla oli myös moottoreita, jotka eivät vastanneet nimikkeen tietoja.

KUTI:n tehdashierarkiasta ei löytynyt positioita kaikille Neren alueen moottoreille. Tämän vuoksi kerätyn moottorilistan pohjalta tullaan tehtaan dokumentoinnin hallinnan toimesta rakentamaan ajantasainen hierarkia, johon jatkossa voidaan laitteistojen tiedot tallentaa.

## 6 POHDINTA

Kunnossapidon kannalta ajantasainen ja riittävä tieto kunnossapidettävistä laitteistoista on tärkeää, mikäli halutaan ehkäistä vikaantumisia. Toisaalta jo vioittuneen laitteen korjaavan kunnossapidon osalta on nopea varaosan saanti niin ikään tärkeää. Opinnäytetyön tavoitteena olikin kartoittaa neutralointi- ja regenerointilaitosten alueella sijaitsevien prosessimoottoreiden varamoottorien saatavuus tehtaan omilta varastoilta. Tavoitteeseen päästiin toteuttamalla kenttäkartoitus kaikille alueen sähkömoottoreille, minkä jälkeen saaduilla tiedoilla etsittiin varamoottorit tehtaan varastolta ja varmistettiin niiden soveltuvuus laitepaikoille. Tuloksena saatiin moottoreista dokumentointi taulukoiden ja kuvatiedostojen muodossa.

Taulukkotietojen perusteella saadaan kunnossapidon tietojärjestelmään päivitettyä ajantasaiset tiedot. Tuotettu tieto on apuna jatkossa alueen kunnossapidolle, kunhan tiedot pidetään ajan tasalla. Dokumentointia pystytään jatkossa täydentämään esimerkiksi lisäämällä tieto, onko kyseessä suora-, taajuusmuuttaja- vai pehmokäynnistinkäyttö. Moottorikannan energiatehokkuuksien arviointeja ja optimointeja voidaan suunnitella nykyisen ajantasaisen tiedon perusteella. Huolto-ohjelman päivitys moottoreiden suhteen on myös varmasti paikallaan. Havaittujen varamoottorien puutteiden osalta on syytä miettiä uudelleen kriittisyysanalyysin muodossa, olisiko jatkossa pidettävä varamoottori tehtaan omilla varastoilla. Varastonimikkeiden tietojen vastaavuus varastoitavan moottorin ominaisuuksien kanssa olisi syytä tarkastaa. Jos nimikkeistö ei ole oikeanlainen, varastoihin kertyy duplikaatteja ja kentälle sopimattomia varaosia. Aiheesta onkin erillisiä opinnäytetöitä tehty.

Oikosulkumoottoreihin liittyvästä taustaselvityksestä erityisesti vikaantumiseen liittyvät asiat olivat hyvää oppia jatkoa ajatellen. Kunnossapidostakin tuli esille työn teoriaosuudessa itselleni uusia asioita. Asentajana toimiessa ei monia asioita tule edes miettineeksi. Perusteet tietysti oli asioista tiedossa hyvin jo ennen työn aloittamista, joten suuria hämmästyksen kokemuksia ei kohdalle sattunut. Kunnossapidon tiedonhallintaan varmasti jatkossa tulee kiinnitettyä enemmän huomioita, jotta esimerkiksi viankorjauksesta kommentit menevät tarkemmin juuri työkohteen laitepositiolla.

Kokonaisuutena opinnäytetyön käytännön osuus kartoituksineen oli hyvä silmäys alueen moottorikannan nykytilaan. Työn kirjallisen osuuden aikaansaaminen ei niinkään herättänyt innostusta ja sen valmistuminen venyttikin kokonaisuuden paketointia ainakin parilla vuodella. Lopulta homma kuitenkin saatiin puristettua valmiiksi. Tästä on hyvä jatkaa alueen sähkö- ja automaatiokunnossapidon parissa taas hieman viisaampana.

## LÄHTEET

ABB 2000a. TTT-käsikirja 2000–07. Moottorit ja generaattorit. Viitattu 30.3.2024 [https://heikkilaakso.com/opetus/abb/170\\_0007.pdf](https://heikkilaakso.com/opetus/abb/170_0007.pdf).

– 2000b. Tekninen opas 5 – Laakerivirrat uusissa vaihtovirtakäytöissä. Viitattu 14.5.2024

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2BFE64408895&LanguageCode=fi&DocumentPartId=1&Action=Launch>.

– 2004. DriveIT Pienjännitteiset vakiomoottorit. Viitattu 5.5.2024

<https://library.e.abb.com/public/f99be400a43336a8c1257b130056f076/Drive%20IT%20pienjannitteiset%20vakiomoottorit%20FI%2010-2004.pdf>.

– 2014. ABB:n pienjännitemoottorit esittelymateriaali. Viitattu 10.10.2020

<https://docplayer.fi/19154823-Jarno-kinnunen-abb-oy-kotimaanmyynti-2014-abb-n-pienjannitemoottorit.html>.

– 2019. Low voltage motors. Motor guide. Viitattu 4.5.2024

[https://library.e.abb.com/public/1fd380f8ca8b4934ae3fa609d764fd33/21043\\_AB\\_B\\_Motor\\_Guide\\_REV\\_D.pdf](https://library.e.abb.com/public/1fd380f8ca8b4934ae3fa609d764fd33/21043_AB_B_Motor_Guide_REV_D.pdf).

– 2023. EU Ecodesign Regulation for motors and drives. Viitattu 20.5.2024

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108373&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.

– 2024a. Low voltage Process performance cast iron motors. Viitattu 20.5.2024

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105944&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.

– 2024b, Moottorin asennusasennot ja käyttöikä. Viitattu 23.5.2024

<https://ideat.sonepar.fi/moottorin-asennusasennot-ja-kayttoika/>

Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY.

Bevi 2024. Yleiset tekniset tiedot sähkömoottoreista. Viitattu 2.4.2024

<https://www.bevi.fi/tietoa-bevista/tietopankki/yleiset-tekniset-tiedot-sahkomoottoreista>.

Ellala, J. 2013. Pienjännitemoottoreiden sähköisen kunnonvalvonnan kehittäminen Tornio Works kylmävalssaamalla. Opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Viitattu 14.5.2024 <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013052210068>.

Heinonkoski, R. & Luotonen, O. 2013. Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito. Helsinki: Opetushallitus.

Hietalahti, L. 2013a. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy, Tammertekniikka.

– 2013b. Teollisuuden sähkökäytöt. 1. painos. Tampere: Amk-kustannus Oy, Tammertekniikka.



Kauppila, J., Tiainen, E. & Ylinen, T. 2010. Sähköasennukset 3 1. painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2010. Konetekniikan perusteet. 7.–8. painos. Helsinki: Sanoma Pro.

Kiiveri, J. 2000. Kunnossapidon tietojärjestelmät. Kunnossapitokoulu no. 57. Kunnossapito-lehden erikoisliite 5/2000. Helsinki: KP-Media.

Komission asetus (EU) 2019/1781. Viitattu 20.5.2024  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1781>.

Korpinen, L. 1998. Sähkökoneet osa 1. Sähkövoimatekniikkaopus. Viitattu 20.0.2024  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_1osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf).

Kujala, S. & Randell, K. 2010. Sähkömoottorin peruskunnonvalvonta kannattaa. Promaint-lehti 5/2010. Helsinki: KP-Media.

Laurila, H. 2018. Pt100 temperature sensor – useful things to know. Beamex 17.4.2018. Viitattu 21.5.2024 <https://blog.beamex.com/pt100-temperature-sensor>.

Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo P., Komonen K., Lumme, V., Kautto J., Heinonen K., Lakka S. & Mäkeläinen R. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito: Käsikirja. Helsinki: KP-Media.

Motiva 2020. Kirjallisuusselvitys sähkökäytöistä. Viitattu 5.5.2024  
[https://www.motiva.fi/files/18149/Kirjallisuusselvitys\\_sahkokaytoista.pdf](https://www.motiva.fi/files/18149/Kirjallisuusselvitys_sahkokaytoista.pdf).

Mäkinen, M. J. J., Kallio, R., Tantarimäki, R., Nyström, S. A. & Kallio, P. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. 1. painos. Helsinki: Otava.

Nord 2023. M7000 – Oikosulkumoottorit. Viitattu 28.3.2024  
[https://www.nord.com/media/documents/bw/m7000\\_en\\_600602\\_2.pdf](https://www.nord.com/media/documents/bw/m7000_en_600602_2.pdf).

Outokumpu Oyj 2019. Nere-alueen esittelymateriaali. Viitattu 14.10.2020.

– 2020a. Tietoa Outokummusta. Viitattu 09.10.2020  
<https://www.outokumpu.com/fi-fi/about-outokumpu>.

– 2020b. Outokummun sisäinen internetsivusto. Esitysmateriaali: Tornion tehtaat ja Kemin kaivos. Ei julkinen.

– 2020c. Outokummun sisäinen internetsivusto. Esitysmateriaali: Tuotantoprosessi Torniossa ja Kemin kaivoksella. Ei julkinen.

– 2020d. Outokummun sisäinen internetsivusto. Esitysmateriaali: Yleistietoa kylmävalssaamosta. Ei julkinen.

– 2020e. Outokummun sisäinen internetsivusto. Esitysmateriaali: Nere:n turvallisuuskoulutus-materiaali. Ei julkinen.

PSK 6201:2022. Kunnossapito. käsitteet ja määritelmät. 4. painos. PSK Standardisointi.

PSK 6800 2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. PSK Standardisointi.

Puttonen, V. 2011. Sähkökoneiden suunnitteluun ja valmistukseen vaikuttavat standardit. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikka. Kandidaatintyö.

SFS-EN 13306:2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 3. painos. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SKF 2013. Rolling bearings and seals in electric motors and generators. Viitattu 20.5.2024

[https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d196802b0348/pdf\\_preview\\_medium/0901d196802b0348\\_pdf\\_preview\\_medium.pdf#cid-134586](https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d196802b0348/pdf_preview_medium/0901d196802b0348_pdf_preview_medium.pdf#cid-134586).

– 2016a. Kaikki, mitä olet aina halunnut tietää: SKF urakuulalaakerit. Viitattu 21.5.2024 <https://promo.skf.com/acton/attachment/14804/f-0051/1/-/-/-/Everything%20you%20wanted%20to%20know%20about%20ball%20bearings%20EN.pdf>.

– 2016b. SKF-laakerien kunnossapito. Viitattu 12.5.2024 [https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/SKF-laakerien%20kunnossapito%20-%20SKF%20bearing%20maintenance%20handbook%20-%2010001\\_1%20FI\\_tcm\\_12-290853.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/SKF-laakerien%20kunnossapito%20-%20SKF%20bearing%20maintenance%20handbook%20-%2010001_1%20FI_tcm_12-290853.pdf).

– 2017. Bearing damage and failure analysis. Viitattu 12.5.2024 [https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d1968064c148/pdf\\_preview\\_medium/0901d1968064c148\\_pdf\\_preview\\_medium.pdf](https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d1968064c148/pdf_preview_medium/0901d1968064c148_pdf_preview_medium.pdf).

– 2018. Rolling Bearings Catalogue. Viitattu 20.5.2024 [https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d196802809de/pdf\\_preview\\_medium/0901d196802809de\\_pdf\\_preview\\_medium.pdf](https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d196802809de/pdf_preview_medium/0901d196802809de_pdf_preview_medium.pdf).

Seppälä, J. 2014. Oikosulkumoottorin tuotannon aikaisten vikojen korjausopas. Opinnäytetyö, Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 11.5.2024 <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405147806>.

Valtonen, M. 2013. Kunnossapitokoulu no. 102. Taajuusmuuttaja säätöinen pumppukäyttö. Epätahtimoottoreiden korjaava kunnossapito. Promaint-lehden erikoisliite 3/2013. Helsinki: KP-Media.

Zener Oy 2024. Oikosulkumoottorien laakerit. Viitattu 4.5.2024 <https://www.zener.fi/huolto/laakerit/>.

## LIITTEET

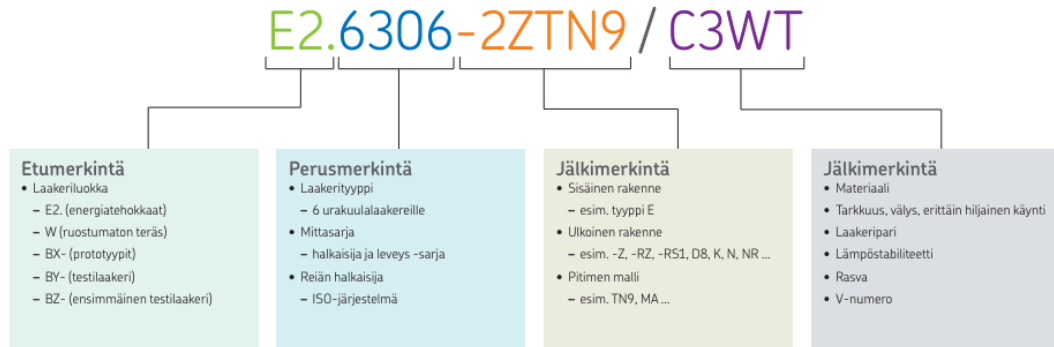
Liite 1. SKF:n laakereiden merkintäjärjestelmän tulkintaohje (SKF 2016a, 22–24)

Liite 2. SKF:n laakerityyppien merkinnät (SKF 2016b, 23)

Liite 3. ABB:n valurautaisten prosessisähkömoottorien mahdolliset lisäkoodit (ABB 2024a, 49–54)

## SKF:n laakereiden merkintäjärjestelmän tulkintaohje

## Merkintäjärjestelmä

**Ensimmäinen merkki**

Laakerityyppi 6 (tai 16) esim. 6306, 61822, 16010

**Toinen merkki**

Leveysarja: 0, 1, 2 tai 3

6306 tai 6(0)306: 0 ja 1 eivät koskaan esiinny sarjan 160, 60, 62, 63 tai 64 nimityksissä

61822: 1 tarkoittaa leveysarjaa

**Kolmas merkki**

Halkaisijasarja: 8, 9, 0, 1, 2, 3 tai 4, 6306 tai 61822

**Neljäs ja viides merkki**

Reiän halkaisijan mittakoodi d/5. Esim. 6306: reiän halkaisija on 5 x 06 = 30 mm tai 61822: reiän halkaisijana 5 x 22 = 110 mm, paitsi reiän halkaisijat:

- 00 = 10 mm

- 01 = 12 mm

- 02 = 15 mm

- 03 = 17 mm

Laakereille, joiden reiän halkaisija on < 10 mm tai  $\geq 500$  mm, reiän halkaisija ilmoitetaan millimetreinä (koodaamatta) kauttaviivalla, 618/8 = 8 mm tai 618/530 = 530 mm, ja joillekin laakereilla, joiden reiän halkaisija on < 10 mm, reiän halkaisija ilmoitetaan millimetreinä (koodaamatta) ilman kauttaviivaa, 608 = 8 mm.

**Tiivisteet ja suojailevyt**

-RS1, -2RS1, -RS2, -2RS2, -RSH, -2RSH, -RSL, -2RSL, -RZ, -2RZ, -Z, -2Z

**Laipparengas**

**N** = ulkorengaan laippaura

**NR** = laippaura ja laipparengas

**Pitimen merkintä**

**Ilman merkintää** = teräksinen vakiopidin

**M** = messinkipidin, kuuluiin keskitetty

**MA** = messinkipidin, keskitetty ulkorengaskaaseen/**MB** = messinkipidin, keskitetty sisärenkaaseen

**TN9** = polymeeripidin

**TNH** = PEEK-pidin

**Säteisvälitys:**

**C1** = alle C2

**C2** = alle CN

**Ilman tarkennetta** = CN normaali välitys

**C3** = suurempi kuin CN

**C4** = suurempi kuin C3

**C5** = suurempi kuin C4

**Jälkimerkinnät rasvoille**

**Ilman merkintää** = vakio-MT-rasva

**GJN**

**HT**

**LHT23**

**Lämpöstabiilitteetti**

**Ilman tarkennetta** = SN, käyttölämpötila  $\leq 120$  °C

**S0** = käyttölämpötila  $\leq 150$  °C

**S1** = käyttölämpötila  $\leq 200$  °C

**Pintakäsittely**

**HN1** ja **HN3**

**Keraamiset kuulat**

**HC5**

**Laakeriparit**

**DBxx**, **DTxx**, **DFxx**

**V-numero**

**VA - VX + 3 numeroa** muille määritteille

SKF:n laakerityyppien merkinnät

**Bearing series**

										6(0)4											
										544	623										(0)4
										524	6(0)3										33
										543	622										23
										523	6(0)2										(0)3
										542	630									23	22
										522	6(1)0									32	12
										231	16(0)0									22	(0)2
										240	323									41	31
										230	313									31	30
										249	303									60	20
										139	239	332								50	10
										130	248	322								7(0)4	814
										(1)23	238	302								7(0)3	894
										1(0)3	331	330								7(0)2	874
										(1)22	294	330								7(1)0	813
										(0)33	1(0)2	293	320	4(2)3						59	38
										(0)32	1(1)0	292	329	4(2)2						59	38
												591	627	718	812	49	28			39	18
												590	617	708	811	39	18			48	19

**Bearing type**

**Radial bearings**  
Width (B,T): 8 0 1 2 3 4 5 6

**Thrust bearings**  
Height (H): 7 9 1 2

**Dimension series**

**Diameter series**  
7 8 9 0 1 2 3 4

**Code structure:** X X X X X  
 Bearing series      Size d/5

Code	Bearing type	Code	Bearing type	Code	Bearing type
0	Double row angular contact ball bearing	7	Single row angular contact ball bearing	QJ	Four-point contact ball bearing
1	Self-aligning ball bearing	8	Cylindrical roller thrust bearing	T	Tapered roller bearing in accordance with ISO 355
2	Spherical roller bearing, spherical roller thrust bearing	C	CARB toroidal roller bearing		
3	Tapered roller bearing	N	Cylindrical roller bearing. Two or more letters are used to identify the number of the rows or the configuration or the ranges, e.g. NJ, NU, NUP, NN, NNU, NNCF		
4	Double row deep groove ball bearing				
5	Thrust ball bearing				
6	Single row deep groove ball bearing				

## ABB:n valurautaisten prosessisähkömoottorien mahdolliset lisäkoodit

## Variant codes

Variant codes specify additional options and features to the standard motor. The desired features are listed as three-digit variant codes in the motor order. Note also that there are variants that cannot be used together

Most variant codes apply to IE2, IE3, and IE4 motors. For confirmation of availability of the variants, please refer to the VnP application or consult with your ABB sales office before placing an order.

Code/Variants	Frame size																
	71	80	90	100	112	132	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
<b>Administration</b>																	
529	Customer witnessed visual inspection of complete order line.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
530	Two-year extension on standard warranty	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
531	Sea freight packing	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
533	Wooden sea freight packing	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	-
590	Mounting of customer supplied part other than coupling.	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
683	Prepared for ABB Ability Smart Sensor	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
684	ABB Ability™ Smart sensor mounted	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<b>Balancing</b>																	
417	Vibration acc. to Grade B (IEC 60034-14).	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
423	Balanced without key.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
424	Full-key balancing	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<b>Bearings and Lubrication</b>																	
036	Transport lock for bearings.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
037	Roller bearing at D-end.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
039	Cold-resistant grease	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
040	Heat-resistant grease	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
041	Bearings regreasable via grease nipples.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
043	SPM compatible nipples for vibration measurement	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
057	ZRS bearings at both ends.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-
058	Angular contact bearing at D-end, shaft force away from bearing.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
059	Angular contact bearing at N-end, shaft force towards bearing.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	-
060	Angular contact bearing at D-end, shaft force towards bearing.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	-
061	Angular contact bearing at N-end, shaft force away from bearing.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	-
107	Pt100 2-wire in bearings.	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
128	Double PT100, 2-wire in bearings	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
129	Double PT100, 3-wire in bearings	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
130	Pt100 3-wire in bearings.	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
188	63-series bearing in D-end	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
194	ZZ bearings greased for life at both ends.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
420	Bearing mounted PTC thermistors.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•
433	Outlet grease collector	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•
506	Nipples for vibration measurement : SKF Marlin Quick Connect stud CMSS-2600-3	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
593	Bearings grease suitable for food and beverage industry.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
654	Provision for vibration sensors (MBx1)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
795	Lubrication information plate	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
796	Grease nipples JIS B 1575 PT 1/8 Type A	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
797	Stainless steel SPM nipples	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
798	Stainless steel grease nipples	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
799	Grease nipples flat type DIN 3404, thread M10x1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
800	Grease nipples JIS B 1575 PT 1/8" pin type	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<b>Brakes</b>																	
517	KFB holding brake	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	-
518	SFB-SH holding brake	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	-
<b>Branch standard designs</b>																	
142	Manilla connection	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-
172	Smoke venting specification, 300 °C, 1 hour, DOL use, class F300 according to EN 12101-3	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-
173	Smoke venting specification, 200 °C, 2 hours, DOL use, class F200 according to EN 12101-3	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-
174	Smoke venting specification, 400 °C, 2 hours, DOL use, class F400 according to EN 12101-3	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-

○ = Included as standard | • = Available as option | - = Not applicable

Code/Variants	Frame size																
	71	80	90	100	112	132	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
177	Design for high ambient applications																
178	Stainless steel / acid proof bolts.																
204	Jacking bolts for foot mounted motors.																
209	Non-standard voltage or frequency, (special winding).																
386	Smoke venting specification, 200 °C, 2 hours, VSD use, Class F200 according to EN 12101-3.																
387	Smoke venting specification, 300 °C, 1 hour, VSD use, Class F300 according to EN 12101-3.																
389	Smoke Venting specification, 400 °C, 2 hours, VSD use, Class F400 according to EN 12101-3.																
392	Smoke Venting specification, 250 °C, 2 hours, DOL use, Class T250																
393	Smoke venting specification, 250 °C, 2 hours, VSD use, Class T250																
396	Motor designed for minimum ambient temperature -20 °C to -40 °C, with space heaters (code 450/451 must be added)																
397	Motor designed for minimum ambient temperature -40 °C to -55 °C, with space heaters (code 450/451 must be added)																
398	Motor designed for minimum ambient temperature -20 °C to -40 °C																
399	Motor designed for minimum ambient temperature -40 °C to -55 °C																
425	Corrosion protected stator and rotor core.																
524	Special run-out tolerances on flange and shaft for close coupled pump applications.																
625	Design for mining applications.																
786	Special design shaft upwards (V3, V36, V6) for outdoor mounting.																
877	Design for high ambient applications, motor without fan and fan cover																
<b>Cooling system</b>																	
044	Unidirectional fan for reduced noise level. Rotation clockwise seen from D-end. Available only for 2-pole motors.																
045	Unidirectional fan for reduced noise level. Rotation counter clockwise seen from D-end. Available only for 2-pole motors.																
068	Light alloy metal fan																
075	Cooling method IC418 (without fan).																
183	Separate motor cooling (fan axial, N-end).																
206	Steel fan																
422	Separate motor cooling (on top) with integrated fan motor																
514	Separate motor cooling (fan on top)																
791	Stainless steel fan cover																
<b>Coupling</b>																	
035	Assembly of customer supplied coupling-half.																
<b>Documentation</b>																	
141	Binding 2D main dimension drawing.																
370	Motor model drawing in 3D																
374	Binding 2D motor detailed drawing																
536	Photos of manufactured motors																
537	Advanced data sheet																
722	Rotor dimension drawing (incl. torsional stiffness).																
777	Premium documentation package																
<b>Drain holes</b>																	
065	Plugged existing drain holes.																
448	Draining holes with metal plugs.																
<b>Earthing Bolt</b>																	
067	External earthing bolt.																
525	External earthing bolts on motor feet																
<b>Hazardous Environments</b>																	
456	Ex ec IIC T3 Gc acc. IEC/EN 60079-7 with certificates.																
<b>Heating elements</b>																	
450	Heating element, 100-120 V																
451	Heating element, 200 - 240 V																
<b>Insulation system</b>																	
014	Winding insulation class H.																
405	Special winding insulation for frequency converter supply.																
406	Winding insulation for supply > 690 <= 1000 volts																

Code/Variants	Frame size																
	71	80	90	100	112	132	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
<b>Marine</b>																	
024	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
025	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
026	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
027	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
049	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
050	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
096	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
186	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
481	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
483	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
484	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
491	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
492	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
493	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
494	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
496	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
675	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
676	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<b>Mounting arrangements</b>																	
008	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
009	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
047	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
066	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
305	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<b>Noise reduction</b>																	
055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•
<b>Painting</b>																	
105	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
114	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
115	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
168	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
303	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
710	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
711	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
712	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
713	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
754	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
755	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<b>Protection</b>																	
005	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
072	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	-	-
073	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
158	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
211	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-
250	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
401	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•



Code/Variants	Frame size																
	71	80	90	100	112	132	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
403	Degree of protection IP56.																
404	Degree of protection IP56, without fan and fan cover.																
434	Degree of protection IP56, open deck.																
520	Motor protection cover made of glass fiber. Vertical motor, shaft down.																
783	Labyrinth sealing at D-end.																
784	Gamma-seal at D-end.																
<b>Rating &amp; instruction plates</b>																	
002	Restamping voltage, frequency and output, continuous duty.																
004	Additional text on std rating plate (max 12 digits on free text line).																
095	Restamping output (maintained voltage, frequency), intermittent duty.																
098	Stainless rating plate.																
126	Tag plate																
135	Mounting of additional identification plate, stainless.																
138	Mounting of additional identification plate, aluminium.																
139	Additional identification plate delivered loose.																
159	Additional plate with text "Made in ...."																
160	Additional rating plate affixed.																
161	Additional rating plate delivered loose.																
163	Frequency converter rating plate. Rating data according to quotation.																
181	Rating plate with ABB standard loadability values for VSD operation. Other auxiliaries for VSD operation to be selected as necessary.																
333	Not for use in the USA																
528	Rating plate sticker																
818	Restamping as generator																
<b>Shaft &amp; rotor</b>																	
069	Two shaft extensions according to catalog drawings.																
070	Special shaft extension at D-End, standard shaft material																
131	Motor delivered with half key (key not exceeding shaft diameter)																
155	Cylindrical shaft extension, D-end, without key-way.																
164	Shaft extension with closed keyway																
165	Shaft extension with open keyway																
410	Shaft material stainless steel																
591	Special shaft extension according to customer specification.																
600	Special shaft extension at N-end, standard shaft material.																
630	Shaft material certificate 3.1/3.2 according to EN10204:2004																
<b>Standards and Regulations</b>																	
208	Fulfilling Underwriters Laboratories (UL), listed requirements																
331	IE1 motor not for sale for use in EU																
421	VIK design (Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.).																
509	Fulfilling US Integral Horsepower Motor Rule (IHP).																
540	China energy label																
543	Australian MEPS																
687	Fulfilling energy efficiency requirements for Canada																
822	WIMES 3.0316 Compliant Design for DOL operation																
823	WIMES 3.0316 Compliant Design for VSD operation																
<b>Stator winding temperature sensors</b>																	
120	KTY 84-130 (1 per phase) in stator winding.																
121	Bimetal detectors, break type (NCC), (3 in series), 130 °C, in stator winding																
122	Bimetal detectors, break type (NCC), (3 in series), 150 °C, in stator winding																
123	Bimetal detectors, break type (NCC), (3 in series), 170 °C, in stator winding																
124	Bimetal detectors, break type (NCC), (3 in series), 140 °C, in stator winding																
125	Bimetal detectors, break type (NCC), (2x3 in series), 150 °C, in stator winding																
127	Bimetal detectors, break type (NCC), (3 in series, 130 °C & 3 in series, 150 °C), in stator winding																

○ = Included as standard | ● = Available as option | - = Not applicable



Code/Variants		Frame size																
		71	80	90	100	112	132	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
745	Painted steel flange equipped with nickel plated brass cable glands	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
746	Stainless steel cable flange equipped with standard nickel plated brass cable glands	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<b>Testing</b>																		
145	Type test report from a catalogue motor, 400V 50Hz.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-
146	Type test with report for one motor from specific delivery batch.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
148	Routine test report.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
149	Test according to separate test specification.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-
150	Customer witnessed testing. Specify test procedure with other codes.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
222	Torque/speed test, type test and multi-point load test with report for one motor from specific delivery batch.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
560	Shaft voltage test, for one motor from specific delivery batch.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
561	Overspeed test, for one motor from specific delivery batch	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
562	Overvoltage test, for one motor from specific delivery batch.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
760	Vibration level test	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
761	Vibration spectrum test for one motor from specific delivery batch.	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
762	Noise level test for one motor from specific delivery batch.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
763	Noise spectrum test for one motor from specific delivery batch.	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
764	Test for one motor from specific delivery batch with ABB frequency converter available at ABB test field. ABB standard test procedure.	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<b>Variable speed drives</b>																		
429	Separate motor cooling (fan top, N-end) and 1024 pulse tacho (Leine & Linde 861) mounted.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•
470	Prepared for hollow shaft pulse tacho (L&L equivalent).	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
472	1024 pulse tacho (L&L 861007455-1024).	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
473	2048 pulse tacho (L&L 861007455-2048).	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
474	Separate motor cooling (axial fan, N-end) and prepared for hollow shaft tacho (L&L equivalent)	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
476	Separate motor cooling (axial fan, N-end) and 1024 pulse tacho (L&L 861007455-1024)	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
477	Separate motor cooling (axial fan, N-end) and 2048 pulse tacho (L&L 861007455-2048)	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
478	Separate motor cooling (fan on top, N-end) and prepared for hollow shaft tacho (L&L equivalent)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•
479	Mounting of other type of pulse tacho with shaft extension, tacho not included.	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
486	Separate motor cooling (fan top, N-end) and prepared for DC-tacho.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•
510	Separate motor cooling (fan top, N-end) and 2048 pulse tacho (Leine & Linde 861) mounted.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•
582	1024 pulse tacho, GHK912-GBR-1024, BEI IDEACOD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•
583	2048 pulse tacho, GHK912-GBR-2048, BEI IDEACOD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•
588	Shaft grounding device	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-
658	Special tacho mounted, price category 1	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
659	Special tacho mounted, price category 2	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
660	Special tacho mounted, price category 3	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
701	Insulated bearing at N-end.	-	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
702	Insulated bearings at both ends	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-
704	EMC cable entry.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

○ = Included as standard | ● = Available as option | - = Not applicable