

Sähkömoottorien hankintaopas

11/ 2020



Sähkömoottoreiden hankintaopas

Ei julkaista painotuotteena

Sähkömoottoreiden hankintaopas

Motiva Oy

Copyright Motiva Oy, Helsinki, 11/2020

Esipuhe

Tässä oppaassa ohjeistetaan energiatehokkaiden moottoreiden hankintaa. Opas on suunnattu teollisuuden ja kiinteistösektorin moottoreiden hankinnasta vastaaville henkilöille. Sitä voidaan käyttää yritysten korvaus- ja uusintainvestointien hankintaohjeiden päivittämiseen, jotta niissä huomioitaisiin etenkin hankintojen energiatehokkuus ja elinkaarikustannukset. Oppaassa annetut suositukset perustuvat kirjallisuuteen sekä konsulttien, laitetoimittajien ja käyttäjien kokemuksiin.

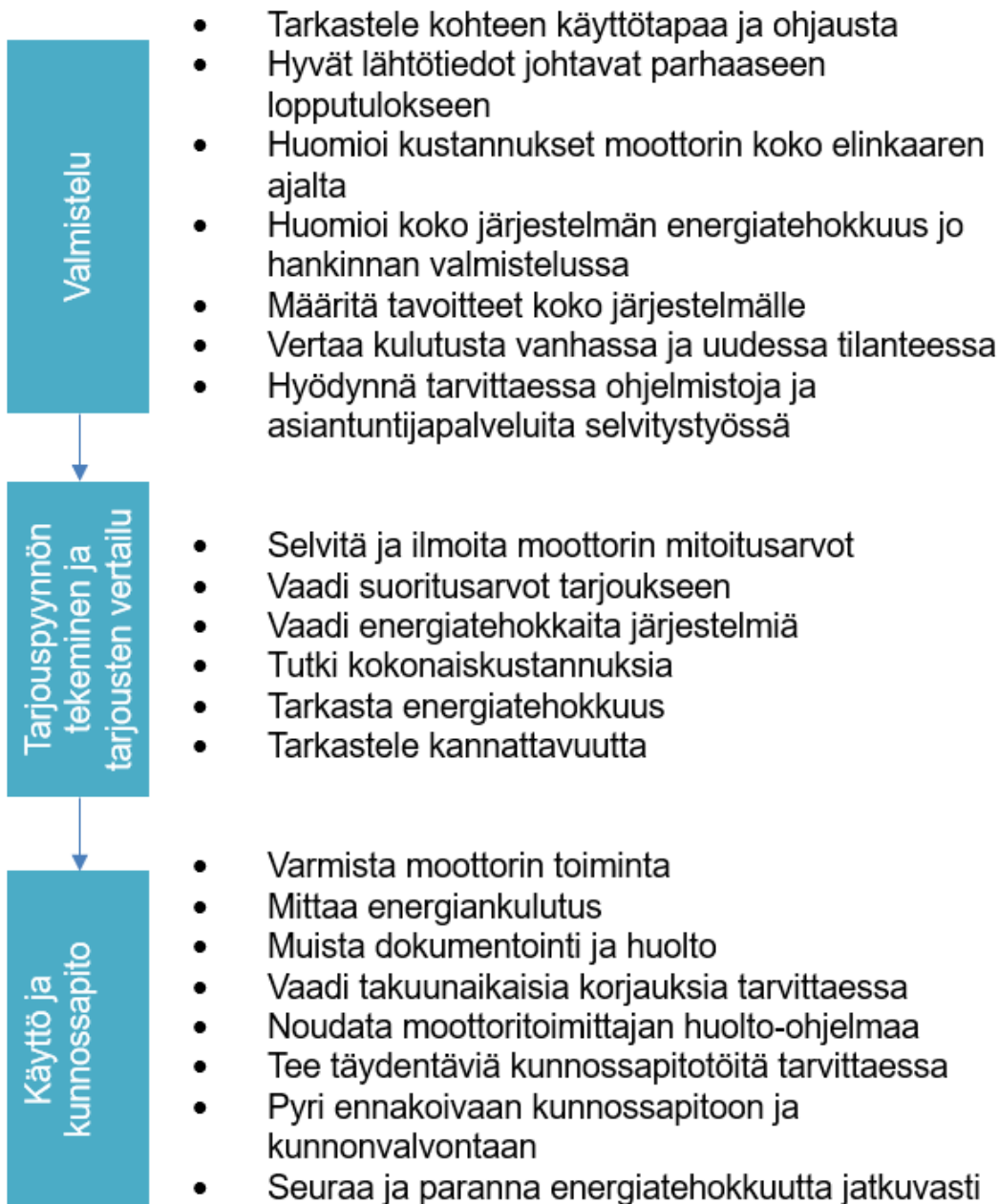
Uusi energiatehokas sähkömoottori vaikuttaa koko sähköjärjestelmän lisäksi myös tuotantoprosessin toimintaan parantaen usein koko järjestelmän energiatehokkuutta. Koska hankittava laite ei yksinään ratkaise kokonaisuuden energiatehokkuutta, on oppaassa annettu ohjeita siitä, miten koko sähkömoottorijärjestelmän energiatehokkuuden säilyminen ja parantaminen varmistetaan hankinnan aikana.

Oppaassa annetaan suosituksia, mutta ensisijaisesti on aina noudatettava direktiivejä, lakeja, turvamääräyksiä ja laitevalmistajan ohjeita. Suunniteltaessa muutoksia laitteisiin tai sähköjärjestelmään, kannattaa aina ensin olla yhteydessä laite- ja järjestelmätoimittajiin sekä mahdollisesti sähköjärjestelmien suunnittelijaan, jotta varmistetaan laitteen turvallinen ja asianmukainen toiminta.

Moottorien elinkaaren aikaisista kustannuksista merkittävä osa syntyy käytön aikana. Oppaan lopussa annetaan suosituksia moottoreiden ja järjestelmän vaatimasta kunnossapitotomista ja niiden vaikutuksesta moottoreiden käyttöön, elinikään ja energiankulutukseen. Tässä oppaassa keskitytään pääosin oikosulkumoottoreihin, mutta on huomioitava, että korkean hyötysuhteen moottoreissa moottorityyppejä voi olla useampia, jotka soveltuvat perinteisen oikosulkumoottorin korvaajiksi.

Oppaan on toteuttanut Elomatic Oy Motiva Oy:n tilauksesta. Opas on osa Motivan ja yritysten yhteisen Energiatehokkaat sähkökäytöt-hankkeen tulostamateriaaleja. Hankkeen tulosten avulla tuetaan energiatehokkuussopimuksen toimeenpanoa. Hankkeessa olivat mukana Ahlstrom-Munksjö Glassfibre Oyj, Metsä Board Oyj, Sinebrychoff Supply Company Oy, ABB Oy, Koja Oy ja Sulzer Pumps Finland Oy. Hanketta rahoittivat Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus STEK ry, Energiavirasto sekä hankkeeseen osallistuneet yritykset.

Energiatehokkaiden moottoreiden hankintaprosessi



Sisällysluettelo

Esipuhe	3
Sisällysluettelo	5
1 Hankinnan valmistelu	7
1.1 Hyötysuhdeluokitus	7
1.2 Hankinnan lähtötietojen määrittäminen	7
1.3 Hankinnan vaikutukset energiatehokkuuteen	9
2 Hankinta	12
2.1 Tarjouspyyntö	12
2.2 Tarjousten vertailu	14
3 Hankinnan jälkeen	16
3.1 Käyttöönotto ja takuu-aika	16
3.2 Käytön aikainen kunnossapito	16
Lähteet	18

Liitteet:

Liite A. Moottorin hyötysuhteen vaikutus 5,5 kW moottorin käyttökustannuksiin

Liite B. Moottorin hyötysuhteen vaikutus 75 kW moottorin käyttökustannuksiin

Liite C. Hyötysuhdeluokat 2-, 4- ja 6-napaiselle pienjännitemoottorille 50 Hz taajuudella

Liite D. Standardin IEC 60034-1 mukaiset käyttötavat S1-10

Liite E. Esimerkki tarjouspyynnön vaatimuksista

Liite F. Lisätietoa sähkömoottoreiden rakenteista, jäähdytyksestä, laakeroinnista, käämityksen eristysluokista ja voimansiirrosta

Käsitteet ja lyhenteet

Käsite	Selitys
Elinkaarikustannus	Laitteiston elinkaaren aikana syntyneet kustannukset sisältäen investoinnin, käyttökustannukset ja laitteen hävittämisen.
Energiatehokkuus	Tuotantomäärän tai tuloksen suhde käytettyyn energiaan.
Hankinta	Prosessi, jonka tarkoituksena on saada tuotantolaitte yrityksen käyttöön. Hankinta alkaa ideasta hankkia laite ja päättyy takuuajana havaittujen virheiden asianmukaiseen korjaukseen.
Moottorin hyötysuhde	Moottorin akselilta saadun tehon suhde verkosta otettuun sähkötehoon.
Moottorin maksimimomentti (ns. kippimomentti)	Suurin vääntömomentti, jonka moottori voi kehittää kytkettynä nimellisjännitteeseen ja taajuuteen.
Uudelleen käämintä	Moottorin staattorin käämien ja eristyksen uusiminen

1 Hankinnan valmistelu

1.1 Hyötysuhdeluokitus

Tämä ohjeistus on laadittu sovellettavaksi yksi- ja kolmivaiheisiin pienjännitemoottoreihin, joihin sovelletaan pyörivien sähkökoneiden standardeja IEC 60034. Pääsääntöisesti tämän hankintaohjeen suositukset kohdistuvat edellä mainittuihin standardimoottoreihin. Mikäli moottorin käyttöolosuhteet, käyttötapa, syöttävä sähköverkko tai kuormakone poikkeaa IEC-standardissa määritellyistä tavanomaisista olosuhteista, tilaajan on syytä neuvotella jo tarjouspyyntövaiheessa mahdollisten moottoritoimittajien kanssa. On myös huomioitava, että esimerkiksi pienet kiertopumput / -puhaltimet sisältävät varsin usein integroidun moottorin, joka sisältyy laitteen hankintaan. Näissä energiatehokkuustarkastelua ei voida rajata enää pelkkään moottoriin, vaan hankinta tarkastellaan isompana laitekokonaisuutena.

Moottorin hyötysuhde kertoo moottorin kyvystä muuttaa sähköenergia mekaaniseksi työksi. Standardimoottoreiden hyötysuhdeluokat on harmonisoitu IE-luokituksella (IE = International Efficiency). Hyötysuhdeluokat ovat:

- IE1 (Standard)
- IE2 (High)
- IE3 (Premium)
- IE4 (Super Premium)
- IE5 (Ultra Premium)

Hyötysuhdeluokitukset on määritetty standardeissa IEC 60034-30-1 (vakionopeusmoottorit) ja IEC 60034-30-2 (2-nopeusmoottorit). Liitteessä C on esitetty hyötysuhdekäyrät 2-, 4- ja 6-napaisille moottoreille.

EU:n alueella myytävien vaihtovirtamoottoreiden hyötysuhteille on asetettu minimivaatimukset Ecodesign-direktiivissä. Vuoden 2017 alusta alkaen teholuokan 0,75–375 kW moottoreiden tulee täyttää:

- IE3-luokan vaatimukset
- IE2-luokan vaatimukset, jos moottori on varustettu taajuusmuuttajalla

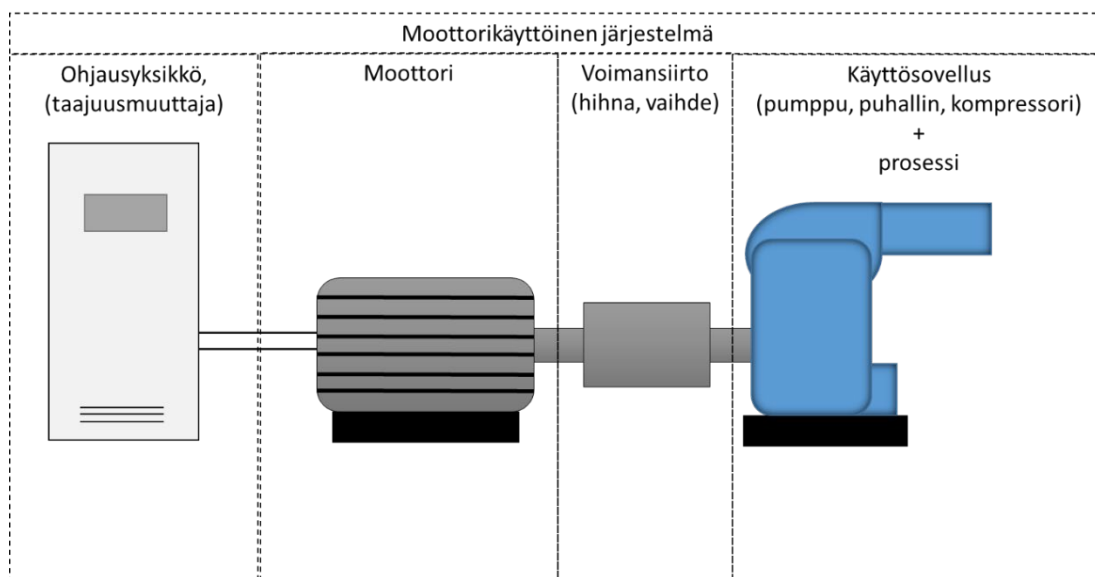
Vuoden 2021 aikana IE3 luokan vaatimus laajentuu käsittämään moottorit teholuokissa 0,75 – 1000 kW. Vuoden 2023 heinäkuusta eteenpäin 75–200 kW:n teholuokan moottoreilta edellytetään IE4 luokan hyötysuhdetasoa.

1.2 Hankinnan lähtötietojen määrittäminen

Sähkömoottoreita hankitaan tuotantolaitoksiin seuraavista syistä:

- Uudiskohde
- Kapasiteetin lisäys tai muutos prosessissa
- Vanhojen laitteiden uusinta

Uusi moottori valitaan siten, että se on teknisiltä ominaisuuksiltaan käyttökohteeseen sopiva. Moottorin ominaisuudet ja käyttökohde vaikuttavat siihen, miten paljon energiaa se kuluttaa. Näiden lisäksi laitteen tulisi olla sopiva siihen kokonaisuuteen, jossa sitä käytetään. Usein energiatehokas moottorikin voi hukata turhaan energiaa tai aiheuttaa korkeampia ylläpitokustannuksia, jos sen käyttökohde ja -tapa on väärä. Tämä voi johtua esimerkiksi liian suuresta moottorikoosta käyttötarpeeseen nähden, mikä juontaa juurensa järjestelmän suunnitteluvaiheeseen. Myös prosessissa on saattanut tulla merkittäviä muutoksia, jotka ovat muuttaneet moottorilta vaadittavia tehoja tai käyntitapaa. Jos prosessin säädettävyyden on muuttunut suunnitellusta, niin silloin myös moottorin ohjaustapa on arvioitava uudestaan. Nämä kaikki moottorikäyttöiseen järjestelmän (kuva 1) energiatehokkuuteen vaikuttavat asiat tulisi tiedostaa aina hankinnan valmistelun yhteydessä.



Kuva 1 Moottorikäyttöinen järjestelmä

Nykyisten järjestelmien käytön ja ohjauksen tunteminen on edellytyksenä oikeille investointipäätöksille ja muutostöille. Mikäli järjestelmän nykyisestä sähkön kulutuksesta ei ole varmaa tietoa, tulisi ennen merkittäviä investointeja tehdä selvitys kulutuksesta sekä toimintapisteestä suhteessa alkuperäiseen mitoitukseen. Selvityksessä tulisi vähintäänkin ilmetä keskimääräinen tehontarve ja hetkellinen huipputeho (momentti). Lisäksi ohjauksen määrittelyssä tulee ottaa huomioon tuotannon järjestelmän säädettävyydelle asettamat vaatimukset sekä sähköverkon asettamat rajoitukset. On tavallista, että moottorit on mitoitetu harvoin esiintyvän maksimikuormitustilannetta vastaavan tehon ja momentin tai mahdollisesti tulevaisuuden kapasiteetin lisäyksen mukaisen tehon mukaisesti. Tällöin moottori ja myös sähköverkko laitteineen on ylimitoitettu normaaliin käyttötilanteeseen verrattuna.

Todellisen käyttötilanteen ja mitoitusperiaatteiden tarkka analysointi vähentää koko järjestelmän ylimitoitusta. Jatkuvan kulutuksen tyydyttämiseen riittää usein moottorin nimellisteho vastaava momentti. Hetkelliseen kulutushuippuun voidaan hyödyntää moottorin ylikuormitettavuutta lämpenemän sallimissa rajoissa. Ylikuormitustilanteissa on kuitenkin huolehdittava, että moottorin nimellismomentti on riittävä.

Korvattaessa vanha moottori uudella, laitteiston moottorille asettamat mekaaniset vaatimukset ja asennuksen mahdollisesti vaativat muutokset on selvitettävä etukäteen. Hankinnan

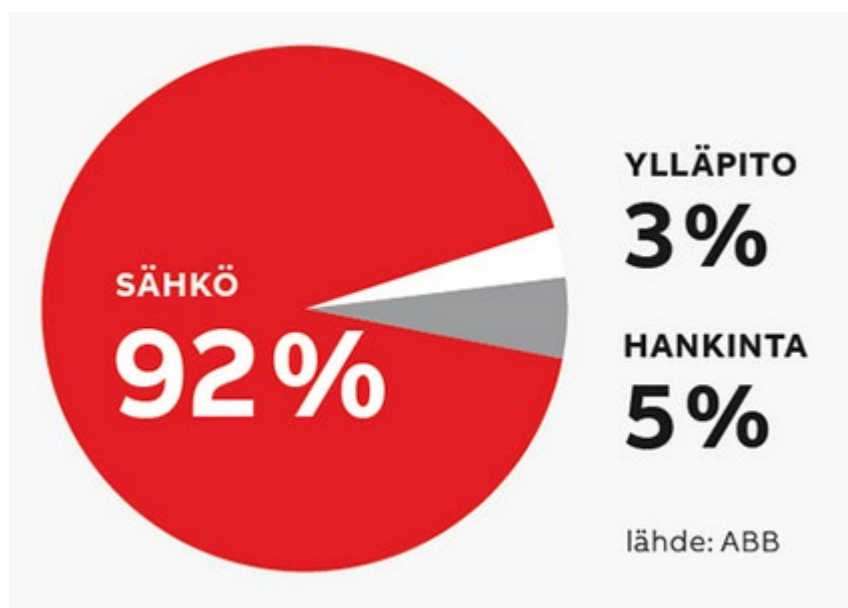
yhteydessä tulisi myös tarkastella moottorin käynti- ja ohjaustavat ja niiden kehitysmahdollisuudet. Näiden kautta voi hankinta laajentua myös moottorin ohjaustavan muutokseen. Näitä voivat olla esimerkiksi taajuusmuuttajan tai pehmokäynnistimien investoinnit. Jos ohjaustapa muutetaan taajuusmuuttajaohjatuksi, on lisäksi selvitettävä sähköverkon mahdolliset rajoitukset, kaapelointi, maadoitukset sekä kuormakoneen mahdolliset rajoitteet. Myös uuden moottorin käynti- ja mittaustietojen tuonti automaatiojärjestelmään on hyvä selvittää hankinnan yhteydessä.

- **Tarkastele kohteen käyttötapaa ja ohjausta**
- **Hyvät lähtötiedot johtavat parhaaseen lopputulokseen**

1.3 Hankinnan vaikutukset energiatehokkuuteen

Muutosinvestointien yhteydessä suunnitteluvaiheen valinnoilla lukitaan sähkömoottoreille vaaditut toimintaehdot sekä niiden mahdolliset energiatehokkuusvaikutukset. Myös moottoreiden uusinnan yhteydessä hankintavaiheen valinnoilla voidaan vaikuttaa sähköjärjestelmien energiatehokkuuteen.

Moottorin energiatehokkuus on tärkeä tekijä, koska sen hankintakustannukset ovat vain pieni osa elinkaaren aikaisista kustannuksista (kuva 2). Oikea mitoitus sekä energiatehokkuudelle asetetut tavoitteet ja vaatimukset on tärkeää huomioida moottorin hankinnassa, koska niillä on merkittävin vaikutus lopullisiin kustannuksiin.

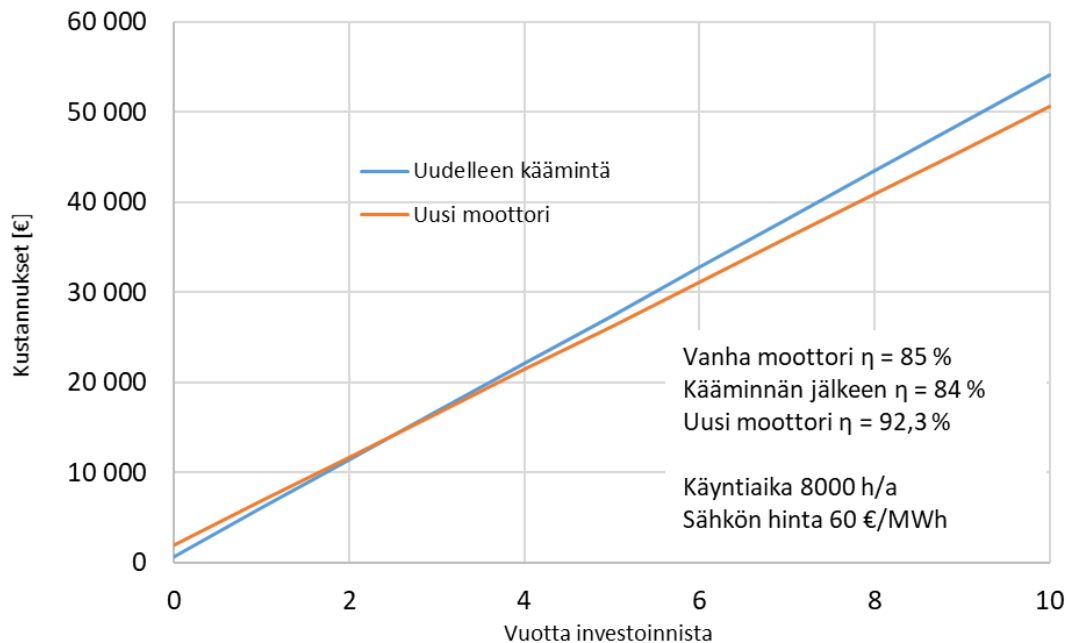


Kuva 2 Sähkömoottorin tyypilliset elinkaarikustannukset¹

Vikaantuneen moottorin uudelleen käämintä on vaihtoehto kokonaan uuden moottorin hankinnalle. Tässä kannattaa ottaa kuitenkin huomioon toimenpiteestä aiheutuva hyötysuhteen

¹ ABB. Energiatehokas sähkömoottori leikkaa päästöjä. 28.5.2019. Saatavissa: <https://new.abb.com/news/fi/detail/24133/energiatehokas-sahkomoottori-leikkaa-paastoja>

aleneminen, joka on luokkaa 1-2 %². Kuvassa 3 verrataan tilanteita, jossa 11 kW moottori uudelleen käämitetään tai korvataan uudella paremman hyötysuhteen moottorilla.



Kuva 3 Uudelleen käämintä verrattuna moottorin uusimiseen

Kuvaajasta nähdään, että tässä tilanteessa uusi moottori tulee uudelleen käämintää halvemmaksi reilun kahden vuoden päästä investoinnista. Uuden moottorin hintana on laskennassa käytetty 2 000 € ja käämityksen hintana 750 €. Tässä tarkastelussa on huomioitu vain energiankulutuksesta aiheutuvat kustannukset. Todennäköisesti uusi korkean hyötysuhteen moottori tulee kokonaiselinkaarikustannuksiltaan vielä kannattavammaksi, koska sillä on alhaisemmat huoltokustannukset ja pidempi elinikä kuin vanhalla moottorilla³.

- **Huomioi kustannukset moottorin koko elinkaaren ajalta**

Sähkömoottoreita hankittaessa vaatimukset kohdistetaan usein vain moottorin rakenteeseen tai sähköverkon tai kuormakoneen asettamiin vaatimuksiin. Energiatehokkuusvaatimukset saatavat helposti jäädä taka-alalle tai vaatimukset asetetaan vain vähimmäistasolle.

Jos kyseessä on täysin uuden tuotantolaitoksen tai merkittävän uusintainvestoinnin toteutus, tulisi projektin eri vaiheissa suunnitella rinnakkain sähkömoottoreita käyttäviä laitteita ja järjestelmiä, sekä erityisesti niiden ohjaustapoja. Yleensä tällaiset projektit ovat laajuudeltaan sellaisia, että suunnittelua ja konsultointia hankitaan ulkopuoliselta yritykseltä. Moottoreita hankitaan harvemmin erillisinä kokonaisuuksina. Tyypillisesti järjestelmätoimittaja tai laitevalmistaja

² M. Hasanuzzaman, N.A. Rahim. & R. Saidur. Analysis of Energy Savings for Rewinding and Replacement of Industrial Motor. IEEE International Conference on Power and Energy. 2010. Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5697596>

³ ABB / Antti Vuorivirta. Uudet sähkömoottoritekniikat energiasäästöjen tuojana. SSTY Sairaaleknii-
kan päivät 12.2.2014. Saatavissa: https://ssty.fi/download/hki2014/014_Antti_Vuorivirta_ABB.ppt.pdf

vastaa moottoritoimituksista osana omaa toimitustaan. Ellei moottoreiden osalta määritellä erikseen vaatimuksia, toimittaja vastaa moottoreiden energiatehokkuudesta. Isompien investointien suunnittelutöiden tarjouspyynnöissä tulisi jo vaatia energiatehokkuus yhdeksi järjestelmien suunnittelukriteereiksi, jolloin se ohjaa toimittajia jo tarjouksen teossa ja auttaa toimittajan valinnassa.

Investoinnin kannattavuutta ja elinkaarikustannuksia selvittäessä on tärkeää määritellä järjestelmän taseraja huolellisesti. Usein ajatellaan riittävän, kun itse päälaitteille (moottori, voimansiirto sekä käyttösovellus) on määritelty kulutus- tai tehokkuustavoitteet. Tavoitteiden tulee kattaa myös apujärjestelmät. Esimerkiksi puhaltimessa tulee itse päämoottorin, voimansiirron ja työkoneen lisäksi ottaa tarkasteluun mukaan mahdolliset voitelujärjestelmän pumppumoottorit sekä puhaltimen ja prosessin säätötavat. Kokonaistarkastelulla saavutetaan suuremmat säästöt kuin vain korvaamalla vanha moottori uudella.

- **Huomioi koko järjestelmän energiatehokkuus jo hankinnan valmistelussa**
- **Määritä tavoitteet koko järjestelmälle**

Useimmilla sähkömoottoreita ja taajuusmuuttajia valmistavilla yrityksillä on tarjolla niin kulutusmittaukseen kuin säästöjen laskentaankin valmiita ohjelmistoja, joilla voi selvittää säästöpotentiaalia. Ohjelmat ovat yleensä veloitusetta ladattavissa valmistajien omilta internet-sivuilta. Laite- tai järjestelmätoimittajilla sekä konsulttiyrityksillä on vastaavasti usein tarjolla erilaisia katselmointipalveluja säästöpotentiaalin selvittämiseen. Kun korvataan vanhaa laitteistoa uudella, voidaan saavutetun säästön todentamiseksi tehdä kulutusmittauksia ennen ja jälkeen muutostyötä. Näin varmistutaan samalla moottorin oikeasta mitoituksesta, säätötavasta sekä saavutettavista säästöistä.

- **Vertaa kulutusta vanhassa ja uudessa tilanteessa**
- **Hyödynnä tarvittaessa ohjelmistoja ja asiantuntijapalveluita selvitystyössä**

2.1 Tarjouspyyntö

Tarjouspyynnössä on hyvä mainita mahdollisimman tarkasti sähkömoottorilta vaadittavat ominaisuudet. Tarjouspyyntöön kannattaa sisällyttää ainakin seuraavat tiedot moottorista:

- moottorin teho ja koko
- käyttökohde ja -tapa
- käyttöjännite- ja kytkentä
- käynnistysominaisuudet
- käyttöolosuhteet
- energiatehokkuus

Liitteessä E on esitetty esimerkki tarjouspyynnön vaatimuksista.

Moottorin teho ja koko

Sähkömoottorin teho määräytyy momenttivaatimuksen perusteella⁴. Mikäli moottorin teho osuu standardikokojen väliin, valitaan seuraava suurempitehoinen moottori. Euroopassa tavallisimmin käytetty sähkömoottoreiden standardi on IEC. Noudatettavat standardit kannattaa ilmoittaa tarjouspyynnössä. IEC -standardi määrittelee myös moottoreiden asennusmitat. Vanhaa moottoria vaihdettaessa on syytä kiinnittää huomiota asennusmittoihin, koska uudet moottorit ovat tyypillisesti runkokooltaan pienempiä. Tarvittaessa on asennettava sovitusalausta moottorin ja alustan väliin, jotta moottorin akselikorkeus saadaan halutulle tasolle. Myös moottoreiden massat tulisi huomioida, koska uuden korkeamman hyötysuhdeluokan moottorin ja vanhan moottorin massoissa voi olla merkittäviä eroja. Tämä on huomioitava moottorin perustuksissa ja kiinnityksissä. Yhteen suuntaan pyörivissä moottoreissa pyörimissuunta on määriteltävä. IEC-standardin mukaan pyörimissuunta määritellään myötä- tai vastapäivään pyöriväksi, kun moottorin akselia katsotaan edestäpäin. Liitteessä F on kerrottu tarkemmin moottoreiden rakenteisiin liittyvistä yksityiskohdista, joita voi tulla vastaan tarjouspyyntöjä tehdessä ja tarjouksia läpi käydessä.

Käyttökohde ja -tapa

Moottorin käyttökohde määrittää millaista kuormitusta moottorin tulee kestää. Käyttötavalla tarkoitetaan kuormituksen vaihtelua ajan suhteen. Moottorien käyttötavat on määritetty standardissa IEC 60034-1. Valtaosassa moottoreista mitoitus ja valinta perustuvat jatkuvaan käyttöön (tunnus S1). Moottori toimii tällöin vakiokuormituksella niin pitkän ajan, että loppulämpötila saavutetaan. Standardin mukaiset muut käyttötavat on esitetty liitteessä D.

Jos moottori tulee taajuusmuuttajakäyttöön, se on ilmaistava tarjouspyynnössä. Tällöin moottorin valinnassa on otettava käyttöjännitteen ja moottorin koon lisäksi huomioon

⁴ Hietalahti, L. Teollisuuden Sähkökäytöt. Amk-kustannus Oy Tammertekniikka. 2013

vahvennetun eristyksen tarve, laakeroinnin eristystarve sekä lisäsuotimien tarve. Vaatimukset korostuvat erityisesti uudemmissa taajuusmuuttajissa.

Käyttökohde vaikuttaa myös moottorin ja työkoneen väliseen voimansiirtotapaan. Voimansiirtotekniikoita ovat erilaiset vaihteet, hihnat, ketjut ja kytkimet. Voimansiirtotapojen tyypillisiä hyötysuhteita on esitetty liitteessä F.

Käyttöjännite ja kytkentä

Moottorin jännite ja kytkentä valitaan syöttöverkon mukaan. Tavanomaisesti käyttöjännite on 400 V / 690 V ja taajuus 50 Hz. IEC:n mukaan sallittu nimellisjännitteen vaihtelu on $\pm 5\%$. Jos tästä poiketaan, se on mainittava tarjouspyynnössä. Tarjouspyynnössä kannattaa mainita myös vaatimukset mahdollisesta liitännästä automaatiojärjestelmään.

Käynnistysominaisuudet

Moottorin käynnistysominaisuuksien mitoittamiseksi tarvitaan kuormakoneesta momenttikäyrä ja hitausmomentti. Tarjouspyynnössä tulisi mainita moottorilta vaadittavat käynnistykset sekä nimellisjännitteellä että minimijännitteellä. Lisäksi voidaan määritellä maksimikäynnistysvirta. Voidaan esimerkiksi määritellä, että moottorin tulee suoriutua kolmesta peräkkäisestä käynnistyksestä ympäristön lämpötilassa ja kahdesta peräkkäisestä käynnistyksestä käyttölämpötilassa nimellisjännitteellä sekä alennetulla jännitteellä (esimerkiksi 80 % nimellisestä jännitteestä). Lisäksi maksimikäynnistysvirraksi määritellään yleensä 7 kertaa nimellisvirta. Mikäli laitteen käyttö vaatii paljon sammutus-käynnistys-syklejä moottorin käyttöänsä aikana, voidaan moottorihankinnan yhteydessä pyytää tarjous myös pehmokäynnistimistä, joilla moottorin virta- ja kuormituspiikkejä voidaan pienentää ja moottorin käyttöikä pidentää.

Käyttöolosuhteet

Käyttöolosuhteet vaikuttavat merkittävästi moottorin valintaan⁵. IEC-standardin mukaan moottorin mitoittetaan ympäristön lämpötilaan $-15\text{ °C} \dots +40\text{ °C}$. Jos lämpötila poikkeaa näistä esimerkiksi minimilämpötilan osalta ulkoasennuksissa, se on tuotava esille tarjouspyynnössä. Moottorin mitoitus ympäristön lämpötilan mukaan voidaan arvioida alla olevan taulukon mukaan. On myös hyvä muistaa, että käyttöympäristön lämpötilalla on merkittävä vaikutus moottorin elinikään.

Taulukko 1 Ympäristön lämpötilan vaikutus moottorin nimellistehoon

Ympäristön lämpötila / °C	40	45	50	55	60
Sallittu kuormitus nimellisestä / %	100	97	93	90	87

Ympäristön lämpötilan lisäksi moottorin mitoitukseen ja valintaan vaikuttavia käyttöolosuhteita ovat kosteus, värinä, melu sekä räjähdysvaaralliset tilat. Muita mahdollisia käyttöolosuhteisiin liittyviä vaatimuksia tai huomioita:

- ulkoasennuksissa tyypillisesti lämmitysvastus
- käämityksen ja laakeroinnin lämpötilavalvonta
- käyttöpaikalla esiintyvät syövyttävät höyryt tai kaasut
- korkeampi suojausluokka
- suojukset ulkokäytössä

⁵ Hietalahti, L. Teollisuuden Sähkökäytöt. Amk-kustannus Oy Tammertekniikka. 2013

- melukoppa
- asennuskorkeus (jos yli 1000 m merenpinnan yläpuolella).
- **Selvitä ja ilmoita moottorin mitoitussarvot**
- **Vaadi suoritusarvot tarjoukseen**

Energiatehokkuus

Tarjouspyynnössä esitetään tyypillisesti erilaisia laitteistolle asetettavia teknisiä vaatimuksia, mutta vastaavia vaatimuksia kannattaa esittää myös energiatehokkuuden osalta. Moottorin tulisi vastata hyötysuhteeltaan parasta mahdollista luokkaa tai sellainen vaihtoehto tulee ainakin sisällyttää tarjoukseen. Tarjouspyynnössä on myös hyvä mainita, että laitteistossa tulee välttää turhaa ylimitoitusta. Jos ollaan uusimassa isompaa kokonaisuutta, niin silloin koko järjestelmän (sovellus, voimansiirto sekä moottori) osalta on vaadittava energiatehokkuutta. Mahdollisuuksien mukaan järjestelmän energiatehokkuudelle on asetettava konkreettiset tavoitteet. Tavoitteita voivat olla esimerkiksi moottorin hyötysuhdeluokka vähintään IE4 tai laitteen ottama teho korkeintaan 850 kW tai tuotannon ominaiskulutukseen sidottu energiatehokkuustavoite, esim. 45 kWh/tn.

- **Vaadi energiatehokkaita järjestelmiä**

Teknisten vaatimusten määrittelyn lisäksi tarjouspyyntöön on hyvä sisällyttää hankinnan yleiset ja taloudelliset asiat sekä vaatimukset:

- Hintaerittely
- Maksuehdot
- Toimitustapa
- Toimitusaika
- Takuut
- Vakuudet
- Tarjousten vertailuperusteet
- Muut ehdot

2.2 Tarjousten vertailu

Paras tapa vertailla eri tarjouksia on laskea jokaiselle vaihtoehdolle elinkaarikustannukset. Elinkaarikustannukset koostuvat investoinnista, käyttövoiman käytöstä sekä tarvittavasta kunnossapidosta. Toisinaan kunnossapitoa ei oteta vertailuun mukaan, koska sen arvioiminen voi olla vaikeaa. Varaosien saatavuus ja moottorin huollettavuus ovat kuitenkin merkittävä osa toimintavarmuutta, ja siksi ne kannattaa ottaa huomioon aina jollain tasolla hankintapäätöstä tehdessä.

Elinkaarilaskelmia varten on määriteltävä tarkasteltavan moottorin tai järjestelmän tase-rajat, tarkastelujakso ja laskentakorkokanta. Mikäli energiankulutustietoja ei ole saatavilla, energiakustannukset on laskettava arvioidulla vuotuisella käyttöajalla ja energian hinnalla. Vanhoja moottoreita uusittaessa tulee selvittää moottoreiden nykyinen sähkönkulutus ja hyötysuhde sekä vaatia, että uusien moottoreiden energiankulutus on alhaisempi ja hyötysuhdeluokitus korkeampi. Arvioi laskennassa mahdollisuuksien mukaan elinkaaren aikaisia huoltokustannuksia ja pyydä tarvittaessa lisätietoja tarjouksiin.

Päätöstä tehdessä tutki ja vertaile eri moottoreiden elinkaarikustannuksia ja mieti, onko tässä investoinnissa käyttökustannukset merkittävämmässä asemassa kokonaisuuden kannalta kuin hankintahinta. Vertailussa investointi voidaan jakaa tarkastelujaksolle tai diskontata tarkastelujakson käyttökustannukset investoinnin kanssa samaan hetkeen. Liitteissä A ja B on esimerkkilaskelmat, joissa tarkastellaan vanhojen moottoreiden uusimisen kannattavuutta elinkaarikustannusten avulla.

- **Tutki kokonaiskustannuksia**
- **Tarkasta energiatehokkuus**
- **Tarkastele kannattavuutta**

3.1 Käyttöönotto ja takuu aika

Hankitulle moottorille tehdään käyttöönottotarkastus. Tarkastuksessa katsotaan, että

- moottorin arvokilpi on tilauksen tai sopimuksen mukainen
- moottorille on tehty asianmukaiset tehdaskoestukset
- moottori on asennettu ohjeiden mukaisesti
- laite toimii moitteettomasti ja tavoitteiden mukaisesti
- ohjaus ja automatiikka toimivat suunnitelmien mukaisesti

Lisäksi käyttöönoton yhteydessä kannattaa

- mitata moottorin energiankulutus käytön aikana ja verrata sitä määriteltyyn
- tarkastaa että moottorin mittapiirustukset, momenttikäyrä, testiraportit sekä käyttö- ja huolto-ohjeet ja muut oleelliset dokumentit on toimitettu ja tallessa
- tarkastaa, että huolto-ohjeissa on selostettu selkeästi moottorin huoltokohteet, huoltovälit, toimenpiteet ja varaosat
- tarvittaessa sopia kunnossapitohenkilöstön kouluttamisesta moottorin huoltoon
- miettiä moottorin mittausten hyödyntämistä kunnonvalvonnassa ja energiatehokkuuden seurannassa, jos näin ei jo ole
- **Varmista moottorin toiminta**
- **Mittaa energiankulutus**
- **Muista dokumentointi ja huolto**

Takuuajana ostajalla on vielä mahdollisuus korjauttaa tai vaihdattaa moottori toimittajan toimesta, jos laitteisto ei saavuta luvattuja suoritusarvoja. Tarkkaile laitteiston toimintaa ja tee ennen takuuajan päättymistä tarkastus. Vaadi tarvittaessa korjaustoimenpiteitä.

- **Vaadi takuunaikaisia korjauksia tarvittaessa**

3.2 Käytön aikainen kunnossapito

Käytön aikaisessa kunnossapidossa tulee noudattaa moottoritoimittajan kunnossapitosuosituksia. Huolto-ohjelmissa on yleensä esitetty vähimmäistaso moottoreiden kunnossapidolle. Moottorin käyttöolosuhteiden ollessa vaativat tai moottorin luotettavan toiminnan ollessa elintärkeää, moottoritoimittajan suosittelemien huoltotöiden lisäksi laitteiston kunnossapitoa on täydennettävä omilla tarkistuksilla ja kunnossapitotöillä. Moottorin säännönmukainen kunnossapito perustuu käyttötunteihin. Moottorivalmistajilla on tyypillisesti valmiit huolto-ohjelmat eri käyttötunneille. Niiden noudattaminen on tärkeää moottorin hyvän käytettävyyden vuoksi. Kunnossapidossa on myös huolehdittava, että käyttöolosuhteet ovat kunnossa. Moottorin jäähdytysilman (moottoritilan) tulee olla puhdasta, jottei moottoreiden pinnalle kerry likaa ja pölyä

heikentämään moottorin jäähdytystä. Moottoritilojen ilmanvaihdon tulee toimia riittävän tehokkaasti, jotta jäähdytysilman lämpötila pysyy määritellyllä tasolla. Näin vältetään moottorin turhalta ylikuumenemiselta.

- **Noudata moottoritoimittajan huolto-ohjelmaa**
- **Tee täydentäviä kunnossapitotöitä tarvittaessa**

Kriittisille moottoreille kannattaa harkita myös jatkuvaa mittauksiin perustuvaa kunnonvalvontaa. Esimerkiksi virran, loistehon ja värinän jatkuva mittaaminen voivat auttaa kunnossapidon ennakoinnissa. Jatkuvatoimisten mittausten dataa kannattaa hyödyntää myös energiatehokkuuden seurannassa. Pelkän seurannan lisäksi automaatiojärjestelmän kehitysmahdollisuuksia kannattaa selvittää esimerkiksi data-analytiikan suhteen. Jos laitoksella ei ole mittausdatan seurantaan soveltuvaa automaatiojärjestelmää, moottoreiden suorituskykyä kannattaa seurata muilla keinoilla, esimerkiksi määräaikaismittauksilla ja kohdennetuilla energia-analyysillä. Myös koko järjestelmän tai prosessin energiatehokkuus- ja säästöpotentialiselvitys kannattaa tehdä säännöllisin väliajoin.

- **Pyri ennakoivaan kunnossapitoon ja kunnonvalvontaan**
- **Seuraa ja paranna energiatehokkuutta jatkuvasti**

Lähteet

Hietalahti, L. Teollisuuden Sähkökäytöt. Amk-kustannus Oy Tammertekniikka. 2013

Internet-lähteet

- ABB. Energiatehokas sähkömoottori leikkaa päästöjä. 28.5.2019. Saatavissa: <https://new.abb.com/news/fi/detail/24133/energiatehokas-sahkomoottori-leikkaa-paastoja>
- M. Hasanuzzaman, N.A. Rahim. & R. Saidur. Analysis of Energy Savings for Rewinding and Replacement of Industrial Motor. IEEE International Conference on Power and Energy. 2010. Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5697596>
- ABB / Antti Vuorivirta. Uudet sähkömoottoritekniikat energiasäästöjen tuojana. SSTY Sairaalekniikan päivät 12.2.2014. Saatavissa: https://ssty.fi/download/hki2014/014_Antti_Vuorivirta_ABB.ppt.pdf

Liite A. Moottorin hyötysuhteen vaikutus 5,5 kW moottorin käyttökustannuksiin

Tarkastelukohteena lämmitysverkon kiertopumpun moottori ja tarkastelu aika 5 vuotta.

		Vanha	IE3	IE4
Hyötysuhde	%	81,0	89,6	91,4
Ottoteho	kW	6,8	6,1	6,0
Käyntitunnit per vuosi	h	8200	8200	8200
Energiankulutus vuodessa	MWh/a	56	50	49
Kustannussäästö verrattuna vanhaan (60€/MWh)	€/a		360	420
Kustannussäästö 5 vuoden ajalle	€/5a		1800	2100
Hankintahinta	€	-	980	1250
Takaisinmaksuaika	a		2,7	3,0
Nettonykyarvo	€		385	342
Sisäinen korkokanta	%		24,4	20,2

Nettonykyarvo on laskettu käyttäen 10 %:n laskentakorkoa.

Liite B. Moottorin hyötysuhteen vaikutus 75 kW-moottorin käyttökustannuksiin

Tarkastelukohteena prosessiteollisuuden sekoitussäiliön suoraikäyttöinen moottori ja tarkastelu-aika 5 vuotta.

		Vanha	IE3	IE4
Hyötysuhde	%	85,0	95,5	96,5
Ottoteho	kW	88,2	78,5	77,7
Käyttötunnit per vuosi	h	7200	7200	7200
Energiankulutus vuodessa	MWh/a	635	565	559
Kustannussäästö verrattuna vanhaan (60€/MWh)	€/a	-	4200	4560
Kustannussäästö 5 vuoden ajalle	€/5a	-	21000	22800
Hankintahinta	€	-	15680	17200
Takaisinmaksuaika	a	-	3,7	3,8
Nettonykyarvo	€	-	241	86
Sisäinen korkokanta	%	-	10,6	10,2
Takaisinmaksuaika energiatuen kanssa (max 20 %)	a	-	3,0	3,0
Nettonykyarvo energiatuen kanssa (max 20 %)	€	-	3377	3526
Sisäinen korkokanta energiatuen kanssa (max 20%)	%	-	20,1	19,6

Nettonykyarvo on laskettu käyttäen 10 %:n laskentakorkoa

Nykyarvon laskennassa tarvittava diskonttaustekijä on jaksollisille suorituksille

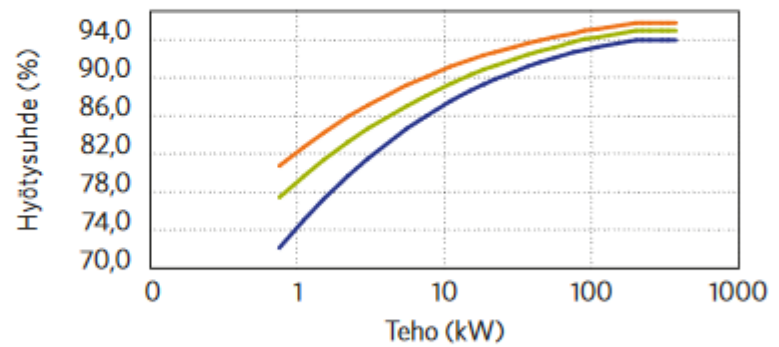
$$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}, \text{ jossa } i = \text{laskentakorko ja } n = \text{pitoaika.}$$

Liite C. Hyötysuhdeluokat 2-, 4- ja 6-napaiselle pienjännitemoottorille 50 Hz taajuudella

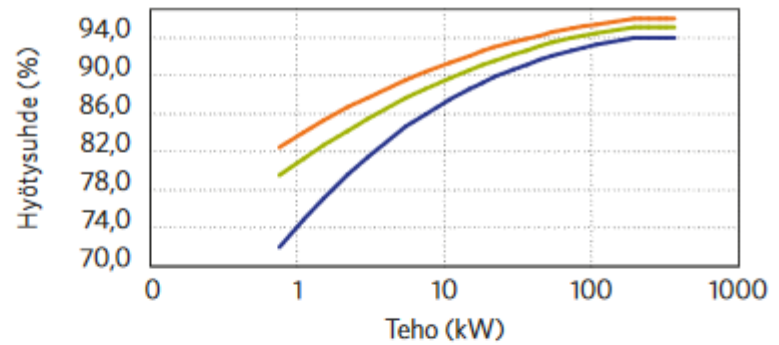
Moottoreiden uudet hyötysuhdeluokat

■ IE3
■ IE2
■ IE1

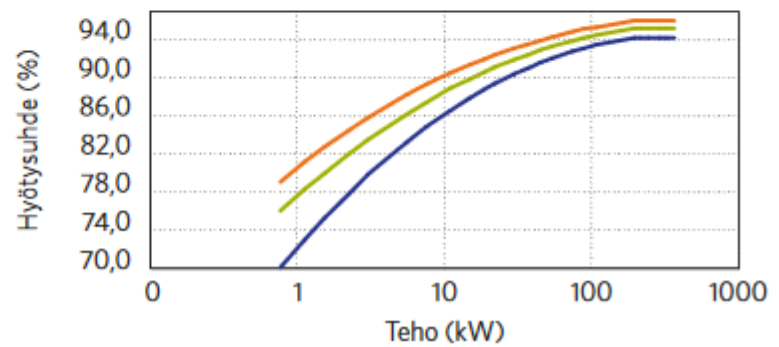
Hyötysuhdeluokat 2-napaiset



Hyötysuhdeluokat 4-napaiset



Hyötysuhdeluokat 6-napaiset



Liite D. Standardin IEC 60034-1 mukaiset käyttötavat S1-10

Käyttötavat

Sähkökoneen nimelliskäyttötavat merkitään S1-S9 standardin IEC 60034-1 mukaan.

S1 jatkuva käyttö

Kone toimii vakiokuormituksella niin pitkän ajan, että loppulämpötila saavutetaan. Leimaus: S1.

S2 Lyhytaikainen käyttö

Kone toimii vakiokuormituksella määrätyn, niin lyhyen ajan, että loppulämpötilaa ei saavuteta. Jokaista toiminta-aikaa edeltää niin pitkä tauko, että kone saavuttaa ympäröivän ilman tai muun jäähdytysaineen lämpötilan. Suositellaan käyttöaikoja 10, 30, 60 ja 90 min. Leimaus esim. S 2 60 min.

S3 Jaksollinen ajoittaiskäyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisona-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Käynnistykset eivät sanottavasti vaikuta lämpenemiseen. Ajoittaiskäyttökerroin on 15, 25, 40 tai 60 %. Jakson pituus on 10 min. Leimaus esim. S3 25 %.

S4 Jaksollinen käynnistyskäyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisona-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Tässä käytössä moottori pysähtyy luonnollisella tavalla hidastuen tai mekaanisella jarrulla jarruttaen, jolloin moottori ei rasitu termisesti.

Leimauksessa on käyttötavan jälkeen ilmoitettava ajoittaiskäyttökerroin, jaksojen lukumäärä tunnissa (c/h), moottorin hitausmomentti JM moottorin nimellisa nopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti Jext ja sallittu keskimääräinen nopeuden muutoksen aikana esiintyvä vastamomentti Tv nimellismomentin avulla ilmoitettuna. Leimaus esim.

S4 – 25 % – 120 c/h – JM = 0,1 kgm² – Jext = 0,1 kgm² – Tv = 0,5 Tn

S5 Jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella, jarrutusaika ja seisona-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Tässä käytössä käytetään sähköistä jarrutusta, esim. vastavirtajarrutusta. Leimauksessa on käyttötavan jälkeen ilmoitettava ajoittaiskäyttökerroin, jaksojen lukumäärä tunnissa c/h, moottorin hitausmomentti JM, kuorman hitausmomentti Jext ja sallittu vastamomentti Tv (katso käyttöä S4). Leimaus esim. S5 – 50 % - 120 c/h – JM = 1,3 kgm² – Jext = 2,6 kgm² – Tv = 0,3 Tn

S6 Pysähtymätön ajoittaiskäyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä tyhjäkäyntiaika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Ajoittaiskäyttökerroin on 15, 25, 40 tai 60 %. Jakson pituus on 10 min. Leimaus esim. S6 40 %.

S7 Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutuskäyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä jarrutusaika. Jarrutus tapahtuu sähköisesti (esim. vastavirtajarrutus). Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana.

Leimauksessa on käytettävän jälkeen ilmoitettava ajoittaiskäyttökerroin, jaksojen lukumäärä tunnissa c/h, moottorin hitausmomentti JM, kuorman hitausmomentti Jext ja sallittu vastamomentti Tv (katso käyttöä S4). Leimaus esim.

$$S7 - 500 \text{ c/h} - JM = 0,08 \text{ kgm}^2 - Jext = 0,08 \text{ kgm}^2 - Tv = 0,3 \text{ Tn}$$

S8 Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja. Jokaiseen jaksoon kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella määrätyllä nopeudella, jota välittömästi seuraa toiminta-aika toisella nopeudella ja toisella vakiokuormituksella.

Pyörimisnopeuksia voi olla kaksi tai useampia. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Tällainen käyttö tulee kysymykseen esim. napavaihtokoneilla. Leimauksessa on käytettävän jälkeen ilmoitettava ajoittaiskäyttökerroin, jaksojen lukumäärä tunnissa c/h, moottorin hitausmomentti JM, kuorman hitausmomentti Jext, sallittu vastamomentti Tv (katso käyttöä S4) ja ajoittaiskäyttökerroin jokaiselle pyörimisnopeudelle.

Leimaus esim.

$$S8 - JM = 2,2 \text{ kgm}^2 - Jext = 40 \text{ kgm}^2$$

$$30 \text{ c/h} - Tv = Tn - 24 \text{ kW} - 740 \text{ r/min} - 30 \%$$

$$30 \text{ c/h} - Tv = 0,5 \text{ Tn} - 60 \text{ kW} - 1460 \text{ r/min} - 30 \%$$

$$30 \text{ c/h} - Tv = 0,5 \text{ Tn} - 45 \text{ kW} - 980 \text{ r/min} - 40 \%$$

Kuormitus- ja pyörimisnopeusyhdistelmät leimataan siinä järjestyksessä kuin ne esiintyvät käytössä.

S9 Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella

Käyttö muodostuu sallitulla käyttöalueella tapahtuvista kuorman ja nopeuden vaihteluista, jotka yleensä eivät ole jaksollisia. Tämä käyttö sisältää usein tapahtuvia ylikuormituksia, jotka voivat merkittävästi ylittää nimelliskuormaa. Ylikuormituksen suuruus on huomioitava moottorin nimellistehon valinnassa.

S10 Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella

Käyttö muodostuu enintään neljästä osajaksosta erisuurella vakiokuormalla. Käyttöaika kullakin vakiokuormalla on niin pitkä, että loppulämpötila saavutetaan.

Huom! IEC 60034-30 standardin määrittelemät käyttötavat IE2-IE3-energiansäästömoottoreille ovat vain S1 ja S3, muut käyttötavat eivät kuulu standardin määritelmään.

Liite E. Esimerkki tarjouspyynnön vaatimuksista

Hankinnan muistilista

	Rasti tai kirjoita soveltuvin osin.
Sovellettava standardit • IEC - Jos muu, mikä	IEC
Käyttöolosuhteet • Ympäristön lämpötila (min -15°C / max. +40°C, IEC:n mukaan) • Asennuskorkeus <1000 m • Muut mahdolliset moottorin rakenteeseen tai mitoituseseen vaikuttavat tekijät: - Jos kyllä, listataan erikseen	Minimi -30 °C, maksimi 40 °C Alle 1000 m Ei
Teho ja jännite • Moottorin nimellisteho • Käyttöjännite 400 V / 690 V - Jos muu, mikä • Jännitteen vaihtelu ±10 % - Jos muu, mikä • Suora verkkokytkeä (taajuus 50 Hz), pyörimisnopeus / napaluku • Taajuusmuuttajakäyttö • Käyttötapa, Jatkuva käyttö S1 - Muu, mikä ks. liite E	30 kW 400 V ±10 % Suoraan verkkoon kytkettävä, 1500 rpm Jatkuva käyttö
Rakenne • Runkomateriaali - Valurauta, alumiini, teräs • Suojaluokka (IP luokitus) IP 55 • Jäähdytystapa (IC luokitus) IC 411 • Eristysluokka F ja sallittu lämpenemä B • Päämitat ja asennusasento IEC • Moottorin pyörimissuunta • Laakerointi, kuulalaakerit molemmissa päissä • Muut vaatimukset	Valurauta IP55 IC411 F/F IEC:n mukaan Molempiin suuntiin Kuulalaakerit Minimikäyttölämpötila -30 °C

Hyötysuhde - Noudattaa IEC 60034-30 standardin vaatimuksia - Hyötysuhde luokka IE3	IE3:n mukainen moottori
Voimansiirto ja työkonne Tarjouspyynnön yhteydessä tarvittavat tiedot annettu moottorivalmistajalle KYLLÄ/EI	Kyllä, pumppukäyttö, pumpun momenttikäyrä ja hitausmomentti annettu, kytkinkäyttö
Käynnistysvaatimukset Määritelty KYLLÄ/EI	3 käynnistystä kylmästä / 2 lämpimästä
Koestusvaatimukset ja huolto-opas - Tehdaskoestukset tehty / koestusraportti saatu - Huolto-opas saatu moottoritoimituksen yhteydessä	Toimitettava moottorin mukana Toimitettava moottorin mukana
Dokumentaatio Määritelty KYLLÄ/EI	Valmistajan standardidokumentaatio
Kustannusten laskenta - Taserajan määrittely KYLLÄ/EI – selvitysraja, komponentit - Laskentaparametrit määritelty KYLLÄ/EI	Kyllä Kyllä

Liite F. Lisätietoa sähkömoottoreiden rakenteista, jäähdytyksestä, laakeroinnista, käämityksen eristysluokista ja voimansiirrosta

Rakenne ja jäähdytys

Standardimoottoreiden runkomateriaali vaihtelee moottorin koon ja hyötysuhteen mukaan. Pienemmät ja hyötysuhteeltaan heikommät moottorit ovat yleensä alumiinia tai valurautaa. Korkeamman hyötysuhteen moottorit ja suuremmat moottorit ovat tavallisesti valurautaa. Teollisuudessa käytetyt moottorit ovat yleensä aina rungoltaan valurautaa. IEC-standardin mukaan moottorit ovat rakenteeltaan suljettuja koneita, jotka siten soveltuvat hyvin erilaisiin käyttöolosuhteisiin. Rakenteeltaan suljettujen moottoreiden tavallisin jäähdytystapa on akselille asennettujen puhaltimien avulla saavutettava sisäinen suljettu ilman kierto sekä rungon ulkovaipan jäähdytys. Standardin mukainen jäähdytystapa on IC 411. Vakiomomenttikäytöissä on lisäksi käytössä erillistuulettimia, joissa tuulettimen toiminta on riippumaton koneen pyörimisnopeudesta. Jäähdytystapa on tällöin IC 416.

Moottorin tasapainotuksesta määritellään standardissa ISO 1940 ja ISO 8821. Tasapainotus tehdään tavallisesti puolella kiilalla.

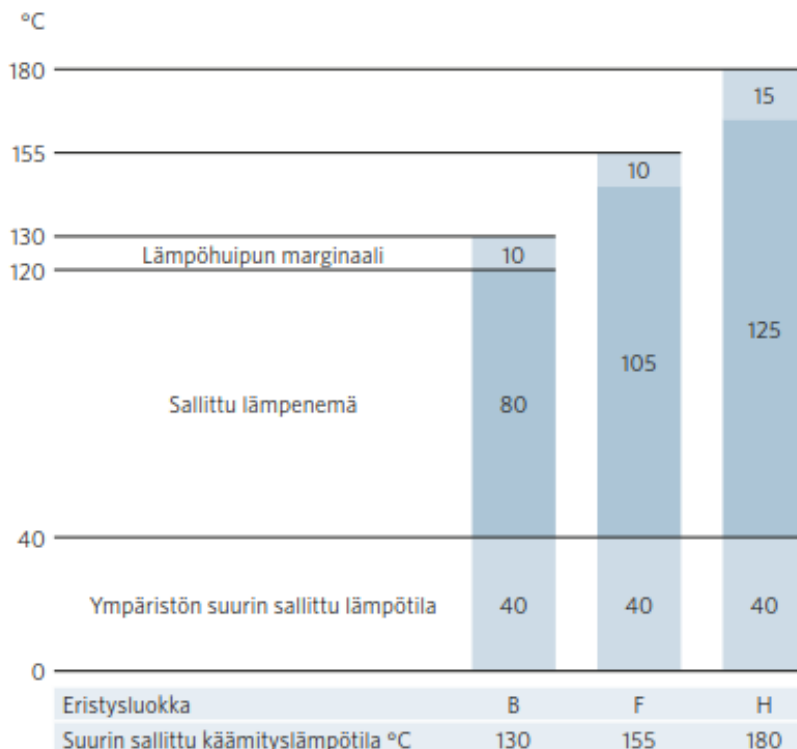
Laakerointi

Useimmissa tapauksissa moottorin standardikuulalaakerointi on riittävä. Laakeroinnin eliniäksi (L10) riittää normaalisti 40 000 tuntia. Mikäli käyttöympäristö on kuumempi tai moottorin laakereille kohdistuu tavanomaista suurempia rasituksia, esimerkiksi radiaalivoimia, ne on mainittava tarjouspyynnössä. Tällöin moottorivalmistaja voi tarvittaessa vaihtaa laakerin tai laakerit toisen tyyppisiksi. Hihnäkäyttö on tyypillinen esimerkkitapaus, jossa moottorin laakereille kohdistuu normaalia suurempia radiaalivoimia. Tavallisesti kuulalaakerin sijaan käytetään rullalaakeria. Tavanomaista korkeammissa ympäristön lämpötiloissa laakereiden voiteluväliä voidaan joutua lyhentämään tai rasvatyyppiä vaihtamaan. Moottoreiden huolto-oppaasta selviää tarkemmat yksityiskohdat käytön aikaisesta kunnossapidosta. On syytä huomioida, että taajuusmuuttajien käytön yhteydessä laakerivirtaongelmien välttämiseksi saattaa olla tarpeen käyttää eristettyjä laakereita.

Käämityksen eristysluokat

Moottorin käämityksen eristysluokat ja niitä vastaavat käämityksen lämpenemät on esitetty alla olevassa taulukossa. Nykyisin moottoreissa on tavallisesti F-luokan eristys ja sallittu lämpenemä on mitoitettu B-luokkaan. Tällöin ympäristön maksimilämpötilassa 40 °C käämityksen sallittu lämpenemä on 80 °C. Moottorien käämityksen eristysluokan ollessa F, moottorin mitoitus F-luokan lämpenemään olisi myös mahdollista. Tällöin moottorin koko pienenee ja hinta olisi alempi, mutta samalla käyttökustannukset nousisivat huoltovälin lyhetessä. Mitoituksessa on myös muistettava, että ympäristön lämpötilan ollessa korkeampi pienenee sallittu lämpenemä vastaavasti.

Moottoreiden eristysluokat ja sallitut lämpenemät



Voimansiirto

Moottori ja työkonetta voidaan kytkeä toisiinsa erilaisin mekaanisin tavoin. Yksinkertaisin tapa on käyttää kytkintä. Tällöin voimansiirron häviöt ovat minimaaliset. Muita vaihtoehtoja voimansiirrolle (suluissa tyypilliset hyötysuhteet) ovat:

- vaihde
 - hammas, suorahammas (n. 98 %)
 - hammas, kartiohammas (n. 98 %)
 - kulunut hammas (n. 50–96 %)
- hihnaveto
 - kiilahihna (92–94 %)
 - lattahihna (96–98 %)
 - hammashihna (96–98 %)
- ketju (96–98 %)
- nestekeytkin (93–96 %).

Laitteelle valitaan mahdollisimman energiatehokas voimansiirtotapa. On myös hyvä huomioida, että uusilla korkean hyötysuhteen kestävämagneettimoottoreilla kierrosnopeusalue on laajempi kuin perinteisillä oikosulkumoottoreilla. Etenkin matalat kierrosnopeudet ja korkeat vääntömomenttivaatimukset ovat perinteisesti vaatineet alennusvaihteen käyttöä teollisuuden

sovelluskohteissa. Kestomagneettimoottoreilla on mahdollista, että alennusvaihteen käytöltä vältytään kokonaan.

