

materiaalitehokkuus koulut energiansäästö
kuluttajat teollisuus kuljetus hiilidioksidi
hake liikenne kiinteistöt julkinen sektori
uusiokäyttö uusiutuva energia ympäristö ilmastomuutos
energiatehokkuus kunta-ala
palveluala vesivoima tuulivoima yhteistyö
aurinkoenergia

Energiatehokkaat moottorikäytöt

Koulutusmateriaali

lämpöpumppu bioenergia energiakatselmus rakentaminen

Moottorit teollisuudessa

- Sähkömoottorit ovat teollisuuden suurin yksittäinen sähkön kuluttaja.
 - Vuonna 2006 Suomen teollisuuden sähkömoottorit kuluttivat noin 39 TWh sähköä.
 - Keskimäärin suomen teollisuuden käyttämästä sähköstä 60-70 % kuluu sähkömoottoreissa.
- Sähkömoottorit ovat normaaliolosuhteissa tehokkaita, luotettavia, pitkäikäisiä ja tarvitsevat suhteellisen vähän kunnossapitoa.
 - Sähkömoottoreiden tehokkuus voi heiketä ja käyttäminen tulla kalliiksi, jos moottoreita ei valita, käytetä ja huolleta oikein.
- Olemassa olevien moottoriratkaisujen sähkönkulutusta voidaan vähentää mm.
 - korvaamalla vanhat moottorit energiatehokkailla moottoreilla
 - investoimalla taajuusmuuttajiin
 - kiinnittämällä huomiota moottoreiden käyttöön (toimintapisteoptimointi, säätö...)
- Moottoriratkaisuja optimoitaessa tulee tarkastella koko prosessia kokonaisuutena, eikä kiinnittää huomiota vain yksittäisiin laitteisiin.

Moottorijärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen (1/2)

- Ennen moottorijärjestelmän tehostamistoimia on suoritettava järjestelmän tilannekatsaus.

- Järjestelmän kuvaus:

Prosessi, käytössä olevien moottoreiden tiedot ja käyttötarkoitukset, nopeudensäädön ja vaihteiston tyyppi, huoltotiheys, tehdyt korjaukset, käyttötunnit.

- Toimintaparametrien kerääminen:

Energiankulutus, jännite-epäsymmetria, tehokerroin, kuormitusaste, käyttöprofiili.

- Järjestelmän tehokkuuden arviointi.

Moottorijärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen (2/2)

- Kun tiedetään lähtötilanne, voidaan määritellä tarvittavat toimenpiteet energiatehokkuuden parantamiseksi.
- Moottorijärjestelmän energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:
 - a) Moottorikuormituksen vähentäminen
 - b) Moottoreiden tehokkuus
 - c) Mitoitus
 - d) Käyttö
 - e) Sähköverkon laatu
 - f) Kunnossapito
- Prosessista riippuu, mitkä energiatehokkuuden parantamistoimenpiteet tuovat parhaan tuloksen investoinnin suuruuden suhteen.

Mahdollisia moottorijärjestelmän energiatehokkuuden parantamistoimenpiteitä	Säästöpotentiaali %
Prosessin suunnittelu ja uudistaminen	
Energiatehokkaat moottorit	2 - 8
Oikea mitoitus	1 - 3
Energiatehokkaiden moottoreiden korjaus	0,5 - 2
Nopeussäätöinen käyttö	-4 - 50
Tehokas vaihteisto	2 - 10
Sähköverkon laatu	0,5 - 3
Prosessin käyttö	
Voitelu ja säätö	1 - 5

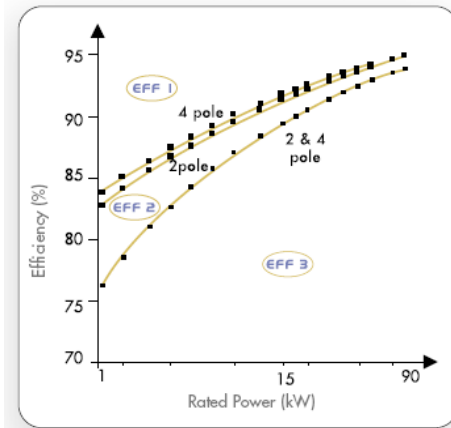
Moottoreiden tyypillisiä energiansäästö toimenpiteitä ja niiden energian säästöpotentiaalit. [EU 2003]

a) Kuormituksen vähentäminen

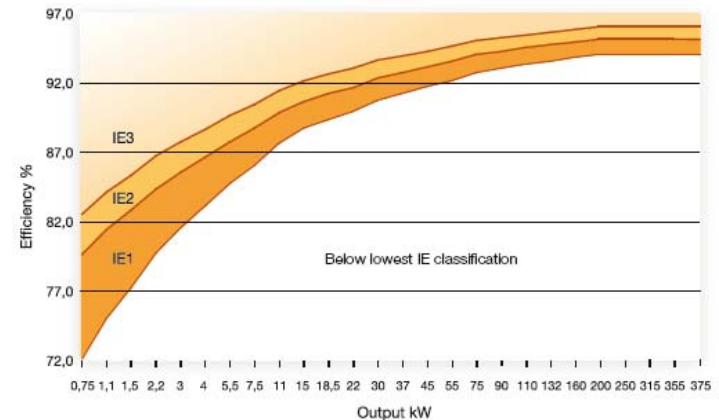
- Moottorijärjestelmän tehokkuutta parannettaessa, on myös tärkeää miettiä voidaanko moottorin kuormaa vähentää. Helppoja tapoja vähentää moottorien kuormitusta ovat esimerkiksi;
 - Paineilmajärjestelmän käyttöpaineen alentaminen ja vuotojen korjaaminen.
 - Tuulettimien lapojen ja kanavien säännöllinen puhdistaminen.
 - Pumppujen oikea mitoittaminen.
 - Lämpimän ilman pääsyn rajoittaminen kylmätiloihin eristeillä ja lastin esijäähdytyksellä.
 - Hihnakuuljettimien jännitteen säännöllinen tarkastaminen.
- On myös aiheellista miettiä onko kyseiselle laitteistolle ylipäätään enää tarvetta tai voidaanko se korvata muunlaisella laitteistolla.

b) Energiatehokkaat moottorit (1/2)

- Energiatehokkaat moottorit ovat tyypillisesti 2 – 6 % normaaleja moottoreita tehokkaampia ja maksavat noin 20 – 30 % enemmän.
- Pienempien häviöiden ansiosta energiatehokkaiden moottoreiden lämpötilat laskevat, jolloin
 - moottorin käyttöikä kasvaa
 - luotettavuus paranee
 - huoltokustannukset vähenevät
 - ylikuormituksen sieto paranee
 - melutaso laskee
 - tehokerroin paranee
- EU:ssa käytössä olevassa hyötysuhdeluokituksessa sähkömoottorit jaetaan kolmeen ryhmään
- Aikaisemmin EU:ssa käytössä olleessa hyötysuhdeluokituksessa sähkömoottorit jaetaan kolmeen ryhmään (EFF1, EFF2, EFF3).



Moottorien EFF -hyötysuhdeluokitus (aik. hyötysuhdeluokitus). [Pihlaja et al. 2008]



Moottorien IE-hyötysuhdeluokat. [ABB 2009c]

b) Energiatehokkaat moottorit (2/2)

- IE on uusi kansainvälisen sähköalan standardijärjestön energiatehokkuusluokitus sähkömoottoreille.
 - Kolme luokkaa nykyisille moottoreille (IE1, IE2, IE3).
 - Neljäs luokka (IE4) on määritelty tulevaisuudessa markkinoille tuleville, nykyisiä malleja energiatehokkaammille moottoreille.
- EU on valmistellut EuP-direktiivin pienjännitemoottoreille.
 - Direktiivin avulla pyritään estämään energiatehottomien moottoreiden käyttö Euroopassa ja näin vähentämään sähkön kulutusta.
 - Direktiivi on tullut voimaan heinäkuussa 2009 ja siinä esitetyt vaatimukset otetaan käyttöön vaiheittain.

Premium efficiency	IE3	Premium
High efficiency	IE2	Vastaa entistä EFF1
Standard efficiency	IE1	Vastaa entistä EFF2

*Moottorien IE- ja EFF-hyötysuhdeluokat.
[ABB 2009c]*

Vaihe 1 16.6.2011 alkaen	Moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE2
Vaihe 2 1.1.2015 alkaen	Tehoalue 7,5 – 375 kW, moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 TAI hyötysuhdeluokan IE2 moottori täytyy asentaa taajuusmuuttajakäyttöisenä
Vaihe 3 1.1.2017	Tehoalue 0,75 – 375 kW, moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 TAI hyötysuhdeluokan IE2 moottori täytyy asentaa taajuusmuuttajakäyttöisenä

*EU:n EuP-direktiivin voimaantulo aikataulu.
[ABB 2009d]*

c) Mitoitus

- Moottoreita käytetään harvoin täydellä mitoituskuormalla.
- Keskimäärin moottoreita käytetään 60 % kuormituksella.
- 50 – 100 % kuormituksen välillä moottorin hyötysuhde ei juuri muutu, mutta 25% tai pienemmällä kuormalla moottorin hyötysuhde alkaa laskea jyrkästi.
- Moottorin oikea mitoittaminen;
 - parantaa energiatehokkuutta
 - voi vähentää siirtohäviöitä kun tehokerroin pienenee.
 - voi vähentää jonkin verran pyörimisnopeutta.

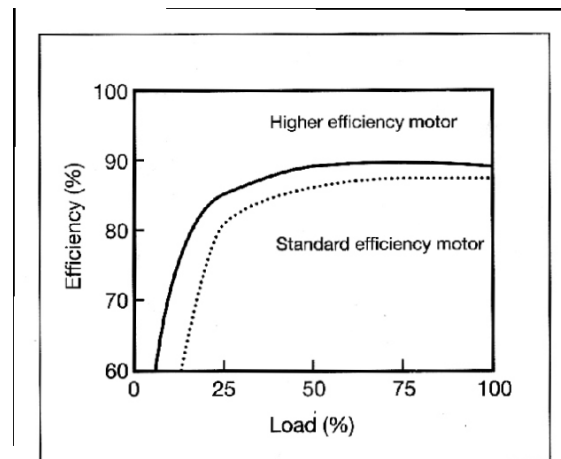


Fig 5 Variation in efficiency with load for a standard and a higher efficiency 7.5 kW induction motor

Hyötysuhteen ja kuormituksen välinen riippuvuus 7,5 kW:n standardi ja korkean hyötysuhteen moottorille. [ERI 2000]

d) Moottoreiden käyttö (1/4)

- Käynnistäminen

- Induktiomoottorin käynnistäminen vie jopa kuusi- tai seitsemänkertaisen virran tasaiseen käyttöön verrattuna.
- Suurimmassa osassa kolmivaiheisista induktiomootoreista on tähti- kolmiokytkin, jonka avulla moottorin kytkentää voidaan muuttaa.
 - Moottoria käynnistettäessä tähtikytkennässä yksittäisen vaiheen resistanssi on suurempi, ja virrantarve pienempi.
 - Moottorin saavutettua täyden käyntinopeutensa, kytkimellä siirretään moottori käymään kolmiossa, jolloin moottori toimii pienemmällä virralla.
- Pehmeäkäynnistys
 - Helpottaa moottorin käynnistämistä ja vähentää mekaanista kulumista, minkä ansiosta moottori voidaan kytkeä useammin päälle ja pois.

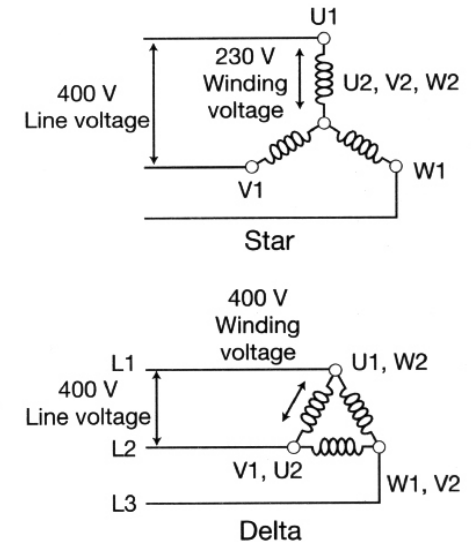


Fig 35 Star and delta connection of a three-phase motor

Tähti ja kolmio kytkentä kolmivaiheiselle moottorille. [ERI 2000]

d) Moottoreiden käyttö (2/4)

- Nopeussäädetty käyttö
 - Voidaan toteuttaa hihnäkäytöillä, vaihteistoilla ja hydraulikytkimillä.
 - Lisäävät järjestelmän tehottomuutta.
 - Taajuusmuuttajilla toteutettu sähkömoottorin nopeudensäätö:
 - Selkeästi tehokkainta moottorinopeuksien ohjausmenetelmää.
 - Tasavirtamoottoreilla muutetaan jännitettä.
 - Oikosulkumoottoreilla muutetaan sekä jännitettä että taajuutta.

d) Moottoreiden käyttö (3/4)

- Nopeussäädetty käyttö
 - Kuorman vaihdellessa nopeussäädetty moottorien käyttö vähentää sähkön kulutusta.
 - Sähkömoottorien pyörimisnopeuden säädöllä saadaan poistettua erilaisten vaihteistojen ja ennen kaikkea kuristussäädön tarve.
 - Se sopii erityisesti keskipakopumppujen, kompressoreiden ja tuuletinten käyttömoottoreille.
 - Nopeussäädetyistä käytöstä voivat hyötyä myös lingot, jauhimet ja työstökoneet.
 - Moottorien nopeussäädetyksen käytön etuja ovat myös:
 - Prosessin parempi hallinta
 - Mekaanisten osien kulumisen väheneminen
 - Melutason laskeminen
 - Pehmeäkäynnistys ja –pysäytys

d) Moottoreiden käyttö (4/4)

- Vaihteisto
 - Vaihteistossa syntyvät häviöt voivat vaihdella 0 ja 45 % välillä.
 - Vaihteisto tulee olla oikein asennettu ja huollettu.
- Tarpeettomien moottoreiden kytkentä pois päältä
 - Tarpeettomien moottorin kytkeminen pois päältä on helppo ja yksinkertainen tapa säästää energiakustannuksissa.
 - Moottorin käyntiajan vähentäminen 10 % säästää enemmän energiaa, kuin standardimoottorin vaihtaminen energiatehokkaaseen.
 - Moottorin kytkeminen pois päältä voidaan toteuttaa monella erilaisella tavalla:
 - Manuaalisesti
 - Kaksioasento-ohjauksella (päällä tai pois)
 - Aikakytkimellä
 - Synkronoimalla muuhun prosessiin (esim. tuuletin on päällä vain kun työstökone on kytketty päälle)
 - Jaksottamalla usean erikokoisen moottorin käyttämisen kuorman mukaan.

e) Sähköverkon laatu

- Jännitteen muutokset
 - Aiheuttavat häviöitä moottorissa.
 - Pystytään poistamaan verkon oikealla suunnittelulla ja käytöllä.
- Harmoniset yliaallot
 - Harmoniset yliaallot aiheuttavat häviöiden kasvua ja moottoreiden tehon alenemista.
 - Aiheutuvat mm. ylikuormitetuista muuntajista, verkon epäsymmetrisestä kuormituksesta ja taajuusmuuttajien käytöstä.
- Jännite-epäsymmetria
 - Jännite-epäsymmetria suurentaa sähkömoottorien roottorihäviöitä, pienentää niiden momenttia ja lyhentää moottorin käyttöikä.
 - Jännite-epäsymmetria aiheutuu mm. verkon epäsymmetrisistä kuormituksesta ja yhden vaiheen palaneesta sulakkeesta verkossa tai kompensointiparistossa.

Moottorin kuormitus täydestä mitoituskuormasta %	Moottorin hyötysuhde, %		
	Jännite-epäsymmetria, %		
	Nimellinen	1%	2.5%
100	94.4	94.4	93.0
75	95.2	95.1	93.9
50	96.1	95.5	94.1

Eri jännite-epäsymmetrioiden vaikutus moottorin hyötysuhteeseen. [DOE 2008b]

f) Kunnossapito

- Huolto
 - Moottoreiden käyttöikä pitenee huolellisen ja säännöllisen huollon ja kunnossapidon avulla.
 - Moottorin huollontarpeeseen vaikuttavat sen toimintaolosuhteet, käyttötunnit sekä toimintahäiriöt.
- Korjaaminen vs. uusiminen
 - Suurempia moottoreita korjataan usein useamman kerran niiden käyttöiän aikana.
 - Puutteelliset korjauskäytännöt alantavat tyypillisesti moottoreiden hyötysuhdetta 0,5 – 4 %.
 - Tehtäessä päätöstä moottorin korjaamisen ja vaihtamisen välillä, on otettava huomioon moottorin koko käyttöiän kustannukset, ei vain investointikustannuksia.
 - Tekijöitä jotka tulee ottaa huomioon mietittäessä moottorin korjaamisen ja vaihtamisen välillä ovat:
 - Sähkön hinta
 - Moottorin teho
 - Keskimääräinen kuormitus
 - Käyttötunnit
 - Uuden moottorin ja korjauksen hinta

YHTEENVETO:

- Ennen itse moottoreiden tehostamista pitää tutkia mahdollisuuksia vähentää moottorin kuormitusta.
- Moottoreiden energiatehokkuusluokkaan kannattaa kiinnittää huomiota.
- Moottori tulee mitoittaa kuormituksen mukaan.
- Moottoreiden käyttö vaikuttaa niiden tehokkuuteen.
 - Käynnistys
 - Nopeussäädetty käyttö
 - Tarpeettomien moottoreiden kytkeminen pois päältä
- Sähköverkon huono laatu ei saa häiritä moottoreiden toimintaa.
- Huolellisen kunnossapidon ja korjaamisen avulla moottorin hyötysuhde ja energiatehokkuus ei heikkene.

Lähteet

- ABB. 2000. TTT-käsikirja 2000-07, Luku 4 Sähkön laatu. [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: [http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/040_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/040_0007.pdf) [Viitattu 2.4.2009].
- ABB. 2009a. Moottorit ja taajuusmuuttajat tehokkaaseen ohjaukseen. [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.abb.com/cawp/db0003db002698/66aa76d03af35607c12573d7003e8f2f.aspx> [Viitattu 2.4.2009].
- ABB. 2009b. Energy Saving Tools. [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.abb.com/product/ap/seitp322/24b03100d005c31ac1256e040043f4c1.aspx?country=US> [Viitattu 14.4.2009].
- ABB. 2009c. Tekninen tiedote, Standardi hyötysuhdeluokista pienjännitemoottoreille. IEC 60034-30. TM025 FI Rev A 2009.indd. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 17.09.2009]. Saatavissa: www.abb.fi
- ABB. 2009d. Tuotetiedote, Pakollinen EuP-direktiivi pienjännitemoottoreille Euroopassa. PM318 FI Rev A 2009.indd. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 17.09.2009]. Saatavissa: www.abb.fi
- DOE, Department of Energy. 2008a. Improving motor and drive system performance: a sourcebook for industry. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2008]. Saatavissa: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs_motors.html.
- DOE, Department of Energy. 2008b. Energy tips – Motor systems. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.1.2009]. Saatavissa: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/tip_sheets_motors.html.
- EIPPCB, European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, 2008. Draft reference document on best available techniques for energy efficiency. [Verkkojulkaisu]. 398 s. Saatavissa: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/pages/FActivities.htm> [Viitattu 14.11.2008].
- ERI, The Energy Research Institute, University of Cape Town. 2000. How to save energy and money in electrical systems. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2008]. Saatavissa: <http://www.3e.uct.ac.za/download.htm>.
- EU 2003. The European motor challenge programme: Drives module. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2008]. Saatavissa: http://sunbird.jrc.it/energyefficiency/motorchallenge/pdf/Mod_drv2.pdf
- Karvonen, L. 2008. Uusi maailmanlaajuinen standardi sähkömoottoreiden hyötysuhteen mittaamiseen. [Lehtiartikkeli] Teollisuus Nyt 5/2008.
- Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. 2009. Sähkötekniikka tähtää tulevaisuuteen. [Verkkojulkaisu] Saatavissa: http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/articles/Sivut/Default.aspx. Viitattu 6.4.2009
- Mäenpää, A. 2006. ABB:n ratkaisuja energiatehokkuuteen. EVTESS 12.6.2006. ABB. Saatavissa: http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/ClimBus/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/EVTESS_120606/Aki_Maenpaeae_ABB.pdf
- Pihlaja, H. & Hänninen, S. & Kuoppamäki, R. 2008. Sähkönsäästöpotentiaali energiatehokkailla sähkömoottorikäyttöillä Suomen energiavaltaisessa teollisuudessa, VTT-R-08216-08. VTT, Suomi.
- Power Quality Centre. 2002. Voltage Unbalance, Technical Note No. 6. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 31.3.2009]. Saatavissa: <http://www.elec.uow.edu.au/iepqrc/files/technote6.pdf>.
- UNEP, United Nations Environment Program, Division of Technology, Industry and Economy. 2004. Cleaner production-Energy efficiency (CP-EE) manual. 295 s. ISBN: 92-807-2444-4. Saatavissa: http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=33. [Viitattu 14.11.2008].
- Vacon. 2009. [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.vacon.fi> [Viitattu 14.4.2009].

Lisää tietoa
www.motiva.fi