



Satakunnan ammattikorkeakoulu

Heikki Järvinen

ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN JA KORKEAN
HYÖTYSUHTEEN OIKOSULKUMOOTTORIT

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2012

ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN JA KORKEAN
HYÖTYSUHTEN OIKOSULKUMOOTTORIT

Järvinen, Heikki
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2012
Kerkkänen, Yrjö
Pulkinen, Petteri
Sivumäärä: 25

Asiasanat: energiatehokkuus, sähkömoottorit, taajuusmuuttajat, hyötysuhde

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia mahdollisia energian säästökohteita Corenson hylsykartonkitehtaalle, joka sijaitsee Porin Aittaluodossa. Työ tehtiin osittain samaan aikaan, kun tehtaalla oli vireillä melko laajamittaisen energiakatselmuksen mittaukset ja selvitykset.

Työssä on tarkasteltu korkean hyötysuhteen omaavan oikosulkumoottorin ominaisuuksia ja kannattavuutta verrattuna heikomman hyötysuhteen omaavaan moottoriin. Työssä on käsitelty myös vuonna 2008 tullutta sähkömoottoreiden maailmanlaajuista IE-hyötysuhdeluokitusta ja EuP-direktiiviä, jonka mukaan sähkömoottoreiden tulisi tulevaisuudessa täyttää tietty IE-hyötysuhdeluokka. Lisäksi on tarkasteltu muita energiatehokkuuteen vaikuttavia asioita.

IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY AND PREMIUM EFFICIENCY SQUIRREL CAGE THREE PHASE MOTORS

Järvinen, Heikki

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

January 2012

Kerkkänen, Yrjö

Pulkkinen, Petteri

Number of Pages: 25

Key Words: energy efficiency, electric motors, frequency converters, efficiency

The purpose of this thesis was to investigate energy saving devices or objects that would be viable in Corenso Oy Ltd. that is located in Aittaluoto Pori. This thesis was partly made during the quite extensive energy review that was in progress at the factory.

This thesis examines the attributes and cost-effectiveness of a premium efficiency squirrel cage three phase motor and compares it to a regular squirrel cage three phase motor. The thesis also deals with the worldwide IE-classification and the EuP-directive that is limiting the use of lower IE-classification motors. Other points affecting energy efficiency have also been examined.

SISÄLLYS

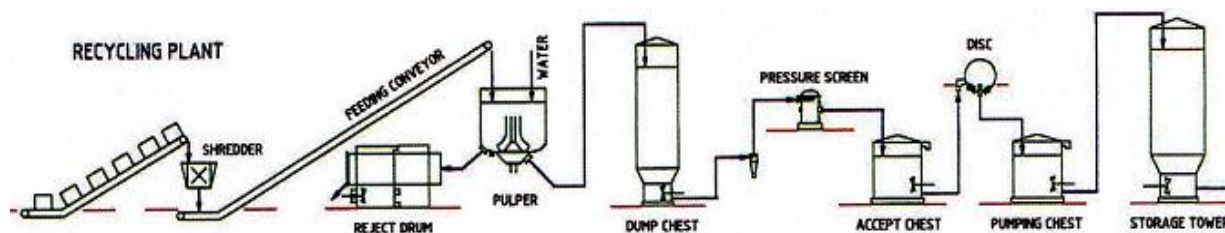
1	JOHDANTO.....	5
2	UUSIOMASSALAITOS.....	6
2.1	Uusiomassalaitos yleisesti	6
2.2	Prosessin lyhyt kuvaus	6
2.3	Laitteet ja sähkömoottorit	7
3	OIKOSULKUMOOTTORI.....	7
4	SÄHKÖMOOTTORIEN ENERGIATEHOKKUUS.....	9
4.1	Moottoreiden hyötysuhdeluokitus	9
4.2	IE4-luokan moottori.....	11
4.3	EuP-direktiivin käyttöönoton aikataulu jäsenmaissa.....	11
4.4	Korkeahyötysuhteinen moottori	12
4.5	Hyötysuhteen korottamisen aikaansaamat edut	13
4.6	Hyötysuhteen korottamisesta aiheutuvat ongelmat	14
4.7	Korkeahyötysuhteisten ja tavallisten moottorien eroavuudet.....	14
5	ENERGIATEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVIA OSA-ALUEITA.....	15
5.1	Kuormituksen vähentäminen	15
5.2	Mitoitus	15
5.3	Käynnistäminen ja käyttö	15
5.4	Vaihteisto	16
5.5	Tarpeettomat moottorit	16
5.6	Sähköverkon laadun vaikutukset moottoreiden energiatehokkuuteen.....	17
6	SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖ UUSIOMASSALAITOKSELLA.....	18
6.1	Painelajittimien sähkömoottorien varustaminen taajuusmuuttajaohjauksella	18
7	YHTEENVETO & POHDINTA.....	19
	LÄHTEET.....	21
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena on ollut tehdä tutkimusta mahdollisista energian säästökohdeista Corenson Porin kartonkitehtaalle. Tehtaalla tehdään laajamittaisia katselmuksia energian kulutukseen muutaman vuoden välein. Katselmuksia varten tehdään paljon mittauksia, tarkastuksia ja tutkimuksia tehdaskompleksin laitteistoista ja koneista. Tutkituista asioista päästään selville, onko joillain osa-alueilla korkeaa potentiaalia energiakulutuksen vähentämiseen, prosessin parantamiseen ja myös taloudelliseen säästöön.

Tässä työssä on ollut tarkoituksena keskittyä lähinnä sähköön liittyvään energian kulutukseen, prosessin ohjausmenetelmien parantamiseen ja niissä oleviin mahdollisuuksiin. Erityisesti olen kerännyt tietoa markkinoille tulevasta korkeamman hyötysuhteen oikosulkumoottoreista. Olen rajannut ja kohdentanut tarkastelua uusiomasalaitoksen alueelle.

2 UUSIOMASSALAITOS



Kuva 1. Uusiomassalaitoksen yleiskuva. /13/

2.1 Uusiomassalaitos yleisesti

Uusiomassalaitos on osa Porin Aittaluodossa sijaitsevaa kartonkitehdasta. Laitokselle tuodaan päivittäin montaa eri laatua pahveja ja paperia uusiomassan valmistusta varten, joka taas on osana massaa, josta kartonkia valmistetaan. Laitokselle tuotavat materiaalit ovat usein paaleina, mutta irtonaisena niitä tuodaan myös jonkin verran.

2.2 Prosessin lyhyt kuvaus

Ensiksi paalit menevät kuljettimen kautta murskaimeen, jossa niistä tulee hieno pahvisilppua. Sieltä ne jatkavat matkaansa magneetille, joka poistaa rautalangat ja muut metallit joukosta pois. Tämän jälkeen pahvisilppu jatkaa matkaansa pulperiin, jossa sekaan tulee vettä ja höyryä. Massaa alkaa muodostua. Sieltä massa siirtyy painelajittimille karkea- ja hienolajitteluun. Muovit ja muu epäkelvo aines kulkeutuu rejektirummulle ja sitä kautta poltettavaksi. Lajittelusta massa siirtyy kiekkosaaostajalle ja sen kautta varastotorniin valmiiksi massaksi.

2.3 Laitteet ja sähkömoottorit

Uusiomassalaitoksella on pumppuja, painelajittimia, sekoittimia ja muita laitteita, jotka toimivat sähkömoottorin ja automaatiojärjestelmien varassa. Yli 10 kW:n moottoreita on arviolta noin 50 kappaletta ja sitä pienempiä lukuisia. Taajuusmuuttajia löytyy monista laitteista ja niiden määrä on kasvussa.

3 OIKOSULKUMOOTTORI

Vaihtosähkökoneiden toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään. Riippuen siitä, pyöriikö koneen pyörivä osa magneettikentän kanssa samalla vai eri nopeudella, on koneen nimitys epätahti- tai tahtikone. Oikosulkumoottori luokitellaan sähkötekniikassa kategoriaan epätahtikone. Oikosulkumoottorin tärkeimmät osat toiminnan kannalta ovat seisojan eli staattorin käämitys levypaketteineen ja pyörijän eli roottorin käämitys levypaketteineen. Nämä kaksi kokonaisuutta muodostavat koneen sähköisen toiminnan aktiiviset osat. Koneen muut osat ovat passiivisia osia, jotka pitävät aktiiviset osat paikoillaan, johtavat sähköä koneeseen tai siitä pois ja välittävät pyörivän liikkeen moottorista työkoneeseen tai vaikkapa voimakoneesta generaattoriin. Epätahtikone on vaihtosähkökone, jossa roottori pyörii eri nopeudella eli epätahdissa staattorikäämityksen kehittämään pyörivään magneettikenttään nähden. /9/

Sähköisesti tarkasteltuna oikosulkumoottorin toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen välisiin vuorovaikutuksiin. Staattoriin sijoitettujen kuparikäämitysten ja verkkotaajuudella vaihtelevan vaihtovirran avulla voidaan induktiolain mukaisesti indusoida virta roottoriin. Roottori on valmistettu ohuista sähkölevyistä siten, että levyihin on meistäessä jätetty reiät roottorisauvoja varten. Roottorisauvat on valettu sulasta alumiinista ja suljettu molemmista päistä oikosulkenkailla. Näin roottorivirtapiiriin muodostuu induktiolain mukainen virta, joka puolestaan aiheuttaa magneettikentässä ollessaan voimavaikutuksen ja tempaa siten roottorin akseleineen pyörimään staattorin magneettikentän mukana.

Matemaattisesti ajateltuna oikosulkumoottorin vääntömomentti on päävuon ja roottorivirran vektoritulo. Mikäli roottorin pyörimisnopeus saavuttaisi staattorin magneettikentän pyörimisnopeuden, roottoriin ei tällöin kehittyisi sähkömotorisen voiman aiheuttamaa vääntömomenttia, koska staattorin magneettikenttä pysyisi roottorin suhteen paikallaan ja vuoleikkausta ei syntyisi. /8/



Kuva 2. ABB Process performance –sarjan IE3-hyötysuhdeluokan oikosulkumoottori. /12/

4 SÄHKÖMOOTTORIEN ENERGIATEHOKKUUS

Sähkömoottorien osuus teollisuuden energiankäytöstä on yleisesti ottaen noin 65 prosenttia, joten tehokkuuden lisääminen antaa aivan varmasti mahdollisuuden merkittäviin säästöihin. Sähkömoottorin energiakulutuksen vähentämiseen löytyy kaksi tapaa: otetaan käyttöön tehokas moottorin toimintanopeuden ohjausjärjestelmä tai parannetaan moottorin omaa tehokkuutta. /1/

Teollisuudessa käytettävien moottoreiden hyötysuhde on keskimäärin parempi kuin 80 %. Moottoreiden häviöt muodostuvat lämpöhäviöistä, rautahäviöistä ja mekaanisista häviöistä. Käytössä olevien moottoreiden hyötysuhteissa löytyy kuitenkin huomattavia eroja. /2/

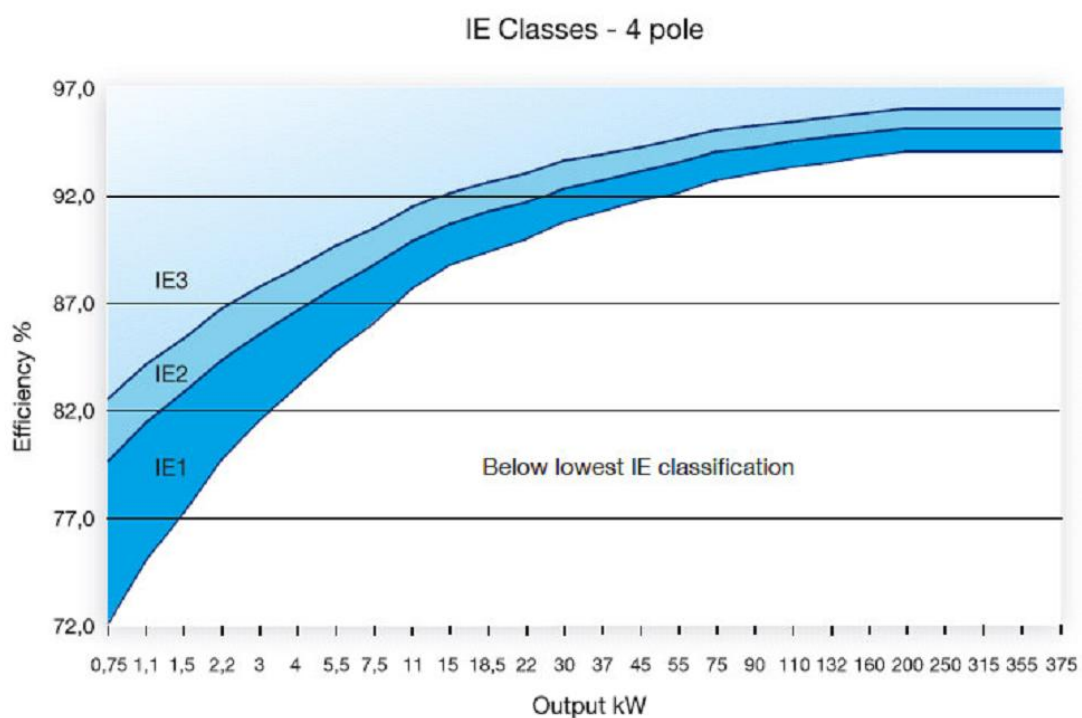
Sähkömoottoreiden kehitys on ollut melko maltillista ja niiden peruskonstruktio on pysynyt hyvin pitkään samana. Moottorien jäähdytys sanelee pitkälti niiden runkorakenteen. Moottoreiden kehityksessä eniten tapahtuukin ohjausmenetelmien ja taajuusmuuttajien puolella. Uuden tekniikan kehittäminen ja käyttö tuo mukanaan merkittäviä säästöjä teollisuuden sähkönkulutuksessa. Voidaan esimerkiksi taajuusmuuttajan avulla säätää moottoreita täsmälleen tarpeen mukaisesti, ja sähkönkulutus vähenee huomattavissa määrin. /2/

4.1 Moottoreiden hyötysuhdeluokitus

Kansainvälinen sähköalan standardoimisjärjestö IEC on julkaissut syyskuussa 2008 sähkömoottoreille uuden maailmanlaajuisen IE-hyötysuhdeluokituksen. Uudet hyötysuhdeluokat tunnetaan IEC:n standardina 60034-30. Uusi luokitus kattaa 2-, 4- ja 6-napaiset moottorit tehoalueella 0.75-375 kW (Liite 2). Uusi luokitus sisältää kaikki pienjännitteet <1000 V sekä taajuudet 50 ja 60 Hz. Myös jarru- ja atex-moottorit sisältyvät uuteen luokitukseen. /3/

Hyötysuhdeluokituksen tavoitteet: vähentää sähköenergiankäytöstä erityisesti teollisuudelle aiheutuvia kustannuksia, alentaa Euroopan energian kulutusta ja pienentää Euroopan CO₂-päästöjä. /4/

Moottorien energiatehokkuuden vertailun helpottamiseksi sekä sähköenergian kulutuksen pienentämiseksi on EU:ssa otettu käyttöön heinäkuussa 2009 moottoreiden energiatehokkuutta käsittelevä EuP-direktiivi, joka perustuu moottoreiden IE-luokitukseen. Siinä moottorit on jaettu kolmeen hyötysuhderyhmään: IE1, IE2 ja IE3. Luokituksessa on määritelty myös neljäs luokka IE4, joka on tulevaisuudessa markkinoille tulevia yhä energiatehokkaampia moottoreita varten. /2/



Kaavio 1. IE-hyötysuhdeluokat 4-napaisille moottoreille 50 Hz taajuudella. /5/

IEC60034-30 EuP Directive 2005/32/EC	Europe (50Hz) CEMEP voluntary agreement	US (60Hz) EPAAct	Others Similar local regulations for example in countries like;
IE1 Standard efficiency	Comparable to EFF2	Below standard efficiency	AS in Australia NBR in Brazil GB/T in China IS in India JIS in Japan MEPS in Korea
IE2 High efficiency	Comparable to EFF1	Identical to NEMA Energy efficiency / EPACT	
IE3 Premium efficiency	Extrapolated IE2 with 10 to 15% lower losses	Identical to NEMA Premium efficiency	

Taulukko 1. Hyötysuhdeluokkien vastaavuus kansainvälisesti. /6/

4.2 IE4-luokan moottori

ABB:n suomalaiset insinöörit ovat kehittäneet energiatehokkaan sähkömoottorisarjan, joka sijoittuu EU:n teollisuusmarkkinoiden kärkeen helmikuussa 2011. Uusi oikosulkutekniikkaan perustuva moottorityyppi ylittää korkeimpaan IE4-hyötysuhdeluokkaan, jonka voimaantuloa ei vielä ole määritelty. EU:ssa voimassa oleva EuP-direktiivi (The Energy Using Product) jakaa moottorit kolmeen hyötysuhderyhmään, jotka tulevat asteittain voimaan vuosina 2011-2017.

ABB:n uuteen IE4-moottorisarjaan kuuluu kauttaaltaan yli 95 prosentin hyötysuhde. Tämä tarkoittaa noin 30 prosentin pienennystä häviöissä. Moottorisarjan tehoalue on 75-355 kilowattia ja ne soveltuvat erityisesti jatkuvaan käyttöön prosessiteollisuudessa. Yhden 110 kilowatin teollisuusmoottorin energiankulutuksen osuus elinkaarikustannuksista on peräti 98,5 prosenttia, kun moottori on käytössä 6000 tuntia vuodessa. Hankintahinta jää elinkaarikustannuksissa prosentuaalisesti pieneksi. /7/

4.3 EuP-direktiivin käyttöönoton aikataulu jäsenmaissa

EU on hyväksynyt heinäkuussa vuonna 2009 velvoittavan asetuksen, joka käsittelee EuP-direktiivin 2005/32/EY täytäntöönpanemista sähkömoottoreiden ekologista

suunnittelua koskevien vaatimusten osalta. Direktiivin tarkoituksena on rajoittaa vähemmän energiatehokkaiden moottoreiden käyttöä Euroopassa.

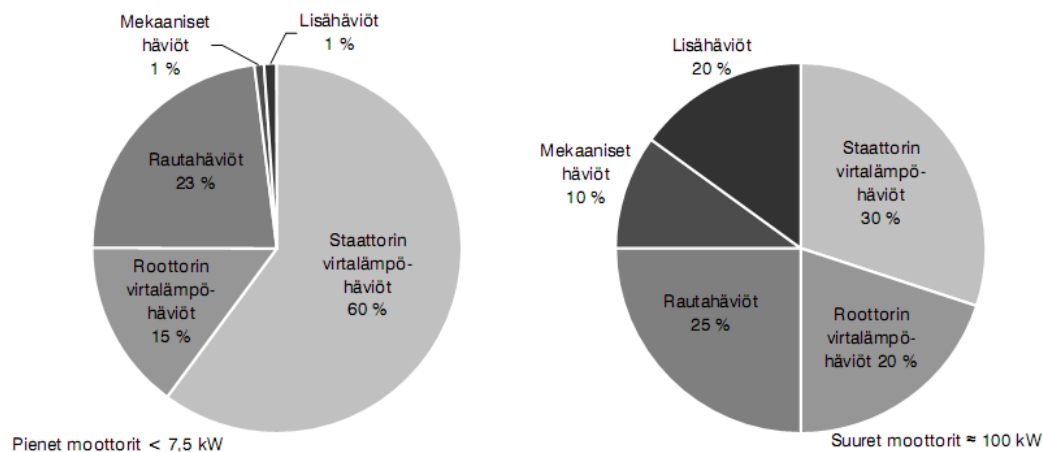
Unionin jäsenmaita velvoittavan EuP-direktiivin mukaan kolmivaiheisten sähkömoottoreiden, joiden napaluku on 2, 4 tai 6 ja teho väliltä 0,75-375 kW, on 16.6.2011 alkaen täytettävä hyötysuhdeluokka IE2. Tämän ensimmäisen vaiheen jälkeen seuraa toinen ja kolmas vaihe, joissa tehoraja asteittaisesti laajenee sekä hyötysuhdeluokka rajoittuu IE3-luokkaan. Taajuusmuuttajan kanssa voidaan edelleen asentaa IE2-luokan moottori. Toinen ja kolmas vaihe astuvat voimaan vuosien 2015 ja 2017 alussa.

Siirtymiskaudet menevät seuraavasti:

- 1 vaihe: 16.6.2011 alkaen moottoreiden on täytettävä hyötysuhdeluokka IE2.
- 2 vaihe: 1.1.2015 alk. Tehoalue 0,75-375 kW. Moottoreiden on täytettävä hyötysuhdeluokka IE3 tai luokan IE2-moottori on asennettava taajuusmuuttajakäyttöisenä.
- 3 vaihe: 1.1.2017 alk. Tehoalue 0,75-375 kW. Moottoreiden on täytettävä hyötysuhdeluokka IE3 tai luokan IE2-moottori on asennettava taajuusmuuttajakäyttöisenä. /8/

4.4 Korkeahyötysuhteinen moottori

Hyötysuhdetta korottaessa sähkömoottorin häviöitä pienennetään. Moottorissa syntyvät häviöt voidaan jakaa viiteen luokkaan: virtalämpöhäviöihin, roottorin virtalämpöhäviöihin, rautahäviöihin, mekaanisiin häviöihin ja lisähäviöihin. Lisähäviöiden osuus moottorin kokonaishäviöistä korostuu moottorin koon kasvaessa. Tämän takia erikokoisten moottorien hyötysuhteen korottaminen vaatii erilaisia toimenpiteitä. /4/



Kuva 3. Esimerkki kahden tietyyntyyppisen eri kokoluokkaa olevien moottoreiden häviöistä. /4/

Sähkömoottorin hyötysuhteen korottamiseen on useita erilaisia mahdollisuuksia. Häviöitä voidaan vähentää esimerkiksi lisäämällä aktiivisten osien eli levypaketin ja johtimien määrää ja käyttämällä kehittyneempiä valmistus- ja materiaalitekniikoita. /4/

4.5 Hyötysuhteen korottamisen aikaansaamat edut

Korkeahyötysuhteisen moottorin käytön merkittävimpiä etuja tavalliseen moottoriin verrattuna ovat sähköenergiainsäästö ja jatkuvasti pienemmät energiakustannukset. Korkeahyötysuhteisten moottorien käyttö aiheuttaa myös muita etuja, jotka käyttöiän aikana vähentävät käyttökustannuksia. Pienemmät lämpöhäviöt vähentävät mm. eristeiden lämpökuormaa ja näin pidentävät niiden elinikää. Koko moottorin huollontarve on tavallista moottoria vähäisempi ja siten käyttövarmuus tulee paremmaksi. Moottorin aiemmasta pienentynyt virta pienentää samalla siirto- ja jakeluhäviöitä, jäähdytyksen tarvetta sekä tilaustehoa. Laaja korkeahyötysuhteisten moottorien käyttöön siirtyminen vapauttaa tuotantolaitoksen sisäistä sähkönsiirtokapasiteettia. Korkeahyötysuhteisten moottorien tehokerroin on yleensä korkeampi verrattuna tavanomaisiin moottoreihin ja moottorin virta myös pienempi. Korkeahyötysuhteiset moottorit kestävät jännitteenvaihteluita tavanomaisia moottoreita paremmin. /4/

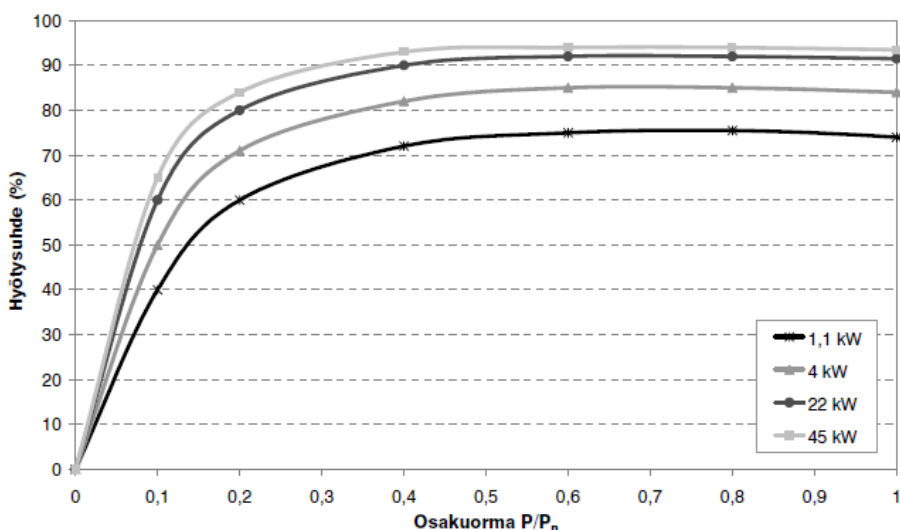
4.6 Hyötysuhteen korottamisesta aiheutuvat ongelmat

Korkeahyötysuhteisen moottorin valmistamiseen tarvitaan yleensä enemmän materiaaleja ja niiden on oltava parempia laadultaan. Valmistamiseen vaaditaan myös kehittyneempää ja tarkempaa prosessia. Näistä johtuen nousee korkeahyötysuhteisen moottorin hinta perushyötysuhteen omaavaa moottoria kalliimmaksi. Pienemmät valmistusmäärät saattavat myös nostaa hintaa joillakin valmistajilla. /4/

4.7 Korkeahyötysuhteisten ja tavallisten moottorien eroavuudet

Merkittäviä eroavuuksia moottoreiden välillä on paino. Koska korkeahyötysuhteisilla moottoreilla on suurempi määrä aktiivisia osia, ovat ne usein jonkin verran tavallista moottoria painavampia. Painoero vaihtelee moottorityypistä, valmistusmateriaalista ja kokoluokasta riippuen, mutta on useimmiten välillä 5-50 %.

Runkomateriaalit ja ulkomitat ovat toisiaan vastaavia ja korkeahyötysuhteinen moottori täyttää samat standardit kuin tavallinenkin moottori. Varaosien saatavuudessaan ei löydy eroa. Osakuormilla korkeahyötysuhteisten moottoreiden hyötysuhde muuttuu kuten perinteisillä moottoreilla. Moottorin hyötysuhde ei siis pienene merkittävästi ennen osakuorman laskemista alle 50 %:n nimellistehosta. /4/



Kuva 4. Nelinapaisen oikosulkumoottorin hyötysuhteen alenema osakuormatehoilla.

/4/

5 ENERGIATEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVIA OSA-ALUEITA

Energiatehokkuuteen vaikuttaa paljon muutakin kuin moottori. Vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi: Moottorikuormituksen vähentäminen, mitoitus, käyttö, sähköverkon laatu ja kunnossapito. Riippuu prosessista, mitkä energiatehokkuuden parantamistoimenpiteet tuovat parhaimman tuloksen investoinnin suuruuteen nähden. /11/

5.1 Kuormituksen vähentäminen

Kun parannetaan moottorijärjestelmän tehokkuutta, on tärkeää myös miettiä jos moottorin kuormaa voitaisiin vähentää. Helppoja tapoja tähän ovat esimerkiksi: paineilmajärjestelmän käyttöpaineen alentaminen ja vuotojen korjaaminen, tuulettimen lapojen ja kanavien säännöllinen puhdistaminen, pumppujen oikea mitoittaminen, lämpimän ilman pääsyn rajoittaminen kylmätiloihin eristeillä ja lastin esijäähdytyksellä sekä hihnakuljettimien jännitteen säännöllinen tarkastaminen. On myös aiheellista harkita onko kyseiselle laitteistolle enää tarvetta tai voidaanko se vaikka korvata muunlaisella laitteistolla. /11/

5.2 Mitoitus

Moottoreita käytetään harvoin täydellä mitoituskuormalla. Keskimäärin niitä käytetään 60 % kuormituksella. Kun moottorin kuormitus on välillä 50-100 %, hyötysuhde ei juurikaan muutu. Neljäsosa tai pienemmällä kuormalla moottorin hyötysuhde alkaa laskea jyrkästi. Moottorin oikea mitoittaminen: parantaa energiatehokkuutta, voi vähentää siirtohäviöitä kun tehokerroin pienenee ja voi myös vähentää jonkin verran pyörimisnopeutta. /11/

5.3 Käynnistäminen ja käyttö

Induktiomoottorin käynnistäminen vie jopa kuusi- tai seitsemänkertaisen virran tasaiseen käyttöön verrattuna. Enemmistössä kolmivaiheisia induktiomoottoreita on tähtikolmiokytkin, jonka avulla moottorin kytkentää voidaan muuttaa. Kytkentää muuttamalla saadaan aikaan pienempää virran kulutusta moottoria käynnistettäessä.

Nopeussäädetty käyttö voidaan toteuttaa esimerkiksi hihnakäyttöillä, vaihteistolla tai hydraulikytkimillä. Näiden käyttö lisää järjestelmän tehottomuutta. Taajuusmuuttajalla toteutettu sähkömoottorin nopeudensäätö on selkeästi tehokkain moottorinopeuksien ohjausmenetelmä. Kuorman vaihdellessa nopeussäädetty käyttö vähentää sähkön kulutusta. Sähkömoottorien pyörimisnopeuden säädöllä saadaan myös kätevästi poistettua erilaisten vaihteistojen ja kuristussäädön tarve. Tämänlainen säätö sopii erityisesti keskipakopumppujen, kompressoreiden ja tuuletinten käyttömootoreille. Nopeussäädetyistä käytöstä voivat hyötyä myös lingot, jauhimet ja työstökoneet. Tämän käytön etuja mm. ovat: prosessin parempi hallinta, mekaanisten osien kulumisen väheneminen, melutason laskeminen sekä pehmeäkäynnistys ja -pysäytys. /11/

5.4 Vaihteisto

Vaihteistoa käytetään monissa teollisuussovelluksissa pyörimisnopeuden nostamiseen tai laskemiseen halutulle tasolle käyttölaitteessa. Kun yhdistetään taajuusmuuttajakäytön moottori suoraan käyttölaitteeseen, voidaan kuluvia ja jatkuvaa huoltoa tarvitsevia mekaanisia komponentteja, kuten vaihde, jättää kokonaan pois. Prosessin säätö toteutetaan sähköisillä komponenteilla, taajuusmuuttajalla ja moottorilla. Täten saavutetaan lisäksi tilasäästöjä. /10/

Vaihteistossa syntyvät häviöt voivat vaihdella välillä 0-45 %. Jos vaihteistoa käytetään, on sen syytä olla oikein asennettu ja huollettu. /11/

5.5 Tarpeettomat moottorit

Helppo ja yksinkertainen tapa säästää energiakustannuksissa on tarpeettomien moottoreiden kytkeminen pois päältä. Myös pelkkä käyntiajan vähentäminen voi säästää enemmän energiaa kuin standardimoottorin vaihtaminen energiatehokkaaseen. Moottoreiden kytkeminen pois päältä voidaan toteuttaa monella eri tavalla: manuaalisesti, kaksioasento-ohjauksella, aikakytkimellä, synkronoimalla muuhun prosessiin (esim.

tuuletin on päällä kun työstökone on toiminnassa) tai jaksottamalla usean erikokoisen moottorin käyttämisen kuorman mukaan. /11/

5.6 Sähköverkon laadun vaikutukset moottoreiden energiatehokkuuteen

Jännitteen muutokset aiheuttavat häviöitä moottorissa ja harmoniset yliaallot aiheuttavat häviöiden kasvua ja moottoreiden tehon alenemista. Yliaallot aiheutuvat mm. ylikuormitetuista muuntajista, verkon epäsymmetrisestä kuormituksesta ja taajuusmuuttajien käytöstä. Jännite-epäsymmetria suurentaa sähkömoottorien roottorihäviöitä, pienentää niiden momenttia ja lyhentää moottorin käyttöikää. Jännite-epäsymmetria aiheutuu mm. verkon epäsymmetrisestä kuormituksesta ja yhden vaiheen palaneesta sulakkeesta verkossa tai kompensointiparistossa. /11/

6 SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖ UUSIOMASSALAITOKSELLE

6.1 Painelajittimien sähkömoottorien varustaminen taajuusmuuttajaohjauksella

Varustamalla uusiomassalaitoksen painelajittimen 1A sähkömoottori (132 kW) taajuusmuuttajaohjauksella on mahdollista alentaa tämän kyseessä olevan sähkömoottorin pyörimisnopeutta ja siten saavuttaa pienempää tehon kulutusta tuotantotilanteiden niin salliessa. Tämän toimenpide-ehdotuksen vuotuiseksi sähkön säästöpotentiaaliksi on saatu 40 %. Säästöpotentiaali on määritetty mittaamalla taajuusmuuttajan ottama hetkellinen sähköteho nykyisessä toimintapisteessä, joka on 40,49 Hz, ja koetilanteessa olleella 50 Hz:n ajotaajuudella. Toimenpide-ehdotuksen vuotuiseksi sähköenergian säästöpotentiaaliksi on näin saatu 309 MWh.

Arvion mukaan painelajitinta olisi mahdollista ajaa jopa alle 40 Hz:n ajotaajuudella, jolloin sähköenergian säästöpotentiaali olisi vain suurempi verrattuna edellä mainittuun arvoon. Tämän selvittäminen vaatisi taajuusmuuttajaohjauksen käyttöönoton jälkeen suoritettavaa tarkempaa painelajittimen tutkimista käyttötilanteessa.

Myös muissa painelajittimissa saavutetaan taajuusmuuttajaohjauksella varustettaessa suhteessa yhtä suurta sähköenergian säästöä. Esimerkiksi painelajittimen 4B sähkömoottori, joka on teholtaan 55 kW, säästäisi samalla 40 % lukemalla 85 MWh sähköä vuoden aikana. Mahdollisten investointien takaisinmaksuajat ovat pituudeltaan alle vuodesta puoleentoista vuoteen. /13/

7 YHTEENVETO & POHDINTA

Kun huomataan, että sähkömoottoreiden osuus teollisuuden energiankäytöstä on yleisesti ottaen noin 65 %, on varsin perusteltua tarkastella juuri niihin liittyvää energian kulutusta. Sähkömoottorin energiakulutuksen vähentämiseen löytyy kaksi hyvää tapaa, jos ei oteta huomioon sitä että moottori otettaisiin väliaikaisesti tai kokonaan pois käytöstä. Nämä kaksi keinoa ovat taajuusmuuttajaohjauksen lisääminen tai paremman hyötysuhteen omaavan moottorin hankkiminen.

Sähkömoottoreiden kehitys on ollut melko maltillista jonkin aikaa, mutta viime aikoina ne ovat jonkin verran parantuneet. ABB toi helmikuussa 2011 EU:n markkinoille moottorisarjan, joka ylittää tällä hetkellä korkeimpaan IE4-hyötysuhdeluokkaan, jonka voimaantuloa ei vielä ole määritelty.

Vaikka korkea hyötysuhde ja energiansäästö eivät olisi tarpeeksi painavia syitä siirtä energiätehokkaampiin laitteisiin, vaikuttaa siltä, että EU ohjaa ja pakottaa teollisuutta siirtymään niihin. Onhan energiätehokkuus ja vihreät arvot yleinen trendi muuallakin tekniikassa. Korkean hyötysuhteen moottoreilla saavutetaan myös muita etuja, kuten tavallista moottoria vähäisempi huollontarve ja siten parempi käyttövarmuus. Jos siirrytään mittavissa määrin käyttämään korkeahyötysuhteisia moottoreita, vapauttaa se tuotantolaitoksen sisäistä sähkönsiirtokapasiteettia.

Jos haluttaisiin ryhtyä toimenpiteisiin sähkömoottoreiden vaihdon kannalta, voitaisiin tehdä kannattavuuslaskelmia energiätehokkaiden sähkömoottoreiden välillä. Voitaisiin myös laskea, kannattaako vaikkapa täysin toimiva moottori vaihtaa hyötysuhteeltaan parempaan moottoriin. Järkevintä on tietysti aloittaa sieltä, missä on elinkaarensa loppua lähimmät moottorit, tai joissa on heikoin hyötysuhdeluokitus. Käytännön asiat, kuten tuotantotilanne ja ajan rajallisuus tietysti vaikuttavat mahdollisuuksiin.

On selvää, että taajuusmuuttajien käyttö sähkömoottoreiden kanssa tuo monia hyötyjä prosessiin. Taajuusmuuttajasta aiheutuvia hyötyjä ovat: prosessin parempi hallinta, mekaanisten osien kulumisen väheneminen, melutason laskeminen ja pehmeäkäyn-

nistys ja –pysäytys. Taajuusmuuttajan käyttöönotto poistaa myös tarpeen käyttää kuristussäätöä ja vaihdetta, jolloin saadaan aikaiseksi myös tilasäästöjä. Jos prosessissa olevan laitteen kuormitus on vaihteleva, voidaan päästä myös melko suuriin sähköenergiasäästöihin, kuten tässä työssä olevasta kohdasta 6 voidaan huomata. Taajuusmuuttajaohjauksien käytöstä on myös joitakin haittapuolia, mutta niitä ei tässä työssä ole käsitelty.

LÄHTEET

1. ABB. Moottorit ja taajuusmuuttajat [verkkodokumentti]. 2009 [viitattu 10.1.2011]. Saatavissa: <http://www.abb.fi/cawp/db0003db002698/66aa76d03af35607c12573d7003e8f2f.aspx>.
2. Motiva. Energiatehokas sähkömoottorijärjestelmä [verkkodokumentti]. 2010 [viitattu 10.1.2011]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/yritykset/hallitse_ja_tehosta_yrityksen_energiankayttoa/energiankayton_tehostamistoimenpiteet/kayttohyodykejarjestelmat/sahkomoottorit.
3. ABB. Uudet IE-hyötysuhdeluokat [verkkodokumentti]. 2011 [viitattu 18.3.2011]. Saatavissa: <http://www.abb.com/product/fi/9aac133417.aspx>.
4. Motiva. Korkeahyötysuhteisten sähkömoottorien hankinta [verkkodokumentti]. Helsinki: 2004 [viitattu 7.4.2011]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/1666/Korkeahyotysuhteisten_sahkomoottorien_hankinta.pdf.
5. ABB. Sähkömoottoreiden uudet hyötysuhdeluokitukset ja tulevat rajoitukset [verkkodokumentti]. 2010 [viitattu 31.10.2011]. Saatavissa: http://www.lut.fi/fi/pumpingday/program/Documents/03_Kortelainen_Antti.pdf.
6. ABB. Tekninen tiedote. Standardi hyötysuhdeluokista pienjännitemoottoreille, IEC 60034-30 [verkkodokumentti]. 2009 [viitattu 18.3.2011]. Ei saatavissa: [http://library.abb.com/global/scot/scot259.nsf/veritydisplay/771ad0dbf69f9a3fc12575b70045fcff/\\$File/TM025%20FI%20Rev%20A%202009_highres.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot259.nsf/veritydisplay/771ad0dbf69f9a3fc12575b70045fcff/$File/TM025%20FI%20Rev%20A%202009_highres.pdf).
7. Raunio, H. Suomi kiilasi moottoreiden kärkeen. Tekniikka & Talous 18.2.2011, s. 6.
8. ABB. Sähkömoottorin hyötysuhteella on väliä. [verkkodokumentti]. 2009 [viitattu 14.12.2011]. Saatavissa: <http://www.abb.com/co/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx>.
9. Lauri Aura, Antti J. Tonteri. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. WSOY 1996.
10. VEM. Taajuusmuuttajakäyttöillä toimivampi prosessi pienemmillä energiakuluilla. [verkkodokumentti]. 2011 [viitattu 21.12.2011]. Saatavissa: <http://www.vem.fi/uutiset/uutiset/taajuusmuuttajakaytoilla-toimivampi-prosessi-pienemmilla-energiakuluilla>.
11. Motiva. Energiatehokkaat moottorikäytöt. [verkkodokumentti]. 2009 [viitattu 18.4.2011]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/2408/Energiatehokas_moottorij_rjestelm_.pdf.

12. ABB. Process performance -sarjan IE3-oikosulkumoottorit. [verkkodokumentti]. 2010 [viitattu 28.12.2011]. Saatavissa:
[http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/8ba1af2a3d7aea76c125784f0037fe69/\\$file/9AKK105197%20EN%2003-2010%20Process%20Performance%20Premium%20Motors_lowres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/8ba1af2a3d7aea76c125784f0037fe69/$file/9AKK105197%20EN%2003-2010%20Process%20Performance%20Premium%20Motors_lowres.pdf)

13. Motiva-energiakatselmusraportti. Teollisuuden energia-analyysi. Corenso United Oy Ltd. Porin Kartonkitehdas. 2010.

LIITTEET

LIITE 1: Yksinkertaistettu lohkoakaaviokuva hylsykartongin valmistuksesta. Corenso United Oy Ltd.

LIITE 2: Hyötysuhdeluokat: IE 60034-30 (2008).

LIITE 3: IE3-luokan valurautaisten oikosulkumoottoreiden tekniset tiedot (1000 r/min). ABB Process performance –sarja.

kW	HP	IE-1 - Standard efficiency						IE2 - High efficiency						IE3 - Premium efficiency					
		2 pole		4 pole		6 pole		2 pole		4 pole		6 pole		2 pole		4 pole		6 pole	
0.75	1	72.1	77.0	72.1	78.0	70.0	73.0	77.4	75.5	79.6	82.5	80.0	80.7	77.0	82.5	85.5	78.9	82.5	
1.1	1.5	75.0	78.5	75.0	79.0	72.9	75.0	79.6	82.5	81.4	84.0	85.5	82.7	84.0	84.1	86.5	81.0	87.5	
1.5	2	77.2	81.0	77.2	81.5	75.2	77.0	81.3	84.0	82.8	84.0	86.5	84.2	85.5	85.3	86.5	82.5	88.5	
2.2	3	79.7	81.5	79.7	83.0	77.7	78.5	83.2	85.5	84.3	87.5	87.5	85.9	86.5	86.7	89.5	84.3	89.5	
3	5	81.5	-	81.5	-	79.7	-	84.6	-	85.5	-	83.3	87.1	-	87.7	-	85.6	-	
3.7	5	-	84.5	-	85.0	-	83.5	-	87.5	-	87.5	-	88.5	-	89.5	-	89.5	-	
4	5	83.1	-	83.1	-	81.4	-	85.8	-	86.6	-	84.6	88.1	-	88.6	-	86.8	-	
5.5	7.5	84.7	86.0	84.7	87.0	83.1	85.0	87.0	88.5	87.7	89.5	89.5	89.2	89.5	89.6	91.7	88.0	91.0	
7.5	10	86.0	87.5	86.0	87.5	84.7	86.0	88.1	89.5	88.7	89.5	89.5	90.1	90.2	90.4	91.7	89.1	91.0	
11	15	87.6	87.5	87.6	88.5	86.4	89.0	89.4	90.2	89.8	91.0	88.7	91.2	91.0	91.4	92.4	90.3	91.7	
15	20	88.7	88.5	88.7	89.5	87.7	89.5	90.3	90.2	90.6	91.0	89.7	91.9	91.0	92.1	93.0	91.2	91.7	
18.5	25	89.3	89.5	89.3	90.5	88.6	90.2	90.9	91.0	91.2	92.4	90.4	92.4	91.7	92.6	93.6	91.7	93.0	
22	30	89.9	89.5	89.9	91.0	89.2	91.0	91.3	91.0	91.6	92.4	90.9	92.7	91.7	93.0	93.6	92.2	93.0	
30	40	90.7	90.2	90.7	91.7	90.2	91.7	92.0	91.7	92.3	93.0	91.7	93.3	92.4	93.6	94.1	92.9	94.1	
37	50	91.2	91.5	91.2	92.4	90.8	91.7	92.5	92.4	92.7	93.0	92.2	93.0	92.4	93.9	94.5	93.3	94.1	
45	60	91.7	91.7	91.7	93.0	91.4	91.7	92.9	93.0	93.1	93.6	92.7	94.0	93.6	94.2	95.0	93.7	94.5	
55	75	92.1	92.4	92.1	93.0	91.9	92.1	93.2	93.0	93.5	94.1	93.1	94.3	93.6	94.6	95.4	94.1	94.5	
75	100	92.7	93.0	92.7	93.2	92.6	93.0	93.8	93.6	94.0	94.5	93.7	94.7	94.1	95.0	95.4	94.6	95.0	
90	125	93.0	93.0	93.0	93.2	92.9	93.0	94.1	94.5	94.2	94.5	94.0	95.0	95.0	95.2	95.4	94.9	95.0	
110	150	93.3	93.0	93.3	93.5	93.3	94.1	94.3	94.5	94.5	95.0	94.3	95.2	95.0	95.4	95.8	95.1	95.8	
132	185	93.5	-	93.5	-	93.5	-	94.6	-	94.7	-	94.6	95.4	-	95.6	-	95.4	-	
150	200	-	94.1	-	94.5	-	94.1	-	95.0	-	95.0	-	95.0	95.4	-	96.2	-	95.8	
160	250	93.8	-	93.8	-	93.8	-	94.8	-	94.9	-	94.8	95.6	-	95.8	-	95.6	-	
185	250	-	94.1	-	94.5	-	94.1	-	95.4	-	95.4	-	95.0	95.8	-	96.2	-	95.8	
200	300	94.0	-	94.0	-	94.0	-	95.0	-	95.1	-	95.0	95.8	-	96.0	-	95.8	-	
220	300	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8	
250	350	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8	
300	400	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8	
330	450	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8	
375	500	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8	

Output kW		Efficiency		Current		Torque		Moment of inertia		Sound pressure level L_{pA} dB				
		IEC 60034-2-1: 2007		A		Nm		$J = 1/4 GD^2$ kgm ²						
Motor type	Product code	Speed r/min	Full load 100%	3/4 load 75%	1/2 load 50%	Power factor $\cos \varphi$	I_N A	I_s / I_N	T_N / T_N	T_b / T_N	Weight kg			
CENELEC-design														
1000 r/min = 6-poles 400 V 50 Hz														
7.5	M4BP 160 MLA 3GBP 163 051-••G 977	977	89.9	90.5	89.9	0.78	15.4	7.7	73.3	2.3	3.4	0.116	173	59
11	M4BP 160 MLB 3GBP 163 052-••G 979	979	90.8	91.1	90.2	0.75	23.3	7.6	107	2.1	3.6	0.134	186	59
15	M4BP 180 MLA 3GBP 183 051-••G 982	982	91.2	91.7	91.0	0.75	31.6	6.8	145	2.0	2.8	0.218	234	59
18.5	M4BP 200 MLA 3GBP 203 051-••G 990	990	92.9	93.0	92.0	0.80	35.9	7.8	178	2.5	3.3	0.456	292	63
22	M4BP 200 MLB 3GBP 203 052-••G 990	990	92.9	93.1	92.3	0.81	42.1	8.0	212	2.5	3.3	0.539	318	63
30	M4BP 225 SMA 3GBP 223 051-••G 989	989	93.5	93.7	93.1	0.81	57.1	7.9	289	2.7	3.2	0.827	393	63
37	M4BP 250 SMA 3GBP 253 051-••G 991	991	93.8	94.1	93.5	0.84	67.7	7.5	356	2.7	2.9	1.512	468	63
45	M4BP 280 SMB 3GBP 283 220-••K 991	991	94.8	94.9	94.2	0.86	79.6	6.9	433	2.4	2.6	2.2	680	65
55	M4BP 280 SMC 3GBP 283 230-••K 990	990	95.1	95.1	94.7	0.86	97.0	6.8	530	2.4	2.6	2.85	725	65
75	M4BP 315 SMC 3GBP 313 230-••K 993	993	95.3	95.3	94.8	0.84	135	7.0	721	2.2	2.8	4.9	1000	67
90	M4BP 315 SMD 3GBP 313 240-••K 994	994	95.5	95.5	94.9	0.83	163	7.2	864	2.4	2.9	4.9	1040	67
110	M4BP 315 MLB 3GBP 313 420-••K 993	993	95.5	95.5	95.1	0.84	197	6.9	1057	2.3	2.7	6.3	1200	68
132	M4BP 315 LKA 3GBP 313 810-••K 993	993	95.7	95.7	95.4	0.83	239	6.9	1269	2.4	2.7	7.3	1410	68
160	M4BP 315 LKC 3GBP 313 830-••K 994	994	95.9	95.9	95.5	0.83	290	7.4	1537	2.7	2.9	9.2	1600	68
160	M4BP 355 SMB 3GBP 353 220-••K 995	995	95.9	95.9	95.5	0.83	290	7.0	1535	2.1	2.7	9.7	1680	73
200	M4BP 355 SMC 3GBP 353 230-••K 995	995	96.0	96.0	95.7	0.83	362	7.3	1919	2.3	2.8	11.3	1820	73
250	M4BP 355 MLB 3GBP 353 420-••K 995	995	96.0	96.0	95.8	0.83	452	7.1	2399	2.3	2.7	13.5	2180	73
315	M4BP 355 LKA 3GBP 353 810-••K 994	994	96.0	96.0	95.8	0.83	570	6.9	3026	2.3	2.6	15.5	2500	76
355	M4BP 355 LKB 3GBP 353 820-••K 995	995	96.0	96.0	95.6	0.80	667	7.7	3407	2.7	2.9	16.5	2600	76