



Satakunnan ammattikorkeakoulu

Marko Rantala

VAAKAKONEIDEN TOTEUTUS NYKYTEKNIIKALLA

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2011

# VAAKAKONEIDEN TOTEUTUS NYKYTEKNIIKALLA

Rantala, Marko  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Joulukuu 2011  
Ohjaaja: Lehtio Ari  
Sivumäärä: 32

Asiasanat: Vaakakone, sähkömoottori, taajuusmuuttaja

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää Satakunnan ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa olevien vaakakoneiden eli sähkömoottorien koestuslaitteistojen modernisointimahdollisuuksien kartoittaminen ja mahdollinen uusiminen. Työhön kuului käytössä olevien vaakakoneiden ominaisuuksien määrittely ja korvaavien vaihtoehtojen pohtiminen ja etsiminen markkinoilta. Työn suurin haaste oli vähäinen lähdemateriaali ja tästä johtuva oman päättelytyön suuri osuus. Tarkoitukseen sopivia laitteistoja on hyvin vähän tarjolla, joten etsimistyö oli haastavaa.

## IMPLEMENT OF HORIZONTAL ENGINES WITH NOWDAYS TECHNOLOGY

Rantala, Marko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in electrical engineering

December 2011

Supervisor: Lehtio, Ari

Number of Pages: 32

Key Words: Horizontal engine, electric motor, frequency converter

---

The subject of this thesis was untangle different changes to modernize or rebuild horizontal engines or electrical motor testing equipment which stand in the electric laboratory of Satakunta university of Applied Sciences. The job included the determination of specific of horizontal engine in use and thinking of compensatory substitutes and searching from the market. The biggest challenge was low source material. Arise from that I must do a lot of my own deduction. There is only few apparatus available which are suitable of that use. So searching was difficult.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	VANHAT VAAKAKONEET.....	5
2.1	Vaakakone yleisesti .....	5
2.1.1	Vaakakoneen säätö.....	6
2.1.2	Vaakakoneen ohjaus.....	6
2.1.3	Vaakakone fyysisesti.....	7
3	VAAKAKONEIDEN KÄYTTÖ .....	8
3.1	Vaakakoneen käyttö.....	8
3.1.1	Vaakakoneen puutteita .....	9
3.1.2	Puutteita ja mahdollisuuksia.....	10
3.1.3	Käytännön ongelmia .....	11
4	VAAKAKONEIDEN UUSIMINEN .....	13
4.1	Vaakakoneiden uusimistarve .....	13
4.2	Erilaisia mahdollisuuksia.....	13
4.2.1	Vaakakone taajuusmuuttajan avulla.....	13
4.2.2	Mahdollisuuksia ohjaamiseen .....	14
4.2.3	Haluttuja ominaisuuksia.....	14
4.2.4	Tarjolla olevia vaihtoehtoja.....	16
4.2.5	Internetistä löytyneitä vaihtoehtoja .....	17
5	VAAKAKONEIDEN HANKINTA.....	19
5.1	Hankintaprosessi yleisesti.....	19
5.1.1	Testattavan moottorin kiinnitys.....	19
5.1.2	Uuden vaakakoneen ominaisuuksia .....	20
5.1.3	Uusia mahdollisuuksia .....	20
5.1.4	Eroavaisuuksia vanhaan vaakakoneeseen .....	21
5.2	Tekniikkaa tarkemmin .....	22
5.2.1	Servomoottori.....	23
5.2.2	Verkkoon syöttävä taajuusmuuttaja .....	23
5.3	SKS:n laitteiston sisältämät pääosat .....	25
5.4	Käytännön kokemuksia uudesta vaakakoneesta .....	27
6	YHTEENVETO .....	29
7	LÄHTEET .....	31

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on raportti Satakunnan ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa olevien vaakakoneiden uusimisprosessista. Alussa on kuvaus käytössä olevien vaakakoneiden tekniikasta sekä niiden käytöstä laboratoriotyöskentelyssä. Myöhemmin työssä on pohdittu käytössä olevien vaakakoneiden puutteita ja käytössä ilmenneitä ongelmia. Sen jälkeen on pohdittu erilaisia tarjolla olevia mahdollisuuksia vaakakoneiden toteuttamiseen uudemmalla tekniikalla. Työssä on kuvailtu erilaisia tarjolla olevia vaihtoehtoja sekä yhden kokeiluversion hankintaprosessi. Työn lopussa on kuvaus hankitun laitteen ominaisuuksista.

## 2 VANHAT VAAKAKONEET

### 2.1 Vaakakone yleisesti

SAMK:n sähkölaboratoriossa on vaakakoneita, joita käytetään erilaisten sähkömoottorien koestamiseen. Vaakakoneilla voidaan mitata testattavan moottorin antamaa vääntömomenttia sekä pyörimisnopeutta. Koulun oppilaat tekevät erityyppisiä laboratorioharjoituksia, joissa on tarkoitus oppia sähkömoottoreiden käytännön ominaisuuksia. Käytössä olevat vaakakoneet on toteutettu Asea ja Trige-Thitan merkkisillä tasavirtakoneilla.

### 2.1.1 Vaakakoneen säätö

Tasavirtakonetta voidaan käyttää sekä moottorina, että generaattorina. Näin ollen myös testattavaa konetta voidaan käyttää niin moottorina kuin generaattorinakin. Vaakakoneen nopeutta ja vastustavaa momenttia säädetään ankkuripiirin ja magnetointipiirin etuvastuksilla. Etuvastus laskee sen takana olevan käämin jännitettä ja näin ollen pienentää käämin ottamaa virtaa. Vaakakoneiden etuvastukset ovat säätövastuksia, joiden vastusarvoa voidaan muuttaa kiertämällä vaakakoneen etupaneelissa olevia potentiometrejä. Magnetointivirran suuruus vaikuttaa tasavirtakoneen pyörimisnopeuteen ja vääntömomenttiin. Moottorikäytössä magnetointivirran kasvu nostaa vääntömomenttia ja laskee pyörimisnopeutta. (Chapman 2005 sivut 547-559)

Liian pieni magnetoimisvirta aiheuttaa moottorin ryntäämisen. Tämän estämiseksi vaakakoneissa on toiminta, joka mahdollistaa moottorin käynnistymisen vain suurimmalla mahdollisella magnetointivirralla. Generaattorina kone käynnistyy vain pienimmällä mahdollisella magnetointivirralla eli vastustaen testattavaa moottoria mahdollisimman vähän. Ankkuripiirin jännitteen kasvu lisää vaakakoneen pyörimisnopeutta, sekä kasvattaa vääntömomenttia. Vaakakoneissa on yksi säätövastus magnetointipiirille ja kaksi ankkuripiirille. Ankkuripiirille on karkeampi esisäätö, jolla saadaan koneen nopeus ja vääntö suurin piirtein halutulle tasolle ja hienompi säätö, jolla voidaan asetella tarkasti haluttuja arvoja. Vaakakoneen pyörimisnopeuden ja vääntömomentin säätö tapahtuu käytännössä usein säätämällä sekä magnetointipiirin, että ankkuripiirin etuvastuksia. (Matsch, Morgan 1986 sivut 317-330)

### 2.1.2 Vaakakoneen ohjaus

Vaakakoneen etupaneelissa on kaksi ampeerimittaria, joista toinen näyttää magnetointipiirin ja toinen ankkuripiirin virran suuruuden. Vaakakone käynnistetään ja sammutetaan etupaneelissa olevilla painonapeilla, jotka ohjaavat kontaktoria auki ja kiinni. Etupaneelissa on myös merkkivalo, joka syttyy kun vaakakone käynnistetään. Etupaneelissa on valintakytkin, josta valitaan käytetäänkö vaakakonetta moottorina vai generaattorina. Vaakakoneissa on ylikuumenemiseltä suojaava lämpörele ja tämän

kuittauspainike. Osassa laboratorion vaakakoneissa on puhallin, jonka tehtävä on jäähdyttää vastuksia. Kun vaakakoneella jarrutetaan moottoria, eli se toimii generaattorina, siirtyy sen tuottama teho vastuksiin, joissa se muuttuu lämmöksi. Varsinkin pitempiaikaisissa jarrutuskokeissa vaakakoneen lämpeneminen aiheuttaa ongelmia, kuten yllälämpenemissuojan laukeamista, sekä pieniä muutoksia koneen pyörimisnopeuteen ja vääntömomenttiin, jotka johtuvat siitä, että käämit lämpenevät, jolloin niiden resistanssi kasvaa ja jännitteen pysyessä vakiona virta pienenee.

Vaakakoneissa on mittarit pyörimisnopeudelle ja vääntömomentille. Kierrosnopeusmittari on perinteinen analoginen viisarimittari. Stroboskoopilla tehtyjen tarkistustutkimusten perusteella vaakakoneiden omat kierrosnopeusmittarit ovat melko epätarkkoja. Vaakakoneen vääntömomentin mittaaminen perustuu niin ikään vanhaan analogiseen mittariin. Tasavirtakone on kiinnitetty alustaansa akselin molemmista päistä, jolloin se pääsee hieman liikkumaan pyörimissuuntaansa. Koneen rungon laajempi liikkuminen on estetty sen kyljessä olevalla metallitapilla, jolle on tehty pieni liikkumatila muun laitteen runkoon. Tappi on kiinnitetty jousia ja punnuksia sisältävään rakennelmaan, jotka vastustavat tapin liikkumista. Tähän jousi-punnussysteemiin on kiinnitetty vääntömomenttimittarin osoitin neula. Edellä kuvailtu tapa mitata vääntömomenttiä ei ole kovinkaan tarkka. Osassa laboratorion vaakakoneissa on N-päässä pulssianturi, mikä mahdollistaa tarvittaessa tarkemman pyörimisnopeuden mittaamisen. Joissakin laboratorion vaakakoneissa on akselissa ja koneen kiinnitysrakenteissa reikä, johon voidaan asettaa lukitustappi. Näin ollen kone saadaan lukittua paikoilleen, niin että se ei pyöri, mutta mittari näyttää vääntömomentin. Tämä on tarpeen kun tehdään oikosulkumoottorille niin sanottu lukitun roottorin testi.

### 2.1.3 Vaakakone fyysisesti

Vaakakoneet on sijoitettu laboratoriossa oppilaiden käyttämien kytkentätaulujen viereen. Vaakakoneet on kytketty verkkoon kytkentätaulujen pääkatkaisijoiden kautta. Vaakakoneet on suojattu erillisillä johdonsuojakatkaisijoilla, jotka on sijoitettu laitteiston runkoon. Vaakakoneissa on myös erillisyöttö mahdollisuus, jolloin niihin voidaan syöttää alhaisempaa tasajännitettä. Koska vaakakoneen etuvastuksien sää-

tömahdollisuudet ovat rajalliset, saadaan syöttöjännitettä säätämällä lisää mahdollisuuksia vaakakoneen pyörimisnopeuden säätämiseen ja se saadaan pyörimään niin hitaasti kuin halutaan. Erillissyöttöä käytettäessä on huomioitava, että vaakakonetta on syötettävä tasajännitteellä. Verkköjännitettä käytettäessä vaakakone käyttää sisään rakennettua tasasuuntaajaa, mutta erillissyöttö ohittaa sen. Vaakakoneessa on valintakytkin erillissyötön ja verkkosyötön käyttö varten. On tärkeää, että tämä kytkin on oikeassa asennossa. Kytkintä ei saa kääntää jännitteen ollessa kytkettynä.

Laboratoriossa olevat oppilaiden käyttöön tarkoitetut testattavat moottorit on kiinnitetty jalustaan, joka nostaa moottorin akselin keskiön 250 mm:n korkeudelle alustasta. Vaakakoneessa on kiskosto, jonka päälle testattava moottori asetetaan. Kiskojen välistä työnnetään pultit, joiden neliökanta lukittuu kiskojen väliin alhaalta päin. Testattavan moottorin jalustan reunan päälle tulee rei'itetty levy, jonka läpi pultti työnnetään. Pultin päähän kiristetään siipimutteri. Painavammat testattavat moottorit nostetaan paikoilleen hydraulisen nostimen avulla. Vaakakoneiden ja testattavien moottoreiden akseleihin on kiinnitetty sovituskappaleet, joiden avulla akselit kiinnittyvät toisiaan vasten. Sovituspäiden väliin asetetaan muovinen pehmustekappale, joka tasaa kiihdytyksissä ja suunnanvaihdossa leikkausvoimia. Vaakakoneen akselin yläpuolella on muovista valmistettu suoja, jonka tehtävänä on estää pyörivien osien koskettaminen.

### 3 VAAKAKONEIDEN KÄYTTÖ

#### 3.1 Vaakakoneen käyttö

Vaakakoneita käytetään SAMK:n sähkölaboratoriossa monenlaisiin oppilastöihin. Niiden avulla havainnollistetaan sähkömoottoreiden ominaisuuksia. Sähkömoottorei-



ta on nykyisin suuria määriä melkein joka paikassa, joten sähkömoottorien toiminnan tunteminen on hyvin tärkeää tekniikan alalla. Näin ollen SAMK:n opetuksessa on panostettu sähkökoneisiin. Pääpaino on kolmivaiheisissa oikosulkumoottoreissa, jotka on yleisin sähkökonetyyppi. Iso osa laboratorion oikosulkumoottoreista on nimellistehoaltaan 1,5 kW. Laboratoriosta löytyy myös teholtaan hieman suurempia ja pienempiä moottoreita. Oikosulkumoottoreille tehdään monenlaisia kokeita. Niitä pyöritetään ilman kuormaa, pienellä kuormalla, nimelliskuormalla sekä ylikuormitetaan. Vaakakoneiden kannalta haastavimmat kokeet liittyvät oikosulkumoottorin lämpenemisen testaamiseen. Näissä kokeissa oikosulkumoottoria ylikuormitetaan pitkiäkin aikoja. Tällöin vastustavan koneen lämpeneminen voi aiheuttaa ongelmia. Tästä syystä jarrutettavan koneen on oltava teholtaan suurempi kuin testattava kone.

### 3.1.1 Vaakakoneen puutteita

Nykyisin teollisuudessa erilaiset sähkökäytöt lisääntyvät kaiken aikaa, joten laboratorioharjoituksia toteutetaan yhä enemmän taajuusmuuttajien avulla. Taajuusmuuttajalla syötettynä oikosulkumoottori saadaan pyörimään selvästi nimellispyörimisnopeuttaan lujempaa. Laboratorion vanhojen vaakakoneiden pyörimisnopeudet ovat melko alhaisia, joten ne hieman rajoittavat oikosulkumoottoreille tehtäviä testejä. Käytössä olevilla vaakakoneilla ei pysty täysin simuloimaan kaikkia mahdollisia kuormitus-tyyppejä, joita teollisuudessa on. Jaksottainen kuormitusmomentin vaihtelu on hankala simuloida laboratorion vaakakoneilla, joissa momentin säätö tapahtuu manuaalisesti, eikä muutenkaan kovin tarkasti. Jaksottaisen momentin voi toteuttaa vaakakoneilla säätämällä vastustavaa momenttia halutuksi tietyille aikaväleille. Vaakakone on kuitenkin hankala saada nopeasti kovin tarkasti haluttuun vääntömomenttiin. Jaksottaista käyttöä simuloimassa sekä momentin arvo että jakson aika hieman heittelee ja momentin nostaminen ja laskeminen kestävät jonkin verran, joten moottorin lämpeneminen ei tapahdu aivan samalla tavalla kuten teollisuuden jaksottaisissa kuormituksissa. (Matsch, Morgan 1986 sivut 282-285)

Taajuusmuuttajalla voidaan toteuttaa erityyppisiä kiihdytys- ja jarrutuskokeita, joissa olisi tärkeää saada vastustava momentti laajalle nopeusalueelle. Tasaisesti kasvava

tai pienenevä vastustava momentti on hankalaa toteuttaa vaakakoneen avulla. Vaakakone reagoi herkästi pieneenkin potentiometrin liikkeeseen, joten esimerkiksi minuutin aikana tasaisesti nolasta 15 Nm:iin kasva vääntömomentti on todella vaikea toteuttaa. Neliöllisesti kasvavan vääntömomentin toteuttaminen vaakakoneella vaatisi koneen käyttäjältä todella herkkää kättä. Taajuusmuuttajan avulla sähkömoottorin pyörimissuunta voidaan vaihtaa helposti. Suorakäyttöisenkin oikosulkumoottorin pyörimissuunnan saa vaihdettua muuttamalla vaihejärjestystä. Tämän ominaisuuden toteamisen kannalta on hyvä, että vaakakone pyörii molempiin suuntiin.

### 3.1.2 Puutteita ja mahdollisuuksia

Vaakakoneissa jarrutusenergia siirtyy vastuksissa hukkalämmöksi, mistä aiheutuu joskus ongelmia. Nykytekniikalla on mahdollista syöttää jarrutusenergia takaisin verkkoon, jolloin hukkalämpöä ei juurikaan tule ja energiatehokkuus paranee huomattavasti. Vaakakoneita käytetään myös tasavirtakoneiden ja tahtikoneiden testamiseen. Tasavirtakonetta testattaessa sitä käytetään niin moottorina kuin generaattorina. Tällöin on tärkeää että myös vaakakone voi olla sekä moottori että generaattori. Myös tahtikoneita käytetään laboratoriossa moottorina ja generaattorina. Oikosulkumoottorinkin toimintaa generaattorina kokeillaan eräässä laboratorioharjoituksessa. Laboratoriossa vaakakoneita käyttävät monen eri alan opiskelijat. Opiskelijat, joiden pääaine on jokin muu kuin sähkötekniikka eivät usein tunne kovin hyvin sähkökoneiden toimintaperiaatteita. Osa heistä on kokenut vaakakoneet hieman hankalina käyttää. Nykytekniikalla vaakakoneet olisi mahdollista toteuttaa jossain määrin helpompikäyttöisinä. Toisaalta monissa testeissä olisi mielenkiintoista saada vaakakoneesta muitakin mittausrvoja kuin vain pyörintänopeus ja vääntömomentti. Elektroninen ohjaus antaisi mahdollisuuksia tähän. Vaakakoneilla testataan useita erilaisia moottoreita, joten testattavan moottorin nopea ja helppo kiinnitys testialustaan on tärkeää.

Käytössä olevat vaakakoneet ovat melko isokokoisia, joten ne vievät tilaa laboratoriossa. Sähköisesti toteutettava momentin mittaaminen pienentäisi huomattavasti vaakakoneiden fyysistä kokoa. Testattava moottori täytyy nostaa melko korkealle lattian ta-

sosta, mikä tuo hivenen hankaluuksia. Hieman matalampi rakenne vaakakoneessa voisi olla turvallisempi ratkaisu. Osassa vaakakoneissa roottori voidaan lukita paikalleen metallitapin avulla. Tässä on ollut jonkin verran ongelmia, metallitappeja on katkeillut silloin tällöin. Nykytekniikka mahdollistaa moottorin pyörimättömänä pysymisen sähköisen ohjauksen avulla, jolloin tapeista päästäisiin eroon. Kokonaisuudessaan käytössä olevat vaakakoneet edustavat vanhentunutta tekniikkaa, joten olisi hyvä saada oppilaiden käyttöön nykyisin työelämässä käytössä olevaa teknologiaa. Varsinkin vaakakoneiden analogiset mittarit olisi syytä vaihtaa digitaaliseen mittaukseen. Sähkölaboratorioon saapuvilla vierailijoille huomio kiinnittyy helposti yli puoli metriä halkaisijaltaan oleviin vääntömomenttimittareihin, ja vieraalle syntyy helposti mielikuva museosta.

### 3.1.3 Käytännön ongelmia

Vaakakoneiden kanssa on muutamia silloin tällöin esiintyviä ongelmia, joista olisi hyvä päästä eroon. Yksi ongelmista on vaakakoneen moottorin ryntääminen. Tämä johtuu siitä, että oppilas kääntää vahingossa magnetointipiirin virran liian pieneksi. Oppilaat kääntelevät myös ankkuripiirin virransäätönuppia turhan huolettomasti. Vaakakoneen säätönupit ovat turhan herkkäliikkeisiä ja vahinkoja sattuu helposti. Jos testattava moottori on huonosti kiinnitetty alustaansa se voi jopa irrota ryntäämisen seurauksena ja tämä voi aiheuttaa vaaratilanteen. Olisi hyvä jos säätö olisi digitaalinen ja säädettäisiin suoraan pyörimisnopeutta, niin vahinkoja ei tapahtuisi niin helposti. Toinen ongelma on lukitun roottorin testiä tehdessä, jossa vaakakoneen roottori lukitaan metallitapin avulla. Metallitapit ovat joskus vääntyneet kokeessa ja niiden irrottaminen on ollut hankalaa. Pari kertaa tappi on jopa katkennut ja sen poistaminen vaakakoneen rakenteista on ollut sängen hankalaa. Ratkaisu ongelmaan voisi olla vaakakoneen moottorin pitäminen paikallaan sähköisesti samaan tapaan kuin hissi- ja nosturikäytöissä. (Match, Morgan 1986 sivut 271-273)

Vaakakoneen jarruvastusten lämpeneminen on joskus ongelmallista ja kun laboratoriossa on usein yhtä aikaa useampikin vaakakone käytössä, koko laboratoriotilan lämpötila voi tällöin nousta. Joskus laboratorioharjoitukset päättyvät vaakakoneen

lämpöreleen laukeamiseen. Tämän jälkeen kestää jonkin aikaa ennen kuin kone voidaan käynnistää uudelleen. Mahdollinen ratkaisu ongelmaan voisi olla vaakakoneen tuottaman sähköenergian siirtäminen verkkoon. Edellä mainitun kaltaisia ratkaisuja käytetään sovelluksissa joissa joudutaan jarruttamaan kuljettimia toistuvasti. Jarrutusenergian siirtäminen takaisin sähköverkkoon on myöskin taloudellisesti kannattavampaa kuin energian siirtäminen hukkalämmöksi. Vaakakoneen testattavaa moottoria vastustavan vääntömomentin säätäminen on hankalaa ankkuripiirin ja magnetointipiirin virtojen säätämisen avulla. Halutun momentin saavuttaminen halutulla pyörimisnopeudella on monesti hieman hankalaa. Joissakin taajuusmuuttajissa on käytössä suora momenttisäätö, jonka avulla saadaan moottori luovuttamaan haluttu vääntömomentti. Tämän tyyppinen ratkaisu voisi olla hyvä myös vaakakoneessa. Vanhat vaakakoneet ovat hivenen äänekkäitä. Tasavirtakoneet ovat hieman äänekkäämpiä kuin oikosulkumoottorit ja jo ikääntyneissä vaakakoneissa esiintyy välillä laakeriääniä. Vaakakoneiden runkorakenteissa esiintyy joskus resonanssiääniä. Hieman hiljaisemmat vaakakoneet lisääisivät laboratoriotyöskentelyn viihtyvyyttä.

Käytössä olevien vaakakoneiden mittarit ovat melko epätarkkoja. SAMK:n sähkölaboratoriossa ei tehdä virallisia mittauksia asiakkaille, joten sinänsä suuntaakin antavat mittaukset riittävät. Olisi kuitenkin hyvä, että mittalaitteet olisivat mahdollisimman tarkkoja. Taajuusmuuttajat pystyvät ilmaisemaan syöttämänsä moottorin pyörimisnopeuden melko tarkasti ja niille voi antaa pyörimisnopeus ohjeenkin, eikä ole välttämätöntä ohjata moottoria pelkällä taajuusohjeella (taajuusmuuttaja ohjaa aina moottoria taajuuden avulla, mutta käyttäjä voi antaa taajuusmuuttajalle pyörimisnopeusohjeen, jonka taajuusmuuttaja toteuttaa syöttötaajuuden avulla). Hyvinkin tarkkoja momenttiantureita on nykyisin olemassa, joskin ne ovat hintavia. Yksi momenttianturi ei ole kovin iso investointi laboratorioon ja jos edes yhdellä vaakakoneella pystyttäisiin tekemään tarkkoja mittauksia, se riittäisi hyvin SAMK:n käyttötarkoituksiin.

## 4 VAAKAKONEIDEN UUSIMINEN

### 4.1 Vaakakoneiden uusimistarve

SAMK:n sähkölaboratoriossa olevat vaakakoneet ovat jo melko iäkkäitä ja edustavat vanhentunutta tekniikkaa. Onkin syytä miettiä niiden uusimista. Tässä työssä olen ottanut selvää millaisia erilaisia vaihtoehtoja vaakakoneille olisi. Vanhat vaakakoneet perustuvat tasavirtakoneisiin, jotka alkavat olla pikku hiljaa käytöstä pois jäävää tekniikkaa. Tasavirtakoneita on käytetty paljon sovelluksissa, joissa on ollut tarvetta ajaa moottoria erilaisilla pyörintänopeuksilla. Parin viimeisen vuosikymmenen aikana taajuusmuuttajalla ohjatut oikosulkumoottorikäytöt ovat yleistyneet merkittävästi. Ennen taajuusmuuttajien aikakautta oikosulkumoottorien nopeuden ohjaaminen oli sangen hankalaa.

### 4.2 Erilaisia mahdollisuuksia

Nykytekniikka mahdollistaa erilaisia tapoja vaakakoneen toteuttamiseen, ohjaamiseen ja moottorin arvojen mittaamiseen. Alla on käsitelty erilaisia mahdollisuuksia vaakakoneen toteuttamiseen sekä määritelty SAMK:n tarvitsemia ominaisuuksia.

#### 4.2.1 Vaakakone taajuusmuuttajan avulla

Olemmekin päättäneet selvittää, voisiko vaakakoneen toteuttaa mahdollisesti taajuusmuuttajan avulla. Viime vuosina on tullut markkinoille verkkoon syöttäviä taajuusmuuttajia, jotka on tarkoitettu sovelluksiin, joissa sähkömoottoria käytetään myös jarruttamiseen. Aikaisemmin taajuusmuuttajiin on ollut saatavilla lisävarusteenä jarruvastuksia, joihin jarrutuksesta syntyvä energia on varastoitu. Jarruvastuksessa energia siirtyy hukkalämmöksi ja vastus muutenkin kuumenee nopeasti, eikä siten ole pystytty kovinkaan pitkäaikaisiin jarrutuksiin. Vastauksena tähän on kehitetty verkkoon syöttävä taajuusmuuttaja, jossa jarrutusenergia siirretään sähköverkkoon.

Tällä tavalla päästään eroon hukkalämmöstä ja prosessin hyötysuhde paranee huomattavasti. Verkkoon syöttävä taajuusmuuttaja voisi soveltua vaakakonekäyttöön.

#### 4.2.2 Mahdollisuuksia ohjaamiseen

Viimeisten vuosikymmenten aikana elektroniikan nopea kehitys on muuttanut mittaustekniikkaa voimakkaasti. Mittaaminen on nykyisin lähinnä digitaalista ja analogisten mittareiden käyttö vähenee koko ajan. Vaakakoneissa käytössä olevat analogiset mittarit lienevät korvattavissa digitaalisella mittauksella. Käytössä olevissa vaakakoneissa on vääntömomentin ja pyörimisnopeuden mittausta. Nykyisellä mittaustekniikalla voisi olla mahdollista mitata muitakin suureita. Vaakakoneita ohjataan muuttamalla säätövastuksen arvoja. Taajuusmuuttajia ohjataan lähinnä näiden käyttöpaneelista tai PC:n kautta. Taajuusmuuttajien ohjauspaneelista on nähtävissä taajuus, koneen pyörintänopeus, virta, jännite, tehokerroin, joskus koneen vääntömomenttikin ja paljon muitakin mittaustuloksia. Jos vaakakoneita käytettäisiin taajuusmuuttajalla, sitä voisi ohjata kätevästi paneelista ja mittaustiedotkin olisi saatavilla samasta paneelista. Tällainen ohjastapa edustaisi nykytekniikkaa ja siitä olisi opiskelijoille enemmän hyötyä työelämää ajatellen.

#### 4.2.3 Haluttuja ominaisuuksia

Vaakakoneita käytetään lähinnä oppilaitoksissa ja moottorivalmistajien laboratorioissa, joten niiden markkinat eivät ole kovinkaan isot, eikä näin ollen laitevalmistajia ole määrästään enempää. Olemme päättäneet kartoittaa eri valmistajien vaihtoehdot ja pohtia mikä olisi sopivin ratkaisu SAMK:n sähkölaboratorioon. Tarkoituksena olisi löytää sellainen ratkaisu, jonka avulla pystyisi toteuttamaan samat laboratorioharjoitukset kuin käytössä olevillakin vaakakoneilla. Nykytekniikka voi mahdollistaa myös sellaisia ominaisuuksia, joita vanhoissa vaakakoneissa ei ole ja näin laboratorioharjoituksiin voidaan saada uusiakin piirteitä. Nykytekniikalla vaakakoneita voitaneen ohjata tarkemmin ja toisaalta voitaneen saada tarkempia mittaustuloksia, jolloin pystytään paremmin osoittamaan laskennallisten arvojen yhteneväisyys mitattujen

arvojen kanssa. Johtuen vanhojen vaakakoneiden mittausepä-tarkkuuksista tehon laskeminen vääntömomentin ja pyörimisnopeuden avulla on tuottanut hivenen virheellisiä tuloksia.

Kävimme läpi mitä ominaisuuksia vaakakoneilta laboratoriossa vaaditaan ja tulimme siihen tulokseen, että vaakakoneella tulisi pystyä testaamaan sähkömoottoreita tehoalueella 0-2,2 kW. Pääasiallisesti vaakakoneilla testataan 1,5 kW:n tehoisia moottoreita, mutta laboratoriosta löytyy myös hieman tehokkaampia moottoreita. Ylikuormituskokeita ajatellen olisi hyvä, että vaakakoneella pystyisi jatkuvasti kuormittamaan testattavaa moottoria hieman yli 1,5 kW:n teholla. Laboratoriosta löytyy tahtikoneita joidenka suurin teho on 5,7 kW. Niitä voidaan kuitenkin testata pienemmällä magnetointivirralla, jolloin teho on pienempi. Laboratoriosta löytyy yksi 3 kW:n tehoinen oikosulkumoottori, sitä ei kuitenkaan tarvita tavanomaisissa laboratoriotöissä. Näin ollen arvioimme, että 2,2 kW:n teho riittää. Pyörimisnopeusalueeksi valitsimme 0-3000 r/min. Tavallisesti pysytään alle 1500 r/min nopeuksissa, mutta taajuusmuuttajaharjoituksissa voidaan kokeilla selvästi suurempiakin nopeuksia. Vanhoilla vaakakoneilla ei saisi käyttää yli 2200 r/min pyörimisnopeuksia, mikä on hieman rajoittanut taajuusmuuttajalla ohjatun oikosulkumoottorin käyttöä suurilla taajuuksilla.

Vaakakoneen tulisi olla sopiva tai helposti muutettavissa laboratoriossa nykyisin oleville moottoreille, joiden jalusta on mitoitettu siten, että akselin keskiö on 250 mm:n korkeudella alustasta. Vanhojen vaakakoneiden mitoituksen takia laboratoriossa oleville moottoreille on tehty jalustat, jotka nostavat moottorin akselin keskiön 250 mm:n korkeudelle alustasta. Olisi helpompaa, jos vaakakoneen saisi toteutettua siten, ettei tarvitsisi vaihtaa kaikkien moottoreiden jalustoja. Laitteiston tulisi olla niin helppokäyttöinen kuin mahdollista. Helppokäyttöisyys on vaikeasti määriteltävissä ja osittain käyttäjän totumuksista riippuvaa. Nykyiset opiskelijat ovat tottuneet pienestä pitäen käyttämään tietokoneita ja muita digitaalisia laitteita ja heille digitaalinen ohjauspaneeli tai PC:n kautta tapahtuva ohjaus tuntunee helpommalta kuin vanhojen vaakakoneiden manuaalinen ohjaus. Ohjaustavan olisi hyvä olla sellainen, että laitteen käyttäminen ei edellyttäisi kovin laajaa sähkötekniikan tuntemista, koska vaakakoneita käyttävät muidenkin alojen kuin vain sähkötekniikan opiskelijat. Tietenkin tämän tyyppiset laitteet on tarkoitettu käyttäjille, joilla on ymmärrystä sähkömoottorin sielunelämästä ja laitteita valmistetaan melko pieniä sarjoja, jolloin käyttöliitty-

mää ei ole kehitetty läheskään niin paljon kuin esimerkiksi älypuhelimissa ja muissa maallikkojen käyttöön tarkoitetuissa laitteissa joita myydään miljoonia kappaleita. Tarjouspyynnössä päädyimme siihen, että valintaperusteita painotetaan siten, että toiminnallisten ominaisuuksien merkitys on 40%, hinnan 30% sekä takuuajan, toimitusajan että teknisen tuen saatavuuden painotus on 10% kullekin ominaisuudelle.

#### 4.2.4 Tarjolla olevia vaihtoehtoja

Halusimme ottaa selvää, millaisia ratkaisuja muiden ammattikorkeakoulujen sähkölaboratorioissa on käytössä. Teimme vierailun Tampereen ammattikorkeakoulun sähkölaboratorioon ja tutkimme heidän käytössään olevaa laitteistoa. Se on SKS:n valmistama ja perustuu teknisesti servomoottoriin ja verkkoon syöttävään yksikköön. Laitteisto vaikutti mielenkiintoiselta ja päätimme tutustua tarkemmin sen soveltuvuuteen SAMK:n käyttöön. Puhelintiedustelussa Vaasan ammattikorkeakouluun selvisi, että heilläkin on SKS:n laite sekä heidän itse rakentamiaan samantyyppisiä laitteistoja. SKS:n moottorintestauslaitteistossa on mahdollisuus käyttää testattavaa konetta niin moottorina kuin generaattorinakin. Sen kierrosnopeusalue on 0-3000 r/min. Laitteistossa on mahdollisuus vastustaa moottoria erilaisilla vääntömomentin arvoilla sekä jaksottaisella kuormituksella. PC:n kautta voi ohjelmoida lisää erilaisia sovelluksia laitteeseen. Servomoottorissa on tehoa 5,65 kW, joten laitteen suoritusarvot riittävät SAMK:n käyttöön. Ohjaus tapahtuu paneelista ja paneeliin tulee näkyville erilaisia mittausarvoja. Kyseinen laitteisto syöttää jarrutuksessa syntyvän energian verkkoon ja näin ollen vältytään hukkalämmön aiheuttamilta ongelmilta. SKS:n laitteisto vaikuttaa soveltuvan hyvin SAMK:n sähkölaboratorion käyttötarkoitukseen.

Pohdimme myös vaihtoehtoa rakentaa vaakakone itse ja otin selvää erilaisista taajuusmuuttajavaihtoehtoista, joilla se voisi onnistua. ABB, Vacon ja Mitsubishi valmistavat melko pieniä verkkoon syöttäviä taajuusmuuttajia, joilla vaakakoneen toteuttaminen saattaisi olla mahdollista. Verkkoon syöttävä taajuusmuuttaja perustuu kaksisuuntaiseen tyristorisiltaan, jolloin koneen kääntyessä jarruttaessa moottorista generaattoriksi välipiiriin tuleva sähköteho pääsee takaisin verkkoon toisin kuin tavanomaisen taajuusmuuttajan yksisuuntaisessa tasasuuntaussillassa. Näin ollen säh-



kökone tuottaa tehoa verkkoon eikä kuluta sitä. Vaconin taholta esitettiin ratkaisumallia, jossa olisi kaksi invertteriä. Tässä mallissa toinen invertteri ohjaisi jarruttavaa moottoria ja saisi sen pyörimisnopeudesta tietoa pulssienkooderin välityksellä ja taajuusmuuttaja käyttäisi suljettua vektorisäätöä. Toinen invertteri olisi verkkoon syöttävää mallia ja se syöttäisi moottoria ohjaavaa invertteriä moottorikäytössä ja syöttäisi verkkoon generaattorikäytöstä syntyvän sähköenergian.

Vaakakoneen rakentaminen omin avuin saattaisi olla melko haastavaa lähinnä taajuusmuuttajan ohjelmoinnin kannalta, joka ei välttämättä sellaisenaan sovellu tarkoitettuun käyttöön. Verkkoon syöttävillä taajuusmuuttajilla pääasiallisesti jarrutetaan kuljettimia yms. eikä niitä ole tarkoitettu varsinaisesti moottoreiden testaamiseen. Niistä ei välttämättä löydy toimintoa, jolla voisi vastustaa kuormaa halutulla momentilla tai pitää moottoria paikallaan. Nosturikäyttöön tarkoitettuja taajuusmuuttajia on olemassa ja näistä löytyy paikallaan pito ominaisuus, mutta nosturisovellukset eivät muilta osin sovellu vaakakonekäyttöön. Päädyimme siihen, että ensisijaisesti yritämme löytää valmiin laitteiston.

#### 4.2.5 Internetistä löytyneitä vaihtoehtoja

Etsin Internetistä erilaisia tarjolla olevia vaihtoehtoja. Havaitsin, että polttomoottorien tehon ja vääntömomentin mittaamiseen on tarjolla useita erilaisia laitteistoja, mutta sähkömoottorisovelluksiin vaihtoehtoja on melko niukasti. Monet tarjolla olevat laitteistot on tarkoitettu huomattavasti isommille moottoreille, kuin mitä SAMK:n käyttötarve on. Jopa 500 kW:n tehoisille moottoreille tarkoitettut laitteistot eivät sovellu mitenkään sähkölaboratorion käyttöön. Sähkömoottoreiden testaamista suoritavat lähinnä sähkömoottoreiden valmistajat omien tuotteidensa kanssa. He ovat monesti rakentaneet testauslaitteistonsa itse ja ne on yleensä tarkoitettu melko tehokkaille sähkömoottoreille. Valmistajien lisäksi sähkömoottoreita testataan lähinnä vain joissakin teknisen alan oppilaitoksissa. Autojen virittäminen on suosittu harrastus joka puolella maailmaa ja sen takia polttomoottoreiden tehonmittauslaitteistoille on huomattavasti enemmän kysyntää kuin sähkömoottoreiden testauslaitteistoille ja näin ollen tehonmittauslaitteistojen tarjonta on keskittynyt pääasiassa polttomoottoreihin.

Osa tarjolla olevista laitteistoista on veteen jarruttavia ja ne soveltuvat lähinnä isompien moottoreiden tehon ja vääntömomentin mittaamiseen. Tämänkaltaiset dynamometrit kykenevät ainoastaan jarruttamaan eli niitä ei pysty käyttämään moottorina pyörittämään testattavaa generaattoria ja eivät siten sovellu SAMK:n käyttöön. Myöskin jaksottaisen kuorman simuloiminen on hankalaa edellä mainituilla laitteilla. Internetistä tietoja etsiessäni havaitsin, että hyvin harvoille moottorintestauslaitteistoille löytyy maahantuojia Suomeen. Suomi on pieni maa ja tämänkaltaisille laitteille on vähän kysyntää. Laitteiston hankkiminen suoraan esimerkiksi Yhdysvalloista voisi olla hankalaa ja kallista. Yhden laitteen asentaminen ja käyttökoulutuksen antaminen sekä mahdolliset takuusi asiat Atlantin tälle puolelle eivät välttämättä kiinnosta laitetoimittajia. Maailmalla käytetään jonkin verran erilaisia jännitteitä teollisuuden sähköverkoissa mikä rajoittaa hieman laitetarjontaa. 480 V:n jännitteellä toimiva testilaitteisto ei välttämättä toimisi kovin hyvin 400 V:lla. Joidenkin laitevalmistajien Internet-sivuilla ei ole kovinkaan täsmällisiä teknisiä tietoja laitteistoista, joten niiden soveltuvuuden arviointi on hankalaa.

Feedback-opetuslaitevalmistaja toimittaa sinänsä mielenkiintoista moottorintestauslaitteistoa, mutta se on tarkoitettu vain 250W:n tehoisilla moottoreilla ja generaattoreilla eikä se taas sovellu SAMK:n käyttöön. Kyseinen laite on täysin valmis paketti, missä on testattavatkin moottorit valmiina. Laitteisto olisi varmasti hyvä sähkökoneiden toiminnan havainnollistamiseen, mutta ei vastaa SAMK:n käyttötarkoitusta. Terco valmistaa myös laitetta jossa on kiinteä testattava moottori. Laite voisi olla muuten hyvä, mutta tavoittelemassamme käytössä testattavaa moottoria pitäisi voida vaihtaa. Terconkin laitteistossa on vain 250W:n moottori. Laitteisto on toteutettu siten että moottoria jarrutetaan magneettijarrulla sähkökoneen sijaan. Ratkaisu on mielenkiintoinen ja muista tarjolla olevista laitteistoista poikkeava. Tercon laitteistossa on oikosulkumoottori ja tasavirtamoottori ja näitä voidaan syöttää erillisesti muillakin kuin standardijännitteillä. Oikosulkumoottoria voidaan syöttää myös taajuusmuuttajalla. Tercon laitteisto on varmasti hyvä sähkömoottorin toiminnan havainnollistamisen kannalta, mutta ei oikein sovellu SAMK:n käyttöön.

## 5 VAAKAKONEIDEN HANKINTA

### 5.1 Hankintaprosessi yleisesti

Tarjouskilpailun perusteella päädyimme hankkimaan SKS:n valmistaman laitteiston. Muut vaihtoehdot eivät olleet soveltuvia SAMK:n sähkölaboratorion käyttöön. Niinpä aloin selvittää SKS:n laitteiston tarkempia ominaisuuksia ja mahdollisesti tarvittavia muutoksia laitteistoon ja laboratoriotiloihin. Laitetoimittajan taholta tuli kaksi henkilöä vierailemaan laboratorioon. Heidän kanssaan suunnittelimme laitteiston rungon tarkempaa mitoitusta. Laitteiston runko mitoitetaan siten, että testattavan moottorin akseli on 250 mm:n korkeudella alustasta, eikä näin ollen laboratorion moottoreiden jalustoja tarvitse muuttaa.

#### 5.1.1 Testattavan moottorin kiinnitys

Testattavan moottorin jalustan kiinnittämiseen vaakakoneen alustaan oli tarjolla kaksi tapaa. Kiskosto-ratkaisussa alustassa olisi samantyyppiset kiskot kuin vanhoissakin vaakakoneissa ja näin ollen testattavan moottorin voisi kiinnittää mihin kohtaan tahansa alustaa pituussuunnassa. Toinen ratkaisu vaihtoehto olisi levy, johon porattaisiin reikiä kiinnityspultteja varten. Mittasin laboratorioissa olevien testimoottoreiden jalustat ja havaitsin, että niitä on peräti kuutta eri kokoa. Sen lisäksi testimoottoreissa on erilaisia runkokokoja, jolloin akseli pää tulee hieman eri etäisyydelle jalustan keskipisteestä. Näin ollen kiinnityspultteja varten täytyisi porata todella monta reikää levyyn ja tämä voisi olla tuhoisaa levyn lujuuden kannalta. Joissakin laboratorioharjoituksissa testattavan moottorin ja vaakakoneen välissä on vauhtipyörä (huimamassa). Myös vauhtipyörän kiinnitystä varten pitäisi porata reikiä levyyn ja moottoreille uusia reikiä, jotta vauhtipyörä mahtuisi väliin. Arvioimme, että kiskosto-ratkaisu olisi sopivampi SAMK:n käyttöön.

### 5.1.2 Uuden vaakakoneen ominaisuuksia

Uusi vaakakone sijoitetaan aluksi laboratorioissa nurkkaukseen, joka on tarkoitettu tutkimuskäyttöön. Myöhemmin se sijoitettaneen jonkun vanhan vaakakoneen paikalle. Tästä tuskin tulee suurempia ongelmia, koska uusi vaakakone on fyysisiltä mitoiltaan pienempi kuin vanha. Tosin uuden vaakakoneen alle ei mahdu samalla tavoin moottoreita varastoon kuin vanhojen vaakakoneiden alle. Jos kaikki laboratorion vaakakoneet uusitaan, täytyy järjestellä jostakin säilytystilaa moottoreille. Uusi vaakakone tarvitsee vähintään 3\*25 A:n sähkönsyötön. Työpisteisiin tulee 3\*35 A:n syöttö, joten uutta kaapelointia ei tarvita.

SKS:n edustajien kanssa kävimme läpi laitteiston ominaisuuksia. Katsoimme, mitä ohjauspulpetti sisältää ja miten vaakakonetta käytetään. He näyttivät näyttöpaneelin käyttöä ja kertoivat, mitä dataa laitteisto mittaa ja näyttää. Kävimme myös pikaisesti läpi, miten laitteistoon tehdään omia ohjelmia. Keskustelimme, käytetäänkö PC:n ja vaakakoneen välillä sarjaliikenneporttia vai Ethernetiä ja päädyimme valitsemaan Ethernetin sen tarjoaman tiedonsiirtonopeuden takia. Laitteistoon tulee kosketusnäyttö perinteisen näyttöpaneelin ja näppäinten sijaan. Näytön koko myös kasvaa, jolloin saadaan enemmän dataa yhdelle sivulle ja laitteiston käyttäminen tulee ehkä hivenen helpommaksi. Sovimme alustavasti toimitusaikataulusta.

### 5.1.3 Uusia mahdollisuuksia

Tarkastelimme uuden vaakakoneen ominaisuuksia ja havaitsimme, että se on todella monipuolinen vanhaan verrattuna. Vaakakoneiden avulla toteutettavia laboratorioharjoituksia täytynee käydä läpi sillä ajatuksella, mahdollistaako uusi vaakakone sellaisia harjoitustöitä, joita ei vanhoilla pysty tekemään. Esimerkiksi jaksottaisen käytön mallintaminen onnistuu paljon paremmin uudella vaakakoneella. Joitakin laboratorioharjoituksia pystyttänee yksinkertaistamaan uuden vaakakoneen avulla. Uuden vaakakoneen pyörimisnopeuden mittausta perustuu pulssianturiin, joka on huomattavasti tarkempi kuin vanhojen vaakakoneiden pyörimisnopeusmittarit. Näin ollen ei

liene enää tarvetta mitata tarkempia pyörimisnopeuksia stroboskoopilla. Vääntömomentin mittaaminen perustuu servomootorin virranmittaukseen ja se tapahtuu 0,01 A:n tarkkuudella. Vääntömomentin tarkkuudeksi tulee noin 0,1 Nm, mikä on tarkempi kuin vanhoissa vaakakoneissa.

Uudesta vaakakoneesta saadaan monenlaista mittausdataa PC:lle. Aikaisemmin vanhoja vaakakoneita käytettäessä mittausdataa on kerätty lähinnä testattavasta moottorista. Uudesta vaakakoneesta saatua dataa voidaan verrata testattavasta moottorista saatavaan dataan, mikä antaa entistä paremman mahdollisuuden arvioida mittaustulosten oikeellisuutta. Aikaisemmin testattavan moottorin teho on laskettu pyörimisnopeuden ja vääntömomentin avulla. Vanhoissa vaakakoneissa molemmat arvot ovat olleet jonkin verran epätarkkoja, joten näiden epätarkkuuksien seurauksena laskettu teho on voinut olla hyvinkin kaukana todellisuudesta. Mittausarvojen tarkentuessa edellä mainitusta ongelmasta päästäneen eroon.

#### 5.1.4 Eroavaisuuksia vanhaan vaakakoneeseen

Uuteen vaakakoneeseen voidaan ohjelmoida erilaisia jaksottaisen käytön syklejä ja näin ollen ei tarvitse säätää jaksotusta sekuntikellon avulla. Uudesta vaakakoneesta löytyy ominaisuus pitää roottoria paikallaan sähköisesti. Tämä taas vapauttaa metallitapin käytöstä lukitun roottorin testiä tehdessä. Uuteen vaakakoneeseen voi ohjelmoida erilaisia kiihdytys- ja hidastusramppeja, mikä ei ole ollut mahdollista vanhoilla vaakakoneilla. Pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia on voinut säätää, mutta vääntömomentin pitäminen vakiona eri pyörimisnopeuksilla ei ole oikein onnistunut. Uuden vaakakoneen suurin pyörimisnopeus on 3000 1/min, jolloin voidaan paremmin testata oikosulkumoottorin toimintaa suuremmilla taajuuksilla. Vanhoilla vaakakoneilla ei saisi ylittää 2200 1/min. Olen koettanut pyörittää vanhaa vaakakonetta noin 3000 1/min, mikä on onnistunutkin, mutta äänestä ja tärinästä päätellen tämä on ollut selvästi liikaa vanhalle tasavirtakoneelle.

Uudessa vaakakoneessa pyörimisnopeuden säätö tapahtuu potentiometriä kääntämällä, mikä taas antaa taajuusohjeen taajuusmuuttajalle. Vanhan vaakakoneen pyörimis-

nopeutta on voinut säätää magnetointipiirin esivastuksella. Nopea potentiometrin kääntö on johtanut magnetointivirran tippumiseen ja koneen ryntäämiseen eli kierosnopeuden voimakkaaseen nousuun. Tätä ei pitäisi tapahtua uudella vaakakoneella. Vanhoilla vaakakoneilla moottorien pitkäaikaiset kuormitustestit ovat joskus aiheuttaneet lämpöreleiden laukeamisia. Tästä pitäisi päästä eroon uudella vaakakoneella, koska ne generaattorina toimiessaan syöttävät energiansa verkkoon, toisin kuin vanhat vaakakoneet, jotka syöttävät tuottamansa sähköenergian vastuksiin, jotka lämpenevät voimakkaasti.

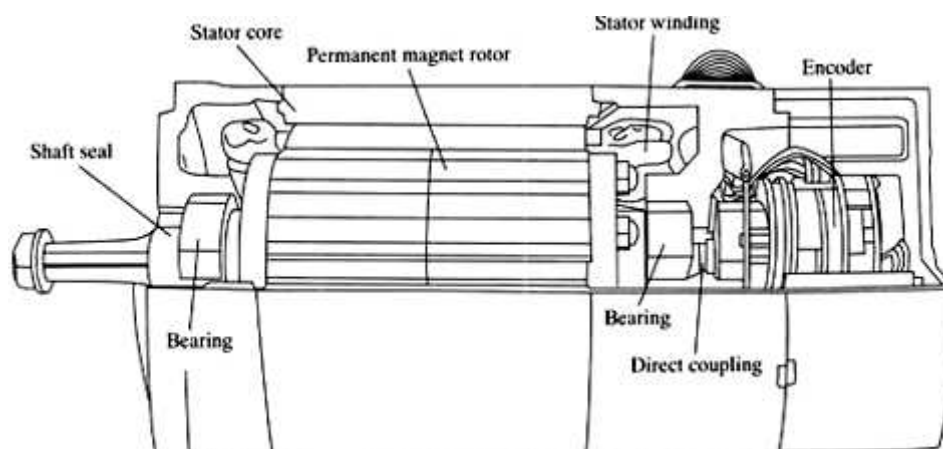
Käytettäessä vanhoja vaakakoneita moottorina niiden pyörimissuuntaa ei ole saanut vaihdettua. Uudella vaakakoneella tämäkin onnistuu. Uudessa vaakakoneessa testattava moottori on matalammalla kuin vanhoissa, joten moottoria ei tarvitse nostaa niin korkealle kuin aikaisemmin, mikä lisää työturvallisuutta. Uusi vaakakone on ehkä hivenen helpompi käyttää kuin vanhat. Vanhatkin vaakakoneet ovat yksinkertaisia käyttää, sen jälkeen niiden kanssa on muutaman tunnin operoinut. Aivan aluksi ne tuntuvat vaikeakäyttöisiltä. Vanhojen vaakakoneiden kanssa on kaipailtu selkeitä käyttöohjeita. Tarkoitus olisi tehdä yksinkertaiset käyttöohjeet uudelle koneelle ja sijoittaa ne koneen viereen, jotta vaakakoneen käyttäminen sujuisi ilman kovin perusteellista käyttökoulutusta. Vanhoissa vaakakoneissa on kytkin, josta valitaan, käytetäänkö verkkosyöttöä vai erillissyöttöä. Tämän kytkimen kääntäminen virrallisena on voinut aiheuttaa valokaaria. Uudessa vaakakoneessa ei ole vastaavaa kytkintä. Uuden vaakakoneen kosketusnäyttö ja tarvittaessa PC:lle tuleva mittausdata edustavat tämän päivän teknologiaa huomattavasti paremmin kuin vanhat vaakakoneet. Uutta vaakakonetta käyttämällä oppinee enemmän työelämässä tarvittavia taitoja kuin vanhoja vaakakoneita käyttämällä.

## 5.2 Tekniikkaa tarkemmin

SAMK:n hankkima vaakakone on SKS:n valmistama ja sen tekniset pääkomponentit ovat verkkosyöttävä taajuusmuuttaja ja servomoottori. Alla on kuvailtu tarkemmin servomoottoria ja verkkosyöttävää taajuusmuuttajaa.

### 5.2.1 Servomoottori

Vaihtovirtaservomoottorikäytöt on tarkoitettu tarkkaa nopeus- tai asematietoa vaativiin sovelluksiin. Ne koostuvat tavallisimmin kolmivaiheisesta oikosulkumoottorista, pyörimisnopeutta ja akselin asentoa mittaavasta pulssianturista sekä taajuusmuuttajasta ja muusta tarpeellisesta ohjauslogiikasta. servomoottori eroaa rakenteeltaan tavallisesta oikosulkumoottorista lähinnä siten, että siinä on erillinen sähköinen tuuletin. Tavanomaisessa oikosulkumoottorissa tuuletin on kiinnitetty suoraan moottorin akseliin ja näin ollen hyvin hiljaisissa pyörimisnopeuksissa moottori voi ylikuumentua. Servomoottorikäytössä käytetään usein hyvinkin hiljaisia pyörimisnopeuksia ja joskus kuormaa joudutaan pitämään paikoillaan sähköisellä jarrutuksella. Servomoottorit ovat yleisimmin harjattomia ja kestopäinetoituja. Servomoottorin roottori voi olla hivenen pidempi, mutta säteeltään pienempi kuin oikosulkumoottorissa. Tämä siksi, että roottorin hitausmomentti muodostuu hieman pienemmäksi kuin oikosulkumoottorilla ja näin ollen mahdollistaa hieman nopeamman siirron haluttuun asemaan. (VTT AC-servomoottori 2005 sivut 5-9)



Kuva 1 Servomoottorin halkileikkaus

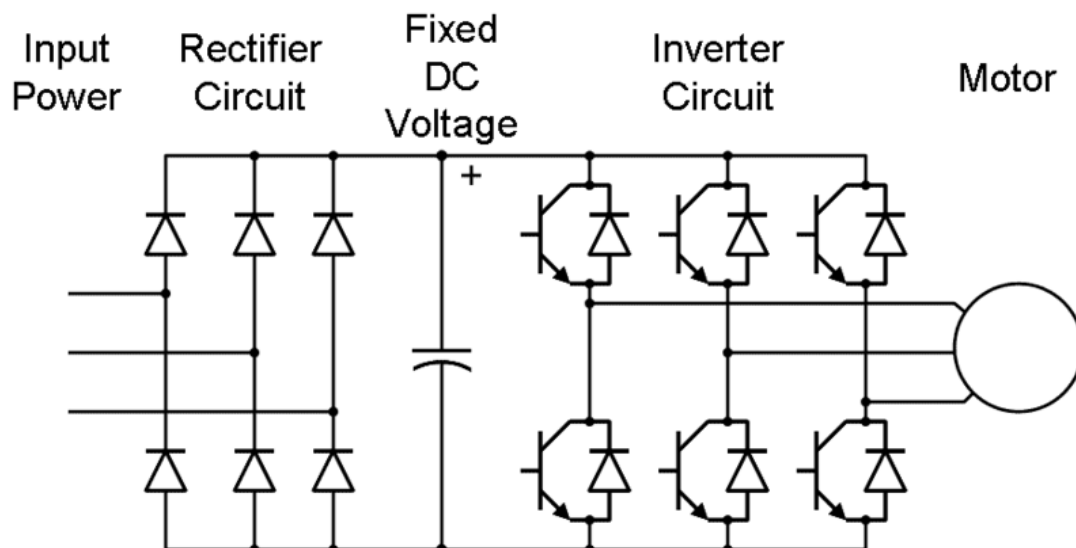
### 5.2.2 Verkkosyöttävä taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on laite, jolla yhdistetään kaksi eri taajuista sähköverkkoa. Tavanomainen käyttökohde on oikosulkumoottorin ohjaus, jossa moottorin nopeutta säädetään halutuksi syöttämällä sille valtakunnan verkon taajuudesta poikkeavaa

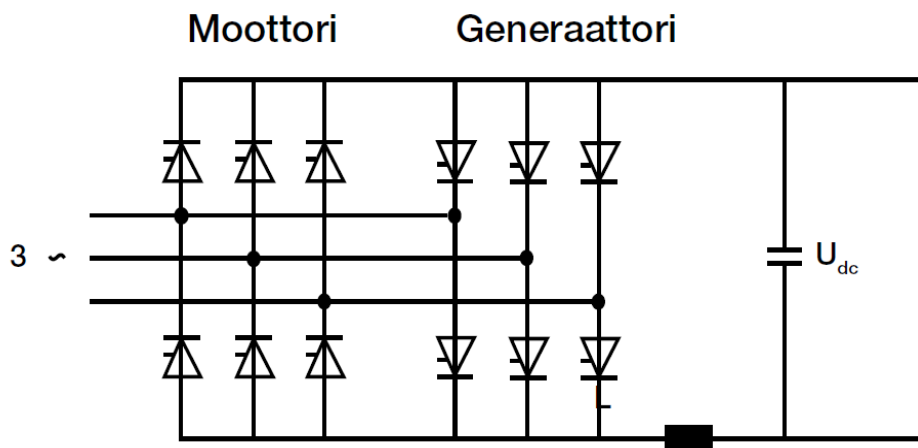
taajuutta. Tämä toteutetaan teknisesti siten, että verkosta saatava vaihtosähkö tasasuunnataan ja saatu tasa sähkö vaihtosuunnataan halutulle taajuudelle. Taajuusmuuttajan syöttämä sähkö ei ole puhdasta vaihtosähköä vaan se on ”pilkottua” tasasähköä. Taajuusmuuttaja syöttää eri pituisia ja eri levyisiä jännitepulsseja, jolloin syötetty jännite muistuttaa siniaaltoa. Tavanomaisessa taajuusmuuttajassa on yksi 6-pulssi diodisilta, joka hoitaa tasasuuntauksen välipiiriin. Välipiirissä oleva kondensaattori tasaa jänniteheilahteluja. Yleisimmissä taajuusmuuttajissa IGB-transistorit hoitavat vaihtosuuntauksen.

Verkkoon syöttävä taajuusmuuttaja on laite, jossa moottorin jarrutusenergia voidaan syöttää sähköverkkoon. Verkkoon syöttävä taajuusmuuttaja perustuu kahteen vastarinnankytkettyyn tyristorisiltaan. Ensimmäinen tyristorisilta hoitaa tasasuuntauksen samalla tavalla kuin diodisilta tavanomaisessa taajuusmuuttajassa. Energian suunnan kääntyessä verkon suuntaan, ensimmäinen silta sammutetaan ja toinen silta alkaa hoitamaan sähkönsyöttöä verkkoon päin. Generaattoripuolen silta hoitaa myös tarvittavan vaihtosuuntauksen. Kaksoissiltaa käytettäessä vain yhtä siltaa voidaan pitää kerrallaan päällä. Tyristorien ohjauskulmaa säädetään jatkuvasti, jotta välipiirin jännite saadaan pidettyä halutulla tasolla. Verkkoon syöttäviä taajuusmuuttajia on ollut käytössä vasta melko vähän aikaa, johtuen lähinnä siitä, että niiden ohjaaminen vaatii tehokkaan prosessorin, jollaisia ei ole ollut markkinoilla kovin pitkään. Viimeisten vuosien aikana energiatehokkuuteen on alettu kiinnittää huomiota entistä enemmän, joten erilaisten prosessien jarrutusenergian hyödyntäminen on alkanut kiinnostaa aiempaa enemmän. Näin ollen verkkoon syöttävät taajuusmuuttajat ovat melko tuoretta tekniikka ja niistä on kertynyt suhteellisen vähän käyttökokemusta. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2011)(ABB tekninen opas 8 2011)





Kuva 2 Tavanomaisen taajuusmuuttajan pääpiirikaavio



Kuva 3 Verkkoon syöttävän taajuusmuuttajan pääpiirikaavio

### 5.3 SKS:n laitteiston sisältämät pääosat

Unidrive SP 2402 -taajuusmuuttaja

- lähtöteho 7,5 kW

- lähtövirta 16,6 A (28,9 A max 20 sek)

- syöttöjännite 3\*380 - 480 VAC +/- 10%

- kotelointiluokka IP20
- mitat (kxlxs) 368x155x219 (274) mm

#### Unidrive SP 2402 –verkkoonjarruttava yksikkö

- lähtöteho 7,5 kW
- lähtövirta 16,6 A (28,9 A max 20 sek)
- syöttöjännite 3\*380 - 480 VAC +/- 10%
- kotelointiluokka IP20
- mitat (kxlxs) 368x155x219 (274) mm

#### Verkkoonjarutus komponentit

- EMC-suodin
- Regenkuristin
- Kytkentätaajuussuotimen kondensaattori
- starttivastus

#### Unimotor FM 142 U2 E 300 VACAA 165240 harjaton servomoottori

- vääntömomentti 23,4 / 70,2 Nm (max)
- kierrosluku 3000 rpm
- takaisinkytkentä Pulssianturi 4096 p/r
- sähköiset kytkennät liittimillä
- pituus 347,1 mm
- akseli P 24 mm
- ohjausolake 130 mm
- kiinnitysreijät 4\*d 12 mm / mm

#### SM Näyttö / näppäimistö (LED)

2 kpl SM Smartcard muistikortti, parametrien varmuuskopiointiin.

#### SM Sovelluslogiikka

#### SM I/O plus

- 3 digitaalituloa
- 3 ohjelmoitavaa digitaalituloa/lähtöä
- 2 analogiatuloa +-9,8V +-5%
- 1 analogialähtö +-10V +-7%

- 2 lähtörelettä
- +24V lähtö 240mA

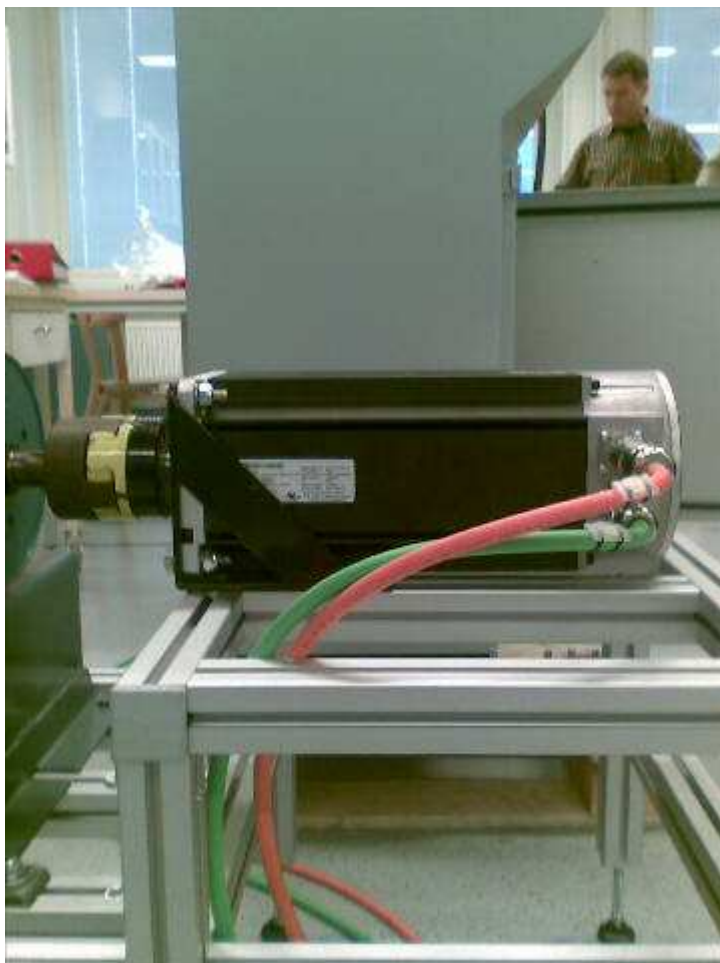
#### 5.4 Käytännön kokemuksia uudesta vaakakoneesta

Uuden vaakakoneen tultua laboratorioon suoritin sillä erilaisia testejä. Havaitsin laitteiston melko helppokäyttöiseksi ainakin paneelista käytettynä. Laitteiston potentiometreistä tapahtuva säätö ei ole niin herkkä kuin vanhoissa vaakakoneissa. Servomoottoria ohjaava taajuusmuuttaja on ohjelmoitu siten, että moottori ei ylitä 3000 1/min pyörimisnopeutta. Suurimman mahdollisen pyörimisnopeuden saavuttaminen edellyttää useampaa potentiometrin kierrosta, joten pyörimisnopeus ei karkaa liian suureksi vahingossa. Uusi vaakakone on sangen hiljainen vanhoihin vaakakoneisiin verrattuna. Laitteiston pyörimisnopeuden ja vääntömomentin säätäminen on huomattavasti tarkempaa kuin vanhoissa laitteissa. Pyörimisnopeutta pystyy säätämään portaattomasti nolasta lähtien. Toisin kuin vanhat vaakakoneet, SKS:n laitteistossa moottoria voi pyörittää myös hyvin hiljaisilla nopeuksilla. Laitteiston antamat mittausarvot ovat ilmeisen tarkkoja. SKS:n laitteistossa on graafiset näytöt pyörimisnopeudelle ja vääntömomentille, jotka piirtävät käyrää ajan funktiona. Laitteiston mukana tulee PC-ohjelmia, joilla voidaan ohjata laitteistoa ja ohjelmoida siihen lisää toimintoja. Ohjaustoimintojen lisäksi on myös oskilloskooppiohjelma, jonka avulla voi monitoroida tarkemmin servomoottorin arvoja. Koneen saa käynnistettyä momenttia vastaan. Niin pyörimisnopeuden kuin vääntömomentinkin ohjearvon voi asettaa ennen koneen käynnistämistä. Servomoottorin suunnanvaihto onnistuu vaikka moottorin pyöriessä kuormitettuna. Verkkoon syötöstä johtuen pitempikään testi-moottorin kuormitus ei aiheuta merkittävää hukkalämpöä. Toisin kuin vanhoilla vaakakoneilla, SKS:n laitteistolla voi kuormittaa testattavaa moottoria jaksottaisesti. Kahteen eri momentin arvoon perustuva jaksottainen kuormitus tuntui helppokäyttöiseltä. Niin kuormitusmomenttia kuin jakson aikaakin pystyy säätämään koneen pyöriessä. Laitteiston kosketusnäyttö tuntui ainakin minusta sangen helppokäyttöiseltä. Vanhat vaakakoneet käynnistyvät moottorina vain suurimmalla mahdollisella magne-tointiviralla ja generaattorina pienimmällä mahdollisella. Näin ollen ne on säädettävä haluttuun arvoon niiden pyöriessä. Sen sijaan uusi vaakakone voidaan säätää haluttuihin arvoihin ennen kuin kone käynnistetään, jolloin servomoottori asettuu ohjear-

voihinsa lähes välittömästi käynnistyksen jälkeen. Tämä helpottaa joidenkin laboratorioharjoitusten toteutusta.



Kuva 4 SKS:n vaakakoneen ohjauspulpetti



Kuva 5 SKS:n vaakakoneen servomoottori

## 6 YHTEENVETO

Työ oli mielestäni mielenkiintoinen ja haastava. Selvitin käytössä olevien vaakakoneiden toimintaperiaatteen ja tarkastelin millaisissa tehtävissä niitä käytetään sekä millaisia ongelmia vaakakoneiden käytössä on ollut ja mietin ratkaisuja niihin. Pohdin nykytekniikan tarjoamia mahdollisuuksia vaakakoneen toteuttamiseen. Selvitin millaisia sähkömoottoreiden koestuslaitteistoja markkinoilta löytyy ja millainen laite

SAMK:n käyttötarkoitukseen sopisi. Löysimme mielestäni todella hyvän laitteen ja se päätettiin hankkia laboratorioon. Selvitin myöskin SAMK:n hankkiman laitteen tekniikkaa tarkemmin. Työstäni voi olla apua muidenkin oppilaitosten vaakakone hankintoihin.

## 7 LÄHTEET

Stephen J. Chapman: Electric machinery fundamentals 4.painos 2005

Leander W Matsch, J. Derald Morgan: Electromagnetic and Electromechanical machines 1986

Lappeenrannan teknillisen yliopiston Internet-sivu 7.10.2011:

[http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical\\_engineering/articles/inverter/Sivut/Default.aspx](http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/articles/inverter/Sivut/Default.aspx)

ABB Tekninen opas numero 8- Sähköinen jarrutus Internet-sivu 7.5.2011

[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/\\$File/Tekninen\\_opasnro8.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/$File/Tekninen_opasnro8.pdf)

VTT:n raportti: AC-servomoottori - rakenne, vikaantuminen 12.8. 2005

ja havainnointimenetelmät. Internet-sivu sivut 5-9. luettu 11.10.2011

[http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori\\_rakenne\\_vikaantuminen&havainnointi.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf)

Kuva 1 VTT:n raportti: AC-servomoottori - rakenne, vikaantuminen

ja havainnointimenetelmät. Internet-sivu sivut 5-9. luettu 11.10.2011

[http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori\\_rakenne\\_vikaantuminen&havainnointi.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf)

Kuva 2 Wikipedia: taajuusmuuttaja Internet sivu luettu 2.11. 2011

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Taajuusmuuttaja>

Kuva 3 ABB Tekninen opas numero 8- Sähköinen jarrutus Internet-sivu 7.5.2011  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/\\$File/Tekninen\\_opasnro8.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/$File/Tekninen_opasnro8.pdf)



