



**Suomen**

**käytön suunnittelu ja mitoitus**

Juho Lepistö

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2014  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Älykkäät koneet

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Älykkäät koneet

JUHO LEPISTÖ:

Suotimen käytön suunnittelu ja mitoitus

Opinnäytetyö 45 sivua.

Maaliskuu 2014

---

Opinnäytetyön tarkoituksena on kiekkosuotimen käytön suunnitteluprosessin nopeuttaminen. Kiekkosuotimen käyttö pitää sisällään vaihteen, kiilahihnavälityksen ja sähkömoottorin. Opinnäytetyössä vertailtiin eri valmistajien vaihteiden käyttöä kiekkosuotimessa. Mitoitus tehtiin 7 - 30 kiekon määrälle, joka toimii saostuspositiossa massalinjal-la. Tämän tyyppisen kiekkosuotimen pyörimisnopeus on suurempi kuin save-all kiekkosuotimen. Käytön mitoituksessa käytettiin apuna kahta momentin mittauksesta saatua arvoa.

Käytön momenttiarvojen oletettiin muuttuvan lineaarisesti momentin mittauksesta saatujen arvojen mukaan. Mitoitus tehtiin voimansiirron komponenttien valmistajien ja edustajien mitoitusohjeiden mukaan.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi eri kiekkomäärille valintataulukko, josta voidaan valita eri valmistajilta sopiva vaihde. Taulukko kertoo lisäksi tarvittavien kiilahihnojen määrän sekä suositellun kiilahihnavälityksen välityssuhteen. Tutkimusta tehtäessä löydettiin vaihtoehtoinen vaihdetyyppi. Sen käyttö vaikuttaisi parannukselta lieriöhammasvaihteeseen nähden tässä sovelluksessa.

Tämä on opinnäytetyön julkinen osa.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Intelligent Machines

JUHO LEPISTÖ:  
Drive Design and Dimensioning of a Filter

Bachelor's thesis 45 pages.  
March 2014

---

The aim of this thesis was to speed up the design process for a disc filter. The drive of the disc filter contains a gearbox, v-belt drive and electric motor. This thesis compared the use of different manufacturers' gearboxes in the disc filter. Dimensioning was done from 7 to 30 discs. The dimensioning was done for a disc filter which works as thickener in the pulp line. This type of disc filter rotates faster than a save-all disc filter. As a basis for the dimensioning, two torque values obtained from a currently working disc filter were used.

The drive's torque values were assumed to change in a linear manner according to the measured values. Component dimensioning was done according to the instructions given by the component manufacturers and their representatives.

A result of this thesis was a selection table for different disc quantities, where one can choose a suitable gearbox from a range supplied by different manufacturers. The table shows the number of v-belts needed and the recommended gear ratio for the belt drive. During the research, it was found that a different type of gear unit could be used instead of a helical gear unit. This alternative gear unit seems to be much better than the helical gear unit for this application.

This is the public version of the thesis.

---

Key words: disc filter, drive, design, dimensioning

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	KARTONGIN VALMISTUSPROSESSI .....	8
	2.1 Massan valmistus .....	8
	2.2 Rainan muodostus .....	9
	2.3 Puristus.....	9
	2.4 Kuivatusosa.....	10
	2.5 Kalanterointi .....	10
	2.6 Rullaus .....	11
	2.7 Jälkikäsitelyt .....	11
	2.8 Vesijärjestelmät .....	11
	2.8.1 Lyhyt kierto .....	12
	2.8.2 Pitkä kierto .....	12
3	KIEKKOSUODIN.....	13
	3.1 Osana kartonkikoneen prosessissa.....	13
	3.2 Toimintaperiaate .....	14
	3.2.1 Täyttövaihe.....	15
	3.2.2 Suodatusvaihe 1 .....	16
	3.2.3 Suodatusvaihe 2 .....	17
	3.2.4 Kuivatusvaihe.....	17
	3.2.5 Massakakun pudotusvaihe .....	18
	3.2.6 Sektorin puhdistusvaihe .....	19
4	KIEKKOSUOTIMEN VOIMANSIIRRON KOMPONETTIEN VERTAILU .....	20
	4.1 Vaihteiden eroavaisuudet valmistajien välillä .....	20
	4.1.1 Dimensiot ja massa .....	21
	4.1.2 Akselinavat ja kiinnitys.....	22
	4.1.3 Hinta ja toimitusaika .....	23
	4.2 Sähkömoottorien eroavaisuudet.....	24
	4.3 Hihnavälitysten eroavaisuudet .....	25
5	KÄYTÖN MITOITUS .....	26
	5.1 Vaihde.....	26
	5.1.1 Vääntömomentti .....	27
	5.1.2 Käyttökerroin .....	27
	5.1.3 Mitoitus .....	28
	5.2 Sähkömoottori.....	30
	5.2.1 Sähkömoottorin teho .....	31
	5.3 Kiilahihnan mitoitus .....	37

5.3.1 Siirrettävä teho .....	37
5.3.2 Hihnapyörien valinta.....	38
5.3.3 Akseliväli .....	39
5.3.4 Kiilahihnan tehonsiirto.....	41
6 POHDINTA.....	44
LÄHTEET.....	45

**LYHENTEET JA TERMIT**

opasiteetti	läpinäkymättömyys
bulkki	paperin ominaistilavuus, cm <sup>3</sup> /g
<i>P</i>	teho, W
<i>M</i>	momentti, Nm
<i>f</i>	taajuus, Hz
save all	nimitys kiekkosuotimesta kuiduntalteenotossa

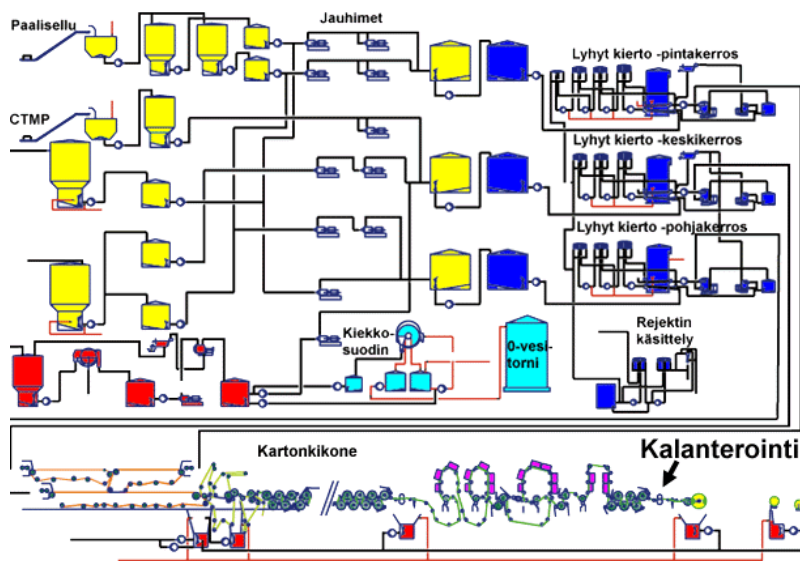
## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitteluprosessin nopeuttaminen. Aiemmin suunnittelu on täytynyt tehdä projektikohtaisesti erikseen eri kokoluokan kiekkosuotimille. Tehtävänantona oli kiekkosuotimen pääkäytön komponenttien taulukoiminen kiekko määrillä 7 - 30 kiekkoa. Lisäksi tuli tehdä vertailua eri valmistajien vaihteiden käytöstä suunnittelun kannalta oleellisten muuttujien osalta. Massalinjalla toimivan kiekkosaostimen pääkäytön mitoituksessa tuli ottaa huomioon suurentunut pyörimisnopeus erona save all -kiekkosuotimeen.

Opinnäytetyössä on aluksi esitetty kartongin valmistusprosessin peruseriaatteet ja pääkomponentit. Tämän lisäksi on käsitelty kiekkosuotimen tarkoitus osana prosessia, toimintaperiaate ja pääkomponentit. Lopuksi on esitetty tarkemmin vaihteen, kiilahihnan ja sähkömoottorin mitoitusperiaatteet ja mitoitus kiekkosuotimen pääkäytön osalta. Lähtötietona mitoitukseseen on käytetty kahta momentinmittauksesta saatua arvoa, jotka ovat julkisessa versiossa muunnettu arvojen luottamuksellisuuden vuoksi.

## 2 KARTONGIN VALMISTUSPROSESSI

Kartonkitehtaat voivat käyttää useita eri reseptejä massalle samaan aikaan. Tämän ansiosta voidaan valmistaa erilaisia massoja pinta- suoja-, runko- ja taustakerroksiin. Kartonki valmistetaan osaksi jätepaperista ja -kartongista sekä mekaanisesta tai kemiallisesta massasta. Kartongin valmistusprosessiin (Kuvio 1) kuuluu kuusi päävaihetta: massan valmistus, rainan muodostus, puristus, kuivatus, kalanterointi ja rullaus. Seuraavassa kuvataan edelliset vaiheet tarkemmin. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)



Kuvio 1: Taivekartonkilinja, kiekkosuodin save-all positiossa (KnowPap, 2013)

### 2.1 Massan valmistus

Massan ja keräyspaperin hajottamiseen käytetään pulpperia. Pulperin roottori hajottaa massaa ja työntää sen seulalevyjen läpi. Pulperointivaiheessa massasta poistetaan epäpuhtauksia, kuten paalilangat ja kierrätysmateriaalin mukana tulleet epäpuhtaudet. Pulperoinnin jälkeen massa pumpataan yleensä sakeamassapuhdistimen läpi. Puhdistin erottaa pääasiassa metallia, kiviä ja karkeaa hiekkaa. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)

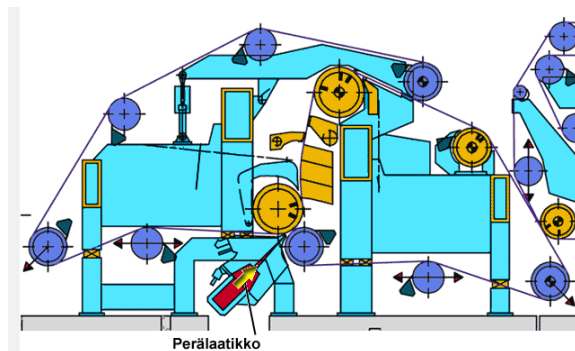
Jauhatus on prosessi, jolla voidaan muuttaa kartongin laatua. Jauhatus lisää kartongin lujuutta ja suotautumisvastusta sekä tiivistää massan rakennetta. Vastaavasti opasiteetti, bulkki, mitanpysyvyys, huokoisuus ja kokoonpuristuvuus pienenevät jauhatuksen edistyessä. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)



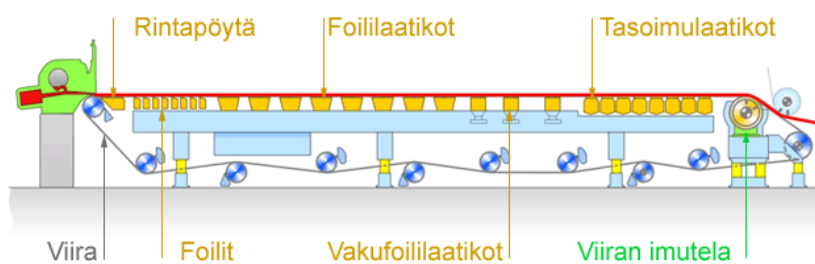
## 2.2 Rainan muodostus

Massasulppu syötetään rainanmuodostusosalle laimennettavaksi lyhyeen kiertoon. Lyhyellä kierrolla tarkoitetaan viiraosalla poistettavan veden käyttämistä sulpun laimennukseen uudelleen perälaatikossa. Kartonkikoneessa saattaa olla useita perälaatikoita, joilla rainaan voidaan lisätä ominaisuuksiltaan halutunlainen kerros massasulppua. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)

Perälaatikon (Kuvio 2) tehtävä on levittää laimennettu sulppu tasakorkeana patjana koko kartonkikoneen leveydelle, kiihdyttää sopivaan nopeuteen ja syöttää sulppu viiraosalle (Kuvio 3). Viiraosalla sulpusta aletaan poistaa vettä, yleensä 96 - 98 %:a sen sisältämästä vedestä. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)



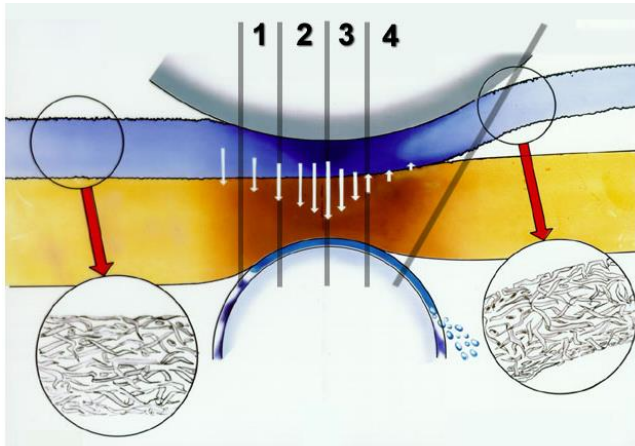
Kuvio 2: Perälaatikko (KnowPap, 2013)



Kuvio 3: Tasoviira (KnowPap, 2013)

## 2.3 Puristus

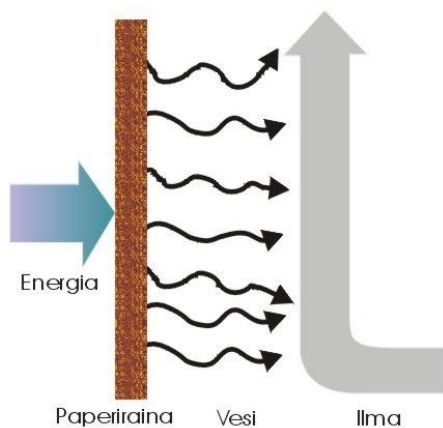
Rainanmuodostuksen jälkeen kartonkirata ohjataan puristinosalle. Puristamisella rainasta poistetaan pääasiassa vettä. Samalla rainan tiheys ja märkäluku kasvavat. Puristamisella, puristinhuovilla ja nippityypillä voidaan vaikuttaa kartongin pintojen sileyteen ja tiivistymiseen. Nippi (Kuvio 4) tarkoittaa puristustapahtumaa, nipin muodostavat kaksi puristintelaa tai tela ja puristuskenkäpari. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)



Kuvio 4: Niippitapahtuman vaiheet (KnowPap, 2013)

## 2.4 Kuivatusosa

Raina ohjataan seuraavaksi kuivattavaksi (Kuvio 5), jolloin vesi haihdutetaan pois. Rata kulkee pääsääntöisesti höyrylämmitteisten sylintereiden läpi. Tehokkainta olisi, että kuiva-ainepitoisuus saataisiin mahdollisimman korkeaksi jo rainanmuodostus- ja puristinvaiheessa, koska energiaa kuluu paljon tässä vaiheessa. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)



Kuvio 5: Paperirainan kuivatus (KnowPap, 2013)

## 2.5 Kalanterointi

Kalanteroinnin tarkoituksena on aikaansaada haluttu pinnan sileys ja kiilto sekä säätää kartongin paksuus ja tiheys. Kalanteri muodostuu kahdesta tai useammasta telasta, joiden muodostaman nipin kautta kartonki kiertää. Erityyppisten telojen, jarrusysteemien ja harjojen valinnalla voidaan vaikuttaa kartongin laatuun. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)

## 2.6 Rullaus

Kalanteroinnin jälkeen kartonki on valmista pituusleikkurille ja rullattavaksi, varastoitavaksi ja toimitettavaksi asiakkaille. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)

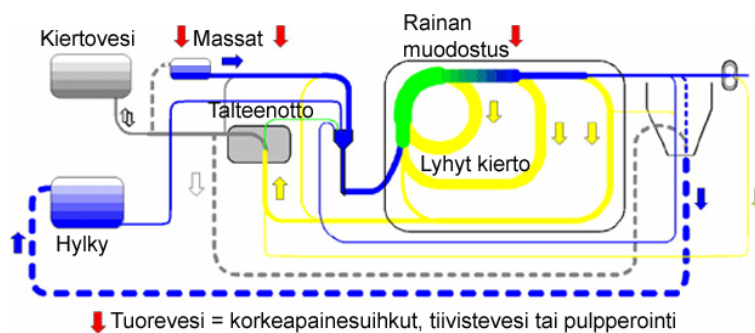
## 2.7 Jälkikäsittelyt

Kartongille voidaan tehdä jälkikäsittelyjä. Pintaliimauksessa tarkoituksena on kartongin pinnan sulkeminen ennen päällystystä ja lisätä lujuutta. Pintaliimaus tapahtuu yleensä liimapuristimella, jossa on kovan ja pehmeän telan muodostama nippi sekä liiman anosteluputkisto. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)

Päällystyksellä parannetaan kartongin ominaisuuksia, erityisesti pyritään parantamaan kartongin ulkonäköä ja painettavuutta. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)

## 2.8 Vesijärjestelmät

Kartonkitehtaan vesijärjestelmät jakautuvat kahteen pääosaan: tuore- ja kiertovesijärjestelmään (Kuvio 6). Tuorevedellä tarkoitetaan puhdistettua raakavettä, jota käytetään valmistusprosessissa. Käytettävä raakavesi on yleensä tullut joesta tai järvestä. Tuorevedellä tarkoitetaan kuitupitoista vettä, joka on erottunut massalietteestä viiraosalla tai muussa valmistusprosessin vaiheessa. (Sepsilva Ltd Oy, 1997; KnowPap, 2013)



Kuvio 6: Paperikoneen vesikierto (KnowPap, 2013)

Nykyään raakaveden kulutusta on pyritty pienentämään jätevesipäästöjen pienentämiseksi, sulkemalla kiertovesijärjestelmää. Sulkemisella tarkoitetaan sitä, että kiertoveden

käyttöä on lisätty sellaisissa kohteissa, jossa aikaisemmin on käytetty tuorevettä. (Sepsilva Ltd Oy, 1997; KnowPap, 2013)

Kartonginvalmistuksessa käytetään useita erilaisia kerroksia, joiden massakoostumus ja lisäaineet saattavat erota merkittävästi toisistaan. Näiden komponenttien erillään pitäminen on johtanut siihen, että kartonkikoneella saattaa olla useita erillisiä kiertovesijärjestelmiä. Kiertovesijärjestelmä jakautuu kahteen pääosaan: lyhyt ja pitkä kierto. (Sepsilva Ltd Oy, 1997)

### **2.8.1 Lyhyt kierto**

Lyhyellä kierrolla tarkoitetaan sitä kun kartonkikoneen viiraosalla suotautunut vesijae palautetaan massan laimentamiseksi välittömästi perälaatikkoa edeltäviin puhdistuslaitteiden vaatimaan toimintasakeuteen. (Sepsilva Ltd Oy, 1997; KnowPap, 2013)

### **2.8.2 Pitkä kierto**

Pitkäkierto pitää sisällään viiraosalla suotautuneen veden, jota ei käytetä lyhytkierrossa, muissa massankäsittelyn vaiheissa suotautuneiden vesijakeiden palautuksen muualla prosessissa käytettäväksi sekä ylimääräisen kiertoveden poistamiseen kuiduntalteenoton kautta. (Sepsilva Ltd Oy, 1997; Hautala, 2011)

### 3 KIEKKOSUODIN

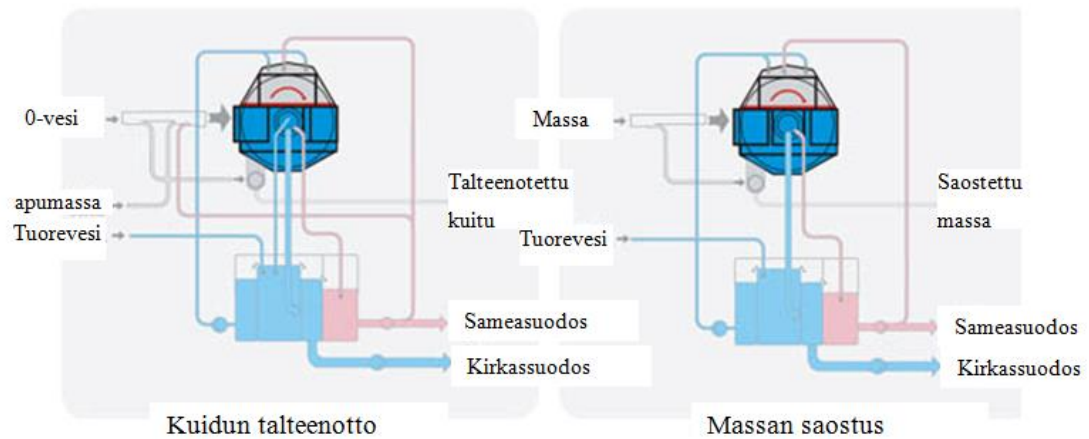
Kiekkosuodin on mekaaninen suodatin, jonka tarkoitus on puhdistaa vettä paperitehtaan kiertovesijärjestelmässä (Kuvio 7). Kiertoveden puhdistuksen tarkoituksena on palauttaa kiertovedessä oleva kiintoaines takaisin prosessiin ja puhdistaa kiertovettä soveltuvaksi uudelleen käyttöön. Lisäksi tavoitteena on vähentää ulkoiseen puhdistukseen joutuvan jäteveden määrää ja parantaa sen laatua. Laitteen toimintaperiaate perustuu alipainetoimisuuteen. (Sepsilva Ltd Oy, 1997; Metso Oy, 2013)



Kuvio 7: Tyypillinen kiekkosuodin (KnowPap, 2013)

#### 3.1 Osana kartonkikoneen prosessissa

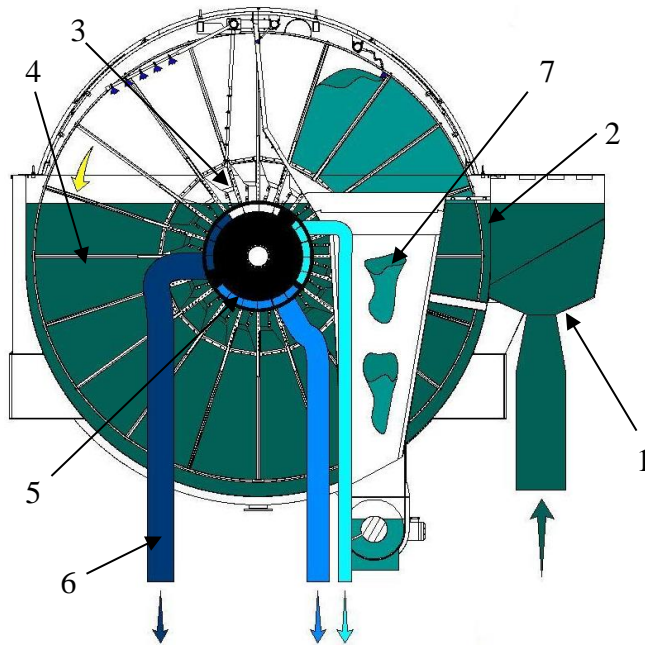
Kiekkosuodinta käytetään eri käyttötarkoituksiin, massan sakeuttamiseen perälaatikolla ja kiintoaineiden talteenottoon viiraosalla (Kuvio 8). Kiekkosuotimesta riippuen puhdistetun kiertoveden suodoksia on kahdesta kolmeen: samea, kirkas ja superkirkas. Sameasuodos ohjataan osaksi takaisin kiekkosuotimen syöttölaatikkoon massan mukana ja osaksi paperikoneen lähestymisjärjestelmään. Kirkassuodos ohjataan kiekkosuotimen suihkuille ja kirkasvesisäiliöön, josta vesi menee laimennusvedeksi. Superkirkassuodos menee suihkuvedeksi esimerkiksi perälaatikolle. Tässä opinnäytetyössä mitoitettavan kiekkosuotimen paikka on massalinjalla saostimena, jolla nostetaan massa varastointisakeuteen. (Metso Oy, 2010)



Kuvio 8: Kiekkosuotimen käyttötarkoitukset (Zibo Yichi International Trading Co., Ltd, 2012)

### 3.2 Toimintaperiaate

Kiekkosuotimen toimintaperiaate ja osat 1 - 7 on esitetty kuviossa 9. Kiekkosuotimeen syöttölaatikkoon (1) tuodaan massa, jonka vahvuus on tyypillisesti 0,6 % - 1,2 %. Syöttölaatikko täyttää ammeen (2) tasaisesti massalla. Kiekko(3), johon on kiinnitetty 20 sektoria säteittäisesti keskiakseliin, pyörii 0,6 - 1,2 kierrosta minuutissa vastapäivään. Tuorevesi alkaa virrata sektoreihin (4) suodatinkankaan läpi ja massakerros paksuuntuu sektorin pintaan suodattamaan läpi virtaavaa vettä. Sektoreista vesi ohjautuu keskiakselin kanaviin (5). Keskiakselista vesi ohjautuu venttiilin kautta ulostuloputkiin (6), joihin syntyy korkeuseron ansiosta 20 - 45 kPa:n alipaine. Imujalkojen pudotuskorkeus täytyy olla vähintään 6,5 metriä tämän alipaineen saavuttamiseksi. Sektorin pintaan kertynyt massakakku pudotetaan ruuvikuljettimelle (7), joka siirtää erotetun massan eteenpäin. (Metso Oy, 2013)

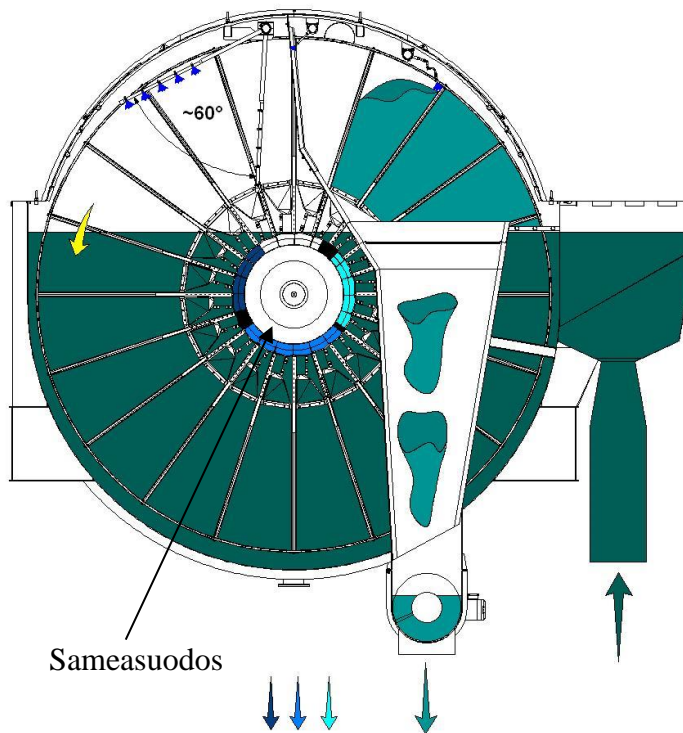


Kuvio 9: Kiekkosuotimen osat (Metso Oy, 2013)

Suodatus tapahtuu neljässä päävaiheessa: täyttövaihe, kaksi suodatusvaihetta ja kuivausvaiheet. Sen lisäksi on massakakun pudotus- ja sektorin puhdistusvaihe ennen uutta suodatussykliä. (Metso Oy, 2013)

### 3.2.1 Täyttövaihe

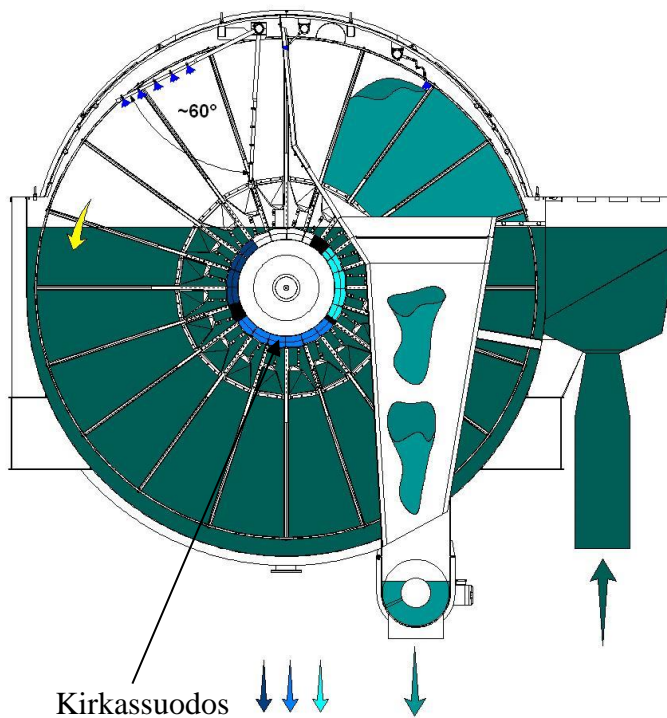
Täyttövaihe (Kuvio 10) alkaa kun sektori uppoaa massan pinnan alapuolelle ja kiekko alkaa pyöriä. Vesi suodattuu suodatinkankaan läpi keskiakselin kanaviin, joista se virtaa suodosputkeen. Kuitu jää suodatinkankaan pintaan, kun vesi suodattuu sen läpi. Suodatuksen alkuvaiheessa hienot kuidut menevät helposti suodatinkankaasta läpi ja vesi ohjataan venttiilissä sameasuodoksen ulostuloon. Sektorin pintaan muodostuu kiekon edessä kokoajan paksumpi massakakku, joka suodattaa myös hienomman kuidun vedestä. (Metso Oy, 2013)



Kuvio 10: Täyttövaihe (Metso Oy, 2013)

### 3.2.2 Suodatusvaihe 1

Ensimmäisessä suodatusvaiheessa (Kuvio 11) massakakusta tulee yhtenäinen, jolloin se pitää tehokkaasti hienon kuidun pinnallaan. Tässä vaiheessa vesi ohjataan venttiilin kirkassuodos ulostuloon. (Metso Oy, 2013)

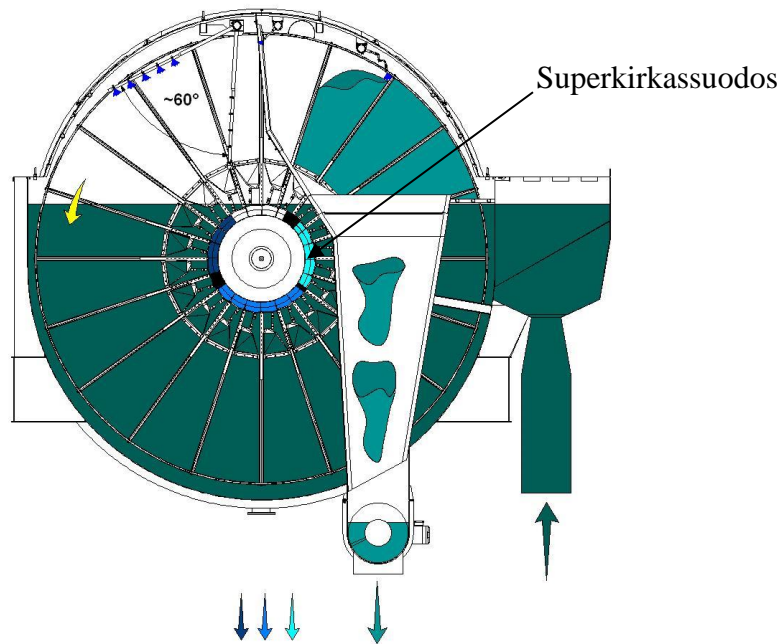


Kuvio 11: Suodatusvaihe 1 (Metso Oy, 2013)



### 3.2.3 Suodatusvaihe 2

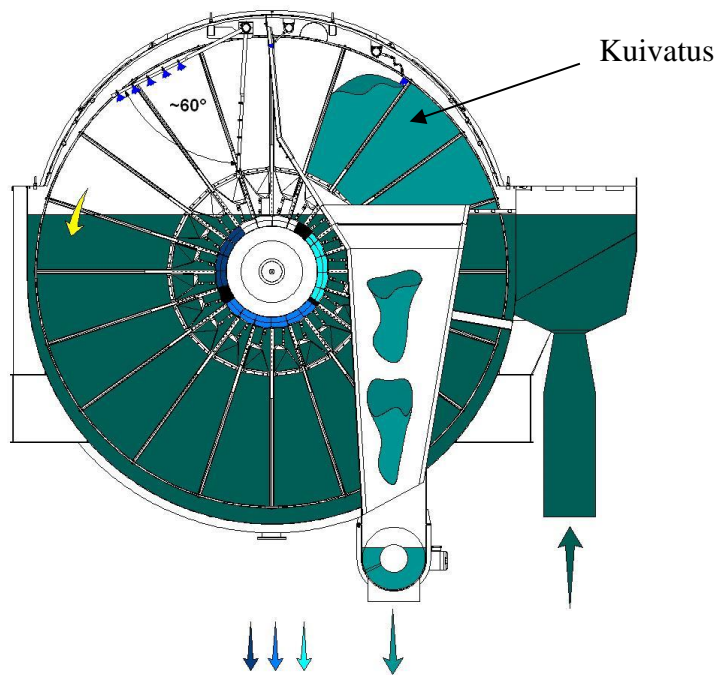
Toisessa suodatusvaiheessa (Kuvio 12) massakakku on täysin muodostunut ja suodatettu vesi ohjataan superkirkassuodoksen ulostuloon. (Metso Oy, 2013)



Kuvio 12: Suodatusvaihe 2 (Metso Oy, 2013)

### 3.2.4 Kuivatusvaihe

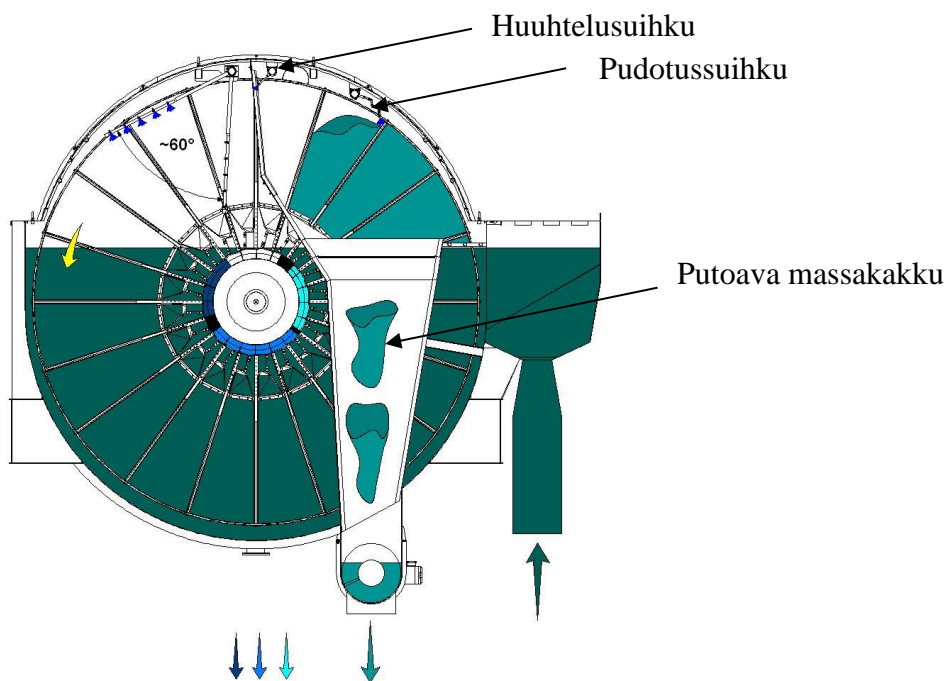
Kuivatusvaiheessa (Kuvio 13) sektori nousee massan pinnan yläpuolelle, mutta sektorin pinnassa on yhä alipaine, joka pitää massakakun sektorin pinnassa ja sen sisällä oleva vesi ohjautuu superkirkassuodokseen. Samalla massakakku kuivuu ja saavuttaa lopullisen kuivapitoisuutensa. Massan laadusta ja ajoparametreista riippuen, tulee kuiva-ainepitoisuudeksi 8 % - 12 %. Kuivausvaihe päättyy, kun alipainealue venttiilin jakoalueessa päättyy. (Metso Oy, 2013)



Kuvio 13: Kuivatusvaihe (Metso Oy, 2013)

### 3.2.5 Massakakun pudotusvaihe

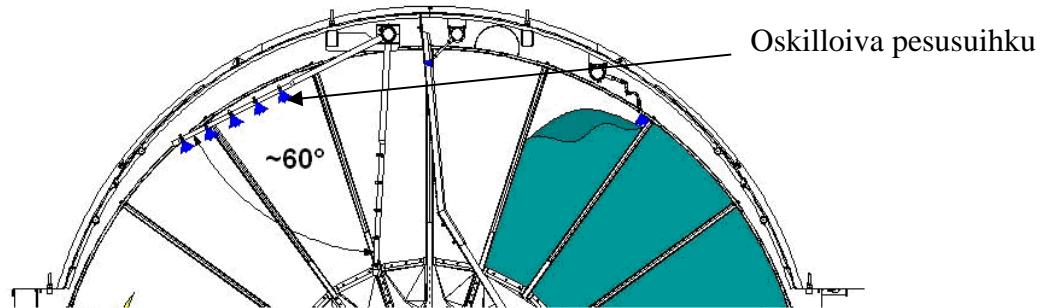
Alipaineen vaikutuksen päätyttyä massakakku pudotetaan (Kuvio 14) korkeapainesuihkulla, alkaen sektorin yläkulmasta. Massakakku putoaa suisteeseen kiekkojen välissä, josta se ohjautuu purkuruuvikuljettimelle. Ränneihin ja suisteiden reunaan jäänyt massa ohjataan suisteeseen huuhtelusuihkulla. (Metso Oy, 2013)



Kuvio 14: Pudotusvaihe (Metso Oy, 2013)

### 3.2.6 Sektorin puhdistusvaihe

Pudotusvaiheen jälkeen sektori siirtyy puhdistusvaiheeseen (Kuvio 15), jossa sektori pestään massajäämistä kokonaisuudessaan oskilloivalla korkeapainepesusuihkulla. (Metso Oy, 2013)

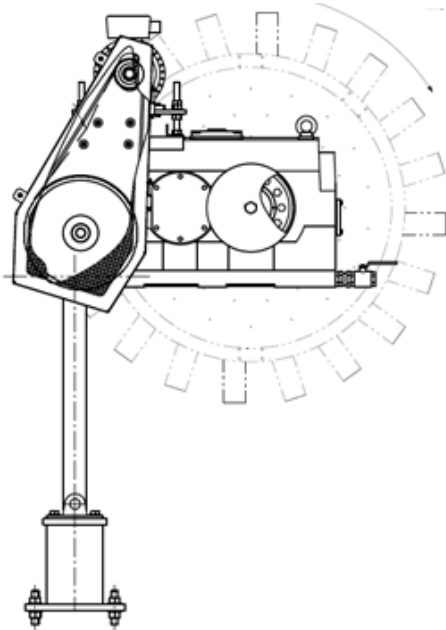


Kuvio 15: Sektorin puhdistusvaihe (Metso Oy, 2013)

## 4 KIEKKOSUOTIMEN VOIMANSIIRRON KOMPONETTIENTIEN VERTAILU

Kiekkosuotimen voimansiirron komponentit määräytyvät osaksi pääasiakkaan haluan valmistajan mukaan sekä kiekkosuotimen kannalta oleellisten vaatimusten pohjalta. Tavoitteena on, että suunnittelussa olisi käytettävissä eri valmistajien vaihteita. Tämä aiheuttaa suunnittelussa kuitenkin ongelmia, koska vaihteet ja sähkömoottorit eivät ole suoraan vaihtokelpoisia keskenään. Toisaalta kiekkosuotimen toiminta asettaa vaatimuksia komponenttivalinnoille.

Voimansiirron tehonsiirtoketjuun (Kuvio 16) kuuluu sähkömoottori, joka pyörittää kiihlahihnojen välityksellä vaihdetta. Sähkömoottorin pyörimisnopeutta lasketaan kahdessa portaassa, vaihteella otetaan vastaan suurin momentti keskiakselilta ja pudotetaan pyörimisnopeus alas. Vaihde tuetaan toisesta päästä momenttituella, joka on nivelletty molemmista päistään.



Kuvio 16: Voimansiirronperiaatekuva (Metso Oy, 2013)

### 4.1 Vaihteiden eroavaisuudet valmistajien välillä

Vaihdevalmistajat valittiin saatavuuden mukaan eri kokoluokan kiekkosuotimille. Vaihdetyyppiä on valittu jo aikaisemmin lieriöhammasvaihde, jonka välityssuhde ja vääntömomentinkesto ovat riittävän suuria. Kiekkosuotimen pyörimisnopeus on 1,2 kierrosta minuutissa, joten vaihteen välityssuhde valitaan mahdollisimman suureksi.

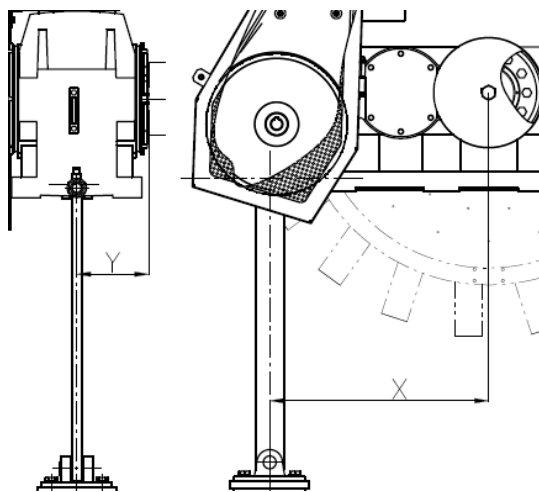
Hitaasta pyörimisnopeudesta johtuen vaihteen vääntömomentinkesto on rajoittavin tekijä vaihteen valinnassa.

Lieriöhammasvaihde koostuu rinnakkain olevista hammaspyöristä, joita nimitetään portaiksi. Välytysuhdeta muunnetaan tyypillisesti kahdesta neljään portaaseen välytysuhdeen ollessa suurimmillaan noin 500. Vaihteen ensiö- ja toisioakselit ovat yhdensuuntaiset.

Vertailtavia vaihdevalmistajia on viisi. Tässä vertailussa käytän tyypillisen kokoista kahdeksan kiekkoista kiekkosuodinta esimerkkinä. Vaihteiden kokoluokkien välinen tiheys vaihtelee paljon eri valmistajilla, joten päätin ottaa vertailtavaksi vain yhden kokoluokan. Eräältä valmistajalta ei kokoluokkaan sopivaa lieriöhammasvaihdetta löytynyt, joten otin vaihtoehdoksi kartiohammasvaihteen, jossa ensiöakseli on vaihteen päässä, suorakulmassa toisioakseliin nähden.

#### 4.1.1 Dimensiot ja massa

Suunnittelun kannalta oleellisia mittoja ovat toisioakselin ja momenttituen väliset mitat X ja Y (Kuvio 17). Momenttituen kiinnitysvalu tehdään laitteen perustuksen valun yhteydessä. Niinpä vaihde täytyisi olla valittuna jo projektin alkuvaiheessa vaihteen sopivuuden takaamiseksi. Vaihteen ulkomitat ovat epäolennaisia, koska koneen ympärillä on paljon tilaa, ellei asennuspaikka rajaa käytettävissä olevaa tilaa.



Kuvio 17: Vaihteen kiinnityksen kannalta oleelliset mitat (Metso Oy, 2013)

Eri vaihdevalmistajien etäisyydet X on taulukoitu (Taulukko 1), etäisyys Y on muunneltavissa helposti alapään kiinnityskorvakkeen ja momenttituen pienillä muutoksilla.

**Taulukko 1: Korvakkeen etäisyys toisioakselin kiinnityspisteestä**

Valmistaja	Etäisyys X (mm)
A	870
B	965
C	790
D	775
E	1165

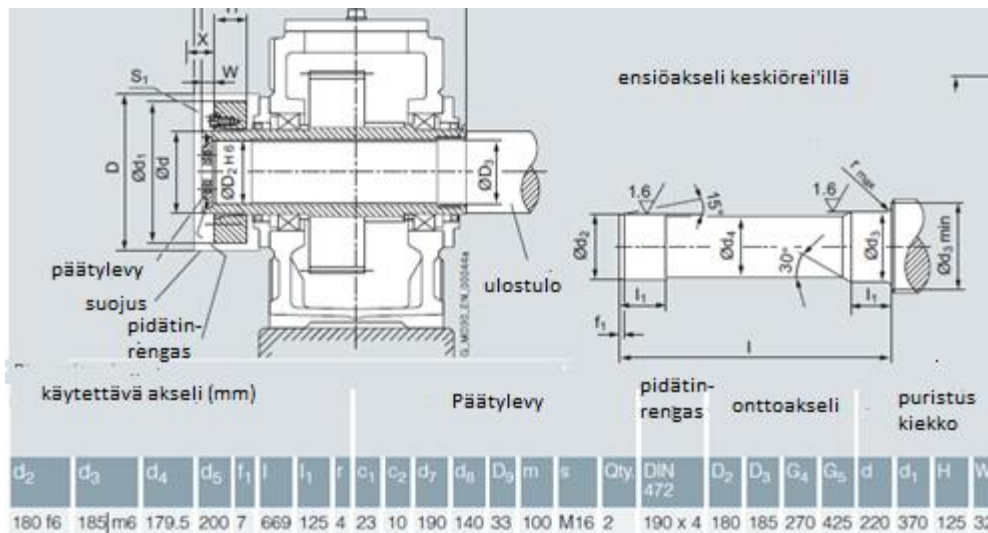
Vaihteiden massan perusteella voidaan suuntaa antavasti arvioida hintaa, jos koneistetun teräksen kilohinta on vakio. Eri valmistajien vaihteiden massoissa oli yllättävänkin suuria eroja, kevyimmän ja painavimman välillä eroa kertyi jopa 400 kilogrammaa.

**Taulukko 2: Vaihteiden massat**

Valmistaja	Massa (kg)
A	1620
B	1150
C	1607
D	1215
E	1360

#### 4.1.2 Akselinavat ja kiinnitys

Suunnittelussa täytyy erityisesti ottaa huomioon toisioakselin halkaisija ja akselinapaliitostapa. Kiekkosuotimessa on ollut käytössä kitkasulkeinen kiristysholkki, muotosulkeisen kiilaliitoksen sijaan. Kiristysholkillisessa vaihteessa ei ole akselitappia, vaan käytettävä akseli tulee vaihteen läpi. Akselin koneistustarkkuuden ja pinnanlaadun täytyy olla hyvät kitkapinnalla, koneistus tehdään vaihdevalmistajan antamien ohjeiden pohjalta. Kiristysholkilla vaihde kiinnitetään akseliin sen päästä, kiristämällä kehällä olevia kartioholkin ruuveja (Kuvio 18).



Kuvio 18: Esimerkki kiristysholkista ja koneistettavasta akselitapista (Siemens AG, 2012)

Eri valmistajien kiristysholkkien halkaisijat ovat samaa suuruusluokkaa, erot ovat  $\pm 10$  mm (Taulukko 3)

Taulukko 3: Kiristysholkkien halkaisijat

Valmistaja	Toisio $\varnothing$ (mm)
A	180
B	180
C	170
D	180
E	166

Vaihteiden ensiöakselien halkaisijat ovat standardin IEC 60072 mukaisia (International Electrotechnical Commission, 1990), mutta vaihtelevat eri valmistajien vaihteissa. Hihnapyörät kiinnitetään akselille kiristysholkilla, joita löytyy kaikille vaihteille sopivat.

#### 4.1.3 Hinta ja toimitusaika

Kysyin vaihdevalmistajilta hintatiedot yhden kokoluokan kiekkosuotimiin. Hintatiedot pyysin ilman asiakaskohtaisia alennuksia eli listahintoina. Todelliset hinnat asiakasalennuksin ovat huomattavasti alempia kuin minulle annetut hinnat. Hintoihin vaikuttaa lisäksi muun muassa toimitusmaan lainsäädäntö, maalaus ja voiteluaine. Hintatiedot eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään näistä asioista johtuen. Taulukossa 4 hinnat on ilmoitettu suhteellisena hintana nykyisen toimittajan hintoihin nähden. Nykyisen toimittajan hinta-indeksi on 100. Vaihteiden toimitusajat vaihtelivat kuukaudesta

kolmeen kuukauteen taulukon 4 mukaisesti. Tämä on mahdollisten varaosatoimitusten kannalta oleellinen asia, jos kiekkosuotimeen tarvitaan vaihtovaihe suoraan omasta varastosta. Valmistajalta B en saanut pyynnöstä huolimatta hintatietoa ja toimitusaikaa.

**Taulukko 4: Vaihteiden listahinnat ja toimitusajat**

Valmistaja	Hinta indeksi	toimitusaika (vko)
A	106	4
B		
C	87	9
D	100	12
E	88	4

## 4.2 Sähkömoottorien eroavaisuudet

Oikosulkusähkömoottorien valinnassa olennaista on tietää, että niitä valmistetaan eri nominaalipyörimisnopeuksilla. Se tarkoittaa, että sähköverkon 50 Hz perustaajuudella, pyörivät ne eri pyörimisnopeudella. Pyörimisnopeus määräytyy taajuuden  $f$  sekä sähkömoottorin käämparien eli napaparien  $p$  määrästä. Yleisimmät napaluvut ovat kaksi-, neljä- ja kuusinapaiset, kaksi napaa muodostaa yhden napaparin. Moottorin nimellinenpyörimisnopeus  $n$  voidaan laskea kaavalla (Kosonen, 2011):

$$n = 60 \frac{f}{p} \quad (1)$$

Yleisimmät oikosulkumoottorin nimelliset pyörimisnopeudet ovat 1000, 1500 ja 3000 kierrosta minuutissa 50 hertsin taajuudella.

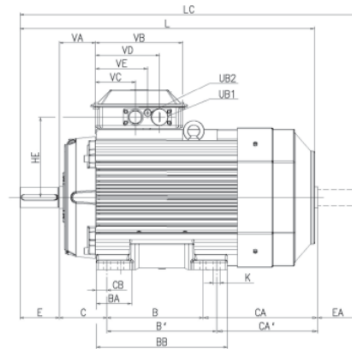
Kiekkosuotimen pyörimisnopeus on hidas, joten on järkevintä käyttää mahdollisimman hidaskäyntistä sähkömoottoria. Valitsemalla mahdollisimman hidaskäyntinen moottori vältytään suurelta välityssuhteelta hihnavälityksessä, joten hihnapyörien koot saadaan pidettyä mahdollisimman pieninä.

Työn teettäjän toiveena oli, että käytettäisiin mieluiten nelinapaista moottoria, koska se on yleisimmin käytetty moottorityyppi ja siksi myös edullisin sekä sen saatavuus on paras.

Sähkömoottorit tyypillisimmät runkotyypit ovat laippa- ja jalkakiinnitteiset sekä näiden kombinaatiot. Sähkömoottorit ovat standardisoituja standardin IEC 60072 mukaan



(International Electrotechnical Commission, 1990), joten kiinnitysmitat ovat vakioita eri valmistajien välillä. Kiekkosuotimessa on järkevintä käyttää vakiojalkakiinnitteistä ja vakioasennossa olevaa IM B3 tyyppiä (Kuvio 19). Laippakiinnitteiset moottorit soveltuvat paremmin suoraan vaihteeseen kiinnitettyinä, ilman hihnavälitystä.



Foot-mounted motor; IM B3 (IM 1001), IM 1002

**Kuvio 19: Tyypillinen jalkakiinnitteinen oikosulkumoottori (ABB, 2013)**

### 4.3 Hihnavälitysten eroavaisuudet

Hihnavälityksen vaihtoehtoina on käyttää joko kiila- tai hammashihnaa. Hammashihnojen saatavuus päämarkkina-alueella ja valmistusmaassa kaukoidässä on huono, joten hihnatyypiksi on valittu tehottomuudesta huolimatta kiilahihna. Kiilahihnaprofiileja on useita ja profiilin valinta riippuu pyörimisnopeudesta ja välityssuhteesta. Eri valmistajat ovat kehittäneet omia erikoiskiilahihnojaan, joilla on eri käyttötarkoituksia ja toinen toistaan paremmat tehonsiirtoarvot.

Kiekkosuotimeen on valittu hihnatyypiksi SPA ja XPA -sarjan hihnatyypit (Kuvio 20) saatavuuden takaamiseksi. Sarjat ovat keskenään vaihtokelpoisia, mutta XPA -sarjan hihnat ovat hammastettuja. Niillä on pidempi kestoikä ja hyötysuhde, koska ne lämpiävät vähemmän. (Tamgears, 2009)



**Kuvio 20: Vasemmalla SPx ja oikealla XPx -sarjan kiilahihnat (Tamgears, 2009)**

## 5 KÄYTÖN MITOITUS

Käytön mitoitus tehtiin käyttäen apuna käytössä olevan kiekkosuotimen vaihteelta momentinmittauksesta mitattuja arvoja. Todelliset käytetyt momentin arvot ovat luottamuksellisia, niinpä julkisessa versiossa on käytetty oikean suuntaisia arvoja, muttei todellisia. Käytetyt arvot ovat kahdeksan kiekkoisen suotimen 31 kNm ja 22 kiekkoisen 63 kNm. Momentin oletin muuttuvan lineaarisesti kiekkomäärillä 7 - 30 kiekkoa. Näiden tietojen avulla määritin momentin  $M$  funktion, joka riippuu kiekkojen  $x$  lukumäärästä:

$$M(k) = kx + b \quad , \quad (2)$$

jossa  $x$  = kiekkojen lukumäärä ja kulmakerroin  $k$  on

$$k = \frac{M_{22} - M_8}{k_{22} - k_8} \quad (3)$$

Sijoitetaan annetut arvot, jolloin kulmakertoimeksi saadaan:

$$k = \frac{63 \text{ kNm} - 31 \text{ kNm}}{22 - 8} = 2,3 \text{ kNm} .$$

Vakio  $b$  saadaan, kun momentin  $M$  funktioon sijoitetaan kahdeksan kiekkoisen suotimen arvot

$$M(31 \text{ kNm}) = 2,3 \text{ kNm} * 8 + b \rightarrow b = 12,6 \text{ kNm}$$

Momentin lopullinen funktio on siten

$$M(x) = x * 2,3 \text{ kNm} + 12,6 \text{ kNm} . \quad (4)$$

### 5.1 Vaihde

Vaihteen mitoitus tehdään joko tehon tai momentin perusteella, pyörimisnopeuden avulla voidaan helposti teho muuntaa momentiksi ja päinvastoin. Vaihteelle täytyy myös määrittää käyttökerroin, joka riippuu kuormituksen laadusta ja ajasta. Vaihdevalmistajat antavat kattavan taulukon suositelluista käyttökertoimista eri käyttökohteisiin.

Tehon ja momentin riippuvuus pyörimisnopeudesta tulee kaavasta

$$P = M\omega \quad , \quad (5)$$

jossa  $P$  on teho,  $M$  on momentti ja  $\omega$  kulmanopeus. Kulmanopeuden yhteys pyörimisnopeuteen on

$$\omega = 2\pi n \quad , \quad (6)$$

jossa  $n$  on pyörimisnopeus (1/s). Sijoittamalla yhteys (5) tähän kaavaan saadaan tehon lausekkeeksi

$$P = M * 2\pi n \quad (7)$$

### 5.1.1 Väätömomentti

Väätömomentti eri kiekkomäärille lasketaan sijoittamalla edellä laskettuun kaavaan 4 kiekkojen lukumäärät seitsemästä 30:een (Taulukko 5).

Taulukko 5: Väätömomenttiarvot eri kiekkomäärille

Kiekkojen lukumäärä	Väätömomentti kNm
7	28,7
8	31
9	33,3
10	35,6
11	37,9
12	40,2
13	42,5
14	44,8
15	47,1
16	49,4
17	51,7
18	54
19	56,3
20	58,6
21	60,9
22	63,2
23	65,5
24	67,8
25	70,1
26	72,4
27	74,7
28	77
29	79,3
30	81,6

### 5.1.2 Käyttökerroin

Käyttökerroin ( $F_s$ ) määritetään laitteen kuormituksen laadun ja -ajan mukaan. Käyttökerroin haetaan vaihdevalmistajan mitoitusohjeesta. Taulukko on suuntaa antava ja sii-

hen vaikuttavat poikkeukselliset kuormitukset, kuten muun muassa äärimmäiset kuormituspiikit, säännölliset käynnistykset täydellä kuormalla sekä nopeat kiihdytykset ja jarrutukset.

Suoraan kiekkosuotimeen sopivaa käyttökerrointa ei löytynyt, joten otin SEWin (2013) mitoitusohjeesta pesusuodattimen (Kuvio 21) arvon 1,50. Kiekkosuotimen käyttö on jatkuvaa 24 h ja 365 päivää vuodessa. Tähän arvoon lisäsin vielä 0,1, koska pyörimisnopeuden ja kuormituksen vaihteluita tulee jonkin verran ammeen saostuessa.

Field of application	Type of application (driven machine)	Application-specific service factor $F_s$ min Operating period / day		
		< 3 h	3-10 h	> 10 h
Pulp and paper industry	Debarking drums and machines	1.55	1.80	-
	Rollers (pick-up, wire drive, wire suction)	-	1.80	2.00
	Drying cylinders (anti-friction bearings)	-	1.80	2.00
	Calenders (anti-friction bearings)	-	1.80	2.00
	Filters (pressure and vacuum)	-	1.80	2.00
	Beaters and chippers	1.55	1.75	2.00
	Jordan mills	-	1.50	1.75
	Presses (bark, felt, glue, suction)	-	-	1.75
	Reels	-	-	1.75
	Pulpers	1)	1)	1)
	Washer filters	-	-	1.50
	Yankee cylinders (dryers)	1)	1)	1)

Kuvio 21: Käyttökerrointaulukko (SEW-Eurodrive, 2013)

Lopulliseksi minimi käyttökertoimeksi tuli siten 1,60.

### 5.1.3 Mitoitus

Mitoitus aloitettiin valitsemalla vaihteen välityssuhde  $i$ . Käyttöakselin pienen pyörimisnopeuden johdosta on järkevää valita mahdollisimman suuri välityssuhde, joka löytyy kaikilta valituilta valmistajilta. Tämä siitä syystä, että hihnävälitystä ei tarvitse valita kaikille vaihteille erikseen. Välityssuhde  $i = 400$  löytyy kaikkien vaihdevalmistajien luetteloista, joten valitsin sen.

Seuraavaksi valittiin riittävän kokoinen vaihde. Suunnittelumomentti lasketaan nominaalimomentin ja käyttökertoimen tulona:

$$M_s = M * F_s \quad , \quad (8)$$

jossa  $M$  on nominaalimomentti ja  $F_s$  on käyttökerroin.

Kiekkosuotimen suunnittelumomentit vaihtelevat 46 kNm ja 131 kNm välillä (Taulukko 6).

Taulukko 6: Kiekkosuotimen suunnittelumomentit käyttökertoimella  $F_s = 1,60$

Fs=1,60		
Kiekkojen lukumäärä	Nominaali vääntömomentti	Suunnittelu vääntömomentti $M_s$
	kNm	kNm
7	28,7	46
8	31	50
9	33,3	53
10	35,6	57
11	37,9	61
12	40,2	64
13	42,5	68
14	44,8	72
15	47,1	75
16	49,4	79
17	51,7	83
18	54	86
19	56,3	90
20	58,6	94
21	60,9	97
22	63,2	101
23	65,5	105
24	67,8	108
25	70,1	112
26	72,4	116
27	74,7	120
28	77	123
29	79,3	127
30	81,6	131

Seuraavaksi valitsin vaihdevalmistajien luetteloista vaihteen, jonka sallittu jatkuva momenttikuormitus on suurempi kuin suunnittelumomentti (Kuvio 22).

Nominal output torques  $T_{2N}$  (kNm) type H4

$i_N$	Gear unit sizes											
	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514
280	–	–	–	–	21.5	28.3	37	48.5	63.5	81	101.5	125
315	–	–	–	–	–	28.3	37	48.5	63.5	81	101.5	125
355	–	–	–	–	–	28.3	–	48.5	–	81	–	125
400	–	–	–	–	–	–	–	48.5	–	81	–	125

Kuvio 22: Vaihteen valintataulukko (Siemens AG, 2012)

Siemensin (2012) vaihteiden osalta valinnat näyttävät taulukon 7 mukaisilta. Taulukossa on merkitty vaihteen todellinen välityssuhde ja laskettu todellinen käyttökerroin vaihteen suurimman nominaaliväännön ja tarvittavan nominaaliväännön osamääränä.

$$F_{s.tod} = \frac{M_{max.vaihde}}{M_{nom.}} \quad (9)$$

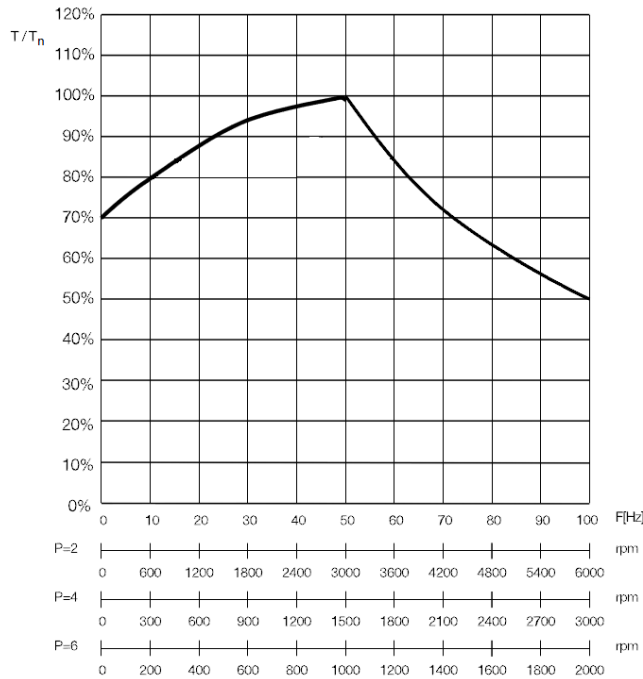
Taulukko 7: Valitut vaihteet

Kiekkojen lukumäärä	Nominaali vääntömomentti kNm	Suunnittelu vääntömomentti kNm	Siemens			
			Lieriö	Mmax.vaihde	todellinen	
			Tyyppi	Vääntö	käyttö-	i=
			H4	kNm	kerroin	
7	28,7	46	512	81	2,82	411,69
8	31	50	512	81	2,61	411,69
9	33,3	53	512	81	2,43	411,69
10	35,6	57	512	81	2,28	411,69
11	37,9	61	512	81	2,14	411,69
12	40,2	64	512	81	2,01	411,69
13	42,5	68	512	81	1,91	416,2
14	44,8	72	512	81	1,81	416,2
15	47,1	75	512	81	1,72	416,2
16	49,4	79	512	81	1,64	416,2
17	51,7	83	514	125	2,42	416,2
18	54	86	514	125	2,31	416,2
19	56,3	90	514	125	2,22	416,2
20	58,6	94	514	125	2,13	416,2
21	60,9	97	514	125	2,05	416,2
22	63,2	101	514	125	1,98	416,2
23	65,5	105	514	125	1,91	416,2
24	67,8	108	514	125	1,84	416,2
25	70,1	112	514	125	1,78	416,2
26	72,4	116	514	125	1,73	416,2
27	74,7	120	514	125	1,67	416,2
28	77	123	514	125	1,62	416,2
29	79,3	127	x	x	x	x
30	81,6	131	x	x	x	x

Esimerkkinä käytetyltä Siemensiltä ei löydy vaihdetta yli 28 kiekkoiselle kiekkosuotimelle, nämä koot ovat merkitty x-kirjaimella. Täydellinen ja todellinen valintataulukko löytyy opinnäytetyön luottamuksellisen osan liitteestä kaksi, jota ei ole esitetty tässä julkisessa versiossa.

## 5.2 Sähkömoottori

Sähkömoottorin mitoitus on tehty käyttäen vakiomomenttisovellutusta. Siinä lähtötietoina tarvitaan momentti, kierroslukualue ja sähkömoottorin napaisuus. Momenttiarvoina käytin vääntömomentin arvoja, jotka on laskettu taulukossa 5. Käytettävän akselin kierroslukualueeksi on määritetty 0,8 - 1,6 kierrosta minuutissa. Sähkömoottoriksi on valittu nelinapainen sähkömoottori. Sähkömoottorin mitoituksessa oleellista on taajuusmuuntajaa käytettäessä huomioida moottorin kuormitettavuus eri taajuuksilla, kuormitettavuus katsotaan kuviossa 23 esitetyltä kuormitettavuuskäyrältä.



Kuvio 23: Tyypillinen sähkömoottorin kuormitettavuuskäyrä (ABB Industry Oy, 2001)

### 5.2.1 Sähkömoottorin teho

Sähkömoottorin tehon laskin käyttämällä vääntömomentin nimellisarvoa. Sähkömoottorin teho on määritetty käyttäen apuna ABB:n sähkökäytön mitoitusopasta (ABB Industry Oy, 2001). Ensimmäiseksi laskin momentin sähkömoottorin akselilta. Tähän tarvitsin kiilahihnavälityksen ja vaihteen välityssuhteet ja hyötysuhteet. Tyypillinen 4-portaisen lieriöhammasvaihteen hyötysuhde on  $\eta_2=94\%$ , ja kiilahihnavälityksen  $\eta_1=95\%$ .

Ensimmäiseksi määritin hihnavälityksen välityssuhteen, siten että kiekkosuotimen keskiakseli pyörii 1,2 kierrosta minuutissa sähkömoottorin nominaalipyörimisnopeudella 1500 kierrosta minuutissa. Vaihteen välityssuhde on  $i = 400$ , jolloin hihnavälityksen välityssuhde voidaan laskea seuraavalla kaavalla

$$i_1 = \frac{n_1}{n_3 \cdot i_2} \quad , \quad (10)$$

jossa  $i_1$  on hihnavälityssuhde,  $n_1$  on sähkömoottorin pyörimisnopeus,  $n_3$  keskiakselin pyörimisnopeus ja  $i_2$  vaihteen välityssuhde.

Sijoitetaan arvot kaavaan 10, jolloin saadaan hihnavälityksen välityssuhteeksi:

$$i_1 = \frac{1500 \text{ 1/s}}{1,2 \frac{1}{s} * 400} = 3,125$$

Lasketaan sähkömoottorin pyörimisnopeudet halutuilla keskiakselin pyörimisnopeuksilla ratkaisemalla  $n_1$  kaavasta 10

$$n_1 = n_3 * i_1 * i_2 \quad , \quad (11)$$

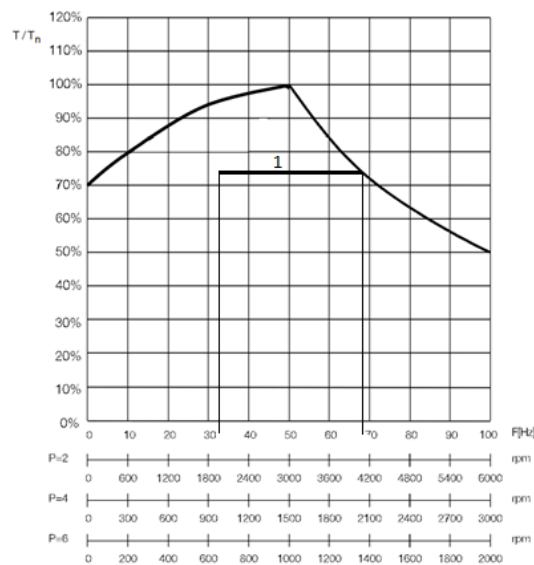
jossa  $i_1$  on hihnavälityssuhde,  $n_1$  on sähkömoottorin pyörimisnopeus,  $n_3$  keskiakselin pyörimisnopeus ja  $i_2$  vaihteen välityssuhde.

Sijoitetaan ylä- ja alakierrosalueen arvot kaavaan 11, jolloin sähkömoottorin pyörimisnopeuksiksi saadaan

$$n_{1ala} = 0,8 \frac{1}{s} * 400 * 3,125 = 1000 \text{ 1/s}$$

$$n_{1ylä} = 1,6 \frac{1}{s} * 400 * 3,125 = 2000 \text{ 1/s}$$

Asetetaan kierrosarvot käyrälle vaakasuoraan, siten että jana 1 kuviossa 24 pysyy käyrän alapuolella.



Kuvio 24: Kierrosalue asetettu kuormituskäyrälle 1



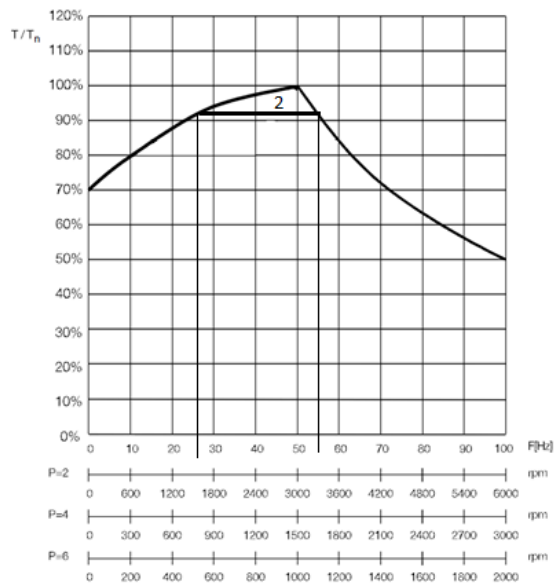
Kuten käyrältä näkyy, niin ylempi pyörimisnopeus rajoittaa kuormitettavuutta ja kuormitettavuus jäisi vain 72 prosenttiin. Kierrosalue kannattaa hakea alemmaksi, jolloin kuormitettavuus saataisiin mahdollisimman korkealle. Haetaan iteroiden hihnavälityksen välityssuhteen avulla kierrosalue, joka käyttää alemmaa kierrosnopeutta. Parhaaksi hihnavälityksen välityssuhteeksi sain  $i = 2,60$ . Tällöin sähkömoottorin pyörimisnopeudeksi saadaan, kun arvo syötetään kaavaan 11:

$$n_{2ala} = 0,8 \frac{1}{s} * 400 * 2,6 = 832 \text{ 1/s}$$

$$n_{2ylä} = 1,6 \frac{1}{s} * 400 * 2,6 = 1664 \text{ 1/s}$$

$$n_{2ajo} = 1,2 \frac{1}{s} * 400 * 2,6 = 1248 \text{ 1/s}$$

Kuvio 25 esittää, miltä yllä lasketut pyörimisnopeudet näyttäivät kuormituskäyrällä (jane 2).



**Kuvio 25: Pyörimisnopeudet sovitettu kuormituskäyrälle 2**

Tällä hihnavälityssuhteella kuormitettavuus nousee yli 90 prosenttiin. Seuraavaksi laskeaan taajuusalue, jolla sähkömoottoria käytetään. Taajuus voidaan laskea kaavalla

$$f_1 = \frac{n_1}{n_{nom}} * f_{nom} \quad , \quad (12)$$

jossa  $f_1$  on taajuus halutulla pyörimisnopeudella  $n_1$ ,  $n_{nom}$  on moottorin nominaali pyörimisnopeus nominaalitaajudella  $f_{nom}$ .

Sijoitetaan käytettävät pyörimisnopeudet kaavaan 12.

$$f_{ala} = \frac{832 \frac{1}{s}}{1500 \frac{1}{s}} * 50 \text{ Hz} = 27,73 \text{ Hz}$$

$$f_{ylä} = \frac{1664 \frac{1}{s}}{1500 \frac{1}{s}} * 50 \text{ Hz} = 55,46 \text{ Hz}$$

Tällöin alarajataajuus on 27,8 Hz, ylärajataajuus 55,5 Hz ja perustaajuus on 41,6 Hz. Moottorin peruspyörimisnopeudeksi tulee tällöin 1248 1/s, alimmaksi pyörimisnopeudeksi 832 1/s ja ylimmäksi 1664 1/s.

Lasketaan sähkömoottorin momentti seuraavalla kaavalla (VEM motors Finland, 2013):

$$M_1 = \frac{M_3}{i_2 * \eta_2 * i_1 * \eta_1} \quad , \quad (13)$$

jossa  $i_2$  ja  $\eta_2$  ovat vaihteen välitys- ja hyötysuhde,  $i_1$  ja  $\eta_1$  hihnavälityksen välitys- ja hyötysuhde sekä  $M_3$  on keskiakselin nominaalivääntömomentti.

Sijoitetaan arvot kaavaan 13, josta saadaan taulukossa 8 esitetyt arvot.

Taulukko 8: Sähkömoottorin kuormitusmomentit  $M_I$ 

Kiekko lkm.	Arvio	
	M3/ kNm	M1/Nm
7	28,7	32,1
8	31	34,7
9	33,3	37,3
10	35,6	39,9
11	37,9	42,4
12	40,2	45,0
13	42,5	47,6
14	44,8	50,2
15	47,1	52,7
16	49,4	55,3
17	51,7	57,9
18	54	60,5
19	56,3	63,0
20	58,6	65,6
21	60,9	68,2
22	63,2	70,8
23	65,5	73,3
24	67,8	75,9
25	70,1	78,5
26	72,4	81,1
27	74,7	83,7
28	77	86,2
29	79,3	88,8
30	81,6	91,4

Seuraavaksi lasketaan moottorin teho termistä kuormitettavuutta apuna käyttäen kaikilla käytettävillä nopeuksilla (ABB Industry Oy, 2001).

$$P_n = \frac{M_1 / (T/T_n) * n_{nom.}}{9550} \quad , \quad (14)$$

jossa  $M_1$  on vääntömomentti moottorin akselilla,  $T/T_n$  kuormitettavuus ja  $n_{nom}$  moottorin nominaali pyörimisnopeus.

Sijoitetaan taulukon 8 arvot  $M_I$  ja kuormitettavuus  $T/T_n$  kaavaan 14 ja haetaan tarvittavaa tehoa suurempi moottorinteho. Yleisimmät tähän sovellukseen käyvät moottoriteholuokat ovat 5,5 kW; 7,5 kW; 11 kW ja 18,5 kW. Valitut moottorit on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9: Valitut moottoritehot

			Valittu moottorit
Kiekkokm.	M1/Nm	kW	kW
7	32,1	4,5	5,5
8	34,7	4,9	5,5
9	37,3	5,3	5,5
10	39,9	5,6	7,5
11	42,4	6,0	7,5
12	45,0	6,4	7,5
13	47,6	6,7	7,5
14	50,2	7,1	7,5
15	52,7	7,5	7,5
16	55,3	7,8	11
17	57,9	8,2	11
18	60,5	8,5	11
19	63,0	8,9	11
20	65,6	9,3	11
21	68,2	9,6	11
22	70,8	10,0	11
23	73,3	10,4	11
24	75,9	10,7	11
25	78,5	11,1	15
26	81,1	11,5	15
27	83,7	11,8	15
28	86,2	12,2	15
29	88,8	12,6	15
30	91,4	12,9	15

### 5.3 Kiilahihnan mitoitus

Kiilahihna mitoitetaan keskiakselin vääntömomentin mukaan, jotta hihnavälitys toimii kytkimenä käytössä. Tällä varmistetaan vaihteen ja sähkömoottorin pysyminen ehjänä vikatilanteessa, jossa tulee ylisuuri kuormapiikki. Laskennassa tarvitaan suunnitteluteho, ensiö- ja toisiohihnapyörän pyörimisnopeudet ja suunniteltu hihnapyörien akseliväli. (Valtanen, 2000)

#### 5.3.1 Siirrettävä teho

Siirrettävä teho lasketaan taulukon 8 arvoista  $M_1$  sekä kaavan 14 avulla, josta jätetään pois kuormitettavuuskerroin. Lisäksi tehoarvo kerrotaan käyttökertoimella  $k$ , joka valitaan taulukosta käyttökohteen kohteen mukaan (Kuvio 26). Käyttökertoimeksi valitsin 1,3, joka on jatkuvaan käyttöön oikosulkumoottoreilla ja soveltuu muun muassa sekoittimille.

Käyttökertoimet						
Käytettävä kone (DriveN)	Käyttävä kone (DriveR*)					
Koneiden luettelossa on muutamia esimerkkejä mahdollisista vaihtoehdoista. Suorita valinta siten, että käytettävän koneen kuormituksen luonne vastaa lähinnä ko. konetta.	<b>Vaihtovirtamoottorit:</b> <b>Oikosulkumoottorit</b> tähti-kolmio-käynnistys <b>Tasavirtamoottorit:</b> Sivuvirtamoottorit <b>Polttimoottorit:</b> Monisyinteriset polttomoottorit*			<b>Vaihtovirtamoottorit:</b> Suora kytkentä <b>Tasavirtamoottorit:</b> Sarja- ja kompaundikytkentä <b>Polttimoottorit:</b> Yksisyinteriset polttomoottorit* <b>Valta-akselit - kytkimet</b>		
	Jaksottainen käyttö 8 h/vrk asti tai satunnaisesti	Normaali käyttö 8-16 h/vrk	Jatkuva käyttö >16 h/vrk	Jaksottainen käyttö 8 h/vrk asti tai satunnaisesti	Normaali käyttö 8-16 h/vrk	Jatkuva käyttö >16 h/vrk
Hihnakuljettimet hiekalle, viljalle jne. Talkinasekoittimet Tuulettimet yli 7,5 kW Generaattorit Valta-akselit Pesukoneet Työstökoneet Meistimet, puristimet, leikkurit Painokoneet Seulat	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4

Kuvio 26: Kiilahihnan käyttökertoimet (SKS Mekaniikka Oy, 1998)

$$P_n = \frac{M_1 * n_{nom}}{9550} * k \quad , \quad (15)$$

jossa  $M_1$  on vääntömomentti moottorin akselilla,  $n_{nom}$  moottorin nominaali pyörimisnopeus ja  $k$  on käyttökerroin.

Sijoitetaan kaavaan 15 taulukon 8 arvot ja suunnittelukerroin. Tällöin saadaan taulukossa 10 esitetyt suunnittelutehot.

**Taulukko 10: Kiilahihnavälityksen suunnitteluteho**

		Suunnittelu teho Pn
Kiekkokkm.	M1/Nm	kW
7	32,1	6,6
8	34,7	7,1
9	37,3	7,6
10	39,9	8,1
11	42,4	8,7
12	45,0	9,2
13	47,6	9,7
14	50,2	10,2
15	52,7	10,8
16	55,3	11,3
17	57,9	11,8
18	60,5	12,3
19	63,0	12,9
20	65,6	13,4
21	68,2	13,9
22	70,8	14,5
23	73,3	15,0
24	75,9	15,5
25	78,5	16,0
26	81,1	16,6
27	83,7	17,1
28	86,2	17,6
29	88,8	18,1
30	91,4	18,7

### 5.3.2 Hihnapyörien valinta

Hihnaprofiiliksi on valittu XPA- hihnatyypin. Seuraavaksi valitaan hihnapyörien jakohalkaisijat, joilla päästään haluttuun välityssuhteeseen  $i = 2,60$ . Pienemmäksi hihnapyöräksi ei kannata valita kaikkein pienintä mahdollista, koska hihnan tehonsiirto riippuu osaksi myös hihnapyörien halkaisijoista. Hihnapyörien halkaisijoiksi valittiin esimerkiksi 450 mm ja 170 mm, jolloin välityssuhteeksi tulee, kuviossa 27 on esitetyn valintataulukon mukaisesti  $i = 2,65$ . (Valtanen, 2000)

200	212	224	236	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	Pyörän jakonäppäisyys mm
3,53	3,79	4,00	4,21	4,46	5,00	5,63	6,34	7,14	8,04	8,93	10,0	11,4	12,7	14,3	16,1	17,9	20,0	22,3	25,0	28,6	56
3,33	3,53	3,73	3,93	4,17	4,67	5,25	5,92	6,67	7,50	8,33	9,33	10,5	11,8	13,3	15,0	16,7	18,7	20,8	23,3	26,7	60
3,17	3,37	3,56	3,75	3,97	4,44	5,00	5,63	6,35	7,14	7,94	8,89	10,0	11,3	12,7	14,3	15,9	17,8	19,8	22,2	25,4	63
2,99	3,16	3,34	3,52	3,73	4,18	4,70	5,30	5,97	6,72	7,46	8,36	9,40	10,6	11,9	13,4	14,9	16,7	18,7	20,9	23,9	67
2,82	2,98	3,15	3,32	3,52	3,94	4,44	5,00	5,63	6,34	7,04	7,89	8,87	10,0	11,3	12,7	14,1	15,8	17,6	19,7	22,5	71
2,67	2,83	2,99	3,15	3,33	3,73	4,20	4,73	5,33	6,00	6,67	7,47	8,40	9,46	10,7	12,0	13,3	14,9	16,7	18,7	21,3	75
2,50	2,65	2,80	2,95	3,12	3,50	3,94	4,44	5,00	5,62	6,25	7,00	7,87	8,88	10,0	11,2	12,5	14,0	15,6	17,5	20,0	80
2,35	2,49	2,63	2,78	2,94	3,29	3,71	4,18	4,71	5,29	5,88	6,59	7,41	8,36	9,41	10,6	11,8	13,2	14,7	16,5	18,8	85
2,22	2,35	2,49	2,62	2,78	3,11	3,50	3,94	4,44	5,00	5,56	6,22	7,00	7,89	8,89	10,0	11,1	12,4	13,9	15,6	17,8	90
2,11	2,23	2,36	2,48	2,63	2,95	3,32	3,74	4,21	4,74	5,26	5,89	6,63	7,47	8,42	9,47	10,5	11,8	13,2	14,7	16,8	95
2,00	2,12	2,24	2,36	2,50	2,80	3,15	3,55	4,00	4,50	5,00	5,60	6,30	7,10	8,00	9,00	10,0	11,2	12,5	14,0	16,0	100
1,89	2,00	2,11	2,22	2,36	2,64	2,97	3,35	3,77	4,25	4,72	5,28	5,94	6,70	7,55	8,49	9,43	10,6	11,8	13,2	15,1	108
1,79	1,89	2,00	2,11	2,23	2,50	2,81	3,17	3,57	4,02	4,46	5,00	5,63	6,33	7,14	8,04	8,93	10,0	11,2	12,5	14,2	112
1,69	1,80	1,90	2,00	2,12	2,37	2,67	3,01	3,39	3,81	4,24	4,75	5,34	6,02	6,78	7,63	8,47	9,49	10,6	11,9	13,6	118
1,60	1,70	1,79	1,89	2,00	2,24	2,52	2,84	3,20	3,60	4,00	4,48	5,04	5,68	6,40	7,20	8,00	8,96	10,0	11,2	12,8	125
1,52	1,61	1,70	1,79	1,89	2,12	2,39	2,69	3,03	3,41	3,79	4,24	4,77	5,38	6,06	6,82	7,58	8,48	9,46	10,6	12,1	132
1,43	1,51	1,60	1,69	1,79	2,00	2,25	2,54	2,86	3,21	3,57	4,00	4,50	5,07	5,71	6,43	7,14	8,00	8,93	10,0	11,4	140
1,33	1,41	1,49	1,57	1,67	1,87	2,10	2,37	2,67	3,00	3,33	3,73	4,20	4,73	5,33	6,00	6,67	7,47	8,33	9,33	10,7	150
1,25	1,32	1,40	1,47	1,56	1,75	1,97	2,22	2,50	2,81	3,12	3,50	3,94	4,44	5,00	5,62	6,25	7,00	7,81	8,75	10,0	160
1,18	1,25	1,32	1,39	1,47	1,65	1,85	2,09	2,35	2,65	2,94	3,29	3,71	4,18	4,71	5,28	5,88	6,59	7,35	8,24	9,41	170
1,11	1,18	1,24	1,31	1,39	1,56	1,75	1,97	2,22	2,50	2,78	3,11	3,50	3,94	4,44	5,00	5,56	6,22	6,94	7,78	8,89	180
1,05	1,16	1,18	1,24	1,32	1,47	1,66	1,87	2,11	2,37	2,63	2,95	3,32	3,74	4,21	4,74	5,26	5,98	6,58	7,37	8,42	190
1,00	1,06	1,12	1,18	1,25	1,40	1,57	1,77	2,00	2,25	2,50	2,80	3,15	3,55	4,00	4,50	5,00	5,60	6,25	7,00	8,00	200
	1,00	1,06	1,11	1,16	1,32	1,49	1,67	1,89	2,12	2,36	2,64	2,97	3,35	3,77	4,25	4,72	5,28	5,89	6,60	7,54	212
		1,00	1,05	1,12	1,25	1,41	1,58	1,79	2,01	2,23	2,50	2,81	3,17	3,57	4,02	4,46	5,00	5,58	6,25	7,14	224
			1,00	1,06	1,19	1,33	1,50	1,69	1,91	2,12	2,37	2,67	3,01	3,39	3,81	4,23	4,75	5,29	5,93	6,78	236
				1,00	1,12	1,26	1,42	1,60	1,80	2,00	2,24	2,52	2,84	3,20	3,60	4,00	4,48	5,00	5,60	6,40	250
					1,00	1,12	1,27	1,43	1,61	1,79	2,00	2,25	2,54	2,88	3,21	3,57	4,00	4,48	5,00	5,71	280
						1,00	1,13	1,27	1,43	1,59	1,78	2,00	2,25	2,54	2,86	3,17	3,56	3,95	4,44	5,08	315
							1,00	1,13	1,27	1,41	1,58	1,77	2,10	2,25	2,54	2,81	3,15	3,52	3,94	4,51	355
								1,00	1,12	1,25	1,40	1,57	1,77	2,00	2,25	2,50	2,80	3,12	3,50	4,00	400
									1,00	1,11	1,24	1,40	1,58	1,78	2,00	2,22	2,49	2,78	3,11	3,56	450
										1,00	1,12	1,26	1,42	1,60	1,80	2,00	2,24	2,50	2,80	3,20	500
											1,00	1,12	1,27	1,43	1,61	1,79	2,00	2,23	2,50	2,86	560
												1,00	1,13	1,27	1,43	1,59	1,78	1,98	2,22	2,54	630
													1,00	1,13	1,27	1,41	1,58	1,76	1,97	2,25	710
														1,00	1,12	1,25	1,40	1,56	1,75	2,00	800
															1,00	1,11	1,24	1,39	1,56	1,78	900
																1,00	1,12	1,25	1,40	1,60	1000
																	1,00	1,12	1,25	1,43	1120
																		1,00	1,12	1,28	1250
																			1,00	1,14	1400
																				1,00	1600
200	212	224	236	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	

Kuvio 27: Hihnapyörienvalintataulukko (Valtanen, 2000)

### 5.3.3 Akseliväli

Ensiö- ja toisioakselin etäisyys arvioidaan ensin. Akseliväliksi on arvioitu 750 mm, joka sopii useimmille vaihteille, kun sähkömoottori kiinnitetään vaihteen päälle (Kuvio 16).

Lasketaan hihnalle laskentapituus (Valtanen, 2000):

$$TBL = 2 * TCD * 1,57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4*TCD}, \quad (16)$$

jossa  $TCD$  on akseliväli,  $D$  ison ja  $d$  pienemmän hihnapyörä halkaisijat.

Sijoitetaan arvot yhtälöön, jolloin hihnanpituudeksi saadaan:

$$TBL = 2 * 750 * 1,57(450 + 170) \text{ mm} + \frac{(450 - 170)^2 \text{ mm}}{4 * 750 \text{ mm}} = 2500 \text{ mm}$$

Valitaan hihnapituudeksi valmistajan taulukosta (SKS Mekaniikka Oy, 1998) seuraava lähin hihnapituus. Hihnapituus 2500 mm on yleisesti saatavilla, joten valitaan hihnapituudeksi 2500 mm. Seuraavaksi lasketaan todellinen akseliväli. Siihen tarvitaan kerrointa  $F$  ja akselivälikerrointa  $h$ . Kerroin  $F$  lasketaan kaavalla:

$$F = PL - 1,57 * (D + d) , \quad (17)$$

jossa  $PL$  on hinnan todellinen pituus,  $D$  ison ja  $d$  pienemmän hihnapyörä halkaisijat.

$$h_1 = \frac{D-d}{F} , \quad (18)$$

jossa  $D$  ison ja  $d$  pienemmän hihnapyörä halkaisijat ja  $F$  kaavan 17 tulos.

Sijoitetaan kaavaan 17 arvot, jolloin kertoimeksi  $F$  saadaan

$$F = 2500 \text{ mm} - 1,57 * (450 \text{ mm} + 170 \text{ mm}) = 1527 \text{ mm}$$

Sijoitetaan saadut arvot kaavaan 18, jolloin kertoimeksi  $h_1$  saadaan

$$h_1 = \frac{450 \text{ mm} - 170 \text{ mm}}{1527 \text{ mm}} = 0,18$$

Kertoimella  $h_1=0,18$  saadaan kuvion 28 mukaisesti kertoimeksi  $h = 0,09$ .

<b>Akselivälikerroin "h"</b>					
h1=		h1=		h1=	
$\frac{D-d}{F}$	Kerroin h	$\frac{D-d}{F}$	Kerroin h	$\frac{D-d}{F}$	Kerroin h
0,00	0,00	0,21	0,11	0,40	0,22
0,02	0,01	0,23	0,12	0,41	0,23
0,04	0,02	0,25	0,13	0,43	0,24
0,06	0,03	0,27	0,14	0,44	0,25
0,08	0,04	0,28	0,15	0,46	0,26
0,10	0,05	0,30	0,16	0,47	0,27
0,12	0,06	0,32	0,17	0,48	0,28
0,14	0,07	0,34	0,18	0,50	0,29
0,16	0,08	0,35	0,19	0,51	0,30
0,18	0,09	0,37	0,20		
0,20	0,10	0,39	0,21		

Kuvio 28: Akselivälikerroin h (SKS Mekaniikka Oy, 1998)

Lasketaan todellinen akseliväli:

$$A = \frac{F-h(D-d)}{2} , \quad (19)$$

jossa  $F$  ja  $h$  arvot on saatu kaavoilla 17 ja 18, sekä  $D$  ison ja  $d$  pienemmän hihnapyörä halkaisijat.

Sijoitetaan arvot kaavaan 19, jolloin akseliväliksi saadaan

$$A = \frac{1527 \text{ mm} - 0,09(450 \text{ mm} - 170 \text{ mm})}{2} = 750,7 \text{ mm}$$



Akseliväli tuli tässä tapauksessa lähes samaksi, koska laskennallinen hihnanpituus vastasi todellista hihnanpituutta.

### 5.3.4 Kiilahihnan tehonsiirto

Kiilahihnan tehosiirto lasketaan laskemalla kertoimia yhteen. (Valtanen, 2000)

$$P_k = (A + B + C) * G * C_L \quad , \quad (20)$$

jossa  $A$  on tehonsiirtokyky,  $B$  lisäteho välityssuhteesta,  $C$  lisäteho hihnan käyttöiästä,  $G$  kosketuskulmakerroin ja  $C_L$  hihnanpituuden korjauskerroin.

Kaikki edellä mainitut kertoimet riippuvat käytettävästä hihnatyypistä. Esimerkkinä käytin Gatesin Quad-Power II hihnaa XPA-profiililla. Tehonsiirtokyvyn  $A$  valintaan tarvitaan nopeamman akselin halkaisija ja pyörimisnopeus. Hihnan tehonsiirtokyky on 7,8 kW (Kuvio 29).

**Tehonsiirtokyky hihnaa kohden (kW)**

**XPA**

Nopeampi akseli (1/min)	80	85	90	95	100	106	112	118	125	132	140	150	160	170	180	190	200
1200	2.08	2.41	2.74	3.06	3.39	3.78	4.16	4.55	4.99	5.44	5.94	6.57	7.19	7.81	8.43	9.04	9.64
1300	2.22	2.58	2.93	3.28	3.63	4.05	4.46	4.88	5.36	5.84	6.38	7.05	7.72	8.39	9.04	9.70	10.35

Kuvio 29: Tehonsiirtokyky A (SKS Mekaniikka Oy, 1998)

Välityssuhteesta tuleva lisäteho  $B$  on 0,29 kW (Kuvio 30).

**Välityssuhteesta aiheutuva lisäteho hihnaa kohden (kW)**

Nopeampi akseli (1/min)	1	1.02	1.04	1.06	1.09	1.12	1.16	1.21	1.29	>1.45
1200	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.19	0.22	0.25	0.28
1300	0.00	0.03	0.07	0.10	0.13	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30

Kuvio 30: Välityssuhteesta tuleva lisäteho B (SKS Mekaniikka Oy, 1998)

Hihnan käyttöiästä tulee kertoimeksi  $C = 0$  kW, koska hihnan vaihtoikä määritellään mahdollisimman pitkäksi (Kuvio 31).

**Hihnan käyttöiästä riippuva lisäteho hihnaa kohden (kW)**

	25 000 tuntia	12 000 tuntia	6000 tuntia
<b>C</b>	0	$\frac{d \times 1/min}{394\ 633}$	$\frac{d \times 1/min}{202\ 922}$

Kuvio 31: Hihnan käyttöiästä tuleva lisäteho C (SKS Mekaniikka Oy, 1998)

Kosketuskulmakerroin  $G$  katsotaan kuvioista 32, johon tarvitaan kerroin  $G_1$ .

$$G_1 = \frac{D-d}{A} \quad , \quad (21)$$

jossa  $A$  on todellinen akseliväli ja  $D$  ison ja  $d$  pienemmän hihnapyörä halkaisijat.

Sijoitetaan arvot kaavaan 19, jolloin kertoimeksi  $G_1$  tulee

$$G_1 = \frac{450 \text{ mm} - 170 \text{ mm}}{750 \text{ mm}} = 0,37$$

Kosketuskulmakerroin  $G$  on 0,94 kuviossa 32 esitetyn taulukon mukaisesti.

**Kosketuskulman korjauskerroin G**

$\frac{D-d}{A}$	Kosketuskulma pienillä urapyörillä (°)	Kerroin G
0.00	180	1.00
0.10	174	0.99
0.20	169	0.97
0.30	163	0.96
0.40	157	0.94
0.50	151	0.93
0.60	145	0.91
0.70	139	0.89
0.80	133	0.87
0.90	127	0.85
1.00	120	0.82
1.10	113	0.80
1.20	106	0.77
1.30	99	0.73
1.40	91	0.70
1.50	83	0.65

Kuvio 32: Kosketuskulmakerroin G (SKS Mekaniikka Oy, 1998)

Hihnan pituuden korjauskerroin  $C_L=1,02$  saadaan valmistajan taulukosta, joka on esitetty kuviossa 33.

**Hihnan pituuden korjauskerroin  $C_L$**

Hihnatunnus	ISO jakopituus mm	Kerroin $C_L$
XPA-2500	2500	1.02

Kuvio 33: Hihnapituuden korjauskerroin  $C_L$  (SKS Mekaniikka Oy, 1998)

Sijoitetaan saadut arvot kaavaan 20, jolloin kiilahihnan tehonsiirroksi saadaan

$$P_k = (7,81 \text{ kW} + 0,29 \text{ kW} + 0 \text{ kW}) * 0,94 * 1,02 = 7,77 \text{ kW}$$

Yksi hihna pystyy siis siirtämään 7,77 kW tehoa. Lasketaan tarvittava hihnojen määrä  $Z$  eri kiekkomäärillä. (SKS Mekaniikka Oy, 1998)

$$Z = P_n / P_k \quad , \quad (22)$$

jossa  $P_n$  on suunnitteluteho ja  $P_k$  hihnan tehonsiirtokyky.

Sijoitetaan taulukon 10 arvot ja hinnan tehonsiirto kaavaan 22, jolloin saadaan taulukossa 11 esitetyt hihnojen määrät. Kiilahihnojen määrä pyöristetään seuraavaan suurempaan hihnamäärään kokonaislukuun. (Valtanen, 2000)

**Taulukko 11: Kiilahihnojen määrä eri kiekko määrillä**

		Suunnittelu teho Pn kW	Laskennallinen Hihnojen määrä	Todellinen Hihnojen määrä
Kiekko lkm.	M1/Nm			
7	32,1	6,6	0,9	1
8	34,7	7,1	0,9	1
9	37,3	7,6	1,0	2
10	39,9	8,1	1,1	2
11	42,4	8,7	1,1	2
12	45,0	9,2	1,2	2
13	47,6	9,7	1,3	2
14	50,2	10,2	1,3	2
15	52,7	10,8	1,4	2
16	55,3	11,3	1,5	2
17	57,9	11,8	1,5	2
18	60,5	12,3	1,6	2
19	63,0	12,9	1,7	2
20	65,6	13,4	1,7	2
21	68,2	13,9	1,8	2
22	70,8	14,5	1,9	2
23	73,3	15,0	1,9	2
24	75,9	15,5	2,0	3
25	78,5	16,0	2,1	3
26	81,1	16,6	2,1	3
27	83,7	17,1	2,2	3
28	86,2	17,6	2,3	3
29	88,8	18,1	2,4	3
30	91,4	18,7	2,4	3

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin joulukuussa 2013 ja sen oli määrä olla valmis maaliskuussa 2014, joten opinnäytetyö valmistui aivan ajallaan, kuten olin suunnitellutkin. Itsessään kiekkosuotimen parissa olen työskennellyt jo puolitoista vuotta, joten laite oli jo tuttu. Uutta tietoa tuli erityisesti sähkömoottorin mitoitusperiaatteesta.

Opinnäytetyö lähti liikkeelle hyvin kun aloin etsimään tietoa ensin vaihdevalmistajista ja myyntikonttoreista. Seuraavaksi selvitin mitoituksessa käytettävät momenttiarvot ja tein tarjouskyselyt eri valmistajilta. Tämän jälkeen mitoitus tehtiin Excel -ohjelmalla, jolla taulukon muodostaminen oli helpointa.

Opinnäytetyön tuloksena syntyneen valintataulukon uskon helpottavan suunnittelutyötä jatkossa. Toivon myös että taustatyöstä uuden tyyppisen vaihteen käytöstä tässä sovelluksessa olisi hyötyä työn teettäjälle. Tämä uudentyyppisen vaihteen käyttö vaikuttaisi huomattavalta parannukselta entiseen nähden ja työn teettäjä onkin alkanut selvittää tätä kehitysehdotusta tarkemmin.

Opinnäytetyössä olisin halunnut tutkia tarkemmin käytön momentin riippuvuutta kiekkomäärästä. Tässä opinnäytetyössä esitetyllä tavalla mitoituksessa on vaarana että komponentit yli- tai alimitoitetaan. Parhaimmillaan lopullisia kustannuksia olisi pystynyt alentamaan tai konerikkoja vähentämään, jos momentin riippuvuuteen kiekkojen määrästä olisi löydetty funktio.

## LÄHTEET

ABB Industry Oy, 2001. *Tekninen opas nro 7*.

ABB, 2013. *Low voltage process performance motors*.

Hautala, J., 2011. *Kuivatuskoneen vesitaseen optimointi*, Kokkola.

International Electrotechnical Commission, 1990. *IEC 60072, Dimensions and output series for rotating electrical machines*.

KnowPap, 2013. *KnowPap -oppimisympäristö*. [Online]

Available at: <http://www.knowpap.com/>

[Haettu 5 Maaliskuu 2014].

Kosonen, H., 2011. *Mikkelin ammattikorkeakoulu*. [Online]

Available at:

[http://cna.mikkeli.amk.fi/Public/KosonenH/s%C3%A4hk%C3%B6\\_ja\\_automaatio/Moottorit\\_1.ppt](http://cna.mikkeli.amk.fi/Public/KosonenH/s%C3%A4hk%C3%B6_ja_automaatio/Moottorit_1.ppt).

[Haettu 5 Maaliskuu 2014].

Metso Oy, 2010. *Disc Filter Training*.

Metso Oy, 2013. *Customer Manual*.

Sepsilva Ltd Oy, 1997. *Kartonkikoneet*. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

SEW-Eurodrive, 2013. *Catalog, Industrial Gear Units, Helical and Bevel-Helical Gear Units*, : .

Siemens AG, 2012. *Flender SIG, Standard Industrial Gear Unit*.

SKS Mekaniikka Oy, 1998. *Teollisuushinnakäytöt, Ketju- ja hinnakäytöt*

Rakennuspaino Oy.

Tamgears, 2009. *Tamgearsin tuoteluettelo, kiilahihnat*. [Online]

Available at: <http://tamgears.com/laakerituotteet%20www/kiilahihnat.htm>

[Haettu 18 Helmikuu 2014].

Valtanen, E., 2000. *Koneenrakentajan Taulukkokirja*. Teoksessa: Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy, pp. 381-406.

VEM motors Finland, 2013. *VEM Motors*. [Online]

Available at: <http://www.vem.fi/downloads/vem-motors-finland-oy/koulutusmateriaalit>

[Haettu 6 Maaliskuu 2014].

Zibo Yichi International Trading Co., Ltd, 2012. *GlobalPaperTrade*. [Online]

Available at: [http://www.globalpapertrade.com/productdetail\\_disc\\_filter\\_472.html](http://www.globalpapertrade.com/productdetail_disc_filter_472.html)

[Haettu 13 Helmikuu 2014].