

Ari Pajulehto

# Selkeytinvaihteen nostokoneisto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinööriytyö

15.12.2017

Tekijä Otsikko	Ari Pajulehto Selkeytinvaihteen nostokoneisto
Sivumäärä Aika	37 sivua 15.12.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Tuotekehitysinsinööri Markku Oksanen Yliopettaja Jyrki Kullaa
<p>Tämä insinööriyö tehtiin SEW Industrial Gears Oy:n suunnitteluosaston toimeksiannosta. Työn tavoitteena on tutkia aikaisempien sellun valmistuksessa käytettävien selkeytinvaihteiden nostokoneistoon liittyviä haasteita ja ohjeistaa suunnittelua yhtenäisempään, parempaan suuntaan. Yhtenäisyys auttaa myös myyntiosastoa asiakastarjousten laatimisessa.</p> <p>Työ on rajattu käsittelemään ruuvinostinta, laakereita, tiivisteitä ja vääntömomentin siirtoa kaapimen ja päävaihteen välillä. Ruuvinostin, jota on käytetty tähän mennessä, ei ole vastannut selkeytinkäytön vaatimuksia suoraan tehtaalta tullessaan.</p> <p>Insinööriyön alkuosassa on tietoa sellun valmistuksesta, jossa selkeytinvaihteita tarvitaan. Sama luku sisältää myös selkeytinvaihteen nostokoneiston erikoisvaatimuksia. Aikaisempia haasteita ja kehitystarpeita käydään läpi ennen nostokoneistossa käytettävien koneenosien perusteisiin tutustumista. Ruuvinostimen teoriaa ei käsitellä tässä työssä.</p> <p>Tutkimustyö -osiossa perehdytään nostokoneiston rakenteeseen ylhäältä alaspäin edeten. Ensimmäinen osa sisältää erilaisten ruuvinostinten vertailua. Toiseksi tutkitaan laakerointia ura-akselin ja ruuvinostimen välillä. Kolmantena on momentinsiirtoon liittyvä tarkastelu. Viimeisenä käydään läpi tiivistäminen.</p> <p>Lopputuloksena saatiin selvitys, joka sisältää ohjeistuksen selkeytinvaihteen nostokoneiston suunnittelua varten.</p>	
Avainsanat	Selkeytin, ruuvinostin, suunnittelu, vääntömomentti, nostokoneisto

Author Title	Ari Pajulehto Lifting Equipment for a Clarifier Drive
Number of Pages Date	37 pages 15 December 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Markku Oksanen, Product Development Engineer Jyrki Kullaa, Principal Lecturer
<p>The Bachelor's thesis was commissioned by the design department of SEW Industrial Gears Oy. The thesis concentrates on researching the challenges of the previous lifting equipment for clarifier drives and creating guidelines on how to design them in a more uniform and better way. Uniformity will also assist the sales department to prepare offers to clients.</p> <p>This thesis is limited to handle the screw jack, bearings, seals and torque transmission between the rake and the main drive. The screw jack that has been used to date, has not, however, met the requirements for a clarifier drive straight out of the factory.</p> <p>Firstly, the thesis discusses the manufacturing of pulp, where clarifier drives are needed. Secondly, the special requirements of a clarifier drive regarding the lifting equipment are studied. In addition, the basic principles of machine parts involved in the lifting equipment are described, and the challenges of the previous drives are pointed out. However, the theory concerning screw jack is not handled in this thesis.</p> <p>In the research chapter the lifting equipment's structure was examined from top to bottom. Different options for the screw jack are compared in the beginning of the research part of the thesis. Furthermore, an investigation of the bearings between the splined shaft and screw jack is carried out. Torque transmission is examined next. Finally, the sealing process is studied.</p> <p>In conclusion, the main guidelines were created for designing the lifting equipment for a clarifier drive.</p>	
Keywords	Clarifier, screw jack, design, torque, lifting equipment

## Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Kohdeyritys	1
1.2	Työn taustaa	2
1.3	Työn menetelmät ja vaiheet	2
2	Selkeytinvaihteen tekniset vaatimukset	3
2.1	Käyttö	3
2.2	Nostolaite	7
3	Kehitystarpeet	10
3.1	Nostolaite	10
3.2	Painelaakerointi	11
3.3	Momentinsiirto	12
3.4	Tiivistys	12
4	Yleistietoa tiivistämisestä	13
5	Yleistietoa momentin siirrosta	15
5.1	Akseliliitokset	16
5.2	Kiilaliitokset	16
5.2.1	Muotosulkeiset kiilat	16
5.2.2	Kitkasulkeiset kiilat	18
5.3	Puristus-, kutistus- ja kiristysliitokset	19
5.3.1	Puristus- ja kutistusliitos	19
5.3.2	Kiristysliitos	19
5.4	Ura-akselit	20
6	Yleistietoa laakereista	22
7	Tutkimustyö	23
7.1	Nostolaite	24
7.2	Painelaakerointi	26
7.3	Momentinsiirto	29
7.3.1	Akselin ja holkin materiaalit	29
7.3.2	Pinnanlaatu	30
7.4	Tiivistys	32

8	Päätelmät	33
8.1	Nostolaite	33
8.2	Painelaakerointi	33
8.3	Momentinsiirto	34
8.4	Tiivistys	35
9	Yhteenveto	35
	Lähteet	36

## 1 Johdanto

Työn aiheena on sellun valmistuksessa käytettävien selkeytinvaihteiden nostokoneiston ohjeistuksen laatiminen suunnittelun ja myynnin avuksi.

### 1.1 Kohdeyritys

Työn tilaajana toimi Karkkilassa sijaitseva SEW Industrial Gears Oy, joka valmistaa teollisuusvaihteita teollisuuden eri käyttötarkoituksiin. Liikevaihto oli n. 24 miljoonaa euroa vuonna 2016. Yrityksellä on oma tehdas, jonka välittömässä yhteydessä on myös toimistotilat. Toimiston puolelta löytyvät suunnittelijat, ostohenkilöt, myyjät ja muu hallinto. Työntekijöitä on noin 140, joista toimihenkilöitä on noin puolet. Yritys laajensi nykyisiin tiloihin vuonna 2015 toiselta puolelta Karkkilaa. Tehtaalla on monenlaisia eri työpisteitä. Välitysosien, akseleiden ja koteloiden koneistaminen onnistuu moderneilla koneistuskeskuksilla. Pienille ja suuremmillekin tavaroille tehtaalla on oma varasto. Osa tavaroista sijaitsee automatisoidussa hyllykössä. Vaihteiden kokoonpano voidaan suorittaa useammalla eri pisteellä mallisarjasta ja vaihteen koosta riippuen. Kokoonpanon jälkeen suoritetaan koeajo, jossa tarkkaillaan mm. vaihteen käyntilämpötilaa sekä melutasoa. Myös koeajopisteitä on useampia. Koeajon jälkeen vaihteet maalataan ja varustellaan ennen pakkaamista ja asiakkaalle lähettämistä. (14.)

SEW Industrial Gears Oy on osa kansainvälistä SEW-EURODRIVE -konsernia, joka on vuonna 1931 perustettu saksalainen perheyritys. Konsernilla on maailmanlaajuinen myyntiverkosto ja noin 16 000 työntekijää. Yritys on maailman suurimpia automaation ja käyttötekniikan alalla. Liikevaihto on n. 2.5 miljardia euroa. (15.)

## 1.2 Työn taustaa

Keskustelussa yrityksen edustajien kanssa tuli esille kehitystarve, joka liittyy selkeytinvaihteiden suunnittelu- ja myyntiprosessiin. Kyseisiä vaihteita myydään muihin vaihteisiin verrattuna harvakseltaan ja sen myötä yhtenäisiä myynnin ja suunnittelun toimintamalleja ei ole. Suunnittelu on aikaisemmin tapahtunut suunnittelijan oman kokemuksen perusteella. Selkeytinvaihteen erikoisuutena on nostokoneisto. Insinööriyön tavoitteena on kehittää aikaisemmin suunniteltujen selkeytinvaihteiden nostokoneistojen suunnitteluperiaatteita yhtenevämpään suuntaan ja samalla pohtia nostokoneiston rakenteen kehittämismahdollisuuksia. Työ rajattiin keskittymään nostokoneistoon, tiivistykseen, momentinsiirtoon kaapimen akselin ja vaihteen toisioakselin välille sekä laakerointiratkaisuun nostokoneiston ja kaapimen välille.

## 1.3 Työn menetelmät ja vaiheet

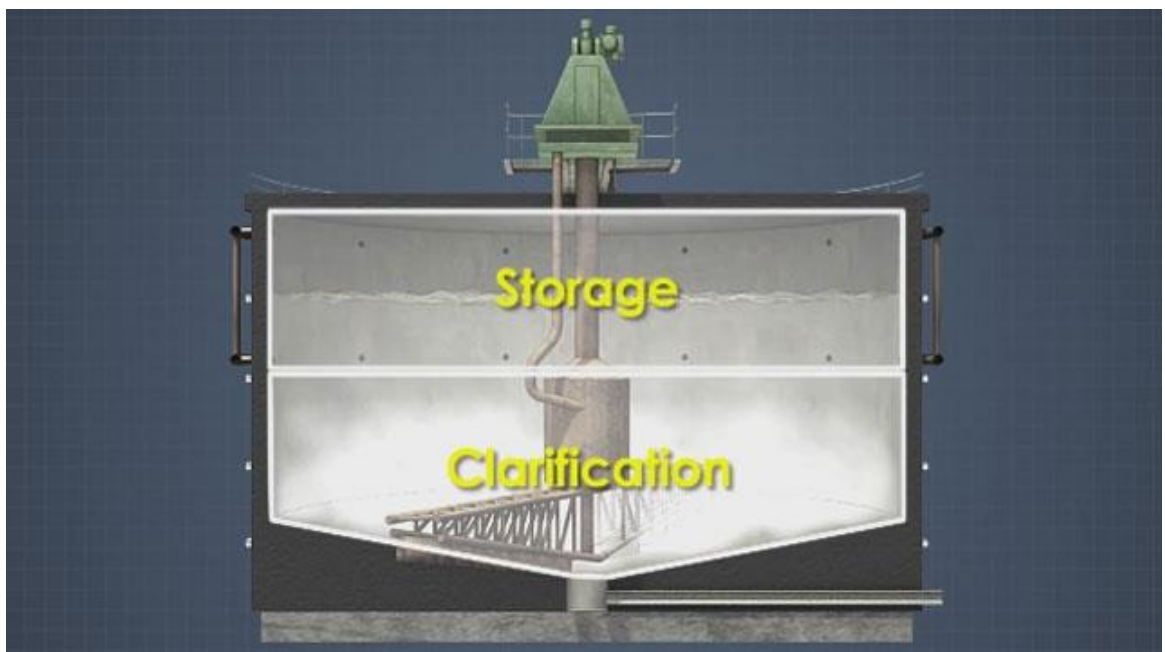
Työ toteutetaan yhteistyössä yrityksen myynnin, suunnittelun ja kokoonpanon kanssa, jotta voitaisiin löytää hyvä toimintamalli. Selvitetään mitä haasteita aikaisempien suunniteltujen selkeytinvaihteiden kanssa on ollut ja mitkä ratkaisut ovat toimineet. Aineistona käytetään koneensuunnittelua käsitteleviä kirjoja sekä yrityksen henkilöstön tietoa aikaisemmista selkeytinvaihteista ja niiden haasteista. Myös komponenttitoimittajiin ollaan yhteydessä. Edellä mainittuja keinoja käyttäen pyritään löytämään sopiva ratkaisu ja toimintamalli nostovaihteiden myynnille ja suunnittelulle.

Luvussa 2 käsitellään prosessia, jossa selkeytinvaihteita käytetään, sekä tyypillisiä nostolaitteen vaatimuksia. Luvussa 3 käydään aihealueittain läpi nostinvaihteen kehitystarpeita. Luvut 4, 5 ja 6 ovat tarkoitettu yleistiedoksi tiivisteistä, momentinsiirrosta ja laakereista. Tutkimustyö käsitellään luvussa 7 ja jälleen nostinvaihteen eri aihealueet on jaoteltu omiin alaotsikoihin. Päätelmät voidaan lukea luvusta 8. Viimeisenä on yhteenveto insinööriyöstä.

## 2 Selkeytinvaihteen tekniset vaatimukset

### 2.1 Käyttö

Sellun valmistuksessa käytetään useimmiten kahta eri tapaa poistaa puun kuituja sitovaa ligniiniä – kemiallista ja mekaanista. Kemiallisen valmistustavan prosessissa käytetään useampia erilaisia selkeytinvaihteita selkeyttimen käyttötarkoituksen mukaan. Kemiallista valmistustapaa kutsutaan myös sulfaattikeittoprosessiksi. Keittokemikaalina toimii valkolipeä, joka poistaa puun ligniiniä. Sen seurauksena puuhake kuituuntuu helpommin. Prosessi tapahtuu valkolipeän selkeyttimessä (kuva 1), johon puuhake ja valkolipeä syötetään. Selkeyttimessä on erittäin hitaasti pyörivä kaavin, joka sekoittaa ja työntää ulos säiliön pohjalle kertyvää sellua säiliön pohjassa sijaitsevasta poistoaukosta. Kaavin voi rikkoutua, jos sellun sekoittamiseksi tarvittava momentti kasvaa liian suureksi. Sen estämiseksi kaavinta täytyy pystyä nostamaan, kun tietty raja momentissa ylittyy. (1; 2; 7.)



Kuva 1. Valkolipeän selkeytin. Vaihde nostokoneistoineen on ylimpänä vihreänä. (7.)

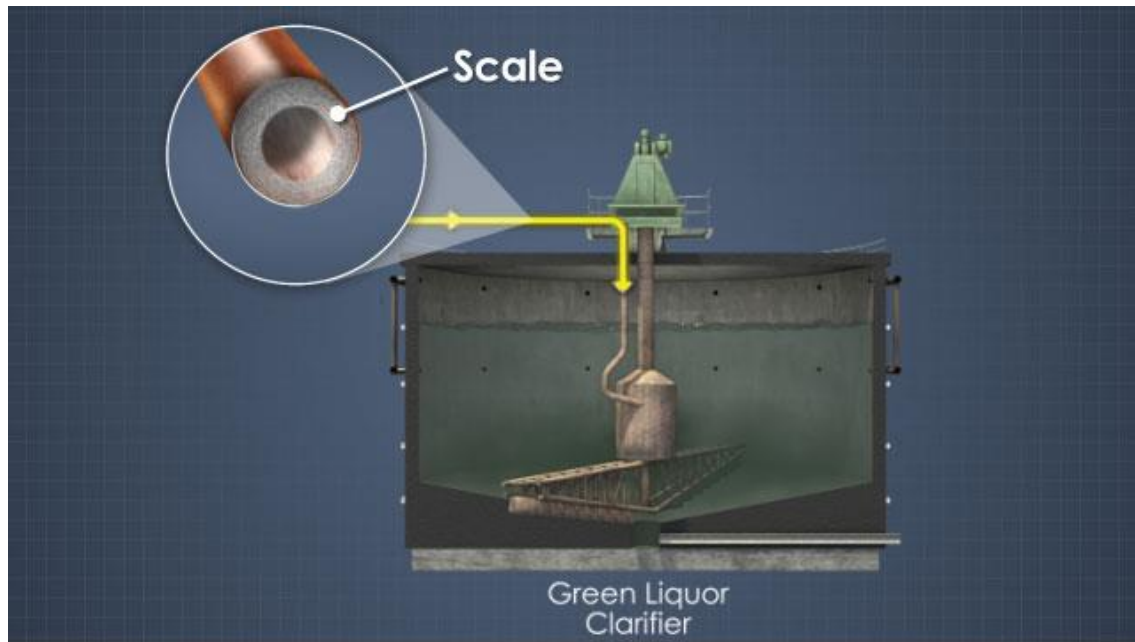


Sellu sisältää valkolipeän selkeyttimestä poistuttuaan vielä merkittäviä pitoisuuksia valkolipeää ja se täytyy pestä ja suodattaa (kuva 2). Pesusäiliön (mix tank) jälkeen sellu viedään mustalipeän selkeyttimeen (lime mud washer), jossa saadaan sedimentaation avulla puhdasta sellua ja mustalipeää, eli pesuveden ja kemikaalijäänteiden seosta. Sellu jatkaa matkaansa valkaisuun eikä sitä käsitellä jatkossa, sillä valkaisuprosessissa ei käytetä selkeyttämiä. Mustalipeän selkeyttimen pohjalle kertynyt mustalipeä otetaan talteen ja poltetaan prosessia varten suunnitellussa soodakattilassa. Mustalipeän polttamisesta vapautuneella energialla tuotetaan merkittävä osa laitoksen sähköntarpeesta. Sähkön tuoton ylittäessä voimalan tarpeen sähköä tuotetaan myös valtakunnalliseen sähköverkkoon.(1; 2; 8; 10.)



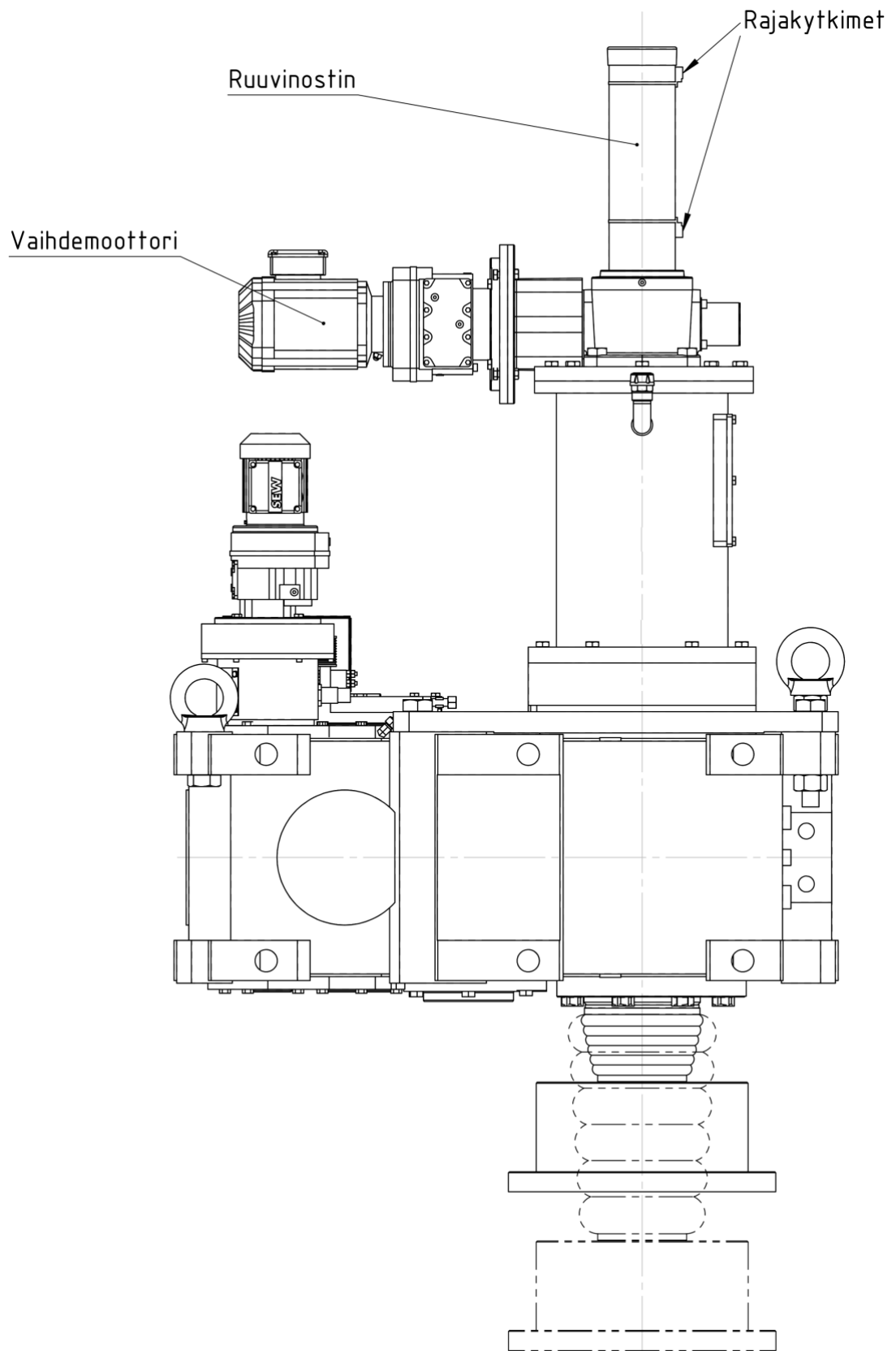
Kuva 2. Sellun peseminen ja suodatus. Mustalipeän selkeytin. (8.)

Kun orgaaninen aines on poltettu pois soodakattilassa, sekoitetaan jäljelle jäänyt aines laimaan valkolipeään. Syntynyttä liuosta kutsutaan viherlipeäksi. Viherlipeästä erotetaan epäpuhtaudet pois viherlipeän selkeyttimen avulla (kuva 3). Puhtaasta viherlipeästä saadaan kaustisoinnin jälkeen jälleen valkolipeää uutta käyttöä varten. (1; 2; 9.)



Kuva 3. Viherlipeän selkeytin (9).

Selkeyttimiä on siis kolmea eri tyyppiä: valkolipeälle, mustalipeälle ja viherlipeälle. Jokaisessa tarvitaan nostokoneistoa. Kuvassa 4 on tyypillinen selkeytinvaihdin. Nostoliike tapahtuu ruuvinostimella, jota pyörittää vaihdemoottori. Rajakytkimet pitävät ruuvinostimen iskunpituuden sallituissa rajoissa.



Kuva 4. Selkeytinvaihte varusteineen.

## 2.2 Nostolaite

Vastaavanlaisia selkeyttimiä valmistaa useampikin suuri koneenrakentaja, joten tarpeet selkeytinvaihteille ja niiden nostokoneistolle ovat ainakin suurimmaksi osaksi yhteneväisiä. Selkeyttimiä on eri kokoisia, joten esimerkiksi kustannussyistä johtuen ei kannata valita nostokyvyltään järeintä nostinta jokaiseen käyttötarkoitukseen vaan pyrkiä suunnittelemaan nostolaite optimaaliseksi. Nostimissa on myös muutamia muita tärkeitä seikkoja käyttökohdetta silmällä pitäen ja niitä käydään läpi seuraavaksi. Tarkat suureiden arvot haluttiin pitää salassa.

Vaihteen momentinsiirtokyvyn ja välityssuhteen tarpeet:

- kymmenistä satoihin kilonewtonmetreihin
- tuhansista kymmeneen tuhansiin

Suuri välitys saadaan käyttämällä vaihdemoottoria etuvaihteena. Momentinsiirtokyky osuu parhaiten yrityksen X-sarjan vaihteiden alueelle.

Nostimen tekniset vaatimukset jakautuvat kolmeen pääluokkaan joita ovat:

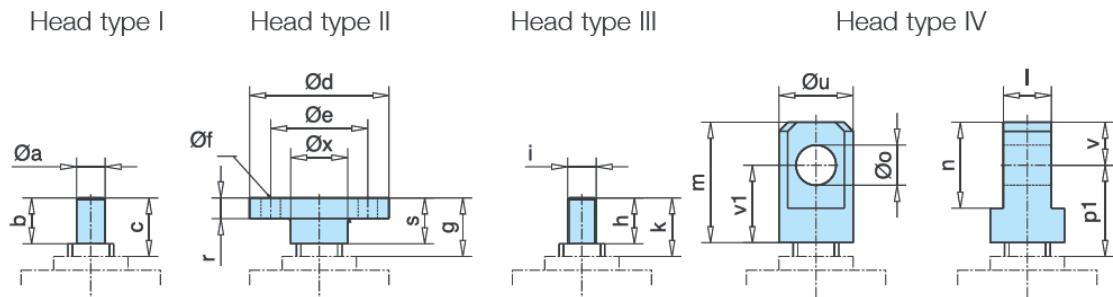
1. Nostokyky.
2. Nostomatka.
3. Noston nopeus.

Näiden vaatimusten tulee asettua seuraavalla tavalla erikokoiset selkeyttimet huomioiden:

1. Nostokyvyn tulee olla satoja kilonewtoneita.
2. Nostomatkan tulee olla aplikaatiosta riippuen satoja millimetrejä.
3. Liikenopeudella tulee olla tietty maksimiarvo prosessin vaatimusten mukaan.

Nostolaitteessa tulisi myös olla rajakytkimet ja niiden lisäksi jokin keino nähdä nostolaitteen asento visuaalisestikin. Tämä sen takia, että jos huoltomies menee paikan päälle ajamaan nostolaitetta manuaalisesti, niin hän ei tiedä valvomoon lähtevistä rajakytkinten tiedoista mitään. Nostimessa olisi myös hyvä olla absoluuttisen asematiedon antava anturi. Näin tiedettäisiin nostimen paikka myös esimerkiksi sähkökatkon jälkeen. (12.)

Koska nostimen tulisi ottaa vastaan vain ruuvin akselin suuntainen kuorma, eikä vääntömomenttia, täytyy siihen saada laakerit kiinni. Tämän takia ruuvin pään tulisi mahdollisesti olla vakioratkaisuista (kuva 5) poikkeava. Tästä lisää kappaleessa tutkimustyö.



Kuva 5. Erilaisia ruuvinostimen ruuvin pään vakioratkaisuja.

Nostinta käyttävä vaihdemoottori on SEWin valmistama. Taulukossa 1 on esitetty vaatimuslista ruuvinostimen varusteille.

	Vaatimuslista nostolaitteelle
	V = Välttämätön, T = Toivottu
V	Sopiva nostokyky aplikaation mukaan
V	Sopiva nostokorkeus aplikaation mukaan
V	Korkein sallittu nostonopeus aplikaation mukaan
V	Rajakytkimet
V	Ikkuna josta näkee ruuvien asennon
V	SEWin vaihdemoottori
T	Absoluuttinen paikka-anturi
T	Erikoinen ruuvien pää jolle saa laakerit asennettua
T	Raja-antureiden suoja

Taulukko 1. Vaatimuslista nostolaitteelle

Selkeytinvaihte sisältää myös muuta tekniikkaa nostokoneiston lisäksi, mutta sitä ei käsitellä tämän insinööriyön puitteissa muuta kuin informatiivisessa mielessä. Selkeytinvaihte sisältää vaihteen ensiöakselilla sijaitsevan momentinmittausjärjestelmän. Momenttia mittaamalla ja tietyin kynnysarvoin säädetyillä toimenpiteillä varmistetaan, ettei kaavin jää jumiin ja hajoa. Vaihteen tuottama momentti riittää rikkomaan kaapimen sen juuttuessa kiinni.

### 3 Kehitystarpeet

Tässä luvussa käydään läpi nostinvaihteeseen liittyviä teknisiä kehitystarpeita insinööriyön rajauksen puitteissa.

#### 3.1 Nostolaite

Aikaisemmin nostoon on käytetty tietyn toimittajan ruuvinostinta. Haluttiin kuitenkin tutkia myös muita vaihtoehtoisia nostintoimittajia yhden toimittajan lisäksi. Useampien toimittajien löytyminen olisi hyödyllistä myös nostimen pitkäkhön toimitusajan takia. Jos jollain valmistajalla sattuu olemaan paljon tilauksia juuri sillä hetkellä, kun nostinta tarvittaisiin, niin toiselta valmistajalta voisi saada sen nostimen nopeammin, ja siten toimitusajat voitaisiin pitää lyhyempinä. Kuvassa 6 on tyyppillinen ruuvinostin ilman lisävarusteita.



Kuva 6. Ruuvinostin.

Rajakytkimien kiinnityksen tulisi olla nykyistäkin tukevampi. Rajakytkimet ovat olleet nostimen ruuvia suojaavan putken ympärillä kiinni metallisilla pannoilla (kuva 7). Kytkimet haluttiin myös suojan taakse piiloon.



Kuva 7. Ruuvinostimen rajakytkimet.

Yksi haaste on ollut myös visuaalisen tarkastusikkunan saatavuus. Tarkastusikkuna tarvitaan, koska ruuvin tarkka sijainti halutaan nähdä. Rajakytkimet eivät sitä kerro.

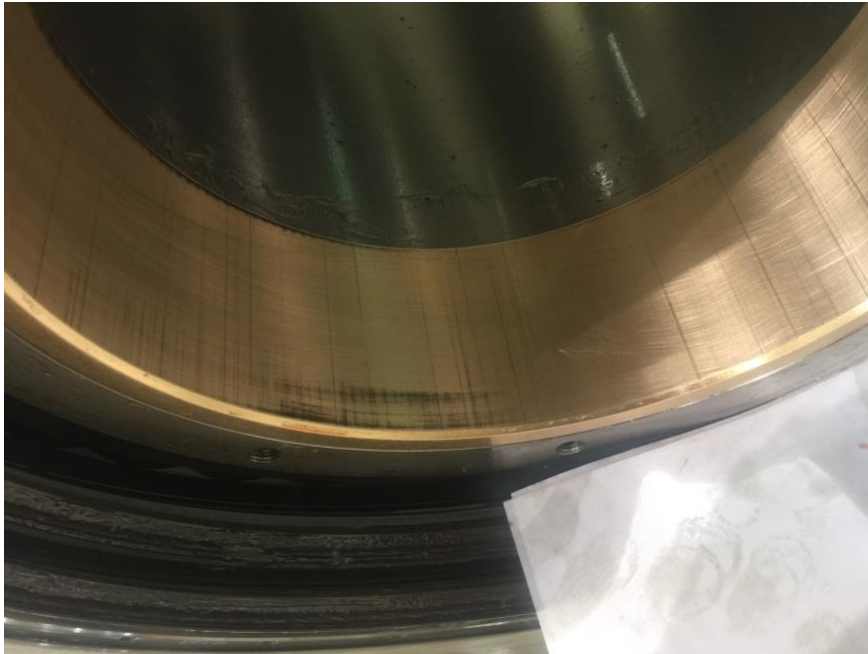
### 3.2 Painelaakerointi

Aikaisemmin on käytetty kahdenlaisia eri laakereita. Toinen laakerityyppi on ollut lieriömäinen aksiaalilaakeri ja toinen pallomainen aksiaalilaakeri. Laakerointi liittyy sinällään nostolaitteeseen, sillä nostolaitteessa tulee olla sopiva kiinnitys laakereita ja niiden koteloa varten. Laakerien kotelon suunnittelussa on ollut menneisyydessä eri tapoja. Myös voitelussa on ollut eroja rasva- ja öljyvoitelun välillä. Olisikin hyvä toteuttaa laakerointi yhdellä tavalla, mikäli mahdollista. Näin myynnin ja suunnittelun prosessit nopeutuisivat ja helpottuisivat.



### 3.3 Momentinsiirto

Yleisesti ottaen suoraviivaisen ja pyörivän liikkeen yhdistäminen momentinsiirrossa on haasteellista. Tässä sovelluksessa kyse on toisioakselin ja ura-akselin toisiaan vasten liukuvista pinnoista (kuva 8). Liukupintoja on kuvan pronssisen holkin lisäksi ura-akselin ja hammastetun holkin pinnat. Pintojen kovuuksien täytyy olla sopivassa suhteessa ja akseleiden oikeista materiaaleista valmistettuja, jotta vältetään haitalliset ilmiöt. Hampaat ovat kovan pintapaineen alaisena ja pinnan kuluminen aiheuttaa helposti pinnan hilseilyä. Ura-akseleiden suunnittelun ohjeistusta haluttiin myös tehostaa. Ura-akselin ja holkin Hammastus on tehty sisäisten standardien tai DIN 5480 -standardin mukaan.



Kuva 8. Vaihteen toisioakselin pronssinen holkki.

### 3.4 Tiivistys

Tiivistys on ollut jo aikaisemmin itsessään toimiva. Dokumentointi vakioratkaisusta olisi kuitenkin hyvä tehdä.

## 4 Yleistietoa tiivistämisestä

Tässä luvussa käydään yleisesti läpi tiivistämisen perusasioita ja erilaisia tiivistetyyppejä.

On tärkeää, että tiivistys on käyttökohteeseen soveltuva. Tiivistämisen tarkoituksena on estää tai ainakin vähentää vuotoa. Vuodoksi kutsutaan kahden eri tilan välillä tapahtuvaa virtausta, joka sellaisenaan on haitallista koneen tai osan kannalta. Tiivistimellä voidaan estää tiivistyskohdan eri puolilla vallitsevan paineen tasaantuminen tai eri aineiden sekoittuminen. Suurimmat ongelmat tiivistämisessä esiintyvät, kun tiivistettävän puolen paine on suurempi kuin ympäristön paine tiivisteen toisella puolella. Tiivisteessä ollessa kosketuksen, vuotoa esiintyy käytännössä aina jossain määrin. Toisaalta kitka ja kuluminen on lähes olematonta. Kosketuksellisessa tiivisteessä näitä esiintyy. Kosketuksellisen tiivisteessä hyvä puoli on vuodon vähyys; sitä ei yleensä huomaa, koska neste haihtuu ympäröivään ilmaan. (5, s. 166–170; 6, s. 636–637.)

Liukukosketuksen voitelutilanne liiketiivisteissä voi olla neste- (elastohydrodynaaminen tai hydrodynaaminen), seka- tai rajavoitelu. Nämä kaikki esiintyvät yleensä samanaikaisesti. Jos kosketus on kuiva, riippuu kitkavoiman suuruus metalleilla pinnankarheushuippujen leikkautumisesta eli adhesiivisesta kitkasta. Elastomeereilla, kuten kumilla kitkavoima koostuu tämän lisäksi materiaalin hystereesistä käyttäytymisestä. Kuivalla kosketuksella tiivisteessä suurentunut kitkateho muuttuu liiaksi lämmöksi, joka pilaa tiivisteessä. (6, s. 638.)

Seka- ja rajavoitelutilanteissa voiteluun vaikuttavat liukukosketuksen materiaalit, pintoihin muodostuvat kerrostumat (esim. oksidikerrostuma) ja voiteluaineen kemikaalit, jotka reagoivat pintojen kanssa. Nestevoitelutilanne syntyy riittävän pinnan tasomaisuuden (esim. liukurengastiivistimellä) ja pinnan ympyrämäisyyden (esim. säteishuulitiivistimellä) ansiosta. Jos ne eivät ole riittäviä, syntyy liiketiivistimeen hydrodynaaminen voitelutilanne, jolloin tiivisteessä vuoto lisääntyy. (6, s. 638.)

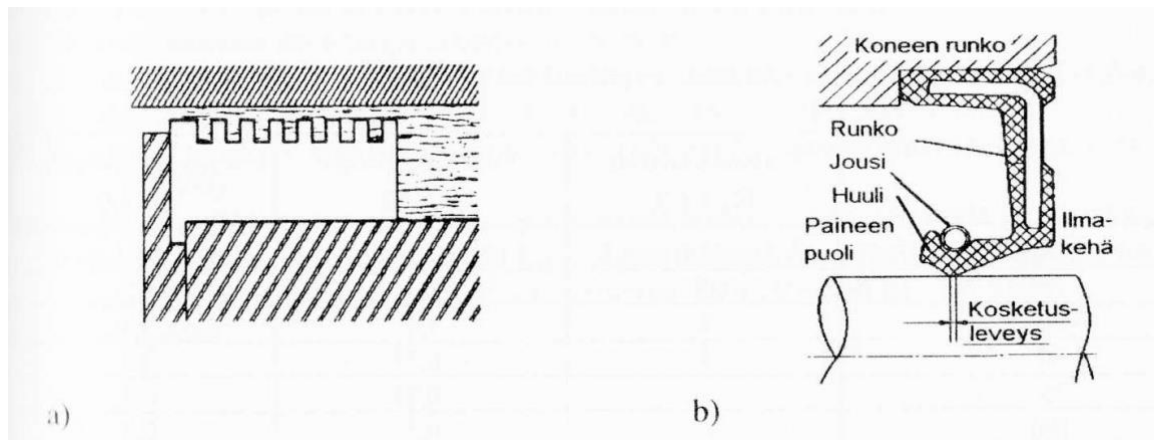
Tiivisteessä syntyvästä kitkatehosta aiheutuva lämpö johtuu pois runkorakenteita, akselia ja tiivistettävää ainetta pitkin. Osa lämmöstä myös haihtuu ympäröivään ilmaan. (6, s. 638.)

Merkittävin asia tiivistimen valinnan kannalta on tiivistyskohdassa tapahtuva liike. Tiivistimet jakautuvat viiteen pääryhmään liikkeen luonteen perusteella seuraavalla tavalla:

- staattiset eli lepotiivistimet (laippaliitos).
- puolistaattiset tiivistimet (kalvorasia).
- pyörimisliikkeen tiivistimet (laakerin suojaus labyrintti- tai säteishuulitiivistimellä).
- suoraviivaisen liikkeen tiivistimet (paineilma- tai hydraulikkasyylinteri).
- yhdistelmäliikkeen tiivistimet.

Toistensa suhteen liikkuvien pintojen tiivistimen voidaan jakaa kahteen ryhmään (kuva 9):

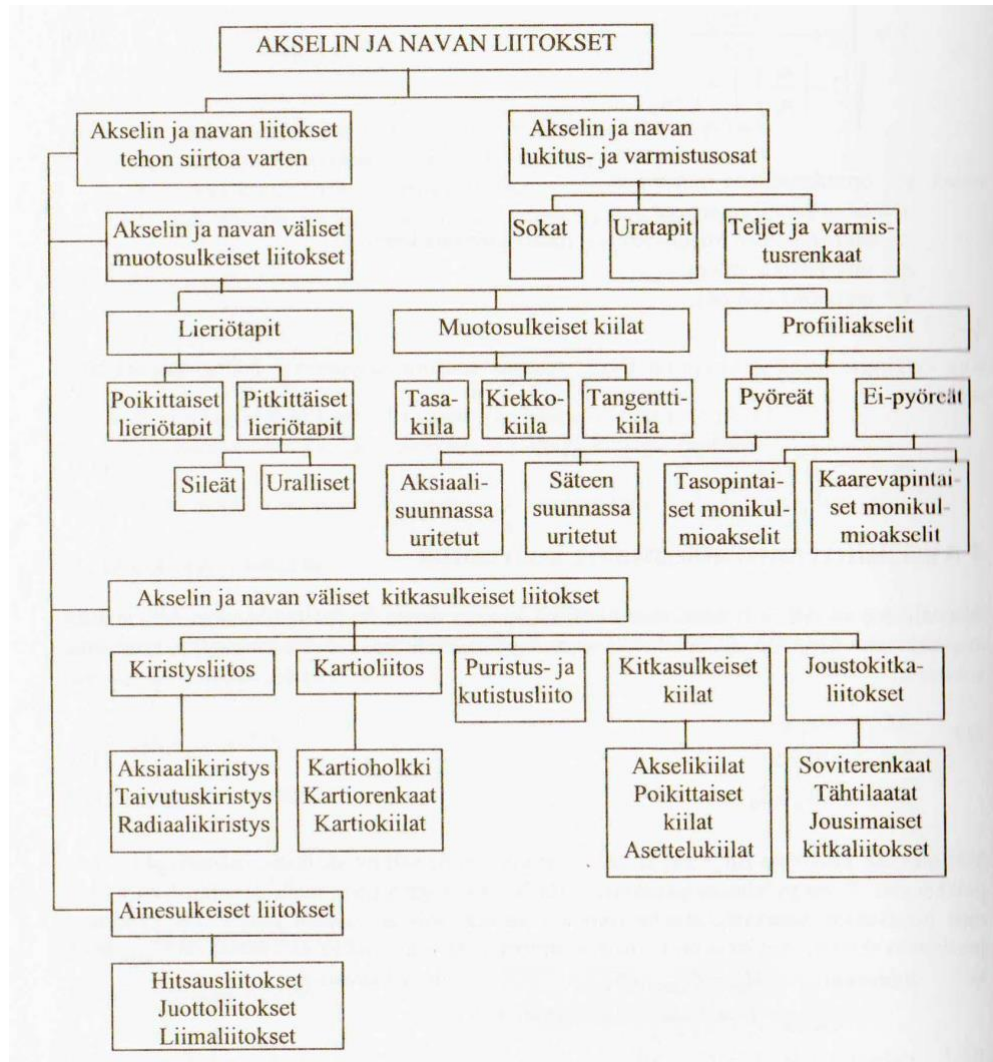
- kosketuksettomat tiivistimet, esim. labyrinttitiiviste.
- kosketukselliset tiivistimet, esim. säteishuulitiiviste (5, s. 170; 6, s. 636.).



Kuva 9. Esimerkit kosketuksettomasta ja kosketuksellisesta tiivisteestä. Labyrinttitiiviste (a) ja säteishuulitiiviste (b). (6, s. 637.)

## 5 Yleistietoa momentin siirrosta

Luvusta käy ilmi erilaisia tapoja siirtää momenttia navalta akselille (kuva 10).



Kuva 10. Erilaisia akselin ja navan liitoksia (6, s. 374).

## 5.1 Akseliliitokset

Navan ja akselin väliset tehoa siirtävät liitokset voidaan ryhmitellä liitoksen toimintaperiaatteen mukaan kahteen pääluokkaan.

Muotosulkeisissa liitoksissa akselin ja navan välissä ei ole ainakaan suurta säteen suuntaista puristusta. Momentti siirtyy liitoselementin kehän suuntaisen pintapaineen ja leikkausjännityksen avulla.

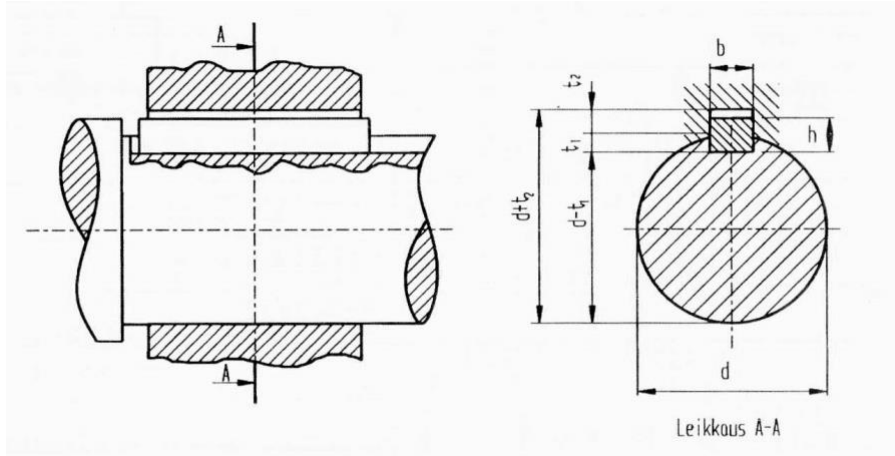
Kitkasulkeisissa liitoksissa tarkoituksena on saada ja varmistaa liitoselementin avulla akselin ja navan välille riittävän suuri pintapaine, jotta momentti voi siirtyä kitkavoimien kautta. (3, s. 93; 6, s. 374.)

## 5.2 Kiilaliitokset

Kiilaliitoksia on sekä kitkasulkeisia (esim. ahtokiila) että muotosulkeisia (esim. tasakiila). Kiilaliitokset kuuluvat navan ja akselin avattavien liitosten ryhmään. Tietyillä kiilatyypeillä voidaan vääntömomentin siirron lisäksi poistaa välykset liitoksesta. (3, s. 93.)

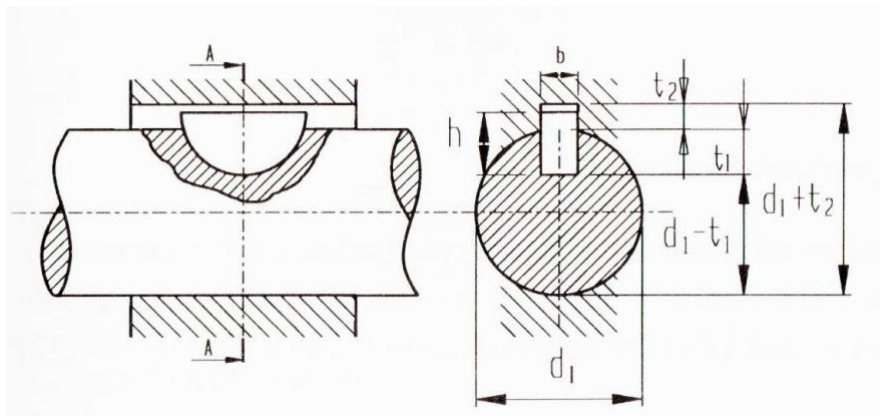
### 5.2.1 Muotosulkeiset kiilat

Muotosulkeisia kiiloja on kolmea yleisintä tyyppiä. Näistä selvästi yleisin on tasakiila (kuva 11). Tasakiilojen mitat sekä rakenne on määritetty standardissa SFS 2636. Tasakiila on akselin kiilaurassa kiinni sivusuunnassa useimmiten puristussovitteella, joka estää sen liukumisen. (3, s. 95; 6, s. 382.)



Kuva 11. Tasakiila (3, s. 95).

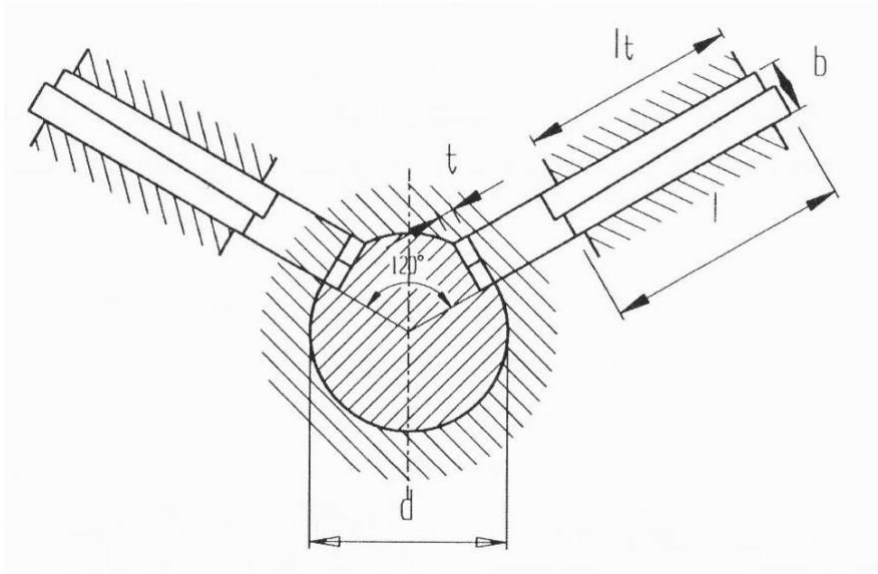
Toinen muotosulkeinen kiilatyyppe on standardin SFS 4018 mukainen kiekkokiila, josta käytetään myös nimitystä Woodruff-kiila (kuva 12). Se voidaan suunnitella toimimaan myös kitkasulkeisella tavalla, mikäli navan kiilauran yläpinta tehdään kaltevaksi. Kiilaura tälle kiilatyypille voidaan valmistaa helposti kiekkojyrsimellä, mutta samalla aiheutetaan akselille suuri lovivaikutus. (3, s. 99.)



Kuva 12. Kiekkokiila eli Woodruff-kiila (3, s. 99).

Tangenttikiilalla (kuva 13) on oma standardinsa SFS 4005. Tangenttikiilassa on kaksi  $120^\circ$ :n kulmaan asetettua kiilaparia. Kiilaparien kiilat ovat toistensa suhteen kaltevia välillä 1:60...1:100. Tangenttikiila toimii tasakiilaa paremmin vaihtosuuntaisessa kuormituksessa. Kiilan löystymisen estävät asennettaessa syntyvä esipuristus ja kitkajännitys. Liitosta kuormittaessa oletetaan, että vain toinen kiila siirtää vääntömomenttia toisen löystyessä. (3, s. 100.)

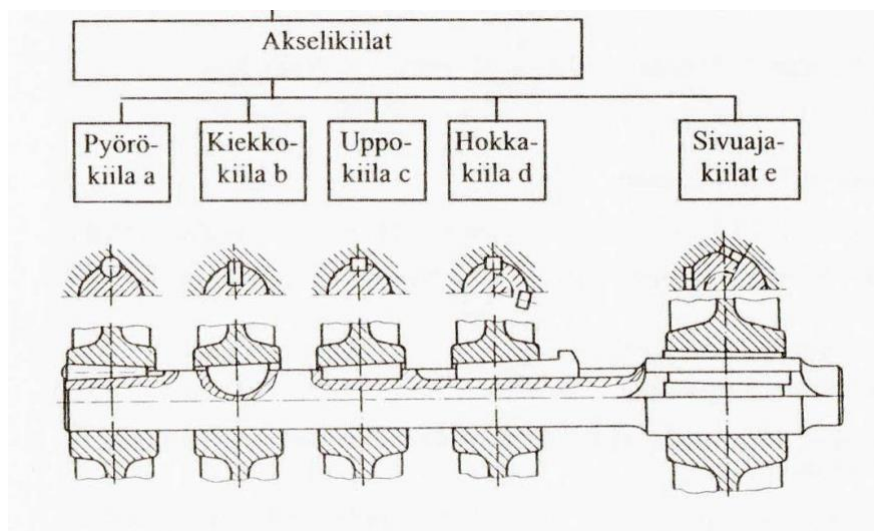




Kuva 13. Tangentkiila (3, s. 100).

### 5.2.2 Kitkasulkeiset kiilat

Kitkasulkeisten kiilojen (kuva 14) toiminta perustuu nimensä mukaan kitkailmiöön. Momentti välittyy kitkavoimien kautta leikkausjännityksen ja pintapaineen sijaan.



Kuva 14. Esimerkkejä kitkasulkeisista kiiloista (6, s. 412).

### 5.3 Puristus-, kutistus- ja kiristysliitokset

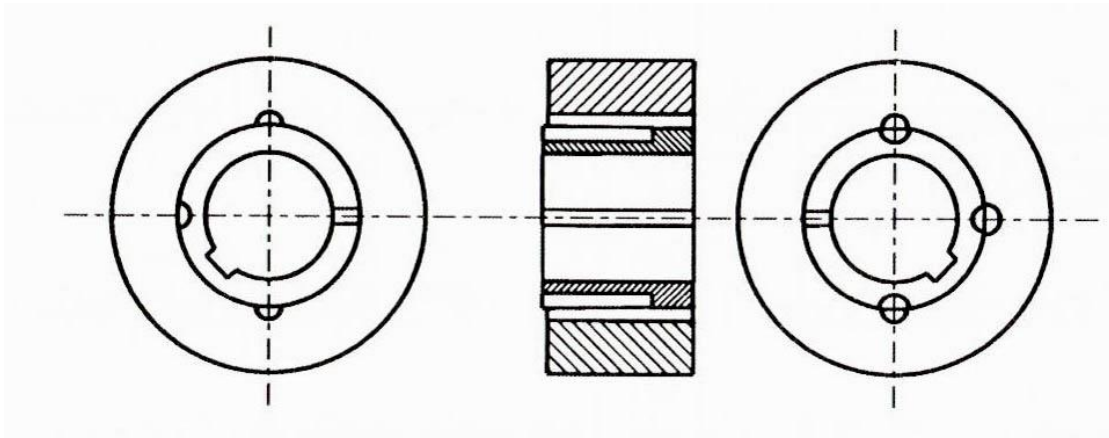
#### 5.3.1 Puristus- ja kutistusliitos

Puristus- ja kutistusliitos on kitkasulkeinen navan ja akselin välinen liitos, joka muodostuu lieriömäisistä liitospinnoista. Ennen yhteen liittämistä navan liitospinnan halkaisija on hieman pienempi kuin akselin liitospinnan halkaisija. Napa saadaan liitettyä akselille lämmittämällä napaa ja tarpeen vaatiessa jäähdyttämällä akselia tai vaihtoehtoisesti puristamalla napa pituussuuntaisesti akselille. Tästä liitokset ovat saaneet nimensäkin. Lämpötilojen tasaantuessa akselin ja navan välille syntyy muodonmuutoksista johtuva jännitystila. Liitoksessa vaikuttaa säteen suuntainen puristusjännitys. Tätä puristusjännitystä kutsutaan pintapaineeksi, ja sen avulla liitos kykenee välittämään tangentiali- ja aksiaalivoimia. Liitos voidaan purkaa samalla periaatteella kuin liittäminen tapahtuu: lämmittämällä napaa tai jäähdyttämällä akselia. Muita tapoja on akselin ja navan irrottaminen toisistaan öljynpaineen avulla. Yksi etu liitoksissa on hyvä kestävyys vaihtokuormituksessa pienen lovivaikutuksen ansiosta. Toinen etu on hyvä keskittäminen. Haittapuolena on liitoksen vaatima tarkkuus tiukkojen toleranssien ja pienten ahdistusten takia. Puristus- ja kutistusliitosten mitoituksesta löytyy tietoa standardista SFS 5595. (3, s. 104; 6, s. 391.)

#### 5.3.2 Kiristysliitos

Kiristysliitoksessa sen sijaan tehon siirtoon tarvittava pintapaine saadaan aikaiseksi akselin ja navan väliin sijoitetulla kiristys-elementillä tai kiristämällä joustavaa tai halkaistua napaa ruuvien avulla (kuva 15). Ennen kiristysliitoksen osien yhteen liittämistä elementtien välillä on selvät välykset. Liitosta tehtäessä välykset poistetaan kiristämällä ruuveja sopivaan momenttiin halutun pintapaineen aikaansaamiseksi. Purkaminen onnistuu avaamalla ruuvit. Etuna on siis helppo liitoksen purkaminen ja siirtäminen, sekä mahdollisuus tehdä liitos suoraan vedetylle akselille ilman akselin koneistamista. (3, s. 104; 6, s. 392.)





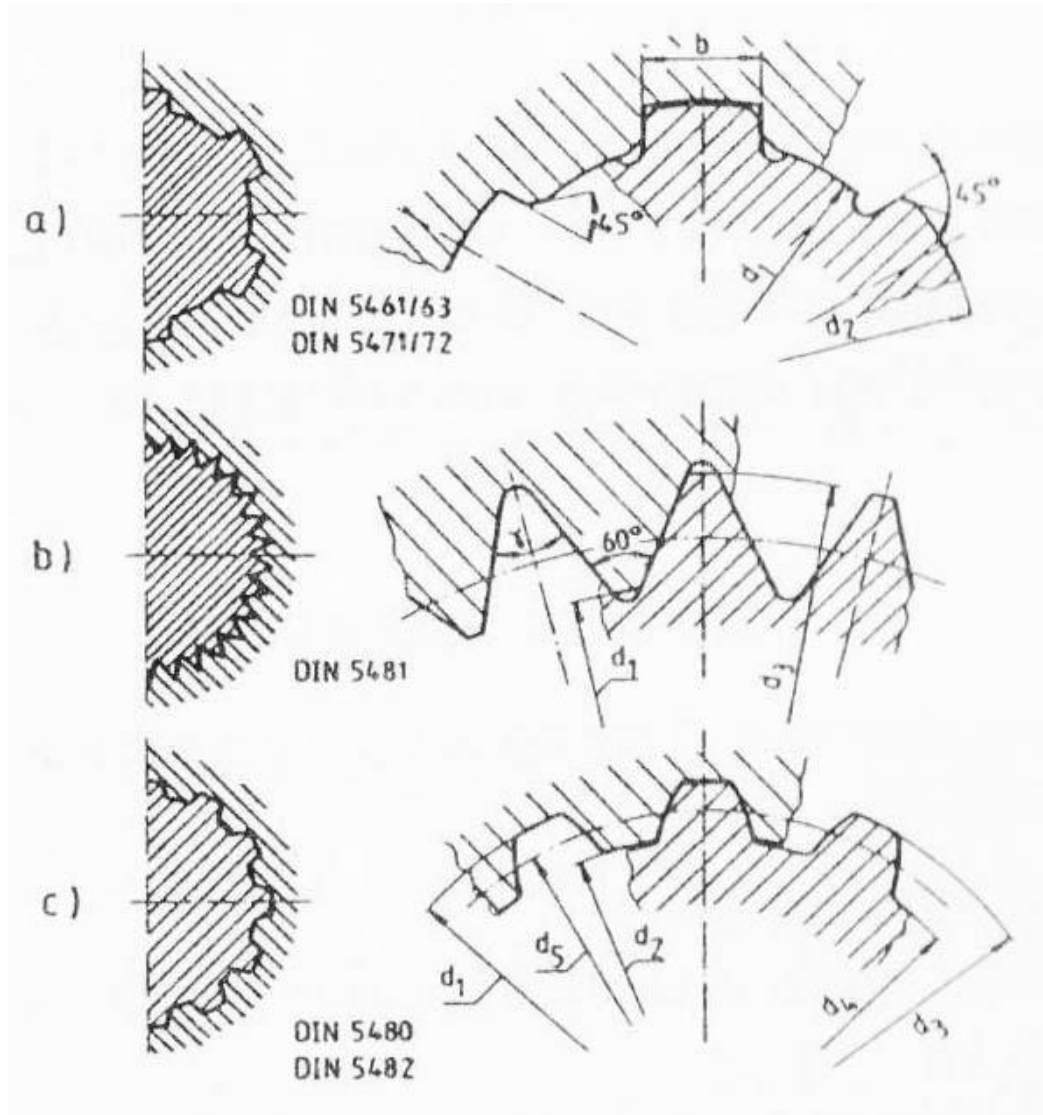
Kuva 15. Esimerkki kiristysliitoksesta, jossa pintapaine saadaan aikaan kiristämällä halkaistua napaa ruuvien avulla. Kartioholkkikiilaliitos. (3, s. 117.)

#### 5.4 Ura-akselit

Edellä mainituilla liitoksilla on usein pienempi momentinsiirtokyky kuin nuorrutetuista tai muista lujista rakenneteräksistä valmistetulla akselilla. Jos niiden rajoitettu momentinsiirtokyky muodostuu ongelmaksi vaativissa rakenteissa, voidaan asia ratkaista käyttämällä ura-akselia. Ura-akseli on periaatteessa sarja akselille koneistettuja rinnakkaisia kiiloja. Tällä tavalla momentinsiirtokyky saadaan nostettua samalle tasolle akselin momentinsiirtokyvyn kanssa.

Ura-akseleita on kolmea eri päätyyppiä (kuva 16):

- ura-akseli tasopintaisin hampain (DIN 5461/63, DIN 5471/72).
- ura-akseli sahaprofiilihampain (DIN 5481).
- ura-akseli evolventtihampain (DIN 5480, DIN 5482, joista edellä mainittu yleisempi).



Kuva 16. Ura-akselin hampaan muotoja eri standardien mukaan (6, s. 386).

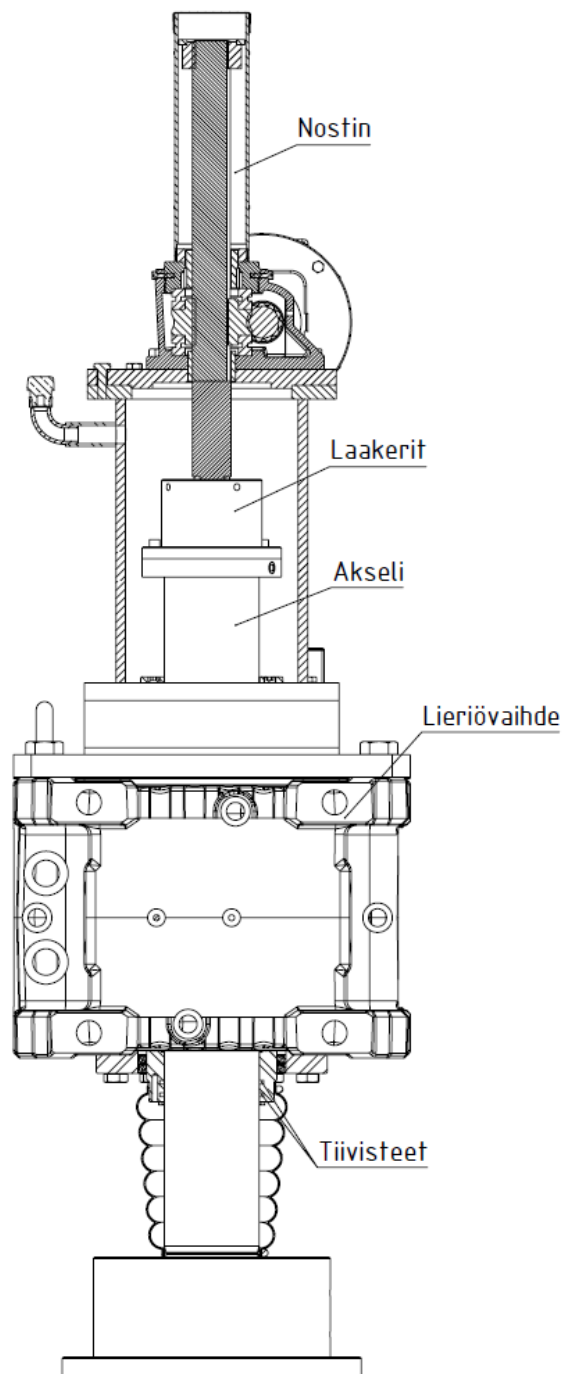
## 6 Yleistietoa laakereista

Laakerit voidaan jakaa rakenteensa puolesta kahteen eri luokkaan; vierintä- ja liukulaakereihin. Erottelu voidaan tehdä vielä kuormitustavan mukaan aksiaali- ja säteislaakereihin. Säteislaakereista puhutaan, kun tukivoimat kohdistuvat laakeriin akselia vastaan kohtisuorassa eli säteen suunnassa. Nimensä mukaan aksiaalilaakeri on vastaavasti suunniteltu ottamaan vastaan akselin suuntaiset eli aksiaaliset voimat. Todellisuudessa jako ei ole kuitenkaan näin mustavalkoinen vaan useat vierintälaakerityypit voivat kantaa sekä aksiaalisia että radiaalisia voimia. Vierintälaakereissa kuormaa kantavina eliminä toimivat erityisesti kuulat, rullat tai neulat. Liukulaakereissa puolestaan voimat siirtyvät voitelukalvon kautta akselista laakeriin. Voiteluaine on molemmissa ehdottoman tärkeää rakenteellisen kestoiän ja tarkoituksenmukaisen toiminnan kannalta. Voiteluaine siirtää voitelemisen lisäksi pois lämpöä, jonka on paikallisilla liukupinnoilla pysyttävä tietyn rajan alapuolella laakerin häiriöttömän toiminnan takaamiseksi.

Kaikille näille on yhteistä pyörivien tai edestakaisin liikkuvien koneenosien tukeminen ja ohjaaminen.

## 7 Tutkimustyö

Tässä luvussa tutkitaan tarkemmin nostinvaihteen teknisiä ratkaisuja ja rakennetta, sekä vertaillaan erilaisia vaihtoehtoja. Kuvassa 17 voidaan nähdä tärkeimmät komponentit nostolaitteiston kannalta.



Kuva 17. Selkeytinvaihteen osittainen poikkileikkaus.

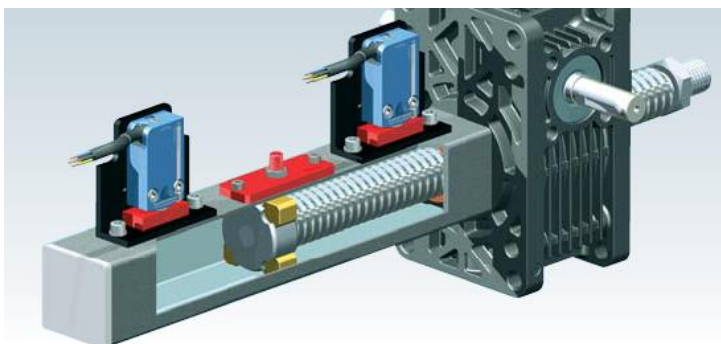
## 7.1 Nostolaite

Erilaisten nostimien toimittajiin oltiin yhteydessä, sillä omaa nostinta ei ole kustannustehokasta suunnitella ja valmistaa itse. Ruuvinostin osoittautui edelleen käyttökelpoiseksi ratkaisuksi tähän käyttötarkoitukseen. Kuularuuvinostin olisi voinut olla toinen hyvä vaihtoehto, mutta tässä käytössä ei tarvita kuularuuvien nopeaa ja tarkkaa liikettä. Kuularuuvinostin on myös ruuvinostinta kalliimpi. Ruuvinostimen etuna on myös se, että kuorma pysyy paikallaan ilman erillistä jarrua. Hydraulikka ei tule kysymykseen, sillä se vaatisi omat erilliset laitteensa ja vuoto-ongelmat ovat aina riski.

Kävi kuitenkin selväksi, että täysin käyttökohteen vaatimusten ja toiveiden mukaista ruuvinostinta ei löydy ainakaan suoraan katalogista.

Kaikilta toimittajilta löytyi kuitenkin liikenopeudeltaan, nostokyvyltään ja nostokorkeudeltaan sopivat vaihtoehdot. Liikenopeus tulee ruuvin noususta ja nostimen kierukkavaihteen sekä vaihdemoottorin yhteenlasketusta välityksestä. Vaihdemoottoreita saa useammilla eri välityksillä kuin nostimen kierukkavaihteita, joten sillä on helppo säätää ruuvin liikenopeus kohdalleen.

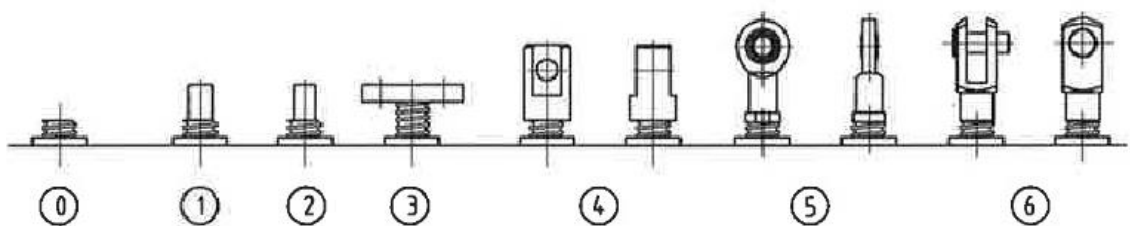
Rajakytkimet löytyivät vakiovarusteena jokaiseen nostimeen. Katalogien perusteella ne on tukevasti asennettu (kuva 18). Ruuvin päästä suoraan paikkaa mittaavaa anturia ei ollut saatavilla, mutta impulssiantureita sen sijaan oli. Impulssianturi tulee nostimen kierukka-akselille ja mittaa kulman muutosta. Koska nostomatka on suoraan yhteydessä ruuvin nousuun ja kierukkavaihteen välitykseen, niin impulssianturilla pystyy mittaamaan ruuvin paikan. Anturi kuitenkin nollautuu esimerkiksi sähkökatkon yhteydessä.



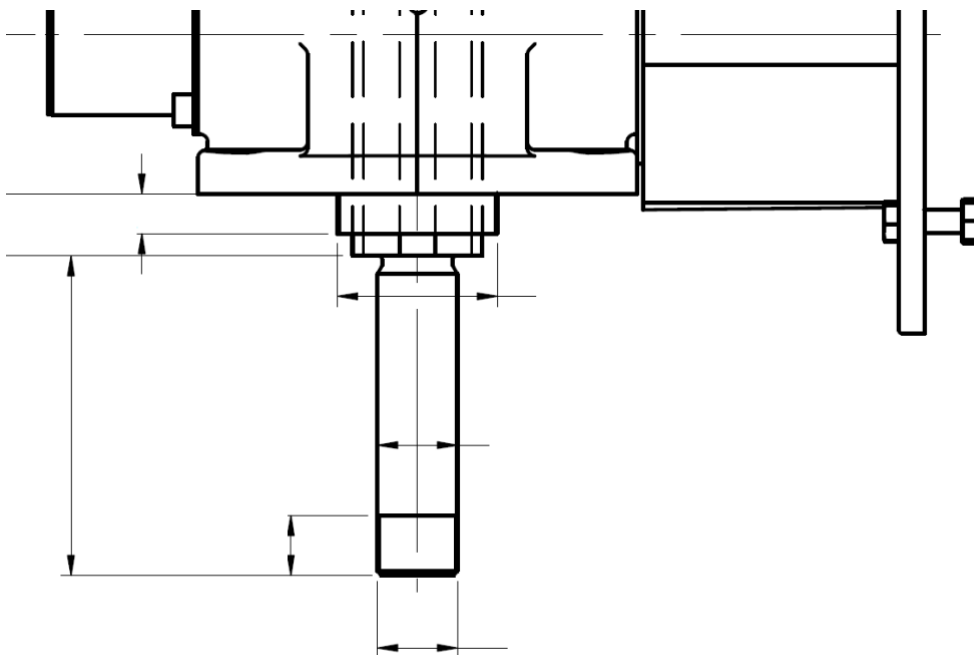
Kuva 18. Tukevasti kiinnitetyt rajakytkimet.

Tarkastusikkunaa ei ollut saatavilla ruuvinostinten vakiovarusteena, kuten ei myöskään suojaa rajakytkimille.

Aikaisemmin esillä olleista suoraan valmistajalta saatavista ruuvinpäistä ei löytynyt vastaavaa ratkaisua kuin mitä laakereiden kiinnitys edellyttäisi. Ruuvin kiinnityspään tulisi olla vakioratkaisuista (kuva 19) poikkeava, jotta painelaakerit ja niiden kotelon saa asennettua sille, mikäli halutaan käyttää aikaisempia suunnitteluperiaatteita laakerien asettelussa. Ruuvilla tulisi olla tasainen riittävän pitkä lieriöpinta laakereille sopivalla sovitteella (kuva 20).



Kuva 19. Ruuvinostimien vakiopäitä.



Kuva 20. Esimerkki ruuvin erikoisesta päästä.

Tarkempien nostimien toimittajien kanssa käytyjen keskustelujen jälkeen kokonaisuus alkoi kuitenkin hahmottua paremmin. Taulukossa 2 on karsitut vaihtoehdot tutkituista nostimista. Tarkemmat tiedot lisävarusteista ja nostintoimittajien nimet on annettu vain työnantajan käyttöön. Kohdassa F on aiemmin käytetty nostin.

Ominaisuudet	A	B	C	D	F
Sopiva nostokyky	x	x	x	x	x
Sopiva iskunpituus	x	x	x	x	x
Välitys (i)	8:1 tai 24:1	24:1	8:1 tai 24:1	9:1 tai 36:1	7:1 tai 28:1
Nostoruuvi	Rh 65x12	Tr 70x12	Tr 65x12	Tr 60x9	Tr 65x20
Rajakytkimet	x	x	x	x	x

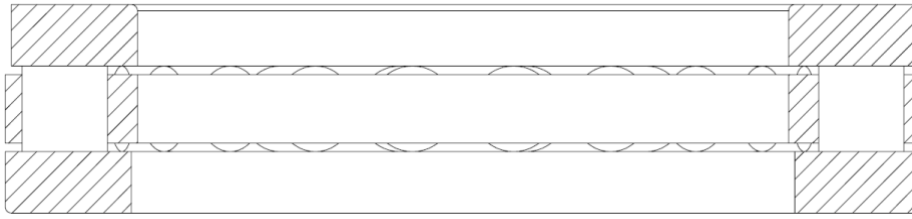
Taulukko 2. Nostinten vertailua.

Välitykset ovat hieman erilaisia, mutta sillä ei ole merkitystä, koska nostonopeuden voi säätää kohdalleen vaihdemoottorin välityksellä kuten aikaisemmin todettiin.

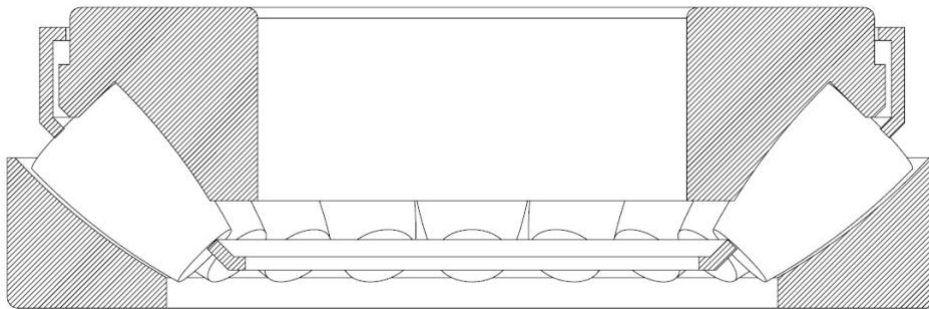
Hintavertailuakin suoritettiin, mutta tiedot luovutettiin vain työnantajan käyttöön.

## 7.2 Painelaakerointi

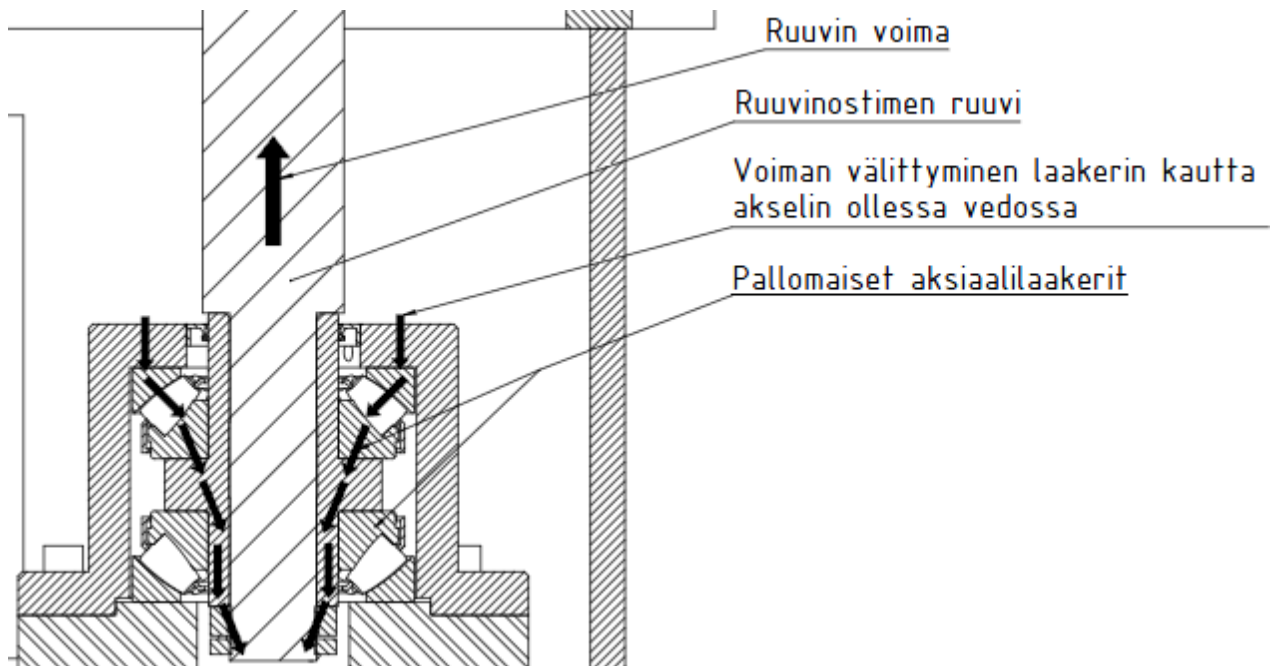
Aikaisemmin tehtyjä vaihteita tutkittiin ja valtaosassa oli käytetty pallomaisia aksiaali- eli painelaakereita. Osassa käytetty laakerityyppi on ollut lieriömäinen painelaakeri (kuva 21). Sen haittapuolena on se, että laakeri ei ole itseasettuva kuten pallomaisen muodon omaava painelaakeri. Itseasettuva laakeri sallii akselin vinon asennon laakeripesään nähden ja se ei haittaa laakerin toimintaa. Pallomainen painelaakeri (kuva 22) kantaa pääosin akselin suuntaisen kuorman mutta voi kantaa vähäisiä kuormia myös säteen suunnassa, kun taas lieriömäinen painelaakeri on suunniteltu pelkälle aksiaaliselle kuormalle. Kuvassa 23 nähdään voiman välittyminen pallomaisen aksiaalilaakerin kautta ruuvinostimen ruuville. Laakerien kotelon voi toteuttaa myös tilaa säästävämällä tavalla (kuva 24).



Kuva 21. Lieriömäisen aksiaalilaakerin poikkileikkaus.

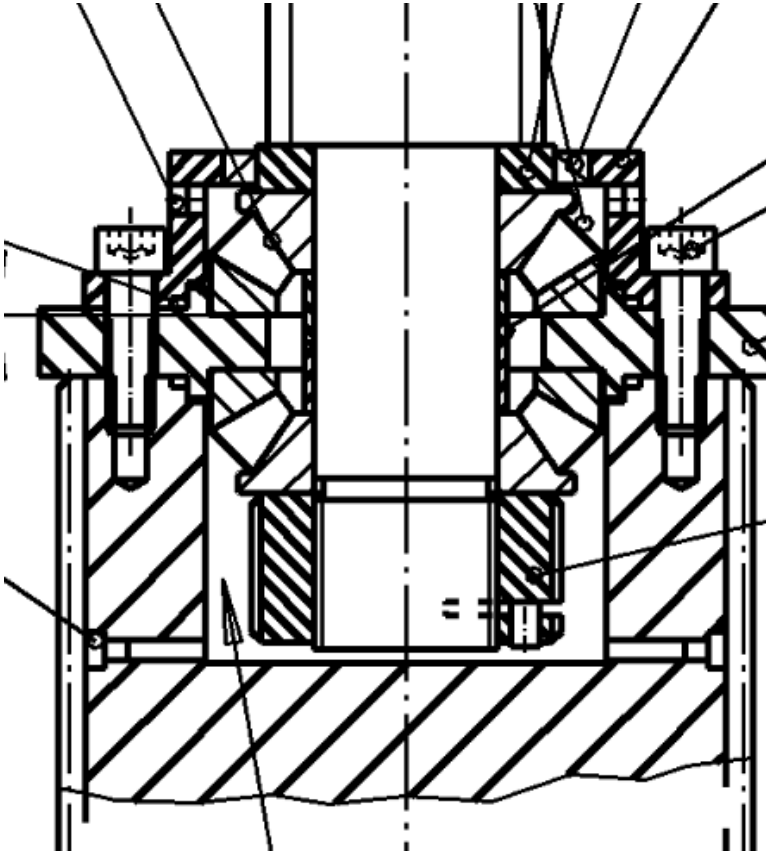


Kuva 22. Pallomaisen aksiaalilaakerin poikkileikkaus.



Kuva 23. Voiman välittyminen painelaakerin kautta.





Kuva 24. Vaihtoehtoinen laakerien kotelo tilansäästön saavuttamiseksi.

Laakeripesän tiivistäminen ei ole haasteellista, sillä vain pesän yläosan tarvitsee olla ratkaisussa avoinna. Laakeripesäkin on laipan sisällä, joten ulkopuolelta laakereihin ei pääse pölyä. Pyörimisnopeudet ovat myös niin hitaita, että vatkamista tai muita roiskeita aiheuttavia ilmiöitä ei esiinny. Pyörimisnopeuden hitauden takia rasva- tai öljyvoitelu ovat molemmat mahdollisia. Rasvan käyttöä rajoittaisi lähinnä lämmönjohtumisen riittämättömyys laakerin jäähdyttämiseen tai rasvalle ominainen taipumus poistua voiteluraosta suurilla kehänopeuksilla keskipakoisesti, sekä rasvan herkempi likaantuminen. Erittäin hitaan pyörimisnopeuden (alle 1 r/min) seurauksena laakerin lämpeneminen tai rasvan poistuminen voiteluraosta ei ole ongelmana. Voitelun tärkein ominaisuus tässä käyttökohteessa onkin kitkan poistaminen eikä niinkään lämmön siirtäminen pois kitka-alueelta.

### 7.3 Momentinsiirto

Koska kaapimen akselin täytyy päästä liikkumaan myös pituussuunnassa akselinsa ympäri pyörimisen lisäksi, ei liitos saa olla lukittu siinä suunnassa. Se poisti heti vaihtoehtoista puristus-, kutistus- ja kiristysliitokset, jotka nimenomaan ovat liikkumattomia akselin suhteen. Nostokorkeuksien takia kiilan käytöstä taas muodostuisi ongelma kiilan ja kiilauran pituuden vuoksi suhteessa akselin halkaisijaan. Kiilan käyttö aksiaaliliikettä vaativissa ja momenttia välittävissä liitoksissa on muutenkin vanhahtavaa.

Ura-akseli on myös aikaisemmin tehdyissä vaihteissa osoittautunut käyttökelpoiseksi ratkaisuksi, joten sitä ei ollut tarvetta lähteä muuttamaan. Yritykseltä löytyi jo muutenkin valmiiksi sisäiset ohjeet X-vaihdesarjan ura-akseleiden laskentaan ja mittojen määrittelyyn.

#### 7.3.1 Akselin ja holkin materiaalit

Materiaalivalinta on tärkeä osa toimivaa ratkaisua. Akseleiden ja hammaspyörien materiaaliksi suositellaan usein lujia ja sitkeitä nuorutus- ja hiiletysteräksiä. Näistä jälkimmäinen on kuitenkin useimmiten käytössä teollisuusvaihteiden hammastetuissa osissa sen parempien väsymislujuusominaisuuksien ja korkeamman pintapaineen keston takia. Hiiletysteräkselle on tapana tehdä hiiletyskarkaisu, jolla saadaan erittäin kova ja kulumista kestävä pinta ja samalla sitkeä sisus.

Halkaisijat selkeytinvaihteiden ura-akseleissa ovat kohtalaisen suuria, pääsääntöisesti yli 140 mm. Hiiletysteräksistä kyseisille halkaisijoille suositellaan käytettäväksi materiaalia 18CrNiMo7-6, kun taas nuorutusteräksille seosta 42CrMo4 ja halkaisijasta 170 mm lähtien materiaalia 34CrNiMo6. Halkaisijat nuorutusteräksille ovat ilman pintakarkaisua. (11, s.119, s.194.)

Aineparien tulisi olla eri materiaalia adhesiivisten sidosten välttämiseksi (taulukko 3).

<b>Ura-akseli</b>	<b>Hammastettu holkki</b>
18CrNiMo7-6 (hiiletyskarkaistu)	42CrMo4 (NITROC 4H)
34CrNiMo6	GRP800
42CrMo4	42CrMo4

Taulukko 3. Esimerkkejä ainepareista.

Adheesiokulumisella tarkoitetaan pinnankarheuksien hetkellistä kiinnileikkautumista. Lujimmat sidokset syntyvät, kun kaksi täysin samanlaista materiaalia liikuu toisiaan vasten. Hammaspyörissä tämä ei ole ongelma, sillä niiden voitelu on osittain hydrodynaamista. Hydrodynaamisessa voitelussa kosketuspintojen liike itsessään muodostaa pintojen välille kiilamaisen virtauskanavan, erottaen pinnat toisistaan. Ura-akselin liike on kuitenkin hidas, eikä hydrodynaamista voitelua pääse syntymään. Käytännössä kuitenkin kovat materiaalit tarttuvat huonosti toisiinsa. Jos kovuusero on suuri, tapahtuu kulumisen pääosin pehmeämmässä materiaalissa. (5, s.238–239; 6, s.97.)

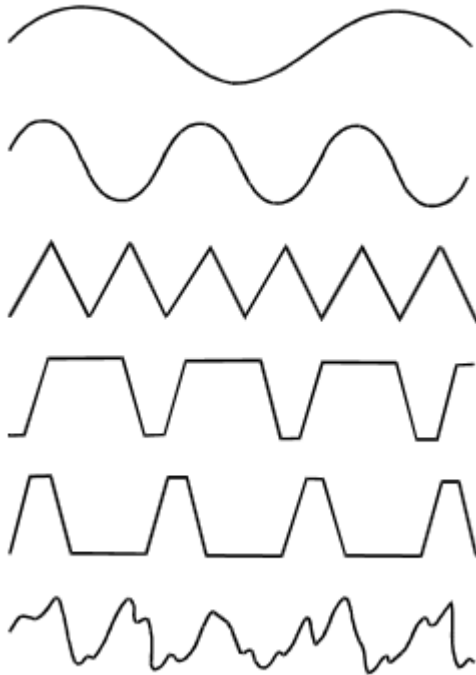
Pallografiittiraudan etuna on sen hyvät ominaisuudet liukupintojen materiaalina. Grafiitti nimittäin edesauttaa öljykalvon säilymistä liukupintojen välissä. Palligrafiittiraudan lujuusominaisuudet eivät ole ihan nuorrotus- ja hiiletysterästen tasolla, mutta varsinkin holkin materiaalina käytettynä riittävät. (6, s. 116–118; 11, s. 121.)

### 7.3.2 Pinnanlaatu

Käytettyjen materiaalien lisäksi pinnanlaadulla on tärkeä merkitys koneenosissa. Ura-akselin tapauksessa tarkastelun alla olivat hampaiden ja tiivistepinnan pinnanlaatu.

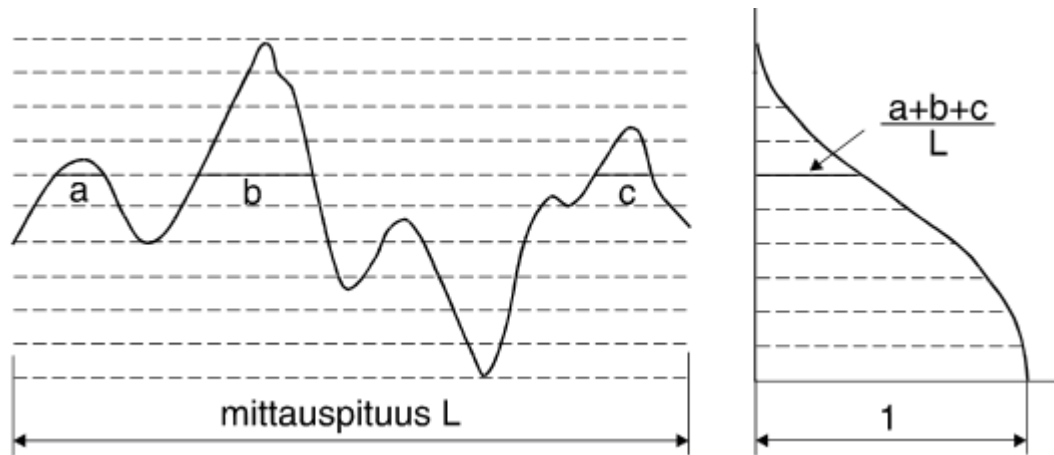
Pinnankarheuden suurena käytetään tavallisesti keskipoikkeamaa  $R_a$ , joka on keskiviivajärjestelmän pääsuure. Keskipoikkeama ei kuitenkaan kuvaa kovin hyvin pinnankarheutta tribologiselta kannalta ajateltuna. Tribologialla tarkoitetaan tieteenalaa, joka käsittelee toisiinsa nähden liikkuvien pintojen vuorovaikutuksia ja niihin liittyvää teknologiaa eli pääasiassa kitkaan, kulumiseen ja voiteluun liittyviä ilmiöitä. (13, s. 11, s. 24.)

Kuvassa 25 nähdään erilaisia profiileja, joiden käyttäytyminen liukupintoina on huomattavan erilaista. Keskipoikkeaman käyttö antaa mahdollisuuden suuriinkin pinnankarheuden muutoksiin.



Kuva 25. Profiileja samalla keskipoikkeamalla  $R_a$  (13, s. 25).

Pinnankarheuden profiilista voidaan laskea esimerkiksi kantokäyrä (kuva 26), joka kuvaa hyvin pinnan tribologisia ominaisuuksia. Pinta, jolla on nopeasti laskeva ja kovera kantokäyrä, on tribologisissa kosketuksissa epäedullinen, koska terävät pinnankarheuden huiput kuluvat nopeasti. Näin voi käydä käyttämällä keskipoikkeamaa. (13, s. 25.)



Kuva 26. Profiilin kantokäyrä (13, s. 25).

Yksi pinnankarheuden suure on karheuden keskimääräinen syvyys  $R_z$ . Sen käytöllä voi välttää suurimmat pinnankarheuden huiput.

Todellisten pintojen puristuessa toisiaan vasten, pinnankarheuden korkeimmat huiput kantavat kuorman. Jos kuorma on pieni, materiaalien myötöraja ei ylity ja kosketus on täysin elastinen. Useimmissa kosketuksissa kuitenkin osa pinnankarheuksien huipuista muokkautuu plastisesti ja osa elastisesti. Todellinen pinta-ala muodostuu näiden kosketusalojen summasta ja on pienempi tai yhtä suuri kuin näennäinen pinta-ala. (13, s. 26.)

Todellinen pinta-ala tulisi maksimoida ja pinnankarheuden huiput minimoida plastisten muodonmuutosten välttämiseksi.

#### 7.4 Tiivistys

Kuten aikaisemmin todettiin, ura-akselin tulee olla runsaalla öljyllä voideltu haitallisten ilmiöiden välttämiseksi. Koska vaihteen ontton toisioakselin ja kaapimen akselin metallipinnat eivät voi olla täysin tiiviit lineaari- ja pyörimisliikkeen mahdollistamiseksi öljyä pääsee väkisinkin näiden väliin. Maan vetovoiman seurauksena öljy pääsee valumaan akselien välissä alaspäin. Sulfaattikeittoprosessiin ei saa päästä öljyä. Tämän takia öljyn tulee pysyä vaihteen sisällä. Tiivistämisen kannalta liikkeen luonteen voisi nopeasti ajatella haasteelliseksi, sillä akseli on yhtä aikaa suoraviivaisessa sekä pyörimisliikkeessä. Tiivistystä helpottaa kuitenkin molempien liikkeiden hitaus. Pyörimisliikkeen äärimmäisen

hitauden tähden voidaankin ajatella, että liike on vain suoraviivaista liikettä, kuten mm. hydraulisynterillä. Paine tiivistettävältä puolelta koostuu suurimmaksi osaksi öljypatsaan paineesta, mikä ei ole sekään merkittävä vähäisen korkeuseron takia.

Tehtiin myös kysely suurelle tiivistevalmistajalle tähän käyttöön soveltuvasta tiivisteestä. Lopputuloksena oli samanlainen tiivistetyyppi kuin mitä aikaisemminkin on käytetty.

## 8 Päätelmät

### 8.1 Nostolaite

Nostolaitteelle löydettiin kolme hyvää vaihtoehtoa aikaisemmin käytetyn tilalle. Eri valmistajien nostinten saatavuuskysymykset ja toimitusajat tulee ottaa huomioon kiireellisen tarpeen vaatiessa. Siksi onkin hyvä, että vaihtoehtoja löytyi useampiakin. Tarkemmat tiedot nostimista ja parhaista vaihtoehdoista luovutettiin vain työnantajan käyttöön.

### 8.2 Painelaakerointi

Selvitettiin, että pallomaisten painelaakereiden käyttö ainoana laakerityyppinä olisi perusteltua, sillä ne sallivat pienet virheet akselin asennossa laakeripesään nähden ja kantavat suuria kuormia.

Koska laakerit ovat varsin hyvässä suojassa likaantumista vastaan eivätkä öljyn paremmat jäähdytysominaisuudet ole tarpeen tässä, niin voitelurasva vaikuttaisi hyvältä valinnalta. Se on myös edullisempi vaihtoehto. Huomioon on kuitenkin otettava myös se, että rasvat menettävät vähitellen voiteluominaisuutensa ja ne on uusittava. Koska nostimen rakenne on monimutkainen ja kaavin pyörii lähes tauotta, on rasvan uusiminen erittäin hankalaa. Öljyn sen sijaan voi valuttaa pois ja lisätä sitä helposti. Tämä on merkittävä asia vaihteen huollon ja luotettavuuden kannalta. Myös yksi öljyn merkittävä etu erittäin hitailla pyörimisnopeuksilla ja suurilla kuormilla on sen varmempi kulkeutuminen kuormaa kantavien pintojen väliin.

Voitelumuodoksi ehdotetaan öljykylpyä erityisesti huollon helppouden tähden. Käytetyssä öljyssä olisi hyvä olla kulumisenestoaineita suuren aksiaalikuorman ja hitaiden pyörimisnopeuksien aiheuttaman hankaamisen takia. Öljyn tarkempi tyyppi päätetään suunnittelun yhteydessä olosuhteet huomioiden.

### 8.3 Momentinsiirto

Koska valmis sisäinen ohjeistus X-sarjan vaihteiden ura-akselien laskentaan ja mitoittamiseen löytyy valmiina, käytetään momentinsiirtoon ura-akselia. Pintapaineen laskennassa käytetään sisäistä standardia.

Ainepareista tulisi suosia akselissa hiiletyskarkaistua 17CrNiMo7-6 terästä ja holkissa pallografiittirautaa. Tällä saavutettaisiin pienin kiinnileikkautumisen riski materiaalien erilaisuuden vuoksi, sekä myös hyvät liukuominaisuudet grafiitin ansiosta. Valumuottien tekeminen ei kuitenkaan välttämättä ole kannattavaa pieninä määrinä valmistettaviin kappaleisiin, ja sitä tulee harkita erikseen tarpeen vaatiessa. Vaihtoehtoisena aineparina voidaan käyttää akselissa samaa edellä mainittua terästä ja hammastetussa holkissa neljä tuntia hiililyetettyä 42CrMo4 nuorrutusterästä. Hiililyetetyksellä saadaan kova ja kulutusta kestävä, hyvin liukuva pinta.

Ura-akselin hammastus tulisi hioa karkaisun jälkeen vastaavaan pinnankarheuden arvoon kuin yrityksen muutkin hammastetut osat. Sillä saavutetaan erittäin hieno pinta, joka vähentää haitallisia pinnankarheuden huippujen kiinni leikkautumista ja uudelleen irtoamista ruuvinnostimen nostaessa ja lasiessa akselia. Pinnalla on myös paremmat liukuominaisuudet. Hammastetun holkin hampaita ei ole enää tarpeen hioa hiililyetetyksen jälkeen. Tiivistepinnalla käytetään sisäistä pintamerkkiä 755. Tärkeää on pistohiottu pinta, jolloin akselin pinnalle ei jää tiivisteiden toimivuuden kannalta haitallista kierteistä hiontajälkeä. Tiivisteiden toimivuuden kannalta pinnanlaadun tiukka vaatimus on ehdoton.

## 8.4 Tiivistys

Koska tiivistys on itse tiivisteiden kannalta ollut aikaisemminkin toimiva ja haasteet ovat olleet muualla, käytetään samaa tiivisterakennetta. Tätä tukee tiivistevalmistajankin ehdotus vastaavanlaisesta ratkaisusta kyseiseen tiivistyskohtaan.

## 9 Yhteenveto

Löydettiin hyviä, asiakastarpeet täyttäviä vaihtoehtoja aikaisemmin käytetyn nostimen tilalle. Myyjillä on nyt tiedossa saatavilla olevat nostimen varusteet, joten he voivat käyttää tietoa apuna tarjouksissaan. Suunnittelijat voivat hyödyntää tätä työtä suunnittelua tukemassa, ja uusienkin suunnittelijoiden on helppo päästä kiinni nostinvaihteen pääperiaatteisiin ja huomioon otettaviin asioihin.

Yllättävänä asiana nousi esiin nostinvaihteeseen liittyvät fysikaaliset ilmiöt sekä valmistustekniset asiat, erityisesti ura-akseliin ja sen liikkeeseen liittyen. Niissä nimittäin olisi paljonkin tutkittavaa riippuen siitä, kuinka syvällisesti asiaan haluaa perehtyä. Jatkossa voisi tutkia esimerkiksi eri materiaalien sallittuja pintapaineita sekä ura-akselin ja hammastetun holkin pintojen tapahtumia, kun momentin ollessa päällä nostin alkaa nostaa akselia.



## Lähteet

- 1 Helsingin yliopisto. Paperin kemiaa. Massan valmistus. [verkkodokumentti]. Päivitetty 2005. Saatavissa: < [http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/paperi/massan\\_valmistus.htm](http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/paperi/massan_valmistus.htm) >. [Viittauspäivä 30.10.2017.]
- 2 Opetushallitus. Oppimateriaalit. Laboratorio. Teollisuusnäyteanalyysit. Materiaalin testaminen / sellu. [verkkodokumentti]. Saatavissa: < [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/teollisuusnayteanalyysit\\_materiaalin\\_testaaminen.html#3\\_3\\_termit\\_ja\\_lyhenteet](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/teollisuusnayteanalyysit_materiaalin_testaaminen.html#3_3_termit_ja_lyhenteet) >. [Viittauspäivä 30.10.2017.]
- 3 Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P., Suosara E. 1999. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita.
- 4 Aho, K., Airila, M., Holvio, V., Mantovaaram U., Kivioja, S., Välimaa, V. 1985. Koneenosien suunnittelu 3; Tehonsiirto. Porvoo: WSOY.
- 5 Airila, M., Hovi, K., Nurma, L., Piirilä, E., Pramila, A. 1985. Koneenosien suunnittelu 4; Erytysalueet. Porvoo: WSOY.
- 6 Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M., Välimaa, V. 1997. Koneenosien suunnittelu. Porvoo: WSOY.
- 7 Convergence training. Pulping. White liquor clarifiers. [verkkodokumentti]. Päivitetty 2016. Saatavissa: < <https://www.convergencetraining.com/white-liquor-clarifiers.html> > . [Viittauspäivä 7.11.2017.]
- 8 Convergence training. Pulping. Green liquor clarifiers. [verkkodokumentti]. Päivitetty 2016. Saatavissa: < <https://www.convergencetraining.com/green-liquor-clarifiers.html> >. [Viittauspäivä 7.11.2017.]
- 9 Convergence training. Pulping. Lime mud washers. [verkkodokumentti]. Päivitetty 2016. Saatavissa: < <https://www.convergencetraining.com/lime-mud-washers.html> > . [Viittauspäivä 7.11.2017.]
- 10 Knowpulp. Sulfaattisellun valmistus. Soodakattila. Yleistä. [verkkodokumentti]. Saatavissa: < [http://www.knowpulp.com/suomi/demo/suomi/pulping/recovery\\_boiler/1\\_general/frame.htm](http://www.knowpulp.com/suomi/demo/suomi/pulping/recovery_boiler/1_general/frame.htm) >. [Viittauspäivä 7.11.2017.]
- 11 Metalliteollisuuden Keskusliitto MET. V. 2001. Muokatut teräkset. Raaka-ainekäsikirja 1. Koneenosien suunnittelu. Tampere: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

- 12 Oksanen, M. 2017. Haastattelu 26.10.2017. Haastattelijana Ari Pajulehto.
- 13 Kivioja, S., Kivivuori, S., Salonen, P., V. 1997. Tribologia – Kitka, kuluminen ja voitelu. Helsinki: Hakapaino Oy.
- 14 Taloussanomat. Yritystiedot. [verkkodokumentti].  
Saatavissa: < <https://www.is.fi/yritys/sew-industrial-gears-oy/karkkila/1606805-0/>>. [Viittauspäivä 13.11.2017.]
- 15 SEW-EURODRIVE. Kotisivut. Yritystiedot. [verkkodokumentti].  
Saatavissa: < <http://www.seweurodrive.com/konzernprofil/> >. [Viittauspäivä 13.11.2017.]