

Jarkko Keskinen

KESKIPAKOPUMPUN JA HAMMASPYÖRÄPUMPPUJEN  
RAKENTEET JA TOIMINTAPERIAATTEET

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
2014

# KESKIPAKOPUMPUN JA HAMMASPYÖRÄPUMPPUJEN RAKENTEET JA TOIMINTAPERIAATTEET

Keskinen, Jarkko  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2014  
Ohjaaja: Santanen, Teemu  
Sivumäärä: 36  
Liitteitä:

Asiasanat: keskipakopumppu, ulkohammaspyöräpumppu, sisähammaspyöräpumppu, arvoanalyysi

---

Opinnäytetyön aiheena oli keskipakopumpun, ulkohammaspyöräpumpun ja sisähammaspyöräpumpun rakenteet ja toimintaperiaatteet. Tein opinnäytetyön Satakunnan ammattikorkeakoululle, konetekniikan ja tuotantotekniikan koulutusohjelmalle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä eri tyyppisten pumppujen toimintaan ja rakenteisiin.

Opinnäytetyön teoriaosuudella tarkastellaan yleisiä pumppuihin ja pumpaamiseen liittyviä asioita sekä kaavoja. Tässä osuudessa käydään myös läpi pumppujen rakenteet.

Työn käytännön osuus sisältää pumppujen toimintaperiaatteet, pumppujen keskinäisen vertailun sekä arvoanalyysin. Opinnäytetyö oli täysin tutkimuspohjainen, eli käytännön esimerkkejä ei käytetty.

# THE STRUCTURES OF CENTRIFUGAL PUMP, GEAR PUMPS AND THEIR OPERATING PRINCIPLES

Keskinen, Jarkko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta university of applied sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

May 2014

Supervisor: Santanen, Teemu

Number of pages: 36

Appendices:

Keywords: centrifugal pump, external gear pump, internal gear pump, value analysis

---

The meaning of this thesis was to explain the structures of a centrifugal pump, an external gear pump and an internal gear pump and their operating principles. I made this thesis for Satakunta university of applied sciences, degree programme in mechanical and production engineering. The meaning of this thesis was to find out how different types of pumps work and to explain their structures.

In the theory part of this thesis I present the physics and common principles related to the functions of pumps. I also demonstrate basic structures of pumps.

The practical part of this thesis includes the mechanics of pumps, the comparison between pumps and also value analysis. This thesis was entirely study-based, which means I did not use any practical examples.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	PUMPUT .....	6
2.1	Pumppujen kehitysvaiheita.....	6
2.2	Pumpun tehtävä .....	7
2.3	Teho .....	8
2.4	Nostokorkeus .....	8
2.5	Tilavuusvirta .....	9
2.6	Hyötysuhde .....	9
2.7	Ominaiskäyrät .....	9
2.8	Kavitaatio.....	10
2.8.1	Pumpun kavitointi.....	11
3	HAMMASPYÖRÄPUMPPU .....	13
3.1	Yleistä.....	13
3.2	Rakenne .....	15
3.2.1	Ulkohammaspyöräpumppu .....	16
3.2.2	Sisähammaspyöräpumppu .....	17
3.3	Toimintaperiaatteet.....	17
3.3.1	Ulkohammaspyöräpumppu .....	17
3.3.2	Sisähammaspyöräpumppu .....	18
4	KESKIPAKOPUMPPU .....	20
4.1	Yleistä.....	20
4.2	Rakenne .....	21
4.2.1	Pesä ja juoksupyörä.....	21
4.2.2	Akseli ja laakerit .....	23
4.2.3	Pumpun tiivisteet.....	24
4.2.4	Liukurengastiiviste .....	24
4.2.5	Punostiiviste .....	25
4.2.6	Keskipakopumpun toimintaperiaate.....	26
5	TULOSTEN TARKASTELU .....	29
5.1	Arvoanalyysi.....	31
6	YHTEENVETO.....	34
	LÄHTEET .....	35

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan kolmen eri tyyppisen pumpun toimintaperiaatteisiin, rakenteisiin, ominaisuuksiin ja yleisiin asioihin. Opinnäytetyön aihe on lähestytty tutkivasta näkökulmasta ja lähes kaikki materiaali perustuu kirjoista ja eri tyyppisistä lähteistä saatuun teoriaan. Minulla on jonkin verran kokemusta keskipakopumpuista työkokemusten perusteella, mutta siitä ei käytännössä ollut apua opinnäytetyötä tehdessäni.

Pumput ovat mielenkiintoinen aihe, koska se on niin ratkaisevassa osassa esimerkiksi prosessiteollisuudessa, joka vaatii nesteiden siirtämistä paikasta toiseen ja tämä tapahtuu pumppujen avulla. Pumppujen maksimaalinen hyödyntäminen käyttökohteissa parantaa sekä tuottavuutta että vähentää kustannuksia.

Opinnäytetyö on tehty Satakunnan ammattikorkeakoululle ja olen itse valinnut ja suunnitellut opinnäytetyön aiheen ja sisällön. Tämä tuotti jonkin verran haasteita työtä tehdessä, mutta mielestäni olen onnistunut kohtuullisesti.

## 2 PUMPUT

### 2.1 Pumppujen kehitysvaiheita

Vuonna 1796 Leonard Euler toi esille turbiiniteorian pääyhtälön. Ensimmäisen kerran yhtälöä käytettiin 70 vuotta myöhemmin Burdinin tutkiessa vesivoimakoneen teoriaa. Vesivoimakoneelle hän antoi nimeksi ”turbiini”. Myöhemmin Burdinin oppilas Fourneyron suunnitteli ja rakensi turbiinin koekappaleen vuonna 1827. (Nilsson 1978, 14.)

Keskipakopumppuja alettiin kehittää noin vuonna 1850. Vuonna 1849 J.S Gwynne suoritti kokeita monipyöräisellä keskipakopumpulla. Näihin samoihin aikoihin myös J.G. Appold käytti keskipakopumpussa käyristettyjä siipiä, joilla hän saavutti 68%:n hyötysuhteen pumpun hydraulisten arvojen ollessa  $Q = 0,095 \text{ m}^3/\text{s}$  (tilavuusvirta) ja  $H = 6 \text{ m}$  (nostokorkeus). Terästeollisuudesta tunnetuksi tullut H. Bessemer oli osallisena keskipakopumppujen alkuaikojen kehityksessä. Vuonna 1879 sillä hetkellä Euroopan suurin pumpputehdas Klein, Schanzlin ja Becker (KSB) valmistutti ensimmäisen keskipakopumpunsa. Tätä esimerkkiä seurasi muutamat muut valmistajat ja myös korkeapainepumppujen suunnittelu alkoi vuonna 1890 Gebrüder Sulzerin toimesta. (Nilsson 1978, 14.)

Vuonna 1905 Sulzer sekä KSB toimittivat keskipakopumppuja, joissa jokaisen pyörän imu oli saman suuntainen. Pyörien tuottama aksiaalivoima johdettiin kevennyslautaseen. Kevennyslautasesta tuli yleisesti käytetty kevennyslaite kiinteästi asennetuissa korkeapumpuissa. Pyörivästä moottorista saatu suora voimansiirto on keskipakopumppujen edullisin käyttötapa. 1800-luvun lopulla kehittynyt sähköinen voimansiirto sekä sähkömoottoreiden kehitys mahdollistivat keskipakopumppujen teollisen valmistuksen. Laakerointivaikeuksista johtuen suunnittelijat käyttivät kaksipuoleisen imun juoksupyöriä tai parillista pyörälukua asennettuna peilikuvana toisiinsa nähden. Vähäinen aksiaalinen jäännösvoima kohdistettiin laakerointiin. (Nilsson 1978, 15.)

Vuoden 1910 jälkeen suunnittelijat eivät enää käyttäneet kaksipuolisen imun pieniä pumppuja eikä hihnapyörää. Tällöin matalapainepumpuissa otettiin käyttöön spiraalipesä, jonka pyörä yksipuolisesti imee virtauksen pesälle. (Nilsson 1978, 15.)

1900-luvun alussa suunnittelijoiden ongelma oli kuinka hallita suuria virtauksia pienillä korkeuseroilla sekä maksimi pyörimisnopeuksilla. Tutkimusten jälkeen itävaltalainen Kaplan löysi ratkaisun ongelmaan. Ensimmäinen Kaplanin turbiini käynnistyi vuonna 1918 ja vielä vuonna 1952 turbiinin todettiin toimivan jatkuvassa käynnissä eikä turbiinille oltu tehty isompia huoltoja eikä korjauksia. Mullistavaa Kaplanin suunnittelemassa turbiinissa oli kokonaan aksiaalinen virtaus juoksupyörässä, minkä siipien sekä ohjaussiipien säätö olivat yhdisteisessä säädössä. Myös siipien lukumäärä oli karsittu, jolloin vesi virtaa pyörivien siipien ympärillä. Tällä tavoin hyötysuhde saatiin pysymään suurena kuormitusalueesta riippumatta. (Nilsson 1978, 15.)

Vuodesta 1950 lähtien korkeapainepumppujen tilavuusvirrat ovat lisääntyneet merkittävästi, sekä hyötysuhde kasvanut 1950 vuoteen mennessä käytännössä suoraviivaisesti. Tänä päivänä hyötysuhteet ovat erinomaisella tasolla johtuen ammattimaisesta suunnittelusta sekä valmistustekniikoiden kehittämisestä. (Nilsson 1978, 16.)

## 2.2 Pumpun tehtävä

Pumpun tehtävänä on lisätä virtaavien, esimerkiksi eri tyyppisten nesteiden tai kaasujen kokonaisenergiaa niiden massayksikköä kohden. Nimitys ”pumppu” tulee esille yleensä nesteitä siirtävien koneiden yhteydessä, jotka siirtävät nesteen paikasta a paikkaan b, mutta myös toisinaan sitä käytetään kaasuja siirtävien laitteiden yhteydessä, tällöin puhutaan esimerkiksi tyhjiöpumpuista. (Nilsson 1978, 7.) Pumpulla liikutetaan siis nesteitä paikasta toiseen, jolloin neste virtaa esimerkiksi putkistoissa. Yleensä nesteen virtaus-

suunta on alhaalta ylös, ja pienemmästä paineesta suurempaan. (Wirzenius 1969, 47.)

### 2.3 Teho

Pumppauksessa tarvitaan aina tehoa, että pumpattava neste saadaan liikkeelle. Pumpun teoreettisen tehon pystyy laskemaan seuraavalla kaavalla:

$$P = \frac{\rho * g * Q * H}{\eta} \quad (1)$$

$\rho$  = nesteen tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = putoamiskiihtyvyyys (m/s<sup>2</sup>)

$Q$  = tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$H$  = nostokorkeus (m)

$\eta$  = hyötysuhde

### 2.4 Nostokorkeus

Nostokorkeuden staattinen arvo saadaan laskemalla imupuolen nostokorkeus sekä painepuolen nostokorkeus yhteen. Pumpun kokonaisnostokorkeutta laskettaessa pitää ottaa huomioon kaikki virtausvastukset. Nostokorkeutta merkitään symbolilla H, joka ilmoitetaan normaalisti metreinä. (Kimmo 1987, 1.)

Nostokorkeuden pystyy ratkaisemaan seuraavalla:

$$\Delta p = \rho * g * H \quad (2)$$

$\Delta p$  = paine-ero

$\rho$  = tiheys (kg/m<sup>3</sup>)



$g$  = putoamiskiihtyvyyys ( $m/s^2$ )

$H$  = nostokorkeus (m)

## 2.5 Tilavuusvirta

Tietyssä ajassa pumpun siirtämää nesteen määrää (tilavuutta) kutsutaan tilavuusvirraksi. (Wirzenius 1969, 47.) Tilavuusvirta ( $Q$ ) voidaan laskea putken poikkipinta-alan sekä nopeuden avulla kaavalla:

$$Q = A \cdot v \quad (3)$$

$A$  = pinta-ala ( $m^2$ )

$v$  = nopeus (m/s)

## 2.6 Hyötysuhde

Hyötysuhteella ilmoitetaan pumpun vastaanottaman tehon käytöstä nesteen jatkuvan siirtämisen ylläpitämiseksi. (Wirzenius 1969, 47.) Pumpun hyötysuhde ( $\eta$ ) voidaan selvittää vertaamalla mitattua tehoa ( $P_{\text{tod}}$ ) laskennalliseen teoreettiseen tehoon ( $P_{\text{teor}}$ ). (Hannula 2010, 24-25)

$$\eta = \frac{P_{\text{tod}}}{P_{\text{teor}}} \quad (4)$$

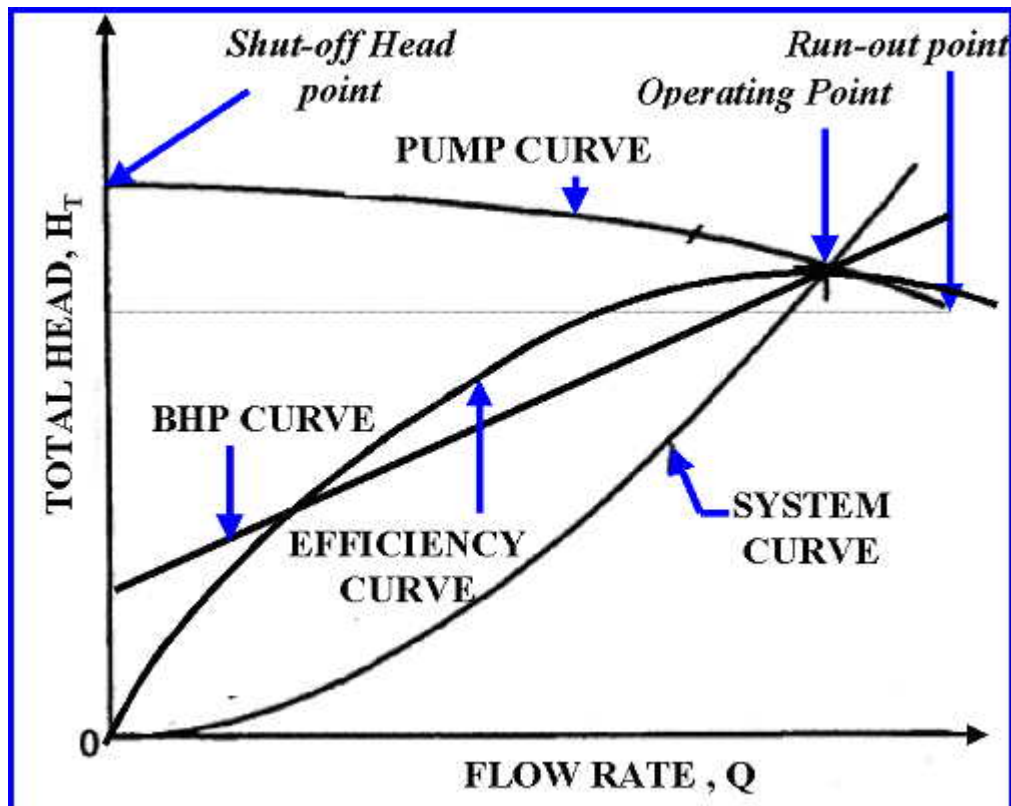
$P_{\text{teor}}$  = laskettu teoreettinen teho

$P_{\text{tod}}$  = mitattu todellinen teho

## 2.7 Ominaiskäyrät

Ominaiskäyrällä kuvataan pumpun toimintaa pumppausprosessissa. Ominaiskäyrään vaikuttavat tekijät ovat  $Q$  (virtausmäärä),  $R$  (putkiston häviöt),  $H$  (nostokorkeus) ja  $P$  (teho/tehokkuus). Toimintapisteellä määritetään pumpul-

le ideaaliset toiminta-arvot, jotta pumpusta saadaan täydet tehot irti. Toimintapiste sijaitsee pumpun sekä prosessin leikkauspisteessä. (Federley 2009.)



Kuva 1. Keskipakopumpun ominaiskäyrä. (Machine parts 2013)

## 2.8 Kavitaatio

Kavitaatioon törmätään pumpuissa, putkistoissa sekä venttiileissä. Se on haitallinen ilmiö, joka voi aiheuttaa:

- paineiskuja
- melua
- materiaaleja väsyttävää värähtelyä
- materiaalien kulumista
- heikentää pumppauksen hyötysuhdetta, jopa pysäyttää pumpun
- aiheuttaa lisävastuksia virtaukselle

Tiivistetysti kavitaatio on tilanne, missä nesteen paine laskee alle höyrystymispaineen, joka johtaa siihen että nesteessä alkaa erottumaan höyrykuplia ja höyryonteloita. (Pulli 2009, 25)

### 2.8.1 Pumpun kavitointi

Pumpuille muodostuu höyrykuplia, kun juoksupyörän tulopaine alittaa höyrystymispaineen. Analysoitaessa pumppujen kavitaatiota käytetään NPSH- käsitettä, joka tulee sanoista Net Positive Suction Head. NPSH:n määritelmä: ”Painemittarin lukema pumpun imuaukossa keskiön korkeuteen redusoituna ja nestepatsaana ilmaistuna, miinus pumpattavan nesteen höyrystymispainekoreus nesteen lämpötilassa lisättynä nopeuskorkeudella mittarin ulostulokohdassa”. (Pulli 2009, 30)

Analysoinnissa käytetään kahta käsitettä sekä NPSHr että NPSHa. NPSHr on valmistajan määrittelemä arvo ja NPSHr on vallitseva arvo, jonka suunnittelija määrittelee. NPSHa lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\text{NPSHa} = H_u \pm H_s - H_r - H_h + H_v$$

$H_u$  = Absoluuttinen ympäristön paine imuputken tai imupään alussa (m).

$H_s$  = Nestepinnan ja pumpun imuaukon korkeuserosta johtuva paine (m), arvosta tulee negatiivinen, mikäli pumppu on pinnan yläpuolella.

$H_r$  = imuputken painehäviö (m)

$H_h$  = nesteen höyrystymispaine (m)

$H_v$  = pumpulle saapuvan nesteen nopeuskorkeuspaine (m)

(Pulli 2009, 30)

Mikäli NPSHa:n arvo on suurempi kuin NPSHr:n arvo toimintapisteessä, tällöin kavitaatiota ei pumpussa ilmene. (Pulli 2009, 31)

Sellaisissa dynaamisissa tilanteissa, joissa pumppua kiihdytetään voimakkaasti ja putkistossa olevalla nesteellä on suuri massa, tilapäinen kavitaatio on mahdollinen johtuen nesteen massan suuruudesta. Pumpun hitaalla käynnistämällä eli pitkällä ramppiajalla ja hitailla kierroksien muuttamisilla

säätötilanteessa ovat yksi mahdollisuus vähentää dynaamista kavitointia.  
(Pulli 2009, 31)

## 3 HAMMASPYÖRÄPUMPPU

### 3.1 Yleistä

Hammaspyöräpumput jaetaan kahteen eri ryhmään: ulkohammaspyöräisiin, toiselta nimeltään ulkoryntöisiin ja sisähammaspyöräisiin, toiselta nimeltään sisäryntöisiin pumppuihin. Tämä jaottelu perustuu hammaspyörien sijaintiin sekä hammaspyörien lukumäärään. (Keinänen & Kärkkäinen 2003, 123) Hammaspyöräpumppujen käyttö on yleisintä hydraulikassa (Kimmo 1987, 5).

Hammaspyöräpumpun tilavuusvirta on epätasaista, ja tästä syystä on kehitelty eri tyyppisiä ratkaisuja hammaspyörä suunniteltaessa, jolla pyritään tasa-painottamaan pumpun tuottoa. Ulkoryntöisten pumppujen tilavuusvirran ta-saisuutta voidaan parantaa kasvattamalla pyörän hammaslukumäärää tai vaihtoehtoisesti rakentamalla kaksoishammaspyöräpumppuja, joissa on eri-vaiheiset hammaskehät. Myös yksi vaihtoehto on vinot hampaat, mutta tämä on kustannuksellisesti epäsuotuisaa, sekä aiheuttaa aksiaalivoimia, jotka vaativat kompensatioita laakeroinnissa ja pumpun rakenne monimutkaistuu. (Keinänen & Kärkkäinen 2003, 123)

Yleisin hammaspyöräpumpputyyppe on kaksipyöräinen ulkohammaspyöräi-nen pumppu. Sen hyötysuhde voi olla parhaimmillaan 93 %, pyörimisnopeu-det 500-5000 r/min ja paineet 14-21 Mpa. Sisähammaspyöräisten pumppujen vastaavat arvot ovat 500-4000 r/min, hyötysuhde 93 % ja käyttöpaineet 10-14 Mpa. (Keinänen & Kärkkäinen 2003, 124-125)

Ulkohammaspyöräpumppujen etuja:

- nopea
- korkeat paineet
- hiljainen
- voidaan valmistaa useista eri materiaaleista

(External gear pumps 2012)

Ulkohammaspyöräpumppujen heikkouksia:

- neljä laakeria
- ei sovi kiinteille aineille

(External gear pumps 2012)

Ulkohammaspyöräpumppujen käyttökohteita:

- polttoöljyt ja voiteluöljyt
- hapot ja emäkset
- teollisuus- ja mobiilihydrauliikkasovellukset

(External gear pumps 2012)

Sisähammaspyöräpumppujen etuja:

- vain kaksi liikkuvaa osaa
- yksi kotelo
- hyvä korkea viskositeettisille nesteille
- helppo huoltaa
- joustava suunnittelu mahdollistaa muokkauksia
- toimii hyvin molempiin suuntiin
- matala NPSH

(Internal gear pumps 2012)

Sisähammaspyöräpumppujen heikkouksia:

- vaatii kohtalaisen kovan nopeuden
- painerajoitukset

(Internal gear pumps 2012)

Sisähammaspyöräpumppujen käyttökohteita:

- öljyt
- alkoholit
- asfaltti, bitumi, terva
- ruoka-aineet, esimerkiksi maissisiirappi ja suklaa
- maalit
- saippuat

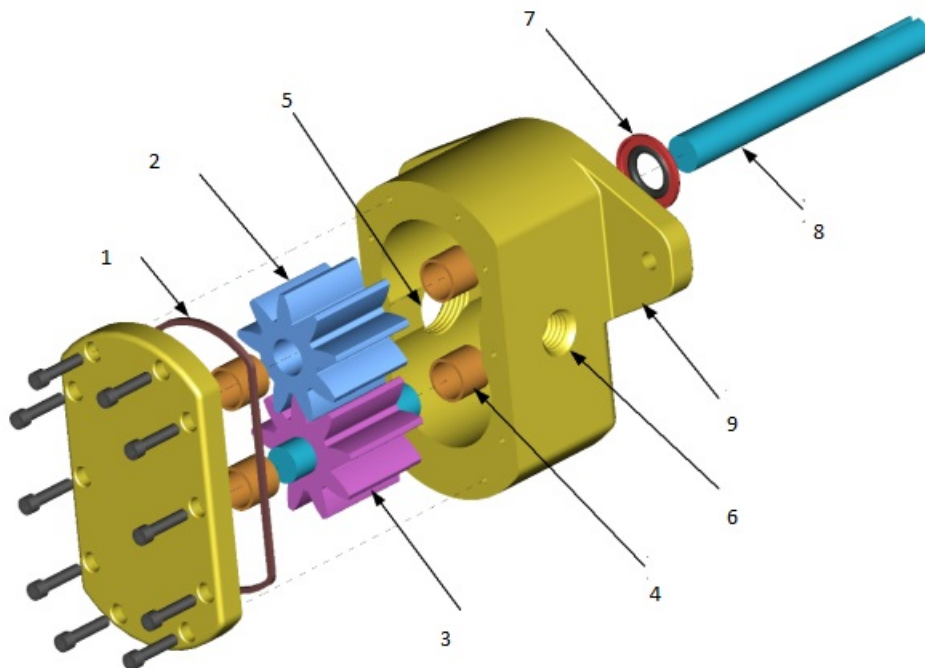
(Internal gear pumps 2012)

### 3.2 Rakenne

Hammaspyöräpumppujen rakenne on melko yksinkertainen. Se voidaan jao-  
tella karkeasti seuraaviin osiin:

- pesä
- vetävä hammaspyörä
- vapaa hammaspyörä
- imuaukko
- paineaukko

### 3.2.1 Ulkohammaspyöräpumppu

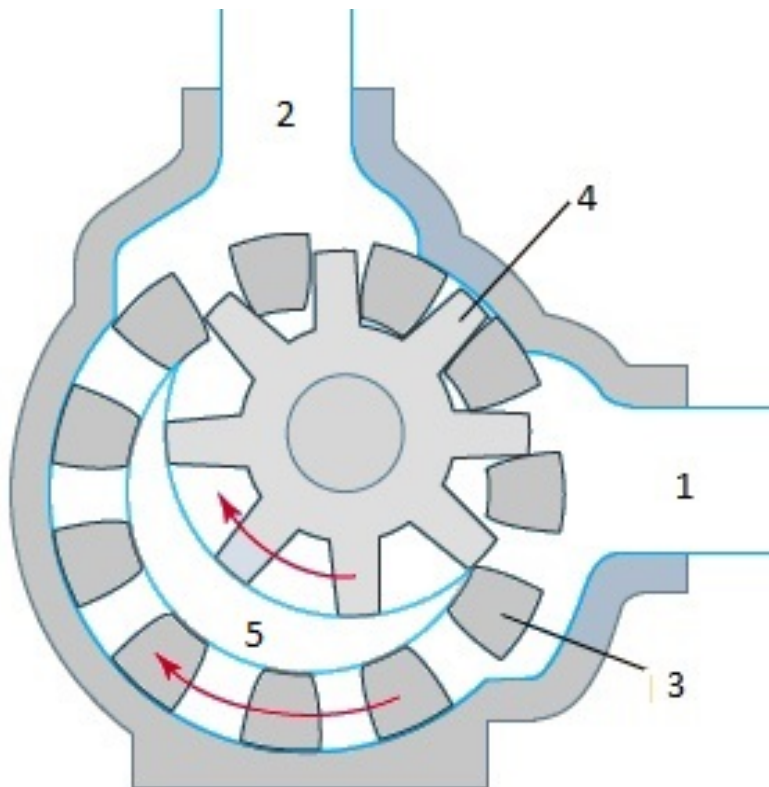


Kuva 2. Ulkohammaspyöräpumpun räjäytyskuva. (Hydraulic Gear Pump 2014)

1. Kannen tiiviste
2. Vetävä hammaspyörä
3. Vapaa hammaspyörä
4. Laakeri
5. Imuaukko
6. Paineaukko
7. Vetoakselin tiiviste
8. Vetoakseli
9. Kanta, asennusta varten



### 3.2.2 Sisähammaspyöräpumppu



Kuva 3. Sisähammaspyöräpumppu. (Gear Pumps 2012)

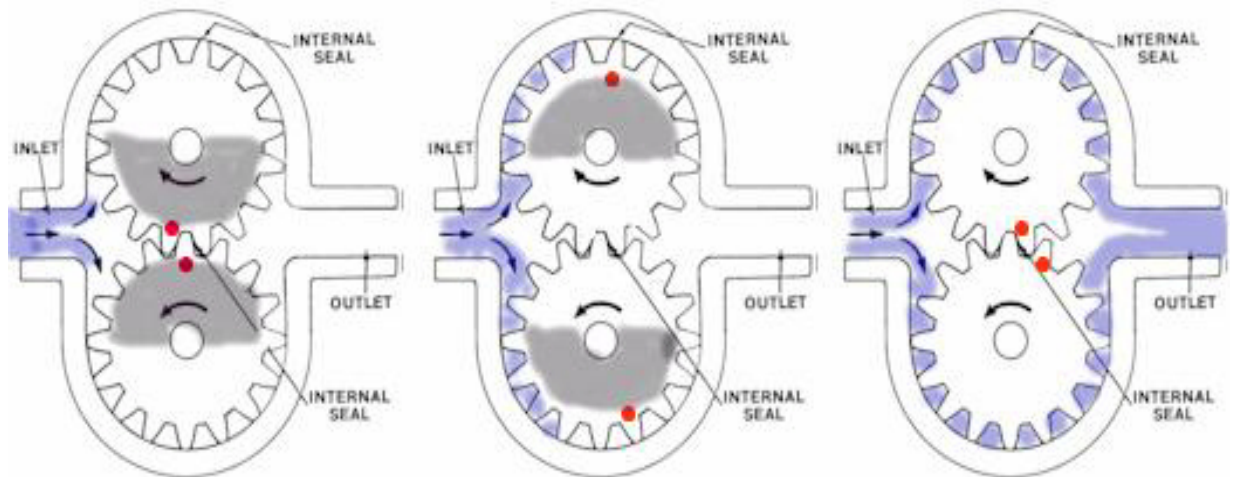
1. Neste sisään
2. Neste ulos
3. Vetävä hammaspyörä
4. Vapaa hammaspyörä
5. Erottaja

### 3.3 Toimintaperiaatteet

#### 3.3.1 Ulkohammaspyöräpumppu

Ulkohammaspyöräpumppun vetävä hammaspyörä on kytketty moottorin veto-akseliin, joka tuottaa voiman pyörittää molempia hammasrattaita; sekä vetävää että vapaana olevaa. Vetävä hammaspyörä pyörii myötäpäivään, kun

taas vastaavasti vapaana olevan pyörimissuunta on vastapäivään. Pumppu imee saapuvan nesteen imuaukolta pesään, kun ryntökohdan, eli hampaiden ”kosketuskohdan” jälkeen hammasvälien tilavuus kasvaa. Rattaiden pyöriesä neste siirtyy pumpun hampaiden lovissa ulkokehää pitkin, kunnes hammasväli taas pienenee ja paineinen neste siirtyy paineaukolle ja sitä myöten eteenpäin prosessissa.



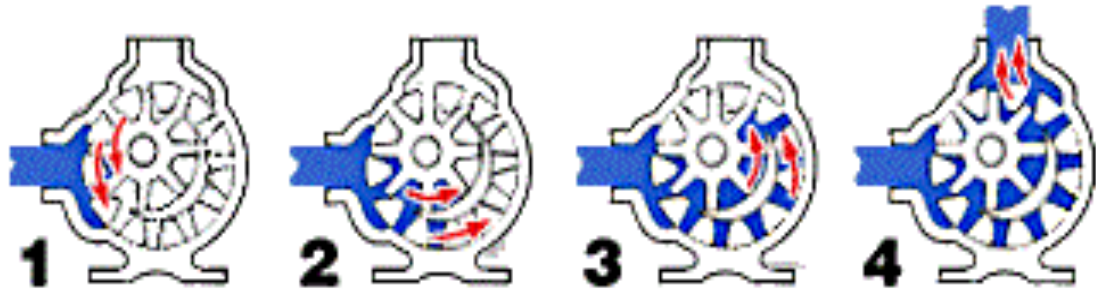
Kuva 4. Ulkohammaspyöräpumpun toimintaperiaate. (Gear pump operation & maintenance 2014)

Hampaiden kosketus ryntökohdassa estää nesteen siirtymisen takaisin imu- puolelle. Hampaiden väliin jäävä neste johdetaan normaalisti pyörien sivuille, ja samalla se myös toimii voiteluaineena hammaspyörille ja niiden sivulevyille. (Keinänen & Kärkkäinen 2003, 124)

### 3.3.2 Sisähammaspyöräpumppu

Ulkohammaspyöräpumpun toimintaperiaate eroaa sisähammaspyöräistä sekä rakenteellisesti että toiminnallisesti. Ulkohammaspyöräpumpuissa on myös kaksi hammaspyörää, joista ulompi on sisäisesti hammastettu vetävä pyörä, joka on kytketty moottorin vetoakseliin ja sisempi on vapaasti pyörivä ulkopuolisesti hammastettu hammaspyörä. Molemmat hammaspyörät pyörivät saman suuntaisesti myötäpäivään. Lisäksi sisähammaspyöräpumpussa on kuun sirpin muotoinen erottaja. Pumpun pyöriessä hammasvälien tilavuus

kasvaa, kunnes pumpun imupuolelta neste saapuu erottajalle. Neste kulkee sekä erottajan ulkokehällä että sisäpuolella. Erottajan tehtävä on siis tilavuuden pienentäminen jolloin neste paineistuu ja jatkaa paineaukosta eteenpäin prosessissa.



Kuva 5. Sisähammaspyöräpumpun toimintaperiaate. (Internal gear pumps 2012)

Kuvan 5 perusteella toimintaperiaate on seuraava:

1. Neste imuaukolta hammaspyörille
2. Erottaja alkaa paineistamaan nestettä
3. Paineistettu neste saapuu paineaukolle
4. Neste poistuu paineaukosta

## 4 KESKIPAKOPUMPPU

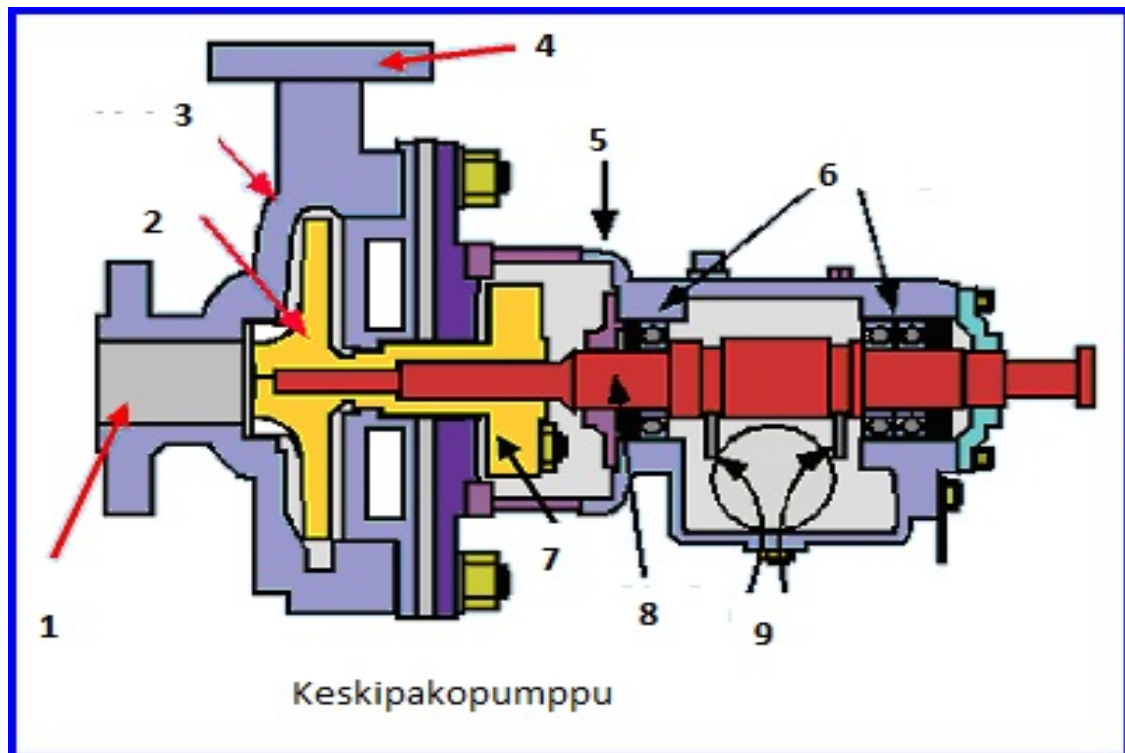
### 4.1 Yleistä

Keskipakopumppu on yleisin prosessiteollisuudessa käytettävä pumpputyyp-  
pi. Keskipakopumpun toiminto perustuu keskipakovoimaan, jonka pyörivä  
juoksupyörä saa aikaan. (Kimmo 1987, 8) Keskipakopumppua voidaan käyt-  
tää esimerkiksi kemianteollisuudessa, lääketeollisuudessa, paperi- ja sellute-  
ollisuudessa ja jätevesiteollisuudessa. (Keskipakopumppu prosessiteollisuu-  
teen 2007) Pumpattava neste siirtyy keskipakovoiman ansiosta pumpun ke-  
hälle, joka ohjataan erityyppisten ratkaisujen, kuten spiraalimuodolla tai joh-  
tosiivilällä paineaukolle (Kimmo 1987, 8).

Keskipakopumppu on toimintaperiaatteeltaan jatkuvatoiminen. Keskipako-  
voiman siirtäessä nestettä kehälle, samaan aikaan juoksupyörän imuaukolle  
muodostuu alipainetta, ja pumppu ottaa lisää nestettä juoksupyörälle, tarkal-  
leen ottaen sen keskikohtaan, missä siis imuaukko sijaitsee. (Kimmo 1987, 8)

Keskipakopumpun runkona toimii sen pesä, johon sisältyvät esimerkiksi  
imuputket, paineputket, laakeripesä ja muut pumppuun sisältyvät osat. Pum-  
pun rakennetta, kokoa ja muotoa muokataan aina käyttötarkoituksen mu-  
kaan. (Kimmo 1987, 8)

## 4.2 Rakenne



Kuva 6. Keskivakopumpun rakenne (Centrifugal pumps)

Kuvan 6 numeroinnit:

1. Pumpun imu
2. Juoksupyörä
3. Pesä
4. Paineaukko
5. Kotelo
6. Laakerit
7. Tiiviste
8. Akseli
9. Voitelu

### 4.2.1 Pesä ja juoksupyörä

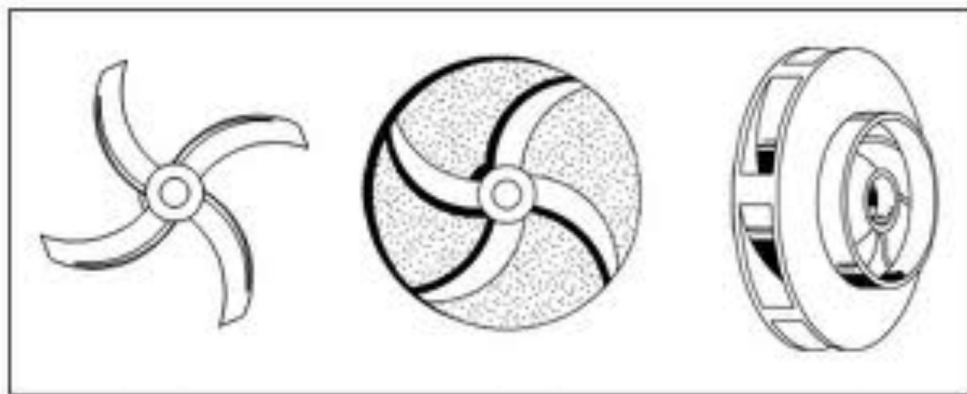
Keskivakopumpun pesä toimii pumpun runkona ja pesän sisällä pyörii akseliin kytketty juoksupyörä, joka pyöriessään aiheuttaa keskipakovoiman pum-

pulle. Pumpun pesä sisältää kierukan takaseinineen sekä imukannen imuyhdykkeineen. (Wirzenius 1969, 52.) Juoksupyöriä on eri tyyppisiä riippuen esimerkiksi pumpattavan tuotteen laadusta tai viskositeetista. Juoksupyöriä voidaan valmistaa ostajan toiveiden mukaan, jolla voidaan vaikuttaa esimerkiksi siipien muotoon. Lähtökohtana kun juoksupyörää mitoitetaan ovat yleensä nostokorkeus ja tilavuusvirta. Kolmas aspekti on pyörimisnopeus. (Wirzenius 1969, 165.) Juoksupyörän materiaali valitaan nesteen ominaisuuksien perusteella, ja käytössä on seuraavia materiaaleja:

- valurauta (vesipumppu)
- kupariseos (vesi ja laimeat kemikaalit)
- ruostumaton teräs ja hastelloy (teollisuusnesteet)
- titaani (syövyttävät nesteet)
- keraaminen seos (syövyttävät nesteet)

(Kimmo 1987, 11)

Eri tyyppisiä juoksupyöräratkaisuja:

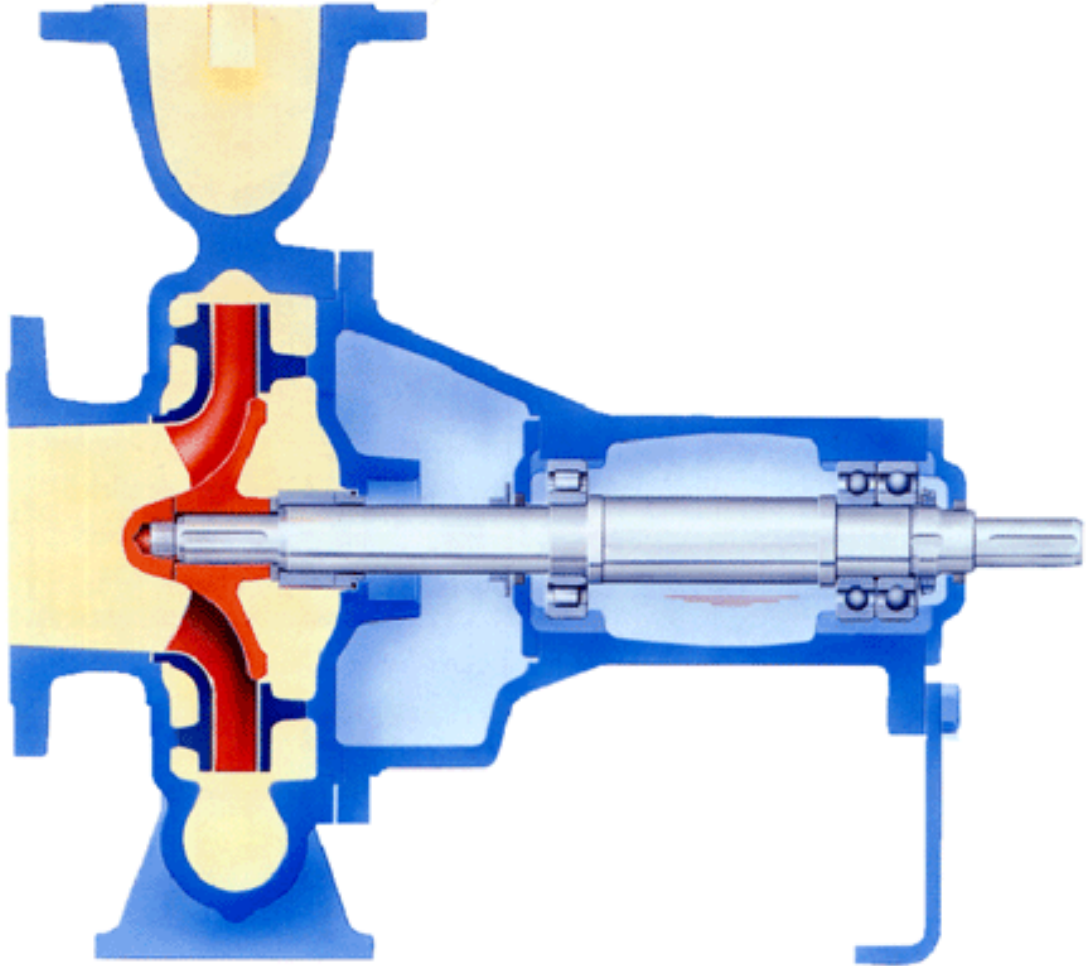


Kuva 7. Erilaisia juoksupyöräratkaisuja. (Why Sanitary Centrifugal Pumps do not use Closed Impellers 2013)

Kuvassa vasemmalla avoin juoksupyörä, keskellä puoliavoin juoksupyörä ja oikealla suljettu juoksupyörä.

#### 4.2.2 Akseli ja laakerit

Akselin tehtävä on pyörittää juoksupyörää, joka siis välittää tehon kytkimeltä juoksupyörälle. Akselille tehon tuo normaalisti sähkömoottori.



Kuva 8. Akseli ja laakerit (Andritz)

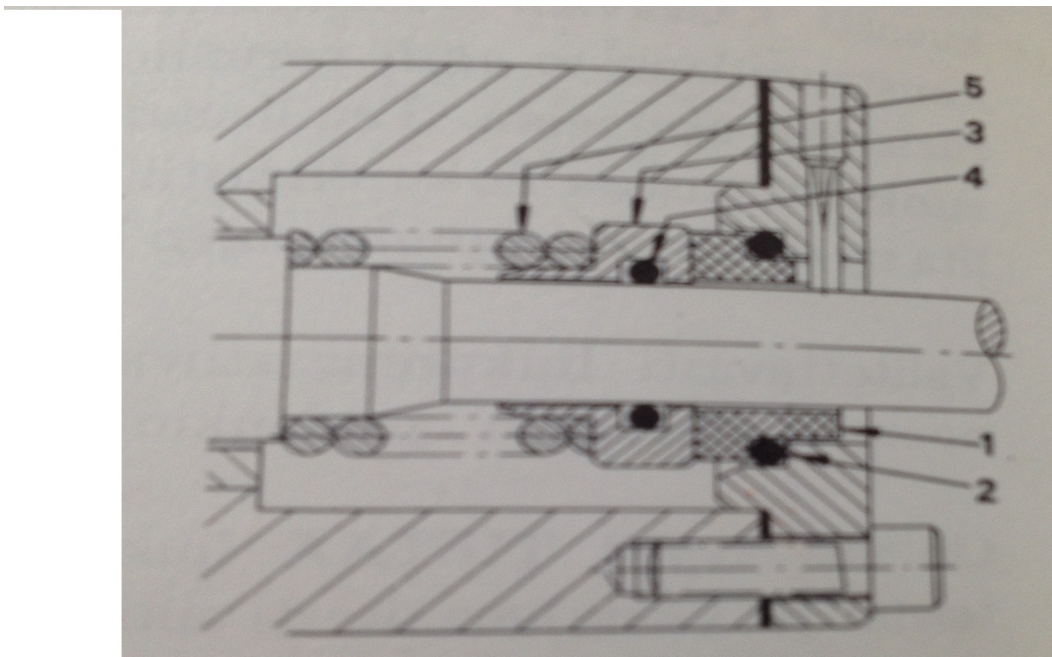
Akselin pyörimisen mahdollistamiseksi ja kitkan vähentämiseksi akseli on varustettu laakereilla. Juoksupyörän puolella on yksi laakeri ja vastaavasti kytkimen puolella on kaksi laakeria rinnan. Laakereina käytetään esimerkiksi vierintälaakereita tai liukulaakereita. Kuvasta 8. selviää mainiosti laakereiden sijainti suhteessa akseliin.

### 4.2.3 Pumpun tiivisteet

Pumpun pesään pitää jättää tarvittava välys estämään hankausta sekä kiinnileikkaamista, kun akseli pyörii. Nesteellä, jota pumpataan on toinen paine kuin ulkopuolisella paineella, jolloin juoksupyörän ja akselin väliseen läpimenoreikään tarvitaan tiivistystä, joka estää sekä vuodot tai ulkopuolisen paineen pääsemisen pumppuun. (Wirzenius 1969, 207.) Keskipakopumpuissa käytetään mekaanisia tiivisteitä, punostiivisteitä sekä dynaamisia tiivisteitä. Tiivisteet sijaitsevat tiivistepesässä.

### 4.2.4 Liukurengastiiviste

Liukurengastiivisteiden toimintaperiaatteena on kaksi erillistä tasorengasta, jotka asetetaan akselille vastakkain. Toinen tiivisteistä pyörii akselin mukana ja vastaavasti toinen on kiinteä, eli on paikallaan. Tiivisteiden väliin muodostuu vesikalvo, joka on tärkeä osa tiivistystä. Pyörivää kutsutaan liukurenkaaksi ja paikallaan olevaa kiintorenkaaksi. Liukurengasta painetaan jousen avulla kiintorengaaseen. O-renkaiden tehtävänä on tiivistää sivuttain kiintorengaaseen ja pesän välillä sekä akselin ja liukurenkaan välillä.



Kuva 9. Liukurengastiiviste. (Bergius 1978, 84.)



Viitaten kuvan 9. liukurengastiivisteeseen:

1. Kiinteä tiiviste
2. O-rengas (kiintorenkaan ja pesän välinen)
3. Liukurengas
4. O-rengas (akselin ja liukurenkaan välinen)
5. Jousi

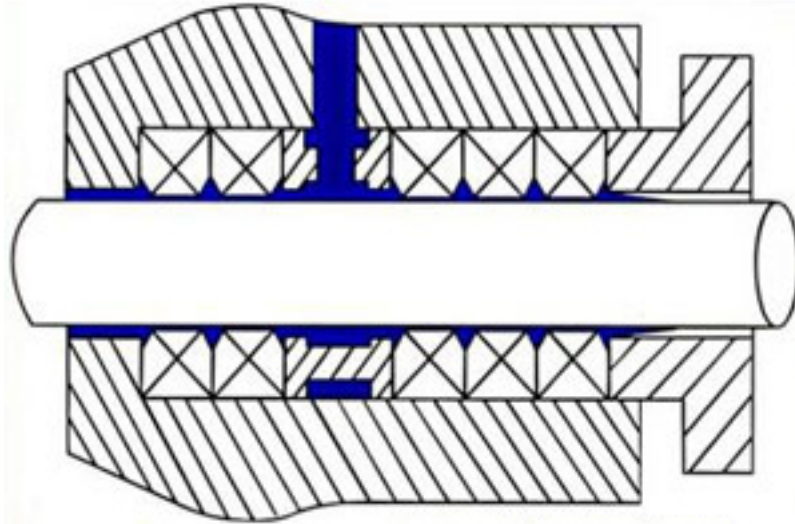
#### 4.2.5 Punostiiviste

Punostiiviste on rakenteeltaan yksinkertaisin. Tiiviste koostuu punosrenkaisuista, jotka asetetaan akselin ympärille pesäksi. Punostiivisteet jaetaan kolmeen ryhmään. Puhtaille nesteille, joille sallitaan pientä vuotoa ja lämpötila alle 110-astetta. Vuoto samalla voitelee tiivistettä. Kahdessa muussa ryhmässä tiiviste vaatii erillisen sulkunesteen ja jäähdytysveden, johtuen kuumista nesteistä sekä epäpuhtauksista. Tällöin tiivisterenkaiden väleihin tulee jakorenkait. (Kempe 1978, 75-78)

Punostiivisteitä voidaan valmistaa eri materiaaleista eri nesteiden vaatimusten perusteella. Punosten raaka-aineita ovat seuraavat:

- kasvikuidut
- mineraalikuidut
- keinokuidut
- grafiittikuidut
- lasikuidut

(Kempe 1978, 62)



Kuva 10. Punostiiviste. (Corrosion Fluid 2014)

Kuvassa 10. punostiivisteen rakenne, jossa 5 kappaletta punoksia sekä jäähdytysvesi ja sulkuneste.

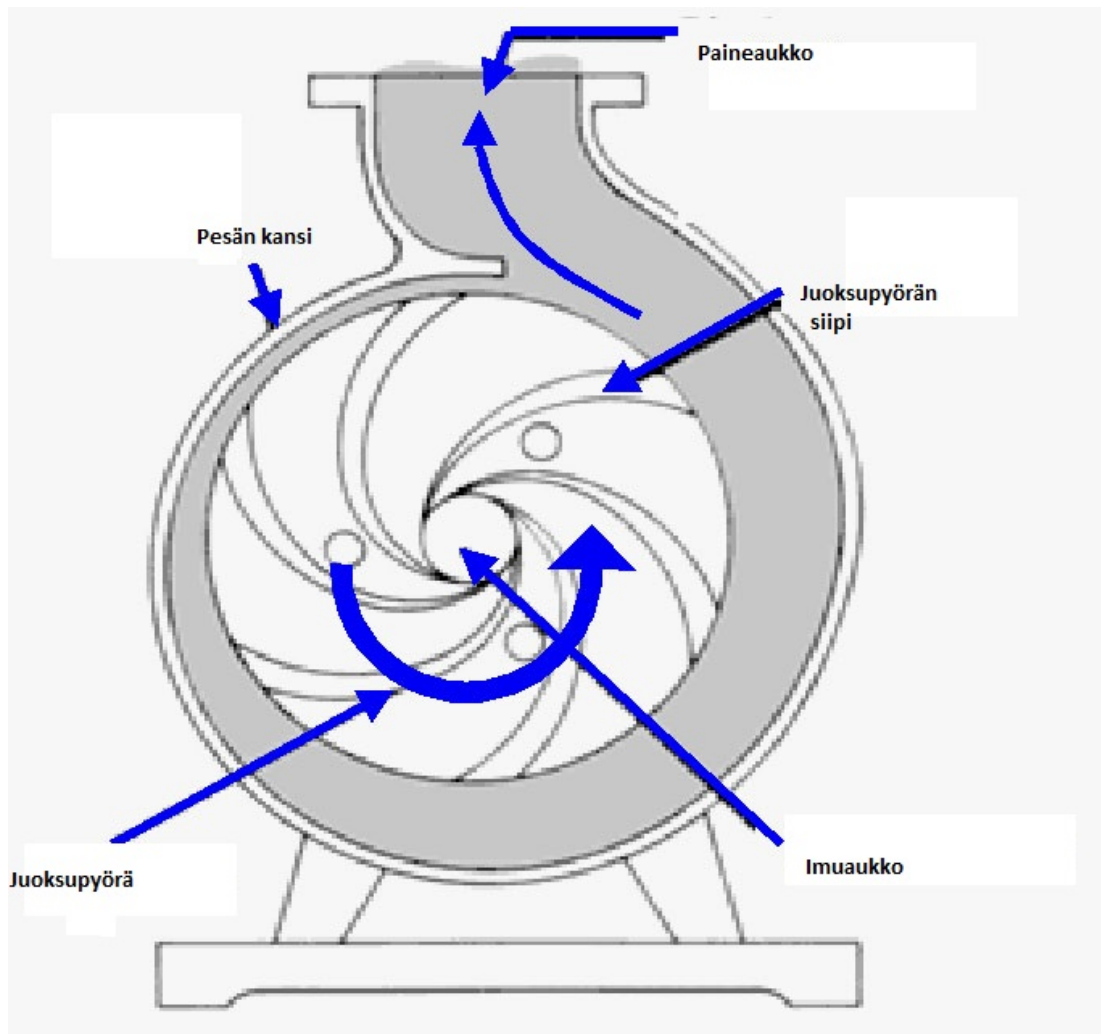
#### 4.2.6 Keskipakopumpun toimintaperiaate

Keskipakopumppu on dynaaminen pumppu, joka perustaa toimintaperiaatteen muuttamalla mekaanisen energian tai liike-energian paine-energiaksi, joita muodostuu pumpun pyöriessä. Keskipakopumpun toimintaperiaate perustuu siis pyörivän juoksupyörän aiheuttamaan keskipakovoimaan, jonka tuottamasta voimasta pumpattava, paineistettu neste siirtyy juoksupyörän kehälle ja sitä kautta paineaukolle.

Saapuva neste virtaa imuputkea pitkin pumppuun imuaukon kautta. Juoksupyörän pyörimisliikkeestä syntyvästä paine-erosta johtuen nestettä virtaa imuaukosta juoksupyörälle. Imuaukolla muodostuu alipainetta, joka imee nestettä juoksupyörälle. Eli imuputkesta tulevan nesteen paine on matalampi kuin pumpun pesässä, johon juoksupyörä saa aikaan keskipakovoiman. Imuaukko sijaitsee juoksupyörän keskellä.

Akselin tehtävänä on välittää moottorilta teho juoksupyörälle, joka saa aikaan juoksupyörän pyörimisliikkeen. Pyörimisliike aiheuttaa pumpun pesässä tangentin suuntaisen nopeuden, jolloin keskipakovoiman ansiosta paine kasvaa ja imupuolelta tuleva neste siirtyy juoksupyörän siipien väleissä, eli siipisolissa juoksupyörän kehälle ja ohjautuu siitä kierukkapesään. Nesteelle saadaan siis aikaan lisää painetta nesteen siirtyessä imuaukolta juoksupyörän kehälle. Kehältä paineistettu neste siirtyy paineaukolle kierukkapesästä, joka toimii nesteen diffuursorina. Paineaukko sijaitsee pumpun pesän ulkokehällä, ”yläpuolella” pumppua, josta neste poistuu prosessiin.

Keskipakopumppu on jatkuvatoiminen pumppu. Kun pumpattava neste poistuu juoksupyörän kehältä, tällöin juoksupyörän keskustaan virtaa imuaukosta uutta nestettä johtuen paine-erosta. Keskipakopumpun keskeisimmät osat ovat juoksupyörä, pumpun pesä, laakerit ja akseli. Keskipakopumpun tehonlähde on normaalisti sähkömoottori.



Kuva 11. Keskipakopumpun toimintaperiaate (Dholariya 2012)

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

Kun vertaillaan tässä työssä esiintyneitä pumppuja, eli sisähammaspyöräpumppua, ulkohammaspyöräpumppua sekä keskipakopumppua, voidaan todeta kaikkien pumppujen rakenteen ja toimintaperiaatteen poikkeavan toisistaan. Molemmat hammaspyöräpumput jo luokittelunsa puolesta muistuttavat toisiaan, mutta kuitenkin tiettyjä eroja voidaan helposti tunnistaa näistä kahdesta pumpusta. Vastaavasti keskipakopumppu on rakenteeltaan poikkeava ja myöskin perustuu täysin erilaiseen toimintaperiaatteeseen. Myös pumppujen käyttökohteet ovat eri tyyppisiä.

Ulkohammaspyöräpumpun käyttökohteita ovat normaalisti hydraulikassa käytetyt sovellukset, kun esimerkiksi täytyy luoda paine-eroa ja tuottaa voimaa liikuttamaan raskaita komponentteja. Ulkohammaspyöräpumpun luomalla paineella mahdollistetaan sylinterin liikkeeseen tarvittava paine komponentin liikkumiseen paikasta a paikkaan b. Sitä käytetään esimerkiksi teollisuuden sovelluksissa kuten hisseissä sekä halonhakkuukoneissa.

Ulkohammaspyöräpumppu on käsitellyistä pumpuista ja yleisestikin ottaen rakenteeltaan todella yksinkertainen. Sen rakenne on todella pelkistetty, koostuen käytännössä kahdesta hammaspyörästä, paineaukosta, imuaukosta ja kotelosta. Lisäksi pumpussa on luonnollisesti laakerointi, vetoakseli ja tiivistys.

Toimintaperiaatteeltaan ulkohammaspyöräpumppu perustuu nesteen tiivistykseen, eli paineistukseen. Pumpun nimestäkin päätellen paineistus tapahtuu pumpun ulkokehällä hammaslovioiden välissä, josta paineistettu neste siirtyy paineaukosta paineistettuna prosessiin. Hammasrattaiden ryntöväli, joka muodostuu kahden rattaan sisäpuolelle, estää nesteen palautumisen takaisin imupuolelle, josta siis neste virtaa pumppuun. Hammaspyörästä vain toinen on niin sanotusti vetävä, eli se on integroitu akseliin, johonka ulkoinen voimanlähde antaa tehoa. Vastaavasti toinen on hammaspyörä on vapaasti

pyörivä, eli se on riippuvainen vetävästä pyörästä, joka siis tuottaa liikkeen myös vapaasti pyörivälle hammaspyörälle.

Ulkohammaspyöräpumpun hyötysuhde on korkea, noin 90-prosenttia ja vähän ylitsekin, joka siis tarkoittaa sitä että se käyttää käytännössä kaiken siihen käytetyn tehon, eli suurin osa menee käyttöön ja vain pieni osa hukkaan. Tämä on taloudellisestakin näkökulmasta positiivinen asia.

Sisähammaspyöräpumpun normaalit käyttökohteet ovat valmistusprosesseihin painottuneita. Sisähammaspyöräpumput soveltuvat hyvin korkeaviskositeettisten nesteiden pumppaamiseen. Esimerkiksi asfaltin tai siirapin valmistusprosesseissa käytetään kyseistä pumppumallia.

Rakenteeltaan sisähammaspyöräpumppu muistuttaa ulkohammaspyöräpumppua, mutta rakenne on kuitenkin hieman eri tyyppinen. Vetävä hammaspyörä on naaraspuolinen ratas, joka pyörii pesän ulkokehällä ja vastaavasti vapaa hammaspyörä on kooltaan pienempi ja sijaitsee sisäpuolella. Rattaiden välissä on toisistaan erottava kuun sirpin muotoinen erottaja.

Sisähammaspyörän toimintaperiaate perustuu myös hammaspyörien väleissä nesteen paineistukseen. Ulkopuolinen hammaspyörä on sisähammaspyöräpumpun vetävä ja vastaavasti sisempi on vapaasti pyörivä. Hammaspyörien välissä sijaitseva erottaja jakaa nesteen virtauksen paineukolle ns. kahden kerrokseen, jolloin neste paineistuu sekä ulkokehällä että erottajan sisäpuolella. Sisähammaspyöräpumppu on myös hyötysuhteeltaan korkea, samassa luokassa kuin ulkohammaspyöräpumpullakin, eli noin 90-prosenttia.

Keskipakopumppu on yleisin teollisuudessa käytetty pumpputyyppejä. Keskipakopumppua voidaan käyttää esimerkiksi jätevesien pumppaamiseen tai paperitehtaalla paperimassan pumppaamiseen prosessin eri vaiheissa.

Rakenteeltaan keskipakopumppu on monimutkaisempi kuin hammaspyöräpumput. Keskipakopumpussa on enemmän komponentteja ja liikkuvia osia kuin suhteellisen pelkistetyt hammaspyöräpumput. Keskipakopumpun raken-

teen tärkeimmät komponentit ovat juoksupyörä, akseli, pumpun pesä ja paine- sekä imuaukko. Juoksupyörä valitaan pumpattavan nesteen perusteella, esimerkiksi paperimassaa pumpattaessa käytetään puoliavointa ja vesiä pumpatessa suljettua juoksupyörää. Avoin juoksupyörä on käytössä korkea viskositeettisillä nesteillä.

Keskipakopumpun toimintaperiaate perustuu keskipakovoimaan, joka saadaan aikaan juoksupyörän avulla, joka sijaitsee pumpun pesässä. Ulkoinen tehonlähde on kytketty akseliin, joka pyörittää juoksupyörää. Keskipakovoima ajaa nesteen juoksupyörän ulkokehälle juoksupyörän siipisolia pitkin, josta neste siirtyy paineaukosta prosessiin.

Keskipakopumpun hyötysuhde on noin 70-prosenttia, joka on selvästi heikompi kuin hammaspyöräpumpuilla. Heikompi syötysuhde perustuu keskipakopumpun vuotoihin tiivistekohdissa, juoksupyörässä, painepuolelta imupuolelle palaavassa nestemäärässä sekä mekaanisissa häviöissä (kitka).

Nyrkkisääntönä kaikkiin pumppuihin pätee, se että pumpun koko pitää olla optimaalinen haluttuun tilavuusvirtaan nähden. Lisäksi pumppujen kunnossapito on tärkeää, että pumppu toimii parhaalla mahdollisella hyötysuhteella.

## 5.1 Arvoanalyysi

Arvoanalyysi on tutkittavana olevan kohteen tai palvelun ominaisuuksien ja kustannusten välisen suhteen tarkastelua (Routio 2007). Arvoanalyysin periaate on pisteyttää tiettyjen ominaisuuksien painoarvot (P) 0-100:n prosentin välillä, siten että esimerkiksi ominaisuus a saa 20-prosenttia ja b vaikkapa 30-prosenttia jne. Ominaisuuksien yhteenlaskettu summa tulee olla 100%. Jokaiselle arvostellulle tuotteelle, tässä tapauksessa pumpulle annetaan arvosana (A) esimerkiksi 1-5:n välillä. Kun nämä on pisteytetty omasta mielestä oikealle arvolle, kerrotaan arvot P ja A keskenään, jolloin saadaan kokonaisarvosana arvostellulle tuotteelle.

Tarkastelin pumppujen ominaisuuksia arvoanalyysin perusteella. Tämä analyysi perustuu täysin omiin näkemyksiini koskien kyseisiä pumppuja, ollen näin vain suuntaa-antava analyysi.

		Sisähammaspyöräpumppu		Ulkohammaspyöräpumppu		Keskipakopumppu	
Ominaisuus	Painoarvo P	Arvosana A	PxA	Arvosana A	PxA	Arvosana A	PxA
Hyötysuhde	35	5	175	5	175	3	105
Käyttökohteet	25	3	75	2	50	3	75
Rakenne	10	4	40	5	50	3	30
Huolto	20	4	80	5	100	3	60
Hinta	10	3	30	3	30	2	20
<b>Yhteensä</b>	<b>100</b>	<b>ka. 3,8</b>	<b>400</b>	<b>ka. 4,0</b>	<b>405</b>	<b>ka. 2,8</b>	<b>290</b>

Taulukko 1. Arvoanalyysi

Valitsin taulukossa olevat ominaisuudet arvoanalyysiini niiden tärkeyden perusteella. Koin hyötysuhteen tärkeimmäksi ominaisuudeksi, kun vertaillaan pumppuja. Tämä siitä syystä että se kertoo, kuinka tehokkaasti pumppu pystyy toimimaan suhteessa maksimaaliseen tehoon. Käyttökohteet valitsin toiseksi tärkeimmäksi ominaisuudeksi, koska se kertoo sen kuinka moneen tarkoitukseen kyseistä pumppua voidaan käyttää. Huollon valitsin kolmanneksi tärkeimmäksi ominaisuudeksi, koska jos pumppu on helppo huoltaa, se ei aiheuta esimerkiksi pitkiä katkoja tuotannossa. Hinnan ja rakenteen valitsin vähiten tärkeimmiksi ominaisuuksiksi. Rakenne on kuitenkin siinä mielessä tärkeä, että esimerkiksi vähän komponentteja sisältävä pumpun käyttäytymisen on helppo oppia ja sen toimintaperiaate on yksinkertainen, mutta en antanut sille painoarvoa. Tässä tapauksessa en antanut myöskään hinnalle paljoa painoarvoa, koska muut tuotteen ominaisuudet ovat mielestäni tärkeämpiä, mutta kuitenkin hinta saattaa ratkaista tuotteen hankinnan.

Päädyin seuraaviin lopputuloksiin: Ulkohammaspyöräpumppu sai parhaat pisteet. Ulkohammaspyöräpumpun hyötysuhde on noin 90-prosenttia, josta se sai täydet pisteet. Analyysissäni hyötysuhde oli tärkein ominaisuus. Se sai myöskin rakenteeltaan täydet pisteet, koska on arvostelluista pumpuista yksinkertaisin. Rakenteeseen viitaten se on myös helpoin huoltaa. Ainoastaan käyttökohteissa se pärjäsi muita huonommin, koska niitä on vähiten verrattuna muihin pumppuihin.



Sisähammaspyöräpumpulla on lähes samat ominaisuudet, mutta hieman monimutkaisemman rakenteensa johdosta arvostelin myös huollettavuuden astetta heikommaksi. Käyttökohteita sisähammaspyöräpumpulla on ulko-hammaspyöräpumppuun verrattuna enemmän.

Keskipakopumppu hävisi arvostelussa heikoimman hyötysuhteen (70%), sekä monimutkaisemman rakenteen johdosta, joka samalla peilaa huoltoon. Hinta oli myös astetta kalliimpi suhteessa hammaspyöräpumppuihin.

Sinänsä analyysi ei kerro absoluuttista totuutta pumppujen paremmuudesta, koska kaikkia pumppuja käytetään vähän eri tarkoituksiin. Halusin kuitenkin tuoda esiin pumppujen vahvuuksia eri osa-alueilla.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tekeminen oli yllättävän haastavaa ja raskasta tiedonhakuja. Koska työ oli teoriapohjainen ja perustui täysin tiedonhakuun sekä omiin johtopäätöksiini, saattoi yksinkertaisenkin asian selvittämiseen kulua enemmän aikaa kuin olin kuvitellut. Keskipakopumpuista tuntui löytyvän ihan kohtuullisesti materiaalia, mutta varsinkin hammaspyöräpumpuista löytyi yllättävän vähän tietoa ja suurin osa oli englannin kielellä. Tämä omalta osaltaan myös tuotti lisää työmäärää johtuen käännöstyöstä.

Omasta mielestäni aihe oli kuitenkin mielenkiintoinen ja ainakin itse opin tässä työssä käsitellyistä pumpuista ja niihin liittyvistä muuttujista paljon uutta asiaa. Toivon että tämän työn mahdollinen lukijakin saa tästä myös jotain irti ja samalla uskon, että tästä voi joku saada tulevaisuudessa tietoa, mikäli tarvitsee tietoja hammaspyöräpumppujen tai keskipakopumpun rakenteista sekä toiminnoista.

Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää kolmen eri tyyppisen pumpun toimintaperiaatteita, rakenteita sekä niille tyypillisiä ominaisuuksia ja käyttötarkoituksia. Mielestäni onnistuin tässä kohtuullisesti, vaikka varmasti olisi ollut helpompaa tutkia pumppuja, mikäli olisi nähnyt ne ihan fyysisesti käytössä. Tämä olisi varmasti antanut enemmän näkökulmia ja mahdollisesti olisin pystynyt vielä yksityiskohtaisemmin raportoimaan aiheesta.

## LÄHTEET

Bergius, O. 1978. Pumppujen toimintaperiaatteista. Teoksessa L. Ahti (toim.) Pumpputekniikka: nesteiden pumppaus. Helsinki: Insinööritieto Oy, 83-108.

Corrosion Fluid. 2014. Pump & Sealing Systems. Viitattu 17.3.2014.  
<http://www.corrosionfluid.com/pump-packing.aspx>

Dholariya. 'The best' princible of centrigugal pump. 9.4..2012. Viitattu 19.3.2014. <http://kaushalp18.blogspot.fi/2012/04/principle-of-centrifugal-pump.html>

Federley, J. 2009. Energiatehokas pumppausjärjestelmä. Viitattu 27.2.2014.  
[http://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas\\_pumppausj\\_rjestelm\\_.pdf](http://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf)

Gear Pumps. 2012. Gear Pumps. Viitattu 5.3.2014.  
<http://processprinciples.com/2012/07/gear-pumps/>

Hannula, N. 2010. Pumppujen hyötysuhteen arviointi hankesuunnitteluvaiheessa. AMK-opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Viitattu 26.2.2014.  
[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/21329/Hannula\\_Niko.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/21329/Hannula_Niko.pdf?sequence=1)

Holland, applied technoligies. 2013. Why Sanitary Centrifugal Pumps do not use Closed Impellers. Viitattu 10.3.2014.  
<http://hollandaptblog.com/2013/11/20/why-sanitary-centrifugal-pumps-do-not-use-closed-impellers/>

Hydraulic Gear Pump. 2014. Trouble shooting of hydraulic gear pump. Viitattu 5.3.2014. <http://hydraulicgearpump.wordpress.com/2013/12/20/working-of-hydraulic-gear-pump-internal-and-external-hydraulic-gear-pump/>

Kempe, S. 1978. Pumppujen toimintaperiaatteista. Teoksessa L. Ahti (toim.) Pumpputekniikka: nesteiden pumppaus. Helsinki: Insinööritieto Oy, 61-81.

Keinänen, T & Kärkkäinen, P. 2003. Hydraulikka ja pneumatiikka. Porvoo: Ws Bookwell Oy.

Keskipakopumppu prosessiteollisuuteen. 2007. Viitattu 7.3.2014.  
<http://www.nordicnet.fi/uutisia/Keskipakopumppu-prosessiteollisuuteen/>

Kimmo, M. 1987. Kone- ja laitosasennuksen pumput. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Kiwi Pumps. Centrifugal pumps. Viitattu 10.3.2012.  
<http://www.kiwipumps.net/centrifugal-pumps2.html>

Machine parts. 2013. Characteristics of a Centrifugal Pump. Viitattu 27.2.2014. <http://newmachineparts.blogspot.fi/2013/11/characteristics-of-centrifugal-pump.html>

Mäntän Pumppauspalvelu Oy. Pumppuedustukset - Andritz. Viitattu 12.3.2014. <http://www.mpp.fi/pumppued.html>

Nilsson, E. 1978. Pumppujen toimintaperiaatteista. Teoksessa L. Ahti (toim.) Pumpputekniikka: nesteiden pumppaus. Helsinki: Insinööritieto Oy, 7-16.

Pulli, M. 2009. Virtaustekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Pump school. 2012. Internal Gear Pumps. Viitattu 6.3.2014. <http://www.pumpschool.com/principles/internal.asp>

Pump school. 2012. External Gear Pumps. Viitattu 6.3.2014. <http://www.pumpschool.com/principles/external.asp>

Routio, P. 2007. Ehdotusten arvioiminen. Arvoanalyysi. Viitattu 6.5.2014 <http://www2.uiah.fi/projects/metodi/089.htm>

Sondalini, M. 2014. Gear pump operation & maintenance. Viitattu 5.3.2014 [http://bin95.com/ebooks/pump\\_types\\_ebook.htm](http://bin95.com/ebooks/pump_types_ebook.htm)

Wirzenius, A. 1969. Keskipakopumput. Tampere: Kustannusyhtymä.