



Rose-Mari Saarelainen

Kemian prosessiteollisuuden pumput ja niiden akselitiivisteet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

30.11.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Rose-Mari Saarelainen
Otsikko:	Kemian prosessiteollisuuden pumput ja niiden akselitiivisteet
Sivumäärä:	45 sivua
Aika:	30.11.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Kemiantekniikka
Ohjaajat:	Sales Director Taisto Jaatinen Lehtori Timo Seuranen

Tämä insinöörityö tehtiin Rejlers Finland Oy:lle, joka on Pohjoismaiden suurimpia suunnittelutoimistoja. Työn tavoitteena oli koota kattava tietopaketti kemianprosessiteollisuudessa käytettävistä yleisimmistä pumpputyypeistä. Lisäksi selvitettiin, mitä pitäisi ottaa huomioon hankinnassa, ja mitä niistä luodut standardit pitävät sisällään. Lopuksi luotiin katsaus erilaisiin pumppujen akselitiivistevaihtoehtoihin.

Työ toteutettiin kirjallisuusselvityksenä. Työhön käytettiin yritykseltä ja laitevalmistajilta saatuja materiaaleja, asiantuntijoiden haastatteluja sekä viranomaismääräyksiä ja alan kirjallisuutta.

Pumput ovat olennainen osa kemian prosessiteollisuuden prosesseja. Niitä käytetään siirtämään putkistoissa virtaavia aineita eteenpäin säiliöstä tai prosessista toiseen. Akselitiivisteiden avulla voidaan hillitä pumpattavan nesteen vuotamista ympäristöön. Pumppua hankittaessa täytyy selvittää kattavasti tietoa kyseisestä prosessista ja sen olosuhteista, jotta osaa valita sopivan pumpun kyseiseen prosessiin.

Pumppua hankittaessa täytyy tuntea prosessin eri vaiheet ja erityisesti pumpattavan aineen ominaisuudet. Standardien avulla varmistetaan, että pumput ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan oikeanlaiset.

Työn tuloksena luotiin kattava tietopaketti erilaisista kemianprosessiteollisuudessa käytettävistä pumpuista. Työn tuloksena selvisi, että keskipakopumppu on yleisin alalla käytetty pumpputyyppe sen yksinkertaisen rakenteen takia. Se on helposti muunneltavissa erilaisiin prosesseihin.

Avainsanat: kemian prosessiteollisuus, keskipakopumppu, punostii-
viste, mekaaninen tiiviste, pumpun hankinta, pumppujen
standardit

Abstract

Author: Rose-Mari Saarelainen
Title: Chemical Process Industry Pumps and Their Shaft Seals
Number of Pages: 45 pages
Date: 30 November 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Chemical Engineering
Supervisors: Taisto Jaatinen, Sales Director
Timo Seuranen, Senior Lecturer

This thesis project was made for Rejlers Finland Oy, which is one of the largest engineering offices in the Nordic countries. The purpose of the thesis was to compile a comprehensive information package on the most common types of pumps used in the chemical process industry. In addition, it was examined what should be considered when purchasing a pump, and what the standards on pumps contain. Finally, an overview of the pump shaft seal options was created.

The thesis was conducted as a literature review. The information and data obtained from the company and equipment manufacturers, from interviews with experts, as well as official regulations and industry literature were used for the thesis.

Pumps are an essential part of processes in the chemical process industry. They are used to move flowing substances in pipelines forward from one tank or process to another. With the help of shaft seals, a leakage of the pumped liquid into the environment can be contained. When purchasing a pump, you need to find from comprehensive information about the process in question and its conditions in order to be able to select how to choose a suitable pump for the process in question.

When purchasing a pump, you need to know the different stages of the process and especially the characteristics of the pumped substance. The standards ensure that the pumps meet the required technical specifications.

As a result of the thesis, a comprehensive information package was created on various pumps used in the chemical process industry. As the project progressed, it became clear that the centrifugal pump is the most common type of pump used in the industry due to its simple design. It is easily adaptable to different processes.

Keywords: chemical process industry, centrifugal pump, braid seal, mechanical seal, pump procurement, pump standards

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Pumput kemian prosessiteollisuudessa	2
3	Dynaamiset pumput	5
3.1	Keskipakopumput	5
3.1.1	Yksivaiheinen keskipakopumppu	6
3.1.2	Monivaiheinen keskipakopumppu	7
3.1.3	Pystysuuntainen keskipakopumppu	9
3.1.4	Bungartzin erikoispumput	10
3.1.5	Märkämoottoripumppu	11
3.1.6	Magneettivetoinen pumppu	12
3.1.7	Uppopumput	14
3.2	Aksiaalipumput	15
4	Syrjäytyspumput	16
4.1	Mäntäpumppu	18
4.2	Paineilmatoiminen kalvopumppu	19
4.3	Ruuvipumppu	20
4.4	Letkupumppu	21
4.5	Hammaspyöräpumppu	22
5	Muut pumput	23
6	Pumppujen standardit	24
7	Pumpun valinta ja hankinta	26
7.1	Kustannukset	27
7.2	Prosessin vaikutus	28
7.3	Käynnistys	28
7.4	Muita valintaan liittyviä tekijöitä	30
7.5	Keskipakopumpun ominaisuuksien muuttaminen pyörimisnopeutta ja juoksupyörän halkaisijaa säätämällä	30
8	Keskipakopumpun juoksupyörä	32

9	Akselitiivistetyypit	34
9.1	Punostiiviste	36
9.2	O-rengas	37
9.3	Mekaaninen tiiviste ja sen tiivistejärjestelmät	37
9.3.1	Yksittäinen mekaaninen tiiviste	38
9.3.2	Kaksoismekaaninen tiiviste	40
9.4	Dynaaminen tiiviste	42
10	Yhteenveto	43
	Lähteet	46

Lyhenteet

API	<i>American Petroleum Institute</i> . Yhdysvaltain öljy- ja maakaasuteollisuuden kauppajärjestö.
ATEX	<i>Atmosphères explosibles</i> . Räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettävien laitteiden laitedirektiivi.
H	Nostokorkeus.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> . Kansainvälinen standardisointijärjestö.
n	Pyörimisnopeus.
NPSH	<i>Net positive suction head</i> . Pumpun imuolosuhteet.
P	Teho.
PSK	PSK Standardisointiyhdistys ry.
SFS	Suomen Standardisointiliitto SFS ry.
V	Tilavuusvirta.
Q	Tilavuusvirta.

1 Johdanto

Kemian prosessiteollisuudessa pumpuilla on merkittävä rooli eri prosessien onnistumisessa. Niiden tehtävänä on siirtää putkistoissa virtaavaa ainetta eteenpäin säiliöstä toiseen tai prosessien välillä. Prosessissa käytettävän pumpun valintaan vaikuttavat monet eri tekijät. Tärkeimmät ovat virtaavan nesteen ominaisuudet, kuten viskositeetti, syövyttävyys ja eroosio. [1.]

Pumpattavien nesteiden ominaisuuksilla on myös ratkaiseva merkitys valittaessa pumppujen rakennemateriaalia. Korroosio on tärkeä näkökohta kemian prosessiteollisuudessa ja pumpun rakennemateriaalin tulee olla yhteensopiva pumpattavien aineiden kanssa. [1.]

Idea tähän insinööriyöhön tuli Rejlers Finland Oy:ltä, sillä heiltä puuttui tietopaketti eri pumpputyypeistä ja niiden akselitiivisteistä. Rejlers on Pohjoismaiden suurimpia suunnittelutoimistoja. Se toimii rakentamisen, kiinteistöjen, teollisuuden, infrastruktuurin sekä energia-alan projekteissa. Rejlers Finland Oy:n teollisuusyksiköllä on vahva kokemus prosessiteollisuuden investointien suunnittelusta, valvonnasta ja käyttöönotosta sekä voimalaitosten putkistojen sijoittelussa ja suunnittelussa. [2.]

Pumpuille on laadittu erilaisia standardeja ja sertifikaatteja, jotka takaavat sen, että pumput soveltuvat tiettyihin kohteisiin ja että niitä on turvallista käyttää. Standardeista selviää tarvittavat pumppujen tekniset tiedot. [3.] Suomessa käytetään yleensä kemian normistandardeja ja vaativissa olosuhteissa American Petroleum Institute (API) -standardeja. API-standardin pumppujen käyttö ikä on pidempi, ja ne ovat myös vuototurvallisempia kuin kemiannormistandardin pumput. [4.]

Pumpun sähkömoottoria valittaessa on huomioitava ATEX-laitedirektiivi (atmosphères explosibles) eli räjähdysvaarallisten tilojen laitteiden turvallisuusvaatimukset. Siinä säädetään tarvittavista suojausjärjestelmistä, joiden tavoitteena

on varmistaa laitteiden turvallinen käyttö sellaisissa tiloissa, joissa saattaa esiintyä räjähdysherkkiä ilmaseoksia. [5.] Pumppujen luokitusvaatimukset esitetään yksiköstä tehdyssä tilaluokituspiirustuksessa. Sen laativat yhteistyössä HSQE-, prosessi- ja sähkösuunnittelijat. Pumppuja ei yleensä CE-merkitä Painelaitedirektiivin mukaan, mutta ne täytyy CE-merkitä konedirektiivin 2006/42/EC mukaan sekä ATEX-direktiivin 2014/34/EU mukaan räjähdysvaarallisissa tiloissa. [4; 6.]

Kemian prosessiteollisuuden suunnittelutyössä on tärkeää erilaisten pumppujen ja niiden akselitiivisteiden ominaisuuksien ja käyttökohteiden tuntemus [4]. Tässä työssä tarkastellaan alalla yleisimmin käytettyjä pumppuja, niiden ominaisuuksia ja käyttökohteita. Käydään läpi alaan keskeisesti liittyviä standardeja sekä pumppujen valintaan vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi käydään läpi yleisimmän pumpputyypin eli keskipakopumpun akselitiivistevaihtoehtoja ja niiden vaikutusta pumpun soveltuvuuteen.

2 Pumput kemian prosessiteollisuudessa

Kemian prosessiteollisuudessa pumppuja käytetään siirtämään erilaisia aineita putkistoissa ympäristöystävällisesti, turvallisesti ja tehokkaasti. Yleensä siirrettävät aineet ovat nesteitä, mutta ne voivat myös sisältää kiinteitä partikkeleita, esimerkiksi lietteitä tai näiden aineiden sekoituksia. [7.] Virtaavat aineet siirretään yleensä alemmasta paineesta korkeampaan paineeseen [8, s. 134].

Pumppuja vertaillaan niiden ominaisuuksien perusteella. Tärkeimmät ominaisuudet ovat tilavuusvirta (V), nostokorkeus (H) ja roottorin nopeus (n). Nostokorkeus lasketaan kaavalla 1. [8, s. 134.]

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{(p_p - p_i) + \rho g h + h_{äv}}{\rho g} \quad (1)$$

H on nostokorkeus (m)

Δp on pumpun tuottama paine-ero (Pa)

p_p on painesäiliössä vallitseva paine (Pa)

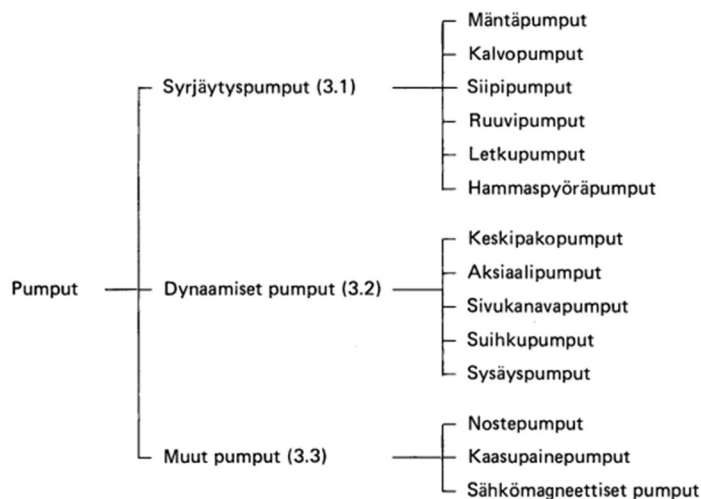
p_i on imusäiliössä vallitseva paine (Pa)

h on korkeusero, painesäiliön ja imusäiliön välillä (m)

$\Delta p_{häv}$ on painepuolen ja imupuolen yhteenlaskettu painehäviö (Pa)

Nostokorkeus H tarkoittaa käytännössä sitä korkeutta, johon pumppu pystyy nostamaan pumpattavaa ainetta [8, s.137]. Virtausmäärä, nostokorkeus, pumppun teho ja tehokkuus sekä putkiston häviöt vaikuttavat pumppun ominaiskäyrään [9].

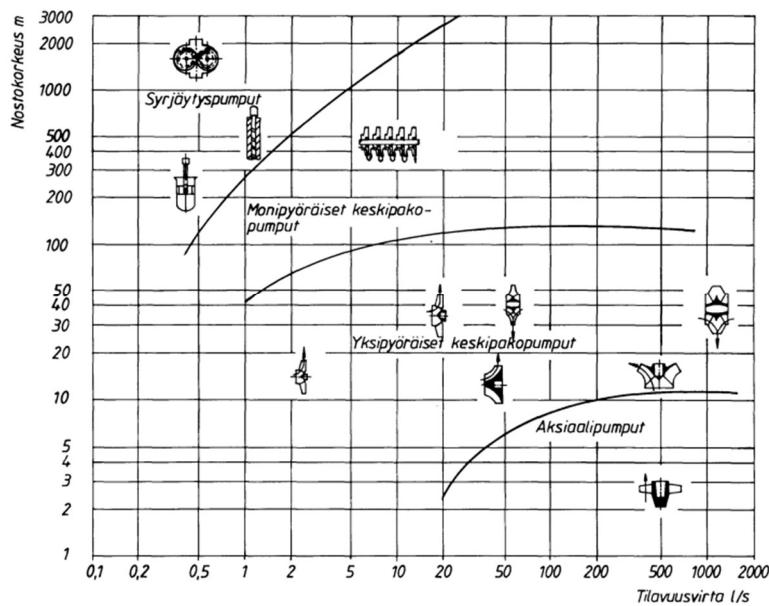
Nesteiden siirtoon käytettävät pumput jaotellaan niiden toimintaperiaatteen mukaan kolmeen pääryhmään: syrjäytuspumppuihin, dynaamisiin pumppuihin sekä muihin pumppuihin (kuva 1). Esimerkiksi kemianprosessiteollisuudessa yleisesti käytetyt keskipako- ja aksiaalipumput kuuluvat dynaamisiin pumppuihin. [10.]



Kuva 1. Nesteiden siirtoon käytettävien pumppujen jaottelu [10].

Kuvasta 2 nähdään toiminta-alueet, joilla erilaiset pumput toimivat parhaiten. Toiminta-alueella tarkoitetaan tilavuusvirran ja nostokorkeuden suhdetta. Syrjäytuspumppuja käytetään, kun nostokorkeus on suuri ja tilavuusvirta pieni. Aksiaalipumpun toiminta-alue on puolestaan paras silloin, kun nostokorkeus on pieni ja tilavuusvirta on suuri. Keskipakopumpun toiminta-alue on näiden pumpputyypin välillä. [10.] Toimintapistettä voidaan muuttaa muuttamalla pumppun

pyörimisnopeutta, juoksupyörän halkaisijaa tai muuttamalla putkistojärjestelmän ominaisuuksia [11].

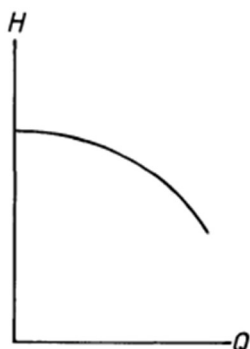


Kuva 2. Pumppujen toiminta-alueet [10].

Tarvittaessa pumppuihin on lisättävä minimikierto eli painepuolelta imu puolelle nestettä takaisin päästävä systeemi, sillä pumppujen toiminta häiriintyy, jos pumppu käy suljettua venttiiliä vasten. Koska pumpun sisällä oleva neste kuumenee ja alkaa kiehumään, jolloin pumpun akselin tiiviste saattaa rikkoontua. Minimikierto voidaan toteuttaa monella tavalla, esimerkiksi säätöventtiiliryhmällä. [4; 6.]

3 Dynaamiset pumput

Dynaamisten pumppujen toimintaperiaate on se, että ne muuttavat mekaanisen energian tai liike-energian paine-energiaksi. Kuva 3 kuvaa pumpun tilavuusvirran Q ja nostokorkeuden H suhdetta. Kun pumpun tilavuusvirta kasvaa, niin nostokorkeus alenee. [10.]



Kuva 3. Dynaamisten pumppujen yleinen QH-kuvaaja [10].

Noin 80 prosenttia kemian prosessiteollisuudessa käytettävistä dynaamisista pumppuista on keskipakopumppuja, koska ne soveltuvat hyvin erilaisten nesteiden pumppaamiseen. Toinen yleisesti käytössä oleva dynaaminen pumppu-tyyppi on aksiaalipumppu. Harvemmin käytössä olevia dynaamisia pumpputyyppejä ovat sivukanavapumput, suihkupumput ja sysäyspumput. [12.]

3.1 Keskipakopumput

Keskipakopumppujen maailmanmarkkinoiden volyyymi on noin 20 miljardia dollaria vuodessa. Niistä on kehitetty eritehoisia sovelluksia. Pienimmät pumput ovat teholtaan muutaman watin pumppuja. Sovelluksiin kuuluu myös 60 megawatin varastopumput ja yli 250 megawatin pumpputurbiinit. Keskipakopumput on suunniteltu tilavuusvirroille $0,001\text{--}60\text{ m}^3/\text{s}$ ja muutamasta sadasta noin 30 000 kierrokseen per minuutti. [13.]

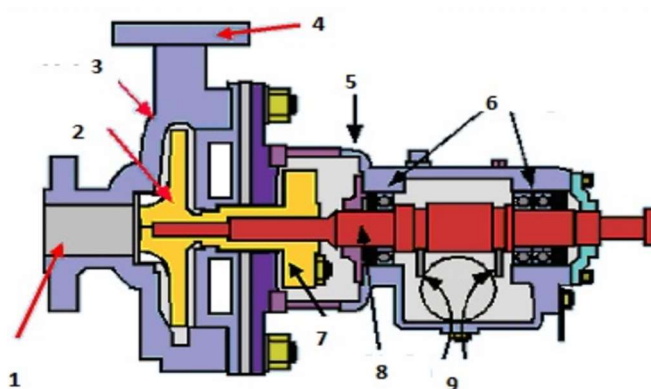
Keskipakopumpun toiminta perustuu juoksupyörien aiheuttamaan keskipakovoimaan. Toimintaperiaatteeltaan keskipakopumppu on jatkuvatoiminen. [14.] Neste syötetään pumpun imuaukkoon, joka sijaitsee juoksupyörän keskellä.

Juoksupyöriä voi olla yksi tai useampia. Juoksupyörän pyörivä liike aiheuttaa sen, että neste liikkuu ulospäin säteensuuntaisesti. Tämän vuoksi neste saavuttaa suuren kineettisen energian ja paine-ero kasvaa pumpun paine- ja imupuolen välillä. [14.]

Keskipakopumput soveltuvat yleensä pumppaamaan nesteitä, joiden viskositeetti on alhainen [10]. Koska keskipakopumppujen ominaisuuksia voidaan helposti muokata, niitä voidaan käyttää laajasti erilaisissa käyttökohteissa, kuten elintarvike-, kemian- ja lääketeollisuudessa, voimalaitoksissa sekä öljyjen ja kaasujen pumppaamisessa. [14.]

3.1.1 Yksivaiheinen keskipakopumppu

Keskipakopumpuista yksivaiheiset, yksisyöttöiset kierukkakoteloiset pumput ovat yleisimpiä. Niitä voidaan käyttää monenlaisiin sovelluksiin kuten jäteveden ja kemiallisten aineiden käsittelyyn. Tämän tyyppisten pumppujen tilavuusvirta on yleensä 7–100 m³/s. [13.] Kuvassa 4 on esitetty yksivaiheisen keskipakopumpun rakenne. [16.]



Kuva 4. Yksivaiheisen keskipakopumpun rakenne kuva. 1. Pumpun imu, 2. juoksupyörä, 3. pesä, 4. paineaukko, 5. kotelo, 6 laakerit, 7. tiiviste, 8. akseli ja 9. voitelu [15].

Yksivaiheisia radiaalisia keskipakopumppuja voidaan hyödyntää myös lämpövoimalaitosten suurissa jäähdytysvesipumpuissa tai vesivoimaloiden vesivarastojen pumpuissa, joissa tilavuusvirrat ovat muutamasta litrasta minuutissa useisiin kuutiometreihin sekunnissa. Yksivaiheisia pumppuja on sekä vaaka- että pystysuuntaisia. [13.]

Yksivaiheisille keskipakopumpuille asetetaan usein tiukat vaatimuksia luotettavuuden ja melupäästöjen suhteen. Markkinavolyymi näille pumpuille on Euroopassa noin viisi miljoonaa pumppua vuodessa. [13.]

3.1.2 Monivaiheinen keskipakopumppu

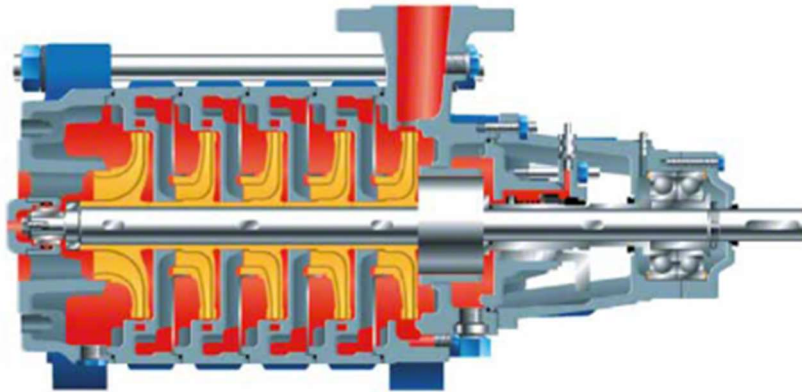
Kun yksivaiheisen pumpun pyörimisnopeutta ei voida nostaa muista käyttöolosuhteista johtuen ja juoksupyörän suurempi halkaisija johtaisi erittäin pieniin ominaisnopeuksiin, mikä johtaisi hyötysuhteen laskemiseen, on hyvä harkita monivaiheisen pumpun käyttöä. [16.] Monivaiheisessa pumpussa neste virtaa useiden sarjaan asennettujen juoksupyörien läpi. Jos juoksupyörien lukumäärää muutetaan muuttumattomilla mitoilla ja nopeuksilla, virtausnopeus pysyy vakiona samalla kun tehonotto ja nostokorkeus kasvavat verrannollisesti vaiheiden lukumäärää kohden. [16.] Tämän tyyppiset pumput säästävät energiaa ja niitä voidaan käyttää monenlaisissa kohteissa [4].

Monivaiheiset pumput on suunniteltu käytettäväksi esimerkiksi kattilan syöttöpumppuina ja korkeaa painetta vaativissa teollisissa sovelluksissa. Niitä käytetään, kun virtaus on pieni mutta vaatimuksena on kuitenkin kohtuullinen paineentuotto. Monivaiheisen pumpun yksi vaihe koostuu juoksupyörästä, hajottimesta ja paluuohjainsiivestä. Ne kaikki sijaitsevat yhdessä ja samassa kotelossa. [17.]

Mitä useampia vaiheita pumpussa on, sitä suurempi on lopullinen poistopaine [17]. Vaiheiden lukumäärästä riippumatta imukammio aksiaali- tai radiaalisuuttimella on järjestetty ennen ensimmäistä vaihetta ja viimeinen vaihe asennetaan

poistokoteloon, joka sisältää tasapainotuslaitteen ja akselitiivistein (kuva 5).

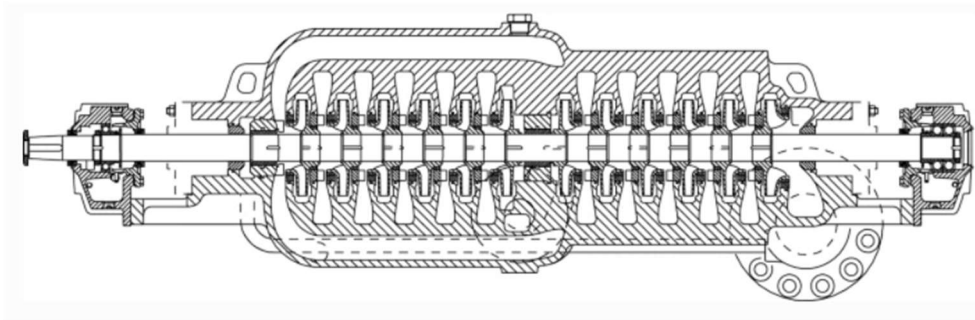
[16.]



Kuva 5. Tyypillinen monivaiheinen keskipakopumppu aksiaalisella suuttimella [16].

Monivaiheisia keskipakopumppuja täytyy huoltaa usein esimerkiksi suuren vaihemäärän takia, koska se lisää pumpun roottorin herkkyttä ulkoiselle tai luonnolliselle tärinälle [16]. Huoltotoimenpiteet vievät yleensä paljon aikaa pumpun monimutkaisen rakenteen takia. Monivaiheisissa pumpuissa kaikkien vaiheiden hydrauliset aksiaalivoimat muodostavat huomattavan aksiaalisen työntövoiman, jonka laakerien pitää kyetä kestämään. Monivaiheisissa pumpuissa voi olla laite, joka tasapainottaa aksiaalisen työntövoiman, esimerkiksi tasapainolevyt tai tasapainoitussännät. [17.]

Aksiaalista työntövoimaa voidaan tasapainottaa myös juoksupyörien back-to-back-menetelmällä. Tässä menetelmässä juoksupyörät järjestetään kahteen ryhmään kuten kuvasta 6 voidaan nähdä. Kuvassa 6 on 12-vaiheinen pumppu, jossa toisella juoksupyöräryhmällä on oma imukammio, ja juoksupyörät ovat vastakkaisen suuntaisia kuin ensimmäisen juoksupyöräryhmän. Kotelo on halkaitu aksiaalisesti, jolloin koko roottori voidaan irrottaa kotelon yläosan nostamisen jälkeen. Imukammiot on valettu kiinteästi ala- ja yläkotelon puoliskoon, samoin kuin virtauskammiot, jotka johtavat ensimmäisestä vaiheryhmästä toiseen. Imukammiot purkautuvat virtauskanavien kautta kanaviin, jotka johtavat nesteen seuraavan vaiheen juoksupyöräryhmän ensimmäiselle juoksupyörälle. [6; 13.]



Kuva 6. Sulzerin monivaiheinen, aksiaalisesti jaettu "barrel-pumppu" kahdella kierteellä [13].

Kuvan 6 pumpputyypissä imu- ja painepuolen suuttimet ovat kotelon alaosassa, tällöin pumppu voidaan avata irroittamatta putkistoa. Tämän tyyppisen pumpun kotelon valut ovat kuitenkin melko monimutkaisia, ja siksi sitä ei ole vielä standardisoitu muualla kuin API 610 standardissa. [6; 13.]

3.1.3 Pystysuuntainen keskipakopumppu

Pystysuuntaisia keskipakopumppuja käytetään tyypillisesti pumppaamaan nesteitä ylöspäin säiliöstä tai kaivosta, niitä käytetään myös silloin, jos lattiatilaa on vähän, koska ne vievät vähemmän lattiatilaa kuin vaaka-asentoinen pumppu. Niitä voidaan käyttää erilaisissa käyttölämpötiloissa ja vaihtelevilla paineilla.

[18.] Kuvassa 7 on Sundynen valmistama pystysuuntainen keskipakopumppu, jota käytetään muun muassa syöttöpumppuna ja prosessipumppuna [19].



Kuva 7. Sundynen LMV 801 pystysuuntainen keskipakopumppu [19].

Toiminnallisia haasteita aiheuttavat korkeat imupaineet, koska aksiaalisen työvoiman ja ulkonevien akselirakenteiden tasapainottaminen on vaikeaa. Nesteitä, jotka sisältävät suuria pitoisuuksia kaasuja, on vaikeita käsitellä, koska kaasu häiritsee pumpun toimintaa ja voi jopa estää pumpun virtaus- ja paineentuottokyvyn sekä aiheuttaa värähtelyä, mikä voi johtaa mekaanisen tiivisteiden rikkoutumiseen. [20.]

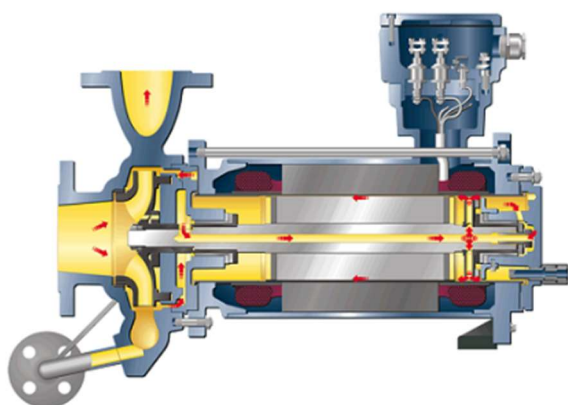
3.1.4 Bungartzin erikoispumput

Kemian prosessiteollisuuden kehittyessä tarvitaan entistä enemmän haastavampia ja monimutkaisempia prosesseja, joihin tavalliset keskipakopumput eivät sovellu. Vaativiin pumppaustilanteisiin on suunniteltu erikoispumppuja. Esimerkkinä Bungartzin itseilmaavat ja kavitoimatottomat pumput. Ne kestävät tyhjäkäyntiä ja pumpattavan nesteen mahdollisesti sisältämiä kiintoaineita. Ne vaativat vähän huoltoa ja ovat sekä itsesäätyviä ja kulutusta kestäviä. [5; 21.]

Bungartzin pumpuista on olemassa monia erilaisia erikoistyyppisiä, jotka käyttävät hyväksi pumpun itsesäätyvää virtausominaisuutta. Pumppujen NPSH (Net positive suction head) on nolla, joten se soveltuu erinomaisesti esimerkiksi säiliöautojen tyhjentämiseen sekä kuumille nesteille. Pumput soveltuvat myös myrkyllisille aineille kaikissa ATEX-luokissa. Bungartzin MOS- ja UMOS-pumpuilla voidaan esimerkiksi pumpata luotettavasti ja taloudellisesti syövyttäviä, hankkavia, tahmeita, kaasupitoisia, kiteytyviä ja geeliytyviä nesteitä. [22.]

3.1.5 Märkämoottoripumppu

Koteloitua täysin tiiviistä märkämoottoripumppuja käytetään, kun halutaan taata turvallisuus ihmisille ja ympäristölle ääriolosuhteissa. Niitä käytetään esimerkiksi, kun pumpataan nesteitä tai kaasuja suurissa lämpötiloissa tai korkean paineen prosesseissa. [23.] Kuvassa 8 on esitetty, miten pumpattava aine virtaa koteloidussa märkämoottoripumpussa [24].

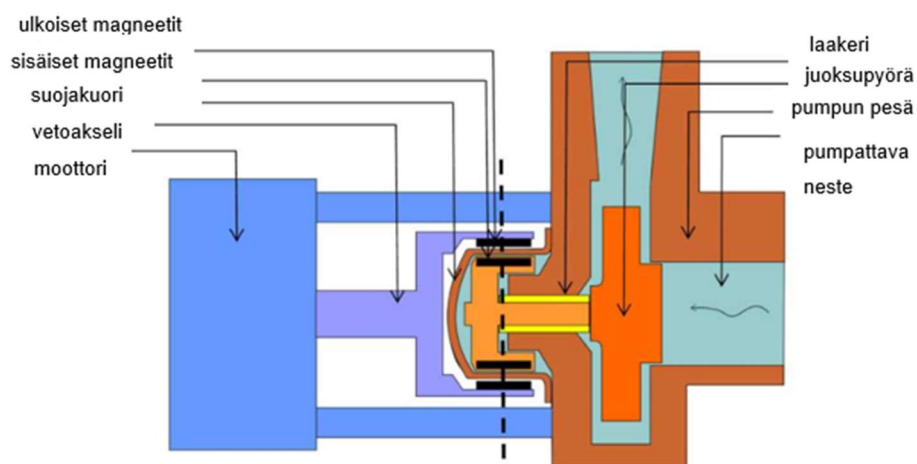


Kuva 8. Koteloidun märkämoottoripumpun rakennekuva [23].

Koteloidussa märkämoottoripumpussa moottori ja laakerit ovat alltiina pumpattavalle nesteelle ja jäähtyvät sen avulla. Moottori saattaa vaurioitua, mikäli pumpattava aine sisältää roskia tai kiintoainepartikkeleita. [13.] Näitä pumppuja käytetään kemian- ja petrokemianteollisuudessa, mutta ne soveltuvat myös kierto-vesipumpuiksi teollisuuden jäähdytyslaitteisiin [25].

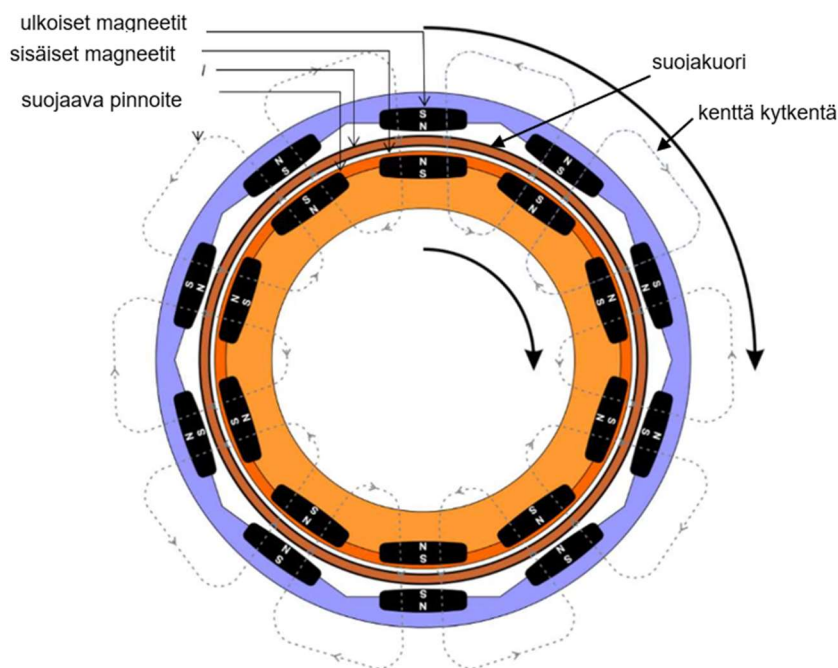
3.1.6 Magneettivetoinen pumppu

Magneettivetoisessa pumpussa juoksupyörä ja pumpattava neste ovat ilmatii-
visti suljetussa kotelossa. Siinä ei ole dynaamista tiivistettä vaan staattinen
magneettikupin tiiviste, joka ei ole alttiina liikkuvien osien kulumiselle. Tämä rat-
kaisu sopii parhaiten sellaisiin sovelluksiin, joissa tulee välttää pumpattavan
nesteen vuotoa kokonaan. Kuvassa 9 on esitetty magneettivetoisen pumpun tii-
visteen rakenne. [26; 5.]



Kuva 9. Magneettivetoisen pumpun rakennekuva [26].

Magneettivetoinen pumppu toimii niin, että moottorin käyttöakseli pyörittää magneetikokoonpanoa kotelon ulkopuolella ja tätä vastapäätä kotelon sisäpuolella. Juoksupyörän akseliin on kiinnitetty magneettirengas. Molemmat renkaat sisältävät suunnilleen saman määrän identtisiä yhteensopivia vastakkaisia magneetteja (kuva 10). [26.]



Kuva 10. Magneettirenkaiden ja suojakuoren poikkileikkaus magneettikäyttöisessä keskipakopumpussa [26].

Tiivistämiseen käytettävät magneetit on usein valmistettu harvinaisista maame-talleista, kuten samariumista ja neodyymistä, joita on seostettu muiden metal-lien kanssa. Yleisimmät yhdistelmät ovat samarium-koboltti ja neodyymi-rauta-boori. Näillä yhdistelmillä on kaksi etua perinteisiin magneetteihin verrattuna. Ensimmäinen etu on, että tietyn vääntömomentin ylläpitämiseen vaaditaan pie-nempi massa ja tämän takia voidaan käyttää pienempiä ja yksinkertaisempia pumppuja. Toinen etu on parempi lämpötilan vakaus. Näiden materiaalien käy-töstä johtuu magneettikäyttöpumppujen korkea hinta. Lisäksi edellä mainitut materiaalit eivät ole kovin korroosion kestäviä, joten ne tulee päällystää jollain suojarahtsilla. [26.]

On olemassa myös magneettikäyttöisiä syrjäytuspumppuja, siipipumppuja, sisähammaspyöräpumppuja ja ulkoisia hammaspyöräpumppuja. Näillä kaikilla peruseriaate ja edut ovat samat: virtaava aine on suljetun kotelon sisällä, mikä vähentää vuotamisen riskiä. Virtaavan aineen tulee olla puhdasta, jotta magneetit eivät rikkoonnu. [26.]

3.1.7 Uppopumput

Uppopumpun moottori on hermeettisesti suljettu ja kytketty tiivistii pumpun runkoon, jolloin pumppu voidaan upottaa kokonaan pumpattavaan nesteeseen [27]. Uppopumppuja käytetään tyhjennettäessä altaita tai vastaavia paikkoja. Ne eivät ole alttiita kavitaatiolle. Uppopumppuja käytetään yleisesti kaivosteollisuudessa. [28.] Kuvassa 11 on yksivaiheinen uppopumppu [29].



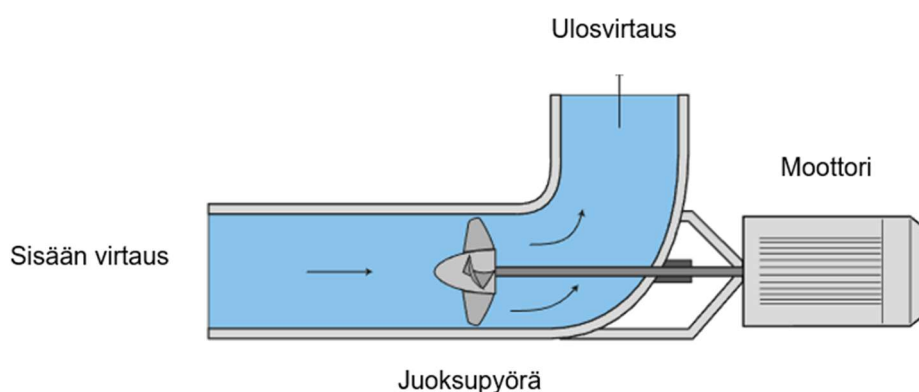
Kuva 11. Yksivaiheinen uppopumppu [29].

Uppopumppua valittaessa täytyy aina varmistaa, pitääkö pumpun moottorin olla aina nestepinnan alapuolella vai voiko se olla myös nestepinnan yläpuolella. Tämä riippuu yleensä pumpun rakenteesta, mutta ATEX-alueilla moottorin pitää yleensä sijaita pinnan alapuolella. [5.]

Uppopumppujen tiivisteet voivat ajan myötä ruostua. Tällöin pumpattavaa nestettä valuu moottoriin, jolloin se rikkoontuu. Uppopumppuja on myös monivaiheisia ja ne voivat olla vaaka- tai pystyasentoisia. [5; 28.]

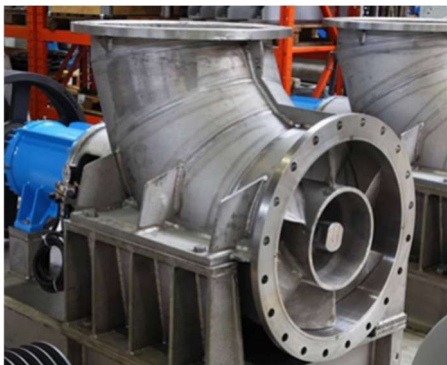
3.2 Aksiaalipumput

Aksiaalipumpussa (kuva 12) mekaaninen energia muutetaan liike- ja paineenergiaksi juoksupyörän tai potkurin avulla. Niitä käytetään yleensä väkevien tai laimeiden happoseosten kierrättämiseen sekä pumppaamaan suuria nestemääriä, kun vaadittava nostokorkeus on pieni. Ne soveltuvat hyvin myös kiintoainepumppaamiseen. Niitä käytetään vesilaitoksissa ja jäähdytyskiertojärjestelmissä. [8, s.136.]



Kuva 12. Aksiaalipumpun rakennekuva [30].

Kun aksiaalipumppua vertaa keskipakopumppuun, niin sen tilavuusvirta on suurempi ja nostokorkeus pienempi. Sitä voidaan käyttää samantyyppisille nesteille kuin keskipakopumppuakin. Rakennusmateriaaleina voidaan käyttää laajasti eri materiaaleja. Aksiaalipumpuilla voidaan myös pumpata molempiin suuntiin. [12; 14.] Kuvassa 13 on yksi Sulzerin valmistama aksiaalipumppu [30].

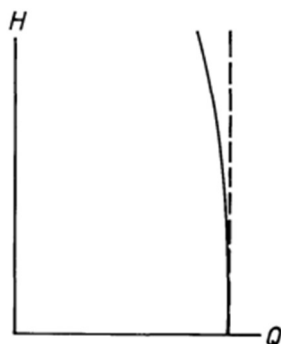


Kuva 13. Sulzerin valmistama aksiaalipumppu [30].

Esimerkiksi Sulzerin CAHR-pumppuvalikoima soveltuu erilaisiin teollisiin tarkoituksiin ja monille eri nesteille. Materiaalinsa ansiosta ne soveltuvat myös erittäin syövyttävälle ja lietepitoisille nesteille. [30.]

4 Syrjäytyspumput

Syrjäytyspumppujen toimintaperiaate on se, että pumpun syrjäytyselin sysää pumpun pesässä olevan nesteen paineenalaiseen poistoputkeen. Tilavuusvirta säilyy lähes vakiona, vaikka nostokorkeus muuttuisi, kuten kuvasta 14 käy ilmi. Syrjäytyspumput ovat yleensä itseimeviä ja ne ovat myös usein kalliita. [10.]



Kuva 14. Syrjäytuspumppujen QH-kuvaaja [9].

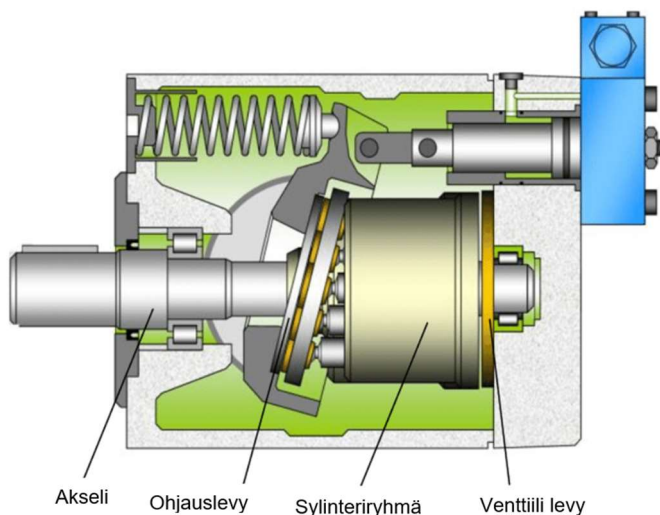
Syrjäytuspumppujen pumppaustoiminnassa kaksi pumpun pesässä olevaa roottoria pyörivät vastakkaisesti. Neste tulee pumpun pesään imuyhteestä ja se kulkee kammiossa roottorien avulla painepuolen yhteelle. [10.]

Syrjäytuspumput soveltuvat hyvin sellaisiin kohteisiin, joissa nestevirran määrän on pysyttävä vakiona vastapaineesta riippumatta ja kun tilavuusvirta on pieni ja nostokorkeuden pitää olla suuri. Tilavuusvirtaa pystytään säätämään tarkasti syrjäytuspumpuilla. Syrjäytuspumppuja käytetään myös usein poltto- ja voiteluainejärjestelmissä. Syrjäytuspumppuihin kuuluvat mäntäpumput, kalvopumput, siipipumput, ruuvipumput, letkupumput sekä hammaspyöräpumput. [8, s. 134]

Syrjäytuspumppu tuottaa aina sen verran painetta kuin on systeemin vastapaine. Jos painepuolelta suljetaan venttiili, paine kasvaa todella korkeaksi. Tämä aiheuttaa sen, että jotakin hajoaa. Tämän takia syrjäytuspumppuihin tarvitaan aina joko sisäinen tai ulkoinen varoventtiili. Pumppua ei saa pyörittää pitkiä aikoja vain sisäisen varoventtiilin kierron varassa, koska tällöin neste pumpun sisällä kuumenee voimakkaasti. [5.]

4.1 Mäntäpumppu

Mäntäpumppuissa männän liike muodostaa alipaineen, jonka avulla neste imeytään pumpulle. Tämän jälkeen mäntä vaihtaa suuntaa, jolloin neste painetaan paineella lähtöputkeen. Kuvassa 15 on esitetty erään mäntäpumpun rakenne. [10.]

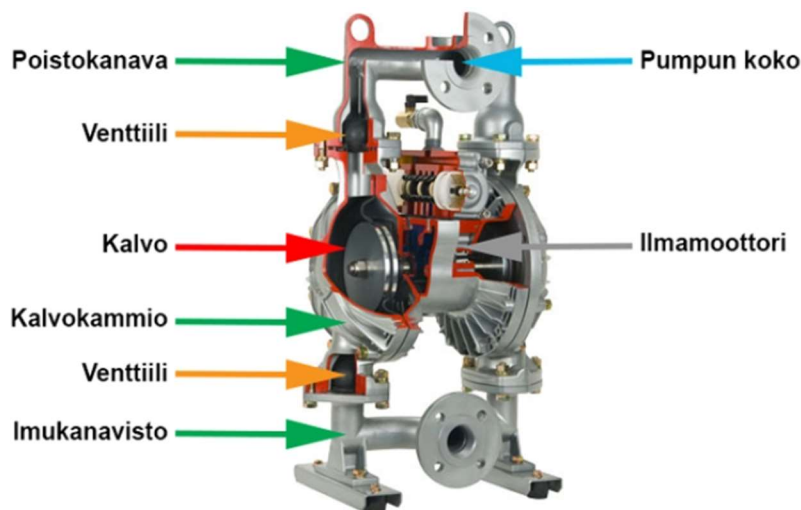


Kuva 15. Erään mäntäpumpun rakennekuva [31].

Mäntäpumppuja käytetään pienillä virtauksilla ja kohteissa, joissa käytetään korkeaa painetta tai tarvitaan tarkkaa annostelua. Niitä käytetään myös, kun pumppattavan nesteen viskositeetti on korkea, mutta vähemmän kuin $2\,000\text{ mm}^2/\text{s}$. [10.] Mäntäpumput ovat yleensä pieniä, mutta niitä valmistetaan myös isokokoisina esimerkiksi kaivosteollisuuden tarpeisiin, kun tarvitaan korkeita paineita lieteputkille [4].

4.2 Paineilmatoiminen kalvopumppu

Paineilmatoimisten kalvopumppujen toimintaperiaate on sama kuin mäntäpumppuilla. Kalvopumpun etuna on kuitenkin sen tiiviys, jolloin sitä voidaan käyttää vaarallisten kemikaalien pumppaamiseen ja kiinteitä aineita sisältävien nesteiden pumppaamiseen. Kuvassa 16 on esitetty kalvopumpun rakenne. [10.]

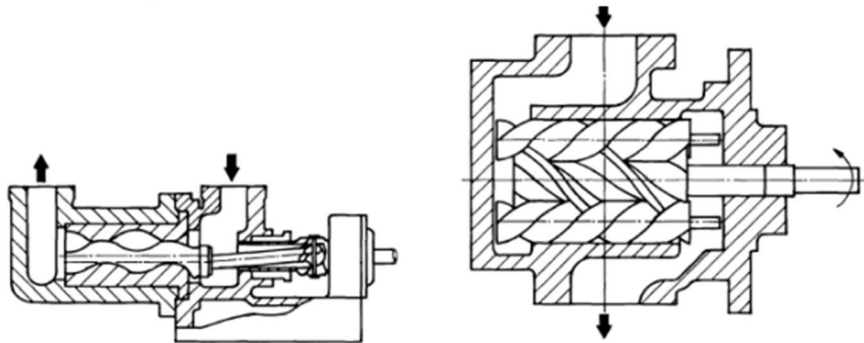


Kuva 16. Kalvopumpun rakennekuva [32].

Kalvopumpulla voidaan myös pumpata likaisempia nesteitä. Niitä käytetään usein pienille virtauksille esimerkiksi lisäaineen syötössä ja, kun tarvitaan tarkkaa annostelua. [10.]

4.3 Ruuvipumppu

Ruuvipumppu pumppaa tasaisesti, eikä pumpattava neste sekoitu pumpussa. Pumpussa on pyörivä roottori, jossa on kierteitä. Ne muodostavat suljettuja tiloja pumpun pesän kanssa (kuva 17). Pumppu voi sisältää myös useamman ruuvin. [20.]



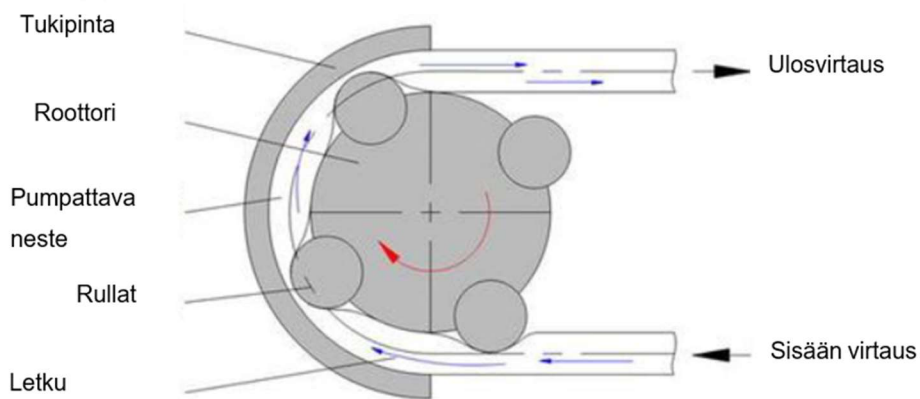
Kuva 17. Kahden erityyppisen ruuvipumpun rakennekuva [20].

Kuvassa 17 vasemmanpuoleinen on epäkeskoruuvipumppu ja oikeanpuoleinen kolmiakselinen ruuvipumppu. Näiden lisäksi on olemassa kaksiakselinen ruuvipumppu, jonka ruuvi voi olla toisen ruuvin pyörittämä. [5.]

Ruuvipumppua käytetään yleensä pumppaamaan aineita, joiden viskositeetti on suuri. Pumppu soveltuu erityisesti sellaisille nesteille, joita ei saa sekoittaa pumpussa kuten kerma tai maito. [10.]

4.4 Letkupumppu

Letkupumpussa pumpun pesän sisäreunassa on letku, jonka päällä pyörii rulla, joka puristaa letkua pesän reunaa vasten. Rullia voi olla myös useampi, yksi tai useampi, yleensä kaksi tai kolme. Kuvassa 18 on letkupumpun rakenne, jossa on yksi rulla. Letkupumppua käytetään sellaisille aineille, jotka eivät saa olla kosketuksissa pumpun rungon tai juoksupyörän kanssa. [10.]

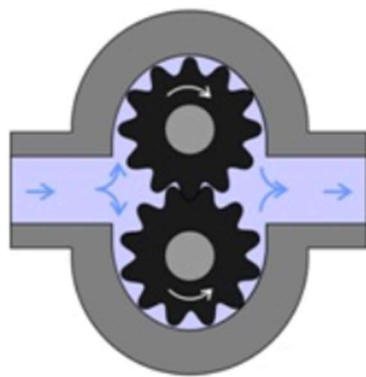


Kuva 18. Letkupumpun rakennekuva [33].

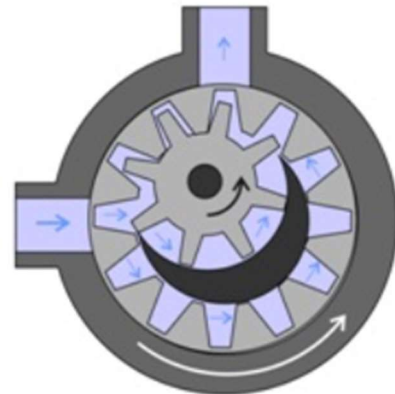
Koska pumpussa ei ole akselin läpivientiä pumpattavaan nesteeseen, se soveltuu vaikeasti pumpattavien kuten lietteiden ja kiinteitä partikkeleita sisältävien nesteiden sekä metalleja syövyttävien nesteiden pumppaamiseen. Sitä voidaan käyttää kuitenkin vain pienehköille virtauksille ja vastapaineille. Pumpun itseominaisuudet ovat hyvät. Letkupumppu vaatii jatkuvaa kunnossapitoa, koska sen letku tulee vaihtaa usein, mutta sen vaihtaminen on helppoa. [10; 5.]

4.5 Hammaspyöräpumppu

Hammaspyöräpumput on jaettu kahteen tyyppiin, sisäisiin ja ulkoiisiin. Ulkoisissa hammaspyöräpumpeissa hammaspyörät on asennettu toistensa yläpuolelle, ja yksi niistä on moottorin ohjaama. Hammaspyörien välissä virtaava neste kulkee imupuolelta painepuolelle. Sisäisissä hammaspyörä pumpeissa moottori pyörittää sisempää hammaspyörää, joka taas pyörittää ulompaa sisäisellä hammastuksella varustettua hammaspyörää kuvan 19 mukaisesti. [34.] Hammaspyöräpumput ovat yleensä pieniä [4].



Ulkoinen hammaspyöräpumppu



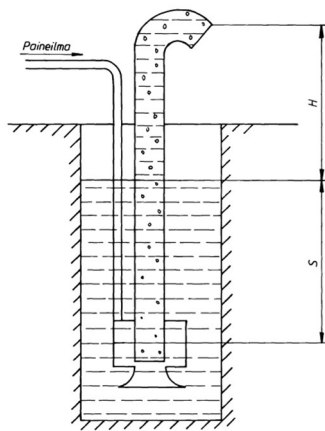
Sisäinen hammaspyöräpumppu

Kuva 19. Ulkoisen ja sisäisen hammaspyöräpumpun rakennekuva [32].

Hammaspyöräpumput soveltuvat viskoosien aineiden esimerkiksi voiteluaineiden pumppaamiseen. Pumpattavan nesteen tulee olla yleensä voitelevaa, koska hammaspyöräpumppujen hampaiden kesken on metallinen kosketus. Ulkoisesti ohjatulla hammaspyöräpumpulla voi pumpata myös voitelemattomia nesteitä. [5.]

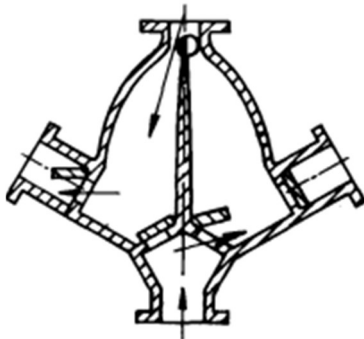
5 Muut pumput

Nostepumput ja kaasuainepumput ovat toimintaperiaatteeltaan erilaisia. Ne mo-
lemmat on suunniteltu erityisiin käyttökohteisiin. Nostepumpun toiminta perus-
tuu nosteeseen, joka saadaan, kun muutetaan nesteen tiheyttä tuomalla siihen
kaasua. Nostepumppu soveltuu paikalliseen nesteen nostamiseen ja sitä käyte-
tään yleensä hiekkapitoisten nesteiden pumppaamiseen. Kuvassa 20 on esi-
tetty nostepumppu. [10.]



Kuva 20. Nostopumpun toimintaperiaate kuva [10].

Kaasuainepumppussa (kuva 21) pumpattava neste virtaa vapaasti työsylinteriin,
jossa kaasu- tai höyrynpaine syrjäyttää sen. Pumppu soveltuu kaikille nesteille,
jotka pystyvät virtaamaan itse työsylinteriin. [10.]



Kuva 21. Kaasuainepumppun rakennekuva [10.]

Kaasuainepumpussa on hyvin yksinkertainen rakenne. Se ei ole räjähdysaltis. [10.]

6 Pumppujen standardit

Pumpuille on olemassa standardeja ja erilaisia lainsäädäntöjä. Standardeja on laadittu pumppujen tuoteturvallisuudelle, laatujärjestelmille, ympäristölle, mitoitukselle, rakenteelle ja testaukselle. Näiden avulla varmistetaan se, että pumput ovat turvallisia käyttää. Tässä kappaleessa käydään läpi muutamaa yleisintä pumppuihin liittyvää standardia. [11.]

Suomessa käytetään kansainvälisen standardisoimisjärjestön eli ISO-standardin pumppuja. Vaativissa ja vaarallisissa kohteissa käytetään yleensä API-standardin pumppuja. Kemiaanprosessiteollisuudessa käytetään muun muassa seuraavien standardien mukaisia pumppuja:

- ISO-5199
- ISO-2858
- ISO/TR 17766
- EN-ISO-13709
- API 610
- API 682 [5.]

SFS-ISO-5199-standardissa määritellään teknisiä tietoja yksi- ja monivaiheisille keskipakopumpuille, joilla on vaaka- tai pystyrakenne sekä niissä voidaan käyttää taajuusmuuttajaa [3]. Kemiaanprosessiteollisuudessa käytettävät SFS-ISO-2858-standardin mukaiset pumput soveltuvat ISO-5199-standardin määritelmiin. SFS-ISO-2858-standardi määrittelee päästään imeville keskipakopumpuille, jotka toimivat 1,6 MPa:n paineessa merkintöjä, nimellistoimintapisteet ja mitoituksen. [35.] SFS-ISO-5199-standardi sisältää keskipakopumppujen asennukseen, huoltoon ja turvallisuuteen liittyvät suunnitteluominaisuudet, mukaan lukien pohjalevyn, kytkimet ja apuputket. [3; 11.]

API-pumput ovat tyypillisesti radiaalisia ja ovat käytössä esimerkiksi öljy- ja kaasuteollisuudessa. API 610 -standardi käsittelee keskipakopumppuja, joita käytetään öljy-, petrokemia- ja maakaasuteollisuudessa. Tämä amerikkalainen standardi koskee normaaleja vaaka-asentoisia pumppuja, kaksoisimeviä pumppuja, joissa juoksupyörä on tuettu molemmilta puolilta laakeroinnilla, monijaksopumppuja sekä vertikaalisia pumppuja. [36.] Vaikka standardi on amerikkalainen, sitä käytetään yleisesti öljy- ja kaasuteollisuudessa ja öljyn tuotannossa öljylähteillä ympäri maailmaa [5].

Taulukossa 1 on esitetty API 610 -standardin pumput. Pumput on jaoteltu niiden tyyppiin ja operointiasennon mukaan ja jokaiselle pumpulle on annettu oma tyyppikoodi. [36.]

Taulukko 1 API 610 -standardin pumputyyppien taulukko. [36]

Pumppu tyyppi		Asento		Tyyppi koodi	Lisätietoa	
Keskipakopumppu	Ripustettu	Joustavasti kytketty	Horisontaalinen	Jaloilleen asennettava	OH1	Yksivaiheinen
				Keskilinjaan asennettu	OH2	Yksivaiheinen. Sisältää yhden laakeripesän, joka vaimentaa pumpun akseliin kohdistuvat voimat.
			Pystysuora in-line laakeri kannatin	-	OH3	Integroitu laakeripesä, joka absorboi kaikki pumpun kuormat.
		Jäykästi kytketty	Pystysuora in-line	-	OH4	Yksivaiheinen, akseli kytketty jäykästi moottorin akseliin.
		Suoraan kytketty	Pystysuora in-line	-	OH5	Yksivaiheinen, Juoksupyörät asennettu suoraan moottorin akseliin
			Suurinopeuksinen, kiinteästi vaihdettava	-	OH6	Yksivaiheinen, nopeutta lisäävä vaihdelaatikko. Juoksupyörä on asennettu suoraan vaihdelaatikon lähtöakseliin.
	Laakereiden vä-	1- ja 2-vaiheinen	Aksiaalisesti jaettu	-	BB1	
			Säteittäisesti jaettu	-	BB2	
			Aksiaalisesti jaettu	-	BB3	

Pystysuoraan asennettu	Monivaiheinen	Säteittäisesti jaettu	Yksi koteloinen	BB4	Kutsutaan myös rengasosa, -segmenttirengas- tai tie-sauvapumpuiksi. Mahdollinen vuotoreitti kunkin segmentin välillä.
			Tupla koteloinen	BB5	
	Yksi koteloinen	Tyhjennys kolonnin läpi	Hajoittaja	VS1	
			Kierukka	VS2	
			Aksiaalivirtaus	VS3	
		Erillinen purkaus	Akselijohto	VS4	
			Ulokkeet	VS5	
	Tupla koteloinen	Hajottaja	-	VS6	
		Kierukka	-	VS7	

Pumppujen testaukseen laaditut standardit ovat EN ISO 9906:2012, EN 10204:2004 ja EN 735:1995. EN ISO 9906:2012 -standardi ohjeistaa, miten keskipakopumppujen hydraulisia ominaisuuksia tulisi testata. EN 10204:2004 -standardi määrittelee metallisille tuotteille tarkastustodistukset. EN735:1995 -standardi on määritetty toleranssit keskipakopumppujen kokonaismitoille. [11.]

7 Pumpun valinta ja hankinta

Pumpun hankinnassa tulee ottaa tarkkaan huomioon monia asioita, jotta valitsee sopivan pumpun kyseessä olevaan käyttötarkoitukseen. PSK standardisointiyhdistys on laatinut standardit PSK 6151 ja PSK 6152, joita voi käyttää apuna pumppujen hankinnoissa. Standardeissa on taulukokoitu, mitä kaikkea pumpun hankinnassa tulee ottaa huomioon. [37; 38.] Tehtailla voi olla myös omia vaatimuksia, jotka täytyy ottaa huomioon pumpun hankinnassa. Esimerkiksi tehdas voi asettaa vaatimuksia kunnossapitojärjestelmälle tai vaatimuksia tietyn melurajan alittamisesta. [4.]

Pumppausjärjestelmää suunniteltaessa on tarkistettava seuraavat asiat, jotta systeemi toimisi luotettavasti.

- pumppu
- pumpattavan nesteen ominaisuudet: ominaispaino, lämpötila, viskositeetti, kiintoaineet ja epäpuhtaudet sekä höyrynpaine
- pumppaussysteemin ominaiskuvaaja
- pumpun tuottovaatimukset
- tila
- standardit
- soveltuva akselitiivistys
- apulaitteet
- putkisto
- pumpun ja putkiston vaatimat rakennustyöt
- asennus
- käynnistys/käyttöönotto
- kunnossapito
- mahdolliset muutokset järjestelmään
- käyttö ja käytöstäpoisto [11.]

7.1 Kustannukset

Pumppaussysteemiä valitessa täytyy ottaa huomioon kaikki mahdolliset kustannukset, joita voi esiintyä systeemin elinaikana. Elinaikaisia kustannuksia on seuraavia:

- valintakustannukset
- hankintakustannukset
- asennuskustannukset
- energiakustannukset
- käyttökustannukset
- kunnossapitokustannukset
- käytöstäpoistokustannukset [11.]

Elinaikaisia kustannuksia minimoitaessa ei saa tarkastella vain yhtä kustannustyyppiä kerrallaan vaan on mietittävä kokonaisuutta. Elinaikaiset kustannukset syntyvät yleensä pääomasta, huollosta, käytöstä ja seisokeista. [11.]

7.2 Prosessin vaikutus

Itse prosessista on kerättävä hyvät tiedot ennen kuin valitsee pumpun. Prosessin tietojen avulla laaditaan laitemäärittelytaulukot, joihin on laskettu pumpun imu- ja painepuolen paineet, sekä vaadittava nostokorkeus. Laskentataulukoissa otetaan huomioon virtaavan aineen ominaisuudet, kuten tiheys, viskositeetti, höyrynpaine ja vaahtoavuus. Tiheys ja viskositeetti vaikuttavat virtaavan aineen virtausnopeuteen. Virtaavan aineen pH ja syövyttävyyden vaikuttavat käytettäviin materiaaleihin. Mitoitusta tekevän yhtiön prosessisuunnittelun tai pumpputoimittajien laskentaohjelmien avulla selviää imu- ja painepuolen olosuhteet, kuten virtausnopeus ja lämpötilat. Pumpun koon valinta määräytyy pumpulle tarvittavan toimintapisteen ja toiminta-alueen mukaan. [11; 40.]

Pumpun rakenteessa käytettävät materiaalit on valittava pumpattavan nesteen ominaisuuksien perusteella. Materiaalien on oltava sellaiset, että ne sopivat kyseisen aineen pumppaamiseen. Erilaiset materiaalit asettavat erilaisia vaatimuksia pumpun pesän rakenteelle. Materiaaleina voidaan käyttää metalleja, muoveja, kumeja ja keraameja. Pumpun materiaalin valinta vaikuttaa merkittävästi pumpun kustannuksiin. Erilaiset rakennemateriaalit vaikuttavat pumpun kestoikään korroosion ja eroosion seurauksina. [11.]

7.3 Käynnistys

Käynnistäessä pumppua asennusten tai huoltoseisakkien jälkeen on tarvittaessa lisättävä pumpun imupuolella sihti, joka estää epäpuhtauksien pääsyn pumppuun. Pumpun moottorin käynnistystapa on selvitettävä pumppua hankittaessa. Käynnistystapoja on erilaisia, kuten suorakäynnistys, tähtikolmiökäynnistys, taajuusmuuttajan käyttö ja pehmokäynnistin. Näistä neljästä yleisin on

suorakäynnistys. Se on yksinkertainen ja helppo ratkaisu. Haittana on se, että käynnistysvirta on suurin mahdollinen. [40.]

Tähtikolmiokäynnistystapa edellyttää, että moottori on kolmiokytkennässä jatkuvan käytön aikana. Perusajatuksena on, että moottorin kiihdytyksen aikana moottorin käämitykset ovat tähtikytkennässä ja tuottavat tällöin pienempää virtaa. Seuraavaksi kytkentä muutetaan kolmiokytkennäksi, jolloin moottori saa täyden virran ja täyden momentin. [40.]

Pehmokäynnistin toimii niin, että se muuttaa asteittain moottorille syötetyn jännitteen lähtöjännitteestä täydeksi jännitteeksi. Tällöin moottorin käynnistyksessä ei esiinny turhia nytkähdyksiä. Pehmokäynnistimen avulla voidaan myös toteuttaa pehmopysäytys. [40.]

Taajuusmuuttaja on kallein vaihtoehto. Siinä käynnistäminen tapahtuu niin, että taajuutta nostetaan asteittain. Tällöin voidaan moottorin ajatella käyvän nimellisa nopeudella kullakin taajuudella. Toisin kuin suorassa käynnistyksessä ja tähtikolmiokäynnistyksessä taajuusmuuttajaa käytettäessä myös pehmeä pysäytys on mahdollinen. [40.]

Taajuusmuuttajaa käytetään, kun pumpun virtausalue tai paineentuottotarve vaihtelee paljon. Se on hyödyllinen, kun staattinen nostokorkeus on pieni verrattuna dynaamiseen nostokorkeuteen. Tällainen tilanne on yleensä silloin, kun putkiston systeemikäyrä kulkee lähellä pumpun parasta hyötysuhdekäyrää. Taajuusmuuttajan avulla voidaan pitää moottorin ja pumpun hyötysuhteet korkeina. Pienellä virtauksella kierroslukua pienennettäessä pumppuun kohdistuu pienempi kuormitus, kuin jos käytettäisiin sähkömoottoria täydellä teholla. Pumpun käyttöalue tulee kuitenkin huomioida. Investointi- ja huoltokulut ovat korkeammat kuin vakionopeussäätimellä. Sääötötarpeen ja energian hinnan noustessa taajuusmuuttaja on kustannustehokas valinta. [41.]

7.4 Muita valintaan liittyviä tekijöitä

Pumppua hankittaessa on varmistettava tarvittavien varaosien varastointi. Teh-
tailla voi olla omia varaosia tai varapumppu alkuperäisen pumpun tilalle. Jos ky-
seessä on pieni pumppu, voi olla kannattavampaa ostaa kokonaan uusi pum-
pun pesä tai koko pumppu, joka vaihdetaan tarvittaessa. Joidenkin pumppujen
varaosien saamisessa voi kestää kauan ja tämän takia on hyvä varautua tär-
keimpien osien rikkoontumiseen. [4.]

Pumpun sijoittamisessa on otettava huomioon asennusolosuhteet. Näihin vai-
kuttavat pumpun perustus, sen suojaus sekä huoltotilan ja kunnossapidon vaati-
mukset. Yleensä pumppujen peruslevy kannattaa tilata niin, että siihen voidaan
tarvittaessa asentaa suurempi sähkömoottori. [4.]

Pumpun roottorin pyörimissuunta on tarkistettava ennen käynnistystä. Jos pum-
punmoottorin johdot kytketään väärinpäin, niin juoksupyörät pyörivät väärään
suuntaan. Pumpun, pumpun kytkimen ja moottorin yhdensuuntaisuus tulee tar-
kistaa, jotta kaikki ovat samassa linjassa, jolloin kytkin kestää paremmin [4; 5.]

Taajuusmuuttajan käyttämistä tai eri tehoisten pumppujen asettamista rinnan on
harkittava silloin, jos virtaavan aineen kapasiteetti vaihtelee paljon. Tällöin on
hyvä miettiä myös pumpattavia matkoja, pumpun nostokorkeutta ja sen vaihte-
lua. Kapasiteetti ja paineen vaihtelut vaikuttavat pumpun säätömahdollisuuksiin.
[38.] Samalla kun hankkii pumpun, johon tulee tuplamekaaninen tiiviste, on sii-
hen hyvä hankkia tiivistejärjestelmä suoraan pumpun toimittajalta. Tällöin vältty-
tään ylimääräiseltä työltä ja systeemistä tulee toimintavarmempi. [34.]

7.5 Keskipakopumpun ominaisuuksien muuttaminen pyörimisnopeutta ja juoksupyörän halkaisijaa säätelemällä

Yleisin tapa muuttaa keskipakopumpun tuottoarvoja on vaihtaa juoksupyörän
tyyppiä tai muuttamalla sen kokoa affiniteettilakien avulla. Affiniteettilakien
avulla voidaan laskea pumpun käyrän muutos, kun juoksupyörän nopeutta tai
halkaisijaa muutetaan. Jos tilavuusvirta, nostokorkeus ja teho (P) tunnetaan

jollakin pyörimisnopeudella, niin uudet arvot pumppukäyrää varten voidaan laskea kaavoilla 2, 3 ja 4. [11.]

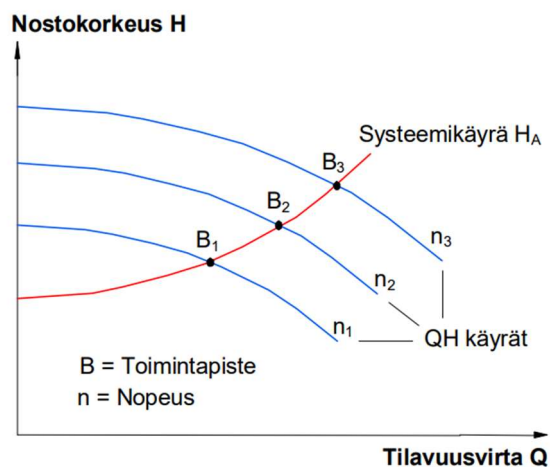
$$Q_2 = \frac{n_2}{n_1} \times Q_1 \quad (2)$$

$$H_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \times H_1 \quad (3)$$

$$P_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \times P_1 \quad (4)$$

Q on tilavuusvirta (m³/s)
n on juoksupyörän pyörimisnopeus (s)
P on pumpun teho (W)

Pyörimisnopeuden muutos vaikuttaa pumpun toimintapisteeseen, kuten kuvasta 22 voi nähdä. Toimintapisteellä tarkoitetaan pumppukäyrän, joka kuvaa pumpun toimintaa prosessissa, ja pumpun ominaiskäyrän leikkauskohtaa. [9.]



Kuva 22. Pyörimisnopeuden vaikutus pumpun toimintapisteeseen [11].

Kuvasta 22 voidaan päätellä, että kun pyörimisnopeus kasvaa niin toimintapiste siirtyy ylemmäs pumppukäyrällä. Kun juoksupyörän halkaisijaa (D) muutetaan sen vaikutukset tilavuusvirtaan, nostokorkeuteen ja tehoon saadaan laskettua kaavoilla 8, 9 ja 10 [11].

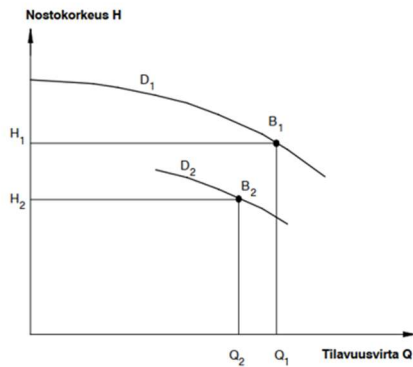
$$Q_2 = Q_1 \times \frac{D_2}{D_1} \quad (8)$$

$$H_2 = H_1 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \quad (9)$$

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \quad (10)$$

D on juoksupyörän halkaisija (m)

Juoksupyörän halkaisijan muutos vaikuttaa pumpun toimintapisteeseen kuten kuvasta 23 voidaan nähdä.



Kuva 23. Juoksupyörän halkaisijan muutoksen vaikutus pumpun toimintapisteeseen [11].

Juoksupyörän pyörimisnopeuden ja halkaisijan muuttaminen on yksinkertainen tapa muuttaa pumpun toimintapistettä [11].

8 Keskipakopumpun juoksupyörä

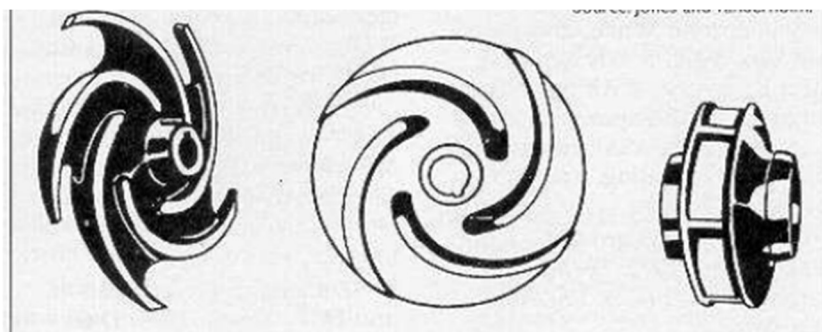
Keskipakopumppujen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa juoksupyörien avulla. Juoksupyöriä käytetään lisäämään keskipakopumpun pumppaamaan nesteeseen painetta ja nopeutta. [42.]

Juoksupyörässä on useampi pyörivä siipi, joilla on kaareva muoto. Niiden tarkoituksena on luoda virtaus, joka pakottaa nesteen ulospäin pyörimiskeskipisteestä suuremmalla nopeudella ja voimalla kuin jos nesteen annettaisiin vain virrata ilman lisäapua. [42.]

Juoksupyörä valitaan nostokorkeuden ja tilavuusvirran mukaan sekä juoksupyörän pyörimisnopeuden perusteella. Juoksupyörän materiaali valitaan nesteen ominaisuuksien mukaan. Seuraavaksi lista eri materiaaleista ja mille ne soveltuvat.

- valurauta (vesipumppu)
- ruostumaton teräs ja hastelloy (teollisuusnesteet)
- titaani (syövyttävät nesteet)
- kupariseos (vesi ja laimeat kemikaalit)
- keraaminen seos (syövyttävät nesteet) [43.]

Juoksupyöriä on olemassa kolmea eri mallia: avoin, puoliavoin ja suljettu (kuva 24). Suljetussa juoksupyörässä on parempi hyötysuhde kuin avoimessa. [43.]



Kuva 24. Juoksupyörien kolme eri mallia, vasemmalla avoin, keskellä puoliavoin ja oikealla suljettu malli [43].

Kuten kuvasta 21 voidaan nähdä, avoin juoksupyörä koostuu navasta, johon siivekkeet on kiinnitetty. Avoimet juoksupyörät ovat tehottomampia kuin suljetut tai puolisoljetut juoksupyörät. Avointa juoksupyörää voidaan muokata ja huoltaa helpommin. Se soveltuu nesteille, jotka sisältävät kiintoaineita tai ovat massamaisia. [43.]

Suljettu juoksupyörä koostuu myös siivistä, mutta siihen on rakennettu lisäseinäosat siipien taka- ja etusivuille. Lisäseinäosien tarkoituksena on lisätä juoksupyörän lujuutta sekä pienentää virtaushäviöitä. Ne myös vähentävät akselin työntövoimaa ja lisäävät laakerin käyttöikää ja luotettavuutta sekä pienentävät akselikustannuksia. Monimutkaisemman rakenteen vuoksi suljetut juoksupyörät ovat haastavampia valmistaa ja kalliimpia kuin avoimet juoksupyörät. Suljetut juoksupyörät toimivat paremmin laajemmalla nopeusalueella kuin avoimet juoksupyörät. [42.]

Suljettuja juoksupyöriä käytetään pääasiassa suurissa pumpuissa ja puhtailla nesteillä, sillä ne toimivat huonosti ja tukkeutuvat helpommin kiinteitä aineita pumpattaessa. Niiden puhdistaminen on vaikeaa, jos ne tukkeutuvat. [42.]

Kemianteollisuudessa käytetään yleensä suljettuja juoksupyöriä, koska niitä voidaan käyttää erilaisten puhtaiden nesteiden pumppaamisessa. Suljettu juoksupyörä on aluksi tehokas, mutta menettää ajan myötä tehokkuutensa kulutusrenkaan välyksen kasvaessa. Avoimen ja puoliavoimen juoksupyörän tehokkuutta voidaan ylläpitää säätelemällä välystä. [42.]

9 Akselitiivistetyypit

Tiivistejärjestelmiä on paljon erilaisia. On selvitettävä tapauskohtaisesti, millainen tiivistejärjestelmä sopii kulloinkin. [5.] Ensisijainen tekijä luotettavan ja tehokkaan tiivistyskyvyn saavuttamiseksi on ylläpitää aine-nestefaasia tiivisteiden ympärillä. Putkiston ja siihen liittyvien nestehallintalaitteiden suunnittelussa, täytyy olla tietämystä tiivisteiden suunnittelusta ja järjestelystä laitteissa, joihin ne on asennettu sekä nesteistä, joissa ne toimivat. API on standardisoinut tiivistejärjestelmät. Ne tarjoavat ohjeita erilaisille tiivistejärjestelyille, nesteille ja ohjauslaitteille. [44.]

Keskipakopumpussa moottorin käyttöakseli on kytketty juoksupyörään pumpun pesän kautta. Tällöin on välttämätöntä käyttää jonkinlaista dynaamista

tiivistettä, joka estää pumpattavan väliaineen vuotamista ulos pumpun akselin ympäriltä. [45.]

Yleisimmin käytetään kahta eri tiivistevaihtoehtoa: punostiivistettä tai mekaanista tiivistettä. Punostiiviste on pehmeä tiivistemateriaali, joka on puristettu pumpun akselin ympärille. Tiivistemateriaali pysyy paikoillaan kotelon aukossa (tiivistepesässä) ja puristuu kokoon tiivistemutterilla. Sitä voidaan kiristää, kun tiivistemateriaali on kulunut. [45.]

Punostiiviste oli ennen tavallisin tiivistetyyppi, mutta mekaaninen tiiviste on syrjäyttänyt sen. Mekaaninen tiiviste on monimutkainen. Se on kuitenkin tehokkain tapa vähentää vuotoja. Se voi olla usein kallis ja vaikea asentaa. Mekaaninen tiiviste koostuu kahdesta osasta: pumpun pesään kiinnitetystä kiinteästä komponentista ja pumpun akselin pyörivästä komponentista. Molemmat sisältävät useita osia. Mekaanisessa tiivisteessä on toisiaan vasten liukuva sileäpintainen liukupari, jotka ovat valmistettu yleensä jostakin kovametallista. Jousikuormituksen avulla ne pidetään painettuina yhteen. Mekaaninen tiiviste sisältää aina myös O-renkaan, joka on valmistettu kumista tai muovista. [5; 46.]

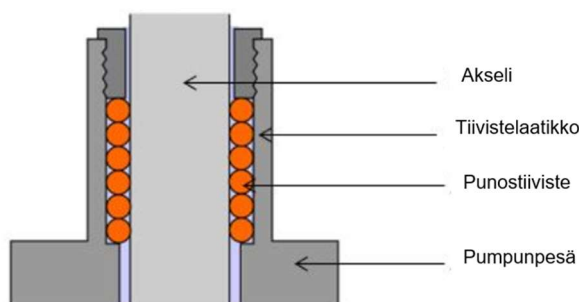
Kumpikaan näistä kahdesta tavasta ei kuitenkaan estä vuotoa kokonaan. Pienen vuodon ylläpitäminen etenkin punostiivisteellä on tärkeää, sillä se voitelee ja jäähdyttää akselia. Myös mekaaninen tiiviste vuotaa vähän, mutta sen vuoto on niin pientä, että sitä ei pysty silmillä havaitsemaan. [5; 45.]

Pumpun tiiviste vaatii tarkkaa valvontaa ja säännöllistä huoltoa liiallisten vuotojen välttämiseksi. Kaikki vuotaneet nesteet on kerättävä ja hävitettävä turvallisesti. Jos neste on myrkyllistä, radioaktiivista, syttyvää tai muuten ympäristölle haitallista, voivat pienetkin vuodot olla erittäin vaarallisia. Vuodot ovatkin yksi yleisimmistä pumppuvikojen tai tehtaiden seisokkien syistä. Tiivisteiden huoltaminen on myös kallista ja aikaa vievää. [45.]

9.1 Punostiiviste

Punostiivisteet ovat vanha ja edullinen keksintö. Niitä valmistetaan synteettisistä kuiduista, kasvukuiduista sekä grafiitti- ja lasikuiduista. Punokset kyllästetään yleensä täyteaineella, joka toimii samalla voiteluaineena. Kyllästysaineina voi käyttää esimerkiksi rasvaa tai öljyä. [45.] Punostiivisteiden avulla kontrolloidaan vuotoa, mutta se ei kokonaan estä sitä [46].

Punostiivisteiden huoltaminen ja asentaminen on helpompaa kuin mekaanisen tiivisteiden. Punostiivistettä huoltaessa pumppua ei tarvitse purkaa kokonaan toisin kuin yleensä mekaanista tiivistettä huollettaessa. Asennuksessa punostiivisteiden renkaat kääritään pumpun akselin ympärille niin, että tiivisteiden katkokohdat ovat noin 90 asteen välein toisistaan. Kuvassa 25 on esitetty, miten punostiiviste on asennettu pumpun akselin ympärille. Kiristyslaipan ja muttereiden avulla renkaat painetaan pesää ja akselia vasten. [46.]



Kuva 25. Punostiivisteiden rakennekuva [33].

Punostiivistetyyppejä on paljon erilaisia. Tiivisteiden materiaalia vaihtaessa myös tiivisteiden ominaisuudet muuttuvat ja se soveltuu erilaisilla aineilla, esimerkiksi grafiitista valmistettu tiiviste soveltuu bitumille ja lähes kaikille hapoille. [46.]

Punostiiviste tarvitsee toimiakseen pienen vuodon. Vuodon ansiosta tiivistettävä neste jäähtyy ja voitelee tiivistettä ja estää täten sen hajoamista. Jos vuotoa on liikaa, tulee tarkistaa, onko tehty vaadittavat jälkikiristykset vai onko tiiviste hajoamassa. Punostiivisteet eivät ole pitkäikäisiä ja ne vaativat säännöllisesti huoltoja ja kuntotarkistuksia. Ne ovat myös todella herkkiä asennusvirheille,

esimerkiksi liialliselle kiristämislle. Jos punostiivistettä on kiristetty liikaa, voi tiiviste palaa ja tuhoutua, koska se ei saa tarvittavaa voitelua. Koska punostiiviste vuotaa aina, täytyy pohtia minkälaisissa tiloissa sitä voi käyttää ja mihin vuotava tiivisteneste kerätään. [46.]

9.2 O-rengas

O-renkaita käytetään yleensä akselitiivisteissä mekaanisen tiivisteiden aputiivisteinä ja ne toimivat niin, että rengas puristetaan kahden pinnan väliin, jolloin rengas täyttää välyksen ja estää siten nesteen tai ilman vapautumisen. O-rengas säilyttää muotonsa. Ne palaavat entiseen muotoonsa, kun ne irrotetaan. [47.]

O-renkaat tiivistyvät alhaisessa paineessa tai ilman painetta. Painetta käytettäessä O-rengas puristuu uran seinämää vasten, mikä aiheuttaa laajenemisen vastakkaiseen suuntaan. O-renkaita valmistetaan erilaisista materiaaleista kuten polyuretaanista, silikonista ja nitrilistä. Se mitä materiaalia käytetään, riippuu sovelluksesta, johon sitä tarvitaan. [47.]

Oikein huollettuna O-renkaat ovat erittäin kestäviä. Ne ovat hyvin monipuolisia, ja niitä voidaan käyttää monenlaisiin sovelluksiin. Niiden valmistaminen on myös edullista. [47.]

9.3 Mekaaninen tiiviste ja sen tiivistejärjestelmät

Mekaanisen tiivisteiden käyttöalue on laaja sen erilaisten sovitteiden ansiosta. Sitä käytetään yleensä pyörimisliikkeen tiivistäjänä. Sitä voidaan käyttää vaativissakin pumppausolosuhteissa. Mekaanisia tiivisteitä on kahdenlaisia yksittäisiä ja kaksoismekaanisia. [48.]

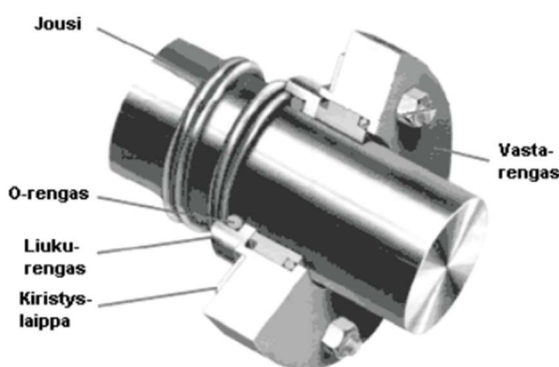
Mekaaninen tiiviste on suosituin keskipakopumpuissa käytettävä tiivistetyyppi. Keskipakopumpuissa yleisin käytetty mekaaninen tiiviste on monimutkaisen rakenteen omaava akselitiiviste eli liukurengastiiviste. Ne eivät kuluta pumpun

holkkia tai akselia, jolloin säästyään kalliilta huolloilta sekä vähennetään vedenkäyttöä. [46.]

Muun muassa John Crane ja Flowservice ovat julkaisseet mekaanisten tiivisteiden tiivistenesysteemeille taskuoppaat, joissa on havainnollistettu tiivistenesysteemien rakenteita ja varisteita. Tiivistenesysteemeille on omat API 682-standardin mukaiset tunnukset. [44.]

9.3.1 Yksittäinen mekaaninen tiiviste

Yksittäinen mekaaninen tiiviste sisältää kolme tiivistekohtaa. Tiivisteiden kiinteä osa on asennettu pumpun koteloon staattisella tiivisteellä. Tämä voidaan tiivistää O-renkaalla tai jollain muulla tiivisteellä, joka on kiinnitetty kiinteän osan ja pumpun kotelon väliin. Tiivisteiden pyörivä osa puristetaan akselia vasten yleensä O-renkaalla. Tätä tiivistekohtaa voidaan pitää myös staattisena, koska tämä osa pyörii akselin kanssa. Staattinen tai pyörivä osa on aina asennettava joustavasti sekä jousikuormitettava pienten akselin taipumien, akselin liikkeen ja laakerin toleranssin vuoksi. Kuvassa 26 on esitetty yksinkertaisen mekaanisen tiivisteiden rakenne. [46.]

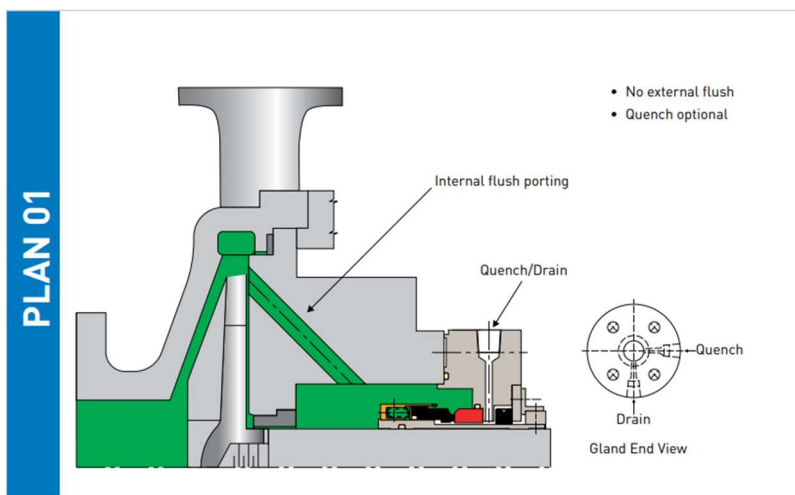


Kuva 26. Yksinkertaisen mekaanisen tiivisteiden rakennekuva [46].

Ensisijainen tiiviste on tavallisesti jousikuormitteinen pystysuora liukupari, joka koostuu kahdesta erittäin tasaisesta pinnasta. Toinen pinnoista on kiinteä ja

toinen pyörivä. Pinnan osat liukuvat toisiinsa nähden. Pinnat työnnetään toisi-
aan vasten tiivistetyn nesteen hydraulisen voiman ja tiivisteiden jousivoimien
avulla siten, että niiden väliin jää pieni nestekalvo. Jos tiivistepinnat pyörisivät
toisiaan vasten ilman minkäänlaista voitelua, ne kuluisivat nopeasti kasvavan
kitkan ja lämmöntuotannon vuoksi. [49.]

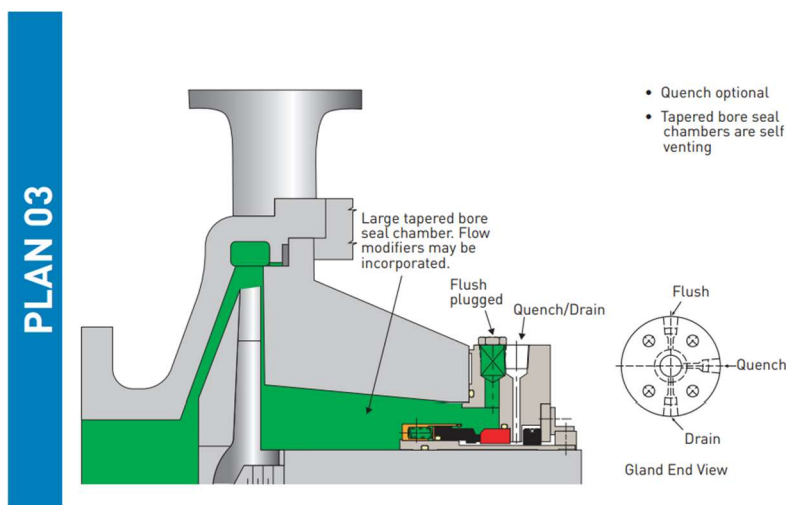
API Plan 01 (kuva 27) on yleisesti käytössä vesiteollisuudessa sekä puhtailla
nesteillä. Siinä on sisäinen kierrätys pumpun aiheuttamasta paineesta tiivis-
tekammioon. Kierrätys tapahtuu kuvassa näkyvän vihreän alueen mukaisesti.
Tiivisteiden vuodon tyhjennys tapahtuu kuvan mukaisesti laitteiston oikealta puo-
lelta drain-yhteestä, jonka suunta on alaspäin. Halutessaan voi myös asentaa
yhteen huuhtelua varten quench-yhteestä, jonka suunta on sivulle tai ylöspäin.
[44.]



Kuva 27. API Plan 01 -rakennekuvan vihreä väri tarkoittaa virtaavaa nestettä ja oikealla puolella on kuvattu tyhjennysyhdetä [44].

Tämän tiivistevaihtoehdon hyödyt ovat, että tuotteen kontaminaatiota ei ta-
pahdu, eikä siinä ole ulkoista putkistoa, mikä on hyödyllistä erittäin viskoosisille
nesteille alhaisemmissa lämpötiloissa. Tämä tiivistejärjestelmä toimii vain puh-
taille nesteille, koska likaiset nesteet voivat tukkia sisäisen linjan. Plan 01:tä ei
suositella pystysuuntaisille pumpuille. [44.]

API Plan 03:ssa (kuva 28) järjestely on saatu tiivistekammion muotoilun tuloksena kierto tiivistekammion ja pumpun välille. Tiivistekammion muotoilulla tai virtausta parantavilla ominaisuuksilla saavutetaan tiivisteiden jäähdytyskierto ja ilmaus. Kartiomaiset tiivistekammion ovat myös usein itsestään tuulettuvia. Tässä tiiviste tyypissä on myös oma yhde huuhtelua varten. Kuten Plan 01:ssä niin myös tässä tiivistetyypissä on yhde tyhjennystä varten ja mahdollisuus asentaa yhde puhdistusta varten. Tiivistekammio, joka on kartioreikäinen, tuulettuu itsestään. Tällaista tiivistejärjestelmää käytetään yleensä, kun kiintoainetta voi kertyä tiivistekammioon. [44.]



Kuva 28. API Plan 03:n tiivistetyypin rakennekuvassa vihreällä värillä on kuvattu virtaavaa nestettä. Tässä tyypissä on tyhjennysyhteen lisäksi huuhtelumahdollisuus. [44.]

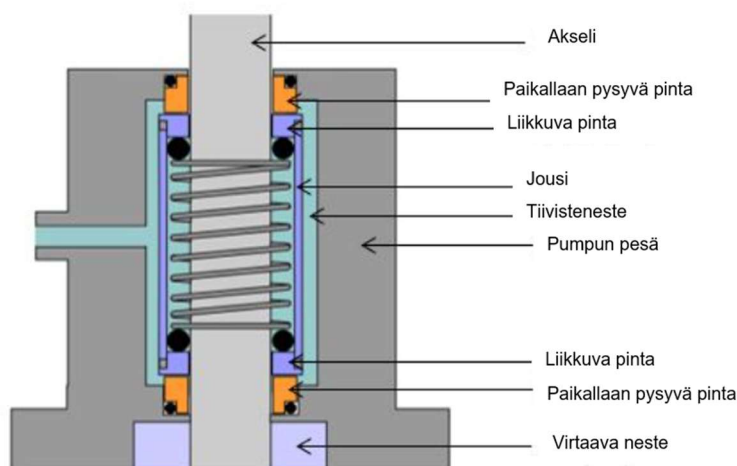
Yksittäinen mekaaninen tiiviste ei estä vuotoa kokonaan, joten sitä ei suositella käytettäväksi, jos tuotteen vuotaminen ympäristöön on ongelma. [50.]

9.3.2 Kaksoismekaaninen tiiviste

Kaksoismekaaniset tiivisteet on suunniteltu varmistamaan paras mahdollinen tiivistysturvallisuus. Ne estävät pumpuissa käsiteltävän aineen vuotamisen kokonaan silloin, kun tiiviste on ehjä. Ne takaavat turvallisuus- ja päästötasojen noudattamisen, kun käsitellään vaarallisia tai myrkyllisiä aineita. [51.]

Kaksoismekaanisten tiivisteiden käyttö on yleistynyt monissa maissa ja yhä useammat yritykset käyttävät niitä, jotta ne saavuttavat tietyt ympäristötavoitteet tai päästövaatimukset. Kaksoismekaaniset tiivisteet ovat myös hyvin pitkäikäisiä oikein huollettuina. Kaksoismekaaniset tiivisteet soveltuvat hyvin silloin, kun prosessissa käytettävä aine ei takaa tasaista ja luotettavaa voitelua tiiviste-pinnoille ja kun käsitellään vaarallisia tai myrkyllisiä aineita. [5; 49.]

Kaksoismekaaniset tiivisteet toimivat niin, että niissä on kaksi ensisijaista tiivistettä, joiden välissä on sulku- tai puskurinestealue. Ensisijainen tiiviste koostuu yleensä pehmeämmästä, kapeammasta kiinteästä pinnasta ja kovemmasta, leveämmästä pinnasta, joka pyörii. Tämä järjestely mahdollistaa pehmeämmän tiivisteen kulumisen säilyttäen kovemman pinnoituksen tiivisteiden eheyden käytön aikana. Kuvassa 29 on esitetty kaksoismekaanisen tiivisteiden rakenne. [52.]

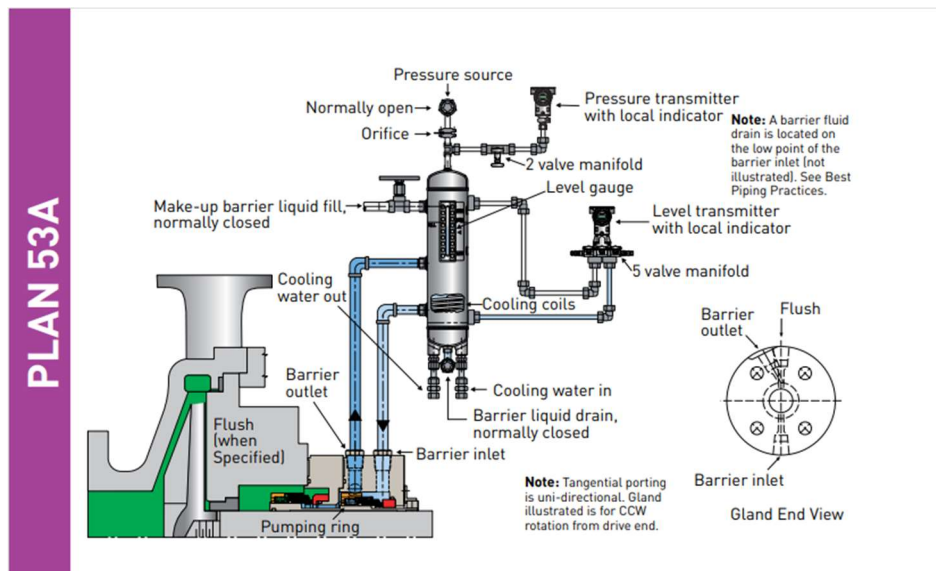


Kuva 29. Kaksoismekaanisen tiivisteiden rakennekuva [53].

Kaksoismekaaniset tiivistejärjestelmät tarvitsevat ulkoisen järjestelmän, jossa tiivisteneste virtaa. Tiivistenestejärjestelmä voi olla paineeton tai paineellinen. Paineettomassa järjestelmässä mahdollinen sisemmän tiivisteiden vuoto vuotaa välitilaan ja sitä kautta pienen viiveen jälkeen ulos tai haluttuun paikkaan. Paineellisessa järjestelmässä mahdollinen sisemmän tiivisteiden vuoto vuotaa pumpun sisälle pumpattavaan nesteeseen. Tämän takia tiivistenesteen pitää olla

yhteensopiva pumpattavan nesteen kanssa. [5.] Seuraavaksi käydään läpi yhtä John Cranen taskuoppaassa olevaa kaksoistiivistejärjestelmää. [44.]

API plan 53 A (kuva 27) käyttää ulkoista säiliötä tiivisteneen tuottamiseen paineistetulla kaksoistiivistejärjestelyllä. Säiliön paine tuotetaan kaasulla, yleensä typpellä. Usein paine on noin 2 baaria korkeampi kuin painepuolen paine. Virtaus saadaan aikaan pumppausrenkaalla. Tiivisteneste liikkuu putkissa painovoiman, lämpötilan ja korkeuseron vaikutuksesta. Kylmä tiivisteneste valuu alaspäin (kuvassa vaaleansininen väri) ja lämmitessä kohoaa ylöspäin (kuvassa tummansininen väri). [44.]



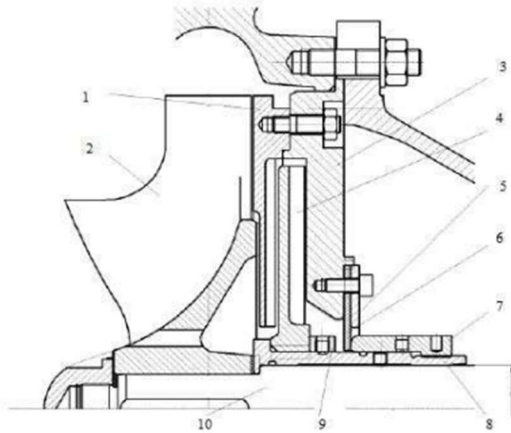
Kuva 30. API Plan 53A -tiivistenestejärjestelmässä on erillinen säiliö, joka pyörittää tiivistenestettä paineen avulla (sinisellä värjätty putket). [44.]

API Plan 53A:ssa ei ole välttämätöntä käyttää jäähdytysjärjestelmää. Tiivistesäiliö täytyy sijoittaa oikealle korkeudelle, jotta tiivisteneste liikkuu painovoiman avulla. [44.]

9.4 Dynaaminen tiiviste

Dynaamisella tiivisteellä on monimutkainen rakenne (kuva 31). Tiivistepesän ja juoksupyörän väliin asennetaan kevennyspyörä, joka tyhjentää ajon aikana

tiivistespesään pumpattavaa nestettä. Kun pumppu on pysähtynyt, vastatiiviste ja seisontarengas estävät vuodon ympäristöön. [43.]



Kuva 31. Dynaaminen akselitiiviste. Osien numerot: 1. takakansi, 2. juoksupyörä, 3. etukansi, 4. kevennyspyörä, 5. rengaslevy, 6. seisontatiiviste, 7. lukitusrengas, 8. tiivisteura, 9. kevennyspyörän lukitusrengas, 10. pumppun akseli [43].

Dynaaminen tiiviste ei tarvitse ulkoista tiivistenestettä, eikä sitä tarvitse huoltaa niin usein. Tämä tiivisteratkaisu vaatii paljon tehoa ja sen takia se voi vaikuttaa pienempien pumppujen tuottoarvoihin. Dynaaminen tiiviste soveltuu hyvin, kun käsitellään kuitupitoista paperimassaa. [45.]

10 Yhteenveto

Kemian prosessiteollisuudessa suosituin pumpputyyppejä on keskipakopumppu. Sen etuna on yksinkertainen rakenne ja säädettävyys. Juoksupyörän tyypin vaihtamisella voidaan vaikuttaa keskipakopumpun ominaisuuksiin, jolloin sillä voidaan pumpata erilaisia nesteitä.

Keskipakopumppuja käytetään muun muassa seuraavilla toimialoilla:

- energiantuotanto
- veden- ja jätevedenkäsittely

- kaivostoiminta
- paperiteollisuus
- ydinvoimalat
- öljy- ja kaasuteollisuus [54].

Pumpun valinnassa on ensisijaisen tärkeää tuntea prosessi, jossa sitä aiotaan käyttää. Oikein mitoitettu ja sijoitettu pumppu on elintärkeä osa prosessin onnistumiselle. Toiseksi on tiedettävä pumpattavan nesteen ominaisuudet. Ne vaikuttavat minkälaista pumppua ja materiaaleja voidaan käyttää ja keskipakopumpun akselitiivistevalintoihin. Vääränlainen pumppu voi aiheuttaa vahinkoa prosessille. Lisäksi on tutustuttava pumpuille laadittuihin standardeihin ja tehtaan omiin vaatimuksiin.

Pumpun hankinnassa täytyy olla tarkkana, että valitsee oikeanlaisen pumpun kyseiseen prosessiin. Hankinnassa huomioon otettavia asioita on listattu alla.

- pumpun laskentataulukot
- prosessinolosuhteet
- kustannukset
- melutaso
- sähkömoottorin vaatimukset, tilaluokitus ja käytettävissä oleva jännite
- taajuusmuuttajan käyttö
- asiakkaan vaatimukset käytettäville tyypeille ja varaosille
- mahdollisen kapasiteetin nostaminen
- kunnossapito, kuten varaosien saatavuus ja huoltaminen.

Pumpun akselitiivistevalinnoilla voidaan vaikuttaa myös keskipakopumpun ominaisuuksiin. Oikeanlaisella tiivisteellä voidaan minimoida pumpattavan nesteen vuotaminen ympäristöön. Kaksoismekaanisella, magneettivetoisella ja dynaamisella tiivisteellä voidaan estää pumpattavan nesteen vuotaminen kokonaan.

Tämä on tärkeää etenkin silloin, jos neste on vaarallista.

Tässä insinööriyössä saatiin kartoitettua kemian prosessiteollisuudessa käytettävistä pumpuista, niiden hankinnasta sekä käytettävistä akselitiivisteistä

kattavasti tietoa. Tästä tietopaketesta on hyötyä kemian prosessiteollisuuden suunnittelijoille sekä alaa opiskeleville. Samanlaisen tietopakettin voisi koota prosesseissa käytettävistä muista laitteista, kuten säiliöistä ja reaktoreista.

Lähteet

- 1 The top 4 pumps found in the chemical industry. Verkkoaineisto. Eddy-pump corporation. <<https://eddypump.com/education/top-4-pumps-found-chemical-industry/>>. Luettu 29.9.2022
- 2 Jatkuvasti jalostuvaa insinööriosaaamista. Huomisen yhteiskunnan hyväksi. Verkkoaineisto. Rejlers. <https://www.rejlers.fi/>. Luettu 13.10.2022.
- 3 SFS-ISO-5199. Keskipakopumppujen tekniset ominaisuudet. 2002. Luokka II. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 4 Jaatinen, Taisto. 2022. Sales Director, Rejlers Finland Oy, Vantaa. Keskustelu 19.9.2022.
- 5 Räjähdyksvaarallisten tilojen laitteet- ATEX. Verkkoaineisto. Tukes. < Räjähdyksvaarallisten tilojen laitteet - ATEX | Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes)>. Luettu 6.10.2022.
- 6 Toivonen, Rauno. 2022. Associate. Rejlers Oy. Keskustelu. 19.10.2022.
- 7 Kemian ja prosessiteollisuuden pumput. Verkkoaineisto. YTM-Industrial < <https://www.ytm.fi/tuotteet/prosessiteknikka/pumput/kemian-ja-prosessiteollisuuden-pumput>> Luettu 25.8.2022.
- 8 Huhtinen, Markku. Koronen, Risto. Pimiä, Tuomo & Urpalainen, Samu. 2008. Voimlaitostekniikka. Opetushallitus.
- 9 Energiatehokas pumppausjärjestelmä. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf>. Luettu 30.10.2022.
- 10 SFS-EN 4874. Pumput, nesteiden siirtoon käytettyjen pumppujen ryhmitely ja toimintaperiaatteet. 1982. Helsinki. Suomen Standardoimisliitto.
- 11 Pumppujen valintakriteerit ja prosessipumput. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rejlers Oy.
- 12 Kurunlahti, Pekka. 2013. Vedenpumppauksen energiatehokkuus. Opinnäytetyö. Centria ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 13 Gulich, Johann. 2020. Pump types and Performance data. E-kirja.

- 14 Keskipakopumput. Verkkoaineisto. Axflow. <https://www.axflow.com/fi-fi/luettelo/tuotteet/pumput/keskipakopumput?filter=seriescertificateslocal-list__API> Luettu 25.8.2022.
- 15 Keskinen, Jarkko. 2014. Keskipakopumpun ja hammaspyöräpumppujen rakenteet ja toimintaperiaatteet. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 16 Multistage pump. Verkkoaineisto. KSB. <<https://www.ksb.com/en-global/centrifugal-pump-lexicon/article/multistage-pump-1116614>>. Luettu 1.9.2022.
- 17 Peters, Sara. 2017. What is a multistage centrifugal pump used for. Verkkoaineisto. Crane Engineering. <<https://blog.craneengineering.net/what-is-a-multistage-centrifugal-pump-used-for>>. 16.2.2017. Luettu 1.9.2022.
- 18 Vertical pump types and functions. 2022. Verkkoaineisto. Trillium flow technologies. <<https://www.trilliumflow.com/tf-news/vertical-pump-types-functions/>>. 30.3.2022. Luettu 29.9.2022.
- 19 Sundyne direct drive pumps. Verkkoaineisto. Syndyne. <<https://www.sundyne.com/products/sundyne-direct-drive-pumps/>>. Luettu 2.11.2022.
- 20 Difference between horizontal and vertical centrifugal pumps. 2022. Verkkoaineisto. Haosh. <Difference between horizontal and vertical centrifugal pumps - HAOSH Pump>. 24.2.2022. Luettu 29.9.2022.
- 21 Bungartz itsesäätyvä keskipakopumppu. Verkkoaineisto. Tecaflow. <<https://www.tecalemiflow.fi/pumput/4396/bungartz-itsesaatyva-keskipakopumppu>>. Luettu 22.9.2022.
- 22 Bungartz centrifugal pumps. Verkkoaineisto. Bungartz. <https://sensoflow.be/wp-content/uploads/2020/03/bungartz-MOS-UMOS_E.pdf>. Luettu 22.9.2022.
- 23 Reliable use for canned motor pumps in the chemical industry. Verkkoaineisto. Hermetic. <<https://www.hermetic-pumpen.com/en/chemical/canned-motor-pumps>>. Luettu 10.10.2022.
- 24 Canned motor pump. Verkkoaineisto. Vitan. <<https://vitanpumpe.com/hermeticke-pumpe/>>. Luettu 10.10.2022.
- 25 Hermetic Canned Motor Pumps for High-Temperature Applications in the Chemical Industry. 2022. Verkkoaineisto. Fluid handling. <<https://fluidhandlingpro.com/fluid-process-technology/pumps-pumping-systems/hermetic>>

- canned-motor-pumps-for-high-temperature-applications/>. 5.3.2022. Luettu 11.10.2022.
- 26 Useful information on magnetic drive pumps. Verkkoaineisto. Michael smith engineers. <<https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/magnetic-drive-pumps>>. Luettu 6.10.2022.
 - 27 Thermal Engineering. 2018. How do submersible pumps work. Verkkoaineisto. <<https://www.youtube.com/watch?v=L0Q6cboXyLY>>. Luettu 14.10.2022.
 - 28 Hurlbatt, Mike. 2016. How submersible pumps work, advantages and disadvantages of submersible pumps. Verkkoaineisto. Pumpsolutions. <<https://pumpsolutions.com.au/how-submersible-pumps-work-advantages-and-disadvantages-of-submersible-pumps/>>. 13.4.2016. Luettu 2.11.2022.
 - 29 Submerible motor pump. Verkkoaineisto. <https://www.ksb.com/en-fi/lc/products/pump/submersible-motor-pump/amarex-krt/A30B?gclid=CjwKCAjwzY2bBhB6EiwAPpUpZqxd-eKCwQ8YLIo-GPyyR3M8Q3ccwOkAkJH2Ndr9Rwacm-LH0ttl0KBoCQokQAvD_BwE>. Luettu 3.11.2022.
 - 30 Aksiaaliset pumput. Verkkoaineisto. Sulzer. <<https://www.sulzer.com/fi-fi/finland/products/pumps/axial-flow-pumps>>. Luettu 23.9.2022.
 - 31 Performance degradation analysis of aviation hydraulic piston pump based on mixed wear theory. 2017. Verkkoaineisto. Researchgate. <https://www.researchgate.net/figure/The-structure-of-axial-piston-pump_fig1_317816283>. 6.2017. Luettu 8.9.2022.
 - 32 Paineilmakäyttöisen kalvopumpun tyyppimerkintä. Verkkoaineisto. IWAKI. <<https://iwaki-nordic.com/fi/home-suomi/tuotteet/prosessipumput/paineilmakayttoiset-kalvopumput/paineilmatoimisen-kalvopumpun-tyyppimerkinta/>>. Luettu 30.9.2022.
 - 33 Peristaltic & Rotodynamic pump. Verkkoaineisto. Pumps and pumping equipments. <<https://pumps-pumpingequipments.blogspot.com/2016/11/peristaltic-hose-rotodynamic-pumps.html>>. Luettu 8.10.2022.
 - 34 Useful information on external gear pumps. Verkkoaineisto. Michael smith engineers. <<https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/external-gear-pumps>>. Luettu 30.9.2022.
 - 35 SFS-ISO-2858. End-suction centrifugal pumps. 2011. Designation, nominal duty point and dimensions. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

- 36 ISO 13709. Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. 2010. API.
- 37 PSK 6151. Teollisuuden kone- ja laitehankinnat. 2011. Pumppu. Helsinki. PSK Standardisointi.
- 38 PSK 6152. Teollisuuden kone- ja laitehankinnat. 2011. Keskipakopumppu. Helsinki. PSK Standardisointi.
- 39 Fluidity, nonstop. Verkkoaineisto. AxFlow. <https://www.axflow.com/globalassets/country/finland/pdf/fi_brochure_chemical-2021_pagebypage.pdf>. Luettu 6.10.2022.
- 40 Pehmökäynnistinopas. Verkkoaineisto. ABB. <https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf>. Luettu 7.10.2022.
- 41 Talli, Visa. 2015. Keskipakopumppujen akselitehokartoitus. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 42 Basic differences between open and closed impellers in centrifugal pumps. 2022. Verkkoaineisto. Rotech. <<https://www.rotech-pumps.com/basic-differences-between-open-and-closed-impellers/>>. 22.1.2022. Luettu 23.9.2022.
- 43 Salla, Saku. 2010. Keskipakopumpun huolto ja korjaus. Insinööriyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 44 Mechanical seal piping plans pocket guide. 2022. Yrityksen sisäinen materiaali. John Crane.
- 45 Vilppola, Ville. 2018. Hioman tiivistevesilinjan kartoitus. Opinnäytetyö. Lappeen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 46 Peltola, Petteri. 2017. Mekaaninen akselitiiviste ja sen toimintaympäristö keskipakopumpuissa. Kandinaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Theseus-tietokanta.
- 47 The purpose of O-rings. Verkkoaineisto. NES. <<https://www.nes-ips.com/the-purpose-of-o-rings/>>. Luettu 3.11.2022.
- 48 Uusitalo, Patrik. 2021. Pumpun tiivisteveden aiheuttamat häviöt. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 49 What is a Mechanical seal. Verkkoaineisto. Aesseal. <<https://www.aesseal.com/en/resources/academy/what-is-a-mechanical-seal>>. Luettu 27.10.2022.
- 50 Single Mechanical Seal. Verkkoaineisto. Flexachem. <<https://www.flexachem.com/mechanical-seal/mechanical-seal-for-agitator/single-mechanical-seal/>>. Luettu 27.10.2022.
- 51 What is a Double Seal and When to Use One. Verkkoaineisto. Reliability matters. <<https://blog.chesterton.com/sealing/mechanical/what-is-a-dual-seal/>>. Luettu 28.10.2022.
- 52 Peter, Sara. 2016. The difference between single and double mechanical seals. Verkkoaineisto. Crane Engineering. <<https://blog.craneengineering.net/whats-the-difference-between-single-and-double-mechanical-seals>>. 2.2.2016. Luettu 28.19.2022.
- 53 Useful information on pump shaft seals. Verkkoaineisto. Michael Smith engineers. <<https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/pump-shaft-seals>>. Luettu 6.10.2022.
- 54 Axial flow pump. Verkkoaineisto. Water supply technologies in emergencies. <<https://www.emergency-wash.org/water/en/technologies/technology/axial-flow-pump>>. Luettu 13.10.2022.

