

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Ari Petteri Kapanen

NESTEYTTÄVÄN ÖLJYNEROTTIMEN KEHITYS JA ONGELMAT

Työn ohjaaja DI Anne Ojala
Työn teettäjä Parker Hannifin Oy, valvojana Heikki Kangasniemi
Tampere 2008

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Kapanen Ari Petteri

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Lokakuu 2008

Hakusanat

Nesteyttävän öljynerottimen kehitys ja ongelmat

42 sivua

DI Anne Ojala

Parker Hannifin Oy

Öljy, paine-ilma, erotus

TIIVISTELMÄ

Nesteyttävä öljynerotin on ruuvikompressorin sisällä olevan öljynerotusjärjestelmän osa. Sen tarkoitus on erottaa paineilman seassa vielä syklonierotuksen jälkeen oleva öljyaerosoli ja muuttaa se takaisin nesteeksi.

Nesteyttävältä öljynerottimelta vaaditaan kykyä toimia muuttuvissa virtausolosuhteissa. Sen on oltava mahdollisimman energiatehokas tinkimättä öljynerotustehokkuudesta. Sen on kyettävä varmistamaan, että paineilman laatu sen lähtiessä kompressorilta pysyy aina tasalaatuisena hankalissakin käyttöolosuhteissa. Nämä edellä mainitut seikat luovat todellisia haasteita nesteyttävän öljynerottimen kehitystyöhön.

Kompressorin energiatehokkuutta voidaan parantaa optimoimalla siihen vaikuttavat tekijät. Nesteyttävä öljynerotin aiheuttaa järjestelmässä suuren painehäviön, koska se on erittäin tiheä suodattimen kaltainen elementti ja vastustaa ilman läpivirtausta tehokkaasti. Sen takia nesteyttävällä öljynerottimella on suuri vaikutus koko järjestelmän energiatehokkuuteen.

Öljynerotuskyky ja öljynerottimen aiheuttama painehäviö kulkevat käsi kädessä. Mitä tiheämpää suodatusmateriaali on, sitä paremmin öljyä kyetään erottamaan. Tiheä materiaali tosin vastustaa enemmän ilmanvirtausta ja aiheuttaa siten enemmän painehäviötä.

Työn tarkoituksena oli selvittää, millaisessa käyttöympäristössä nesteyttävän öljynerottimen tulee kyetä toimimaan, mitkä fysikaaliset ilmiöt vaikuttavat öljynerottumiseen ja miten ne voidaan huomioida kehitystyössä paremmin. Tarkoituksena oli myös tutustua erilaisiin mittausmenetelmiin, joilla nesteyttävän öljynerottimen tehokkuutta voidaan arvioida laboratorio-olosuhteissa. Kaiken tämän päämääränä oli kehittää öljynerottimen kehitystyössä tarvittavaan ammattitaitoa.

Työ sisältää myös nesteyttävän öljynerottimen käytännön mittauksia sisältävät osiot, joissa on tarkasteltu käytössä olevaa mittausmenetelmää ja analysoitu tehtyjä tuotekehitysmittauksia. Tämä osio on julistettu salaiseksi.

TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical engineering

Kapanen Ari Petteri

Engineering thesis

Thesis supervisor

Commissioning company

November 2008

Keywords

Oil separator development and problems

42 pages

DI Anne Ojala

Parker Hannifin Oy

oil, pressurized air, separator, filter

ABSTRACT

Coalescing oil separator is a part of the oil separator system, which is inside the screw compressor. The purpose is to separate oil aerosol, which is among compressed air after cyclone separation, and change it back to liquid.

The ability to run in variable flow circumstances is exacted of coalescing oil separator.

It has to be as energy efficient as possible without bargain for effectiveness of the oil separator.

It has to be able to make sure that the quality of compressed air always stays in uniform quality in difficult operation conditions.

These previous things I mentioned creates real challenges in the development of coalescing oil separator.

Energy effectiveness of the compressor can be improved by optimizing all the factors, which interact. Oil separator causes a big differential pressure in the system, because it is very tight element like hydraulic filter and it resists effectively air flow through the material.

That's why oil separator has a high impact to energy effectiveness of the whole system.

Oil separation ability and differential pressure causing by oil separator goes hand in hand. The tighter is the filter, the better oil can be separated, but in the other hand if the filter is tight it resists more airflow through it and will cause more differential pressure.

The purpose of this engineering thesis was to figure out what is the operating environment like where coalescing oil separator has to be able to work. There was also a question which physical phenomena affect the oil separation and how those things can be noticed better in development work.

The meaning was also to get to know different measuring methods. With those methods the coalescing oil separator's effectiveness can be estimated in laboratory circumstances.

The main goal was to develop knowledge what is needed in development work of oil separator. My work includes also parts, which relate to measurements of coalescing oil separator. In those parts I have viewed the measurements methods, which are used and analyzed product development measurements. This part has been announced confidential.

ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty Parker Hannifin Oy:n HFDL:n tuotekehityksikölle Urjalaan 1.1.2008–23.11.08 aikana. Olen kokenut työn erittäin mielenkiintoiseksi, ja sen tekemisestä on ollut minulle suuresti apua oman ammattiosaamisen kehittämisessä. Kiitos tämän työn valmistumisesta kuuluu koko Parker Urjalan tuotekehityksikön henkilökunnalle. Kiitän erikseen myös kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat jossain vaiheessa työtäni vastailleet kysymyksiini tai auttaneet muuten työni etenemistä.

Erityiskiitokset lähetän työni ohjaajalle Heikki Kangasniemelle, joka on minulle työni aikana jakanut pyyteettömästi ammattitietämystään nesteyttävän öljynerottimen kehitystyöstä ja kärsivällisesti jaksanut vastaila kysymyksiini. Erityiskiitoksen ansaitsee myös tuotekehitysasistentti Markku Sirola, jonka kanssa käydyt lukuisat keskustelut öljynerottimien tuotekehitysmittauksista ovat mahdollistaneet työni etenemisen.

Tampereella 23. marraskuuta 2008

Ari Petteri Kapanen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	6
2 PARKER HANNIFIN OY	8
2.1 FINN-FILTER OY	8
2.2 TUOTEKEHITYS URJALASSA	8
3 PAINE-ILMAKOMPRESSORIT	9
3.1 Staattisesti puristavat kompressorit	9
3.1.1 Mäntätyyppiset kompressorit	9
3.1.2 Pyörivätyyppiset kompressorit	10
3.1.3 Ruuvikompressorit	10
3.1.3.1 Vakiotuottoinen ruuvikompressori	11
3.1.3.2 Muuttuvatuottoinen ruuvikompressori	12
3.2 Kineettisesti puristavat kompressorit	12
3.3 Vastavirtauspuristusta käyttävät kompressorit	13
4 PAINEILMAN LAATU	14
4.1 Imuilman laatu	14
4.2 Paineilman puhtaus	14
4.3 Paineilman kosteus	14
4.4 Paineilman vesisisältö	15
4.5 Kastepiste	15
4.6 Paineilman öljypitoisuus	15
4.7 Paineilman suodatus	15
4.8 Öljyn ja veden poisto	15
5 ÖLJYNEROTUS	17
5.1 Karkea öljynerotus	17
5.2 Hieno öljynerotus	18
5.3 Nesteyttävä öljynerotin	18
5.4 Erottimen rakenne	18
5.5 Toimintaperiaate	20
5.5.1 Suoran törmäyksen aiheuttama erottuminen	21
5.5.2 Diffuusion aiheuttama erottuminen	22
5.5.3 Hitausvoimien aiheuttama erottuminen	23
6 OMAT PÄÄTELMÄT	24
LÄHDELUETTELO	25

1 JOHDANTO

Teollistuvassa maailmassa energian tarve on kasvanut viimeiset vuodet räjähdysmäisesti. Tämä on johtanut energian hinnan nousuun. Energian hinnan noustessa on alettu miettiä kuinka energiaa voitaisiin säästää.

Nykypäivänä paineilmaa käytetään lähestulkoon jokaisessa tehtaassa, sairaalassa ja laivassa. Eikä tule unohtaa niitä lukemattomia pieniä joka kodin mäntäkompressoreita, jotka puristavat ilmaa autonrenkaisiin ja joista lukemattomat erilaiset paineilmatyökalut saavat käyttövoimansa.

Paineilman loppukäyttäjät asettavat paineilman laadulle erilaisia vaatimuksia. Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa paineilman tulee olla erittäin puhdasta. Yleensä teollisissa laitoksissa riittää paineilman laaduksi vähän likaisempikin ilma. Voidaan kuitenkin yleisesti sanoa, että paineilman tulee olla lähes öljytöntä ja kuivaa riippumatta käyttökohteesta. Monissa käyttökohteissa on myös säädetty raja-arvot hiukkaspitoisuuksille. /1/

Paineilman tuottaminen vaatii erittäin paljon energiaa. Tästä energian kulutuksesta aiheutuu huomattavia kustannuksia paineilman loppukäyttäjille.

Tyypillisesti teollinen paineilma tuotetaan mäntä- tai ruuvikompressoreilla. Ruuvikompressoreita on kahta erilaista perustyyppiä, vakiotuottoisia ja muuttuvatuottoisia. Ensimmäisessä tapauksessa kompressori käy joko täydellä teholla tai ei lainkaan. Vakiotuottoinen kompressori tuottaa siis aina vakiomäärän paineistettua ilmaa riippumatta tarvittavan ilman määrästä. Useissa käyttökohteissa paineilman tarve on vaihteleva. Tämän tyyppisissä käyttökohteissa ei ole energiaystävällistä käyttää vakiotuottoisia ruuvikompressoreita. Tällaisiin käyttökohteisiin on kehitetty muuttuvatuottoinen ruuvikompressori, jonka tuottamaa tehoa säädetään taajuusmuuntajan avulla. Tämän tyyppinen kompressori tuottaa vain tarvittavan määrän paineilmaa ja säästää siten energiaa. /10/

Ruuvikompressorissa öljyn erottuminen toteutetaan tyypillisesti kaksivaiheisesti. Karkeaerottimella (sykloni) saadaan erotettua noin 99 % paineilman sisältämästä öljystä ja hienoerottimella (nesteyttävä öljynerotin) saadaan erotettua tästä jäljelle jäävästä öljystä vielä noin 99,9 %. /1/ Varsinkin jälkimmäinen erotustapa on erityisen herkkä muuttuville virtausolosuhteille joita esiintyy erityisesti muuttuvatuottoisissa ruuvikompressoreissa. Voidaankin sanoa, että nesteyttävän öljynerottimen tärkeimmät tehtävät ovat tuottaa mahdollisimman puhdasta paineilmaa mahdollisimman pienellä painehäviöllä.

Näiden seikkojen vuoksi nesteyttävän öljynerottimen toimintaa on kehitetty ja tutkittu Parker Hannifinilla useiden vuosien ajan.

Tässä työssä paneudutaan myös erilaisiin kompressorityyppeihin ja niiden toimintaperiaatteisiin sekä nesteyttävän öljynerottimen toimintaan osana ruuvikompressorin öljynerotinjärjestelmää.

Työssä tarkastellaan myös nesteyttävän öljynerottimen tutkimus- ja kehitystyössä käytettyjä mittausten menetelmiä ja laitteita sekä nesteyttävän öljynerottimen teoreettista toimintamallia.

2 PARKER HANNIFIN OY

Suomessa toimiva Parker Hannifin Oy on osa amerikkalaista Parker Corporationia, jonka pääkonttori sijaitsee Clevelandissa Yhdysvalloissa. Parker toimii yli 47 maassa ja kuudessa maanosassa. Parkerin liikevaihto on yli 12 miljardia dollaria. Parkeriin kuuluu yli 400 tehdasta ja noin 50 000 työntekijää. Parkerin päämarkkina-alueet ovat lentokonetekniikka, automaatio, ilmastointitekniikka, suodatus, liittimet, letkut, hydrauliiikka, instrumentaario ja tiivisteet. /11/

Suomessa Parkerilla on useita toimipisteitä, jotka sijaitsevat Urjalassa, Vantaalla, Forssassa, Hyrynsalmella ja Ylöjärvellä. /5/

Urjalassa sijaitsee Parkerin hydrauliiikka-, polttoaine- ja voiteluainesuodattimia sekä öljynerottimia valmistava suodatintehdas. Urjalan toimipisteen yhteydessä toimii myös yksi monista Euroopassa sijaitsevista suodatintekniikkaan keskittyneistä tuotekehitysyksiköistä. /5/

Hyrynsalmella sijaitsee Urjalan sivutoimipiste, jossa valmistetaan pääasiassa laivojen polttoaine- ja voiteluainesuodattimia.

2.1 FINN-FILTER OY

Finn-Filter Oy:n Urjalaan perusti talousneuvos Toivo Aaprami Rapakko vuonna 1964. Yritys myytiin Kemiralle vuonna 1980. Kemiran suuret panostukset tuotekehitykseen kasvattivat Finn-Filteristä Suomen suurimman ja Pohjoismaissakin merkittävän suodatinalan yrityksen. /5/

Kemira myi Finn-Filterin osakekannan Parker Corporationille vuonna 1994. Useiden vuosien ajan Finn-Filterin nimi pidettiin kuitenkin hengissä. 2000-luvun aikana sen käyttämisestä luovuttiin kokonaan. /5/

Nykypäivänäkin monet Finn-Filterin vanhat asiakkaat puhuvat Finn-Filteristä Parkerin sijaan.

2.2 TUOTEKEHITYS URJALASSA

Urjalan toimipisteen yhteydessä toimivassa tuotekehitysyksikössä työskentelee kaikkiaan yksitoista henkilöä erilaisissa tuotekehitykseen liittyvissä tehtävissä. Tämän tuotekehitysyksikön tehtäviin kuuluu kehittää erilaisia automaattisuodattimia laivojen voitelu- ja polttoainejärjestelmiin sekä öljynerottimia kompressoriteollisuuden tarpeisiin.

3 PAINE-ILMAKOMPRESSORIT

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan yleisimpiä kompressorityyppejä ja niiden toimintaa pintapuolisesti. Tarkemmin kerrotaan ruuvikompressorin toimintaperiaatteesta, koska ymmärtääkseen ruuvikompressorissa tapahtuvaa öljynerotusprosessia ja erityisesti nesteyttävän öljynerottimen toimintaa on lukijan ymmärrettävä, myös kuinka ruuvikompressorit toimii.

Kompressoreiksi voidaan sanoa laitteita, jotka tuottavat huomattavan ylipaineen. Huomattavalla ylipaineella tarkoitetaan noin 1,5 bar:n painetta. /2/ Kompressorit voidaan lajitella niiden ilmanpuristustavan ja mekaanisen rakenteen mukaan seuraavanlaisesti kolmeen pääluokkaan: staattisesti puristavat, kineettisesti puristavat ja vastavirtauspuristusta käyttävät kompressorit. /2/

Staattisesti puristaviin kompressoreihin kuuluvat mäntätyyppiset ja pyörivätyyppiset kompressorit. /2/ Nämä kompressorityypit ovat myöskin kompressoreista kaikkein tunnetuimmat. Kineettisesti puristaviin kompressoreihin kuuluvat aksiaalikompressorit ja radiaalikompressorit. /2/ Viimeiseen pääryhmään eli vastavirtapuristusta käyttäviin kompressoreihin kuuluvat kiertomäntäpuhaltimet. /2/

3.1 Staattisesti puristavat kompressorit

3.1.1 Mäntätyyppiset kompressorit

Mäntätyyppisiin kompressoreihin kuuluvat mäntäkompressorit ja kalvokompressorit. /2/

Mäntätyyppisten kompressoreiden toimintaperiaate on puristaa männän tai kalvon avulla ilmaa pienempään tilavuuteen. Mäntäkompressorit ovat teknillisiltä ratkaisuilta hyvin yksinkertaisia. Yksinkertaisimmissa järjestelmissä paineen säätö tapahtuu kuristamalla ilman virtauskanavaa venttiilillä. Tuotetun paineilman määrää säädellään useasti kytkemällä kompressorit pois käytöstä, kun paineilma- verkoston paine on saatu nostettua halutulle tasolle. /2/

Mäntätyyppisten kompressoreiden käyttösovellutukset ovat laajat, sillä se on helposti muunneltavissa käyttökohteen mukaan. Mäntätyyppisellä kompressorilla voidaan tuottaa hyvin öljytöntä paineilmaa. Tämä on mahdollista, koska voiteluaineen eristäminen puristustilasta on helposti toteutettavissa. /2/ Kalvokompressorit on muunnos mäntäkompressorista, jossa mäntä- kimpimekanismi on korvattu kalvon, kiertokangen ja epäkeskon muodostamalla mekaanisella kokonaisuudella. /3/

Kalvokompressoreita käytetään silloin, kun pitää tuottaa pieniä määriä täysin öljytöntä ilmaa esimerkiksi sellaiseen käyttökohteeseen, jossa paineilman täytyy olla täysin puhdasta öljystä. Mahdollisia käyttökohteita ovat esimerkiksi erilaiset laboratoriot ja lääketeollisuus. /3/

3.1.2 Pyörivätyyppiset kompressorit

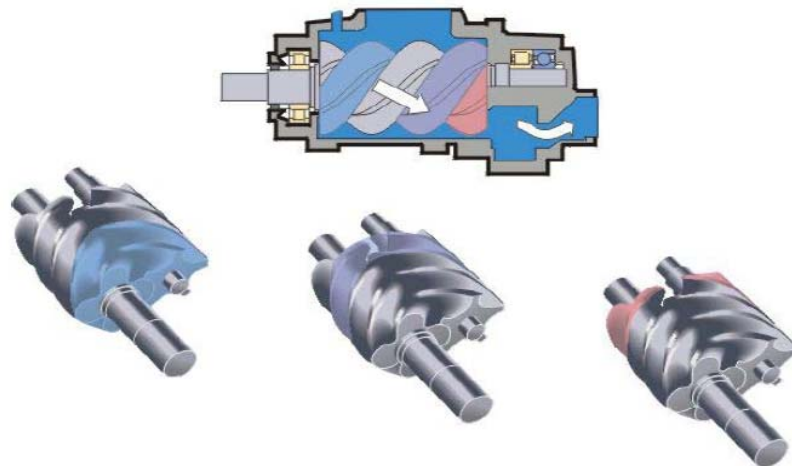
Pyörivätyyppisiin kompressoreihin kuuluu kaksiroottorisia ja yksiroottorisia kompressoreita. Kaksiroottoriset kompressorit ovat aina ruuvikompressoreita, joihin tutustutaan tarkemmin seuraavissa luvuissa. Yksiroottorisiin kompressoreihin kuuluvat z-ruuvikompressorit, nesterengaskompressorit ja lamellikompressorit. /2/

3.1.3 Ruuvikompressorit

”Ruuvikompressoreissa ilman puristaminen kasaan tapahtuu ruuvi- ja luistinroottorin väliin jäävissä urissa, joiden ulko- ja päätypinnat roottoreiden ympärillä oleva pesä tiivistää” /2, s.11/

Roottoreiden välissä on välys, johon ruiskutetaan öljyä. Tämän öljyn tarkoitus on tiivistää, voidella ja jäähdyttää roottoreita. Roottorit imevät ilman imuventtiilin kautta ja kuljettavat sitä kohden painelaippaa. /4/

Roottoreiden muoto yhdistettynä pyörivään liikkeeseen pakottaa ilmaa puristumaan kasaan, kunnes se pääsee vapautumaan ulos puhallusaukosta ja jatkamaan matkaansa eteenpäin järjestelmässä. Kuvassa 1 on esitetty ilmankulku ja puristuminen ruuvi- ja luistinroottorin väliin jäävissä urissa. /4/



Kuva 1. Ilmankulku ja puristuminen /4/

Roottoreille ruiskutettu öljy ja paineistettu ilma muodostavat seoksen, josta öljy on erotettava pois ennen paineilman johtamista paineilma- verkkoon.

Tyypillisesti öljynerotus tapahtuu kaksivaiheisella erotusjärjestelmällä. Tällaisessa erotusjärjestelmässä on karkeaerotin, joka poistaa 99 % öljystä, ja hienoerotin, joka poistaa jäljelle jääneestä öljystä vielä 99 %. Normaalisti karkeaerottimena on syklonierotin, jossa keskipakoisvoimat erottavat raskaat öljyhiukkaset virtaavasta ilmasta. Hienoerottimena käytetään yleensä

nesteyttävää öljynerotinta. Öljynerotuksen jälkeen paineilma johdetaan jälkijäähdyttimelle. /2/ Nykyaikaisissa ruuvikompressoreissa paineilman jälkijäähdytin on integroituna kompressorin sisälle.

Jälkijäähdyttimessä paineilma jäähdetään huomattavasti käyttölämpötilaa alempaan lämpötilaan. Normaalisti paineilman lämpötila on tämän jälkeen noin 15–20 °C. Jäähdyttimen tehtävänä on laskea paineilman lämpötilaa, jolloin paineilmassa sitoutuneena oleva vesihöyry alkaa tiivistyä vedeksi. /2/

Minkä takia paineilmaa jäähdetään, vaikka kaikki paineilmassa sitoutuneena oleva energia on lämpöenergiaa? Paineilman jäähdyttäminen kuitenkin vähentää paineilman mukana kuivaimelta tulevan veden määrää ja siten kuvaimen kuormitusta. On edullisempaa jälkijäähdyttää paineilmaa kuin ylimitoittaa paineilman kuivain. /2/

Nykyaikaisen ruuvikompressorin ohjaus on helppoa. Yleensä ruuvikompressori on varustettuna ohjausyksiköllä, josta voidaan valita halutut ajoparametrit, kuten tuotetun paineilman paine, paineilman lämpötila ja tuotetun paineilman tilavuusvirta. /8/

Nykyaikaisen ruuvikompressorin ohjausyksikkö ilmoittaa ennalta tulevien huoltojen ajankohdista. Normaalisti järjestelmä ilmoittaa voiteluöljyn, öljynsuodattimen, imuilmansuodattimen ja nesteyttävän öljynerottimen vaihdon tarpeellisuudesta. /8/ Näin loppukäyttäjän on helppo suunnitella huoltoseisokkien ajankohdat niin, että niistä syntyvä paineilman tuotannon katkos aiheuttaisi mahdollisimman vähän haittaa itse tuotannolle.

3.1.3.1 Vakiotuottoinen ruuvikompressori

Vakiotuottoisella ruuvikompressorilla tarkoitetaan kompressoria, jonka ruuviyksikön pyörimisnopeutta ei voida säädellä, vaan se pyörii aina vakionopeudella. Siten kompressori tuottaa aina vakiomäärän paineilmaa riippumatta siitä, kuinka paljon paineilmaa kulutetaan. /6/

Vakiotuottoinen kompressori sopiikin parhaiten sellaiseen käyttöympäristöön, missä paineilman tarve pysyy mahdollisimman tasaisena. Tällaisessa ympäristössä vakiotuottoinen kompressori toimii parhaalla mahdollisella hyötysuhteella.

Tosiasia on kuitenkin, että suurimmassa osassa paineilman loppukäyttökohteista paineilman tarve vaihtelee suuresti. Tällaisissa käyttökohteissa vakiotuottoisen ruuvikompressorin käyttäminen ei ole kustannustehokasta eikä järkevää.

Vakiotuottoisessa ruuvikompressorissa vallitsee edulliset olosuhteet nesteyttävän öljynerottimen toiminnalle, koska paineilman virtausnopeus pysyy vakiona.

Vakiotuottoinen ruuvikompressori ei nykypäivänä enää läheskään aina edusta kaikkein energia tehokkainta ratkaisua. Kuvassa 2 on esitetty nykyaikaisia ruuvikompressoreita. /4/



Kuva 2. Nykyaikaisia ruvikompressoreita /4/

3.1.3.2 Muuttuvatuottoinen ruvikompressori

Muuttuvatuottoisella ruvikompressorilla tarkoitetaan kompressoria, jonka roottoreita pyörittävän sähkömoottorin pyörimisnopeutta säädetään taajuusmuuntajan avulla. /10/

Muuttuvatuottoisesta ruvikompressorista käytetään yleisesti nimitystä vs(variable speed) -kompressori. Tämän tyyppiselle kompressorille on ominaista hyvä energiatehokkuus. Vs-kompressorin ruuviyksikköä pyöritetään halutulla pyörimisnopeudella, joka määräytyy paineilman tarpeen mukaan. Energian säästöä syntyy, kun paineilmaa ei tuoteta ylitse sen tarpeen.

Vs-kompressori soveltuu melkein kaikkiin käyttösovellutuksiin juuri muuttuvan pyörimisnopeutensa takia. Sanotaankin, että muuttuvatuottoinen ruvikompressori on todellinen läpimurto energiatehokkaampaan paineilman tuotantoon.

Vs-kompressoreiden öljynerotuksen suurimmat ongelmat ovat liittyneet nesteyttävän öljynerottimen toiminnan stabilointiin muuttuvissa virtausolosuhteissa.

3.2 Kineettisesti puristavat kompressorit

Kineettisesti puristavien kompressoreiden ryhmään kuuluvat aksiaalisesti ja radiaalisesti puristavat kompressorit. Näistä kompressoreista puhutaan yleisesti turbokompressoreina. /2/

Näille kompressorityypeille on tavanomaista huono kyky selviytyä tuotto puolen virtauksen kuristamisesta. Tuotto puolen virtauksen kuristaminen aiheuttaa helposti roottoreiden sakkauksen. Sakkauksessa virtauksen suunta kääntyy päinvastaiseksi. Tästä seuraa voimakasta värähtelyä, joka saa aikaan ulvovan äänen ja saattaa vaurioittaa siivistöä. /2/

3.3 Vastavirtauspuristusta käyttävät kompressorit

Vastavirtauspuristusta käyttäviin kompressoreihin kuuluu kaksiroottoriset kiertomäntäpuhaltimet. Puhaltimessa on kaksi toistensa lomassa pyörivää roottoria. Tällainen puhallin on mäntäkompressorin tapainen tilavuusvirran kehitin, joka alkaa tuottamaan painetta vasta sitten, kun tilavuusvirta ryhdytään kuristamaan. /2/

4 PAINEILMAN LAATU

4.1 Imuilman laatu

Kompressorin imee ilmaa ympäristöstään tuottaakseen paineilmaa. Tämän ilman mukana järjestelmään joutuu erilaisia määriä kiinteitä partikkeleita. /2/

Suurin osa näistä likahiukkasista on peräisin teollisuuden ja liikenteen aiheuttamista hiukkaspäästöistä. Kompressorin imuilman otto paikka tulee suunnitella huolella, koska sillä voidaan vaikuttaa suuresti järjestelmään joutuneen lian määrään. /2/

Imuilmaa suodatetaan tyypillisesti ilmastointikanaviin sijoitetuilla mattosuodattimilla. Näiden suodattimien suodatusteho on normaalisti 5–10 µm välillä. Tätä tiheämpien suodattimien käyttö nostaa tarpeettomasti kompressorin käyttökustannuksia. /2/

Kompressorin imuilman suodattimien tarkoitus on estää likapartikkelien pääsy kompressorin voiteluaineeseen. /2/ Likapartikkelit voiteluaineessa aiheuttavat komponenttien ennenaikaista kulumista ja nostavat kunnossapitokustannuksia.

4.2 Paineilman puhtaus

Paineilman kosteus vaikuttaa suuresti tuotetun paineilman puhtauteen. Kosteus ja vesi aiheuttavat paineilmajärjestelmissä merkittäviä häiriöitä ja kasvavia kunnossapitokustannuksia. /2/ Paineilman kuivaus suoritetaan yleensä erillisellä paineilman kuivaimella keskitetysti kaikelle tuotetulle paineilmalle.

Vaikka paineilma olisi hyvin kuivattua ja puhdistetua, se sisältää aina pieniä määriä putkistosta ja laitteista kulkeutunutta likaa. Erittäin herkissä käyttökohteissa paineilma tulee hienosuodattaa mahdollisimman lähellä käyttökohdetta, jotta voidaan varmistua paineilman riittävästä puhtaustasosta. /2/

4.3 Paineilman kosteus

Ilmassa sitoutuneena olevan vesihöyryn määrä riippuu ilman lämpötilasta ja sen suhteellisesta kosteudesta. Kompressorin puristaessa ilmaa pienempään tilavuuteen ilman lämpötila kasvaa ja vesihöyrypitoisuus nousee. Lämpötilan kasvaessa ilman kyky sitoa vesihöyryä kasvaa. Tämän takia vesihöyry ei pääse tiivistymään kompressorin. /1/ Siksi paineilma täytyy aina jälkijäähdyttää. Jälkijäähdyttimessä paineilman lämpötilaa lasketaan noin 15 °C:seen. Näin saadaan lämpötilan muutoksen edellyttämä vesihöyryn määrä tiivistymään vedeksi. /2/ Paineilmaputkiston ollessa lämpöisempi kuin jälkijäähdytyslämpötila vesihöyry ei pääse tiivistymään putkistoihin.

4.4 Paineilman vesisisältö

Paineilman sisältämän vesihöyryn määrä on riippuvainen vallitsevasta ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta. Veden määrän suuret vaihtelut paineilmajärjestelmässä aiheutuvat ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan muutoksista. Vesi aiheuttaa paineilmaverkossa jakeluputkien ruostumista, pneumaattisten laitteiden toimintahäiriöitä ja voi näin saada aikaan monenlaista harmia loppukäyttäjälle. /2/

Esimerkikiksi keskikokoinen ruuvikompressori voi tuottaa huonosti suunnitellussa paineilmajärjestelmässä jopa 50 l vuorokaudessa vettä paineilmaverkkoon. Tämän takia suunniteltaessa paineilmajärjestelmiä on huomioitava paineilman vesisisältö. /2/

4.5 Kastepiste

”Paineilman sisältämän kosteussisällön määritelmänä käytetään kastepistelämpötila-arvoa (°C), joka määrittelee lämpötilan, jossa vesihöyryn kondensoituminen nestemäiseen muotoon alkaa.”/2/

4.6 Paineilman öljypitoisuus

Paineilman seassa on aina pieniä määriä kompressorin öljynerottimien lävitse hienona sumuna kulkeutunutta öljyä. Öljynerottimien lävitse kulkeutuneen öljyn määrään vaikuttavat kompressorin ikä, kunto, kuormitusaste, käyttölämpötila, kompressorityyppi ja öljynerotuksen tehokkuus. /2/

Jälkijäähdyttimessä suurin osa tästä öljysumusta emulgoituu tiivistyvän veden kanssa vesiöljyemulsioksi ja aerosoliksi. Aerosolissa esiintyvien partikkelien kokojakaumaksi on mitattu 0,01–50 µm. Näistä partikkeleista suurin osa on 0,01–1µm kokoisia nestehiukkasia. /2/ Näin pienien partikkelien poistaminen normaaleilla suodatus- ja erotusmenetelmillä on erittäin vaikeata.

4.7 Paineilman suodatus

Paineilmassa olevat kiinteät partikkelit, ruoste ja vesi on suodatettava pois ilmasta ennen ilman johtamista erilaisille toimilaitteille. Koneisiin ja laitteisiin paineilman mukana joutuneet epäpuhtaudet aiheuttavat ennen aikaista laitteiden kulumista ja häiriöitä tuotantoprosesseissa. /2/

4.8 Öljyn ja veden poisto

Paineilman puhdistus tapahtuu erilaisilla veden, öljyn ja pölyn erottimilla juuri ennen toimilaitetta. Mahdollisimman lähelle sijoitettu paineilman

jälkikäsittelylaitteisto ehkäisee paineilman uudelleen likaantumisen putkiston vaikutuksesta ennen toimilaitetta. /2/

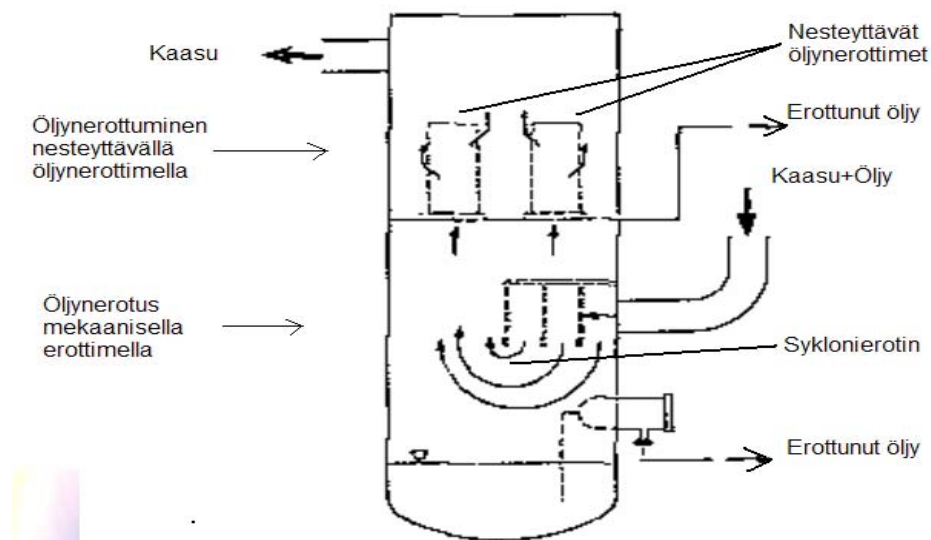
5 ÖLJYNEROTUS

Ruuvikompressorissa öljynerotus tapahtuu normaalisti kaksivaiheisessa prosessissa. Ruuviyksiköltä paineistettu öljyä sisältävä ilma johdetaan karkeaerottimelle. Karkeaerottimena toimii normaalisti syklonierotin. Syklonin erottama öljy johdetaan takaisin ruuviyksikölle. /1/

Syklonierotin pystyy ihanteellisissa olosuhteissa erottamaan yli 99 % ilman sisältämästä öljystä. Ruuvikompressorissa ruuville suihkutettavan öljyn määrä on kuitenkin niin suuri, että nesteyttävälle öljynerottimille pääsevän öljyn määrä on silti huomattava. Normaaleissa käyttöolosuhteissa nesteyttävälle öljynerottimille tuleva öljymäärä on noin 0,05–0,5 l/min. /1/

Karkeaerotuksen jälkeen paineilma johdetaan hienoerotukseen, jossa nesteyttävä öljynerotin erottaa paineilmassa jäljellä olevasta öljystä vielä noin 99 %. Nesteyttävän erottimen nesteyttämä ja erottama öljy johdetaan takaisin ruuviyksikölle. /1/

Täytyy kuitenkin aina muistaa, että tämänkin jälkeen paineilmassa on aina pieniä määriä öljyä, eikä se sellaisenaan ole vielä soveltuvaa kaikkiin käyttökohteisiin. Kuvassa 3 on kuvattuna tyyppillinen ratkaisu kaksivaiheisesta ruuvikompressorin öljynerotin järjestelmästä. /5/



Kuva 3. Ruuvikompressorin kaksivaiheinen öljynerotusjärjestelmä. /5/

5.1 Karkea öljynerotus

Karkean öljynerottimen tehtävä ruuvikompressorissa on poistaa paineilman seassa olevaa voiteluöljyä mahdollisimman tehokkaasti. Yleensä

karkeaerottimena toimii syklonierotin. Paineilma johdetaan sykloniin siten, että se joutuu pyörivään liikkeeseen syklonin seinämille. /1/,/2/

Tämän pyörivän liikkeen ansiosta keskipakoisvoima alkaa vaikuttaa öljypisaroihin ja saa ne tiivistymään öljyksi syklonin seinämille. Syklonin seinämltä öljy valuu syklonin pohjalle, josta se imetään takaisin ruuviyksikölle. /1/

Puhdas paineilma poistetaan syklonin keskellä sijaitsevan putken kautta, jonka yläpää on korkeammalla kuin syklonin pohjalla oleva erottuneen öljyn vapaa pinta. /1/ Näin estetään jo karkeaerottimessa paineilmasta erottuneen öljyn joutuminen uudelleen puhtaan paineilman sekaan.

Syklonierottimen toiminta perustuu siis keskipakoisvoiman aiheuttamaan erottumiseen. Se voi toimia jopa yli 99 % tehokkuudella. Sillä on kuitenkin aina suorituskykyalueellaan alue, jossa se toimii kaikkein tehokkaimmillaan. Esimerkiksi tietyllä virtausnopeudella erotuskyky on 99,2 % tätä nopeutta alemmalla ja korkeammalla virtausnopeudella erottimen erotustehokkuus on alle 99,2 %. /1/

5.2 Hieno öljynerotus

Hienolla öljynerotuksella ruuvikompressoreiden yhteydessä puhuttaessa tarkoitetaan karkeaerotuksen jälkeen tapahtuvaa öljynerotusta. Yleensä se tapahtuu nesteyttävällä öljynerottimella. Nesteyttävän öljynerottimen tarkoituksena on nimensä mukaisesti nesteyttää paineilmassa pieninä pisaroina oleva öljy.

5.3 Nesteyttävä öljynerotin

Nesteyttävän öljynerottimen tarkoituksena on muodostaa paineilmassa pieninä pisaroina kulkevasta öljystä suurempia pisaroita, jotka voidaan sitten painovoiman avulla erottaa ilmapirrasta. /1/

5.4 Erottimen rakenne

Nesteyttäviä öljynerottimia on useita erilaisia malleja, mutta kaikissa kuitenkin perustoimintaperiaate on sama. Nesteyttävä öljynerotin voidaan rakentaa metallista syvävedetyn säiliön sisälle, jolloin puhutaan niin sanotusta umpioerottimesta tai se voi olla niin sanottu öljynerotinelementti, jolloin se sijoitetaan erilliseen säiliöön. Tämä säiliö voi olla esimerkiksi ruuvikompressorin ruuviyksikön viereen integroituna. Paineilman virtaus öljynerottimen lävitse voi kulkea öljynerottimessa sisältä ulospäin tai ulkokehältä sisällepäin. /1/

Tässä työssä keskitytään jälkimmäiseen erotinmalliin, joka on irrallinen elementti. Se tarvitsee toimiakseen ympärilleen erillisen säiliön. Tällainen öljynerotin on toiminnaltaan kaksiosainen. Ensimmäisenä paineilma pakotetaan kulkemaan tiheiden suodatusmateriaalikerrosten lävitse, jotka saavat öljyn

pisaroitumaan. Tämän jälkeen pisarat joutuvat harvempaan suodatusmateriaalikerrokseen, joka kerää öljypisarat yhteen, jolloin painovoima pääsee kuljettamaan muodostuneen öljyn erottimen alaosaan, josta tämä voidaan poistaa. /1;/12;13/

Tällainen öljynerotinelementti muodostuu yleensä tukirakenteesta, jossa on kolme metallista tukiputkea. Näiden tehtävänä on tukea suodatinmateriaaleja paine-eron ja virtauksen aiheuttamaa mekaanista rasitusta vastaan. Suodatuselementin tukirakenteeseen kuuluu myös päädyt (kannet). /1;12;13/

Kansien tehtävänä on tiivistää öljynerottimen toinen pää ja luoda tiivis kontaktipinta erotinsäiliössä sijaitsevaan pidikkeeseen. Öljynerottimen kannet voidaan valmistaa metallilevystä syvävetämällä, metallista koneistamalla tai muovista ruiskuvalamalla. Toinen kansista on umpinainen ja toisessa kannessa taas on reikä, jota kautta ilma pääsee virtaamaan öljynerottimen sisälle. /1/

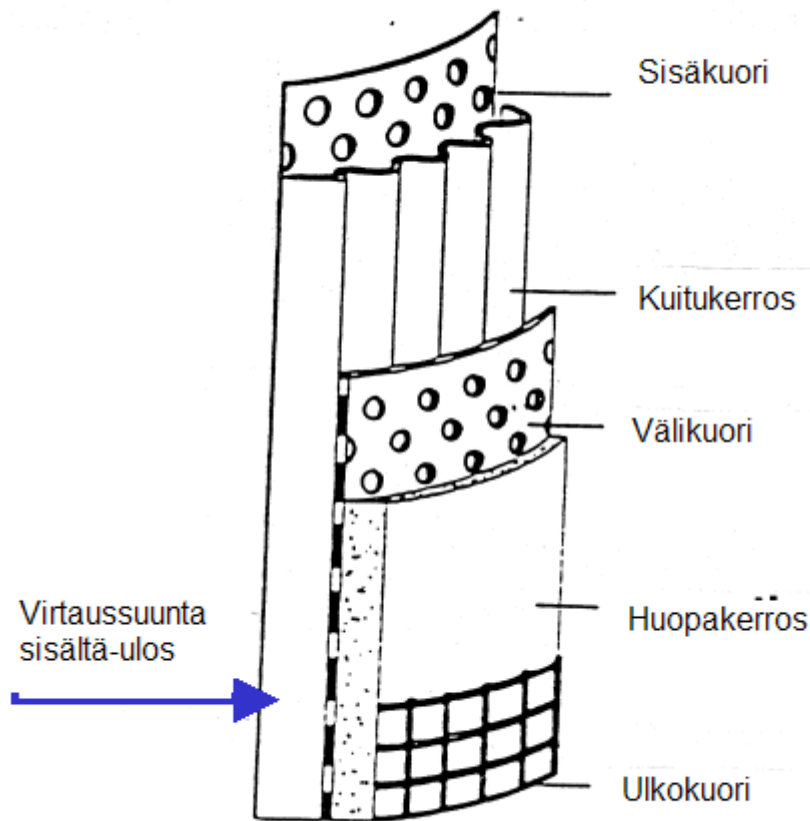
Reiän reunassa sijaitsee o-rengas, jonka avulla elementti tiivistyy välikappaleeseen. O-rengas voi sijaita myös öljynerotinsäiliössä, jolloin öljynerottimen kannessa on vain tasainen vastinpinta o-rengasta varten. Suodatusmateriaalikerrokset ja tukiputket liitetään kansiin esimerkiksi polyuretaaniliimalla. Liimaukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä pienikin ilmavuoto ohitse suodatusmateriaalin pilaa öljynerottimen toiminnan. /1/

Öljynerottimen sydän on kuitumateriaaleista muodostuva kerros. Nimettäkään se kuitukerrokseksi. Kuitukerros on öljynerottimen tärkein osa, ja siinä tapahtuu varsinainen öljyn erottuminen paineilmasta. /1/

Kuitukerros muodostuu useista erittäin tiheistä ja hauraista lasikuitumateriaalikerroksista. Näiden kerrosten tukena kuitukerroksessa on yleensä vielä vahvemmista kuiduista valmistettuja materiaalikerroksia. Materiaalikerroksien molemmin puolin on vielä metalli- tai muoviverkko tukemassa kokonaisuutta. Kuitukerros voi olla käärittynä tukiputken ympärille tai laskostettuna, jolloin materiaalikerroksen pinta-ala on suurempi. /1/

Kuitukerroksen jälkeen öljynerottimessa on huopakerros, jonka tehtävänä on kerätä kuitukerroksen muodostamat öljypisarat yhteen ja kuljettaa ne öljynerottimen alaosaan. Huopakerros on rakenteeltaan paljon harvempi kuin kuitukerros. Huopakerroksessa öljypisarat takertuvat materiaalien kuituihin ja valuvat alaspäin painovoiman vaikutuksesta. Huopakerroksella on oltava tarpeeksi tilavuutta, että se pystyy kastumatta läpimäräksi kuljettamaan kuitukerrokselta tulevan öljyn. /1/

Öljynerottimissa käytettävien materiaalejen valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Paineilma- ja kylmäkompressoreissa öljynerotin joutuu rankkoihin käyttöolosuhteisiin. Materiaaleilta vaaditaan hyvää lämpötilan kestoa ja niiden tulee myös sietää kovaa kemiallista ja fyysistä rasitusta. /1/ Kuvassa 4 on kuvattuna nesteyttävän öljynerottimen rakenne virtaussuunnan ollessa sisältä ulospäin. /5/



Kuva 4. Nesteyttävän öljynerottimen rakenne. /5/

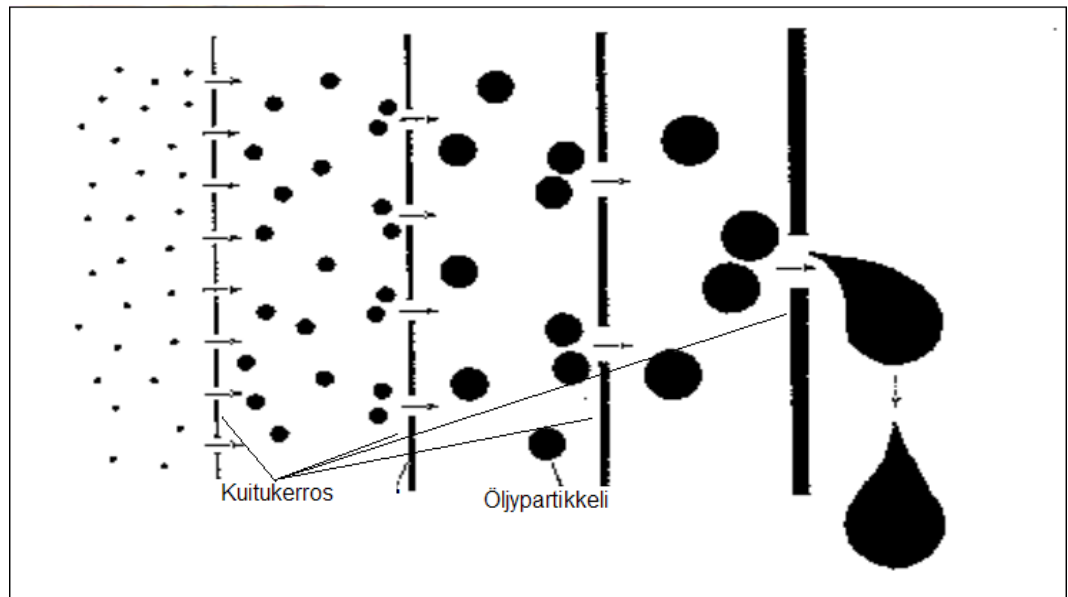
5.5 Toimintaperiaate

Nesteyttävän öljynerottimen suorituskyky perustuu kykyyn erottaa paljon materiaalien huokoskokoja pienempiä partikkeleita ilmavirrasta. Nesteyttävässä öljynerottimessa materiaalin lävitse virtaavassa ilmavirrassa olevat partikkelit törmäävät suodatusmateriaalissa oleviin kuituihin ja takertuvat niihin kiinni. Partikkelit eivät pysty seuraamaan ilmavirtaa kuitujen väleistä vaan törmäävät niihin Brownin liikkeen, partikkelien hitausvoimien ja suorien törmäysten vaikutuksesta. /1/

Nesteyttävä öljynerotin toimiiikin täysin eri tavalla kuin tavallinen pintasuodatin, joka suodattaa vain huokoskokoja suurempia partikkeleita. Nesteyttävän erottimen keskimääräinen huokoskoko saattaa olla kymmeniä mikrometrejä, kun taas erotettavien partikkelien koko on alueella 0,001–10 mikrometriä. /1/

Nesteyttävä öljynerotin itse asiassa kasvattaa öljypisaroiden kokoa, kunnes ne ovat tarpeeksi raskaita painovoiman vaikutuksesta valumaan erottimen sisällä alaspäin. Tätä ilmiötä kutsutaan nesteytymiseksi. Se tapahtuu kuitukerroksessa. Kuituihin törmää koko ajan uusia öljypisaroita, jotka muodostavat suurempia pisaroita. Ilmavirtaus painaa niitä läpi kuitukerroksen, kunnes ne ovat tarpeeksi raskaita ja alkavat valua huopakerroksessa alaspäin. /1/

Huopakerroksen pinta-alan ja tilavuuden tulee olla tarpeeksi suuri, että virtausnopeus saadaan sen sisällä tarpeeksi hitaaksi. Virtausnopeuden ollessa alhainen pisarat voivat rauhassa valua alaspäin huopakerroksessa. Hiljaisen virtausnopeuden ansiosta huopakerroksessa ei tapahdu öljypisaroiden törmäyksiä toisiinsa. Nämä törmäykset saattavat muodostaa pieniä öljypisaroita, jotka ilmavirta voi ottaa mukaansa. Tästä voi seurata öljynerottimen erotustehokkuuden romahtaminen. /1/ Kuvassa 5 on esitetty öljyaerosolin nesteytyminen. /5;13/

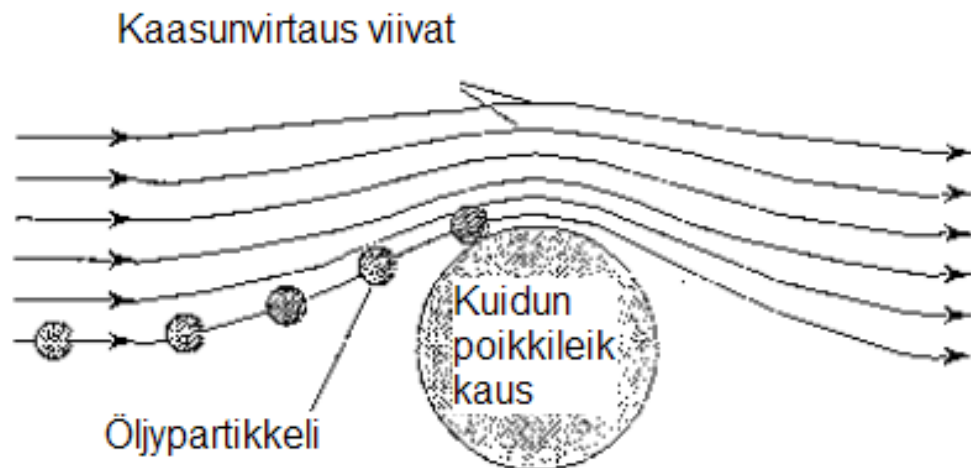


Kuva 5. Öljypisaran suureneminen sen kulkiessa kuitukerrosten lävitse. /5/

5.5.1 Suoran törmäyksen aiheuttama erottuminen

Suorassa törmäyksessä partikkeli seuraa omaa virtausviivaansa. Mikäli partikkelin virtausviiva leikkaa tai kulkee tarpeeksi läheltä kuitua tarttuu partikkelikuituun.

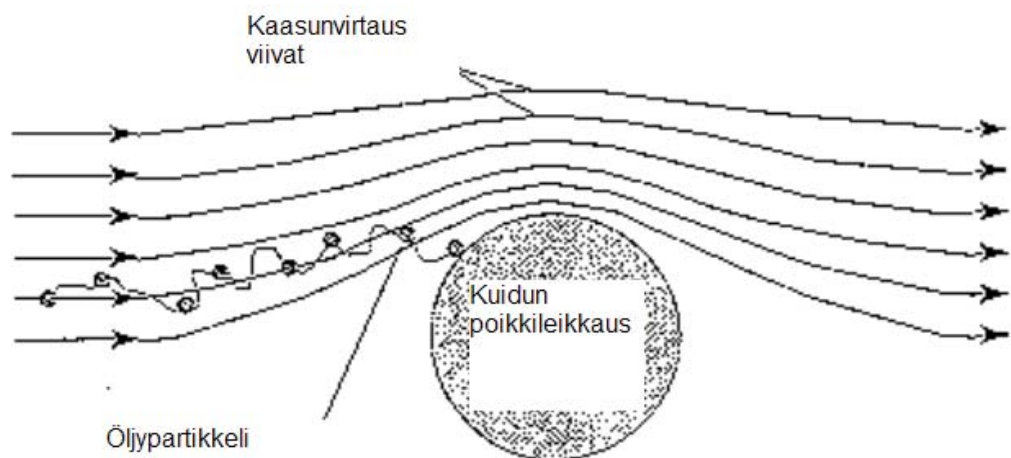
Kaikkien partikkelien virtausviivat eivät tietenkään törmää kuituun. /1;12;14/ Kuvassa 6 on esitetty partikkelin suora törmäys (Interception) /5;14/



Kuva 6. Partikkelin suorasta törmäyksestä johtuva erottuminen. /5;14/

5.5.2 Diffusionin aiheuttama erottuminen

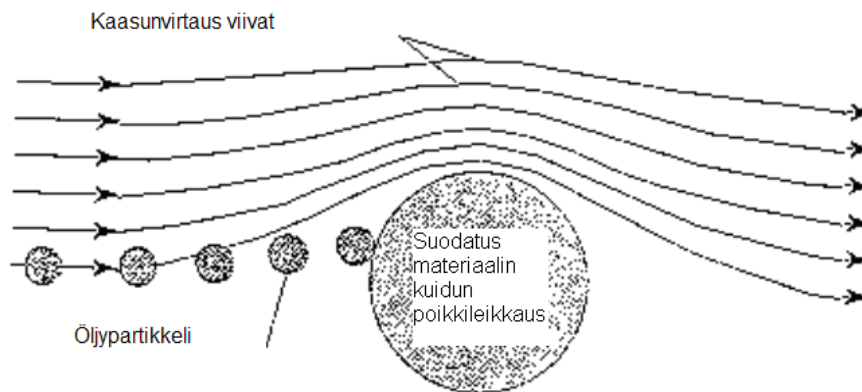
Brownin liike on partikkelien satunnaista liikettä kaasun virtaukseen nähden. Tämä diffuusion erityismuoto johtuu pienten partikkelien törmäilystä kaasuvirtauksessa toisiinsa ja muihin kaasumolekyleihin. Näiden törmäilyjen johdosta pienet partikkelit poukkoilevat virtausviivansa ympärillä satunnaisesti mikä lisää niiden todennäköisyyttä törmätä kuituun. /1;12/ Kuvassa 7 on kuvattuna partikkelin erottuminen kaasuvirtauksesta Brownin liikkeen vaikutuksesta. /5;14/



Kuva 7. Öljypartikkelin erottuminen Brownin liikkeen vaikutuksesta. /5;14/

5.5.3 Hitausvoimien aiheuttama erottuminen

Hitausvoimien vaikutuksesta tapahtuva partikkelin erottuminen kaasuvirtauksesta tapahtuu, koska partikkeli ei pysty massansa takia seuraamaan kaareutuvia virtausviivoja kuidun ohitse. Hitausvoimat saa partikkelin poikkeamaan virtausviivaltaan ja törmäämään kuituun. /1;12/
Kuvassa 8 on kuvattuna hitausvoimien aiheuttama partikkelin erottuminen /5;14/.



Kuva 8. Hitausvoimien aiheuttama partikkelin erottuminen. /5;14/

6 OMAT PÄÄTELMÄT

Tämän työn tekoa aloittaessani olin jo jonkin aikaa tehnyt tuotekehitysmittauksia ja itse nesteyttävän öljynerottimen suunnittelutyötä Parkerilla. Päivittäin miettiessäni nesteyttävän öljynerottimen toimintaa ja testeistä saatuja mittaustuloksia olin useasti hämmentynyt ja jouduin kysymään itseltäni, ymmärrätkö nyt ihan oikeasti, mitä esimerkiksi jokin mittaustulos yrittää minulle kertoa.

Työn edessä ja tutkitun tiedon määrän kasvaessa aloin ymmärtämään miten nesteyttävä öljynerotin todellisuudessa toimii. Myös mittaustulosten tulkinta helpottui ja niistä saatavan hyödyn määrä kasvoi.

Voinkin todeta, että tämän työn tekeminen on ollut minulle todella tarpeellinen ja se on avannut minulle täysin uudenlaisen lähestymistavan nesteyttävän öljynerottimen suunnittelutyöhön.

Täytyy kuitenkin pitää mielessä, että olen koonnut tähän työhön vain murto-osan saatavilla olevasta informaatiosta. Toivon kuitenkin, että tästä työstä olisi hyötyä kaikille nesteyttävän öljynerottimen kehitystyössä Parkerilla mukana oleville henkilöille.

Toivoisinkin, että tätä työtä voitaisiin jatkossa käyttää Parkerilla eräänlaisena opetusmateriaalina, kun puhutaan nesteyttävän öljynerottimen kehitys-, myynti- ja markkinointityöstä.

LÄHDELUETTELO

Kirjalliset lähteet

1. Teemu Halkola, Nesteyttävän öljynerottimen tehokkuuden tutkiminen, Diplomityö. Tampereen Teknillinen korkeakoulu.Konetekniikan osasto. Tampere 1994.123 s.
2. Airila – Hallikainen – Kääpä – Laurila , Kompressorikirja, Korpivaara Oy Hydor Ab, Helsinki, 1983, 203 s.
3. Seppo Kivioja, Konetekniikka (5.painos), Yliopistokustannus, Helsinki, 2000, 180 s.
4. Kunttonen Marko, Uustuotteen valmistusprosessin tehostaminen, Insinööriyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikka, kone- ja laiteautomaatio, 2008
5. Parker Hannifin Oy:n sisäiset esitykset ja kuvamateriaali
6. Parker Hannifin Oy:n tuotekehityslaboratorion mittauspöytäkirjat
7. ISO / DIS 8573-2 1993. Compressed air for general use – Part 2: Test methods for oil content. International Organization for Standardization. 23 s.
8. ISO 4003 1977. Permeable sintered metal materials – determination of bubble test pore size. International Organization for Standardization. 3s

Sähköiset lähteet

9. Tamrotor kompressorit Oy, [www-sivu],[viitattu 21.10.08],
http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Suodatus_ja_kuivaus.pdf
10. Tamrotor kompressorit Oy, [www-sivu],[viitattu 23.10.08],
<http://www.compressor.fi>
11. Parker Hannifin Corporation,[www-sivu],[viitattu 23.10.08]
<http://www.parker.com>
12. Tecalemit Oy, [www-sivu],[viitattu 27.11.08]
http://www.tecalemit.fi/layout/dokumentit/1189595609-Sarjat_08_18_ja_28.pdf
13. Domnick Hunter, [www-sivu],[viitattu 27.10.08]
http://www.domnickhunter.com/tech_Centre.asp?chapter=1§ion=17_Making-Filters-More-Efficient_13.htm&getIndex=false
14. Afssociety,[www-sivu],[viitattu 27.10.08]
<http://www.afssociety.org/images/particlecapture.gif>