



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

EPÄKESKORUUVIPUMPPUJEN KÄYTETTÄVYYDEN OPTIMOINTI

Joonas Kääriäinen

Opinnäytetyö
Marraskuu 2017
Konetekniikka
Tuotantotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotantotekniikka

KÄÄRIÄINEN, JOONAS:

Epäkeskoruuvipumppujen käytettävyyden optimointi

Opinnäytetyö 70 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Marraskuu 2017

Tämä opinnäytetyö on tehty UPM Kymille. Työn aiheena ovat Kymen paperitehtaalla sijaitsevat käytettävyydeltään kriittisimmät epäkeskoruuvipumput ja niiden käytön optimointi. Epäkeskoruuvipumput ovat aiheuttaneet Kymen kunnossapidolle suuria kustannuksia, minkä takia pumppujen kunnossapitokustannuksia on tarkoitus laskea ja pidentää pumppujen käyttöikä.

Tutkimuksen aluksi määriteltiin erilaiset syyt pumppujen eri osien rikkoutumisille. Näiden määrittelemisen jälkeen päädyttiin siihen tulokseen, että pumput rikkoutuvat staattoreiden kemiallisen turpoamisen seurauksena, sillä useimmiten staattorista peräisin olevia kumipaloja on löydetty pumppujen jälkeisistä sihdeistä. Kemiallisen turpoamisen aiheuttamat laiterikot suljettiin pois suorittamalla materiaalitestit staattoreiden kumimateriaaleille yhteistyössä Masino Oy:n kanssa.

Materiaalitestit suoritettiin kahdeksalla materiaalitetillä, joissa jokaisessa setissä oli kuutta eri kumimateriaalia. Nämä kumimateriaalit upotettiin pumpattaviin aineisiin ja laitettiin lämpökaappiin kahteen eri lämpötilaan kahdeksi viikoksi. Kahden viikon jälkeen kolme materiaalitetiä upotettiin vielä happoon ja lipeään, minkä jälkeen ne analysoitiin Masinon toimipisteellä Vantaalla. Kumimateriaalien analysointia varten koepaloista mitattiin kovuus, paino ja ulkomitat ennen materiaalitestejä ja näiden jälkeen. Mittaustulosten avulla pystyttiin analysoimaan ja määrittämään kohteeseen parhaiten sopiva staattorimateriaali kemiallista turpoamista vastaan.

Staattorimateriaalin valinnassa hyödynnettiin pumpputoimittaja Masinon ennakkotapauksia ja -kokemuksia sekä kumien analyysiä. Tutkimuksen avulla löydettiin oikea kumimateriaali tutkittuihin staattoreihin ja valittu materiaali vaihdettiin tehtaan SAP-järjestelmään kohteen laitekortille. Staattoreiden kumimateriaalien vaihdon tulisi tulevaisuudessa pidentää pumppujen käyttöikä ja pienentää niiden kunnossapitokustannuksia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli myös löytää kehitysehdotuksia epäkeskoruuvipumppujen käytettävyyden optimoimiseksi. Kehitysehdotukset koottiin kunnossapidon käyttöön ja niiden pohjalta kunnossapito voi valita, mitä kehitysehdotuksia se lähtee toteuttamaan.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

KÄÄRIÄINEN, JOONAS:
Usage Optimization of Progressive Cavity Pumps

Bachelor's thesis 70 pages, appendices 15 pages
November 2017

This thesis was made for UPM Kymi. As theme of the thesis are the most critical Progressive Cavity Pumps at UPM Kymi and the usage optimisation of the pumps. Progressive cavity pumps have caused many troubles and the costs of pump maintenance has increased. The main goal was to reduce the maintenance costs and to extend the operating life of the progressive cavity pumps in Paper machine 8 Optisizer-station, C3 Opticoat-station and in sieving containers.

The research started by defining the main causes of different fragmentations in the pumps. Defining these causes helped to find the main reason for fragmentation in the pumps of UPM Kymi. The most significant problem was that the stator contained wrong stator rubber material. Wrong rubber material causes chemical swelling which leads to breakage of the stator. Material tests which were done in Vantaa at Masino Ltd. provided a solution to this problem.

The pump supplier Masino delivered eight sets of material and each set contained six different rubber materials. These rubber materials were sunk into the liquids pumped at the UPM facility and placed in a heating chamber set to two different temperatures for two weeks. After two weeks some of the rubber materials were steeped in lye and in acid for one day. After the material test, the rubber materials were analyzed at Masino Ltd:s office at Vantaa. The rubber materials were measured before and after the test, in order to analyze them. The measured values were mass, hardness, diameter and thickness. These measurements were combined with each other, which made it possible to select the right stator rubber material for each liquid type.

The right rubber material was chosen on basis of the material tests and the experience that the pump supplier Masino had gained earlier in this context. The right rubber material was added to the SAP enterprise system and the material change should help to reduce the maintenance costs and extend the operating life.

One further goal for this study was to develop the maintenance of the pump units. The development ideas were listed in the end of the work and UPM Kymi can choose which developments they want to carry out to optimise the usage of the pumps.

Key words: progressive cavity pump, stator, rotor, material test, rubber material

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	EPÄKESKORUUVIPUMPPU	7
2.1	Yleistä	7
2.2	Kokoonpano ja toiminta.....	9
2.3	Staattori	10
2.4	Roottori	14
2.5	Ensiöakseli, toisioakseli & nivelliitokset.....	15
3	EPÄKESKORUUVIPUMPPUJEN RIKKOUTUMINEN.....	18
3.1	Staattorin rikkoutuminen	18
3.1.1	Kuivakäynti	18
3.1.2	Kemiallinen rikkoutuminen	19
3.1.3	Mekaaninen rikkoutuminen	21
3.2	Roottorin rikkoutuminen.....	24
3.2.1	Kemiallinen rikkoutuminen	24
3.2.2	Mekaaninen rikkoutuminen	25
3.3	Toisioakselin ja nivelosien rikkoutuminen	28
4	TUTKITTAVAT KOHTEET JA STAATTORIMATERIAALIT.....	30
4.1	Tutkittavat kohteet	30
4.2	Staattorin kumimateriaalin valinta.....	32
4.3	Tutkittavat kumimateriaalit.....	33
4.3.1	NBR	33
4.3.2	EPDM.....	34
4.3.3	Hypalon	34
4.3.4	Viton.....	35
4.3.5	Butyyli.....	35
4.3.6	Alldur	36
4.4	Kumimateriaalien vertailu kirjallisuusarvoilla	36
4.4.1	Paperikone 8 konekierto.....	37
4.4.2	Päällystysasema C3 konekierto.....	38
4.4.3	Sihtaussäiliöt	38
4.5	PK8 ja C3 pesukierto	39
4.5.1	Kumimateriaalien hapon, lipeän ja veden kesto	40
5	MATERIAALITESTI	41
5.1	Mittausjärjestelyt	41
5.2	Mittaukset ja mittaustulokset	44
5.2.1	Konekierto PK8.....	45

5.2.2	Konekierto C3	46
5.2.3	Sihtaussäiliöt	47
6	KEHITYSEHDOTUKSET	49
7	POHDINTA.....	52
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET	55
	Liite 1. Tutkittavat pumput ja pumpattavat aineet.....	55
	Liite 2. Mittauspöytäkirja PK8 konekierto	58
	Liite 3. Mittauspöytäkirja C3 konekierto	60
	Liite 4. Mittauspöytäkirja Sihtaussäiliö 1	61
	Liite 5. Mittauspöytäkirja sihtaussäiliö 2	62
	Liite 6. Mittauspöytäkirja sihtaussäiliö 3	63
	Liite 7. Mittauspöytäkirja sihtaussäiliö 4	64
	Liite 8. Mittauspöytäkirja sihtaussäiliö 5	65
	Liite 9. Kumimateriaalien muutos PK8.....	66
	Liite 10. Kumimateriaalien muutos C3	67
	Liite 11. Kumimateriaalien muutos sihtaussäiliöt 1-5.....	68

1 JOHDANTO

UPM Kymi on Kouvolan Kuusankoskella sijaitseva paperitehdas. Tehdas kuuluu UPM Paper Ena liiketoiminta-alueeseen, joka on maailman johtava graafisten papereiden valmistaja. UPM Paper Enaan kuuluu yhteensä 15 tehdasta, joissa on yhteensä noin 8000 työntekijää. UPM Kymin paperitehdas valmistaa päällystettyä ja päällystämätöntä hienopaperia, joita käytetään mm. kirjoissa, aikakauslehdissä, A4-arkeissa ja mainospainotuotteissa. (UPM 2017.)

Paperinvalmistusprosessissa käytetään useita eri kuituja ja kemiallisia aineita, jotka antavat paperille erilaisia tarvittavia ominaisuuksia. Pelkästään päällysteenvalmistuslaitoksessa tarvitaan yhdessä paperitehtaassa jopa 50-100 erilaista pumppua, riippuen pumpattavasta aineesta ja prosessin vaatimuksista. Yleisin käytetty pumpputyyppejä on epäkeskoruuvipumppu. (Knowpap 2016.)

Epäkeskoruuvipumput ovat pakkosyöttöpumppuja, joiden tuotto on eri vastapaineilla lineaarinen. Pumpun tasaisesta ja pulssittomasta virtauksesta johtuen, se on usein ainoa vaihtoehto eri lietteiden pumppaukseen. (Knowpap 2016; Prang, Brennan, Czarnecki & Lippincott 2008, 3.99.)

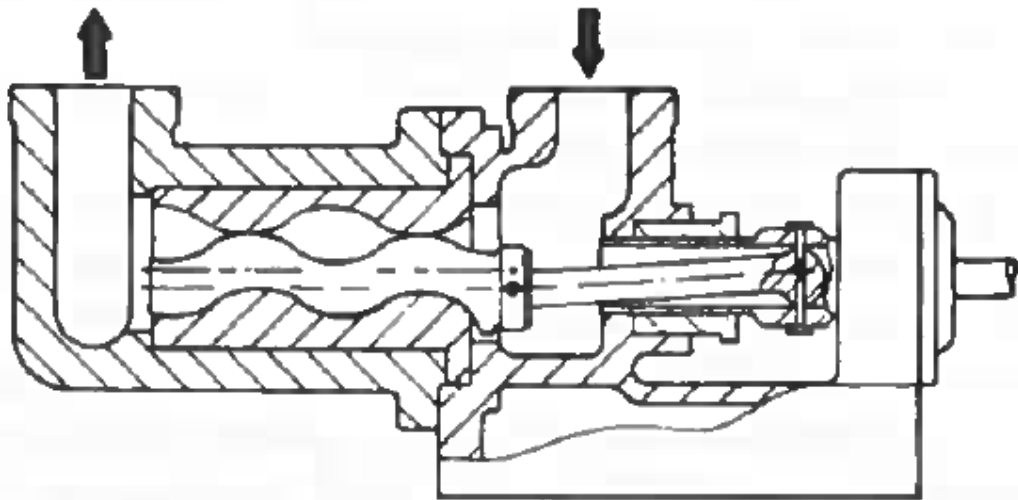
Opinnäytetyön aiheena on epäkeskoruuvipumppujen käytettävyyden optimointi. Tehdas on kärsinyt pitkään pumppujen lyhyestä käyttöiästä ja niiden kunnossapitokustannukset ovat kymmeniä tuhansia euroja vuodessa. Rikkoutumiset johtuvat pääasiassa staattorin pettämisestä, mikä voi pahimmassa tapauksessa johtaa paperikoneen alasajoon, jos kohteessa ei ole mahdollista vaihtaa varapumpulle.

Työn tarkoituksena on määrittää optimaalisin staattorimateriaali tutkittavien pumppujen käyttökohteisiin, jotta staattorin käyttöikä saataisiin pidennettyä ja staattoreiden kemiallinen kestävyys saataisiin parhaaksi mahdolliseksi. Tarkasteltavat pumput on rajattu kriittisimpiin paikkoihin, jotka ovat paperikone 8:n ja päällystysasema C3:n konekierrot sekä C3:lla sijaitsevien pigmenttien sihtaussäiliöt.

2 EPÄKESKORUUVIPUMPPU

2.1 Yleistä

Epäkeskoruuvipumput kuuluvat syrjäytyspumppuihin, jossa virtaus pumpun elementtien läpi tapahtuu aksiaalisesti. Pumpussa neste kuljetetaan ruuvikierteiden välissä roottorin läpi ja se syrjäytyy aksiaalisesti, kun kierteet pyörivät ja ovat hammaskosketuksessa keskenään (kuva 1). Kaikissa muissa pyörivissä ja edestakaisin liikkuvissa pumpeissa neste pakotetaan kulkemaan ympyrää, joten näin ruuvipumpulla on uniikki pitkittäissuuntainen virtauskuvio ja alhainen sisäinen nopeus. Tämä antaa epäkeskoruuvipumpulle etuja niihin sovelluksiin, joissa nesteen ravistus tai vaahdotus ei ole toivottavaa. (Prang ym. 2008, 3.99)



Kuva 1 Ruuvipumppu, jossa nuolet osoittavat sisään- ja ulosvirtauksen suunnan (Prang ym. 2008, 3.100.)

Epäkeskoruuvipumpuilla voidaan pumpata erilaisia nesteitä hyvin juoksevista erittäin paksuihin. Tyypilliset kohteet ruuvipumpuille löytyvät veden ja jäteveden käsittelylaitoksista, sellutehtaista, paperitehtaista ja kemianteollisuudesta. Epäkeskoruuvipumput ovat erityisen tehokkaita esimerkiksi pastojen ja lisäaineiden pumppaamisessa. Suurena etuna pumpulle on sen toiminta-alue. Pumpun paine-ero voi olla 6 - 40 baria ja virtaus jopa yli 300 m³/h. Teoriassa epäkeskoruuvipumppu voi nostaa painetta äärettömästi, mutta sen

osat eivät kestä liian korkeaa painetta. (Nesbit 2006, 36; Prang ym. 2008, 3.99; Valkki 2017.)

Vaikka epäkeskoruuvipumpun toiminta-alue on laaja, ei sitä tulisi kuitenkaan käyttää niin, että hyödynnettäisiin sen maksiminostokorkeutta nesteitä pumpatessa. Pumpun kuluminen on välttämätöntä, joka tarkoittaa sitä, että ajan myötä maksimi-imukyky pienenee. Tällä tarkoitetaan sitä, että pumppu menettää sen täyttymiskykynsä, joka johtaa myöhemmin pumppaustoiminnan häviämiseen. (Nesbit 2006, 144.)

Epäkeskoruuvipumppujen pyörivien osien alhaisen inertian takia ne pystyvät toimimaan korkeammilla nopeuksilla kuin muut pyörivät tai edestakaisin liikkuvat syrjäytyspumput. Ruuvipumput, kuten muutkin positiivisesti pyörivät syrjäytyspumput, ovat itsesyöttäviä pumppuja ja niillä on tunnusomainen syöttövirtaus, joka riippuu paineesta. Paineen luo pumpattavan nesteen riittävä viskositeetti, roottorin ja staattorin välinen puristustiukkuus ja pumppuelementtien pituus. (Prang ym. 2008, 3.99; Nesbit 2006, 35)

Kuten kaikilla pumpuilla, myös epäkeskoruuvipumpuilla on omat vahvuudet ja heikkoudet. Nämä täytyy ottaa aina huomioon oikeaa pumpputyyppiä valitessa. Prang, Brennan, Czarnecki ja Lippincott (2008, 3.100) esittävät epäkeskoruuvipumppujen edut ja haitat seuraavasti:

Edut

- laaja virtauksen ja paineen käyttöasteikko
- laajat käyttömahdollisuudet erilaisille nesteille ja viskositeeteille
- hyvä suorituskyky korkeilla nopeuksilla
- alhaiset sisäiset kiertonopeudet
- hyvä imupaine
- korkea toleranssi liukenemattomalle ilmalle ja muille kaasuille
- minimaalinen sekoitus ja vaahtoaminen
- alhainen mekaaninen värähtely, pulssivapaa virtaus ja hiljainen toiminta
- karkea ja kompakti laite, joka on helppo asentaa ja ylläpitää
- korkea toleranssi epäpuhtauksille verrattuna muihin kiertopumppuihin.

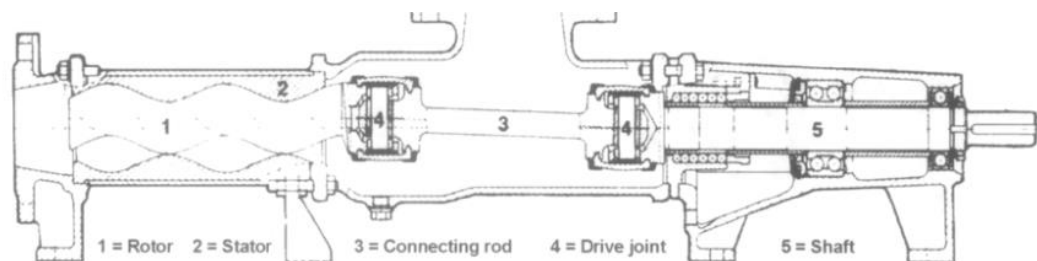
Haitat

- suorituskyky on riippuvainen viskositeetista, joten se on herkkä viskositeetin vaihteluille

- kuivakäynnille altistuminen aiheuttaa pumpun rikkoutumisen
- korkean paineen luominen vaatii pitkiä pumppuelementtejä.

2.2 Kokoonpano ja toiminta

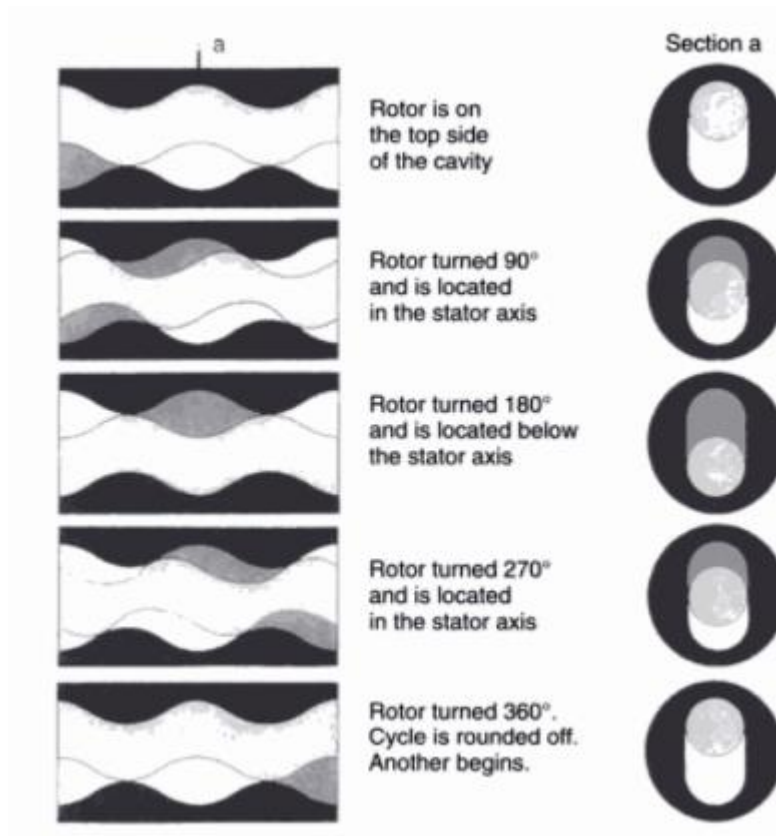
Epäkeskoruuvipumpulla on kaksi pääelementtiä: roottori (1) ja staattori (2). Tämän lisäksi pumppuun kuuluu toisioakseli (3), 2kpl nivelosasarjoja (4) ja käyttöakseli (5) (kuva 2). Roottori on asennettu sisäpuolelta kumipintaisen staattorin sisään, jonka pinta on kimmoisa ja sen kierteen nousu on tuplasti pidempi kuin sisällä pyörivän roottorin. Nämä kaksi asiaa mahdollistavat tiivistettyjen onteloiden muodostumisen. (Nesbit 2008, 35)



Kuva 2 epäkeskoruuvipumpun poikkileikkauskuva ja sen osat (Nesbit 2008, 35.)

Epäkeskoruuvipumpun toiminta perustuu staattorin ja roottorin väliin muodostuviin onteloihin, jotka muodostavat roottorin hampaiden limittyminen, sekä tiukka välyys staattorin ja roottorin välillä. Staattori luo yhden tai useamman liikkuvan tiivisteeseen pumpun imu- ja painepuolen välille. Nämä peräkkäiset tiivistykset luovat ruuvipumpulle mahdollisuuden positiiviseen paineeseen ja onnistunut tiivistys luo suljetut ontelot, jotka liikuttavat nestettä pumpun imupuolelta painepuolelle. (Nesbit 2006, 35; Prang ym. 2008, 3.100.)

Kuvassa 3 havainnollistetaan roottorin pyörimistä staattorin sisällä, kun staattori on kiinnitetty ja roottori pyörii myötäpäivään. Kuvasta nähdään, että roottorin pyöriessä staattorin sisällä, se limittyy vuorotellen staattorin kierteiden kanssa muodostaen onteloita, jota pitkin pumpattava neste liikkuu.



Kuva 3 Havainnollistava kuva pumpun toiminnasta (Cholet 1997, 8.)

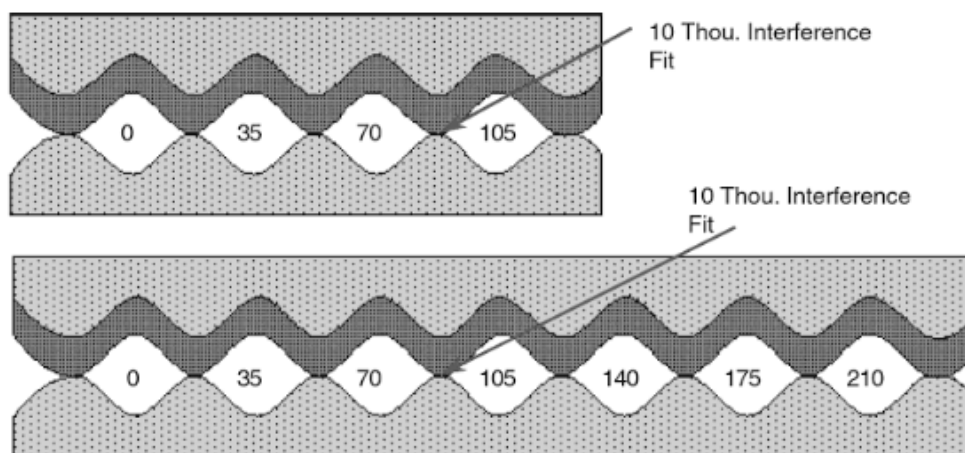
2.3 Staattori

Kuten aiemmin mainittiin, staattori (kuva 4) on yksi epäkeskoruuvipumpun pääelementeistä. Staattorin sisään asetetaan pyörivä roottori ja sen päätehtävä on kuljettaa pumpattavaa ainetta onteloiden välityksellä imupuolelta purkautumispuolelle. Staattorin harjakset toimivat tiivisteinä, ettei pumpattava aine päädy takaisin imusuuntaan, jolloin se mahdollistaa pumpun käytön ilman takaiskuventtiiliä. Roottorin pyöriessä staattorin sisällä yksi staattorin ontelo aukeaa, kun toinen ontelo takanapäin sulkeutuu. (Nesbit 2006, 35; Cholet 1997, 10.)



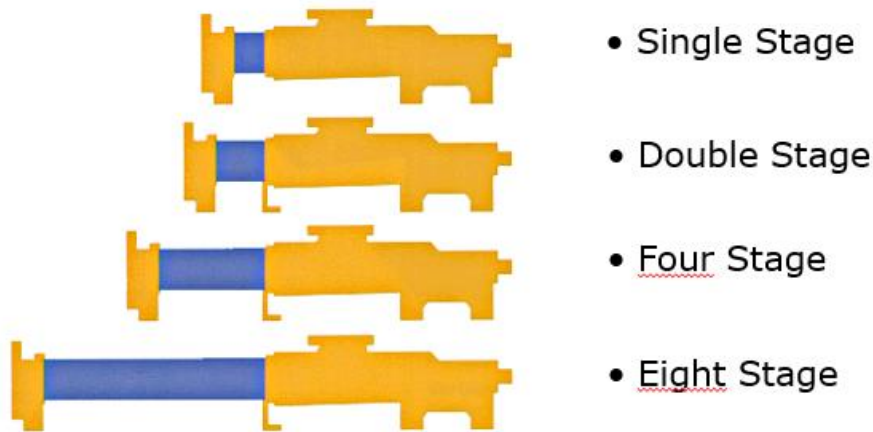
Kuva 4 Staattori

Staattorin maksimipaineentuohtokyvyn luovat staattorin ontelot. Maksimipaineen luomiseen vaikuttavat onteloiden lukumäärä, staattorin ja roottorin puristustiukkuus ja pumpattavan nesteen ominaisuudet. Kuvassa 5 on esitettyä kaksi staattoria, joissa puristustiukkuus on sama, mutta toisessa onteloiden määrä on suurempi. Kuvasta huomataan, että paine kasvaa staattorin jokaisen ontelon kohdalla 2.40 bar (35 PSI), mikä on suunnilleen jokaisen ontelon paine-eron tuottoikyky. (Lyons, Plisga & Lorenz 2016, 234-235.)



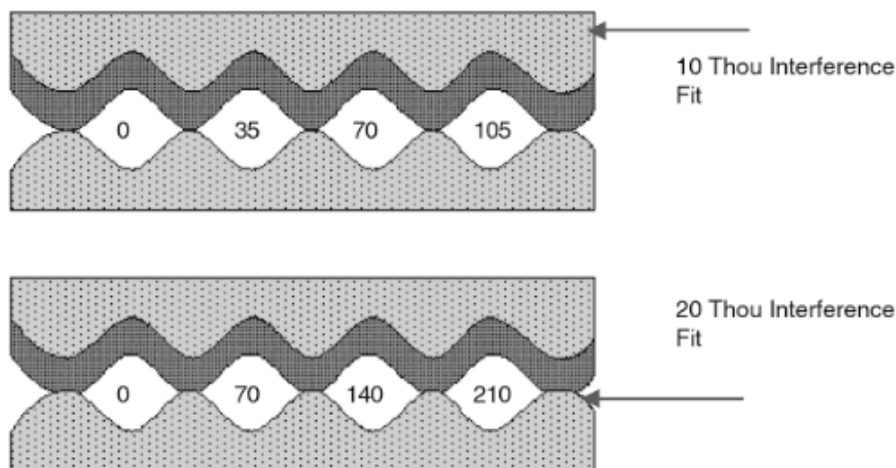
Kuva 5 Staattorin paineentuohton kasvu onteloiden lukumäärän kasvaessa. (Lyons ym. 2016. 235.)

Staattoreiden pituudet luokitellaan vaiheiden mukaan (kuva 6). Näissä vaiheissa puristustiukkuus on sama, mutta onteloiden lukumäärä on eri. (Colfax Fluid Handling: Technology, Function & Design. 2016.)



Kuva 6 Eri vaiheiset staattorit (Colfax 2016.)

Staattorin paineeseen voidaan vaikuttaa myös puristustiukkuudella. Kuva 7 esittää staattorin paineentuoton kasvua, kun staattoreiden onteloiden lukumäärä on sama, mutta puristustiukkuus on toisessa korkeampi. Ylemmässä staattorissa puristustiukkuus on 10 ja alemmassa 20. Kuvasta nähdään, että puristustiukkuuden kasvaessa, staattorin paine kasvaa jokaisen ontelon kohdalla 2.40 bar (35 PSI). (Lyons ym. 2016, 234-235.)



Kuva 7 Staattorin paineentuoton kasvu, kun puristustiukkuus on eri.(Lyons ym. 2016. 235.)

Staattorilla paineentuottokyky riippuu myös staattorin profiilista. Staattoriprofiileita on saatavissa 1:2:na ja 2:3:na. 1:2 profiilisella staattorilla on yksipäinen roottori, joka yhdistyy staattorin kanssa. Tällä profiililla on sileä ulkopinta ja sen kumin paksuus vaihtelee. 2:3 profiilisessa staattorissa 2-päinen roottori on yhdistetty staattoriin, jonka elastomeerin paksuus on vakio johtuen spiraalista ulko- ja sisäpinnasta. Kuvassa 8 on esitetty staattorin

onteloiden paineentuotto-kyky, kun se on riippuvainen staattorin profiilista. (Colfax Fluid Handling: Technology, Function & Design. 2016; flowrox –epäkeskoruuvipumput, n.d.)

Standardimallinen 1:2 staattori sopii parhaiten paksuille aineille, sillä tällä on laajempi avautuminen staattorin onteloissa. Staattori, joka on 2:3 –mallinen, on taas taloudellimpi, sillä sen virtaus kierrosta kohti on suurempi verrattuna standardi 1:2 profiiliin. 2:3 profiilinen staattori pystyy tuottamaan myös enemmän painetta pienemmällä puristuksella. (Smith 2009.)

Stages	1	2	4	
Standard walled (1/2 lobe)	6 bar	12 bar	24 bar	
Equal walled (1/2 lobe)	12 bar	24 bar	48 bar	
Standard walled (2/3 lobe)	8 bar	16 bar		

Kuva 8 Onteloiden paineentuotto-kyky, kun se on riippuvainen staattorin profiilista (Colfax 2016.)

Staattorin koostumus on hyvin yksinkertainen. Sen ulkokuori on terästä, ruostumatonta terästä tai alumiinia. Sisäpuoli on vuorattu joustavalla kumilla, joka on kierteytetty. Staattorin kumimateriaaleja ovat mm. Perbunan, Alldur, Hypalon ja Viton, joiden valinta riippuu pumpattavan aineen ominaisuuksista ja pumppausolosuhteista. (Smith, D. 2009.)

Ulkokuori staattorissa määräytyy sen mukaan, miten staattoria käsitellään ulkopuolelta. Ulkopuolisesti näitä käsitellään tavallisimmin vain pesemällä, mutta on tärkeää määrittää mitä kemiallisia aineita niiden pesuissa käytetään. (Smith, D. 2009.)

2.4 Roottori

Roottori on osa, joka pyörii epäkeskoisesti staattorin sisällä (kuva 9). Roottori on komponentti, joka luo yhdessä staattorin kanssa suljetut ontelot ja pumpun paineen. (Prang ym. 2008, 3.99)

Roottori valmistetaan sorvaamalla se elliptiseen tai pyöreään muotoon, riippuen tilaajan vaatimuksista. Elliptinen roottori mahdollistaa paremman pumppaustehon pienemmillä kierroksilla, koska tässä on ylimääräinen harjas. (Flowrox n.d.)



Kuva 9 Roottori

Roottorin materiaaleina käytetään ruostumatonta terästä, työkaluterästä tai dupleksiterästä. Ne pinnoitetaan ja käsitellään esimerkiksi kromilla tai keraamilla, kohteen vaatimuksen mukaan. Pinnoitteen valintaan vaikuttavat pumpattavan aineen pH, viskositeetti ja lämpötila. (Valkki 2017.)

Roottorin mitoittamisessa täytyy huomioida pumpattavien aineiden lämpötila ja lämpötilanvaihtelut. Tämä johtuu teräksen lämpölaajenemiskertoimesta, joka vaatii roottorin mitoittamisessa erityistoimenpiteitä. (Stegmann 1999.)

Erityistoimenpiteenä on roottorin alimitoittaminen korkeiden lämpötilojen takia. Tällä tarkoitetaan sitä, että pumpun roottori sorvataan pienemmäksi sen mukaan, kuinka kuuma lämpötilassa staattoria ja roottoria käytetään. Alimitoitus on teoriassa tarpeellinen 45 °C ylöspäin, mutta tämä lämpötila ei aina vastaa pumpattavan aineen lämpötilaa. Jos

lämpötila vaihtelee, ei alimitoitus aina ole välttämätöntä, vaan se on tilanteesta riippuvainen. (Stegmann 1999; Valkki 2017.)

Stegmann (1999) on listannut tiedot, jotka tarvitaan roottorin alimitoittamista varten:

- Pumpun normaali käyttölämpötila
- Pumpun alin ja korkein käyttölämpötila
- Onko pumppu jatkuvalla vai jaksottaisella käytöllä
- Pumpun imupaine
- Pumpun paine-ero.

Taulukossa 1 on esitetty, milloin roottori on alimitoitettava ja se on tehty jatkuvassa käytössä olevalle pumpulle. Roottoreiden mitoitusluokat ovat toimittajakohtaisia, jonka takia he eivät voi luovuttaa tarkkaa mittaa siitä, kuinka paljon roottoria alimitoitetaan tietylle lämpötilalle.

TAULUKKO 1. (Stegmann 1999.)

Lämpötila-alue °C	Alimitoitusluokka	Tyyppi koodi	
		Staattori standardi seinämällä	Staattori yhtäläisellä seinämällä
> 10 – ≤ 45	Normaali	-	-
> 45 – ≤ 75	Kohtalainen	N	D
> 75 – ≤ 105	Keskisuuri	M	E
> 105 – ≤ 135	Korkea	H	F
> -10 – ≤ 10	Alhainen	T	R

2.5 Ensioakseli, toisioakseli & nivelliitokset

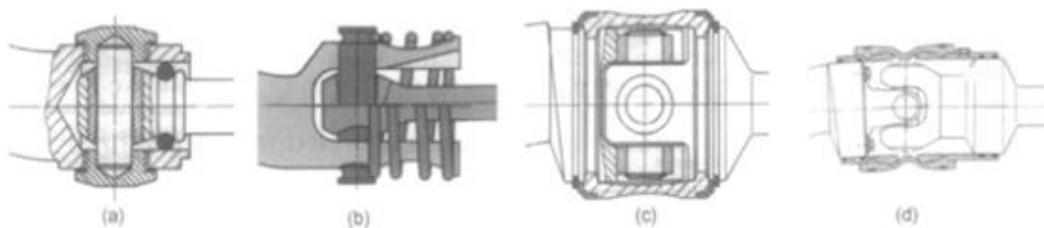
Pumpun voimansiirron luo toisioakseli ja sen nivelliitokset, jotka vaihtelevat käyttöolosuhteiden mukaan (kuva 10). Nivelliitoksissa käytetään Hooken liitosta, ja se tulee toisioakselin molempiin päihin. Kuvassa 11 on esitettyä erilaiset liitokset. Ensimmäinen liitos (a) on yksinkertainen tappiliitos, joka on tarkoitettu pienille pumpuille, joissa vääntömomentin tarve on pieni. Toinen liitos (b) on avoin versio ensimmäisestä liitoksesta. Tätä

liitosta käytetään pienissä ja hygieenisissä pumpuissa, joissa on tarpeellista pystyä puhdistamaan pumpun kaikki osat perusteellisesti. Kolmas (c) ja neljäs (d) liitos näyttävät kaksi erilaista lähestymistapaa Hooken liitokseen. Näissä on ristiliitos, joka mahdollistaa kaksitukisen pinnan molemmille puolille liitosta. (Nesbit 2008, 35)

Nämä neljä liitosta ovat yleisimmät liitokset, jotka ovat sopivia kaikenkokoisille pumpuille ja useimmille sovelluksille. Liitosten A, B, C ja D laakerointi tapahtuu joko neulatai liukulaakerilla ja niiden voiteluaine on tiivistetty joustavan ulkokuoren avulla. (Nesbit 2008, 35)



Kuva 10 toisioakseli ja nivelosasarja

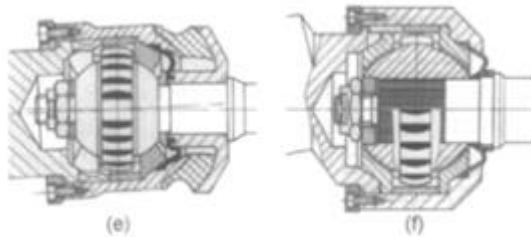


Kuva 11 Hooken liitokset (Nesbit 2008, 35)

Kaikkien nivelliitoksien heikkoutena on se, että niiden mahdollisuus jaksottaiseen kulmanopeuteen vaihtelee. Jos käytetään vain yhtä Hooken liitosta pyörimisvoiman siirtämiseen kahden akselin välillä, jotka eivät ole yhdensuuntaisia, toisioakseli ei pyöri vakionopeudella vaan sen nopeus vaihtelee jatkuvasti käyttöakselin pyöriessä. Tällöin toisioakseli voi välittää pyörimisnopeuden vaihtelut vääntöväärähtelynä käyttöakselille. Tämä

ongelma voidaan eliminoida käyttämällä kahta Hooken liitosta käyttöakselin molemmissa päissä. Tämä lähestymistapa on kuitenkin täysin mahdollinen vain silloin, kun molempien liitospäiden kulmat ovat identtisiä. Roottori on kuitenkin koteloitu joustavaan staattoriin, joten sillä on paljon vapautta paikoittumisensa suhteen. Tämä liitos ei siis takaa sitä, että kulmanopeuden vaikutukset pumppausprosessiin muuttuvat. (Nesbit 2008, 35)

Kulmanopeuden vaihtelun poistamiseen on myös toinen keino. Vaihtelu saadaan poistettua kokonaan kuvan 12 (e) tai (f) liitoksella. Näissä molemmat liitokset käyttävät kuperaa hammaspyörää, joka hammastaa sisähampaisen hammaspyörän kanssa. Hammastetun liitoksen käyttö hajauttaa kuormaa ja kulman liike on ohjattu kalottilaakerin avulla. (Nesbit 2008, 36)



Kuva 12 Hooken liitokset. (Nesbit 2008, 35)

Kolmantena vaihtoehtona kulmanopeuden vaihtelun poistamiseen on joustavan käyttöakselin käyttö. Joustava käyttöakseli tukee niin vääntö- kuin aksiaalikuormituksessa ja se on myös tarpeeksi ohut, jotta akseli voi taipua roottorin mukana. Joustava akseli pultataan tai kiinnitetään puristusliitoksella laakeripesän akselin ja roottorin väliin. Tämä menetelmän käyttöikä ei kuitenkaan ole pitkä, sillä joustava akseli kärsii jatkuvasta väsymisestä ja tämän takia se tarvitsee ajoitetun vaihtovälin. (Nesbit 2008, 36)

3 EPÄKESKORUUVIPUMPPUJEN RIKKOUTUMINEN

3.1 Staattorin rikkoutuminen

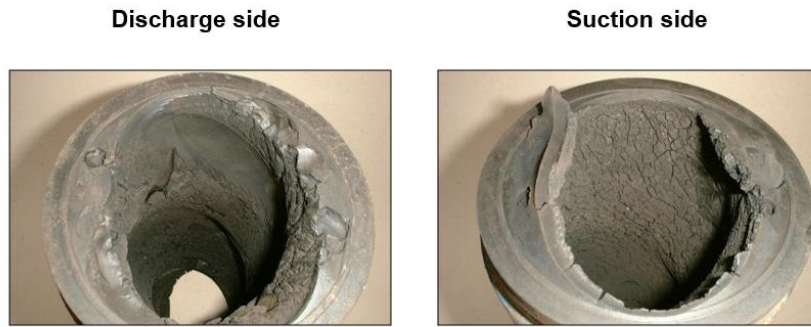
Staattori on epäkeskoruuvipumpun kuluvin osa, jonka vuoksi se joudutaan useimmin vaihtamaan. Staattorin vaurioitumisen syyt voidaan jakaa kolmeen ryhmään: kuivakäyntiin, kemialliseen rikkoutumiseen ja mekaaniseen rikkoutumiseen. (Valkki 2017.)

3.1.1 Kuivakäynti

Kuivakäynti on hyvin yleinen pumpun rikkoutumisen syy ja sen aiheuttajana ovat useimmiten inhimilliset virheet. Nämä ovat yleisimpiä tehdasseisokin jälkeen, kun joku venttiili jää avaamatta tai putkistoon on muodostunut tukos. Kun pumpua pyöritetään kuivana, roottori hankaa staattorin pintaa vasten, jolloin kitka staattorin ja roottorin välillä kasvaa, joka aiheuttaa staattorin vaurioitumisen. Tämä voidaan havaita lämpötilan nousuna ja paineen tippumisena. Kuivakäynnin tunnistena on kuvan 13 mukainen ”arpi”, joka on usein havaittavissa pumpun painepuolella. Jos staattori käy liian pitkään kuivana, löytyy vaurio myös staattorin imupuolelta (kuva 14). (Valkki 2017.)



Kuva 13 Kuivakäynnin aiheuttama vaurio painepuolella (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)



Extreme destruction caused by dry-running

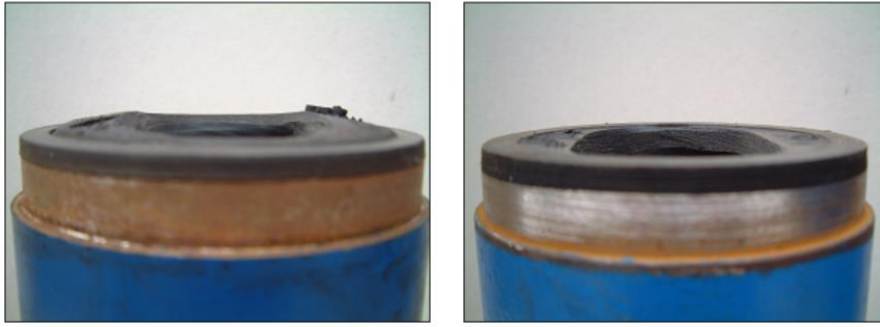
Kuva 14 Pitkän kuivakäynnin aiheuttama vaurio paine- ja imupuolella (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Kuivakäynnin estämiseksi on erilaisia vaihtoehtoja. Helpoin vaihtoehto on tuoton seuraminen, sillä jos tuottoa ei ole, käy staattori kuivana tai virtausmittari on hajonnut. Toisena vaihtoehtona on asentaa staattoriin kuivakäyntisuoja, mikä katkaisee pumpun pyörimisen lämpötilan noustessa. (Valkki 2017.)

3.1.2 Kemiallinen rikkoutuminen

Staattorin kumimateriaalin turpoaminen on staattoreiden kemiallisen vaikutuksen aiheuttama rikkoutumisen syy. Turpoaminen voidaan havaita, kun irrotettu staattori laitetaan pöydälle ja katsotaan sen päätyä sivusuunnasta (kuva 15). (Valkki 2017.)

Turpoaminen kertoo siitä, että staattorin kumimateriaali on kohteessa väärä. Tällöin staattorin kumimateriaali ei kestä kemiallisesti pumpattavaa ainetta ja sen ominaisuuksia. Ongelmaan paras ratkaisu on suorittaa materiaalitesti, jolloin voidaan etsiä kohteessa pumpattavalle aineelle paremmin sopiva kumimateriaali. (Valkki 2017.)



Kuva 15 Staattorin turpoaminen voidaan havaita katsomalla sen päätä sivusuunnasta (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Kun staattori turpoaa, alkaa staattoriin vaikuttaa myös mekaaninen kulutus. Kuvassa 16 on staattori, jonka harjas on irronnut. Tällaisessa tilanteessa kumimateriaali turpoaa, pehmenee ja alkaa puristua tiukasti roottorin ympärille. Tällöin pumppu altistuu voimakkaalle dynaamiselle kuormalle, jolloin roottori alkaa repiä palasia turvonneen ja pehmenneen staattorin harjaksista. Ratkaisuna myös tähän ongelmaan ovat materiaalitestit, joilla varmistetaan, onko staattorin kumimateriaali oikea kyseiseen kohteeseen. (Valkki 2017.)

Staattorin turpoaminen ja kiertyminen roottorin ympärille on yleisin opinnäytetyössä tarkasteltavien pumppujen rikkoutumisen syy. Tämä rikkoutuminen huomataan useimmiten siitä, että pumpun jälkeisistä sihteistä löytyy staattorin palasia ja pumpun tuotto on tipunut. (Salorinne 2017.)



Kuva 16 tilanne, jossa staattorin kumimateriaali on turvonnut ja roottori on repinyt staattorin harjaksen irti (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Toinen kemiallisen- ja dynaamisen kuorman yhteisvaikutuksen aiheuttama rikkoutuminen on lämpötilavaurio. Kuvan 17 tilanteessa staattorin harjakset ovat vaurioituneet, kun lämpötila staattorin sisällä on kasvanut. Staattorin turpoaminen aiheuttaa kuvan mukaisessa tilanteessa lämpötilan kasvun, koska roottori hankaa staattorin harjaksia vasten luoden kitkaa näiden välille. Kyseinen tilanne voidaan huomata seuraamalla värähtelymittauksen hertsejä, mutta lopullisena ratkaisuna ovat materiaalitestit kyseiseen kohteeseen. (Valkki 2017.)



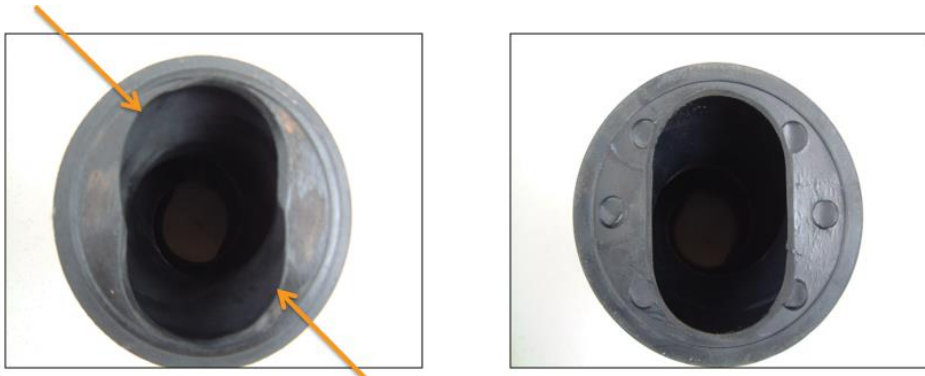
Kuva 17 Lämpötilavaurio, jonka on aiheuttanut dynaaminen ja kemiallinen vaurio (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

3.1.3 Mekaaninen rikkoutuminen

Staattorin mekaanisen rikkoutumisen aiheuttamia vaurioita on useita. Yksi yleinen vaurio on staattorin kumimateriaalin kuluminen painepuolen päädyistä (kuva 18). Tämä on helppo tarkistaa ensimmäisenä, kun huomataan pumpun paineen tippuvan, koska vaurio on nähtävissä staattorin painepuolen päästä. Tällöin otetaan staattori painepuolelta auki ja tarkastetaan, onko kuvan mukaista vauriota aiheutunut. Staattorin reiän tulisi olla symmetrisen ovaalin muotoinen. (Valkki 2017.)

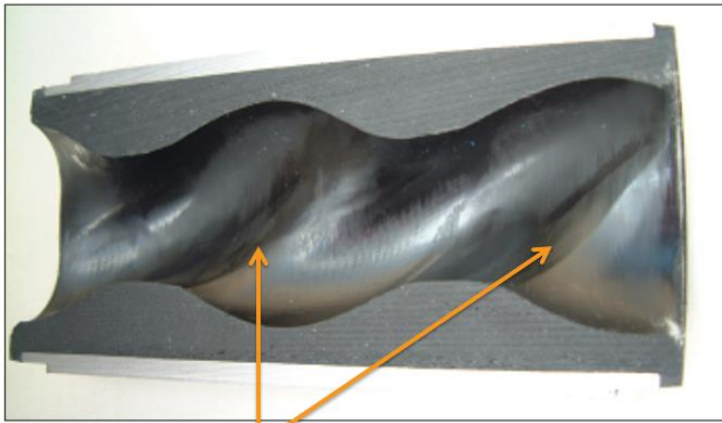
Tämä ongelma on UPM Kymin pumpeissa harvinainen, mutta mahdollinen. Etenkin päällystysaseman pumpeissa, joissa pumpataan päällystyspigmentejä, on mahdollista, että

staattori alkaa kulua mekaanisesti. Pigmentit ovat karkeaa ja hiovaa ainetta, joten ne kuluttavat staattoria merkittävästi. (Salorinne 2017.)



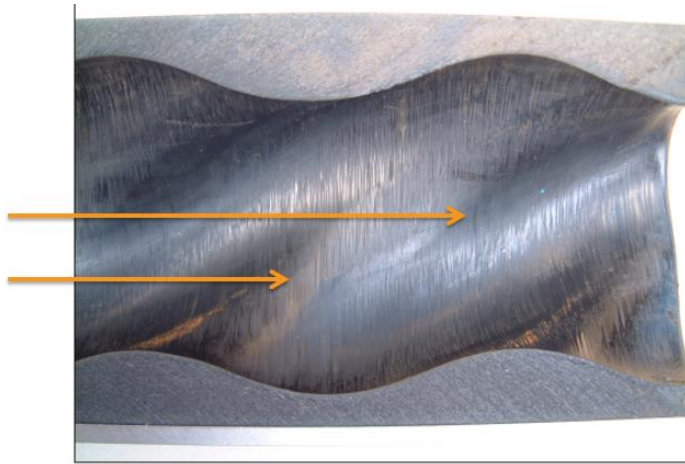
Kuva 18 Vasemmalla mekaanisesti kulunut staattori ja oikealla staattorin reikä alkuperäisessä muodossa (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Toisena mekaanisen kulumisen syynä ovat pumpattavassa nesteessä olevat abrasiiviset materiaalit (kuva 19). Staattorin harjakset ovat normaalisti pyöreitä, mutta kuvasta voidaan havaita, että staattorin harjakset ovat kuluneet ja hioutuneet sileiksi. Tämä kuluminen havaitaan staattorin tuoton tippumisena. (Valkki 2017.)



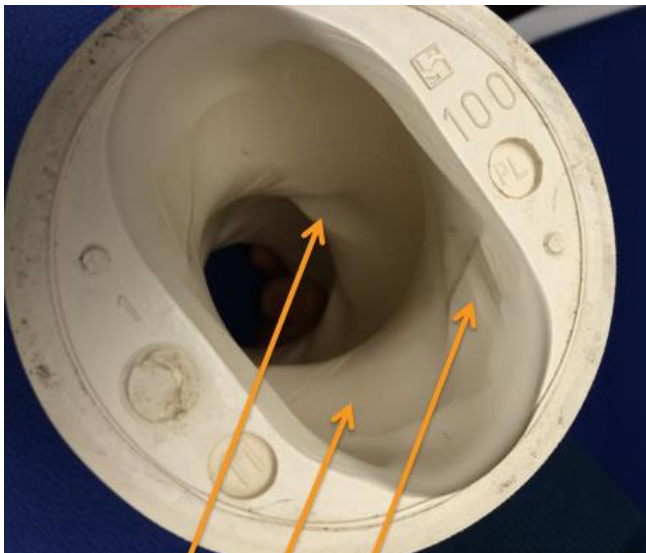
Kuva 19 Staattorin harjakset ovat kuluneet sileäksi (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Mekaaninen kuluminen voi kuluttaa staattorin pintaa myös kuvan 20 mukaisesti. Oheisen kaltaisessa staattorissa on pumpattu hyvin karkearakenteista ainetta, ja radiaalista viivoitusta on koko staattorin mitalla. (Valkki 2017.)



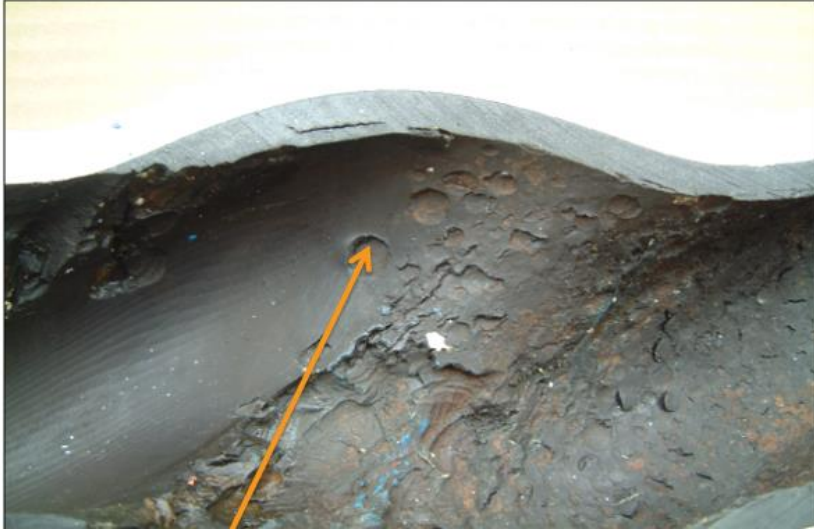
Kuva 20 Staattorissa havaittavissa viivoittumista ja harjas on kulunut sileäksi (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Takaisinpäinvirtaus aiheuttaa staattoreissa myös mekaanista kulumista (kuva 21). Tässä vauriossa nesteen virtaus häiriintyy staattorin kulumisen seurauksena. Normaalisissa kierroksissa pumppu pumppaa painepuolelta imupuolelle, mutta staattorin kulumisen seurauksena syntyy takaisinpäinvirtausta, jolloin neste menee kahteen suuntaan. Tämä nostaa huomattavasti staattorin lämpötilaa ja paine alkaa tippua. Vaurio on havaittavissa mittamalla staattorin pinnan lämpötila lasermittarilla. Jos staattorin pinnan lämpötila on noin 15 °C korkeampi kuin pumpattavan nesteen lämpötila, on staattori selvästi kulunut ja vaihto on tarpeellinen. (Valkki 2017.)



Kuva 21 Takaisinpäinvirtauksen ja abrasiivisen nesteen aiheuttamat vauriot (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Kavitaatio on yksi staattoreita hajottava tekijä (kuva 22). Tämän aiheuttavat nesteeseen päässeet ilmakuplat, jotka nousevat staattorin pintaa vasten ja puhkeavat kovan paineen alaisena aiheuttaen lommoja staattorin seinämään. Kavitaatio on kuitenkin hyvin harvinaista epäkeskoruuvipumpuissa. (Valkki 2017.)



Kuva 22 Kavitaation aiheuttamat vauriot ovat pyöreitä lommoja (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

3.2 Roottorin rikkoutuminen

Epäkeskoruuvipumpun korkkiruuvimainen komponentti roottori on staattorin tavoin hajoava ja vaihdettava komponentti. UPM Kymillä roottorin optimaalisin käyttöikä on määriteltä niin, että sillä voitaisiin ajaa vähintään kaksi staattoria loppuun. Rikkoutumisten syyt voidaan jakaa kemiallisiin- ja mekaanisiin syihin.

3.2.1 Kemiallinen rikkoutuminen

Roottorit ovat alttiita kemialliselle kulumiselle, mutta tähän on useimmiten pääsyynä pinnon pettäminen tai roottorin väärä materiaali. Kuvassa 23 on työkaluteräksestä valmistettu ja kromipinnoitettu roottori, joka on altistunut happamalle aineelle. (Valkki 2017.)

Kyseisessä roottorissa kromipinnoite on kulunut puhki, jonka takia pumpattava hapan aine on aiheuttanut voimakasta ruostumista kuluneissa kohdissa. Roottorin ruostuessa on välttämätöntä tarkastaa pumpattavan aineen pH ja roottorin materiaali sekä pinnoite. Kuvan 23 mukaisessa tilanteessa roottorimateriaali on vaihdettava haponkestäväksi teräkseksi. (Valkki 2017.)



Kuva 23 Ruosteelle altistunut roottori (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

3.2.2 Mekaaninen rikkoutuminen

Mekaaninen kulutus on yleistä myös roottoreissa. Mekaanista kulumista aiheuttaa useimmiten pumpuissa ajettava karkea materiaali. Karkeat materiaalit aiheuttavat ongelmia etenkin jäteveden käsittelylaitoksissa, jossa pumpataan hyvin abrasiivisia aineita.

Kuvassa 24 on 12 000 h toiminnassa ollut roottori, joka on jäteveden lietepumpusta. Tämä roottori on työkaluterästä, joka on pintakäsitelty kromilla. Roottorin pinnasta kromipinnoite on kulunut pois kuluttavan aineen pumppaamisen seurauksena. Kulumisen seurauksena roottori on mitoitettava, jotta tiedetään, onko komponentti enää uudelleen pinnoitettavissa. Jos roottorin mitat ovat vielä toleranssissa, voidaan se asentaa pinnoittamisen jälkeen takaisin pumppuun. (Valkki 2017.)



Kuva 24 Roottorin pinnoite kulunut puhki (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Kuvan 25 tilanteessa on tapahtunut mekaanista kulumista haponkestävästä teräksestä (SS316) valmistetulle roottorille. Roottori on kyseisessä tilanteessa kulunut vain harjaksesta, jonka takia on tarkastettava, onko pumpattavan aineen lämpötila muuttunut alkuperäisestä toimittajalle ilmoitetusta arvosta. Jos lämpötila on laskenut tai noussut alkuperäisestä, on mahdollista, että roottori on yli- tai alimitoitettu kyseiseen kohteeseen. (Valkki 2017.)



Kuva 25 Roottori kulunut harjaksesta (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Kuvassa 26 kuluminen on tapahtunut jäteveden käsittelylaitoksella pumpattavan kalsiumkarbonaatin vaikutuksesta. Pumpattava aine on sisältänyt suuren määrän hyvin abrasivista materiaalia, jonka takia ruostumattomasta teräksestä (SS304) valmistettu roottori on kauttaaltaan juovuttunut. (Valkki 2017.)

Roottorin päässä on huomattavissa olake, josta voidaan sormella kokeilemalla havaita, onko komponentti kulunut. Useassa tapauksessa tätä ei voi havaita paljaalla silmällä, jonka takia roottorin kuluminen täytyy tarkistaa käsin (kuva 27). Olake on 1-2 mm leveä ja se muodostuu pumpun imupuolen pätyyn, koska tässä päässä roottori ei kosketa loppupäässä staattoriin. (Valkki 2017.)



Kuva 26 Roottorin kuluminen erittäin karkean aineen vaikutuksesta (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)



Kuva 27 Pinnan kuluminen ei ole aina silmin nähtävissä, koska hienorakeiset aineet hiovat pinnan erittäin sileäksi (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

3.3 Toisioakselin ja nivelosien rikkoutuminen

Toisioakseli ja nivelosat ovat alttiita pääasiassa mekaaniselle kuormalle. Tässä kappalessa ei käydä läpi ensioakselin hajoamisia, sillä UPM Kymin pumpuissa käytetään mekaanisia akselitiivisteitä, joten ensioakselien hajoamiset ovat harvinaisia. Tähän on syynä se, että mekaanisissa tiivisteissä akselin tiivistys ei tapahdu akselin pintaa vasten. (Valkki 2017.)

Toisioakseli on pumpun herkin osa dynaamiselle kuormitukselle. Otetaan esimerkkitilanteena tukos putkessa, jolloin ruuvipumppu nostaa painetta teoriassa äärettömiin. Tällöin toisioakseli on ensimmäinen osa, joka antaa periksi ja pettää. Pumppua purkaessa toisioakseli on ensimmäinen osa, jonka suoruu tulisi tarkastaa. (Valkki 2017.)

Kuvassa 28 on toisioakseli, joka on vääntynyt noin 90°. Syitä tälle voi olla useita, mutta todennäköisimmät syyt ovat tukos putkistossa, suljettu venttiili, staattorin kova turpoaminen tai suuri vääntömomentti. (Valkki 2017.)



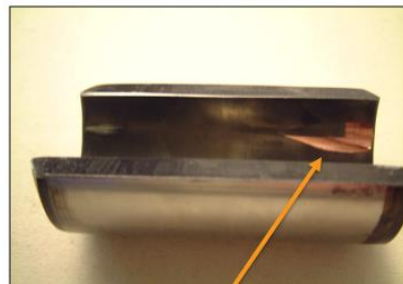
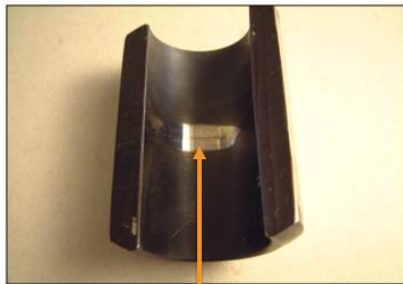
Kuva 28 Vääntynyt toisioakseli (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Kuvan 29 toisioakselissa vaurion on aiheuttanut metallinen vierasesine, joka on ajautunut yhdysmuhviin. Tämän seurauksena akselin voitelu on pettänyt roottoripuolelta, jonka seurauksena toisioakseli ja nivelosat ovat rikkoutuneet. (Valkki 2017.)



Kuva 29 Oikealla toisioakselin pää, joka on vaurioitunut muhviin ajautuneen vierasesineen johdosta (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis.)

Myös nivelosien liitospusla on altis mekaanisille voimille. Kuvassa 30 on esitetty halkaista pusla, joka on altistunut aksiaaliselle voimalle ja toinen vääntömomentille. (Valkki 2017.)



Kuva 30 Aksiaalisen voiman aiheuttama (vas.) ja vääntömomentin aiheuttama vaurio (oik.) (Colfax Fluid Handling: Wear/Damage Analysis)

4 TUTKITTAVAT KOHTEET JA STAATTORIMATERIAALIT

4.1 Tutkittavat kohteet

Oikean staattorin kumimateriaalin määrittämiseksi suoritettiin tutkittavien pumppujen staattoreiden kumeille materiaalitestiä. Tutkittavia pumppuja oli 18 kpl. Materiaalitestit suoritettiin kahdeksalla eri pumpattavalla aineella ja samaa ainetta pumppaavia pumppuja oli useampia (liite 1). Tutkittavat kohteet olivat paperikone 8:n Optisizer asemien 1 ja 2 konekiertopumput, C3:n Opticoat asemien 1 ja 2 konekiertopumput sekä C3 alueella sijaitsevien sihtausäiliöiden pumput.

Paperikone 8:n konekiertopumput ovat Allweilerin 2300 l/min pumppaavia epäkeskoruuvipumppuja, joita on kohteessa yhteensä neljä kappaletta (kuva 31). Nämä pumput pumpaavat Optisizer asemille 1 ja 2 pintaliimaa tai esipäälystettä. Pintaliimauksella saadaan lisättyä paperiin lujuutta ja pienennettyä sen imukykyä. Päälystyksellä vaikutetaan taas paperin vaaleuteen ja painettavuuteen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003. 274-276.)

Pumpattava neste liikkuu Optisizer asemille siten, että se lähtee varastosäiliöistä konesäiliöille 1 ja 2, josta pumpattava aine liikkuu kahden epäkeskoruuvipumpun pumppaamana painesihtien kautta Optisizer asemille 1 ja 2.



Kuva 31 PK8 Optisizer aseman pumppu

Päälystyskoneen C3 konekierto on hyvin samanlainen paperikone 8:n kierron kanssa. Päälystyskoneen C3 konekiertopumput ovat Allweilerin 7800 l/min pumppaavia pumppuja ja näitä oli tutkittavassa kohteessa neljä kappaletta (kuva 32). Päälystyskoneen konekierron epäkeskoruuvipumput pumppaavat pintapäälystettä Opticoat asemille 1 ja 2.

Pintapäälyste koostuu pigmenttien, sideaineiden ja lisäaineiden vesiseoksesta, ja sen tarkoituksena on täyttää paperin tai kartongin pinnan epätasaisuudet (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003. 186). Päälyste liikkuu C3 Opticoat asemalle varastosäiliön kautta kahteen konesäiliöön. Konesäiliöistä pumpattava aine pumpataan molemmilta säiliöiltä kahden epäkeskoruuvipumpun pumppaamana sihdeille, päätyen Opticoat asemille 1 ja 2.



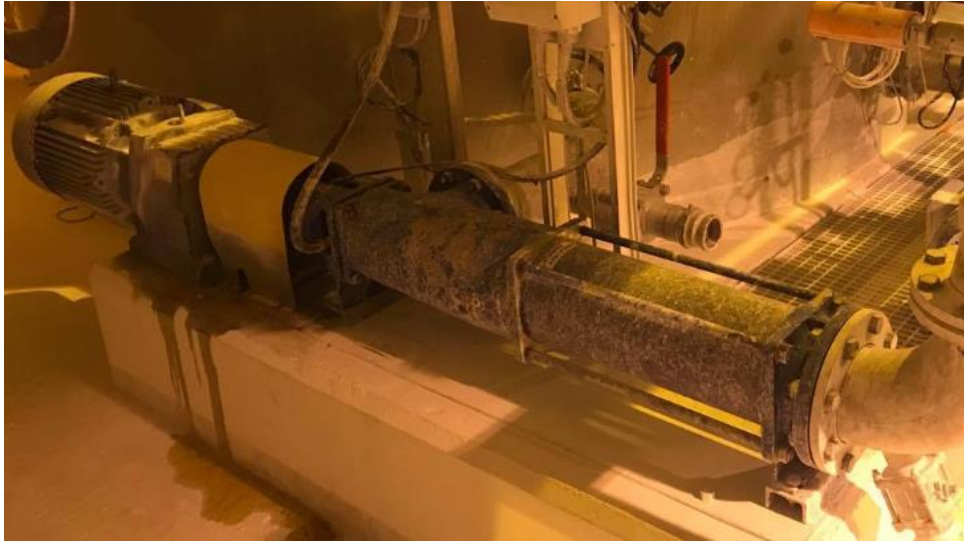
Kuva 32 C3 Opticoat aseman pumppu

Paperikone 8:n ja päällystyskoneen C3 pumput eroavat toisistaan pääasiassa kokonsa ja käyttöasteensa puolesta. Päällystyskoneella C3 pumput seisovat useammin kuin paperikoneella. Asemaa käytetään silloin, kun paperikone 8 tuottaa esipäälystettyä paperia, johon pintapäälyste lisätään C3 asemalla. Näin ollen, kun paperikone 8:lla on käynnissä pintaliimatun paperin ajo, seisovat C3 aseman pumput ja ne joutuvat tämän seurauksena useammin happo- ja lipeäpesujen vaikutuksen alaiseksi.

Kolmantena tutkimuskohteena olivat C3 alueella sijaitsevien sihtaussäiliöiden pumput (kuva 33). Sihtaussäiliöitä on yhteensä viisi kappaletta, joista jokaisella säiliöllä on kaksi pumppua. Nämä pumput ovat Allweilerin 2300 l/min pumppaavia epäkeskoruuvipumppuja ja tällä alueella pumppuja on yhteensä 10 kappaletta.

Sihtaussäiliöiden pumput pumppaavat päällystyspastaan pigmenttejä, joilla aikaansaadään ja vaikutetaan paperin erilaisiin ominaisuuksiin, kuten valonsironta-kertoimeen, päällysteen huokoisuuteen ja pintalujuuteen, pinnan sileyteen ja kiillottuvuuteen ja sideainetarpeeseen (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003. 186). Pigmentit pumpataan

varastosäiliöstä tärysihdeille, jotka sihtaavat pigmentin kankaan läpi sihtaussäiliöön. Sihtaussäiliöstä pigmentti pumpataan kahden epäkeskoruuvipumpun pumppaamana paperikone 8:n esipastaan tai päällystyskone C3:n pintapastaan.



Kuva 33 Sihtaussäiliön pumppu

4.2 Staattorin kumimateriaalin valinta

Epäkeskoruuvipumpun staattorin kumimateriaalin valitsemiseen liittyy monia tekijöitä, jotka täytyy ottaa huomioon. Oikealla materiaalivalinnalla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä ja silti säilyttää ruuvipumpun toimintavarmuus. Paras kumimateriaali pumppuun ei siis aina ole se kallein, vaan paras kumimateriaali käyttökohteeseen löydetään kumimateriaalien kemiallisella testauksella. (Smith 2009.)

Staattorin materiaaleiksi on valittavissa useita eri elastomeerejä, jotka muodostuvat polymeeriketjuista. Polymeeriketjut ovat liittyneet toisiinsa kemiallisesti tai fysikaalisesti. Elastomeerin rakenne on kesto- ja kertamuovin välimuoto, jolle on ominaista palautua nopeasti lähes alkuperäiseen mittaan ja muotoon jännityksestä vapautumisen jälkeen. Se ei myöskään liukene kiehuviin orgaanisiin liuottimiin. (Seppälä J 2005. 28)

Staattorin kumimateriaalia valittaessa täytyy ottaa huomioon tuleeko tuote ulko- vai sisäkäyttöön. Tähän kuuluu lämpötilan ja kemiallisen ympäristön määrittäminen. Kemialliseen ympäristöön vaikuttavat pumpattavan aineen ominaisuuksien lisäksi tehdasseisokit.

Tehdasseisokeissa linjastot pestään, jonka takia pumput joutuvat kovemmalle kulutukselle kuin normaalisti, sillä pesuissa käytetään vahvaa happoa ja emästä. (Smith 2009; Valkki 2017.)

Toisena on huomioitava pumpun käyttöaste, sekä muut vaatimukset, joita kumilta halutaan. Tätä huomioitaessa määritetään, onko kumi jatkuvalla käytöllä, jaksottaisella käytöllä vai kertakäytöllä. Muita vaatimuksia kumille voi olla mm. väri, paloturvallisuus, hygienia, hinta ja saatavuus. (Smith 2009.)

4.3 Tutkittavat kumimateriaalit

UPM Kymillä tarkoituksena on varmistua oikeasta kumimateriaalista paperikone 8:n ja päällystysasema C3:n konekierron sekä sihtaussäiliöiden pumppujen staattoreissa. Näissä pumppuissa materiaalivalintaan vaikuttavat pumpattavan aineen pH ja lämpötila. Mekaaniset ominaisuudet ja muut asiat, jotka vaikuttavat materiaalivalinnassa ovat kulutuskestävyys, pumpun jatkuva käyttö, materiaalin hinta ja sen saatavuus. (Smith 2009.)

Paperikone 8:n, päällystyskone C3:n ja sihtaussäiliöiden pumppuihin valittiin testattavaksi seuraavat materiaalit

- NBR nitrilikumi
- EPDM eteeni-propeenikumi
- CSM kloorisulfonoitu polyeteenikumi
- IIR butylikumi
- FPM fluorikumi
- Alldur.

4.3.1 NBR

Nitrilikumi, jonka kaupanimenä toimii Perbunan tai NBR, on synteettinen kumimateriaali ja se kuuluu kumityyppiin 63. Kumityypin 63 kumit ovat öljynkestäviä laatuja, joiden otsonin ja sään kesto on huonoa. Nitrilikumi on erityisen hyvä käyttökohteessa, jossa se

on tilapäisesti tai jatkuvasti kosketuksissa öljyn kanssa. Materiaali kestää myös kohtalaisesti lämpöä. NBR elastomeeri rakentuu akrylinitriilistä ja butadienistä, joiden annostelulla voidaan säädellä kumimateriaalin öljyn- ja kylmänkesto-ominaisuuksia. (Silvennoinen ym. 2001, 120; Ravelast polymers n.d.)

Nitriilikumia käytetään elintarvike- ja lääketeollisuudessa, sekä metsäteollisuudessa telapinnoitteina. Sen yleisimmät käyttökohteet ovat kuitenkin öljynkesto-vaativat letkut, tiivisteet, kalvot ja suojapalkeet. NBR kumimateriaalilla on erittäin hyvät mekaaniset ominaisuudet, sillä se kestää myös nestemäisiä polttoaineita ja monia liuottimia. Nitriili ei kuitenkaan kestä polaarisia liuottimia, kuten vettä tai etanolia. (Silvennoinen ym. 2001, 120-124; Ravelast polymers n.d.)

4.3.2 EPDM

EPDM, eli eteeni-propeenikumi, koostuu eteeni-, propeen- ja dieenimonomeeristä. Kumi kuuluu kumityyppiin 70, joihin kuuluvat otsonin-, sään- ja lämmönkestävät kumit. Kumityypin 70 kumit eivät kestä öljyä. (Silvennoinen ym. 2001, 120)

EPDM kumissa eteenin ja propeenin hiilivetyketjusta puuttuvat kaksoissidokset, joka antaa eteeni-propeenikumille hyvän sään- ja otsoninkeston. EPDM kumilla on myös hyvä kemiallinen kestävyys, sekä lämmön- ja kulumisenkestävyys, jonka takia kumilaatu sopii erityisen hyvin tiivistemateriaaliksi ja yleislaaduksi koneenrakennuksen tarpeisiin. (Silvennoinen ym. 2001, 120-124; Ravelast polymers n.d)

4.3.3 Hypalon

CSM, jonka kaupp nimi on Hypalon, on kumi, joka on kloorisulfonoitua polyeteeniä. CSM on ei-standardoitu kumi, joten se ei kuulu mihinkään kumityyppiryhmään. Hypalon valmistetaan käsittelemällä polyeteeniä kloorilla ja rikkioksidilla. Tämän valmistuksessa täytyy kiinnittää huomiota oikeaan seossuhteeseen. Käyttökohteita Hypalonilla on useassa eri paikassa, kuten tietyissä telapinnoitteissa, staattoreissa, haponkestävissä tiivisteissä ja muissa paikoissa, joissa vaaditaan hyvää haponsietokykyä. (Silvennoinen ym. 2001, 120; Ravelast polymers n.d.)

Hypalonin parhaimmat ominaisuudet ovat sen hyvä lämmön- ja kemikaaliensietokyky ja erinomainen sään- ja otsoninkesto. Hypalon kestää erityisen hyvin happoja, eikä se ikäänny nopeasti. Hypalonin heikkoutena on sen turpoaminen kuumassa vedessä ja höyryssä, mutta sen kulutuksenkesto on hyvä. (Ravelast polymers n.d.)

4.3.4 Viton

Fluorikumi (FPM), jonka kaupanimenä on Viton, on elastomeeri, joka sisältää fluoria. Viton kuuluu kumityyppiin 67, joille ominaista on sään-, lämmön-, öljyn- ja kemikaalienkesto. Viton kestää siis hyvin laajasti erilaisia nesteitä ja kemikaaleja sekä ikääntymistä. Aineet, joita fluorikumi ei kestä ovat esterit ja ketonit. (Silvennoinen ym. 2001, 120; Ravelast polymers n.d.)

Vitonin hinta johtuu sen vaikeasta prosessoinnista. Suppean kovuusalueen ja huonon liuottimien- ja pakkasenkeston takia kumin prosessointi on vaikeaa. Vitonia käytetään laajasti kemikaali-, öljy- ja autoteollisuudessa ja paikoissa, joissa vaaditaan korkeaa lämpötilan- ja öljynkestoa. (Silvennoinen ym. 2001, 120-124; Ravelast polymers n.d.)

4.3.5 Butyyli

Butyylikumi, IIR, on isobuteenin ja isopreenin muodostama kopolymeeri. Butyyli kuuluu kumityyppiin 62, jotka ovat otsonin- ja säänkestäviä ja heikosti kaasuja läpäiseviä yleiskumeja. Se on hyvin yleinen materiaali ja sopii moniin eri käyttötarkoituksiin, kuten autojen sisärenkaisiin, höyryletkuihin ja ilmapalloihin. (Silvennoinen ym. 2001, 120-124; TUT elastomeric materials n.d.)

Butyylikumi on hyvin stabiili ja muuttumaton kumimateriaali käytettäessä sitä pitkään korkeassa lämpötilassa. Se pystyy säilyttämään elastisuutensa jopa $-73 \dots 100$ °C välisellä alueella. Sillä on myös alhainen kaasujen läpäisevyys ja korkea otsonin, estereiden ja happojen kestävyys. Kumi ei päästä ilmaa lähes laisinkaan lävitseen. (TUT elastomeric materials n.d.)

Kumilaadun huonoina puolina voidaan mainita sen huono kulutuksenkesto. Butyyli ei myöskään kestä hiilipohjaisia liuottimia tai öljyjä ja sen elastisuus on hyvin alhainen. (TUT elastomeric materials n.d.)

4.3.6 Alldur

Alldur on Allweiler Oy:n kehittämä elastomeeri. Tämä materiaali on parhaimmillaan abrasiivisten nesteiden pumppaamisessa. Se kestää myös hyvin dynaamis-mekaanisia kuormia, sillä on suuri iskunkestävyys ja repäisyjuuus sekä alhainen puristustiukkuus. Kumi kestää kuitenkin hyvin huonosti vettä. (Collflax Fluid Handling Alldur stators, 2017; Valkki 2017.)

Alldur on Allweiler yhtiön patentoima kumimateriaali, jonka takia kyseisestä materiaalista ei ole julkisesti saatavilla tarkempia tietoja. Kumimateriaali otetaan kuitenkin mukaan materiaalitesteihin.

4.4 Kumimateriaalien vertailu kirjallisuusarvoilla

Taulukossa 2 on esitetty viisi eri materiaalia, joille suoritetaan materiaalitesti UPM Kymin paperikone 8:n, päällystyskone C3:n ja sihtaussäiliöiden pumpuissa. Taulukossa ei ole Allweilerin kehittämää Alldur materiaalia, sillä yhtiö ei ole antanut kyseisestä materiaalista tarkempia tietoja julkiseksi.

Vertailen testiin valittujen kumimateriaalien ominaisuuksia niiden käyttökohdetta vastaavaan paikkaan. Vertailu suoritetaan kirjallisuusarvojen perusteella, mutta lopullinen tulos saadaan materiaalitestin ja kumien analysoinnin jälkeen. Pumput ja niissä pumpattavat aineet sekä ominaisuudet ovat liitteessä 1.

TAULUKKO 2. Kumilaatujen ominaisuudet (Teknikum Oy; Silvennoinen ym. 2001, 126)

Ominaisuus	NBR	EPDM	CSM	IIR	FPM
Käyttölämpötila					
- pitkäaikainen °C	70	80	80	80	175
- maksimi °C					
- minimi °C	120	120	125	125	250
	-40	-50	-40	-50	-20
Kimmoisuus	3...4	3	3	2	2
Kestävyys					
- sää ja otsoni	1...3	5	5	3...4	5
- hapot	3	3...4	4	4	3...4
- emäkset	2...3	3...4	4	4	1...3
- kulutus	3...4	3	3	2...3	3
5 = erinomainen, 4 = erittäin hyvä, 3 = hyvä, 2 = tyydyttävä, 1 = huono					

4.4.1 Paperikone 8 konekierto

Liitteestä 1 voidaan nähdä, että paperikone 8:lla pumpataan esipäälllystettä ja pintaliimaa. Esipäälllysteen pH on 8,5 - 9,2 ja pintaliiman pH on 7 - 8,5, joten tässä kohteessa vaaditaan kumimateriaalilta lievästi emäksisen aineen kestoja. Jokainen testattavaksi valittu materiaali, paitsi fluorikumi, kestävät hyvin tai erittäin hyvin emäksiä, jonka takia kaikkia näitä voidaan harkita kyseiseen kohteeseen.

Pintaliima ja esipäälllyste pumpataan koneelle 40 – 52 °C lämpötilassa. Pumpattavan aineen lämpötila ei vaikuta tutkittavissa kumimateriaaleissa, sillä lämpötila ei ylitä taulukoitujen materiaalien pitkäaikaisen käytön lämpötilaa. Tämän takia lämpötilan perusteella ei voida sulkea yhtäkään testattavaa materiaalia pois.

Kulutuksenkesto on paras nitrilikumilla, mutta tämän emäksienkesto ei ole kuitenkaan parhain mahdollinen. Kulutukseen vaikuttaa myös kumin kimmoisuus, sillä roottorin pyöriminen edellyttää sitä, että kumi antaa hieman periksi roottorin pyörähtäessä sen sisällä. Kimmoisuuden puolesta nitrilikumi on myös vahvin, mutta butyyli- ja fluorikumi

ovat heikoimmat. Butyyli eroaa kuitenkin fluorista kulutuksenkestossa, jossa sen arvo on hyvän ja huonon välillä.

Kuten taulukon 2 arvoista voidaan huomata, kumien eroavaisuus on hyvin vähäistä, jonka takia materiaalitestit on tarpeelliset. Tällä voidaan selvittää kemiallinen kestävyys, sillä taulukkoarvojen perusteella ei tätä pystytä riittävän tarkasti tekemään.

4.4.2 Päälystysasema C3 konekierto

Päälystysasema C3:lla paperiin pumpataan pintapäälyste. Liitteestä 1 nähdään, että pintapäälysteen pH on 8,6 – 9,2. Tämä pH arvo on lähes sama, kuin esipäälysteellä. Myös pumpattavan aineen lämpötila on lähes samanarvoinen kuin pintapäälysteen, jonka takia C3:n konekiertopumppuihin voidaan taulukkoarvojen perusteella olettaa sama kumimateriaali.

4.4.3 Sihtaussäiliöt

Sihtaussäiliöiden kautta paperiin pumpataan eri pigmenttejä. Pigmenttien pH on 8,2 - 9,5, joka tarkoittaa että kohteeseen valittavan materiaalin tulisi kestää lievästi emäksistä ainetta. Erona pintaliimaan, esi- ja pintapäälysteeseen on se, että pigmenttien pH tasot ja lämpötilat säilyvät lähes vakioina. Toisena eroavaisuutena on pigmenttien mekaaninen kuluttavuus. Karbonaatit ovat hiovia aineita, jonka takia niiden kuluttavuus on merkittävä (Hietanen 2017).

Lämpötilan puolesta yksikään pumpattava aine ei ylitä pitkäaikaisen käytön lämpötilaa, jonka takia tämä ei vaikuta kumimateriaalin valintaan. Tutkittavista materiaaleista kohteeseen voisi taulukkoarvojen perusteella soveltua jokainen tutkittava materiaali, paitsi fluorikumi jonka emäksienkesto on heikkoa.

4.5 PK8 ja C3 pesukierto

Paperitehtaalla putkistoja pestään niin usein kuin on tarvetta, jotta paperin laatu ei heikkene putkistossa syntyvistä epäpuhtauksista. Seisokkipesujen kierto, käytettävät aineet ja niiden ominaisuudet on tärkeää määrittellä staattorin kumimateriaalia valittaessa, jotta staattorit kestäisivät myös pesuseisokeissa käytettävää happoa ja lipeää.

C3 Päälystyskoneella ja paperikone 8:lla seisokkipesukierto on samanlainen, mutta niitä suoritetaan molemmilla koneilla eri aikoihin. Sihtaussäiliöt eivät joudu happo- ja lipeäpesujen kohteeksi, vaan ne pestään koneseisokeissa pelkästään vedellä. Päälystyskoneella ja paperikone 8:lla pesut suoritetaan tarpeen mukaan, silloin kun kone seisoo. Päälystyskoneella pesut suoritetaan muutaman viikon välein ja paperikone 8:lla muutaman kuukauden välein, kun on tiedossa seisokki, jossa kone keretään pesemään. (Salminen 2017.)

Esimerkiksi päälystyskoneen viikon mittaisessa seisokissa pesukierto alkaa linjojen tyhjentämällä pastasta, eli pintapäälysteestä. Tämän jälkeen koneeseen pumpataan lämmintä vettä 2-4 tunnin ajan, jolla huuhdellaan putkisto pastasta.

Veden kierrättämisen jälkeen koneeseen laitetaan hapot kiertoon. Happo pumpataan 50 °C lämpötilassa konesäiliöön ja sitä laimennetaan ennen pumppausta vedellä, jonka jälkeen hapon pH on 0-1 välillä. Hapojä kierrätetään putkistossa pari päivää, jonka jälkeen aloitetaan emäspesu. (Salminen 2017.)

Ennen emäspesun aloittamista, putkissa pumpataan lämmintä vettä parin tunnin ajan, jotta saadaan putkistot huuhdeltua haposta. Tämän jälkeen aloitetaan emäspesu, joka kestää kaksi päivää. Emäksenä käytetään lipeää, joka laimennetaan ennen konesäiliöön pumppausta noin 10 %:ksi, jolloin sen pH on 13,1. Myös emäs pumpataan 50 °C lämpötilassa konesäiliöön. (Salminen 2017.)

Emäspesun jälkeen putkistoon pumpataan jälleen lämmintä vettä, jotta saadaan putkistot huuhdeltua. Vettä pumpataan happo- ja emäspesujen jälkeen putkistossa siihen saakka, kunnes koneseisokki päättyy. (Salminen 2017.)

4.5.1 Kumimateriaalien hapon, lipeän ja veden kesto

Raskaiden pesuaineiden takia jokaisen pumpun staattorin kumimateriaalin tulisi kestää erittäin hyvin happoja ja emäksiä. Seisokit ovat raskaita staattoreille, sillä happojen ja emäksien kierrätys putkistosta kestää välillä useamman päivän ja pesuja suoritetaan vuoden aikana useamman kerran. Tämän lisäksi jokaisen pumpun staattorin kumimateriaalin tulisi kestää myös vettä, sillä sitä pumpataan jokaisessa tutkitussa pumpussa.

Parhaiten materiaalitestiin valituista kumeista happoja ja emäksiä kestävät Viton ja Butyyli. Näiden emäksien ja happojen sietokyky on erittäin hyvä, jolloin ne saattaisivat pesujen puolesta kestää kumimateriaaleista parhaiten. Kulutuksenkestonsa puolesta Butyyli on kuitenkin vain tyydyttävä.

Kloorisulfonoidun eteenikumin ja butyylikumin kilpailijana on EPDM, jonka hapon- ja emäksienkesto on lähes samaa luokkaa. Lämpötilan puolesta yksikään kumimateriaali ei eroa toisesta, sillä myös emäs, happo ja vesi pumpataan noin 50 °C lämpötilassa putkistoon.

Kumit, jotka eivät vedenkestonsa puolesta sovellu tutkittavien pumppujen staattoreihin, ovat NBR, Alldur ja Viton. Tämä täytyy todeta kuitenkin vielä materiaalitestien kautta.

5 MATERIAALITESTI

5.1 Mittausjärjestelyt

Materiaalitestit suoritettiin yhteistyössä UPM Kymin laboratorion ja pumpputoimittaja Masino Oy:n kanssa, jotka lähettivät testejä varten kuutta eri kumimateriaalia jokaista pumpattavaa ainetta kohden. Materiaalisarjoja tuli yhteensä kahdeksan kappaletta. Testattavia materiaaleja olivat NBR, CSM, IIR, FPM, EPDM ja Alldur.

Materiaalitestit suoritettiin niin, että tutkittavat kumimateriaalit upotettiin kohteessa pumpattavaan aineeseen, jonka tuli olla siinä lämpötilassa ja pH tasoltaan sama, kuin se on pumpun läpi pumpatessa. Tällä menetelmällä pystyttiin löytämään kemiallisen kestävyyskannalta optimaalisin materiaali kyseiseen kohteeseen.

Testattavat kumimateriaalit mitattiin Masino Oy:n puolesta ennen palojen lähettämistä. Mittauksissa kumeista mitattiin kovuus, paino, halkaisija ja paksuus, joiden perusteella materiaaleja pystyttiin analysoimaan testien jälkeen (kuva 34).



Kuva 34 Testattavat kumimateriaalit ja pumpun tiedot

Materiaalitestien toteutus tapahtui UPM Kymin laboratorioissa. Testejä varten pumpattavat nesteet kerättiin näytteenottopisteistä näytepurkkeihin, johon testattavat kumimateriaalit asetettiin kahdeksi viikoksi.

Kun pumpattavat aineet oli kerätty ja näytepurkit merkitty, kumit asetettiin roikkumaan rautalangasta purkin sisälle, jotta materiaali olisi koko ajan kosketuksissa pumpattavaan aineeseen (kuva 35). Purkit suljettiin kannella nesteen haihtumisen estämiseksi ja ne laitettiin lämpökaappiin siihen lämpötilaan, jossa pumpattavat aineet ovat myös kone- ja sihtaussäiliöissä (kuva 36).

Koska pumpattavien aineiden lämpötilat ovat vaihtelevia, eikä Masino Oy:n edustajan mukaan muutaman Celsius-asteen vaihtelulla ollut lopputuloksen kannalta merkitystä, asetettiin pumpattavat aineet kahteen eri lämpötilaan. Lämpötilaltaan 50 °C lämpökaappiin laitettiin pinta- ja esipäällyste, pintaliima sekä kalsiumkarbonaatit 60,73 ja 90. Toiseen kaappiin, jonka lämpötila oli 40 °C, laitettiin kalsiumkarbonaatit 60 ja kaoliini. Liitteestä 1 nähdään pumpattavien aineiden viimeisimmät mitatut lämpötilat ja pH arvot.



Kuva 35 Kumit asetettiin roikkumaan näytepurkin kanteen ja upotettiin pumpattavaan nesteeseen



Kuva 36 Lämpökaappi, jossa pumpattavat aineet olivat kahden viikon ajan

Pigmenteissä, eli kalsiumkarbonaateissa ja kaoliinissa, olleet kumimateriaalisarjat 4-8 olivat lämpökaapissa yhteensä 15 päivää. Tämän jälkeen ne huuhdeltiin ja laitettiin 50 °C lämpötilassa olevaan veteen 24:ksi tunniksi.

Pintaliimassa, sekä esi- ja pintapäälysteessä olleet kumimateriaalisarjat 1-3 olivat lämpökaapissa pumpattavassa aineessa yhteensä 14 päivää, jonka jälkeen ne huuhdeltiin vedellä ja altistettiin hapolle ja lipeälle. Materiaalisarjojen 1-3 kumit tulevat kohteisiin, joissa vaaditaan hapon ja lipeän kestoa. Näiden vaikutus kumiin on merkittävä, jonka takia oli tärkeää saada happo- ja lipeäpesujen aiheuttama vaikutus kyseisten kohteiden kumimateriaaleille.

Happo- ja lipeäpesujen simulointi tapahtui siten, että materiaalisarjat 1, 2 ja 3 huuhdeltiin lämpimällä vedellä, jonka jälkeen ne laitettiin 50 °C lämpötilassa olevaan happoon 24:ksi tunniksi. Hapossa liottamisen jälkeen koepalat huuhdeltiin taas lämpimällä vedellä, jonka jälkeen ne altistettiin 50 °C lämpötilassa olevalle lipeälle 24:ksi tunniksi.

Materiaalitestit kesti yhteensä 16 päivää, jonka jälkeen kaikki koepalat otettiin pois lämpökaapista, huuhdeltiin vedellä ja laitettiin niille merkittyihin pusseihin. Tämän jälkeen palat toimitettiin Masino Oy:n toimipisteeseen Vantaalle, jossa paloille tehtiin loppumittaukset.

5.2 Mittaukset ja mittaustulokset

Mittaukset, joissa mitattiin kumipalojen paino, kovuus, halkaisija ja paksuus suoritettiin Masino Oy:n toimipisteessä Vantaalla. Kyseiset mitat otettiin kumeista ennen testiä ja testin jälkeen, jotta pystyttiin vertailemaan, kuinka kumimateriaalien kovuus, paino ja mitat ovat muuttuneet pumpattavan aineen vaikutuksesta.

Kumien mittauspöytäkirjat ovat pumpattavan aineen mukaan erillisinä liitteissä 2-9. Pumpattavia aineita, joilla kumeja testattiin oli yhteensä kahdeksan joista jokaiseen aineeseen testattiin kuutta eri materiaalia. Mittauspöytäkirjoissa elastomeerit on merkitty niiden kauppanimien mukaan jotka ovat NBR (P), Alldur (A), Hypalon (Y), EPDM (E), Butyyli (B) ja Viton (V).

Kumit analysoitiin materiaalisarjoittain ja niiden mittaustulokset kirjattiin mittauspöytäkirjaan. Analysointi aloitettiin kumien punnitsemisellä. Kumien punnituksella tarkasteltiin yksittäisen palan massan muutosta. Massan lisääntyessä, kumi on imaissut itseensä pumpattavaa ainetta, mikä ei ole toivottavaa.

Punnitsemisen jälkeen kumeista mitattiin kovuus. Kovuus mitattiin Shore A -mittarilla, joka on yleisin kovuudenmittausmenetelmä pehmeille materiaaleille, kuten elastomeereille. Shore-kovuudenmittauksessa käytetään useimmiten Shore A- tai Shore D-asteikkoa, joista A on tarkoitettu pehmeämmille kumeille ja D kovemille (McKeen & Laurence, W. 2016, 40). Staattoreiden kumimateriaalit ovat pehmeitä kumimateriaaleja, jonka takia mittauksessa riitti Shore A-asteikko. Kovuuden kautta tarkasteltiin kumin pehmenemistä.

Kovuuden mittaamisen jälkeen kumeista mitattiin niiden ulkomitat. Ulkomittoja olivat paksuus ja halkaisija, joiden kasvu kertoo kumin turpoamisesta. Halkaisijan ja paksuuden mittaamisessa käytettiin työntömittaa.

5.2.1 Konekierto PK8

Pintaliimassa ja esipäällysteessä olleiden kumimateriaalitesttien mittaustulokset on esitetty liitteessä 2. Näitä mittaustuloksia käsiteltiin yhdessä, sillä molempia aineita pumpaavat samat pumput, riippuen paperikoneen ajosta. Tämän takia pumppuihin tulee valita sama staattorimateriaali.

Liitteessä 9 on esitetty kumiin muutokset prosentteina pylväsdiagrammin muodossa. Tästä voidaan huomata, että esipastassa olleista materiaaleista vähiten massamuutosta oli Vitonilla, Alldurilla, EPDM:llä ja Butyyliillä. Suurin massamuutos tapahtui Hypalonilla, jonka massa muuttui pintaliimassa 4,6% ja esipäällysteessä jopa 9,1%. Toiseksi suurin massamuutos oli esipastassa NBR:llä, joka oli 5,5%, mutta pintaliimassa NBR:n massa ei ollut kokenut muutosta.

Esipäällysteessä ja pintaliimassa olleista materiaaleista suurin kovuuden muutos oli Hypalonilla, jonka kovuus laski esipäällysteessä 10,1% ja pintaliimassa 7%. Kovuuden muutos oli vähäisintä esipäällysteessä ja pintaliimassa olleista materiaaleista Butyyliillä, Vitonilla ja Alldurilla. EPDM kumimateriaalin kovuuden muutos oli molemmissa aineissa 1,3%, joka on niin vähäinen, ettei sitä voida sulkea vaihtoehtoista pois pelkästään kovuuden muutoksen perusteella.

Kun tarkastellaan kumimateriaalien turpoamista halkaisija ja paksuus suunnassa, voidaan huomata, että lähes muuttumattomana molemmissa aineissa ovat säilyneet EPDM, Butyyli ja Viton. Molemmilla aineilla eniten turpoamista on tapahtunut Hypalonilla.

Kohteessa on tällä hetkellä käytössä NBR kumia sisältävä staattori. Kumimateriaalitesttien perusteella NBR ei ole paras materiaali kyseiseen kohteeseen, sillä sen kovuudenmuutos oli pintaliimassa ja esipäällysteessä toiseksi suurinta. NBR materiaalissa oli havaittavissa myös pientä turpoamista, jonka takia kyseinen materiaali on kohteeseen toimiva, mutta keskinkertainen.

Viton ja Alldur suoriutuivat materiaalitestistä myös hyvin, mutta kumpikaan näistä ei kestä lämpimän veden pumppausta, joka on kohteessa välttämätöntä. Tämän takia vaihtoehdoksi jää EPDM tai Butyyli. Näistä molemmat materiaalit suoriutuivat materiaalitestistä erinomaisesti, mutta Butyylin kulutuksenkesto on huonompaa kuin EPDM:llä.

Butyyli on kemialliselta kestävyydeltään yhtä vahva materiaali kuin EPDM, mutta kohteen pumppu pyörii lähes koko ajan, jonka takia on järkevämpää valita paremmin kulu-
tusta kestävä materiaali. PK8:n konekierron pumppujen staattoreihin valitaan materiaa-
liksi EPDM kumimateriaali.

5.2.2 Konekierto C3

Liitteessä 3 on esitetty C3:n konekiertoon testattujen kumien mittauspöytäkirja. Liitteen
10 pylväsdiagrammista nähdään, että pintaliimaan upotetuilla kumimateriaaleilla esiintyi
massamuutosta Hypalonilla, NBR:llä ja Alldurilla, joka oli 4,8-5,9%. Merkittävin mas-
sanmuutos tapahtui EPDM materiaalilla, joka on yllättävää, sillä esi- ja pintapäällyste
ovat lämpötilaltaan ja pH arvoltaan samansuuruisia. Samanlaista massanmuutosta ei
esiintynyt EPDM kumimateriaalilla esipäällysteessä.

Kun tarkastellaan kovuuden laskua, huomataan, että kovuus on laskenut merkittävästi
vain Hypalonilla, jolla Shore arvo tippui 5,6%. Kovuus on muuttunut myös NBR:llä ja
EPDM:llä, mutta näillä kovuuden muutos ei ole merkittävää.

Halkaisijan tarkastelussa kaikkien kumimateriaalien, paitsi butyylin, halkaisija on kasva-
nut. Tämä tarkoittaa sitä, että kumit ovat turvonneet pintaliiman, hapon ja lipeän vaiku-
tuksesta. Merkittävin turpoaminen on tapahtunut Hypalonilla, jonka halkaisija on kasva-
nut 2,7%. Yli prosentin halkaisijamuutos on tapahtunut myös Alldurilla, jonka halkaisija
kasvoi 1,1%.

Halkaisijan lisäksi vertaillaan myös paksuuden muutosta. Kuudesta kumimateriaalista
Hypalonilla on suurin paksuuden muutos, jolla paksuus on lisääntynyt 4,2%. Myös Alldur
ja NBR kumien paksuus on kasvanut huomattavasti.

Heikoiten pintapäällysteessä suoritetusta kokeesta pärjasi Hypalon. Kohteessa tällä het-
kellä oleva NBR pärjasi testissä keskinertaisesti, mutta NBR materiaalin huonon veden-
keston takia kyseinen materiaali ei sovi kohteeseen. Saman syyn takia myöskään Viton
tai Alldur eivät ole kohteeseen sopivia materiaaleja.

Mittaustulosten perusteella sopivin materiaali kemialliselta kestävyydeltään kyseiseen kohteeseen on butyyli tai EPDM. Molemmat materiaalit säilyttivät testissä hyvin painonsa, kovuutensa, paksuutensa ja halkaisijansa, mutta butyylin kulutuksenkesto ei ole yhtä hyvä kuin EPDM kumilla. Kulutuksenkestoon perustuen, C3 konekierron pumppuihin valitaan materiaaliksi EPDM kumi.

5.2.3 Sihtaussäiliöt

Sihtaussäiliöiden 1-5 mittaustulokset on esitetty liitteissä 4-8. Liitteessä 11 on esitetty kumien muutokset prosentteina pylväsdiagrammin muodossa, jotta tuloksia on helpompi vertailla.

Koska sihtaussäiliöt sijaitsevat samalla alueella ja pumpattavien aineiden ominaisuudet ovat lähellä toisiaan, olisi optimaalisinta löytää kaikkien sihtaussäiliöiden pumppuihin sama staattorimateriaali. Tällä vältyttäisiin pumppua huollettaessa sekaannuksilta materiaalien kanssa.

Massa on muuttunut kaikissa pumpatuissa aineissa merkittävimmin Hypalonilla. Hypalonin massa on muuttunut kaikista testatuista kumeista eniten jokaisella pumpatulla aineella. Tämä muutos on ollut kalsiumkarbonaatti 60:lla 4,5% ja kaikilla muilla aineilla 9,1%. Jokaisella aineella massa on muuttunut huomattavasti myös Alldurilla ja NBR:llä. Alldurin massa on muuttunut jokaisessa pumpattavassa aineessa 5,6%. NBR kumilla massa on muuttunut kalsiumkarbonaatti 60:ssa, kalsiumkarbonaatti 73:ssä ja kaoliinissa 5,6%. Vähiten massa on muuttunut kaikissa aineissa Vitonilla ja butyyliillä.

Kovuuden laskua tarkastellessa huomataan, että jokaisella pumpatulla aineella suurin kovuuden lasku on Hypalonilla. Pienin kovuuden muutos on kaikilla aineilla ollut Vitonilla, Alldurilla ja Butyyliillä. Näillä kovuus on pienentynyt lähes kaikissa tutkituissa aineissa 0-1,4%, paitsi kaoliinissa, jossa Vitonin kovuus on muuttunut 2,8%. Vitonin kovuuden muutos kaoliinissa on sen verran suuri, että tätä materiaalia ei kyseistä ainetta pumppaavaan pumppuun voida laittaa.

Turpoamista on tapahtunut eniten Hypalonilla, jonka halkaisija on muuttunut kaikissa aineissa 2,2-4,0%. Hypalon on kokenut jokaisella mitatulla alueella eniten muutoksia,

jonka takia se täytyy sulkea pois materiaalivaihtoehdoista. Pienintä halkaisijan- ja paksuudenmuutos on Vitonilla, Butyylillä ja EPDM:llä, joilla mitatut arvot ovat muuttuneet hyvin vähän tai ei laisinkaan.

Tällä hetkellä sihtaussäiliöiden staattoreissa on käytössä NBR kumia. Tämä kumimateriaali ei ole mittaustulosten perusteella kyseiseen kohteeseen sopiva materiaali, koska kohteessa pumpataan pesuseisokkien aikana lämmintä vettä. NBR, Viton ja Alldur ovat materiaaleista sellaisia, jotka eivät kestä lämpimän veden pumppausta.

Myös sihtaussäiliöiden kohteeseen valitaan materiaaliksi EPDM. Kalsiumkarbonaateissa vahvimmin pärjäsi Butyyli, mutta Allweilerin kumispesialistin Bernd Suttmanin (2017.) mukaan kohteeseen tulisi laittaa EPDM kumia sisältävä staattori, koska Butyylin kuluksenkesto on huonompaa. Sihtaussäiliöiden epäkeskoruuvipumppujen staattoreiden materiaaleiksi valitaan EPDM kumi.

6 KEHITYSEHDOTUKSET

Epäkeskoruuvipumppujen käytettävyyden optimointiin ilmeni työn aikana useita eri vaihtoehtoja. Opinnäytetyön pääongelmana olivat tutkittujen kohteiden staattoreiden väärät kumimateriaalit ja niiden kemiallinen kestävyys. Toisena merkittävänä ongelmana on dokumentoinnin puute pumpuille tehtävistä kunnossapitotöistä.

Ensimmäinen kehitysehdotus liittyy tutkittujen pumppujen staattoreiden kumimateriaalien kestoon. Materiaalitestissä vahvimmin pärjasi Allweiler Oy:n EPDM kumi. EPDM kumimateriaali tullaan ottamaan käyttöön tutkittujen pumppujen staattoreissa. Jatkotoimenpiteenä materiaalitestistä tulisi jatkaa muiden toimittajien EPDM kumeilla, sillä kumien reseptit ovat toimittajakohtaisia. Tämä materiaalitesti on suoritettu pelkästään Allweiler Oy:n kumeilla, jonka takia työssä suoritettujen materiaalitestit eivät ota kantaa muiden toimittajien kumien kestoon.

Toinen kehitysehdotus liittyy paperikone 8:n ja päällystyskone C3:n pesukiertoon. Happo- ja lipeäpesujen yleisyys ja pituus vaikuttavat merkittävästi kumien kestoon. Etenkin C3 asemalla pesuja toteutetaan usein ja ne saattavat kestää useamman päivän ajan. Pesujen kestoon tulisi jatkossa kiinnittää huomiota, jotta kumit eivät joutuisi liian kovalle kulutukselle pesuaineiden kemiallisen vaikutuksen takia. Pesuaikojen lyhentämisellä tai pesuvälien harventamisella pystyttäisiin vaikuttamaan merkittävästi staattoreiden kumien kestoon.

Kolmantena kehittämisehdotuksena on kuivakäynnin estäminen kriittisimmissä pumpuissa ja pumpuissa, joissa hajoamisen syy on usein kuivakäynti. Kuivakäynti voidaan estää asentamalla pumpun staattorin kylkeen lämpötila-anturi, joka katkaisee pumpun toiminnan lämpötilan noustessa. Sama anturi katkaisee myös pumpun syötön silloin, kun staattorissa esiintyy voimakasta takaisinpäinvirtausta. Takaisinpäinvirtaus nostaa pumpun lämpötilaa ja merkitsee staattorin voimakasta kulumista ja sen vaihtotarvetta. Lämpötila-antureita varten staattoreita on saatavissa valmiiksi porattuina tai poraus voidaan hoitaa kunnossapidon toimesta ennen staattorin asennusta. Staattorin kylkeen voidaan asentaa myös magneetilla toimiva lämpötila-anturi, jolloin poraus ei ole tarpeellista, mutta tällöin lämpötilanmuutos ei ilmene yhtä nopeasti.

Epäkeskoruuvipumppujen käytettävyyden optimointia varten on tarpeellista myös päivittää pumppujen laitekortit ja dokumentoida huollot paremmin SAP-järjestelmään. Tällä hetkellä pumppujen kunnostukset ja vaihdot ovat SAP järjestelmässä erillisinä työtilauksina, jonka takia on erittäin vaikeaa saada käsitystä pumppujen käyttöiästä. Jatkossa tulisi tehdä vain yksi työtilaus, jossa pumpun vaihto ja kunnostus on tehty omalle vaiheelleen.

Tämän lisäksi työtilauksen kunnostus vaiheelle tulisi kirjata mitä kunnossapitotöitä pumpulle on tehty ja miksi niitä on tehty. Vaiheelle on myös tärkeää kirjata osat, jotka kunnostetusta pumppuyksiköstä on vaihdettu. Tällä voidaan seurata tarkemmin pumpun ja sen eri osien käyttöikä ja osataan kiinnittää huomiota mahdollisiin poikkeamiin pumpun eri osien kestossa.

SAP-järjestelmään olisi hyvä numeroida pumppuyksiköt samalla tavalla kuin paperikoneen telat. Tällä hetkellä kaikki UPM Kymin paperikoneen telat on numeroitu ja jokaisen telan voi löytää toiminnanohjausjärjestelmästä. Tämän avulla päästään näkemään yksittäisten telojen kunnossapitotyöt, eikä näitä tarvitse kirjata toimintopaikalle.

Sama menetelmä on mahdollinen myös pumpuille, joille on olemassa oma vaihtoyksikkö. Näiden numeroinnilla päästäisiin käsiksi yksittäisen pumpun tietoihin, josta näkee milloin pumppuyksikkö on vaihdettu ja mitä kunnossapitotöitä sille on tehty. Tämän avulla voidaan tarkastella myös pumppuyksikön eri osien kestoa ja varmistutaan siitä, että pumpussa on aina oikeat komponentit.

Numeroinnin lisäksi pumppuyksikön olisi hyvä olla osissa niin, että vaihtotarpeen ilmetessä siihen tarvitsisi asentaa vain staattori, roottori ja nivelosat. Yleisimpänä ongelmana on, että vaihtoyksikkö, joka on valmiiksi kasattuna, sisältää väärää materiaalia olevan staattorin. Jos staattori vaihtoyksikössä sattuu olemaan oikea, on seuraavana ongelmana usein pumpun väärä käteisyys, jonka takia se on purettava ja rakennettava oikean kätiseksi. Pumppuyksiköiden numeroinnin avulla pumppuun voidaan valita heti oikeat komponentit, kun tiedetään mikä pumpun kohde on. Tällä vältytään siltä, että kohteeseen ei päädy väärää osia ja pumppu voidaan kasata heti oikean kätiseksi.

Viimeisenä kehitysehdotuksena on pumppujen roottorimateriaalien tutkiminen. UPM Kymillä on muutamissa eri pumpuissa kokeilussa keraamisella pinnoitteella varustettu

roottori. Tämän kaltaiset testit tulisi dokumentoida SAP-järjestelmään pumpun tai toimintopaikan alle, jotta voidaan seurata, kuinka pitkään kyseinen roottori pumpussa kestää. Jos keraaminen pinnoite osoittautuu konekierrossa pitkäikäiseksi, tulisi kokeilua jatkaa myös muille konekierron pumpuille. Keraamisella pinnoitteella varustettuja roottoreita on kokeiltu onnistuneesti UPM Rauman paperitehtaalla 7800 l/min pumppaavilla pastapumpuilla, jossa niille on saatu jopa viiden vuoden käyttöikä.

7 POHDINTA

UPM Kymillä kunnossapidollisesti suurimmat haasteet ovat väärät staattorimateriaalit ja pumppujen kunnossapidon sekavuus. Nämä haasteet näkyvät epäkeskoruuvipumppujen kunnossapitokustannusten kasvamisena. Tämän takia UPM halusi aloittaa epäkeskoruuvipumppujen käytettävyyden optimoinnin

Työn tarkoitus tuli selväksi heti työn alkuvaiheessa. Tarkoituksena oli lähteä tutkimaan pumpun komponenttien rikkoutumisen syitä, staattoreiden kumimateriaaleja ja pumppujen kunnossapitoa. Tutkittavien pumppujen ongelmana oli, että jokaisessa näistä oli pumpattavasta aineesta riippumatta samaa kumimateriaalia. Kumimateriaalien kemiallisella testauksella löydettiin tutkittaviin kohteisiin oikeat staattorimateriaalit. Tutkimustulos on erittäin luotettava, sillä menetelmät ja laitteet, jolla tutkimus suoritettiin olivat ammattikäyttöön tarkoitettuja ja ne antoivat todellisen kuvan kumien kemiallisesta kestävyydestä ilman mekaanista vaikutusta.

Materiaalitestien tuloksena kaikkiin tutkittuihin kohteisiin vaihdetaan staattoreiden kumimateriaaliksi EPDM. Tämä materiaali vaihdetaan tehtaan SAP-järjestelmään toimintopaikan laitekortille, josta oikean staattorin voi jatkossa löytää. EPDM kumimateriaalin valintaan vaikutti sen hyvät tulokset materiaalitestissä, kumin hyvä kulutuksenkesto sekä Allweiler-yhtiön elastomeeri spesialistin kommentit kumeihin liittyen.

Epäkeskoruuvipumppujen rikkoutumisen syistä luotiin analyysi, jota tehtaan kunnossapito voi hyödyntää pumppujen rikkoutuessa. Analyysistä voidaan kuvien ja selityksien avulla havaita, onko kyseessä mekaanisen tai kemiallisen rikkoutumisen vai kuivakäynnin aiheuttama vaurio. Rikkoutumisen syyn määrittämisen jälkeen, voidaan miettiä mitä tehdä, ettei kyseinen ongelma enää toistu tai esiinny yhtä usein kuin tällä hetkellä.

Työssä ilmaantuneiden kehitysehdotusten pohjalta UPM Kymi voi lähteä toteuttamaan epäkeskoruuvipumppujen käytettävyyden parantamista. Jatkotoimenpide-ehdotuksena on tiivis yhteistyö eri pumpputoimittajien kanssa. Pumpputoimittajien avustuksella kunnossapito voi suunnitella erilaisia parannuksia ja testejä liittyen pumppujen käyttöiän pidentämiseen.

LÄHTEET

Cholet, H. 1997. Progressing Cavity Pumps. Paris: Éditions Technip.

Colfax. 2016. Fluid Handling: Technology, Function & Design. Diaesitys. Luettu 21.9.2017.

Dustmann, P. Service Engineer. Allweiler GmbH. Materialtests UPM Kymi. Sähköpostiviesti. Philip.Dustmann@colflaxfluidhandling.com. Luettu 16.11.2017.

Flowrox. n.d. Flowrox-epäkeskoruuvipumput. Esite. Luettu 3.10.2017.

http://www.flowrox.com/files/203/Flowrox_Progressive_Cavity_Pumps_Brochure_FI.pdf

Hietanen, A. Laboratorion toimihenkilö. Epäkeskoruuvipumppujen käytettävyyden optimointi –pumpattavat aineet. Sähköpostiviesti. Ari.Hietanen@upm.com. Luettu 11.8.2017.

Karassik, I. Messina, J. Cooper, P. & Heald, Charles. 2008. 4. painos. Pump Handbook. New York: McGraw-Hill Companies Inc.

Knowpap. 2016. Pastan valmistuksen osaprosessit. Pumppaus. AEL. Luettu 21.11.2017.

Lyons, W. Plisga, G. & Lorenz, M. 2016. 3. painos. Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering. Oxford: Elsevier Inc.

McKeen & Laurence, W. 2016. 3. painos. Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers. Oxford: Elsevier Inc.

Nesbitt, B. 2006. 1. painos. Handbook of Pumps and Pumping. Oxford: Roles & Associates Ltd.

Ravelast Polymers. n.d. Tutkimus ja kehitystyö. Kumi-elastomeerit ja kumin valmistus. Luettu 27.9.2017

Salminen, A. C3 Päivämestari. 2017. Haastattelu 14.09.2017. Haastattelija Kääriäinen, J. Kuusankoski.

Salorinne, M. Kunnossapidon työnjohtaja PK8. Epäkeskoruuvipumppujen hajoaminen. Sähköpostiviesti. mikko.salorinne@upm.com. Luettu 2.10.2017

Seppälä, J. 2008. 6. painos. Polymeeritekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino Oy.

Silvennoinen, S. Eklund, P. Laakso, L. Nyman, U. Puska, M. Sunio, J. Taulavuori, T. Tennilä, P. Uitti, J. Karppinen, A. & Yrttiaho, E. 2001. 2. painos. Muovit ja kumit. Metalliteollisuuden keskusliitto. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Smith, D. 2009. Pumps & Systems. Progressive Cavity Pump Stators. Luettu 20.9.2017. <https://www.pumpsandsystems.com/topics/pumps/progressing-cavity/progressive-cavity-pump-stators>

Stegmann. 1999. Progressive Cavity Pumps In High Temperature Service. Luettu 25.9.2017.

Tampere University of Technology. n.d. Elastomeric Materials. Luettu 25.9.2017.
https://www.tut.fi/ms/muo/vert/6_elastomeric_materials/iir.htm

Valkki, M. Jälkimarkkinointipäällikkö. Masino Oy. 2017. Haastattelu 21.9.2017. Haastattelija Kääriäinen, J. Litteroitu. Kuusankoski.

UPM. 2017. UPM Paper Ena. Luettu 1.11.2017.
<http://www.upm.fi/sijoittajat/upm-story/liiketoiminta-alueet/upm-paper-ena/Pages/default.aspx>

LIITTEET

Liite 1. Tutkittavat pumput ja pumpattavat aineet

1(3)

PK8 KONEKIERTO PUMPUT	Laite	Staattori	Pumpattavan aineen tiedot	Pesuaineen tiedot
Toimintopaikka				
KYM3-54 6856 6431	PUMPPU 1, KONESÄILIÖ 1	Staattori: STAA TTORI AED1E 2300 ALLWE 146390NBR Vaihdettu: 14.11.2016 Roottori: ROOTTORI AED1E 2300 ALLWE 1532661.4571/ Vaihdettu: 19.2.2015	Esipäälylyste: pH 8,5-9,2. Visko 500-1400cp pt 40-52C, Pintaliima: pH 7-8,5, Visko 80-180 cp pt 40-52 C.	Emäs pH 13.1 Happo pH 0-1
KYM3-54 6856 6432	PUMPPU 2, KONESÄILIÖ 1	Staattori: STAA TTORI AED1E 2300 ALLWE 146390NBR Vaihdettu: 25.08.2016 Roottori: ROOTTORI AED1E 2300, 1.4404, 0.05Cr Vaihdettu: 20.02.2013	Esipäälylyste: pH 8,5-9,2. Visko 500-1400cp pt 40-52C, Pintaliima: pH 7-8,5, Visko 80-180 cp pt 40-52 C.	Emäs pH 13.1 Happo pH 0-1
KYM3-54 6856 6433	PUMPPU 1, KONESÄILIÖ 2	Staattori: STAA TTORI AED1E 2300 ALLWE 146390 NBR Vaihdettu: 26.01.2016 Roottori: ROOTTORI AED1E 2300 ALLWE 1532661.4571/ Vaihdettu: 25.03.2015	Esipäälylyste: pH 8,5-9,2. Visko 500-1400cp pt 40-52C, Pintaliima: pH 7-8,5, Visko 80-180 cp pt 40-52 C.	Emäs pH 13.1 Happo pH 0-1
KYM3-54 6856 6434	PUMPPU 2, KONESÄILIÖ 2	Staattori: STAA TTORI AED1E 2300 ALLWE 146390 NBR Vaihdettu: 22.03.2016 Roottori: ROOTTORI AED1E 2300 mat.1.4404, käsittely 0,05Cr Vaihdettu: 30.03.2015	Esipäälylyste: pH 8,5-9,2. Visko 500-1400cp pt 40-52C, Pintaliima: pH 7-8,5, Visko 80-180 cp pt 40-52 C.	Emäs pH 13.1 Happo pH 0-1

Toimintopaikka	Laitte	Staatton	Pumpattavan aineen tiedot
KYM3-54 8151 6421	PUMPPU 1, SIHTAUSSÄILIÖ 1	STAAATTORI AEDIE 2300 ALLWE 146390 NBR	Kalsiumcarbonaatti 60 pH 9,5 lpt 48 c
		ROOTTORI AEDIE2300 1.4404, 0.05 Cr	
		Yksikkö vaihdettu: 3.8.2017	
KYM3-54 8151 6422	PUMPPU 2, SIHTAUSSÄILIÖ 1	STAAATTORI AEDIE 2300 ALLWE 146390 NBR	Kalsiumcarbonaatti 60 pH 9,5 lpt 48 c
		ROOTTORI AEDIE2300 1.4404, 0.05 Cr	
		Yksikkö vaihdettu: 10.2.2017	
KYM3-54 8151 6423	PUMPPU 1, SIHTAUSSÄILIÖ 2	STAAATTORI AEDIE 2300 ALLWE 146390 NBR	Kalsiumcarbonaatti 60 pH 9,0 lpt 40 C
		ROOTTORI AEDIE2300 1.4404, 0.05 Cr	
		Yksikkö vaihdettu: 29.3.2017	
KYM3-54 8151 6424	PUMPPU 2, SIHTAUSSÄILIÖ 2	STAAATTORI AEDIE 2300 ALLWE 146390 NBR	Kalsiumcarbonaatti 60 pH 9,0 lpt 40 C
		ROOTTORI AEDIE2300 1.4404, 0.05 Cr	
		Yksikkö vaihdettu: 24.3.2017	
KYM3-54 8151 6425	PUMPPU 1, SIHTAUSSÄILIÖ 3	STAAATTORI AEDIE 2300 ALLWE 146390 NBR	Kalsiumcarbonaatti 90 pH 9,5 lpt 45 C
		ROOTTORI AEDIE2300 1.4404, 0.05 Cr	
		Yksikkö vaihdettu: 11.11.2015	
KYM3-54 8151 6426	PUMPPU 2, SIHTAUSSÄILIÖ 3	STAAATTORI AEDIE 2300 ALLWE 146390 NBR	Kalsiumcarbonaatti 90 pH 9,5 lpt 45 C
		ROOTTORI AEDIE2300 1.4404, 0.05 Cr	
		Yksikkö vaihdettu: 12.11.2016	
KYM3-54 8151 6427	PUMPPU 1, SIHTAUSSÄILIÖ 4	STAAATTORI AEDIE 2300 ALLWE 146390 NBR	Kalsiumcarbonaatti pH 9,5, lpt 46 c
	EI KÄYTÖSSÄ	ROOTTORI AEDIE2300 1.4404, 0.05 Cr	
		Yksikkö vaihdettu: 15.10.2013	
KYM3-54 8151 6428	PUMPPU 2, SIHTAUSSÄILIÖ 4	STAAATTORI AEDIE 2300 ALLWE 146390 NBR	Kalsiumcarbonaatti pH 9,5, lpt 46 c
		ROOTTORI AEDIE2300 1.4404, 0.05 Cr	
		Yksikkö vaihdettu: 4.4.2015	
KYM3-54 8151 6429	PUMPPU 1, SIHTAUSSÄILIÖ 5	STAAATTORI AEDIE 2300 ALLWE 146390 NBR	Kaoliini 90 pH 8,2 lpt 38 C
	EI KÄYTÖSSÄ	ROOTTORI AEDIE2300 1.4404, 0.05 Cr	
		Yksikkö vaihdettu: 31.3.2008	
KYM3-54 8151 6430	PUMPPU 2, SIHTAUSSÄILIÖ 5	STAAATTORI AEDIE 2300 ALLWE 146390 NBR	Kaoliini 90 pH 8,2 lpt 38 C
		ROOTTORI AEDIE2300 1.4404, 0.05 Cr	
		Yksikkö vaihdettu: 8.11.2013	

Liite 2. Mittauspöytäkirja PK8 konekierto

1(2)

ALLWEILER AG		Resistance Test of Elastomers		Tester : MV												
GE		Testresults		Date : #####												
Liquid:	PK8, Konekierto, Konesäiliö 1	Results:														
Pump/type:	AED1E2300															
Customer:	UPM-Kymi/Kääriäinen															
Pump No.:	KYM3-54 6856 6431-2															
Operation condition:	Espäällyste															
Test Time:	14 days + 1 day in acid + 1 day in sodium hydroxide	Test Temperature:	50													
Elastomers AWB-KZ	Mass (g)	Difference abs.	Difference in %	Hardness (Sh)		Difference abs.	Difference in %	Diameter (mm)		Difference abs.	Difference in %	Thickness (mm)		Difference abs.	Difference in %	
				before	after			before	after			before	after			before
P (NBR)	0,017	0,018	0,001	5,5556	74	74	0	0,0000	58,53	59,05	0,52	0,8806	5,38	5,45	0,07	1,2844
A (Allidur)	0,018	0,018	0	0,0000	73	73	0	0,0000	58,42	59,03	0,61	1,0334	5,47	5,56	0,09	1,6187
Y (Hypalon)	0,02	0,022	0,002	9,0909	76	69	-7	-10,1449	58,82	61,03	2,21	3,6212	5,61	5,79	0,18	3,1088
E (EPDM)	0,016	0,016	0	0,0000	76	75	-1	-1,3333	58,38	58,44	0,06	0,1027	5,45	5,45	0	0,0000
B (Butylil)	0,016	0,016	0	0,0000	68	68	0	0,0000	58,51	58,63	0,12	0,2047	5,51	5,47	-0,04	-0,7313
V (Viton)	0,027	0,027	0	0,0000	73	73	0	0,0000	58,31	58,59	0,28	0,4779	5,69	5,55	-0,14	-2,5225

ALLWEILER AG		Resistance Test of Elastomers		Tester : MV											
GE		Testresults		Date : #####											
Liquid:	PK8, Konekierto, Konesäiliö 2	Results:													
Pumptype:	AED1E2300														
Customer:	UPM-Kymi/Kääriäinen														
Pump No.:	KYM3-54 6856 6433-4														
Operation condition:	Pintaliima														
Test Time:	14 days + 1 day in acid + 1 day in sodium hydroxide	Test Temperature:	50												
Elastomers AWB-KZ	Mass (g)	Difference abs.	Difference in %	Hardness (Sh)		Difference abs.	Difference in %	Diameter (mm)		Difference abs.	Difference in %	Thickness (mm)		Difference abs.	Difference in %
				before	after			before	after			before	after		
P (NBR)	0,018	0	0,0000	77	75	-2	-2,6667	58,44	58,78	0,34	0,5784	5,5	5,5	0	0,0000
A (Alldur)	0,018	0	0,0000	70	70	0	0,0000	58,4	58,77	0,37	0,6296	5,54	5,64	0,1	1,7730
Y (Hypalon)	0,021	0,001	4,5455	76	71	-5	-7,0423	58,68	60,26	1,58	2,6220	5,66	5,87	0,21	3,5775
E (EPDM)	0,016	0	0,0000	76	75	-1	-1,3333	58,45	58,53	0,08	0,1367	5,39	5,42	0,03	0,5535
B (Butylli)	0,016	0	0,0000	68	68	0	0,0000	58,52	58,28	-0,24	-0,4118	5,57	5,53	-0,04	-0,7233
V (Viton)	0,027	0	0,0000	73	73	0	0,0000	58,48	58,58	0,1	0,1707	5,51	5,45	-0,06	-1,1009

Liite 3. Mittauspöytäkirja C3 konekierto

ALLWEILER AG		Resistance Test of Elastomers		Tester :		MV											
GE		Testresults		Date :		#####											
Liquid:	C3, konekierto, Konesäiliö	Results:															
Pumptyype:	AED2N1200																
Customer:	UPM-Kymi/Kaariäinen																
Pump No.:	KYM3-54 8461 6403-4																
Operation condition:	Pintapäällyste																
Test Time:	14 days + 1 day in acid + 1 day in sodium hydroxide	Test Temperature:		50													
Elastomers/ AWB-KZ	Mass (g)	Difference abs.		Difference in %		Diameter (mm)		Difference abs.		Difference in %		Thickness (mm)		Difference abs.		Difference in %	
		before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
P (NBR)	0,017	0,017	0	0,0000	74	73	1	-1,3699	58,46	59	0,54	0,9153	5,35	5,44	0,09	1,6544	
A (Alidur)	0,017	0,018	0,001	5,5556	70	72	-2	2,7778	58,29	58,92	0,63	1,0692	5,46	5,62	0,16	2,8470	
Y (Hypalon)	0,02	0,021	0,001	4,7619	76	72	4	-5,5556	58,77	60,41	1,64	2,7148	5,44	5,68	0,24	4,2254	
E (EPDM)	0,016	0,017	0,001	5,8824	75	74	1	-1,3514	58,31	58,4	0,09	0,1541	5,6	5,58	-0,02	-0,3584	
B (Butylti)	0,017	0,017	0	0,0000	68	68	0	0,0000	58,41	58,19	-0,22	-0,3781	5,55	5,54	-0,01	-0,1805	
V (Viton)	0,027	0,027	0	0,0000	73	74	-1	1,3514	58,66	58,76	0,1	0,1702	5,46	5,4	-0,06	-1,1111	

Liite 4. Mittauspöytäkirja Sihtaussäiliö 1

ALLWEILER AG		Resistance Test of Elastomers		Tester : MV															
GE		Testresults		Date : #####															
Liquid:	Sihtaussäiliö 1	Results:																	
Pump/type:	AED1E2300																		
Customer:	UPM-Kymi/Kaarainen																		
Pump No.:	KYM3-54 8151 6421-2																		
Operation condition:	Kalsiumcarbonaatti 60																		
Test Time:	16 days + 1 day in water																		
	Test Temperature:	50																	
Elastomers	Mass (g)	Difference in %		Hardness (Sh)		Difference in %		Diameter (mm)		Difference abs.		Difference in %		Thickness (mm)		Difference abs.		Difference in %	
		before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
P (NBR)	0.017	0.018	0.001	5.5556	74	72	-2	-2,7778	58.51	59.04	0.53	0.8977	5.44	5.56	0.12	2,158			
A (Alldur)	0.017	0.018	0.001	5.5556	73	72	-1	-1,3889	58.52	59.62	1.1	1,8450	5.45	5.59	0.14	2,504			
Y (Hyalon)	0.02	0.022	0.002	9.0909	76	70	-6	-8,5714	58.73	61.15	2.42	3,9575	5.5	5.82	0.32	5,498			
E (EPDM)	0.016	0.016	0	0.0000	76	74	-2	-2,7027	58.33	58.43	0.1	0,1711	5.52	5.48	-0.04	-0,729			
B (Butyl/I)	0.017	0.017	0	0.0000	68	68	0	0,0000	58.41	58.23	-0.18	-0,3091	5.6	5.58	-0.02	-0,358			
V (Viton)	0.026	0.027	0.001	3.7037	72	71	-1	-1,4085	58.08	58.05	-0.03	-0,0517	5.48	5.49	0.01	0,182			

Liite 5. Mittauspöytäkirja sihtaussäiliö 2

ALLWEILER AG		Resistance Test of Elastomers		Tester : MV		Date : #####									
GE		Testresults		Results:											
Liquid: Sihtaussäiliö 2															
Pumputype: AED1E2300															
Customer: UPM-Kymi/Kääriäinen															
Pump No.: KYM3-54.8151.6423-4															
Operation condition: Kalsiumcarbonaatti 60															
Test Time: 16 days + 1 day in 50deg water		40													
Elastomers		Hardness (Sh)		Diameter (mm)		Thickness (mm)		Difference in %		Difference abs.		Difference in %		Difference abs.	
AWB-KZ		before after		before after		before after		before after		before after		before after		before after	
P (NBR)	0,018	0,018	0	75	73	58,5	58,83	0,33	0,5609	5,54	5,53	-0,01	-0,1508		
A (Alldur)	0,017	0,018	0,001	72	72	58,49	58,95	0,46	0,7803	5,4	5,5	0,1	1,8182		
Y (Hyalon)	0,021	0,022	0,001	77	72	58,66	59,97	1,31	2,1844	5,65	6	0,35	5,8333		
E (EPDM)	0,016	0,016	0	76	74	58,23	58,25	0,02	0,0343	5,58	5,56	-0,02	-0,3597		
B (Butyylit)	0,016	0,016	0	68	68	58,69	58,38	-0,31	-0,5310	5,45	5,45	0	0,0000		
V (Viton)	0,027	0,027	0	72	71	58,31	58,39	0,08	0,1370	5,56	5,67	0,11	1,9400		

Liite 6. Mittauspöytäkirja sihtaussäiliö 3

ALLWEILER AG		Resistance Test of Elastomers		Tester :		MV														
GE		Testresults		Date :		#####														
Liquid:	Sihtaussäiliö 3	Results:																		
Pumptype:	AED1E2300																			
Customer:	UPM-Kymi/Kääriäinen																			
Pump No.:	KYMB-54 8151 6425-6																			
Operation condition:	Kalsiumkarbonaatti 90																			
Test Time:	16 days + 1 day in water	Test Temperature: 50																		
Elastomers	Mass (g)	Difference abs.		Difference in %		Hardness (Sh)		Diameter (mm)		Difference abs.		Difference in %		Thickness (mm)		Difference abs.		Difference in %		
		before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	
AWB-KZ																				
P (NBR)	0,018	0,018	0	0,00000	75	74	-1	-1,35135	58,41	58,97	0,56	0,94964	5,46	5,56	0,1	1,79656				
A (Alldur)	0,017	0,018	0,001	5,55556	72	72	0	0,00000	58,41	59,52	1,11	1,86492	5,34	5,51	0,17	3,08530				
Y (Hyalon)	0,02	0,022	0,002	9,09091	77	71	-6	-8,45070	58,83	61,12	2,29	3,74673	5,44	5,76	0,32	5,55556				
E (EPDM)	0,016	0,017	0,001	5,88235	77	75	-2	-2,66667	58,29	57,94	-0,35	-0,60407	5,63	5,64	0,01	0,17730				
B (Butylji)	0,016	0,017	0,001	5,88235	68	68	0	0,00000	58,37	58,35	-0,02	-0,03428	5,55	5,58	0,03	0,53763				
V (Viton)	0,026	0,027	0,001	3,70370	72	72	0	0,00000	58,34	58,46	0,12	0,20527	5,41	5,4	-0,01	-0,18519				

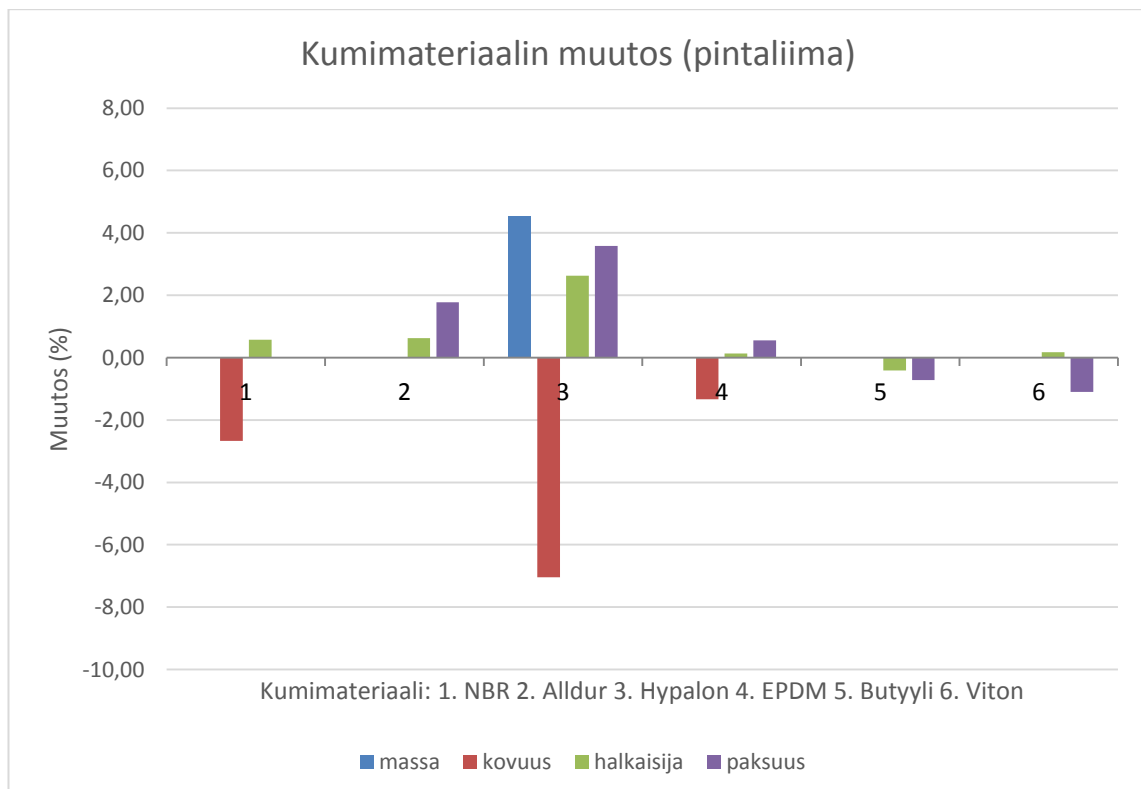
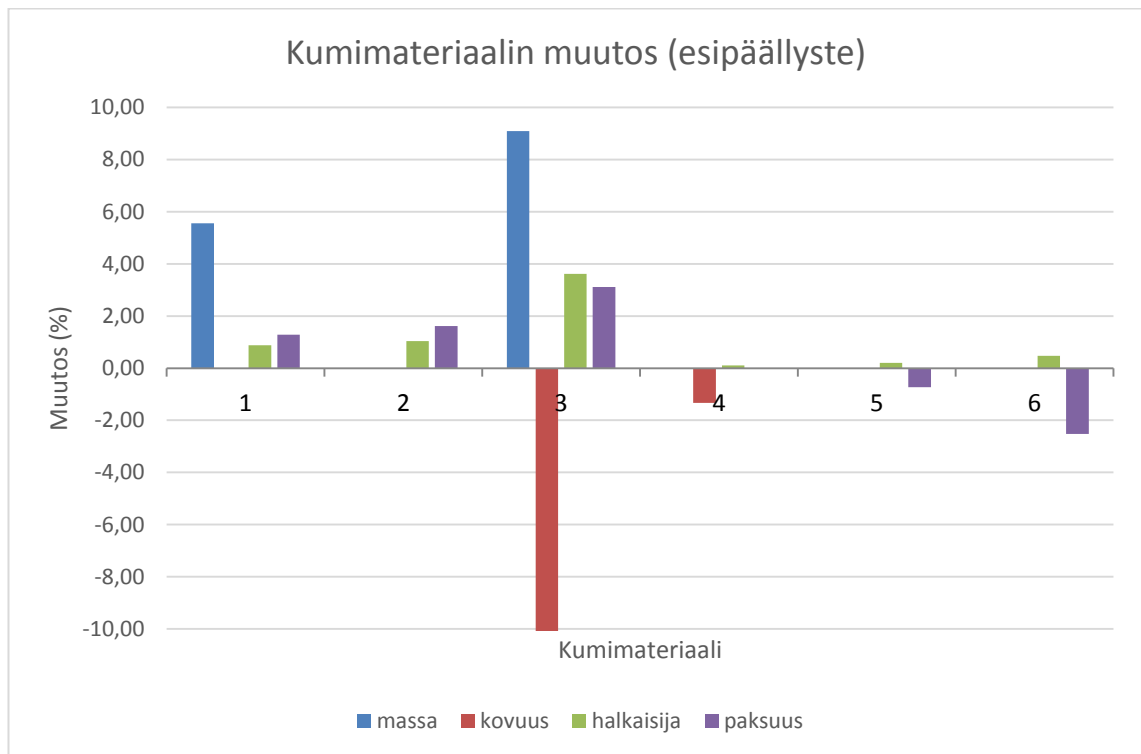
Liite 7. Mittauspöytäkirja sihtaussäiliö 4

ALLWEILER AG		Resistance Test of Elastomers		Tester :		MV														
GE		Testresults		Date :		#####														
Liquid:	Sihtaussäiliö 4																			
Pumppitype:	AED1E2300																			
Customer:	UPM-Kymi/Kääriäinen																			
Pump No.:	KYM3-54 8151 6427-8																			
Operation condition:	Kaliumkarbonaatti 73																			
Test Time:	16 days + 1 day in water																			
	Test Temperature:		50																	
	Results:																			
Elastomers	Mass (g)	Difference abs.		Hardness (Sh)		Difference in %		Diameter (mm)		Difference abs		Difference in %		Thickness (mm)		Difference abs.		Difference in %		
		before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	
AWB-KZ																				
P (NBR)	0,017	0,018	0,0010	74	74	0	0,0000	58,54	59,22	0,68	1,1483	5,4	5,48	0,08	1,4599					
A (Alidur)	0,017	0,018	0,0010	72	72	0	0,0000	58,38	59,31	0,93	1,5680	5,4	5,56	0,16	2,8777					
Y (Hypalon)	0,02	0,022	0,0020	75	69	-6	-8,6957	58,79	60,73	1,94	3,1945	5,55	5,9	0,35	5,9322					
E (EPDM)	0,016	0,017	0,0010	76	74	-2	-2,7027	58,29	58,18	-0,11	-0,1891	5,66	5,71	0,05	0,8757					
B (Butylil)	0,016	0,016	0,0000	69	68	-1	-1,4706	58,57	58,47	-0,1	-0,1710	5,47	5,45	-0,02	-0,3670					
V (Viton)	0,027	0,027	0,0000	72	71	-1	-1,4085	58,2	58,37	0,17	0,2912	5,59	5,61	0,02	0,3565					

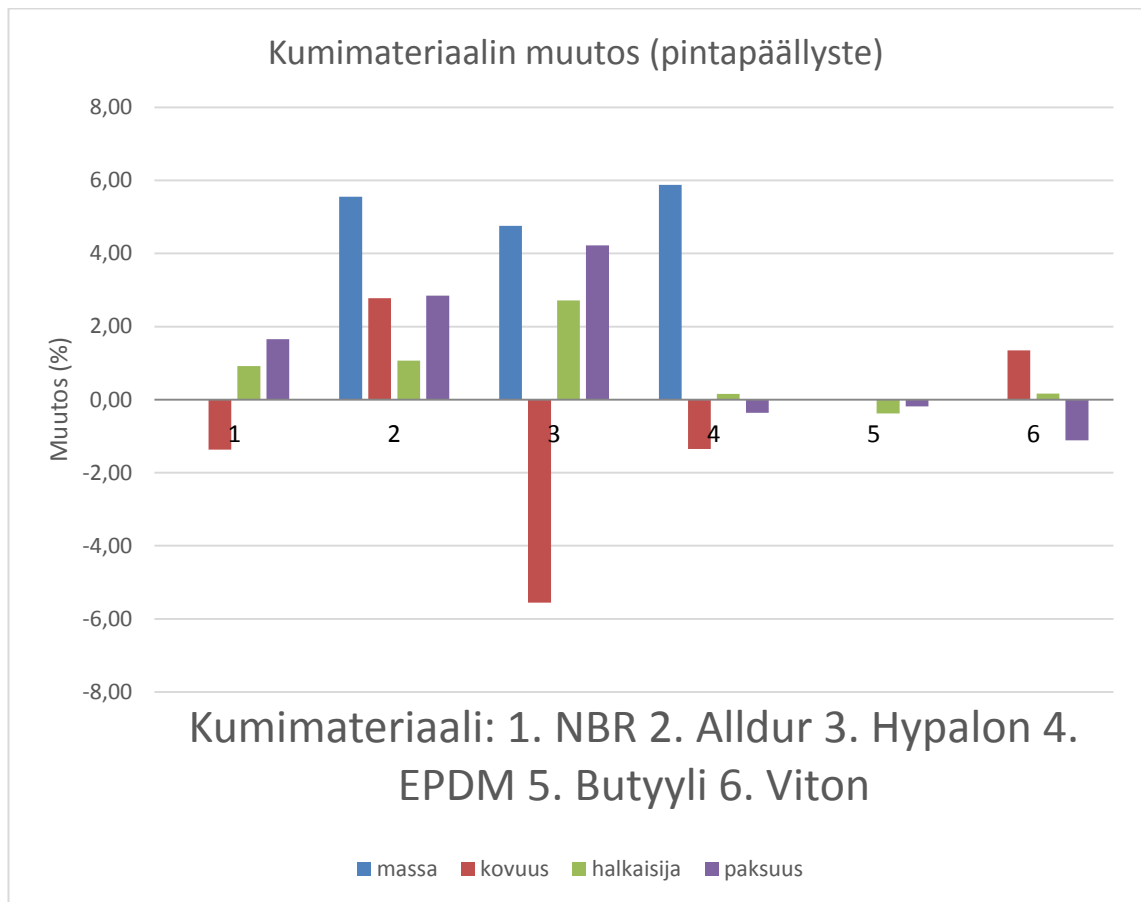
Liite 8. Mittauspöytäkirja sihtaussäiliö 5

ALLWEILER AG		Resistance Test of Elastomers		Tester :		MV									
GE		Testresults		Date :		#####									
Liquid: Sihtaussäiliö 5		Results:													
Pumputype: AED1E2300															
Customer: UPM-Kymi/Kääriäinen															
Pump No.: KYM3-54 8151 6429-30															
Operation condition: Kaoliini 90															
Test Time: 16 days + 1 day in 50deg water		Test Temperature: 40													
Elastomers	Mass (g)	Difference abs.	Difference in %	Hardness (Sh)		Difference abs.	Difference in %	Diameter (mm)		Difference abs.	Difference in %	Thickness (mm)		Difference abs.	Difference in %
				before	after			before	after			before	after		
P (NBR)	0,017	0,018	5,5556	74	73	-1	-1,3699	58,4	58,66	0,26	0,4432	5,38	5,44	0,06	1,102
A (Alldur)	0,017	0,018	5,5556	70	69	-1	-1,4493	58,4	59	0,6	1,0169	5,42	5,65	0,23	4,070
Y (Hypalon)	0,02	0,022	9,0909	76	71	-5	-7,0423	58,67	60,07	1,4	2,3306	5,58	5,98	0,4	6,689
E (EPDM)	0,017	0,017	0,0000	76	74	-2	-2,7027	58,13	58,2	0,07	0,1203	5,64	5,66	0,02	0,353
B (Butylil)	0,016	0,017	5,8824	68	67	-1	-1,4925	58,5	58,5	0	0,0000	5,5	5,52	0,02	0,362
V (Viton)	0,027	0,027	0,0000	73	71	-2	-2,8169	58,51	58,7	0,19	0,3237	5,4	5,4	0	0,000

Liite 9. Kumimateriaalien muutos PK8



Liite 10. Kumimateriaalien muutos C3



Liite 11. Kumimateriaalien muutos sihtaussäiliöt 1-5

1(3)

