

Saimaan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka Lappeenranta
Koneinsinöörin koulutus
Suunnittelu, tuotanto ja kunnossapito

Santtu Parkkonen

Pintapäälystyskoneen mattakalanterin hydraulii- kan modernisointi

Opinnäytetyö 2019

Tiivistelmä

Santtu Parkkonen

Päällystyskoneen mattakalanterin hydrauliiikan modernisointi, 82 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma Lappeenranta

Koneinsinööri

Suunnittelu, tuotanto ja kunnossapito

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: lehtori Simo Sinkko, Saimaan ammattikorkeakoulu, kunnossapitopäällikkö Vesa Pesu, UPM Communication Papers, hydrauliiikan- ja öljynkunnonvalvonnan kunnossapitomestari Jani Näivä, UPM Communication Papers

Opinnäytetyön tarkoituksena oli modernisoida päällystyskoneen kalanteri. Koko projektin laajuuden vuoksi opinnäytetyö rajattiin hydrauliiikkaan. Opinnäytetyössä hydrauliiikka jaettiin kolmeen osa-alueeseen: hydrauliiikkakoneikon osittaiseen suunnitteluun, -hankintaan sekä telaparin ja hydrauliiikan käyttöönottoon. Aikatauluongelmien vuoksi telaparin ja hydrauliiikan varsinaista käyttöönottoa käsiteltiin opinnäytetyössä vain teoreettisella tasolla.

Työn avulla saatiin kilpailukykyinen tarjous hydrauliiikkakoneikoista, jonka ansiosta saavutettiin huomattavia kustannussäästöjä koneikon hankinnassa ja asennuksissa. Koneikon toimitusaika oli 10 viikkoa, joten tarjous tarvittiin mahdollisimman nopeasti, jotta projektia pystyttiin viemään eteenpäin. Tarjouksen haluttiin sisältävän koneikon varustuksineen ja asennuksineen, sähköistyksen sekä putkitukset. Uudella hydrauliiikkakoneikolla mahdollistetaan parempi lopputuote sekä tuotannollinen läpäisykyky.

Opinnäytetyötä voidaan pitää kokonaisuudessaan onnistuneena. Opinnäytetyön avulla saatiin vietyä eteenpäin keskeneräistä projektia ja samalla saavutettiin kymmenientuhansien eurojen säästö. Opinnäytetyötä voidaan myös pitää yleisperhehtävänä materiaalina hydrauliiikan, telahydrauliiikan ja hydrauliikkajärjestelmien käyttöönoton osa-alueista.

Asiasanat: hydrauliiikka, tela, Küsters, koneikko

Abstract

Santtu Parkkonen

Modernizing of a Coater's Hydraulic System, 82 Pages

Saimaa University of Applied Sciences

Faculty of Technology Lappeenranta

Bachelor's Degree Programme in Mechanical Engineering

Designing, Production and Maintenance

Bachelor's Thesis 2019

Instructors: Mr Simo Sinkko, Senior Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences. Mr Vesa Pesu, Maintenance Manager, UPM Communication Papers, Kaukas. Mr Jani Näivä, Supervisor, Hydraulics and Oil Condition Monitoring, Communication Papers, Kaukas

The purpose of this thesis was to create a working solution for the hydraulic system of coater's calander. At the beginning of this project the thesis was limited only to hydraulics because the subject would have been too wide. Of hydraulics the project was divided into three parts: partial designing of the hydraulic system, acquisition of the hydraulic system and introducing of the pair of rollers and the hydraulic system. This thesis contains only theoretical details of introducing the hydraulic system and the pair of rollers due to the project's scheduling problems.

The result of this thesis was to achieve a competitive offer of the hydraulic system which will lead to significant cost savings at the acquisition and installing of the hydraulic system. The offer was needed as soon as possible because the delivery time of the hydraulic system was up to 10 weeks, so the project could move forward. The offer was supposed to include the tank with all the equipment, electrification and all the piping. The new hydraulic system enables better product and production throughput.

In conclusion, the project can be considered successful. The thesis helped taking a big step to the closure of the whole project and achieved cost savings to tens of thousands of euros. This thesis can also be used as an introduction of hydraulics, roll hydraulics and the implementation of the hydraulic systems.

Keywords: hydraulics, roll, Küsters, system

Sisällys

1	Johdanto.....	6
2	UPM Kymmene Oyj.....	7
2.1	UPM Communication Papers.....	7
2.2	Kaukaan paperitehdas.....	7
3	Päällystetyt paperit.....	8
3.1	Pohjapaperi.....	8
3.2	Päällystyspasta.....	8
3.3	Paperin neliömassa.....	9
3.4	LWC (Light Weight Coated).....	9
3.5	MWC (Medium Weight Coated).....	12
3.6	Mattapaperit.....	13
4	Kalanteri.....	13
4.1	Kalanterointi mattalajeilla.....	14
4.2	Konekalanteri.....	15
5	Hydrauliikka.....	17
5.1	Säiliö.....	20
5.1.1	Virtaukset.....	21
5.1.2	Ilman erotus.....	22
5.2	Pumput, kytkimet ja sähkömoottorit.....	23
5.3	Suodatus.....	25
5.3.1	Suodatusaste.....	27
5.3.2	Puhtausluokka.....	29
5.3.3	Painesuodatin.....	30
5.3.4	Paluusuodatin.....	30
5.3.5	Sivukiertosuodatin.....	31
5.3.6	Suodattimien indikointi.....	31
5.4	Lämmönvaihdin.....	32
5.5	Paineenrajoitusventtiili.....	34
5.6	Paine- ja virtauskytkimet.....	35
5.7	Sähköistykset.....	36
6	Telahydrauliikka.....	36
6.1	Kaksoiskierto-Küsters.....	37
6.1.1	Kammiot.....	38
6.1.2	Sivu- ja päätytiivistys.....	38
6.1.3	Paine-erosäädin.....	39
6.1.4	Viivakuorma.....	41
6.2	Küsters ilman jäähdytyspiiriä.....	42
6.3	Sym-ZS.....	44
6.3.1	Toimintaperiaate.....	45
6.3.2	Hydraulisen kuormituselementin toiminta.....	46
7	Tavoiteltavat hyödyt.....	47
7.1	Lämpötilaprofiili.....	48
7.2	Nopeusrajoitteisuus.....	48
7.3	Telaparin vaihto.....	48
7.4	Öljyn kunto.....	49
7.4.1	Öljyn virtaus.....	49
7.4.2	Lämpötilan vaikutukset öljyn ominaisuuksiin.....	50
7.4.3	Hapettuminen.....	52

7.5	Kustannussäästöt	53
8	Suunnittelu.....	54
8.1	Mitoitukset.....	54
8.1.1	Säiliö	54
8.1.2	Jäähdytys	56
8.1.3	Vaihdelaatikon voitelu	58
8.2	Öljyn valinta	59
8.3	Suodatus.....	61
8.4	Komponenttien valinta	62
8.5	Koneikon sijainti.....	63
9	Hankinta.....	64
10	Käyttöönotto.....	65
10.1	Eσίαςennus	65
10.2	Putkistot.....	65
10.3	Huuhtelu	67
10.3.1	Huuhtelusuunnitelma	69
10.3.2	Huuhtelu järjestelmän omilla pumpuilla.....	70
10.4	Punnitus ja kuormittaminen	71
10.5	Öljynkunnonvalvonta	73
11	Pohdinta.....	78
	Lähteet.....	80

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehdään UPM Communication Papers Kaukaan paperitehtaalle. Paperitehtaalla havaittiin, että päällystyskoneen kalanterin alatela on ollut rajoittava tekijä paperinvalmistuksessa. Kalanterin alatela on taipumakompensoitu Küsters-tela, jota kuormitetaan hydraulilla. Alatelan ongelmat ovat olleet hallitsematon lämpötila sekä (-) kammion paineiden nousu katkoissa yli sallitun rajan. Kalanterin telapari korvataan kaksoiskierto-Küsters-telaparilla, joka vaatii uuden hydraulikkakoneikon. Käyttöön otettava telapari löytyy paperitehtaalta ja on ollut käytössä PK2:lla. Kalanteri on yleisin paperin lisäkasittelykeino, jolla parannetaan paperin karheus- ja kiilto-ominaisuuksia sekä säädetään paperin paksuutta. Kalanteroinnin avulla paperin painatus- ja jalostusominaisuudet paranevat.

Työn tavoitteena on saada kohteeseen toimiva ratkaisu, jolla olemassa olevista ongelmista päästäisiin eroon sekä saavutettaisiin useita hyötyjä paperinvalmistukseen, kuten esimerkiksi alatelan pituussuuntaisen lämpötilaprofiilin stabilointi, joka vaikuttaa paperirainan poikkisuuntaiseen paksuuteen. Kalanterin modernisoinnilla poistetaan päällystyskoneen nopeusrajoitteisuus sekä vaikutetaan merkittävästi öljyn kuntoon. Opinnäytetyön tavoitteena on myös saada kustannussäästöjä hydraulikkakoneikon hankinnassa. Opinnäytetyö koostuu aiemman käyttökohteeseen perustuvista tiedoista hydraulikkakoneikon alustavaan suunnitteluun, komponenttien valintaan, hankintaan, kustannustehokkuuteen ja osittain käyttöönottoon.

Opinnäytetyössä otetaan huomioon vain hydraulikan osuus, eli käyttömootteiden, vaihdelaatikon ja uuden telaparin asennusteknisiä osioita ei oteta huomioon. Opinnäytetyössä käsitellään myös paperinvalmistusta, hydraulikkaa ja telahydraulikkaa yleisellä tasolla. Opinnäytetyössä otetaan kantaa öljyn kuntoon sekä hydraulikkajärjestelmän öljynkunnonvalvontaan. Telaparin lopullista käyttöönottoa ei huomioida opinnäytetyössä, vaan sitä käsitellään teoreettisesti.

2 UPM Kymmene Oyj

UPM on biometsäteollisuuden edelläkävijä, joka rakentaa kestävää, innovaatiivetoista ja kiinnostavaa tulevaisuutta kuudella eri liiketoiminta-alueella. Liiketoiminta-alueita ovat Biorefining, Energy, Raflatac, Speciality Papers, Communication Papers ja Plywood. UPM kehittää uusiutuvia ja vastuullisia vaihtoehtoja, joilla voidaan ratkaista fossiilisen talouden ongelmia. Tuotteet valmistetaan uusiutuvista raaka-aineista, jotka ovat kierrätettäviä. UPM työllistää noin 19 000 henkilöä, 12:ssa eri maassa. Myyntiverkosto kattaa 6 manteretta ja liikevaihto on 10,5 mrd.€ (UPM Kymmene Oyj 2019.)

2.1 UPM Communication Papers

UPM Communication Papers on maailman johtava graafisten papereiden valmistaja, jonka tuotevalikoima soveltuu mainontaan, sanoma- ja aikakauslehtiin sekä koti- ja toimistokäyttöön. UPM Communication Papersin pääkonttori sijaitsee Saksassa, ja liiketoiminta-alue työllistää noin 8 000 henkilöä, 15:ssa eri tehtaassa. Liiketoiminta-alueen liikevaihto on 4690 milj.€ ja vuosittainen tuotantokapasiteetti on 8,2 miljoonaa tonnia. (UPM Kymmene Oyj, Communication Papers 2019.)

2.2 Kaukaan paperitehdas

Kaukaan paperitehdas koostuu yhdestä paperikoneesta, kahdesta päällystyskoneesta, neljästä superkalanterista, kolmesta pituusleikkurista ja pakkauskooneesta. Lisäksi tehtaalla on uudelleenrullauskone sekä hylkyrullagiljotiini. Paperitehtaalla valmistetaan kotimaisesta sertifioidusta havukuidusta MWC-paperia (Medium Weight Coated) ja LWC-paperia (Light Weight Coated) 305 000 tonnia vuodessa. Loppukäyttökohteita ovat katalogit, aikakauslehdet ja sanomalehtien liitteet. Kaukaalla valmistetun paperin päämarkkina-alueet ovat Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Kaukaan paperitehtaan valmistamille papereille on myönnetty Euroopan ympäristömerkin käyttöoikeus EU Ecolabel sertifikaatti. Paperitehdas työllistää 260 henkilöä, joista toimihenkilöitä on 27. (UPM Kymmene Oyj, Kaukas 2019.)

3 Päällystetyt paperit

Päällystetyt paperit voidaan jakaa kahteen lajiin: LWC- ja MWC-paperit. LWC-paperi on kevyesti päällystetty paperi, jossa päällystettä on paperin molemmin puolin. LWC-papereita voidaan valmistaa offset- tai syväpainomenetelmällä. MWC-paperit ovat keskiraskaasti päällystettyjä papereita, ja ne tunnetaan tuplapäällystettyinä papereina. Halutun lopputuotteen kannalta tärkeitä tilasuureita ovat pohjapaperi, päällystyspasta ja neliömassa. Kiiltävät paperit kiillotetaan superkalanterilla, kun taas silkkiset paperit kiillotetaan superkalanterilla tai konekalanterilla, riippuen painomenetelmästä. Mattapaperit kiillotetaan himmeäksi konekalanterilla. (KnowPap 20.0.)

3.1 Pohjapaperi

Pohjapaperin laatu ratkaisee noin 80 % lopullisen LWC/MWC-paperin laadusta. Päällystyksellä ja jälkikäsitteilyllä ei pystytä peittämään pohjapaperissa olevia virheitä. Pohjapaperin optiset ominaisuudet määräävät pitkälle myös valmiin paperin optiset ominaisuudet. Pohjapaperin tärkeitä tilasuureita ovat riittävät lujuudet, poikkisuuntainen repäisyjujuus, konesuuntainen vetolujuus, vaaleus, opasiteetti ja optiset ominaisuudet. Pohjapaperin karheus vaikuttaa oleellisesti siihen, kuinka paljon päällystettä pohjapaperin pintaan jää päällystyksessä. Pohjapaperin karheuteen voidaan vaikuttaa kone- tai välikalanterilla. Pohjapaperin poikkisuuntainen karheusprofiiliin täytyisi olla mahdollisimman tasainen, jota mitataan Bendtsen-menetelmällä. Myös pohjapaperin neliömassa- ja kosteusprofiilien tulisi olla mahdollisimman tasaiset, jotta päällystykseen päällystemääräprofiilit olisivat tasaiset. Erityisesti teräpääällystyksessä vaaditaan pohjapaperilta reiättömyyttä. (KnowPap 20.0.)

3.2 Päällystyspasta

Paperin päällystykseen käytettävät pastat koostuvat päällystyspigmentistä, sideaineista kuten lateksi ja tärkkelys sekä muista toiminnallisista apuaineista. Pastan ohennukseen käytetään vettä. Valmiista päällystyspastasta analysoidaan tilasuureita kuten kuiva-ainepitoisuus (KAP), viskositeetti, pH ja lämpötila. Päällystyspastan vesiretentiolla tarkoitetaan pastan vedenpidätuskykyä. Päällystystapahtumassa pastasta imeytyy aina jonkin verran vettä pohjapaperiin, jotta päällyste

ankkuroituu kunnolla pohjapaperiin. Veden imeytyminen pohjapaperiin näkyy pastan kuiva-ainepitoisuuden nousuna pastan konekierrossa. Pastan kuiva-ainepitoisuus nousee liian suureksi, jos pastan vesiretentio alenee liikaa. Päälystemäärän hallinta vaikeutuu, kuiva-ainepitoisuuden ollessa liian korkea. (KnowPap 20.0.)

3.3 Paperin neliömassa

Neliömassa on LWC/MWC-paperin tärkeä tilasuure. Neliömassa määrittää pitkälti sen, kuinka paljon tonnissa paperia on painettavaa pinta-alaa (m^2/t). Vaikuttavia tekijöitä ovat myös paperin paksuus ja tiheys. Lajikohtaisesti neliömassa ilmaistaan kuitenkin helpommin g/m^2 . Paperin tasaisen laadun turvaamiseksi neliömassan on oltava tasainen koko paperirainan pituudelta ja leveydeltä. Paperin neliömassa vaikuttaa useihin paperin laatua kuvaaviin tilasuureisiin kuten, opasiteettiin, kiiltoon ja vaaleuteen. Paperikoneen tuottavuus laskee, jos paperin neliömassa laskee sekä usein myös katkoaika paperikoneella kasvaa. (KnowPap 20.0.)

3.4 LWC (Light Weight Coated)

Kevyesti molemmin puolin päällystetyt (7–15 g/m^2) LWC-paperit valmistetaan painatusta varten, joka tarvitsee suurta tiedonkantokykyä. Pohjapaperi rakenne koostuu hienosta mekaanisesta massasta ja pitkäkuituisesta sellusta. Päällystysprosessin asettaa pohjapaperille vaatimuksia, jonka takia LWC-lajin lujuus on erityisen hyvä. LWC-lajin käyttökohteet ovat kaikissa aikakauslehti- ja myyntiluteloissa (Kuva 1), joiden mainonnallinen osuus on suuri. Sen hyvät vaaleus- ja kiilto-ominaisuudet antavat paperilajeille lisänimen mainostajan paperi. LWC:tä käytetään harvemmin suuriin painovolyymeihin. LWC-lajia valmistetaan sekä HSWO (heatset web offset) että syväpainomenetelmään sopivaksi. (KnowPap 20.0.)



Kuva 1. LWC-paperista valmistettu aikakausilehti (KnowPap 20.0)

LWC-offset-paperin painatus tapahtuu heatset-offsetprosessissa, joka asettaa painopaperille vaatimuksia (Taulukko 1). Paperin täytyy kestää tahmeiden painovärien, kostutusveden ja kuumailmakuivauksen aiheuttamat kuormitukset. Rulla-levydet ovat yleensä 80–100 cm ja halkaisijat 100–125 cm. Tilauskoko offsetissa on useimmiten pieni. Syväpainatuksessa konelevydet ovat kasvaneet 348 cm:iin asti, mutta tyypillinen koneleveys on 200–265 cm. Paperin neliömassan ollessa alhainen ($< 51 \text{ g/m}^2$) on syväpainon osuus suurempi offsetissa, jonka myötä painonopeudet ovat myös nousseet. Konelevyden ja painonopeuksien kasvut asettavat tiukkoja vaatimuksia rullaukselle ja rullien mekaaniselle kunnonlelle. (KnowPap 20.0.)

Offsetmenetelmä	Syväpainomenetelmä
Hyvä konesuuntainen vetolujuus	Hyvä konesuuntainen vetolujuus
Hyvä poikkisuuntainen repäisylujuus	Hyvä poikkisuuntainen repäisylujuus
Konesuuntainen venymä	Konesuuntainen venymä
Tasaiset profiilit	Tasaiset profiilit
Riittävä pintalujuus	Puristuskimmoisuus
Viiruttomuus	
Pölyämättömyys	

Taulukko 1. Eri painomenetelmien asettamat ajettavuusvaatimukset

Tärkein LWC-syväpainopaperin painettavuusominaisuuksiin vaikuttava tilasuure on sileys (Taulukko 2). Puutteellisen painatussileyden vaikutus painojälkeen aiheuttaa niin sanottuja puuttuvia pisteitä ja tämän vuoksi painojäljen laatu heikenee varsinkin vaaleissa sävypinnoissa. LWC-syväpainopaperin sileyttä mitataan PPS-menetelmällä. Paperin painettavuutta testataan niin sanotulla Heliotest-menetelmällä. Suuri painojäljen kiilto saavutetaan korkealla paperin kiillolla, pienellä painoväriin absorptiolla ja hyvällä päällysteen peittokyvyllä. Pieni läpipainatus saavutetaan hyvällä opasiteetilla ja pienellä väriabsorptiolla. Syväpainossa kuitukarhentuma ei ole ongelma, kuten offsetissa. Sen sijaan vaaleiden sävyjen tasaisuus on tärkeää painojäljelle. (KnowPap 20.0.)

Offsetmenetelmä	Syväpainomenetelmä
Hyvä pintalujuus	Hyvä painatussileys
Korkea kiilto	Korkea kiilto
Korkea vaaleus	Korkea vaaleus
Riittävä opasiteetti	Korkea opasiteetti
Pieni pintakarheus	Riittävä pinnan tiiveys
Mittapysyvyys	Jäykkyys
Jäykkyys	Sopiva huokoisuus
Korkea palstautumislujuus	Kastuvuus
Väri- ja vesiabsorption tasaisuus	Kokoonpuristuvuus
Pölyämättömyys	

Taulukko 2. Eri painomenetelmien asettamat painettavuusominaisuudet

3.5 MWC (Medium Weight Coated)

Mekaaninen ja keskiraskaasti päällystetty MWC-paperilaji tunnetaan myös kaksoispäällystettynä paperina. MWC-paperin neliömassa-alue on yleensä 70–130 g/m², josta päällystettä on 12–24 g/m² per puoli. Kaksoispäällystys antaa pinnalle homogeenisen rakenteen, perustan painoväriin kiillolle sekä erinomaisen sileyden. Paperin pinta antaa offsetpainatuksessa mahdollisuuden saavuttaa pieni rasteripisteen leviäminen, mistä johtuu paperin suosiminen vaativaan 4-väripainatukseen. MWC-lajia valmistetaan lähinnä offsetlajina, mutta käytettäessä sähköavusteista syväpainomenetelmää, sille voidaan saavuttaa myös erinomainen painotulos. Laji sopii parhaiten liimasidottaviin erikoisaikakauslehtiin (Kuva 2), jotka asettavat paperille korkeat laatuvaatimukset. (KnowPap 20.0.)



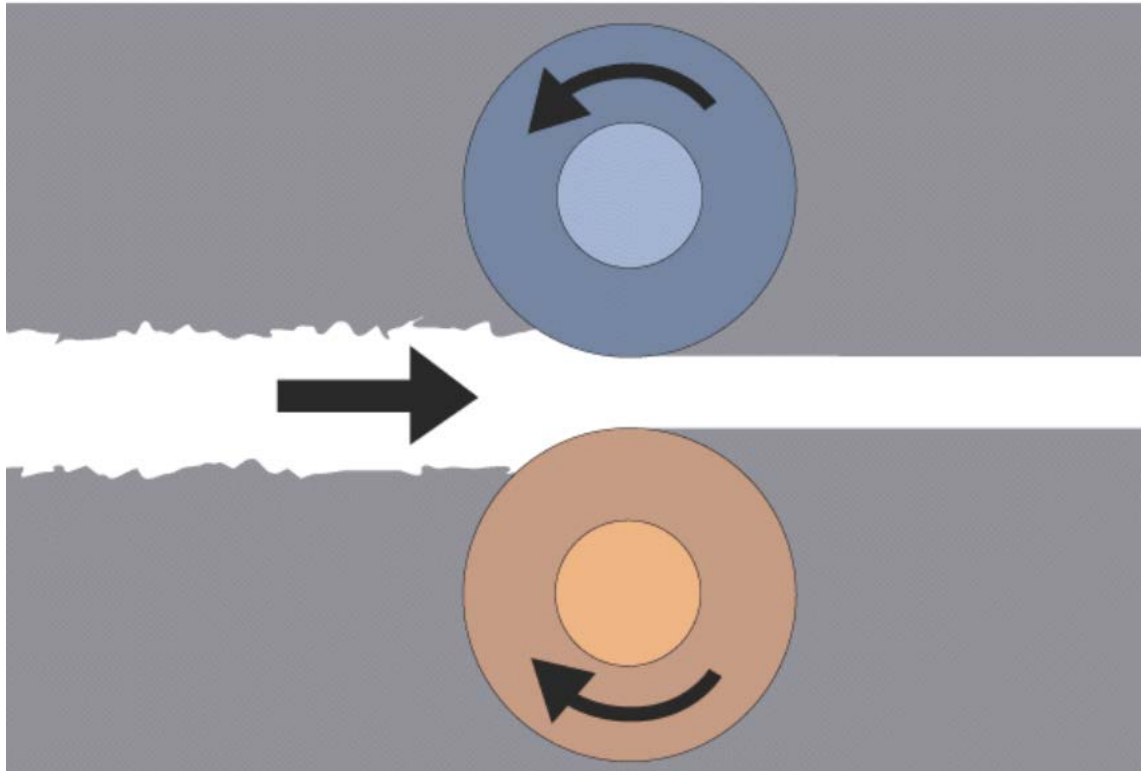
Kuva 2. MWC-paperista valmistettu liimasidottu erikoisaikakauslehti (KnowPap 20.0)

3.6 Mattapaperit

Offset-lajien joukosta löytyy myös niin sanottu mattalaji. Paperin vaaleustasot sovitetaan sen neliömassaan siten, että korkeimmat neliömassat ovat vaaleimpia. Mattapaperit ovat yleensä päällystettyjä papereita, jotka kiillotetaan himmeäksi kalanterilla. Mattapapereille karheus on ominainen tilasuure. Mattapapereiden kiilto ja valonheijastuskyky pyritään pitämään pienenä, riippuen painomenetelmästä. Mattapintaisten papereiden päällystykseen käytetään erilaista päällystyspasta, kuin kiiltäviin lajeihin sekä mattapaperit ovat niin sanottuja bulkkipapereita. Bulkki tarkoittaa paperin tiheyden käänteisarvoa, toisin sanoen ominaistilavuutta. Korkea bulkkiarvo merkitsee paperin olevan paksua sekä kevyttä. Mattapapereita valmistetaan esimerkiksi koulukirjoihin. (KnowPap 20.0.)

4 Kalanteri

Paperikoneen kuivatusosalta valmistuva raina ei vielä sovellu lopulliseen käyttötarkoitukseensa, vaan paperi vaatii lisäkäsittelyä. Yleisin lisäkäsittely on kalanterointi. Kalanteroinnissa paperiraina viedään kahden tai useamman telan muodostaman nippijärjestelmän läpi. Nippi tarkoittaa kahden tai useamman telan muodostamaa kosketuspintaa. Paperi on mahdollista kalanteroida paperikoneella, on-machine kalanterilla tai jälkikäsittelyssä, off-machine kalanterilla. Kalanteroinnin päätehtäviin kuuluu paperin pintaominaisuuksien kuten karheuden ja kiillon parantaminen, jotta sen painatus- tai jalostusominaisuudet paranisivat. Kalanteroinnissa säädetään paperin paksuutta, jotta tiheys olisi halutulla tasolla (Kuva 3). Pituusleikkauksessa vaaditaan tasaisia rullia, jonka vuoksi kalanteroinnissa tasataan paperin paksuusprofiilia. (KnowPap 20.0.)




Kuva 3. Paperin paksuuden säätö kalanterin nipissä (KnowPap 20.0)

Kalanterityyppejä ovat muun muassa kovanippikalanteri, softkalanteri, pitkänipikalanteri, mattakalanteri ja superkalanteri. Superkalanteri on pystysuuntainen telapino, jossa on vuorotellen kuitu- ja metallipintaisia teloja. Superkalanterin ylin ja alin tela ovat taipumakompensoituja kokilliteloja. Painopaperisuperkalanterissa on yleensä 10 tai 12 telaa. Superkalanteroinnissa haetaan paperin kiilto-ominaisuuksia siten, että pyritään saavuttamaan halutut painettavuusominaisuudet tiivistämättä paperia liikaa. (KnowPap 20.0.)

4.1 Kalanterointi mattalajeilla

Kaukaan paperitehtaalla valmistetaan useita erilaisia mattalajeja. Mattapintaisia papereita on tuplapäällystettyjä sekä niin sanottuja sinkkumattoja, jotka päällystetään vain kerran molemmin puolin päällystysasemilla. Papereita on useita erilaisia neliöpainoltaan (Kuva 4), jotka asettavat papereille muita vaatimuksia. Mattakalanterointi voidaan suorittaa kova- tai pehmeäpintaisilla teloilla. Kaukaan paperitehtaan mattakalanteri on kovanippinen konekalanteri. Mattakalanteroinnin pääperiaate on saada paperi kiillotettua himmeäksi. Kovanippisellä mattakalan-

terilla tasoitetaan paperin paksuusprofiilia ja pyritään saavuttamaan oikea karheustaso. Tuplapäälystetyt lajit ajetaan ensin esipäälystysaseman läpi, jolla luodaan paperiin ensimmäinen päälystyskerros. Esipäälystetyksen jälkeen paperi päälystetään molemmin puolin erillisillä päälystysasemilla. Päälystetyksen valmistuttua mattapaperit kulkevat mattakalanterin nipin läpi. Kiiltävät paperit ohittavat mattakalanterin, sillä niiden kiillotus tapahtuu superkalanterissa.



UPM Star matt H

Grade:
Medium weight coated (MWC)

Printing methods:
Heatset web offset

End uses:
Advertising material
Books
Brochures
Catalogues
Direct mailing
High-quality magazines
Magazines

[VIEW PRODUCT](#)

[VIEW BRAND FAMILY](#)

Technical target values

Basis Weight (ISO 536) (g/m ²)	65.0	70.0	75.0	80.0	90.0	100.0
Bulk (ISO 534) (cm ³ /g)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Brightness D65 (ISO 2470-2) (%)	92.0	93.0	93.0	94.0	94.0	94.0
L-value D65 (D65/10°) (ISO 5631-2)	93.5	93.5	93.5	94.0	94.0	94.0
a-value D65 (D65/10°) (ISO 5631-2)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
b-value D65 (D65/10°) (ISO 5631-2)	-6.5	-6.5	-6.5	-7.0	-7.0	-7.0
Opacity ISO (2471) (%)	92.0	92.0	93.0	94.0	95.0	97.0
Gloss Hunter (ISO 8254-1) (%)	18.0	18.0	19.0	19.0	21.0	21.0
Smoothness PPS 10 (ISO 8791-4) (µm)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

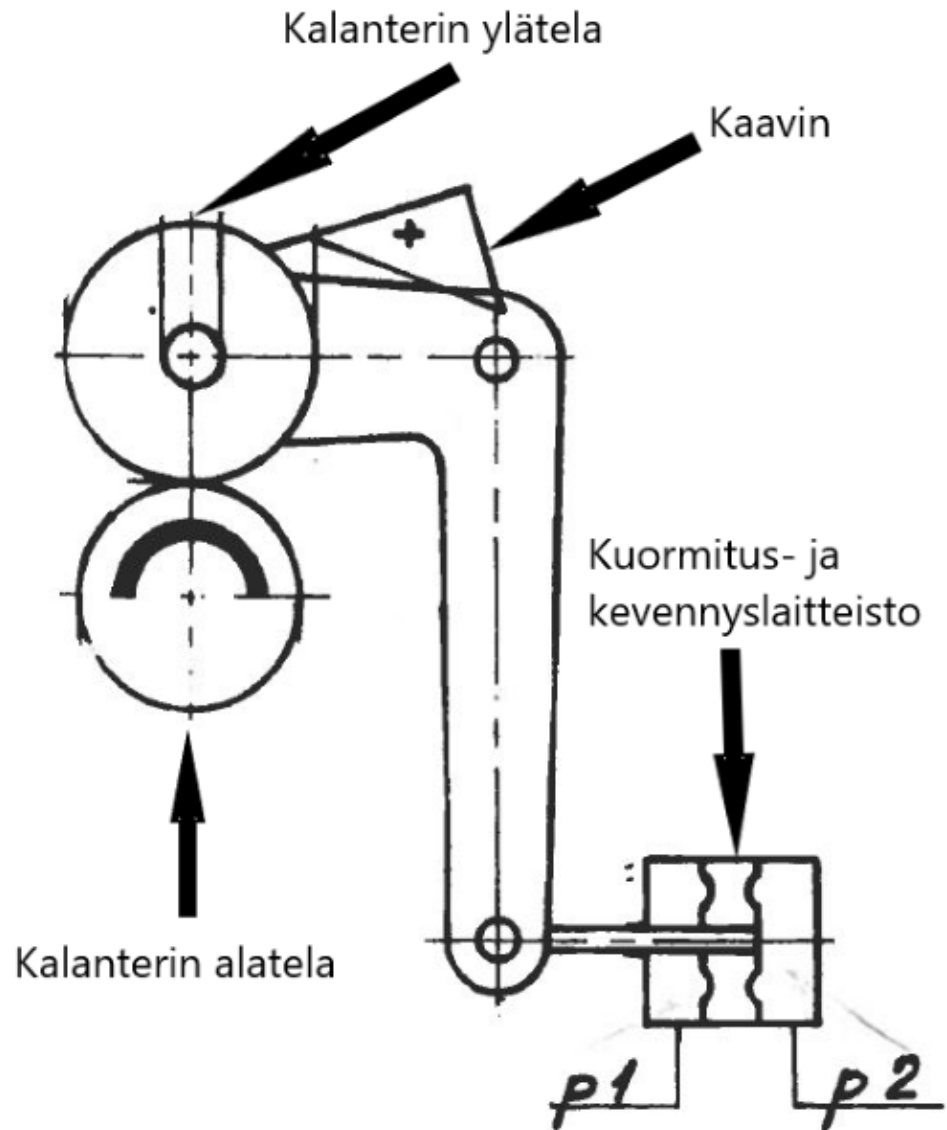
Please note: Technical values are informative and subject to production variations.

Kuva 4. UPM Star matt H-lajin tuotetiedot (UPM Kymmene Oyj 2019, Products)

4.2 Konekalanteri

Konekalanteri (Kuva 5) sijoitetaan yleensä paperikoneen kuivatusosan ja rullaimen välille. Konekalanteria voidaan käyttää myös välikalanterina ennen paperin päälystystä. Välikalanteroinnissa paperille annetaan kevyt pintakäsittely. Kaukaan paperitehtaalla konekalanteri sijaitsee paperikoneen kuivatusosan jälkeen sekä päälystyskoneella, 2.kuivatusryhmän ja kiinnirullaimen välissä toimien mattakalanterina. Konekalanterin nopeus on yhtä suuri kuin paperi- tai päälystyskoneen nopeus, riippuen sen sijoituspaikasta. Käytettävä viivakuorma riippuu valmistettavasta paperilajista sekä asetetusta kalanterointituloksesta. Rainan poikisuuntainen paksuus tulee olla mahdollisimman tasainen, jonka vuoksi paperin

paksuusprofiilille on jatkuva seuranta. Telojen epätasainen lämpötila ja rainanpoikkisuuntaiset kosteusvaihtelut voivat aiheuttaa poikkeamia rainan poikkisuuntaisessa paksuudessa. (KnowPap 20.0.)



Kuva 5. Kalanterin rakenne (Küstters 1999)

Konekalanterin ominaispiirteitä ovat metallitelat ja kapea nippi (Kuva 6), jossa paperin viipymäaika on lyhyt. Konekalanterissa on yleensä suuret maksimipaineet, mutta pieni viivakuormitus. Konekalanterointi ei aiheuta oleellisia rainan pinnan suuntaisia voimia eikä anna hyvää kiiltoa paperille, mutta pyrkii tasaamaan paksuuden eli tekee tiheysvaihteluita. Suuri maksimipaine voi aiheuttaa paperin mustumista, jos paperirainassa on suuri kosteus ja huono formaatio. Kalanteroin-

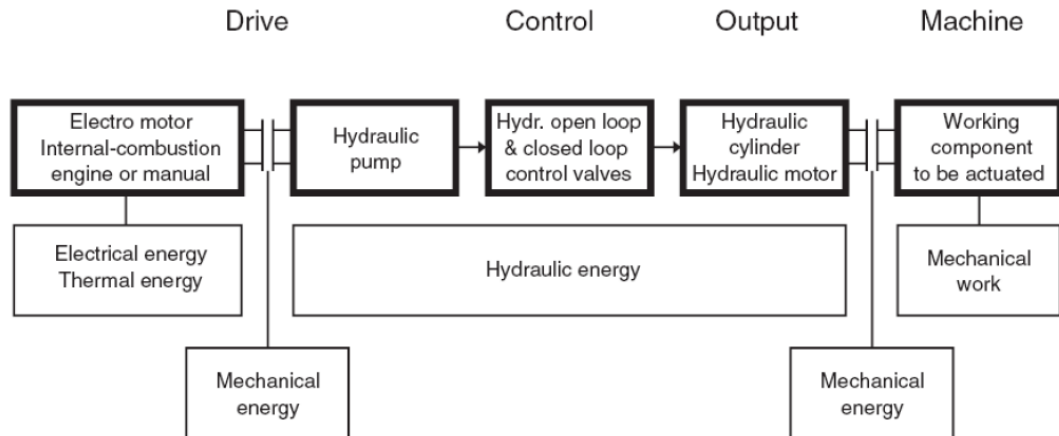
nissa paperin lujuudet pienenevät ja pinnasta tulee helposti pölyävä. Konekalantointiin on helppo käyttää taipumakompensoituja ja lämmitettäviä teloja sekä kaavaroinnin toteutus on mahdollista. (KnowPap 20.0.)



Kuva 6. Nippi (KnowPap 20.0)

5 Hydraulikka

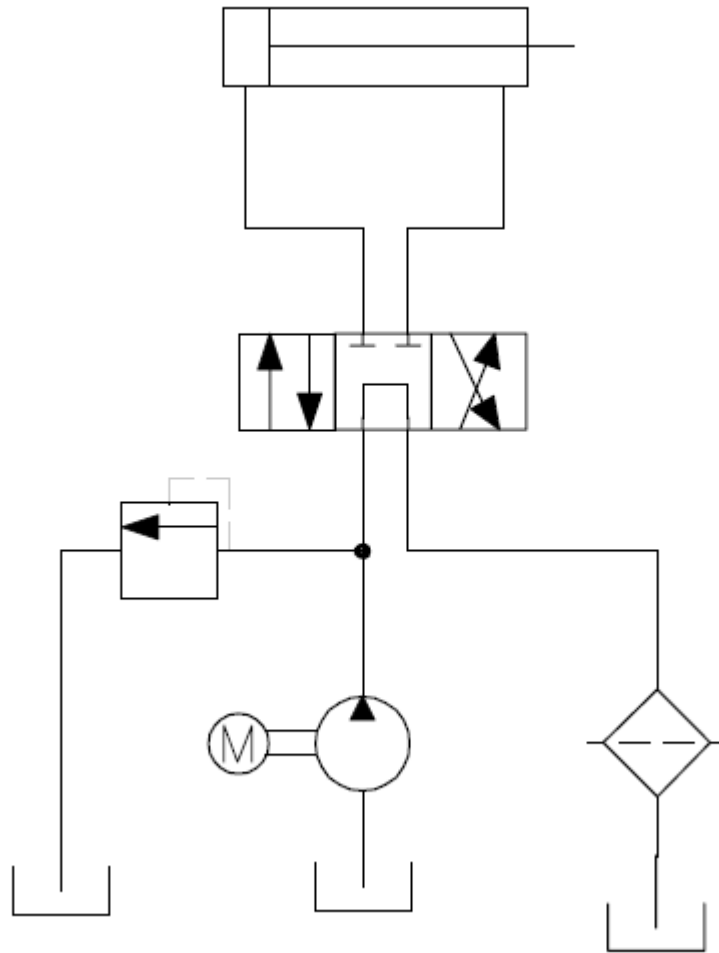
Hydrauliikkajärjestelmä on energiansiirronketju, jossa sähkömoottorin tai polttomoottorin tuottama mekaaninen energia muutetaan hydrauliseksi energiaksi. Hydraulinen energia siirretään paineen ja tilavuusvirran avulla putkia pitkin toimilaitteille, joka voidaan muuttaa takaisin mekaaniseksi energiaksi (Kuva 7). Putkissa olevaa hydraulista energiaa voidaan säädellä ja ohjata erilaisilla venttiileillä. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 1.) Hydrauliikkajärjestelmän yleisimmät komponentit ovat säiliö, pumput, moottorit, suodattimet, venttiilit, lämmönvaihtimet, toimilaitteet sekä muut sähkölaitteet.



Kuva 7. Energiasiirtoketju hydraulikkajärjestelmässä (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 1)

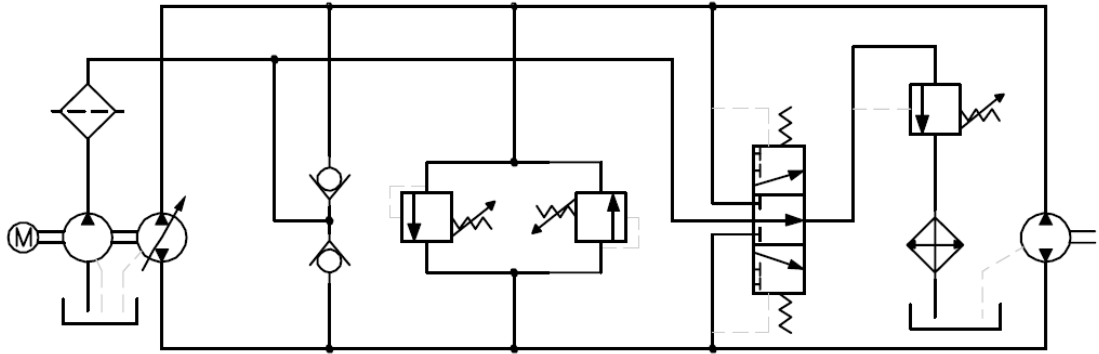
Hydrauliikan käyttökelpoisuus perustuu siihen, että nesteillä ei ole omaa muotoa sekä nesteet ovat käytännössä katsoen kokoonpuristumattomia. Nesteiden painejakauma on aina tasainen. Hydrauliikalla voidaan tuottaa suuria voimia pienillä komponenteilla, jotka ovat usein standardisoituja. Hydrauliikalla on helppo toteuttaa lineaari- ja pyörimisliikkeitä, joten voimien, momentin ja nopeuden säätö on myös helppoa. Hydrauliikkaa pystytään ohjaamaan sähköisesti sekä ylikuormituksen esto on mahdollista. Muutamia haittoja on myös olemassa kuten jatkuvan huollon tarve, jotta vuotoja ei ala esiintymään, järjestelmän on oltava puhdas komponenttien moitteettoman toimimisen kannalta sekä tehohäviöitä syntyy pitkällä virtausmatkoilla. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 1.)

Hydraulijärjestelmät voidaan luokitella avoimeen- ja suljettuun järjestelmään. Avoimessa järjestelmässä pumppu imee öljyä vapaaöljysäiliöstä, jonne se myös palaa toimilaitteilta (Kuva 8). Pumpun tilavuusvirran pumppaus tapahtuu vain yhteen suuntaan, joten toimilaitteiden suunnanvaihto toteutetaan venttiileillä. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 2.)



Kuva 8. Avoin järjestelmä (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 2)

Suljetussa järjestelmässä toimilaitteilta palaava öljy kulkeutuu pumpun imupuolelle (Kuva 9). Usein pumppu on kahteen suuntaan pumppaava säätötilavuuspumppu, jolloin suunnanvaihto toimilaitteelle voidaan toteuttaa pumpun avulla. Öljyn jäähdytystä ja vuotojen hallintaa varten tarvitaan syöttöpumppu ja niin sanottu huuhteluventtiili. Suljetussa järjestelmässä syöttöpumppu toimii yleensä pääpumpun yhteydessä, mutta sitä voi käyttää myös sylinterikäytön yhteydessä. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 2.)



Kuva 9. Suljettu järjestelmä (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 2)

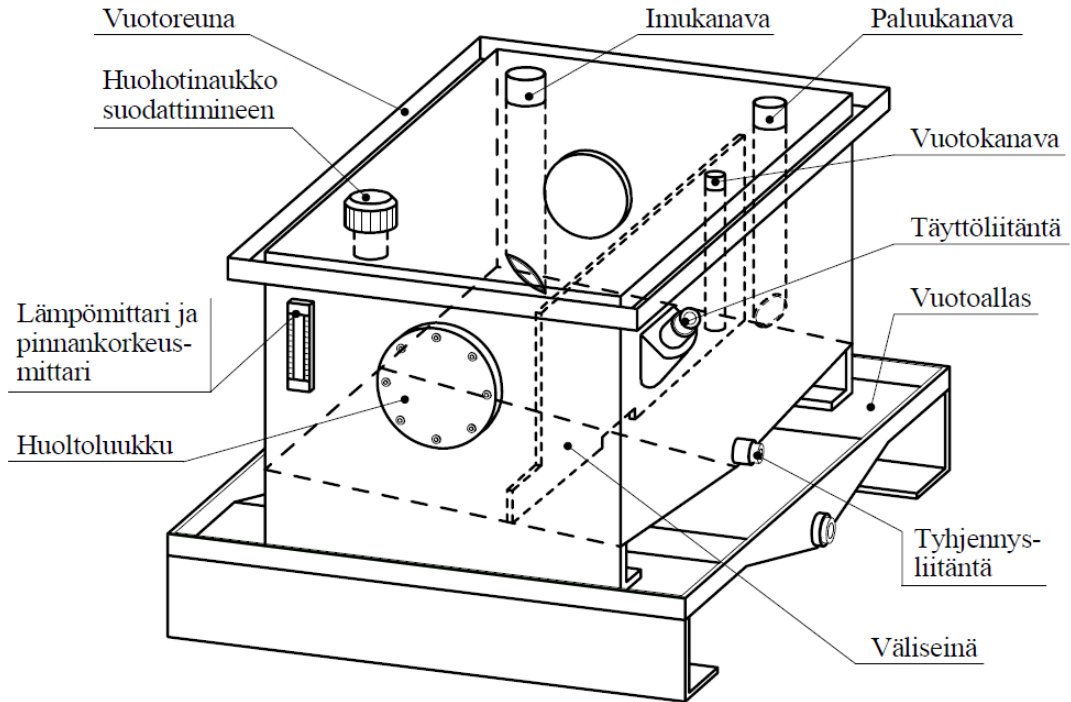
5.1 Säiliö

Hydrauliikan oikeaoppisen toimimisen kannalta nestesäiliön merkitys on suuri. Säiliöstä (Kuva 10) neste imetään pumpun avulla järjestelmään sekä järjestelmässä jo oman työnsä tehnyt neste palaa takaisin säiliöön. Hydrauliikkasäiliö on mahdollista rakentaa suoraan laitteen runkoon, tai se voi myös olla erillinen säiliö. (Mäkinen 1977, 7.)

Hydrauliikkasäiliön päätoiminen tehtävä on pitää haluttu öljyreservi järjestelmässä, mutta samalla se suojelee öljyä ulkoisilta epäpuhtauksilta. Säiliön tehtävä on myös jäähdyttää öljyä sekä poistaa muodostunutta vettä. Säiliön avulla suodatetaan öljyn mukana kulkevien mekaanisia epäpuhtauspartikkeleita. (Mäkinen 1977, 7-10.)

Hydrauliikkasäiliöt ovat yleisesti ottaen hitsattuja teräslevyrakenteita. Pienemmät säiliöt voidaan valmistaa painevalamalla tai valamalla. Säiliö jaetaan välilevyillä kahteen tai useampaan osaan, imupuolen- ja paluupuolen öljyä varten. Säiliön molemmista päistä löytyvät huoltoluukut puhdistusta varten, joista toiseen asennetaan öljyn minimi- ja maksimikorkeuden näkölasit. (Mäkinen 1977, 11.) Imuputki kiinnitetään säiliöön laipalla, jonka tarkoitus on mahdollistaa imusuodattimen vaihto. Imusuodatusta ei kuitenkaan nykyään enää juurikaan käytetä (Näivä 2019). Säiliön päältä löytyy asennuslevy pumppua ja moottoria varten (Mäkinen 1977, 11).

Säiliön varusteet



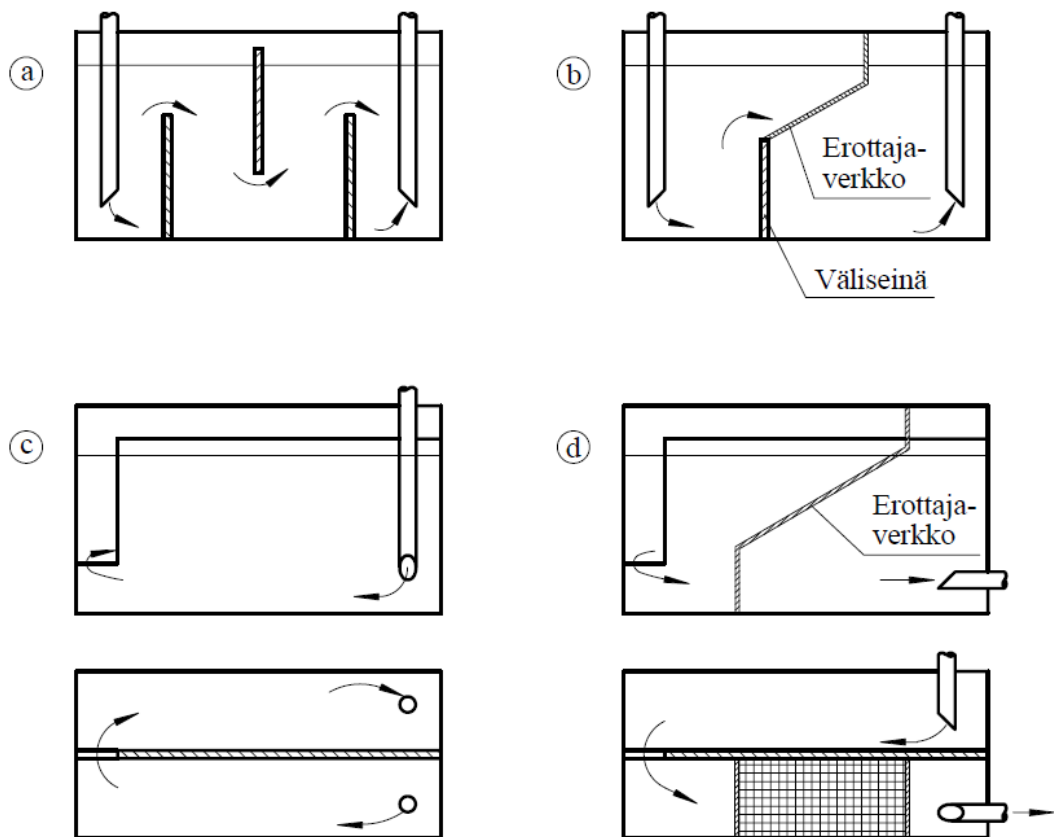
Kuva 10. Säiliön varusteet (Aalto-yliopisto)

Hydrauliikkakoneikot varustetaan aina vuotoaltaalla, joka estää öljyn leviämisen ympäristöön. Vuotoaltaan tilavuus tulee olla vähintään 30 % säiliön tilavuudesta sekä sen pohja kallistetaan vuotoaltaan tyhjennysyhteeseen päin. Tyhjennysyhde sijoitetaan vuotoaltaan huoltosivulle siten, että kaikki altaassa oleva öljy on mahdollista laskea yhteen kautta ulos. Suunniteltaessa vuotoallasta on otettava huomioon riittävä tila puhdistusluukun eteen, jotta säiliön puhdistus on mahdollista. Vuotoaltaan materiaali on yleensä maalattua tai haponkestävää terästä. Koneikon kaikki komponentit sijoitetaan vuotoaltaan sisäpuolelle. Vuotoaltaan tukijalkojen korkeus on tapauskohtainen, mutta altaan on oltava vähintään 300 mm irti lattiasta. (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 9.)

5.1.1 Virtaukset

Imuputki ja paluuputki pyritään asentamaan mahdollisimman kauas toisistaan, mielellään säiliön molempiin pätyihin. Paluuputki asennetaan säiliöön siten, että säiliöön palaava öljyvirtaus ei pyöritä jatkuvasti säiliön pohjalle kertynyttä sakkaa. Paluu- ja vuotoputket pyritään asentamaan niin, että öljyssä oleva ilma pääsisi

mahdollisimman helposti säiliön nestepintaan. Virtausta pystytään rauhoittamaan paluuputken pään viistoamisella. Paluuvirtauksen ulostulo ohjataan suoraan säiliön päättyyn tai ensimmäistä välilevyä kohti (Kuva 11). Tällä minimoidaan turbulentsinen virtaus, joka pienenee virtauksen edetessä. Välilevyillä eliminoidaan loput turbulentsisesta virtauksesta. Paluuvirtauksen kulku on myös otettava huomioon, että kuuma paluuvirtaus ei pääse suoraan kulkemaan imupuolelle, vaan sen on jäädyttävä matkalla. (Mäkinen 1977, 12-13.)



Kuva 11. Säiliön tehostaminen (Aalto-yliopisto)

5.1.2 Ilman erotus

Järjestelmän käydessä voi tapahtua suuria paineenlaskuja. Paineenlaskujen yhteydessä tapahtuvassa liuennon ilman vapautumisessa, hydraulikkaöljyyn muodostuu ilmakuplia. Huonosti suunnitellussa säiliössä, voi öljyyn sekoittua ilmaa vuotavan imulinjan kautta tai virtaavan öljyn ollessa kosketuksessa ilman kanssa. Järjestelmän toiminta heikkenee ja öljyn käyttöikä lyhenee ilmanpitoisuuden ollessa korkea. Ilman erottamiseen on varauduttava suunnitteluvaiheessa.

Säiliöön voi lisätä ilmanerotusverkon, jolla tehostetaan painovoimaista ilman erotusta. Säiliön täyttökorkkina käytetään huohotinta, joka sallii korvausilman virtauksen säiliöön, kun järjestelmän painetaso muuttuu nestepinnan laskiessa. (Mäkinen 1977, 15.) Öljysäiliö tulee myös suunnitella tarpeeksi tilavaksi ja toimivaksi kuitenkin siten, että ilman erottumiselle jäisi riittävästi aikaa sekä ilmakuplien nousumatka oli lyhyt (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 19).

5.2 Pumput, kytkimet ja sähkömoottorit

Sähkö- tai polttomoottorin kehittämä mekaaninen energia muunnetaan pumpun avulla hydrauliseksi energiaksi. Riittävän suuren imu puolen alipaineen kehittyttyä, pumppu aikaansaa öljyn nousun pumpulle ulkoisen ilmanpaineen avulla. Pienentämällä painepuolella olevaa öljyn tilavuutta saadaan vastaavasti pumppu pakotettua öljyn virtauksen järjestelmään. (Mäkinen 1977, 57.)

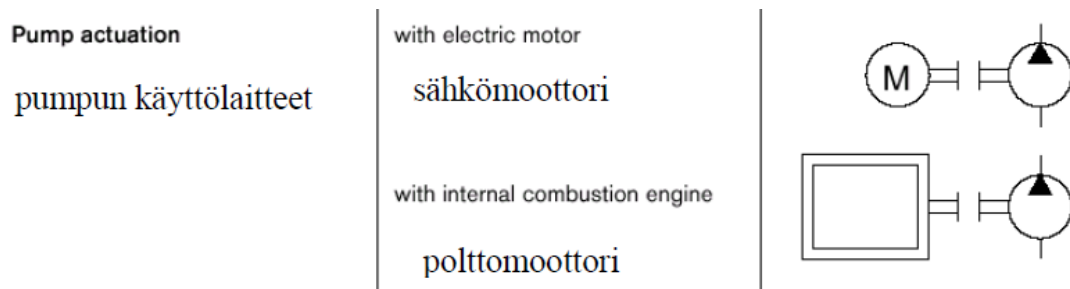
Pumput jaetaan vakiotilavuusvirta- ja säätötilavuusvirtapumppuihin (Kuva 12). Pumpputyyppejä ovat hammaspyörä, siipipyörä, ruuvi- ja mäntäpumput.

	Designation	Explanation	Symbol						
yksi virtaussuunta	Pumps - with one flow direction	Conversion of mechanical to hydraulic energy	<table border="0"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Displacement</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Fixed</td> <td style="text-align: center;">Variable</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	Displacement		Fixed	Variable		
Displacement									
Fixed	Variable								
kaksi virtaussuuntaa	- with two flow directions (reversible)		<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>						

Kuva 12. Pumppujen piirrosmerkit (Paavilainen 2009, 6)

Oikosulkumoottoreita käytettäessä tyypillisiä pyörintänopeuksia ovat 1000, 1500 tai 3000 1/min. Melutaso nousee alhaisemmillä pyörimisnopeuksilla, mutta sen sijaan pumpun kierrostilavuus kasvaa. Itse pumpun imevyys on syytä varmistaa etenkin korkeammilla pyörimisnopeuksilla. Sähkömoottorin on tuotettava noin 10 % suurempi teho, kuin laskettu akseliteho. Määrittäessä suurinta tehontarvetta on kiinnitettävä huomiota siihen, että järjestelmän suurin paine ja -tilavuusvirta eivät välttämättä esiinny samanaikaisesti. (Paavilainen 2009, 79.) Sähkömoottoreiden valinnassa tulee ottaa huomioon IEC-standardin mukaiset vaatimukset

(Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 42). Kuvassa 13 esitetään sähkö- ja polttomoottorin piirrosmerkit.



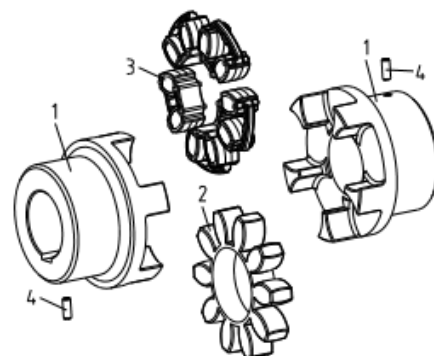
Kuva 13. Sähkö- ja polttomoottorin piirrosmerkit (Paavilainen 2009, 7)

Sähkömoottorin välittämä mekaaninen energia siirretään pumpulle akselin välityksellä. Moottorin ja pumpun akseleiden välille asennetaan kytkin, jotta pyörimisnopeus välittyy pumpulle. Hydraulipumpuissa käytetään usein vääntöjousta-
via sakarakytkimiä, kuten esimerkiksi Rotex-kytkintä (Kuva 14). Kytkinpuolik-
kaiden väliin asennetaan joustoelementti, joka ottaa väännöstä aiheutuvat iskut vas-
taan. Kytkin kuuluu suojata kytkinkartiolla, joka asennetaan laipoistaan sähkö-
moottoriin ja pumppuun. Kytkinkartion tehtävä on suojata kytkintä ympäristön vai-
kutuksista sekä estää mahdolliset tapaturmat. Kytkinkartiolla on tarkastusreikä,
josta voidaan todentaa kytkimen tai joustoelementin kunnon.

Rakenneosat ROTEX®, akselikytkinrakenne nro 001

Raken- neosa	Kappale- määrä	Nimitys
1	2	Napa
2	1	Joustoelementti ¹⁾
3	5 ²⁾	DZ-Elementit ¹⁾
4	2	Pidätinruuvit DIN EN ISO 4029

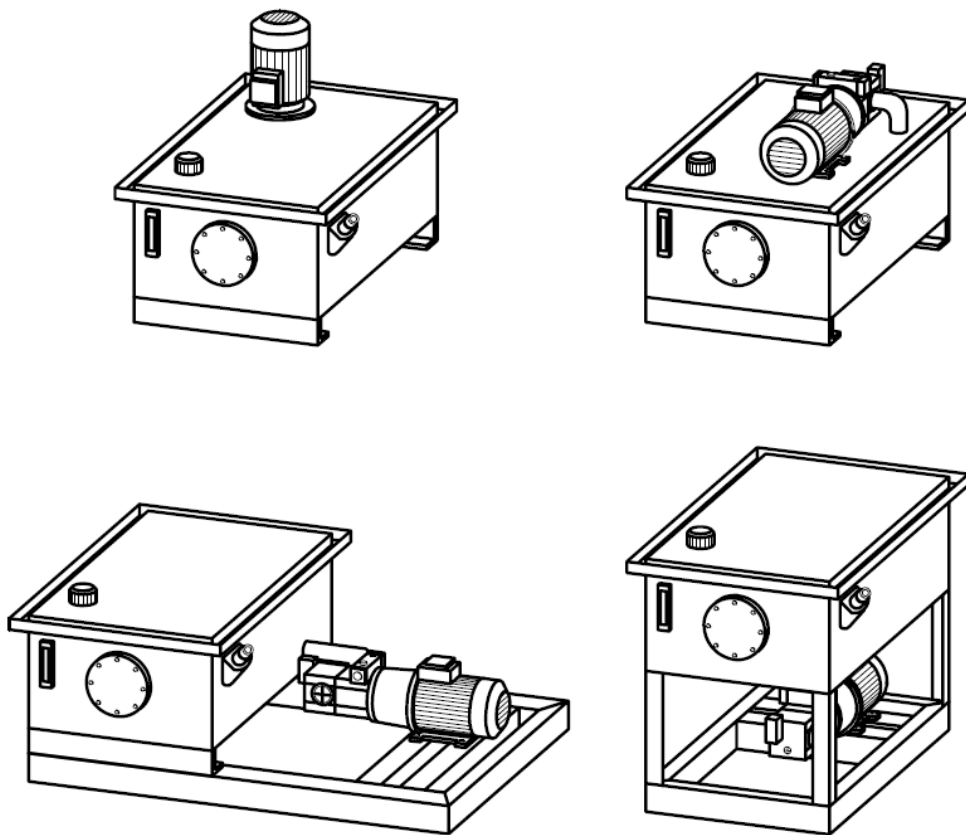
- 1) sakaralementti tai DZ-Elementit
2) koolla 180 on lukumäärä = 6



Kuva 6: ROTEX®

Kuva 14. Rotex-kytkin (KTR-Group 2017)

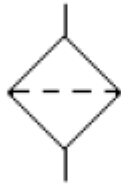
Avoimessa piirissä olevat pumput sijoitetaan yleensä öljypinnan alapuolelle, joka sijaitsee erillisellä alustalla (Kuva 15). Pumpun ollessa imulähdön alapuolella, lähtö on tehtävä letkulla ja sen tulee olla laskeva pumppuun nähden. Jos pumppu joudutaan asentamaan imulähdön kanssa samalle tasolle, on imulähtö tehtävä putkella ja kumipaljetasaimella. Asennettaessa pumppua säiliön kannelle, pumpun imulähtö tehdään letkulla tai teräsputkella. (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 9.)



Kuva 15. Pumpun sijoituskohteet. (Aalto-yliopisto)

5.3 Suodatus

Suodatuksen avulla järjestelmässä olevien epäpuhtauksien määrä pyritään pitämään riittävän alhaisena. Epäpuhtauksia muodostavia tekijöitä ovat jatkuvasti ulkoisesti tulevat epäpuhtaudet, asennus- tai valmistusvaiheessa järjestelmään sisään jääneet epäpuhtaudet sekä epäpuhtaudet, jotka kehittyvät järjestelmässä sisäisesti. (Mäkinen 1977, 21-22.) Kuvassa 16 esitetään suodattimen piirrosmerkki.

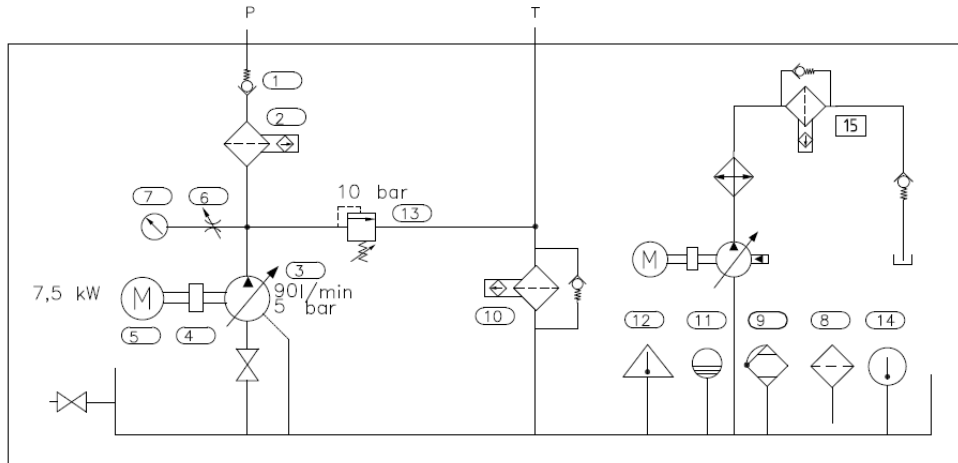


Kuva 16. Suodattimen piirrosmerkki

Hydrauliikkalaitteet työskentelevät useasti erittäin epäpuhtaissa olosuhteissa. Ulkopuolella leijuvat epäpuhtauspartikkelit yrittävät jatkuvasti päästä järjestelmään esimerkiksi männänvarren, liitoksien ja huohottimen kautta. Tämä ilmenee yleensä mobilehydrauliikassa, mutta teollisuusolosuhteissa on myös haastavia kohteita. Asennus- ja valmistusvaiheessa järjestelmän sisään jääneet epäpuhtauksia voi syntyä puutteellisesta suojauksesta tai esimerkiksi väärin tehdystä putken katkaisusta sekä sen viimeistelystä. Järjestelmän sisäisesti kehittyviä epäpuhtauksia voi olla järjestelmän osien mekaaninen kuluminen ja öljyn kemiallisten muutoksien tuottamat epäpuhtaudet. (Mäkinen 1977, 21-22.)

Riittävä määrä epäpuhtauksia öljyssä voi muodostaa hiontatahnaa, joka järjestelmässä kulkiessaan kuluttaa osia ja suurentaa välisvuotoja. Liialliset epäpuhtaudet voivat tukkia muun muassa luistin keskitysurat ja niiden pienet ohjausreiät. Tukokset aiheuttavat kiinnijumittamista, paineenalennemista sekä muita häiriötekijöitä. Öljyn voitelu- ja leikkautumisominaisuudet voivat muuttua, jos epäpuhtaudet aiheuttavat öljyn vanhenemisen. (Mäkinen 1977, 21-22.)

Kuvassa 17 esitetään painesuodattimen (osanumero 2), paluusuodattimen (osanumero 10) ja sivukiertosuodattimen (osanumero 15) sijainnit hydrauliikkakaaviossa.



Kuva 17. Suodattimien sijoituspaikat hydraulikkakaaviossa

5.3.1 Suodatusaste

Hydraulikkajärjestelmän suodattimien suodatusaste määräytyy puhtaustasota-voitteesta ja rakenteesta riippuen (Taulukko 3). Suodatusjärjestelmän yleisimmät suodatustavat ovat työsuodatus, suojasuodatus ja ilmansuodatus. Työsuodatus sisältää säiliökiertosuodattimet, sivukiertosuodattimet sekä paluusuodattimet. Suojuodatuksella tarkoitetaan järjestelmän painesuodattimia, joiden suodatusasteet suunnitellaan standardien ISO 4572 tai ISO 16889 mukaisesti. (Kunnosapitoyhdistys ry, 2001, 17-18.)

Suodatus	Suodatin-tyyppi	Sijainti järjestelmässä	Suodatusaste	Kapasiteetti	Tehtävä ja ominaisuudet
Painesuodatus	Korkeapainesuodatin, jonka paineenkesto on yhtä suuri kuin järjestelmän maksimi paine. $\beta_x = 75 \dots 500$	Painelinjassa pääpumppujen jälkeen	On 1-2 suodatusastetta väljempi, kuin työsuodatin esim. $x = 5 \dots 12 \mu m$	Pumpauslinjan maksimituotto	Suojuodatin, jonka tehtävänä on suojata järjestelmää poikkeus tai vaurio-tilanteessa. Suodatinpatruunan vaihtoväli tulee normaaliolosuhteissa olla 12kk. Suojuodattimissa ei ole ohiusventtiiliä ja suodatinpatruunan

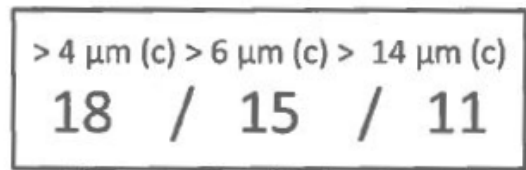
					paine-erokestävyys on 210 bar.
Paluusuodatus	Matalapainesuodatin. Suuri virtausnopeus. $\beta x = 75 \dots 500$	Paluulinjassa	$x = 3 \dots 6 \mu\text{m}$	Suurin mahdollinen paluuvirtaus	Työsuodatin, jonka tehtävä on kerätä järjestelmästä tulevia epäpuhtauksia
Säiliökiertosuodatus	Matalapainesuodatin a) Suuri virtausnopeus $\beta x = 75 \dots 500$ b) Pieni virtausnopeus $\beta x > 50$	Erillinen pumpauslinja säiliön paluupuolelta säiliön imupuolelle	a) $x = 3 \dots 6 \mu\text{m}$ b) $x = 1 \dots 3 \mu\text{m}$	a) Vähintään 10% säiliön öljytilavuudesta minuutissa b) Alkaen 1l/min	Työsuodatin, jonka tehtävänä on toimia järjestelmän pääasiallisena epäpuhtauksien kerääjänä
Sivuvirtasuodatus	Matalapainesuodatin, pieni virtausnopeus, $\beta x > 500$	Erillinen haara paine-, paluutai jäähdytyslinjasta	$x = 1 \dots 3 \mu\text{m}$	Alkaen 1l/min	Työsuodatin
Huohotussuodatus	Ilmansuodatin	Öljysäiliön kannessa, paluukammion yläpuolella, vähintään 75mm irti kannesta	$3 \mu\text{m}$	Paine-ero saa olla enintään 0.01 bar viisinkertaisella maksimi paluuöljyn virtauksella	Suojasuodatin

Taulukko 3. Hydraulikkajärjestelmien ominaisuuksia ja suodatustapoja (Kunnossapitoyhdistys ry, 2001, 18)

5.3.2 Puhtausluokka

ISO 4406:2017-puhtausluokat määritetään hiukkaslaskentatuloksesta partikkelikokojen $\geq 4 \mu\text{m}(c)$, $\geq 6 \mu\text{m}(c)$ ja $\geq 14 \mu\text{m}(c)$ mukaisesti. Suluissa oleva c-kirjain osoittaa uusimman standardin mukaista hiukkaskoon määritystä. Taulukossa 4 näkyy hiukasmäärien ja puhtausluokkien välinen suhde. Esimerkiksi ISO 4406:2017-puhtausluokka 18/15/11 tarkoittaa, että $\geq 4 \mu\text{m}$:n hiukkasia on mitatussa öljyssä luokkaa 18 vastaava määrä (130 001–250 000 kpl/100 ml öljyä), $\geq 6 \mu\text{m}$:n hiukkasia on luokkaa 15 vastaava määrä (16 001–32 000 kpl/100 ml) ja $\geq 14 \mu\text{m}$:n hiukkasia on luokkaa 11 vastaava määrä (1 001–2 000 kpl/100 ml). Useassa kohteessa käytetään kuitenkin vielä vanhaa ISO 4406:1987-standardia, joka on kaksikoodinen luku puhtausluokkien raja-arvoille, esimerkiksi 15/12. Mittaustuloksen ollessa uudella standardilla mitattuna 18/15/11, verrataan mittaustuloksen toista numeroa (15) vanhan standardin osoittamaan ensimmäiseen lukuun (15). ISO 4409:2017 mittaustuloksen kolmatta lukua (11) verrataan ISO 4406:1987 toiseen (12) raja-arvoon. Tässä esimerkissä mitatut tulokset ovat pienempiä tai yhtä suuria kuin raja-arvot, eli öljyn puhtaus täyttää asetetut vaatimukset. Membraanianalyysillä eli mikroskooppikuvalla, voidaan öljyanalyysistä saada realistisempi kuva, sillä hiukkaslaskimella suurikokoiset $>50 \mu\text{m}$ hiukkaset tulevat esiin ainoastaan hiukkaslaskimella, joka on varustettuna hiukkasjakaumaerottelulla. (Niiranen 2011, 55-56.)

Hiukkasten määrä/ml		ISO-koodi
Yli	Alle	
2 500 000		> 28
1 300 000	2 500 000	28
640 000	1 300 000	27
320 000	640 000	26
160 000	320 000	25
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8



Taulukko 4. ISO 4406:2017 standardin mukaiset puhtausluokat (Promaint 2018, 37)

5.3.3 Painesuodatin

Painesuodatin asennetaan yleensä järjestelmän painepuolelle pumpun ja paineenrajoitusventtiilin jälkeen. Painesuodattimeen voidaan kytkeä ohivirtausventtiili, jonka avautumispaine-ero on 0,2 MPa. Suosituksena kuitenkin on, että ohivirtausventtiiliä ei asenneta, sillä painesuodattimen kyky suojella pumppua ei ole paras mahdollinen. Painesuodattimet mahdollistavat erittäin pienten epäpuhtauksien suodatuksen järjestelmästä. Suodatin määräytyy siten, että se kestää järjestelmän maksimipaineen ja mahdolliset paineiskut. (Paavilainen 2009, 31.)

5.3.4 Palusuodatin

Palusuodattimen kautta kulkeutuu kaikki neste, joka on järjestelmässä. Suodattimen tehtävä on estää järjestelmästä irronneiden likapartikkeleiden pääsy säiliöön ja tätä kautta pumppuun. Suodatin valitaan 0,5 bar sallitulla paine-erolla, joka määräytyy suodatinelementin ja -rungon puhtaudesta, maksimivirtauksesta ja normaalista käyttölämpötilasta. Sylintereiden pinta-alojen takia on mahdollista,

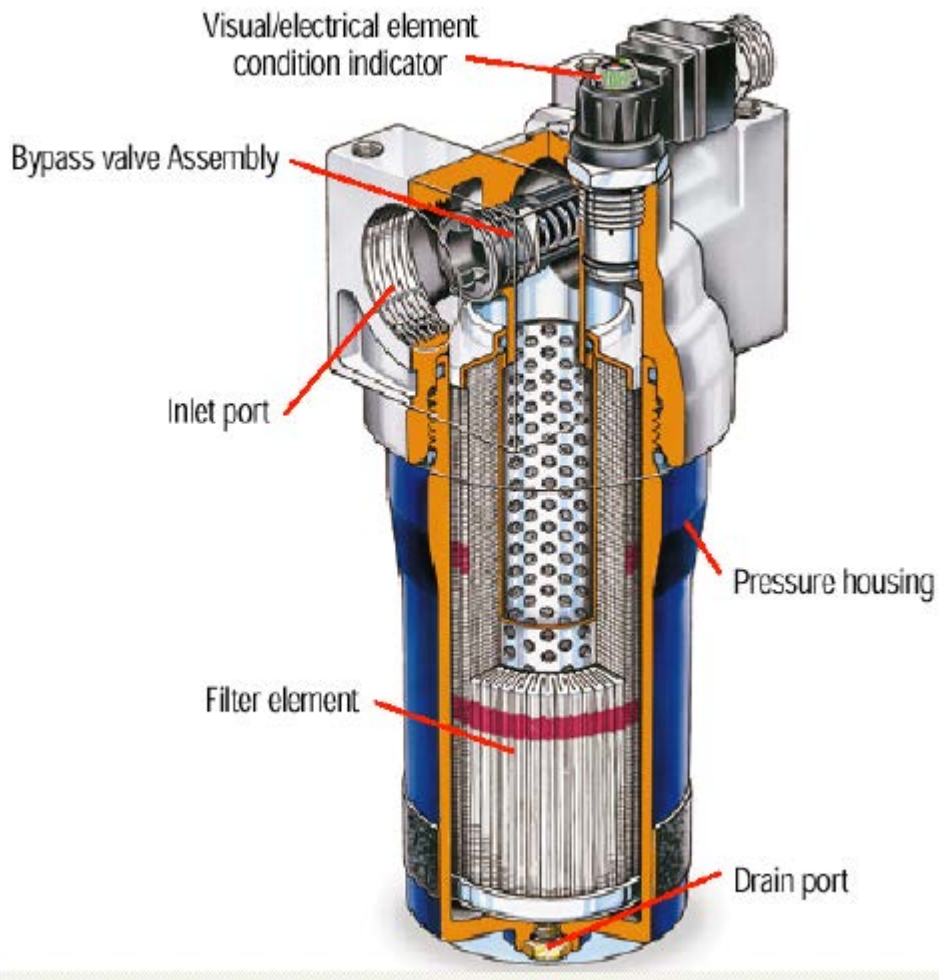
että paluuvirtaus voi olla suurempi kuin pumpun tuotto ja tämä pitää huomioida suodatinta valitessa. (Paavilainen 2009, 31-32.)

5.3.5 Sivukiertosuodatin

Sivukiertosuodatusta tarvitaan silloin, kun järjestelmässä kiertävä öljymäärä on niin suuri, että järjestelmältä vaaditaan tarpeettoman suurta suodatuskapasiteettia. Sivukiertosuodatuksessa voidaan ohjata osa pääpumpun tuottamasta tilavuusvirrasta suodattimen kautta säiliöön tai sivukierrolle on oma pumppunsa, jonka tehtävänä on ottaa säiliöstä öljyä ja palauttaa se suodattimen kautta takaisin säiliöön. Säiliön sivukierto on lisätä lämmönvaihdin öljyn lämpötilan alentamiseksi. (Mäkinen 1977, 19.)

5.3.6 Suodattimien indikointi

Paine-eron kasvaminen johtuu suodattimen likakapasiteetin täyttymisestä. Paine-eron kasvu on alussa hidasta, mutta paine-ero kasvaa, kun likakapasiteetti alkaa täyttyä. Suodattimeen asennetaan yleensä indikaattori, joka ilmaisee paine-eron kasvun liian korkeaksi, joka varustellaan myös ohivirtausventtiilillä (Kuva 18). Indikointipaine valitaan siten, että suodatin alkaa indikoimaan 5-25 % ennen ohivirtausventtiilin avautumista. (Paavilainen 2009, 30.)

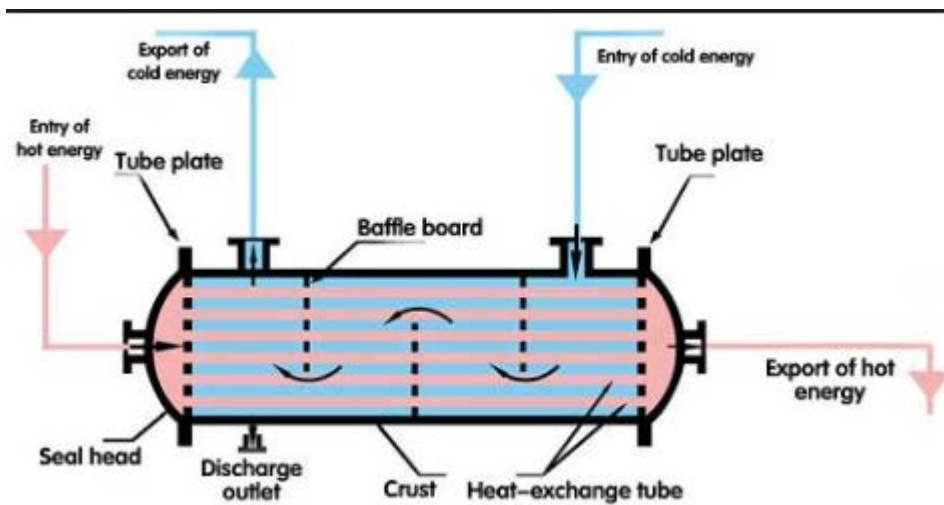


Kuva 18. Suodattimen rakenne. (Paavilainen 2009, 30)

5.4 Lämmönvaihdin

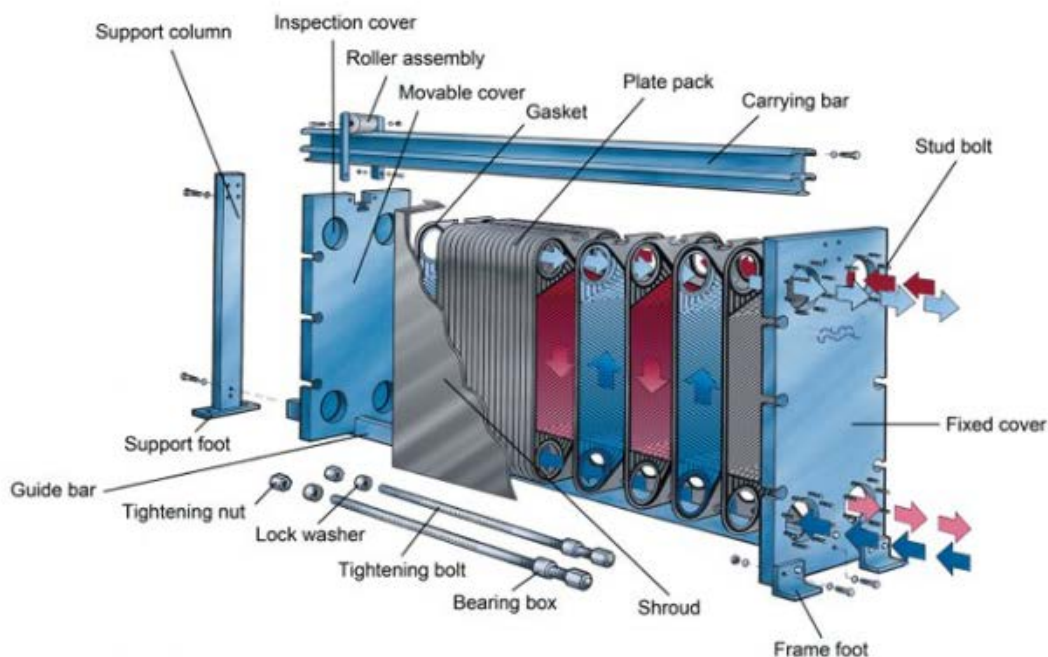
Lämmönvaihtimena voidaan käyttää erikokoisia ja eri mallisia. Näistä yleisimmät ovat putki- (Kuva 19) ja levylämmönvaihdin (Kuva 20). Lämmönvaihtimen tehtävä on siirtää hydraulineesteeseen sitoutunutta lämpö aktiivisesti ilman tai veden avulla pois hydraulineesteestä. Lämmönvaihtimen jäähdytystehoon vaikuttavat esimerkiksi öljyn ja veden välinen lämpötilaero, jäähdytinainevirtauksen suuruus, jäähdyttävä pinta-ala ja virtauslaji. Lämmönvaihtimen lämmönsiirtokyky on hyvä kokoonsa nähden sekä välitön ympäristökuormitus on vähäinen. (Aalto-yliopisto.) Lämmönvaihtimen läpimenevän veden- tai ilmanvirtausta säädetään yleensä automaattiventtiilillä. Automaattiventtiili säätelee virtausta säiliön öljyn lämpötilan

mukaan. Virtaava vesi tai ilma kulkee linjassa aina suodattimen läpi, jotta lämmönvaihdin ei tukkeutuisi.



Kuva 19. Putkilämmönvaihtimen rakenne ja toiminta

Käyttölämpötilojen pysyminen optimilämpötilassa on oleellista hydraulikkajärjestelmän toimivuuden kannalta. Nesteen pitäminen optimilämpötilassa parantaa voitelukykyä, hyötysuhdetta, vähentää vuotoja, estää öljyn liian aikaisen vanhemisen sekä estää tiivisteiden kulumisen. Optimaalisella käyttölämpötilalla säävytetään luotettava, häiriötön ja hyvän hyötysuhteen omaava järjestelmä. Kun järjestelmän halutaan toimivan asetetussa lämpötilassa, joudutaan lämmönhallinnassa käyttämään lämmittimiä sekä jäähdyttimiä. Jäähdyttimillä nimensä mukaisesti jäähdytetään järjestelmän kierrossa olevaa nestettä. (Brax & Hurmelinna 2013, 17.)

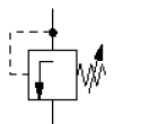
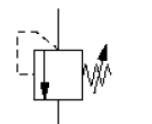
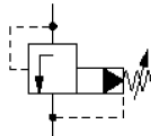
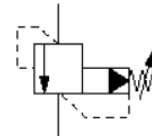


Kuva 20. Levylämmönvaihtimen rakenne ja toiminta (Alfa Laval 2019)

5.5 Paineenrajoitusventtiili

Paineenrajoitusventtiilin yleisimmät tehtävät ovat ylikuormitussuojana toimiminen, järjestelmän maksimipaineen määrittäminen ja tarvittaessa pumpun kytkeminen vapaakierrolle. Paineenrajoitusventtiilejä on pääasiassa kahta erilaista, suoraohjatut ja esiohjatut paineenrajoitusventtiilit (Kuva 21). (Paavilainen 2009, 44.)

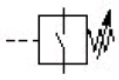
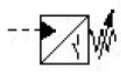
Suoratoimisia paineenrajoitusventtiilejä käytetään yleensä järjestelmissä, joissa on pienet tilavuusvirrat. Venttiilit omaavat suuret avautumis- ja sulkeutumispaineerot, jotka johtavat helposti värähtelyihin. Tarkoille paineensäädöille ja suurille tilavuusvirroille suositellaan käytettäväksi esiohjattua paineenrajoitusventtiiliä. (Mäkinen 1976, 82-83.)

Designation	Explanation	Symbol	
Pressure control valves These are valves which are used to control pressure. The symbol, representing such valves is a square with an arrow inside. The throttling area is varied in a smooth manner.			
– Directly operated pressure relief valve suoraan ohjattu paineenrajoitusventtiili	Normally closed; it opens when a pre-set input pressure is reached	DIN-ISO 1219 	ISO 1219-1 
– Pilot operated pressure relief valve esiohjattu paineenrajoitusventtiili	Oil drain in the control circuit is normally built-in		

Kuva 21. Paineenrajoitusventtiileiden piirrosmerkit (Paavilainen 2009, 7)

5.6 Paine- ja virtauskytkimet

Painekytkimillä kytketään tai katkaistaan sähköinen ohjausjärjestelmä. Järjestelmien toimintaa voidaan valvoa painekytkimen avulla. Painekytkin (Kuva 22) voi toimia indikaattorina, jos järjestelmän paineet nousevat liian korkeaksi tai pyrkivät laskemaan liian alas. (Mäkinen 1977, 89.)

– Pressure switch painekytkin	Switches when fixed pressure is reached by means of electrical contact		
--------------------------------------	--	---	---

Kuva 22. Painekytkimen piirrosmerkit. (Paavilainen 2009, 13)

Virtauskytkin on öljyn ja muiden viskoosisten aineiden virtausvahti. Virtauskytkimet on varustettu viskositeettikompensaattorilla, koska öljyn voitelupiireissä lämpötilat voivat vaihdella, jotka aiheuttavat öljyn viskositeetin ja tiheydet muutoksia. Nämä muutokset vaikuttavat uimurin sijaintiin. Uimuri sen sijaan välittää sijaintitietonsa magneetilla säädettävälle kytkimelle. Virtauskytkin on huomattavasti tarkempi ja luotettavampi, kuin esimerkiksi tavanomainen rotametri. (Säätö 2019.)

5.7 Sähköistyksen

Komponenttien tai sähkölaitteiden, jotka vaativat sähköjohdotusta, tulee täyttää sähköturvallisuusmääräykset. Kaapelit ovat öljynkestäviä sekä ne varustetaan asianmukaisilla merkinnöillä. Kaapelit asennetaan siten, että ne eivät haittaa huoltotöitä. Sähköjohdotus tuodaan yleensä riviliittimelle, johon tulisi varata 20 % ylimääräistä tilaa mahdollisia lisäyksiä varten. Sähköistyksiä vaaditaan sähkömoottoreille ohjaus- ja käyttöjännitteisiin sekä ohjaus- ja mittasignaaleille (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 42). Yleisimpiä sähköistyksiä vaativia komponentteja on lämmitysvastukset, termostaatti, moottorilähtöjen kontaktorit, rajakytkimet, suodattimien indikointi sekä öljynpinnanmittausrajat.

6 Telahydrauliikka

Telojen massoista, kuormituksesta tai kevennyksestä, sekä koneen leveydestä aiheutuu teloihin taipumaa. Ulkoisia rasituksia pyrittiin eliminoimaan bombeeraamalla teloja, eritoten alatelaa. Bombeeraus on kuitenkin varsin huono ja joustamaton taipumakompensointikeino, koska asetettu bombeeraus sopii vain yhdelle viivakuormitukselle. (KnowPap 20.0.) Bombeerauksessa tela hiotaan keskeltä hieman paksummaksi verrattuna telan päätyjen halkaisijoihin, jolloin telan muodosta saadaan tynnyrimäinen (Holma 2016, 22.). Telan reunojen ja keskustan välinen halkaisijaero aiheuttaa nopeuseroa keskustan ja reunojen suhteen. Nykyisin taipuma hallitaan jouhevasti eri kuormitustilanteissa säädettävien taipumakompensoitujen telojen avulla. Taipumakompensoiduissa teloissa ei synny haitallisia nopeuseroja, koska kaikki telat voidaan hioa suoriksi. (KnowPap 20.0.)

Yleisimpiä taipumakompensoituja teloja paperin- ja sellunvalmistuksessa ovat Küsters- ja Sym-telat. Küsters-telat ovat kovia teräsvaipallisia teloja, kuten myös Sym-telat, jonka erona on teräsvaipan päällystys pehmeällä kumipintaisella Gnauhalla (Uusitalo 2019.). Sym-telojen kuormitusta pystytään säätämään eri vyöhykemäärillä, riippuen käyttökohteesta. Esimerkiksi PK1 puristinosalla käytetään Sym-telaa, jonka taipumaa ohjataan 8:lla kuormitusvyöhykkeellä sekä 4:llä reu navyöhykkeellä. PK1 kalanterilla käytetään Sym-telaa, jossa on 46 kuormitusvyöhykettä. Puristinosan Sym-telalla poistetaan paperirainasta vettä, kun taas

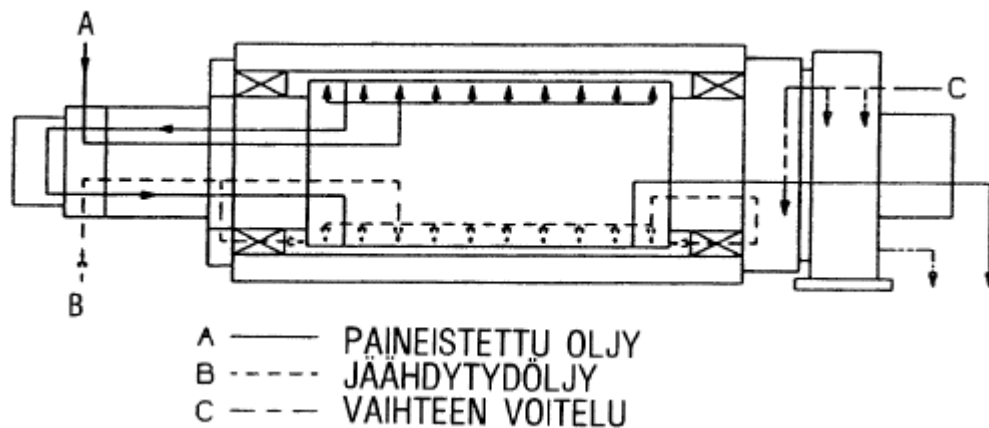
kalanterilla vaikutetaan paperin karheusominaisuuksiin. Küsters-telojen hydraulikkajärjestelmän paineet ovat alhaiset (>10 bar) telaan kohdistuvien voimien takia. Telalle syötettävä paine jakautuu puolikkaan telan pinnalle, joten paineelle kohdistuva pinta-ala on suuri.

6.1 Kaksoiskierto-Küsters

Pääpumpuna toimii kaksikammioinen pumppu, jonka toinen kammiot syöttää öljyn telan painepuolelle (+ kammiot) ja toinen kammiot vakiovirtauksen käyttövaihteen voiteluun. Erillinen koneikon jäähdytys- ja suodatuspumppu käy aina, kun pääpumppu on käynnissä. Kaksoiskierrolla varustetun telan koneikossa on lisäksi erillinen pumppu telan jäähdytystä varten (- kammiot). Se käynnistyy myös automaattisesti pääpumpun kanssa. (Küsters 1999.)

Telassa on paine- ja tankkikammiossa suihkuputki. Telan taipuman säätöön käytettävä öljy tulee koneikolta jakokappaleelle. Jakokappaleelta öljy jatkaa porauksia pitkin + kammiossa olevan suihkuputken kautta painekammioon (Kuva 23). Telan jäähdytysöljy johdetaan jakokappaleelta porauksia pitkin - kammiossa olevalle suihkuputkelle, mistä se jakautuu tasaisesti telan koko pituudelle. Jäähdytyskierron öljyä käytetään myös telan rullalaakereiden voiteluun. Öljy poistetaan - kammiossa olevan paluuporauksen kautta. Kammioiden välistä paine-eroa säädetään päästämällä öljyä painesäätimen ja jakokappaleen kautta takaisin säiliöön. (Küsters 1999.)

Öljyn lämmitys on logiikan kautta ohjattu siten, että lämmittimet kytkeytyvät, kun lämpötila on alle 35 °C ja lämpötilan noustessa yli +35 °C, kytkeytyy lämmitys pois päältä. Pumput käynnistetään vasta öljyn lämpötilan ollessa yli +35 °C. Yli-lämpötilahälytys tulee termostaatilta lämpötilan noustessa yli +65 °C. Öljyn jäähdytysjärjestelmä on kaksivaiheinen. Erillinen suodatus- ja jäähdytyskiertopiiri siirtää telalta tulevan lämpimän öljyn säiliössä viileämmälle puolelle, jäähdyttäen sen järjestelmässä olevassa jäähdyttimessä noin +40 °C:een, joka vastaa viileämmän puolen tavoitelämpötilaa. (Küsters 1999.)



Kuva 23. Öljyn virtausreitit kaksoiskiertoisessa telassa (Küstners 1999)

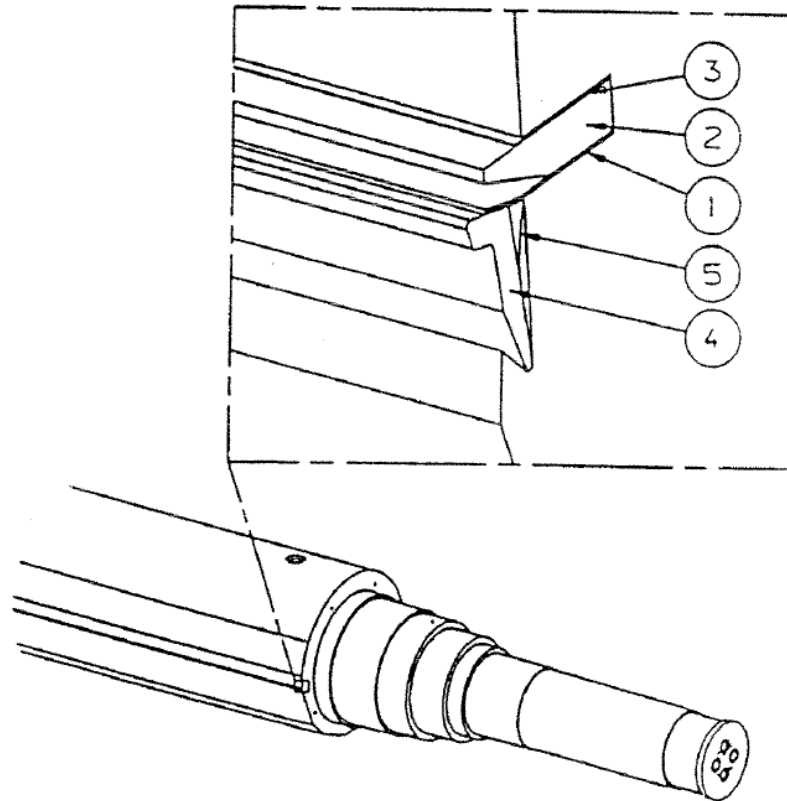
6.1.1 Kammiot

Yleisin taipumakompensoitu tela on niin sanottu uiva tela. Telassa on kiinteä tukeva akseli, jonka varaan laakeroidaan sisältä avarrettu vaippalieriö. Akselissa on kummallakin sivulla tiivistelista, joka nojaa jousilistan painamana vaippaan. Tiivistelistoilla akselin ja vaipan välinen tila jaetaan kahteen osaan, painekammioon ja vuotoöljykammioon. Kuormituksen puolella olevaan painekammioon johdetaan akselin kautta hydraulinen paineöljy, joka vuotaa tiivisteiden ja vaipan välistä. Se johdetaan paluukammion ja laakerien kautta takaisin hydraulikkokoneelle. Kalanterin viivakuormituksen mukaan säädetään öljyn kuormituspuolen ja vuotopuolen paine-eroa haluttuihin arvoihin, jolla saadaan viivakuormitus suoraksi. Käytännössä paine-ero säätyy automaattisesti viivakuormituksen mukaan. (KnowPap 20.0.)

6.1.2 Sivu- ja päätytiivistys

Sivu- ja päätytiivistykset jakavat telan akselin ja vaipan välisen tilan paine- ja tankkikammioon. Kammioiden välisellä paine-erolla voidaan säätää vaipan taipumaa. Telan molemmissa päissä on lisäksi akselitiivisteet, jotka estävät öljyn vuotamisen ulos telasta. Kuva 24 esittää, kuinka sivutiivistystä varten akselin molemilla puolilla on koneistetut urat, joissa on sivutiivistykseen kuuluvat jousinauhhat (1), tukilista (2) ja täytenauhhat (3). Jousinauhhat painavat uran viereisessä syvennyksessä olevaa sivutiivistelistää (4) telan vaippaa vasten. Sivutiivistelistan kuor-

mitusta on mahdollista muuttaa vaihtamalla urassa olevien jousinauhojen määrää. Paineammiossa oleva paineistettu öljy painaa sivutiivistelistan otsapintaa, sekä jousinauhoja ja lisää näin sivutiivistelistaa vaippaa vasten painavaa voimaa. Sivutiivistelistan alla oleva ponnistusjousi (5) estää tiivistelistaa juuttumasta kiinni. (Küsterson 1999.)

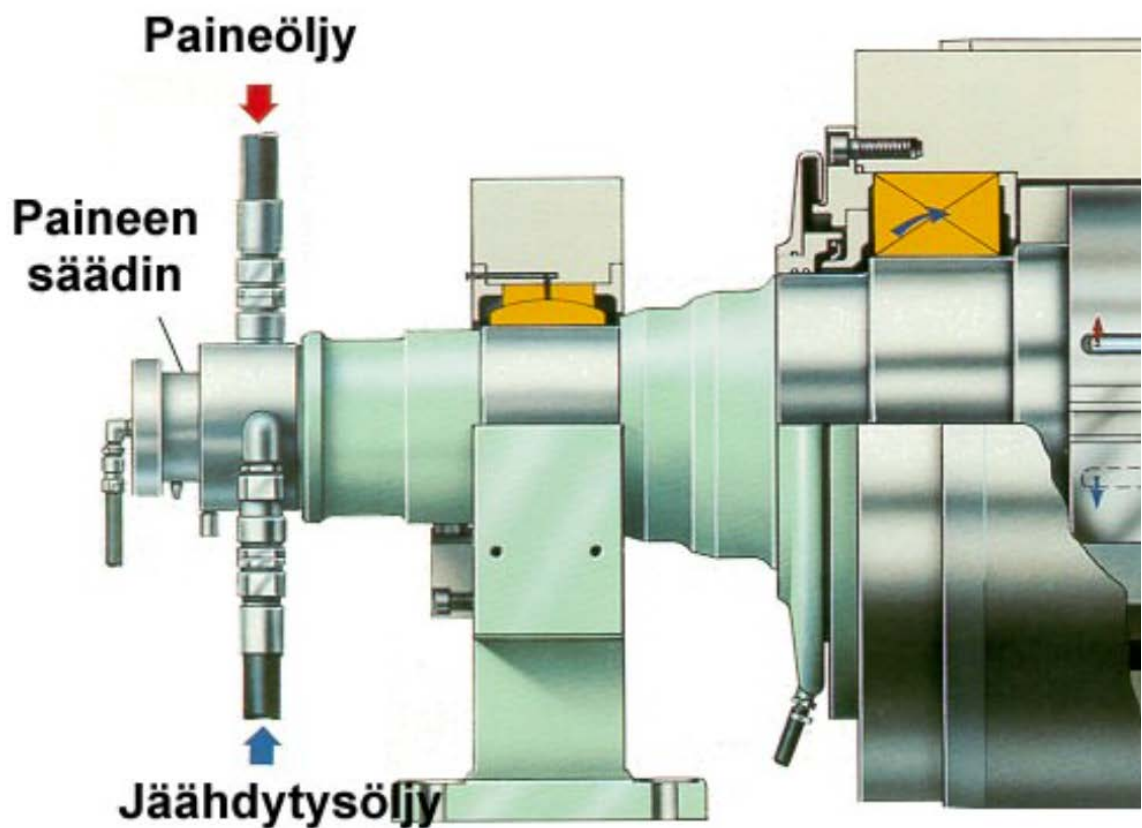


Kuva 24. Sivutiivistyslista (Küsterson 1999)

6.1.3 Paine-erosäädin

Paineilmamuuntimella säädetään telan päässä olevaa paine-erosäätimen (Kuva 25) haluttua ilmapainetta signaalin mukaisesti. Säätimelle ohjatulla ilmanpaineella säädetään telan kammioiden välistä paine-eroa. Paine-erosäätimen painesuhde on 1:1,5. Telan sisäinen paine-ero määräytyy halutusta viivakuormasta. (Küsterson 1999.) Ysikiertoisen Küsterson-telan paine-erosäätimen painesuhde on 1:1,62 (Küsterson 1975).

Katkotilanteessa nippi avataan, jotta katkenneen paperirainan kulku jatkaisi etenemistä kiinnirullaimelle. Nipin äkillisen aukeamisen takia, paine-erosäätimen paineilmaohjaus ei välttämättä reagoi riittävän nopeasti, joka aiheuttaa – kamion paineen ylityksen maksimiarvosta. Paineen maksimiarvon ylittyessä pumppu pysähtyy, järjestelmän ja telan päätytiivisteiden suojaamiseksi. Nipin aukeamisaika saadaan rampitettua suuremmaksi, jolla ehkäistään pumppujen pysähtyminen. Suuremman rampitusajan vuoksi ei paine-erosäätimeltä vaadita niin nopeaa reagointi-aikaa.

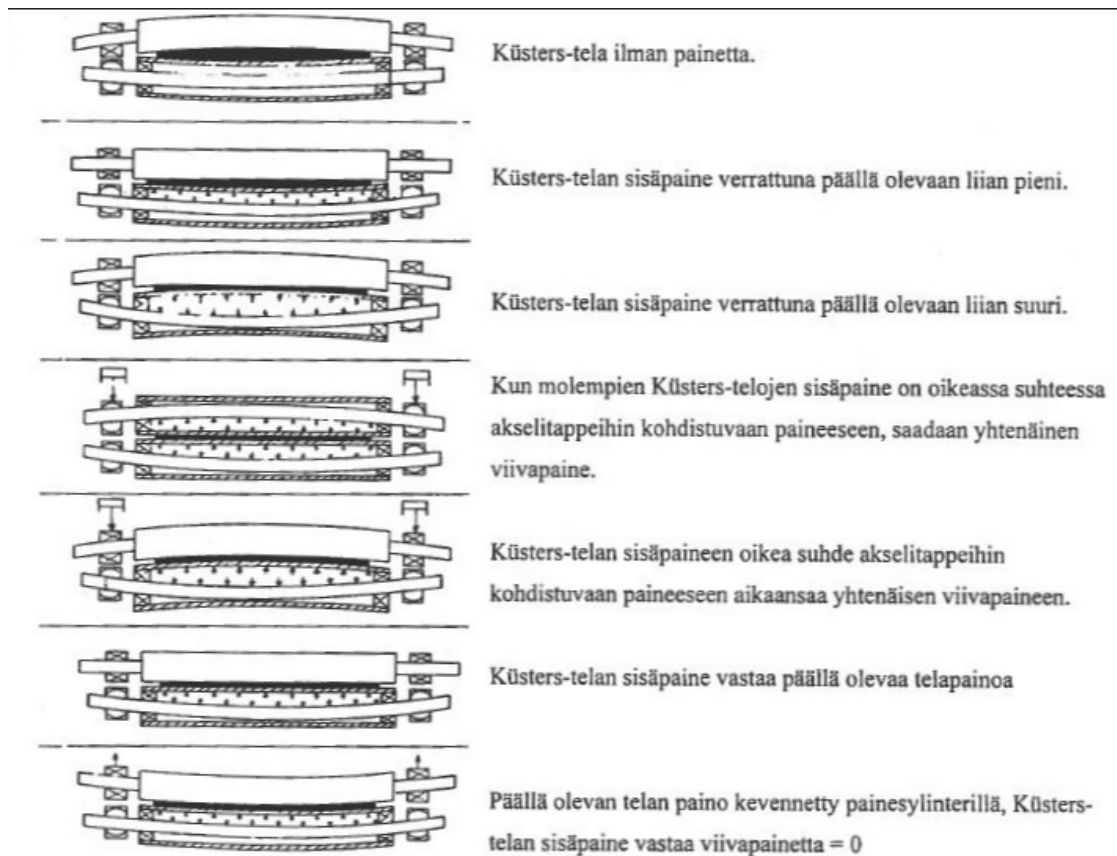


Kuva 25. Paine-erosäädin telan päässä (KnowPap 20.0)

6.1.4 Viivakuorma

Kalanterin ylätelan akselia kuormitetaan ulkoisilla hydraulikkasyylintereillä, joiden kuormitus kohdistetaan momenttivarrella akselin päihin käyttö- sekä hoitopuolelle. Hydraulikkasyylinterit käyttävät erillistä hydraulikkajärjestelmää, kuin Küsters-telan sisäinen kuormitus. Kalanterin sisältäessä taipumakompensoituja teloja ja suoraksi hiottuja kokilliteloja, on ulkopuolisten osien massojen aiheuttamat taipumat eliminoitava pois. Telojen vaippapinnan ulkopuolisia osia ovat muun muassa laakeripesät, akselitapit ja mahdolliset kaavaimet. Ylimääräiset massat eliminoidaan keventämällä ylätelaa. (Knowpap 20.0.)

Telan + ja – puolen välille syntyvä paine-ero saa aikaiseksi telan vaipan taipuman. Paine-ero kammioiden välille muodostetaan paine-erosäätimellä. Taipumisominaisuutta kutsutaan painekompensoinniksi. Painekompensointia tarvitaan kalanteroinnissa, teloihin kohdistuvan suuren puristusvoiman vuoksi. Puristusvoima pystytään välittämään teloihin vain akselin päistä, jolloin telojen välille ei synny tasaista viivakuormaa, joka on oleellista kalanteroinnissa (Kuva 26). Paineekompensoinnin avulla telojen välille saadaan tasainen viivakuormaa, koska alatelan taipuma jakaa teloihin tuodun puristusvoiman tasaiseksi viivakuormaksi. (Küsters 1999.)



Kuva 26. Küsters-telan viivakuormitus (Küsters 1999)

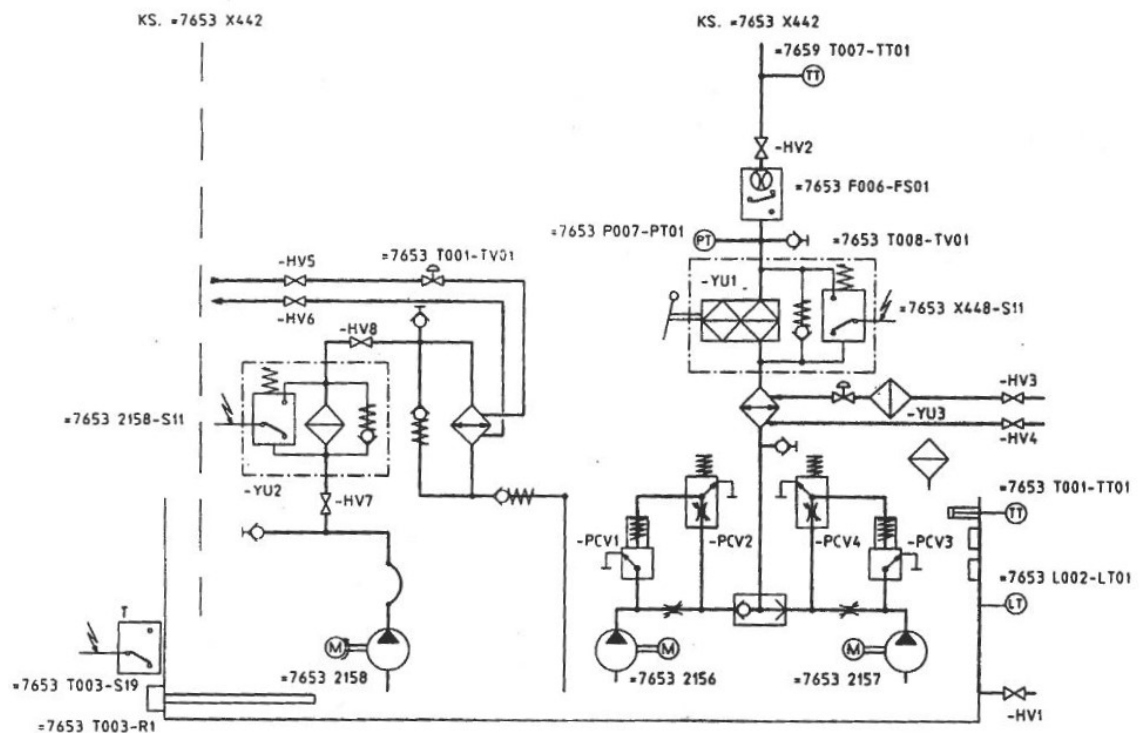
6.2 Küsters ilman jäähdytyspiiriä

Yksikiertoinen Küsters-hydrauliikkakoneikko (Kuva 27) sisältää kolme pumppua, joista yksi toimii säiliön sivukiertopumppuna ja kaksi paine-, jäähdytys- ja voitelulinjalle. Kahdesta paine- ja jäähdytyspumppusta toinen toimii varapumppuna. Pääpumpun sähkömoottori toimii taajuusmuutteisesti, jonka avulla saadaan portaatton säätö. Pääpumppu tuottaa kaiken paineen ja tilavuusvirran, joka menee kammioihin, telan jäähdytykseen ja vaihteen voiteluun. Varapumpulla voidaan tarvittaessa tuottaa lisää tilavuusvirtausta telan jäähdytystä ja voitelua varten. Sivukiertopumppu pumppaa tankin öljyä lämmönvaihtimen kautta samalla sitä jäähdyttäen. (Küsters 1975.)

Paine- ja jäähdytyspumppun tuotto on 90 l/min, joka kulkeutuu telan hoitopuolen päässä olevalle jakokappaleelle. Ennen jakokappaletta on lämmönvaihdin, jolla säädetään telalle menevän öljyn lämpötila noin 45 °C. Jakokappaleella oleva paine-erosäädin on paineilmahjattu, joka säätelee + ja – kammioille menevää

painetta. Paine-erosäädin ohjaa osan – kammion tilavuusvirrasta suoraan tankkilinjalle ja loput öljystä suorittavat telan jäähdyttämisen, laakereiden voitelun sekä vaihteen voitelun. + kammion paine on suoraan verrannollinen viivakuormasta, jota paine-erosäädin ohjaa painetta logiikan mukaisesti. (Küsters 1975.)

Ennen tankkilinjaan menoa, telalta poistuva öljy kulkeutuu vaihdelaatikon läpi voidellakseen sitä. Paluuöljyn lämpötila riippuu päällystyskoneen ratanopeudesta. Ratanopeuden ollessa 1400 m/min, voi paluuöljyn lämpötila nousta yli 90 °C. Telalta palaavan öljyn tehtävänä on voidella vaihdelaatikkoa, mutta öljyn lämpötilan noustessa, öljyn viskositeetti pienenee. Viskositeetin aleneminen vaikuttaa öljykalvon pinnan paksuuteen, joka ei välttämättä ole riittävän suuri voidellakseen vaihteen ryntöä. Paluuöljyn lämpötilan hallitsemiseksi, telalta poistuvan öljyn ja vaihteen välille asennettiin putkilämmönvaihdin. Lisälämmönvaihtimen sijainti lisäsi öljyn virtausmatkaa sekä letkuasennelmat muodostivat nousuja. – kammion paineiden ollessa alhaiset, ei öljyllä ollut riittävää virtausta kulkemaan lämmönvaihtimen läpi takaisin vaihteelle. Lämmönvaihtimen jäähdytykseen otettiin raakavettä, jonka lämpötila talviolosuhteissa oli normaalia alhaisempi, johtaen lämmönvaihtimen läpi kulkevan öljyn viskositeetin kasvuun. Öljyn viskositeetin kasvaessa, öljy vaatii suuremman paineen virratakseen halutusti.



Kuva 27. Yksikiertoisen Küsters-koneikon kaaviokuva (Küsters 1975)

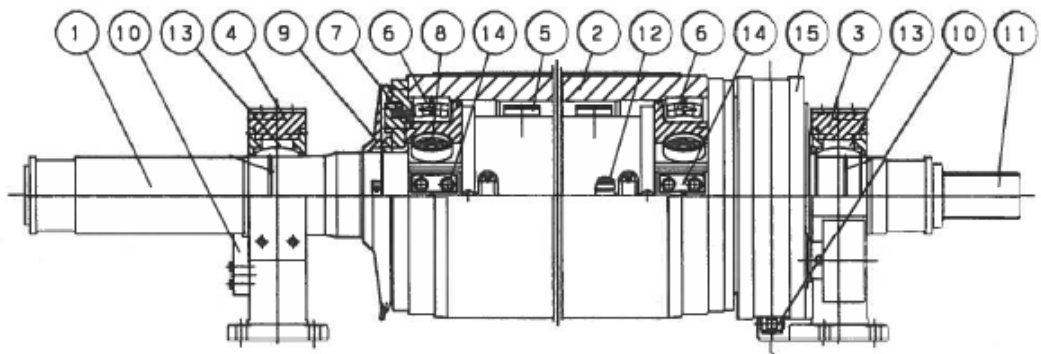
6.3 Sym-ZS

Sym-ZS-tela on taipumakompensoitu tela, jonka taipumaa ohjataan useilla vyöhykesäätöventtiileillä. Tela on varustettu sisäisellä kuormituksella. Vyöhykesäätöventtiilit ovat proportionaaliventtiilejä, jotka ohjaavat halutun paineen kunkin vyöhykkeen kuormitusmännälle. (Sym-ZS-telakirja 1994.)

Kuvassa 28 on esitetty telan pääosat

1. Akseli
2. Vaippa
3. Laakeripukki, KP
4. Laakeripukki, HP
5. Hydrauliset kuormituselementit
6. Pallomaiset rullalaakerit
7. Kuormitusrengas
8. Kuormitusmäntä

9. Päätysuojus tiivisteineen
10. Lukitukset
11. Jakokappale
12. Öljykanavat
13. Nivellaakerit
14. Liukuelementit
15. Käyttövaihde



Kuva 28. Sym-ZS-telan pääosat (Sym-ZS-telakirja 1994)

6.3.1 Toimintaperiaate

Kuvasta 28 näkyy, kuinka telan akseli (1) on kiinnitetty runkorakenteisiin laakeripukkien (3, 4) ja nivellaakereiden (13) avulla. Telan paikallaan pysyvälle akselille on laakeroitu pallomaisten rullalaakereiden (6) ja kuormitusrenkaiden (7) avulla vaippa (2). Kuormitusrenkaassa olevat tasopinnat (14) sallivat vaipalle säteen suuntaisen iskun. Vaipan liike ja telan profilointi toteutetaan yhdessä kuormitusrenkaan männillä (8) ja vyöhykettä säädettävillä hydraulisilla kuormituselementeillä (5). Vaipan koko matkalla olevat kuormituselementit on jaettu vyöhykkeisiin öljykanavien (12) avulla. (Sym-ZS-telakirja 1994.)

Viivakuorma siirtyy vaipan kautta kuormituselementeille ja edelleen akselin kautta runkorakenteisiin. Viivakuorma jakaumaa voidaan muuttaa säätämällä kunkin vyöhykkeen kuormituselementteihin ja kuormitusrenkaan mäntiin vaikuttavaa öljynpainetta. Öljy johdetaan telaan käyttöpuolella olevan jakokappaleen (11) kautta. (Sym-ZS-telakirja 1994.)

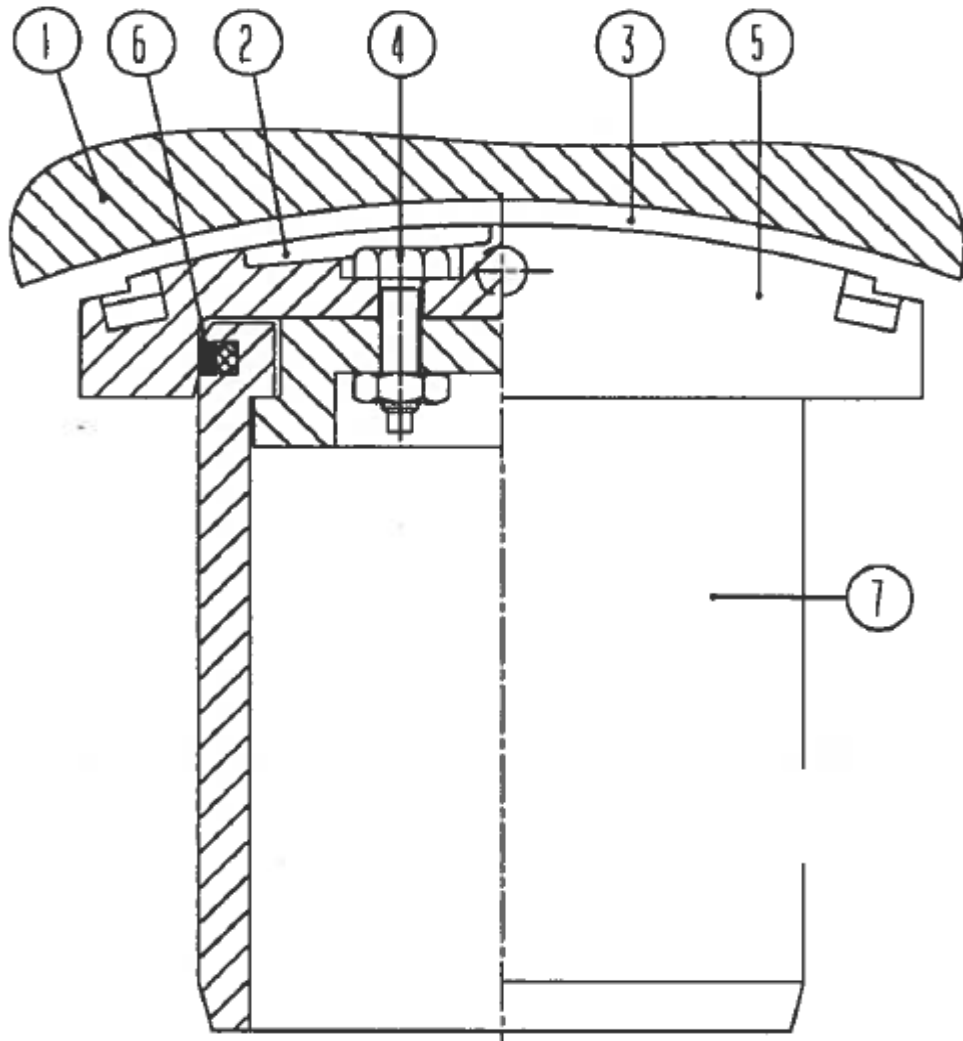
Telalle tuodaan käyttöteho vaihteen (15) avulla. Vaihde on kiinteästi lukittu vaippaan ja liikkuu säteittäisesti vaipan mukana. Samalla vaihde on kuitenkin kiinnitetty lukitusvarren (10) avulla laakeripukkiin (3) pyörähtämisen estämiseksi. (Sym-ZS-telakirja 1994.)

6.3.2 Hydraulisen kuormituselementin toiminta

Kuvassa 29 on esitetty kuormituselementin pääosat

1. Vaippa
2. Öljytasku
3. Öljykalvo
4. Kuristussuutin
5. Liukukenkä
6. Männäntiiviste
7. Mäntä

Männän (7) alle johdetaan halutun paineista öljyä, joka työntää liukukengän (5) vaippaa (1) vasten paineeseen verrannollisella voimalla. Männän alapuolelle syötetty öljy pääsee männässä olevien kanavien ja erityisten kuristussuutinten (4) kautta liukukengässä oleviin öljytaskuihin (2). Öljytaskuihin tuleva öljy purkaantuu ulos kengän reunoilta, jolloin kengän ja vaipan välille syntyy öljykalvo (3). Kengän, männän ja kuristussuutinten mitoituksella on saatu aikaan se, että purkautuva öljy pitää kengän vakioetäisyydellä vaipasta kuormituspaineesta riippumatta. Kenkä on muotoiltuaan symmetrinen ja vaippaa voidaan pyörittää kumpaankin suuntaan. Kengän päässä on hydrodynaamiset viisteet, jotka kasvattavat öljykalvoa suurilla pyörimisnopeuksilla ja pienentävät tehonkulutusta. Liukukenkä ja mäntä on liitetty toisiinsa tavalla, joka mahdollistaa kengän kallistumisen mäntään nähden. Näin kenkä pääsee asettumaan suoraan asentoon vaippaan nähden akselin taipumisesta huolimatta. (Sym-ZS-telakirja 1994.)



Kuva 29. Hydraulisen kuormituselementin pääosat (Sym-ZS-telakirja 1994)

7 Tavoiteltavat hyödyt

Päällystyskoneen kalanterin muutos kaksoiskierrolla varustettuun Küsters-telapariin, mahdollistaa useita hyötyjä paperinvalmistuksen tehokkuuteen sekä parempaan lopputuotteeseen. Muutoksella saatavat hyödyt ovat muun muassa telan lämpötilaprofiilin stabilointi, nopeusrajoitteisuuden poistuminen kalanterin osalta, telaparin vaihdon mahdollistaminen ja potentiaaliset kustannussäästöt. Lämmönhallinnalla poistetaan öljylle kohdistuvat kuormitukset.

7.1 Lämpötilaprofiili

Yksikiertoinen Küsters-tela, jossa ei ole erillistä kiertoa jäähdytykselle ja voitelulle, aiheuttaa telalle erittäin huonon lämpötilaprofiilin. Lämpötilaprofiili tarkoittaa telan sisäisen lämmön jakautumista telan pituussuunnassa. Alatelalle syötettävän öljyn lämpötila on noin 45 °C. Lämpöteho kohdistuu telaan suuremmilla ratanopeuksilla. Lämpötehon tuottama lämpö siirtyy seuraavaan aineeseen, joka on telan läpi virtaavaa öljyä. Telalta palaavan öljyn lämpötila on korkeilla ratanopeuksilla noin 92 °C, josta öljy kulkeutuu vaihdelaatikon kautta tankkiin. Lämpötilaprofiili on lineaarisesti nouseva, käyttöpuolelta hoitopuolelle katsottuna. Omalla pumpulla varustettu jäähdytys- ja suodatuskierto tuottaa telalle tasaisen ja stabiilin lämpötilaprofiilin, jonka vaikutus lopputuotteeseen on suuri. Alhaisemmalla paluuöljyn lämpötilalla saavutetaan myös vaihteen rynnölle riittävä voitelukalvo.

7.2 Nopeusrajoitteisuus

Kahdella päällystyskoneella ajetaan eri paperilajeja, joten nopeusrajoitteisuus mattakalanterilla on pullonkaula tuotannossa. Paperitehtaalla PPK1:n kalanteri on ainoa kone kalanteroimaan mattalajeja. Yksikiertoinen Küsters-telapari on suunniteltu noin 1200 m/min nopeuteen, mutta päällystyskoneen ratanopeus voi olla noin 1400 m/min. Kaksoiskierto-Küsters mahdollistaa kalanterin osalta ratanopeuden noston 1500-1600 m/min. Huomioon on otettava päällystyskoneen mahdolliset muut rajoittavat tekijät, joten 1600 m/min ratanopeutta ei välttämättä saavuteta.

7.3 Telaparin vaihto

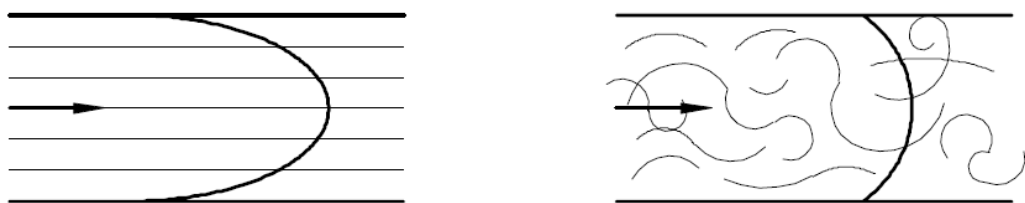
Yksikiertoiselle Küsters-telaparille ei ole varatelaparia sekä toisen telaparin ostoa ei olisi kannattavaa, kustannuksia tai käytettävyyttä ajatellen. Korvaava kaksoiskierto-Küsters-telaparia käytettiin PK2:lla, jolle löytyy varatelapari. PK2:n purkamisen jälkeen telaparit ovat olleet käyttämättöminä. Varatelapari mahdollistaa nopean telojen vaihdon, jolla minimoidaan päällystyskoneen seisonta-aika. Yksikiertoisen Küsters-telojen hionta-aika olisi noin viikon, jolloin ajojärjestelyjä jouduttaisiin muuttamaan. Telojen lähettäminen pinnoitukseen tai suurempaan huoltoon olisi käytännössä mahdotonta toteuttaa mattakalanterin pitkäaikaisen käyttömahdollisuuden puutteen vuoksi.

7.4 Öljyn kunto

Lämpötilan vaikutus öljyn kuntoon on merkittävä. Lämpötilan nousu vaikuttaa viskositeettiin, joka puolestaan muuttaa öljyn kemiallisia- sekä virtausominaisuuksia. Hydraulikan käyttökohteet tuottavat usein suuria pistekuormia, jotka johtuvat korkeista lämpötiloista. Viskositeetin muutosta pidetään hitaana hapettumisen indikaattorina ja se kertoo yleensä pitkälle edenneestä hapettumisesta. Vaihteistoöljyillä viskositeetin on havaittu kasvaneen kaikissa hapettuneissa öljynäytteissä. Viskositeetin muutos voi olla yhteydessä myös lisäaineissa tapahtuviin muutoksiin. Öljyn väriin tulee kiinnittää huomiota, kun arvioidaan öljyn hapettumista. Hapettumisenestolisäaine voi olla loppunut, vaikka TAN-arvo ei ylitä raja-arvoa. (Näivä 2019.)

7.4.1 Öljyn virtaus

Reynoldsin luku (Re-luku) on keskeisessä asemassa virtaustekniikassa. Reynoldsin luku ilmaisee virtauksen luonnetta. Virtaus voi olla luonteeltaan joko laminaarista tai turbulენტtista (Kuva 30). Virtaustyyppi laminaarisessa virtauksessa on virtaviivaista, jolloin nesteosaset seuraavat virtaviivojen suuntaa. Turbulenttiossa virtauksessa nesteosaset liikkuvat sattumanvaraisesti, kuitenkin keskimääräisesti tiettyyn virtaussuuntaan. (Paavilainen 2009, 18.) Laminaarisen virtauksen raja-arvo on suhteellisen pieni putkivirtauksissa eli, kun Re-luku on < 2300 . Virtaus on turbulენტtista Re-luvun ollessa > 4000 . Jos Re-luku on näiden edellä mainittujen arvojen välissä, virtaus ei ole selkeästi laminaarista tai turbulენტtista. (Viljanen 2012, 9.)



Kuva 30. Laminaarinen ja turbulენტtinen virtaus (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007, 13)

Virtauslajit voidaan erottaa toisistaan laskemalla Reynoldsin luku, joka määritellään yhtälöllä

$$Re = \frac{wd}{\nu} \quad (1)$$

jossa

w = nesteen virtausnopeus

d = putken halkaisija

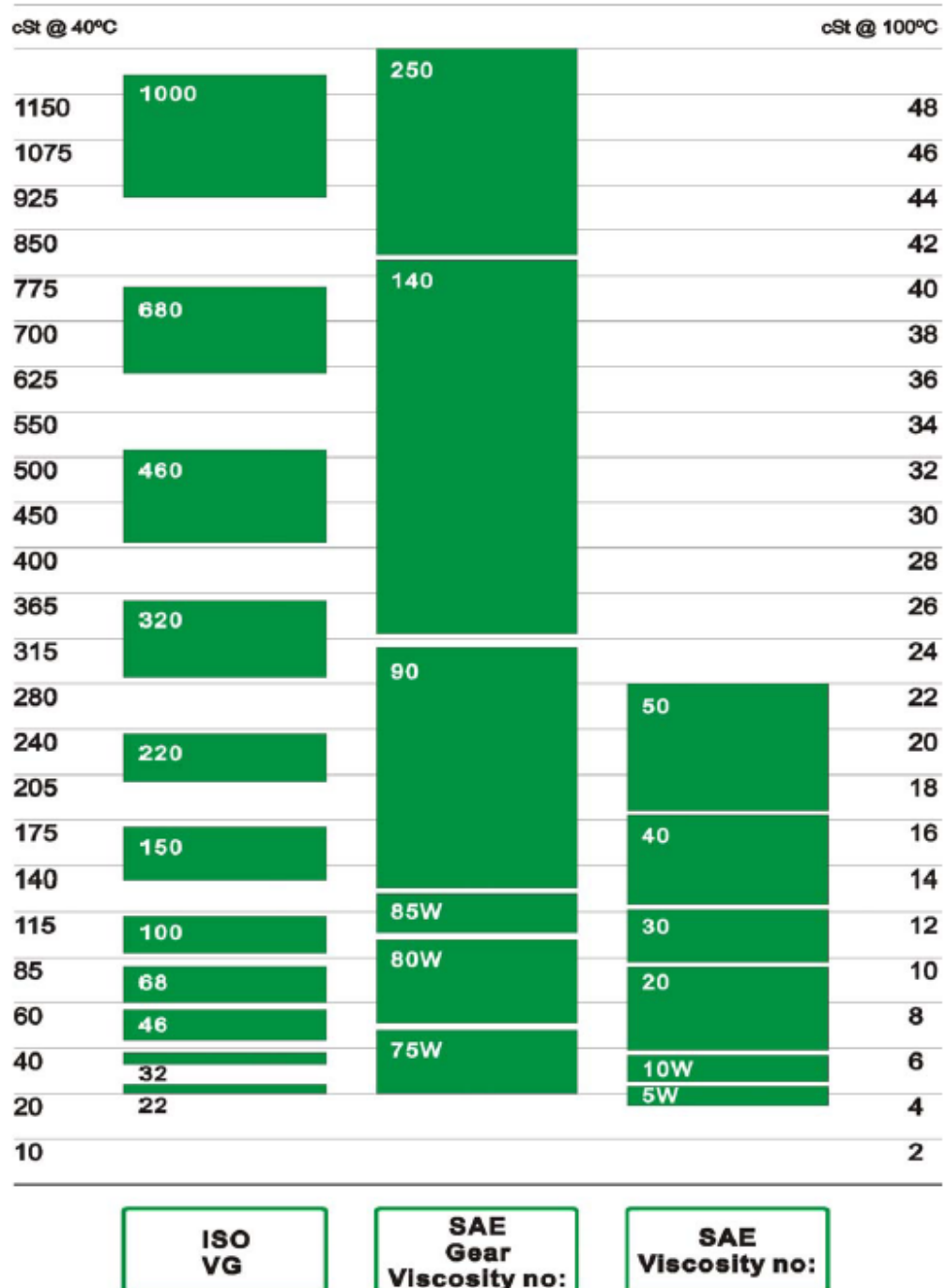
ν = kinemaattinen viskositeetti

Reynolds-lukua käytetään moneen eri sovellutukseen. Putkivirtauksissa Re-luku vaikuttaa kuitenkin vain kitkakertoimen suuruuteen. Reynolds-luku on viskositeetista verrannollinen eli mitä suurempi viskositeetti, sitä pienempi Re-luku. Esimerkiksi pumppauksessa suuremmat kitkavoimat aiheuttavat painehäviöitä ja nostavat pumppaukseen tarvittavaa energiaa sekä rasittavat pumppua. (Viljanen 2012, 9.)

7.4.2 Lämpötilan vaikutukset öljyn ominaisuuksiin

Samaan ISO VG- tai SAE-viskositeettiluokkaan kuuluvat öljyt voivat käyttäytyä hyvin eri tavoin lämpötilan muuttuessa (Kuva 31). Öljyn juoksevuuden muutosta lämpötilan muuttuessa kuvataan viskositeetti-indeksillä. Mitä korkeampi viskositeetti-indeksi, sitä paremmin öljy säilyttää juoksevuutensa kylmässä ja pysyy paksumpana kuumassa. (Eerola Supplies 2019.)

VISKOSITEETTIVERTAILUTAULUKKO



Kuva 31. Viskositeettivertailutaulukko (Näivä 2019)

Öljyn kuumetessa liikaa, on mahdollista saavuttaa järjestelmän sallima minimiviskositeetti (Taulukko 5). Tämän pisteen saavutettua, viskositeetti on niin alhainen, että liikkuvien pintojen väliin muodostuva öljykalvo supistuu kriittisen

ohueksi, jolloin alkaa esiintyä metalli-metalli-kosketuksia. Metalli-metalli-kosketukset aiheuttavat kulumisen kiihtyvyyden. Alhainen viskositeetti altistaa liitokset myös helpommin vuodoille sekä pumpun sisäiset ohivuodot kasvavat liian juoksevaa öljyä käytettäessä. (Teboil 2019.)

Lämpötila	ISO VG15	ISO VG 22	ISO VG 32	ISO VG 46	ISO VG 68	ISO VG 100	ISO VG 150
20C+	30	50	80	150	350	570	1000
30C+	20	32	50	70	100	315	500
40C+	15	22	32	46	68	100	150
50C+	11	15	21	28	40	55	80
60C+	8	11	15	20	27	36	50
70C+	6,5	8,5	11	16	18	26	32
80C+	5	6,5	8,5	11	15	17	25
90C+	4	5,5	6,5	8,5	11	14	17

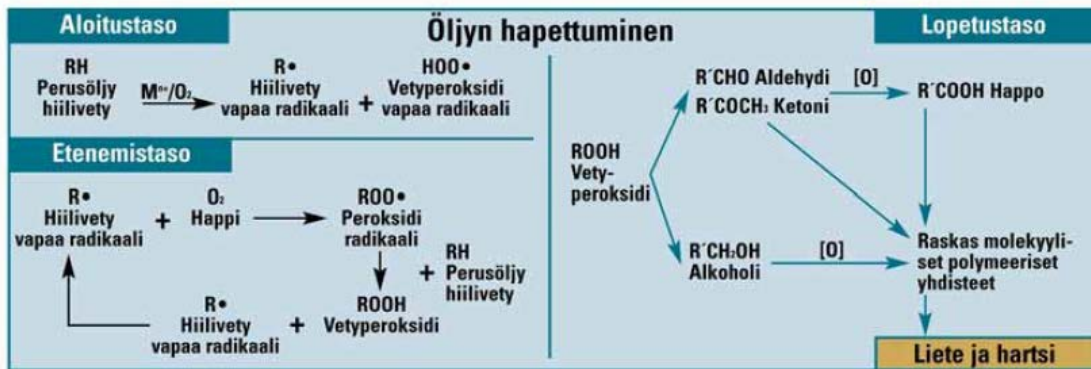
Taulukko 5. Öljyn viskositeetin muutos lämpötilan suhteen. Punaisella värillä on merkattu viskositeetti, joissa komponenteilla on leikkautumisvaara. (Näivä 2019.)

7.4.3 Hapettuminen

Pehmeät epäpuhtaudet ovat öljyyn liuenneita hapettumis- tai sakkautumistuotteita, jotka muuttavat olemustaan öljyn lämpötilan funktiona. Öljyjärjestelmässä olevien pehmeiden epäpuhtauksien lisääntyminen näkyy vähitellen järjestelmän eri osissa niin sanottuna lakkautumisena. (Promaint 2018, 71.)

Sakan muodostuminen öljyyn toimii yleensä lakkautumisen esiasteena (Kuva 32). Sillä tarkoitetaan öljyssä käyttölämpötilassa liuenneena esiintyviä geeli- tai hartsityyppisiä hapettumistuotteita tai kiinteistä mikroskooppisista partikkeleista muodostuvia sakkautumistuotteita, joita ei yleensä öljystä sen normaalissa toimintalämpötilassa silmällä erota. (Promaint 2018, 71.)

Lakkautumisesta aiheutuu esimerkiksi kitkan kasvu erilaisissa liuku- tai vierintälaakeripinnoissa, venttiilien luisteissa ja toimilaitteissa. Jäähdytysongelmat voivat myös johtua lakkautumisesta, koska se heikentää jäähdyttimen lämmönsiirtokykyä. Lakkautuminen tukkii suodatinpatruunat, jolloin niitä joudutaan vaihtamaan useammin. (Promaint 2018, 71.)



Kuva 32. Kaavio hapettumisprosessista perusöljyssä (Puustelli 2006, 10)

7.5 Kustannussäästöt

Yksikiertoisen telaparin korvaaminen kaksoiskiertoisella saavutetaan kustannussäästöjä. Kustannussäästöjen vertailukohteenä voidaan pitää yksinään aikaisemmin saatua tarjousta muutostöistä. Pidemmällä ajanjaksolla kalanterin modernisointi saavuttaa takaisinmaksuaikansa pelkästään ratanopeuden kasvattamisella sekä aiheutuneiden tuotannonmenetyksien perusteilla. Paperin tuotannollinen läpäisykyky voi nousta parhaimmillaan yli 15 %. Korvaavan hydraulikkakoneikon asennus suunnitellaan siten, että lopulliseen käyttöönottoon vaadittava seisonta-aika minimoidaan. Koneikon asennus, putkitukset ja huuhtelu pystytään suorittamaan päällystyskoneen ajaessa.

Hydraulikkakoneikkoon käytettävät komponentit valittiin aiempien käyttökokeusten sekä tehtaan varastosta löytyvien komponenttien perusteella. Toiminnanohjausjärjestelmästä tarkasteltiin, onko käytettäville komponenteille jo olemassa olevaa nimikettä. Komponenttien varastointi pyritään nykypäivänä minimoimaan. Jokainen hyllypaikka maksaa, kuten myös komponenttien hankinta. Tästä syystä komponentit ovat luokiteltu niiden kriittisyyden sekä saatavuuden perusteella, jotka huomioidaan varastoinnissa varaosien lukumäärässä. Tarkemman komponenttitarkastelun avulla vältetään uusien nimikkeiden luomista, pienennetään varastoon kohdistuvia kustannuksia sekä säästetään hyllytilaa.

8 Suunnittelu

Toiminnaltaan vastaavasta hydraulikkakoneikosta löydettiin hydraulikkakaavio, telaparin entisestä käyttökohteesta. Kaavion pohjalta luotiin karkeasuunnitelma, jossa valittiin koneikkoon tarvittavat ja tarpeettomat komponentit. Karkeasuunnitelmassa valittiin komponenttien valmistaja toiminnallisten ominaisuuksien perusteella, hyödyntäen mahdollisimman paljon tehtaan varastosta löytyviä komponentteja

Karkeasuunnittelussa luotiin rajat ja ehdot, joiden mukaisesti toimittaja etenee. Osa kriteereistä oli laitteen valmistajan määrittämiä. Opinnäytetyössä käsitellään teoreettisella tasolla yksityiskohtia suunnitteluun liittyen, mutta lopullisen suunnittelun toteuttaa toimittaja, jolla on vastuu laitteiston toiminnasta. Karkeasuunnittelussa otettiin myös kantaa projektin aikatauluihin. Aikataulu on riippuvainen monesta eri tekijästä, kuten koneikon valmistumisesta, esivalmisteluista ja optimaalisesta asennusajankohdasta.

8.1 Mitoitukset

8.1.1 Säiliö

Säiliön tilavuuden mitoittamiseen ei ole määritelty standardilaskentaa, vaan variaatioita on niin monta, kuin on käyttökohteitakin. Tilavuuden on kuitenkin oltava riittävä, jotta paluuöljyn mukana kulkeva ilma ehtii erottua. Ilman erottamiseen vaadittava aika riippuu öljyn lämpötilasta, viskositeetista ja öljytyypistä. Lisäksi vaikuttava tekijä on öljypatsaan korkeus säiliössä. (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 11.)

Yksi mitoitus tapa on kertoa pumppujen tuotto viidellä ja lisätä siihen putkistojen sekä muiden toimilaitteiden tilavuus. Mitoituksessa on kuitenkin otettava huomioon riittävä ilmatilavuus öljypinnan yläpuolelle. Suositeltava arvo on noin 20 %. (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 11.) Menetelmä 1 on kaavalla 2

$$V = (5 * Q) + V_1 + 20\% \quad (2)$$

jossa

Q = tilavuusvirta [l/min]

V_1 = putkistojen ja toimilaitteiden tilavuus [m³]

Toisessa mitoituskeinossa otetaan huomioon ISO VG-öljyluokan viipymäaika säiliössä ilmaerotukseen nähden, joka kerrotaan keskimääräisellä tuotolla toimilaitteille. Viipymäaika korkeaviskositeettisille öljyille ISO VG 100–320 muodostuu suureksi, koska ilmanerotusaika on pitkä. Näille viskositeettiluokan omaaville öljyille säiliötilavuudet kasvavat helposti suuriksi. (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 11.) Menetelmä 2 lasketaan kaavalla 3

$$V = k * Q \quad (3)$$

jossa

k = viipymäaikakerroin

Q = tilavuusvirta [l/min]

Taulukosta 7 nähdään, että menetelmällä 2 saadaan todennäköisesti ylimitoitettu säiliö. Viipymäaikakerroin on otettu ISO VG 100 öljyn tiedoista, koska ISO VG 150:lle kerrointa ei löytynyt (Taulukko 6). ISO VG 150 öljyluokalle öljyn viipymäaika minuutteina olisi todennäköisesti noin 20, joka johtaisi säiliön tilavuuden olevan noin 4 m³, jos säiliö mitoitetaan menetelmällä 2. Toimittaja valitsi kohteeseen 2,7 m³ hydraulikkasäiliön, jonka mitat olivat 1,5 m x 1,5 m x 1,2 m (pituus, leveys ja korkeus) ja täyttötilavuus 75 % (2m³).

Viskositeettiluokka	VG 10	VG 22	VG 32	VG 46	VG 68	VG 100
Viipymäaika [min]	5	5	5	10	10	14

Taulukko 6. Öljyn ohjeellinen viipymäaikakerroin minuutteina (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 11)

	Menetelmä 1	Menetelmä 2
Kaava	$Q \cdot 5 + V1 + 20\%$	$k \cdot Q$
Tilavuusvirta [l/min]	218	218
Putkistojen tilavuus [l]	400	
Viipymäaikakerroin [min]		14
20 %	300	
Yhteensä [l]	1800	3050

Taulukko 7. Säiliön mitoitusmenetelmät

8.1.2 Jäähdytys

Telahydrauliikassa järjestelmän paineiden ollessa alhaiset, alle 10 bar, pystytään toteamaan pumppujen muodostaman häviötehon olevan minimaalinen. Häviötehoiksi muodostui 125–240 W, riippuen pumpun tilavuusvirrasta. Pumpun häviötehon laskentakaava (4) muodostuu tilavuusvirrasta, järjestelmän paineesta, pumpun hyötysuhteesta sekä sähkömoottorin hyötysuhteesta. Hyötysuhteet ovat arvioituja (0,9) sekä paineen laskennallinen arvo on 10 bar.

$$P_{pumppu} = Q_p \cdot p \cdot (1 - n_p \cdot n_m) \quad (4)$$

jossa

Q_p = pumpun tilavuusvirta [l/min]

p = paine [Pa]

n_p = pumpun hyötysuhde

n_m = sähkömoottorin hyötysuhde

Pumppujen aiheuttama häviöteho voidaan kuitenkin laskea karkeammin, järjestelmän paineiden ollessa alhaiset. Pahimmassa tilanteessa kaikki tilavuusvirta kulkeutuu paineenrajoitusventtiilin läpi, jolloin pumpun tuottama teho muuttuu lämpötehoksi, joten teoriassa lämmöksi muuttuva teho voidaan laskea hydraulisen tehon kaavasta, paine kerrottuna tilavuusvirralla. (Fluid klinikka 2004, 14.)

Telalle menee keskimääräisesti jatkuvasti tuottoa 218 l/min, jolloin häviöteho on kaavalla 5 laskettuna 3,6 kW.

$$P = p * Q \quad (5)$$

Säiliön luonnollinen jäähdytysteho muodostuu lämmönläpäisykertoimesta, säiliön seinien pinta-aloista sekä lämpötilaerosta. Säiliön tehollinen jäähdytyspinta-ala on kuitenkin noin 80 %, koska on huomioitava nestepinnankorkeus säiliössä. Säiliö voi myös itse tuottaa jäähdytystehoa hyvin, mutta säiliön ollessa suljetussa tilassa, on otettava huomioon riittävä ilmanvaihto. Puutteellinen ilmavaihto ei poista lämmintä ilmassa, vaan jättää sen säiliön yhteyteen, jolloin lämmönsiirtokyky heikkenee. Lämmönläpäisykertoimia voidaan määrittellä eri tavoilla, mutta se on kuitenkin riippuvainen säiliön ympärillä olevasta ilmavirtauksesta (Taulukko 8). Asennettava järjestelmä ei kuitenkaan kärsi puutteellisesta ilmavirtauksesta, koska koneikko asennetaan avoimeen ympäristöön. Säiliön mitat ovat 1,5 m x 1,5 m x 1,2 m, jonka täyttötilavuus on 75 %. Säiliön luonnollinen jäähdytysteho lasketaan kaavalla 6 seuraavasti

$$P_{j\ddot{a}ahdytys} = K * Ah * \Delta T \quad (6)$$

jossa

K = lämmönläpäisykerroin [W/m^2K]

Ah = tehollinen jäähdytyspinta ala [m^2]

ΔT = lämpötilaero [K]

$$P_{j\ddot{a}ahdytys} = 20 \frac{W}{m^2K} * 6,8m^2 * 30K \quad (6)$$

$$P_{j\ddot{a}ahdytys} = 4,1 kW$$

Ympäröivän ilman liike	<i>K</i> lämmönläpäisykerroin
Liikkumaton ilma	4-5
Heikko ilmavirta	6-7
Voimakas ilmavirta	20-25

Taulukko 8. Lämmönläpäisykertoimen ohjearvoja (Gräsbeck 2014, 42)

Kaavoilla 4, 5 ja 6 voidaan todeta, että säiliön luonnollinen jäähdysteho on riittävä jäähdyttämään pumppujen aiheuttaman lämpötehon.

Telan valmistajalta löytyy käyrästä, josta selviää telan itsessään tuottama lämpöteho. Telan tuottama lämpötehon käyrä on eksponentiaalinen, joka riippuu pyörimisnopeudesta, lämpötilaerosta, virtausnopeudesta ja öljyn viskositeetin aiheuttamasta kitkasta. Lämpötehon käyrästä ei ollut saatavilla, joten voidaan olettaa käyttömootorin välittämän tehon muuttuvan kokonaan lämpötehoksi. Kalanterin alatelan käyttömootorin teho on 240 kW. Tiedossa oli kuitenkin, että ratanopeuden ollessa 1500 m/min, lämpöteho voitiin arvioida olevan maksimissaan 250 kW. (Pesu 2019.) Lämpötehon ollessa 250 kW, pystyttiin mitoittamaan telan lämpötehon poistamiseksi vaadittu jäähdysteho. Lämmönvaihtimien valmistaja Raucell ilmoittaa 240-120-135H putkilämmönvaihtimen jäähdystehon olevan 152 kW. Järjestelmään asennetaan kaksi lämmönvaihdinta rinnakkain, joten jäähdysteho 304 kW on riittävä.

8.1.3 Vaihdelaatikon voitelu

Hammasvaihteen moitteettoman toiminnan ja pitkän käyttöiän edellytyksenä on, että voitelu ja siihen liittyvät valvonta- ja huoltotoimenpiteet suoritetaan oikealla tavalla. Voiteluaineen tehtävänä on estää metallinen kosketus laakerien vierintäpinnoilla ja hammaspyörien rynnössä. Lisäksi voiteluaineen avulla siirretään laakereissa ja hammaspyörissä syntynyt lämpö ympäristöön. Öljykalvo hampaiden kylkien välissä on vaihteen toiminnan kannalta välttämätön. Öljykalvon puuttuminen johtaa nopeasti vaihteen vaurioitumiseen. (Küsters 1999.)

Roiskevoitelussa hammaspyörät koskettavat öljyyn ja ryntökohta saa öljykalvonsa hampaan mukana kulkevasta öljystä. Laakerit saavat voitelunsa pyörien aiheuttamasta roiskeesta. Tämä voitelutapa toimii hyvin kehänopeuksille 2,5–13

m/s. Kehänopeudet, jotka ylittävät 13 m/s tai alittavat 2,5 m/s, vaativat painevoitelun. Riippuen vaihteen rakenteesta, koosta ja jäähtyksen järjestelystä, saattaa koko vaihde edellyttää painevoitelua. Painevoitelussa vaihteen öljyputkisto kytetään keskusvoitelujärjestelmään tai vaihteen yhteyteen, sijoitetaan akselitoiminen tai erillisellä sähkömoottorilla varustettu voitelupumppu. (Küsters 1999.)

Kaksikammioisen pumpun toisen kammion tilavuusvirta 38 l/min johdetaan suoraan vaihdelaatikolle. Öljyn tehtävänä on voidella vaihdelaatikon ryntöä. Öljyvirtausta ohjataan porauksia pitkin myös vaihteen kuulalaakereille. Vaihteelle tuleva öljyputki on huuhdeltava ennen käyttöönottoa. Vaihdelaatikon valmistaja ilmoittaa, että öljynvirtaus 38 l/min on riittävä kohteeseen. (Küsters 1999.)

8.2 Öljyn valinta

Telaparin valmistajan käyttöohjeessa ilmoitetaan, että järjestelmän viskositeettiluokka on ISO VG 150. Laitetoimittaja määrää viskositeettiluokan, joka perustuu ISO 3448-standardiin. (Küsters 1999.) Viskositeettiluokka valitaan kuitenkin siten, että viskositeetti on 30–50 cSt normaalissa (40 °C) käyttölämpötilassa (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 35). Lisäaineistuksia öljylle on määriteltä hapettumisenesto, korroosionesto, vaahtoamisenesto ja paineenkesto EP (Küsters 1999).

Öljynkulumisenesto-ominaisuudet täytyy olla testattu DIN 51354 (FZG-koe) standardin mukaisesti ja tulokset on oltava 11 tai korkeampi. Vesipitoisuuden on oltava alle 500 ppm, mutta kuitenkin mielellään alle 200 ppm. Öljyn puhtaustason järjestelmässä tulee olla 15/12 (ISO 4406) tai parempi. (Küsters 1999.)

Suuren pintapaineen aiheuttamassa korkeassa lämpötilassa korkeapainelisäaineet (EP, extreme pressure) reagoivat metallipintojen kanssa. Korkeapainelisäaineiden tarkoitus on kasvattaa voiteluaineen kuormankantokykyä. Lisäaineet pienentävät kitkaa ja vähentävät metallipintojen kulumista, koska lisäaineet muodostavat metallipinnan kanssa kerroksen. EP- ja AW-lisäaineet ovat rajavoitelulisäaineita, joita käytetään rajusti kuormitetuissa kohteissa. EP-lisäaine aktivoituu sille ominaisessa lämpötilassa. Paikallisen lämpötilan on kosketuskohdassa noustava tähän, jotta reaktio käynnistyy ja pintaa suojaava rajavoitelukalvo muodostuu. (Opetushallitus.)

Viskositeetti-indeksin parantajilla (VI-lisäaineilla) vähennetään voiteluaineen viskositeetin riippuvuutta lämpötilasta. Näin saadaan voiteluaineita, jotka omaavat hyvät käynnistys- ja kitkaominaisuudet kylmissä olosuhteissa sekä hyvän voitelukalvonmuodostuskyvyn korkeissa lämpötiloissa. VI-lisäaineet estävät öljymolekyylien vapaan liikkumisen lämpötilan kohotessa. Vähäinen viskositeetin muutos on tärkeä vaihtelevissa lämpötiloissa toimiville laitteille. Viskositeetti-indeksin parantajat ovat koostumukseltaan öljyyn liukenevia polymeerejä (Kuva 33). Joillakin viskositeetti-indeksin parantajilla on myös jakautuvia ja hapettumisenesto-ominaisuuksia. (Opetushallitus.)



Kuva 33. Polymeerien käyttäytymisestä lämpötilan vaihtelussa. (Opetushallitus)

Lämpötilan vaikutus kohteessa on kriittinen ja siksi telan sisäisen öljyn viskositeetti on oltava riittävän pieni, jotta telaan kohdistuva lämpötila pienenee. Kohteeseen valitaan Neste EP 150 teollisuusvaihteistoöljy aiemman käyttökohteen toimivuuden perusteella sekä kyseinen öljy täyttää asetetut kriteerit (Kuva 34).

TYYPILLISET ANALYYSIARVOT

Tiheys kg/m ³ 15°C	886
Leimahduspiste °C (COC)	262
Jähmepiste °C	-21
Viskositeetti-indeksi	98
Viskositeetti cSt/ 40 °C	150
Viskositeetti cSt/ 100 °C	14.9
Ruostekoe, ASTM D 665 B	läpäisee
4-Ball EP, Weld load, kg, ASTM D2783	250
FZG testi (A/8.3/90), DIN 51354	>12

Kuva 34. Neste EP 150-ominaisuudet. (Neste 2019)

8.3 Suodatus

Järjestelmän suodatus tulee suunnitella siten, että saavutetaan standardien ISO 4406:1987, ISO 4406:2017 tai NAS 1638 mukaiset puhtausluokat. Standardeista voidaan poiketa, jos komponentin toimittaja asettaa vieläkin tiukemmat puhtausluokat. Laittevalmistajan ilmoittama puhtausluokka 15/12 perustuu ISO 4406:1987 standardiin, joka vastaa proportionaalijärjestelmän puhtausluokkaa. 15/12 puhtausluokka määrää, että järjestelmä sallii $\geq 6 \mu\text{m}$:n hiukkasia luokkaa 15 vastaavan määrän (16 001–32 000 kpl/100 ml) ja $\geq 14 \mu\text{m}$:n hiukkasia luokkaa 12 vastaavan määrän (2 001–4 000 kpl/100 ml). Suodattimien mitoituksessa on suositeltavaa käyttää suodatinvalmistajien mitoitusohjelmistoja. Suodattimen erottelukyky ilmoitetaan ISO MULTIPASS-testin perusteella saadulla β -arvolla. β -arvo saadaan laskemalla (7) likapartikkelien määrä ennen ja jälkeen suodattimen eli

$$\beta_x = \frac{n_1}{n_2} \quad (7)$$

jossa

β = suhdeluku (kuinka monta kertaa vähemmän partikkeleita on suodattimen jälkeen)

n_1 = partikkelimäärä ennen suodatinta

n_2 = partikkelimäärä suodattimen jälkeen

x = tarkasteltu partikkelikoko

Esimerkiksi paluusuodatinta valittaessa, toiminnanohjausjärjestelmästä löytyi PALLin paluusuodatin, jota käytettiin vastaavassa käyttökohteessa. Hydac tarjoaa omaa BetterFit-suodatinohjelmistoa, josta pystytään etsimään Hydacin kopiosuodattimia muiden valmistajien suodatinmalleille. PALLin paluusuodatin HC8304-FKS-39H korvattiin Hydacin 1.14.39 D 12 ECON2 paluusuodattimella, joka takaa β -suhdeluvuksi ≥ 200 , 1, 3, 6, 12 ja 25 μm :n suodatusasteilla. Hydac 1.14.39 D 12 ECON2 paluusuodatin on suunniteltu 10 bar hydraulikkajärjestelmille sekä suodattimet ovat varustettu ohivirtausventtiilillä.

8.4 Komponenttien valinta

Hydraulikkakoneikkoon käytettävät osat valittiin osittain aiemman käyttökohteen perusteella (Taulukko 9). Olemassa olevan komponenttiluettelon perusteella tarkastettiin, että löytyvätkö komponentit toiminnanohjausjärjestelmästä nimikkeinä. Osa komponenteista oli peräisin puretusta PK2:sta, joita pystyttiin hyödyntämään huoltotoimenpiteiden jälkeen.

Aiempien käyttökokemusten perusteella todettiin, että Vickersin V-sarjan siipipumput ovat erittäin luotettavia sekä niiden tilavuusvirta on riittävä. Vickers valmistaa V-sarjan siipipumppuja, joita löytyy yksi- tai kaksikammioisena. – kammion sekä vaihteen voitelua varten valittiin F3-2520V (90+38 l/min) kaksikammioinen pumppu sekä sivukiertopumpuksi F3-45V42A (200 l/min). + kammion pumppuksi valittiin F3-25V17A (90 l/min). Raucellin tilaa säästävät ja tehokkaat lämmönvaihtimet valikoituvat koneikon jäähdytystä varten. Koneikon suodatukseen valittiin PALLin kaksoissuodatinrungot, vaikka yksimaljaiset suodatinrungot olisivat riittäneet. Suodatinpatruunoina käytetään Hydacin tuotteita. Sähkömoottorit valittiin halutun 1500 1/min kierrosnopeuden ja tarvittavan tehontarpeen mukaisesti.

Komponentti	Valmistaja
Sivukiertosuodattimen rungot	Pall
Painesuodattimien rungot	Pall
Lämmönvaihtimet	Raucell
Kammioiden pumput	Vickers
Sivukiertopumppu	Vickers
Painelähttimet	Wika
Huohotin ja suodatinpatruunat	Hydac
Virtauskytkimet	NovaFix
Sähkömoottorit	ABB
Termostaatti	Danfoss
Paine-erosäädin	Valmet
Painelähetin	Rosemount

Taulukko 9. Tehtaan nimikkeelliset komponentit

8.5 Koneikon sijainti

Yksikiertoisen Küsters-telan koneikko sijaitsee päällystyskoneen alakerrassa käyttöpuolella, jonka sijainnin todettiin olevan huono. Huomioonotettavia seikkoja olivat koneikon suojaisuus, tulevat putkitukset ja huoltoystävällisyys. Sijainnista tehtyjä havaintoja olivat esimerkiksi putkituksien läpivienti suojarakenteen katoista, joka altistaa koneikon pölylle ja muille epäpuhtauksille, joita syntyy prosessista. Koneikon vuotoallas oli valettu säiliön ympärille siten, että vuotoöljyt saatiin pois vain imeytysmatolla.

Korvaava hydraulikkakoneikko päätettiin sijoittaa alakertaan hoitopuolelle, päällystyskoneen päähydraulikkakoneikon viereen. Sijainti ei muuta tulevien putkituksien määrää, mutta käytännön etuna saavutetaan paineistetun öljyn virtaus kohtisuorisesti konetasolla sijaitsevalle paine-erosäätimelle, jolla pienennetään putkiston painehäviöitä. Paluuöljyn virtausmatkalla tai -reitillä ei ole juurikaan merkitystä.

Hydraulikkakoneikon sijoituspaikka on oltava mahdollisimman lähellä käyttökohdetta, jonka ympärille on jätettävä noin 800 mm huoltotila. Mittana voidaan pitää esimerkiksi vuotoaltaan reunasta lähimpään seinään. Järjestelmä on saatava huollettua ilman koko järjestelmän paineen purkamista, joten linjassa täytyy olla

useita sulku- ja vastaventtiileitä. Täten pumppujen turvakytinten ja venttiileiden sijainti ja selkeä merkkkaus täytyy ottaa huomioon. On myös oleellista, että komponenttien tyyppikilvet sekä liitäntöjen ja mittauspisteiden merkinnät ovat helposti luettavissa. (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 8, 21-22.) Hydrauliikkakoneikon yhteydessä olisi hyvä säilyttää varasuodatinpatruunoita sekä imeytysmattoa järjestelmän ja ympäristön puhtaanapitoa varten.

9 Hankinta

Hydrauliikkakoneikolle saatiin aikaisemmin tarjous toiselta toimittajalta, jonka hinta oli korkea. Tarjous ei muun muassa sisältänyt paine-erosäädintä tai putkituksia, jotka nostaisivat projektin loppukustannuksia huomattavasti.

Tarjousta lähdettiin karkeasuunnitelman mukaisesti pyytämään paikalliselta toimittajalta, tehtaan omien standardien mukaisesti. Tarjousta pyydettiin vain yhdeltä toimittajalta, kun tiedettiin hinnan olevan merkittävästi alhaisempi kuin edeltävä. Tarjouspyynnön valintaperusteena käytetään usein halvinta hintaa, mutta kyseisessä projektissa hankittavan laitteen ja asennuksen laatu oli tärkeää. Tiedettiin, että toimittaja on erittäin kilpailukykyinen sekä luotettava, joten suurempaa kilpailutusta koneikolle ei vaadittu.

Tarjouspyynnössä haluttiin selkeä erottelu valmiin koneikon, sähköistyksien, putkituksien ja esiasennuksien hinnoille. Tarjouksen haluttiin sisältävän kaikki kaaviot ja osaluettelot hydrauliikasta, pneumatiikasta sekä sähköistyksistä. Saatu tarjous katsottiin läpi ja todettiin sen olevan halutunlainen.

Tehtaan omat komponentit vietiin toimittajalle, joka tarpeen vaatiessa suoritti komponenttien huollot. Toimittaja osallistui tarvittaessa ongelmaratkaisutilanteisiin, esimerkiksi sivukiertopumpun kanssa. Sivukiertopumppu oli nimikkeellistä tavaraa, mutta varastosaldoa pumpulle ei ollut. Toimitusaika kyseiselle pumpulle olisi ollut 14 viikkoa, koska pumpussa oli Viton-tiivistys. Toimittaja tilasi NBR-tiivistesarjan sisältävän pumpun, johon vaihdettiin Viton- eli kuumankestävät tiivisteet.

Dokumentointi suoritetaan toimittajan toimitettua kaikki hydraulikka-, pneumaattikka- ja sähkökaaviot osaluetteloiheen. Edellä mainitut dokumentit sidotaan toiminnanohjausjärjestelmään oikean toimintopaikan alle. Kaaviot ja osaluettelot sijoitetaan myös hydraulikkakoneikon yhteyteen, jotta mahdolliset ongelmatilanteet voitaisiin ratkaista.

10 Käyttöönotto

Opinnäytetyössä ei analysoida lopullista käyttöönottoa, projektin aikataulullisten ongelmien takia. Sen sijaan opinnäytetyössä otetaan huomioon käyttöönottoon liittyviä tärkeitä seikkoja projektin hallitun läpiviennin sekä laitteiston toiminnan kannalta. Oleellisia vaiheita ovat esiasennus, putkitukset, huuhtelu ja käyttöönoton jälkeinen öljynkunnonvalvonta.

10.1 Esiasennus

Esiasennus toteutetaan hydraulikkakoneikon toimittajan toimesta. Koneikon esiasennusta varten toimittajalle toimitettiin kaikki karkeasuunnittelussa esiintyneet komponentit, jotka löytyivät tehtaan varastosta. Esiasennuksen avulla tehtaalle saadaan täysin valmis hydraulikkakoneikko, joka vaatii enää lopulliset putkitukset asennettavaan kohteeseen. Toimittaja toteuttaa komponenttien oikeaoppisen asennuksen koneikkoon sekä suorittaa tarvittavat putki- ja letkuasennukset. Koneikkoon asennetaan myös riviliitinkotelo, johon kytketään valmiiksi kaikki mahdolliset sähkökytkennät. Myöhemmin asennetaan kehärakenne suojaksi koneikon ympärille.

10.2 Putkistot

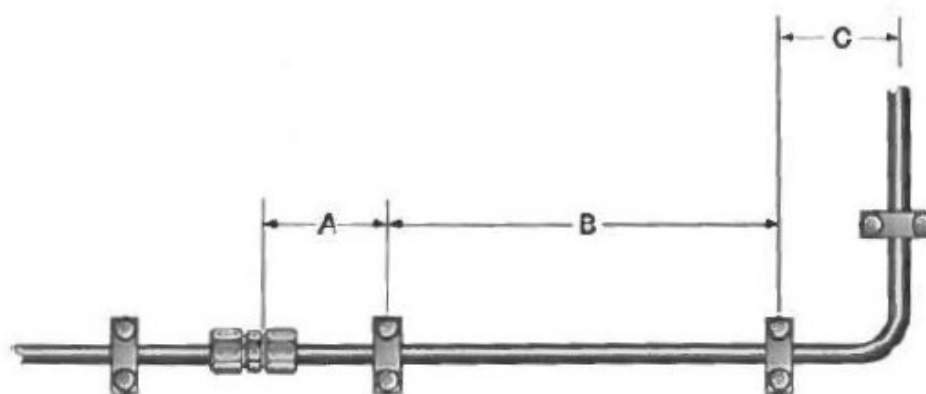
Usein hydraulikkaputket joudutaan katkaisemaan tai taivuttamaan ennen varsinaista asennusta. Putkien katkaisu voi vaikuttaa erityisesti liitosten vuodottomuuteen. Taivutuksella vaikutukset voivat olla putkiston paineenkestoon tai sen ulkoonäköön. Yksinkertaiset toimenpiteet voivat huonoimmassa tilanteessa johtaa koko järjestelmän toimimattomuuteen. Jos putkia taivutetaan tai katkaistaan asennusta varten, on kaikki asennukseen liittyvät toimenpiteet suunniteltava etu-

käteen. Jos kohteesta on olemassa putkipiirustus, toimitaan sen mukaisesti. Monesti putkiasennelmat on suunniteltava paikan päällä. Suunnittelussa huomioidaan kannakointi ja kiinnittimien sijainti, putkien reititys, liitoskohtien sijoittaminen sekä putkistojen lämpölaajeneminen. Pitkissä putkistoissa lämpölaajeneminen voi aiheuttaa vuotoja tai liitoksen aukenemista, mutta sen voi kompensoida putkeen tehtävällä mutkalla. (Virta 2010, 92.)

Hydrauliikkaputkiliittimien asennukseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota, jotta järjestelmä olisi vuodon. Hydraulijärjestelmän heikoin lenkki voi hyvin mahdollisesti olla huonosti asennettu liitos, joka voi johtaa järjestelmän toimimattomuuteen. Liitinvalmistajia on useita, joten liittimiä asentaessa täytyy muistaa, että yksikäsitteisiä ohjeita ei voida antaa edes yhden liitinvalmistajan liittintyyppille. Liittimien valmistajalta on tarkistettava aina viimeisimmät ohjeet, kun liittimiä asennetaan. Liintyyppinä on lukuisia erilaisia, mutta yleisimmät ovat leikkuurengas-, JIC-, ORFS- sekä laippaliitin. (Virta 2010, 92.)

Kannakointi on oleellinen osa liittyen hydraulijärjestelmän luotettavuuteen ja vuodottomuuteen (Virta 2010, 92). Putkistoa ei kuitenkaan saa kannakoida muista putkistoista, eikä muita komponentteja saa kannakoida putkistoon. Kannakoinnissa täytyy ottaa huomioon, että muun ympäristön värinä ei saa vaikuttaa putkistoon. Lämpölaajeneminen huomioidaan kannakoinnissa erityisesti pitkissä putkistoissa, joiden lämpölaajenemista hallitaan putkistojen mutkilla. Mutkan kannakointi on syytä olla niin lähellä taivutuskohtaa kuin mahdollista (Kuva 35). (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 41.)

Toimittaja valitsi kammioiden painelinjojen putkikooksi Ø42x3 mm, vaihteen voitelulle Ø38x3 mm ja paluuputkeksi Ø114,3x3 mm. Koko putkisto tehdään haponkestävästä teräksestä sekä putkiston kokonaispituus on noin 80 metriä. Toimittaja suorittaa putkitusten ja kannakointien oikeaoppisen asennuksen.



Putken ulkohalkaisija [mm] Tube outside diameter [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]
6	50	900	100
8			
10			
12	100	1500	200
14			
18			
22			
25			
30	150	2100	300
38			
50			

Kuva 35. Kannakointietäisyyksiä (Virta 2010, 97)

10.3 Huuhtelu

Järjestelmän huuhtelussa käytetään ISO VG 68 viskositeetti luokan öljyä, joka on muilta ominaisuuksiltaan sama kuin järjestelmän normaalitoiminnan aikainen öljy, lukuun ottamatta viskositeetti ominaisuuksia (Küsters 1999.)

Ennen käyttöönottoa järjestelmälle suoritetaan oikeaoppinen huuhtelu, jonka merkitys on suuri järjestelmän häiriöttömälle toiminnalle käytön aikana. Tutkimukset osoittavat, että epäpuhtaudet hydraulikkajärjestelmässä aiheuttavat keskimäärin 80 % toimintahäiriöistä ja usein epäpuhtaudet johtuvat huolimattomasta valmistuksesta tai kokoonpanosta. Käyttövarmuuden lisääntyminen saadaan aikaiseksi kiinnittämällä erityistä huomiota puhtauden panostukseen. (Kunnossapito yhdistys ry 2001, 48.)

Huuhtelun ajaksi on järjestelmän toimilaitteet ohitettava, kuten esimerkiksi moottorit tai venttiilit. Ilman ohitusta putkiston epäpuhtaudet voivat päätyä toimilaitteisiin, jääden jumiin niiden sisälle. Ohituslenkeillä runkoputket yhdistetään huuhtelupiireiksi sekä niistä haarautuvat linjat huuhdellaan haara kerrallaan. Kaikki paluulinjat, mukaan lukien vuotolinjat, kulkevat huuhtelun ajan erillistä paluusuodatinta pitkin. Hiukkaslaskuri (Kuva 36) liitetään näytteenottopisteeseen, joka sijaitsee säiliökiertosuodatuspiirissä. Hiukkaslaskurilla seurataan öljyn puhtautta ja se määrittää optisten antureiden avulla hiukkasten lukumäärän ja niiden koon. Hiukkaslaskuri ilmoittaa näiden tietojen avulla öljyn puhtausluokan. (Virta 2010, 117.)

Paineputkiston koeponnistus voidaan suorittaa huuhtelun yhteydessä tai sitä ennen. Koeponnistuksessa tulee käyttää 1,3 x työpainetta mutta ei kuitenkaan enempää kuin 50 bar yli työpaineen. Koeponnistuksesta laaditaan pöytäkirja, joka sisältää tiedot pitoajasta, koepaineesta sekä lämpötilasta. (Kunnossapito-yhdistys ry 2001, 49.)



Kuva 36. Pamas hiukkaslaskuri (Pamas 2019)

10.3.1 Huuhtelusuunnitelma

Toimittajan täytyy tehdä järjestelmäkohtainen huuhtelusuunnitelma ja saada sille tilaajan hyväksyntä. Suunnitelman tulee sisältää piirikohtainen aikataulu, laskelma turbulentsin virtauksen saamiseksi ja puhtausluokkatavoite sekä näytteenottopiste ja tapa, jolla puhtaus osoitetaan. (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 48.)

Huuhtelun valmistuttua huuhtelusuunnitelma toimitetaan päivitettyinä, sisältäen toteuman. Tarkoittaen piirikohtaista huuhteluaikataulua, puhtausluokka ennen ja

jälkeen huuhtelun sekä liitteenä hiukkaslaskintulostus. (Kunnossapitoyhdistys ry 2001, 49.) Taulukosta 10 näkyy esimerkki huuhtelupöytäkirjasta.

Piirin kuvaus	Huuhtelu alkoi	Huuhtelu päättyi	Huuhtelu-aika [min]	ISO 4406 ennen huuhtelua	ISO 4406 huuhtelun jälkeen	Laskettu Re-arvo
25PCV-4123	12.2.00 klo 17:00	12.2.00 klo 19:00	120 min	17/13/11	17/12/10	4170

Taulukko 10. Esimerkki huuhtelun aikana tehdyistä merkinnöistä (Kunnossapitoyhdistys ry, 2001, 49)

10.3.2 Huuhtelu järjestelmän omilla pumpuilla

Yleisesti ottaen, ei järjestelmän omalla koneikolla saada aikaan turbulenttista virtausta, koska tilavuusvirta ei ole riittävän suuri. Siitä syystä huuhteluun tulisi käyttää riittävän tehokasta erillistä huuhtelukoneikkoa. Sykkivän tilavuusvirran avulla saadaan epäpuhtaudet irtoamaan herkemmin, jonka avulla huuhtelu saataisiin suoritettua nopeammin. Huuhtelu voidaan lopettaa vasta, kun haluttu puhtausluokka on saavutettu. Puhtausluokka varmennetaan huuhtelun aikana suorite- tulla mittauksilla öljyn hiukkaspiteisyyksistä. Luotettava öljynäyte voidaan saada, kun huuhtelu on jatkunut 15 minuutin ajan ja, kun näyte on otettu ennen pa- luusuodatinta. Paras tulos saavutetaan öljyn lämpötilan ollessa 60–65 °C huuhtelun aikana. (Promaint 2010, 118.)

Järjestelmän omien pumppujen riittävyys huuhtelua varten voidaan todeta laske- malla Reynoldsin luku (Taulukko 11). Virtauksen on oltava riittävän turbulenttista, jotta huuhtelu olisi tehokasta. Järjestelmä huuhdellaan käyttäen ISO VG 68 vis- kositeettiluokan öljyä.

+ ja – kammioiden painelinjat voidaan huuhdella + kammion kaksikammioisella pumpulla, jolla tuottoa saadaan lisättyä huuhtelua varten. Pumpun käyttö – kam- mion huuhtelua vaatii lenkittämisen runkolinjasta. Vaihtoehtoisesti – kammion painelinja voidaan huuhdella sen omalla pumpulla, huuhtelulämpötilan ollessa 70 °C, jolloin Re-luvuksi muodostuu 2900. Vaihteen voitelulinja huuhdellaan kak- sikammioisella pumpulla, jonka molemmat kammiot tekevät tuottoa. Sillä vaih- teen voitelulle tuottava 38 l/min kammio ei riitä tuottamaan turbulenttista virtausta.

Paluulinjan huuhtelu suoritetaan viimeisenä, joka voidaan toteuttaa käyttämällä järjestelmän kahta kammioiden pumppua sekä sivukiertopumppua. Paluulinjan huuhtelulämpötilatavoitteena käytetään 70 °C, jotta viskositeetti saadaan riittävän alhaiseksi turbulentista virtausta varten. Kaikkien pumppujen tuottama tilavuusvirta 418 l/min jakautuu tasaisesti paine- ja voitelulinjoille, joka ei kuitenkaan rasita putkilinjoja liiallisella turbulenttisella virtauksella. Tällä menetelmällä Re-luvuksi saadaan 4550. Vaihtoehtoisesti paluulinja voidaan huuhdella kammioiden pumpuilla sekä lisäämällä huuhtelua varten yksi järjestelmän ulkopuolinen pumppu, jonka tuotto on 90 l/min. Pumppujen yhteenlaskettu tilavuusvirta on 308 l/min ja lopullinen Re-luku 3550. Re-luku on hyväksyttävä sillä periaatteella, että huuhtelu-aika on riittävän pitkä. Huuhteluajan on oltava suurempi kuin öljyn viipymäaika säiliössä ilmanerotuksen kannalta.

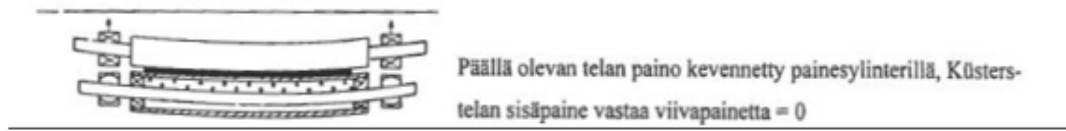
Putkilinja	Putken sisähal- kaisija [mm]	Virtaus [l/min]	Öljy	Huuhtelu- lämpötila	Visko- siteetti [cSt]	Rey- nolds- luku
(+) kam- mio	36,4	128	ISO VG 68	60 °C	22	3400
(-) kam- mio	36,4	128	ISO VG 68	60 °C	22	2900- 3400
Vaihteen voitelu	32	128	ISO VG 68	60 °C	22	3850
Paluulinja	108,3	308/418	ISO VG 68	70 °C	18	3350- 4550

Taulukko 11. Tiedot järjestelmän huuhtelua varten

10.4 Punnitus ja kuormittaminen

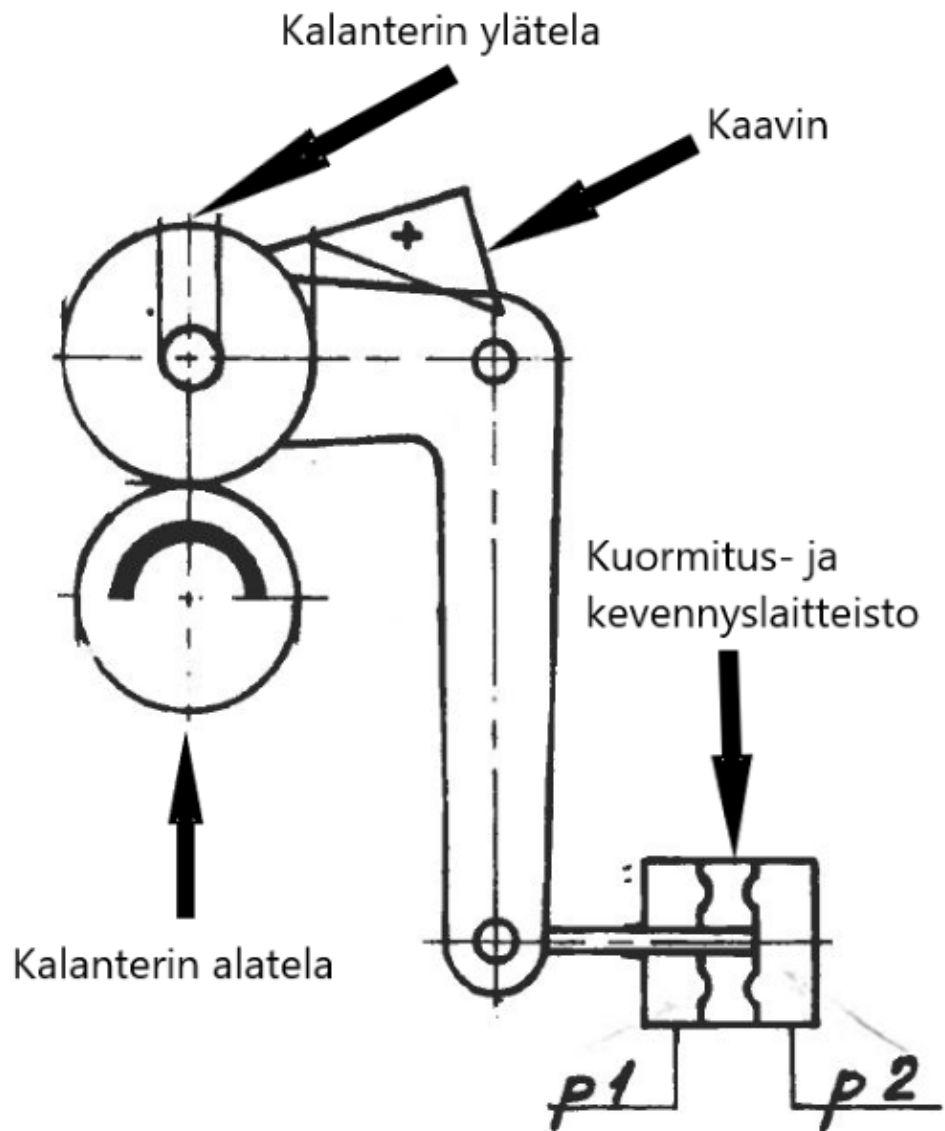
Ylätela punnitaan, jotta löydetään ylätelan 0-kuormituskohta (Kuva 37), jonka avulla kuormitus-paineet saadaan suhteutettua viivakuormitukseen. Samalla voidaan varmistaa, että telan sisäinen kuormitusjärjestelmä toimii sopivan pienellä kitkalla. Telan- sekä ulkoisten osien, kuten kaavareiden massat, aiheuttavat maan vetovoiman vuoksi kuormituksia, jotka poistetaan telan kuormitus-sylintereiden kevennys-paineilla p2 (Kuva 38). Telan keventämiseen vaadittavat kevennys-paineet ovat vakio, jolloin nippiä ei kuormiteta. Kevennyksellä pyritään pitämään ylätela paikoillaan muodostaen samalla nipin väliin raon. Kalan-terin menettäessä kuormituksen ohjaussignaalin, ylätelaa siirtyy kevennykselle, jotta telat eivät olisi

kosketuksessa toisiinsa. Samaa periaatetta käytetään mattakalanterin ollessa seisonnassa sekä paperirainan katkotilanteissa.



Kuva 37. Telan 0-kuormituskohta (Küsters 1999)

Ylätelaa aletaan keventämään ja riittävä kevennyspaine merkataan ylös, johon lisätään riittävä varmuus. Painetta aletaan pienentää siihen asti, kunnes tela alkaa laskea takaisin, jonka yhteydessä mitatut painelukemat kirjataan ylös. Tämä toistetaan useamman kerran, jotta mittaustulokset olisivat luotettavia. Jos telassa on vaihde, kuuluu hoitopuolen ja käyttöpuolen kuormitus sylinterien paineiden välillä olla pieni ero. Mittausten perusteella voidaan päätellä telan ja siihen liittyvien osien liikuttamiseen tarvittava paine, joka on viivakuormituksen lähtöpaine. Telan kevennys- ja laskupaineiden välinen ero on tyypillisesti 3–8 bar, mutta paineiden eron ollessa yli 10 bar on mahdollista, että telan sisäinen kuormituslaite on viallinen. Alatelaa painekompensoidaan ylätelan kuormitusten mukaisesti, jotta nipin viivakuorma olisi suora. Painekompensointi määräytyy viivakuorman mukaisesta kammioiden paine-erosta, joita ohjataan paine-erosäätimen ilmanpaineella.

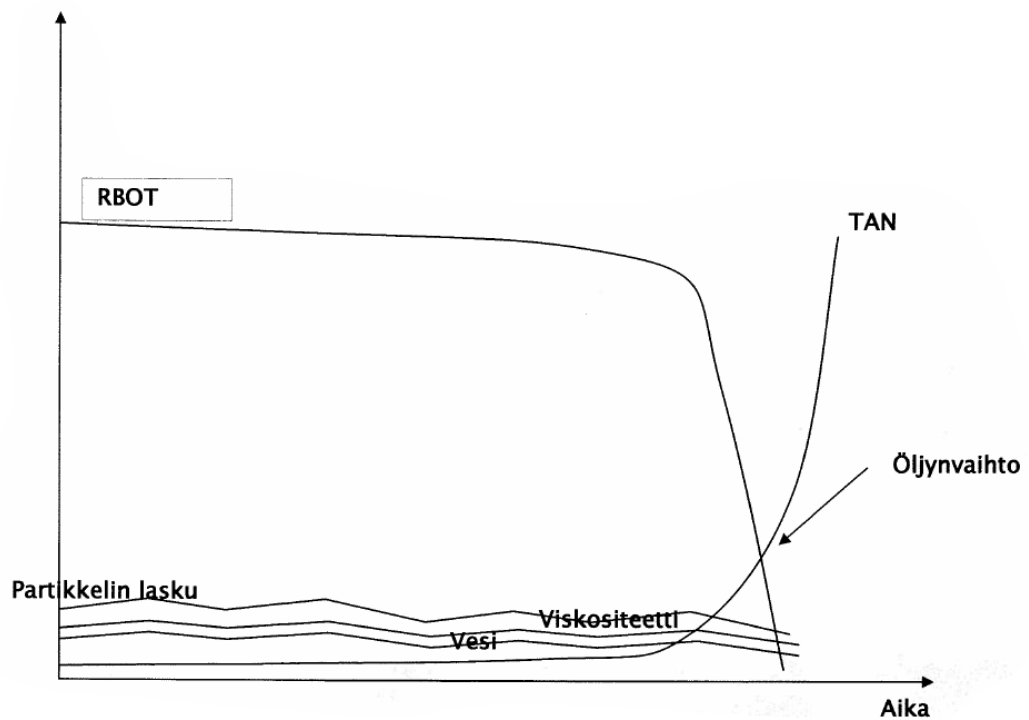


Kuva 38. Ylätelan kuormitus- (p1) ja kevennys (p2) (Küstners 1999)

10.5 Öljynkunnonvalvonta

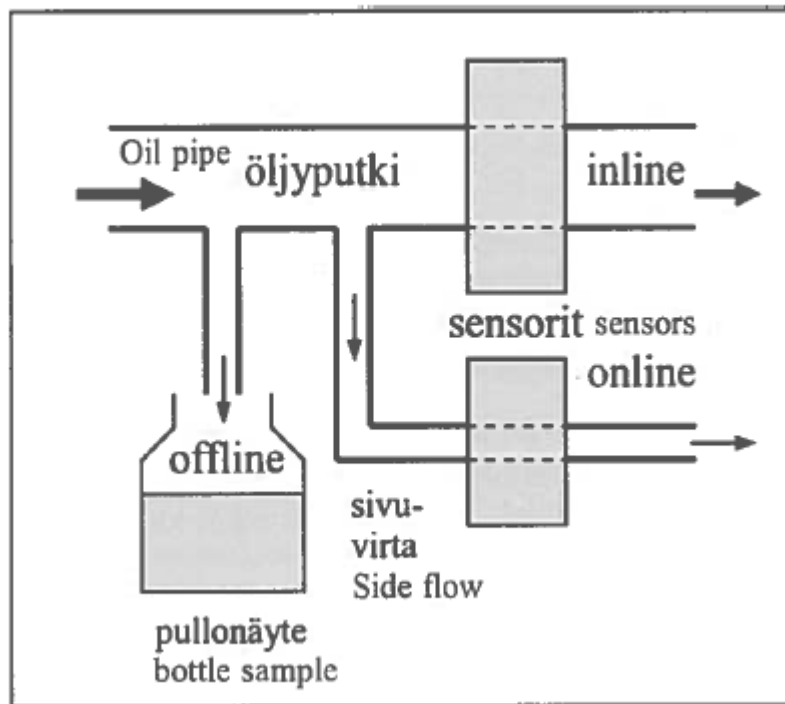
Öljynkunnonvalvonnalla pyritään ensisijaisesti selvittämään järjestelmän ja öljyn kuntoa. Järjestelmän kuntoa analysoidaan epäpuhtauksilla, joista mitataan niiden määrää, kokoa, muotoa sekä väriä. Yleisimpiä öljyanalysejä (Kuva 39) ovat vesipitoisuuden-, viskositeetin-, kokonaishappoluvun (TAN) ja puhtausluokkien mitaus sekä öljyn väriin perustuvat analyysit, kuten ASTM D 1500 standardi ja MPC-analyysi (Membrane Patch Colorimetry). Öljyn kemiallisia ominaisuuksia tutkiessa vertaillaan öljyn lisäaineistuksia, viskositeettia ja hapettumislukua TAN uuden ölj-

jyn arvoihin. Noussut TAN-luku on kuitenkin myöhäinen indikaatio öljyn hapettumisesta. Öljynäytteistä pystytään myös tekemään visuaalisia havaintoja mikroskoopin avulla, kuten metallisia kulumishiukkasia. Esimerkiksi, jos öljystä löydetään pallomaisia kulumishiukkasia, niin kyseessä voi olla alkava laakerivaurio. Kulumishiukkasen ollessa keltaisen messingin värinen, se voi olla peräisin laakerin rullanpitimestä, jolloin pystytään vielä suorittamaan ennakoivia toimenpiteitä. On kuitenkin mahdollista, että öljyn kulumametallipitoisuudet liukenevat öljyyn alle 3 µm hiukkasina, jolloin öljyn kulumametallipitoisuus ei välttämättä kerro järjestelmän kulumisesta mitään. (Promaint 2017, 8.)



Kuva 39. Yleisimmät analyysit (Näivä 2019)

Öljynkunnonvalvontaa voidaan suorittaa in-line-, on-line- ja off-line-menetelmillä (Kuva 40). In-line-menetelmässä mittausanturi sijaitsee suoraan virtauksessa järjestelmän mittauspisteen putken sisässä, kun taas on-line-menetelmässä neste tuodaan mittalaitteeseen letkulla tai putkella. Näillä menetelmillä saadaan reaaliaikainen tieto öljyn kunnosta. Off-line-menetelmä käsittää perinteisesti suoritettavat pullonäytteet, jotka analysoidaan kentällä tai laboratoriossa. (Promaint 2017, 13.)

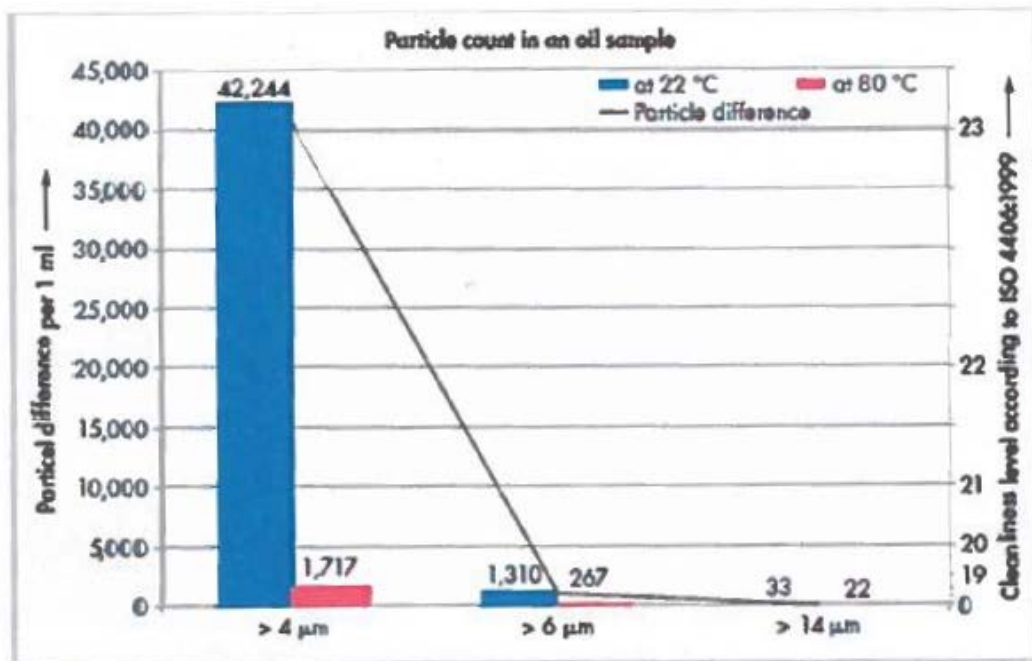


Kuva 40. Eri kunnonvalvontamenetelmien kytkeminen prosessiin (Promaint 2018, 13)

Öljyn värin mittasuurena käytetään yleisimmin väriasteikkoa, joka perustuu ASTM D 1500 standardiin. Standardissa väri luokitellaan lukusarjalla, joka sisältää 16 arvoa. Pienin arvo vastaa hyvin vaaleaa öljyä ja suurin arvo lähes mustaa öljyä. Öljyn värin perusteella tehtävää analyysiä käytetään muita menetelmiä edeltävänä ja täydentävänä menetelmänä. Öljyn hapettuminen indikoituu merkittävimmin öljyn värin muutoksella. Väri antaa kuitenkin aikaisemmin tietoa öljyn hapettumisesta, kuin perinteinen TAN-luku. (Promaint 2017, 33.)

Öljyn liuenneet pienet pehmeät hiukkaset (<2 µm hiukkaset) eivät näy puhtaus-tasoanalysaattoreiden tuloksissa. Lakkautumista esiintyy erityisesti kuumina käyvissä järjestelmissä (>70 °C). Hiukkaset ovat öljyn hapettumisesta ja lisäaineiden kulumisesta syntyneitä epäpuhtauksia. Öljyn lämpötilan laskiessa hiukkaset erottuvat liuenneesta muodosta ja kiinnittyvät kylmille pinnoille. Öljyn huonompi kyky pitää hiukkaset liuenneessa muodossa on yhteydessä öljyjen ja hapettumisenestolisäaineyhdistelmien ominaisuuksissa tapahtuneisiin muutoksiin. Liuenneet pehmeät epäpuhtaudet (sakka) edustavat lakkautumisilmiön esiastetta. Öljyn

MPC-arvon määrittäminen on yksinkertainen menetelmä, jolla saadaan määritettyä sa-
 kan määrä. MPC-menetelmässä järjestelmästä otetaan öljynäyte, johon sekoite-
 taan sama määrä neutraalia liuotinta. Seos suodatetaan alipaineen avulla ohuen
 membraaniverkon läpi, jonka värijakaumaa verrataan uuden öljyn näytteeseen.
 Myös membraanille jäänyt epäpuhtauksien määrä arvioidaan värijäämien mu-
 kaan, josta pyritään mahdollisuuksien mukaisesti määrittelemään epäpuhtauk-
 sien syntyperä. Lakkautumisen havainnoinnissa puhtausluokkien perusteella, on
 otettava huomioon lämpötila. On-line puhtausluokkamittauksessa hiukkasarvot
 saattavat näyttää hyvältä, koska lämpötilalla on suuri vaikutus lakkautumisen liu-
 kenemiseen öljyyn (Kuva 41). Huoneenlämmössä suoritettussa laboratoriohiuk-
 kaslaskennassa hiukkaskokoluokat voivat olla jopa yli viisi ISO-luokkaa suurempi
 kuin on-line-mittauksessa. Ilmiö johtuu öljynäytteen jäähtymisestä, jolloin lakkau-
 tumisen liukenevuusraja ylittyy. (Promaint 2017, 49, 73.)



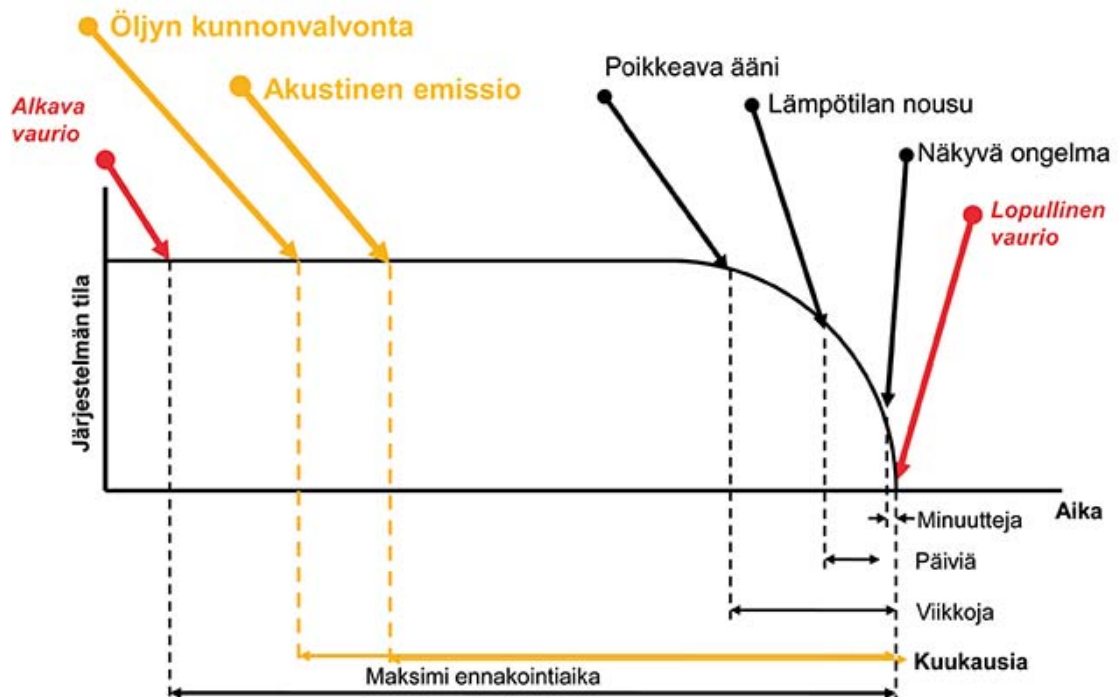
Kuva 41. Lämpötilan vaikutus partikkelilaskennan havainnointiin (Promaint 2018, 74)

Viskositeetti on öljyn tärkein ominaisuus ja jokaisella öljyllä on viskositeetin mu-
 kainen optimaalinen käyttölämpötila-alue. Öljyn viskositeetti tai ISO VG luokka
 ilmoitetaan +40 °C lämpötilassa. Lähtökohtaisesti öljyn vaaditaan olevan riittävän

ohutta kylmäkäynnistystilanteessa sekä riittävän paksua kuumissa käyttöolosuhteissa voitelun varmistamiseksi. Poikkeava viskositeetin nousu johtuu esimerkiksi väärän öljyn lisäämisestä järjestelmään, puutteellisesta suodatuksesta, emulgointuneesta vedestä tai öljyn hapettumisesta. Viskositeetin lasku johtuu tyypillisesti väärän öljyn lisäämisestä järjestelmään vapaasta vedestä tai öljyn leikkautumisesta eli lisäainepolymeerien katkeamisesta raskaissa käyttöolosuhteissa esimerkiksi kovan paineen alaisena. Öljyn ominaisuuksia voidaan mitata sensorin avulla, joka seuraa viskositeetin muutosta ja tarvittavat toimenpiteet on mahdollista aloittaa riittävän ajoissa. Öljyn hapettumisen vuoksi sen viskositeetin muutosta on käytännössä mahdoton korjata, joka johtaa yleensä öljynvaihtoon. (Promaint 2014.)

Vesi öljyssä on erityisen haitallista öljyn kemiallisille ominaisuuksille sekä järjestelmän toimivuudelle. Kondensaatio, vuodot vesijäähdyttimessä tai vesipitoisen öljyn lisääminen järjestelmään aiheuttavat yleiset vesiongelmät. Vesi voi olla öljyssä liuenneena tai vapaassa olomuodossa. Erityisesti vapaa vesi on haitallista aiheuttaen lisäaineiden hajoamista, öljyn hapettumista korroosiota sekä voitelun puutetta, joka johtaa metallimetalli kosketuksiin. Suhteellisen kosteuden mittaaminen välillä 0–100 % antaa tiedon vapaan veden muodostumisesta järjestelmään. (Promaint 2014.) Öljyn lisäaineistuksella voidaan kuitenkin vaikuttaa huomattavasti siihen, kuinka paljon vettä liukenee öljyyn ennen kuin se alkaa erottua vapaana vetenä (Promaint 2018, 92).

Öljyn jatkuvalla kunnonvalvonnalla ja siihen sisältyvillä analyyseillä saadaan luotettava käsitys järjestelmän sekä järjestelmässä käytettävän öljyn kunnosta. Kehittyvä teknologia tarjoaa monenlaisia mittauksia sekä käytäntöjä seurata laitteiden kuntoa. Öljynkunnonvalvonnalla pystytään havaitsemaan laitteen, järjestelmän tai ympäristön muutokset, jonka avulla on mahdollista reagoida tilanteeseen ennakoivasti (Kuva 42). Öljynkunnonvalvonnan pääperiaate ei kuitenkaan ole vain ennaltaehkäistä vaurioita, vaan optimoimaan järjestelmä ja laitteisto sen parhaimpaan sekä varmimpaan suorituskykyyn. Öljynkunnonvalvonnalla vältetään myös turhat öljyjenvaihdot, sillä uusi öljy ei välttämättä ole puhtaampaa kuin järjestelmässä oleva.



Kuva 42. Kunnonvalvontamenetelmien aika-asteikko (Promaint 2014)

11 Pohdinta

Opinnäytetyön avulla luotiin mahdollisuus uuden edullisemmän hydraulikkakoneikon hankintaan, joka on edellytys korvaavan telaparin toiminnan kannalta. Korvaavalla telaparilla saavutetaan parempi lopputuote päällystyskoneen mattakalanterin osalta. Yksikiertoinen Küsters-telapari oli tuonut haasteita tuotannollisessa sekä kunnossapidollisessa mielessä, jotka saadaan eliminoitua asentamalla päällystyskoneen kalanteriin kaksikiertoinen Küsters-telapari, joka varustetaan uudella hydraulikkakoneikolla.

Projektin kiireellisyyden vuoksi opinnäytetyön sisältö muuttui projektin etenemisen mukaisesti. Alun perin opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella hydraulikkakoneikko kokonaan ja ottaa tarkemmin kantaa koneikon asennukseen sekä telaparin käyttöönottoon. Opinnäytetyön sisältö muuttui täten enemmän teoreettisemmaksi, mutta laajaksi. Opinnäytetyössä käsitellään kuitenkin projektilla saavutettavia hyötyjä sekä hankintaan ja alustavaan suunnitteluun liittyviä seikkoja, joilla luodaan hankinnasta saavutettavat kustannussäästöt.

Opinnäytetyö oli erittäin monipuolinen sisältäen hydraulikkaa, telahydraulikkaa, suunnittelua sekä telaparin toimintoja ja käyttöönotossa huomioitavia asianhaaroja. Opinnäytetyössä käsitellään paljon öljyn kuntoa sekä öljynkunnonvalvontaa, joka on elintärkeää hydraulikka- ja voitelujärjestelmissä. Opinnäytetyö oli hyvin haastava, sillä jokaiseen yksityiskohtaan jouduttiin pureutumaan tarkemmin, mutta tarvittaessa tiedot saatiin Kaukaan paperitehtaan osaavalta ja mielellään avustavalta toimihenkilö- ja työntekijätasolta. Telaparin sekä hydraulikan asennukset ja käyttöönotto suoritetaan myöhemmin ajankohdan ollessa sopiva. Hydraulikkakoneikon ympärille asennetaan käyttöönoton jälkeen suojarakenne.

Lähteet

Aalto-yliopisto. Hydrauliiikka ja pneumatiikka. Luentomoniste. Koneenrakennustekniikka. Hydrauliiikan ryhmä. Sarja 9. Luettu 21.2.2019.

Alfa Laval 2019. Tiivisteelliset levylämmönvaihtimet. Levylämmönvaihtiminen toiminta. <https://www.alfalaval.fi/microsites/tiivisteelliset-levylammonvaihtimet/tyokalut/levylammonvaihtimen-toiminta/>. Luettu 22.2.2019.

Brax, J. & Hurmelinna, A. 2013. Hydrauliiikkajärjestelmän suunnittelu. Centria ammattikorkeakoulu. Tuotantotalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Luettu 22.2.2019.

Eerola Supplies 2019. Tuotetietoja. Miten valitsen hydraulioöljyn? https://www.eerolasupplies.fi/tuotetietoa/miten_valitsen_hydraulioiljyn_.html. Luettu 21.2.2019.

Fluid klinikka 2004. Hydrauliiikan mittauksia. Paineen ja tilavuusvirran mittaus. <https://www.salhydro.fi/files/PDF/5.hydrauliiikan-mittauksia.pdf>. Luettu 22.2.2019.

Gräsbeck, R. 2014. Virtuaalisimuloinnin käytettävyys PF-suodattimien hydraulijärjestelmien koulutuksessa, analysoinnissa ja vianmäärityksessä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. Luettu 14.3.2019.

Holma, M. 2016. Telahuolto- ja -hiontaprosessin kehitys. Oulun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Luettu 14.3.2019.

KnowPap 20.0. (11/2016). Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. VTT. Tietokoneohjelma. Luettu 19.3.2019.

KTR-Group 2017. Rotex®. Käyttö-/asennusohje. <https://www.ktr.com/fileadmin/ktr/media/Manuals/40210fi000000.pdf>. Luettu 21.2.2019.

Kunnossapitoyhdistys ry. 2001. Teollisuushydraulijärjestelmien suunnittelu- ja hankintaohje. Rajamäki: Kunnossapitoyhdistys ry.

Küsterson 1975. Küsterson-telan käyttö- ja huolto-ohjeet.

Küsterson 1999. Kaksoiskierto-Küsterson-telan käyttö- ja huolto-ohjeet.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007. Hydraulitekniikka. Luentomoniste. Konetekniikan osasto. Mekatroniikan ja virtuaalisuunnittelun laboratorio. Mekatroniikan peruskurssi. Luettu 21.2.2019.

Mäkinen, R. 1976. Hydrauliiikka 1. 5. painos. Helsinki: Otava.

Mäkinen, R. 1977. Hydrauliiikka 2. Helsinki: Otava.

Neste 2019. Tuote. Neste industrial gear 150 EP. <https://www.neste.fi/tuote/neste-industrial-gear-150-ep>. Luettu 22.2.2019.

Niiranen, E. 2011. Voitelu. Öljynäytteiden hiukkaslaskenta. Promaint kunnossapidon erikoislehti. https://www.pamas.de/fileadmin/user_upload/download/press/finnish_publications/2011-15_Finnish_Article_in_Promaint_5_2011.PDF. Luettu 21.2.2019.

Näivä, J. 2019. Hydrauliiikan- ja öljynkunnonvalvonnan aluemestari. UPM Communication Papers. Kaukas. Haastattelu.

Opetushallitus. Kunnossapito menestystekijä. Opetushallituksen verkkosivut. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e04_voiteluaineet_lisa-aineet.html. Viitattu 4.2.2019.

Paavilainen, H. 2009. Hydrauliiikka 1. Luentomoniste. Metropolia. <https://wiki.metropolia.fi/download/attachments/12158203/luentomoniste.pdf>. Luettu 20.2.2019.

Pamas 2019. Particle counters. Products by name. Pamas S-40. <https://www.pamas.de/particle-counters/products-by-name/pamas-s40.html>. Luettu 19.3.2019.

Pesu, V. 2019. Kunnossapitopäällikkö. UPM Communication Papers. Kaukas. Haastattelu.

Promaint 2014. Kunnonvalvonta ja käyttövarmuus. Mitä öljyssä tulee seurata? Promaint kunnossapidon erikoislehti. <https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Mita-oljyssa-tulee-seurata>. Luettu 21.2.2019.

Promaint 2018. Hydraulitekninen toimikunta. Öljyn kunnossapito. Helsinki: Promaint ry.

Puustelli, R 2006. Öljyjen hapettuminen ja hapettumistulosten poistaminen. Fluid Finland 2. Luettu 13.4.2019.

Raucell 2019. Hydrauliiikkaöljyn jäähdyttimet. Sarja-H. <http://raucell.fi/hydrauliiikkaoljyn-jaahdyttimet-sarja-h/>. Luettu 22.2.2019.

Säätö 2019. Tuotteet. Virtauskytkin öljylle. <https://saato.fi/tuotteet/virtauskytkin-oljylle/>. Luettu 21.2.2019.

Sym-ZS-telakirja 1994. Sym-ZS käyttö- ja huolto-ohjeet.

UPM Kymmene Oyj. 2019. UPM. Liiketoiminnot. Communication Papers. <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/upm-communication-papers/>. Luettu 21.2.2019.

UPM Kymmene Oyj. 2019. UPM. Tietoa meistä. <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/>. Luettu 25.2.2019.

UPM Kymmene Oyj. 2019. UPM Pulp. UPM Kaukas. Toimintomme Kaukaalla. https://www.upmpulp.com/fi/upm-kaukas/#cid_185327. Luettu 21.2.2019.

UPM Kymmene Oyj. 2019. UPM Paper. Products. Catalogue. <https://www.upmpaper.com/products/paper-catalogue?Region=235633&Category=230570>. Luettu 21.2.2019.

Uusitalo, T. 2019. Kunnossapitomestari. UPM Communication Papers. Kaukas. Haastattelu.

Viljanen, V. 2012. Viskositeettimittausten hyödyntäminen bioetanolitehtaan suunnittelussa. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Virta, S. 2010. Hydrauliputkistot. 2. painos. Promaint. Helsinki: KP-Media Oy.