

# PAPERIKONEEN MÄRKÄPÄÄN NIVELLIITOSTEN MITOITUSPERUSTEET JA SUUNNITTELUOHJEET

Mika Vaskelainen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2012

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) VASKELAINEN, Mika	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 16.05.2012
	Sivumäärä 84 + 21	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus ( ) saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi PAPERIKONEEN NIVELLIITOSTEN MITOITUSPERUSTEET JA SUUNNITTELUOHJEET		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) MATILAINEN, Jorma, yliopettaja NIEMINEN, Tomi, lehtori		
Toimeksiantaja(t) Metso Paper Oy NIEMI, Ari, suunnittelupäällikkö PESONEN, Tero, pääsuunnittelija		
Tiivistelmä <p>Metso Paper Oy:n Rautpohjan yksikössä oli törmätty ongelmiin puristin- ja viiraosien nivelliitoksien suunnittelussa. Suunnitteluun ei ollut kunnollista ohjeistusta tai perusteita, mikä oli tehnyt siitä kirjavaa ja hidasta. Työssä tuli tutkia monipuolisesti nivelen suunnitteluun liittyvät asiat, mutta pääpaino oli liitoksen rasituksen ja mitoituksen tutkimisella. Tavoite oli saada nivelliitoksille opinnäytetyön tutkimustuloksiin nojautuvat yksiselitteiset mitoitusperusteet ja suunnitteluohjeet.</p> <p>Työ aloitettiin kartoittamalla aikaisemmin käytettyjen niveltyyppien rakenteet ja materiaalit, jonka pohjalta tehtiin lisärajoituksia. Työssä edettiin suunnitteluprosessin vaatimalla tavalla ja mitoitusperusteet selvitettiin mitoittamalla uuden paperikoneen nivelliitos standardia hyväksi käyttäen. Lopuksi tutkittiin liitokset yleisen rakenteen, tribologian ja valmistusteknisten asioiden kannalta. Tutkimusten pohjalta laadittiin ohjekokonaisuus, jonka vaatimukset selvitettiin haastatteluin.</p> <p>Työn tuloksena syntyi kaksiosainen ohjeistus, jota voidaan soveltaa symmetrisesti kuormitettujen ulkoisten ja sisäisten nivelliitoksien suunnitteluun. Ensimmäinen osa käsittää ohjekuvan ja toinen osa laajemman dokumentin, jossa on ohjeistus rasituksen määrittämiselle ja liitoksen mitoitukselle. Dokumentin lopussa on perusteet ohjeissa esitetyille asioille. Yrityksen käyttöön jäi lisäksi kartoitusdokumentti, kehitysehdotukset, esimerkkilaskuja ja valmiit laskentapohjat nivelen mitoittamiseen. Vaikka liitokset oli tähän asti suunniteltu pääosin oikein ja hyvin perusteiden, on suunnittelu uuden ohjeistuksen pohjalta varmempaa, nopeampaa ja yhtenäisempää. Kaikista liitoksista tulee samantyyppisiä ja toiminta on laatuohjeistuksen mukaista.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Suunnitteluohje, mitoitus, nivelliitos		
Muut tiedot		



Author(s) VASKELAINEN, Mika	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 16.05.2012
	Pages 84+21	Language Finnish
	Confidential ( ) Until	Permission for web publication ( X )
Title SIZING BASES AND DESIGN INSTRUCTIONS FOR JOINTS OF PAPER MACHINE FORMING- AND PRESS SECTIONS		
Degree Programme Machine and production engineering		
Tutor(s) MATILAINEN, Jorma, principal lecturer NIEMINEN, Tomi, senior lecturer		
Assigned by Metso Paper Oy NIEMI, Ari, design manager PESONEN, Tero, chief designer		
Abstract <p>In Rautpohja's unit of Metso Paper Ltd problems were detected in the designing of press section and forming section joints. There were no proper instructions for designing, which had made the designing process slow and diverse. There were needs to survey the design issues comprehensively but the main focus was to inspect the stress calculating and sizing of the joints. The main goal was to get unambiguous design instructions and bases for sizing based on the research results.</p> <p>The thesis project began by studying the constructions and materials of the heretofore designed joints and more defining was made based on this survey. The thesis project proceeded according to the design process and the bases of sizing were found out by designing a joint for a new paper machine taking advantage of the standard. In the end the joints were surveyed relative to the general construction, tribology and manufacturing. In conclusion the instruction set was created based on the surveys. The Instruction requirements were found out by interviews.</p> <p>The results of the thesis were the instructions made of two parts which can be applied to the designing of the symmetrically loaded joints. The first part includes an indicative work drawing of the joint and the second part is a guideline for defining the stress and sizing of the joints. The bases for all the things of the instructions are presented in the end of the second part. The company also got the documents of the initial survey, developing proposals, example calculations and calculation templates. Although the joints were designed mainly in the right way previously, now the designing is more reliable, faster and uniform due to thesis project. All the joints will become similar and working is according to the quality system.</p>		
Keywords Design instruction, sizing, joint		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>6</b>
1.1	Työn tausta .....	6
1.2	Tavoitteet ja toteutustapa .....	6
1.3	Toimeksiantaja .....	7
<b>2</b>	<b>PAPERIKONEEN ESITTELY .....</b>	<b>8</b>
2.1	Paperikoneen yleiskatsaus.....	8
2.2	Viiraosa .....	10
2.3	Puristinosa .....	12
2.4	Kuivaus ja jälkikäsittely .....	15
<b>3</b>	<b>PAPERIKONEEN NIVELLIITOKSET .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>NIVELTYYPPIEN KARTOITUS .....</b>	<b>21</b>
4.1	Kartoituksen suoritus .....	21
4.2	Liitosten rakenteet .....	22
4.3	Liitosten materiaalit .....	24
<b>5</b>	<b>NIVELLIITOSTEN SUUNNITTELUPERUSTEET.....</b>	<b>25</b>
5.1	Suunnittelun rajaukset .....	25
5.2	Vaikuttavat voimat ja niiden laskenta .....	26
5.3	Liitoksen mitoitus Eurocode 3:n mukaan.....	36

<b>5.4</b>	<b>Nivelen mittasuhteet.....</b>	<b>45</b>
<b>5.5</b>	<b>Liukupintojen materiaaliparit ja kuluminen .....</b>	<b>48</b>
5.5.1	Laakeroinnin materiaaliparien vaatimukset .....	48
5.5.2	Tarkastelu kulumista vastaan.....	49
<b>5.6</b>	<b>Laakerin voitelu.....</b>	<b>54</b>
5.6.1	Voitelutilanteen selvitys.....	54
5.6.2	Voiteluaineen valinta ja jälkivoitelun määrittäminen.....	57
<b>5.7</b>	<b>Toleranssi- ja sovitteet .....</b>	<b>60</b>
5.7.1	Toleroinnin punainen lanka .....	60
5.7.2	Pinnankarheudet .....	60
5.7.3	Geometriset toleroinnit .....	62
5.7.4	Puristusliitoksen sovitteet.....	63
5.7.5	Muut sovitteet.....	65
<b>6</b>	<b>SUUNNITTELUOHJEIDEN LAADINTA .....</b>	<b>66</b>
6.1	Ohjeen kirjoittamisen teoria ja vaatimukset .....	66
6.2	Suunnitteluohjeen vaatimusten selvitys .....	68
6.3	Ohjeistuksen toteutus .....	73
<b>7</b>	<b>KEHITYSEHDOTUKSET JA JATKOTOIMENPITEET .....</b>	<b>76</b>
<b>8</b>	<b>OPINNÄYTETYÖN TULOKSET JA YHTEENVETO .....</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>POHDINTA.....</b>	<b>78</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>82</b>

<b>LIITTEET .....</b>	<b>85</b>
<b>Liite 1. Nivelliitoksen vanha suunnitteluohje.....</b>	<b>85</b>
<b>Liite 2. MathCad-laskentadokumentti tukivoimista .....</b>	<b>86</b>
<b>Liite 3. MathCad-laskentadokumentti liitoksen mitoituksesta .....</b>	<b>92</b>
<b>Liite 4. MathCad-laskentadokumentti puristusliitoksen laskennasta .....</b>	<b>98</b>
<b>Liite 5. Kyselypohja haastateltaville .....</b>	<b>101</b>
<b>Liite 6. Kyselyn tulokset .....</b>	<b>103</b>
<b>Liite 7. Uuden suunnitteluohjeen ohjekuva.....</b>	<b>105</b>

## KUVIOT

KUVIO 1. Vuoden 2010 liikevaihto ja henkilöstö sektoreittain .....	7
KUVIO 2. Metson paperikonelinja.....	9
KUVIO 3. LWC-paperikoneen layout .....	9
KUVIO 4. Viirakonseptit .....	10
KUVIO 5. Kitaformerit, OptiFormer .....	11
KUVIO 6. 3-kerrosviiraosa .....	12
KUVIO 7. Rainan siirron geometria .....	12
KUVIO 8. Metson puristinkonsepteja .....	14
KUVIO 9. SymPressB -kolminippipuristin ja sen laitteet .....	15
KUVIO 10. Nivelliitoksen perusmalli ja mallintava kuvanto.....	17
KUVIO 11. Viiraosan nivelöintejä .....	19
KUVIO 12. Puristinosan nivelöintejä .....	20
KUVIO 13. Kuvakaappaus kartoitustyökirjasta yhden projektin osalta .....	21
KUVIO 14. Telan liikutusmekanismin epäsymmetrinen sisäinen nivelliitos .....	22
KUVIO 15. Formeritelan ja imuysikön symmetrinen ulkoinen nivelliitos .....	23

KUVIO 16. Pitkänippipuristimen ulkoinen toisesta päästä kuormitettu nivelliitos .....	23
KUVIO 17. Viiraosan telan ja imuysikön kaksoiskuormitettu nivelliitos .....	24
KUVIO 18. Varren ja muiden liikkuvien osien massakeskipiste CATIA-mallissa.....	26
KUVIO 19. Peittokulma.....	27
KUVIO 20. Symbelt-nostolaitteen sylinterikulma .....	28
KUVIO 21. Sympress - 2. puristimen massat, sylinterivoima ja nippivoimat .....	29
KUVIO 22. Kanttaustilanteen periaatekuva .....	31
KUVIO 23. Vapaakappalekuvan oletustuennat .....	32
KUVIO 24. Nivelen resultanttivoima .....	33
KUVIO 25. Niveltapin pintapaine.....	35
KUVIO 26. Liukulaakerin projektiopintapaine ja laskenta.....	36
KUVIO 27. Standardin asettamat liitoksen voimat ja etäisyydet momentin laskuun..	37
KUVIO 28. Tukivoimien käyttäytyminen poikkivoimatilanteissa .....	38
KUVIO 29. Pintapaineen käyttäytyminen ja laskentaan tarvittavat mitat .....	40
KUVIO 30. Standardin asettamat reunaetäisyydet levyaksuuden perusteella.....	42
KUVIO 31. Taivutusmomentin laskentaväli ja mittojen vertailu.....	44
KUVIO 32. Periaatekuva kosketustilanteesta .....	50
KUVIO 33. Adheesiokulumisen tuottama jälki metallipinnassa .....	50
KUVIO 34. Liukoisuuskartta .....	51
KUVIO 35. Abrasiivisesti kynnetyn pinnan kulumisjälki .....	52
KUVIO 36. Galvaanisen parin periaatekuva .....	53
KUVIO 37. Voitelutilanteet .....	56
KUVIO 38. Voiteluaineiden soveltuvuus nopeuden ja kuormituksen suhteen .....	57
KUVIO 39. Voitelu-urien muotoilu ja sijainti, kun a) akselin pyörii yhteen suuntaan b) pyörimissuunta vaihtelee.....	59
KUVIO 40. Saavutettavia pinnankarheuksia.....	61
KUVIO 41. Esimerkki kuormitusvarren liitoskohdan geometrisesta toleroinnista .....	62
KUVIO 42. Esimerkki rungon liitoksen kohdan geometrisesta toleroinnista .....	63
KUVIO 43. Laakeriholkin kitkavoimat.....	64

KUVIO 44. 3D-malli ja leikkaus kehitysehdotuksista .....	77
--	----

## TAULUKOT

Taulukko 1. Erilaisten metallisten materiaalien korroosionopeuksia vesipohjaisessa 5-til % NaCl liuoksessa 35-asteen lämpötilassa, pinta-alojen suhde 1:1 .....	54
---	----



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Paperikoneissa on erilaisia nivelliitoksia, joilla liitetään paperin valmistuksessa tarvittavia komponentteja paperikoneen runkoon. Metso Paper Oy:n märkäpään, eli viira- ja puristinosien, suunnitteluosastoilla oli havaittu ongelmia näiden liitosten suunnittelussa. Tähän asti ohjeena suunnittelussa on toiminut ainoastaan 1980-luvulla tehty ohjekuva yleisimmästä liitosmallista, missä esitetyille asioille ei kuitenkaan ole ollut tietoperustaa. Sen takia ei ole varmuudella tiedetty kuinka liitos tulisi mitoittaa tai mitä kaikkia asioita suunnittelussa tulee huomioida ja mitkä niistä ovat tärkeitä. Mitoitukseen vaikuttavan rasituksen laskentaankaan ei ole ollut linjausta, joten nivelten suunnittelu on ollut kirjavaa ja hidasta projektien yhteydessä.

## 1.2 Tavoitteet ja toteutustapa

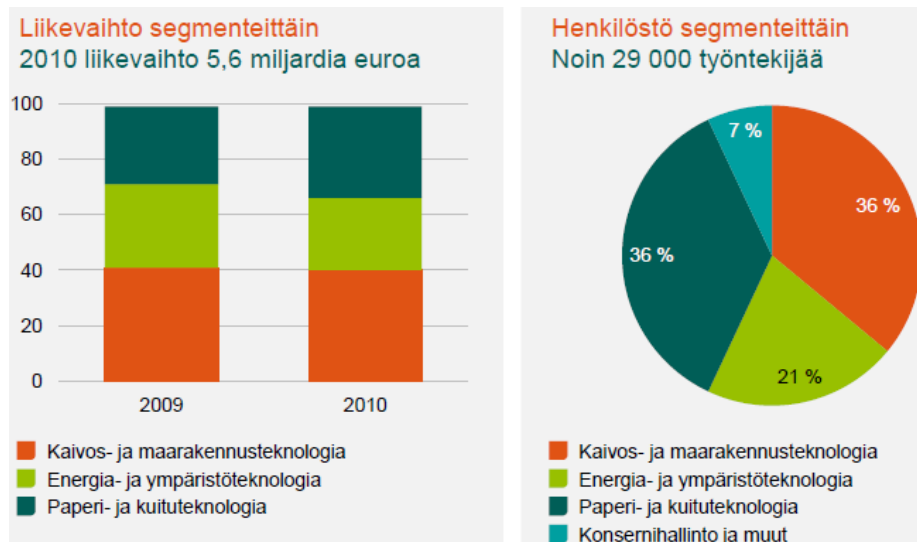
Työssä kartoitetaan käytetyt nivelliitokset ja niiden rakenteet sekä laaditaan liitosten mitoitusperusteet. Tässä tapauksessa keskityttiin kuitenkin vain suurimpiin niveliin, jotka ovat kovan kuormituksen alla ja joiden ympäri tapahtuu liikettä. Hydraulisylintereiden liitoksiin ei oteta kantaa. Lujuuslaskennan lisäksi tuli huomioida toleranssit ja sovitteet, materiaaliparit ja liukupinnat, voitelu, valmistustekniset asiat sekä kustannukset. Pää tavoitteena oli saada viira- ja puristinosien suunnitteluosastoille perusteluihin nojautuvat yksiselitteiset suunnitteluohjeet erityyppisille nivelliitoksille.

Työ aloitettiin kartoittamalla olemassa olevia liitoksia empiirisellä tutkimuksella ja lisärajoituksia tehtiin aina tarvittaessa. Eteenpäin mentiin loogisesti liitoksen vaatiman suunnittelujärjestyksen mukaisesti ja mitoitusperusteet selvitettiin mitoittamalla itse nivelliitos alusta loppuun, jolloin siihen liittyvät asiat tuli varmasti käytyä läpi. Työn

tekemisessä käytettiin hyväksi lujuuslaskentaan, tribologiaan, koneensuunnitteluun sekä tolerointeihin liittyviä standardeja, kirjallisuutta sekä yrityksen tietokantoja. Tietoa kerättiin suunnitteluun ja ohjeiden tekoon liittyen paljon myös haastatteleamalla suunnittelu- ja laatuosastojen asiantuntijoita.

### 1.3 Toimeksiantaja

Työnantajana toimi Metso Paper Oy, joka kuuluu laajempaan Metso-konserniin. Yrityksostojen ja fuusioiden kautta Metso Oyj on noussut nykyisen kaltaiseksi kansainväliseksi teknologiakonserniksi, jonka tavoite on pitkällä aikavälillä kestävä ja kannattava kasvu. Nykyään Metso toimii yli 300 yli 50 eri maassa noin 29 000 työntekijän voimin, joista 31 % työskentelee Suomessa. Vuonna 2010 konsernilla oli liikevaihtoa yhteensä 5 552 miljoonaa euroa. (Metso lyhyesti 2011.) Konsernin liiketoiminta on organisoitu kolmeen pääosaan eli segmenttiin: kaivos- ja maarakennusteknologiaan, energia- ja ympäristöteknoologiaan sekä paperi- ja kuituteknoologiaan. Eri toiminta-alueiden liikevaihdot ja henkilöstömäärät ilmenevät diagrammeista (ks. kuvio 1). (Metso yleisesitys 2011, 19–20.)



KUVIO 1. Vuoden 2010 liikevaihto ja henkilöstö sektoreittain (Metso yleisesitys 2011)

Paperi- ja kuituteknologian saralla toimiva Metso Paper Oy on johtava tarjoaja ja maailman paperista tehdäänkin yli puolet Metson tai sen edeltäjien koneilla. Paperi- ja kuitusegmentin tuotteet ja palvelut ovat paperi-, kartonki- ja pehmopaperikoneet sekä tuotantolinjat, kemiallisen- ja mekaanisen massateollisuuden laitteet sekä tuotantolinjat, paperi-, massa-, energia-, sekä kaivosteollisuuden kudokset ja suodatin-kankaat, asiantuntija- ja huoltopalvelut sekä vara- ja kulutusosat. Suurimmat kilpailijat ovat valmistuslinjojen osalta saksalainen Voith ja massanvalmistuslinjojen osalta itävaltalainen Andritz. (Metso-vuosikertomus 2010, 51.)

Opinnäytetyön toimeksiantajan, eli Metso Paper Oy:n, pääyksikkö sijaitsee Jyväskylän Rautpohjassa ja se työllistää yli 1500 henkilöä. Yksikkö on alun perin perustettu valti-on tykkitehtaaksi 1938 ja paperikonetoimitukset aloitettiin vuonna 1953. Tänä päivänä 50 hehtaarin tehdasalue pitää sisällään paperi- ja kartonkikonekonetehtaan, teknologiakeskuksen, huoltokeskuksen ja valimon. Vuositasolla Rautpohjan tehtaalla viedään läpi 20–30 paperikone- ja uusintaprojektia. Pienempiä osa- ja komponentti-toimituksia on satoja. (Rautpohjan perehdyttämispöytäkirja 2011, 3.)

## **2 PAPERIKONEEN ESITTELY**

### **2.1 Yleiskatsaus**

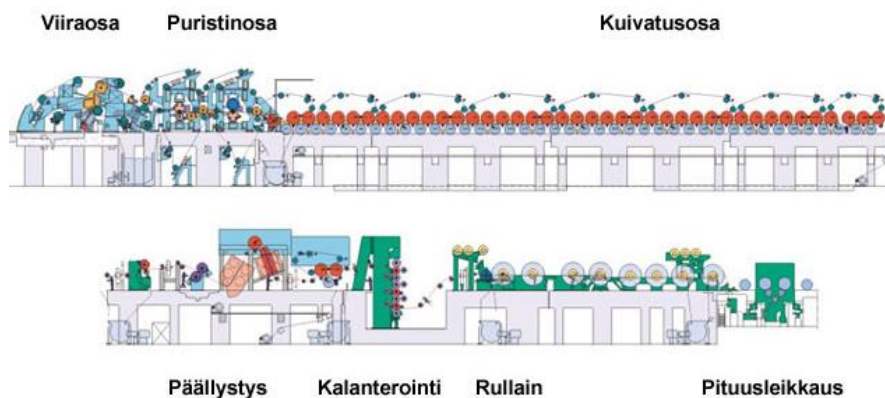
Nykypäiväisen painopaperikoneen (ks. kuvio 2) leveys vaihtelee yhdeksästä kymmeneen metriin nopeuksien ollessa 1500–2000 m/min. Pituutta koneilla on kuivatusosan varusteluista riippuen 100–200 m. Kartonkikoneet ovat tyypillisesti hieman kapeampia ja niiden nopeudet ovat noin puolet painopaperikoneen nopeudesta. Pehmopaperikoneet sen sijaan ovat painopaperikoneitakin nopeampia, kun nopeus voi olla yli 2000 m/min. Ne voivat poiketa myös kuivatusosiltaan, sillä ohut raina voi-

daan kuivata vain yhdellä jenkkisylinterillä, jolloin myös koneen kokonaispituus lyhenee huomattavasti. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 17.)



KUVIO 2. Metson paperikonelinja

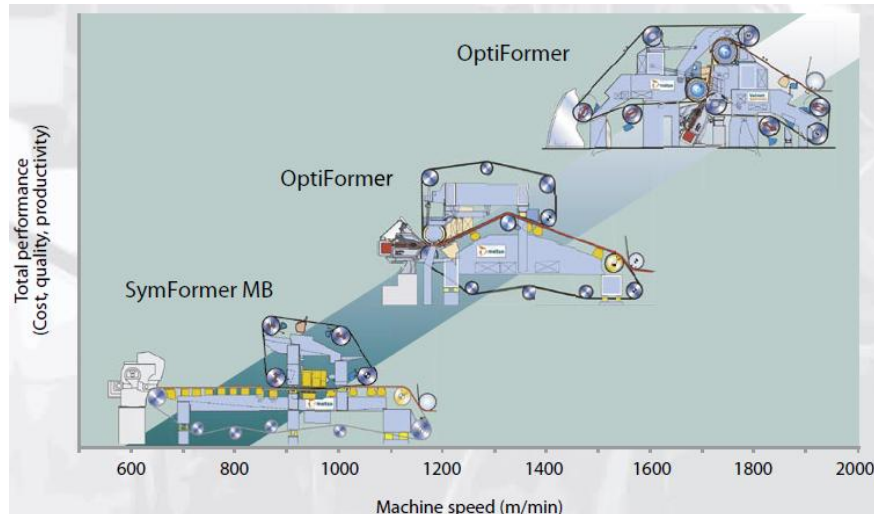
Paperikoneen komponentit ja kokoonpano vaihtelevat halutun lopputuotteen ja siltä vaadittujen ominaisuuksien mukaan. Kaikkiaan paperikone sisältää monia eri rakenneryhmiä (ks. kuvio 3) ja paperin valmistusprosessiin sisältyy myös kemiallisia prosesseja sekä fysikaalisia ilmiöitä. Näitä kaikkia ei ole tarpeen tuntea tarkasti työn kannalta, vaan pelkästään märkään käsittäviä viira- ja puristosia käsitellään hieman syvällisemmin, sillä ne liittyvät opinnäytetyön aiheeseen.



KUVIO 3. LWC-paperikoneen layout (KnowPap 2011)

## 2.2 Viiraosa

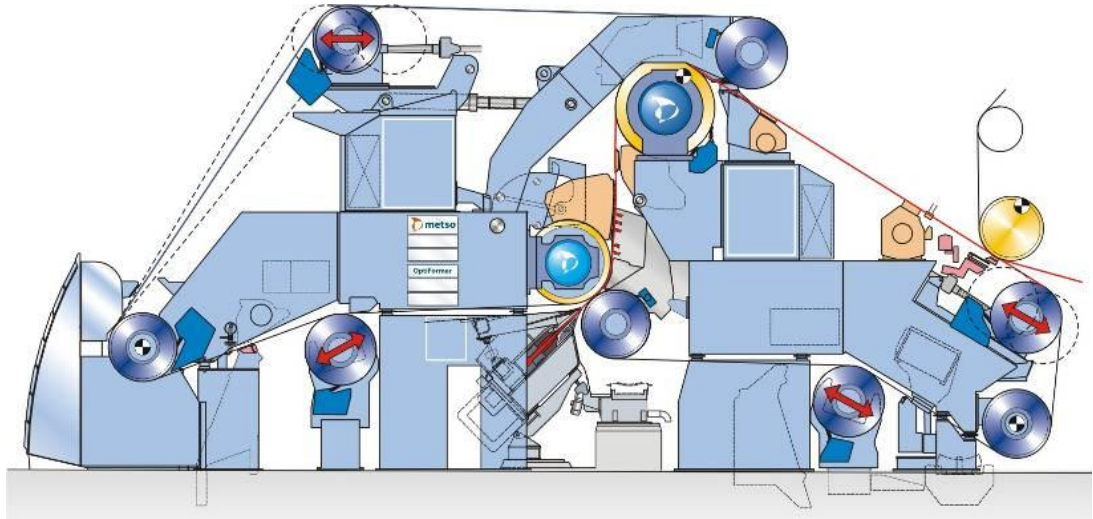
Rainan muodostus aloitetaan viiraosalla sijaitsevasta perälaatikosta, jolla paperimasassa syötetään mahdollisimman tasaisesti ja tasalaatuisena viiran päälle koko paperikoneen levyisenä suihkuna. Viiraosasta käytetään myös nimeä formeri. Viira on muovilangoista kudottu matto, jonka kudosten läpi suotautetaan rainan muodostamiseksi yli 95 % perälaatikosta virtaavasta sulpuksi kutsutun laimean kuituseoksen vesimasasta. Samalla viiran tehtävä on aiheuttaa riittävän suuria hydrodynaamisia voimia flokkien, eli kuitukimppujen, hajottamiseksi ja uusien flokkien synnyttämiseksi. Viiran tulee saattaa loppuosassa rainan kuiva-aine pitoisuus 15–20 %:iin, jotta sen siirto puristimelle on katkotonta ja puristinosalla saavutetaan hyvä ajettavuus. Kaikille paperi- ja kartonkilajeille on ominaista se, että tuotteen rakenteelliset ominaisuudet määräytyvät valtaosin jo viiraosalla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 16, 131.) Viiraosan konsepti valitaan pääsääntöisesti halutun paperilaadun, investointi- ja käyttökustannusten sekä tuottavuuden mukaan (ks. kuvio 4).



KUVIO 4. Viirakonseptit (Forming sections 2004)

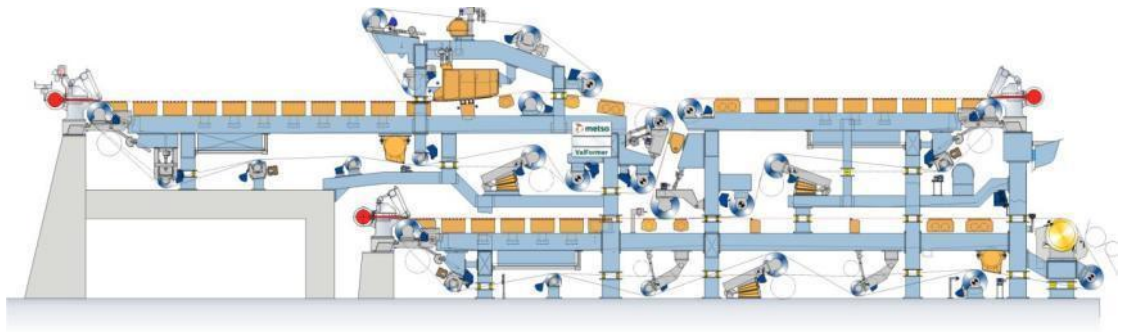
Esimerkkinä nykyaikaisesta formerityypistä voidaan esitellä kitaformerin, joka on kehitetty paperikoneiden nopeuksien noustessa ja paremman vedenpoiston hallinnan

vaatimusten myötä (ks. kuvio 5). siinä Massa syötetään suoraan kahden viiran väliin, jolloin vedenpoisto tapahtuu hyvin voimakkaasti molempiin suuntiin, eikä siinä täten ole häiriötä vahvistavaa tasoviiran alkuosaa.



KUVIO 5. Kitaformerin, OptiFormer (Energy efficient gap former and headbox concept 2011)

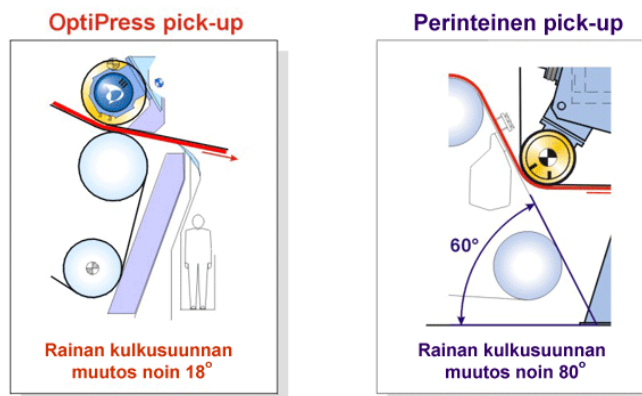
Kartonkikoneissa viiraosat poikkeavat hieman. Kartongit valmistetaan nykyään lähes aina kerroksittain. Kerrostuminen voidaan tehdä monikerrosperälaatikossa, kerrostamalla olemassa olevan kuitumaton päälle toisioperälaatikolla tai nostolieriöllä. Yleisin tapa on kuitenkin parempaan veden poistoon johtava erillisrainaus, jossa rainat suotautetaan erikseen ja huopautetaan yhteen sopivassa sakeudessa. Erillisten rainojen takia kartonkikoneen viiraosa koostuu useasta viiraosasta (ks. kuvio 6). Koska kartongin keskikerros on tyypillisesti muita kerroksia paksumpi, tarvitaan suurempi vedenpoistokapasiteetti. Kuvan koneessa tämä on tehty hybridiformerilla.



KUVIO 6. 3-kerrosviiraosa (KnowPap 2011)

### 2.3 Puristinosa

Viiraosalta raina siirretään puristinosalle. Rainan siirtoa tarvitaan myös puristinosan aikana ja jälleen kuivatusosalle ja se suoritetaan joko suljetulla tai avoimella viennillä. Avoimessa viennissä siirto perustuu rainan jännitykseen, mutta sitä voidaan käyttää vain hitailla erikoispaperikoneilla, jolloin rata kestää käsittelyn ilman katkoja. Suljetussa viennissä raina irrotetaan sitä kuljettaneesta tukipinnasta ja siirretään uudelle tukipinnalle käyttäen hyväksi alipaineen luovaa pick-up imutelaä (ks. kuvio 7).



KUVIO 7. Rainan siirron geometria (KnowPap 2011)

Puristinosalla paperirainaa puristetaan mekaanisesti tavallisesti 2-4 telaparilla, eli puristinnipillä. Puristusosan tehtävä on sitoa rainan kuituja paremmin toisiinsa ja

poistaa vettä niin, että kuiva-ainepitoisuus kasvaa 40–60 %:iin. Mitä korkeampi kuiva-ainepitoisuus saavutetaan, sitä parempi ajettavuus saadaan seuraavalla osalla. Kuivatusosalla saavutetaan myös energiasäästöjä, kun yhden prosentin kuiva-ainepitoisuuden nousu vähentää höyryn määrää 3-4 %. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 16.)

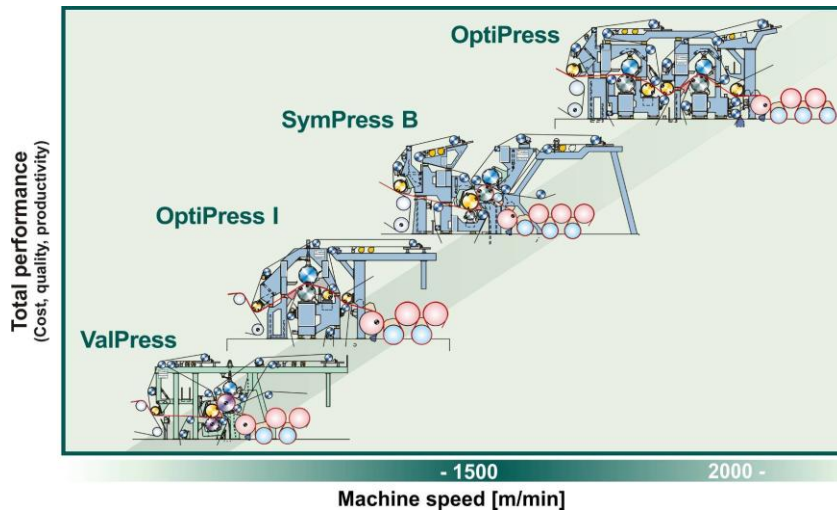
Puristus suoritetaan ajamalla paperirainaa yhden tai kahden huovan kanssa kahden toisiaan vastakkain puristetun telan, eli nipin välistä. Usealla telaparilla haetaan vaiheittaista, kokoajan suurenevaa puristusvoimaa, jotta raina ei rikkoontuisi ja hienoaine ei huuhtoutuisi pois. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 155–156.) Puristintyyppejä on monia erilaisia, kuten sileitä, kaksoishuopa-, imutela-, onsipinta- ja kenkäpuristimia. Käytettävät tyypit vaihtelevat paperin laadun ja haluttujen vedenpoisto-ominaisuuksien mukaan.

Puristustilanteessa rainaan aiheutuu kokoonpuristuvaa rakenteellista painetta ja hydraulista painetta johtuen rainan sisältämästä vedestä. Mekanismin luonne yhdessä puristuksessa on nelivaiheinen, mutta sen läpikäyminen tässä yhteydessä ei ole tarpeellista. Kiteytettynä voidaan sanoa, että vesi siirtyy rainasta huopaan, koska rainassa vaikuttava veden hydraulinen paine on huovan painetta suurempi. Huovasta vesi taas siirtyy telan pintaa ja virtaa pois.

Ensimmäisen nipin jälkeen rainan lämpötilaa voidaan nostaa kohdistamalla kuumaa höyryä rainaa vasten koko sen leveydeltä. Veden lämmitessä sen viskositeetti pienenee ja se poistuu seuraavissa nipeissä helpommin. Höyrylaatikko on jaettu useisiin lohkoihin ja se sijaitsee puristimen imutelaa vasten. Sitä voidaan venttiiliohjattujen lohkojen ansiosta käyttää myös profilointiin, eli paikallisten kosteuspiikkien poistamiseen. Viivakuorman lisäksi veden poistoon vaikuttaa useampi tekijä, joista tärkeimmät ovat telojen ja huopien rakenne, koneen nopeus, lämpötila sekä massan koostumus ja jauhatusaste. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 155–156.)

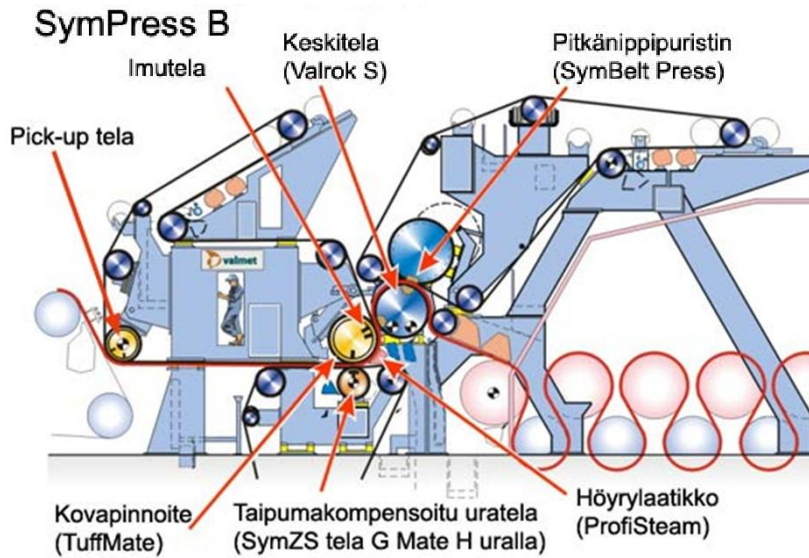


Puristinkonseptin valinta määräytyy yleensä halutun paperi- tai kartonkityypin ja laadun mukaan. Konseptin valintaan vaikuttaa kuitenkin useampi asia ja lopullinen valinta onkin kompromissi tärkeimmistä kriteereistä, joita ovat vedenpoistokyky, paperin laatu, ajettavuus sekä investointi- ja käyttökustannukset. Metso Paper Oy:lla erilaisia konsepteja on useita (ks. kuvio 8). (Stock Preparation and wet End 2008, 385.)



KUVIO 8. Metson puristinkonsepteja (Metso press section concepts 2011)

Nykyään yleisin konsepti lienee kolmenippipuristin, joka oli suosituin konsepti aina 1980-luvun puolivälille asti (ks. kuvio 9). Siinä kolme nippiä toteutetaan neljällä telalla. Ensimmäisessä nipissä raina ajetaan imutelan ja taipumasäädetyin onsipintatelan välistä, jonka jälkeen edellä mainittu höyrylaatikko sijaitsee. Siitä paperi ajetaan keskitelalle ja edelleen toiselle ja kolmannelle nipille, jossa on voitu käyttää kenkätelaa sen tultua markkinoille. Tällaisen puristinkonseptin heikkous on paperin toispuoleisuus, kun sen yläpinta ei ole missään vaiheessa sileää telaa vasten. 80-luvun puolivälin jälkeen neljänippinen puristin alkoi vallata markkinoita. Raina voidaan ajaa siihen kolmannen nipin ja rainan irrotuksen jälkeen ennen kuivatusosaa, jolloin paperin yläpinta on sileää telaa vasten ja yläpinnan karheutta saadaan pienennettyä. Metson kolminippipuristimia ovat ValPress ja SymPress.



KUVIO 9. SymPressB -kolminippipuristin ja sen laitteet (KnowPap 2004)

Uusien paperikoneiden kohdalla keskitelamallisesta puristinosasta on kuitenkin alettu siirtymään kartonkikoneissakin käytettyyn suorapuristinosaan. Siinä puristus on toteutettu peräkkäisillä pitkänippipuristimilla, joilla saavutetaan pidempi nippi ja tehokkaampi vedenpoisto. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 159–160; Stock Preparation and wet End 2008, 385.)

## 2.4 Kuivaus ja jälkikäsittely

Puristinosalta paperiraina johdetaan eteenpäin kuivatusosalle, jossa se kuivatetaan sopivaan loppukosteuteen. Kosteusprosentti on tarkoituksena saada 3-10 %:iin riippuen paperin laadusta ja sille seuraavasta prosessista. Raina kulkee huuvan sisällä sijaitsevien höyryllä lämmitettävien sylinterien ympäri, jolloin sylinterien lämpö siirtyy paperiin ja haihduttaa siitä vettä. Paperilaadusta ja seuraavasta prosessista riippuu myös se, onko kuivatusosastolla liimapuristin, suuri halkaisijainen jenkkisylinteri tai päällystysasemia, jossa paperin pintaan levitetään pigmentistä ja sideaineista koostuva päällystysseos paremman painojäljen saamiseksi. Päällystyksellä vaikutte-

taan myös paperin jäykkyyteen, sileyteen, kiiltoon, vaaleuteen sekä veden, rasvan ja liuottimien keston. Päälystys voidaan suorittaa myös erillisellä päälystyskoneella. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 16.)

Paperi tai kartonki kalanteroidaan, ennen kuin se on valmis rullattavaksi. Siinä paperi viimeistellään viemällä se kahden tai useamman telan välistä. Painopaperin kalanteroinnin tehtävä on muokata pinnan ominaisuudet sellaisiksi, että ne vastaavat painomenetelmän asettamia vaatimuksia. Toinen tärkeä tehtävä on minimoida neliömassa- ja kosteusvaihteluista johtuvat paksuusvaihtelut. Kiiltävin paperi saavutetaan monitelakalanteroinnilla, jossa teloja on päällekkäin 8–12. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 204, 213.)

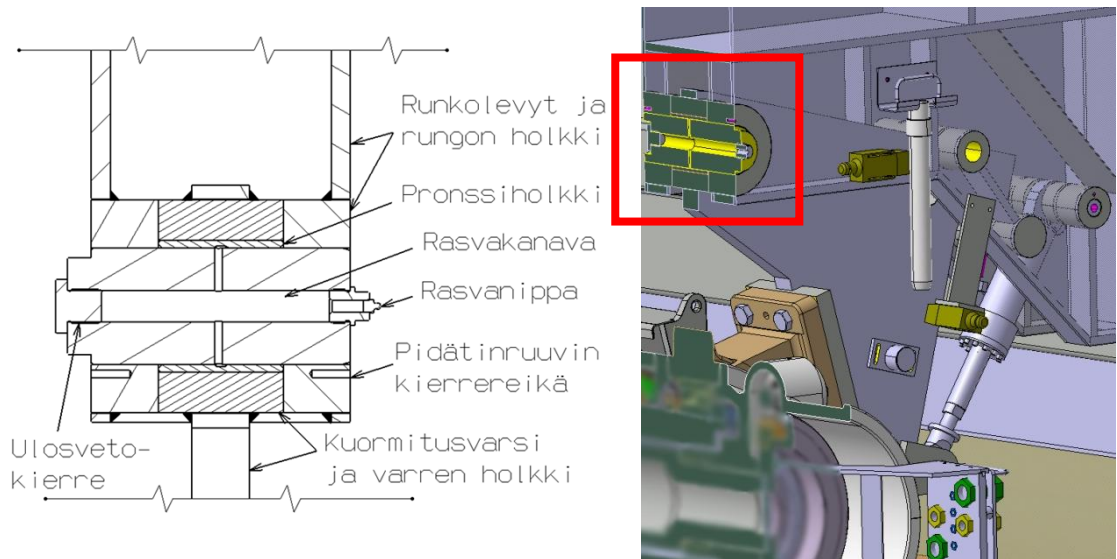
Kalanteroinnin jälkeen paperi rullataan rullaimella ja konerullat leikataan pituusleikkurilla asiakkaan vaatimusten mukaisesti yksittäisrulliksi tai arkeiksi. Sitten rullat pakataan kuljetusta varten. Arkkeina toimitettava paperi- ja kartonkitavara taas arkiteetaan ja pakataan lavoille. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 16–17.)

### **3 PAPERIKONEEN NIVELLIITOKSET**

#### **Liitosten funktio**

Paperikoneessa on paljon erilaisia liukulaakeroituja nivelliitoksia, jotka on toteutettu tapeilla ja holkeilla (ks. kuvio 10). Niitä tarvitaan pääasiassa silloin, kun halutaan liittää liikkuvia komponentteja runkorakenteisiin. Paperin valmistus vaatii komponenteilta, eli esimerkiksi teloilta ja vedenpoistokalusteilta, tarkkaa asemaa, minkä takia niiden sijainnin tulee olla säädettävissä. Liikkuvuutta tarvitaan myös huoltotilanteiden myötä, jolloin komponenteilta vaaditaan esimerkiksi viiran- tai huovan vaihtamisen edellyttävä sijainti. Tämä on mahdollista juurikin nivelliitoksella, jolloin komponentteja voidaan liikuttaa huolto- ja ajoasentojen välisellä alueella. Yleensä kom-

ponentti kiinnitetään varteen, joka kiinnittyy edelleen nivelliitoksella paperikoneen runkoihin. Vartta liikutetaan yleensä hydraulisylinterilla haluttuun asemaan.



KUVIO 10. Nivelliitoksen perusmalli ja mallintava kuvanto

### Liitosten rakenne ja valmistus

Liitos rakentuu niin, että holkit hitsataan runkorakenteen levyjen ja kuormitusvarren levyn reikiin. Runkojen ja varren levyt tilataan polttoleikkeinä, jolloin niissä on tarvittavat reiät holkeille jo valmiiksi. Tämän jälkeen holkit koneistetaan sisäpuolelta avarusporaamalla ja jyrsitään kuormitusvarren holkin molemmat päädyt sekä runkojen holkkien sisäpäädyt. Laakeriholkkina toimiva pronssiholkki tilataan ulkohalkaisijaltaan valmiiksi helpolla ahdistussovitteella ja asennetaan koneistusvaiheessa liikkuvan komponentin, eli yleensä kuormitusvarren, holkin koneistettuun reikään. Asennuksen jälkeen laakeriholkin sisähalkaisija koneistetaan vielä oikeaan toleranssimittaan. Tapin ja rungon välissä on liukusovite ja tapin ja laakeriholkin välillä on hieman väljempi liukusovite, jolloin liitettävän komponentin holkkeineen on kuormitusvarren paikoilleen asennuksen jälkeen mahdollista pyöriä tapin ympäri. Asennus suoritetaan niin, että kuormitusvarsi nostetaan rungon sisään ja rasvavoideltu tappi työnnetään liitokseen ja lukitaan. Tapin aksiaalissuuntainen liike on lukittu pidätinruuvilla. Ruuvin

kierre on runkorakenteessa lähellä tapin koneistettua reikää, jolloin ruuvin aluslaatta asettuu tapin päädyn päälle ja lukitsee tapin. Liitos voidaan tehdä myös niin päin, että laakeriholkki asennetaan paikoillaan olevaan runko-osaan, esimerkiksi korvakeeseen ja varsi liitetään tapin päihin. Tällöin tappi lukitaan varteen yleensä akseliteljellä, jolla varmistetaan että liukuminen tapahtuu laakerin ja tapin välillä.

Normaalisti nivelessä on keski- ja reunaholkin välillä yhteensä vain 0,5–2 mm välystä. Mikäli kuormitusvarsien välillä on lämpölaajenevia rakenteita, jotka on kiinnitetty varsiin jäykästi, tulisi hoitopuolen nivelestä tehdä koneen poikkisuuntaisia voimia vastaan vapaa. Liitoksessa tulisi siis olla liikuntavaraa tapin aksiaalissuunnassa vähintään lämpölaajenemisen verran. Tällaisia rakenteita on etenkin viiraosalla, ja Ilmiön vaikutus suurenee luonnollisesti koneen leventyessä. Telan kohdalla lämpölaajenemisen voima ei tule suoraan niveleen, sillä telan laakeroinneista toinen on vapaa ja lämpölaajeneminen tapahtuu laakeripesän sisällä.

Nivelten voitelu on toteutettu rasvavoitelulla holkin päädyssä olevan rasvanipan kautta, josta rasva menee kanavia pitkin tapin ja pronssiholkin väliin. Voitelun tekevät kunnossapitohenkilöt tai automatisoitu keskusvoitelujärjestelmä.

### **Liitosten suunnittelu**

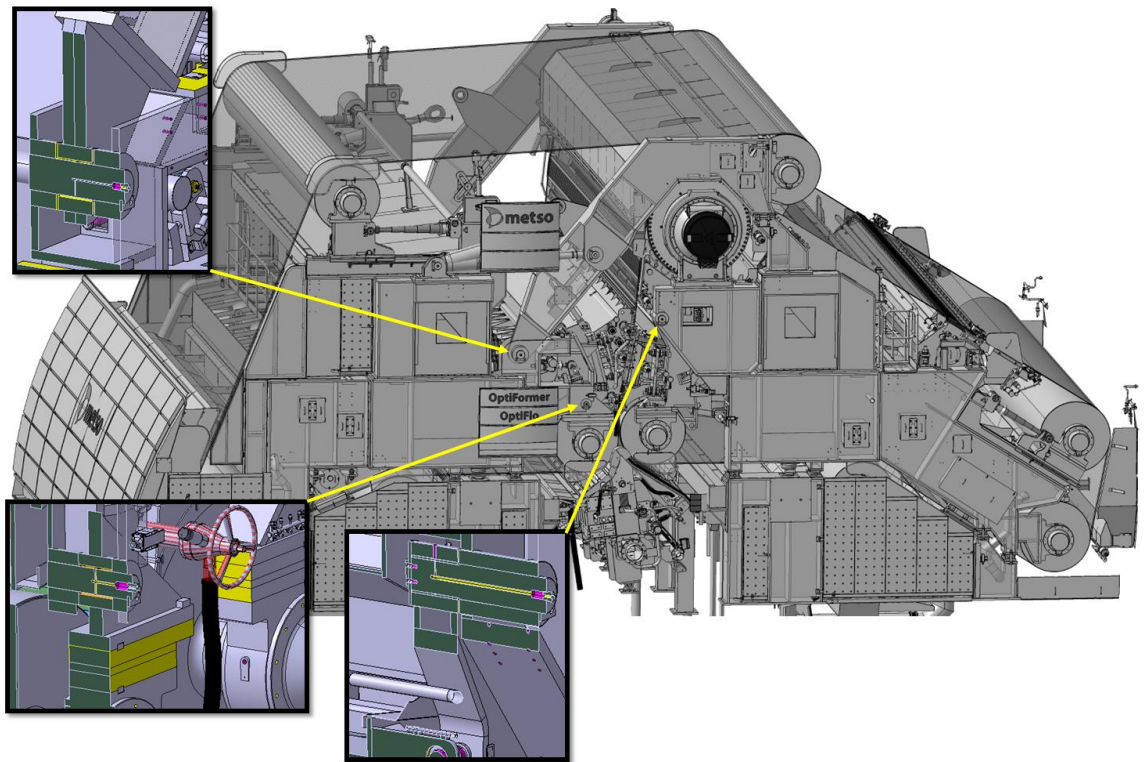
Uuden paperikoneen suunnittelu aloitetaan perussuunnittelulla heti kun se on projektin statuksen ja resurssien kannalta mahdollista. Perussuunnittelu tehdään Metson suunnitteluyksiköissä ja siihen sisältyy mm. nippigeometrian ja lähtötietolomakkeiden määrittely, layoutsuunnittelu, putkien läpivientitiedot sekä runkolaskenta.

Nivelet kuuluvat kuormitusvarteen ja sen runkoihin, joten ne voidaan tarkastella näiden laskennan yhteydessä. Laskentaa tekevät vaihtelevasti suunnitteluinsinöörit, laskentaan erikoistunut osasto sekä alihankkijat. Laskenta tehdään käsin Eurocode 3 -

standardiin perustuen ja hyväksi käytetään myös elementtimenetelmällä, eli FEMiä. Tähän asti suunnittelun apuna on ollut myös aiemmin mainittu ohjekuva (ks. liite 1).

### Viiraosan liitokset

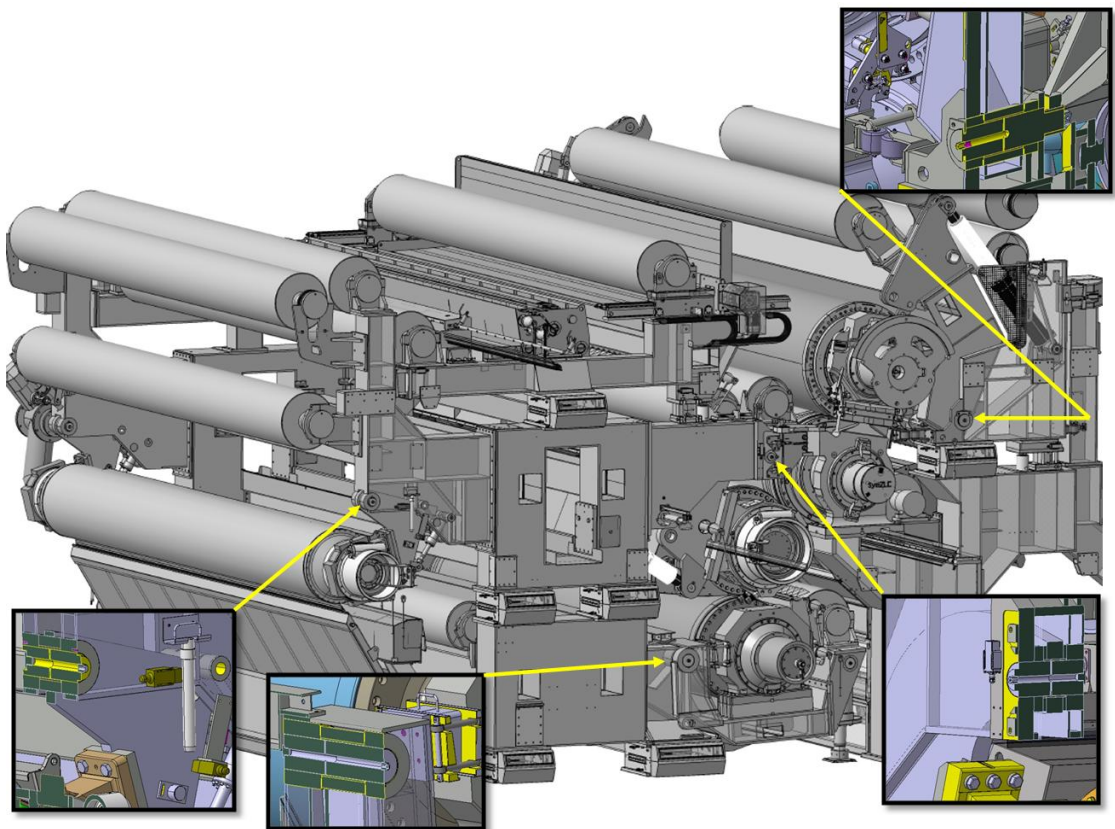
Opinnäytetyössä viiraosan tarkasteltavat nivelet riippuivat viirakonseptista ja rakenteesta. Yleisesti ottaen tarkasteltavia niveliä oli kuormitusyksiköiden, imuyskiköiden ja telojen yhteydessä (ks. kuvio 11), joilla kaikilla tulee olla ajotilanteessa tarkka asema. Poikkeuksiakin on, sillä esimerkiksi taittotela voi olla nivelöity pelkästään mahdollistamaan huoltotilanne, kun se ajotilanteessa on lukittu toisesta päästä pulteilla runkorakenteeseen. Tutkittavia niveliä oli myös erilaisissa viiran kiristimissä.



KUVIO 11. Viiraosan nivelöintejä

## Puristinosan liitokset

Puristinosan tutkittavat liitokset (ks. kuvio 12) keskittyvät telojen liikutusmekanismeihin. Pick-up -telalla, jossa raina siirretään viiraosalta puristinosalle, liitos kantaa pelkästään telan ja siihen kuuluvien laitteiden painon. Puristimissa näiden painojen lisäksi kuormaa aiheuttaa puristusvoimista, kun teloja painetaan yhteen hydraulisylintereillä.



KUVIO 12. Puristinosan nivelöintejä

## 4 NIVELTYYPPIEN KARTOITUS

### 4.1 Kartoituksen suoritus

Niveltyypit kartoitettiin ns. starttiprojektien kautta. Ne ovat projekteja, joita käytetään uusien paperikoneprojektien pohjana. Puristinsuunnittelussa näitä oli 17 erilaisista ja viirasuunnittelussa lähes 30. Viiran starttiprojektit kuitenkin muistuttivat toisistaan nivelten kannalta, joten kaikkia ei tarvinnut käydä läpi, vaan pelkästään kuusi niistä. Projektit ladattiin tarkastelualueiden osin ENOVIA VPM:stä, joka on rinnakkaisuunnittelujärjestelmä ja toimii samalla tietopankkina. Mallit avattiin Catialla ja nivelinneistä otettiin tarvittavat kuvakaappaukset sekä työpiirustukset.

Rakenteiden lisäksi kartoitus piti tehdä myös materiaalien osalta, sillä niitäkin on käytetty hyvin tapauskohtaisesti. Tämä onnistui PDM:n, eli tuotetiedon hallintajärjestelmän, kautta josta saatiin osakohtaiset materiaalitiedot, sekä työpiirustukset.

Lopuksi tiedot koottiin Excel-työkirjaan, josta ilmenee kunkin kohteen materiaalitiedot kaikille 23 projektille. Siihen upotettiin myös tarkasteltavien kokonaisuuksien ja niiden osien työpiirustukset sekä selventävät kuvakaappaukset (ks. kuvio 13).

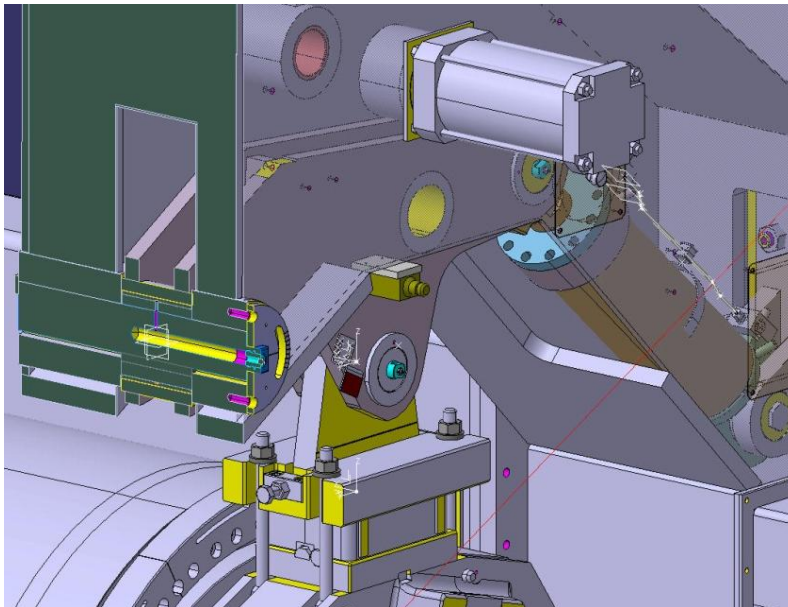
PURISTINOSAT									
OPTIPRESS PAPERI									
	huom:	screen-shotit:	piirustukset:				materiaalit:		
			laitteet:	varret:	rungot:	tapit:	varsi/pesä:	runko/kannatin:	niveltappi:
NPCPM6									
Pick-up							levyt: 60 - S235JRG2 holkki: 220 - 1.4404	20 - 1.4404 220 - 1.4404	140 - 1.4462
1. puristin 2. puristin	molemmat puristimet samanlaisia						levyt: 60 - S235JRG2 ja 2 x 30 - 1.4404 holkki: 160 - 1.4404	20 - S235JRG2 lyhyt: 1.4404 (levystä) pitkä: 240-S35J2G3	160 - 1.4462
kulmatela 1. purist. ylä							levyt: 50 - 1.4404 holkki: 140 - 1.4404	35 - 1.4404 120 - 1.4404	90 - 1.4462
kulmatela 1. purist. ala						-  -	levyt: 50 - 1.4404 holkki: 140 - 1.4404	35 - 1.4404 120 - 1.4404	90 - 1.4462
kulmatela 2. purist. ala						<-	levyt: 50 - 1.4404 holkki: 140 - 1.4404	35 - 1.4404 -	120 - 1.4404

KUVIO 13. Kuvakaappaus kartoitustyökirjasta yhden projektin osalta



## 4.2 Liitosten rakenteet

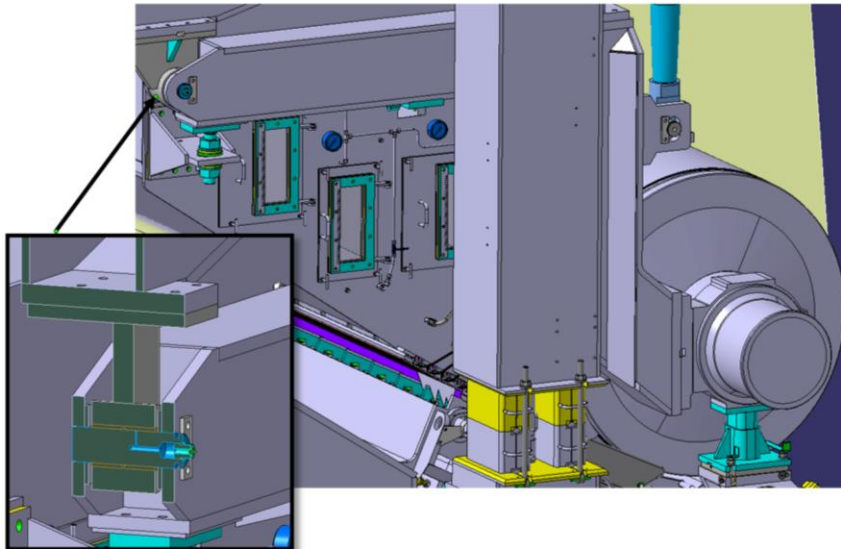
Kartoituksen lopuksi tehtiin Excel-tiedosto myös liitosten ryhmittelemiseksi. Yhteenvedona oli, että nivelet voidaan jakaa kahteen ryhmään: ulkoisiin ja sisäisiin. Sisäinen liitos tarkoittaa sitä, että niveltapin päät ovat runkorakenteiden holkeissa ja kuormitus tulee päiden välille. Tällaisessa tapauksessa liikkuva komponentti, useimmiten kuormitusvarsi, on osittain tai kokonaan kotelomaisen runkorakenteen sisällä. Liitos on yleisimmin käytetty, ja kaikista kartoitetuista liitoksista hieman yli 60 % olikin tällaisia. Yleensä liitos on symmetrinen (ks. kuvio 10 s.17), mutta joitakin epäsymmetrisiäkin tapauksia on (ks. kuvio 14).



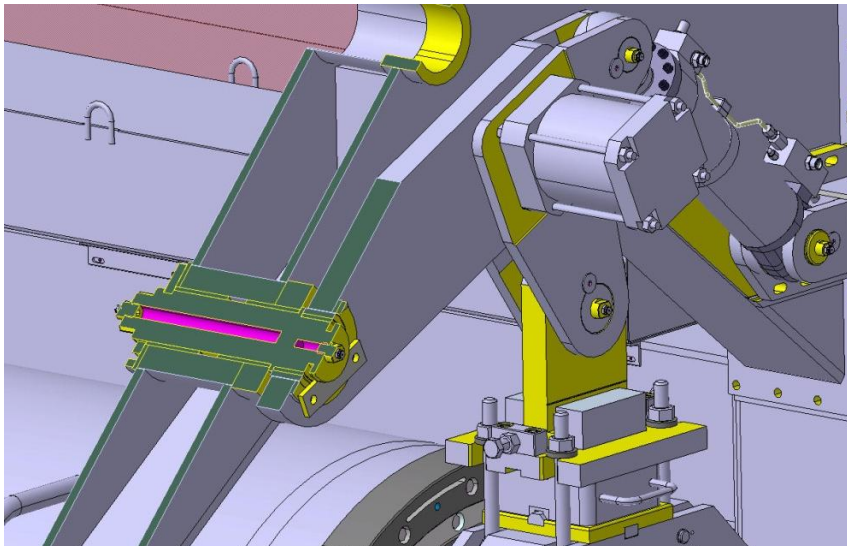
KUVIO 14. Telan liikutusmekanismin epäsymmetrinen sisäinen nivelliitos

Tässä ja kaikissa muissakin liitoksissa esiintyi sekä läpi asti rasvakanavoituja, että pelkästään toiselta puolelta kanavoituja tappeja. Muutamia rasvakanavattomiakin niveliä löytyi kiristimiltä ja sellaisilta teloilta, joiden asemaa muutetaan vain huoltotilanteissa.

Ulkoisella liitoksella tarkoitetaan taas sellaista liitosta, jossa laakeriholkki on paikollaan olevassa rakenteessa, esimerkiksi runkorakenteen korvakkeessa ja liikkuva komponentti tulee kiinni tapin päihin. Perustapauksessa kuorma tulee tapin molempiin päihin symmetrisesti (ks. kuvio 15), mutta on myös joitain tapauksia, joissa se tulee vain toiseen päähän (ks. kuvio 16). Ulkoisia liitoksia kartoitetuista oli noin 30 %.

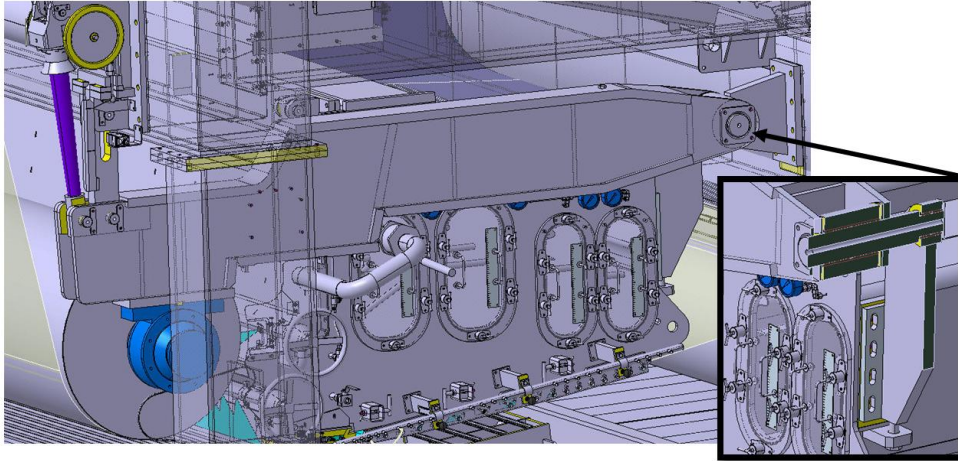


KUVIO 15. Formeritelan ja imuysikön symmetrisen ulkoinen nivelliitos



KUVIO 16. Pitkänippuristimen ulkoinen toisesta päästä kuormitettu nivelliitos

Erikoistapauksina voidaan mainita kaksoiskuormitetut liitokset, joissa kuormitus tulee tapille molemmilla aiemmin mainituilla tavoilla (ks. kuvio 17). Näitä oli kuitenkin vain muutama prosentti kartoitetuista.



KUVIO 17. Viiraosan telan ja imuksikön kaksoiskuormitettu nivelliitos

### 4.3 Liitosten materiaalit

Tapin materiaali on jokaisessa liitoksessa austeniittis-ferriittistä duplex-terästä. Duplexin käyttö on perusteltua sen erinomaisen korroosiokestävyyden takia. Sen lujuus on myös tavallista rakenneterästä suurempi ja kovuus riittää myöhemmin käsiteltävän laakeroinnin vaatimuksiin. Myös laakerimateriaali on jokaisessa liitoksessa tinapronssia, jonka käyttöä on perusteltu laakerointisuunnittelun yhteydessä.

Liitosten levymateriaalit vaihtelevat useamman tekijän mukaan. Kustannussyistä rakenteissa pyritään käyttämään paljon rakenneterästä, joka on merkittävästi austeniittistä terästä halvempaa. Tällä tavalla saadaan suuria säästöjä varsinkin levymateriaalien ollessa paksuja. Jotta rakenneteräs kestäisi korroosiolle alttiissa ympäristössä, vuorataan se tavallisesti 1,5 mm:n ruostumattomalla pellillä. Kustannusten lisäksi rakenneteräksen käyttöä puoltaa myös se, että ne kestävät austeniittisiä ruos-

tumattomia teräksiä paremmin väsyttävää kuormitusta. Sellaista kuormitusta on etenkin puristimen kuormitusvarsissa.

Ruostumattomia teräslajeja, pääosin teräslaatuja 1.4404 ja 1.4307, käytetään niissä kohteissa, joissa ei vaadita suuria levyvahvuuksia. Niiden käyttökohteessa ei saa myöskään olla väsyttävää kuormitusta, tai sen on oltava merkityksettömän pientä.

## **5 NIVELLIITOSTEN SUUNNITTELUPERUSTEET**

### **5.1 Suunnittelun yleiset rajaukset**

Tehtyjen kartoitusten perusteella voitiin päätellä, että opinnäytetyössä oli järkevää tehdä mitoitusperusteet vain yleisimmälle liitosmallille. Perusteet tulevat siten pätemään symmetrisille sisäisille ja ulkoisille nivelliitoksille, joita oli läpi käydyistä liitosmalleista yhteensä 70 %. Epäsymmetrisiä ja kaksoiskuormitettuja liitoksia on vähän, eikä niiden laskentaan voida käyttää standardia, joten niitä joudutaan jatkossakin tarkastelemaan yksittäistapauksittain. Laskennassa joudutaan myös tilanteen hankaloitumisen myötä käyttämään FEMiä.

Suunnittelua rajaa myös kustannukset. Valmistus ja kustannukset kulkevat usein käsi kädessä. Esimerkiksi toleranssit vaikuttavat työstömenetelmiin ja -aikoihin ja sitä kautta kustannuksiin. Niihin voidaan vaikuttaa lähes suoraan myös materiaalivalinnoilla ja voitelun toteutuksella. Valmistusteknisiin seikkoihin tai kustannuksiin ei paineuduttu erikseen, vaan ne pyrittiin huomioimaan läpi suunnittelun ja kehitysehdotuksia laadittaessa.

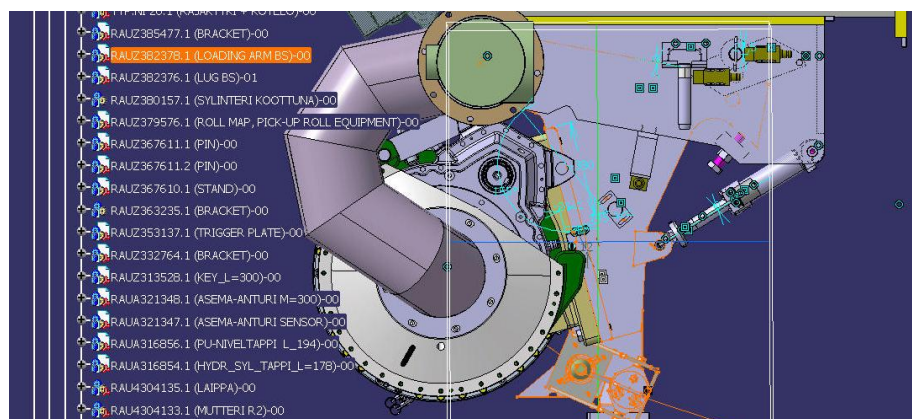
## 5.2 Vaikuttavat voimat ja niiden laskenta

Ennen kuin nivelliitoksia voidaan suunnitella, täytyy sille kohdistuvien voimien olla selvillä. Kuormitukset syntyvät rakenteiden massoista, huopien kiristysvoimista, nip-pivoimista, linjausepätkkuuksista ja edellisten yhteisvaikutuksista.

Laskentaa varten tulee myös kaikkien kuormitustilanteiden olla selvillä. Laitteen eri toiminta-asennot ja niveleen vaikuttavat voimat tulee siis olla selvillä normaalikäytössä, huoltotilanteissa ja häiriötilanteissa. Nämä kuormitustilanteet tulee selvittää projektikohtaisesti. Metsolla on olemassa puristinosalle jo oma muistio, jossa tilanteet on käyty läpi yleisimmiltä osin (Villgren 2010, 10–16). Viiraosalla tilanteita on selvitetty osittain, mutta samanlaista dokumenttia ei ole vielä luotu.

### Massat

Massat on helppo huomioida. Telan massa tarkastetaan ja se oletetaan telan laakerin keskiöön. Liikutusvarsissa taas on usein kiinni myös kaukaloita, palkkeja ja muita liikkuvia osia, joten muiden liikkuvien osien yhteinen massa kannattaa tarkastaa 3D-mallista, josta saa myös suoraan näiden osien yhteisen massakeskipisteen (ks. kuvio 18).

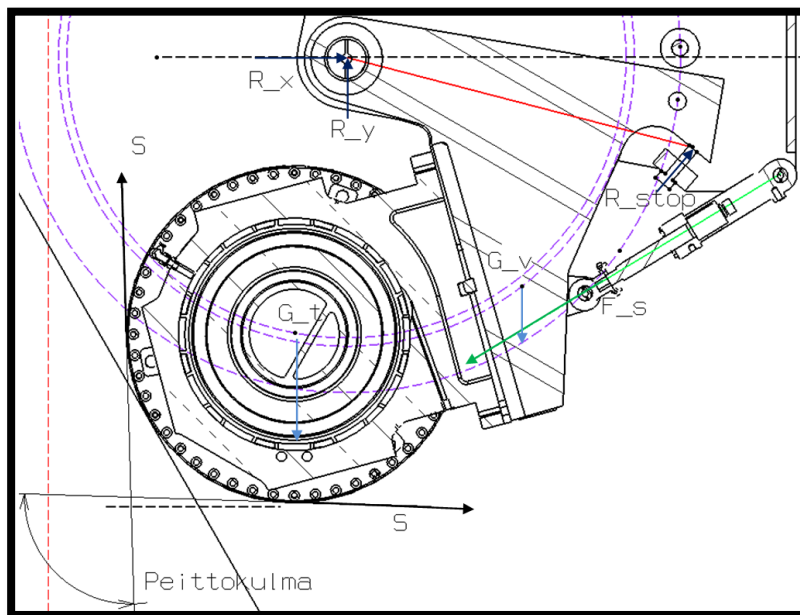


KUVIO 18. Varren ja muiden liikkuvien osien massakeskipiste CATIA-mallissa

Massat vaikuttavat luonnollisesti yhtä suurena jokaisessa kuormitusilanteessa, mutta niiden keskipisteiden paikka niveleen nähden vaihtelee riippuen siitä, onko kyseessä ajo- vai huoltotilanne

### Viiran ja huovan kireydet

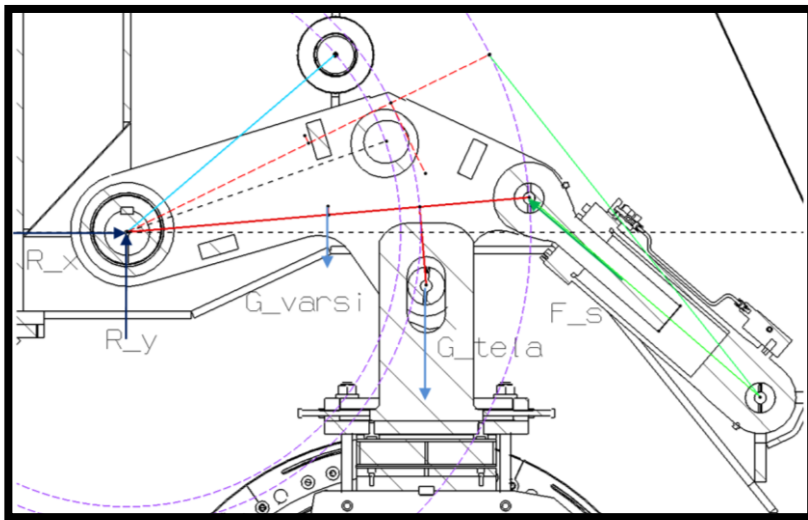
Huovan ja viiran kireys tulee huomioida silloin, kun sillä on peittokulmaa telaan nähden (ks. kuvio 19). Tyypillinen viiran kireys on 10–12 kN leveysmetriä kohden ja huovalla tyypillinen arvo on 6 kN/m. Pick-upilla tulee huomata, että ajotilanteessa molemmilla on vaikutusta, kun telalla painetaan viiraa vasten. Peittokulman huomioiminen on katsottava tapauskohtaisesti, sillä pick-upin rakenteita on erilaisia ja peittokulman suuruus riippuu, kuinka paljon telalla painatetaan viiraa vasten. Kireyden tuottamat voimat tulee huomioida laskuissa vain ajotilanteessa, sillä huoltotilanteessa huovat ja viirat ovat löysällä.



KUVIO 19. Peittokulma

## Sylinterivoimat

Sylinterivoimista kohdistuu voimaa nivelelle esimerkiksi silloin, kun niillä painetaan teloja yhteen puristimissa, telaa stopparia vasten pick-upilla tai liikutetaan teloja huolto-asentoon. Sylinterivoimista kohdistuu usein ylimääräistä voimaa nivelille. Hyvä esimerkki tästä on symbelt-telan nostolaitteet, joissa sylinterivoima kohdistuu melko vaakaan (ks. kuvio 20).

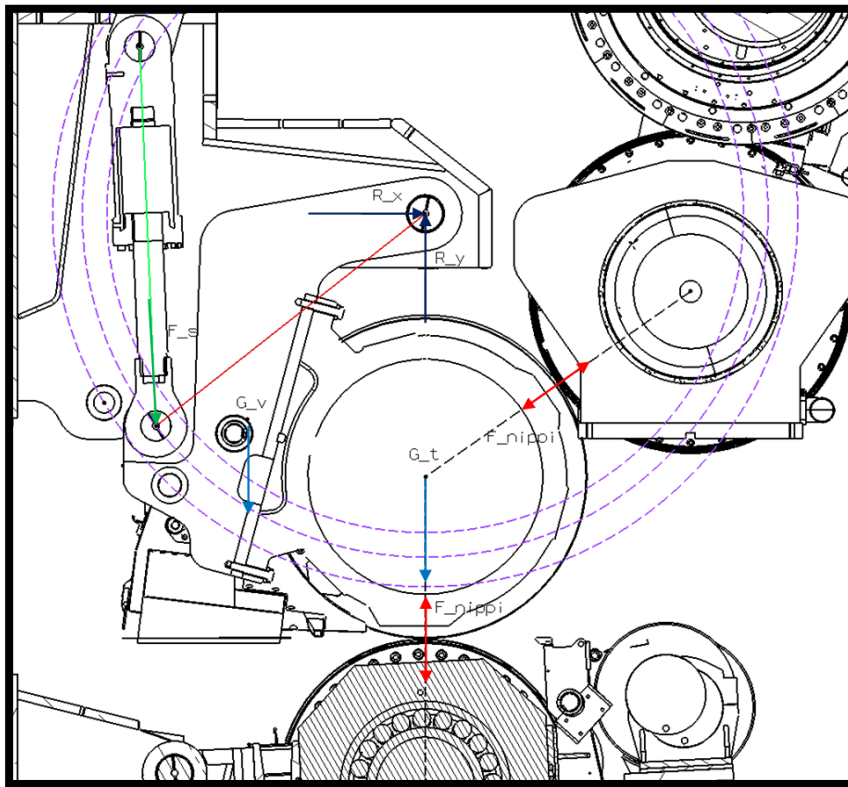


KUVIO 20. Symbelt-nostolaitteen sylinterikulma

Tämä johtuu sen sijoittelusta, joka on määräytynyt runkorakenteiden ja tilankäytön kautta. Sylinterivoimat voivat vaikuttaa myös häiriötilanteissa, jotka syntyvät induktiivisten rajojen ollessa rikki tai virheellisestä käytöstä. Esimerkkinä voidaan mainita huoltotilanne, jossa tela ja kuormitusvarsi on nostettu huoltotilannetta varten lukkotapille ja sylinterillä päästään jostain syystä ajamaan jompaan kumpaan suuntaan. Myös sylinterivoimat tulee selvittää projektikohtaisesti, kun tiedetään alas- ja ylösajopaineet sekä sylinterin koko.

## Nippivoimat

Nippivoimat syntyvät painettaessa puristimen teloja sylintereillä toisiaan vasten. Molemmat telat voivat olla nivelöity ja kuormitettu sylinterillä, tai vaan toinen niistä toisen ollessa paikoillaan. On myös tilanteita, joissa yhtä telaa vasten tulee kaksi nippikuormaa, kuten keskitelapuristinkonseptin 2. puristimella (ks. kuvio 21). Normaalisti nippikuormat ovat 80–140 kN/m. Kenkäpuristimilla nippivoimat voivat olla reilusti yli 1000 kN/m, mutta sitä ei tarvitse huomioida, sillä siinä telat on kiinnitetty toisiinsa erillisellä kuormitusliitoksella ja puristinvoima tehdään telan sisäisellä hydrauliikalla.



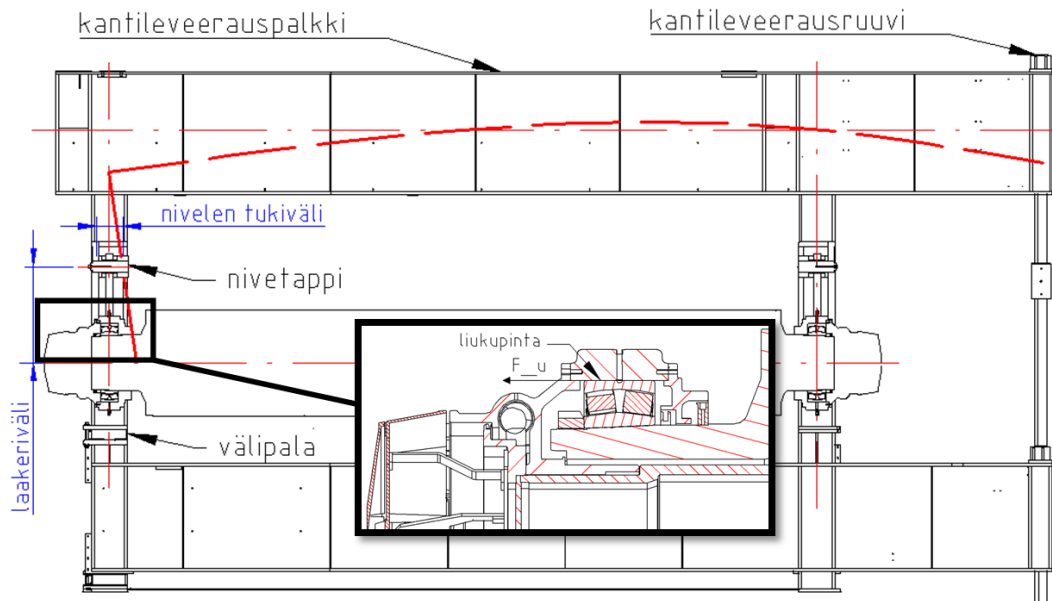
KUVIO 21. Sympress - 2. puristimen massat, sylinterivoima ja nippivoimat



### **Koneen poikkisuuntaiset voimat**

Poikkivoimia syntyy eri syistä. Ajotilanteessa sitä voi syntyä muun muassa linjausepä-tarkkuuksien takia. Vaikka linjausvirheet olisivat hyvin pieniä, syntyy poikkivoimaa silti, sillä telojen ollessa hieman ristissä toisiinsa nähden toimivat ne ruuvin tavoin. Poikkivoiman suuruuden määrittäminen on hankalampaa, mikä johtuu siitä, että jokainen paperikone on yksilöllinen poikkivoiman suuruuteen vaikuttavien tekijöiden osalta. Sen suuruus on kuitenkin selvitetty yhdestä koneesta, jossa mittaus suoritettiin niin, että seurattiin koneen ajon aikana kuormitusvarren poikkisuuntaisen heijaa-van liikkeen suuruus mittakellolla. Tämän jälkeen koneen seisoessa tunkattiin kuor-mitusvartta niin suurella voimalla, että samansuuruinen liike syntyi. Tässä 10 metrin levyisessä koneessa tunkkausvoima oli liikkeen saavutettua 2 tonnia, jolloin ajotilan-teen poikkisuuntaisen voiman mitoitusarvona voidaan käyttää arvoa 2000 N/m. (Vi-tikka 2012.)

Poikkivoimia syntyy myös siitä, että runkorakenteisiin tulee siirtymiä johtuen huo-vanvaihtotilanteista. Huovanvaihtotilanteessa vanha huopa täytyy saada pois ja uusi huopa tilalle. Tätä varten paperikoneen runko on toiselta puolelta mahdollista au-kaista, joka tapahtuu poistamalla välipalat ala- ja ylärungon välistä. Ennen kuin väli-palat voidaan poistaa, täytyy koneen runko kantileveerata, eli ulokekannakoida. Se tapahtuu kiristämällä kantileveerauspalkin päässä olevaa maahan kiinnitettyä kanti-ruuvia, jolloin rungon toinen puoli kannakoituu kantileveerauspalkin varaan. Runko-rakenteet eivät kuitenkaan ole äärettömän jäykät, vaan ne taipuvat hieman ja telojen päädyistä on mitattu kanttaustilanteessa viidenkin millimetrin siirtymiä (ks. kuvio 22). Tämä siirtymä tapahtuu telan laakeroinnin ja laakeripesän välillä. Kun telassa kiinni oleva laakeri liukuu laakeripesän liukupinnalla, syntyy poikkisuuntainen voima, joka on kitkakertoimen ja puolikkaan telan massa tulon suuruinen. Kitkakertoimen voi-daan käyttää arvoa 0,2. (Vitikka 2012.)



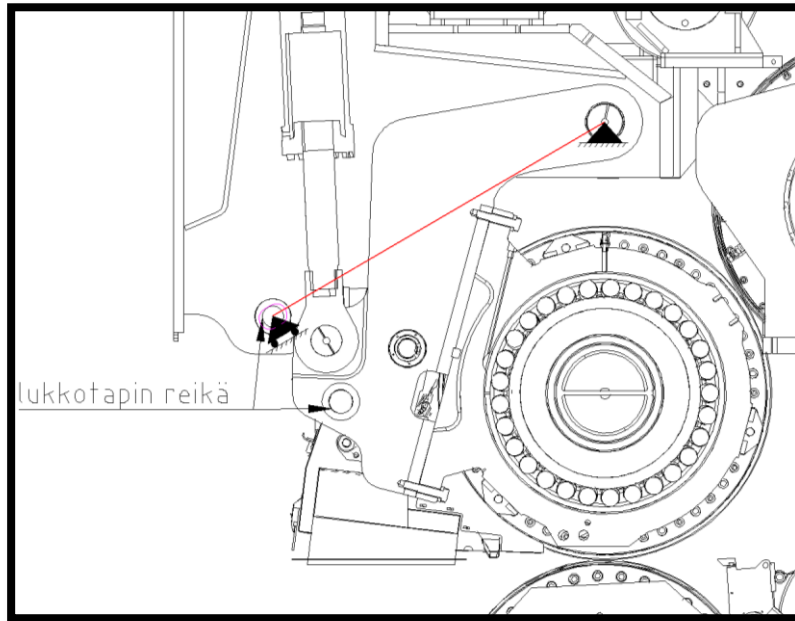
KUVIO 22. Kantaustilanteen periaatekuva

Samansuuruinen voima syntyy luonnollisesti vastaavanlaisessa liukumistilanteessa, kun tela lämpölaajenee ajotilanteessa. Poikkivoimien laskussa on huomattava, että mikäli toinen liitos on ns. vapaa liitos, tulee kaikki poikkivoimat toiselle liitokselle. Muussa tapauksessa voiman oletetaan jakautuvan tasan molemmille. Poikkisuuntaiset voimat lisätään myöhemmin tukivoimien laskennassa nivelen pystysuuntaisista voimista syntyvään tukireaktioon. Poikkivoima kertaantuu nivelen tukivoimaksi nivelen keskilinjan ja laakeripesän keskilinjan etäisyyden suhteelle nivelliitoksen leveyden suhteen. Poikkivoiman merkitys on siis huomattava.

### Muuta huomioitavaa

Laskettaessa nivelen tukireaktiota, tulee laskennassa tehdä oletuksia. Eräs tällainen oletus on lukkotappien kohdalla se, että olettaa lukkotappin ottavan vastaan vain sen normalisuuntaista voimaa. Lukkotappin reikä kuvitellaan siis olevan pitkä soikkoreikä joka ottaa voiman vastaan reiän suoralla osuudella (ks. kuvio 23). Todellisuudessa reiässä on vain 5 mm suoraa osuutta ja johtuen valmistusepätarkkuuksista voi tapah-

tua niin, että lukkotappi jää kantamaan hieman reiän sivusta. Tämä lisää äkillisesti voimat huomattavan suuriksi lukkotapilla ja statiikan oppien mukaan myös niveltapin resultanttivoiman suunta ja suuruus muuttuvat. Laskennassa siis oletetaan niveltappi aina niveleksi, joka ottaa vastaan molemman suuntaiset voimat. Lukkotapit ja pick-upin stopparit taas ottavat vain normaalisuuntaiset.

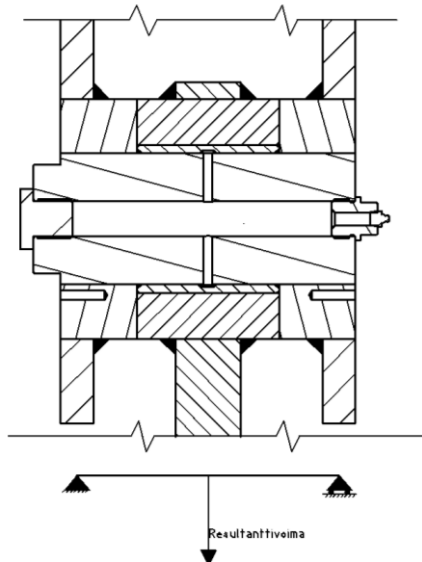


KUVIO 23. Vapaakappalekuvan oletustuennat

### **Nivelen rasituksen laskenta ja mitoittavan tilanteen valinta**

Kun kaikki liitokseen vaikuttavat voimat on selvillä, on aika laskea niveleen vaikuttava resultanttivoima (ks. kuvio 24). Se on kuorma, joka tapin varassa roikkuu ja jakaantuu puoliksi runkojen holkeille nivelen ollessa symmetrinen. Jokaisesta kuormitustilanteesta tehdään siis oma laskenta vapaakappalekuvien ja kuormatietojen perusteella, joista pahinta tapausa käytetään myöhemmin nivelen mitoituksessa. Työtä varten laskettiin kyseiset voimat ja niiden luomat tukireaktiot pick-upille, sympress-

konseptin 2. puristimelle ja optipress-konseptin kenkäpuristimelle. Esimerkkinä paras on kuitenkin ehkä pick-up, koska sillä voidaan havainnollistaa paremmin poikkivoiman vaikutusta lujuuslaskuissa. Pick-upilla laskettavia tapauksia oli neljä, joiden laskenta ilmenee parhaiten MathCad-dokumentista (ks. liite 2). Samaa pohjaa voi halutessaan käyttää tulevissakin samanmallisissa pick-upeissa.



KUVIO 24. Nivelen resultanttivoima

Suurimmat kuormat olivat tapauksessa, jossa tela on huolto-asennossa sylinterin varassa. Tällöin kuormitusta niveleen tuli 100 kN, eli molemmille rungon holkeille 50 kN. Toiseksi pahin tilanne oli tapaus, jossa sylinteri on ylhäällä lukkotapin varassa. Tällöin kuorma oli noin 96 kN. Huoltotilanteessa kanttauksesta aiheutuva poikkivoima syntyy 18,24 kN, joten voitiin suoraan arvioida sen olevan pahin tapaus, kun ymmärretään sen luovan tukireaktiota lisää toiselle puolelle. Lisä on huomattava, sillä sen suuruus on 102,3 kN. Pystyvoimista syntyvän tukireaktion ollessa rungon holkeilla 48 kN on lisän suuruus kaksi kertaa sitä suurempi. Toisella puolella poikkivoimalla on luonnollisesti keventävä vaikutus.

Vertailuksi voidaan mainita, että suurimmat kuormitukset olisi löytynyt taas 2. puristimelta, jossa pystysuuntaiseksi resultanttivoimaksi laskettiin lähes 1200 kN. Linjausepätkätköyksien ja lämpölaajenemisen yhteisvaikutuksesta syntynyt poikkivoiman suuruus oli 123 kN, joka joi tukivoiman lisää 326 kN. Tilanne syntyi häiriötapauksessa, jossa 1.puristin ei purista, mutta 2. puristin puristaa täydellä kuormalla.

### **Nivelen laakerointitapa ja sen tuomat rajoitteet**

Ennen liitoksen lujuuslaskentaa tulee laakerointitavan ja siihen liittyvien rajoitteiden olla selvillä. Raportin luettavuuden kannalta vasta lujuuslaskennan jälkeisissä luvuissa tutkitaan syvällisemmin, onko nykyisten laakerointitavan ja materiaalien käyttö perusteltua ja puntaroidaan vaihtoehtoisia toteutustapoja yksityiskohtien, kuten voitelun toteutuksen osalta. Laakeroinnit ovat toimineet hyvin tähän asti suunnitelluissa sovelluksissa, joten muutoksia ei haeta ilman painavia perusteita.

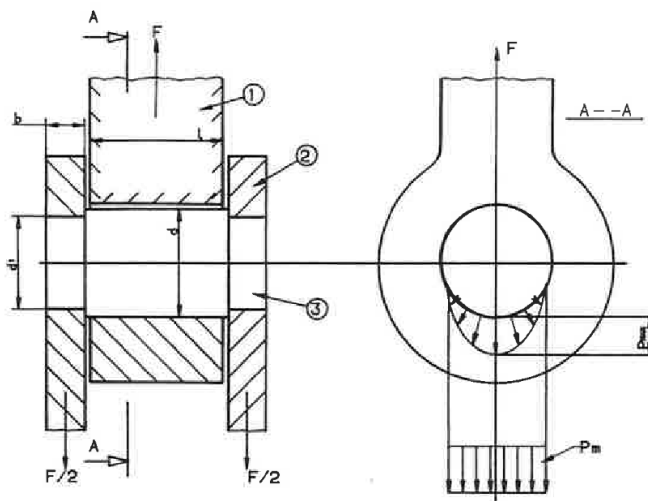
Laakerin tehtävänä on ohjata ja tukea nivelöityjä edestakaisin liikkuvia komponentteja niin, että ne toimivat oikein. Laakerointitavan valintaan vaikuttavia asioita on kuormitustilanne, tilantarve, lämpötila, voitelun järjestäminen, värähtelyt, ympäristöolosuhteet, säteily, tarkkuusvaatimukset, huollon järjestäminen, melunäkökohdat ja kustannukset. (Koneenosien suunnittelu 2003, 417.)

Laakerointitavan valinta perustuu pitkälti kuormitukseen ja akselin pyörimis- tai liukunopeuteen. Muita valintaperusteita ovat kitkateho, käynnistysmomentti, iskumaisen kuormituksen kestävyys, laakerin jäykkyys, koko, hinta ja yksinkertaisuus. (Teollisuusvoitelu 2006, 42.) Näistä tärkeimpiä tässä tapauksessa ovat kuormankantokyky, iskumaisen kuormituksen kestävyys, sekä hinta ja yksinkertaisuus.

Liukulaakeroinnin käyttö tässä sovelluksessa on perusteltua, koska käyttö on ajoittaista ja liukunopeudet pieniä. Otetaan esimerkki erään paperikoneen pick-up -telalta, jossa liukunopeus on kohtalaisen suuri verrattuna muihin paikkoihin. Sylinte-

rin tyypillinen nopeus on 30 mm/s ja sen etäisyys niveltapin keskiöstä 1230 mm. Niveltapin halkaisija taas on 120 mm, jolloin liukunopeudeksi tulee 1,46 mm/s. Liukulaakerit soveltuvat yleensä hyvin myös suurille ja iskumaisille kuormituksille. Sellaista laakerille voi syntyä, kun myttyyn mennyt paperi kulkee puristimen läpi. Puristimissa syntyy myös värinöitä, joita liukulaakerit vaimentavat

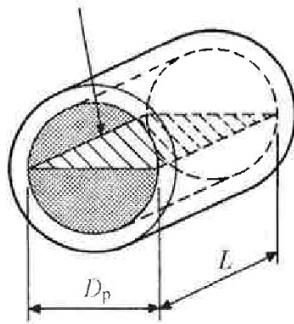
Liukulaakerissa kosketustilanteena on luonnollisesti liukukosketus. Kosketukselle tunnusomaista on, että se on kuormittamattomana viivakosketus eli kosketuspinta-ala on nolla. Pienikin kuormitus luo paikallista deformaatiota ja suuret paikalliset jännitykset. Jännityksen tila on kuitenkin 3-akselinen, jolloin paikallinen jännitys voi nousta hyvinkin suureksi aiheuttamatta vauriota (Teollisuusvoitelu 2006, 12–13). Tällaisten kuormitustilanteiden tarkan pintapaineen määrittämiseksi joudutaan käyttämään Herzin teoriaa, jonka mukaan yhteen puristettujen kaarevien kosketuspintojen painekuvio on ellipsoidi (ks. kuvio 25).



KUVIO 25. Niveltapin pintapaine (Koneenosien suunnittelu 1 1985, 128)

Laakerivalmistajan (JM-tuoteluettelo n.d., 3) ja Airilan (2003, 470) mukaan liukulaakerin pintapaineen tarkasteluun voidaan käyttää nimellistä pintapainetta, jota kutsutaan myös projektiopintapaineeksi (ks. kuvio 26).

Projektiopinta-ala  $A_p = L \times D_p$



$$p_{pr} = \frac{F}{A_p}, \text{ missä}$$

$p_{pr}$  on projektiopintapaine,  
 $F$  on laakerikuormitus ja  
 $A_p$  on projektiopinta-ala.

KUVIO 26. Liukulaakerin projektiopintapaine ja laskenta (Teollisuusvoitelu 2006, 15)

Airilan liukulaakereiden suunnitteluohjeen mukaan (2003, 469–470) laakerimateriaalin kuormitettavuus on puolet myötörajasta, jota siis pidetään nimellisen pintapaineen rajana. Laakerivalmistaja käyttää samaa sallittua pintapainetta kuin Airila, kun liukumisnopeus on alle 0,017 m/s ja käyttö on ajoittaista (JM-tuoteluettelo n.d., 3).

Muita Airilan (2003, 470) ohjeita on, että laakerin pituuden tulee olla 0,6 – 1,5 x laakerin halkaisija. Laakeroinnin suunnittelussa tulee yleensä tarkastella myös pv-arvot, mutta tässä tapauksessa ei, koska liikkeet ovat hitaita ja ajoittaisia.

### 5.3 Liitoksen mitoitus Eurocode 3:n mukaan

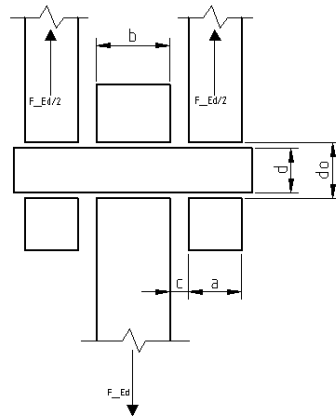
Lujuuslaskenta toteutettiin SFS 1993-1-8 – standardin (2005, 38–40) mukaan. Se laskee nivelen leikkauskestävyyden, levyn ja tapin reunapuristuksen, taivutuskestävyyden sekä yhdistetyn leikkaus- ja taivutuskestävyyden. Jos niveltappi on tarkoitettu vaihdettavaksi, asettaa standardi rajoituksen kosketuspaineen suuruudelle ja tiukentaa reunapuristuksen ja taivutuskestävyyden ehtoja. Standardilla saadaan rakenteelle myös geometriarajat. Mitoituksen ehto jokaisessa kohdassa on, että vallitsevaa rasi-

tusta verrataan laskettuun kestävyuteen. Laskentapohjassa vertaus tehdään niin, että rasitus jaetaan kestävyydellä ja tuloksen täytyy olla alle yksi.

Standardia ei saa sellaisenaan kopioida ja levittää, joten sen asiat on pyritty esittämään omaavalmisteisilla, mutta standardia mukailevilla kuvilla ja kaavoilla. Standardin mukainen laskudokumentti on pyritty pitämään paremmin tulkittavana siten, että viereiselle sivulle on lisätty asiaa selittävät kuvat. Dokumentti on tämän raportin liitteenä 3, mutta ilman kyseisiä kuvia. Siinä laskenta on suoritettu KIPAS-projektin pick-upin nivelliitokselle, jolle tukivoimatkin laskettiin. Liitos oli jo aiemmin suunniteltu muilla menetelmillä, joten käytettiin valmiita mittatietoja. Seuraavissa luvuissa selitetään laskentaa.

### Kuormitus- ja osavarmuustiedot

Normaalisti voiman mitoitusarvona käytetään vain laskettua pystysuuntaista resultanttivoimaa, joka on kerrottu varmuusluvulla. Standardissa voimaa kuvataan termillä  $F_{Ed}$  (ks. kuvio 27).

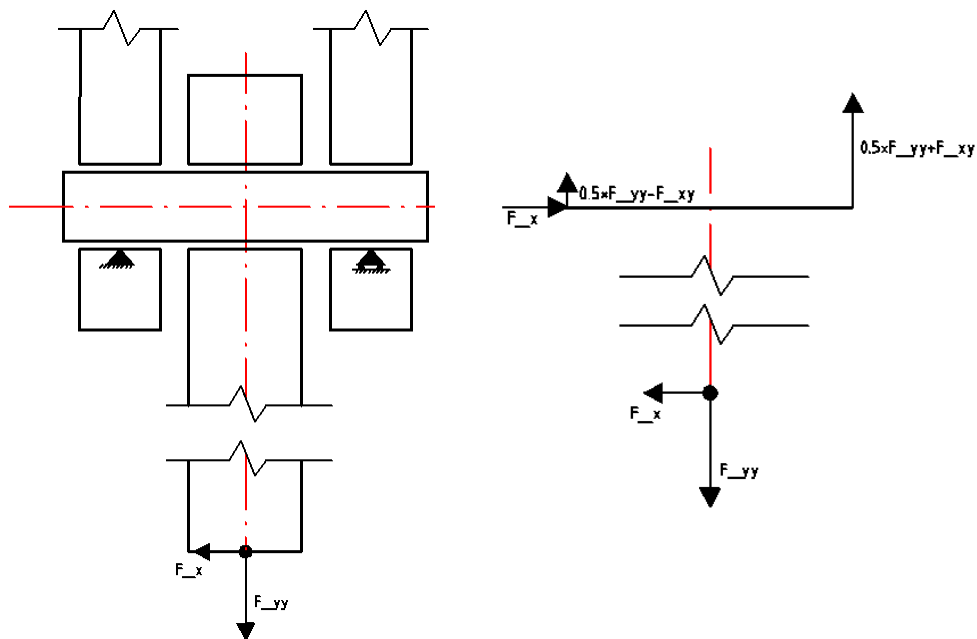


KUVIO 27. Standardin asettamat liitoksen voimat ja etäisyydet momentin laskuun



Omassa laskentapohjassa pystysuuntaista voimaa merkataan termillä  $F_{yy}$ . Mikäli lasketaan poikkivoimia sisältävää tapausta, syötetään kuormitustietoihin myös aiemmin tukivoimien laskennassa laskettu tukivoiman muutos, jota kuvataan termillä  $F_{xy}$ . Se luo toiselle tukipisteelle lisärasitusta ja toiselta tukipisteeltä vähentää sitä. Koska voiman  $F_{yy}$  oletetaan jakautuvan tasan tukipisteille, on toisen tukivoiman suuruus kuvion 28 mukaan  $\frac{F_{yy}}{2} + F_{xy}$  ja toisen  $\frac{F_{yy}}{2} - F_{xy}$ .

Tilanteen takia liitos täytyy laskea kriittisemmän puolen mukaan ja peilata tilanne vastakkaiselle puolelle. Tämä tapa ei siis ole täysin todellisen tilanteen mukainen, mutta oletus täytyy tehdä, jotta standardia voidaan käyttää laskennassa (Vitikka 2012). Tällöin mitoitusarvoksi tapauksessamme tulee kriittisempi tukivoima kaksinkertaisena, eli  $F_{yy} + 2 * F_{xy}$ , joka vielä kerrotaan varmuusluvulla.



KUVIO 28. Tukivoimien käyttäytyminen poikkivoimatilanteissa

Kuormitustietojen jälkeen syötetään osavarmuusluvut. Niitä merkitään  $\gamma$ -kirjaimella ja standardin mukaisilla alaviitteillä. Kuorman osavarmuuslukuna on käytetty arvoa 2 nostolaitteiden lujuusmitoitustuiston (Villgren, 2) mukaan, kun kyseessä on nostolaite jonka alle ei joudu ihmisiä. Arvo on siis varmistettava tilannekohtaisesti. Varmuusluvulla kerrotaan lasketun rasituksen arvo  $F_{Ed,ser}$  ja tulosta merkitään termillä  $F_{Ed}$ , jota käytetään laskennan mitoitusarvona. Aineosavarmuusluvut annetaan standardin SFS-EN 1993-1-8 (2005, 19) mukaan. Ne ovat usein vakiot, joten niitä ei yleensä tarvitse muuttaa.

### **Materiaali- ja poikkileikkaustiedot**

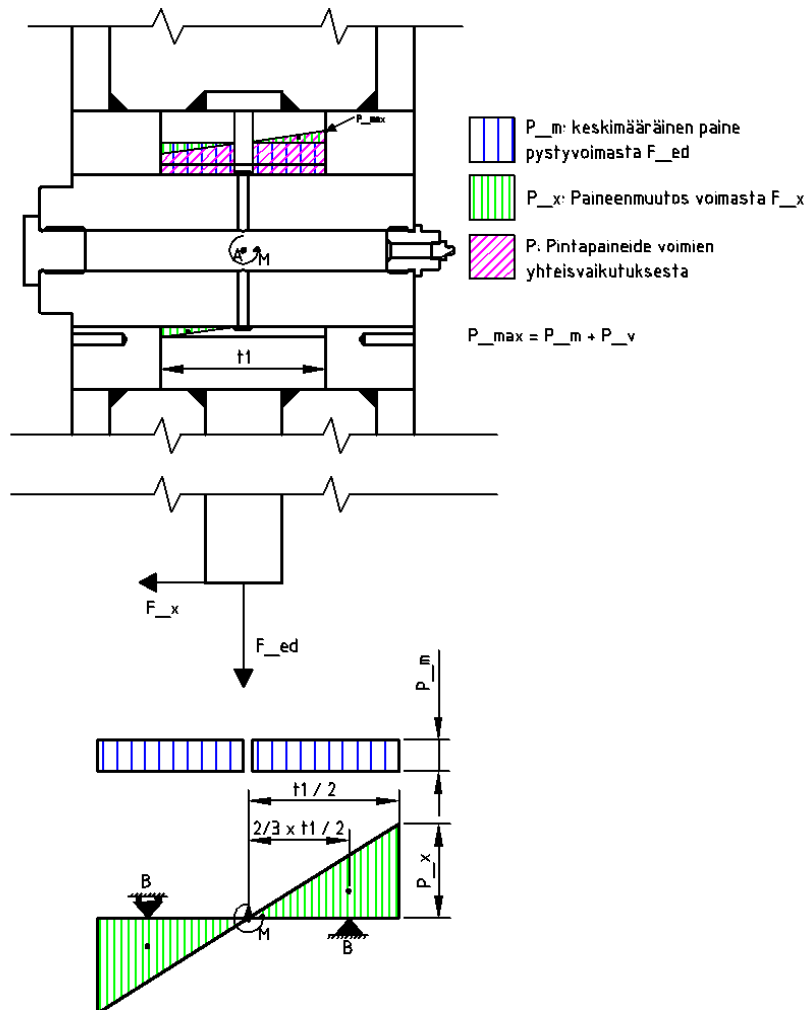
Materiaalitietoihin syötetään myötö- ja murtorajat, jotka riippuvat materiaaleista ja niiden paksuuksista. Ruostumattomien teräslevyjen rajat syötetään standardin SFS-EN 10088-2 (2005, 37) mukaan ja rakenneteräslevyjen rajat standardin SFS-EN 1993-1-1 (2005, 26) mukaan. Tapin rajat annetaan SFS-EN 10088-3 (2005, 55) mukaan. Kimmokertoimena voidaan käyttää yhteisenä arvona 200 GPa.

Lopuksi annetaan liitoksen mittatiedot. Muuten ne ovat yksiselitteisiä, mutta taivutusmomentin laskentaan käytettävien mittojen tulkintaan on kiinnitettävä huomiota. Koska standardissa liitosta kuvataan pelkillä levyillä, on mittoja sovellettava eri lailla (ks. kuvio 31).

### **Pintapaineen tarkistus**

Laskenta aloitetaan pintapaineen tarkastuksella, koska siitä tulee usein määräävä ainakin silloin, kun poikkivoimaa esiintyy. Jos liitosta mitoitetaan vain pystyvoimia vastaan, riittää keskimääräisen pintapaineen laskenta. Jos tapaus sisältää poikkivoimia, on niiden luoma paineen muutos laskettava liitoksen keskellä vaikuttavan pistemomentin kautta ja lisättävä keskimääräiseen pintapaineeseen. Momentti on laskettu tukivoimien laskennan yhteydessä.

Poikkivoimasta syntyy pintapaineeseen sama ilmiö, kuin tukivoimiin, eli se lisääntyy laakerin toisella laidalla ja vähenee toisella laidalla. Laskennassa oletetaan, että kyseessä on lineaarinen tapaus, jolloin voidaan pintapaineen laskea superpositiometelmällä (ks. kuvio 29). Pintapainetta tarkastellaan siis vain kriittisemmälle puolelle ja tulokseksi saatua arvoa verrataan suunnitteluperusteista saatuun pintapaineen sallittuun arvoon.



KUVIO 29. Pintapaineen käyttäytyminen ja laskentaan tarvittavat mitat

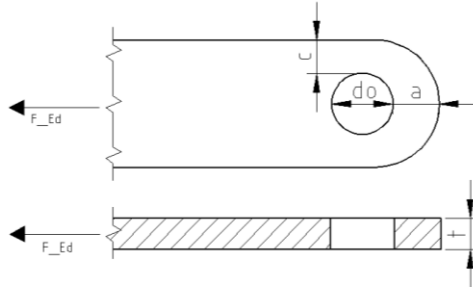
Kuten esimerkkilaskusta huomataan, synnyttää poikkivoima laakerin kulmaan pintapainetta 76,6 MPa, joka on yli kahdeksankertainen verrattuna pystyvoimasta syntyvään 9,1 MPa keskimääräiseen pintapaineeseen (ks. liite 3). Laskennan mukaan kriittisemmällä puolella on siis laakerin reunassa ylälaidassa yhteensä 85,7 MPa paine. Laakerin toisessa päässä pintapaine on siten erotuksen verran, eli 67,5 MPa ja paine kohdistuu laakerin alalaitaan. Oikeassa tilanteessa pintapaineen jakautuminen on epätasaisempaa sekä pituus-, että halkaisijasunnassa, mutta parempaan tarkkuuteen on käsin laskulla vaikea päästä. Lisäksi laakerin reunaan tulee todennäköisesti jännityspiikki, mutta laskentaa voidaan käyttää, kun hyväksymme tämän hyvin pienelle alueelle syntyvän paikallisen myötäämisen. (Vitikka 2012.)

### Geometriset vaatimukset

Standardi asettaa levyleikkeille myös geometriset mittavaatimukset, jotka koskevat reunaetäisyyksiä a ja c (ks. kuvio 30). Annetun levypaksuuden mukaan se laskee leikkeiden vähimmäisreunaetäisyydet. Annetun geometrian mukaan se taas laskee vaadittavan levypaksuuden ja asettaa reiän koon rajoitteen levypaksuuden suhteen. Tässä tapauksessa laskenta tehdään vain annetun paksuuden mukaan ja etäisyydet määritetään kaavoilla 1 ja 2.

$$a \geq \frac{F_{Ed} * \gamma_{M0}}{2 * t * f_y} + \frac{2 * d_0}{3} \quad 1$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} * \gamma_{M0}}{2 * t * f_y} + \frac{d_0}{3} \quad 2$$



KUVIO 30. Standardin asettamat reunaetäisyydet levypaksuuden perusteella

Standardi käyttää geometriakuissa samoja kirjaimia mittojen kohdalla kuin momenttikuvissa, mikä aiheuttaa laskentaan päällekkäisyyttä. Siksi geometrialaskennassa käytetään alaindeksinä merkintöjä  $t_1$  ja  $t_2$ . Laskennassa tulee huomata myös, että siinä tulee halkaisijan  $d_o$  paikalla käyttää tässä tapauksessa levyleikkeen reikää, eli hitsattavan holkin ulkohalkaisijaa (ks. liite 3). Ongelmana kuitenkin on, että reunaetäisyydet kasvavat hyvin suuriksi pienilläkin kuormilla. Reunaetäisyys ehdot eivät pienen tutkimisen jälkeen olleet toteutuneet kovin usein, eikä etäisyyksien laskentaan työn puitteissa löydetty hyvää tapaa. Laskenta pidetään mukana laskupohjassa, mutta sen noudattamista on toteutettava harkiten.

### Tapin leikkaantuminen

Tapin leikkaantumista tarkastellaan vertaamalla tapin leikkauskestävyyttä  $F_{v,Rd}$  siinä esiintyvään rasitukseen  $F_{v,Ed}$  kaavan 3 mukaan. Kaavassa  $A$  on niveltapin pinta-ala ja  $f_{up}$  on tapin vetomurtolujuus.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * A * f_{up}}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed} \quad 3$$

Tässä tulee huomata, että  $F_{v,Rd}$  tarkoittaa tapin leikkauskestävyyttä yhtä leikettä kohti ja  $F_{v,Ed}$  vastaavaa rasitusta tapin yhtä leikettä kohti. Standardissa asia on ilmaistu

hieman epäselvästi, joten asia on selvitetty Teräsrakenneyhdistykseltä sähköpostitse. (Kouhi 2011.)

### Tapin ja levyjen reunapuristus

Reunapuristukset tarkastellaan yleisesti kaavan 4 mukaan. Koska tappi piti olla tässä tapauksessa vaihdettavissa, tarkastellaan se vaihdettavuuden rajoitteita vastaan kaavan 5 mukaan. Kaavoissa  $d$  on niveltapin halkaisija,  $t$  on levyn paksuus ja  $f_y$  levyn myötöraja.

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 * t * d * f_y}{\gamma_{M0}} \geq F_{b,Ed} \quad 4$$

$$F_{b,Rd,ser} = \frac{0,6 * t * d * f_y}{\gamma_{M6,ser}} \geq F_{b,Ed,ser} \quad 5$$

$F_{b,Rd}$  tarkoittaa yhden levyn ja tapin välissä olevaa reunapuristuskestävyyttä, jota siten verrataan samassa kohdassa vaikuttavaan ulkoiseen rasitukseen. Kestävyys lasketaan sivu- ja keskilevyille, eli holkeille. Sivulevyjen kohdalla kestävyyttä verrataan puolikuormaan ja keskilevyjen kohdalla koko kuormaan. (Kouhi 2011.)

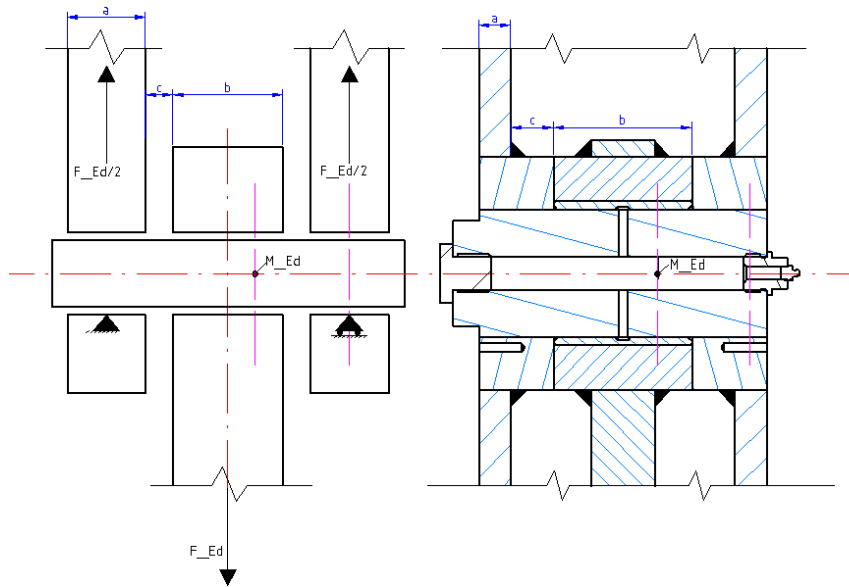
### Tapin taivutuskestävyys

Tapin taivutuskestävyyttä varten piti ensin selvittää, että kuinka standardi sen laskee. Suoraan standardin antamia mittoja ei voida käyttää rakenteiden erilaisuuden takia. Standardi laskee momentin kaavan 6 mukaan, joka on aukaistuna sama kuin kaava 7. Momentin laskentaväli nähdään nyt suoraan sulkeiden sisältä.

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} * (b + 4c + 2a) \quad 6$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{2} * \left( \frac{1}{4}b + c + \frac{a}{2} \right) \quad 7$$

Momentti siis lasketaan kertomalla tukivoimalla pisteen  $M_{Ed}$  ja tukipisteen välinen etäisyys ja mitat voitiin syöttää laskentaan (ks. kuvio 31). Tukivoima oletetaan sivulevyn keskelle, kun oletetaan, ettei holkki ota taivutusmomenttia vastaan.



KUVIO 31. Taivutusmomentin laskentaväli ja mittojen vertailu

Mitoitusvaatimus taivutusmomenttia vastaan on normaalisti kaavan 8 mukainen ja silloin kaavan 9 mukainen, kun tappi tulee olla vaihdettavissa. Kaavoissa  $f_{yp}$  on nivel-tapin myötölujuus ja  $W_{el}$  taivutusvastus.

$$M_{Rd} = \frac{1,5 * W_{el} * f_{yp}}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed} \quad 8$$

$$M_{Rd,ser} = \frac{0,8 * W_{el} * f_{yp}}{\gamma_{M6,ser}} \geq M_{Ed,ser} \quad 9$$

### Tapin taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutus

Koska liitoksessa esiintyy sekä taivutusmomenttia, että leikkausta, lasketaan niiden yhteisvaikutus kaavan 10 mukaan hyväksi käyttäen aikaisempien laskujen tuloksia. Tuloksen täytyy olla alle yksi.

$$\frac{\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2}{\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2} \quad 10$$

### Kosketusjännityksen tarkistus

Lopuksi tarkastellaan vielä kosketusjännitys keski- ja sivulevyille, koska niveltapin tuli olla vaihdettavissa. Keskilevyille tätä ei olisi oikeastaan tarvetta tehdä, koska laakerin jännitys määrää siinä kohtaa. Vaatimuksena on, että ehto  $\sigma_{h,Ed} \leq F_{h,Ed}$  on voimassa. Suureet lasketaan kaavojen 11 ja 12 mukaan.

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \sqrt{\frac{E * F_{Ed,ser} * (d_0 - d)}{d^2 * t}} \quad 11$$

$$F_{h,Ed} = 2.5 * \frac{f_y}{\gamma_{M6,ser}} \quad 12$$

## 5.4 Nivelen mittasuhteet

Nivelen suunnittelua helpottaa huomattavasti, jos alussa poikkileikkaukseen liittyviä mittasuhteita lukita tai rajata. Tällaisia ovat sivuholkkien pituuden suhde keskiholkin pituuteen ja tapin halkaisijan suhde holkkien leveyteen. Myös holkkien radiaaliset mittasuhteet olisi hyvä selvittää, mutta se jää tämän työn ulkopuolelle edellä maini-



tun geometrialaskennan ongelmien takia. Liitoksen koko leveyteen ei oteta kantaa, sillä se on riippuvainen runkorakenteesta, joka taas riippuu useammista tekijöistä. Voidaan kuitenkin todeta, että mitä leveämpi liitos on, sitä paremmin se ottaa poikavoiman aiheuttamaa momenttia vastaan.

Nivelen mittasuhteet selvitettiin liitteen 3 laskennalla. Tällöin pintapaine jätettiin huomioitta ja lähtötietoja muuttelemalla katsottiin kuinka tulokset vaihtelevat. Ihanetilanne olisi, että jokainen tarkastelu olisi lähellä arvoa 1.

Holkkien aksiaalissuuntainen suhde oli helppo selvittää, koska keskiholkilla vaikuttava voima on kaksinkertainen sivuholkkeihin verrattuna. Kun asetetaan niiden suhde siten, että sivuholkin leveys on puolet keskiholkin leveydestä, saadaan laskennasta ulos samat arvot molemmille holkeille reunapuristusten ja kosketusjännitysten tarkasteluissa.

Kun pintapainetta ei huomioida, vaikutti taivutuskestävyys olevan seuraavaksi kriittisin. Tapin halkaisijalle oli vaikea löytää halkaisijasuhdetta, sillä sen taivutusvastus muuttuu nopeasti halkaisijan suhteen. Halkaisijasta riippuu myös reunapuristuksen suuruus. Lisäksi momentin suuruus on riippuvainen momenttivälistä, eli holkkien pituuksien lisäksi siihen vaikuttaa sivulevyn paksuus.

Tässä tilanteessa optimi tapin halkaisijalle oli 1,1 x keskiholkin pituus. Silloin tapin leikkaantumisen suhde oli 0,355, reunapuristus 0,995, taivutuskestävyys 0,928, taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutus 0,987 ja kosketusjännitys 0,359. Tällöin keskiholkin pituus oli 45mm, sivuholkit 22,5mm ja reunalevyn paksuus 10mm.

Tämän jälkeen kokeiltiin, että säilyykö suhteiden keskinäinen suhde samana, kun liitoksen leveyttä kasvattaa. Holkkien pituus kasvatettiin viisinkertaiseksi, jolloin suhteet olivat samassa järjestyksessä 0,02, 0,04, 0,043, 0,002 ja 0,033. Leikkaus – ja kosketusjännityksen kriittisyys reunapuristuksen ja taivutuskestävyyden suhteen siis

nousee. Reunapuristuksen ja taivutuskestävyyden välinen suhde pysyy kuitenkin samana ja ne olivat yhä kriittisimmät arvot. Taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutus tipahtaa sen takia, kun jo valmiiksi pienet tulokset korotetaan vielä toiseen potenssiin. Leveillä liitoksilla tullaan kuitenkin siihen, että tapin halkaisija käytetyllä suhteella alkaa kasvaa hyvin suureksi. Kun keskiholkin pituus oli viisinkertainen eli 225mm, oli tapin halkaisija 247,5mm. Täten rajoitteena tulee jo materiaalin saatavuus.

Rajoitteet voidaan kuitenkin nojata liukulaakereiden suunnitteluun, joka määräsi laakerin pituuden olevan 0,6 – 1,5 kertaa laakerin halkaisija, eli tässä tapauksessa keskiholkin pituus pitäisi olla 0,6-1,5 x tapin halkaisija. Tapin halkaisijan tulee siis olla 0,666 – 1,666 x holkin pituus.

Siten kokeiltiin tapin halkaisijan minimiarvoa leveälle liitokselle.  $0.666 \times 225\text{mm}$  antaa tapin halkaisijaksi 150mm. Tällöin suhteet ovat 0.055, 0.068, 0.182, 0,036, 0.054. Huomataan, että levällä liitoksella ja tapin halkaisijasuhdetta pienentämällä tulee taivutusvastuksesta määräävä.

Edellä tarkastelujen suhteiden lisäksi tulee huomata, että tässä tapauksessa halkaisijasta riippuu myös pintapaine. Mitä suurempi halkaisija on, sitä pienemmäksi pintapaine muuttuu, joka on taas hyvä asia pintapaineen rajoittavan tekijän ominaisuuden takia. Mitään tarkkaa arvoa ei tapin halkaisijan suhteelle juuri voi siis antaa. Suunnittelijan on liitoksen mittojen mukaan itse päätettävä, mitä kerrointa halkaisijalle käyttää. Pintapaineen kannalta on tietysti pyrittävä käyttämään suurempia halkaisijasuhteita, mikäli se on järkevää rakenteen kannalta. Tämä onnistuu ainakin kapeimpien liitosten kohdalla. Nivelten mittasuhteet on esitetty ohjekuvassa (ks. liite 7).

## 5.5 Liukupintojen materiaaliparit ja kuluminen

### 5.5.1 Laakeroinnin materiaaliparien vaatimukset

Laakeroinnissa akselin tulee aina olla kovempi kuin laakeri. Hyvä kovuussuhde olisi 3:1–5:1 (Koneenosien suunnittelu 2003, 461). Yleensä akselimateriaalin on teräs tai valurauta, mutta tässä tapauksessa akselit valmistetaan duplex-teräksestä. Laakerimateriaalin yleisiä vaatimuksia on mm:

- sileän liukupinnan valmistaminen mahdollista
- hyvät sisäänajo-ominaisuudet eli pinnankarheuden huippujen tasoittuminen
- ei leikkaudu akselin pintaan voiteluaineen hetkellisesti puuttuessa
- pieni kulumisnopeus
- mahdollisimman pieni lämpölaajenemiskerroin
- kestää reunapainetta -> muovautumiskykyinen
- hyvä lämmönjohtavuus
- riittävä staattinen ja dynaaminen lujuus
- korroosionkestävä
- tarttuu hyvin alustamateriaaliin

Valkometallit, eli lyijy- ja tinavaltaiset materiaalit ovat tavallisimpia liukulaakerimateriaaleja. Ne ovat hyvin pehmeitä ja kestävät täten hyvin reunapuristusta. Kuluminen on usein vähäistä ja ne pystyvät hautaamaan irronneita kulumispartikkeleita. Ne ovat edullisia, mutta eivät kestä suuria paineita ja ovat kupariseoksia huonompia väsymiskestävyydessä. (Koneenosien suunnittelu 2003, 462.)

Kupariseokset ovat lujempia ja kestävät korkeampia lämpötiloja. Niiden lisääntynyt käyttö on vähentänyt valkometallien käyttöä. Usein niiden kulumiskestävyyks on parempi, kuin valkometalleilla ja ne ovat myös halvempia. (Koneenosien suunnittelu 2003, 462.)

Alumiiniseokset ovat harvinaisempia. Niitä käytetään esimerkiksi autojen moottoreissa. Ne ovat halpoja ja kestävät hyvin syövyttäviä olosuhteita, mutta voitelun puuttessa niiden kitkaominaisuudet ovat huonot. (Koneenosien suunnittelu 2003, 462.)

Laakerimateriaalina on tähän asti käytetty tinapronssia CuSn12. Siinä suuri lujuus yhdistyy parhaaseen kulumiskestävyyteen ja sitä suositellaan, kun vaatimuksena on tarkka mitoillaan pysyminen suurten ja iskumaisten kuormitusten alla. Materiaali kestää hyvin merivettä, mutta se ei mukaudu reunapuristukseen. (JM-tuoteluettelo n.d., 32) Tinapronssin myötöraja on 160 MPa, kimmokerroin 105 GPa ja kovuus 95HB (Koneenosien suunnittelu 2003, 122).

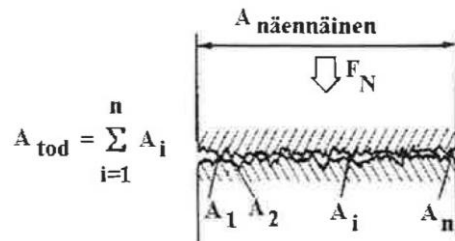
Mikäli tavoitteena on pitkä kestoikä, laakerivalmistaja (JM-tuoteluettelo n.d., 4) suosittelee vastinpinnan kovuudeksi vähintään 300HB. Standardin SFS-EN 10088-3 (2005, 45) mukaan EN 1.4462 -tunnuksisen liuotushehkutetun duplex-tangon kovuus on huoneenlämmössä suurimmillaan 270 HB. Kovuussuhteet ovat siis alarajoilla, mutta se hyväksytään tässä tapauksessa, kun suositukset ovat oletettavasti paljon suuremmille liukunopeuksille ja yhtämittaisille käytöille. Mikäli tangon halkaisija on pienempi kuin 16mm, on tangon myötölujuus 560 Mpa. Tapit ovat kuitenkin aina yli 16mm, jolloin myötölujuus on 450 Mpa. (SFS-EN 10088-3, 55.)

### **5.5.2 Tarkastelu kulumista vastaan**

Parhaiten liitoksen kulumisen luonne ja siihen kuuluvat mahdolliset ongelmat olisi saatu selville, jos käytössä olisi ollut näyttöjä käytössä olleesta avatusta liitoksesta. Tällaista materiaalia ei kuitenkaan työn puitteissa saatu käsiin, joten tarkastelut täytyi tehdä tässä tapauksessa teoriaan perustuen.

Liitoksen kosketuksen luonteeseen kuuluu, että todellinen kosketuspinta-ala on vain osa näennäisestä pinta-alasta (ks. kuvio 32). Kitka ja kuluminen tapahtuvat siis pinnan karheuksien uloimmissa huipuissa, jotka ovat todellisia kosketuskohtia. Kulumi-

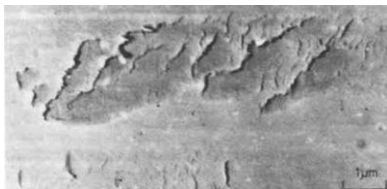
nen voidaan jakaa yleisesti adhesiiviseen, abrasiiviseen, tribokemialliseen ja väsymiskulumiseen. Harvoin kuluminen on kuitenkin puhtaasti jotain näistä, vaan yleensä jonkinlainen yhdistelmä niistä. (Teollisuusvoitelu 2006, 16.)



KUVIO 32. Periaatekuva kosketustilanteesta (Teollisuusvoitelu 2006, 16)

Tämän liitoksen kannalta vähemmän merkittäviä mekanismeja on tribokemiallinen ja väsymiskuluminen. Tribokemiallinen kuluminen tapahtuu kosketuspintojen pintakalvoissa, esimerkiksi teräksen muodostaessa oksidikerrosta. Väsymiskuluminen eli hilseily aiheutuu väsymisrasituksesta, joka vaatii pitkäaikaista vaihtuvaa kuormitusta ja alkusärön. (Teollisuusvoitelu 2006, 17.)

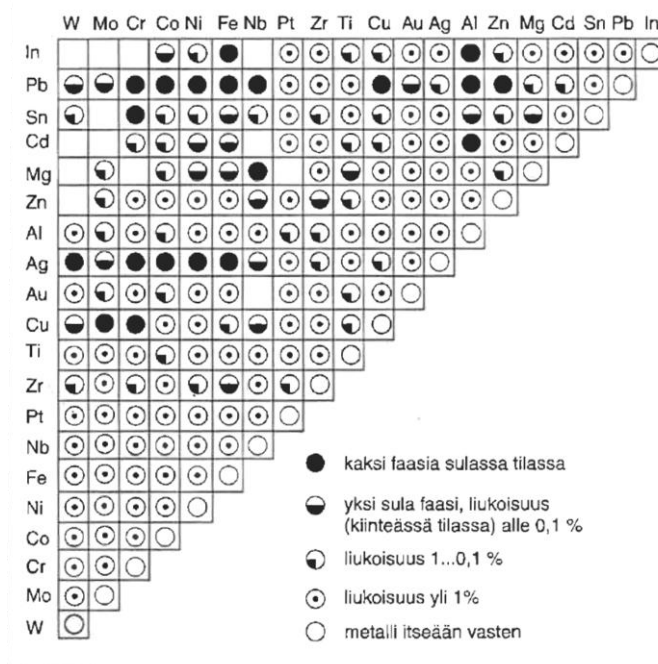
Tärkeämpiä mekanismeja on adhesiivinen ja abrasiivinen kuluminen. Adhesiivinen kuluminen syntyy vastinpintojen pinnankarheushuippujen kosketuksissa esiintyvien adhesiivisten huippujen leikkaantumisenä. (Teollisuusvoitelu 2006, 17) Kuorman kasvaessa tai helposti leikkaantuvien pintakalvojen puuttuessa laajenevat pinnankarheuden ulokkeiden alla olevat plastisoituneet alueet niin paljon, että ne tahmautuvat toisiinsa. (ks. kuvio 33). (Kivioja, Kivivuori & Salonen, 2004, 105.)



KUVIO 33. Adheesiokulumisen tuottama jälki metallipinnassa (Kivioja ym. 2004, 106)

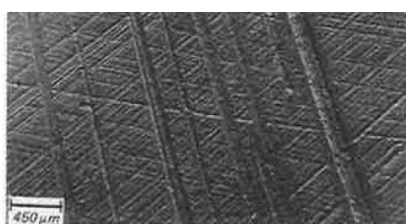
Laakerin leikkautuminen akseliin johtuu usein adheesiokulumisesta. Adheesiivisten liitosten syntyyn ja voimakkuuteen vaikuttaa huomattavasti vastinpintojen keskeinen liukoisuus. Samaa materiaalia olevan parin kulumisen on nopeaa, sillä niiden liukenevuus toisiinsa nähden on 100 %. (Teollisuusvoitelu 2006, 37.)

Austeniittis-ferrittinen duplex-teräs on seos, jossa on noin 50 % austeniittia ja 50 % ferrittiä. Seosaineen käytetään pääosin kromia ja nikkeliä, mutta myös pieniä määriä hiiltä, typpeä ja molybdeenia. Nivel tappien duplex-materiaalin EN-tunnus on 1.4462, joten SFS-EN 10088-3 (2005, 45) mukaan se sisältää 22 % kromia ja 5 % nikkeliä. Kuparia vastaan teräksen liukoisuudeksi ilmoitetaan 1-0,1 %, nikkelin yli 1 % ja kromia vastaan se ei liukene ollenkaan (ks. kuvio 34). Tinaa vastaan teräksen liukoisuus on alle 0,1 %, nikkelillä 0,1-1 % ja kromia vastaan ei liukene ollenkaan. Voidaan siis todeta, että liukoisuusominaisuudet ovat hyvät ja materiaaliparit ovat alhaista adheesiota tuottavia.



KUVIO 34. Liukoisuuskartta (Kivioja ym. 2004, 125 )

Toinen tärkeä kulumismekanismi on abrasiivinen kuluminen. Se on tapahtuma jossa kovemman pinnan pinnankarheushuiput uurtavat pehmeää pintaa liukuessaan tai materiaaleista irronneet muokkauslujittuneet hiukkaset jäävät pintojen väliin. Usein kuluminen alkaa kahden kappaleen abrasiivisesta kulumisesta ja muuttuu kolmeen kappaleen abrasiiviseksi kulumiseksi. Kulumisen mekanismit ovat kyntäminen (ks. kuvio 35), leikkaantuminen ja hauraasti murtuminen. Kulumismekanismia nopeuttavat ilman kosteus ja voiteluaine niiden voiteluvaikutuksen takia. Kulumisen estämiseksi kovuus ja sileys ovat tärkeimmät ominaisuudet. (Kivioja ym. 2004, 109–110.)

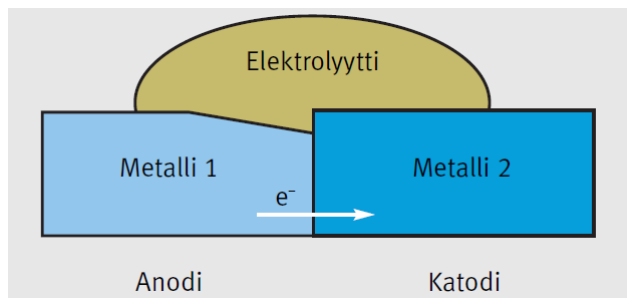


KUVIO 35. Abrasiivisesti kynnetyn pinnan kulumisjälki (Kivioja ym. 2004, 110)

Abrasiivisen kulumisen kohdalla on kulumiskestävyys riippuvainen metallin kovuus-suhteesta muokkauslujittuneena abrasiivisen pinnan kovuuteen. Mikäli suhde  $H_m/H_a$  on pienempi kuin 0,8, voidaan puhua voimakkaasta abraasiokulumisesta. Kun suhde ylittää arvon 0,8, puhutaan lievästä abraasiokulumisesta. Kuluminen loppuu kokonaan, kun suhde ylittää arvon 1. Tämä johtuu abrasiivisen metallin pienemmästä kimmomodulista, jolloin elastinen muodonmuutos sallii suuremman pinta-alan ja siten pienemmän paineen. Silloin myös kovuuden suhde myötölujuuteen jää pienemmäksi. Tässä tapauksessa duplexin kovuuden suhde tinapronssin kovuuteen on jo ilman muokkauslujittumista 270HB / 95HB eli 2,84. Tietysti tulee myös huolehtia siitä, että sen myötölujuus on tarpeeksi suuri kuormitukseen nähden. Tässä sillä ei ole väliä, koska liitos mitoitettiin puoleen myötörajan. Kokonaisuudessaan kulumiskestävyys riippuu siis kovuuden ja kimmomodulin suhteesta, joten riittävän myötörajan jälkeen tärkeintä on valita mahdollisimman pieni  $E/\sigma$  -suhteeltaan oleva materi-

aali. (Kivioja ym. 2004, 110–112.) Tinapronssilla suhde on 105 GPa / 160 MPa, eli 656. Koska myös kovuussuhteet olivat hyvät, voidaan materiaaliparien ominaisuudet abraasiivista kulumista todeta olevan hyvät.

Edellä mainittujen asioiden lisäksi on tutkittava, että soveltuuko laakerimateriaali käytettäväksi ruostumattoman teräksen parina galvaanisen korroosion kannalta. Se on mahdollista, kun metalleilla on eri korroosipotentiaalit, ne ovat sähköisesti yhteydessä toisiinsa tai sähköä johtava kalvo, eli tässä tapauksessa voiteluaine, koskettaa molempia metalleja. Sähköä johtava liuos mahdollistaa elektronien virtauksen anodilta katodille ja korroosiota tapahtuu. (Ruostumattomat teräkset kosketuksissa muiden metallisten materiaalien kanssa 2011, 3.)



KUVIO 36. Galvaanisen parin periaatekuva (Ruostumattomat teräkset kosketuksissa muiden metallisten materiaalien kanssa 2011, 3)

Parin muodostuminen voi johtaa epäjalomman materiaalin nopeaan syöpymiseen, joka johtaa rakenteen lyhentyneeseen käyttöikänsä. Korroosiota tapahtuessa epäjalompi metalli - anodi - syöpyy ja jalompi metalli - katodi - suojautuu korroosiota vastaan. Useimmiten ruostumattoman teräksen korroosipotentiaali on positiivisempi verrattuna muihin metalleihin, jolloin riski kohdistuu sen parina olevan metalliin. Joissain tapauksissa galvaanisen parin muodostuminen voi johtaa korroosioon materiaaleissa, jotka muuten kestävät sitä hyvin. Eräs tällainen materiaali on alumiini. (Ruostumattomat teräkset kosketuksissa muiden metallisten materiaalien kanssa 2011, 2.)



Pelkkä materiaalien potentiaaliero ei kuvaa kuitenkaan hyvin korroosion riskiä. Sen takia on laadittu taulukoita galvaanisista pareista niiden yleisissä käyttöolosuhteissa, kuten merivedessä (Taulukko 1).

Taulukko 1. Erilaisten metallisten materiaalien korroosionopeuksia vesipohjaisessa 5-til % NaCl liuoksessa 35-asteen lämpötilassa, pinta-alojen suhde 1:1 (Ruostumattomat teräkset kosketuksissa muiden metallisten materiaalien kanssa 2011, 11.)

Galvaaninen pari	Korroosionopeus (mm/a)		
	X6CrMo17-1 1.4113	X2CrTi12 1.4512	X5CrNi18-10 1.4301
Hiiliteräs	0,62	0,66	0,69
Kuumasinkitty teräs	0,51	0,51	0,55
ZnAl 4 Cu 1	0,66	0,66	0,69
AlMg 1	0,15	0,29	0,29
Cu-DGP	0,04	0,04	0,04
CuZn 40	0,04	0,04	0,04

Taulukossa on esitetty korkeahiilisiä ruostumattomia teräksiä, mutta käytännössä tulokset pätevät myös matalahiilisille laaduille, kuten 1.4307 ja 1.4404, joita käsiteltävissä rakenteissakin käytetään (Ruostumattomat teräkset kosketuksissa muiden metallisten materiaalien kanssa 2011, 10). Kuten tuloksista huomataan, ovat korroosionopeudet kupariseoksille hyvin pieniä. Voidaan siis todeta, että materiaalipari käy galvaanisen korroosiokeston kannalta sovellukseen hyvin.

## 5.6 Laakerin voitelu

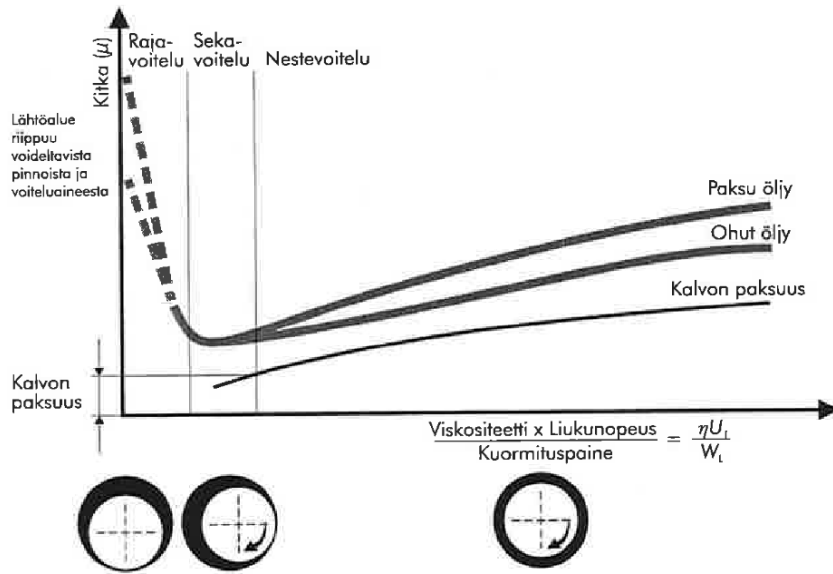
### 5.6.1 Voitelutilanteen selvitys

Voitelukalvon tehtävänä on erottaa pinnat toisistaan, joka vähentää kitkaa ja kulumista. Voiteluaineen tehtävänä on lisäksi estää epäpuhtauksien pääsy voitelukohteeseen ja kuljettaa kulumishiukkaset pois. (Teollisuusvoitelu 2006, 12.) Laakerilla on yleensä myös maksimikäyttölämpötila ja voitelun tehtävänä on viedä lämpöä pois laakerista. Tässä tapauksessa lämmön tuotto on kuitenkin vähäistä, koska jatkuvaa liikettä ei ole.

Liukulaakerointityyppejä on useita. Voitelemattomina toimivat laakerit ovat tavallisesti kestopuovista valmistettuja materiaaleja, kuten polyamideja, teflonia tai grafiittia. Itsevoitelevat laakerit ovat puolestaan huokoisia voiteluaineella kyllästettyjä metalliliukulaakereita. Hydrodynaamiset laakerit ovat laakereita, joissa voiteluaine syötetään laakeriin ulkopuolelta ja laakerin liike saa aikaan voitelukalvon, eli kuorman kantavan paineen. Myös hydrostaattisissa laakereissa pinnat pidetään erillään voiteluainekalvolla, mutta tässä se toteutetaan syöttämällä voiteluaine laakeriin ylipainella, jolloin pyörimisliikettä ei tarvita voitelukalvon ylläpitämiseksi. (Koneenosien suunnittelu 2003, 417.)

Voitelun ihannetilanne olisi, etteivät pinnat koskettaisivat ollenkaan toisiaan. Tällöin puhutaan puhtaasta nestevoitelusta, jolloin kulumisen esiintyminen olisi hyvin vähäistä. Tällainen tilanne saavutetaan siis suuren pyörimisnopeuden kautta, jolloin puhutaan aiemminkin mainitusta hydrodynaamisesta voitelusta. Tilanne saavutetaan myös hydrostaattisella voitelulla. Ensimmäinen ei ole tässä tapauksessa mahdollinen, ja toisen järjestäminen on monimutkaista ja kallista, eikä siitä saavutettava hyöty olisi välttämättä vaivan arvoista.

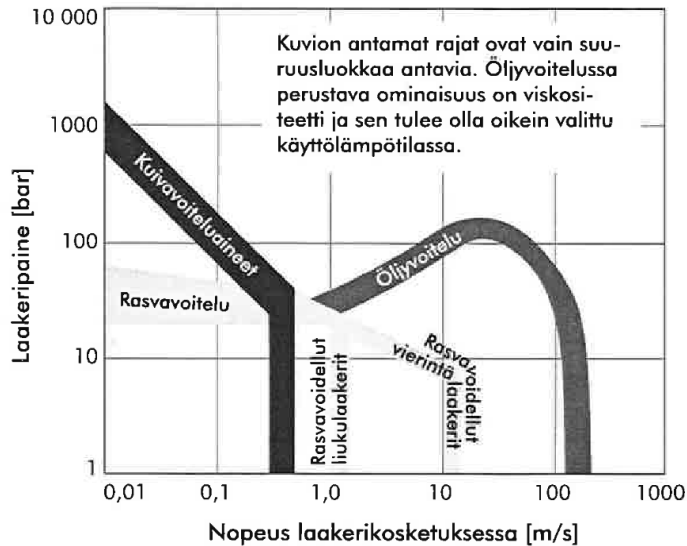
Liian alhainen viskositeetti, hidas liikenopeus, suuri kuormitus, riittämätön voiteluainemäärä, tai epäedulliset lämpötilat aiheuttavat rajavoitelutilanteen (ks. kuvio 37). Siinä tapahtuu selvää pinnankarheushuippujen kosketusta, jolloin varsinaisia pintoja erottavaa voiteluainekalvoa ei vielä ole. (Teollisuusvoitelu 2006, 20–21.) Koska nivelen rakenne pyritään pitämään yksinkertaisena ja pyörimisnopeus on pieni, joudutaan hyväksymään ihannetilanteen ulkopuolella, eli rajavoitelualueella liikkuminen.



KUVIO 37. Voitelutilanteet (Teollisuusvoitelu 2006, 21)

Liukupintojen materiaalien merkitys nestevoitelun alueella rajoittuu vain hydrodynaamisen paineensietokykyyn ja hyvään öljyn tarttumiseen. Mutta koska käsiteltävät liitokset toimivat rajavoitelun alueella, kuten Airilan mukaan (2003, 469) 90 % kaikista liukulaakeroinneista. Tämän takia tulevat tribologiset ominaisuudet määrääviksi, jolloin aiemmin käsitellyt materiaalivalinnat näyttelevät suurempaa osuutta. (Koneosien suunnittelu 2003, 417.)

Hitaasti liikkuville liukulaakereille suositellaan yleisesti kiinteitä voiteluaineita, mutta nopeuden lisäksi voiteluun vaikuttaa myös laakeripaine. Airilan liukulaakereiden suunnitteluohjeen mukaan (2003, 469–470) erittäin pienellä liikunopeudella käytetään rasvavoitelua, tai kiinteää voiteluainetta ja voiteluaineen viskositeetti valitaan käyntilämpötilan mukaan. Laakerivalmistajan (JM-tuoteluettelo n.d., 3) mukaan niitä voidaan käyttää liikunopeuden ollessa alle 0,5 m/s. Kiinteällä voiteluaineella tarkoitetaan rasva- ja kuivavoiteluaineita. Voiteluaineen valinnalle on ohjeellinen kuvaaja, jossa huomioidaan edellä mainitut suureet (KUVIO 38).



KUVIO 38. Voiteluaineiden soveltuvuus nopeuden ja kuormituksen suhteen (Teollisuusvoitelu 2006, 48)

Mikäli liitos mitoitetaan niin, että laakerille sallitaan puolet laakerimateriaalin myötörajusta eli 80 MPa, tulisi kyseeseen parhaiten kuivavoiteluaineet. Hyvin hitailla pyörimisnopeuksilla niitä voidaan suositella aina 100 MPa:iin, eli 1000 barin paineille asti. Kuivavoiteluaineita ovat esimerkiksi grafiitti ja molybdeenisulfidi. Ne ovat pulverimaisessa muodossa ja ne kulkeutuvat voitelukohteeseen yleensä lietteen kantonesteessä. Kantonesteinä käytetään usein voitelurasvaa. (Teollisuusvoitelu 2006, 72–74)

### 5.6.2 Voiteluaineen valinta ja jälkivoitelun määrittäminen

Näiden perusteiden pohjalta voidaan liitokselle suositella siis kuivavoiteluainetta. Malisen mukaan (2012) tämän kaltaisessa liitoksella voitelun merkitys ei kuitenkaan näyttele niin suurta osuutta epäsuotuisien kuormitustilanteiden takia, joten asia ei ole niin yksiselitteinen. Voiteluaineen tarkoitus on lähinnä vain mahdollistaa liike ja suojata liitosta korroosiolta. Pakarisen (2012) mukaan tärkeä ominaisuus olisi hyvä tarttuvuus, joka on usein esimerkiksi kompleksityyppisillä rasvoilla. Tällöin voiteluai-

ne pysyy kohteessa jopa huolloissa tehtävissä pesutilanteissa. Usein valintaa rajaa myös se, että kaikki voiteluaineet eivät sovi keskusvoitelujärjestelmässä käytettäviksi.

Metsolla on omat voiteluainesuositukset, joiden mukaan valittiin myös tälle nivelelle voiteluainelaadut. Mikäli kyseessä on valintaa rajaava keskusvoitelujärjestelmällä voideltava nivel, käytetään kohteessa litiumkomplekistyyppistä mineraaliperusöljypohjaista yleisrasvaa. Se soveltuu alhaisille ja korkeille kierrosluvuille, antaa hyvän korroosiosuojan sekä kestää hyvin vettä. (Malinen & Valjus 2010, 1.)

Tätä rasvalaattua on usein käytetty tähänkin asti osittain siitä syystä, että sillä on voideltu muitakin kohteita. Keskusvoitelujärjestelmän kautta nivelelle määräytyvät myös voiteluvälit ja voiteluainemäärät. Tarkemmat metson suosituksiin liittyvä tunnukset ilmoitetaan suunnitteluohjeeseen. (Pakarinen 2012.)

Mikäli kyseessä on taas käsin suoritettava rasvaus, oli Pakarinen (2012) samaa mieltä työntekijän kanssa, että olisi oikein käyttää hitaiden ja raskaiden käyttöjen rasvaa. Rasvoja on mineraali- ja synteettisperusöljypohjaisia ja suositellaan korkeasti kuormitetuille laakereille, holkeille, kytkimille ja johteille. Ne soveltuvat hyvin iskumaisille ja hitaille kuormille, ja niillä on hyvä kiinnitarttuvuus. Myös niiden kuormankantokyky, värähtelykestävyys ja suojaava vaikutus emäksisiä vesiä vastaan ovat hyviä. (Malinen, Valjus 2010, 10.)

Käsin suoritettavassa voitelussa voiteluainemäärät ja voiteluvälit on kuitenkin erikseen määritettävä. Pakarisen (2012) mukaan kokemuksen avulla määritettävä voiteluväli tällä voiteluainelaadulla olisi kuukausi. Mikäli käytetään huonompaa voiteluainelaattua, on väli viikko. Jälkivoiteluun tarvittava rasvamäärä voidaan laskea liuku-laakerille kaavan 13 mukaan (Teollisuusvoitelu 2006, 48).

$$G = DBV, \text{ jossa}$$

13

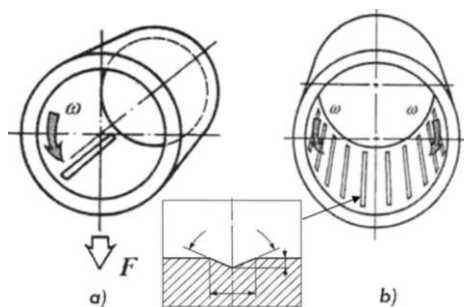
G on rasvamäärä grammoina,	0,003 (voiteluväli kuukausittain)
D=laakerin halkaisija (mm)	0,004 (voiteluväli vuosittain)
B=laakerin leveys (mm)	0,005 (voiteluväli 2 vuotta)
V=0,001 (voiteluväli päivittäin)	0,005 (voiteluvälistä riippumatta sivulta sisään voitelussa)
0,002 (voiteluväli kuukausittain)	0,002 (voiteluvälistä riippumatta keskeltä sisään voitelussa)

Lasketaan esimerkissämme olevan KIPAS-projektin liitoksen jälkivoitelutarve kuukauden rasvausvälillä tai voiteluvälistä riippumatta, kun voitelu tapahtuu keskeltä sisään:

$$G = DBV = 120\text{mm} * 100\text{mm} * 0,002 = 24\text{g}$$

Näiden suositusten ja tilanteen mukaan kirjoittaa paperikoneen käyttö- ja huolto-ohjeen laatija huolto- ja voitelutaulukkoon voitelukohteet, -aineet, -välit ja -määrät. Lopulta asiakas päättää itse, millaisia ja kenen valmistajan tuotteita käyttää.

Voiteluaineen syöttö rasvavoidellussa laakerissa tulisi tehdä lähellä kuormitusaluetta niin, että vastinpinta voi helposti kuljettaa sen kuormitusalueelle. Voitelu-urat pitäisi sijoittaa pyörimissuunnan vaihdellessa kaikille kuormitetuille alueille ja uran muotoilussa on tärkeitä, että siirtymä uran ja liukupinnan välillä on jouhea. Siksi v-muotoisen ja kohtisuoraan liikesuuntaan vastaan asetetun v-uran käyttö on suositeltavaa (ks. kuvio 39). Sellaisessa laitteessa, jossa laakeri pysyy paikoillaan ja akseli pyörii, tulisivat voitelu-urat tehdä akseliin. (Teollisuusvoitelu 2006, 211.)



KUVIO 39. Voitelu-urien muotoilu ja sijainti, kun a) akselin pyörii yhteen suuntaan b) pyörimissuunta vaihtelee (Teollisuusvoitelu 2006, 211-212, muokattu)

## 5.7 Toleranssit- ja sovitteet

### 5.7.1 Toleroinnin punainen lanka

Koska laitteiden ja osien valmistus tapahtuu eri osastoilla, yrityksissä ja jopa eri maissa, on tärkeää että osat ovat samanlaisia, eli vaihtokelpoisia keskenään. Tämä edellyttää osien tolerointia. Valmistettavia osia ei koskaan saada täysin oikeiksi johtuen esimerkiksi tuotantolaitteiden epätarkkuuksista, mutta toleroinnilla pyritään asettamaan tuotteelle sellaiset mittavaatimukset, jotta se toimii. Raja tarkkuudellekin on kuitenkin laitettava, sillä tarkkojen toleranssien valmistaminen tuo lisäkustannuksia. Se lisää työstöaikoja ja rajaa alihankkijoita niiden valmistuslaitteiden käydessä liian epätarkoiksi. (Pere 2004, 155.) Toleranssien ja sovitteiden valinnassa tuli siis löytää kultainen keskitie laitteen vaatimusten, valmistettavuuden ja kustannusten väliltä.

### 5.7.2 Pinnankarheudet

Pinnankarheuksia valittaessa oli perusajatus se, että pinnat olisi mahdollista valmistaa lähestulkoon alihankkijasta riippumatta ilman suuria kustannuksia. Karheuden valintaan vaikuttaa mm. työstötapa ja eri käyttökohteille olevat suositukset. Rajoitteita pinnankarheuksille asettaa laakeriholkin puristusliitos ja abrasiivisen kulumisen takia tappia vasten olevat pinnat. Liitoksen ulkopuolisissa koneistuksissa oli tähän asti pinnankarheustoleranssia Ra 3,2 ja sisäpuolisissa sekä holkkien päiden koneistuksissa 6,3. Akseleiden päätypinnoilla on käytetty Ra-arvoa 12,5.

Metso Paperilla on myös oma pinnankarheuden valintaohje. Koska valmistus tulisi olla alihankkijasta mahdollisimman vähän riippuvainen, tulisi myös työstömenetelmät olla perinteisiä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että pinnat tulee olla valmistettavissa väljennysporaamalla, jyrsimällä ja sorvaamalla. Pituussorvauksella päästään Ra-arvossa hyvissä valmistusolosuhteissa 0,2:sta aina 1,6 ja 3,2 väliin (ks. kuvio 40). Normaleissa valmistusolosuhteissa päästään taas siitä ylöspäin. Samat arvot

koskevat myös akselin päätyihin käytettävää sorvausta ja rungon holkkien sisäpuoleista jyrshintää. Reikien valmistuksessa käytettävällä väljennysporauksella hyvissä olosuhteissa päästään Ra-arvosta 1,6 ja 3,2 välistä aina 6,3:een asti ja normaaleilla valmistusolosuhteilla siitä ylöspäin. (Kalsi 2005, 3.)

Valmistusmenetelmä		Saavutettava pinnankarheus [ $\mu\text{m}$ ]														
		0,0125	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100	200
Sorvaus	pitkittäissorvaus															
	tasosorvaus															
	pistosorvaus															
Höyläys	tasohöyläys															
	pistohöyläys															
Poraus	kierukkoporaus															
	väljennysporaus															
	upotus, tasaus															
	kalvinta															
Avennus																
Jyrshintä	kehällä															
	otsalla															

KUVIO 40. Saavutettavia pinnankarheuksia (Kalsi 2005, muokattu)

Yleisesti käytettyjä pinnankarheuden arvoja rasvavoidellulle sekä hitaasti ja tilapäisesti käytetyn liukulaakerin akselipinnalle on Ra 1,6–6,3 ja liukulaakeriholkkien toimiville pinnoille 0,2–6,3. Puristus- ja kutistusliitosten vastinpinnoille ohje suosittelee pienempää arvoa, kuin Ra 3,2. (Kalsi 2005, 3.) Pere (2004, 195) suosittelee hitaasti liikkuvalla ja rasvavoidellulle liukulaakerille Ra-arvoa 1,6–3,2 ja puristusliitokselle samaa, kuin Kalsi. Laakerivalmistaja (JM-tuoteluettelo n.d., 36) suosittelee sileämpiä pintoja, sillä sisäpuolisten pinnankarheuksien suositus on Ra 1,6 ja ulkopuolisten Ra 1. Tämä voi johtua valmistajan olettamista suuremmista ja liukunopeuksista.

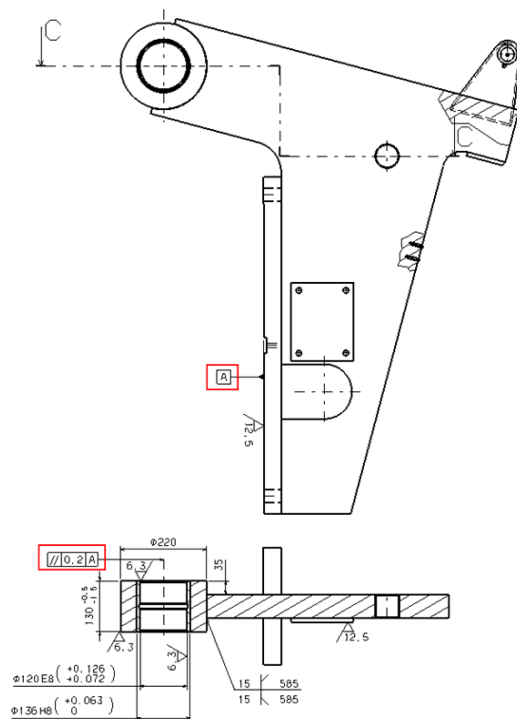
Yhteenvetona pinnankarheuksista voidaan sanoa, että ne on valittu jo aikoinaan siten, että ne täyttävät toiminnalliset ohjeet hyvin ja ovat samanaikaisesti valmistettavissa perinteisillä valmistusmenetelmillä. Ainoastaan holkkien päätyjen Ra-arvo muutetaan ohjekuvassa 12,5:stä 6,3:een, vaikka ohjekuvasta poikkeavaa toleranssia onkin käytetty työpiirustusten mukaan jo pidemmän aikaa. Muita muutoksia ei tarvita.



### 5.7.3 Geometriset toleroinnit

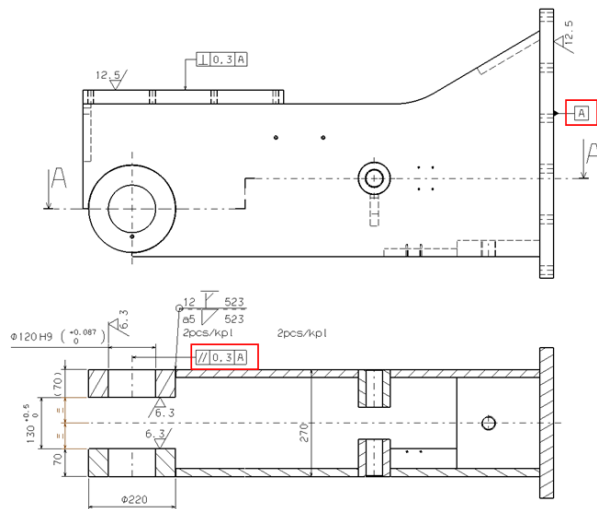
Geometrisilla toleransseilla asetetaan rajat, joiden sisällä muodon, suunnan ja sijainnin poikkeamien, sekä heiton tulee olla. Näin varmistetaan laitteiden toiminta- ja vaihtokelpoisuudesta. Niitä on siis asetettava siten, että ne takaavat kokoonpantavuuden ja nivelöityjen varsien oikeanlaisen liikkeen. (Pere 2004, 178.)

Tähän mennessä yleisesti käytetty geometrinen tolerointi kuormitusvarrelle on niin, että sen holkin keskilinja on toleroitu yhdensuuntaiseksi kuormitusvarren laakeripe-sän jalustan pinnan kanssa. Esimerkiksi niin, että todellisen keskilinjan tulee olla kahden yhdensuuntaisen pinnan välissä, joiden keskinäinen etäisyys on 0,2 ja jotka ovat yhdensuuntaisia perustason A kanssa (ks. kuvio 41). On käytetty myös hieman tiu-kempaa tolerointia, jossa keskilinjan tulee olla lieriön sisässä, jonka halkaisija on 0,2. Esitys on muutoin sama, mutta mitta-arvon edessä on  $\emptyset$ -merkki.



KUVIO 41. Esimerkki kuormitusvarren liitoskohdan geometrisesta toleroinnista

Runkojen kohdalla keskilinja on yleensä toleroitu samalla tavalla, mutta mittana on käytetty arvoa 0,03 ja peruselementtinä toimii rungon kiinnityspinta (ks. kuvio 42).



KUVIO 42. Esimerkki rungon liitoksen kohdan geometrisesta toleroinnista

Koska vaaditut toleroinnit ja tarkkuudet riippuvat laitteesta tai yleensä sovellettavasta kohteesta, ei geometrisia tolerointeja voi asettaa ohjekuvaan. Suunnittelijan on siis lisättävä toleroinnit tapauskohtaisesti. Edellä esitetyt ovat kylläkin hyviä esimerkkejä toleroinnin toteuttamiseksi. Ne ovat ajaneet asiansa ja ovat myös helposti saavutettavissa.

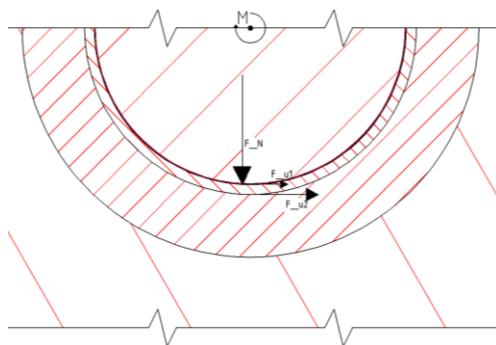
#### 5.7.4 Puristusliitoksen sovitteet

Sovite laakeriholkkin ulkopinnan ja laakeripesän välillä oli tähän asti ollut H8/p7. 100 mm akselilla tämä tarkoittaa sitä, että mikäli akselin halkaisija koneistuksen jälkeen on yläeromitalla ja holkin halkaisija alaeromitalla, jää niiden väliin 15  $\mu\text{m}$  rako (Valtanen 2008, 713–720). Puristussovite siis muuttuu välyssovitteeksi ja holkki pääsee pyörimään. Tällaisia tilanteita on ilmeisesti ollut vähän, sillä asia ei ollut yleisesti tie-

dossa. Joitain tapauksia kuitenkin on tiedossa, joissa holkki on lähtenyt pyörimään pesässään viimeistään koneistaessa sitä sisäpuolelta oikeaan mittaan.

Uuden sovitteen valinta perustui laskentaan ja ohje-arvoihin. Jo aiemmin mainitun Airilan liukulaakereiden suunnitteluohjeen mukaan (2003, 469–470) yleinen liukulaakeripesän toleranssi on H7. Myös laakerivalmistaja (JM-tuoteluettelo n.d., 36) ilmoitti saman toleranssin, joten sitä käytettiin. Yleisesti H7-toleranssin parina käytettäviä puristussovitteita ovat väljimmästä tiukimpaan lueteltuina p6, r6 ja s6. H7/p6 on hyvin yleinen laakeriholkkisovite, kun taas H7/s6 on suositeltava sovitepari silloin, kun puhutaan raskaasti kuormitetuista laakeriholkeista (Koneenosien suunnittelu 1 1985, 76). Myös laakerivalmistajan suositus on p6 (JM-tuoteluettelo n.d., 36).

Koska puristusliitoksen tarkoitus on kestää paikallaan, tuli se tutkia myös vääntömomentin keston kannalta. Liikituksen aikana laakerin sisäpinnalle tulee niveltapin kautta normaalivoima, joka laitteen pyöriessä aiheuttaa laakerille vääntömomenttia kitkakertoimen, normaalivoiman ja tapin säteen tulon verran. Tätä voimaa ei voida kuitenkaan käyttää laskussa, sillä kitkakertoimen oletetaan olevan laakeriholkin ulkopinnan ja laakeripesän pinnan välillä suurempi johtuen siitä, että tapin ja laakerin välinen pinta on voideltu (ks. kuvio 43). Vääntömomentin määrittämiseksi arvioitiin sen sijaan yksiterä-avaruksessa syntyvä vääntömomentti. Arvioksi asetettiin 1000 Nm ja teräpalan muodosta johtuen syntyväksi aksiaalissuuntaiseksi voimaksi 500N.



KUVIO 43. Laakeriholkin kitkavoimat

Laskenta tehtiin esimerkeissä olevalle liitokselle, jossa laakeriholkin sisähalkaisija on 120 mm ja pituus 100 mm (ks. liite 4). Koneistusvoimat asetettiin lähtötietoihin, jota kautta saatiin tarvittava pintapaine ja ahdistukset sekä tarkastettiin, pysyvätkö osat elastisella alueella. Tarvittava ahdistus olisi ollut 80  $\mu\text{m}$ , jonka tulisi olla soviteparin ahdistus huonoimmassa mahdollisessa tilanteessa. H7/p6-parilla ahdistus on huonoimmillaan vain 3  $\mu\text{m}$ , H7/r6-parilla 23  $\mu\text{m}$  ja H7/s6-parilla 52  $\mu\text{m}$  (Valtanen 2008, 713–720). Ehto ei täyty siis millään yleisesti käytetyllä soviteparilla. Tarvittavaan ahdistukseen vaikutti myös pinnanlaatu, jonka merkitys olikin kohtalaisen suuri. Vaihdamalla laskennassa Ra-arvo 3,2:sta 1,6:een ja 6,3:sta 3,2:een tuli tarvittavaksi ahdistukseksi enää 56  $\mu\text{m}$ . Tällöin H7/s6-sovitepari olisi ollut aivan rajoilla ehdon täyttämässä. Se olisi ollut siis teoriassa paras sovite, sillä se oli jo aiemmin mainittu suositus tämäläisyyppiselle laakeroinnille. Tässä tilanteessa päädytään kuitenkin kompromissiin ja valittiin sovite H7/p6. Näin voitiin tehdä, koska tiedettiin, että nykyinen välisovitekin on lähtenyt vain harvoin pyörimään. Suuri ahdistus vaikeuttaisi myös asennusta.

Puristusliitoksen suunnittelussa tulee huomioida myös asennus. Laakeriholkin asennetaan pesäänsä ennen sen sisäpuoleista koneistusta niin, että holkki jäädytetään nestemäisellä tyypellä niin kylmäksi, että sen ulkohalkaisija on tarvittavan paljon reiän halkaisijaa pienempi. Tarvittava lämpötilaero voidaan laskea halutun halkaisijamuutoksen kautta. Lasku tehtiin Airilan mukaan (2003, 411), jolloin holkin halkaisijan halutaan muuttuvan maksimiahdistuksen ja nimellishalkaisijan tuhannesosan summan verran. Näin saatiin vaadittavaksi lämpötilaeroksi 75 °C, eli jos huoneenlämpö on +20 °C, tulee holkin liittämislämpötilan olla -55 °C (ks. liite 4).

### 5.7.5 Muut sovitteet

Muita sovitteita liitoksessa on niveltapin ja laakeriholkin välillä, jossa on tähän asti käytetty H9/f8 sovitteita. 100 mm:n tapilla soviteparin minivälitys on 36  $\mu\text{m}$  ja maksimi 177  $\mu\text{m}$ . Myös niveltapin ja rungon välillä on sovite, joka on E8/f8. Tällä soviteparilla minivälitys on 121  $\mu\text{m}$  ja maksimivälitys 238  $\mu\text{m}$ . (Valtanen 2008, 713–721.)

Lähtökohta on, että molempiin haluttiin liukusovite, joka on vielä hyvin asennettavissa paikoilleen. Sovitteiden suuruuksien tuli tietysti myös olla niin, että laakerin ja tapin välillä on väljempi sovite, kuin rungon ja tapin välillä. Toisaalta tapin ja laakerin välillä tulisi olla mahdollisimman pienivälyksinen liukusovite, sillä kuormitukset ovat suuria. Näin pintapaine jakautuu tasaisemmin laakerille.

Airilan mukaan (2003, 469–470) välystä edestakaisin liikkuvassa ja rasvavoidellussa säteisliukulaakerisovelluksessa käyntilämpötilassa tulee olla 1–3 tuhannesosaa laakerin halkaisijasta, eli 100 mm:n tapilla 100–300 µm. Laakerivalmistajan suosittelema välyys on hieman Airilan suosituksia suurempi, 3–5 tuhannesosaa laakerin sisähalkaisijasta, eli 300–500 µm (JM-tuoteluettelo n.d., 3). Lisäksi sovitesuositus liukulaakerisovitteelle on H8/f8, joka on maksimivälykseltään vain 33 µm H9/f8 -sovitetta ahtaampi. (Koneenosien suunnittelu 1 1985, 75.)

Näiden sovitteiden kohdalla valintaa rajaa se, että suurentamalla välyksiä tulee laitteesta epätarkempi ja se kasvattaa myös laakerin pintapainetta. Välyksiä pienentämällä taas voi tapin asentaminen vaikeutua äkillisesti. Virtasen (2012) mukaan sovitteita ei saisi ainakaan tiukentaa nykyisestä. Koska käytössä olleet sovitteet täsmäivät hyvin suosituksiin ja ohjeisiin, eikä niiden kanssa ole ollut ongelmia, voidaan hyväksyä ne. Tapin toleranssi f8 tosin ei ole ensisijaisten suositusten mukainen, mutta se voidaan hyväksyä silti (Pere 2004, 160).

## **6 SUUNNITTELUOHJEIDEN LAADINTA**

### **6.1 Ohjeen kirjoittamisen teoria ja vaatimukset**

Ohjeita on erilaisia, kuten käyttö- ja menettelytapaohjeita, jotka voivat olla suosituksia antavia tai määrääviä. Tässä tapauksessa, kun kyse on suunnitteluohjeesta, on se

eräänlainen menettelytapaohje. Sen luonne vaihtelee suosituksia antavasta määrästä. Ohjeen tekemiselle on olemassa oma standardi: SFS-EN 62079: Ohjeiden laatiminen: Jäsentäminen, sisältö ja esittäminen. Se on kuitenkin luotu käyttöohjeiden laadintaan, joten sitä ei tämän työn tekemiseen käytetty. (Korpela 1996.)

Ohjeen laatiminen ei ole helppoa. Niiden yleinen ongelma on se, että niitä ei lueta. Toinen ongelma on se, että niitä voidaan tulkita väärin, joka on tässä tapauksessa huolettavin asia. Nämä ongelmat syntyvät usein silloin, kun ohjeet ovat liian laajoja ja sekavia. Hyvin tehty ohje antaa käyttäjälleen varmuutta sekä säästää aikaa ja kustannuksia. Ohjeistuksen laatimiseen täytyi käyttää siis aikaa, jotta kaikki edellä tehty työ liitoksen suunnitteluperusteiden selvittämiseksi ei kuluisi hukkaan. (Korpela 1996.)

Ohjeen kirjoittamisen suunnittelussa täytyy aluksi miettiä, kenelle sitä tehdään. Näin voidaan tietää, mikä on oleellista ja mikä ei. Se myös rajaa kieliasua ja ohjeen tyyliä. (Palviainen 2010.) Esimerkiksi tämän työn kohdalla tiedetään, että sitä käyttävät suunnitteluinsinöörit, joilla on suunnittelutyön perusteet ja termistö hallussa. Suunnitteluohjeen kannalta huomioitavia tärkeitä asioita ovat:

- asiasisältö
  - riittävä, mutta vain olennainen
  - ajan tasalla oleva
  
- jäsenitys ja rakenne
  - käyttöohjeen ositus useammalle tasolle
  - selkeä jäsenitys ja esittämistapa
  - luettavuus (visuaalinen ilme ja layout)
  
- kieli
  - käyttäjille luonnollinen kieli
  - lyhyet virkkeet, ei epämääräisiä ilmauksia
  - samat termit läpi ohjeen

Ohjeistuksen vaatimukset asetettiin osin yrityksestä ja osin asetin ne itse. Metso Paper Oy:lla ei ole käytössä omaa suunnitteluohjestandardia, vaan tätä koskien vaatimuksena oli saada lyhyet perusohjeet ja yksiselitteinen tukimateriaali ohjeille. Ohjeita lähdettiin laatimaan omien näkemysten, vaatimusten, haastattelujen tuloksien ja teoria-aineiston perusteella.

## **6.2 Suunnitteluohjeen vaatimusten selvitys**

### **Tutkimusmetodien valinta**

Tutkimusmetodiksi suunnitteluohjeilta toivotuttujen ominaisuuksien selvittämiseksi valittiin haastattelu ja kysely. Alun perin oli tarkoitus kerätä tietoa myös alihankinokkijoilta, mutta resurssien käydessä vähiin luovuttiin ajatuksesta. Tätä varten olisi pitänyt lähteä kiertämään suunnittelutoimistoja, tai tehdä hyvät kyselylomakkeet, joka olisi vienyt aikaa ja vaivaa reilusti molemmilta osapuolilta. Tästä syystä päädyttiin keräämään tieto Metson omilta suunnittelijoilta haastattelulla. Seuraavissa kappaleissa on esitetty tarkemmin kyselyn ja haastattelun teoriaa ja niiden toteutus tässä yhteydessä.

### **Tutkimusmenetelmien teoriaa**

Perinteisen tutkimusstrategiat voidaan jakaa kolmeen ryhmään: Kokeelliseen tutkimukseen, survey-tutkimukseen ja tapaustutkimukseen eli case-studyyn. Kokeellisessa tutkimuksessa mitataan yhden käsiteltävän muuttujan vaikutusta toiseen muuttajaan. Survey-tutkimuksessa kerätään tietoa standardoidussa muodossa joukolta ihmisiä ja tapaustutkimuksessa selvitetään yksityiskohtaista, intensiivistä tietoa yksittäisestä tapauksesta, tai pienestä joukosta toisiinsa suhteessa olevia tapauksia.

## Kysely tutkimusmetodina

Survey-tutkimuksen keskeisenä menetelmänä tunnettu kysely on tapa kerätä tietoa tietystä kohdehenkilöiltä standartoidusti, eli kaikilta samalla tavalla. Sen etuja on, että voidaan kerätä laaja tutkimusaineisto. Yksi kyselylomake voidaan lähettää sadoille tai tuhansille henkilöille, jolloin se säästää tutkijan aikaa. Hyvän lomakkeen laatiminen tosin on vaikeaa ja aikaa vievää. Huonoja puolia on se, että ei tiedä kuinka vakavasti vastaajat ovat suhtautuneet asiaan. Ei tiedetä myöskään, että kuinka vastaajat ovat selvillä asiasta tai kuinka onnistuneita vastausvaihtoehdot ovat vastaajan näkökulmasta. (Hirsjärvi ym. 2004, 182–184.)

Kyselyn muotoja on posti- ja verkkokysely sekä kontrolloitu kysely. Ensimmäisessä lomake lähetetään postissa tai sähköisesti ja vastaaja lähettää sen takaisin tutkijalle. Se on nopea ja vaivaton tapa, mutta toisaalta takaisin ei saada yleensä kuin 30–40 % lähetetyistä lomakkeista. Kontrolloitu kyselyä on taas kahdenlaista. Informoidussa kyselyssä tutkija jakaa henkilökohtaisesti lomakkeet ja selostaa kyselyn tarkoituksen. Vastattuaan lomakkeet palautetaan sovitulla tavalla. Toisessa tyypissä, eli henkilökohtaisesti tarkistetussa kyselyssä lomakkeet lähetetään posti- ja verkkokyselyn tavoin, mutta tutkija itse hoitaa keruun, jolloin voi tarkistaa kuinka lomakkeet on täytetty. (Hirsjärvi ym. 2004, 185–186.) Kyselyiden kysymyksiä voidaan muotoilla monella tavalla, kuten avoimilla- ja monivalintakysymyksillä, sekä asteikkoihin perustuvalla kysymystyypillä. Hirsjärvi (2004, 190–193) antaa tarkempia vinkkejä lomakkeen laadintaan. Avoimissa kysymyksissä kysymys esitetään ja vastaukseen jätetään tyhjä tila vastausta varten. Monivalintakysymyksissä taas esitetään kysymys ja annetaan vastausvaihtoehdot. Asteikkoihin perustuvassa kyselyssä esitetään väittämä ja vastaaja voi vastata, että kuinka voimakkaasti hän on samaa tai eri mieltä asiasta. (Hirsjärvi ym. 2004, 187–189.)



## Haastattelu tutkimusmetodina

Haastattelu tiedonkeruumuotona on ainutlaatuinen, sillä siinä ollaan suorassa vuorovaikutuksessa haastateltavan kanssa. Haastattelun suurena etuna on sen joustavuus. Haastattelun kulkua ja tiedonkeruuta voidaan säädellä tilanteen ja haastateltavan mukaan. Asiaan voidaan palata myöhemmin, jos tarvitsee täydentää tai tarkentaa aineistoa. (Hirsjärvi ym. 2004, 14–15.) Haastattelulla on myös huonot puolensa. Haastateltava saattaa kokea tilanteen uhkaavaksi tai epämieluisaksi, jolloin hän ei käyttydy luonnollisesti. Haastattelijan onkin asennoiduttava ja valmistauduttava haastattelutilanteeseen ennen sen toteutusta. On myös varottava myymästä omia ajatuksiaan haastateltavalle. (Hirsjärvi ym. 2004, 193–195.)

Haastattelutyyppjä on useita. Lomakehaastattelussa haastattelu tehdään lomakkeen apuna, jossa kysymysten ja väitteiden muoto on määrätty ennalta. Teemahaastattelu taas on lomakehaastattelun ja avoimen haastattelun välimuoto. Siinä haastattelun teemat, eli aihepiirit, ovat tiedossa, mutta tarkat kysymykset puuttuvat. Avoin haastattelu on haastattelutyypeistä lähimpänä keskustelua. Siinä haastattelijä selvittää haastateltavan mielipiteitä, tunteja ja käsityksiä haastattelun aiheeseen liittyen, eikä sillä ole tarkkaa kulkua, vaan haastattelijan on ohjattava keskustelua tilanteen mukaan. Se on siis hieman vaativampi kuin muut tyypit ja voi aiheuttaa useita haastattelukertoja. (Hirsjärvi ym. 2004, 196–198.)

Haastattelu voidaan toteuttaa yksilöhaastatteluna, parihaastatteluna, tai ryhmähaastatteluna. Tavan valinta on valittava tilanteen mukaan. Ryhmä- tai parihaastattelussa ihmiset saattavat olla luontevampia, kuin yksilöhaastattelussa (Hirsjärvi ym. 2004, 199–200). Toisaalta voi olla tilanne, jossa haastatellaan samanaikaisesti alaista ja esimiestä, jolloin tilanne voi kääntyä pääläelleen. Ryhmähaastattelussa haastateltavien ajattelutavat voivat kaventua, kun he alkavat ajatella asiaa toistensa lailla.

### **Kyselyn toteutus ja tulokset**

Haastattelun virhelähteiden minimoimiseksi, eli ns. laadunvarmistamiseksi tehtiin informoitu kysely haastateltaville, jossa kysyttiin ikää, koulutusta, työkokemusta ja tehtävää sekä tyytyväisyyttä työhön. Samaan lomakkeeseen liitettiin myös kysymykset suunnitteluohjeiden käyttökokemuksista ja niiden laadinnasta (ks. liite 5). Kyselyn tarkoitus oli varmistua siitä, että haastateltavien antamat vastaukset tulevat olemaan luotettavia. Kyselylomakkeet jaettiin haastateltaville henkilökohtaisesti, jonka jälkeen ne kerättiin tai palautettiin haastateltavan puolesta omalle työpisteelleni.

Kyselyyn ja sen jälkeiseen haastatteluun osallistui kolme pääsuunnittelijaa, yksi rakenneanalyttikko ja yksi suunnittelupäällikkö. Koulutukseltaan he olivat insinöörejä tai teknikoita. Kolmella hengellä työvuosia oli yli 20 ja kahdella 5-15. Kukaan ei aikaisemmin ollut toiminut vastaavissa tehtävissä muissa yrityksissä ja he olivat tyytyväisiä nykyiseen toimenkuvaansa. Suurin osa käytti suunnitteluohjeita usein ja ne oli koettu pääsääntöisesti hyödylliseksi. Kaikki olivat joskus myös itse tehneet suunnitteluohjeita. Kyselyn pohjalta voitiin varmistua, että haastatteluiden tuloksiin voidaan suhtautua riittävällä luotettavuudella. Koonti vastauksista on liitteessä 6.

### **Haastattelun toteutus ja tulokset**

Haastattelu päätettiin toteuttaa avoimella yksilöhaastattelulla. Se tehtiin Metso Paper Oy:n viira- ja puristinosilla ja mukana olivat kaikki kyselyihinkin osallistuneet henkilöt eri osastoilta ja tehtävistä. Vaikka henkilöt olivat tulleet pääosin tutuiksi, kerrottiin haastattelun alussa silti, että millainen haastattelu on tulossa ja miksi sitä tehdään. Haastateltavan mielteet ja näkemykset suunnitteluohjeiden vaatimuksista kirjattiin muistiin ja tarvittaessa ohjattiin haastattelua oikeaan suuntaan.

Haastattelun aikana kirjattujen mielteiden ja toiveiden mukaan saatiin selvitettyä hyvien suunnitteluohjeiden ominaisuudet:

- Käyttötarkoitus mainittava
  - ✚ Ohjeessa tulee kertoa selkeästi, että mitä se koskee ja mihin sitä voidaan soveltaa.
- Saavutettavissa
  - ✚ Jotta ohjetta käytettäisiin, tulee se olla suunnittelijan helposti saatavissa esimerkiksi Notes-kannassa.
- Lyhyt
  - ✚ Ohjeen tulee olla lyhyt, tai niin rakennettu, että sitä viitsii käyttää.
- Selkeä
  - ✚ Ohje ei saa jättää tulkinnanvaraa. Tekstiä pitää tukea havainnollistavilla kuvilla ja laskujen tulkinta pitää olla selkeä.
- Perustelut tarvittaessa
  - ✚ Tarvittaessa perusteet pitää esittää tai viittaus perusteluihin on esitettävä.
- Johdonmukainen
  - ✚ Asiat on esitetty oikeassa ja loogisessa järjestyksessä.
- Hyvin jäsenneilty
  - ✚ Teksti pitää jäsennellä esimerkiksi väliotsikoilla siten, että sieltä löytää tarvittavan tiedon nopeasti.
- Muutoskelpoinen
  - ✚ Ohje täytyy olla ylläpidettävissä muutoksien varalta.

Tulosten koonnin pohjalta voitiin todeta, että yrityksessä toivottavat asiat olivat hyvin pitkälle samoja kuin teoriassa esitetyt suositukset. Myös omat näkemykset olivat jo ennen ohjeen kirjoittamisen teoriaan tutustumista ja haastatteluista hyvin samoilla linjoilla.

## 6.3 Ohjeistuksen toteutus

### Ohjeistuksen rakenne ja jakaminen

Pohjatietojen perusteella päätettiin ohjeista tehdä kaksiosaiset. Ensimmäinen osa käsittää ohjekuvan liitoksesta ja toinen osa laajemman ohjeistusdokumentin perusteineen. Jälkimmäistä dokumenttia ei kuitenkaan laitettu tämän raportin liitteeksi yrityksen toiveesta ja lisäksi se olisi tämän raportin asioiden toistamista. Tämän takia ohjeen rakennetta ja ominaisuuksia pyritään kuvamaan tekstillä seuraavissa luvuissa.

Puristinosastolla on olemassa oma kansio, jossa on erilaisia nivelliitoksia koskevat tärkeimmät osat luettelomuodossa ja osien piirustukset. Nivelliitoksia koskien kansiossa on olemassa valmiit standardisoidut ns. L-mittakuvat tapeille ja laakeriholkeille, jolloin voidaan rajata paljon käytettävien nimikkeiden määrää. Määrän hallinnan lisäksi standardisoitujen osien työpiirustukset ovat valmiina, joten niitä ei tarvitse tehdä joka kerta erikseen. Piirustuksissa on siis jätetty pituusmitta auki, mutta ne on muuten mitoitettu valmiiksi. Tappeja on 10 mm välein ja muutoin ne vaihtelevat kierremallien osalta. Kaikkiaan erilaisia tappeja on 30. Holkkien piirustukset on ilmoitettu samoin, mutta ne vaihtelevat ainoastaan halkaisijan mukaan. Niitä on 14 erilaista.

Kansiossa on muitakin ohjeita liitoksiin liittyen, kuten vanha ohjekuva. Uusi ohjekonaisuus tullaan liittämään vanhojen ohjeiden tilalle, mutta sen lisäksi se jaetaan myös Notes-kannoissa, jossa on laajempi kirjasto suunnitteluohjeita. Ohjeiden molemmille osille avattiin niiden teon alla omat RAUA-tunnuksiset piirustusnumerot, joita käytetään mm. osaluetteloissa, suunnittelun tekstidokumenteissa ja kuvissa.

### Ohjekuva

Ohjekuva piti tehdä AutoCAD 2010 – ohjelmistolla puhtaalta pöydältä, sillä vanhaa kuvaa ei ollut sähköisessä muodossa. Se tehtiin käyttäen apuna kansioista löytyviä L-

mittakuvia ja komponenttitietoja, joten se kuvastaa oikeanlaista 120 mm:n tapilla toteutettua liitosta. Uusi kuva on vanhan ohjekuvan mallinen päivitetty poikkileikkauskuva, josta ilmenee pinnankarheus-, sovite- ja mittasuhtetiedot (ks. liite 7). Se pyrittiin tekemään siistimpään muotoon ja tarpeettomat tiedot poistettiin. Ohjekuvassa ilmoitetaan myös komponenttien, kuten rasvanippojen, ruuvien ja aluslaattojen, tiedot sekä Metson käyttämät nimiketunnukset niille. Välinippojen ja tulppien tunnuksia ei ilmoiteta, koska niitä on monia ja ohjeiden päivittäminen vaikeutuu, mikäli niihin tulee muutoksia. Niiden koot suhteessa tapin halkaisijaan kuitenkin kerrotaan. Tunnukset ja käytettävät tulppamallit kuvineen ilmenevät aiemmin mainitusta kansiossa. Ohjeeseen merkittiin myös aiemmin mainittuihin L-mittakuviin liittyvät nykyiset piirustusnumerot ja viittaus suunnitteluohjeen tekstidokumenttiin.

Tavoitteena on, että suunnittelija pystyy yhtä sivua katsomalla tarkistamaan poikkileikkausta koskevat mitat ja voi tarvittaessa tarkistaa perusteet nopeasti laajemmasta suunnitteluohjeet-dokumentista. Voimien ja rasitusten laskennassa sekä lujuustarkasteluissa sitä joutuu käyttämään ainakin aluksi ohjenuorana, mutta asiaan perehtyneen tulisi tarvita sitä enää ajoittaiseksi tueksi.

### **Laajempi ohjedokumentti**

Ohjekuvan lisänä oleva kirjallinen dokumentti on ohje nivelen rasituksen määrittämiseen ja mitoittamiseen. Ennen varsinaista ohjeistusta kirjoitettiin johdanto, jossa kerrotaan ohjeen sallitut käyttökohteet ja sen perusta. Dokumentin lopussa esitetään perusteet ohjekuvan ja mitoitukseen liittyville asioille. Esittämistavaksi luontevin oli työjärjestykseen perustuva tapa, koska liitoksen suunnittelu menee aina samaa reittiä. Tulkintavirheiden minimoimiseksi on pidetty mukana myös havainnollistavia kuvia. Otsikoinnit on toteutettu kolmella tasolla tämän raportointipohjan mukaisesti ja luettavuutta on pyritty parantamaan luetteloilla.

Ohjeista haluttiin lyhyet, joten asiat on tiivistetty lyhyempään ja selkeämpään muotoon ja kaikki vähemmän tärkeä tieto on jätetty pois. Näin voidaan tehdä, koska ongelmatapauksessa tiedetään tarkimpien tietojen löytyvän opinnäytetyöraportista. Vaikka ohjeet perustuvat tavallaan tähän raporttiin, viittaukset on esitetty alkuperäisiin lähteisiin. Muutoin lähteet ja lähdeviittaukset on esitetty samalla tavalla tämän dokumentin kanssa.

Ohjeistus saatiin mahtumaan tällä samalla kirjoitusasulla ja suurine kuvamäärineen rasiuksen mitoituksen osalta kolmelle sivulle. Mitoitus mahtui viidelle sivulle ja perusteet kahdeksalle sivulle. Päivitysongelmia pyrittiin poistamaan niin, että ohje laadittiin Word-muodossa, vaikka ohje tullaan kääntämään vielä tulevaisuudessa toiseen muotoon suunnitteluohjekantaan. Käännön myötä ohjeistus tulee vielä selkeytymään ja lyhenemään entisestään.

### **Ohjeiden testaus**

Paras tapa varmistua ohjeen pätevydestä on testata sitä käytännössä. Ohjeelle voitaisiin tehdä myös erillinen oikea käytettävyytestaus, mikäli olisi kyse laajemmasta kokonaisuudesta. Tässä tapauksessa olisi ollut kuitenkin riittävää, että sitä testattaisiin nivelen suunnittelussa ja käyttäjät antaisivat kommentteja, eli tehtäisiin ns. asiantuntija-arvio. Valitettavasti ohjeen testaamista ei ehditty sopimuksen puitteissa suorittamaan. Luotettavin testaus ohjeelle tulee luultavasti siten, että alihankinta-toimiston suunnittelija suunnittelee liitoksen sen mukaan. Mikäli ohjeesta löydetään epäkohtia, voidaan se tämän raportin avulla korjata toisen työntekijän toimesta.

## 7 KEHITYSEHDOTUKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Kehitysehdotukset pohjautuvat omiin ja asiantuntijoiden näkemyksiin perinteisiä nivelliitoksia koskien. Suurin epäkohta oli väärä sovite puristusliitoksessa, mutta se korjattiin välittömästi. Korjaus vaatii myös sen, että holkkien L-mittakuvat tulisi päivittää uudelle toleranssille. Muita räikeitä epäkohtia liitosten suunnittelusta ei löytenyt, vaan lähes kaikille asioille löytyi perusteet. Yksi yleisiä ohjeita vastaan kamppailtava asia oli rasvauran väärä suunta. Nykyisen rengasuran sijasta pitäisi käyttää liikesuuntaa vastaan olevia v-uria. Toisaalta v-urien valmistus vaikeuttaisi valmistusta huomattavasti, joten se ei välttämättä ole sen arvoista.

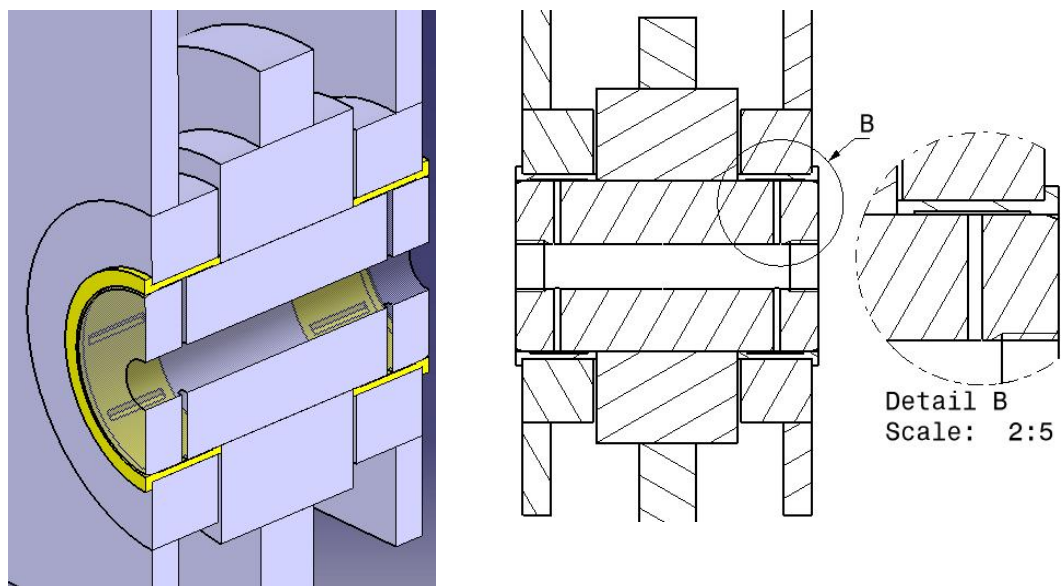
Laakeriholkkien kohdalla voisi vielä tarkemmin tutkia vaihtoehtoisia materiaaleja, koska laakerin pintapaine on lujuusmitoituksessa määräävä. Yksi vaihtoehto voisi olla alumiinipronssi, jonka myötölujuudet alkavat 200–280 MPa:sta, kun se tinapronssilla oli 160 MPa. Toisaalta niiden kulumiskestävyyden mainitaan olevan selvästi huonompi kuin tinapronssilla ja vastinpinnankovuudeksi suositeltiin 300 HB:n sijasta 400HB:tä (JM-tuoteluettelo n.d., 35). Tulisi pohtia, voidaanko suuremmat pintapaineet sallia kulumiskestävyyden kustannuksella.

Laakerin pintapaineen määräävä ominaisuus poiki myös toisen kehitysidean. Jos laakeriholkit sijoitettaisiin reunaholkeille, alentaisi se paljon laakerilla vaikuttavaa pintapainetta silloin, kun liitokseen kohdistuu poikkivoiman tuottama momentti. Mikäli laakerit siirretään reunaholkeille, tulee tappi lukita kuormitusvarteen. Asennuksen kannalta kyseeseen ei voi tulla puristusliitos, joten se täytyisi toteuttaa mekaanisesti, esimerkiksi pulteilla.

Yksi valmistettavuuteen liittyvä ongelma oli se, että kuormitusvarren holkkia vasten olevien runkholkkien päädyt on koneistettava. Se rajaa runkorakenteiden rakennetta, koska koneistus vaatii oman tilansa. Yksi mahdollinen tapa päästä koneistuksesta

eroon on tehdä laakereista niin pitkät, että ne ulottuisivat hieman teräsholkin reunan yli. Tässä huolena on se, että laakerin päädyt tuskin kestäisivät rasituksia ainakaan silloin, kun poikkivoimia esiintyy.

Huollettavuuteenkin saatiin kommentti. Virtasen (2012) mielestä ulosvetokierre olisi hyvä olla molemmissa päissä. Tilat ovat usein ahtaita, jolloin tappi huoltotilanteessa päästään poistamaan aina helpompaan suuntaan. Edellä mainittujen ehdotusten pohjalta tehtiin periaatteellinen 3D-malli asioiden selventämiseksi (ks. kuvio 44).



KUVIO 44. 3D-malli ja leikkaus kehitysehdotuksista

## 8 OPINNÄYTETYÖN TULOKSET JA YHTEENVETO

Suunnitteluohjeiden ja mitoitusperusteiden lisäksi työn tuloksena saatiin perusteet myös laakeroinnille, toleransseille ja sovitteille, pinnankarheuksille, materiaalipareille ja voitelulle. Liitosten epäkohtien ja lujuusmitoituksen pohjalta laadittiin lopuksi kehitysehdotukset, joita voidaan jatkossa mahdollisesti käyttää. Lisäksi käyttöön jäi esi-



merkkilaskuja rasituksen laskennasta ja valmiit laskentapohjat, joilla voi mitoittaa liitoksen vain lähtötietoja muuttamalla.

Tärkeänä lisänä jäi myös alussa laadittu kartoitus-dokumentti, josta liitoksien rakenteita ja käytettyjä materiaaleja voidaan nopeasti tutkia dokumenttiin kirjoitetun materiaalitietojen sekä upotettujen piirustusten ja kuvakaappausten ansiosta.

Sivutuotteena haastattelujen tuloksena saatiin selvitettyä hyvä koonti suunnitteluohjeilta vaadittavista asioista. Tästä on yritykselle hyötyä, sillä ohjeistusta tai suosituksia suunnitteluohjeen tekoon ei vielä ollut. Jatkossa koontia voidaan hyödyntää myös muissa kohteissa.

Yrityksen käyttöön jää siis hyvät perustelut sekä suoraviivaiset ohjeet perusmallisen nivelliitoksen suunnittelulle ja toteutukselle unohtamatta kehitysehdotuksia. Niveliin liittyvä hajalleen levinnyt tieto on nidottuna yksien kansien väliin, josta sitä on helppompi jatkossa tutkia.

## 9 POHDINTA

Työ ja ongelman asettelu oli koneensuunnittelun kannalta varsin perinteinen. Mielenkiintoisen työstä teki se, että siinä tuli huomioida niin montaa asiaa ja se piti siten tekijänsä vireänä. Se ei ollut välttämättä laskentojen osalta todella vaativa, mutta opetti paljon teorian soveltamista todelliseen ja hieman ongelmalliseen tilanteeseen. Heti työn alussa riitti purtavaa myös paperin valmistuksen ja paperikoneen rakenneryhmien opiskelussa. Aiempaa tuntemusta kummastakaan ei ollut oikeastaan yhtään, joten asiat tuli selvitettyä itselle jo heti työn alussa.

Kartoitustyön tekeminen oli tasaista puurtamista, joka ei sujunutkaan aivan suunnitelmien mukaan. Alun perin kartoitukseen oli suunniteltu kuluvan kaksi viikkoa, kun

se todellisuudessa kesti viisi ja puoli viikkoa. Tämä johtui paljolti siitä, että materiaalit oli kartoitettava erikseen ja Catia kaatuili työkoneessa olevan vian takia. Kone saatiin kuitenkin juuri kartoituksen lopussa korjattua ja huollon jälkeen työ sujui jouhevammin ja aikataulussa pysyttiin hyvin. Toteutunut aikataulu vastasi suunniteltua aikataulua lähes täysin kartoituksesta eteenpäin.

Oman ajankäytön oppimisen kannalta seurattiin myös käytettyjä tunteja. Suuret kartoitukseen käytetyt tuntimäärät johtivat pieniin lisärajauksiin ja aikataulun venyttämiseen. Ajan käytön priorisointia olisi voitu tehostaa suorittamalla kartoitus pienemmässä mittakaavassa ja ilman häiriötekijöitä. Sinä aikana muihin asioihin tehty tutkimustyö olisi ollut mielekkäämpää tekijälleen ja samalla yritykselle kartoitustietoa arvokkaampaa. Yhteensä tunteja kului kaikkiaan hieman alle 500 h, joka kuormitti kevyttä melko kiitettävästi. Se vastaa hieman enempää, kuin opinnäytetyön ohjeai-ka on, varsinkin kun ajasta on laskettu pois kahvi- ja ruokatunnit.

Tehdyn työn tuloksiin eli yleismallin nivelen suunnittelu- ja mitoitusperusteisiin sekä niiden pohjalta laadittuihin ohjeisiin olen tyytyväinen. Ohjeiden perusteella päästään hyvin todennäköisesti yhtenäisempään suunnitteluun liitoksien kohdalla. Tällöin suunnittelu ei ole enää kirjavaa, vaan liitoksista tulee samanlaisia ja toiminta on laatu- ja järjestelmän mukaista. Aina löytyy tietysti parannettavaakin, kun esimerkiksi liitoksen hitsien tarkastelu tässä yhteydessä olisi sopinut hyvin kokonaisuuteen. Aloituspä-laverissa sitä mietittiin, mutta se olisi ollut hyvin suuritöinen, koska se liittyy osittain jo runkosuunnitteluun. Myös se jäi harmittamaan, että työ ottaa kantaa vain perusmallisen liitoksen mitoitukseen, kun alun perin tavoite oli saada ohjeet kaikille suuril-le nivelliitostyypeille. Toisaalta niiden rajaus työn ulkopuolelle oli oikein, jotta stan-dardin mukaan mitoittaville liitoksille saatiin huolella laaditut perusteet ja -ohjeet. Iso osahan kysymyksistä käsitteli sitä, kuinka syntyvät voimat huomioidaan liitoksessa ja kuinka niitä käytetään standardin mukaisessa laskennassa. Joten jos tulevaisuudes-sa halutaan tehdä samanlainen ohje esimerkiksi epäsymmetriselle liitokselle, on se

näiden perusteiden myötä helpompaa, mikäli sille edes nähdään tarvetta liitostyyppien vähäisyyden takia. Vaikka kustannusnäkökulmakin pidettiin läpi työn mielessä, olisi voinut erikseen tehdä kustannusarvion esimerkiksi laskemalla rahallisen hyödyn säästettyjen suunnittelutuntien kautta. Muuta kautta edes suuntaa antavat arviot tuskin olisivat toteutuneet.

Ohjeiden laadinnassa pohjatiedon keruu jäi hieman vajaaksi ainakin alkuperäiseen suunnitelmaan verraten, kun suunnittelutoimistoihin ajatellut haastatellut eivät toteutuneet. Hyvän kartoituksen tekemiseen olisi lisäksi tarvittu suurempi otanta, mutta toisaalta suurin osa ja tärkeimmät asiat taatusti saatiin selville, kun lähes kaikki haastattelijoista painottivat samoja ominaisuuksia. Harmillista oli, ettei ohjeistusta keritty testaamaan esimerkiksi alihankkijalla, kun sen hiominen kesti sopimuksen viimeisille päiville asti. Keskeneräistä ohjetta olisi ollut turha testata, eikä tiedossa edes ollut seuraava liitosten suunnittelun ajankohtaa.

Työskentely Metso Paper Oy:lla opetti työskentelytapoja suuressa yrityksessä ja suunnittelutyössä, jotka molemmat olivat tekijälle uusia. Suuressa talossa työskentelyssä oli molemmat puolensa. Sen haittapuolia oli esimerkiksi raskas organisaatio, mikä johti siihen, että asiat tapahtuivat usein viiveellä. Ehdottomasti hyviä puolia oli taas samojen seinien sisällä ja yrityksen järjestelmissä oleva todella suuri tietomäärä, joten tukea ja tietoa oli kyllä saatavilla tarvittaessa työn tekemiseen. Vaikka tietoa on paljon, niin sen etsiminen ei välttämättä silti ole aina helppoa. Se voi hukkuu suuriin tietoteknisiin järjestelmiin, tai sitten se on jonkin henkilön mukana kulkevaa tietoa, jolloin täytyisi tietää kenen puoleen asiassa kääntyy. Lisäksi haasteita asetti paljon se, että lähes jokaisella oli asioista oma näkemys. Tästä syystä linjaukset ja kaikkia miellyttävien kompromissien tekeminen saattoi olla välillä hankalaa. Kokemus oli kaikkiaan kuitenkin opettavainen. Se opetti vuorovaikutus- ja tiedonhankintataitoja, ajankäytön hallintaa, työskentelemään itsenäisesti ja vastuun kantoa. Siinä sivussa kehittyivät myös tekijän tietoteknisten järjestelmien ja uusien ohjelmien käyttötaidot.

Vaikka edellä mainitsin, että moni asia ei ollut täydellinen, tai jäi harmittamaan, niin olen silti kokonaisuuteen hyvinkin tyytyväinen. Negatiiviset asiat johtuivat ennemminkin liian monimutkaisiksi paisuvista aiheista ja työn rajausongelmista, kuin omasta motivaatiosta ja panoksesta. Työhön suhtauduttiin sen vaatimalla vakavuudella ja sille uhrattiin paljon aikaa. Siitä jäi jälkeinpäin hyvä maku suuhun, vaikka se vaati välillä pitkiä hermoja. Myös toimeksiantaja vaikutti olevan työhön hyvin tyytyväinen, jolloin voin kokea työlläni olevan arvoa.

## LÄHTEET

Aimo, P. 2004. Koneenpiirustus korkeakouluja varten. 3. p. Espoo: Kirpe Oy.

Forming sections. 2004. Sisäinen koulutusmateriaali Metson intranetissä. Viitattu 25.1.2012.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2004. Tutki ja kirjoita. 10 uud. p. Helsinki: Tammi.

Hägglom-Ahgner, U. & Komulainen, P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus. Kemiallinen metsäteollisuus 2. 5. p. Helsinki: Opetushallitus.

JM-Tuoteluettelo. n.d. Pronssi-aihioiden ja laakereiden tuoteluettelo sekä suunnitteluositukset. Viitattu 24.3.2012. <http://www.johnson-metall.fi/>, Tuoteluettelo.

Kalsi, M. 2005. Pinnankarheuden valintaohjeita. Sisäinen suunnitteluohje Metson Notes-tietokannoissa. Viitattu 24.3.2012.

Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. 2004. Tribologia – kitka, kuluminen ja voitelu. 4. korjattu p. Helsinki: Otatieto.

KnowPap. 2004. Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. Versio 6.0. VTT. Oppimisympäristö käytettävissä Metson Intranetissä. Viitattu 25.1.2012.

KnowPap. 2010. Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. Versio 12.0. VTT. Viitattu 25.1.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, Tekniikka ja Liikenne.

Koneenosien suunnittelu. 2003 4. p. Helsinki: WSOY.

Koneenosien suunnittelu 1, Perusteet. 1985. Porvoo: WSOY.

Korpela, J. 1996. Arkisen asiakirjoittamisen opas. Ohjeita eri kirjoitustilanteisiin: Ohjeen kirjoittaminen. Viitattu 13.4.2012. <http://www.cs.tut.fi/~jkorpela/kirj/7.7.html>

Kouhi, J. 2011. Tulkinnan tarkistus normista SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.13. Sähköpositiivisesti 08.09.2011. Vastaanottaja P. Valjus. Teräsrakenneyhdistyksen edustajan selvitys standardin leikkaus- ja reunapuristuskestävyyden tarkastelun tulkinnasta Metso Paper Oy:lle.

Malinen, R. 2012. Chief engineer. Metso Paper Oy. Haastattelu 24.4.2012.

Malinen, R. & Valjus P. 2010. Metso lubricants - Teollisuusvoitelurasvat. Sisäinen ohjemateriaali voiteluainesuosituksista Metson Notes-tietokannoissa. Viitattu 24.4.2012.

Metso Oyj: Rautapohjan perehdyttämispöytäkirja 2011. Perehdyttämisesite uudelle työntekijälle.

Metso – vuosikertomus. 2010. Helsinki: Metso Oyj.

Metso lyhyesti. 2011. Kertomus Metso Oyj:n sivustolla. Viitattu 16.1.2012. [www.metso.com](http://www.metso.com), metso yrityksenä, metso lyhyesti.

Metso yleisesitys. 2011. Sähköinen esitysmateriaali Metso-konsernista. Viitattu 16.1.2012. [www.metso.com](http://www.metso.com), metso yrityksenä, metso lyhyesti, metson yleisesitys.

Metso press section concepts. 2011. Sisäinen koulutusmateriaali Metson Intranetissä. Viitattu 25.1.2012.

Pakarinen, P. 2012. Vanhempi kehitysinsinööri. Metso Paper Oy. Haastattelu 24.4.2012.

Palviainen, J. 2010. Käyttöohjeen kirjoittaminen. Ohjelmistotuotannon projektityötä koskeva esitys Tampereen teknillisessä yliopistossa. Viitattu 13.4.2012. [http://www.cs.tut.fi/~projekti/dokumentit/JP\\_kayttoohje-30112010.pdf](http://www.cs.tut.fi/~projekti/dokumentit/JP_kayttoohje-30112010.pdf)

Ruostumattomat teräkset kosketuksissa muiden metallisten materiaalien kanssa. 2011. Materiaalit ja niiden käyttösovellukset –sarja, julkaisu 10. Bryssel: Euro Inox. Viitattu 12.4.2012. [www.euro-inox.org/pdf/map/Contact\\_with\\_Other\\_FI.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/Contact_with_Other_FI.pdf).

SFS-EN 1993-1-1. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu, Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 22.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu, Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 22.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.

SFS-EN 10088-2. 2005. Ruostumattomat teräkset. osa 2: Yleiseen käyttöön tarkoitettut korroosionkestävät levyt ja nauhat. Tekniset toimitusehdot. 2. p. Helsinki: Suo-

men standardisoimisliitto SFS. Viitattu 26.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.

SFS-EN 10088-3. 2005. Ruostumattomat teräkset. osa 3: Yleiseen käyttöön tarkoitettut korroosionkestävät tangot, valssilangat, langat, profiilit, kirkkaat tuotteet ja puolivalmisteet. Tekniset toimitusehdot. 2. p. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 26.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.

Stock Preparation and Wet End. 2008. Papermaking Science and Technology: Papermaking Part 1. 2. e. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association / Paperi ja Puu Oy.

Teollisuusvoitelu 2006. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 8. 4. p. Helsinki: KP-Media Oy.

Valtanen, E. 2008. Tekniikan taulukkokirja. 16. p. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.

Villgren, H. 2010. Puristimen nostolaitteiden lujuusmitoitus. Sisäinen muistio Metson Notes-tietokannoissa. Viitattu 6.3.2012.

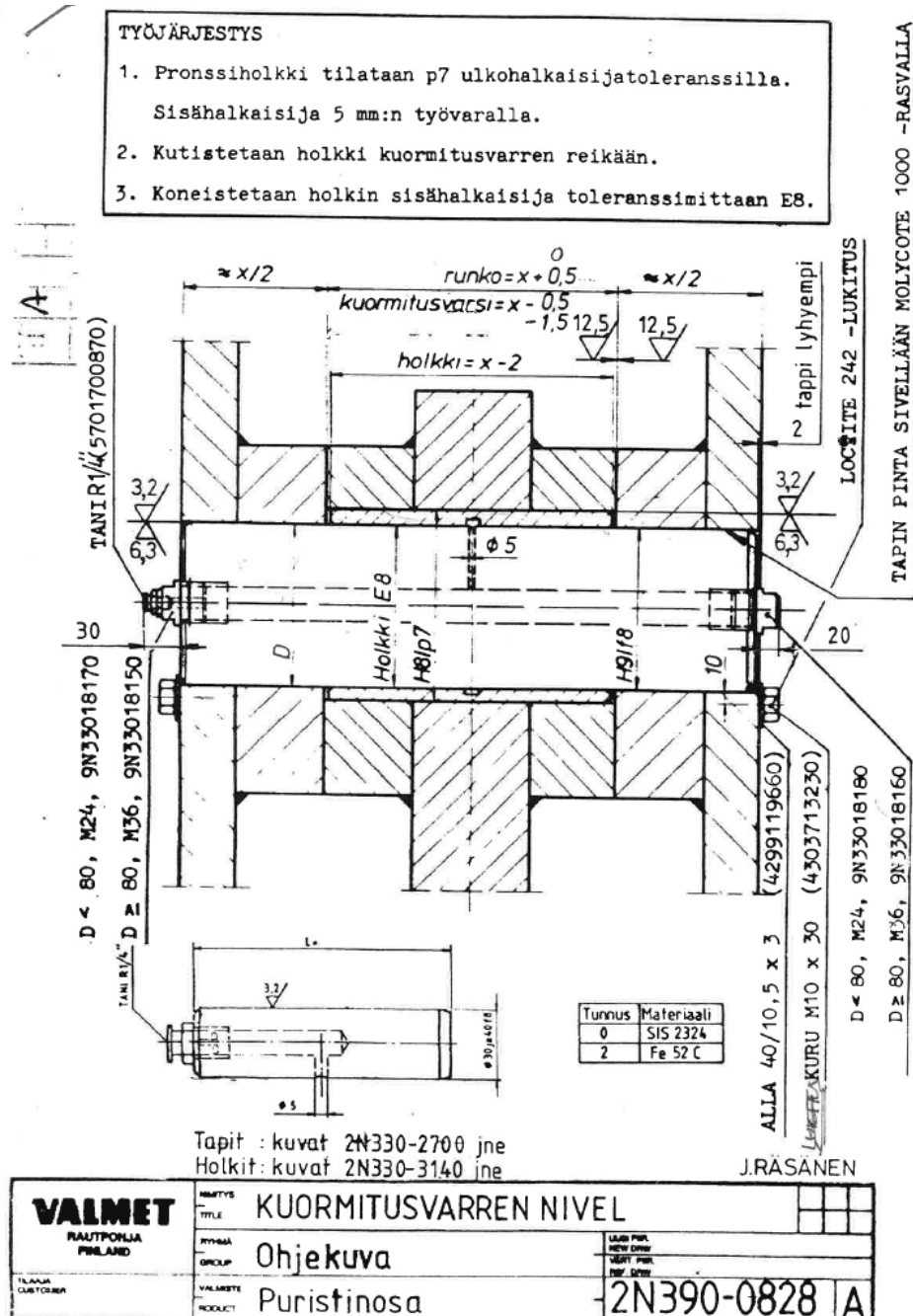
Virtanen, M. 2012. Valmistussuunnittelija. Haastattelu 12.4.2012.

Vitikka, M. 2012. Rakenneanalyttikko. Haastattelu 12.3.2012.

Zhou, Z. 2011. Energy efficient gap former and headbox concept. Sisäinen koulutusmateriaali Metson Intranetissä. Viitattu 25.1.2012.

# LIITTEET

## Liite 1. Nivelliitoksen vanha suunnitteluohje





## Liite 2. MathCad-laskentadokumentti tukivoimista

### TUKIVOIMIEN LASKENTA

Mallina KIPASPM1, PICK-UP, RAUZ379765

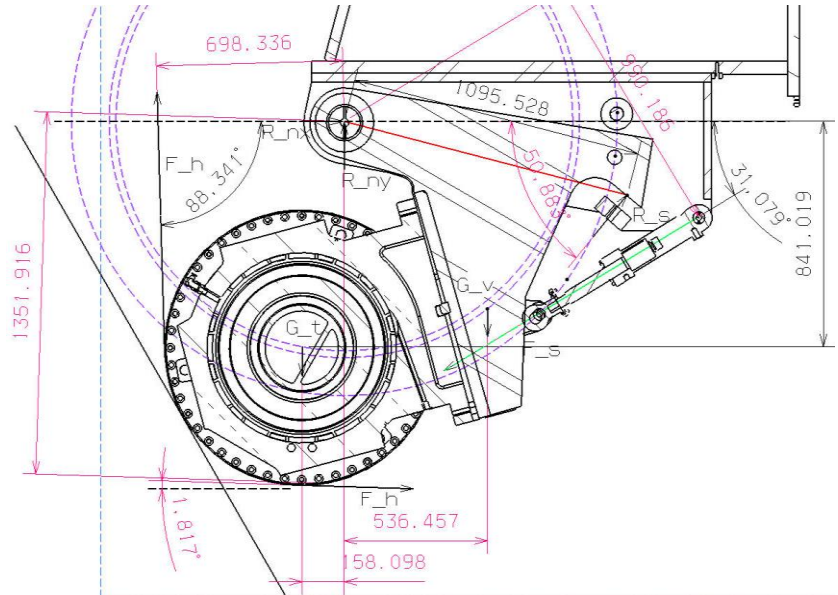
Laskija: M. Vaskelainen

$m_t := 18600\text{kg}$	<i>telan massa</i>
$G_t := \frac{m_t \cdot g}{2} = 9.12 \times 10^4 \text{N}$	<i>massasta syntyvä kuorma per nivel</i>
$m_v := 1546\text{kg}$	<i>varsien ja muiden liikkuvien osien massa</i>
$G_v := \frac{m_v \cdot g}{2} = 7.581 \times 10^3 \text{N}$	<i>massasta syntyvä kuorma</i>
$x_n := 8.65\text{m}$	<i>telan tai nipin pituus</i>
$S := 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	<i>huovan tai viiran kireys</i>
$F_h := \frac{S \cdot x_n}{2} = 2.595 \times 10^4 \text{N}$	<i>kireyden tuottama kuorma per nivel</i>
$Q_{\text{huopa}} := 500 \frac{\text{N}}{\text{m}}$	<i>arvioitu vpoikkisuuntainen voima huovan vetäessä vinoon ajotilanteessa</i>
$F_{x,\text{huopa}} := \frac{Q_{\text{huopa}} \cdot x_n}{2} = 2.163 \times 10^3 \text{N}$	<i>huovan vinouden tuottama rasitus per nivel</i>
$\mu := 0.2$	<i>kitkakerroin laakerin ja laakeripesän liukupinnoilla</i>
$F_{x,\text{liuku}} := \mu \cdot G_t = 1.824 \times 10^4 \text{N}$	<i>poikkisuuntainen voima johtuen laakerin liukumisesta laakeripesässä (kanttauksessa ja lämpölaajenemisessa)</i>
$F_{x,\text{ajo}} := F_{x,\text{huopa}} + F_{x,\text{liuku}} = 2.04 \times 10^4 \text{N}$	<i>poikkisuuntainen voima per nivel ajotilanteessa</i>
$A_s := \pi \cdot (40\text{mm})^2$	<i>sylinterin männän puoleinen ala (80/50 -200)</i>
$p_a := 10\text{MPa}$	<i>alaskupaine</i>
$F_{\text{syl},\text{ajo}} := A_s \cdot p_a = 5.027 \times 10^4 \text{N}$	<i>sylinterivoima alaspäin</i>

**Tapaus 1**

Ajotilanne. Painatus sylinterillä stopparia vasten. Kuormana sylinterivoima, huovan kireys ja massat. Viiran kireyttä ei huomioida, koska 13mm painatuksella sillä on yhteensä noin 2kN keventävä vaikutus.

$$\begin{aligned} e_{\text{syl1}} &:= 990.186\text{mm} \\ e_{\text{h1}} &:= 698.336\text{mm} \\ e_{\text{h2}} &:= 1351.196\text{mm} \\ e_{\text{gt1}} &:= 158.098\text{mm} \\ e_{\text{gv1}} &:= 536.457\text{mm} \\ e_{\text{stop}} &:= 1095.528\text{mm} \\ \alpha_{\text{rs}} &:= 50.883\text{deg} \\ \alpha_{\text{s1}} &:= 88.34\text{deg} \\ \alpha_{\text{s2}} &:= 1.187\text{deg} \\ \alpha_{\text{syl1}} &:= 31.079\text{deg} \end{aligned}$$



Tukivoima stopparilla, momenttipiste niveltapin kohdalla:

$$R_s := \frac{F_h \cdot e_{\text{h1}} + F_{\text{syl.ajo}} \cdot e_{\text{syl1}} + G_v \cdot e_{\text{gv1}} - G_t \cdot e_{\text{gt1}} - F_h \cdot e_{\text{h2}}}{e_{\text{stop}}} = 2.052 \times 10^4 \text{ N}$$

$$R_{\text{sy}} := R_s \cdot \sin(\alpha_{\text{rs}}) = 1.592 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{stopparin y-tukireaktio}$$

$$R_{\text{sx}} := R_s \cdot \cos(\alpha_{\text{rs}}) = 1.295 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{stopparin x-tukireaktio}$$

$$F_{\text{s1y}} := F_h \cdot \sin(\alpha_{\text{s1}}) = 2.594 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{huovan y-komponentti}$$

$$F_{\text{s1x}} := F_h \cdot \cos(\alpha_{\text{s1}}) = 751.73 \text{ N} \quad \text{huovan x-komponentti}$$

$$F_{\text{s2y}} := F_h \cdot \sin(\alpha_{\text{s2}}) = 537.569 \text{ N} \quad \text{huovan y-komponentti}$$

$$F_{\text{s2x}} := F_h \cdot \cos(\alpha_{\text{s2}}) = 2.594 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{huovan x-komponentti}$$

$$F_{\text{syl.y1}} := F_{\text{syl.ajo}} \cdot \sin(\alpha_{\text{syl1}}) = 2.595 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{sylinterivoiman y-komponentti}$$

$$F_{\text{syl.x1}} := F_{\text{syl.ajo}} \cdot \cos(\alpha_{\text{syl1}}) = 4.305 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{sylinterivoiman x-komponentti}$$

$$R_{ny1} := G_v + G_t + F_{syl.y1} + F_{s2y} - R_{sy} - F_{s1y} = 8.341 \times 10^4 \text{ N} \text{ nivelen } y\text{-tukireaktio}$$

$$R_{nx1} := F_{s1x} - F_{s2x} + F_{syl.x1} - R_{sx} = 4.912 \times 10^3 \text{ N} \text{ nivelen } x\text{-tukireaktio}$$

$$R_{1n} := \sqrt{R_{nx1}^2 + R_{ny1}^2} = 8.355 \times 10^4 \text{ N} \text{ niveltapin resultanttivoimat (} F_{ed} \text{)}$$

**Tukireaktiot vpoikkisuuntaisista voimista koneen käydessä:**

$$e_{laakeri} := 841 \text{ mm}$$

$$b := 100 \text{ mm}$$

$$a := 30 \text{ mm}$$

$$c := 10 \text{ mm}$$

$$e_a := \frac{b}{2} + \frac{a}{2} + c$$

$$B_{y1} := \frac{F_{x.ajo} \cdot e_{laakeri}}{2e_a} = 1.144 \times 10^5 \text{ N} \text{ oikkivoiman luoma kireaktion lisä itoksessa}$$

$$M_{x1} := B_{y1} \cdot 2 \cdot e_a = 1.716 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{m} \text{ Momentti liitoksen keskellä, kun } A_y = B_y.$$

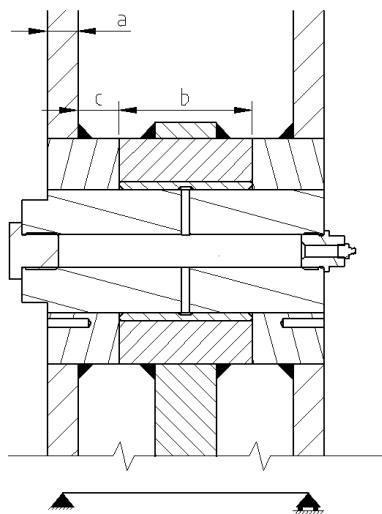
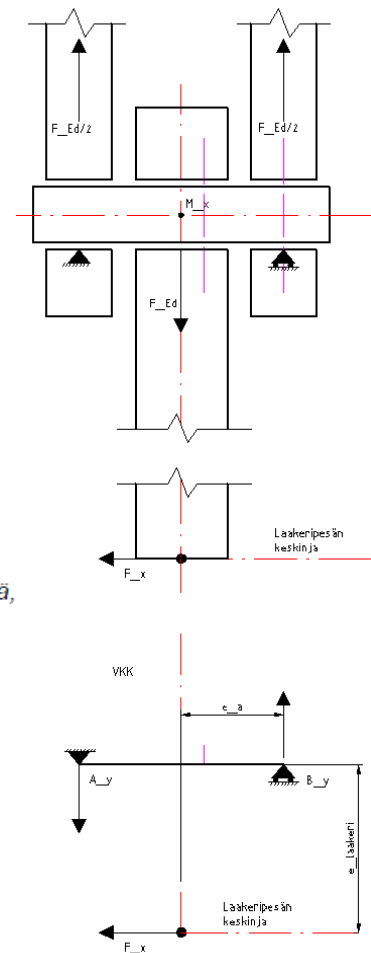
*etäisyys laakerin keskilinjasta tapin keskilinjaan*

*keskiholkin pituus*

*sivulevyn paksuus*

*sivulevyn ja keskiholkin välinen mitta*

*etäisyys keskilinjasta tukipisteeseen*



**Tapaus 2**

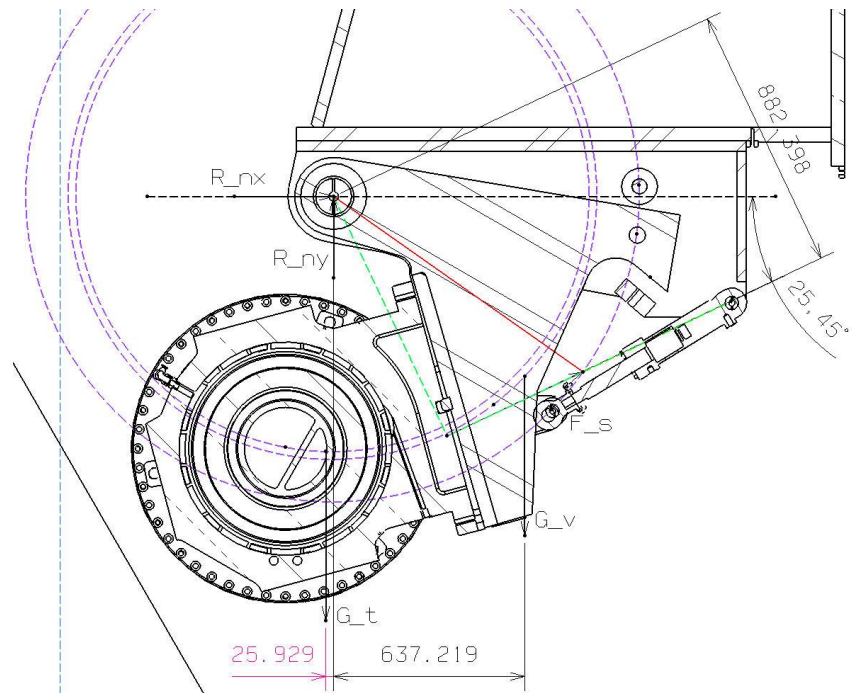
Tapaus, kun tela ylhäällä sylinterin varassa

$$e_{\text{syl}3} := 882.398\text{mm}$$

$$e_{\text{gt}3} := 25.929\text{mm}$$

$$e_{\text{gv}3} := 637.219\text{mm}$$

$$\alpha_{\text{syl}3} := 25.45\text{deg}$$



$$F_{\text{syl}.3} := \frac{G_v \cdot e_{\text{gv}3} - G_t \cdot e_{\text{gt}3}}{e_{\text{syl}3}} = 2.794 \times 10^3 \text{ N}$$

Sylinterivoima. Momenttipiste  
niveltapin kohdalla

$$F_{\text{syl}.y3} := F_{\text{syl}.3} \cdot \sin(\alpha_{\text{syl}3}) = 1.201 \times 10^3 \text{ N}$$

sylinterivoiman y-komponentti

$$F_{\text{syl}.x3} := F_{\text{syl}.3} \cdot \cos(\alpha_{\text{syl}3}) = 2.523 \times 10^3 \text{ N}$$

sylinterivoiman x-komponentti

$$R_{\text{ny}3} := G_v + G_t + F_{\text{syl}.y3} = 9.998 \times 10^4 \text{ N}$$

nivelen y-tukireaktio

$$R_{\text{nx}3} := F_{\text{syl}.x3} = 2.523 \times 10^3 \text{ N}$$

nivelen x-tukireaktio

$$R_{\text{n}3} := \sqrt{R_{\text{nx}3}^2 + R_{\text{ny}3}^2} = 1 \times 10^5 \text{ N}$$

niveltapin resultanttivoimat ( $F_{\text{ed}}$ )

**Tapaus 3**

Tapaus, kun tela ylhäällä lukkotapin varassa ja painatus sylinterillä alaspäin

$$e_{\text{syl}4} := e_{\text{syl}3}$$

$$e_{\text{gt}4} := e_{\text{gt}3}$$

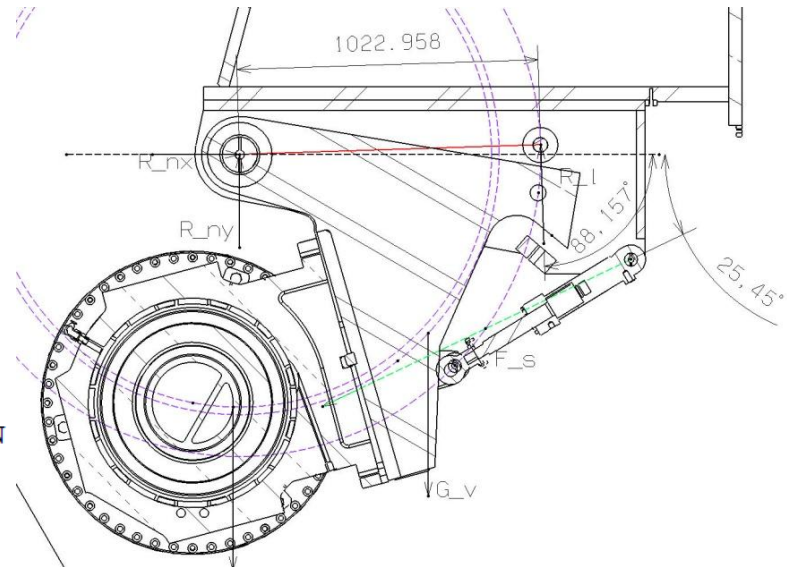
$$e_{\text{gv}4} := e_{\text{gv}3}$$

$$e_{\text{lukko}} := 1022.958 \text{ mm}$$

$$\alpha_{\text{syl}4} := \alpha_{\text{syl}3}$$

$$\alpha_{\text{lukko}} := 88.157 \text{ deg}$$

$$F_{\text{syl.ajo}} = 5.027 \times 10^4 \text{ N}$$



$$R_1 := \frac{G_v \cdot e_{\text{gv}4} - G_t \cdot e_{\text{gt}4} + F_{\text{syl.ajo}} \cdot e_{\text{syl}4}}{e_{\text{lukko}}} = 4.577 \times 10^4 \text{ N}$$

Lukkotapin tukireaktiot.  
Momenttipiste niveltapin  
kohdalla.

$$R_{1y} := R_1 \cdot \sin(\alpha_{\text{lukko}}) = 4.575 \times 10^4 \text{ N}$$

$$R_{1x} := R_1 \cdot \cos(\alpha_{\text{lukko}}) = 1.472 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{\text{syl.y}4} := F_{\text{syl.ajo}} \cdot \sin(\alpha_{\text{syl}4}) = 2.16 \times 10^4 \text{ N}$$

sylinterivoiman y-komponentti

$$F_{\text{syl.x}4} := F_{\text{syl.ajo}} \cdot \cos(\alpha_{\text{syl}4}) = 4.539 \times 10^4 \text{ N}$$

sylinterivoiman x-komponentti

$$R_{ny4} := G_v + G_t + F_{\text{syl.y}4} - R_{1y} = 7.464 \times 10^4 \text{ N}$$

nivelen y-tukireaktio

$$R_{nx4} := R_{1x} + F_{\text{syl.x}4} = 4.686 \times 10^4 \text{ N}$$

nivelen x-tukireaktio

$$R_{n4} := \sqrt{R_{nx4}^2 + R_{ny4}^2} = 8.813 \times 10^4 \text{ N}$$

niveltapin resultanttivoimat ( $F_{ed}$ )

**Tapaus 4**

Tapaus, kun tela ylhäällä lukkotapin varassa.

$$e_{syl5} := e_{syl3}$$

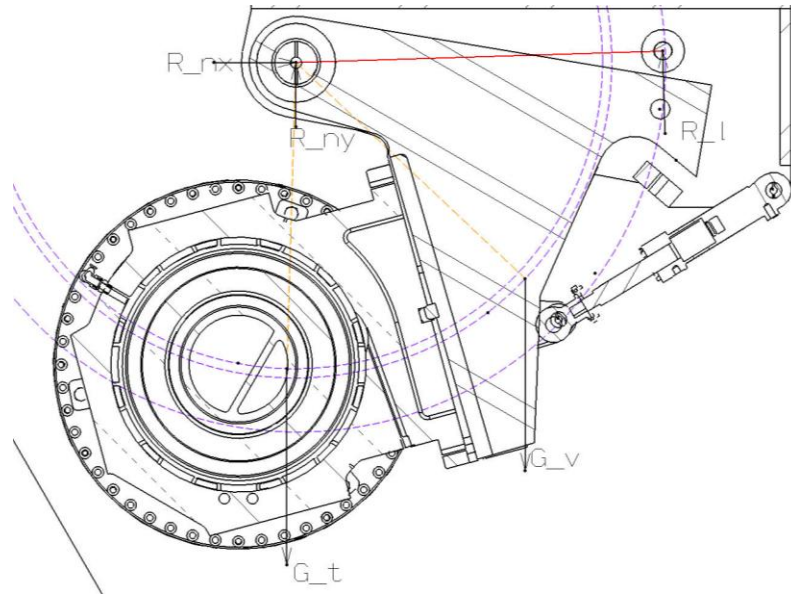
$$e_{gt5} := e_{gt3}$$

$$e_{gv5} := e_{gv3}$$

$$e_{lukko} = 1.023 \text{ m}$$

$$\alpha_{syl5} := \alpha_{syl5}$$

$$\alpha_{lukko} = 88.157 \cdot \text{deg}$$



$$R_{l5} := \frac{G_v \cdot e_{gv5} - G_t \cdot e_{gt5}}{e_{lukko}} = 2.41 \times 10^3 \text{ N}$$

Lukkotapin tukireaktiot.  
Momenttipiste niveltapin kohdalla.

$$R_{ly5} := R_{l5} \cdot \sin(\alpha_{lukko}) = 2.409 \times 10^3 \text{ N}$$

lukkotapin  
y-tukireaktio

$$R_{lx5} := R_{l5} \cdot \cos(\alpha_{lukko}) = 77.519 \text{ N}$$

lukkotapin  
x-tukireaktio

$$R_{ny5} := G_v + G_t - R_{ly5} = 9.637 \times 10^4 \text{ N}$$

nivelen y-tukireaktio

$$R_{nx5} := R_{lx5} = 77.519 \text{ N}$$

nivelen x-tukireaktio

$$R_{n5} := \sqrt{R_{nx5}^2 + R_{ny5}^2} = 9.637 \times 10^4 \text{ N}$$

niveltapin resultanttivoimat ( $F_{ed}$ )

**Tukireaktiot poikkisuuntaisista voimista kantauksessa:**

$$B_{y2} := \frac{F_{x.liuku} \cdot e_{laakeri}}{2e_a} = 1.023 \times 10^5 \text{ N}$$

poikkivoiman luoma  
tukireaktion lisä

$$M_{x2} := B_{y2} \cdot 2 \cdot e_a = 1.534 \times 10^4 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Momentti liitoksen keskellä,  
kun  $A_y = B_y$ .

## Liite 3. MathCad-laskentadokumentti liitoksen mitoituksesta

Niveltapin mitoitus  
SFS-EN- 1993-1-8 mukaan  
/ M. Vaskelainen  
Luotu:22.3.2012

1

### Niveltapin mitoitus Eurocode 3 mukaan. (SFS-EN 1993-1-8)

Tilanne : Kipas Pick-up, huoltoasento + kanttaus

#### 1. Kuormitukset, osavarmuudet ja geometriatiedot

$$F_{yy} := 9.637 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Niveltapin pystysuuntainen resultanttivoima

$$F_{xy} := 1.023 \cdot 10^5 \text{ N}$$

Vaakavoimasta aiheutuva tukivoiman lisä toiselle puolelle

$$F_{Ed.ser} := F_{yy} + 2F_{xy} = 3.01 \times 10^5 \text{ N}$$

käyttörajan kuorma, voiman mitoitusarvo.  
Huom: lasketaan kriittisemmän puolen mukaan!

$$\gamma_Q := 2$$

kuorman osavarmuusluku (Puristimen  
nostolaitteiden lujuusmitoitus-muistiosta)

$$\gamma_{M6.ser} := 1$$

$$\gamma_{M0} := 1$$

Aineosavarmuusluvut  
(1993-1-8, s 19.)

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$F_{Ed} := F_{Ed.ser} \cdot \gamma_Q = 6.019 \times 10^5 \text{ N}$$

Levymateriaalin myötö- ja murtorajat  
(Ruostumattomat SFS-EN 10088-2, s.37.  
Rakenneteräksset: SFS-EN 1993-1-1 s.26):

$$f_y := 220 \text{ MPa}$$

$$f_u := 520 \text{ MPa}$$

Tapin venymä- ja murotraja  
(SFS-EN- 10088-3 s-55)

$$f_{yp} := 450 \text{ MPa}$$

$$f_{up} := 650 \text{ MPa}$$

$$E := 200 \text{ GPa}$$

$$t_1 := 100 \text{ mm}$$

keskiholkin pituus

$$t_2 := 50 \text{ mm}$$

reunaholkkien pituus (=b)

$$d_0 := 120.126 \text{ mm}$$

reiän halkaisija

$$d := 119.91 \text{ mm}$$

tapin halkaisija

$$d_{pr} := 10 \text{ mm}$$

tapin rasvakanavan halkaisija

$$a := 30 \text{ mm}$$

sivulevyn paksuus

$$c_w := 10 \text{ mm}$$

sivulevyn ja keskiholkin välinen rako

$$b := t_1$$

keskiholkin pituus

$$t_3 := 60 \text{ mm}$$

keskilevyn paksuus

$$d_{hk} := 220 \text{ mm}$$

keskiholkin ulkohalkaisija

$$d_{hs} := 220 \text{ mm}$$

reunaholkkien halkaisijat

## 2. Pintapaineen tarkistus:

$D_i := d_0$	<i>laakeriholkin sisähalkaisija</i>
$B := t_1 - 12\text{mm}$	<i>laakeriholkin pituus, vähennettynä rasvaura (10mm) ja päätyjen lyhennys (2mm)</i>
$p_m := \frac{F_{yy}}{D_i \cdot B} \quad p_m = 9.116\text{-MPa}$	<i>keskimääräinen pintapaine pystyvoimasta <math>F_{ed}</math></i>
$M_x := 1.534 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{m}$	<i>momentti liitoksen keskellä. (Ota arvo tukivoimien laskenta-dokumentista.)</i>
$B_y := \frac{M_x}{2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{t_1}{2}} = 2.301 \times 10^5 \text{ N}$	<i>tukivoima kolmion painopisteen kohdalla</i>
$q_x := \frac{B_y \cdot 2}{\frac{t_1}{2}} = 9.204 \times 10^3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$	<i>viivakuorma</i>
$p_x := \frac{q_x}{D_i} = 76.62\text{-MPa}$	<i>vaakavoimasta <math>F_x</math> aiheutuva pintapaine</i>
$p_{\max} := p_m + p_x = 85.736\text{-MPa}$	<i>pintapaineen suuruus maksimikohdassa</i>
$R_{e,\text{CuSn12}} := 160\text{MPa}$	<i>laakeriholkin myötöraja</i>
$p_{\text{sall}} := \frac{R_{e,\text{CuSn12}}}{2}$	<i>sallittu pintapaine liukumisnopeuden ollessa <math>&lt; 0,017\text{m/s}</math> ajoittaisessa käytössä, voidaan pintapaineeksi sallia puolet materiaalin myötöarvosta. (Johnson Metal tuote-esite)</i>
$\frac{p_{\max}}{p_{\text{sall}}} = 1.072 < 1$	



### 3. Geometriset vaatimukset

Merkitään keskilevyä 1:llä ja sivulevyjä 2:lla.

Keskilevy:

$$a_{t1} := \frac{F_{Ed} \cdot \gamma M_0}{2 \cdot t_3 \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_{hk}}{3} \quad a_{t1} = 169.467 \cdot \text{mm}$$

$$c_{t1} := \frac{F_{Ed} \cdot \gamma M_0}{2 \cdot t_3 \cdot f_y} + \frac{d_{hk}}{3} \quad c_{t1} = 96.134 \cdot \text{mm}$$

Sivulevyt:

$$F_{Ed,2} := \frac{F_{Ed}}{2} = 3.01 \times 10^5 \text{ N}$$

sivulevyille tuleva kuorma (puolikuorma pystykuormasta ja vaakavoiman luoma tukireaktio)

$$a_{t2} := \frac{F_{Ed,2} \cdot \gamma M_0}{2 \cdot a \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_{hs}}{3} \quad a_{t2} = 169.467 \cdot \text{mm}$$

$$c_{t2} := \frac{F_{Ed,2} \cdot \gamma M_0}{2 \cdot a \cdot f_y} + \frac{d_{hs}}{3} \quad c_{t2} = 96.134 \cdot \text{mm}$$

#### 4. Kestävyyden tarkistus, kun niveltappi pitää olla vaihdettavissa

##### 4.1 Tapin leikkaantuminen:

tapin poikkipinta-ala

$$A_{\text{pin}} := \frac{\pi \cdot (d^2 - d_{\text{pr}}^2)}{4}$$

$$A_{\text{pin}} = 0.011 \text{ m}^2$$

tapin leikkauskestävyys (yhtä leikettä kohti)

$$F_{\text{v.Rd}} := \frac{0.6 \cdot A_{\text{pin}} \cdot f_{\text{up}}}{\gamma_{\text{M2}}}$$

$$F_{\text{v.Rd}} = 3.499 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\frac{F_{\text{Ed}}}{2 \cdot F_{\text{v.Rd}}} = 0.086 < 1$$

##### 4.2 Tapin ja levyjen reunapuristus:

4.2.1 keskilevy (=keskiholkki):

$$F_{\text{b.Rd1}} := 1.5 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{\text{M0}}}$$

$$F_{\text{b.Rd1}} = 3.957 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\frac{F_{\text{Ed}}}{F_{\text{b.Rd1}}} = 0.152 < 1$$

$$F_{\text{b.Ed.ser.1}} := \frac{F_{\text{Ed}}}{\gamma_{\text{Q}}}$$

$$F_{\text{b.Ed.ser.1}} = 3.01 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{\text{b.Rd.ser.1}} := 0.6 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{\text{M6.ser}}}$$

$$F_{\text{b.Rd.ser.1}} = 1.583 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\frac{F_{\text{b.Ed.ser.1}}}{F_{\text{b.Rd.ser.1}}} = 0.19 < 1$$

#### 4.2.2 sivulevy (=reunaholkit):

$$F_{b,Rd2} := 1.5 \cdot t_2 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{b,Rd2} = 1.979 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\frac{F_{Ed}}{2F_{b,Rd2}} = 0.152 < 1$$

$$F_{b,Ed,ser.2} := \frac{F_{b,Ed,ser.1}}{2}$$

$$F_{b,Ed,ser.2} = 1.505 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{b,Rd,ser.2} := 0.6 \cdot t_2 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M6,ser}}$$

$$F_{b,Rd,ser.2} = 7.914 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\frac{F_{b,Ed,ser.2}}{F_{b,Rd,ser.2}} = 0.19 < 1$$

#### 4.3 Tapin taivutuskestävyys:

$$M_{Ed} := \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a)$$

$$M_{Ed} = 1.505 \times 10^4 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$W_{el,pin} := \frac{\pi \cdot (d^4 - d_{pr}^4)}{32 \cdot d}$$

$$W_{el,pin} = 1.693 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

$$M_{Rd} := 1.5 \cdot W_{el,pin} \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{Rd} = 1.142 \times 10^5 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 0.132 < 1$$

$$M_{Ed,ser} := \frac{F_{Ed,ser}}{8} \cdot (t_1 + 4 \cdot c + 2t_2)$$

$$M_{Ed,ser} = 9.029 \times 10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd,ser} := 0.8 \cdot W_{el,pin} \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M6,ser}}$$

$$M_{Rd,ser} = 6.093 \times 10^4 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{Ed,ser}}{M_{Rd,ser}} = 0.148 < 1$$

#### 4.4 Tapin taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutus

$$F_{v.Ed} := \frac{F_{Ed}}{2} \quad \left( \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 = 0.025 < 1$$

$$F_{v.Ed.ser} := \frac{F_{Ed.ser}}{2} \quad \left( \frac{M_{Ed.ser}}{M_{Rd.ser}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 = 0.029 < 1$$

#### 4.5 Kosketusjännityksen tarkistus

##### 3.5.1 Keskilevy

$$F_{Ed.ser.t1} := F_{Ed.ser} \quad F_{Ed.ser.t1} = 3.01 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\sigma_{h.Ed.t1} := 0.591 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_{Ed.ser.t1} \cdot (d_0 - d)}{d^2 \cdot t_1}} \quad \sigma_{h.Ed.t1} = 5.62 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$f_{h.Ed} := 2.5 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M6.ser}} \quad f_{h.Ed} = 5.5 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\frac{\sigma_{h.Ed.t1}}{f_{h.Ed}} = 0.102 < 1$$

##### 3.5.2 Sivulevyt

$$F_{Ed.ser.t2} := \frac{F_{Ed.ser.t1}}{2} \quad F_{Ed.ser.t2} = 1.505 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\sigma_{h.Ed.t2} := 0.591 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_{Ed.ser.t2} \cdot (d_0 - d)}{d^2 \cdot t_2}} \quad \sigma_{h.Ed.t2} = 5.62 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\frac{\sigma_{h.Ed.t2}}{f_{h.Ed}} = 0.102 < 1$$

## Liite 4. MathCad-laskentadokumentti puristusliitoksen laskennasta

### Laakeriholkin puristussovitteen laskenta nivelliitokseen

Luontipäivämäärä: 11.4.2012

Tekijä: Mika Vaskelainen

#### Lähtötiedot:

$T_{\text{w}} := 1000 \text{ N} \cdot \text{m}$  arvio koneistuksesta tulevasta vääntömomentista

$F_{\text{ax}} := 500 \text{ N}$  arvio aksiaalivoimasta koneistuksessa

$D_{\text{F}} := 136 \text{ mm}$  liitospinnan halkaisija

$L_{\text{F}} := 100 \text{ mm}$  liitoksen pituus

$D_{\text{il}} := 120 \text{ mm}$  akselin sisähalkaisija (laakeriholkin sisähalkaisija)

$D_{\text{aA}} := 220 \text{ mm}$  navan ulkohalkaisija (kuormitusvarren holkin ulkohalkaisija)

$\nu_{\text{ru}} := 0.2$  tartuntakerroin tangentialisuunnassa liukumiseen nähden

$S_{\text{T}} := 1.8$  varmuusluku liukumiseen nähden

$\nu_{\text{rl}} := 0.06$  tartuntakerroin aksiaalisuunnassa liukumiseen nähden

$\nu_{\text{T}} := 0.2$  tartuntakerroin (teräs-messinki)

Kutistusliitosten tartuntakertoimia aksiaali- ja tangentialisuunnassa tapahtuvan liukumisen suhteen SFS 5595 mukaan.		
Materiaalipari, voitelu, liittämismenetelmä	Tartuntakerroin	
	$\nu_{\text{r}}, \nu_{\text{tl}}, \nu_{\text{u}}$	
Teräs-teräs -parit		
Normaalipaineöljyliitos liitettynä mineraaliöljyllä	0,12	
Paineöljyliitos, rasva poistettu liitospinnoilta, liitetty glyseriinin avulla	0,18	
Normaali kutistusliitos, napa kuumennettu max. 300C asti sähköuunissa	0,14	
Kutistusliitos, rasvattomat liitospinnat, kuumennus <300C sähköuunissa	0,2	
Teräs-valurauta-parit		
Normaali paineöljyliitos liitettynä mineraaliöljyllä	0,1	
Paineöljyliitos, rasva poistettu liitospinnoilta	0,16	
Teräs-alumiini-pari, kuiva	0,1-0,15	
Teräs-messinki-pari, kuiva	0,17-0,25	

Tartuntakertoimet puristusliitokselle samansuuntaisena pysyvällä kuormituksella SFS 5595 mukaan				
Materiaali	Tartuntakerroin			
	Kuiva		Voideltu	
	$\nu_{\text{ll}}$	$\nu_{\text{rl}}$	$\nu_{\text{ll}}$	$\nu_{\text{rl}}$
St60-2 (S355)	0,11	0,08	0,08	0,07
GS-60	0,11	0,08	0,08	0,07
Rst37-2	0,1	0,09	0,07	0,06
GG-25 (SFS 4855 GRS 250)	0,12	0,11	0,06	0,05
GGG-60 (SFS 2113 GRP 600)	9,1	0,09	0,06	0,05

Varmuus liukumiseen nähden	
Staatinnainen kuorma	1,5
Tykyttävä kuorma	1,8
Vaihtokuormitus	2,2

**Tarvittavan sovituksen laskenta:**

$$F_i := \sqrt{F_{ax}^2 + \left(2 \cdot \frac{T}{D_F}\right)^2} = 1.471 \times 10^4 \text{ N}$$

Väännön ja aksiaalivoiman resultantti

$$p := \frac{F_i \cdot S_F}{\pi \cdot D_F \cdot l_F \cdot \nu_F} = 3.1 \text{ MPa}$$

tarvittava pintapaine

$$E_a := 210000 \text{ MPa} \quad \text{navan kimmokerroin}$$

$$\mu_a := 0.3 \quad \text{navan suppeumaluku}$$

$$Q_a := \frac{D_F}{D_{aA}} = 0.618 \text{ navan halkaisijasuhde}$$

$$E_l := 105000 \text{ MPa} \quad \text{akselin kimmokerroin}$$

$$\mu_l := 0.36 \quad \text{akselin suppeumaluku}$$

$$Q_l := \frac{D_{il}}{D_F} = 0.882 \quad \text{akselin halkaisijasuhde}$$

$$K_{ww} := \frac{E_a}{E_l} \left[ \frac{(1 + Q_l^2)}{(1 - Q_l^2)} - \mu_l \right] + \frac{(1 + Q_a^2)}{(1 - Q_a^2)} + \mu_a = 17.88 \quad \text{apukerroin}$$

$$\xi_w := \frac{K \cdot p}{E_a} = 2.639 \times 10^{-4} \quad \text{suhteellinen tehollinen ahdistus}$$

$$P_w := \xi_w \cdot D_F = 35.89 \cdot \mu\text{m} \quad \text{tehollinen ahdistus}$$

Pinnankarheuden profiilinsyvyyden Rz ja keskipöikkeen Ra välinen yhteys standardin SFS 5595 mukaan												
Rz	0,16	0,4	1	1,6	2,5	4	10	16	40	63	100	160
	0,25	0,63				6,3		25				
Ra	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50

$$P := P_w + 0.8 \cdot (16 \cdot \mu\text{m} + 40 \mu\text{m}) = 80.69 \cdot \mu\text{m}$$

tarvittava sovite vähimmillään

-&gt; valintaan sovite H7/p6

$x_{AH7} := 0\mu\text{m}$	<i>reiän alaeromitta</i>
$x_{YH7} := 40\mu\text{m}$	<i>reiän yläeromitta</i>
$x_{Ap6} := 43\mu\text{m}$	<i>akselin alaeromitta</i>
$x_{Yp6} := 68\mu\text{m}$	<i>akselin yläeromitta</i>
$x_{\min} := x_{Ap6} - x_{YH7} = 3\cdot\mu\text{m}$	<i>minimiahdistus</i>
$x_{\max} := x_{Yp6} - x_{AH7} = 68\cdot\mu\text{m}$	<i>maksimiahdistus</i>

### **Elastisuusehdon tarkastus:**

*Suhteellisen tehollisen ahdistuksen rajoitus putkiakselin ja navan liitoksessa:*

$R_{eLA} := 240\text{MPa}$	<i>navan alin myötöraja</i>
$R_{eLI} := 160\text{MPa}$	<i>akselin alin myötöraja</i>
$S_{pI} := 1.2$	<i>varmuusluvut pysyvään muodonmuutoksen</i>
$S_{pa} := 1.2$	<i>nähdän. (yleensä 1.2)</i>

$$\text{napa : } K \cdot (1 - Q_a^2) \cdot \frac{R_{eLA}}{(\sqrt{3} \cdot S_{pa} \cdot E_a)} = 6.074 \times 10^{-3} > \xi_w \rightarrow \text{OK}$$

$$\text{akseli : } K \cdot (1 - Q_l^2) \cdot \frac{R_{eLI}}{(\sqrt{3} \cdot S_{pI} \cdot E_l)} = 2.903 \times 10^{-3} > \xi_w \rightarrow \text{OK}$$

### **Holkkin liittämislämpötilan laskenta**

$P_s := 0.001 \cdot D_F + x_{\max} = 204\cdot\mu\text{m}$	<i>liittämisväljys</i>
$T_r := 20\text{C}$	<i>huoneenlämpötila</i>
$\alpha_l := 0.00002 \cdot \frac{1}{\text{C}}$	<i>holkkimateriaalin lämpölaajenemiskerroin</i>
$\Delta T := \frac{P_s}{D_F \cdot \alpha_l} = 75\text{C}$	<i>vaadittava lämpötilamuutos holkille</i>
$T_{\text{holkki}} := T_r - \Delta T = -55\text{C}$	<i>holkilta vaadittava lämpötila liittämiseen</i>

## Liite 5. Kyselypohja haastateltaville

Mika Vaskelainen

KYSELYLOMAKE

13.4.2012

Opinnäytetyö: Nivelliitosten mitoitusperusteet ja suunnitteluohjeet

### HAASTATELTAVIEN PERUSTIEDOT

Vastaa alla oleviin kysymyksiin ympyröimällä oikea vaihtoehto.

Kaikkia haastatteluja käsitellään anonyymisti.

---

1. Ikäsi?

20-30

31-40

41-50

51-60

61-

---

2. Koulutuksesi?

Teknikko

Insinööri

Diplomi-insinööri

Muu, mikä? \_\_\_\_\_.

---

3. Työvuotesi Metsolla?

0-5

6-10

11-15

16-20

21-25

26-30

31-

---

4. Tehtäväsi / Toimenkuva?

Suunnitteluinsinööri

Rakenneanalyttikko

Pääsuunnittelija

Suunnittelupäällikkö

Muu, mikä? \_\_\_\_\_.

---

5. Oletko toiminut vastaavissa tehtävissä muissa yrityksissä?

Kyllä

Ei

---

6. Oletko tyytyväinen nykyiseen toimenkuvaasi?

Kyllä

En



Mika Vaskelainen

KYSELYLOMAKE

13.4.2012

Opinnäytetyö: Nivelliitosten mitoituserusteet ja suunnitteluohjeet

7. Käytätkö suunnitteluohjeita työssäsi?

En

Harvoin

Melko usein

Usein

8. Oletko kokenut ohjeet hyödyllisiksi?

Aina

Useimmiten

Harvemmin

En ikinä

9. Oletko joskus itse laatinut suunnitteluohjeita?

Kyllä

En

## Liite 6. Kyselyn tulokset

Mika Vaskelainen

KYSELYTULOKSET

13.4.2012

Opinnäytetyö: Nivelliitosten mitoitusperusteet ja suunnitteluohjeet

### HAASTATELTAVIEN PERUSTIEDOT

---

Vastaukset:

1. Ikäsi?

20-30.....  
 31-40.....1 kpl  
 41-50.....4 kpl  
 51-60.....  
 61-.....

---

2. Koulutuksesi?

Teknikko.....2 kpl  
 Insinööri.....3 kpl  
 Diplomi-insinööri.....  
 Muu, mikä?

---

3. Työvuotesi Metsolla?

0-5.....  
 6-10.....1 kpl  
 11-15.....1 kpl  
 16-20.....  
 21-25.....2 kpl  
 26-30.....1 kpl  
 31-.....

---

4. Tehtäväsi / Toimenkuva?

Suunnitteluinsinööri.....  
 Rakenneanalyttikko.....1 kpl  
 Pääsuunnittelija .....3 kpl  
 Suunnittelupäällikkö.....1 kpl  
 Muu, mikä?

Opinnäytetyö: Nivelliitosten mitoitusperusteet ja suunnitteluohjeet

5. Oletko toiminut vastaavissa tehtävissä muissa yrityksissä?

Kyllä.....  
Ei.....5 kpl

---

6. Oletko tyytyväinen nykyiseen toimenkuvaasi?

Kyllä.....5 kpl  
En.....

---

7. Käytätkö suunnitteluohjeita työssäsi?

En.....  
Harvoin.....1 kpl  
Melko usein .....2 kpl  
Usein.....2 kpl

---

8. Oletko kokenut ohjeet hyödyllisiksi?

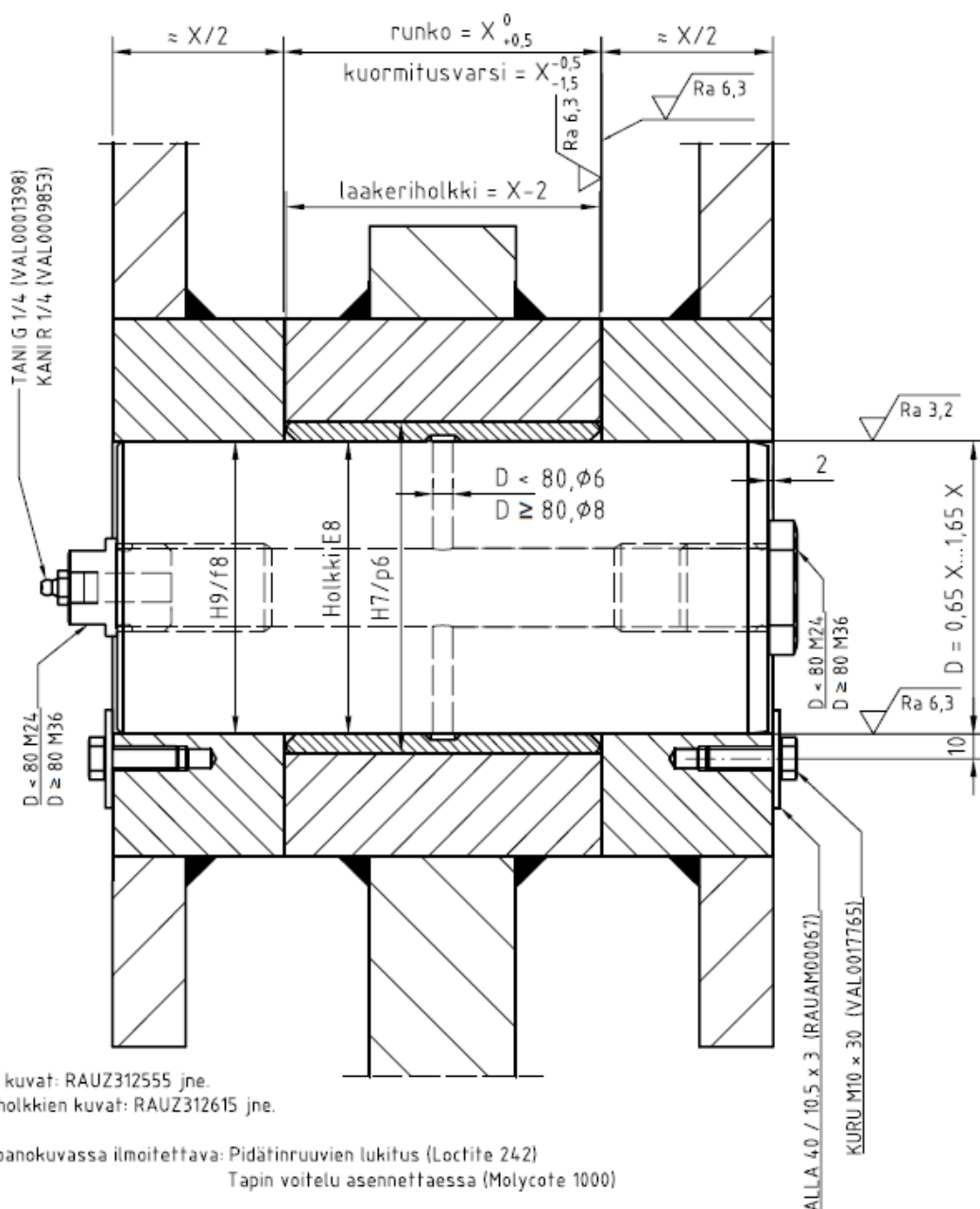
Aina.....3 kpl  
Useimmiten.....2 kpl  
Harvemmin .....  
En ikinä.....

---

9. Oletko joskus itse laatinut suunnitteluohjeita?

Kyllä.....5 kpl  
En.....

## Liite 7. Uuden suunnitteluohjeen ohjekuva



Tappien kuvat: RAUZ312555 jne.  
Laakeriholkkien kuvat: RAUZ312615 jne.

Kokoonpanokuvassa ilmoitettava: Pidätinruuvien lukitus (Loctite 242)  
Tappin voitelu asennettaessa (Molycote 1000)

Kuva viittaa nivelliitosten suunnitteluohjeeseen ja -perusteisiin RAUA328517. Mitoitus ja materiaalit ohjeen mukaan.

PART	DESCRIPTION	DIMENSIONS	MATERIAL	DRAWING	REQ'D	NOTES
GENERAL TOLERANCES, DIMENSIONS WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATIONS: MACHINING: ISO 2768-mK (SFS-EN 22768-1, SFS-EN 22768-2) WELDING: ISO 13920-BE (SFS-EN ISO 13920) CASTING: ISO 8062-CT II (SFS-ISO 8062) WELDING QUALITY LEVEL C (SFS-EN ISO 5817) FLAME CUTTING: ISO 9013-331 (SFS-EN ISO 9013)						
				PROJECTION 	SCALE 2:5	WEIGHT kg
PRODUCT PURISTIN- JA VIIRAOSA				DESD M. Vaskelainen	DATE 25.4.2012	
NIVELLIITOS				CHD T. Pesonen	DATE 25.4.2012	
OHJEKUVA				APPD A. Niemi	DATE 27.4.2012	
REF.	SUPERS.		A4	DRAWING ID		SHEET
WORK	FILE	AutoCAD		RAUA328509.00		

THE INFORMATION CONTAINED HEREIN IS CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY TO METSO PAPER AND IS NOT TO BE REPRODUCED, DISCLOSED TO A THIRD PARTY, MODIFIED OR USED WITHOUT A PRIOR PERMISSION OF METSO PAPER OR ITS DULY AUTHORIZED REPRESENTATIVE. ALL RIGHTS RESERVED.