



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

LIIMALIITOKSET MOOTTORINVALMISTUKSESSA

Tuomas Mäkelä

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

MÄKELÄ, TUOMAS:

Liimaliitokset moottorinvalmistuksessa

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Huhtikuu 2016

Tässä opinnäytetyössä perehdytään moottorinrakentamisessa käytettäviin liimoihin, niiden valintaan ja liitosten suunnitteluun. Työn taustana oli yrityksen tarve kartoittaa käytössä olevat liimat, valita optimaaliset liimat liitoskohteisiin ja tehdä selvitys liimojen käytöstä. Tavoitteena oli tehdä kattava pohjustus moottorinrakennuksen liimauksista ja luoda tämän perusteella selvä yhteenveto liimoista. Tutkimukseen osallistui monen osaston edustajia ja mukana oli myös liimatoimittaja Loctiten asiantuntijoita. Tutkimus toteutettiin haastattelu-, kirjallisuus- ja toimintatutkimuksena. Pohjamateriaali on saatu pääosin Loctiteltä. Tutkimusten tulokset on prosessoitu ja tiivistetty tähän opinnäytetyöhön.

Tulokseksi saatiin kattava tutkimus liimoista, niiden teoriasta ja käytöstä niin tuotekehityksessä kuin tuotannossa. Teoriaosuus keskittyy liimojen käytön kannalta tärkeisiin teorioihin. Teorian tarkoitus on olla pohjustus liimojen käyttöön ja liimaliitoksen suunnitteluun. Tuotekehityksen osuus keskittyy liimaliitoksen suunnitteluun, erityisesti tasopintoihin. Opinnäytetyössä on esimerkkitapauksena tasopintojen tiiviyteen ja suunnitteluun liittyvä tutkimus ja sen analysointi. Tuotannon osuus työssä keskittyy levityslaitteistoon, käyttäjäturvallisuuteen ja liimauksen kustannuksiin. Tutkimuksen tuloksena koottiin yhteenveto käytössä olevista liimoista, optimaalisista liimoista ja niiden oikeista käyttökohteista. Toisessa yhteenvedossa on vaihtoehtoiset liimat jälkimarkkinoinnin ja huollon tarpeisiin. Yhteenvedot ovat opinnäytetyön liitteinä.

Kootut yhteenvedot ovat pohjana ja ohjeistuksena tulevaisuuden testaukselle ja uusien liimojen kokeiluun. Seuraavana vaiheena valitut liimat testataan moottorin prototyypissä. Testien perusteella liimojen yhteenvetoa täydennetään ja muutetaan. Lopullinen päätös kokoonpanossa käytettävien liimojen muuttamisesta voidaan tehdä vasta prototyypin testauksen jälkeen. Tutkimuksen perusteella kehittämistarpeita ilmeni liimojen käyttökohteissa, liimauksoulutuksessa ja laitteiden käytössä. Tärkeimpänä ehdotuksena kuitenkin oli siirtyminen käyttäjäturvallisiin aineisiin.

ABSTRACT

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

MÄKELÄ, TUOMAS:
Adhesive Joints in the Manufacture of Engine

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 5 pages
April 2016

The purpose of this thesis is to study adhesives used in the manufacture of engines, with focus on the selection of adhesives and the design of adhesive joints. The background for the thesis originated in the company's need to investigate the adhesives currently in use, to determine optimal adhesives for the joints. The objective was to make a comprehensive background research in the adhesive joints in the manufacture of engines and to create a clear summary of the adhesives on that basis. Representatives of several sections were involved in the study and even some experts of the adhesive supplier Loctite participated. The study was conducted as an interview-, literature- and operation study. The basic material has been mainly provided by Loctite. The results of the studies have been processed and summarized in this thesis.

As a result of the study, a comprehensive research of the adhesives, their theory and use in product development was produced. The theory part mainly focused on the theories that are important for the use of the adhesives. The purpose of the theory was to give a background research in the use of the adhesives and the design of the adhesive joint. The product development section concentrated on the design of the adhesive joint, especially on flat surfaces. An exemplifying case study about the condensation and design of the flat surfaces with an analysis on the case study are included in the thesis. The production section focuses on the application machinery, the user safety and the costs of the adhesion. The result of the study were two reports, the first contains the adhesives in use, the optimal adhesives and their uses. The second report is about alternative adhesives for the needs of aftermarket and maintenance. The reports can be found in the appendix.

The reports serve as a base, guidance for future testing and testing of new adhesives. In the next phase, the selected adhesives will be tested in a prototype of an engine. Based on the tests, the report on the adhesives will be update. The final decision on changing the adhesives in the assembly can be made only after testing the prototype. On the basis of the study, the need for development was found in the use of the adhesives, in the adhesion education and in the use of the machinery. The most important proposition was, however, a transition to user safe compositions.

Key words: adhesive bond, glue, adhesive joint design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TYÖN LÄHTÖTIEDOT	8
2.1	AGCO POWER	8
2.2	Henkel Loctite.....	9
2.3	Tutkimusmenetelmät	9
2.3.1	Kirjallisuustutkimus	10
2.3.2	Haastattelututkimus.....	10
2.3.3	Toimintatutkimus	11
2.3.4	Tutkimuksen analysointi	11
3	LIIMAUKSEN POHJUSTUS	12
3.1	Liiman valinta	12
3.2	Tavoitteet liimoille.....	12
3.3	Yleistä liimaustekniikasta	13
3.4	Liimatyypit.....	13
3.5	Liiman edut	15
3.6	Liimaliitoksen mitoitus	16
4	LIIMAUKSEN SOVELLUKSET	18
4.1	Kierrelukitteet	18
4.2	Kierretiivisteet	19
4.3	Tasotiivisteet.....	20
4.4	Laakerilukitteet	21
5	LIIMALIITOKSET TUOTEKEHITYKSESSÄ	23
5.1	Tasopinnan suunnittelu	23
5.2	Sylinterimäisen liimaliitoksen suunnittelu.....	27
5.3	Muut vaihtoehdot.....	30
5.4	Lopullinen ohjeistus.....	31
6	CASE: HAMMASPYÖRÄKOTELO	32
6.1	Voiman jakauma	32
6.2	Vuodon syyt.....	33
7	LIIMAUUS TUOTANNOSSA.....	35
7.1	Tuotannon koulutus	35
7.2	Käsittelyaika	35
7.3	Laitteisto	36
7.4	Käyttöturvallisuus.....	38
7.5	Hinta.....	39
7.6	Huolto ja kenttäkorjaus	40

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	41
LÄHTEET	42
LIITTEET	44
Liite 1. Yhteenveto liimoista	44
Liite 2. Esimerkki kohdemuistiinpano liimoista	45
Liite 3. Lujuuden alennuskertoimet.....	46
Liite 4. Hammaspyöräkotelon FUJI –paperi	47
Liite 5. Vaihtoehtoiset kenttäkorjausliimat	48

ERITYISSANASTO

absorptio	aineiden ja atomien kiinnittyminen tai imeytyminen
adheesio	kahden eri aineen välinen vetovoima
akseliaalinen lujuus	akselin suuntainen lujuus
aktivaattori	aine jolla reaktio käynnistyy
amiini	kemiallinen yhdiste
anaerobinen	hapeton
anionien	negatiivinen ioni
CASE-esimerkki	käytännön esimerkki
induktiivinen anturi	metallia tunnistava anturi
koheesio	saman aineen sisäinen vetovoima
layout	asemapiirustus
modulus	aineen jäykkyys tai vetomoduuli
polymeerimolekyyli	molekyyli, jossa on liittyneenä useita pieniä molekyyliä
R_a	yleisimmin käytetty pinnankarheutta kuvaava suure
R_z	käytetään R_a :n lisänä rajoittamaan suurimman sallitun yksittäisen virheen suuruutta tiivistepinnoissa
tecday	koulutuspäivä Valmetin tehtaalla Suolahdessa
usit-tiiviste	kumista ja alumiinista koostuva prikkatiiviste
vulkanoituminen	silikonien kovettumisreaktio

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään moottorinrakentamisessa käytettyihin liimoihin, niiden valintoihin ja liitosten suunnitteluun. Tärkeimpänä tutkimuskohteena on liimaliitosten huomiointi tuotekehityksessä, jonne haluttiin tehdä selvä yhteenveto liimojen käytöstä. Liimaliitoksia ja niiden käyttöä mietitään myös tuotannon tarpeiden kannalta. Työ tehtiin AGCO Powerin tuotekehitysosastolle. Tutkimuksen pohjalta tehtiin yhteenveto liimaliitosten käytöstä. Tämä opinnäytetyö toimii ohjeistuksena liimaliitoksen suunnitteluun. Tutkimusta tehtiin yhdessä Henkel Loctiten kanssa, joka on AGCO Powerin käyttämien liimojen toimittaja. Tarvittavat tiedot liimoista saatiin suoraan Loctiten edustajalta. Liimojen käytöstä ja mahdollisuuksista keskusteltiin palavereissa Loctiten edustajien kanssa.

Opinnäytetyössä käydään myös läpi liimaliitoksen mitoitusta, suunnittelua ja yleistä teoriaa erilaisia kirjallisia lähteitä hyväksikäyttäen. Erityisesti perehdyttiin tasopintojen liimaamiseen ja tasopinnan tiiviiseen suunnitteluun. Tasopintojen suunnittelussa on käytetty CASE-esimerkkinä Henkelin ja AGCO:n yhteistä tutkimusta tasopintojen tiiviystä.

Liimojen käyttöä on mietitty myös tuotannon kannalta. Huomio kiinnitettiin erityisesti liimojen terveysvaikutuksiin, päällekkäisistä tuotteista luopumiseen ja liimauksen nopeuteen. Tuotannon toive oli siirtyä täysin käyttäjäystävällisiin liimoihin ja vähentää erilaisten tuotteiden määrää tuotantolinjastoilla. Tuotannon nopeuttamista selvitettiin mahdollisilla levityslaitteilla ja erilaisilla kokoonpanoa nopeuttavilla muutoksilla. Tärkeimpänä lähtökohtana kuitenkin oli laadun parantaminen ja vuotojen nollatoleranssi.

2 TYÖN LÄHTÖTIEDOT

Opinnäytetyön perimmäisenä tarkoituksena oli luoda selvä yhteenveto tuotekehitysosastolle liimojen käytöstä (Ala-Maakala 2016). Syy miksi työ tehtiin, oli liimojen epäjohdonmukainen käyttö ja selvän yhteenvedon puuttuminen. Tutkimukseen osallistui tuotekehitysosaston lisäksi, tuotannon, oston ja Loctiten edustajia. Uudet liimat yhteenvetoihin valittiin tuotantoon kahdessa vaiheessa. Ensimmäiseen vaiheeseen valittiin jo tuotannossa olevista aineista optimit oikeisiin kohteisiin. Toiseen vaiheeseen valittiin täysin käyttäjäturvalliset liimat, jotka tulevat tuotantoon moottori uudistuksen mukana.

2.1 AGCO POWER

AGCO Power Oy, entinen Sisu Diesel Oy, on amerikkalaiseen AGCO-konserniin kuuluva pohjoismaiden johtava työkonekäyttöön suunniteltujen dieselmootoreiden valmistaja. Sisu Dieselin nimi muuttui vuonna 2008 AGCO SISU Poweriksi ja vuonna 2012 liiketoiminta integroitiin tiiviimmin AGCO-konserniin. Samalla logo vaihtui nykyiseen (kuva 1). AGCO Powerin automatisoitu Suomen moottoritehdas sijaitsee Nokialla Linnanvuoressa. Siellä työskentelee tällä hetkellä noin 700 henkilöä. (AGCO Power 2016.)



KUVA 1. AGCO POWERIN logo (AGCO Power 2016)

AGCO Power valmistaa dieselmootoreita pääasiassa traktori- ja työkonekäyttöön. Suurin osa moottoreista menee oman konsernin yritysten tuotteisiin, mutta AGCO Power toi-

mittaa tuotteitaan myös ulkopuolisille yrityksille. Moottorinvalmistuksella on Linnavuorossa jo yli 70-vuotiset perinteet. Moottorivalikoima koostuvat kolme-, neljä-, kuusi- ja seitsemänsylinterisistä dieselrivi-moottoreista sekä 12 sylinterisestä V-moottorista. Valmistettavien moottoreiden teholuokka on väliltä 37-440kW. Moottoreiden lisäksi yritys valmistaa hammaspyöriä, vaihteistoja sekä vara-voimakoneita. (AGCO Power 2016.)

2.2 Henkel Loctite

Tämä opinnäytetyö tehtiin tiiviissä yhteistyössä Henkel konserniin kuuluvan Loctiten kanssa, joka on AGCO Powerin käyttämien liimojen toimittaja. Loctiten historia alkaa 1953 Trinity Collegen laboratorion, missä kehitettiin ensimmäinen anaerobinen liima. Vuonna 1997 Loctite liittyi Henkel konserniin. Nykyään Loctite on yksi suurimmista liimavalmistajista ja yritys on tunnettu ympäri maailmaa. Loctiten tuotevalikoimasta löytyy liimoja, tiivisteitä ja pintakäsittelyaineita. Yrityksessä panostetaan huomasti tuotteiden kehitykseen ja tekniseen suunnitteluun. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat yrityksen tekemät tutkimukset ja testit asiakkaidensa kanssa. (Henkel Norden Oy 2016c.)

2.3 Tutkimusmenetelmät

Tähän opinnäytetyöhön käytettiin limittäin kirjallisuus-, haastattelu- ja toimintatutkimusta. Tutkimus aloitettiin keräämällä yrityksestä kaikki valmis pohjamateriaali. Materiaalin pohjalta voitiin aloittaa haastattelututkimus eri osastoilla. Yhtäaikaisesti käytiin läpi yleistä materiaalia liimoista ja liimaliitoksista. Materiaalia löytyi kirjastosta, yrityksen tietokannoista ja Internetistä. Tutkimusta helpotti alusta asti kirjatut päiväkohtaiset muistiinpanot. Palavereissa Loctiten edustajilta saatiin liimoista tärkeää pohjamateriaalia ja haastattelutietoa. Tärkeimpänä huomiona tämän opinnäytetyön tutkimuksen onnistumiseen oli tarkat päiväkohtaiset tutkimus muistiinpanot.

2.3.1 Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa tarvittava tieto liimojen teoriasta ja valintaperusteista. Kirjallisuustutkimus aloitettiin koulun kirjastosta, yrityksen tietokannoista ja yleisesti Internetistä. Kirjallisuustutkimusta tehdessä huomattiin, että liimaliitoksista ei ole paljon julkista tietoa tarjolla. Kirjallisuuden vähäisyyden selittää se, että liimauskäytännöt muuttuvat tuotannossa jatkuvasti. Toisaalta liimojen jatkuva kehitys ja tuotteiden muuttuminen tekevät ulkopuolisten julkaisijoiden mahdottomaksi koota tietoja kirjamuotoon. Kirjallisuudesta löytyi toisaalta hyvin tietoa yleisesti liimojen toimintaperiaatteesta kemiallisella tasolla.

Tarkempi materiaali liimoista ja niiden käytöstä on liimavalmistajilla, tämän takia suurin osa liimoihin koskevasta pohjamateriaalista on peräisin Loctiteltä. Toisaalta koko tutkimuksen lähtökohdaksi valittiin tutkia Loctiten tuotteita. Kilpailevilta valmistajilta ei tutkimukseen saatu vertailtavaksi tarkempaa materiaalia. Materiaalin yksipuoleisuus otettiin tutkimuksessa kriittisesti huomioon ja tietoa vertailtiin yleisesti saatavilla olevaan materiaaliin. Materiaalissa oli muun muassa hyviä esimerkkitutkimuksia eri yrityksissä, joiden tietoja on myös tässä opinnäytetyössä käytetty pohjamateriaalina.

2.3.2 Haastattelututkimus

Haastattelututkimus toteutettiin haastattelemalla, sähköpostilla ja palavereilla. Haastattelututkimus aloitettiin tuotekehitysosastolta, minkä tarpeiden pohjalta tutkimuksen kulku määräytyi. Tuotannossa haastateltiin työnjohtajien lisäksi erityisesti koeajon jälkeisen huollon asentajia, koska tuotannon liimauksien virheet tulevat heidän korjattaviksi. Koonpanosta haastateltiin myös asentajaa, jolla on havaittu liima-allergia. Haastattelussa oli myös esillä terveydenhuollon dokumentit liima-allergiasta. Tärkeimpänä osana haastattelututkimusta olivat palaverit Loctiten ja muiden osastojen edustajien kanssa. Kyseisissä palavereissa saatiin liimoihin koskevia asioita käsiteltyä ja päätettyä tehokkaasti.

2.3.3 Toimintatutkimus

Toimintatutkimuksen toteuttamisessa ja tulosten prosessoinnissa käytettiin yleistä toimintatutkimuksen syklimäistä tyyliä (Tiainen, Aittoniemi, Yli-Karhu, Haukijärvi 2015). Liimojen toimintaa päästiin kokeilemaan ja tutkimaan käytännössä Tecday-koulutuksessa Valtran tehtaalla Suolahdessa. Koulutuspäivä oli Loctiten järjestämä AGCO:n työntekijöille. Koulutuksessa Loctiten esittelijöiden johdolla nähtiin ja kuultiin käytännössä liimojen ominaisuuksista ja käytöstä. Koulutus oli suunniteltu täysin AGCO:n tuotteita ajatellen. Koulutuspäivän saamien tietojen perusteella tulevaisuuden aineet päätettiin valita täysin käyttäjystävällisistä vaihtoehdoista. Esimerkkikokeet osoittivat niiden olevan vanhojen aineiden veroisia.

Liimaliitoskohteita käytiin myös tuotannossa läpi. Kaikista liimattavista kohteista kerättiin kohdetaulukko, missä ilmenee kohde kuvana ja käytettävä aine (liite 2). Sama tutkimus toteutettiin myös Kiinan ja Brasilian tehtailla. Niissä kohteissa, jossa käytettiin vääräntyyppistä liimaa, toteutettiin jatkotutkimuksia. Tutkimukset toteutettiin, jotta kohteeseen saataisiin valittua optimaalinen oikeantyyppinen liima.

Seuraavana vaiheena toimintatutkimusta olisi kokeilla käytännössä optimiksi valittuja liimoja eri kohteissa. Moottorin uudistuksen myötä käyttöön otettavat uudet käyttäjäturvalliset liimat tulee testattua protomoottorissa tulevaisuudessa. Käytännöntestien tulokset eivät ehtineet tähän opinnäytetyöhön.

2.3.4 Tutkimuksen analysointi

Tutkimustulosten pohjalta tehtyjen muistiinpanojen analysointi aloitettiin priorisoimalla asiat ja tulokset. Tärkeimpänä tuotoksena oli yhteenveto liimoista. Tuotannossa käytössä olevien aineiden listan pohjalta tehtiin melko nopeasti alustava yhteenveto liimoista, jota lähdettiin muokkaamaan työn edetessä. Toinen tutkimustulos mikä nousi tärkeäksi, oli tasopintojen liimaaminen ja tiivistys, sekä kyseisien liitoksien suunnittelussa huomioon otettavat asiat. Kirjallisuustutkimuksessa Loctiten materiaaleista saatuja tuloksia vertailtiin kriittisesti Internetistä saatuihin kilpailijoiden materiaaleihin. Tutkimuksissa esiin tulleet asiat on esitetty tässä opinnäytetyössä.

3 LIIMAUKSEN POHJUSTUS

3.1 Liiman valinta

Liimaa valittaessa on tunnettava käyttökohde erittäin tarkasti. Markkinoilla on monenlaisia liimoja, joiden käyttökohteet on tarkasti määritelty. Oikein valittu liima on tehokas ja käytännöllinen moneen liitokseen ja tiivistykseen. Liimoilla on tarkat rajoitukset käyttökohteille, esimerkiksi lämmön, pinnankarheuden ja välyksen suhteen (Loctite 1998). Nykyaikaiset liimat voivatkin monissa kohteissa korvata perinteiset menetelmät, kuten paperiset tasotiivisteet ja nauhamaiset kierretiivisteet. Moottorinrakennuksessa tarvittavia liimoja ovat kierrelukitteet, kierretiivisteet, tasotiivisteet, laakerilukitteet ja pikaliimat. Näissä kaikissa kohteista liimoilta vaaditaan todella erilaisia ominaisuuksia.

3.2 Tavoitteet liimoille

Tavoitteet liimoille tulivat suurimmaksi osin tuotannon puolelta. Tuotantoon haluttiin valita optimaaliset liimat jokaiseen liimattavaan liitokseen (Kaunismäki 2016). Tällä hetkellä esimerkiksi vauhtipyöränkoteloa liimataan täysin vääräntyyppisellä liimalla. Tämän työn tuloksena tehtiin yhteenveto optimaalisista aineista jokaiseen liimattavaan liitostyyppiin. Toisaalta tuotannosta ja ostosta tuli toive vähentää erilaisten liimojen käyttöä ja aineiden määriä, siksi muutamassa kohdassa tehtiin kompromisseja optimaalisen liiman kustannuksella (Kaunismäki 2016). Tuotannon liimojen käyttöön haluttiin myös yhdenmukaisuutta Suomen, Brasilian ja Kiinan tehtaissa, joissa käytettiin monessa kohteessa eri liimoja (Ala-Maakala 2016). Tulevaisuudessa tarkoitus on siirtyä samoihin liimoihin joka tehtaalla vähentäen vaihtelua moottoreiden välillä. Liimoista haluttiin myös yrityksen uuden trendin mukaan täysin käyttäjäturvallisia, jotta tuotannossa esiintyneistä vakavista allergiareaktioista päästäisiin eroon (Kaunismäki 2016).

Tuotekehitysosastolta vaatimuksena työlle oli tehdä selvä yhteenveto liimoista ja niiden käytöstä moottoreiden eri kohteissa (Ala-Maakala 2016). Liimaliitoksien suunnitteluun liittyviä keskeisiä asioita kuten viisteet, välykset ja pinnankarheudet on myös käsitelty tässä työssä. Tuotekehitysosastolle kerättyyn yhteenvetoon koottiin nykyään käytössä olevat, optimaaliset ja uudistuksen jälkeen käyttöön tulevat liimat.

3.3 Yleistä liimaustekniikasta

Liimausmenetelmän tuntemus on oleellinen osa onnistunutta liimausta. Liimat toimivat siltana liimattavien kappaleiden välillä, riippumatta siitä, ovatko kappaleet samaa materiaalia. Liitoksesta on tunnistettavissa kaksi asiaa, jotka ovat liitoksen adheesio ja koheesio. (Loctite 1998, 22.)

Adheesio on kahden materiaalin sidontavoima. Adheesiota on kolmea eri tyyppiä: mekaanista, kemiallista ja sekundäärisiin sidosvoimiin perustuvaa (Aitto-oja & Laine 2004). Van der Waalsin voimiksi kuvatuilla fyysisillä veto- ja absorptio voimilla on suuri merkitys liimaukseen. Näiden molekyylien välisten voimien vaikutus on huomattavasti pienempi, mikäli pinnankarheuden takia liimat eivät kosketa liimattavia pintoja kokomatkalta (Loctite 1998, 24). Tästä syystä liimaa tulee annostella riittävästi, jotta epätasaisuuksiin leviää liimaa. Tartuntavoima riippuu pinnan tartuta ominaisuuksista ja valitusta liimatyypistä. Adheesio riippuu enimmäkseen pinnan materiaalista, karheudesta ja puhtaudesta. Yleisesti liimaus pettää Adheesion pettäessä ja suurin syy siihen on pintojen epäpuhtaudet. Liitoksen adheesiota voidaan parantaa mekaanisella esikäsitteilyllä, peittauksella, ionisointiesikäsitteilyllä ja primereillä (Loctite 1998, 40).

Koheesio on liiman molekyylien välinen ominaisuus, jolla tarkoitetaan molekyylien välillä vallitsevaa voimaa, joka liimaa materiaalit. Koheesio koostuu kahdesta voimasta, molekyylien välisestä vetovoimasta, jota kutsutaan Wan der Waalsin voimaksi, ja polymeerimolekyylien lukittumisesta keskenään (Loctite 1998, 23). Liimaliitos on yhtä vahva kuin sen heikoin tekijä. Vaikka liitokseen vaihdettaisiin todella vahva liima, jolloin sen koheesio vahvistuisi, ei liitoksesta saada sen pitävämpää, jollei adheesio ole kunnossa. Koheesion syntymisen nopeuttamiseen markkinoilla on liimoille tarjolla aktivaattori aineita, joilla kovettumista saadaan nopeutettua huomattavasti (Loctite 2014, 114).

3.4 Liimatypit

Liimatypit jaetaan eri ryhmiin kovettumisominaisuuksien mukaan. Yleisimpinä liimoina moottorin rakennuksessa on anaerobiset liimat, jotka kovettuvat hapettomassa tilassa. Toinen yleinen liimatyypit on kosteuden avulla kovettuvat liimat, esimerkiksi silikonit ja uretaanit. Muita kovettumistyyplejä on altistuminen ultravioletivalolle, anioninen

reaktio, aktivointijärjestelmään perustuva ja lämpökovetus (Loctite 1998, 24-37). Seuraavaksi on käsitelty moottorinrakennuksessa käytettävien liimojen teoriaa.

Anaerobiset liimat ovat tärkein moottorinvalmistuksen liimatyyppejä. Kyseiset liimat ovat yksikomponenttisiä, huoneenlämmössä hapettomassa tilassa kovettuvia liimoja. Liimojen kovettumien alkaa aggressiivisesti hapen poistuttua liiman ympäriltä, esimerkiksi kappaleiden yhdistämällä. Kappaleiden puristaminen tulee suorittaa nopeasti palojen yhdistämisen jälkeen, jotta liitoksesta tulee täysin hapeton. Metalliliitoksissa hapen poistuttua liimojen vapautuvat radikaali-ionit ja metalli-ionit aikaansaavat polymeroitumisreaktion (Loctite 1998, 23). Aktiivisimmin liimojen radikaalienionien kanssa reagoi esimerkiksi teräksen ja kuparin metalli-ionit, passiivisia puolestaan ovat esimerkiksi alumiini ja muovi. Anaerobiset liimat ovat olomuodoltaan nestemäisiä, pastoja tai geelejä (Loctite 2014). Pienen viskositeetin aineilla on kapillaarinen kyky täyttää liitospintojen kaikki epätasaisuudet, mutta ne eivät sovellu suurille liitospintojen välyksille. Anaerobisille liimoille tyypillisiä ominaisuuksia ovat:

- hyvin suuri leikkauslujuus
- hyvä lämmönkestävyys
- nopea kovettuminen
- helppo annostella automaattisella annostelijalla
- ei vaadi hienotyöstöä pintaan
- erinomainen kemikaalinen kestävyys
- kestää kuormaa

Anionisen reaktion kovettamat pikaliimat ovat yksikomponenttisiä syanoakrylaattiliimoja, jotka polymerisoituvat koskettaessaan lievästi emäksistä pintaa. Kovettuminen tapahtuu muutamassa sekunnissa ilman ja pinnan kosteuden kanssa. Ympäröivä kosteus neutralisoi liiman stabilointiaineen, jolloin polymerisaatio tapahtuu pinnalta pinnalle. Kuiva ilma hidastaa huomattavasti pikaliiman kuivumista, mutta ei huononna liiman koheesiota. Kosteassa ilmassa kuivuminen voi tapahtua liian nopeasti, jolloin liiman koheesio jää heikommaksi. (Loctite 1998, 30.)

Toinen ympäristön kosteuden vaikutuksesta polymerisoituva liimatyyppejä on silikoniliimat, joiden kovettuminen perustuu kondensaatioreaktioon. Silikonit vulkanoituvat huoneenlämmössä ilmankosteuden takia. Silikonit käyttävät ympäristön vesimolekyylejä siloitusreaktioon. Silikonimolekyylit yhdistyvät vesimolekyylin kanssa vapauttaen esimerkiksi sivutuotteena etikkahappoa, amiinia tai alkoholia. Kovettumiseen vaikuttaa ensisijaisesti ilman suhteellinen kosteus. Kovettumismekanismista johtuen silikonin kovettuminen alkaa ulkokuoresta ja jatkuu keskustaan kohti. Kosteuden kulkeutumiskyky rajoittaa silikonin kovettumissyvyyden aineesta riippuen noin 10–15 mm. (Loctite 1998, 31.) Koska silikonin pinta kovettuu nopeasti, saavuttaa liitos tiiviyden melkein välittömästi. Silikonielastomeereillä, eli kovettuneilla silikoneilla on seuraavat ominaisuudet:

- Hyvä lämmönkesto, jopa yli 230 °C
- joustava, jäykkä ja suuri venymä
- modulus alhaisesta keskisuureen
- hyvä kemikaalien kesto
- erinomainen välyksentäyttykyky

Aktivaattoreilla kovettuvat liimat ovat kaksikomponenttiliimoja, eli muunnettuja akryyleja. Liimojen kovettuminen tarvitsee aina aktivaattorin. Liimojen kovettuminen alkaa, kun aineet sekoitetaan keskenään, esimerkiksi erillisellä sekoitusnokalla. Kaksikomponenttien etuna on suuri leikkaus- ja murtolujuus, ja se että niillä pystyy liittämään lähes kaikkia materiaaleja. (Loctite 1998.)

3.5 Liiman edut

Kaikilla liimoilla on etuna se, että ne suojaavat liitosta korroosiolta. Liimoilla pystyy myös liittämään paljon monipuolisemmin eri materiaaleja, kuin esimerkiksi hitsaamalla, juottamalla tai niittaamalla (Loctite 2014). Tasopinnoilla liimojen käyttö, verrattuna fyysisiin tiivisteisiin, jakaa liitoksen jännitystä tasaisemmin pinnalle. Tasopintojen liimaaminen on myös halvempaa, koska erimuotoisille tiivistepinnoille ei tarvitse suunnitella ja ostaa monia tiivisteitä. Liimat eivät ole tasopintojen tiivistyksessä tarkkoja pinnanlaadusta. Toisaalta liimat eivät sovi usein avattaviin kohteisiin, koska ne menettävät tiiviyden liitoksen adheesioita hajottua.

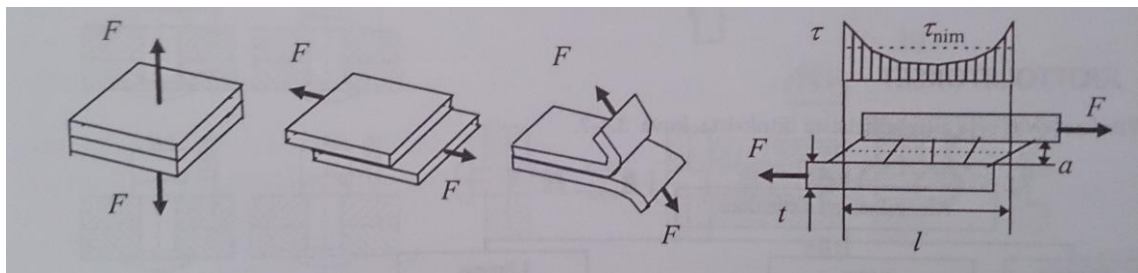
Tuotannossa liimojen käyttö kierteiden tiivistykseen ja lukitukseen mahdollistaa paremman lopputuloksen, koska pultin kierteen kokomatka osallistuu tiivistykseen tai lukitukseen. Liimoja etuna on myös se, että ne sopivat kaikenkokoisille kierteille ja pulteille, näin tuotannossa säästytään erikokoisilta fyysisiltä tiivisteiltä ja lukitteilta.

Laakerilukitteen ominaisuuksista on kerrottu paremmin kappaleessa 4.4. Laakerilukite parantaa liitoksien ominaisuuksia, jolloin haluttuun tulokseen päästään esimerkiksi pienemmällä ahdistuksella. Laakerilukitteet mahdollistavat myös isommat toleranssit kutistuliitoksissa.

3.6 Liimaliitoksen mitoitus

Liimaliitoksen mitoittaminen on nykyään helppoa cad-ohjelmissa. Monelta liimavalmistajalta löytyy cad-ohjelmistoihin ladattava liimakirjasto. Loctiteltä ladattavaan cad-ohjelman liitännäispakettiin kuuluu kaikki Loctiten tuotteet, joita voi käyttää helposti cad-mallien liitoksissa. Liimakirjasto on saatavilla vain Loctiten asiakkaille. (Loctite 1998, 12.) 3M puolestaan tarjoaa mahdollisuutta ladata yksittäin tarvittavat liimat tukemiinsa cad ohjelmiin (3M Oy 2016). Liiman lisääminen jo cad malliin helpottaa huomattavasti FEM-analyysin tekemistä. Liimavalmistajat myös tarjoavat kattavan asiantuntija palvelun liimojen valintaan ja mitoitukseen Internet sivujensa kautta. Esimerkiksi Loctiten RetCalc palvelunkautta vastaus tuli jo samana päivänä (Henkel Norden Oy, 2016b).

Seuraavaksi on käsitelty limittäisliimaliitoksen mitoittaminen teoriassa. Samaa teoriaa voidaan käyttää esimerkiksi tasopinnassa, joka liitetään pelkällä liimalla. Kuvassa 2 on esitetty limittäisliitoksessa mahdollisesti esiintyvät kuormitustyyli (veto-, leikkaus- ja repäisykuormitus sekä leikkausjännityksen jakautuminen).



KUVA 2. Limittäisliitoksen kuormituslajit (Martikka 2014, 216)

Liitoksen vk-mallien mukaan on johdettu liimaliitoksen kestoehto, joka on kaavamuodossa esitetty kaavassa 1. (Martikka 2014, 216)

$$F \leq \tau_B A / S \quad (1)$$

Kaavassa 1 muuttuja A on liimaliitoksen pinta-ala eli liitosala. S on varmuusluku, jonka arvo voidaan ottaa laskentaan taulukosta 1. Varmuusluku valitaan sarakkeen vasemmasta reunasta, jos vetojännityksen suuruus liitoksessa on pieni ja oikeasta reunasta jos suuri. Kaavan τ_B on liimaliitoksen leikkausmurtolujuus, eli nimellinen jännitys liitoksessa. Arvo löytyy liimojen teknisistä tiedoista tai se on mitattu Standardin DIN 53283 mukaisella kokeella. (Martikka 2014, 217.)

TAULUKKO 1. Varmuusluku (Martikka 2014, 217)

	Juotosliitos		Liimaliitos	
Varmuusluku S				
Staattinen kuormitus	3,5	4,5	3,5	4,5
Tykyttävä kuormitus	5	6,5	4,5	7
Vaihtokuormitus	2	11	7	10
Varmuusluku S lyhytaikaisella kuormituksella	2	4	1,5	2,5

Kestoehto heikommalle liitettävälle kappaleelle saadaan kaavasta 2, jossa R_m on kappaleen murtolujuus, t on seinämän paksuus ja b liitoksen leveys (Martikka 2014, 217).

$$F \leq R_m t b / S \quad (2)$$

Nämä kaksi kaavaa yhdistämällä saadaan ehto tasalujalle liitokselle (kaava 3) (Martikka 2014, 217).

$$\tau_B A = R_m t b \quad (3)$$

4 LIIMAUKSEN SOVELLUKSET

4.1 Kierrelukitteet

Kierrelukitteet ovat anaerobisia ja juoksevia liimoja kaikenlaisten kierteiden lukitsemiin. Kierrelukitteen käytöllä halutaan estää ruuviliitoksen pettämistä. Ruuviliitos pettää kahdesta eri syystä, jotka ovat jännityksen aleneminen eli höltyminen ja itseaukeaminen (Droste 2013). Ruuviliitos höltyy, kun sen pituus pääsee kasvamaan. Toinen syy on ruuvikannan ja pinnan kitkan väheneminen. Höltymistä estetään valitsemalla oikeankokoinen pultti, erilaisilla lukitusrenkailla tai liimalla. (Loctite 2015a.) Toinen liitoksen pettämisen syy on itseaukeaminen, joka tapahtuu, kun pultin puristuskuormitusta ylläpitämä esikuormitus katoaa. Esikuormitettu pultti on kuin venytetty jousi. Esikuormituksen poistuttua puristuskuormitus pyrkii kiertämään pulttia auki. (Loctite 1998, 53). Itseaukeamista estetään valitsemalla suuren lujuusluokan pultteja, pinnankarheudella ja liimoilla.

Loctiten tuotteita on mahdollista annostella käsin tai laitteilla. Laite annostelua on käsitelty kappaleessa 7.3. Annostelu tulee toteuttaa niin että koko kierre osalle tulee liimaa. Umpinaiseen reikään kannattaa kaataa liima valmiiksi jolloin pultin asennus syrjäyttää ylimääräisen ilman (Loctite 1998, 55). Kierrelukitetta valittaessa tulee ottaa seuraavat asiat huomioon:

- käyttölämpötila – jatkuva toimintalämpötila
- kierrekoko – valitaan oikea viskositeetti
- toimintaympäristö – liuotinkesto ja muut ympäristötekijät täytyy huomioida
- lujuus – on huomioitava, kuinka liitos on purettavissa
- materiaali – täytyy huomioida, vaaditaanko aktivaattorin käyttöä
- Kuivumisaika – täytyy huomioida tuotannossa

Taulukkoon 2 on kerätty kaikki kierrelukitteet, joita lähdettiin vertailemaan. Käyttökohteiden kartoituksen ja aineiden vertailun jälkeen päädyttiin optimaalisiin aineisiin, jotka olivat 243 ja usein avattavissa kohteissa 222. Näiden kahden tuotteen ominaisuudet kelpasivat jokaiseen kohteeseen. Moottorinrakennuksessa käytetään monenlaisia kierteitä ja pultteja. Silti tavoite oli vähentää liimojen määrää. Tästä syystä valittiin yhtenäinen liima kaikkiin kohteisiin.

TAULUKKO 2. Kierrelukitteiden vertailu

Loctite	Lämpötila °C	Viskositeetti mPa×s	Max. kierre	Lujuus Nm	kuivuminen min
242	-55 - +150°C	800–1600	M36	11,5	5
243	-55 - +180°C	1300–3000	M36	26	10
2701	-55 - +150°C	500–900	M20	38	10
222	-55 - +150°C	900–1500	M36	6	15
2700	-55 - +150°C	350–550	M20	38	5

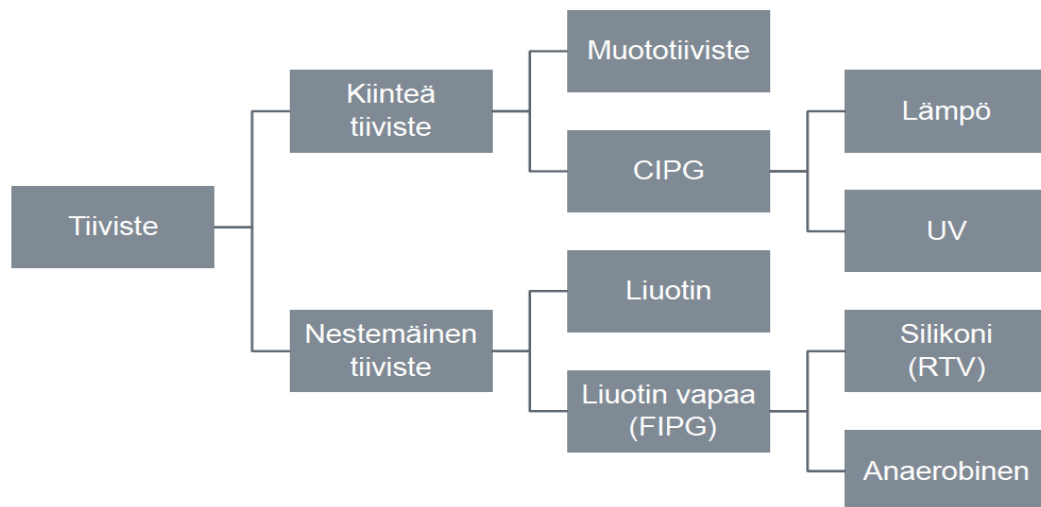
4.2 Kierretiivisteet

Kierretiivisteiden tarkoitus on estää kaasu- ja nestevuodot kierreluoksen kohdalla. Kierretiivistettä käytetään yleensä erilaisissa putkiliitännöissä. Kierreluokitus ei ole ikinä täysin tiivis, vaan kierteiden väliin jää ilmakohtia (Loctite 2016b, 8). Ilmakohdat voivat muuttua kokoaan erilaisten stressitekijöiden takia, esimerkiksi lämmönvaihtelun tai värähtelyn seurauksena (Loctite 1998, 74). Kierretiivisteillä tukitaan nämä ilmakohdat liitoksesta. Kierretiivisteinä käytetään monenlaisia aineita, hampusta anaerobisiin liimoihin. Kaikki moottorinvalmistuksessa käytettävät kierretiivisteet ovat anaerobisia tai silikoneja. Kierretiivistyksen valinnassa tulee ottaa samat asiat huomioon, kuin kierrelukitteen valinnassa. Lisäksi on huomioitava tiivisteiden kemikaalien kesto.

Kohteita moottoreissa on erilaiset paineputket ja -letkut, polttoaineputket ja ilmanoton putket. Kohteisiin ja ainesisiin perehtymisen jälkeen todettiin kaikkien käytössä olevien aineiden sopivan käyttökohteisiinsa. Tuotannon yhteyttämisen ja päällekkäisistä liimoista luopumisen takia yhteiseksi tuotteeksi valikoitui Loctite 572. Tuotteissa ei ollut muuta eroa kuin momentinkesto, joka oli väliltä 2-11 Nm (Loctite 2014, 16). Loctite 572 oli momentinkestoltaan puolestavälisestä (7 Nm), joten se valittiin yleisaineeksi kaikkiin kohteisiin.

4.3 Tasotiivisteet

Tiivistystyyliä tasopinnoille on useampaa tyyliä (kuvio 1). Tässä opinnäytetyössä on keskitytty vain FIPG liimoihin. Tasotiivistys luokitellaan staattiseksi tiivistykseksi, koska niihin kohdistuu vain pientä mikroliikettä (Loctite 2016c). Tasotiiviste sijaitsee kahden yhteen puristetun tason välissä ja sen tehtävä on estää nesteiden ja kaasujen pääseminen liitoksen läpi. Tiivistettävät kohteet voidaan jakaa kahteen eri osioon, jäykät ja joustavat kappaleet. Jäykästä kappaleesta hyvä esimerkki on valettu hammaspyöräkotelokappale. Jäykkien kappaleiden tehtävä on saavuttaa optimaalinen lujuus kahden liitettävän kappaleen välissä, minimoida kappaleiden välinen liike ja jakaa kuormitusta osien kesken (Loctite 1998, 99). Näiden kappaleiden liimaamisessa käytetään anaerobisia liimoja. Joustavasta kappaleesta hyvänä esimerkkinä on syvävedetty peltinen öljypohja. Joustavia kappaleita käytetään kohteissa, joissa mikroliike kappaleiden välillä hyväksytään, näiden liimaamiseen käytetään silikonia. Näiden kahden pääosion lisäksi tasotiivisteiden valintaan vaikuttaa samat asiat kuin muihinkin liimoihin, lukuun ottamatta kierrekoko.



KUVIO 1. Tasotiivistyksen vaihtoehdot (Loctite 2016c)

Muototiivisteillä on haittoina verrattuna liimoihin niiden tarve erilaisiin kohteisiin. Eri-muotoiset kohteet tarvitsevat erilaisen tiivisteiden, josta tulee huomattava hankinta- ja varastointikulut. Toisaalta muototiiviste on parempi kohteissa, joita tarvitsee usein avalla esimerkiksi huollon yhteydessä. Fyysinen tasotiiviste täytyy jälkikiristää, koska puristus-

painauma höltyy, kun tiiviste asettuu pinnanepätasaisuuteen menettäen jännityksen liitoksessa (Loctite 2016c). Liima siis täyttää heti ja paremmin materiaalin epätasaisuuden luoden rakenteesta jäykemmän. Liimoilla saadaan liitoksiin tarkat toleranssit, koska metalli-metalli kontakti ei kasvata liitosta (Loctite 1998, 101).

Moottorinvalmistuksesta löytyy kohteita niin jäykästä kuin joustavasta tasopinnasta. Eri-laiset valuosien tasopinnat ovat yleisiä liimauskohteita moottorissa. Joustavia tasopintoja ovat moottorin peltipohjat, nokka-akselikotelot ja melkein kaikki stanssatut metalliosat. Tasotiivistykseen AGCO Powerilla käytettiin muutamaa ainetta, jotka olivat anaerobisten osalta sopivia (Kaunismäki 2016). Liimauksen yhtenäistämiseksi valittiin tuote 518 ja silikoniksi 5970, jotka sopivat todella hyvin kaikkiin kohteisiin. Robotilla tehtävän tasotiivistyksen liima 5182 on edullinen, optimaalinen kohteeseen ja levityksessä ei tarvita käyttäjäturvallista tuotetta. Kun tulevaisuudessa Loctitellä on tarjota käyttäjäturvallista liima robottiin sopivassa purkkikoossa, tulee sekin vaihtaa uuteen. Robotin levittämä liima allergisoi asentajia, kun ylipursunnutta liimaa joutuu vaatteille (Kukkula 2016). Silikonilla tiivistettävä tasopinta liimattiin väärentyyppisellä silikonilla. Yhteenvedoon on valittu oikea silikoni tasopinnoille. Jos vauhtipyöräkotelon tiivistystä halutaan jatkaa silikonilla, tulisi sen koneistukseen lisätä viiste (kuva 7). Optimaalisin liima kyseiseen kohteeseen olisi anaerobinen 518.

4.4 Laakerilukitteet

Laakerilukite liimoilla voidaan liimata monia sylinterimäisiä osia, mm. laakerit, hammaspyörät, ketjupyörät, kuppitulpat ja poraosat. Liimoille vaihtoehtoisia tapoja liittää sylinterimäisiä kappaleita on muotosulkeinen (kuten kiila), kitkavällys (kuten puristussovite) ja hitsaus. Laakerilukitetta valittaessa on otettava samat asiat kohteista huomioon, kuin kierrelukitteilla. Laakerilukitteita valittaessa on tiedettävä liimattavien kappaleiden vällys, joka vaikuttaa huomattavasti liiman valintaan. Laakerilukitteet toimivat myös nollavällyksellä, parantaen puristesovitteen kykyä siirtää momenttia (Loctite 2015b). Liiman lisääminen muotosulkeisiin liitoksiin on myös suositeltavaa, näin estetään liitoksessa tapahtuvaa mikroliikettä, joka kuluttaa momenttia siirtävää muotoa (esim. kiila) (Loctite 2015b). Kiilauran heikkoutena on lovivaikutus, joka syntyy kiilauran alueelle.

Laakerilukite liimat ovat anaerobisia liimoja, eli niillä voi liimata metallisia osia keskenään. Laakerilukite liimalla luodaan luja liitos kokomatkalle kiinnityskohtaan (Loctite 1998, 117). Liitoksen suunnittelussa huomioon otettavat asiat on esitetty kappaleessa 5.2. Etuna muihin liitöntätapoihin on kuormituksen tasaisempi jakautuminen ja tasaiset jännityshuiput. Liimoilla, hitsauksella ja juotteilla ei myöskään esiinny haitallista mikroluokitusta. Yhteiseksi optimaaliseksi liimaksi valittiin 648, jolla oli käytössä olevista parhaat ominaisuudet kaikkiin kohteisiin.

5 LIIMALIITOKSET TUOTEKEHITYKSESSÄ

Tässä kappaleessa käsitellään liimaliitoksen suunnittelussa huomioitavia asioita. Liimauksen onnistuminen vaatii jokaisessa tilanteessa oikean aineen lisäksi oikeanlaiseksi suunnitellun liitoksen. Yhteisenä tekijänä liimaliitoksen onnistumiselle on pintojen täydellinen puhtaus. Vaativimpana liitostyyppinä suunnittelulle ovat tasopinnat. Niissä suunnittelulla on suurin vaikutus liitoksen onnistumiseen.

5.1 Tasopinnan suunnittelu

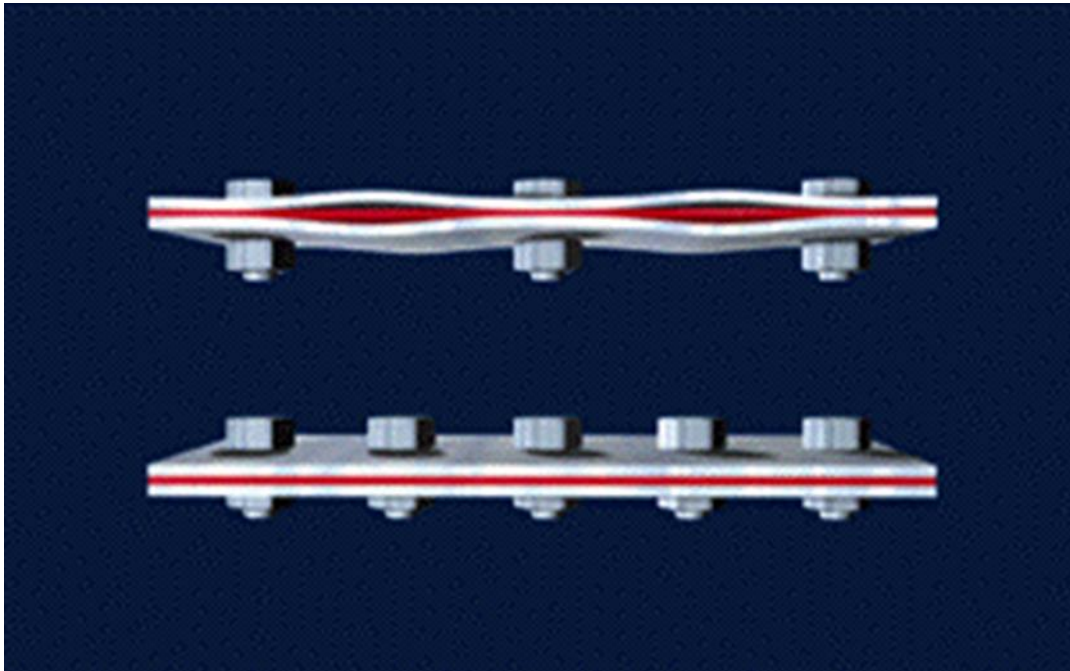
Tiivistettiin tasopinta sitten liimalla tai fyysisellä tiivisteellä, jäykkien tiivistepintojen suunnittelussa tulisi ottaa seuraavat kohdat erityisesti huomioon:

- kuormitusolosuhteet
- kiinnityspulttien sijoitus
- tason jäykkyys
- tiivistepintaan kohdistuva paine
- pinnanlaatu
- viisteet

Kuormitusolosuhteista pitää huomioida ulkopuolisten kuormanaiheuttajien aiheuttama liitosliike, esimerkiksi ilmastointilaitteen asennus hammaspyöräkoteloon. Jos liitosliikkeen aiheuttama poikittaisvoima ylittää materiaalin leikkauslujuuden tai erottava voima ylittää liima vetolujuuden, tiiviys vaarantuu. Toinen jo suunnittelussa huomioon otettava asia on kiinnityspulttien sijoitus kohtiin, missä maksimi liitosliike on odotettavissa. Liitosliikettä asentamisessa voidaan vähentää suunnittelemalla kappaleeseen hyvin sijoitettuja ohjausnastoja. Myös pulttien reikiin tulisi suunnitella viisteet asennuksen helpottamiseksi varten. (Loctite 2016c.)

Tuotannon nopeuttamiseksi ja kulujen laskemiseksi halutaan kiinnityspulttien määrää vähentää jokaisessa liitoksessa (Kaunismäki 2016). Tämä on kokeiden ja kokemuksen perusteella huono tapa säästää aikaa ja kustannuksia tiiviyden kustannuksella. Kiinnityspulttien aiheuttama puristusvoima on maksimi pulttien kohdalla ja vähäisin pulttien välissä

(Jänkävaara 2016). Kuvassa 3 on havainnollistettu pulttien määrään vaikutusta liitoksen puristuspaineeseen.

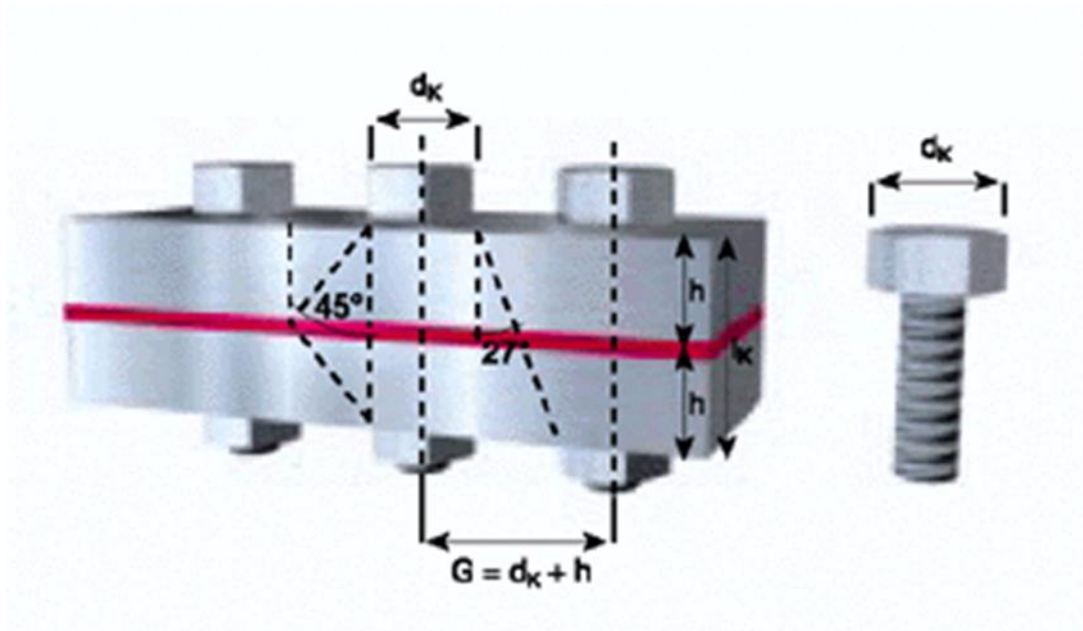


KUVA 3. Pulttien puristuspainne (Jänkävaara & Koskisuo 2014)

Optimaalinen pulttien etäisyys voidaan laskea kaavalla 4, missä G on pulttien etäisyys, d_k pultin halkaisija ja h laipan paksuus. Käytännössä pulttien etäisyys 4-10 kertaa pultin halkaisija, tämä nyrkkisääntö soveltuu hyvin anaerobisille tiivisteille. Kaavan muuttujat on selvitetty kuvassa 4. (Loctite 1998, 103)

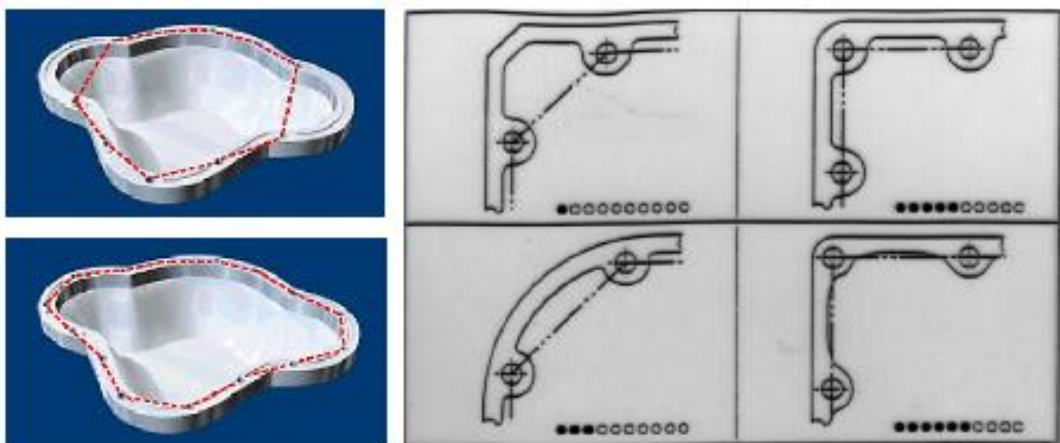
$$G = d_k + h \quad (4)$$

Pulttien tiheä tarve, tasopintojen tiivistyksessä, johtuu pultin kyvystä luoda puristusvoimaa vaan noin 45° kannasta (kuva 4) (Loctite 2016c). Useasti tasopintojen suunnittelussa pultteja suunnitellaan liian vähän tai niiden paikat on huonosti päätetty. Tason jäykkyyttä lisäämällä, esimerkiksi lisäämällä materiaalia pulttien kohdalle, saadaan pultin kyky siirtää puristuspainetta leveämmälle.



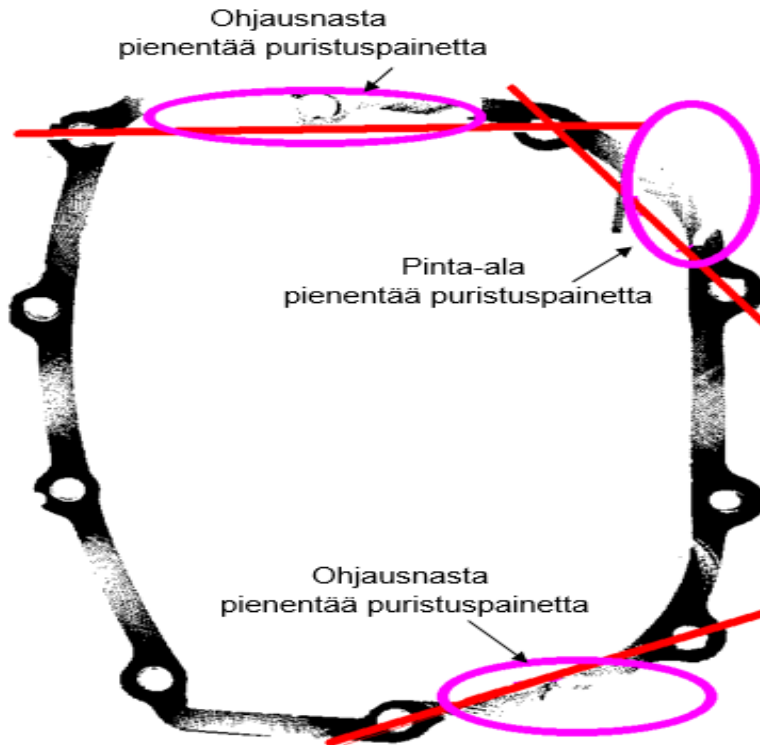
KUVA 4. Pulttien puristusvoiman jakautuminen (Jänkävaara & Koskisuo 2014)

Yhtä tärkeää tasotiivistyksen suunnittelussa on pulttien sijoittelu kappaleeseen. Piirretty punainen suora linja kiinnityspulttien välillä näyttää puristusvoiman jakautumisen pulttien välillä. Linjan tulisi kulkea tiivistettävän pinnan keskellä, jolloin saadaan tasainen puristusvoima koko tiivistettävälle alueelle (kuva 5). (Loctite 1998, 103.) Tämän opinnäytetyön Case-esimerkin vuodon osasyysksi selvisi puristusvoiman linjan joutuminen tasopinnan ulkopuolelle kriittisessä kohdassa.



KUVA 5. Pulttien puristusvoiman jakautuminen (Loctite 2016c, 9)

Puristuspainetta tasopinnoissa on vaikea laskea tai mitata. Yksi käytetty mittausmenetelmä on liitoksen väliin asetettava paineherkkä filmi (FUJI). Tällä mittausmenetelmällä saadaan tasopinnan puristuspainetta esille paperiin (kuva 6). (Jänkävaara & Koskisu 2014.)

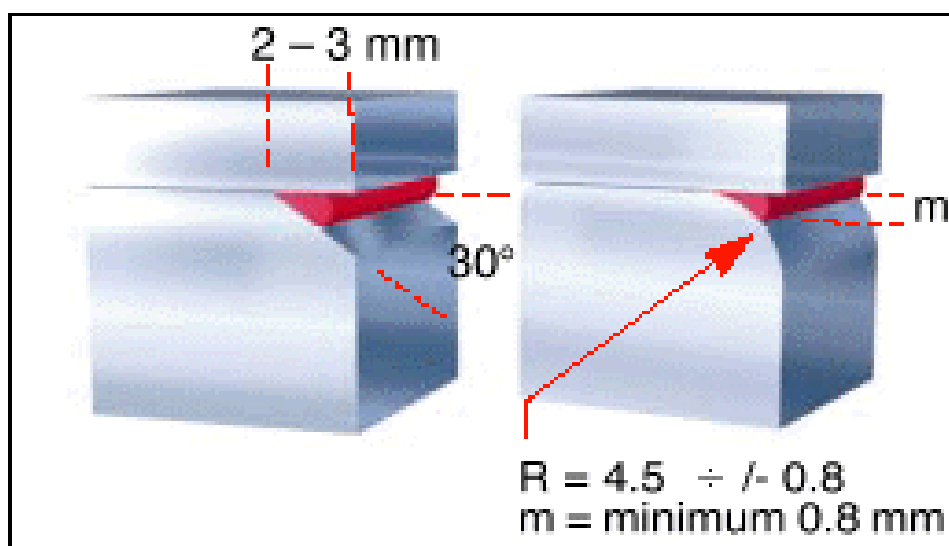


KUVA 6. Puristuspainetta mittaaminen FUJI-paperilla (Jänkävaara & Koskisu 2014.)

Kuvassa 6 paperin violetilla rajatut vaaleat alueet ovat kyseisen tasopinnan heikoimmat kohdat puristuspainetta kannalta. Punaiset viivat kuvaavat miten pulttien voima ohjautuu tasopinna ulkopuolelle. Suurin syy kuvan esimerkissä on tiivistepintojen ohjausnastan kolot, jotka heikentävät kappaleen jäykkyyttä kriittisissä paikoissa ja ohjaavat puristuspainetta tiivistettävän pinnan ulkopuolelle.

Muita vaatimuksia anaerobisilla liimoilla tiivistettäessä tasopintoja on lueteltu seuraavaksi. Pintavaatimukset tulisi olla noin $0.6\text{--}4.0\ \mu\text{m}\ R_a$ tai $2.0\text{--}16\ \mu\text{m}\ R_z$ (Loctite 2016c). Pinnantasaisuus liimoja käytettäessä olisi suositeltavaa olla $0.1\ \text{mm} / 400\ \text{mm}$ pituudella (Loctite 1998). Maksimi välys tulisi olla alle anaerobisen tiivisteliimalle ilmoitetun, joka on Loctiten anaerobisilla tuotteilla väliltä $0.25\text{--}0.1\ \text{mm}$ ja silikoneilla $1\ \text{mm}$ (Jänkävaara & Koskisu 2014). Tason leveys kaikilla tyyliillä tulisi olla vähintään $5\ \text{mm}$ (Loctite 2016c).

Hieman joustoa vaativat liitokset tai joustavat kappaleet tulee tiivistää silikonityyppisillä liimoilla. Silikonin etuna on sen kyky kestää vähäistä liitosliikettä ja isompi välys liitoksissa. Silikonilla tiivistettävää liitosta suunniteltaessa on otettava huomioon silikoniliitoksen vaatima viiste. Silikoni vaatii toimiakseen optimaalisesti pienen välyksen ja viisteen tai pyöristykseen toiseen tiivistepintaan (kuva 7). (Loctite 1998, 105-107.) Silikoni tulee annostella siten, että se pursuaa noin 2-3 mm viisteeseen. Viisteen puolella olevan nesteen aiheuttama paine tiivistää silikonia rakoon päin, ylläpitäen tiiveyttä tehokkaasti. Viisteen optimaaliset mitat ovat esitetty kuvassa 7. Silikonia tulee myös annostella riittävästi, jotta kappaleiden välys täyttyy ja ainetta on tarpeeksi kestämään kappaleiden mikroliike. Oikean määrän takaamiseksi kappaleen tiivistepintaan usein lisätään uria, jonne annostellaan ylimäärin ainetta. (Loctite 2016c.)



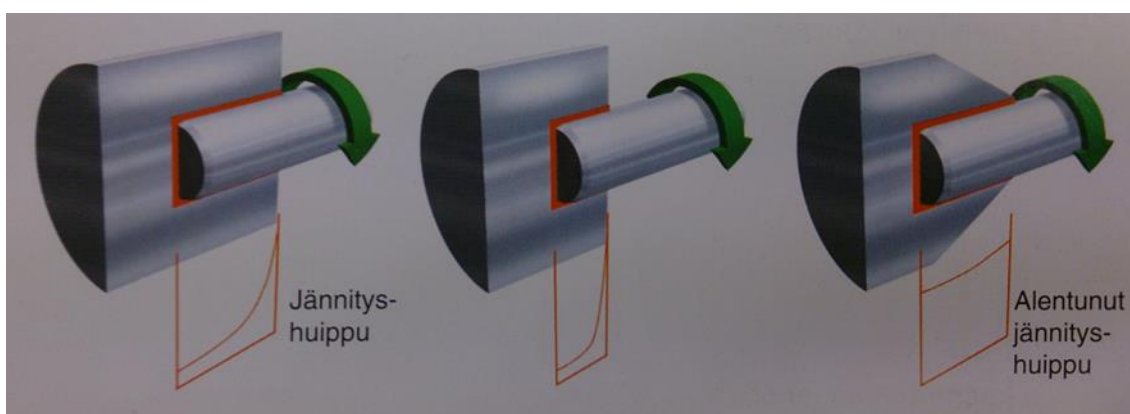
KUVA 7. Tasopinnan tiivistys silikonilla (Loctite 1998, 107)

5.2 Sylinterimäisen liimaliitoksen suunnittelu

Sylinterimäiset kappaleet on mahdollista liittää monella erilaisella tyylillä. Käytetyimpiä tapoja on kutistus-, puristus- ja muotosulkeiset liitokset. Tässä opinnäytetyössä keskitytään liimoilla kiinnitettyihin ja vahvistettuihin liitoksiin. Sylinterimäisten kappaleiden liimaamiseen käytetään laakerilukite liimoja. Kyseisiä kohteita ovat akselin ja navan liitos, laakerin liimaus ja tulppaukseen käytettävät tulpat.

Moottorinvalmistamisessa käytetään paljon liimattavia tulppia koneistuksessa syntyvien ylimääräisten reikien tulppaamiseen. Tulpat liimataan laakerilukitteella, joten niiden suunnittelu on otettu tässä esille. Tulpan suunnittelussa tulee erityisesti ottaa huomioon liimojen maksimi vällys, joka on Loctiten tuotteilla 0,1-0,25 mm. Aineen sallima vällys tulee ottaa piirustusten toleransseja mitoittaessa huomioon. Liian isolla toleranssilla anaerobinen liima ei kovetu oikein, eikä haluttua tiiviyttä saavuteta (Loctite 2015b). Tulppiin kohdistuu vain nesteiden paineen aiheuttamaa aksiaalissuuntaista voimaa, jonka oikein toteutettu liimaus kestää varmasti.

Akselin ja navan liimaliitos on hyvä esimerkki sylinterimäisen liimaliitoksen suunnittelusta. Akselin ja navan liimaliitoksen lujuuteen vaikuttaa huomattavasti kehäsuuntainen koneistusjälki. Napaa suunniteltaessa tulisi sen muoto suunnitella siten, että liimaliitokselle tulisi paljon tartuntapintaa ja massa jakaantuu viisteellisesti akseliin (kuva 8). Tällä tavalla vähennetään liimaliitokseen aiheutuvia jännityshuippuja. Navan reiän tai akselin päähän tulee suunnitella myös viiste, jotta liima ei pursua akselia asentaessa pois liitoksesta. (Loctite 1998.)



KUVA 8. Akselin ja navan jännityshuippu (Loctite 1998, 122)

Liitoksen kehäsuunnan lujuutta voidaan testata vääntökokeella (DIN 54455), josta saadaan vääntöleikkauslujuus. Aksiaalista lujuutta mitataan puolestaan puristuskokeessa (DIN 54452). Pienillä pinnankarheuksilla ($R_z < 10 \mu\text{m}$) nämä kaksi lujuutta ovat samaa suuruutta. Pinnankarheuden kasvaessa vain puristusleikkauslujuus kasvaa huomattavasti. Tällaisen liitoksen Vääntömomentin siirtokyky teoriassa lasketaan kaavalla 5. (Martikka 2014, 218.)

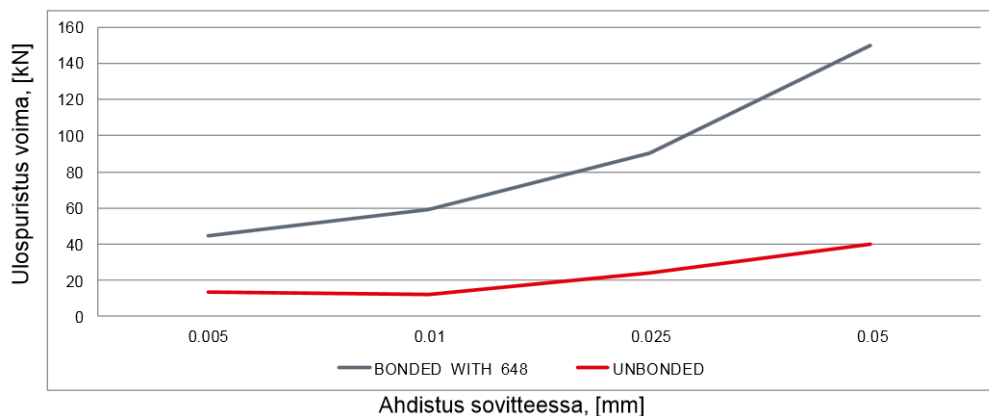
$$M_v = f\tau_T \frac{1}{2}\pi D^2 l \quad (5)$$

Kaavassa 5 D on akselin halkaisija, l on liimaliitoksen pituus, τ_T on vääntöleikkauslujuus ja f on lujuuden alennuskerroin, joka lasketaan liitteen 3 taulukon f arvojen tulona. Aksiaalisen voiman siirtokyky lasketaan kaavalla 6. Yhtälön τ_D on mittaamalla saatava puristusleikkauslujuus. (Martikka 2014, 218.)

$$F = \tau_D \pi D l \quad (6)$$

Käytännössä liiman käyttöä kaikenlaisissa lieriöliitoksissa kannattaa harkita. Liimauksella saavutetaan monenlaisia hyötyjä myös kitka- ja muotosulkeisissa liitoksissa. Liimaamalla estetään liitoksen kulumiskorroosiota ja luodaan liitoksesta lujempi. Kiilaliitoksessa liimaus estää kiilan ja kiilaurassa esiintyvät takaiskut. Esimerkkinä liimalla saavutettavasta hyödystä puristesovitteessa on esitetty kuviossa 2. Liiman avulla päästään jo 0.01 mm ahdistuksella 15 kN:sta 60 kN:in ulospuristusvoimaan (Loctite 2015b, 32).

- Liimaamattoman ja liimatun puristusliitoksen vertailu
- Tappi: halkaisija 35mm Holkki: sisä 35mm, ulko 70mm Liitospituus: 25mm



- Suurempi lujuus pienemällä ahdistuksella = parempi laatu pienemmillä kustannuksilla!

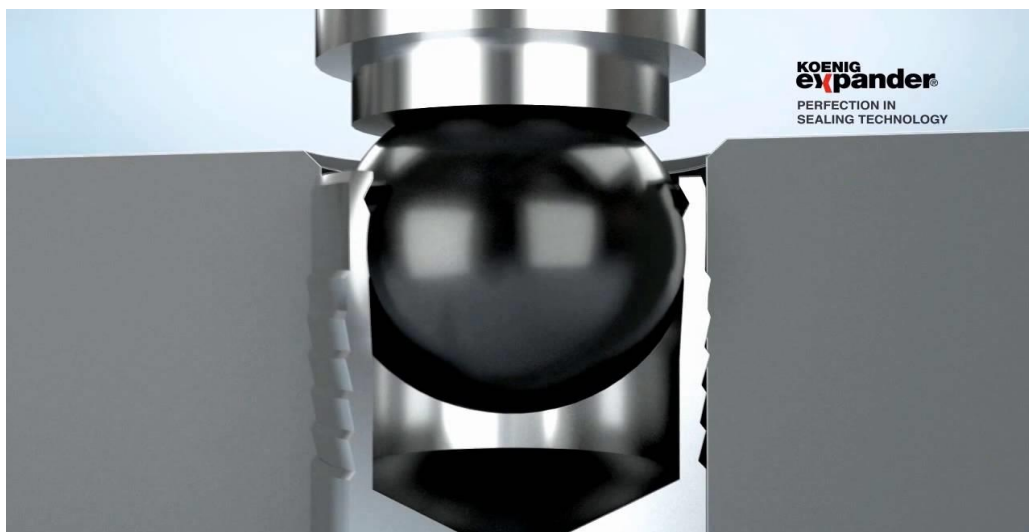
KUVIO 2. Puristesovitevertailu (Loctite 2015b, 32)

Päätös käyttää liimaa puristesoviteliitoksessa jo tuotekehitysvaiheessa lisää mahdollisuutta sallia suurempi toleranssi. Liimojen käytöllä suunnitteluvaiheessa voidaan kappaleeseen mitoittaa pienempi ahdistus (puristusaste) kappaleiden välissä, puristusvoiman pysyessä samana. Pinnankarheus tulisi olla kyseisessä liitoksessa 0,8-3,2 μm R_a (Loctite 2015b). Yleisesti liian sileän pinnan käyttöä tulisi välttää, koska se vähentää mekaanisen tartunnan vaikutusta liitoksessa.

5.3 Muut vaihtoehdot

Merkittävä liimojen käytön säästö yrityksen tuotannossa tulee usit-tiivisteiden korvatta kuparitiivisteet. Huonosti pitävien kuparitiivisteiden kanssa käytetään pultissa kierrettiivistettä tiiviyden takaamiseksi (Kaunismäki 2016). Uusien usit-tiivisteiden päästessä tuotantoon asti, voidaan kierrettiivisteestä luopua. Silloin liimojen käyttö tuotannossa vähenee nopeuttaen työpisteitä. Toisaalta tärkeissä ja helposti löystyvissä kohteissa tulee käyttää pulteissa kierrelukitetta tai pultteja joissa on valmiiksi lukite annosteltuna.

Haastattelututkimuksessa tuotekehitysosastolla esiin nousi ehdotus liimattavien tulppien vaihtoehdoksi. Tulppien tilalla voisi käyttää puristettavaa tulppaa, jollaisia käytetään laajasti autoteollisuudessa (Roivanen 2016). Yksi tulppien valmistaja on KVT-Fastening, jonka Koenig expander –tulppa sopisi hyvin AGCO:n moottoreihin. Kuvassa 9 on esitetty tulpan toimintaperiaate. Yksinkertaisuudessaan tulppa asennetaan reikään ja tulpan päässä oleva pallo puristetaan prässillä sisälle, jolloin tulppa laajenee ja tiivistää reiän.



KUVA 9. Koenig expander –tulppa (KVT-Fastening Koenig expander, Youtube 2016)

Kyseiset tulpat olisivat merkittävästi liimattavia parempia. Niiden käyttö nopeuttaisi tuotantoa, varmistaisi tiiviyden ja vähentäisi liimojen tarvetta. Tulppa on myös mahdollista tarvittaessa irrottaa esimerkiksi huoltotilanteessa. Huoltotilanteessa liiman tarvitsema puhtaus on vaikea taata ja siksi tulppien liimaus jälkikäteen on haastavaa. Uuden expander-tulpan asentamisessa kentällä ei tarvitsisi kuin vasaran, jolla pallo lyödään tulpan sisälle.

5.4 Lopullinen ohjeistus

Lopullinen yhteenveto liimojen käytöstä on koottu liitteeseen 1. Liitteen taulukosta on esillä nykyään tehtailla käytettävät aineet eri kohteissa. Toiseen taulukkoon on koottu erilaisten tutkimusmenetelmien antaman tiedon pohjalta optimaaliset aineet nykyään käytössä olevista. Uudet sarakkeessa on moottorin uudistuksessa käyttöönotettavat liimat, jotka ovat yrityksen toiveiden mukaan täysin käyttäjäystävällisiä (Henkel Norden Oy 2016d). Yritykselle on myös toimitettu täydellinen, jokaisesta kohteesta värikoodattu kohdemuistiinpano liimoista, esimerkki tästä liitteenä 2. Värikoodilla otetaan kantaa, käytetäänkö kohteessa oikeanlaista liimaa ja mikä tuote olisi kohteeseen oikea. Täysin väärillä liimoilla liimattavat kohteet merkittiin punaisella. Jokainen punainen kohde käytiin tarkasti läpi. Näissä kohteissa tehtiin tarkempaa toimintatutkimusta, jotta saatiin valittua kohteeseen uusi oikea liima.

Muutaman liitoksen tasopintojen liimaukseen käytetään täysin väärää ainetta. Tasopintojen liimaamisessa käytetään kierrelukitesilikonია. Loctiteltä on saatavissa kohteisiin sopivaa tasopintojen liimaamiseen soveltuvaa silikonitiivistettä. Jos liitokset kiinnitetään jatkossakin silikonilla, tulisi toiseen kiinnitettävään kappaleeseen koneistaa viiste (Kuva 7). Tasopintoja mihin silikoni esimerkiksi olisi sopivaa, on ahtimen liitos. Tasopintojen liimaaminen jäykissä kohteissa voitaisiin toteuttaa optimaalisemmin anaerobisilla liimoilla. Esimerkki tällaisesta kohteesta on vauhtipyöräkotelon liimaus.

Päällekkäisten liimojen määrää on optimitilanteessa karsittu radikaalisti. Valitut tuotteet sopivat teoriassa kaikkiin kohteisiin moottorissa, joissa käytetään liimaa. Optimitilanteessa jokaisella tehtaalla käytettäisiin samoissa kohteissa samanlaisia liimoja. Tämä vähentää eri maiden tehtailta tulevien moottoreiden eroavaisuuksia.

6 CASE: HAMMASPYÖRÄKOTELO

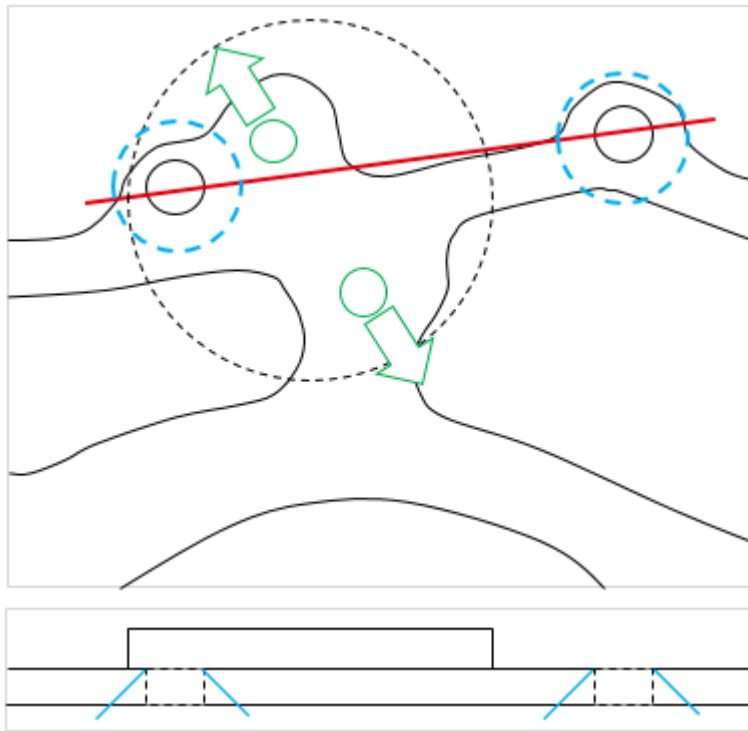
Case-esimerkiksi liimaliitosten suunnittelusta on seuraava tapaus liimattavasta hammaspyöräkotelosta. Testi ja tutkimus on tehty yhteistyössä Henkelin Harri Jänkävaaran ja Pasi Koskisuon kanssa (Jänkävaara & Koskisuu 2014). Esimerkki liitos on moottoriin pulteilla kiinnitettävä hammaspyöräkotelo, joka tiivistetään anaerobisella liimalla tai perinteisellä tiivisteellä. Kyseisen liitoksen tiiviydessä on havaittu vuotoja. Tässä testissä selvisi syyt liitoksen vuotamiseen. Kappaleen herkimmin vuotava kohta on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Hammaspyöräkotelon tiivistepinta (Jänkävaara & Koskisuu 2014).

6.1 Voiman jakauma

Tilanteen havainnollistamiseksi on piirretty pelkistetty piirustus (kuva 11). Kuvaan on kerätty muuttujat, jotka aikaansaavat vuodon tilanteessa. Pulttien aikaansaama voima kulkee punaista viivaa pultilta pultille. Pulttien kannan aikaansaava puristusaine kulkee 45° kulmassa kappaleessa, tätä on esitetty kuvan sinisellä viivalla. Koska kappaleen materiaalipaksuus on ohut, ei puristusaine pääse jakaantumaan tarvittavan isolle alueelle. Hammaspyörän kiinnitysruuvit myös aikaansaavat vääntöä ja värähtelyä kappaleen kriittiseen kohtaan, tätä on kuvattu kuvassa vihreillä nuolilla. (Jänkävaara & Koskisuu 2014.)

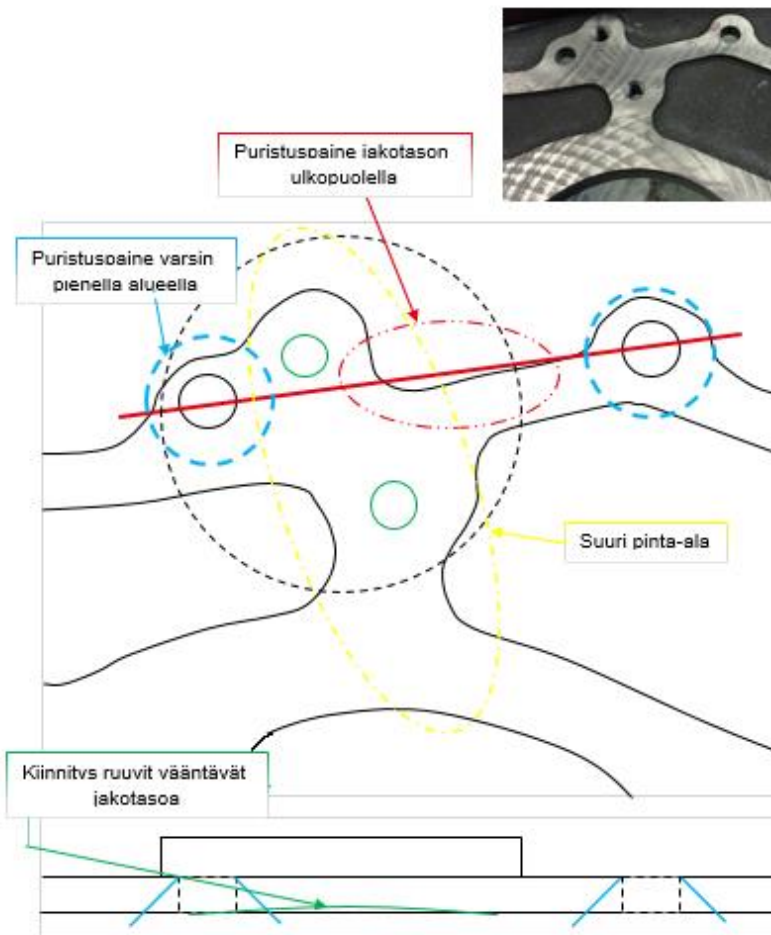


KUVA 11. Hammaspyöräkotelon voimajakauma (Jänkävaara & Koskisuo 2014).

6.2 Vuodon syyt

Kyseisen kohdan vuodot ovat monen eri tekijän summa. Kriittisen kohdan vuodot ovat muutamalla muutoksella helposti korjattavissa (kuva 12). Pulttien aiheuttama puristus ei kulje jakotason keskellä, ei edes koko matkaa jakotasolla. Materiaalia lisäämällä jakotason ulkoreunalle saadaan puristuspaine jakotasolle. Puristuspaineen sijaintia ja kriittisintä kohtaa on kuvattu kuvassa punaisella viivalla. Sinisellä viivalla kuvaan on merkitty pulttien kantojen aikaansaama puristuspaine, joka on liian pienellä alueella. (Jänkävaara & Koskisuo 2014.)

Puristettava pinta-ala tutkimuksessa kohdassa on todella suuri kahdelle pultille, joiden puristuspaine jakotasolla jää liian pieneksi. Pulttien paremmalla sijoittelulla tai määrän lisäämisellä saisi vuotokohdan tiiviyyden varmistettua. Hammaspyörän kiinnitysruuvit saavat aikaan myös jakotasolle vääntymistä ja tärinää. Värähtelyä on myös mahdollista estää pulttimuutoksilla. Kotelon materiaalin paksuus on kauttaaltaan liian pieni, sitä lisäämällä saataisiin kappaleeseen lisää jäykkyyttä ja pulteille materiaalia siirtää puristuspainetta laajemmalle alueelle. (Jänkävaara & Koskisuo 2014.)



KUVA 12. Hammaspyöräkotelon vuodon syyt (Jänkävaara & Koskisuo 2014).

Case-esimerkin hammaspyöräkotelolo on hyvä esimerkki monimutkaisen tasopinnan tiivistyksestä. Tutkimuksen jälkeen on helppo päätellä vuodon aiheutuneen inhimillisistä tuotekehityksen puutteista, jotka havaittiin vasta vuodon sattuessa. Tutkimuksen FUJI –paperi mittaus on liitteenä 4.

7 LIIMAUS TUOTANNOSSA

7.1 Tuotannon koulutus

Haastattelututkimuksessa tuotannossa selvisi syy, miksi vauhtipyöränkotelossa käytetään silikonia anaerobisen liiman sijasta. Syy liiman vaihtumiseen oli osaamattomissa liimajissa. Anaerobista liimaa levitettiin liitokseen turhan paljon, jolloin se pursusi ja tukki kriittisiä koloja (Kaunismäki 2016). Olisi suositeltavaa järjestää tuotannolle Loctiten liimauskoulutus tietyin väliajoin. Tecday-koulutuksessa pidettiin kattava liimauskoulutus, jota veti Loctiten Harri Jänkäväära. (Jänkäväära 2016.) Kyseinen koulutus oli erittäin kattava ja olisi tärkeää järjestää tuotannolle samanlainen koulutus Jänkävääran johdolla. Koulutuksella säästyttäisiin liimojen liikkäytöltä, liimausongelmilta ja liimauksen reklamaatioilta.

7.2 Käsittelyaika

Aineiden käsittely- ja kuivumisaikaa mietittiin valintoja tehdessä. Valittujen aineiden asennusajat sopivat moottorilinjan vaiheisiin. Haastattelututkimuksessa moottorikokoonpanossa esille nousi harhaluulo, etteivät liimat kuivu tarpeeksi nopeasti, koska pursunut liima ei kovetu (Kaunismäki 2016). Kyseessä oli anaerobinen liima, jonka ei ole tarkoitus kovettua muualla kuin kappaleiden välissä. Anaerobiset liimat tulisi kiristää heti kappaleiden yhdistyksen jälkeen täyteen kireyteensä, koska liimojen kovettuminen alkaa välittömästi (Jänkäväära 2016). Anaerobinen tasotiiviste kovettuu täyteen lujuuteen noin 20 minuutissa. Silikonit puolestaan nahkoittuvat samassa ajassa, jolloin ne tuntuvat kuivalta ja kestävät hieman painetta. Todellisuudessa silikonit kuivuvat täyteen lujuuteen vasta useassa päivässä. Kierrelukitteet kovettuvat noin 10 minuutissa. Kierrelukiteliimaa käytettäessä tulee pultit kiristää heti täyteen lujuuteen. (Loctite 2014.)

7.3 Laitteisto

Nykyään liimaamiseen käytössä on robotti, joka levittää liiman vaihdelaatikkokotelolle. Robotin etuna on pitkien monimutkaisten liimasauvojen veto, koska sillä saadaan tarkkaa, tasalaatuista ja pitävää saumaa. Samanlaista robottia voitaisiin ajatella muihinkin pitkiin saumoihin, esimerkiksi hammaspyörä- ja vauhtipyöräkoteloille. Hankintana robotti on kallis ja tuotantoon tulisi järjestää sille suuret tilat, joten asiaa ei tutkittu enempää. Tuotannossa on myös käytössä liimapistooleja, joilla kuppitulpile levitetään liima. Niiden toiminnassa on ollut ongelmia, erityisesti pitkien taukojen jälkeen (Kaunismäki 2016). Laitteiden puhdistukseen ennen pitkiä taukoja, esimerkiksi ennen viikonloppua, tulisi kiinnittää huomiota. Siirtymällä esitettyihin lyötäviin kuppitulppiin päästäisiin liimapistooliongelmistä kokonaan. Liimapistoolit voisi myös korvata tässä kappaleessa esiteltäviin käsiannostelulaitteisiin. Tuotannossa on käytössä myös käsipistooleita liimapatruunoille, joiden toiminnassa ei ole moittimista.

Palaverissä Loctiten edustajien kanssa esille nousi erilaiset annostelulaitteet, joilla voitaisiin korvata kierrelukitteiden käsiannostelu ja pultit, joissa on lukite valmiiksi annosteltuna (Koskisuo 2016). Pultit, joissa on valmis lukite, ovat kalliimpia mutta nopeampia asentaa, kuin erilliset pultit joihin levitetään laitteella liima (Jänkävaara 2016). Esitellyt laitteet olivat pääsääntöisesti vain Loctiten tuotteille ajateltu. Kalliimpia laitteita hankittaessa sitoudutaan vahvasti pitämään Loctite liimantoimittajana myös tulevaisuudessa.

Halvimpana ja todella varteenotettavana annostelutyökaluna oli käsiannostelulaite (kuva 13). Laite on yksinkertaisuudessa pullon päälle tuleva annostelija, mikä vähentää jo huomattavasti liimojen turhaa kulutusta. Laitteella annostelu on helpompaa ja siistimpää, kuin pullon nokasta. Laite kulkee työpisteellä pullon mukana. Laite sopii 50 ml ja 250 ml pulloille. (Koskisuo 2016.) Kyseinen työkalu tulisi ottaa tuotannossa kaikille liimapulloille käyttöön.



KUVA 13. Käsiannostelulaite (Loctite 2016a)

Toisena vaihtoehtona on Loctiten 97009 puoliautomaattinen annostelulaite, joka sopii lukitteille ja pikaliimoille. Laitteen ohjaus toimii joko jalkapolkimella tai sormikytkimellä. Laitteessa voidaan käyttää 250ml pulloja ja 500g jauhetta. Käyttäjälle laite on helppokäyttöinen ja se annostelee liiman tarkasti kierteelle. Tulevaisuudessa laitteen voi kytkeä robotille I/O portin kautta. Laitteen toimintaperiaate on yksinkertaisuudessaan seuraava, pultti laitetaan reikään ja painetaan kytkintä, jolloin laite pursottaa kierteelle asetetun määrän liimaa. (Loctite 2016a.)

Kolmantena vaihtoehtona ovat Loctite 97152 ja 97153. Laitteiden erona on kanavien määrä, toisessa kaksi ja toisessa 4 kanavaa. Laitteet ovat täysin automaattisia, ja niistä löytyy PLC-kanava robottia varten. Laitteet ovat säätömahdollisuuksiltaan erittäin monipuoliset. Laajennusmahdollisuudet laitteissa ovat kattavat, jokaisesta kanavasta voidaan vetää esimerkiksi annostelulaite eri kokoonpanopisteille. Näin ollen neljä kanavaisella laitteella saadaan liiman automaattinen annostelu neljään kokoonpanolinjan pisteeseen. Tulevaisuudessa laite voidaan liittää robottiin, jos sellaisia tuotantoon hankitaan lisää. Laitteet vaativat erillisen säiliön. Tarjolla on pienempi säiliö, jossa voi käyttää 250 ml ja 500 ml pulloja. Toinen säiliö on iso 2 L säiliö, jossa voidaan käyttää pussijärjestelmän jauhemaista liimaa. Annostelulaitteena automaattisiin laitteisiin optimaalinen annostelu-asema olisi Loctite Z3205. Asemalla on helppo annostella ainetta ruuveille tai pyöreille kappaleille. Laitteessa on induktiivisanturi, joka annostelee ainetta automaattisesti pulttia pyörittäessä. (Loctite 2016a.) Automaattisten annostelijoiden hankinta olisi kallis kustannus ja vaatisi tuotannossa layout suunnittelua. Tulevaisuudessa laitteiden hankintaa kannattaa miettiä esimerkiksi layoutin muuttuessa.

Tämänhetkiseen tuotantolinjaan kustannustehokkain annostelulaite korvaamaan valmiiksi annostellut pultit ja vähentämään hukkaan menevää ainetta olisi manuaalinen 998400 Dial-A-Seal annostelulaite (kuva 14). Laitteen annostelurullassa on sopivat lovet useimmalle uroskierteelle. Laite annostelee ainetta, kun pultti työnnetään loveen. Ainoana säätönä laitteessa on annosmäärän säätöruuvi eli laite on erittäin helppokäyttöinen ja edullinen. Laitteessa voidaan käyttää 50 ml, 250 ml pulloja ja 1 l Astiaa. Laite on pieni, joten se ei veisi asennuspisteiltä paljon tilaa. Asennuspisteillä, joissa käytetään paljon kierrelukitetta pulteissa, voitaisiin hankkia kyseinen laite. (Loctite 2016a.)



KUVA 14. Loctite 998400 Dial-A-Seal (Loctite 2016a)

7.4 Käyttöturvallisuus

Käyttäjäturvallisuutta tutkittiin haastattelututkimuksella tuotannossa. Haastateltu asentaja oli saanut pahoja allergisia reaktioita liimoista. Pahiten allergisoiva tuote oli tasotii-viste 518 ja laakerilukite 638. Myös silikonipohjaiset 572 ja 577 aiheuttivat reaktion. Kaikkien tuotteiden tuoteselostus varoittaa aineen ärsyttävän silmiä ja ihoa. TAYS:in allergiatutkimusten mukaan allergiaa aiheuttavat aineet liimoissa ovat akryylihapo, maleiinihapo ja kumeenivetyperoksidi. (Kukkula 2016.)

Linnavuoren työterveyden mukaan liima-allergiat ovat yleisiä asentajien keskuudessa ja kaikki reaktioita saaneet lähetetään TAYS:iin allergiatesteihin. Liimoista aiheutuu allergisille pahaa ihon punotusta ja kutinaa, sekä silmiin jouduttua silmien kirvelyä ja luomien turpoamista. Haastatellulla liimat aiheuttavat allergisen reaktion jopa työvaatteiden läpi,

joten kyseessä on todella allergisoiva aine. Liimaa päätyy vaatteille huomaamatta moottorin kyljestä. Moottorinkyljessä on ylipursunnutta anaerobista liimaa, joka ei kuivu ilman ilmatonta tilaa. (Kukkula 2016.)

AGCO Power tarjoaa allergisille asentajille työhön kunnolliset kumihanskat, jotka haastattelun perusteella suojaavat reaktioilta. Asentajia myös sijoitetaan työpisteisiin, missä ei tarvitse liimata, tai pisteellä on työpari suorittamassa liimaukset. Allergisen reaktion saaneet asentajat ohjataan heti työterveydenhuoltoon, josta työntekijät saavat lähetteen allergiatesteihin. Heti oireiden ilmetytty työntekijöille jaetaan kumihanskat ja testien perusteella mietitään työpiste, missä ei joutuisi alttiiksi liimoille. Koska liimat ovat todella allergisoivia ja allergisia reaktioita saaneita on paljon, on syytä siirtyä Loctiten tarjoamiin käyttäjäturvallisiin liimoihin. (Kukkula 2016.)

7.5 Hinta

Tuotannossa saataisiin noin lievä säästö, vuoden 2014 kulutuksella, jos kaikkien aineiden pullokoot vaihdettaisiin 50 ml isompiin 250 ml pulloihin. Toinen suuri säästö saataisiin investoimalla manuaalisiin annostelutyökaluihin ja annostelu laitteeseen. Laitteilla säästetään liimojen hukkakäytössä ja kuivumisessa. Käsiannostelu työkalun listahinta on noin 60€ kappale 250 ml pulloille.

Annostelulaitteet ovat kalliimpia investointeja. Ensimmäiseksi manuaalisen Dial-a-Seal laitteen listahinta on noin 1000 € kappale. Laitteella tosin helpotettaisiin suuresti asennuksen kierrelukitteen annostelua. Puoliautomaattinen annostelulaite maksaa noin 2000 €, sekin on vain yhdellä asennuspisteellä hyödynnettävä laite. Automaattiset laitteet maksavat puolestaan 3400 € ja 3900 €. Automaattisiin laitteisiin tarvitsee myös hankkia säiliöt 1600 € tai 5000 € ja annostelulaitteet 800 € kappale. Kalliimmalla säiliöllä tosin voidaan käyttää liimaa pussimuodossa, jolloin itse aine on huomattavasti halvempaa. Automaattilaitteesta voidaan vetää annostelulaitteet monelle eri asennuspisteelle tai robotille. Laitteiden takaisinmaksuaikaa ei ole esitetty tässä opinnäytetyössä. (Loctite 2016a.)

7.6 Huolto ja kenttäkorjaus

Huollossa ja kenttäkorjauksessa on omat haasteensa liimauksien toteuttamisessa. Huollossa ei ole aina saatavilla laajaa valikoimaa ja tietoisuutta tuotteista. Hyvänä apuna huoltoihin olisi Loctiten valintaopas (Loctite 2014) tai Loctien huoltotuote sivusto (Henkel Norden Oy 2016a). Liitteenä 5 on yhteenveto vaihtoehtoisista liimoista eri kohteisiin. Tuotteiden erot ovat pääsääntöisesti kuivumisajassa. Taulukon liimat on valittu niin, etteivät muut ominaisuudet radikaalisti muutu optimaalisesta tuotteesta. Huollon vaikeutena on myös linjastolla olevine annostelulaitteiden puuttuminen. Myös huoltopisteille tulisi tarjota Loctiten pulloihin sopivia käsiannostelulaitteita. Kenttäkorjauksia ja huoltoja toteuttavalle tahoille voisi myös tarjota Loctiten liimauskoulutusta.

Huollon liimauksien hankaluutena on kohteiden puhtaus ja kuluminen. Pintojen puhdistus tulee aloittaa poistamalla vanha tiivistaines. Tiivisteen tai liiman voi poistaa varovasti rapsuttamalla. Hinkkaamalla liimaa poistaessa tulee olla tarkkana, jottei vahingoita tiivisteipintojen pinnanlaatua. Parempana tapana on erilaisten liuottimien käyttö. Loctitellä on tiivisteiden poistoon erilaisia aineita, esimerkiksi SF 7200. Jotkin aineet on myös mahdollista ylikuumentaa irti liitoksista (Loctite 1998.) Seuravana vaiheena on mahdollisen kulumisen toteaminen. Erityisesti laakerilukitteilla liimattavissa kohteissa tulee ottaa huomioon mahdollinen välyksen kasvaminen. Suurille välyksille on Loctitellä tarjota tuote 660, joka pääsee jopa 0,5 mm välykseen aktivaattori aineen kanssa käytettynä.

Ennen uutta liimausta tulee huollossa valmistaa pintojen täydellinen puhtaus. Pinnat tulee puhdistaa täydellisesti kaikesta ylimääräisestä, erityisesti öljystä. Puhdistukseen on Loctitellä monenlaisia liuottimia (Loctite 2014), mutta myös yleiset rasvanpoistajat toimivat hyvin. Liimaliitos ei voi koskaan olla liian puhdas. Puhdistusaineen täytyy myös ehtiä haihtua pinnalta ennen liimaamista. Kenttäkorjauksien onnistumisen kannalta tärkeimpinä aineina ovat puhdistus- ja liuotusaineet.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn suorittaminen oli suurimmalta osin tutkimusmenetelmien hyödyntämistä ja niistä saadun tiedon prosessointia. Käytetyt tutkimusmenetelmä osoittautuivat kyseisen yhteenvedon tekemiseksi tehokkaiksi tavoiksi työskennellä. Tästä opinnäytetyöstä tuli kattava yhteenveto liimojen teoriasta, valinnasta ja liitosten suunnittelusta. Työssä ei mennä millään osa-alueella liian syvällisiin asioihin, vaan työstä saa mielestäni kokonaisvaltaisen kuvan nykyaikaisista liimoista, joita ajoneuvoteollisuus moottorinvalmistuksessa käyttää. Työssä nousee esiin liitosten suunnittelu liimausteknisistä näkökulmista, joita harvemmin tulee esimerkiksi tasopinta liitosta suunniteltaessa mietityksi. Työn sisältämä teoria pyrittiin valitsemaan niin, että siitä olisi hyötyä liimauksien kanssa työskentelevälle. Eettiseltä näkökulmalta positiiviseksi asiaksi voisin nostaa yrityksen halun siirtyä täysin käyttäjäystävällisiin tuotteisiin tulevaisuudessa. Kiinnostus kyseisiin aineisiin heräsi tämän opinnäytetyön toimintatutkimuksen aika, koska turvalliset tuotteet todistettiin yhtä toimiviksi kuin vanhat tuotteet. Muutos helpottaa huomattavasti liima-allergisten asentajien työskentelyä.

Yhteenvetoon valitut aineet ovat teoriassa täysin sopivia, enkä usko käytännön olevan toinen. Minkään kohteen tuotteen mikään ominaisuus ei muuttunut niin kriittisesti, ettei se oikeinkäytettynä kelpaisi liimauskohteeseen. Tulevaisuuden käytännöntestit liimoilla osoittavat tämän opinnäytetyön tutkimustulosten oikeellisuuden. AGCO Powerille erikseen toimitettuun yhteenvetoon voidaan testien jälkeen kirjata mahdolliset muutokset, jotta yhteenveto pysyy kattavana ja ajan tasalla.

Kehittämisehdotuksina tulevaisuudessa olisi testata valittuja optimi aineita Linnavuoren tuotannossa, jos mitään ongelmia ei esiinny voitaisiin siirtyä uusiin liimoihin kaikissa tehtaissa. Tuotannonpuolella asentajille tulisi järjestää Loctiten liimauskoulutus osaamisen takaamiseksi. Tuotantolinjoille mielestäni tulisi hankkia jonkintasoisia levityskoneita, ainakin käsiannostelu laitteet pulloihin. Liimojen käytön vähentämistä kuppitulppien osalta voisi kartoittaa. Opinnäytetyössä esiin tulleet lyötävät tulpat olisivat mielestäni tutkimisen ja kokeilemisen arvoisia käytännössä. Kun moottori uudistus on siinä vaiheessa, että protokonetta kootaan, tulisi sen liimaliitoksiin käyttää käyttäjäystävällisiä liimoja tulevaisuutta ajatellen.

LÄHTEET

- 3M Oy. 2016. 3D CAD Models. Luettu 10.3.2016.
http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Interconnect/Home/Resources/3DModels/
- AGCO Power. 2016. Perehdytysmateriaali.
- Aitto-oja, S. & Laine, L. 2004. Liimat, Toiminta. Luettu 20.3.2016.
<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/liimat/aloitus.htm>
- Ala-Maakala, P. Design Manager, R&D. 2016. Haastattelu 15.3.2016. Haastattelija Mäkelä, T. Nokia.
- Droste, O. 2013. Threadlocking. Henkel Norden Oy.
- Henkel Norden Oy. 2016a. Huoltotuotteiden valikoima. Luettu 9.3.2016.
<http://www.henkel-adhesives.fi/huoltotuotteiden-valikoima-5462.htm>
- Henkel Norden Oy. 2016b. RetCalc. Luettu 23.3.2016.
<http://www.loctite.fi/retcalc-4102.htm>
- Henkel Norden Oy. 2016c. Tietoa LOCTITESTA. Luettu 2.2.2016.
<http://www.loctite.fi/tietoa-loctitesta-4125.htm>
- Henkel Norden Oy. 2016d. Työturvallisuutta suorituskyvystä tinkimättä. Luettu 23.2.2016. http://www.loctite.fi/fis/content_data/256562_Flyer_HS__AN_FI.pdf
- Jänkävaara, H. District Area Manager. 2016. Haastattelu 16.2.2016. Haastattelija Mäkelä, T. Nokia.
- Jänkävaara, H. & Koskisuo, P. 2014. Case, Tasotiivistys HP-kotelo. Nokia: Henkel Norden Oy.
- Kaunismäki, M. Manager, Global Manufacturing Engineering. 2016. Haastattelu 1.2.2016. Haastattelija Mäkelä, T. Nokia.
- Koskisuo, P. District Area Manager. 2016. Haastattelu 16.2.2016. Haastattelija Mäkelä, T. Nokia.
- Kukkula, A. asentaja. 2016. Haastattelu 4.4.2016. Haastattelija Mäkelä, T. Nokia.
- Loctite. 1998. Worldwide Design Handbook. 2. painos. München: Loctite European Group.
- Loctite. 2014. Valintaopas, Teolliset liima-, tiivistys- ja pintakäsittelyratkaisut. 3. painos. Vantaa: Henkel Norden Oy.
- Loctite. 2015a. Edistykselliset OEM liimat, Kierrelukitus. Perehdytysmateriaali. Henkel Norden Oy.

Loctite. 2015b. Edistykselliset OEM liimat, Sylinterimäisten osien kiinnitys. Perehdytysmateriaali. Henkel Norden Oy.

Loctite. 2016a. Annostelulaitteet, Perehdytysmateriaali. Henkel Norden Oy.

Loctite. 2016b. Edistykselliset OEM liimat, Kierretiivistys. Perehdytysmateriaali. Henkel Norden Oy.

Loctite. 2016c. Edistykselliset OEM liimat, Tasotiivistys. Perehdytysmateriaali. Henkel Norden Oy.

Martikka, H., 2014. Muita liitoksia. Teoksessa: Björk, T. ym. (toim.) Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma Pro Oy, 209-220.

Roivanen, P. Design Engineer. 2016. Haastattelu 14.3.2016. Haastattelija Mäkelä, T. Nokia.

Tiainen, T., Aittoniemi, J., Yli-Karhu, T. & Haukijärvi, I. 2015. Toimintatutkimus tietojenkäsittelytieteen tutkimuksessa. Tampere: Informaatiotieteiden yksikkö. Tampereen Yliopisto.

KOENING EXPANDER: KVT-Fastening video. Koenig-expander –tulppa. Youtube 2016. Katsottu 22.3.2016. <https://www.youtube.com/watch?v=d6j5fnrb6C4>

Liite 1. Yhteenvedo liimoista

LIIMAT

Käytössä nyt

	Linnavuori	Brasilia	Kiina
Laakerilukite	638 & 648	638 & 601	638 & 962T
Tasotiivistys (Robotti)	5182		
Tasotiivistys	518 & 574 (572)	518 & 574	518 & 5910
Kierrelukite	243, 2701 & 222	242 & 577	243
Kierretiivistite	572 & 577	567	572
Pikaliima	401		
Puhdistus	7200		7200

Optimit

	Linnavuori	Brasilia	Kiina	Uudet	Kohteita
Laakerilukite	648	648	648	6300	Kupittulpat, laakerit ja karttoliimaukset
Tasotiivistys (Robotti)	5182				
Tasotiivistys	518 & 5970 Silicon	518 & 5970 Silicon	518 & 5970 Silicon	5800	Esim hammaspyöräkotelo
Kierrelukite	243 & 222	243 & 222	243 & 222	2700	
Kierretiivistite	572	572	572	5400	
Pikaliima	401	401	401		
Puhdistus	7200 & 7063	7200 & 7063	7200 & 7063		

Huomioitavaa

- Loctite 222 Helposti avattaviin kohteisiin 6Nm
- Loctite 5970 Kohteisiin joissa vaaditaan joustoa
- Kaikki uudet liimat on täysin käyttäjäturvallisia
- Loctite 7200 Tiivisteenoistoaine
- Loctite 7063 Rasvanpoistoaine
- Vaatii viisteen



Liite 2. Esimerkki kohdemuistiinpano liimoista

Loctite Description	Volume	Comments	Picture / application	Picture	Optimal
Loctite 5182	850ml	Gear box housing 5-hall			
Loctite 638	250ml	Cup plug, 5-hall			
Loctite 518	300ml	5-hall, cover			
Loctite 638	250ml	Cup plug 5-hall			
Loctite 638?	250ml	cup plug 5-hall			
Loctite 243	50ml	screws 5-hall			
Loctite 648	50ml	cup plug 5-hall			
Loctite 572	250ml	Screw, 5-hall			
Loctite 572	250ml	Flywheel housing 5-hall			518 & 5970 Silicon
Loctite 574	250ml	5-hall			

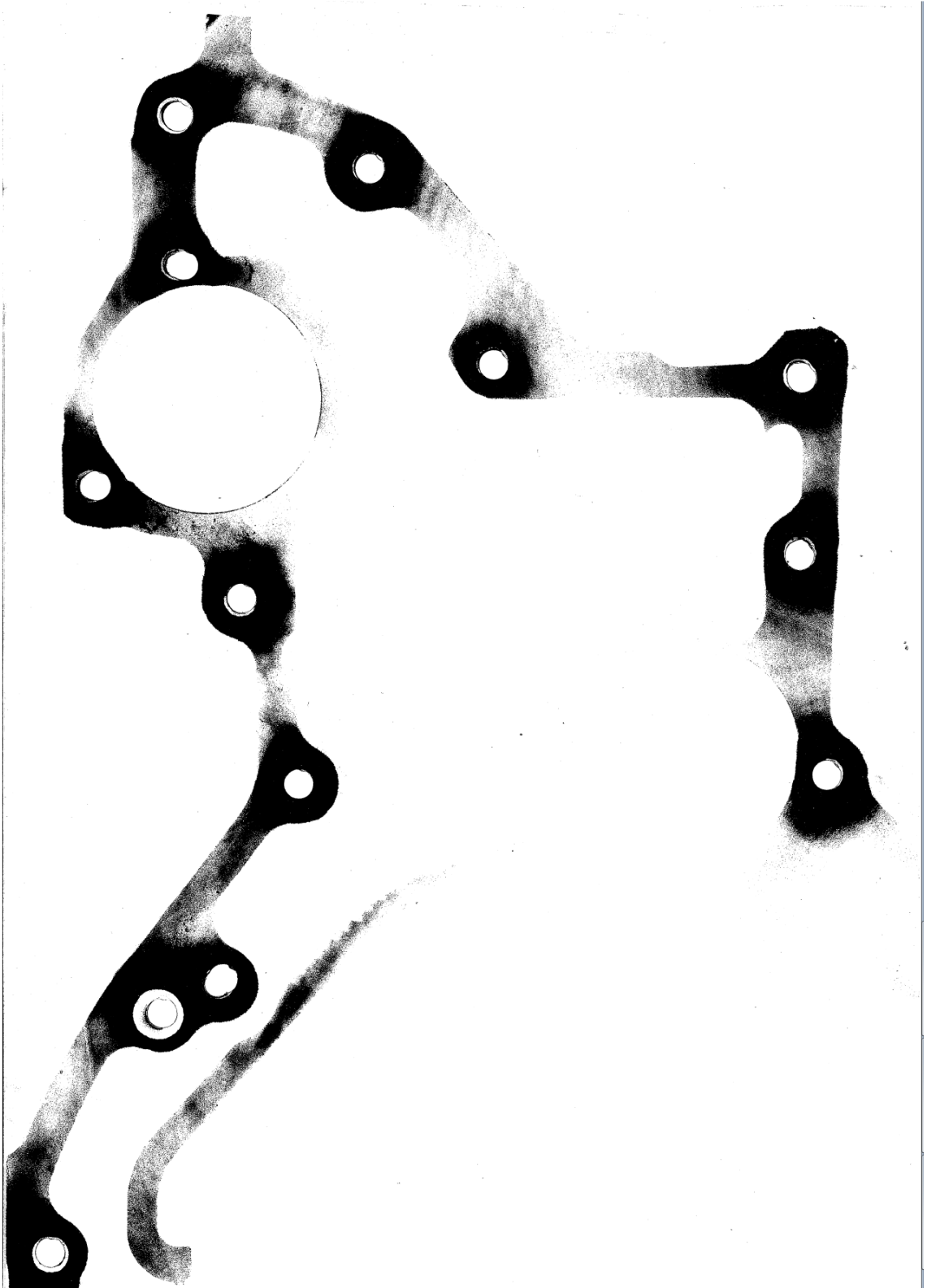
Liite 3. Lujuuden alennuskertoimet

Taulukko 3.4-4. Lujuuden alennuskertoimet akseli-napaliima-liitoksille (6).

Vaikutussuureet	Ker-roin	Vaikutussuureet	Ker-roin
(1) Materiaalikerroin Niukkaseosteiset teräkset Seostetut NiCr teräkset Alumiini ja Al-seokset Kupari ja Cu-seokset Harmaa valurauta Keinoaineet	f₁ 1,0 0,8 0,7 0,5 0,4 0,3	(5) Kuormituksen suunnan kerroin Kun annetaan vääntöleikkauslujuus τ ja kuormitus on tangentiaalinen. Kun annetaan puristusleikkauslujuus σ ja kuormitus on tangentiaalinen.	f₅ 1,0
(2) Liimakerroksen paksuus d (µm) < 50 50...100 100...150 150...200	f₂ 1,0 0,9 0,6 0,3	(6) Kuormituksen laji staattinen tykyttävä vaihtokuormitus epätasaisesti vaihtuva tai iskumainen	f₆ 1,0 0,7 0,5 0,2
(3) Pinnankarheus R_z (µm) Kun annetaan vääntöleikkauslujuus < 40 > 40 Kun annetaan σ 5 ...10 10 ...20 20 ...30 > 40	f₃ 1,0 0,5 0,8 0,6 0,55 0,45	(7) Käyttölämpötila T (°C) Liiman lämpötilankesto ≥ 150 °C T: 20...50 50...100 100...150 Liiman lämpötilankesto ≤ 200 °C T: 20...100 100...150 150...200	f₇ 1,0 0,5 (0,1) 1,0 0,7 0,4
(4) Liitospinnan ala A (mm²) < 200 200... 1 000 1 000 ...50 000 5 000 ...10 000 10 000 ...50 000	f₄ 1,0 0,9 0,8 0,75 0,6	(8) Lujittumisen laji Korkeissa lämpötiloissa lujittuva (noin 80 ...120 °C) Huoneenlämpötilassa lujittuva Kiihdytintä käyttävät	f₈ 1,0 0,8 0,6

KUVA 1. Lujuuden alennuskertoimet akselin ja navan liitokselle (Martikka 2014, 219)

Liite 4. Hammaspyöräkotelon FUJI –paperi



KUVA 1. Hammaspyöräkotelon FUJI –paperi tulokset (Ala-Maakala 2016)

Liite 5. Vaihtoehtoiset kenttäkorjausliimat

Vaihtoehtoiset kenttäkorjaus liimat

	Liima	Vaihtoehdot	Käyttäjävälilliset
Laakerilukite	648	638, 662, 660, 620,	6300
Tasotiiivistys (Robotti)	5182	518, 5188, 574, 515,	5800
Tasotiiivistys (silikoni)	5970	5980, 5699, 5910,	
Tasotiiivistys	518	5188, 574, 515,	5800
Kierrelukite	243	242, 245, 262, 270,	2700
Kierrelukite (avattava)	222	221, 241, 242,	
Kierrettiiviste	572	577, 582, 5776, 570,	5400
Puhdistus	7063	7061, 7070, 7066 7200,	

Huomioitavaa

Loctite 7200

Tiivisteenoistoaine

Loctite 7063

Rasvanpoistoaine



Tuomas Mäkelä