

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

MITTAUSLAITTEISTON LASINPUHDISTUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

DESIGN OF GLASS CLEANING SYSTEM FOR A MEASURING DEVICE

Lappeenrannassa 3.5.2018

Toni Toivanen

Tarkastaja TkT Kimmo Kerkkänen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Toni Toivanen

Mittauslaitteiston lasinpuhdistusjärjestelmän suunnittelu

Kandidaatintyö

2018

31 sivua, 11 kuvaa, 5 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: lasi, puhdistus, lasinpuhdistus, ikkunanpuhdistus

Tässä kandidaatintyössä suunnitellaan lasinpuhdistusjärjestelmä merikonttiin rakennetun mittauslaitteiston ikkunoiden puhdistamista varten. Sahateollisuudessa käytetyn mittarin laserskannerien toimintaa häiritsevää ikkunoihin kertyvää puupölyä ja pihkaa. Työ rajataan koskemaan vain mekaanisen rakenteen suunnittelua ja se tehdään siihen pisteeseen asti, että prototyyppi voidaan valmistaa.

Suunnittelu toteutetaan järjestelmällistä konstruoinnin työkulkumallia seuraten. Työssä otetaan huomioon sekä yleiset, että erityisesti ohutlevytuotteisiin liittyvät valmistus- ja kokoonpanoystävällisyyden periaatteet.

Lopputuloksena on järjestelmä, johon on integroitu ikkunalasi ja sitä puhtaana pitävä laitteisto. Laitteisto koostuu lineaarijohteeseen tukeutuvasta pyyhkijänsulasta, jota liikuttaa askelmoottorin pyörittämä käyttöruuvi. Järjestelmän lisäksi työssä suunnitellaan myös pikakiinnityslaite, jolla yksikkö kiinnitetään asennuskohteeseen. Laitteesta valmistettiin toimiva prototyyppi.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Toni Toivanen

Design of glass cleaning system for a measuring device

Bachelor's thesis

2018

31 pages, 11 figures, 5 tables and 1 appendix

Examiner: D. Sc. (Tech.) Kimmo Kerkkänen

Keywords: glass cleaning, glass, window cleaning

The aim of this bachelor's thesis is to design a glass cleaning system capable of cleaning the windows of a measuring system. The measuring system, which is used by the sawmill industry, suffers from wood dust and resin sticking to the windows and negatively affecting the functionality of laser scanners. This paper will focus on designing the mechanical system to the point in which assembling a prototype is possible.

Design is carried out using a systematic workflow of development and design. Design is performed so that the system is easy to manufacture and assemble.

The end-product of this thesis is a system which integrates a window glass and the mechanism that cleans it. The mechanism consists of a linear-guide-mounted wiper blade and a screw drive that moves it. Screw is driven by a stepper motor. System is accompanied by a quick install device which allows for easy mounting on the installation site. Prototype of the device was assembled and proved functional during testing.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT.....	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
LYHENNELUETTELO.....	6
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Tutkimuksen tavoitteet	8
1.2 Työn rajaus	8
2 SUUNNITTELUUN SOVELLETTAVA TEORIA	9
2.2 Konstruoinnin työnkulku	9
2.2 DFMA	10
3 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA ANALYSOINTI.....	12
3.1 Vaatimukset	12
3.2 Luonnostelu	13
3.3 Ratkaisuperiaatteiden etsiminen	13
3.4 Kehittely.....	15
3.5 Kuormitusten määrittäminen	16
3.6 Valmisosien valinta.....	17
3.6.1 Lineaarijohde	18
3.6.2 Käyttöruuvi	19
3.6.3 Moottori	20
3.6.4 Pyyhkijän sulka.....	21
3.7 Levyosien suunnittelu ja mallinnus	21
3.7.1 Päärunko	21
3.7.2 Apurunko	22
3.7.3 Pyyhkijän varsi	23
3.7.4 Moottorin kiinnike	24
3.7.5 Asennuslevy.....	25
3.7.6 Lujuustarkastelu.....	26
3.8 Viimeistely.....	26
3.9 Prototyyppi.....	27
4 JOHTOPÄÄTÖKSET	29

LÄHTEET **30**

LIITTEET

LIITE I: Kuormitusten ja moottorin vääntömomentin laskenta

LYHENNELUETTELO

DFMA	Design for Manufacture and Assembly
FEM	Finite Element Method

1 JOHDANTO

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli suunnitella järjestelmä, joka pystyy pitämään merikonttiin sijoitetun mittauslaitteiston ikkunalasit puhtaana. Kyseisiä mittareita käytetään sahateollisuudessa sahalle saapuvien tukkien ominaisuuksien automaattiseen mittaamiseen. Mittari, johon järjestelmä suunniteltiin, on yhdeksi kokonaisuudeksi integroitu järjestelmä, joka hyödyntää muun muassa röntgentekniikkaa ja laserprofiilimittausta. Kuvasta 1 käy ilmi järjestelmän perusrakenne: mittausjärjestelmä on sijoitettu kuljettimen päälle siten, että tukit liikkuvat kuljettimella järjestelmän alaosassa olevan tunnelin läpi.



Kuva 1. Mittauslaitteiston sijainti kuljettimen päällä (Finnos 2018)

Tunnelissa on ikkunoita, joiden läpi laserskannerit kuvantavat liikkuvia tukkeja. Mittarin läpi liikkuessaan tukeista irtoaa puupölyä, kuoren palasia sekä pihkaa, joka kertyy ikkunoihin ja haittaa lasermittauksen ja kameroiden toimintaa. Ilmassa olevan kosteuden tiivistyminen ikkunalaseihin aiheuttaa myös ongelmia lasereille. Aiempaa tutkimusta aiheesta on niukasti.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli suunnitella tuote siihen vaiheeseen asti, että toimiva prototyyppi voidaan valmistaa ja kokoonpanna.

Tutkimuskysymyksiä ovat:

- Mikä on sopiva kokonaisratkaisu kyseiseen käyttöympäristöön?
- Millaisella konstruktiolla valittu ratkaisu on parhaiten toteutettavissa?

1.2 Työn rajaus

Rajoitetun ajan vuoksi työstä rajataan pois mahdollisten sähkökäytön ja toimintakiertojen suunnittelu ja keskitytään pelkästään mekaanisen rakenteen kehittämiseen.

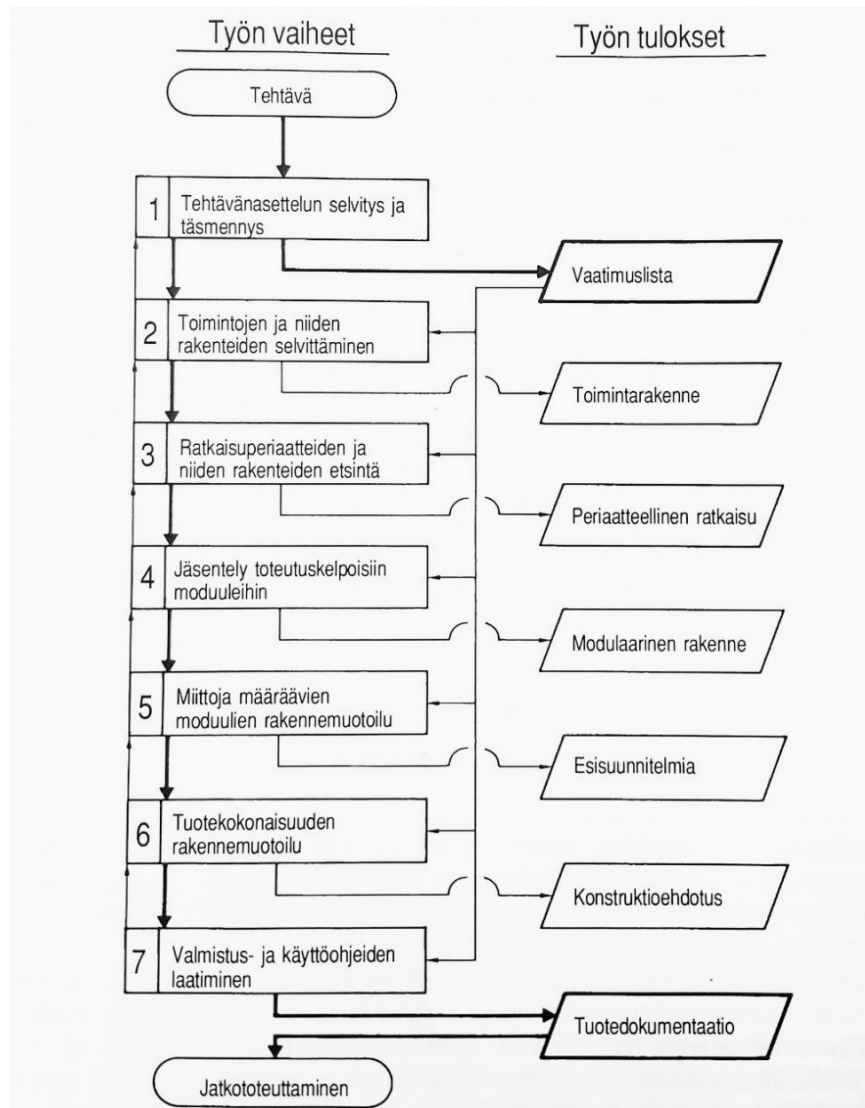
2 SUUNNITTELUUN SOVELLETTAVA TEORIA

Työssä käytettiin koko suunnitteluprosessin kattavaa konstruoinnin työkulkumallia. Mallin käyttämisellä varmistettiin, että suunnittelu etenee järjestelmällisesti.

Ohutlevyosien suunnittelu tehtiin ensisijaisesti siten, että tekniset vaatimukset toteutuvat. Lisäksi suunnittelussa keskityttiin tekemään osista mahdollisimman valmistus- ja kokoonpanoystävällisiä. Osien kestävyys tarkastettiin suunnittelun jälkeen sekä FEM-analyysillä sekä prototyypin testaamisella.

2.2 Konstruoinnin työkulku

Suunnittelua lähdettiin toteuttamaan VDI 2221-ohjeiston mukaisella konstruoinnin työkulkumallilla, joka esitetään Pahl & Beitz:n (1990) teoksessa ”Koneensuunnitteluoppi”. Kyseinen työkulkumalli (kuva 2) on teoksen mukaan yleispätevä ja sovellettavissa hyvin koneenrakennuksen suunnitteluprosesseihin. Mallissa suunnitteluongelman ratkaiseminen alkaa tehtävänasettelusta ja vaatimuksien määrittelystä ja etenee sitten toimintojen ja ratkaisuperiaatteiden etsintään. Ratkaisuperiaatteet konkretisoidaan toteutuskelpoisiksi moduuleiksi ja yhdistetään kokonaisuudeksi. Työkulkumalli päättyy valmistus- ja käyttöohjeiden laatimiseen. (Pahl & Beitz 1990, s. 47)



Kuva 2. Konstruoinnin työnkulkumalli (Pahl & Beitz 1990, s. 47)

2.2 DFMA

DFMA (Design for Manufacture and Assembly) eli valmistus- ja kokoonpanoystävällinen tuotesuunnittelu tarkoittaa suunnitteluperiaatteita joiden avulla tuotteesta saadaan helpommin valmistettava ja kokoonpantava kuitenkin heikentämättä tuotteen toiminnallisuutta. Tuotteen valmistaminen ja kokoonpano tulisi siis suunnitella samaan aikaan kuin itse tuote, eikä vasta sen jälkeen. (Eskelinen & Karsikas 2013, s. 7-9)

Järjestelmän osat oli suunniteltava siten, että ne pystytään valmistamaan yrityksen käyttämän konepaja-alihankkijan konekannalla. Levyaihiot laserleikattaisiin ja taivuttaminen tapahtuisi särmäyspuristimella. Osat on muotoiltava siten että em. leikkaus-

ja muovausmenetelmät sopisivat niihin hyvin. Hitsattavuus varmistetaan materiaalivalinnalla ja muotoilemalla osat siten että hitsaaminen on yksinkertaista.

Laserleikkaus on ”yleispätevä ja tarkka leikkausmenetelmä kaikille ohutlevymateriaaleille”. Sillä päästään pääsääntöisesti alle 0,075 mm tarkkuuteen. Laserleikkauksen käyttäminen ei juurikaan aseta rajoitteita suunnittelulle, kuitenkin täytyy huomioida, ettei materiaali ole liian heijastava eikä levynpaksuus ylitä laserleikkaukselle sopivia rajoja. (Matilainen et al. 2010, s. 203-205).

Särmäyspuristimen käyttö aiheuttaa aina mittavirheitä osan johonkin kohtaan. Näiden virheiden hallitsemiseksi suunnittelijan tulee merkitä mitkä osan mitat ovat oleellisia ja mihin kohtiin epätarkkuudet voidaan jättää. Taivuttaminen aiheuttaa epätarkkuuksia erityisesti reikiin tai loviin, jotka ovat sijoitettu lähelle taivutuslinjaa. Tästä syystä suunnittelussa täytyy huolehtia, ettei näitä piirteitä sijoiteta liian lähelle taivutuksia tai varmistaa, etteivät epätarkkuudet aiheuta ongelmia osan toiminnassa. (Matilainen et al. 2010, s. 256-257)

Kokoonpanoystävällisessä tuotteessa osien ja asennusvaiheiden määrä on minimoitu ja samoja osia käytetään usean eri toiminnon toteuttamiseen. Osien lukumäärän vähentämisessä auttaa esimerkiksi se, että erillisiä kiinnitysosia vältetään. Osien muotoilussa täytyy varmistaa, että asennukselle ja työkalujen käyttämiselle on tarpeeksi tilaa. (Eskelinen & Karsikas 2013, s. 11)

3 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA ANALYSOINTI

Järjestelmän suunnittelu aloitettiin selvittämällä vaatimukset ja valitsemalla sopiva kokonaisratkaisu. Sitten jatkettiin määrittämällä kuormitukset ja valitsemalla niiden perusteella sopivat valmisosat. Muut komponentit suunniteltiin valmisosiin sopiviksi.

3.1 Vaatimukset

Vaatimusluettelo laadittiin käyttäen mallina ”Koneensuunnitteluoppi”-teoksen mallia sekä päätunnuslistaa samasta teoksesta. (Pahl & Beitz 1990, s. 68-69) Vaatimuksia listattiin yhteistyössä yrityksen edustajan kanssa.

Erityisiä haasteita aiheuttaa puhdistettavan ikkunapinnan koko ja muoto. Laserkameran viuhka hyödyntää ikkuna-aukon pinta-alasta huomattavan osan mistä johtuen puhdistuslaitteen koko tulee saada pieneksi, ettei rakenne jää laserin tielle. Laitteesta täytyisi tehdä sellainen, että sen voi nopeasti asentaa ja irrottaa. (Moradi 2018)

Taulukko 1. Vaatimusluettelo

Päätunnus	V/T	Vaatimus
Geometria	V	Rakenne ei saa haitata laserin toimintaa
	V	Rakenne tulee olla skaalattavissa ikkunoille joiden koot millimetreissä ovat 730 x 567, 502 x 380 ja 502 x 425
	V	Laitteen maksimisyvyys 80 mm
Energia	V	Voimanlähteenä sähkö
Valmistus	T	Vältetään koneistettuja osia
Asennus	V	Asennus konttiin kestää enintään 60 s
	V	Irrotus kontista kestää enintään 60 s
	T	Asennus kontin sisäpuolelta
Käyttö	V	Puhdistaa pölyn, pihkan, rasvan ja vastaavat liat
	V	Kestää pölyisen ja kostean ympäristön sekä lämpötilat celsiusasteissa väliltä -40 ja +40.
	V	Eristää lian ja nesteet kontin ulkopuolelle
Kunnossapito	T	Huoltovapaus

3.2 Luonnostelu

Ideoinnin helpottamiseksi systeemi jaettiin taulukossa 2 esitettyihin osasysteemeihin. Ajatuksena oli, että järjestelmässä olisi yksi päärunko johon kiinnittyy puhdistusmekanismi, lasi sekä siihen liittyvät tiivisteet. Runko kiinnittyisi merikonttiin kiinnitysmekanismilla. Kyseisen mekanismin tulisi mahdollistaa rungon nopea asennus konttiin ja tarpeen vaatiessa irrotus ja vaihto uuteen. Tällaisia tilanteita olisi esimerkiksi lasin rikkoutuminen.

Taulukko 2. Lasinpuhdistusjärjestelmän toimintorakenne

Systeemielementti	Toiminnot	#
Puhdistusmekanismi	Poistaa lasin pinnasta lika	1
Runko	Tukea lasia	2
	Tukea puhdistusmekanismin osia	
Tiivisteet	Tiivistää rungon ja kontin väli	3
	Tiivistää rungon ja lasin väli	
Kiinnitysmekanismi	Kiinnittää runko konttiin	4
	Mahdollistaa nopea yksikön vaihtaminen	
Lasi	Päästää läpi valoa	5
	Suojata kontin sisäkomponentteja	

3.3 Ratkaisuperiaatteiden etsiminen

Eri toiminnoille sopivia ratkaisuperiaatteita koottiin jäsentelykaavioon. Valitut ratkaisuperiaatteet on merkitty harmaalla taustavärillä.

Taulukko 3. Ratkaisuperiaatteita

Ratkaisu	1	2	3	4	5
Systemielementti					
1 Puhdistusmekanismi	Sulka ja neste	Pyörivä ja liikkuva harja	Liikkuva harja	Ilmaveitsi	Painepesu
2 Runko	Särmätty ohutlevyrunko	Hitsattu runko			
3 Tiivisteet	Tiivistemassa	Tiivistenauha			
4 Kiinnitysmekanismi	Ruuviliitos	Liukumekanismi	Puristimet		
5 Lasi	Polykarbonaatti	Karkaistua lasia	Optinen lasi	2-kerroksinen lasi	

Puhdistettavan lian luonteen vuoksi puhdistustavaksi valittiin laajalti käytössä oleva pyyhkijänsulan ja pesunesteen yhdistelmä. Erilaisten harjojen käyttäminen ei puhdistaisi pihkaa eikä rasvaa, ne toimisivat vain pölyä ja kiinteitä roskia vastaan. Harjaan olisi voinut yhdistää pesunesteellä liuottamisen mutta sitten ongelmaksi muodostuisi kuivaaminen. Ilmaveitsellä puhdistaminen hylättiin koska käyttökohteessa ikkunat ovat vastakkain noin yhden metrin päässä toisistaan ja uhaksi muodostui puhalluksesta johtuva pölyn kulkeutuminen muihin ikkunoihin. Myös paineilmajärjestelmän mahdollinen epäluotettavuus pakkasessa johti ilmaveitsen hylkäämiseen. Painepesu hylättiin, koska ulkolämpötilassa tapahtuvan pesun takia kaikkien pesunesteiden tulisi olla jäätymättömiä. Tästä syystä suuria nestemääriä käyttävä pesujärjestelmä olisi kohtuuton.

Valittu puhdistustapa on edullinen, koska se pystyisi todennäköisesti poistamaan lian ja myös kuivaustulos olisi tarpeeksi hyvä. Yhdeksi haasteeksi muodostuu kuitenkin

puhdistettavan alan muoto – perinteinen pyörivän akselin liikuttaman varren päässä oleva sulka ei riittäisi puhdistamaan koko alaa vaan tarvittaisiin lineaarisesti liikkuva sulka.

Systeemielementille 2 parhaaksi katsottiin ohutlevyrunko, koska siitä pystyisi tekemään hitsattua runkoa huomattavasti ohutseinämäisemmän. Myöskään hitsatun rungon paremmista lujuusominaisuuksista ei tässä tapauksessa saada täyttä hyötyä kuormituksen ollessa niin alhainen.

Lasin ja rungon väliseksi tiivisteeksi valittiin tiivistemassa, koska lasin ei tarvitse olla nopeasti vaihdettava osa. Rungon ja kontin väliseksi tiivisteeksi valittiin tiivistenauha, koska koko puhdistusyksikön haluttiin olevan nopeasti vaihdettavissa.

Kontin sisällä olevan rajallisen tilan vuoksi kiinnitysmekanismin valikoitui pikatoimisten puristimien käyttö. Rungon yksi reuna painettaisiin alas ahtaaseen rakoon ja vastakkaiselta reunalta painettaisiin puristimilla kontin sisäpintaa vasten. Ruuvikiinnitys hylättiin hitautensa vuoksi. Liu'utus olisi tapahtunut siten että sen reunat liukuvat kolmella sivulla olevien kehyksien alle. Tämä ratkaisu hylättiin tilanpuutteen vuoksi. Että liu'utus olisi onnistunut vaadittaisiin ikkunoiden suuntaisessa tasossa yhtä pitkä tyhjä tila kuin itse ikkuna on kooltaan.

3.4 Kehittely

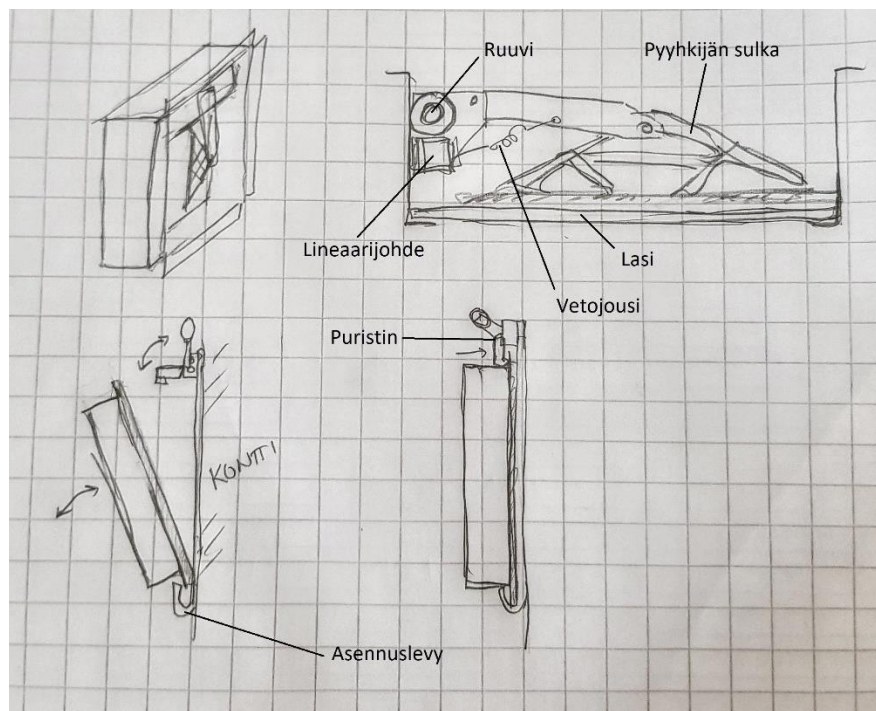
Tässä vaiheessa tiedossa oli, että järjestelmä koostuisi ohutlevyrungosta, pyyhkijänsulasta ja sitä liikuttavasta mekaniikasta sekä lasista ja tiivisteistä.

Puhdistettavan alueen muodon takia pyyhkijän sulan pitää liikkua lineaarisesti. Tämän liikkeen toteuttamiseen päätettiin käyttää lineaarijohteen ja ruuvikäytön yhdistelmää. Linearijohde ottaisi vastaan voimat ja momentit ja jättäisi vain yhden vapausasteen liikkeelle. Ajava ruuvi taas liikuttaisi lineaarijohteen kelkkaa edestakaisin ja ottaisi vastaan vain aksiaali kuormituksia. Saatavilla olisi ollut myös valmiita lineaariyksiköitä mutta näiden kustannukset olisivat edellä mainittuun verrattuna yli kaksinkertaiset, joten ne päätettiin hylätä.

Pyyhkijän sulasta tehdään jousikuormitettu, jolloin sen lasiin kohdistama paine voidaan helposti valita muuttamalla vetojousen jäykkyyttä. Tämä ajoneuvoissa laajalti käytetty tapa mahdollistaa tarvittaessa sulan nostamisen pois lasin pinnasta.

Rungosta tehtäisiin sellainen, että kehän sisäpuoliset taivutukset tukisivat lasia ja vastakkaisella reunalla ulkopuoliset taivutukset olisivat järjestelmän kiinnittämistä varten. Lasi puristettaisiin runkoon kiinni ruuvikiinnitteisillä kiinnikkeillä.

Kiinnityslaite on esitetty kuvassa 3. Se koostuisi kiinteästi konttiin asennettavasta asennuslevystä sekä viputoimisista puristimista. Asennuslevyssä olisi taivutettu alin sivu siten, että ikkunarungon yksi sivu mahtuu liukumaan syntyvään rakoon.



Kuva 3. Kehittelyvaiheen luonnoksia

3.5 Kuormitusten määrittäminen

Kuormitusten määrittäminen aloitettiin selvittämällä millä voimalla tavanomainen henkilöauton pyyhkijänsulka painaa lasia vasten. Voima selvitettiin kokeellisesti irrottamalla henkilöauton pyyhkijän varsi ja kiinnittämällä se pöytätasoon sillä tavoin, että kun vartta painaa suoraan alaspäin, varren vetojousi venyy. Varren päähän asetettiin punnuksia ja kokeiltiin minkä suuruinen massa riittää painamaan varren samaan kulmaan,

missä se on silloin kun se on ajoneuvoon kiinnitettyä. Tätä massaa vastaava voima on yhtä suuri kuin sulan lasiin kohdistama voima. Kokeessa oletetaan varren oman massan ja nivelen kitkavoimat mitättömän pieniksi.

Taulukko 4. Sulan tuulilasiin kohdistamia voimia

Ajoneuvo	Voima vasen sulka [N]	Voima oikea sulka [N]
Toyota Corolla 2003	6,5	5,0
Volvo V40 2001	5,9	4,6

Suunniteltavan järjestelmän sulka tulisi painamaan lasia vasten yhtä suurella voimalla kuin kokeessa selvitetty suurin voima. Kokeen otanta on pieni ja koejärjestely ei ole tarkoin mahdollinen mutta rajallisen ajan vuoksi tämän tarkempaan testaukseen ei ryhdytty. Laskennassa käytetään kuormituksen varmuuskerrointa 1,5 joten osat kestävät mitoituksensa puolesta myös siinä tapauksessa, jos sulan ikkunaan kohdistamaa voimaa halutaan jostain syystä kasvattaa.

Sulan liikuttamiseen vaadittavaa voimaa lähdettiin selvittämään kitkakertoimien perusteella. Useimmissa tutkimuksissa kitkakerroin on määritetty erikseen sekä märälle että kuivalle kontaktille. Käytetään tässä tilanteessa kuivan kontaktin kerrointa, koska ei ole täysin varmaa, että pyyhkijänsulka olisi täysin kastunut pesunesteestä heti liikkeen alkaessa. Erään kumin ja lasin välistä kitkakerrointa selvittäneen tutkimuksen mukaan kitkakerroin kumin ja lasin kuivalle kontaktille on maksimissaan noin 2,4 (Tuononen 2016, s. 3).

Näillä pohjatiedoilla pystyttiin ratkaisemaan kaikki johteeseen ja ruuviin kohdistuvat kuormitukset. Laskenta on esitetty liitteessä I.

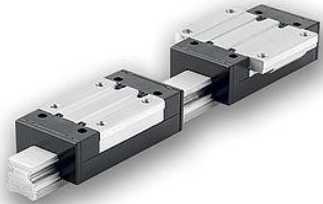




3.6 Valmisosien valinta

Osien valinnassa käytettiin aineistona eri komponenttitoimittajien katalogeja. Sopivat osat valittiin varmistamalla ensin kuormituksenkesto ja sitten tutkimalla kosteuden- ja liankestoa, tilantarvetta ja hintaa.

3.6.1 Lineaarijohde

Lineaarijohteen tehtävänä on ottaa vastaan pyyhkijänsulan kohdistamia kuormituksia ja vähentää liikkeen kitkaa. Johteita listattiin useilta eri toimittajilta ja valittiin niistä sopivin. Taulukossa 5 on esitetty erilaisia johdetyyppejä.

Taulukko 5. Lineaarijohteita

 <p>1. Alumiininen kuulajohde (Rollco 2018a)</p>	 <p>2. C-johde (Rollco 2018b)</p>	 <p>3. Kuulajohde (Rollco 2018c)</p>
 <p>4. Rullajohde (Rollco 2018d)</p>	 <p>5. V-rullajohde (HepcoMotion 2018)</p>	

Johteet 1 ja 3 perustuvat kelkassa oleviin teräskuuliin, jotka pyörivät kiskon vierintärajoja vasten kuulalaakerin kuulien tapaan. Kyseisten johteiden kelkoissa on valmiina kierteitettyt kiinnitysreiät ja tiivistimet voiteluaineen sisällä pitämistä ja likaa vastaan suojausta varten. Johde 2 perustuu laakeroituihin pyöriin, jotka liikkuvat kiskon urissa. Pyörät tukeutuvat johteen C-kanavaan siten, että pyörät tukeutuvat eri puolilla oleviin sisäreunoihin. Esimerkkikuvan tapauksessa keskimmäinen pyörä pyörisi yhtä sisäreunaa vasten ja

reunapyörät vastakkaista reunaa vasten. Johteen kelkassa on kola joka liikkuessaan työntää kiskossa olevaa likaa pois.

Johde 5 perustuu laakeroituihin teräspyöriin, joiden pinnassa on v-kirjaimen muotoiset urat. Kiskossa on pyörien uriin sopiva muoto.

Johde 4 on kuten johteet 1 ja 3 mutta siinä pyörivänä elementtinä on kuulien sijaan rullat. Johteista valittiin käytettäväksi johde 1. Kyseinen johde on materiaalien puolesta korroosiokestävä ja sen tilantarve on tarpeeksi pieni. Hinnaltaan ainoastaan C-johde olisi ollut tätä johdetta edullisempi.

C-johde hylättiin koska sen kantokyky ei riitä vääntömomentin osalta. Johde 4 hylättiin, koska sen pienimmänkin variantin kantokyky on tähän käyttösovellukseen tarpeettoman suuri. Tällöin kustannuksia olisi tullut turhaan koska kantokykyä ei päästä täysin hyödyntämään. V-rullajohteen suuri koko johti sen hylkäämiseen.

3.6.2 Käyttöruuvi

Johteen kelkkaa eteen ja taakse ajavaksi ruuviksi vaihtoehtona oli useita eri kuularuuveja ja trapetsiruuveja.

Tarjouskyselyiden perusteella huomattiin, että trapetsiruuvin ja mutterin yhdistelmä on kustannuksiltaan vain kolmasosa useimpiin kuularuuveihin verrattuna. Kuularuuvin käyttämiseksi näin likaisissa olosuhteissa tarvittaisiin mutterin molempiin päihin tiivistimet. Myöskään kuularuuvin suurempi paikannustarkkuus ei tähän käyttökohteeseen tuo lisäarvoa. Päädyttiin käyttämään trapetsiruuvia sen luotettavuuden ja edullisuuden takia. Suurin haittapuoli mikä trapetsiruuvin käytöstä tässä tapauksessa syntyy, on ruuvin alemmasta hyötysuhteesta johtuva suurempi pyörittämiseen vaadittava vääntömomentti. Ruuviin kohdistuva aksiaalinen voima on pieni (24 N), joten oli varmaa, että tästä ei koituisi käyttömoottorille minkäänlaista ongelmaa.

Valittu ruuvi on ruostumatonta terästä ja mutteri messinkiä. Kyseinen materiaalipari sopii hyvin ulko-olosuhteisiin ja on lähes huoltovapaa. Päätettiin, että ruuvin toiseen päähän tulisi kiinteä laakeriyksikkö ja toiseen kelluva. Kiinteässä laakeriyksikössä on kaksi kuulalaakeria

eri suuntiin asennettuna, joten se kestää aksiaaliset kuormat hyvin. Lukkomutterilla varustettuna kiinteä laakeriyksikkö pitää ruuvin aksiaalisuunnassa paikallaan.

Kiinteä laakeriyksikkö lisää ruuvin stabiilisuutta verrattuna siihen, että käytettäisiin kelluvia laakereita molemmissa päissä.

3.6.3 Moottori

Käyttävän ruuvin pyörittämiseen vaadittava vääntömomentti voidaan laskea, kun tiedossa on mutteriin kohdistuva voima, ruuvin geometria ja materiaalien kitkaominaisuudet (Spotts, Shoup, Hornberger 2004, s. 333). Laskennan, joka on esitetty liitteessä I, mukaan tarvittava vääntömomentti on 3,1 Ncm.

Puhdistamiseen kuluvalle ajalle ei annettu rajoitteita, joten moottorin kierrosnopeudella ei ole merkitystä. Katsottiin luontevaksi laittaa moottori rungon ulkopuolelle josta se pyörittäisi läpiviennin kautta ruuvia. Tällöin moottori olisi suojassa kosteudelta ja huoneenlämmössä.

Käytettäväksi moottorityypiksi harkittiin servoa, askelmoottoria ja tasavirtamoottoria. Servolla olisi tähän käyttötarkoitukseen tarpeettoman suuri tarkkuus ja korkea hinta. Tasavirtamoottorin ongelmana on ajamisen tarkkuus. Että kelkan sijainnista voitaisiin saada tieto pitäisi moottori varustaa erillisellä kierroksia laskevalla anturilla. Vaihtoehtoisesti voitaisiin laittaa liikeradan molempiin päihin rajakytkimet joihin osuessaan kelkka pysähtyisi. Tehtävään valittiin askelmoottori, joka on hyvä kompromissi em. moottorien välillä. Riittävän vääntömomentin pystyy tuottamaan NEMA 17-tyyppinen moottori. Askelmoottorikäytöllä pystytään pitämään kohtuullisella tarkkuudella tieto sijainnista mutta joskus askelten yli hyppääminen on mahdollista. Järjestelmään lisättiin liikeradan toiseen päätepisteeseen induktiivinen anturi, jonka avulla kelkan sijaintitiedon nollaaminen voidaan tehdä. Moottori kytketään ruuviin sakarakytkimellä.

3.6.4 Pyyhkijän sulka

Pyyhkijän sulaksi päätettiin ottaa tavallinen ajoneuvokäyttöön tarkoitettu sulka. Jos sulka tarvitsee joskus vaihtaa, varaosan löytäminen on helppoa. Vaihtoehtona oli rungollinen ja rungoton sulka joista valittiin rungollinen, koska se soveltuu paremmin suoralle lasipinnalle.

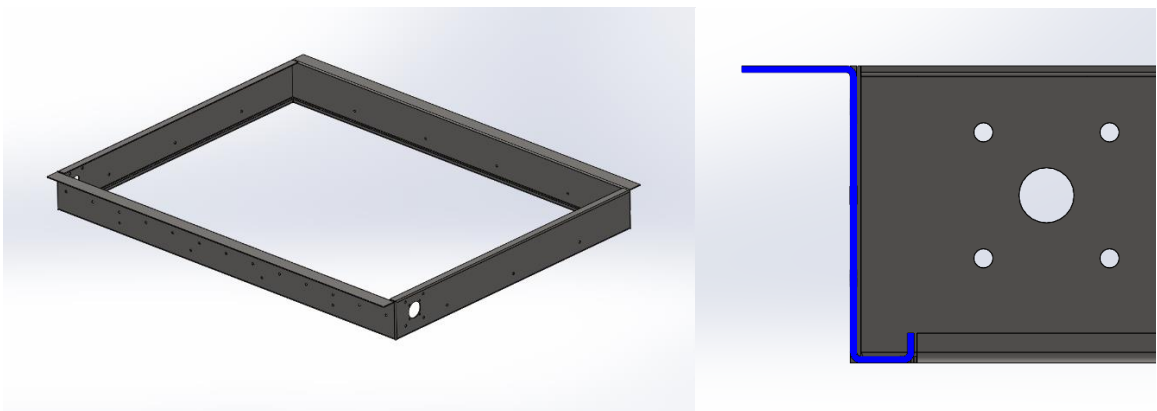
3.7 Levyosien suunnittelu ja mallinnus

Osat mallinnettiin SolidWorks 2018 -ohjelmistolla. Osien suunnittelussa painotettiin ensisijaisesti teknisten toimintojen toteutumista, valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta.

3.7.1 Päärunko

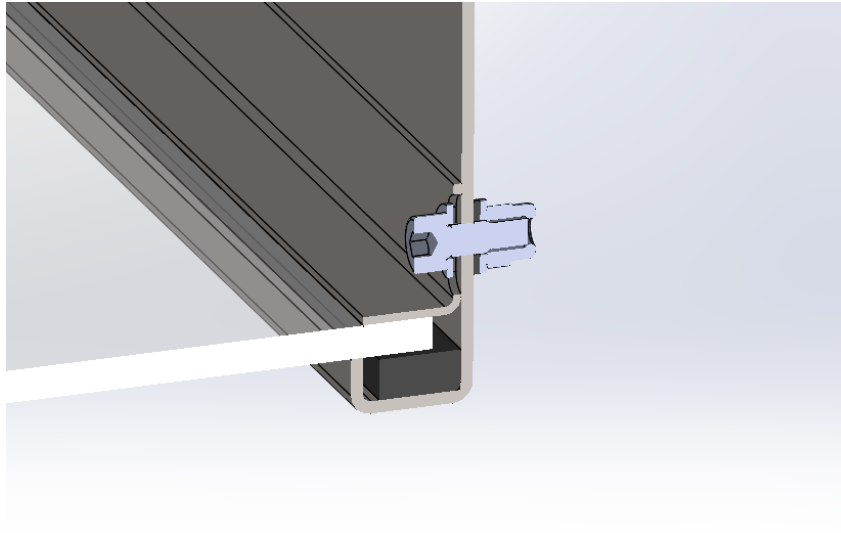
Päärungon tehtävänä on tukea lasia sekä kiinnittyä asennuslevyyn. Sen tulee myös tarjota kiinnityspisteet ruuvin laakeriryksiköille, lineaarijohteelle sekä moottorin kiinnikkeelle.

Päärungon liittämiseksi asennuslevyyn käytetään ulospäin aukeavia taivutuksia. Lasin kiinnittämistä varten suunniteltiin rakenteeseen kehän sisäpuolelle kääntyvät taipeet, jotka on esitetty kuvassa 4. Syntyvään uraan tulisi vaahtomuovinen pehmustenauha jota vasten lasi painetaan. Tiivistäminen varmistetaan käyttämällä tiivistemassaa vaahtomuovin molemmiin puolin. Kyseinen taive lisää runkorakenteen jäykkyyttä ja stabiiliutta (Matilainen et al. 2010. s. 133).



Kuva 4. Päärunko ja rungon profiili

Lasin puristamista vaahtomuovia vasten käytetään L-profiilikiinnikkeitä joiden yksi sivu painaa lasia vasten ja toinen sivu kiinnittyy ruuviliitoksella runkoon. Lasin kiinnityperiaate on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Lasin kiinnitys runkoon

Lineaarijohteen, laakeriyksiköiden ja moottorikiinnikkeen asentamiseen käytetään ruuviliitoksia. Kaikki päärunkoon tulevat ruuviliitokset tiivistetään kumisilla aluslevyillä ja laakeriyksiköiden pinnat muotoon leikatuilla kumitiivisteillä.

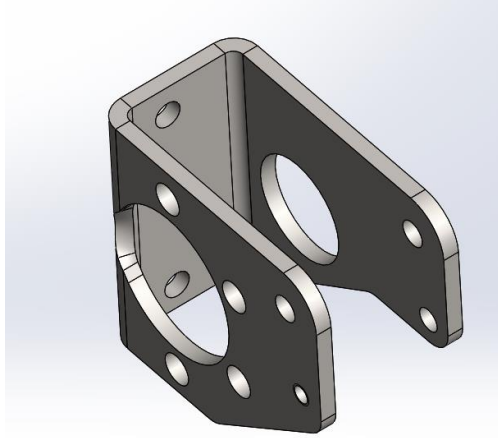
Päärungon levyaihio valmistetaan laserleikkaamalla. Tässä tilanteessa leikkausmenetelmä ei vaikuttanut osan muotoiluun. Särmäämistä varten levyosaan lisättiin nurkkahelpotukset kulmien repeämisen estämiseksi (Matilainen et al. 2010. s. 259). Tiedossa oli, että osan kaikkien taivutusten tekeminen pelkällä särmäyspuristimella olisi mahdotonta ja viimeinen kehän sulkeva taivutus tulisi tehdä muilla keinoin esim. ruuvipenkissä. Tämän katsoin olevan hyväksyttävää koska vain yksi osan 15:stä taivutuksesta tehtäisiin näin. Osan valmistamisen viimeinen vaihe on hitsaaminen. Kuormitusten puolesta täyspitkiä hitsejä ei olisi välttämättä tarvittu mutta niitä kuitenkin käytettiin, koska rakenteesta täytyi saada nestetiivis. Liitokset ovat päittäisliitoksia.

3.7.2 Apurunko

Apurunko kiinnittyy lineaarijohteen kelkkaan ja trapetsiruuvimutteriin. Osaan kiinnittyy myös pyyhkijänsulan varsi ja sitä kuormittava jousi.

Runko toteutettiin kuvan 6 mukaisesti taivuttamalla levyaihio U-muotoon. Yksi DFMA:n periaatteista on saman rakenneosan käyttäminen usealle eri toiminnolle (Eskelinen &

Karsikas 2013. s. 11). Vaihtoehtona tämän toiminnon toteuttamiselle olisi ollut tehdä oma osansa trapetsiruuvien mutteriin kiinnittämiseksi ja eri osa pyyhkijän varrelle. Kuitenkin nämä toiminnot pystyttiin yhdistämään samaan osaan ja pitämään valmistaminen samalla yksinkertaisena.



Kuva 6. Apurunko

3.7.3 Pyyhkijän varsi

Pyyhkijän varsi (kuva 7) kiinnittyy apurunkoon ja siihen liitetään pyyhkijän sulka ja vetojousi. Kaikki kiinnitykset tehdään ruuviliitoksilla.



Kuva 7. Pyyhkijän varsi alapuolelta kuvattuna

Varsi päätettiin varustaa liukuvalla säätömekanismilla, että sulan paikkaa lasin korkeussuunnassa voidaan hienosäätää. Tämä mahdollistaa myös eri valmistajien sulkien käyttämisen koska kaikissa sulissa kiinnitysreikä ei ole välttämättä samassa kohtaa. Liukumekanismiin toteuttamiseksi tämä rakenneosaa oli jaettava kahteen osaan vaikka se heikentääkin kokoonpanon yksinkertaisuutta.

Kiinnityskohta johon vetojousi tulee kiinni, valmistetaan särmämällä kieleke. Ylimääräisiä osia ei siihen toimintoon tarvita. Osat valmistetaan särmämällä ja hitsataan lopuksi taivutuksista jäljelle jääneet raot umpeen.

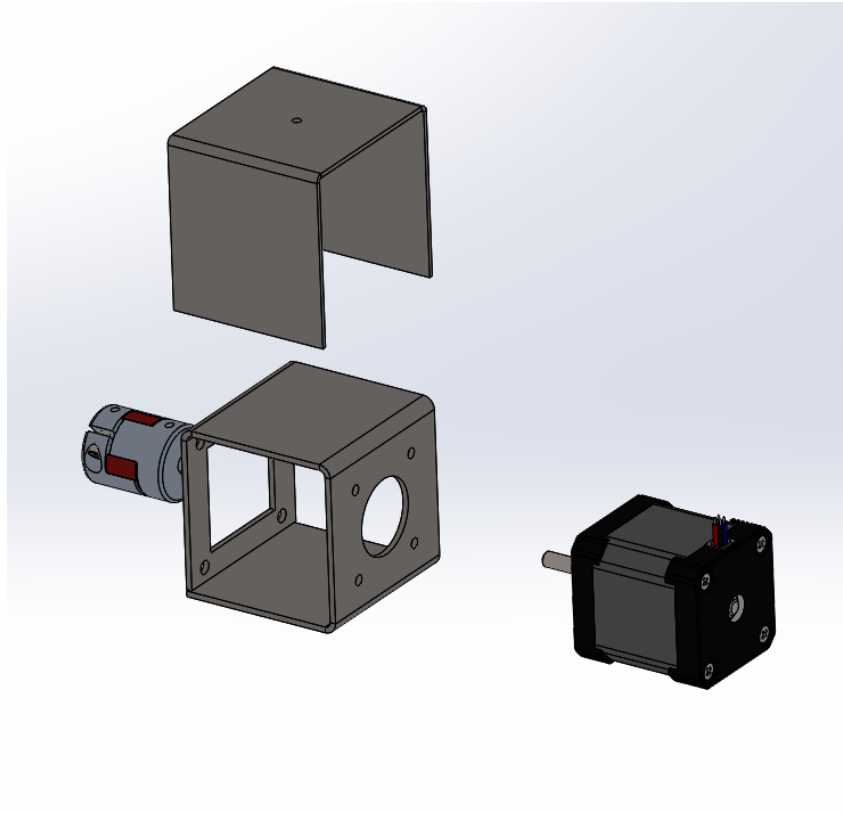
3.7.4 Moottorin kiinnike

Moottorikiinnike kiinnittyy päärunon kylkeen ja siihen liitetään askelmoottori.

Kiinnike päätettiin tehdä levystä, joka taivutetaan neliskulmaiseen muotoon ja lopuksi hitsataan päädyt yhteen.

Kiinnikkeen ja moottorin asennus on helppoa koska kiinnikkeen kaksi sivua jää avoimeksi ja niiden kautta voi käyttää asentamiseen tarvittavia työkaluja.

Turvallisuuden varmistamiseksi kiinnikkeeseen asennetaan lopuksi suojuksen (kuva 8) joka estää esimerkiksi sormien työntämisen pyörivään akseliin.

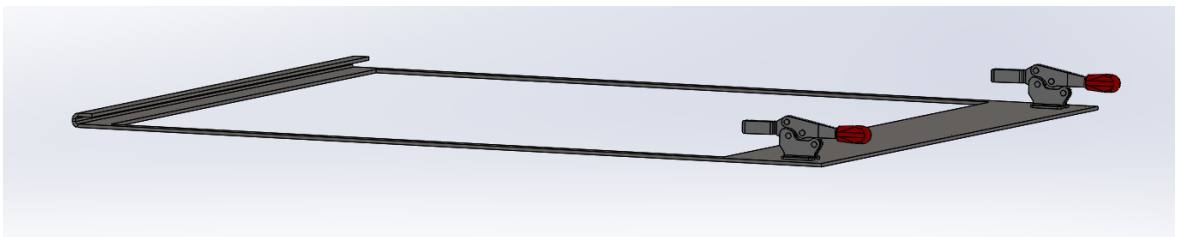


Kuva 8. Moottorikiinnike, moottori, akselikytkin ja turvasuojus

3.7.5 Asennuslevy

Asennuslevy valmistetaan taivuttamalla laserleikatusta levyaihiosta. Levyn alareuna taivutetaan ympäri jolloin muodostuvaan rakoon voi liu'uttaa lasirungon alareunan. Asennuslevyn yläreunaan hitsataan kaksi puristinta jotka painavat lasirungon asennuslevyä vasten. Levy kiinnitetään konttiin hitsaamalla, koska sen ei tarvitse olla irrotettavissa.

Kuvassa 9 esitetystä asennuslevystä poiketen puristimien kärjessä on ruuvi ja mutteri. Ruuvien syvyyttä muuttamalla voidaan määrittää voima, jolla puristin painaa runkoa.



Kuva 9. Asennuslevy

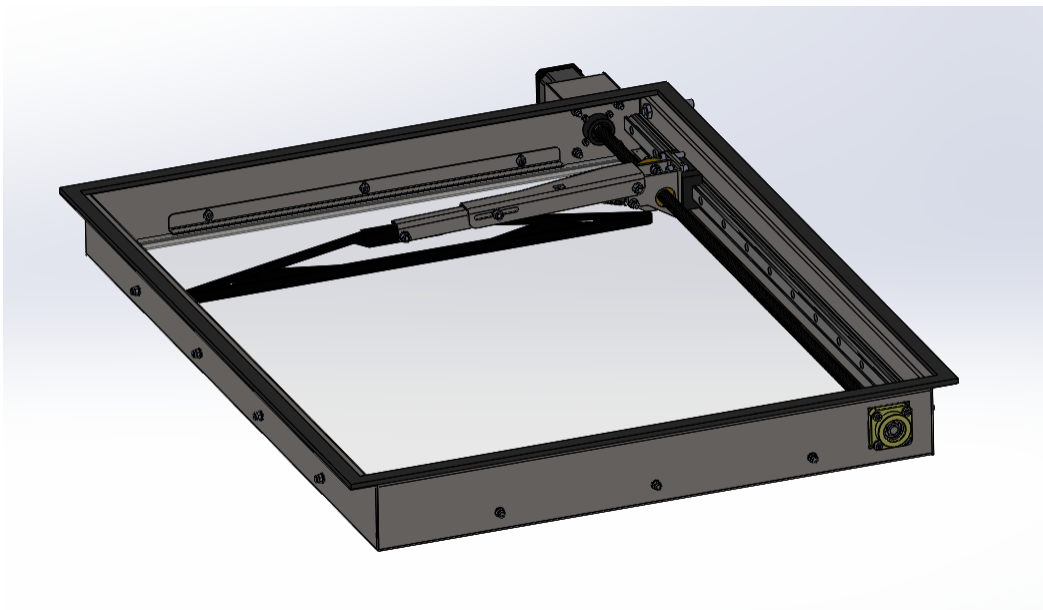
3.7.6 Lujuustarkastelu

Vaaditut lujuusominaisuudet ovat vaatimattomat, joten kestävyys varmentaminen päätettiin tehdä vasta mallintamisen jälkeen. Pyyhkijän varren lujuus varmennettiin FEM-analyysin keinoin, koska se oli kohtuullisen helposti tehtävissä. Malli luotiin FEMAP-ohjelmistolla ja sen ratkaisemiseen käytettiin NX NASTRAN -ratkaisijaa. Kuormitusten monimuotoisuus ja tiivisteiden kokoonpuristumisen huomioon ottaminen olisi tehnyt päärunгон ja asennuslevyn FEM-analyysistä kohtuuttoman aikaavievää, joten niiden osalta se jätettiin tekemättä. Kyseisten osien lujuuden tarkastelu jäisi prototyypin varaan.

Pyyhkijän varren geometria tuotiin FEMAP-ohjelmistoon valmiista tiedostosta. Geometriaa oli yksinkertaistettu ratkaisun nopeuttamiseksi. Geometria verkotettiin solidielementeillä. Kokoonpanon eri osat yhdistettiin mallissa *Glued connection*-työkalulla. Reunaehtojen ja kuormitusten määrittämisen jälkeen analyysi voitiin tehdä. Suurimmat jännitykset (35,9 MPa) osuivat jousen kuormittaman särmätyn korvakkeen kohdalle. Siirtymät varren päässä olivat alle 2 mm. Konstruktio kestää analyysin perusteella hyvin siihen kohdistuvat kuormitukset.

3.8 Viimeistely

Kun järjestelmän osat oli suunniteltu, luotiin malli kokoonpanosta. Kokoonpano on esitetty kuvassa 10. Kokoonpanoon lisättiin myös kaikki ruuviliitoksissa tarvittavat kiinnikkeet.



Kuva 10. Järjestelmä kokonaisuudessaan

Järjestelmän asennettavuus konttiin varmistettiin 3D-mallia tarkastelemalla, minkä jälkeen kaikista osista laadittiin valmistuspiirustukset. Kokoonpanoa varten tehtiin kokoonpanopiirustukset.

3.9 Prototyyppi

Prototyyppiä kokoonpantaessa huomattiin, että kohdassa jossa pyyhkijän varsi kiinnittyy apurunkoon, sovite on liian ahdas. Tämä korjataan seuraavaan versioon tarkentamalla valmistustoleransseja tai lisäämällä osien liittymäkohtiin tarkoituksella välystä jolloin valmistuksen epätarkkuudet eivät aiheuttaisi ongelmia. Muilta osin kokoonpano onnistui hyvin.

**Kuva 11.** Järjestelmän prototyyppi kokoonpantuna

Asennuslevy kiinnitettiin kontin seinään ja järjestelmän asentamista siihen kokeiltiin. Kiinnitysmekanismiin havaittiin toimivan kuten pitää. Järjestelmän asentaminen ja poistaminen onnistuu tavoiteajassa ja nestevuotoja ei havaittu.

Laitteiston puhdistustehoa testattiin heittämällä ikkunan pintaan puupölyä ja puuroskia, jonka jälkeen ikkunaan ruiskutettiin puhdistusnestettä ja puhdistettiin se ajamalla pyyhkijää puolelta toiselle. Pesunesteen ruiskuttamiseen käytettiin käsitoimista pumppua.

Puhdistuksen jälki on hyvä ja lasin pinta jää kuivaksi. Pyyhkijän liikeradan päätepisteisiin havaittiin kertyvän likaa, mutta sen todettiin huuhtoutuvan pois, mikäli laidoille osuu riittävästi nestettä. Jatkokehittelyssä tulee kiinnittää huomiota nesteen oikeaan suuntaukseen. Askelmoottori liikutti järjestelmää tehokkaasti eikä paikannuksessa ollut ongelmia.

Runko säilytti hyvin muotonsa puristimien voiman alla eikä asennuslevyissä tai muissa levyosissa havaittu muodonmuutoksia.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suunniteltu tuote osoittautui yksinkertaiseksi valmistaa ja teknisesti toimivaksi. Kokoaminen onnistui sujuvasti yhtä ongelmakohtaa lukuun ottamatta. Osien mitoitus ja siihen liittyvä laskenta pitivät paikkaansa – moottori ja muut valmisosat ovat kuormituksiinsa sopivia.

Laskennassa yksi suurimmista virhelähteistä on kuormitusten määrittäminen. Oikeassa käyttökohteessa sulan liikettä vastustaa järjestelmän omien kuormitusten lisäksi myös liasta ja puuroskista tulevat kuormat sekä voiteluaineiden riittämättömyys. Laskennassa käytettiin varmuuskerrointa 1,5 näiden ylimääräisten kuormitusten kattamiseksi.

Prototypoinnista saatiin konkreettista hyötyä konstruktion validointia varten ja toisaalta myös virheiden löytymisen ansiosta. Levyosien kokoonpanoon liittyvän virheen löytäminen oli tärkeä havaita tässä vaiheessa. Lasijärjestelmän kiinnitysmekanismin toiminnan testaaminen oli edullisinta tehdä prototyypin avulla, sillä siihen liittyviä ilmiöitä kuten tiivisteen kokoonpuristuvuutta ja rungon käyttäytymistä olisi kohtuuttoman monimutkaista simuloida tarkasti.

Kokonaisratkaisuna pyyhkijän sulka ja neste on tehtävänsä sopiva, mutta lisätestausta ja jatkokehittelyä on tarpeen tehdä. Lisätutkimusta täytyisi tehdä ainakin pesuaineen liuotuskyvystä pihkaa ja muita vaikeita likoja vastaan. Testaamisessa huomattiin, kuinka tärkeää pesunesteen kulkeutuminen oikeille alueille lasilla on. Jatkotutkimusta täytyisi tehdä, että löytyisi optimaalinen tapa ruiskuttaa neste ikkunoihin. Myöskään järjestelmän käyttövarmuutta likaisissa ja kosteissa olosuhteissa ei näin lyhyen testauksen perusteella voida varmistaa. Laajemman testauksen ja sen perusteella tehdyn kehityksen jälkeen suunniteltu konstruktio pystyy todennäköisesti hoitamaan tehtävänsä erinomaisesti

LÄHTEET

Eskelinen, H, Karsikas, S. 2013. DFMA-opas: valmistus- ja kokoonpanoystävällisen tuotteen suunnittelu. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 115 s.

Finnos. Finnos 2018. 2018. [kuvakaappaus videosta]. [viitattu 6.3.2018]. Saatavissa <https://www.youtube.com/watch?v=qRphQT0skV0>

HepcoMotion. Stainless Steel Linear Guide. 2018. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 7.3.2018]. Saatavissa <https://www.hepcotion.com/product/linear-guides/sl2-stainless-steel-linear-guide/>

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E., Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Teknologiainfo Teknova. 387 s.

Moradi, O. 2017. Insinööri (AMK); Mechanical Engineering Manager, Finnos OY. Suunnittelupalaveri 21.11.2017, Lappeenranta.

Pahl, G., Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus. 608 s.

Rollco. Alumiininen kuulajohde. 2018a. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 7.3.2018]. Saatavissa <http://www.rollco.fi/tuotteet/alumiininen-kuulajohde/>

Rollco. C-johde. 2018b. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 7.3.2018]. Saatavissa <http://www.rollco.fi/tuotteet/c-johde/>

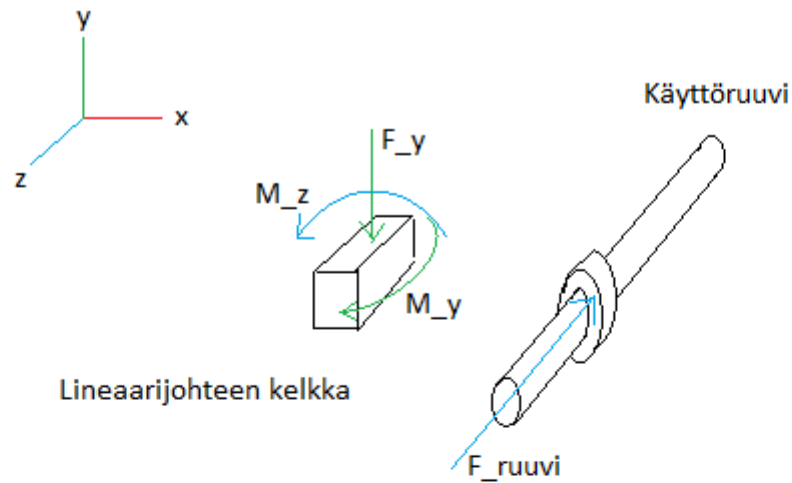
Rollco. Kuulajohde SBI. 2018c. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 7.3.2018]. Saatavissa <http://www.rollco.fi/tuotteet/kuulajohde-sbi/>

Rollco. Rullajohde. 2018d. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 7.3.2018]. Saatavissa <http://www.rollco.fi/tuotteet/rullajohde/>

Spotts, M. F., Shoup, T. E., Hornberger, L. E. 2004. Design of Machine Elements, Eighth Edition. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. 928 s.

Tuononen, A. J. 2016. Onset of frictional sliding of rubber – glass contact under dry and lubricated conditions. [verkkodokumentti]. [viitattu 6.1.2018]. Aalto-yliopisto, konetekniikan laitos. Saatavissa: <https://www.nature.com/articles/srep27951>

Kuormitusten ja moottorin vääntömomentin laskenta.



Alkutiedot

$$\mu := 2.4 \quad \text{kitkakerroin}$$

$$F_{\text{sulka}} := 6.51 \text{ N}$$

$$n := 1.5 \quad \text{varmuuskerroin}$$

$$F_{\text{mitoitus}} := F_{\text{sulka}} \cdot n = 9.765 \text{ N}$$

$$F_{\text{liike}} := F_{\text{mitoitus}} \cdot \mu = 23.436 \text{ N}$$

$$L_{\text{varsi}} := 0.284 \text{ m} \quad \text{pyyhkijän varren pituus}$$

Ratkaisu

$$F_{\text{ruuvi}} := F_{\text{liike}} = 23.436 \text{ N} \quad \text{ruuviin kohdistuva aksiaalivoima}$$

$$F_y := F_{\text{mitoitus}} = 9.765 \text{ N} \quad \text{johteen pystysuuntainen voima}$$

$$M_z := L_{\text{varsi}} \cdot F_{\text{mitoitus}} = 2.773 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad \text{Johteen vääntömomentti}$$

$$M_y := L_{\text{varsi}} \cdot F_{\text{liike}} = 6.656 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad \text{Johteen poikittainen momentti}$$

Moottorin vääntömomentti

Alkutiedot

$\mu_{\text{ruuvi}} := 0.15$ teräsruiuin ja pronssimutterin kitkakerroin

$d_m := 10.5\text{mm}$ keskihalkaisija $r_m := \frac{d_m}{2} = 5.25 \times 10^{-3}\text{ m}$

$h := 3\text{mm}$ kierteen nousu

$\theta := 0.2618$ kierreprofiilin kulma

Ratkaisu

$$\alpha := \text{atan}\left(\frac{h}{2 \cdot \pi \cdot r_m}\right) = 0.091$$

$$\theta_n := \text{atan}(\tan(\theta) \cdot \cos(\alpha)) = 0.261 \quad \text{Normaali nousukulma}$$

$$M := F_{\text{ruuvi}} \cdot r_m \cdot \left(\frac{h \cdot \cos(\theta_n) + 2 \cdot \pi \cdot r_m \cdot \mu_{\text{ruuvi}}}{2 \cdot \pi \cdot r_m \cdot \cos(\theta_n) - \mu_{\text{ruuvi}} \cdot h} \right) = 3.073 \text{ N}\cdot\text{cm} \quad \text{Moottorilta vaadittava vääntömomentti}$$