

Lassi Kuisma

Kokoonpanojalustan suunnittelu ja tuotantoon vienti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

21.8.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Lassi Kuisma Kokoonpanojalustan suunnittelu ja tuotantoon vienti 29 sivua + 1 liite 21.8.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Pekka Salonen Tuotantoinsinööri Mikko Ikonen
<p>Insinööriä tehtiin Tuusulassa Kavo Kerr Group -nimiselle hammaskuvantamisan yrityk- selle. Työn tavoitteena oli valmistaa kokoonpanojalusta eli jigi hammasröntgenlaitteen NGEO-pilari -nimisen osan kokoamista varten. Jigin avulla NGEO-pilari pystytään koko- maan sujuvasti ja turvallisesti, sekä työntekijän kannalta ergonomisesti. Jigi asetettiin pyö- rillä liikkuvalla jalustalle, jolloin sitä on helppo liikutella pilaria kootessa.</p> <p>Pilarin kokoamisen mahdollistamiseksi jigin piti pystyä kääntämään pilaria tarvittaviin liike- suuntiin. Kääntöliikkeiden ohella kriteeriksi asetettiin mahdollisuus säätää jigin korkeutta. Jigin rakenteiden ja mekanismin suunnittelussa otettiin huomioon pilarin koko ja suuri massa. Osien tuli olla kestäviä sekä järkevästi mitoitettuja. Kääntöliikkeet toteutettiin vaih- teisiin kytketyillä tasavirtamoottoreilla, jolloin kokoojan ei tarvitsisi tehdä raskaita liikkeitä itse. Jigille mitoitettiin riittävään suorituskykyyn sopivat moottorit sekä vaihteet.</p> <p>Valmiille jigille tehtiin kuormitus- ja kestotestit, joilla saatiin dokumentit laitteen kestävyys- destä ja käyttöturvallisuudesta. Jigiä kuormitettiin testien edellyttämällä massoilla ja seurattiin rakenteiden kestävyyttä sekä mahdollisia muodonmuutoksia.</p> <p>Insinööriön lopputuloksena syntyi valmis jigi, jota voidaan hyödyntää tuotannossa.</p>	
Avainsanat	Jigi, hammasröntgenlaite, NGEO-pilari, kestotesti

Author Title	Lassi Kuisma Designing and Implementing the Jig to Production
Number of Pages Date	29 pages + 1 appendix 21 August 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Mikko Ikonen, Manufacturing Engineer Pekka Salonen, Senior Lecturer
<p>The Bachelor's thesis was commissioned by Kavo Kerr Group Tuusula. The company designs and manufactures dental x-ray machines. The target of the project was to manufacture a jig for the assembly of the so-called "NGEO-column" of a dental x-ray device. With the jig, the NGEO-column can be assembled fluently and safely. In addition, the ergonomics of the assembly had to be taken notice. The jig was mounted on a stand that moves on four wheels to enable easy movability during the assembly process.</p> <p>To enable the assembly of column, the jig was required to rotate the column in the right directions. Firstly, the structure of the column was analyzed. After getting to know the fluent order for the assembly, all moving directions of the jig were examined. Besides the rotating motions, the jig had to operate up and down to make the assembly process smooth and safe for people of different lengths.</p> <p>The large size and weight of the column had to be taken into consideration when the structure and mechanism of the jig were designed. The rotating moves were executed by DC motors, which were connected to gear boxes. Thus, the assembler was not required to make physically challenging movements while assembling. The efficiency and performance was calculated for motors and gear boxes.</p> <p>In the end of the project, the load, durability and stress tests were conducted to the jig. The tests were carried out according to the test plans and the results were recorded.</p> <p>As a result, a working jig was created which can be utilized in production.</p>	
Keywords	Jig, dental x-ray machine, NGEO-column, test plan

Sisällys

1	Johdanto	2
2	Työn tavoite ja lähtökohdat	3
2.1	Aihe ja sen rajaus	3
2.2	Rakennettava NCEO-pilari	4
2.3	Lean-filosofia	4
3	Jigin vaatimukset	6
3.1	Liikesuunnat	6
3.2	Turvallisuus	7
3.3	Ergonomiavaatimukset	7
3.4	Suorituskyky	8
3.5	Jalusta	9
4	Toteutus	10
4.1	Suunnittelun ensimmäinen versio	10
4.2	Jigin tuotantoversio	14
4.3	Materiaalivalinnat	16
4.4	Moottorit	16
4.5	Vaihde	18
4.6	Kytkimet	19
4.7	Ohjausjärjestelmä	20
4.8	Laakerointi	21
4.9	Idefix-pilari	23
5	Rasitus- ja kestotestit	24
5.1	Testausjärjestelyt	24
5.2	Jigin testaus	25
6	Tulokset ja jigin kehitysmahdollisuudet	27
7	Yhteenveto	28
	Lähteet	29
	Liite: Rasitustestin raportti	

1 Johdanto

Insinöörityössä suunnitellaan ja valmistetaan kokoonpanoalusta/-jigi tuotantoon tulevan osan valmistusta varten. Työ tehdään Kavo Kerr Groupille.

Kavo Kerr Group on yritys, joka suunnittelee, valmistaa ja myy hammas- ja päänkuvan- tamislaitteita kansainvälisille markkinoille. Yrityksen asiakkaisiin kuuluu laaja joukko ter- veydenhuollon ammattilaisia kuten suukirurgit, radiologeja sekä korva-nenä-kurkku- lääkäreitä. Kavo Kerr Groupin pääkonttori sijaitsee Tuusulassa, ja siellä työskentelee noin 400 henkilöä. Tuotannon lisäksi Tuusulassa on suuri tuotekehitysosasto, joka ke- hittää jatkuvasti tuotteita kasvaville kuvantamismarkkinoille. Yksikössä on sovellettu Lean-toimintatapaa koko 2000-luvun, ja yritys onkin yksi suomalaisen Leanin edellä kä- vijöistä.

Osa, jota varten kokoonpanojigi tehdään, kutsutaan NGENO-pilariksi (NGEO = New Ge- neration Extra Oral). Pilari on hammasröntgenlaitteen noin 1400 mm pitkä varsi, joka on pystyasennossa pohjalevyssä kiinni. Tähän saakka osa on tullut alihankkijalta valmiiksi koottuna. Vuoden 2017 aikana sitä aletaan valmistaa alusta lähtien Tuusulassa, ja sitä varten kokoonpanojigi on välttämätön. Pilarin kokoaminen itse tuo pitkällä aikavälillä huomattavasti säästöä yritykselle, sekä työllistää pilarin kokoonpanijoita.

Pilarin kokoaminen ja liikuttelu asettaa haasteita jigin suunnittelulle. Jigin täytyy pystyä pyörittämään pilaria usean eri akselin ympäri, jotta kokoonpano olisi sujuvaa ja turval- lista. Pilari on raskas ja kookas osa, joten jigin tulee olla voimakas ja riittävän jäykkä, ja samalla käyttäjäystävällinen. Jigi täytyy asettaa kokonaisuudessaan pyörillä liikkuvalla jalustalle, jotta pilarin siirtäminen kokoonpanopaikasta toiseen olisi sujuvaa.

[1.]

2 Työn tavoite ja lähtökohdat

2.1 Aihe ja sen rajaus

Projektin tavoitteena oli valmistaa prototyyppi jigistä, jossa kootaan NCEO-pilaria. Pileri on röntgenlaitteen (kuva 1) pystytolppa, johon muu laite kiinnittyy. Jigin tuli kyetä tekemään tarvittavat liikkeet, jotta pilarin kokoaminen olisi mahdollista. Jigiä käyttävän työntekijän turvallisuus ja jigin yksinkertainen käyttö olivat projektissa avainasemassa. Jigin pyöritysmekanismit suunniteltiin Idefix-tuoteperheen pilarin päälle, eli ylöspäin ja alaspäin suuntautuvat liikkeet olivat jigissä jo valmiiksi oletuksena. Idefix-pilarin alalevy suunniteltiin niin, että se kiinnitettiin pyörillä liikkuvaan jalustaan. Ylälevy valmistettiin jigin kiinnittämiseen sopivaksi.



Kuva 1. Röntgenlaite, jonka pystytolppaa kutsutaan pilariksi [2.]

Jigin jalustan vaatimuksena oli liikuteltavuus pyörillä, sekä vankka ja tukevasti pystyssä pysyvä rakenne. Liikuttelun oli oltava mekaanista eli jalustaan ei tullut sähköistä liikuttelua eikä ohjausjärjestelmää. Pyörillä liikkuva kokonaisuus oli yksinkertainen ja käytännöllinen. Vaihtoehtoisena tapana liikutella jigiä olisi ollut esimerkiksi kiskot, joita pitkin jigi jalustoineen liikkuisi. Tämä vaihtoehto rajattiin pois hankalan toteuttamisen takia. NGEO-pilarin kokoonpanolinjan lopullista sijaintia ei projektin alkaessa tiedetty, joten kiskojen rakentaminen ja maahan kiinnittäminen ei ollut järkevä vaihtoehto.

NGEO-pilarin kiinnittäminen jigiin oli rajattu insinööriyön ulkopuolelle. Kiinnitysmekanismi tuli vaihteen akseliin ja laakeriin kiinni.

2.2 Rakennettava NGEO-pilari

Pilarin rakenteen muodostavat runko sekä rungon sisään asetettava alumiiniprofiili. Pilarin alaosaan kiinnitetään kiinnityslevy sekä tukiraudat. Pilarin yläosassa on nostomoottori kiinnikeosineen. Moottori kiinnitetään alumiiniprofiiliin siten, että profiili nousee moottorin mukana ylös ja alas. Alumiiniprofiili liikkuu kahdentoista herkkäliikkeisen laakerin avulla rungon sisällä. Laakereista kuusi on kiinteitä laakereita eli ne asetetaan runkoon profiilin asennosta ja sijainnista välittämättä. Toiset kuusi laakeria ovat säädettäviä eli ne kiristetään runkoon alumiiniprofiilin ollessa tietyssä asennossa. Koottavan pilarin täytyy olla hieman vaakatasosta kallellaan, jotta profiili nojaisi laakereiden päällä painovoiman vaikutuksesta. Näin laakereiden sopiva kireys saadaan säädettyä oikeaksi. Kokoamisen viimeisessä vaiheessa kytketään tarvittavat kaapelit NGEO-pilariin kiinni. Kaapelit kiinnitetään peltien sekä nippusiteiden avulla pilarin runkoon. Viimeisenä pilariin laitetaan valkoiseksi maalatut peltikuoret.

2.3 Lean-filosofia

Lean on tuotantometodi, joka perustuu Toyotan tehtaalla Japanissa kehitettyyn tuotannon parantamiseen. Toyota alkoi toisen maailmansodan jälkeen kehittämään tapoja, joilla tuottavuutta saataisiin tehostettua vähemmällä resursseilla. Lean tuli maailmalla tunnetuksi 1970-luvulla, kun Toyotan tuotantotehokkuus oli huomattavasti sen kilpailijoita paremmalla tasolla. Lean toimintaperiaatetta alettiin käyttöönottamaan yrityksissä ympäri maailman. Lean pitää sisällään erilaisia työkaluja ja tekniikoita, kuten 5s, VSM ja

Kanban. Kavo Kerr Groupista on 2000-luvulla tullut yksi Lean toimintatavan johtavista yrityksistä Suomessa.

Leanin lähtökohtana on tuottaa asiakkaalle arvoa. Kun on tarkkaan määritelty, mitä arvoa halutaan asiakkaalle tuottaa, voidaan keskittyä siihen, miten sitä saisi tuotettua tehokkaasti ja laadukkaasti. Tuotannossa syntyy turhaa ja arvoa tuottamatonta toimintaa, jota kutsutaan hukaksi. Toyota listasi seitsemän hukkaa aiheuttavaa toimintaa, joita ovat: *1. ylituotanto, 2. varastot, 3. odottaminen ja etsiminen, 4. siirtymiset, 5. siirrot ja käsittelyt, 6. korjaustyö, 7. turha työ.*

Kaikkia edellä mainittuja hukkia voidaan pienillä investoinneilla vähentää sekä poistaa. Ylituotanto vie varastotilaa, eikä tuo yritykselle arvoa. Varastoarvoja pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, jotta varastojen hyllyillä ei lepäisi suurta pääomaa. Työntekijän turhia liikkeitä ovat muun muassa kokoonpantaessa osien hakeminen sekä pitkälle kurtottaminen. Turhat liikkeet toistuvat useita kertoja päivässä lisäten loukkaantumisriskiä, sekä hukaten tehokasta työaika. Lean-filosofiaan kuuluvalla 5S-menetelmällä pyritään vähentämään tavaroiden, kuten työkalujen ja osien, etsimiseen kuluva aika. 5S-lisää työpisteiden siisteyttä sekä parantaa myös lopputuotteen laatua. Tuotteiden laatuun halutaan panostaa jo valmistusvaiheessa, sillä jokainen korjaustyö vie resursseja tuotantotyöstä.

Kaikki hukat lisäävät tuotteen virtaamisaikaa läpi tuotantolinjan. Turhia asioita halutaan karsia, jotta läpimenoaika pysyisi mahdollisimman lyhyenä lisäten tuottavuutta. Lean toimintatavan yksi keskeinen asia on asioiden jatkuva parantaminen. Ongelmakohtiin puututaan ja asioita halutaan jatkuvasti kehittää parempaan suuntaan. Parantamista halutaan tehdä myös asioille jotka toimivat jo, eikä vasta silloin kun jokin on vialla.

Jigi haluttiin suunnitella Leania silmällä pitäen. Liikuteltavuus poistaa hukkaliikkeitä, joita kokoonpanijan täytyisi suorittaa, mikäli pilari koottaisiin kiinteällä alustalla. Hukkaliikkeet luonnollisesti lisääisivät kokoonpanoaikaa, sekä odottamista jossain muussa työvaiheessa. Materiaalin siirto ja käsittely pyrittiin saamaan vähäiseksi järkevällä osien sijoittelulla. Työpiste ja jigi sovitettiin niin, että työntekijä pääsee etenemään jigin kanssa mahdollisimman sujuvasti.

[3; 4.]

3 Jigin vaatimukset

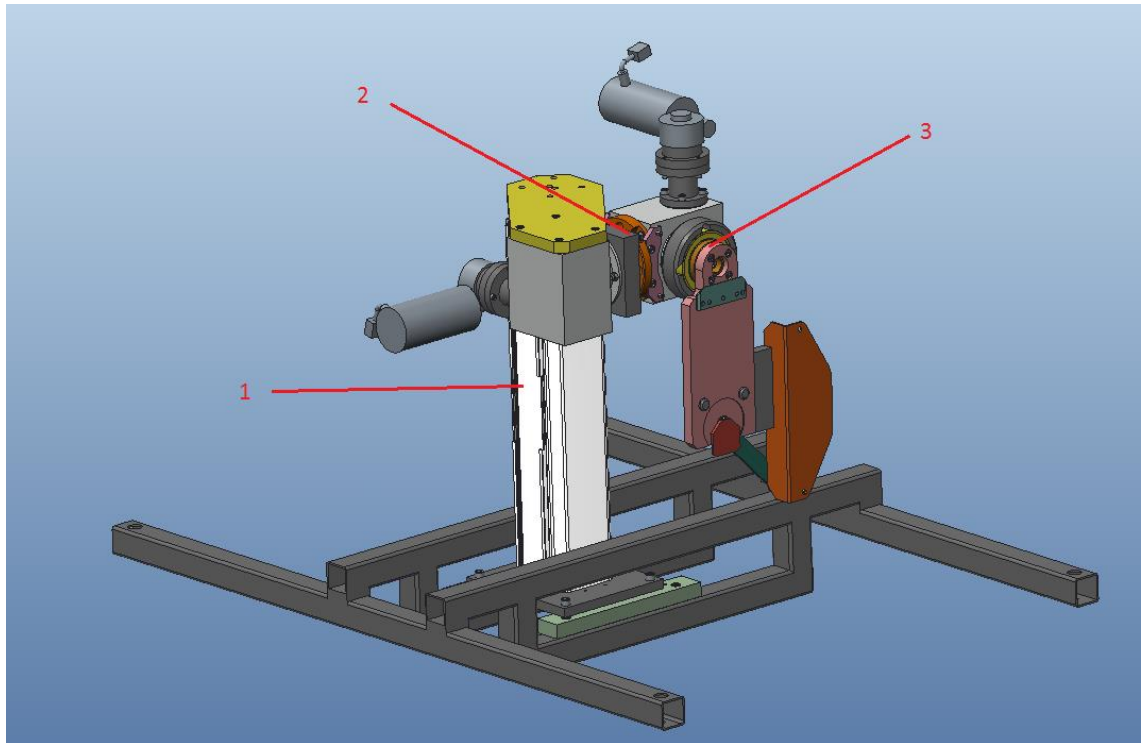
3.1 Liikesuunnat

Jigin tuli olla kiinni nostopilarissa, joka liikkuu pystysuunnassa (liikesuunta 1, kuva 2). Liikesuuntien havainnollistamisessa on käytetty valmiin jigin 3D-mallia. Pystysuuntainen säätö on erittäin oleellista, jotta jokainen kokoonpanija saisi tehdä töitä sopivalla korkeudella. Yrityksessä halutaan ylläpitää monitaitoisuutta, jolloin mahdollisimman moni työntekijä pääsisi työskentelemään usealla työpisteellä. Jigin korkeussäädön tärkeys korostuu entisestään.

Kokoamisen jälkeen rakennettava pilari yhdistetään pyörillä liikkuvaan kärryyn, jonka päälle koko röntgenlaite kootaan. Kärryssä on 15 cm:n korkeudessa taso, jolle NGEO-pilari kiinnitetään. Jigissä tuli olla tarkka korkeussäätö, jotta pilari saadaan helposti kärryyn kiinni.

Ensimmäinen vaihde kiinnitettiin akselilla toiseen vaihteeseen. Akseli oli laakeroitu ensimmäisen vaihteen ulostuloakselin laippaan, jotta vaihteen ulostulo ei joutuisi suurelle rasitukselle. Laakeri kestää hyvin radiaalisuuntaista rasitusta, kun taas vaihteen akselileita ei ole suunniteltu niin suurelle rasitukselle. Ensimmäinen vaihde pyörittää akselipalaa, jossa on mekaaninen rajoite pyörimiselle. Pilarin kokoaminen vaatii ensimmäiseltä vaihteelta ainoastaan 90° pyörimisliikkeen (liikesuunta 2, kuva 2). Tämä kääntöliike saa pilarin nousemaan pystyasennosta koontiasentoon, ja lopuksi laskemaan koontiasennosta kärryyn.

NGEO-pilarin tuli liikkua oman akselinsa ympäri, jotta pilarin molempia päitä pystyisi kokoamaan samalla puolella seisten (liikesuunta 3, kuva 2). Pilari voidaan pyöryttää ympäri, jolloin kokoaminen jatkuu samasta asennosta. Materiaalihyly pysyy kokoonpanon ajan jigin oikealla puolella. Edellisessä kappaleessa mainittu akseli on kytketty suoraan toisen vaihteen runkoon, jolloin saadaan aikaan pyörimisliike pilarin akselin ympäri.



Kuva 2. Jigin kolme liikesuuntaa

3.2 Turvallisuus

Jigin turvallinen käyttö oli avainasemassa suunnittelussa ja toteutuksessa. Raskas pilari lisäsi suunnittelussa huomioon otettavia asioita, jotta jigiä olisi turvallista käyttää. Tärkein turvallisuustekijä oli riittävän hidas liike. Käyttäjä voi erehtyä painamaan väärää nappia jolloin pilari pyöriään väärään suuntaan. Liikkeen ollessa hidas, ehtii työntekijä irrotta-
maan otteensa ennen pilarin törmäämistä. Mekaanisten rajoitteiden asettaminen jigiin lisäsi käyttöturvallisuutta. Vaihteiden välisessä akselissa on hieman yli 90° liikkeen mahdollistava ura, joka estää pilarin pyörittämisen muihin asentoihin. Laakerin pesään kiinnitettiin tappi, joka kulkee uraa pitkin jigin liikkeiden mukana.

3.3 Ergonomiavaatimukset

Työn ergonomia on yrityksessä suuressa arvossa. Väärä työasento voi aiheuttaa sekä välittömiä että myöhemmin ilmeneviä ongelmia. Välittömiä ongelmia ovat yhtäkkiset ja arvaamattomat kivut sekä tapaturmat. Jokainen työtaturma lisää yrityksen kuluja,

koska sairauslomalla oleva työntekijä täytyy kyseisellä työpisteellä korvata uudella työntekijällä. Ergonomialla on myös yhteys työtyytyväisyyteen. Tyytyväinen henkilökunta on aina parempi vaihtoehto kuin työlöihin tyytymätön. Työtyytyväisyys lisää motivaatiota, joka puolestaan vaikuttaa pitkällä aikavälillä tuottavuuteen ja sen kautta talouslukuihin. Pitkään jatkuva työnteko huonolla ergonomialla lisää myös sairauspoissaoloja.

Työpisteet pyritään rakentamaan käyttäjäystävällisiksi ja mahdollisuuksien mukaan säädettäviksi. Useassa työpisteessä säädettävyys tulee työtuoista, joiden korkeutta sekä selkänokaa voi säätää haluamaansa asentoon. Osa kokoonpanotyöstä tehdään seisten, jolloin täytyy miettiä eri ratkaisuja ergonomisen työasennon saavuttamiseksi. Kavo Kerr Groupilla usean työpisteen pöytätason alle on asennettu nostomoottorit korkeussäätöä varten. Käyttäjä voi nappia painamalla nostaa/laskea pöytätason sopivalle korkeudelle.

Kokoonpanojigin ergonomia tuli korkeussäädöstä sekä kääntömoottoreista. Korkeussäätö palvelee eri mittaisia kokoonpanijoita tehden työstä mukavampaa ja sujuvampaa. NGEO-pilarin osat sijoitettiin materiaalilaatikoihin kokoonpanojärjestyksen mukaan. Tavoite on, että tarvittava osa olisi aina käden ulottuvilla, eikä ylimääräistä kävelyä tulisi työn aikana.

3.4 Suorituskyky

Rakennettava pilari on raskas (53 kg), joten pyöritysmoottoreiden ja vaihteiden täytyi olla tehokkaita. Suurin vääntömomentin tarve syntyy jigin toisen vaihteen ollessa vaakatasossa. Vaihteen laipan ja sen päässä olevan tarraimen yhteispituus r akselin keskipisteestä on noin 0,15 m ja massa m noin 3 kg. Pilari ja tarrainsysteemi aiheuttavat vääntömomentin, jonka suuruus on

$$M = F \cdot r = m \cdot g \cdot r$$

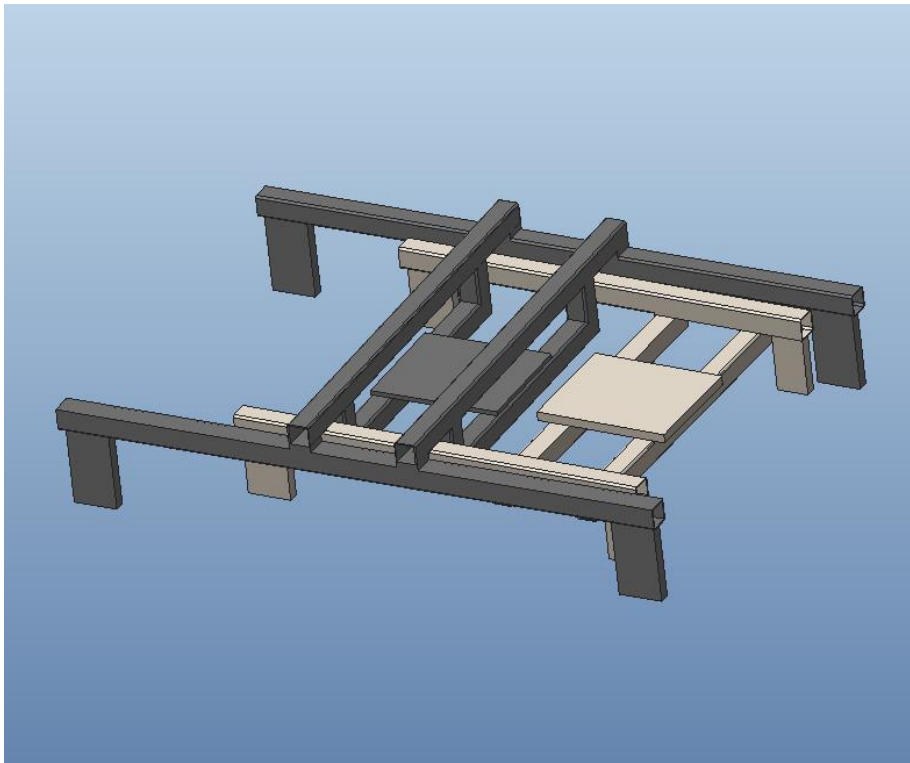
jolloin momentiksi saadaan

$$53 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,15 \text{ m} = 78,0 \text{ Nm}$$

Tarrain tarttuu NGEO-pilarin rungosta kiinni lähes painopisteen kohdalta, jolloin ylemmän moottorin vääntömomentin tarve ei kasva kovin suureksi.

3.5 Jalusta

Jigi on rakennettu kokonaisuudessaan pyörillä liikkuvan jalustan päälle. Jalusta mahdollistaa kokoonpanojigin liikuttelun materiaalihyllyn vierellä, jolloin kokoojan ei tarvitse hakea osia kaukaa. Osat ovat aina vieressä ja työ on sujuvaa. Osahyllyn jälkeen koottava pilari liikutetaan kokoonpanolinjan päähän, jossa se asetetaan kärryn päälle seuraavia kokoonpanovaiheita odottamaan (kuva 3). Jalusta on mitoitettu niin, että kärry, johon pilari kiinnitetään, pystytään tuomaan riittävän lähelle jalustaa.



Kuva 3. Jalusta on mallinnettu harmaaksi ja kärry valkoiseksi. Mallissa renkaat on korvattu yksinkertaisilla palikoilla.

Pyörillä liikkuvalla jalustalla olisi ollut vaihtoehtona muun muassa kiskorata, jossa jigi liikkuisi kiskojen päällä esimerkiksi kokoonpanohyllyn ympäri. Kiskoratkaisu on jo käytössä Kavo Kerr Groupilla eräessä kokoonpanolinjassa. Käyttökokemukset ovat olleet hyviä ja ratkaisu on tietyissä tapauksissa sopivampi vaihtoehto kuin pyörillä liikkuva alusta. Pilarikokoonpanolinjan lopullinen sijainti ei ollut vielä varmaa, joten kiskoratkaisu olisi ollut hankala tässä tapauksessa. Massiivinen kiskorata olisi täytynyt pultata tiukasti

lattiaan, joten sen paikan olisi pitänyt olla selvä asennusvaiheessa. Pyörillä liikkuva jigi oli siis järkevin vaihtoehto pilarin kokoonpanoon.

Pilarin liikerata on suuri sen liikkuessa jigin päällä. Jalustan jalkojen täytyy olla pitkät, jotta kaatumisvaaraa ei ole. Idefix-pilari tuli sijoittaa lähelle jalustan keskipistettä, sillä koottavan pilarin liike tapahtuu Idefix-pilarin ympärillä.

4 Toteutus

4.1 Suunnittelun ensimmäinen versio

Suunnittelu alkoi paperille hahmottelusta. Alkuvaiheessa kaikki ideat kannatti kirjata ylös ja pohtia, oliko niissä järkeä ja voitiinko niitä alkaa jalostaa eteenpäin. Piirtäminen oli nopea ja tehokas tapa havainnollistaa mieleen tulleet ideat, verrattuna vaikka suoraan tietokoneelle mallintamiseen.

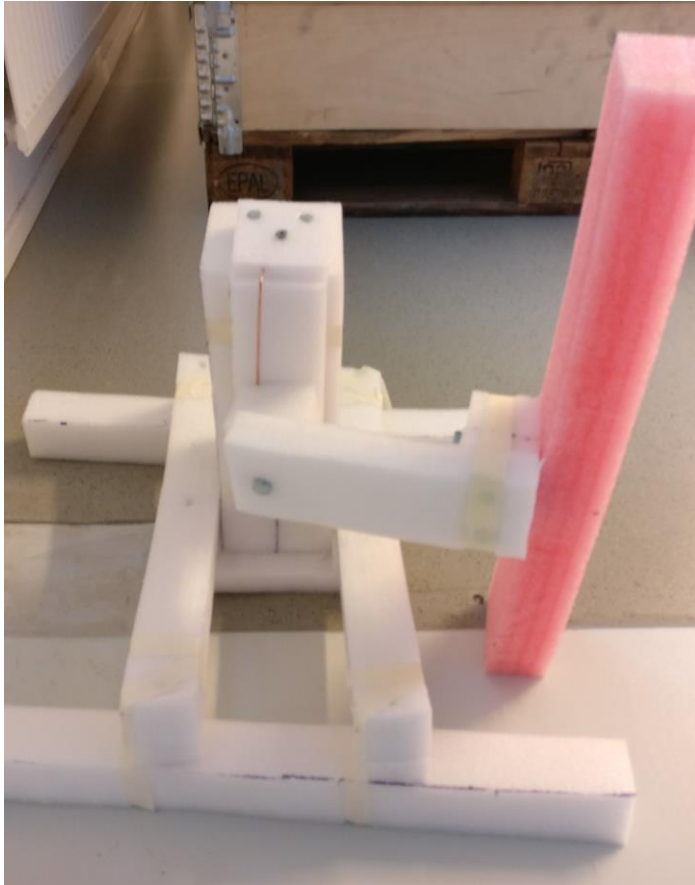
Paperille suunnittelun jälkeen valmistettiin mallikappale, sekä pienoiskoossa että 1:1 mittakaavassa. Mallin avulla jigin liikkeet ja liikeradat hahmottuivat paremmin ja mahdolliset ongelmat havaittiin ennen kuin osia alettiin valmistaa. 1:1 mittakaavassa tehty malli on aina paras tapa havainnollistaa liikeratoja. Mallikappale kannattaa valmistaa mahdollisimman keveistä ja helpoiten muokattavista materiaaleista, kuten pahvista, putkista tai tukevasta vaahtomuovista. Mallin raaka-aineet ovat edullisia sekä yksinkertaisia liittää toisiinsa kiinni.

Paperille suunnittelun jälkeen jigistä ja jalustasta tehtiin pienoismalli vaahtomuovista sekä putkista. Putkista tehty malli havainnollisti ainoastaan tarvittavat liikesuunnat (kuva 4). Putkimallista tehtiin yksinkertainen ja helposti muokattava. Haluttavat liikkeet toteutettiin siten, että putkien liitospalat jätettiin hieman löysälle.



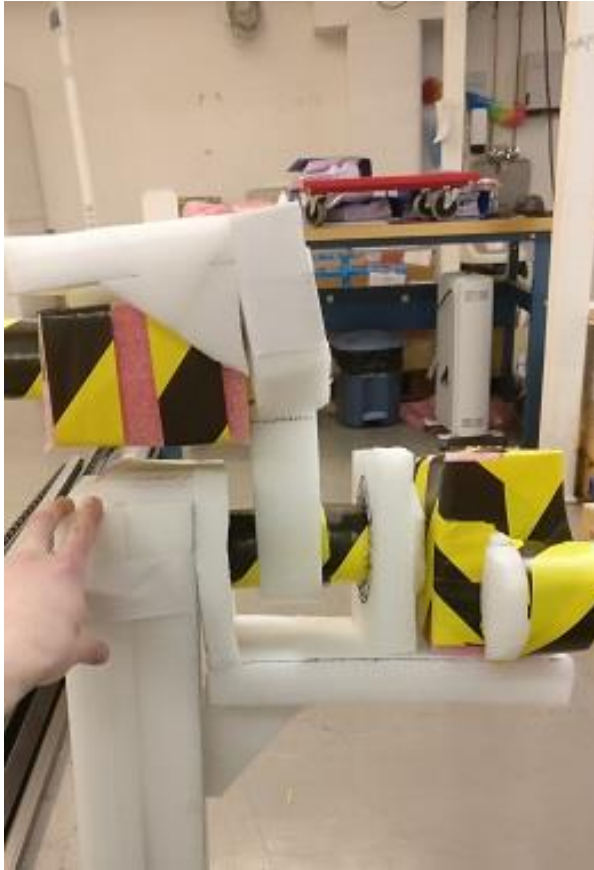
Kuva 4. Putkimalli jigin liikesuunnista. Rakennelman päällä vaakatasossa oleva putki on kuvastaa NGEO-pilaria.

Vaahtomuovimallin mittasuhteet pyrittiin pitämään lähes oikeina, mutta ei kuitenkaan tarkkaan mitoitettuina (kuva 5). Moottoreiden ja vaihteiden aiheuttamat pyörimisliikkeet tehtiin mahdollisiksi käyttämällä pultteja ja muttereita. Kärry, johon pilari lasketaan kokoamisen jälkeen, mallinnettiin myös, jotta kokonaistilanne olisi mahdollisimman havainnollistava.



Kuva 5. Pienokoossa oleva vaahtomuovimalli. NGeo-pilari on tehty vaaleanpunaisesta materiaalista selkeyden vuoksi.

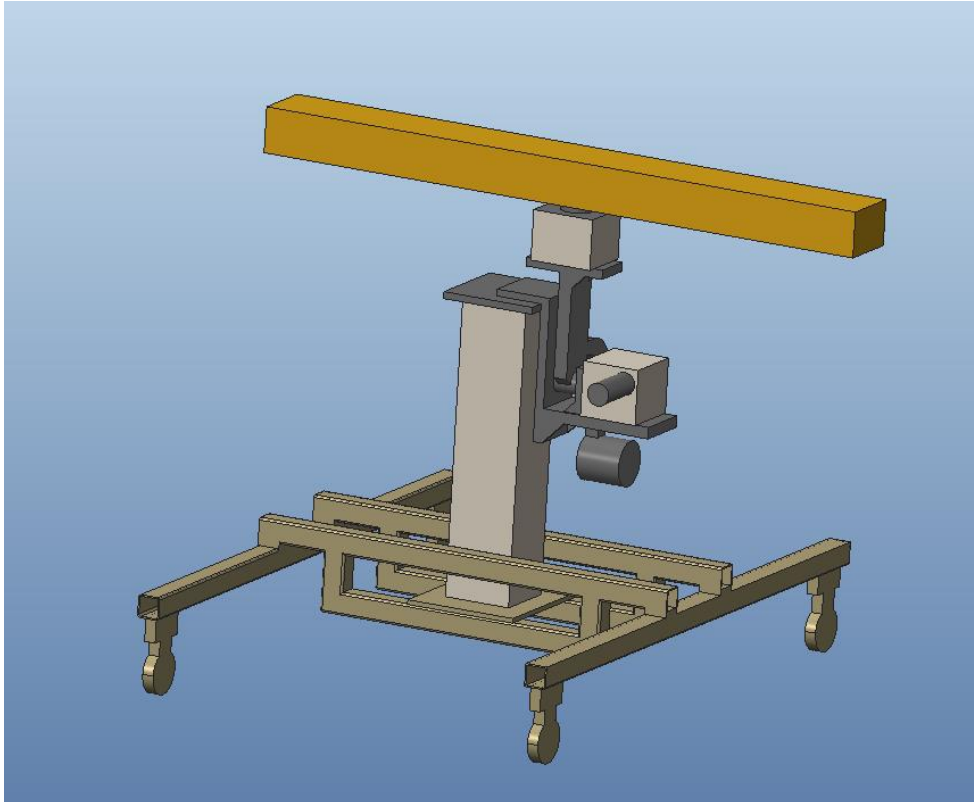
Myöhemmässä vaiheessa kun jiggin osat oli mallinnettu ja mitoitettu, valmistettiin jigistä täysikokoinen malli (kuva 6). Malli tehtiin jäykistä vaahtomuovin palasista, jotka teipattiin kestäväällä teipillä yhteen. Mallin avulla voitiin havainnollistaa liikeratoja ja jiggin tarvitsemaa tilaa. Pyöritysliikkeet tehtiin mahdollisiksi, jotta mallista saataisiin mahdollisimman suuri hyöty. Idefix-pilarin nostomekanismi jätettiin kuitenkin mallista pois hankalan toteutuksen ja vähäisen hyödyn vuoksi. Selkeyden vuoksi vaihteet ja moottorit teipattiin kelta-mustalle teipillä.



Kuva 6. Noin 1:1 tehty vaahtomuovimalli

Yrityksessä käytetään kappaleiden mallintamiseen ja simuloimiseen Creo-nimistä mallinnusohjelmaa. Ohjelma sisältää niin mallinnusominaisuuksia, kuin vaativampaankin käyttöön tarkoitettuja simulointityökaluja. Creolla mallinnetaan tarvittavat osat, jotka voidaan yhdistää yhdeksi kokoonpanoksi. Osat saadaan myös liikkumaan halutulla liikeraldalla, jotta nähdään, toimiiko kokoonpano vai tapahtuuko esimerkiksi kappaleiden yhteentörmäyksiä. Mallinnetusta kappaleesta tallennetaan myös step-tiedosto, joka voidaan syöttää sellaisenaan koneistuskeskukselle.

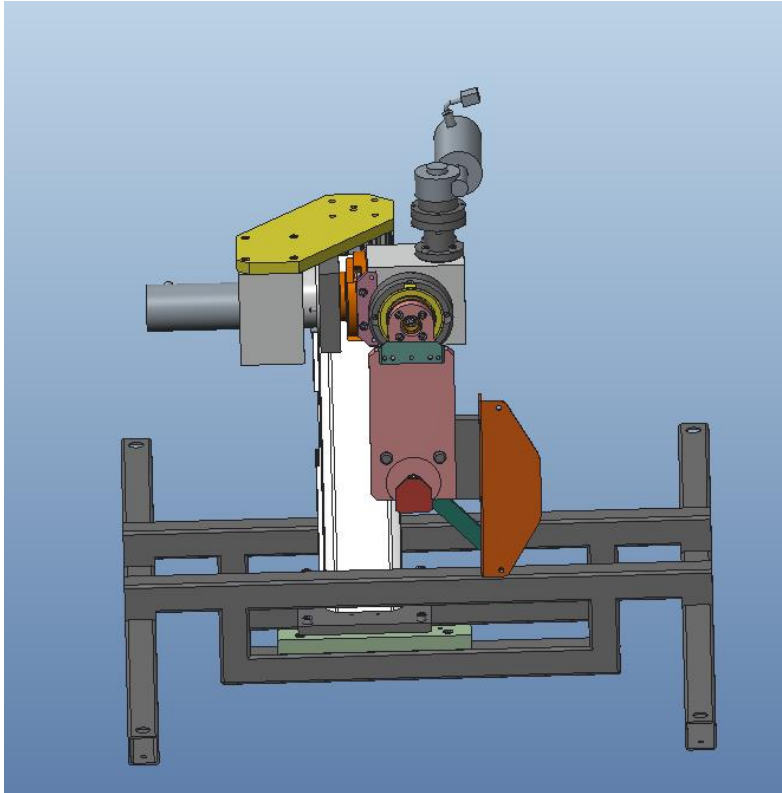
Jigin ja jalustan kokonaisuudesta mallinnettiin Creolla täysikokoinen malli, jossa oli mukana lähes kaikki osat. Malli ei ollut täysin yksityiskohtainen, mutta siitä oli helppo alkaa suunnitella jokaista osaa ja yksityiskohtaa tarkemmin (kuva 7). Jalusta on kuvassa vaahtolean ruskealla ja Idefix-pilari harmaalla.



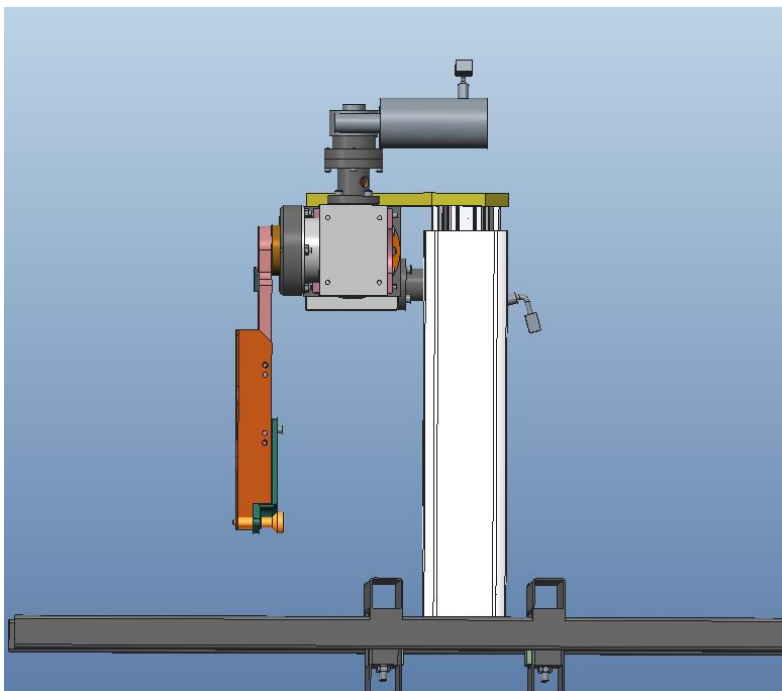
Kuva 7. Ensimmäinen versio jalustasta ja jigistä

4.2 Jigin tuotantoversio

Ensimmäinen versio toteutti liikesuunnat sekä mahdollisti kokoamisen hyvin. Ongelmia testikokoamisvaiheessa aiheutti kuitenkin hieman liian korkea kokoamisasento. Kokoamisen tulee olla mahdollista ja ergonomista eri mittaisille ihmisille, joten korkeutta tuli madaltaa. Idefix-pilari olisi helppo lyhentää, mutta sen sisällä oleva Linak-nostomoottori on tilaustuote, joten sitä ei pystynyt lyhentämään. Jigin alaosa on mitoitettu jo todella lähelle lattiatasoa, joten madallus ei onnistu myöskään alaosasta. Ensimmäisessä versiossa idefix-pilarin ylälevyn päällä liikkui ylempi vaihde, joka toi jigille lisäkorkeutta tarraimen kanssa noin 250 mm. Rakennetta muuttamalla kumpikin vaihde saatiin Idefix-pilarin ylälevyn tason alapuolelle (kuvat 8 ja 9). NGE0-pilarin liikesuunnat pysyivät samoina, mutta kasauskorkeus saatiin alimmillaan noin 850 mm:n korkeuteen. Nostomoottorin iskunpituus on 550 mm, joten pidemmän kokoonpanijat saavat pilaria reilusti ylemmäs.



Kuva 8. Jigin vaihteet on asetettu peräkkäin, jolloin aikaisemman version vipuvarsi on voitu jättää pois.



Kuva 9. Jigin rakenne kuvattuna sivusta

Rakennemuutoksessa valmistettiin Idefix-pilariin uusi ylälevy, joka toimi samalla myös ensimmäisen vaihteen kiinnityksenä (vrt. ensimmäinen suunnitteluversio, jossa oli erikseen ylälevy ja muut jigin rungon osat). Vaihteet kytkettiin toisiinsa akselin avulla, jolloin päästiin eroon pitkästä varsiosasta. Vipuvarren pituudesta seurasi ensimmäisessä versiossa suuri vääntömomentti, sekä laaja kiertoliike. Kiertoliike aiheutti jigin painopisteen vaihtelemisen ja täten teki jigistä hieman epävakamman. Jigin uusi design on selkeästi edeltäjänsä kompaktimpi.

4.3 Materiaalivalinnat

Jigin ja Idefix-pilarin yhteinen ylälevy, vaihteiden välinen akseli, laakerien pesät ja tarra-nakseli valmistettiin alumiinista. Sillä saatiin huomattava keveysero teräkseen verrattuna, ja riittävä lujuus jigin tarpeisiin. Linak-moottorin kiinnitys ylälevyyn mahdollistettiin teräksestä valmistetulla osalla, joka siirtää moottorin työntövoiman kohtisuorasti ylälevyyn, eikä pilari pääse nurjahtamaan.

4.4 Moottorit

Jigin nostomoottorina käytetään Linakin 24 V:n karamoottoria. Nostoliike on riittävän rauhallinen ja nostovoima on 1500 N. Nostovoima saadaan muutettua massaksi jakamalla voima F putoamiskiihtyvyydellä $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$.

$$m = \frac{F}{g} = \frac{1500 \text{ N}}{9,81 \frac{m}{s^2}}$$

jolloin massaksi m saadaan 152,9 kg.

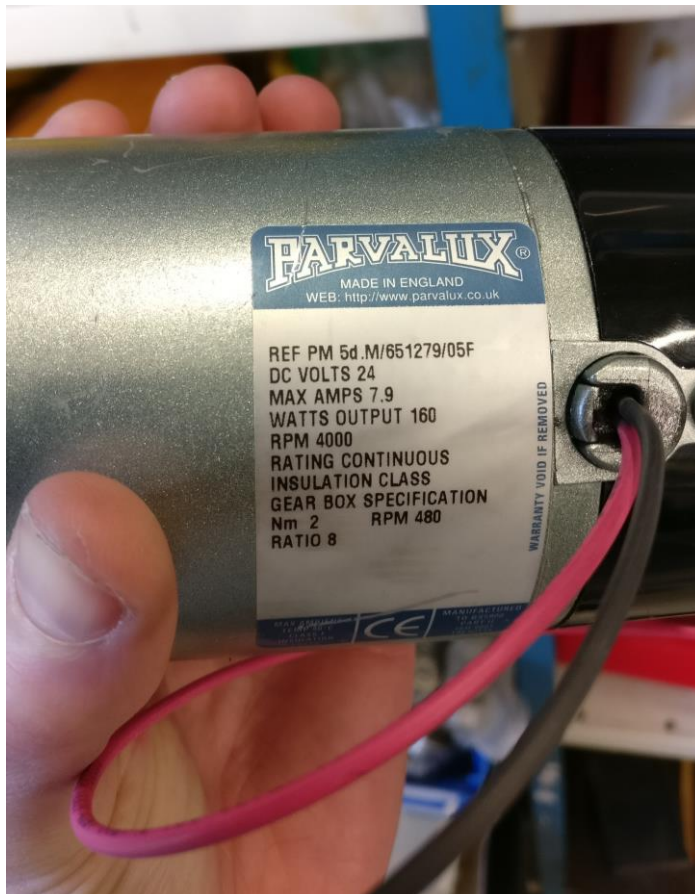
Pilarin massa on 53 kg ja yksi vaihde painaa 12 kg. Parvalux-moottori laippoineen ja kytkimineen painaa noin 5 kg. Akselien, laakerien ja muiden jigin runko-osien massa on yhteensä noin 8 kg. Linak-karamoottorille tulee yhteiskuormaa tällöin

$$m_{kok.} = 53 \text{ kg} + 2 * 12 \text{ kg} + 2 * 5 \text{ kg} + 8 \text{ kg} = 95 \text{ kg}$$

Karamoottorin duty cycle eli pulssisuhde on arvokilvessä ilmoitettu 5 % eli minuuteiksi muutettuna minuutin kuormituksen jälkeen 19 minuuttia ilman kuormaa. Ylös ja alas -

liikettä tarvitaan NCEO-pilarin kokoamisessa hyvin vähän, ainoastaan muutaman sekunnin mittaisia liikkeitä kerrallaan.

Jigissä on Idefix-pilarin nostomoottorin lisäksi kaksi pyöritysmoottoria. Yritykselle oli jäänyt edellisistä projekteista ylimääräisiä Parvalux-merkkisiä tasavirtamoottoreita, joten niitä haluttiin hyödyntää. Moottorin arvokilvestä (kuva 10) saa tarvittavat tiedot moottorin vääntömomentista sekä käyttöjännitteestä ja -virrasta. Ulostuloteho on 160 W ja käyttöjännite 24 V. Maksimivirta on 7,9 A, mutta suurempaa hetkellistä virtaa voi syöttää, jolloin tosin käyttöikä lyhenee. Moottorissa on sisäänrakennettu vaihde, jonka välityssuhde $i = 8$. Moottorin pyöriessä 4000 rpm, on ulostulonopeus vaihteen jälkeen 480 rpm ja vääntömomentti 2 Nm.



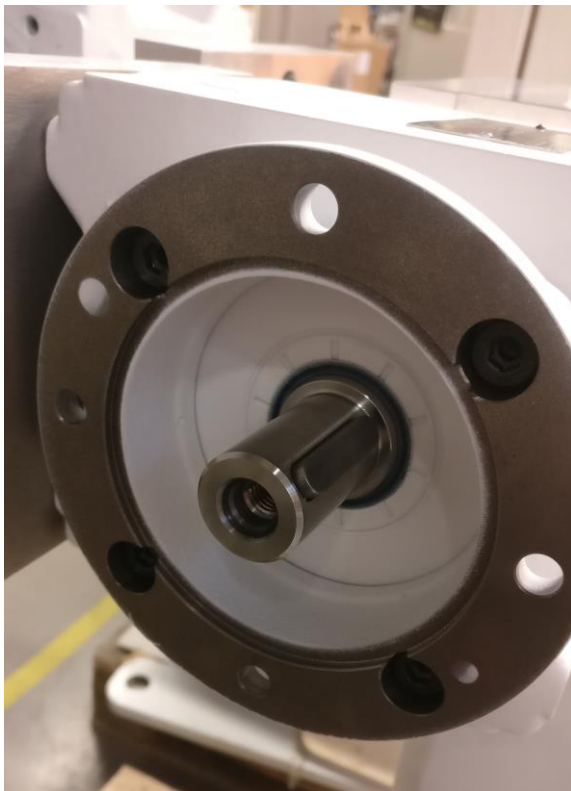
Kuva 10. Moottorin arvokilpi

4.5 Vaihde

Tasavirtamoottoreiden ulostuloon kytkettiin vaihde, jotta moottorin pyörimisnopeutta voitiin vähentää haluttuun nopeuteen. Pyörimisliikkeen täytyi olla todella hidasta, jotta jigiä olisi turvallista käyttää. Koottava pilari on raskas ja voi aiheuttaa vaaratilanteita, mikäli pyörimisnopeus on suuri. Liian hidaski liike taas viivyttäisi kokoamista ja näin ollen pienentäisi jigien hyötyä. Arvioiden perusteella pyörimisnopeuden tuli olla 5 - 10 rpm. Liikkeen nopeus on kääntäen verrannollinen vääntömomenttiin eli liikkeen hidastuessa vääntömomentti kasvaa.

Vaihteeksi valittiin ZAE:n 72:1 kierukkavaihde (kuva 11). Vaihde on kompaktin kokoinen ja painaa 12 kg. Kiinnitys jigisiin tapahtui sekä rungossa olevilla neljällä kierteitettyllä reiällä, että laipalla. Yrityksellä oli aiempaa kokemusta ZAE:n vaihteista, joten samalta toimittajalta haluttiin valita sopiva vaihde. Vaihteen ulostulon nopeus on

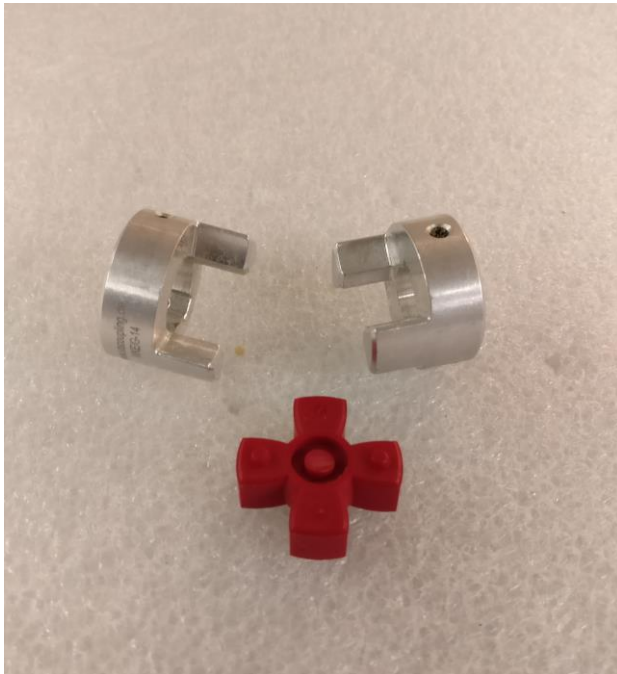
$$\frac{480 \text{ rpm}}{72} = 6,7 \text{ rpm}$$



Kuva 11. Laippakiinnitys sekä vaihteen ulostuloakseli

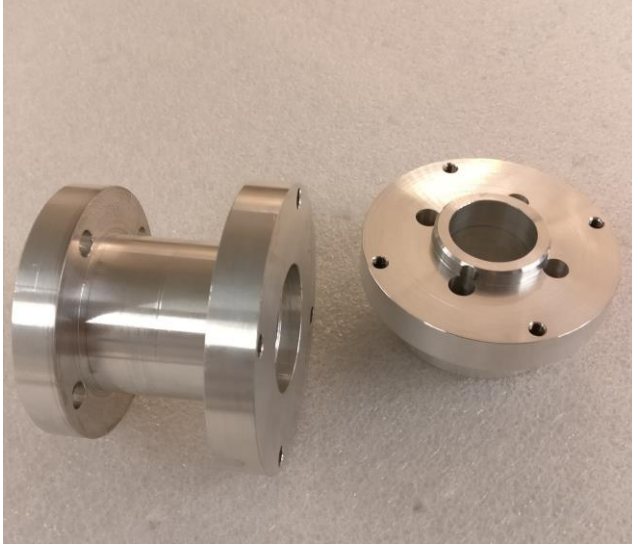
4.6 Kytkimet

Moottoria ja vaihdetta ei kytketty toisiinsa suoraan vaan väliin asennettiin alumiininen kytkinpari joustoelementillä (kuva 12). Moottorin akselin aiheuttama värinä olisi aiheuttanut suoraan vaihteeseen kytkettynä ongelmia, joten kytkinpari oli välttämätön. Kytkimet valittiin moottorin ja vaihteen akseleille, sekä joustoelementille sopiviksi.



Kuva 12. Kytkinpari ja joustoelementti

Kytkimen ympärille asennettiin kaksi alumiinilaippaa (kuva 13), jotka tekivät kokonaisuudesta tukevan. Laippojen neljä kiinnitysreikää olivat 90° välein, joten moottori voitiin asettaa vaihteen kylkeen osoittamaan ylöspäin, sivuille tai alaspäin. Moottorien asennussuunta valittiin niin, että se olisi kokoonpanon kannalta mahdollisimman vähän tiellä.



Kuva 13. Kytkimien ympärille asennettavat laipat

4.7 Ohjausjärjestelmä

Jigin ohjausjärjestelmä koostuu ohjausyksiköstä, akusta, käsiohjaimesta sekä tarvittavista kaapeleista. Ohjausyksikköön yhdistettiin kaapelit Idefix-pilarin nostomoottorista, sekä kahdesta Parvalux-moottorista. Kaikki kolme moottoria käyttävät yhteistä akkua, jonka varauksen näkee käsiohjaimessa olevista led-valoista. Akku on ehdottoman tärkeä, sillä verkkovirralla toimivan jigin liikuttelu olisi ollut haastavaa, sekä aiheuttaisi vaaratilanteita verkkovirtapiuhan takia.

Jigin ohjaus hoidetaan Linak-merkkisellä käsiohjaimella, jossa on oma nappi jokaiselle suoritettavalle liikkeelle. Liikkeitä on yhteensä kuusi (ylös/alas, moottori 1 molempiin suuntiin, moottori 2 molempiin suuntiin). Liike tapahtuu, kun käsiohjaimen nappia painetaan pohjassa alas. Liike pysähtyy välittömästi, kun nappi ei ole enää pohjassa. Ohjaimessa on kuuden näppäimen lisäksi ylimääräisiä näppäimiä, joihin voi tallentaa käskyjä. Muistipaikkaan voidaan esimerkiksi tallentaa oikea Idefix-pilarin asento silloin, kun koottava NGE0-pilari kiinnitetään kärryn päälle. Muistipaikat helpottavat ja sujuvoittavat työskentelyä.

4.8 Laakerointi

Idefix-pilarin päällä olevassa varsinaisessa jigiosassa on kaksi kuulalaakeria. Kumpikin laakeri on molemmilta puolilta peltisuojustu 6014zz-laakeri. Laakerin ulkomitta on 110 mm ja sisämitta 70 mm. Laakeri on 20 mm syvä. Laakereiden merkitys jigissä on erittäin suuri, sillä ne estävät vaihteiden ulostuloakseleita kuormittumasta. Ensimmäisen vaihteen ja akselin välissä oleva laakeri kuormittuu ainoastaan radiaalisuunnassa. Välys laakerin ja akselin välissä on jätetty niin pieneksi kuin mahdollista, jotta akseli ei pääse heilumaan laakerin sisällä. Laakeri on kiinni tiukkasovitteisessa pesässä, joka on kiinnitetty vaihteen laippaan (kuva 14). Näin laakeri pysyy tiukasti paikallaan.



Kuva 14. Laakeri on asennettu laakeripesään ja kiinnitetty vaihteen ulostuloakselin laippaan.

Toinen laakeri on toisen vaihteen ja tarraimen välissä. Sen tarkoitus on estää vaihteen ulostuloakseliin kohdistuva radiaali- sekä aksiaalikuormitus. Kun NGEO-pilari yhdistetään kärryyn, on toinen vaihte vaakatasossa eli laakeri ottaa vastaan radiaalkuormituksen. Aksiaalikuormitusta laakeri ottaa vastaan, kun NGEO-pilaria kootaan eli toisen vaihteen ollessa pystyasennossa. Laakeri on samalla tavalla asennettuna laakeripesään ja

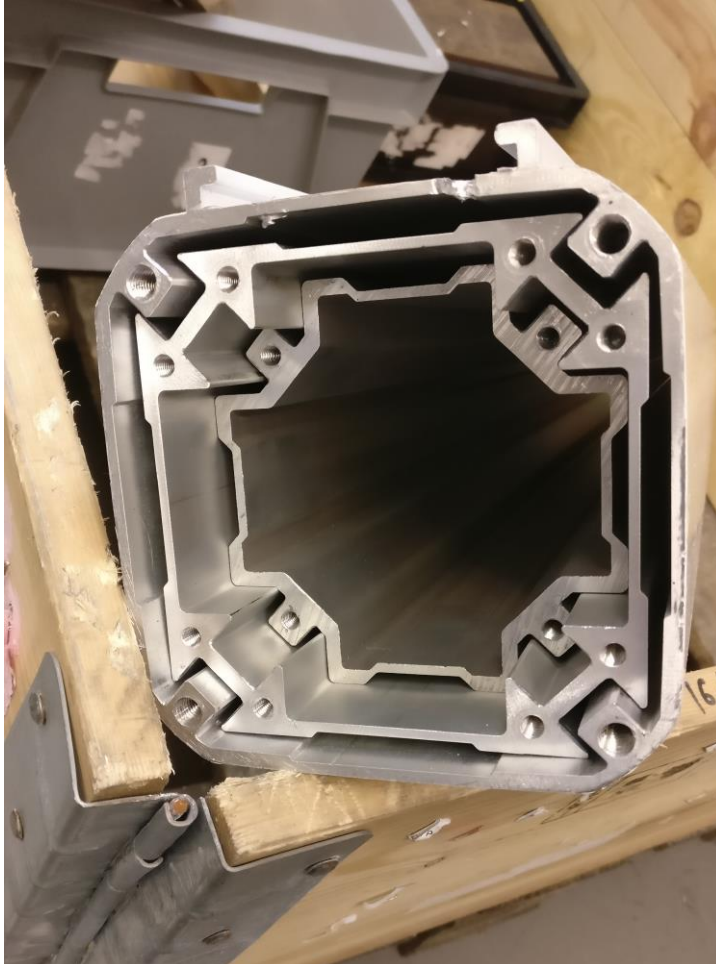
vaihteen ulostuloon kuin ensimmäinenkin laakeri. Tarrain on kiinnitetty laakeriin tarrainakselin avulla. Tarrainakseliin on sorvattu ulokerengas, joka on kiinni laakerin ulkopinnassa. Näin ollen akseli ei pääse kuormittamaan vaihteen ulostuloa juuri ollenkaan. Laakeri ottaa vastaan kaiken aksiaalikuormituksen (kuva 15). Tarrainakseli kiinnitetään vaihteen akseliin pitkällä M10-pultilla, sekä muttereilla.



Kuva 15. Tarrainakseli nojaa laakerin pintaan jolloin vaihteelle ei aiheudu akselin suuntaista kuormitusta. Laakeri on kiinni laakeripesässä, joka on kiinnitetty vaihteen laippaan.

4.9 Idefix-pilari

Idefix-pilari on yrityksessä käytössä oleva nostopilari, joko koostuu kolmesta sisäkkäin menevästä profiilista (kuva 16), Linak-nostomoottorista sekä profiilien päätyihin ja väleihin tulevista muoviosista.



Kuva 16. Kolme Idefix-pilarin alumiiniprofiilia

Idefix-pilarin kolme profiilia asetettiin sisäkkäin. Ylä- ja alapäätyyn kiinnitettiin kumpaankin kahdeksan kulmapalaa, jotka pitävät profiilit suorassa liikkeen aikana. Kulmapalojen jälkeen profiilien väliin työnnettiin yhteensä kahdeksan muovilevystä leikattua suorakaiteen muotoista liukupalaa. Ne pitävät keskimmäisen profiilin oikeassa kohdassa pilarin noustessa yläasentoon. Idefix-pilarin alapäätyyn asetettiin lopuksi kaksi valettua päätypalaa. Ensimmäinen päätypala pitää sisemmän ja keskimmäisen profiilin tiukasti kiinni toisissaan, ja toinen päätypala kytkee keskimmäisen ja uloimman profiilin kiinni. Idefix-

pilarin yläreunaan tuli kaksi valettua kehyspalaa niin ikään sisimmän ja keskimmäisen, sekä keskimmäisen ja uloimman väliin. Tämän jälkeen idefix-pilarin kumpaankin päähän kiinnitettiin alumiinista tehdyt levyt, joissa oli kiinnitysreiät oikeissa kohdissa sekä reikä nostomoottorille. Moottori työnnettiin pilariin alakautta, jolloin yläpuoli voitiin kiinnittää ensin kiinni. Alapuolelle moottori kiinnitettiin uhutlevyosalla, jossa oli kiinnitysreiät moottorille ja alalevyille. Tämän jälkeen Idefix-pilari voitiin kiinnittää jalustaan.

5 Rasitus- ja kestotestit

5.1 Testausjärjestelyt

Rasitus- ja kestotestit tehdään aina valmiille jigille. Mikäli rakennetta muutetaan merkittävästi, täytyy testit tehdä uudelleen. Testeillä varmistetaan jigin soveltuvuus tuotantokäyttöön, niin suorituskäytännöllisesti kuin turvallisuudenkin puolesta. Testeissä noudatetaan standardia SFS-EN 13155 A2 [5]. Testit tehdään tarkkojen ohjeiden mukaan ja testien tulokset dokumentoidaan. Testipaikaksi valitaan turvallinen ja avoin tila, jolloin jigin mahdollinen rikkoontuminen ei aiheuta vaaratilanteita sivullisille.

Testit koostuvat kahdesta vaiheesta, jotka voidaan tehdä myös yhtä aikaa. Ensimmäisessä vaiheessa jigiä kuormitetaan kolminkertaisella massalla sen tuotannossa käytettävään massaan verrattuna. Massat asetetaan jigin kuormaksi niin, että rasitus on mahdollisimman suuri, tässä tapauksessa jigin toisen vaihteen ollessa vaakatasossa. Tällöin jigiin kohdistuu suurin vääntömomentti. Kolminkertaisella massalla testattaessa jigin rakenteet eivät saa murtua, mutta pysyviä muodonmuutoksia sen sijaan saa tapahtua.

Toisessa testivaiheessa jigiä kuormitetaan kaksinkertaisella massalla. Aivan kuten ensimmäisessä testivaiheessa, jigin toinen vaihe on vaakatasossa, jolloin vääntömomentti jigin rakenteisiin on mahdollisimman suuri. Toisessa testivaiheessa jigiin ei saa tulla minkäänlaisia pysyviä muodonmuutoksia.

Jigiä ei tarvitse rasitustestata kuin kerran, mikäli jigin rakenne ei muutu kolminkertaisella massalla kuormitettaessa.

5.2 Jigin testaus

Jigiin kiinnitettiin poikittain NCEO-pilari (53 kg). Pilari käännettiin poikittain eli jigin kannalta eniten rasittavaan asentoon. Jigin jalusta toimi hyvänä tukena vetolaitteelle, sillä kaatumisvaaraa ei ole. Jalustan alle asetettiin poikittain alumiiniprofiili, johon Tamtron-merkkisen vetolaitteen toinen pää kiinnitettiin tukevasti. Vetolaitteen ylempi pää on liinoilla kiinni NCEO-pilarissa (kuva 17). Vetolaitteeseen haluttiin kuorma, jonka suuruus on vähintään

$$2 \cdot 53 \text{ kg} = 106 \text{ kg}$$

jolloin jigiin kohdistuva rasitus on

$$m_{\text{rasitus}} = 53 \text{ kg} + 106 \text{ kg} = 159 \text{ kg}$$



Kuva 17. Jigissä on kiinni NCEO-pilari, joka on asetettu poikittain. Vetolaite on kiinnitettynä alumiiniprofiiliin ja pilariin.

Testi alkoi ja rasiutusta lisättiin pikkuhiljaa. Täyden turvallisuusvarmuuden saamiseksi jigiä kuormitettiin huomattavasti suuremallakin kuormalla (kuva 18). Jigin kokonaiskuormaksi tuli näin ollen

$$149 \text{ kg} + 53 \text{ kg} = 202 \text{ kg}$$

Mitään muodonmuutoksia tai murtumisia ei tapahtunut, joten kaksinkertaisella massalla testaamista ei tarvinnut tehdä ollenkaan. Jigi todennettiin testillä kestäväksi ja turvaliseksi tuotantoon (liitteenä testiraportti).



Kuva 18. Vetomittarin kuorma oli suurimmillaan 149 kg, jolloin jigiä kuormitettiin 202 kg:n massalla.

6 Tulokset ja jigin kehitysmahdollisuudet

Insinööriyössä tehty jigi on tuotantokäyttöön valmiina oleva versio. Valmis jigi suoriutuu kaikista tarvittavista liikkeistä ja on turvallinen kokoonpanokäyttöön. Projektin valmis lopputuote sisältää kuitenkin runsaasti kehittämismahdollisuuksia, jotta jigin käytettävyyttä saadaan huomattavasti paremmaksi ja sujuvammaksi. Työturvallisuutta on syytä kehittää jatkuvasti, vaikka valmis jigi olikin käyttöturvallinen. Mahdollisia työtä hidastavia piirteitä pyritään poistamaan. Myös ulkonäköön voi tehdä useita päivityksiä, joilla saadaan jigiä tyylikkäämmän näköiseksi.

Jalustan mittoja voidaan tarpeen mukaan hieman pienentää, jotta jalusta ei olisi kokoonpanijan tiellä. H-jalusta on muodoltaan järkevä ja tukeva, joten sen kehittäminen tapahtuu juuri mittoja muuttamalla. Jalustan leveyden täytyy olla tuotantokärryä leveämpi, jotta kärry saadaan tuotua jigin jalustan ”sisään”. Leveyssuuntaan ei todennäköisesti ole tarvetta kasvattaa jalustan mittoja. NGE0-pilarin massakeskipiste pysyy kääntelyistä huolimatta melko lähellä Idefix-pilaria, jolloin rakenne pysyy tukevana hieman pienemmänkin jalustan kanssa.

Jigin vaihteet valittiin arvioimalla tarvittavaa NGE0-pilarin pyörimisnopeutta. Yksi kehityskohde on valita moottorin akseliin kiinni vaihde, jonka välityssuhde i on joko suurempi tai pienempi kuin nykyisessä jigissä. Pienempi välityssuhteen arvo lisää pyörimisnopeutta, ja suurempi välityssuhde pienentää sitä. Tarve pyörimisnopeuden muuttamiselle selviää käyttäjäkokemusten perusteella.

Valmiin jigin laakerit ja pyöritysmekanismit ovat näkyvillä, sillä jigiä ei ole peitetty muovisilla tai metallisilla suojakuorilla. Sormien joutuminen jigin pyörivien osien väliin estetään sormisuojuilla, mutta varsinaisia kuoria ei todennäköisesti tulla asentamaan. Jigin on tarkoitus olla käytännöllinen ja myös muokattavissa.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa kokoonpanokäyttöön soveltuva jigi. Suunnittelussa tärkeää oli työskentelyergonomia sekä käyttöturvallisuus. Korkeuden säätö ja jigin pyöritysmahdollisuus olivat avaintekijöitä mukavaa ja sujuvaa työskentelyä ajatellen. Työturvallisuus on yrityksen arvoasteikossa todella korkealla, ja siihen liittyviä asioita pitikin miettiä tarkoin. Suurin yksittäinen työturvallisuuteen liittyvä asia oli jigin riittävän hitaat liikkeet. Liikkeitä ohjaava järjestelmä suunniteltiin turvalliseksi ja helppokäyttöiseksi.

Suunnittelun ensimmäinen vaihe toteutettiin kynällä ja paperilla. Ideoiden pohjalta rakennettiin yksinkertaisia materiaaleja hyödyntäen pienoismalleja, sekä 1:1 malli tulevasta jigistä. Malleilla pystyi simuloimaan yksinkertaisia liikkeitä, joita jigin haluttiin suorittavan. Mallintamisen ohella tehtiin laskut jigin vaatimasta suorituskyvystä. Moottorit ja vaihteet valikoitiin sopiviksi jigin tarpeisiin. Suunnittelussa hyödynnettiin perinteisen piirtämisen ohella Creo-nimistä 3D-mallinnusohjelmaa.

Jigistä valmistettiin ensimmäisenä versiona kokonainen prototyyppi, joka suoritti tarvittavat liikkeet. Prototyypissä havaittiin rakenteellisia ongelmia, jolloin rakennetta alettiin suunnitella uudestaan. Suunnittelun tuloksena syntyi huomattavasti prototyyppiä kompaktimpi ja käytännöllisempi versio. Tämä tuotantoversio soveltui kokoonpanokäyttöön niin ergonomisten kuin turvallisuusominaisuuksienkin puolesta.

Jigi voitiin hyväksyä tuotantoon vasta rasitus- ja kestotestien jälkeen. Testit suoritettiin turvallisissa olosuhteissa valvojan toimesta. Jigi testattiin standardin SFS-EN 13155 A2 mukaisesti ja testitulokset dokumentoitiin. Kun jigi oli todettu kestäväksi ja turvalliseksi, oli vuorossa enää jigin viimeistely käyttökuntoon.

Lopputuloksena valmistui tuotantokäyttöön valmis ja turvallinen kokoonpanojigi.

Lähteet

- 1 Kavo Kerr Group. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.kavokerr.fi/fi/>> Luettu 17.3.2017.
- 2 Product Family. 2017. Verkkodokumentti. Dental Product Shopper. <<http://www.dentalproductshopper.com/orthopantomograph-op300-panoramic-radiography-system>> Luettu 13.8.2017.
- 3 Lean. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.sixsigma.fi/fi/lean/>> Luettu 15.3.2017.
- 4 Tätä Lean on. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/lean/>> Luettu 15.3.2017.
- 5 SFS-EN 13155 A2. Irrotettavat nostoapuvälineet ja nosturit. 2009. <<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/131457.html.stx>> Luettu 16.8.2017.

Liite: Rasiustestin raportti

PALODEX:N NOSTOAPUVÄLINEEN TARKASTUS

Nimi:	Pilarijigi
Tarkastuskuukausi:	Kesäkuu

Koodi:	NO 300
	2017
Valmistaja:	Palodex
Missä sijaitsee:	HLEO
Max. nosto kg	60kg
Mihin tarvitaan:	NGEO-pilari KP
Missä käyttö ohjeistettu:	N/A
Valmistusdokumentti:	N/A

Tarkastustoimenpiteet:

Tässä kuvataan miten tarkastus

tapahtuu: SFS-EN 13155 A.2

Mekaanisen lujuuden todentaminen

tyyppikohtaisella, staattisella kokeella

A3 Kunkin yksittäisen apuvälineen mekaanisen lujuuden todentaminen staattisella kokeella.

Hylkäämiskriteerit:

SFS-EN 13155 A.2.3. Tyyppiä edustavan apuvälineen on kestettävä staattinen voima $F_3=3x$ nostokyky. Apuvälineen on kestettävä voima vaikka siinä tapahtuisi pysyviä muodonmuutoksia. A3.3Sarjan jokaisen yksittäisen apuvälineen on kestettävä F_2 joka on yhtä suuri kuin $2x$ nostokyky, ilman pysyvää muodon muutosta ja voiman poistamisen jälkeen siinä ei saa olla näkyviä vikoja.

Tarkastuksessa käytetyt välineet: Nosturivaaka Tamtron LO225

Tarkastustulos: Ok ei muodon muutoksia eikä näkyviä vikoja
Tarkastaja ja päivämäärä: Ville Pusa 27.6.2017
Lisätietoja

