

Kimmo Koivuluoma

Hydraulinen koneistuskiinnitin modulaarisella toimintaperiaatteella

Suunnittelu ja valmistus

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Kimmo Koivuluoma

Työn nimi: Hydraulinen koneistuskiinnitin modulaarisella toimintaperiaatteella

Ohjaaja: Heikki Kokkonen

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 61

Liitteiden lukumäärä: 9

Nykyaikaisessa konepajassa läpimeno- ja asetus aika sekä kustannustehokkuus ovat tärkeässä asemassa, varsinkin proto- ja piensarjatuotannossa. Modulaariset koneistuskiinnittimet ovat tuoneet apua kustannuksiin ja asetusajan lyhentämiseen, ja ne ovat alkaneet vähitellen vakiintua koneistusympäristöissä. Modulaariset kiinnittimet ovat usein käsin kiristettäviä, ja kappaleen asettaminen on siten myös käsityötä, koska robotiikan lisääminen tällaiseen soluun tuo omat ongelmansa. Hydraulikalla saadaan suuret kiinnitysvoimat ja nopeat liikkeet sekä helppo säädettävyys ja automaatioon yhdistäminen. Yhteistyö robotiikan ja automaation kanssa on nykyaikana lähes pakollista, jos aikoo menestyä markkinoilla ja pitää kilpailukykyä tulevaisuudessa yllä. Hydrauliset koneistuskiinnittimet ovat kuitenkin vielä pitkälti yksittäiskappaleille suunniteltuja, niiden hyödyistä huolimatta. Syitä tähän ovat komponenttien kalleus ja tehon siirron vaikea toteutus modulaarisessa toimintamallissa.

Opinnäytetyössä käsitellään hydraulisen koneistuskiinnittimen suunnitteluun ja valmistamiseen liittyviä teknisiä vaatimuksia ja huomioitavia seikkoja sekä modulaarisuutta ja sen merkitystä konepajateollisuuden nykytilanteessa. Työssä on tutkittu kiinnitysmenetelmien ja työstöarvojen vaikutusta tuotteen laatuun ja modulaarisuuden vaikutusta asetusajoihin sekä kustannuksiin. Työssä on pohdittu myös menetelmän kehitysvaihtoehtoja ja kiinnittimen mahdollisia kustannushyötyjä.

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan ja valmistetaan hydraulinen koneistuskiinnitin, joka toteuttaa modulaarisesta muunneltavaa kiinnityspeeriaatetta. Laitetta ja työn tuloksia käytetään Seinäjoen Ammattikorkeakoulun opetuksessa ja asiakastöiden valmistuksessa.

Osa opinnäytetyön liitteistä on luottamuksellisia, eikä niitä esitetä julkisessa versiossa.

Avainsanat: modulaarisuus, lastuava työstö, kiinnitystekniikka, hydraulikka, automaatio

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical Engineering

Author: Kimmo Koivuluoma

Title of thesis: Hydraulic machining fixture with modular principle

Supervisor: Heikki Kokkonen

Year: 2017

Number of pages: 61

Number of appendices: 9

In a modern machinery shop, the delivery cycle and setting times are in a significant position along with cost-effectiveness, especially when in prototype and short-run production. Modular machinery fixtures have been designed to aid in these types of problems, and have since begun to gradually stabilize their usage in machinery environments. Modular fixtures are often manually operated, from setting a work piece in its place to fastening clamps, making them slow to use. Adding robotics or automation to this kind of environment is problematic because of the human element. Using hydraulics enables a fast movement speed, large clamping force, easy adjustability and easy integration to automation. Collaboration with automation and robotics is a crucial matter now and in the future, if a company wants to be competitive. Hydraulic fixtures are mainly designed to attach only their individual and definite parts, because implicating the modular principle with hydraulic components is a difficult task, and rather expensive.

The thesis processed the technical requirements of designing and manufacturing a hydraulic machining fixture, as well as studied the principle of modularity and its meaning and influence on the present engineering industry. The thesis inspected the influence of a fixing method and cutting parameters to the product's quality, and how modularity affected the setting times and production costs. The thesis also presented some improvement options for the fixture and possible cost benefits of using the modular fixture.

The thesis explained the design and manufacturing process of a hydraulic machinery fixture, which would implement the modular principle in use. The fixture and the results of the thesis will be used at the machine engineering laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences, as a part of the teaching equipment and in manufacturing customer components.

Some of the appendices in the thesis are confidential and are left out of general publication.

Keywords: modularity, machining, fixation technology, hydraulics, automation

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn esittely.....	9
1.2 Työn tavoitteet	10
1.3 Työn rakenne.....	10
2 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	11
2.1 Nykytilanne	11
2.2 Modulaarisuus.....	13
2.3 Työkappaleen kiinnitys ja koneistuksessa vaikuttavat voimat.....	16
2.3.1 Kiinnitys- ja paikoitusmenetelmä.....	16
2.3.2 Lastuamisvoimat.....	18
2.3.3 Kiinnityksen ja koneistamisen aiheuttamat muodonmuutokset.....	26
2.4 Hydraulikka	27
2.5 Koneen suunnitteluun vaikuttavat tekijät.....	31
3 HYDRAULISEN KIINNITTIMEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS	33
3.1 Kiinnittimen vaatimukset ja niihin vastaaminen	33
3.2 Hydraulikan suunnittelu.....	34
3.3 Kiinnityksen suunnittelu	43
3.3.1 Lastuamisvoimien laskenta.....	43
3.3.2 Kiinnitysasetus.....	48
3.4 Valmistus	51
3.5 Laitteen testaus.....	53
3.6 Huomioitavaa	54
3.7 Kustannusvaikutus.....	54
4 JATKOKEHITYS JA OMAT POHDINNAT	56
4.1 Soveltaminen sekä vaihtoehtoiset rakenteet.....	56

4.2 Jatkokehitys	57
4.3 Omat pohdinnat	57
LÄHTEET	59
LIITTEET	61

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Kitamura Mycenter HX500i (Kitamura [Viitattu 18.3.2017]).....	9
Kuvio 2. Fastems FMS One -perusjärjestelmä (perustuu Fastems [Viitattu 18.3.2017]).....	12
Kuvio 3. Modulaarisuuden tyypit (perustuu Österholm & Tuokko, 11 [Viitattu 28.3.2017]).....	15
Kuvio 4. Kappaleen vapausasteet.....	17
Kuvio 5. Kiinnitystasot ja kappaleen asettuminen.	18
Kuvio 6. Otsajyrsinnän suureet (perustuu Andersson 1997, 22).	20
Kuvio 7. Porauksen suureet (perustuu Andersson 1997, 25).	22
Kuvio 8. Vääntömomentin vaikutus kiinnitysvoimaan (perustuu Lehtimäki 2006).	25
Kuvio 9. Kiinnityksen aiheuttama muodonmuutos.....	27
Kuvio 10. Ohjauspiirin ensimmäinen versio.	37
Kuvio 11. Ohjauspiirin paranneltu ja viimeinen versio.	38
Kuvio 12. Vaiheistus, ensimmäinen versio.	39
Kuvio 13. Vaiheistus, toinen versio, jonka mukaan todellinen rakennetaan.	40
Kuvio 14. Kiinteä ja kääntyvä jalusta.....	41
Kuvio 15. Kiinteän jalustan siirtymät vasemmalla ja jännityshuiput oikealla.	42
Kuvio 16. Kääntyvän jalustan siirtymät vasemmalla ja jännityshuiput oikealla.	42
Kuvio 17. Sekvenssiventtilin telineen Cad-malli ja osat.	43
Kuvio 18. Suurimman kiekon kiinnitys.	49
Kuvio 19. Keskikokoisen kiekon kiinnitys.	50

Kuva 20. Pienimmän kiekon kiinnitys.	50
Kuvio 21. Ohjauspiiri koottuna.	52
Kuvio 22. Valmis laite.	53
Taulukko 1. Modulaarisen järjestelmän viisi tyyppiä (perustuu Österholm & Tuokko, 10 [Viitattu 28.3.2017]).	15
Taulukko 2. Jyrsinnän suureiden selitys (perustuu Andersson 1997).	21
Taulukko 3. Poraus suureiden selitys (perustuu Andersson 1997).	23
Taulukko 4. Kitkakertoimet eri pintojen välillä (perustuu Lehtimäki 2006).	24
Taulukko 5. Työstömenetelmien sysäyskertoimia (perustuu Lehtimäki 2006).	26
Taulukko 6. Materiaalien ominaislastuamisarvoja jyrsinnälle. (perustuu Aaltonen 1997, 22).	44
Taulukko 7. Lastuamisvoimat kolmelle yleiselle jyrsimelle.	44
Taulukko 8. Kontaktikulman vaikutuksen vertailu.	45
Taulukko 9. Materiaalien ominaislastuamisarvoja poraukselle. (perustuu Aaltonen 1997, 27).	45
Taulukko 10. Porauksen lastuamisvoimat.	46

Käytetyt termit ja lyhenteet

Asetusaika	Kappaleen kiinnitysasetuksen muuttamiseen ja säätämiseen kuluva aika tuotanto erien välillä.
CAD	“Computer Aided Design”, tietokoneavusteinen suunnittelu. Luodaan virtuaalinen malli komponentista tai kokoonpanosta.
CAM	“Computer Aided Manufacturing”, tietokoneavusteinen valmistus. CAD-mallista voidaan luoda työstöradat ja ohjelma työkoneelle.
CNC	“Computerized Numerical Control”, numeerinen ohjaus. Koneen ohjaaminen numero- ja kirjain-symboleilla, jotka koneen ohjauselektroniikka toteuttaa liikkeinä.
FEM-ohjelma	“Finite Element Method” suom. elementtimenetelmä, ohjelmisto laskee matemaattisesti rakenteellisia ja fyysisiä muutoksia annettujen ehtojen perusteella.
FMS	”Flexible Manufacturing System”, joustava automaattinen tuotantojärjestelmä. Usein automaattinen hyllystö, joka palvelee robotteja ja työstökoneita.
Läpimenoaika	Tuotantoerän tai yhden tuotteen valmistamiseen kuluva aika.
Moduuli	Itsenäinen osa, joista voidaan koota erilaisia kokonaisuuksia.
STEP-muoto	“Standard for the Exchange of Product model data”, CAD-tiedoston universaali tallennusmuoto.
Variaatio	Muunnelma, esimerkiksi samaan autoon tarjottavat eri moottorikoot (1,6-litrainen, 1,8-litrainen, 2,0 jne.).

1 JOHDANTO

1.1 Työn esittely

Työn tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa SeAMKin kone- ja tuotantotekniikan laboratoriolle hydraulikalla toimiva modulaarinen koneistuskiinnitin, missä saadaan nopeasti muutettua komponenttien paikkaa ja kiinnitystapaa erilaisten kappaleiden kiinnittämiseksi. Kiinnitintä tullaan käyttämään opetuksessa havainnollistamaan hydraulikan toimintaa, modulaarisuutta sekä kiinnityksessä ja koneistuksessa huomioon otettavia muita asioita sekä myös asiakastöiden tekemiseen. Kiinnitintä tullaan käyttämään vaakakaraisessa, neljäkselisessä Kitamura HX500i -koneistuskeskuksessa.

SeAMKin laboratorioinsinööri Juho Yli-Suomu, joka antoi tämän opinnäytetyön tehtäväksi, on ideoinut kiinnitintä jo aikaisemmin ja on siten hankkinut ja koneistanut joitakin osia jo ennen tämän opinnäytteen aloitusta. Juho Yli-Suomu toimii asiakkaan (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö) edustajana.



Kuvio 1. Kitamura Mycenter HX500i (Kitamura [Viitattu 18.3.2017]).

Yhteistyössä tässä työssä oli Komas Oy, joka tarjosi testikiinnitettävät kappaleet. Kappaleiden piirustukset on pyydetty pitämään salassa.

1.2 Työn tavoitteet

Tavoitteena on suunnitella ja valmistaa koneistuskiinnitin, joka tarjoaa mahdollisimman monipuolisen ja nopean kiinnitystavan koneistuksessa. Monipuolisella tarkoitetaan sitä, että voidaan kiinnittää erimuotoisia ja erikokoisia kappaleita koneistusta varten muuttamalla komponenttien paikkaa, määrää, toimintajärjestystä ja toimintatapaa, eli kyseessä on modulaarinen rakenne.

Tarkoituksena on käyttää mahdollisimman paljon ostettavia komponentteja, että voidaan taata turvallinen käyttö ja helpottaa mahdollisia huoltoja ja korjauksia sekä kiinnittimen kehitysmahdollisuudet.

Asetusaika on myös tärkeässä asemassa ja se pyritään pitämään pienenä. Nopeuteen vaikuttaa käytetty kiinnitystekniikka ja-tapa sekä käytetyt komponentit.

Nykyaikaiset hydrauliset kiinnittimet ovat pitkälti kappalekohtaisia ja niissä on vain pieni säätövara. Kiinnittimet ovat myös kalliita ja niitä tarvitaan useita, jolloin suurin osa on varastossa ja kustannukset kasvavat. Työn tavoitteena on myös osittaa modulaarisen hydrauliiikan kustannuksia alentava vaikutus.

Työ rajataan koskemaan vain koulun käytössä olevia laitteita ja tiloja sekä käyttötilanteita. Työssä tullaan pohtimaan suunniteltavan laitteen käyttömahdollisuuksia erilaisissa työympäristöissä sekä laitteen mahdollisia kehityskohtia.

1.3 Työn rakenne

Työn ensimmäisessä luvussa kerrotaan opinnäytetyön taustoista ja sen tavoitteista. Seuraava luvussa perehdytään suunnittelun lähtökohtiin eli huomioitaviin asioihin. Kolmannessa luvussa kerrotaan suunnittelun ja valmistuksen eri vaiheista. Neljännessä luvussa pohditaan tuloksia ja jatkokehittelymahdollisuuksia. Työn lopussa ovat lähteet ja liitteet.

2 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

2.1 Nykytilanne

Yksi nykyaikaisen konepajan keskeisimpiä toimintoja ovat koneistustyöt. Koneistusta tehdään pajoissa, joiden koneet ovat suurelta osin CNC-ohjattuja ja koneet on sijoitettu soluiksi. Yksi koneistaja voi yhtäaikaisesti valvoa useaa konetta tai kone-solua, missä mahdollisesti robotti palvelee työstökeskuksia. Monissa, varsinkin korjauspajoissa koneet ovat manuaalisia, koska työ on pitkälti yksittäisosien valmistusta. (Maaranen 2012, 11.)

Yksittäis-, proto- ja piensarjavalmistuksessa korostetaan lyhyttä läpimenoaikaa. Koneistusvaiheessa tarvittavaan kiinnityksen suunnitteluun ei ole aikaa käytettävissä, vaan se toteutetaan työstökoneiden omilla kiinnitysvälineillä. Työstettävän kappaleen suunnittelijasta riippuu, miten vaikeaa kappaleen kiinnittäminen ja työstäminen on. Laitteiden työvälinevalikoima olisi jo koneen hankintavaiheessa pyrittävä tekemään riittävän laajaksi suunniteltua tuotantotyyppiä ja kappalevalikoimaa varten. Usein investointia tehtäessä rahaa on peruskoneen hankintaan, mutta työvälineisiin ei, jolloin koneen käyttö jää vajaatehoiseksi ja tuotanto kärsii. (Lehtimäki 2006, 2.)

Automatisoinnin etu manuaalikoneistukseen verrattuna on lyhempi työstöaika, varsinkin monimutkaisissa kappaleissa. Työkalujen vaihto ja kappaleiden kiinnitys on nopeampaa kuin manuaalityöstössä, jolloin asetusajat lyhenevät. Jo työkappaleen suunnitteluvaiheessa voidaan hyödyntää numeerista ohjausta, esimerkiksi CAM-ohjelmaa käyttämällä saadaan tietoa työstöajoista ja vaikeiden muotojen työstömahdollisuuksista. Vaaralliset, yksitoikkoiset ja raskaat tehtävät voidaan antaa koneiden tehtäviksi. Automatisoinnissa on myös haittapuolia. CNC-koneiden sekä työkalujen hankintakustannukset ovat suuria, sen lisäksi koneiden ohjausjärjestelmä on monimutkainen ja on rakennettu herkistä komponenteista eli on siten altis vioille ja myös kallis korjata. (Maaranen 2012, 367–368.)

Konepajassa automaatio voidaan jakaa kolmeen osaan: joustava tuotantojärjestelmä (FMS-teknologia), materiaalin käsittelyautomaatiikka ja robotiikka. Näihin voidaan vielä lisätä kokoonpanoautomaatio ja automatisoitu laadunvarmistus. FMS-teknologialla on käytännössä seuraavia vakiintuneita piirteitä:

- FMS-järjestelmä voi ylläpitää tuotantoa keskeytymättä suuren osan toiminta-ajastaan, oli se sitten kevyesti miehitetty tai miehittämätön.
- Työkalujen ja työkappaleiden siirtely ja käsittely on automatisoitu, samoin työstön ja järjestelmän monitorointi.
- Järjestelmä saattaa koostua muutamista tai useista sadoista työkappaleista ja sarjakoot saattavat vaihdella suuresti.
- FMS-järjestelmään voidaan lisätä aivan uudenlaisia työkappaleita ilman asetusongelmia.

FMS-järjestelmät koostuvat usein siis CNC-koneista sekä materiaalinkäsittelylaitteistosta ja -järjestelmistä. FMS-järjestelmä voidaan aloittaa pienellä, yhden CNC-työstökoneen yksiköllä ja laajentaa myöhemmin joustavaksi automatisoiduksi tehtaaksi asti. Kuviossa 2 on Fastems Oy Ab:n suunnitteleman FMS-järjestelmän rakenne. (Maaranen 2012, 450–452.)



Kuvio 2. Fastems FMS One -perusjärjestelmä (perustuu Fastems [Viitattu 18.3.2017]).

Kiinnittimien käyttö lyhentää asetus- ja kiinnitysaikaa, jolloin huonolaatuisia tuotteita tulee vähemmän, laaduntarkistuksen tarve vähenee ja tuotanto nopeutuu (Lehtimäki 2006, 4).

Voimakäyttöisiä kiinnittimiä ei käytetä usein niiden pneumatiikka- tai hydraulipaineen ylläpidon vaikeuden vuoksi. Niiden käyttö edellyttää myös vuodottomia sylindereitä ja venttiilejä. (Aaltonen 1997, 234.)

2.2 Modulaarisuus

Modulointi tarkoittaa tuotteen jakoa itsenäisiin osiin, joita kutsutaan moduuleiksi ja joilla on tarkkaan määritetyt ja vakioidut rajapinnat, mitkä mahdollistavat näiden moduulien yhdisteltävyyden ja vaihdettavuuden. Tämä mahdollistaa standardikomponenttien suuren määrän, ja tuotevariaatioiden hallinta on helpompaa, koska varioinnin vaikutus rajoittuu koskettamaan vain pientä osaa lopullisesta tuotteesta. Moduloinnilla ei haeta pienempiä lopputuotevalikoimia asiakkaille kuten standardoinnilla, vaan tarkoitus on tuoteperhettä moduloimalla tunnistaa eri asiakasryhmien erityisvaatimukset ja näin rajata tuotteiden varioiminen koskemaan tuotteen strategisia ominaisuuksia. (Österholm & Tuokko 2001, 8.)

Tuoterakenteen modulointi mahdollistaa moduulien itsenäisen sekä rinnakkaisen suunnittelun, koska moduulien välillä olevat sidokset on minimoitu. Tuoteperheen moduloimisella on monia hyviä vaikutuksia yrityksen toimintaa ajatellen. Moduloidulla voidaan lyhentää tuotekehityksen vaatimaa aikaa uusissa tuotteissa käyttämällä rinnakkaista suunnittelua ja vähentää uuden tuotteen kehittämisestä aiheutuvia riskejä, jotka ovat sidoksissa käytettävissä olevaan teknologiaan ja markkinoihin. Modulointi voi lyhentää läpimenoaikaa tuotannossa, kun kokoonpano voidaan tehdä samaan aikaan osien valmistuksen kanssa ja näin parantaa tuotteiden laatua, koska moduulit voidaan testata omina yksikköinä. (Österholm & Tuokko 2001, 8.)

Tuotteiden jakaminen moduuleihin perustuu yrityskohtaisiin syihin, jotka puolestaan perustuvat yrityksen strategiaan. Syitä kutsutaan myös nimellä ”modulointia ohjaavat tekijät”, ja ne liittyvät yrityksen erillisiin toimintoihin, toimintaympäristön tuomiin vaatimuksiin sekä tuotteen elinkaareen. Tuotteen teknisiä ominaisuuksia verrataan näihin tekijöihin ja muodostetaan niistä tuotteelle modulaarinen rakenne. Moduulit saattavat olla monimutkaisia alikokoonpanoja tai vain yksittäinen osa tai komponentti, joka toteuttaa moduulin vaatimukset. Alikokoonpanoa ei kannata aina ajatella

moduulina, koska se saattaa olla tulos kokoonpanosuunnittelusta, jossa monimutkaista tuoterakennetta on osioitu, että saadaan ratkaistua kokoonpanossa esiintyneet ongelmat. (Österholm & Tuokko 2001, 9.)

Modulaarisessa tuoterakenteessa on seuraavat ominaisuudet: moduuli toteuttaa yhden tai useamman toiminnon, ja moduulien väliset tekijät on tarkkaan määriteltävä vastaamaan tuotteen perustoimintoja. Ideaalitulanteessa jokainen toiminto on oma moduulinsa eli moduulilla on ainoastaan yksi tehtävä eli toiminto, jolloin moduulien välillä olevat tekijät ovat vähäisiä ja niiden tarkka määrittely on helppoa. Muutokset tällaisissa rakenteissa ovat helppoja, koska muita moduuleja ei tarvitse muuttaa, että tuote toimisi oikealla tavalla. (Österholm & Tuokko 2001, 9.)

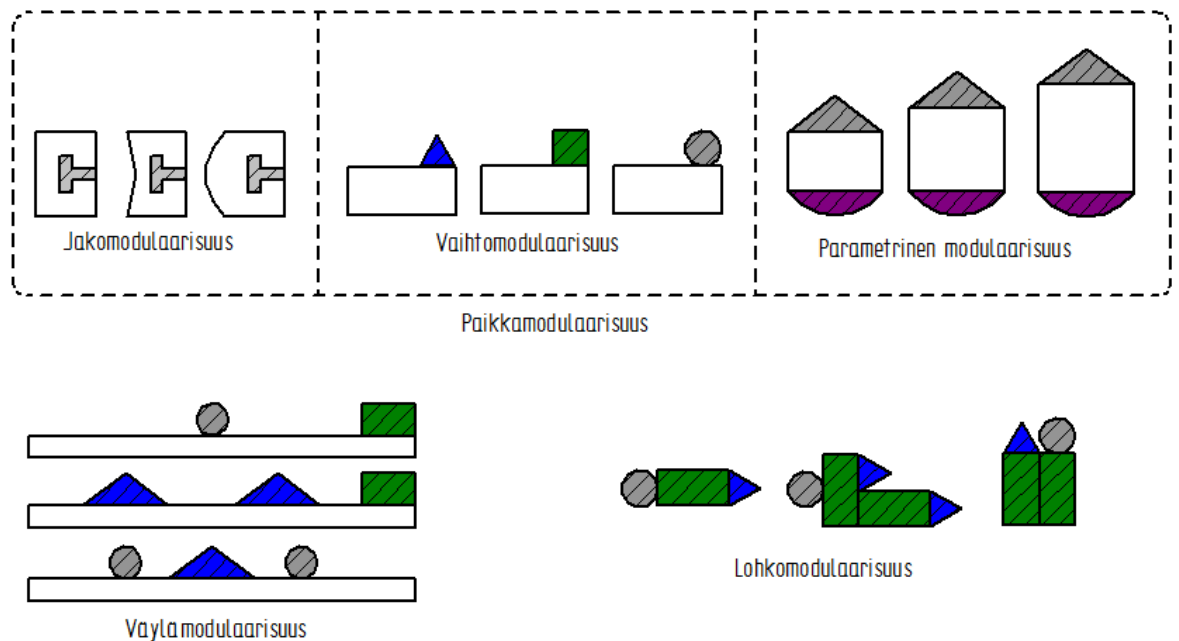
Modulaarinen järjestelmä voi tarjota suotuisia teknisiä ja taloudellisia ratkaisuja, kun kaikki tai useat tuotevariantit tuotesarjassa ovat pienissä määrissä ja ne voidaan rakentaa yhdestä tai muutamasta perusmoduulista. Usein modulaarinen tuotekehitys aloitetaan vasta, kun tuote, joka alun perin suunniteltiin yksittäiseksi tai määrätyn kokoiseksi tuotteeksi, tuottaakin tarkoitettua enemmän tuotevariantteja ja osien hallinta vaikeutuu. Tällaisessa tilanteessa aiemmin markkinoidut tuotesarjat saatetaan uudistaa modulaarisiksi. (Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote 2007, 495–496.)

Modulaariset järjestelmät, minkä pohjalta tuotteet eli moduulit muodostuvat, voidaan jakaa viiteen tyyppiin moduulien ja niiden välillä olevien rajapintojen myötä. Modulaariset tuotteet ryhmitellään tyypillisesti kolmen modulaarisen järjestelmätyypin mukaan, jotka ovat lohko-, väylä- ja paikkamodulaarisuus. Näiden järjestelmien sisällä tuotevarianttien muodostumiseen vaikuttaa pääosin rajapintojen standardointi ja moduulien sekä niiden osien asennustapa ja suunta. Paikkamodulaarisuus voidaan jakaa kolmeen osaan osien modulointitapaan ja käyttöön perustuen sekä neljanteen, joka yhdistelee näitä kolme tapaa. Asiaa havainnollistaa taulukko 1 ja kuvio 3. (Österholm & Tuokko 2001, 10.)

Taulukko 1. Modulaarisen järjestelmän viisi tyyppiä (perustuu Österholm & Tuokko, 10 [Viitattu 28.3.2017]).

Suljettu järjestelmä	Komponenttien vaihtomodulaarisuus	Paikkamodulaarisuus
	Komponenttien jakomodulaarisuus	
	Parametrinen modulaarisuus	
	Väylämodulaarisuus	Väylä modulaarisuus
Avoim järjestelmä	Lohko modulaarisuus	Lohko modulaarisuus

Suljetussa järjestelmässä moduulien koko- ja liitännävartiaatiot ovat ennakoitavissa ja suunniteltavissa, kun taas avoimessa järjestelmässä variaatioiden määrää ei voida tarkasti määrittää. (Pahl ym. 2007, 498).



Kuvio 3. Modulaarisuuden tyypit (perustuu Österholm & Tuokko, 11 [Viitattu 28.3.2017]).

Koneistuksessa käytettävät T-urakiskot ja mutterit ovat hyvä ja yksinkertainen esimerkki paikkamodulaarisuudesta, koska pultin pituutta muuttamalla voidaan käyttää eripaksuisia paininrautoja tai kiinnittää korkeampi kappale koneen pöytään, mutta

mutteri on sama. Paininraudan tilalle taas voidaan nopeasti vaihtaa vaikka puristimet, jossa on samanlainen T-uraan sopiva kiinnitysmutteri. Tällainen rakenne on siis jako- ja vaihtomodulaarinen

Rakennussarjakiinnittimen etuna on kaikkien osien uudelleenkäytön mahdollisuus ja sopivuus erilaisiin tarpeisiin eli modulaarisuus. Työn valmistuttua kiinnitin voidaan purkaa nopeasti ja kaikki sen osat ovat uudelleen käytettävissä. Tästä on hyötyä piensarja- ja prototuotannossa, kun kiinnittimen tarve on lyhytaikainen. (Lehtimäki 2006, 32.)

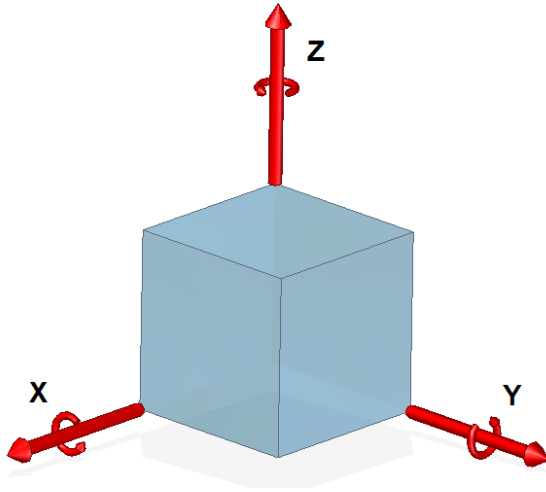
2.3 Työkappaleen kiinnitys ja koneistuksessa vaikuttavat voimat

Kiinnittimen tarkoitus on paikoittaa työkappale oikeaan asentoon työstävään koneeseen ja työkaluun nähden riittävällä tarkkuudella jokaisella kiinnityskerralla. Työkappaleen kiinnitys tulisi olla nopeaa, kiinnittimen tukeva ja lastujen poistuminen esteettöntä. (Lehtimäki 2006, 4.)

Kappaleen oikeaoppinen kiinnitys vaikuttaa valmiin tuotteen toleransseihin ja pinnanlaatuihin. Virheellinen kiinnitys saattaa hetkellisesti tai lopullisesti vahingoittaa tuotetta. Kappaleen kiinnittäminen, tuenta ja paikoittaminen tulisikin suunnitella samalla kerralla. Kappaleen kiinnityksen tulisi siis olla niin voimakas, että se kestää liikkumatta työstöstä aiheutuvat voimat. (Enerpac [Viitattu 8.4.2017].)

2.3.1 Kiinnitys- ja paikoitusmenetelmä

Kolmiulotteisella kappaleella on kuusi liikekoordinaattia, jotka ovat X- Y- ja Z-suunta sekä kierrot niiden ympäri. Näitä kutsutaan kuudeksi vapausasteeksi. Kun halutaan täysin liikkumaton kappale, kaikki vapausasteet on saatava liikkumattomiksi. Vapausasteita selventää kuvio 4. (Enerpac [Viitattu 8.4.2017].)



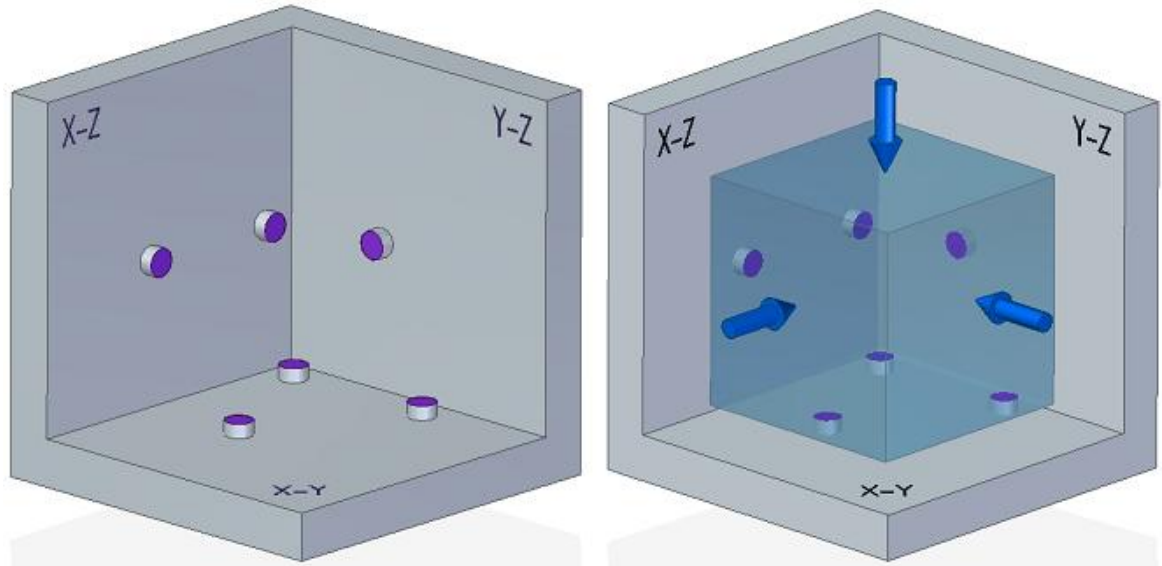
Kuvio 4. Kappaleen vapausasteet.

3-2-1-metodi on hyväksi todettu ja siten yleinen kiinnittämistekniikka. Nimi tulee metodin kolmesta vaiheesta: ensimmäisellä tasolla on kolme tukipistettä muodostamassa tason, toisella on kaksi tukipistettä muodostamassa suoran ja kolmannella yksi tukipiste. Tukipisteiden määrästä johtuen menetelmää kutsutaan myös kuuden pisteen tuennaksi. (Enerpac [Viitattu 8.4.2017].)

Ensimmäisellä tasolla (kuviossa 5, X–Y-taso) olevat kolme tukipistettä ovat usein kolmiossa ja mahdollisimman laajalla alueella, koska siten ne luovat tukevimmän tason. Tässä vaiheessa kappaleelta on poistettu kolme vapausastetta: kierrot X- ja Y-suunnassa ja Z-suuntainen liike poistuu samansuuntaisen kiinnitysvoiman myötä. Neljättä tukipistettä ei käytetä, koska silloin kaikki tuet eivät olisi välttämättä kontaktissa kappaleen kanssa. Esimerkkinä tästä voidaan käyttää tuolia: kaksijalkainen tuoli kaatuu varmasti ilman kolmatta tukipistettä, kolmejalkainen seisoo tukevasti ilman apua, kuten nelijalkainenkin, mutta nelijalkaisessa tuolissa yksi jalka on usein ilmassa ja tuoli heiluu. Tätä tilannetta käytetään joskus myös sellaisenaan koneistuksessa helpon ja halvan valmistettävyyden takia, ja sitä kutsutaan kolmen pisteen tuennaksi tai kolmipistekiinnitykseksi. (Enerpac [Viitattu 8.4.2017].)

Toinen taso (kuviossa 5, X–Z-taso) on kohtisuorassa edelliseen nähden. Tasolla on kaksi tukipistettä, joita vasten kappale puristuu kiinnitettäessä. Kappaleelta on poistettu nyt kaksi vapausastetta: Z-suunnan kierto ja Y-suunnan liike. Vapaana on enää X-suunnan liike. (Enerpac [Viitattu 8.4.2017].)

Viimeinen taso (kuviossa 5, Y–Z-taso) on suorassa kulmassa kahteen edelliseen nähden. Tällä tasolla on yksi tukipiste. Puristusvoima tulee X-suunnasta, jolloin kappaleen kaikki vapausasteet on lukittu. Tarvittaessa tasolle voidaan laittaa useampi tukipiste, mutta lisättyjen tukipisteiden tulisi olla säädettäviä. (Enerpac [Viitattu 8.4.2017].)



Kuvio 5. Kiinnitystasot ja kappaleen asettuminen.

Koneistetut pinnat tuovat parhaimman kontaktin. Valupintaa voidaan myös käyttää, mutta valukappaleissa muotojen toleranssit vaihtelevat, mikä tuottaa ongelmia. Koneistetut reiät ovat paras kiinnitystapa, jota kannattaa suosia, mikäli mahdollista. Kahdella koneistetulla reiällä saa poistettua kaikki muut vapausasteet paitsi Z-akselin suuntaisen liikkeen ilman kiinnitysvoimaa. Kuviossa 5 siniset nuolet edustavat kiinnitysvoimaa. Kitkan vaikutuksen takia kappaleita ei ole pakko kiinnittää kaikilta suunnilta. (Enerpac [Viitattu 8.4.2017].)

2.3.2 Lastuamisvoimat

Kiinnitysvoima kumoaa työkappaleeseen vaikuttavat voimat ja pitää sen paikoillaan. Kiinnityspisteiden sijainti ja lukumäärä sekä kiinnitysvoiman suuruus ja suunta vaikuttavat ratkaisevasti työstettävän kappaleen paikoillapysymiseen ja työstön tarkkuuteen. Tarvittava kiinnitysvoima lasketaan lastuamisvoimien perusteella, jolloin usein riittää pääleikkuuvoiman määrittäminen. Kitkapinnat ja tukipisteet määräävät

lopullisesti kiinnitysvoiman suuruuden. Väärin tehty kiinnitys voi aiheuttaa muodonmuutoksia työstettävään kappaleeseen ja pilata sen. (Lehtimäki 2006, 15.)

Kienzel-Victorin yhtälöä käytetään yleisesti laskettaessa lastuamisvoimia, joita työstössä tulee.

$$\text{Kienzel-Victorin yhtälö: } F_i = A * k_c \quad (1)$$

Jossa F_i =päälastuamisvoima,

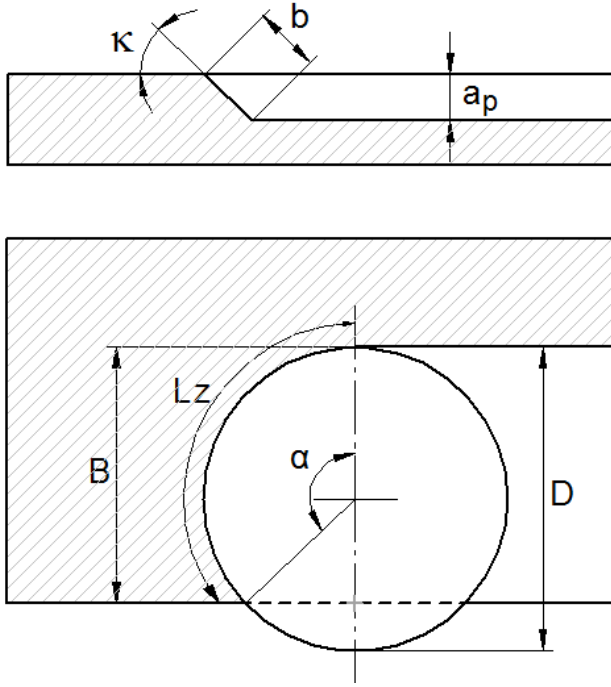
A =lastun poikkipinta-ala ja

k_c =ominaislastuamisvoima (taulukkoarvo).

$$\text{Kaavassa 1: } A = b * h \quad (2)$$

Poikkipinta-ala on siis lastunleveys b kerrottuna lastuamispaksuudella h , jossa pituuden yksikkönä on millimetri. (Andersson 1997, 21.)

Jyrsinnässä lastuamisvoimien laskentakaavan käyttö on monimutkaisempaa johtuen jyrsimen terämäärän ja terien kulman vaihteluista. Tästä johtuen jyrsinnässä käytetään termiä "keskimääräinen lastunpaksuus" h_m , minkä avulla lastuamisvoimat ovat laskettavissa. Tätä havainnollistaa kuvio 6 ja taulukko 2. (Andersson 1997, 22.)



Kuvio 6. Otsajyrtsinnän suuret (perustuu Andersson 1997, 22).

Taulukko 2. Jyrsinnän suureiden selitys (perustuu Andersson 1997).

Suure	Selite	yksikkö
B	jyrsintä leveys (radiaalinen lastuamissyvyys)	<i>mm</i>
D	jyrsimen halkaisija	<i>mm</i>
b	lastunleveys	<i>mm</i>
e	kontaktissa olevien terien määrä	<i>kpl</i>
z	jyrsimen teräluku	<i>kpl</i>
a_p	aksiaalinen lastuamissyvyys	<i>mm</i>
L_z	työkalun ja kappaleen kontaktipituus	<i>mm</i>
h_m	keskimääräinen lastunpaksuus	<i>mm</i>
f_z	syöttö / teräpala	<i>mm</i>
α	terän ja kappaleen kontaktikulma	<i>aste</i>
κ	terän asetus kulma	<i>aste</i>
k_c	keskimääräinen ominaislastuamisvoima	$\frac{N}{mm^2}$
k_{c 1.1}	ominaislastuamisvoima (taulukkoarvo)	$\frac{N}{mm^2}$
m	päällastuamisvoiman muutoskerroin (taulukkoarvo)	-

Jyrsinnässä tarvittavat laskukaavat lastuamisvoimille. Kaavojen suureiden selitykset ovat taulukossa 2.

$$\text{Keskimääräinen lastunpaksuus: } h_m = \sin \kappa * f_z * B / L_z \quad (3)$$

$$\text{Kontaktipituus kasketaan kaavalla: } L_z = \frac{\alpha}{360} * \pi * D \quad (4)$$

$$\text{Keskimääräisen lastuamisvoiman kaava: } F_{ym} = b * h_m * k_c \quad (5)$$

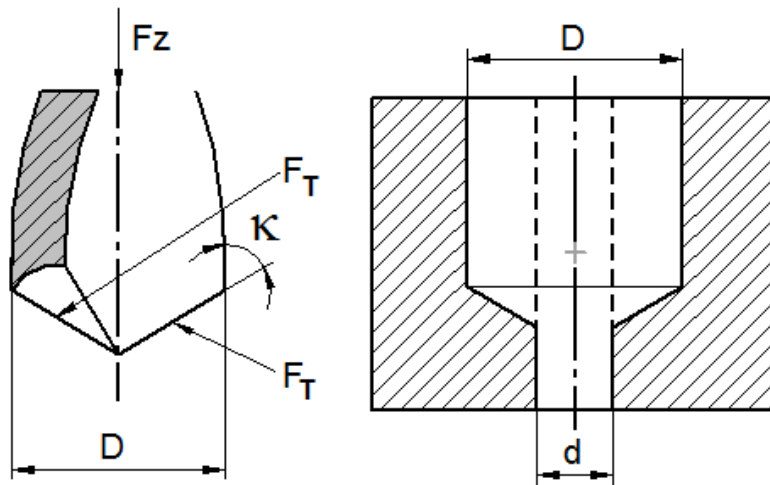
$$\text{Keskimääräisen ominaislastuamisvoiman kaava: } k_c = h_m^{-m} * k_{c 1.1} \quad (6)$$

$$\text{Kokonaislastuamisvoiman kaava: } F_y = F_{ym} * e \quad (7)$$

$$\text{Kontaktissa olevien hampaiden määrän kaava: } e = z * \alpha / 360 \quad (8)$$

$$\text{Kontaktikulman kaava: } \alpha = 180 - \arccos \left[\frac{(B - \frac{D}{2})}{\frac{D}{2}} \right] \quad (9)$$

Porauksessa taas vaikuttaa aksiaalivoima F_z poran varren suunnassa sekä tangentialivoima F_T poran leikkaavalla särmällä. Porauksessa syöttöä laskettaessa käytetään terälukua $z=2$ ja tästä saatava syöttö on f_z . Tätä havainnollistaa kuvio 7 ja taulukko 3. (Andersson 1997, 25–26.)



Kuvio 7. Porauksen suureet (perustuu Andersson 1997, 25).

Taulukko 3. Poraus suureiden selitys (perustuu Andersson 1997).

Suure	selite	yksikkö
D	poran halkaisija	mm
d	alkureiän halkaisija	mm
f	syöttö (työkalun matka yhden kierroksen aikana)	mm/r
z	poran leikkaava teräluku	kpl
κ	terän kulma	aste
m	päälastuamisvoiman muutos kerroin (taulukkoarvo)	-
n	muutospotenssi (taulukkoarvo)	-
k_c	keskimääräinen ominaislastuamisvoima	$\frac{N}{mm^2}$
$k_{c1.1}$	ominaislastuamisvoima (taulukkoarvo)	$\frac{N}{mm^2}$
$k_{cf1.1}$	porauksen ominaislastuamisvoima 1.1 syötössä (taulukkoarvo)	-

Porauksessa tarvittavat laskukaavat lastuamisvoimille:

$$\text{Lastunleveys:} \quad b = \frac{D-d}{2 \cdot \sin \kappa} \quad (10)$$

$$\text{Lastuamispaksuus:} \quad h_1 = f_z \cdot \sin \kappa \quad (11)$$

$$\text{Syöttö leikkaavaa terää kohden:} \quad f_z = f/z \quad (12)$$

$$\text{Lastun poikkipinta-ala:} \quad A = b \cdot h_1 = \frac{(D-d) \cdot f}{4} \quad (13)$$

$$\text{Porauksen ominaislastuamisvoima:} \quad k_c = k_{c1.1} \cdot h_1^{-m} \quad (14)$$

$$\text{Lastuavan särmän tangentiaalivoima:} \quad F_T = A \cdot k_c \quad (15)$$

Tangentiaalivoiman lauseke tavanomaisilla terägeometrioilla:

$$F_T = \frac{D-d}{2 \cdot \sin \kappa} \cdot \left(\frac{f}{z} \cdot \sin \kappa \right)^{1-m} \cdot k_{c1.1} \quad (16)$$

Syöttövoima tangentiaalivoimalle:

$$F_z = D * \left(\frac{f}{2} * \sin \kappa\right)^{1-n} * k_{cf1.1} \quad (17)$$

Vääntömomentti porauksessa: $M_T = F_T * e$, missä $e = 0,5 * D$ (18)

Kiinnitysvoimaan vaikuttaa puristusvoiman lisäksi myös kiinnitettävän kappaleen ja vastapinnan välinen kitkavoima F_μ .

$$F_\mu = \mu * F \quad (19)$$

Kaavassa μ on kitkakerroin (taulukkoarvo) ja F on puristusvoima. Mikäli puristavia voimia on useampi, ne lasketaan tai kerrotaan yhteen, riippuen onko puristusvoimissa eroja. Harjoituslaskelmissa Lehtimäki käyttää puristusvoimana kiinnityspulttien vetojännitystä. (Lehtimäki 2006.)

Taulukko 4. Kitkakertoimet eri pintojen välillä (perustuu Lehtimäki 2006).

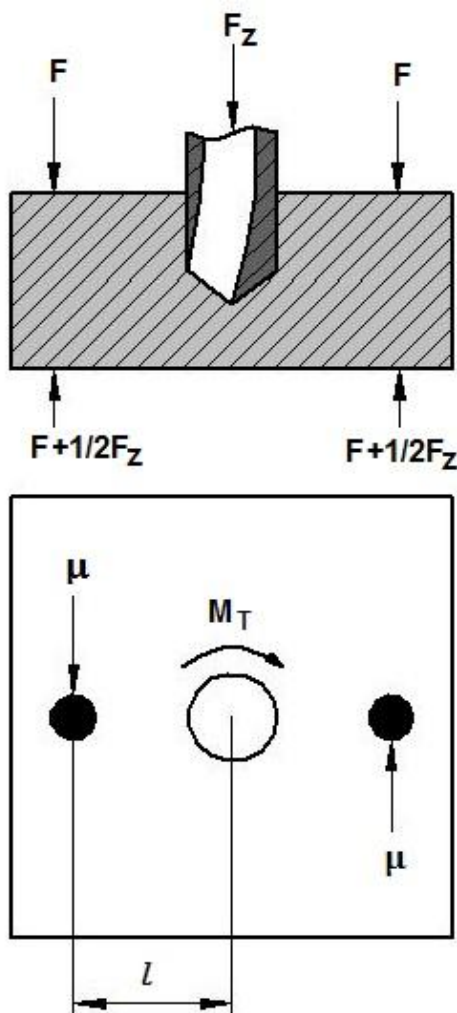
kitkakerroin	Vastineen pinta malli
0,15	sileä
0,25	tylsä hammastus
0,35	terävä hammastus

Varsinkin porauksessa tulee huomioida työstöstä aiheutuva momentti ja sen vaikutus kiinnitysvoimiin. Vaikuttavia seikkoja ovat kiinnitys- ja tukipisteiden määrä sekä niiden etäisyys työstettävästä kohdasta. Kaavaa havainnollistavat kuvio 8 ja taulukko 5. (Lehtimäki 2006.)

Yhtälöpari kiinnitysvoiman laskemiselle vääntömomentin suhteen:

$$n * \mu * l * \left(n * F + \frac{1}{n} * F_z\right) = C_1 * C_2 * M_T \quad (20)$$

Kaavassa n on tukipisteiden määrä, l on tukipisteen ja porauskohdan välinen etäisyys (m), F on puristusvoima (N), F_z on syöttövoima (N), C_1 on sysäyskerroin (taulukkoarvo), C_2 on varmuuskerroin, μ on kitkakerroin ja M_T on vääntömomentti (Nm). Kun tunnetaan porauksen vääntömomentti, voidaan kaavan avulla ratkaista tarvittava kiinnitysvoima F . Jos kaikki muuttujat, kuten kiinnityspisteiden määrä ja voima F tunnetaan, voidaan laskea kaavan molemmat puolet auki ja verrata tuloksia. Kaavan vasen puoli kertoo kiinnitysvoimanmomentin määrän suhteessa porauskohaan. Kaavan oikea puoli kertoo porauksen vääntömomentin, joka kiinnitysvoimalla pyritään voittamaan. Kiinnitysvoima on riittävä, kun kaavan vasemmanpuoleisen laskun tulos on sama tai suurempi kuin oikeanpuoleisen laskun tulos. (Lehtimäki 2006.)



Kuvio 8. Vääntömomentin vaikutus kiinnitysvoimaan (perustuu Lehtimäki 2006).

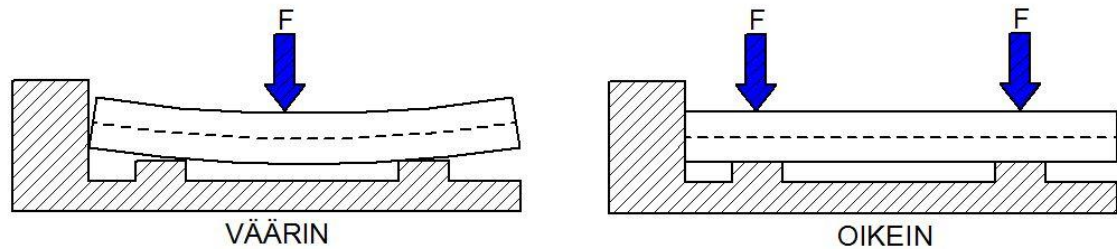
Taulukko 5. Työstömenetelmien sysäyskertoimia (perustuu Lehtimäki 2006).

Sysäyskerroin C_1	Työstötapa
1,2	Sorvaus, poraus
1,4	Jyrsiminen, hionta
1,6	Höyläys
1,8	Pistäminen

Tukevan kiinnityksen varmistamiseksi kiinnitysvoimat tulisi kohdistaa kiinteitä vastineita kohti. Aina tällainen ei ole mahdollista ja silloin joudutaan käyttämään tavallista suurempia kiinnitysvoimia, että kitkavoima pitäisi kappaleen paikoillaan. (Lehtimäki 2006, 16.)

2.3.3 Kiinnityksen ja koneistamisen aiheuttamat muodonmuutokset

Erilaiset leikkausvoimat ja momentit, joita työstettävään kappaleeseen kohdistuu, voivat aiheuttaa kappaleelle ei-toivottuja muodonmuutoksia. Kappaleella on oma sisäinen jännitys, joka häiriintyy työstön ja kiinnitettynä olemisen aikana, jolloin nämä jännitykset saattavat aiheuttaa muodonmuutoksia vasta sitten, kun kappale irrota- taan kiinnittimestä. Myös väärin tehty kiinnitys voi aiheuttaa muodonmuutoksia, mikä huonontaa tuotteen laatua, varsinkin jos kiinnitysvoima ei riitä pitämään kap- palletta täysin paikoillaan. Väärin paikoitettu puristus- ja tukivoiman suhde voi muo- vata kappalletta, jolloin kappaleen mitta- ja tasojen välinen suoruustoleranssi mene- tetään ja kapalle on käyttökelvoton. Tätä havainnollistaa kuvio 9, missä siniset nuo- let kuvaavat puristusvoimaa ja paikkaa. Kuviossa myös esitetään, kuinka oikein ja väärin tehty kiinnitys vaikuttavat kappaleen muotoon. On myös huomioitava kappala- leen materiaali ja paksuus, koska materiaalin paksuus lisää jäykkyyttä ja eri materi- aalit kestävät jännityksiä eri tavalla. (Nee, Tao & Senthil Kumar 2004, 17.)



Kuvio 9. Kiinnityksen aiheuttama muodonmuutos.

2.4 Hydraulikka

Hydrauliikkajärjestelmä on tehonsiirtoketju, jossa mekaaninen teho muunnetaan hydrauliseksi ja ohjataan se haluttuun kohteeseen, missä hydraulinen teho muutetaan takaisin mekaaniseksi. Teho siirretään käyttäen nestemäistä väliainetta, mihin teho sidotaan tilavuusvirtana ja paineena. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 1.)

Hydrauliikan edut muihin tehonsiirtomenetelmiin verrattuna ovat komponenttien hyvä tehopainosuhde ja vapaa suunnittelu. Vapaalla suunnittelulla tarkoitetaan sitä, että tehoa ei tarvitse siirtää määrättyä tehonsiirtorataa pitkin, vaan joustavia letkuja käyttämällä teho voidaan siirtää sopivinta reittiä pitkin käyttökohteeseen. Hydrauliikan komponentit ovat kooltaan pieniä verrattuna niiden tehoon ja tämän vuoksi hydrauliikkajärjestelmät tarvitsevat vähemmän tilaa kuin muut tehonsiirtomenetelmät. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 1.)

Digitaalielektroniikka ja sen kehittyminen on mahdollistanut helpommin ja monipuolisemmin ohjelmoitavat järjestelmät, säätöjärjestelmien luomisen ja integroitumisen suoraan hydrauliikkakomponentteihin. Ohjattavia suureita voivat olla esimerkiksi nopeus, asema tai voiman määrä. Sähköisten järjestelmien monipuolisuus on mahdollistanut tilanteen, missä yksi sähköisesti ohjattu komponentti toteuttaa useamman peruskomponentin tehtävän. Tämän johdosta hydrauliikkakomponenttien määrää on voitu vähentää ja näin yksinkertaistaa järjestelmää, mutta tällaisen suunnittelu vaatii hydrauliikkasuunnittelijalta ohjaus- ja säätötekniikan, ohjelmoinnin, elektronikan sekä sähkötekniikan osaamista. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 1.)

Hydrostaattinen järjestelmä voidaan rakenteensa mukaan jakaa joko avoimeen tai suljettuun järjestelmään. Teollisuuden järjestelmät ovat usein avoimia järjestelmiä,

joille ominainen piirre on suuri nestesäiliö, mistä neste pumpataan järjestelmään ja minne se palaa takaisin. Järjestelmässä on yksisuuntainen pumppu ja toimilaitteiden, jotka ovat usein sylintereitä, toimintoja ohjataan venttiileillä eli järjestelmä on venttiiliohjattu. Suljettu järjestelmä on yleisempi moottorikäytön yhteydessä. Suljettussa järjestelmässä ei ole suurta nestesäiliötä, vaan neste palaa pumpun imupuolelle ja pumppu on useimmiten kaksisuuntainen säätötilavuuspumppu eli sillä voidaan muuttaa toimilaitteiden liikesuunta ja kierrostilavuuden muutos vaikuttaa liikenopeuteen. Järjestelmää kutsutaan näin ollen pumppuohjatuksi järjestelmäksi. On olemassa myös edellä mainittujen yhdistelmiä, joita kutsutaan puoliavoimiksi järjestelmiksi. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 5)

Hydraulijärjestelmää suunniteltaessa on huomioitava muun muassa seuraavat asiat:

- huollettavuus ja toimintavarmuus
- tilantarve käytön ja huollon kannalta
- suojaus ulkopuolisilta iskuilta vaurioiden ehkäisemiseksi
- käyttöolosuhteet
- dokumentointi ja laitteen toimintaseloste. (PSK-käsikirja 1 2006, 21.)

Olosuhteita huomioitaessa tarkastellaan varastoinnin, kuljetuksen, käytön ja asennuksenaikaiset olosuhteet. Tärkeitä olosuhdetekijöitä ovat ympäristön puhtaus, melu, värinät, kosteus ja vallitseva lämpötila. Laitteen käyttöympäristö voi olla korroosiota edistävä ja tästä johtuen materiaalit ja pinnoitteet tulee valita olosuhteiden mukaan. (PSK-käsikirja 1 2006, 22.)

Tilanteissa, joissa on tarve useiden toimilaitteiden samanaikaiselle toiminnalle, tulee käyttää samanpituisia putkia tai letkuja. Hydraulijärjestelmä tulee rakentaa vuodottomaksi. Vuodottomuus saavutetaan valmistustarkkuudella, soveltamalla oikeita liitos- ja tiivistystapoja sekä käyttäen asianmukaisia työkaluja ja apuvälineitä. Putkiston ja laitteiston osat, joita ei ole valmistettu korroosion kestävästä materiaalista, tulee pintakäsittellä käyttöolosuhteisiin soveltuvasti. (PSK-käsikirja 1 2006, 55-57.)

Huollettavuudella tarkoitetaan suunniteltua ominaisuutta, millä mitataan huoltotoimenpiteen suorittamisen helppoutta. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi kompo-

nenttien sijainti, suojalaitteiden poistotarve, puhtaana pidettävyys, osien tai materiaalien saatavuus sekä huoltotoimenpiteen turvallisuus. Komponenttien huollossa on noudatettava komponentin valmistajan antamia ohjeita. (PSK-käsikirja 1 2006, 64.)

Myös komponentteja valittaessa olosuhteet ja tekniset vaatimukset ovat pääkriteereinä. Teknisiä vaatimuksia voivat tilantarpeesta tai olosuhteista johtuen olla esimerkiksi ohjaustapa, rakenne, käyttöpaine taso, asennustapa tai säädettävyys. (PSK-käsikirja 1 2006, 38-40.)

Hydraulijärjestelmän dokumenttien ja ohjeistuksen on oltava selkeitä ja yksiselitteisiä. Tärkeitä dokumentteja ovat hydraulikaavio ja toimintaseloste. Hydraulijärjestelmä kuvataan usein yhtenäisenä kaaviona tai useille A4-lehdille jaettuina piirikohtaisina kaavioina, käyttäen ISO 1219-1-, ISO 7368- ja SFS 2247 -standardien mukaisia piirustussymboleita. Piirikohtaisissa kaavioissa tulee olla mukana yhteenvetokaavio, josta voidaan hahmottaa paremmin järjestelmän kokonaisrakenne. Kaavion tulee vastata järjestelmän todenmukaista rakennetta, ja rakentamisvaiheessa mahdollisesti tulleet muutokset pitää päivittää lopulliseen dokumenttiin. Hydraulijärjestelmästä on oltava myös toimintaseloste, joka selittää piirikohtaisesti järjestelmän toiminnan ja ohjauksien lukitusehdot. (PSK-käsikirja 1 2006, 81-84.)

Työkappaleen kiinnitykseen ja paikoitukseen sekä tuentaan käytettävät komponentit ovat yleensä hydraulisylintereitä, jotka jaetaan tuki- ja kiinnityssylintereihin. Kiinnittämiseen tarkoitettuja sylintereitä on paljon ja niistä voidaan tarpeen mukaan valita, ovatko ne yksi- vai kaksitoimisia, jousi- vai hydraulipalautteisia tai kääntyviä sylintereitä. Tukina käytettävien sylinterien mäntä lukittuu hydraulisesti. Sääto ja rajoitinlaitteilla ohjataan järjestelmän painetta, öljyn virtausta ja vuotoja. Näitä laitteita ovat pääsääntöisesti suuntaisventtiilit, paineen alennus- ja rajoitusventtiilit sekä sekvenssi- ja säätoventtiilit. Paineen valvontaan käytetään usein paineakkuja ja mittareita. Paineakku tasapainottaa järjestelmän paineen vaihtelua pitäen yllä kiinnityssylinterien voimavaikutukset ja korvaa vähäiset vuodot silloin, kun kiinnitinjärjestelmä on erillään painejärjestelmästä. (Lehtimäki 2006, 43–44.)

Paineakku vaimentaa venttiilien avaamisesta ja sulkemisesta aiheutuvia paineiskuja. Tehokas tapa vaimentaa paineiskuja on asentaa paineakku mahdollisimman lähelle iskun aiheuttavaa komponenttia. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 218.)

Virtaventtiili kuristaa nesteen virtausta ja vaikuttaa näin toimilaitteen liikenopeuteen. Näin saadaan toimilaite liikkumaan vakionopeudella, vaikka kuorma tai paine vaihtelisi. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 299.)

Mikäli normaali vastaventtiili ei ole järjestelmän toiminnan kannalta riittävä, on mahdollista käyttää ohjattua vastaventtiiliä. Ohjattu vastaventtiili sallii nesteen liikkumisen yhteen suuntaan ja estää paluuvirtauksen, kunnes ohjauspaine eli toinen linja paineistuu ja avaa venttiilin, jolloin venttiili sallii paluuvirtauksen. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 232.)

Paineenrajoitusventtiilin tehtävänä on rajoittaa paineen suuruus järjestelmässä haluttuun arvoon ja näin estää vaurioita, joita ylipaine voisi aiheuttaa. Paineenrajoitusventtiili on normaalisti suljettu ja aukeaa vasta, jos säädetty avautumispaine on järjestelmässä saavutettu. Paineenrajoitusventtiili kytketään korkeapainelinjan ja säiliön väliin, jolloin neste kulkeutuu takaisin säiliöön venttiilin avautuessa. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 259.)

Paineenohjausventtiili eli sekvenssiventtiili ohjaa komponenttien sekvenssejä eli järjestelmän toimintajärjestystä. Jokaista ohjattavaa komponenttia tai komponenttiryhmää varten tarvitaan oma sekvenssiventtiili. Sekvenssiventtiilin on jousikuormitteinen ja lepotilassaan normaalisti kiinni ja aukeaa, kun jousella asetettu avautumispaine on saavutettu ja neste liikkuu toimilaitteelle. Jos paine laskee asetetun rajan alle, venttiili sulkeutuu ja nesteen kulku estyy. Sekvenssiventtiili kytketään pumpun ja komponentin tai komponenttiryhmän välille. Sekvenssiventtiilin toimintaperiaate siis vastaa paineenrajoitinventtiilin toimintaa. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2008, 279.)

Rakennettu hydraulijärjestelmä täytyy huuhdella ennen varsinaista käyttöönottoa, sillä noin 80 % toimintahäiriöistä johtuu epäpuhtauksista järjestelmässä. Valmistus- ja kokoonpanotilanteet ovat usein syy epäpuhtauksien pääsemiselle järjestelmään. Järjestelmän puhtauteen on hyvä kiinnittää huomiota, koska se lisää käyttövarmuutta. (PSK-käsikirja 1 2006, 91.)

2.5 Koneen suunnitteluun vaikuttavat tekijät

Rakenne- eli konstruktiosuunnittelussa on tarkoitus löytää ratkaisuja teknisiin ongelmiin luonnontieteellisiin tietoihin perustuen ja toteuttaa ratkaisut parhaalla mahdollisella tavalla, rajoitteiden antamissa puitteissa. Koneensuunnittelija, eli konstruktööri, on vastuuasemassa, sillä hänen taitonsa ja ideansa vaikuttavat suuresti tuotteeseen sekä sen taloudellisuuteen valmistajan ja käyttäjän näkökannalta. (Pahl & Beitz 1990, 1.)

Rakentava toiminta on usein monipuolista, eikä sen menettelytapoja siksi voida pakata yksinkertaiseen kaavaan. Hyviä ratkaisuja saadaan järjestelmällisellä ja myöhemmin tarkasteltavissa olevalla menetelmällä. Konstruktio metodiikka on tällainen menetelmä ja sen tarkoitus on

- edistää oivallusta ja kekseliäisyyttä ja näin helpottaa parhaan ratkaisun löytymistä
- antaa luotettavia ratkaisuja jotka ovat sovellettavissa samanlaisissa tehtävissä
- sopia tietokoneavusteiseen työtapaan
- antaa mahdollisuuden oppia ja opettaa. (Pahl & Beitz 1990, 6.)

Näin saadaan apuväline, jolla on mahdollista löytää ratkaisumahdollisuudet nopeammin ja paremmin. (Pahl & Beitz 1990, 6).

Pahlin ja Beitzin (1990, 7) mukaan Redtenbacherin (1852, 257–290) viittaukset konstruoinnin tunnusmerkkeihin ja periaatteisiin olivat aikanaan, ja ovat edelleen, tärkeässä asemassa. Näitä ominaisuuksia olivat mm. pienet muodonmuutokset, riittävän suuri lujuus, pieni kitka, minimoitu kuluminen, materiaalihukan minimointi, kevyt rakenne ja helppo asennettavuus.

Rötscher (1972) viittasi puolestaan muotoilutekijöiden määräytymiseen eli kappaleeseen vaikuttaviin voimiin, muodon tarkoitukseen, työstö- ja valmistustapaan ja kokoonpanoon. Voimat tulisi ottaa vastaan heti, eli kumota ne siellä, missä ne syntyvät ja taivutusta tulisi välttää. Redtenbacher ja Rötscher siis käsitelivät asioita, joilla nykyäänkin on suuri vaikutus ja tärkeys koneistuksessa ja jotka tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. (Pahl & Beitz 1990, 8.)

Tuotekehitykselle ja konstruoinnille on esitetty askelmalli, missä käydään läpi tuotteen ominaisuuksia ja näin määritetään sopiva tapa valmistaa tai kehittää tuotetta. Askelmallissa määritetään ensin tuotteen tehtävästä aiheutuvat rajoitukset ja reunaehdot sekä vaatimukset. Askelmallin tuloksena saadaan vaatimuslista, mihin vastataan esimerkiksi materiaalin valinnalla sekä työstö- ja valmistusmenetelmillä. Listan myötä voidaan suunnitella, mitkä kohteet tarvitsevat kehittämistä tai tarvetta muuttaa modulaarisiksi. Lopuksi tulevat luonnostelu, valmistus ja dokumentaatio, mistä voidaan jatkaa eteenpäin jatkokehityksen muodossa seuraten askelmallia. (Pahl & Beitz 1990, 47–52.)

3 HYDRAULISEN KIINNITTIMEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS

3.1 Kiinnittimen vaatimukset ja niihin vastaaminen

Opinnäytetyön tuloksena valmistuvan koneistuskiinnittimen tulee olla modulaarinen siten, että koneistettavan kappaleen kiinnityksen muuttaminen on nopeaa ja helppoa. Kiinnityksen on oltava vaiheittavissa ja säädettävissä niin, että kappale asetuu oikein, ja kiinnityksen tekemisessä olisi pystyttävä soveltamaan alaluvussa 2.3.1 mainittua 3-2-1-menetelmää. Tämä tarkoittaa myös sitä, että järjestelmään pitää pystyä lisäämään tai siitä poistamaan sylintereitä helposti ja nopeasti. Käytettävät sylinterit kaksitoimisia, eli aukeaminen tapahtuu hydraulisella paineella, mikä tarkoittaa kahden painelinjan rakentamista. Yksitoimiset ovat jousipalautteisia. Laitteen käyttö tulee olla turvallista ja luotettavaa.

Modulaarisuutta lähdettiin toteuttamaan siten, että luotiin kiinnityslevy, jossa on M12-kierrereikiä 25 mm:n välein. Hydrauliikkasyliinterit ja tukielementit kiinnitettiin kiinnityslevyyn näitä reikiä käyttäen. Reiät mahdollistivat kiinnitys- ja tukikomponenttien siirtämisen ja kääntämisen yhdeksänkymmenen asteen välein (monireikäiset, kuten sylinterien jalustat), ja näin oli mahdollista hakea sopivat paikat komponenteille. Asiakas oli valmistanut reikämatriisin ennen tämän opinnäytetyön aloittamista.

Kiinnityslaitteeseen tehtiin kolme omaa sekvenssiä eli kiinnitysvaihetta. Kaikkien sekvenssien käyttö ei ole pakollista eli voidaan käyttää vain kahta tai yhtä tarpeen mukaan. Hydrauliikan säätölaitteisto eli venttiiliasetelma asennettiin kiinnitystason toiselle puolelle ja paine vietiin toimilaitteille (sylinterit) joustavilla letkuilla. Koulun laitteisto eli hydrauliikkayksikkö mahdollistaa kahden eri hydrauliikkapiirin käytön, mutta kiinnityslaitteessa olevan vähäisen käyttötilan vuoksi toista piiriä ei voi käyttää hyödyksi.

Suunnittelussa oli otettava huomioon käytettävissä oleva tila, komponenttien kahvojen ja säätimien käytön tarvitsema tila ja luokse päästävyys säätö-, korjaus- ja opetustilanteessa. Kun halutut toiminnot ja määritykset olivat selvillä, aloitettiin suunnittelu.

3.2 Hydrauliiikan suunnittelu

Suunnittelu alkoi hydrauliiikkakaavion piirtämisellä. Tähän käytettiin Automation Studio 6.1 -ohjelmaa, millä voi myös simuloida nesteen virtauksen järjestelmässä. Tämä havainnollistaa hyvin järjestelmän toimintaa ennen varsinaista rakentamista ja ongelmakohdat voidaan todeta ilman suuria kustannuksia. (Liite 3, hydrauliiikkaavio).

Koulun hydrauliikkajärjestelmä toimii robottisolun ohjaimella. Ohjainpiiri antaa signaalin elektronisesti ohjatulle 3/2-suuntaventtiilille, jolloin venttiilin kahdesta painelinjasta toinen on vuorollaan auki ja toinen kiinni tai molemmat ovat auki. Näin järjestelmään saadaan paine haluttuun linjaan tai molemmat linjat paineettomiksi, jolloin voidaan esimerkiksi muuttaa kiinnitystä tai siirtää laite varastoon turvallisesti. Laitteeseen tuli siis kaksi linjaa, joista toinen antaa sylinterille ulospäin liikkeen eli avaavan paineen ja toinen sisään vetävän liikkeen eli puristavan paineen. Järjestelmän maksimi käyttöpaine on 200 baaria. Alaluvussa 2.4 mainittuja komponentteja käyttämällä saadaan luotua yksinkertainen järjestelmä, jolla voidaan ohjata nesteen virtausta.

Öljyn virtausta pitää pystyä säätämään, sillä virtausnopeus vaikuttaa sylinterin toimintaan eli liikenopeuteen. Säätö tehdään virtausvastaventtiilillä, joka kuristaa nesteen virtausta. Paluuvirtausta ei kuristeta. Molemmat linjat saavat oman venttiilin, jolloin linjoja voidaan säätää erikseen.

Takaisinvirtauksen hallitsemiseksi puristavaan linjaan lisättiin säätöventtiilin jälkeen ohjattu vastaventtiili, joka paineettomana estää takaisinpäin virtauksen linjassa. Kun avaavassa linjassa on paine, venttiili avautuu ja puristavan linjan paine pääsee pois järjestelmästä takaisin säiliöön.

Paineakku pitää järjestelmän painetta yllä, kun laite on irti hydrauliikkayksiköstä. Koneistuksesta aiheutuva värinä ja voimat saattavat liikuttaa kappaletta, jolloin sylinterit eivät puristaisi riittävästi. Akusta tuleva paine tasaa muutokset ja ottaa vastaan pienet paineiskut, mitä koneistus tuottaa sylinterien kautta. Paineakun läheisyydessä on painemittari, joka kertoo järjestelmässä olevan paineen tason.

Paineenrajoitusventtiili yhdistää avaavan ja puristavan linjan. Mikäli jokin aiheuttaa häiriön puristavaa painetta tehtäessä ja paine kasvaa yli 200 baarin, paineenrajoitusventtiili aukeaa ja paine ohjautuu avaavaa linjaa pitkin säiliöön. Samaan linjaan paineenrajoitusventtiilin vierelle asennettiin käsisulku, jolla voidaan tehdä sama asia manuaalisesti. Laitteen ollessa irti hydrauliyksiköstä, käsiventtiilin avaaminen jakaa paineen molemmille linjoille, jolloin sylinterit eivät enää purista niin voimakkaasti. Paineenrajoitusventtiilillä säädetään myös laitteen puristavan paineen taso. Paineenrajoitusventtiiliin liitetään vastaventtiili avaavan linjan puolelle. Vastaventtiili estää avaavan linjan paineen virtauksen paineenrajoitusventtiilille, mutta sallii puristavan linjan paineen poistumisen paineenrajoitusventtiililtä.

Venttiileissä on G1/4 tuuman kierrereiät, ja niihin lisättiin kierreliitin, missä on toisessa päässä G3/8 tuuman ulkokierre sekä vastaava mutteri. Liittimen G3/8 kierteen päässä sisäpuolella on kartio ja sitä vastaava kiristysholkki, joka kiristyy hydraulikkaputken ympärille mutteria kiristettäessä tiivistäen liitoksen. Käytössä on myös T-risteys- ja ristiliittimiä, joissa on vastaavat G3/8 ulkokierteet ja sisäkartioid. Näistä komponenteista rakennettiin ohjauspiiriksi kutsuttava kokoonpanorakenne ja sen piti mahtua kiinnityslevyn vaakatasolle.

Sekvenssit tehtiin säädettävillä sekvenssiventtiileillä, jotka aukeavat vasta, kun paine järjestelmässä kasvaa asetettuun rajaan asti. Sekvenssiventtiileillä luodaan kiinnitykseen toimintajärjestys, mikä ensin paikoittaa kappaleen oikeaan asentoon ja paikkaan ennen lopullista kiinnitystä. Sekvenssiventtiilit asennettiin jakotukkien väliin. Avauslinjaan ei liitetty sekvenssiventtiiliä.

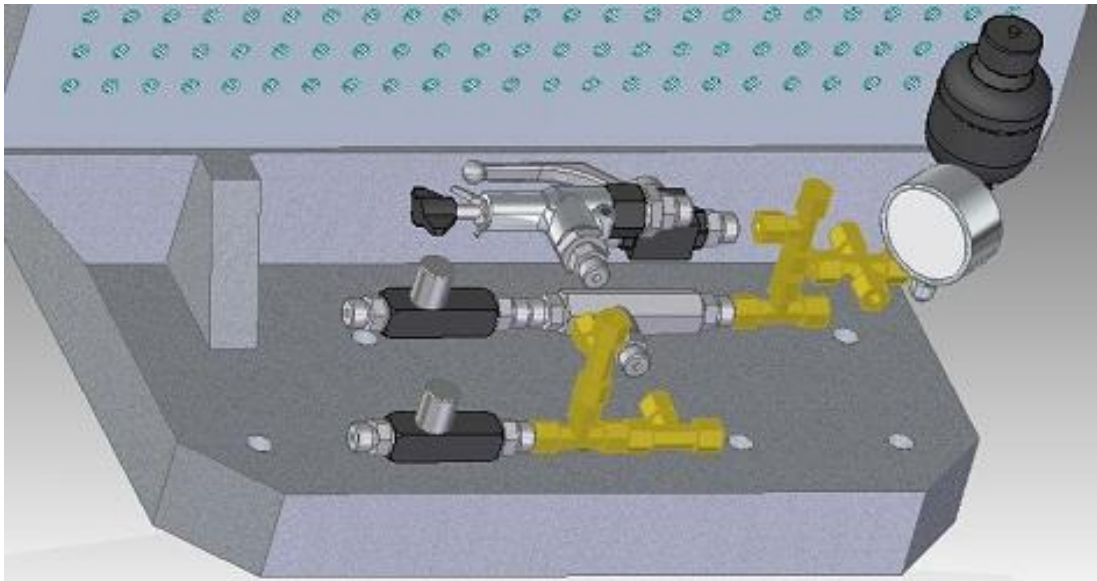
Jokainen vaihe kytkettiin yhteen tai useampaan jakotukkiin, jossa on kiinni joko kierreliitin, pikaliitin tai tulppa. Jokaisessa vaiheessa on ainakin yksi pikaliitinpari eli avaus- ja puristusliitos. Pikaliittimet mahdollistavat sylinterien letkujen liittämisen nopeasti ja vaivattomasti. Pikaliittimet asennettiin vaakatasoon helpomman kytkettävyyden vuoksi ja näin estettiin myös lastujen ja nesteiden kertyminen liittimeen, mikäli liittimen suojakorkki jostain syystä ei ole paikallaan liittimen ollessa käyttämättömänä. Ensimmäiseen ja toiseen vaiheeseen liitettiin myös banjokierreliittimet pikaliittinten lisäksi, koska näitä vaiheita tullaan todennäköisesti käyttämään usein ja tavallinen kierrenippa on halvempi ja vie vähemmän tilaa. Jos jakotukkeja, vaiheita tai

sylintereitä lisätään järjestelmään, on tarkistettava, että hydraulikoneikon säiliössä oleva neste määrä on riittävä muutetun laitteen toiminnalle.

Jakotukit ja sekvenssiventtiilit asettuivat kiinnityslevyn pystyosalle lähelle reunoja, sillä näin saatiin liittimet lähelle levyn toista puolta eli kiinnitystasoa ja helposti käsiteltäviksi toiselta puolelta.

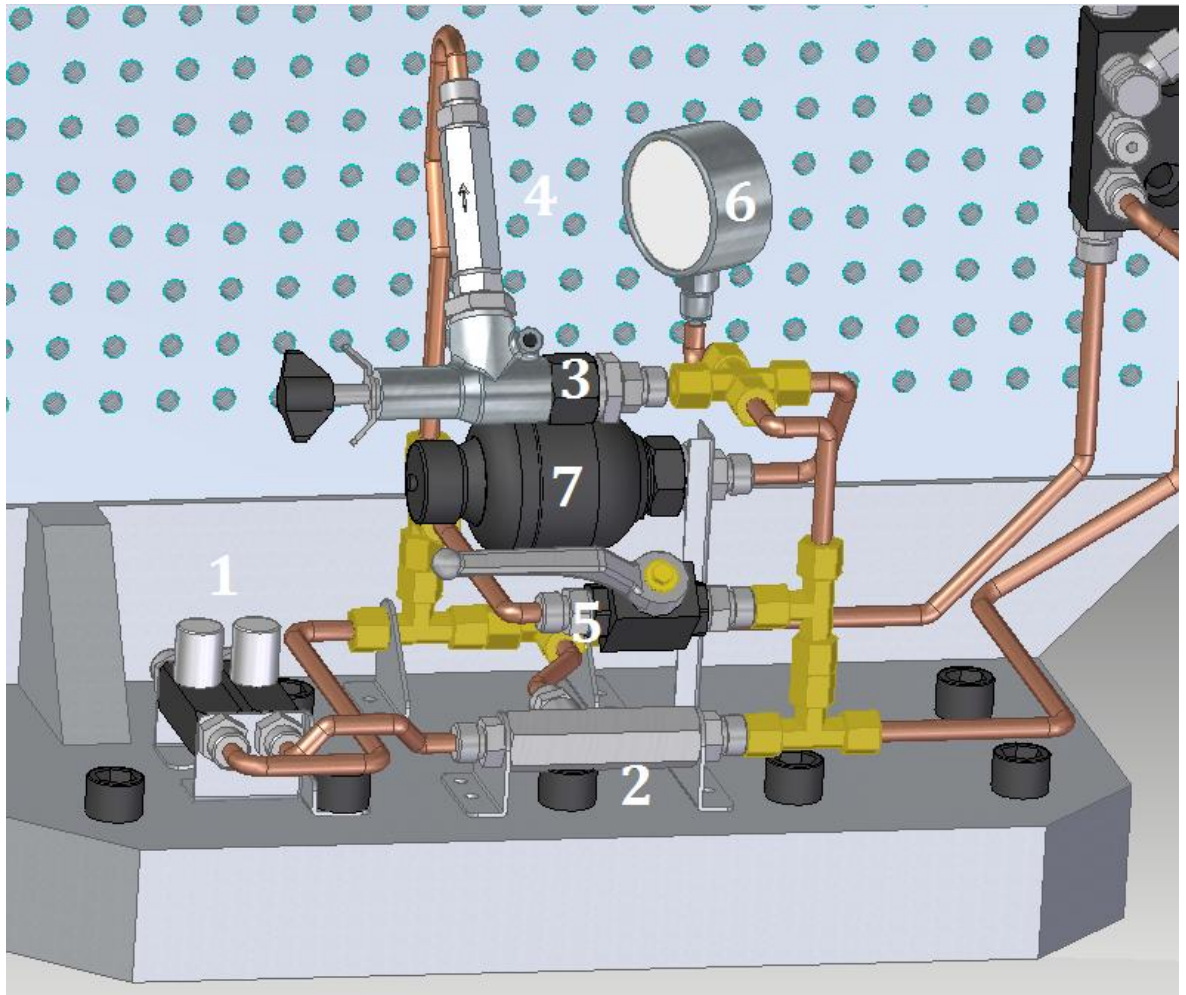
CAD-mallinnus alkoi kiinnityslevyn mallintamisella. Mallintamisessa käytettiin Solid Edge ST7 -ohjelmaa. Ohjelmalla luotiin myös hydrauliputket komponenttien välille, ja putkista oli mahdollista luoda piirustus, mistä kävi ilmi putkien mitat ja taivutuskulmat. Tämä helpotti valmistusvaihetta ja havainnollisti kokonaisuutta. Erilaisten variaatioiden tekeminen ohjelmalla oli helppoa. Hydrauliikkakomponenttien CAD-mallit on ladattavissa myyjän kotisivuilta STEP-muodossa. Osien lataamisen ja mallinnuksen jälkeen komponentit asetettiin kokoonpanossa vastaamaan hydrauliikkakaaviota.

Aluksi komponentit aseteltiin CAD-kokoonpanossa peräkkäin (kuvio 10), jolloin myös todellinen rakentaminen olisi helpompaa, kun voitaisiin käyttää suoria putken paloja. Näin syntynyt rakenne oli liian pitkä, josta syntyi ongelmia komponenttien luokse päästävyiden kanssa eivätkä kiinnityslevyssä jo olevat paineletkut ylettyneet virtausventtileille, joten rakennetta täytyi vielä parannella.



Kuvio 10. Ohjauspiirin ensimmäinen versio.

Virtausventtiilit käännettiin, jolloin ne voitiin liittää kiinnityslevyn paineletkuihin ja saatiin enemmän tilaa muille komponenteille. T-liittimiä järjestelemällä saatiin komponentit asettumaan niin, että saatiin parempi luoksepäästävyys. Kuvio 11 havainnollistaa asetelmaa ja kuviossa komponentit on numeroitu vastaamaan hydraulikkaavion ja toimintaselosteen (liitteet 3 ja 4) komponenttelistaa. Ohjauspiiriä suojaamaan suunniteltiin ruostumattomasta teräksestä valmistettu levy, jota ei työn aikana ehditty valmistamaan (liite 9).

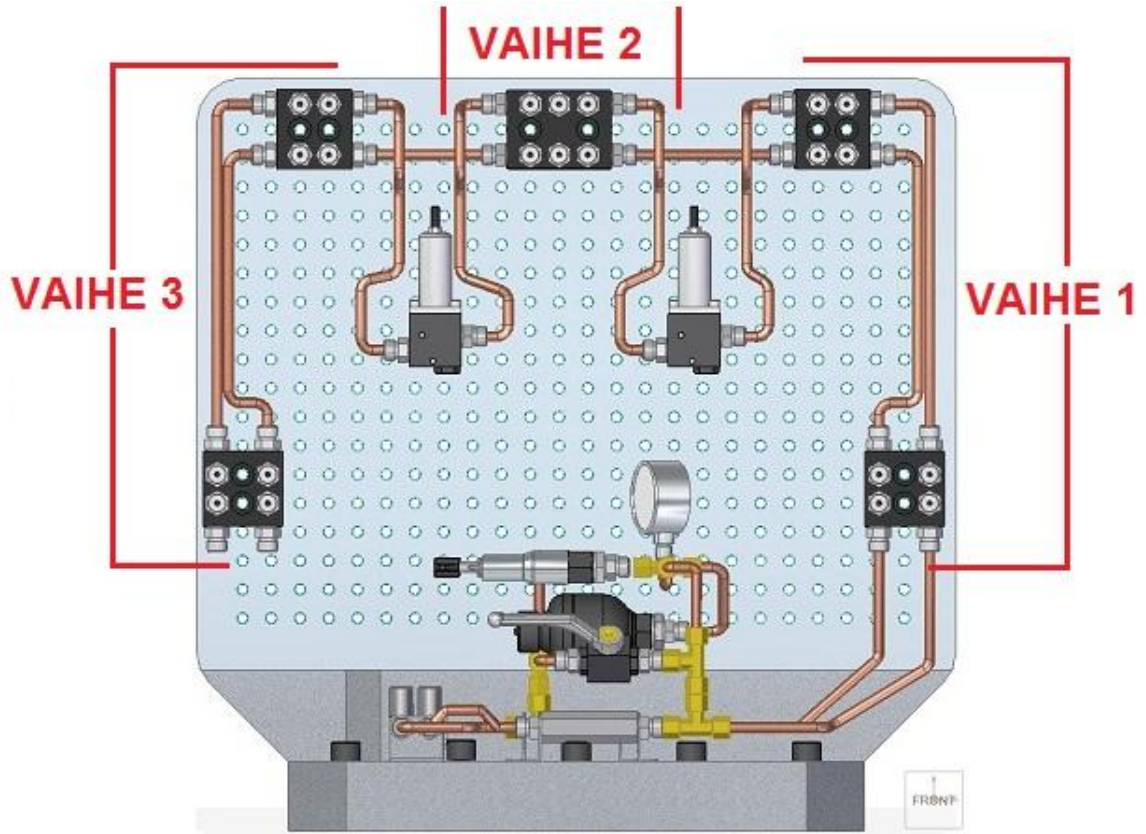


Kuvio 11. Ohjauspiirin paranneltu ja viimeinen versio.

Jakotukit ja sekvenssiventtiilit aseteltiin siten, että jokaisella vaiheella on riittävästi helposti käytettävissä olevia liitäntöjä, ja vaiheistus on selvä. Jakotukit päätettiin asentaa mahdollisimman lähelle reunaa, jolloin letkut oli helppo liittää ja letkujen pituus on hyötykäytössä.

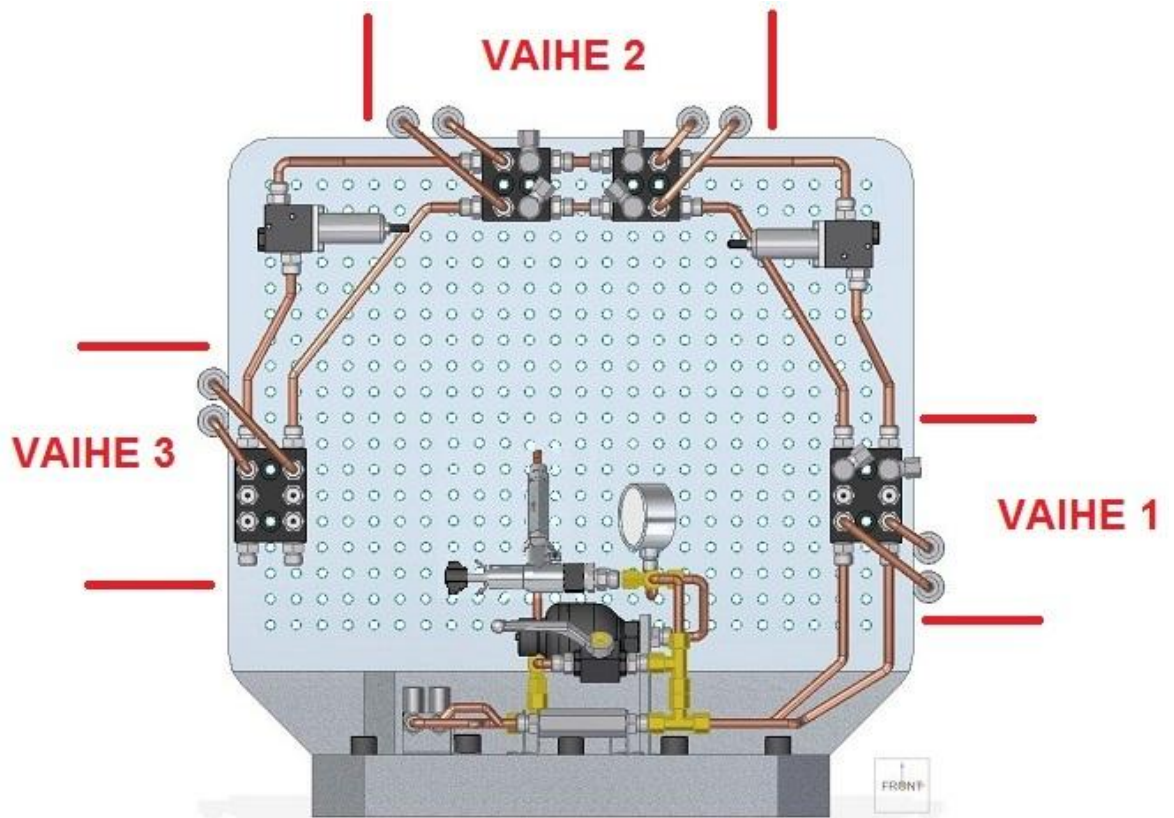
Sekvenssiventtiilit sijoitettiin jakotukkien välille niin, että putkien vieminen ja liittämisen jakotukkeihin sekä venttiileihin oli helppoa, ja venttiilin säätimelle jäi luokse päästävä tila. Kiinnityslevyn reunoilla ei ollut paljoa tilaa, vain noin 50 millimetriä kummallakin puolen, ennen kuin koneistuskeskuksen ovet tai seinämät koskettivat levyä paletin pyöriessä. Pikaliitin vei tuosta tilasta 40 millimetriä, jättäen hyvin vähän tilaa levyn reunoille. Tämä tulee huomioida myös letkuja kytkettäessä, eli letkut pitää pyrkiä saamaan mahdollisimman lähelle levyä. Kiinnityslevyn yläreunassa tilaa on useita kymmeniä senttejä.

Ensimmäisessä vaiheistusversiossa (kuvio 12) pyrittiin maksimoimaan liitântöjen määrä ja alueen kattavuus, mikä jätti vain vähän tilaa sekvenssiventtiileille ja putkille. Lisäksi toiselle vaiheelle olisi tullut kovin vähän liitântöjä. Kuvioissa 12 ja 13 ulompi putki vaiheistuksissa on sylinterien puristava painelinja, sisempi on sylinterit avaava painelinja.



Kuvio 12. Vaiheistus, ensimmäinen versio.

Vaiheistusta päätettiin parantaa ja päädyttiin kuvion 13 mukaiseen asetelmaan, mikä on parempi putkituksen ja sekvenssiventtiilien kannalta, ja yläreunaan saatiin näin enemmän liitântöjä. Tällä asetelulla menetettiin vain yksi liitinpari. Pikaliittimet täytyy jossain vaiheessa merkitä P- (puristus) ja A- (avaus) merkeillä käytön helpottamiseksi ja sekaannuksien välttämiseksi. Pikaliittimet jätettiin irti kiinnitystasosta, etteivät ne tulisi tielle tai vaarantuisi esimerkiksi lentävistä lastuista. Käytettävissä oleva tila rajoitti vaiheet reunoille, eikä vaiheiden helppo siirrettävyys tai muutettavuus ole tällöin mahdollista. Ensimmäisessä vaiheessa on siis kolmelle sylinterille liitännät, toisessa vaiheessa neljälle ja kolmannessa myös neljälle.



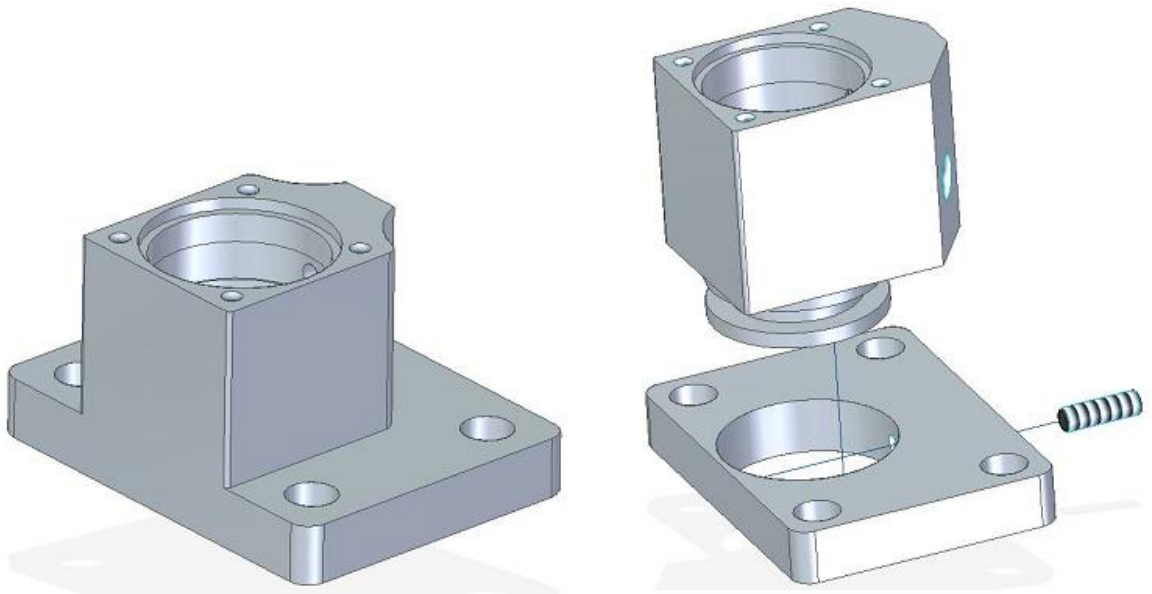
Kuvio 13. Vaiheistus, toinen versio, jonka mukaan todellinen rakennetaan.

Lisäosat hydraulikkaan. Kaikki osat eivät sopineet kiinnityslevyn 25 mm reikämatrisiin, joten nämä osat suunniteltiin uudestaan ja käyttöinsinöörit valmistivat ne koululla. Tällaisia osia olivat hydraulikan jakotukit ja sylintereiden kiinnitysjalustat.

Saatavilla olevat hydraulikan jakotukit ovat tähän tarkoitukseen ylimitoitettuja, kalliita ja soveltumattomia kiinnitykseltään. Tämän vuoksi suunniteltiin kaksi- ja kolmepaikkaisia jakotukkeja, joihin voi liittää kierrelähtimen, mihin puolestaan voi liittää joko paineletkun tai pikaliittimen uros- tai naaraspään. Jakotukit suunniteltiin mahdollisimman pieniksi huomioiden kierrenipponen tarvitsema tila kiristettäessä, sekä jakotukin kiinnitysreikien soveltuvuus reikämatriisiin varmistaen. (piirustukset liitteissä 1 ja 2)

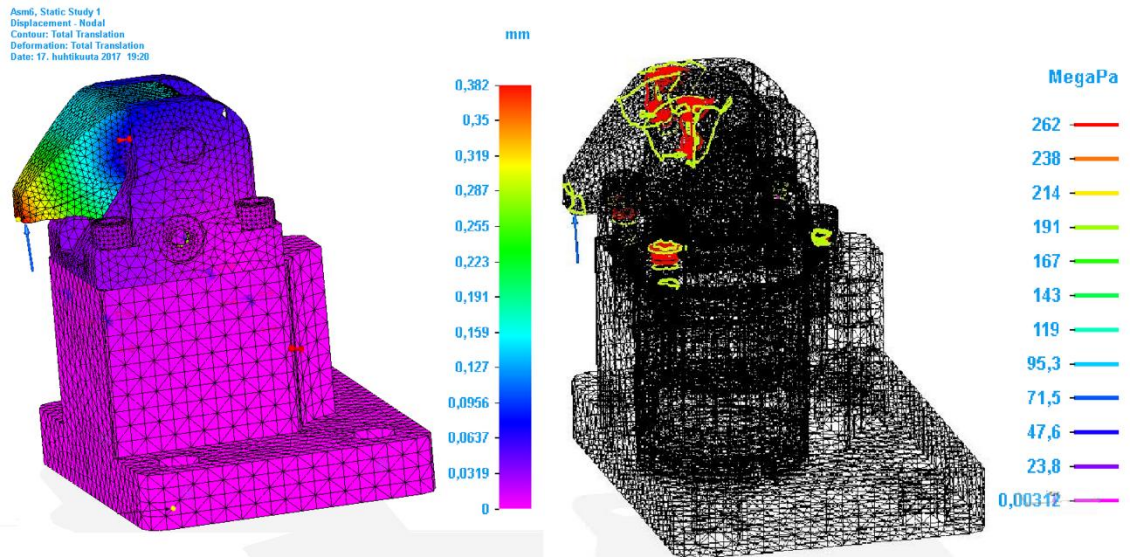
Sylinterien jalustoja ei myöskään ollut saatavissa oikealla reikäjaolla, joten sellaiset täytyi suunnitella ja valmistaa. Kääntyville sylintereille jalustat oli suunniteltu ja valmistettu koululla aikaisemmin.

Pienille nivelsylintereille suunniteltiin jalusta osana tätä opinnäytetyötä. Jalustasta suunniteltiin kaksi versiota, kiinteä ja kääntyvä malli (piirustukset liitteissä 5, 6 ja 7). Kääntyvä malli haluttiin suunnitella sylinterin lyhyestä paininvarresta johtuen. Kääntyvyys laajentaa sylinterin käyttömahdollisuuksia. Jalustan suunnittelussa on otettava huomioon jalustaan puristusvoimasta aiheutuvat rasitukset. Kuviossa 14 havainnollistetaan jalustan rakennetta, vasemmalla on kiinteärakenteinen ja oikealla kääntyvärakenteinen. Jalustoille ei tässä vaiheessa ollut tarvetta, joten niitä ei vielä valmistettu.

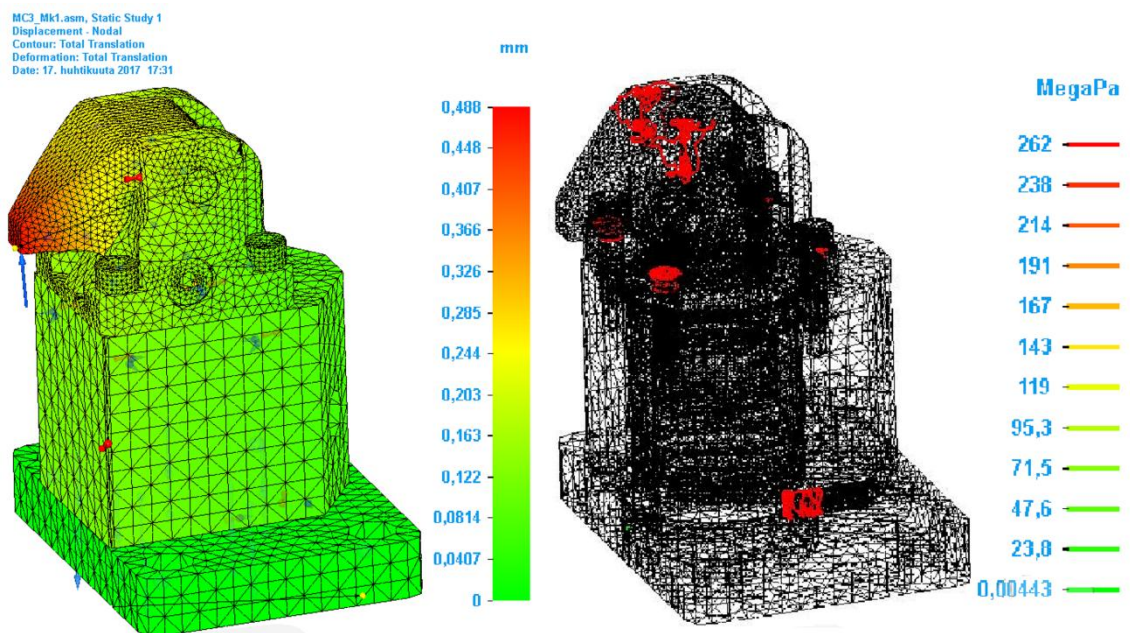


Kuvio 14. Kiinteä ja kääntyvä jalusta.

Lujuustarkastelu kappaleille suoritettiin Solid Edge ST8 -ohjelman FEM-simuloinnilla. Simuloinnissa paininvarren kärkeen asetettiin ylöspäin suuntautuva kuuden kilonewtonin voima, joka vastaa sylinterin maksimi puristusvoimaa 200 baarin käyttöpaineessa. Lisäksi luotiin tarvittavat kiinnityshehdot simuloimaan pulttikiinnitystä jalustan ja sylinterin sekä jalustan ja kiinnityslevyn välillä. Kuviot 15 ja 16 havainnollistavat tuloksia.



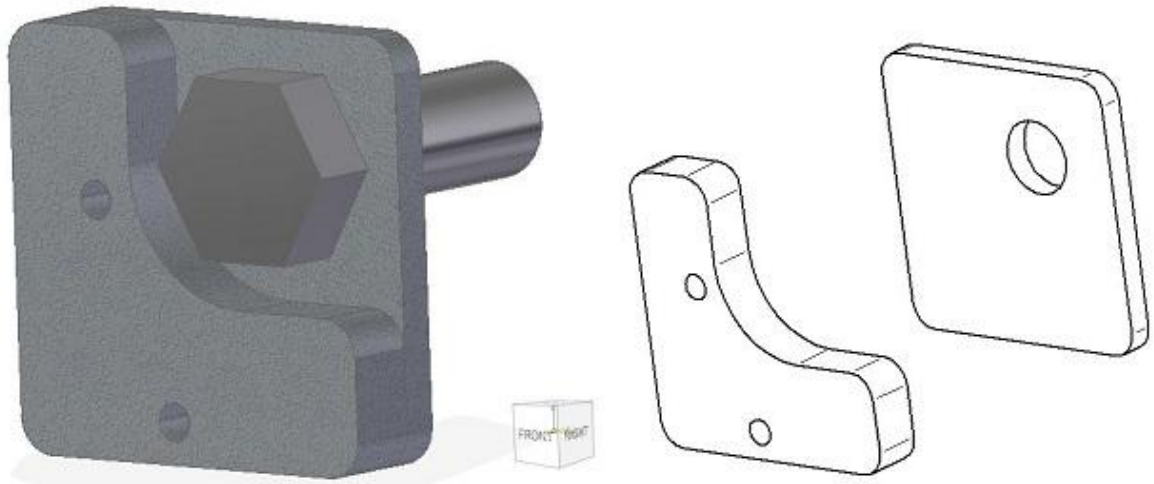
Kuvio 15. Kiinteän jalustan siirtymät vasemmalla ja jännityshuiput oikealla.



Kuvio 16. Kääntyvän jalustan siirtymät vasemmalla ja jännityshuiput oikealla.

FEM-simulointien perusteella molemmissa jalustoissa rakenne kestää hyvin. Teräksen myötöraja on 262 MPa ja kiinnityspulttien myötöraja on 900 MPa. Kuten kuvioista 15 ja 16 voidaan todeta, suurimmat jännitykset paikoittuvat painimeen ja kiinnityspultteihin (punainen väri rautalanka malleissa). Painin ja pultit ovat punaisella, koska ohjelmisto käsittelee kaikkia kokoonpanon osia samana materiaalina eli teräksenä.

Lisäksi sekvenssiventtiilille suunniteltiin ja valmistettiin pieni teline, jolla venttiili kiinnitetään kiinnityslevyyn. Teline on kiinni yhdellä M12-kuusiokantapultilla, mikä mahdollisti helpon asennon vaihtelun. Alapuolella (kuvio 17) on CAD-malli telineestä. Telineen osat leikattiin laserilla neljä- ja kahdeksanmillimetrisestä teräslevystä ja osat hitsattiin yhteen. Reiät ja kierteet tehtiin manuaalilyöstönä.



Kuvio 17. Sekvenssiventtiilin telineen Cad-malli ja osat.

3.3 Kiinnityksen suunnittelu

Kiinnitystä suunniteltaessa on huomioitava työstöstä aiheutuvat voimat, jotka voivat vaikuttaa tuotteen laatuun, ja vastattava niihin riittävällä kiinnitysvoimalla tai oikeanlaisella kiinnitystekniikalla. Kiinnitysaselmalla tuetaan kappale tukevasti parhaan työstöolosuhteen luomiseksi, mutta asetelma ei saa haitata työkalun liikkumista eikä liikeratoja.

3.3.1 Lastuamisvoimien laskenta

Lastuamisvoimat määräävät tarvittavan kiinnitysvoiman ja menetelmä komponenttien määrän. Mikäli menetelmän tuoma määrä komponentteja ei riitä kumoamaan lastuamisvoimaa, on kiinnityskomponentteja lisättävä, tai käytettävä komponentteja, joilla on suurempi puristusvoima.

Lasketaan lastuamisvoimat kolmelle erikokoiselle otsajyrsimelle. Näitä työkaluja ei käytetä testattavien kiinnityskappaleiden työstämiseen, vaan laskelmat ovat esimerkkilaskelmia. F_y on työkalun aiheuttama lastuamisvoima kontaktikulman ollessa 180 astetta, eli käytetään jyrsimen koko leveyttä työstössä. Perusarvot ovat: leikkuusvyvyys ($a_p = 2 \text{ mm}$), asetuskulma ($\kappa = 90^\circ$), kosketuskulma ($\alpha = 180^\circ$), muutoskerroin ($m = 0,26$) ja ominaislastuamisvoima ($k_{c1.1} = 1990 \frac{N}{\text{mm}^2}$) ovat samat kaikille työkaluille. Materiaalina on Fe500. Laskennassa on käytetty kaavoja 3-8 sivulta 20 sekä tietoja taulukosta 6 sivulla 43.

Taulukko 6. Materiaalien ominaislastuamisarvoja jyrsinnälle. (perustuu Aaltonen 1997, 22).

Materiaali	SB (N/mm ²)	k _{c1.1} (N/mm ²)	m	γ (°)	λ (°)
Fe 370	370	1780	0,17	6	-4
Fe 500	520	1990	0,26	6	-4
Ck 45	670	2220	0,14	6	-4
42CrMo4	730	2500	0,26	6	-4
34CrMo4	800	2240	0,21	6	-4
55NiCrMoV6	940	1740	0,24	6	-4
GG 200 (220HB)	-	1020	0,25	6	-4

Taulukko 7. Lastuamisvoimat kolmelle yleiselle jyrsimelle.

B (mm)	z	fz (mm/r)	kc (N/mm ²)	Lz (mm)	hm (mm)	F _{ym} (kN)	e	F _y (kN)
200	10	0,30	3061	314,16	0,19	1,16	5,0	5,85
140	8	0,25	3209	219,91	0,16	1,0,2	4,0	4,09
100	5	0,15	3665	157,08	0,10	0,70	2,5	1,75

Taulukoiden 7 ja 8 suureiden selitykset löytyvät sivuilta 20 ja 22. Vertailun vuoksi lasketaan suurimman jyrsimen voimien ero, kun jyrsitään vain puolella terällä, eli kun kosketuskulma α on 90 astetta, jolloin e-luku puolittuu.

Taulukko 8. Kontaktikulman vaikutuksen vertailu.

B (mm)	z	fz (mm/r)	Lz (mm)	hm (mm)	F _y (kN)	e	F _y (kN)
200	10	0,30	157,08	0,19	1,17	2,5	2,92

Tuloksista nähdään, että lastuamisvoima F_y puolittuu. Mikäli kiinnityksessä ei ole mahdollista käyttää useaa kiinnitinsylinteriä, voidaan kappale valmistaa käyttämällä pienempää työkalua tai pienentää leikkuualueita, mikä onkin yleisempi työstötapa työkalujen keston kannalta.

Lasketaan lisäksi lastuamisvoimat porattaessa halkaisijaltaan 20 mm ja 25 mm HSS-porilla. Materiaalina on edelleen Fe 500. F_T on työkalun aiheuttama lastuamisvoima ja F_Z on syöttövoima, jota käytetään kiinnitysvoiman laskennassa. Laskennassa on käytetty kaavoja 10–17 sivulita 22 ja 23 sekä tietoja taulukosta 9 sivulla 44.

Perusarvot ovat: umpiaine ($d = 0$), syöttö ($f = 0,25 \text{ mm/r}$), asetuskulma ($\kappa = 60^\circ$), teräsmäärä ($z = 2$), ominaislastuamisvoimat ($k_{c1.1} = 1960 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$) ja ($k_{cf1.1} = 1250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$), muutoskerroin ($m = 0,18$) ja muutospotenssi ($n = 0,29$).

Taulukko 9. Materiaalien ominaislastuamisarvoja poraukselle. (perustuu Aaltonen 1997, 27).

Materiaali	σ_B (N/mm ²)	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	m	$k_{cf1.1}$ (N/mm ²)	n
18 CrNi 8	600	2 690	0,18	1 240	0,45
42 CrMo 4	1 080	2 720	0,14	2 370	0,29
100 Cr 6	710	2 780	0,24	1 630	0,44
46 MnSi 4	650	2 390	0,15	1 360	0,38
Ck 60	850	2 200	0,13	1 170	0,43
Fe 500	560	1 960	0,18	1 250	0,29
16 MnCr 5	560	2 020	0,17	1 220	0,36
34 CrMo 4	610	1 840	0,20	1 460	0,36

Taulukko 10. Porauksen lastuamisvoimat.

D (mm)	b	fz (mm/r)	h1 (mm)	A (mm ²)	Ft (kN)	Fz (kN)
20	32,8	0,125	0,0381	1,25	4,41	2,45
25	41,0	0,125	0,0381	1,56	5,51	3,86

Taulukon 10 suureiden selitykset löytyvät sivuilta 22 ja 23. Tuloksista voidaan todeta, että 5 mm kasvu kierukkaporan halkaisijassa lisää aksiaalista voimaa noin 1,4 kilonewtonin verran syötön pysyessä samana. Kierukkaporausta ei nykyään käytetä koneistuksessa näin suurien reikien tekoon, sillä kovapala- ja U-porat ovat paljon nopeampia ja tarkempia käyttä. Paremmista työstöarvoista johtuen myös aksiaalinen voima pienenee. Testattaviin kappaleisiin tuleva työstö on pääosin reikien porausta kiinnitystasoa vasten, joten tarkastellaan U-poran lastuamisvoimia. U-pora on halkaisijaltaan 25 mm paksu. Arvoja ei aina tarvitse laskea, vaan tiedot saattavat löytyä terävalmistajan kirjoista tai nettisivuilta. Sandvikin ToolGuide-ohjelma antaa tarvittavat tiedot kääntöteräiselle U-poralle annettujen olosuhteiden mukaan. Tälle terälle arvo $F_z = 2,93$ kN, eli noin 1 kilonewtonin pienempi kuin vastaavalle kierukkaporalle ja arvo $M_T = 44$ Nm.

Jos varmuuskerroin kiinnitykselle on esimerkiksi 1,5, lastuamisvoimat kerrotaan 1,5:llä, jolloin saadaan tarvittava kiinnitysvoima, joka siis kestäisi puolitoistakertaisen työstövoiman. Tarvittavien sylintereiden määrä saadaan kaavalla $n = F_y/F_\mu$ (21), missä n on kappale määrä, F_y on lastuamisvoima (kN) ja F_μ on kitkavoima (kN).

Lasketaan esimerkkinä U-porauksessa tarvittava sylintereiden määrä:

Kääntyvän sylinterin puristusvoima F_{200} baarin käyttöpaineella on 2,8 kN (valmistajan käyttötiedotteen mukaan) ja kappaleiden välinen kitkakerroin on 0,15, (taulukko 4). Sivulla 23 olevan kaavan 19 mukaan saadaan yhden sylinterin kiinnitysvoimaksi $F_\mu = 0,48$ kN. Jos tarvittava kiinnitysvoima F jyrksinnässä on $1,5 * 2,93 \text{ kN} = 4,39 \text{ kN}$, sylintereiden lukumääräksi saadaan kaavan 21 mukaan 9,15 kappaletta. Sylintereitä tarvitaan siis kymmenen kappaletta, kun porataan sivusuunnasta kiinnitysvoiman suuntaan nähden. Testattavien kappaleiden tapauksessa näin ei kuitenkaan ole, vaan todellisuudessa syöttövoima on kiinnityssuunnan mukainen. Tällöin

vaikuttaa vain tangentiaalivoima. Sivulla 23 olevan kaavan 20 mukaan voidaan laskea riittävä puristusvoima F , joka alla olevien tietojen mukaan kaavalla laskettuna on 73,5 N. Voidaan myös laskea kiinnitysvoimanmomentti sekä porauksen vääntömomentti ja verrata niitä. Kiinnitys sylintereitä on neljä ja niiden etäisyys porauksesta on 0,15 m. Sysäyskerroin teräkselle on 1,4, kitkakerroin on 1,5 ja varmuuskerroin on 1,5.

Kaavan 20 vasen puoli, kiinnitysvoiman momentti:

$$4 * 0,15 * 0,150 \text{ m} * (4 * 2800 \text{ N} + 0,25 * 2930 \text{ N}) = 1073,93 \text{ Nm}$$

Kaavan 20 oikea puoli, voitettava vääntömomentti:

$$1,4 * 1,5 * 44 \text{ Nm} = 92,4 \text{ Nm}$$

Laskelmasta voidaan todeta, että kiinnitysvoimanmomentti on selvästi suurempi kuin poran aiheuttama vääntömomentti ja näin ollen neljä sylinteriä riittää pitämään kappaleen paikoillaan porauksen aikana. Tämä voidaan todeta myös vertaamalla tarvittavaa puristusvoimaa sylinterin tuottamaan puristusvoimaan.

Lasketaan toisena esimerkkinä jyrksinnässä tarvittava sylintereiden määrä:

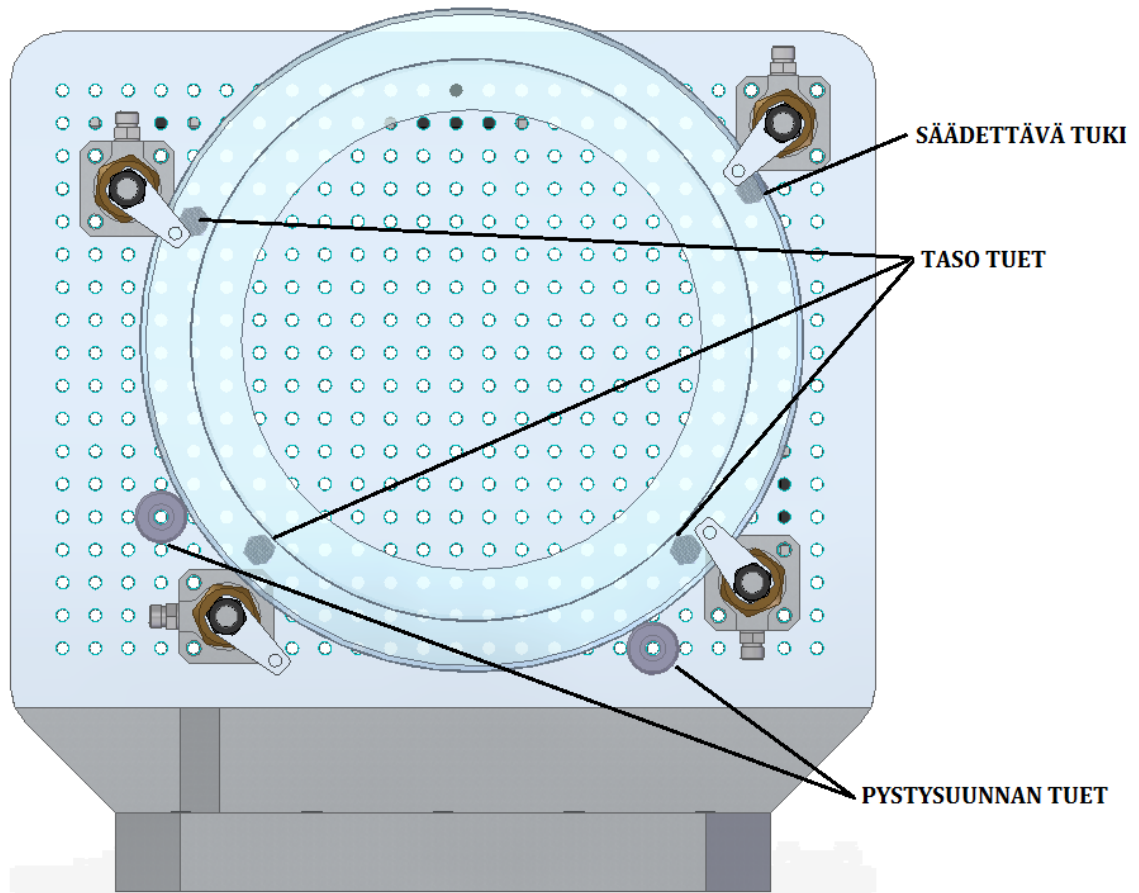
Kääntyvän sylinterin puristusvoima 200 baarin käyttöpaineella on $F = 2,8 \text{ kN}$ (valmistajan käyttötiedotteen mukaan) ja kappaleiden välinen kitkakerroin on 0,15, joten kaavalla 18 saadaan yhden sylinterin kiinnitysvoimaksi $F_{\mu} = 0,42 \text{ kN}$. Jos tarvittava kiinnitysvoima F jyrksinnässä on $1,5 * 1,75 \text{ kN} = 2,62 \text{ kN}$, sylintereiden lukumääräksi saadaan kaavan 19 mukaan 6,25 kappaletta. Sylintereitä tarvitaan siis seitsemän kappaletta, kun työstövoiman suunta on sivusuunnasta kiinnitysvoimaan nähden.

Mikäli kiinnitysvoimaa ei voida lisätä esimerkiksi porauksessa, kannattaa tutkia, ovatko työstöarvot muutettavissa siten, että lastuamisvoima pienenee sopivalle tasolle haittaamatta työkalua tai kappaleen laatua.

3.3.2 Kiinnitysasetelma

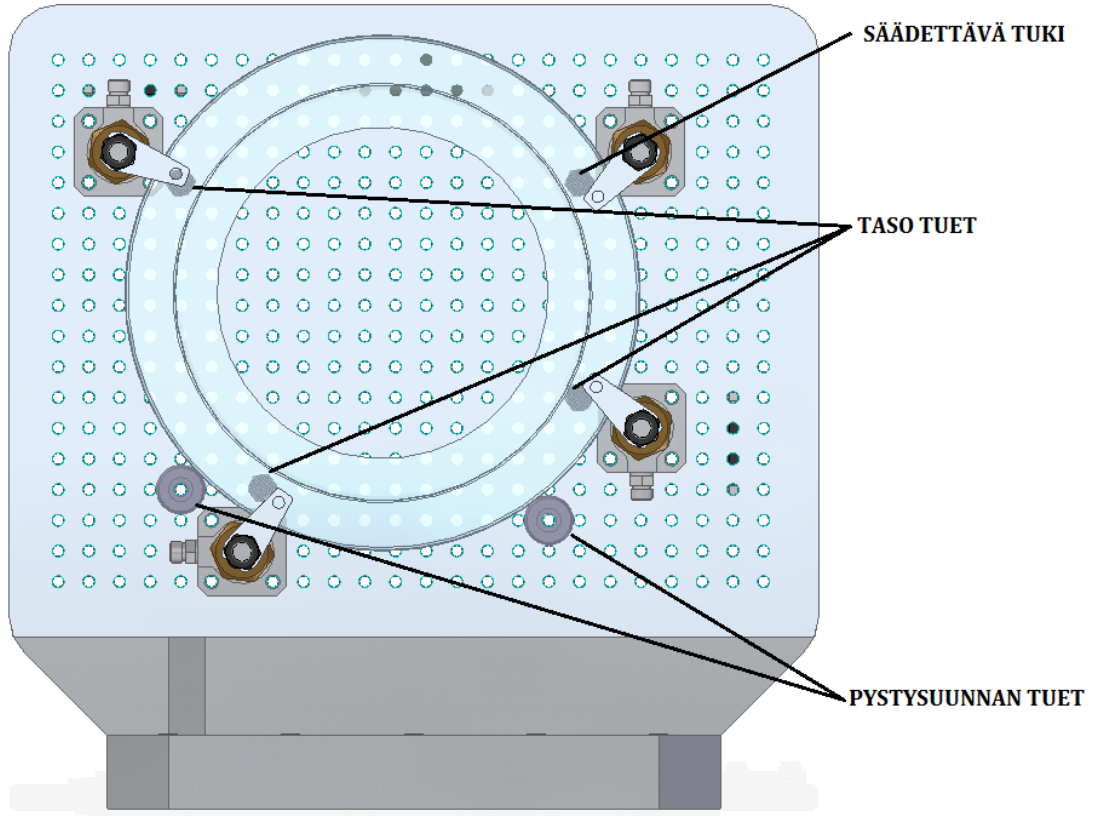
Kiinnitys rakennettiin alaluvussa 2.3.1 käsitellyn 3-2-1-menetelmän mukaisesti. Kiinnitykseen sopivat hyvin kääntyvät sylinterit. Kiinnityksessä käytettiin kolmea 50 millimetriä korkeaa vastinetta, joilla luotiin menetelmän mukainen kolmiomainen taso, jota vasten kappale puristetaan. Kiinnitettävä kappale asettuu pystysuunnassa kahden lieriövasteeseen. Kappaleen pyöreästä muodosta johtuen viimeistä tukipistettä ei tarvita, sillä pyöreä muoto tukeutuu itsestään kahden pisteen väliin, kun ne ovat riittävän kaukana toisistaan. Kaikki kolme kappaletta ovat toisiaan vastaavia, mutta eri halkaisijoilla, eli samat kiinnitinkomponentit sopivat kaikille kappaleille, mutta niiden paikkoja täytyy muuttaa. Kiinnitinsylinterit tulee asetella niin, että ne eivät haittaa työstöä tai vaurioidu työstön aikana. Kaikissa kappaleissa on vaakatasoinen poraus keskellä sivusuunnasta, ja vastaavassa kohdassa sisäpuolella on myös työstöä, joten näille alueille ei voida sylintereitä sijoittaa. Tästä syystä kappaleet täytyy sijoittaa myös melko keskelle kiinnityslevyä tasapuolisen luoksepäästävyuden saamiseksi.

Letkujen asentoihin ja lähtöihin tulee myös kiinnittää huomiota, etteivät ne tule työstön tielle, joudu puristuksiin tai vaurioidu muutoin. Kuvioissa 18, 19 ja 20 työstettävät kappaleet on muutettu läpinäkyviksi kiinnitysasetelman havainnoimisen helpottamiseksi. Mustat täplät sylinterivarsien läheisyydessä ovat tasotuet, ja alareunassa olevat harmaat ovat pystysuunnan tukia.

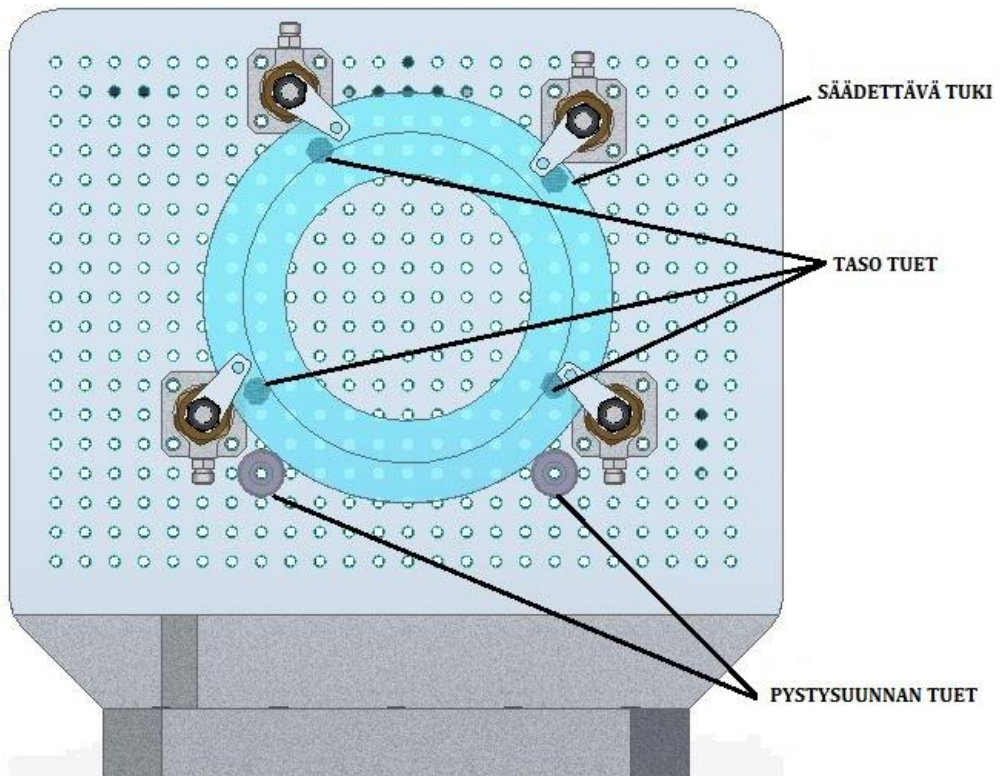


Kuvio 18. Suurimman kiekon kiinnitys.

Koska kappale on suuri ja työstöä tehdään laajalle alueelle, asetetaan yksi käsin säädettävä tuki kuviossa yläoikealla olevan sylinterin lähialueelle tuomaan vakautta. Letkuliittimien suunnat tulee huomioida kiinnitystä tehdessä, etteivät letkut tule työstön tielle tai vaarannu muutoin työkalun liikkuesssa.



Kuvio 19. Keskipokoisen kiekon kiinnitys.



Kuva 20. Pienimmän kiekon kiinnitys.

Pienimmän kiekon kiinnityksessä sylinterit ovat jo hyvin lähellä toisiaan. Alaturkien paikkaa muuttamalla saadaan haettua melko otolliset paikat sylintereille ja koska paininvarsien varret ovat vapaasti säädettäviä, ne voidaan asettaa sopiviin kulmiin jolloin ne eivät jää estämään kappaleen pois ottamista.

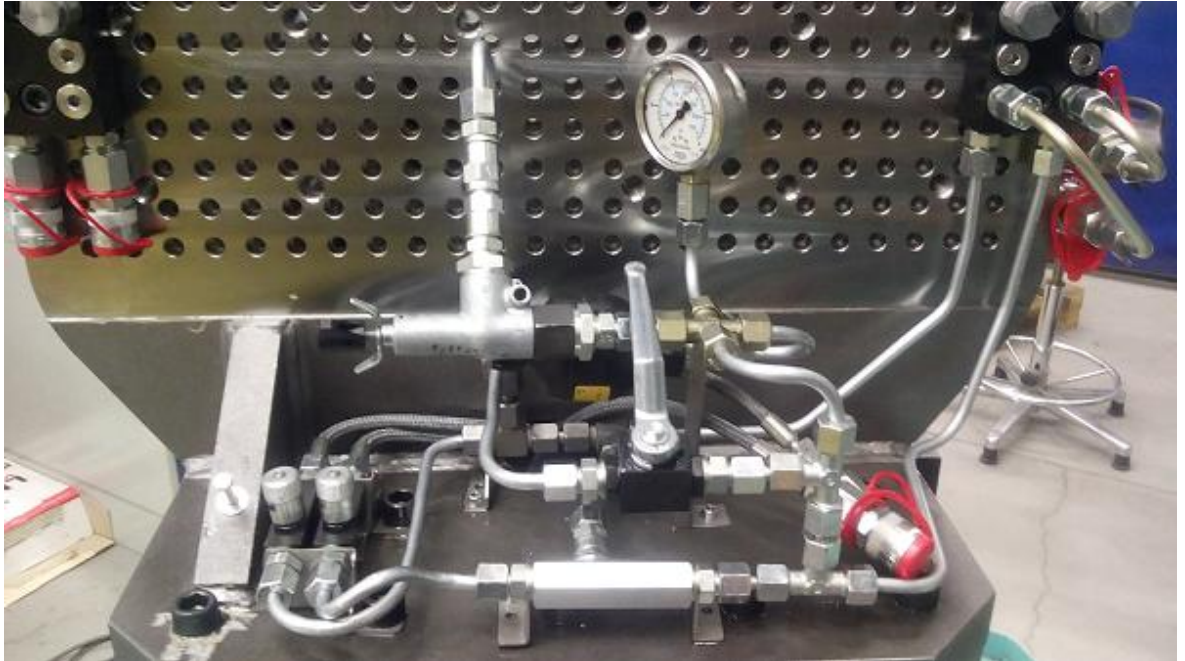
Kiinnittimelle tehtiin työohjekortti-pohja (esimerkkinä liite 8), jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa, kun suunnitellaan uusia kiinnityksiä. Työohjekortti nopeuttaa asetuksen tekoa, vaikka tekijä ei olisi koskaan kyseistä kiinnitystä rakentanut, ja siinä voidaan antaa kiinnityksen ja työstön kannalta olennaista tietoa. Testattaville kappaleille tehtiin omat kortit.

3.4 Valmistus

Ensimmäisenä suoritettiin inventaario koululla olevista kiinnitin- ja hydraulikkakomponenteista. Tämän jälkeen laadittiin luettelo tarvittavista komponenteista ja tehtiin tarjouspyyntö

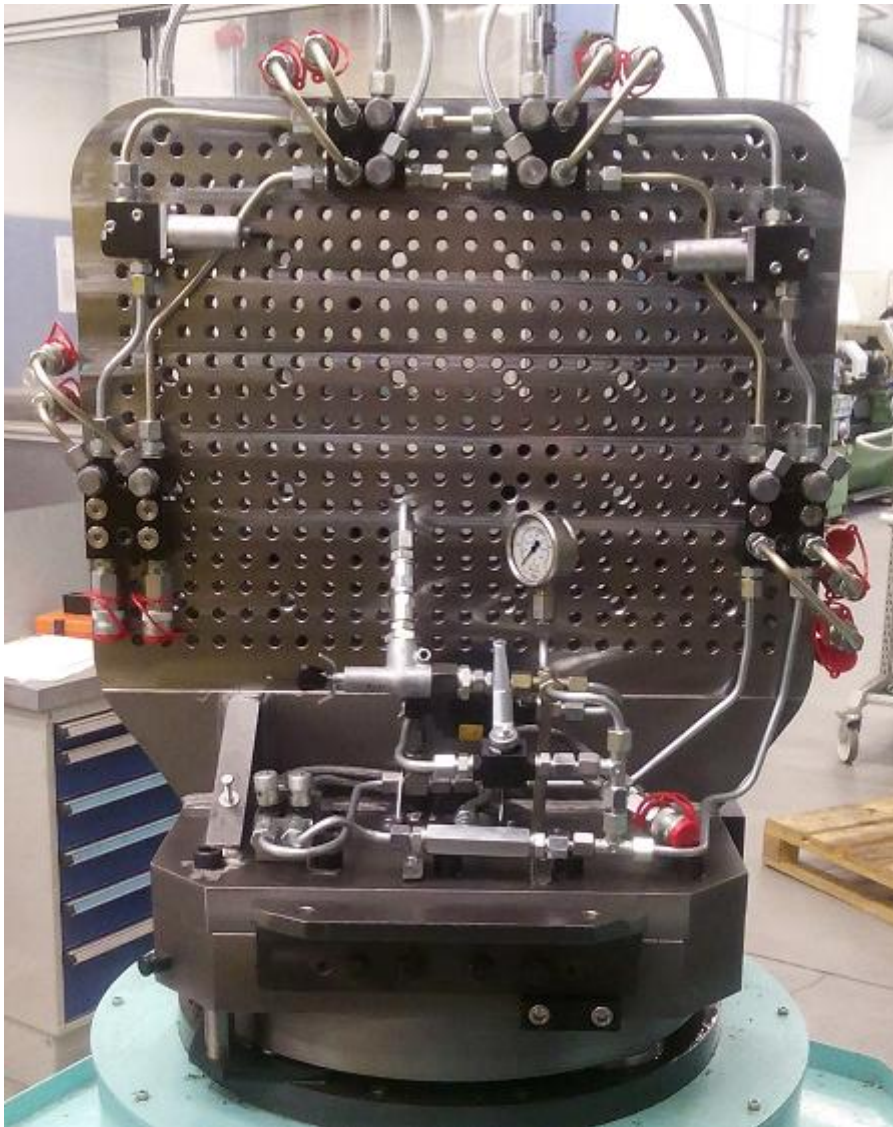
Osa itsevalmistettavista osista valmistettiin koulun käyttöinsinöörien tekeminä heidän aikataulunsa mukaan. Tällaisia osia olivat hydraulikan jakotukit. Niiden suunnittelu aloitettiin mahdollisimman aikaisin, että ne valmistuivat ajoissa.

Kun tilatut komponentit olivat saapuneet, alkoi venttiiliosion rakentaminen CAD-mallin perusteella. Käsin tehtävistä putkitaitoksista johtuen komponentit sijoittuivat hie- man eri tavalla, mutta sopivat tilaansa. Liittimien muttereita ei kiristetty lopullisesti, ennen kuin koko rakennelma oli hahmottunut ja todettu komponenttien sopivan suunnitellusti. Tässä vaiheessa valmistettiin laserilla ruostumattomasta 1,5 millimet- rin paksuisesta levystä pieniä kannattimia, joilla venttiiliosio kiinnitetään levyn vaa- katasolle. Kuviossa 21 on valmis ohjauspiiri.



Kuvio 21. Ohjauspiiri koottuna.

Seuraavaksi aseteltiin jakotukit ja sekvenssiventtiilit liittimiseen paikoilleen ja leikattiin ja taivuteltiin putket ohjauspiiriltä jakotukeille ja sekvenssiventtiileille. Kaikki teräksestä valmistetut osat maalattiin mustalla maalilla ruostumisen estämiseksi, kiinnityslevyä lukuun ottamatta. Kuviossa 22 on valmistettu laite vaiheineen.



Kuvio 22. Valmis laite.

3.5 Laitteen testaus

Testaus sisälsi kiinnityksen luomisen kolmelle samankaltaiselle, mutta erikokoiselle kappaleelle. Kappaleet oli saatu Komas Oy:ltä. Testaus suoritettiin koululla laitteen valmistuttua. Testauksessa seurattiin, kauanko aikaa kiinnityksen rakentamiseen ja muuttamiseen kului. Testauksessa tehdyille kiinnityksille ja asetusmuutoksille ei ole ajallista vertailukohtaa esimerkiksi mekaanisen kiinnittimen käytöstä, joten ajan seurauksen testitilanteessa on tarkoitettu laitteen toimintakunnon ja käytettävyyden toteuttamiseen sekä havainnollistamiseen.

Kiinnitykset oli suunniteltu aiemmin CAD-malleina (kuviot 18–20), minkä pohjalta varsinainen kiinnitys testissä rakennettiin. Tyhjäan levyyn ensimmäisen kappaleen kiinnityksen rakentaminen kesti noin 30 minuuttia. Seuraavissa kappaleissa käytettiin samoja komponentteja, joten niitä ei tarvitse vaihtaa, vaan niiden siirtäminen riittää. Kiinnityksen muuttamiseen kappaleiden välillä aikaa kului noin 15–20 minuuttia. Koska testattavat kappaleet ovat luottamuksellisia, näiden kappaleiden kiinnityksistä ei lisätty kuvia.

3.6 Huomioitavaa

Sylinterijalustoja paikoitettaessa on huolehdittava, että kiinnityspinnat ovat puhtaat ja pultit hyvässä kunnossa. Tällä varmistetaan sylinterin oikea asettuminen eli hyvä ja turvallinen kiinnitys. Letkut ovat lastujen ja nesteen kanssa tekemisissä, joten niiden kuntoa tulee seurata ja niitä tulee käyttää oikeaoppisesti.

Laite on rakenteeltaan avoin, jolloin käsi voi jäädä puristavan sylinterin ja kiinnitettävän kappaleen väliin aiheuttaen vammoja. Tähän tulee kiinnittää huomiota kappaleita kiinnitettäessä.

3.7 Kustannusvaikutus

Usean erilaisen tuotteen valmistukseen tarvitaan monia erilaisia kiinnittimiä. Työstökeskus ei voi hyödyntää kuin yhtä tai kahta kiinnitintä kerrallaan, jolloin suurin osa kiinnittimistä on huollossa tai varastoituna odottamassa käyttövuoroaan. Modulaarisia kiinnittimiä tarvitaan useiden erilaisten tuotteiden valmistuksessa vain muutama, jolloin kiinnittimiin sidotut kustannukset jäävät pienemmiksi. Tämä väite on vain arvio ilman tarkempaa tutkimuspohjaa.

Väitteen selvennykseksi voidaan esittää seuraava karkea laskelma, joka perustuu tekijän hintasuhdearvioon.

Yhden tietyn kappaleen hydraulikiinnittimen hinta on keskimäärin noin 50 000 euroa. Jos yrityksellä on hydraulisille kiinnittimille vain yksi työstökeskus, tarvitaan 20

kappaleen kiinnittämiseksi 20 omaa kiinnitintä. Tällaisessa tilanteessa kiinnittimiin sidottu pääoma on noin 20*50 000 euroa, eli yhteensä 1 000 000 euroa.

Yhden modulaarisen hydraulikiinnittimen hinta komponentteineen on keskimäärin noin 80 000 euroa, mutta niitä tarvitaan vain kaksi kappaletta, koska molemmilla voidaan valmistaa 10 erilaista tuotetta. Kaksi modulaarista kiinnitintä mahdollistavat myös sen, että toisen kiinnittimen ollessa työstössä toiseen asetellaan uudet kappaleet, jolloin kappaleenvaihto aika on todella pieni ja työstökeskuksen käyttöaste kasvaa. Tällaisessa tilanteessa kiinnittimiin sidottu pääoma on noin 2*80 000 euroa, eli yhteensä vain 160 000 euroa.

Modulaarisilla kiinnittimillä saataisiin siis noin 84 % pienemmät investointikulut. Tuotannon kasvaessa tai muuttuessa modulaariset kiinnittimet toimivat ja sopivat edelleen tuotantoon. Tavalliset kiinnittimet joudutaan hävittämään tarpeettomina, jos niiden muuttaminen on työlästä tai mahdotonta.

Mutta kuten aikaisemmin mainittiin, nämä luvut ja laskelmat ovat vain arvioita ilman tarkempaa tutkimusta ja ovat tarkoitettu vain havainnollistamaan modulaarisuuden tuomia hyötyjä ja käyttömahdollisuuksia.

4 JATKOKEHITYS JA OMAT POHDINNAT

4.1 Soveltaminen sekä vaihtoehtoiset rakenteet

Käyttö sarjatuotannossa on luonnollisesti mahdollista, koska reikämatriisin ja tasojen koneistaminen on suhteellisen halpaa jo pelkän kiinnityslevyn hankintaan verrattuna. Sylinterit, muut kiinnityskomponentit ja elementit, jotka on hankittu ja joita ei valmistuksessa enää tarvita, voidaan käyttää hyödyksi muissa vastaavissa kiinnittimissä. Mikäli ei ole tarvetta modulaariselle kiinnittimelle, ei ole järkevää hankkia kaikkia kiinnityskomponentteja, vaan ainoastaan tarvittavat. Mutta reikämatriisin teko tällaisessa tilanteessa on kannattavaa, koska se nopeuttaa tulevaisuudessa tehtäviä muutoksia kiinnitykseen sekä mahdollistaa samantapaisten kappaleiden valmistuksen.

Yksi vaihtoehtoinen rakenne olisi, että yksi jakotukki jakaa useaan suuntaan painetta elektronisesti tai käsin ohjatuille suuntaventtiileille. Suuntaventtiili puolestaan avaisi paineen esimerkiksi jakotukille, jossa olisi pikaliittimet. Tällöin sekvenssien paikkoja voisi muuttaa vapaasti. Tämä vaihtoehto on kalliimpi suuntaventtiilien hinnan takia ja vaatii tilaa laitteessa.

Jos letkut haluaa poistaa tässä työssä suunnitellusta mallista, levyyn voisi tehdä sisäiset nestekanavat vierekkäin. Reikämatriisissa olisi kierrereikien vierellä toiset reiät, joita pitkin neste kulkisi, ja jalustoissa olisi pohjassa tapit. Nämä ylimääräiset reiät ja jalustojen tapit toimisivat kuin pikaliittimet. Kun jalusta kiinnitetään ruuveilla levyyn, tappi painaisi reiän pohjassa olevan kanavan auki kuten pikaliitin ja kaikki siinä linjassa olevat sylinterit liikkuvat, kun linja paineistetaan. Järjestelmää voidaan vaiheistaa ulkoisilla sekvenssiventtiileillä ja segmenttoimalla kanavat. Tällainen järjestelmä olisi vaikea ja kallis koneistaa.

Asettelu-pöytä sijaitsee robottisolussa osana FMS-järjestelmää. Robottia voidaan hyödyntää kappaleen asetuksessa esimerkiksi siten, että hitsataan kappale ensimmäisellä robotilla, asetetaan kiinnittimeen toisella robotilla ja FMS-hissi siirtää kiinnittimen koneistuskeskukselle. Robotti toimisi siis kappaleen vaihtajana ja avustaisi

myös hitsausrobotia. Toisaalta laitteessa ei ole vaiheiden välillä mahdollisuutta automaattisesti keskeyttää paineen kasvua, jolloin robotti voisi irrottaa otteen kappaleesta ja siirtyä pois kiinnittimen luota. Tämä tarkoittaa sitä, että robotia käytettäessä kappaleen paikoitus tulisi ohjelmoida tarkkaan, että kappale asettuisi oikein.

4.2 Jatkokehitys

Joustavien letkujen käyttö jakotukkien välillä mahdollistaisi jakotukkien nopean siirtelyn. Pikaliittimet jakotukeissa ja niiden päädyissä mahdollistaisivat komponenttien nopean poistamisen ja lisäämisen. Sekvenssiventtiileissä voisi olla myös pikaliittimet, jolloin sekvenssejä ja niiden määrää voisi nopeasti ja helposti muuttaa. Tätä ei työssä toteutettu, koska sille ei tällä hetkellä ole tarvetta ja se olisi nykyistä kalliimpi.

Hydrauliikan ohjauspiirin voisi kiinnittää yhtenäiseen levyyn, joka olisi nopeasti irrotettavissa. Tulo- ja lähtöliitännät olisivat pikaliittimillä. Tämä tekisi ohjauspiiristä modulaarisen osan, jota voisi käyttää esimerkiksi tornimaisessa kiinnittimessä. Ohjauspiiri kiinnitettiin kuitenkin pienillä yksinkertaisilla kiinnittimillä, koska levy olisi vienyt turhaa tilaa ja ohjauspiirin moduloinnin tarve on tässä vaiheessa hyvin epätodennäköinen.

Työohjekorttien käyttö on suositeltua ja todettu työelämässä hyväksi tavaksi, koska se helpottaa ja nopeuttaa asetusaikaa. Kiinnityslevyn reikämatriisi mahdollistaa toistettavan asetuksen tekemisen, ja tulevaisuudessa samankaltaisten asetusten tekeminen helpottuu, kun voidaan ottaa mallia aikaisemmista kiinnitysasetuksista.

4.3 Omat pohdinnat

Testauksessa kiinnityksen rakenteluun ja muutokseen kuluva aika on oletettavasti lähellä samaa kuin käytettäessä halvempia mekaanisia komponentteja. Opinnäytteenä suunniteltu ja rakennettu laite soveltuu paremmin sarjatuotantoon, koska kappaleen vaihtonopeus hydraulisessa laitteessa on nopeampaa ja soveltuu paremmin esimerkiksi robotin kanssa yhteistyöhön.

Automation Studio -ohjelma auttoi havainnollistamaan hydrauliiikan toimintaa ennen varsinaista rakentamista. Ohjelma oli helppokäyttöinen ja suosittelen sen käyttöä hydrauliiikan opetuksessa. CAD-mallinnus puolestaan auttoi havainnollistamaan komponenttien sijoittelua ja tarvetta sekä mahdollisesti erilaisten variaatioiden tarkastelua pienellä vaivalla. Samalla putkien mitoitus ja asennuskin onnistuu, mutta suuressa kokoonpanossa joudutaan välillä piilottelemaan komponentteja näkyvyyden ja selkeyden saamiseksi.

Työ oli mielenkiintoinen. Kirjoittajalle hydrauliiikka oli aluksi vierasta, joten tiedon puutteesta johtuen joitakin osia jouduttiin tilaamaan jälkikäteen. Modulaarisuuteen ja koneistukseen perehtyminen oli myös opettavaista, joskin jälkimmäinen oli jo tuttua entuudestaan. Kiinnitysmetodeista ja muodonmuutoksista oli yllättävän vaikea löytää pätevää tai tuoretta kirjallista lähdettä, koska 3-2-1-metodi taitaa olla jo aika vanha tekniikka ja muodonmuutokset jokseenkin itsestään selvää asiaa.

LÄHTEET

- Aaltonen, K. 1997. Koneistuskeskukset. Teoksessa: K. Aaltonen, P. Andersson & V. Kauppinen. Koneistustekniikat. Helsinki: WSOY. 231–236.
- Andersson, P. H. 1997. Lastuaminen. Teoksessa: K. Aaltonen, P. Andersson & V. Kauppinen. Koneistustekniikat. Helsinki: WSOY. 5–32.
- Andersson, P.H. 1997. Otsajyrsinnän suureet & Porauksen suureet. [Kuvio]. Koneistustekniikat.
- Andersson, P.H. 1997. Jyrsinnän suureiden selitys & Poraus suureiden selitys. [Taulukko]. Koneistustekniikat.
- Enerpac. Ei päiväystä. School of workholding-issue #02. [Verkkosivu]. Enerpac. [Viitattu 8.4.2017]. Saatavissa: <http://schoolofworkholding.com/>
- Fastems. Ei päiväystä. Fastems FMS One. [Kuvio]. Fastems Oy Ab. [Viitattu 18.3.2017]. Saatavissa: <https://www.fastems.com/flexible-manufacturing-system-one-fms-one/>
- Kauranne, H. Kajaste, J. & Vilenius, M. 2008. Hydrauliteknikka. Helsinki: WSOY.
- Kitamura. Ei päiväystä. Mycenter HX5500i. [Kuvio]. Kitamura Machinery Co.,Ltd. [Viitattu 18.3.2017]. Saatavissa: <http://www.kitamura-machinery.com/products/mycenterhx500itga/>
- Lehtimäki, A. 2006. Kiinnitinsuunnittelun lähtökohdat. Kurssimateriaali. Ammatin edistämislaitos AEL.
- Lehtimäki, A. 2006. Kitkakertoimet eri pintojen välillä. [Taulukko]. Kiinnitinsuunnittelun lähtökohdat.
- Lehtimäki, A. 2006. Vääntömomentin vaikutus kiinnitysvoimaan. [Kuvio]. Kiinnitinsuunnittelun lähtökohdat.
- Maaranen, K. 2012. Koneistus. Helsinki: Sanoma Pro oy.
- Nee, A. Y. C., Tao, Z.J. / Senthil Kumar, A. 2004. An Advanced Treatise On Fixture Design And Planning. [Verkkokirja]. Hackensack, N.J. : World Scientific Publishing Co. Pte. [Viitattu 20.3.2017]. Ltd. Saatavilla: Ebsco eBook Academic Collection. Vaatii käyttöoikeuden.
- Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Suomentaja prof. Uolevi Konttinen. 2. korj. p. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Pahl, G. Beitz, W. Feldhusen, J. & Grote, K.H. 2007. Engineering Design: A systematic Approach. Third Edition. Springer-Verlag London Limited.

PSK-käsikirja 1. 2006. Teollisuushydrauliijärjestelmän suunnittelu ja hankinta. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.

Redtenbacher, F. 1852. Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus. Mannheim: Bassermann.

Rötcher, F. 1927. Die Maschinenelemente. Berlin: Springer.

Österholm, J. & Tuokko, R. 2001. Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin. Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto, MET.

LIITTEET

Liite 1. Jakotukki_Mk2 piirustus

Liite 2. Jakotukki_Mk3 piirustus

Liite 3. Kiinnittimen hydraulikka kaavio

Liite 4. Kiinnittimen hydraulikan toimintaseloste

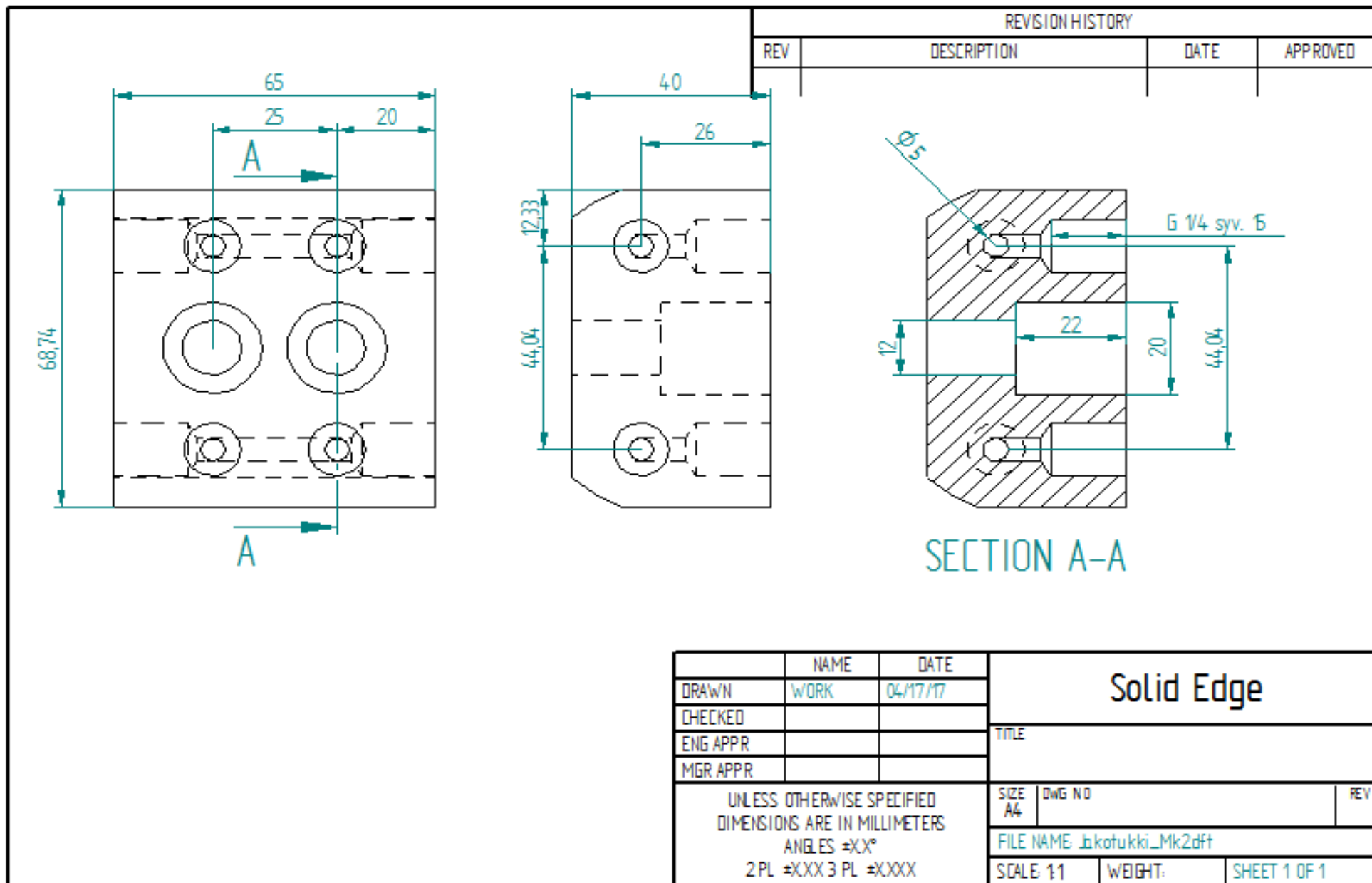
Liite 5. Piirustus, kiinteä jalusta

Liite 6. Piirustus, kääntyvä jalusta-levy

Liite 7. Piirustus, kääntyvä jalusta-varsi

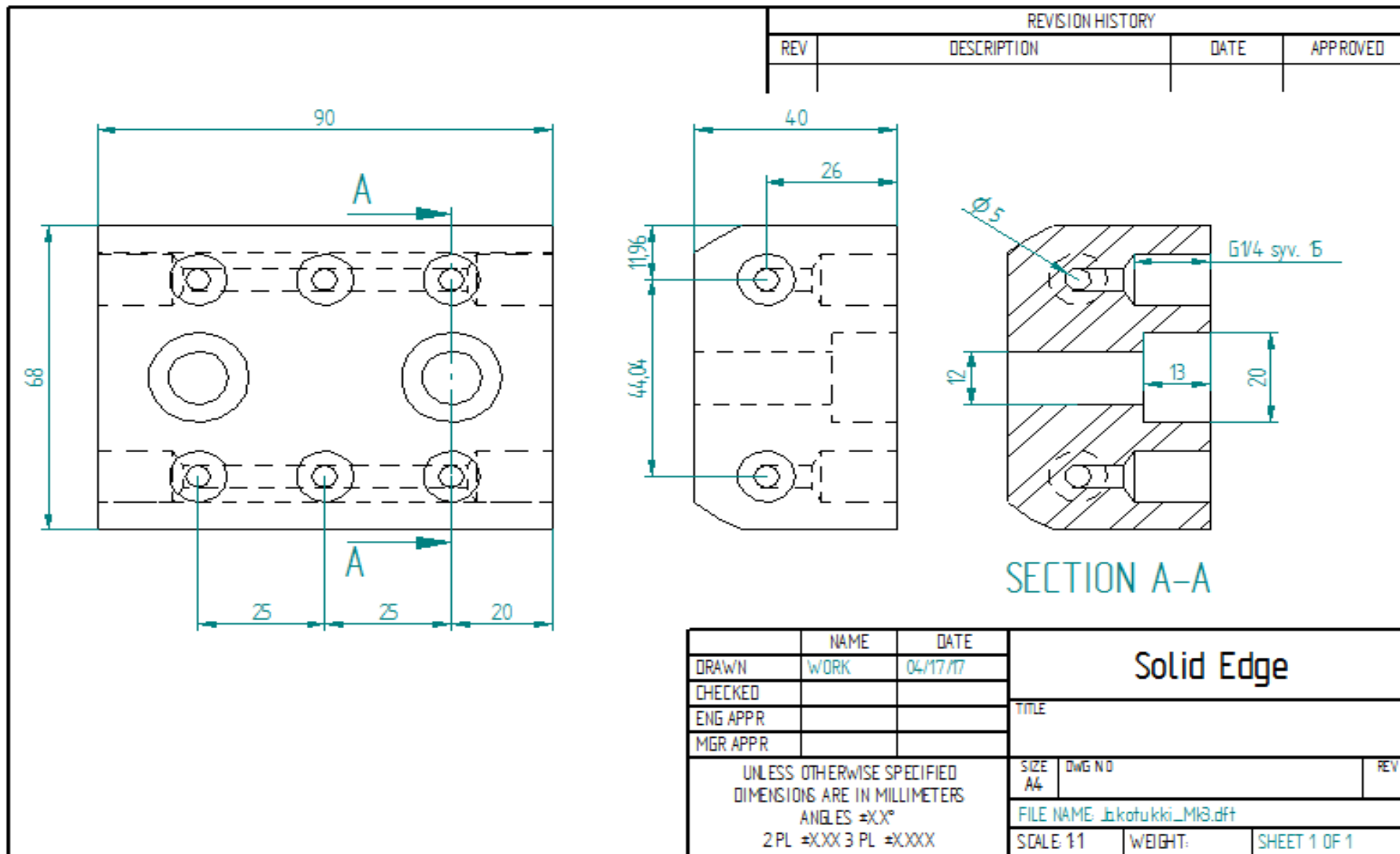
Liite 8. Piirustus, suojapelti

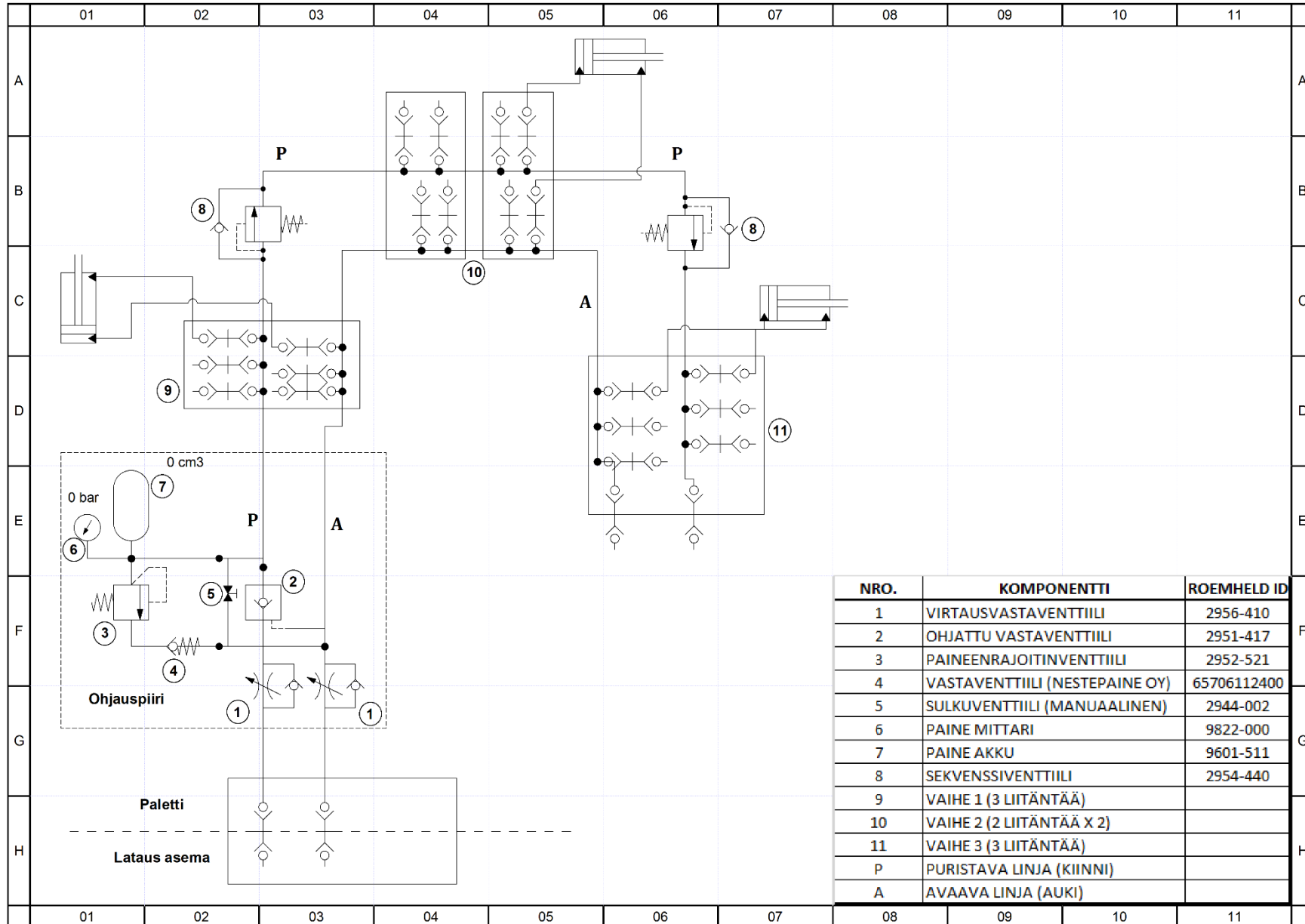
Liite 9. Työohjekortti



REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED

	NAME	DATE	Solid Edge		
DRAWN	WORK	04/17/17			
CHECKED					
ENG APPR					
MGR APPR			TITLE		
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES $\neq XX^\circ$ 2 PL $\neq XXX$ 3 PL $\neq XXXX$			SIZE	DWG NO	REV
			A4		
			FILE NAME <u>J</u> akotukki_Mk2dft		
SCALE 1:1		WEIGHT:	SHEET 1 OF 1		





NRO.	KOMPONENTTI	ROEMHELD ID
1	VIRTAUSVASTAVENTTIILI	2956-410
2	OHJATTU VASTAVENTTIILI	2951-417
3	PAINEENRAJOITINVENTTIILI	2952-521
4	VASTAVENTTIILI (NESTEPAINE OY)	65706112400
5	SULKUVENTTIILI (MANUAALINEN)	2944-002
6	PAINE MITTARI	9822-000
7	PAINE AKKU	9601-511
8	SEKVENSSIVENTTIILI	2954-440
9	VAIHE 1 (3 LIITÄNTÄÄ)	
10	VAIHE 2 (2 LIITÄNTÄÄ X 2)	
11	VAIHE 3 (3 LIITÄNTÄÄ)	
P	PURISTAVA LINJA (KIINNI)	
A	AVAAVA LINJA (AUKI)	

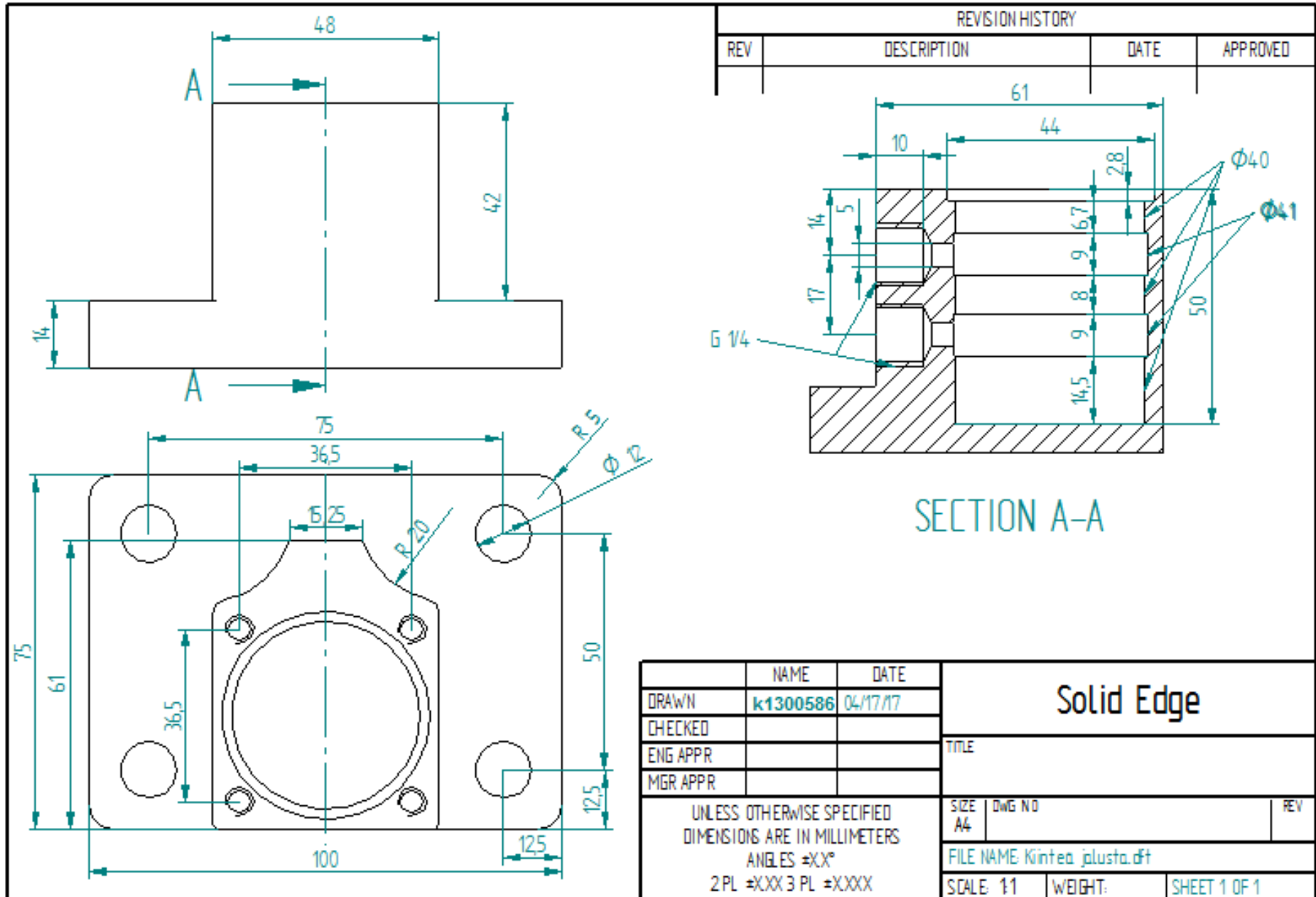
Modulaarisen hydraulikiinnittimen toimintaseloste:

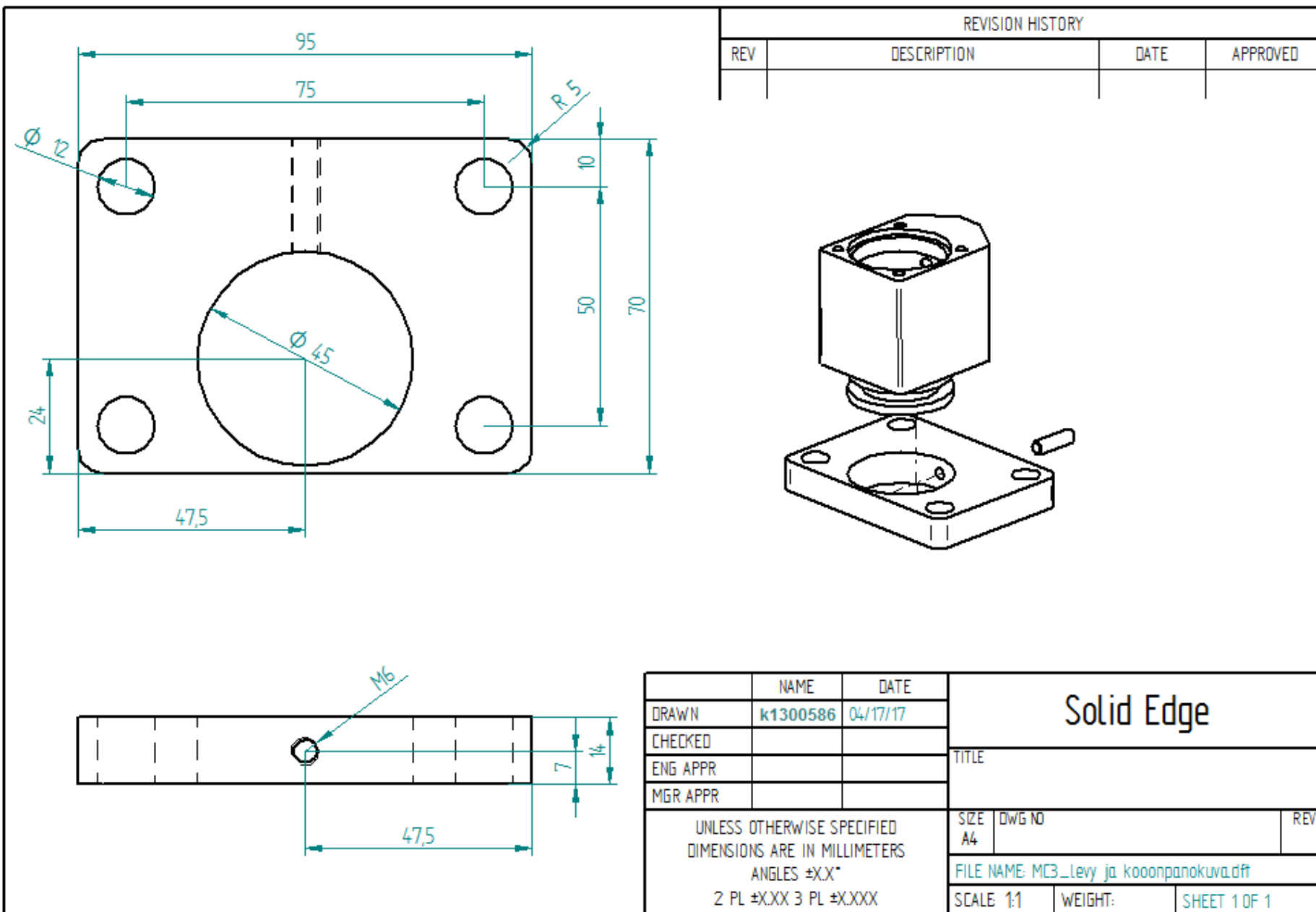
1. Virtausvastaventtiili kuristaa nesteen virtausta vaikuttaen toimilaitteiden liike nopeuteen.
2. Ohjattu vastaventtiili sallii nesteen liikkumisen yhteen ja estää paluu virtauksen, kunnes ohjaus paine eli toinen linja paineistuu, jolloin venttiili sallii paluu virtauksen.
3. Paineenrajoitusventtiili säättää järjestelmän painetason ja toimii suojalaitteena siltä varalta että puristavan (P) linjan paine kasvaa yli sallitun rajan. Venttiili aukeaa rajoituspaineessa ja neste virtaa aukeavan (A) linjan kautta koneikon säiliöön.
4. Vastaventtiili estää aukeavan (A) linjan paineen pääsemisen paineenrajoitusventtiilille, mutta sallii virtauksen paineventtiililtä aukeavaan (A) linjaan.
5. Manuaalinen sulkuventtiili toimii paineenrajoitusventtiilin tapaan, mutta on käsikäyttöinen. Sulkuventtiilillä saadaan järjestelmä paineettomaksi tarvittaessa.
6. Painemittari näyttää järjestelmän neste paineen tason (sallittu maksimi 200 baaria)
7. Paineakku pitää järjestelmän painetta yllä kun laite on irti painelähteestä.
8. Sekvenssiventtiili vaiheistaa sylinterien toimintaa. Venttiili aukeaa vasta kun paine linjassa nousee asetetulle tasolle, ja sulkeutuu taas paineen laskiessa.
9. Ensimmäinen vaihe, jakotukki jossa liitännät kolmelle sylinterille.
10. Toinen vaihe, kaksi jakotukkia, joissa molemmissa liitännät kahdelle sylinterille.
11. Kolmas vaihe, jakotukki, jossa liitännät neljälle sylinterille.

Kiinnittimen käyttö:

Robotin ohjaimesta -> MENU-nappi -> I/O-valikko -> DIGITAL-valikko.

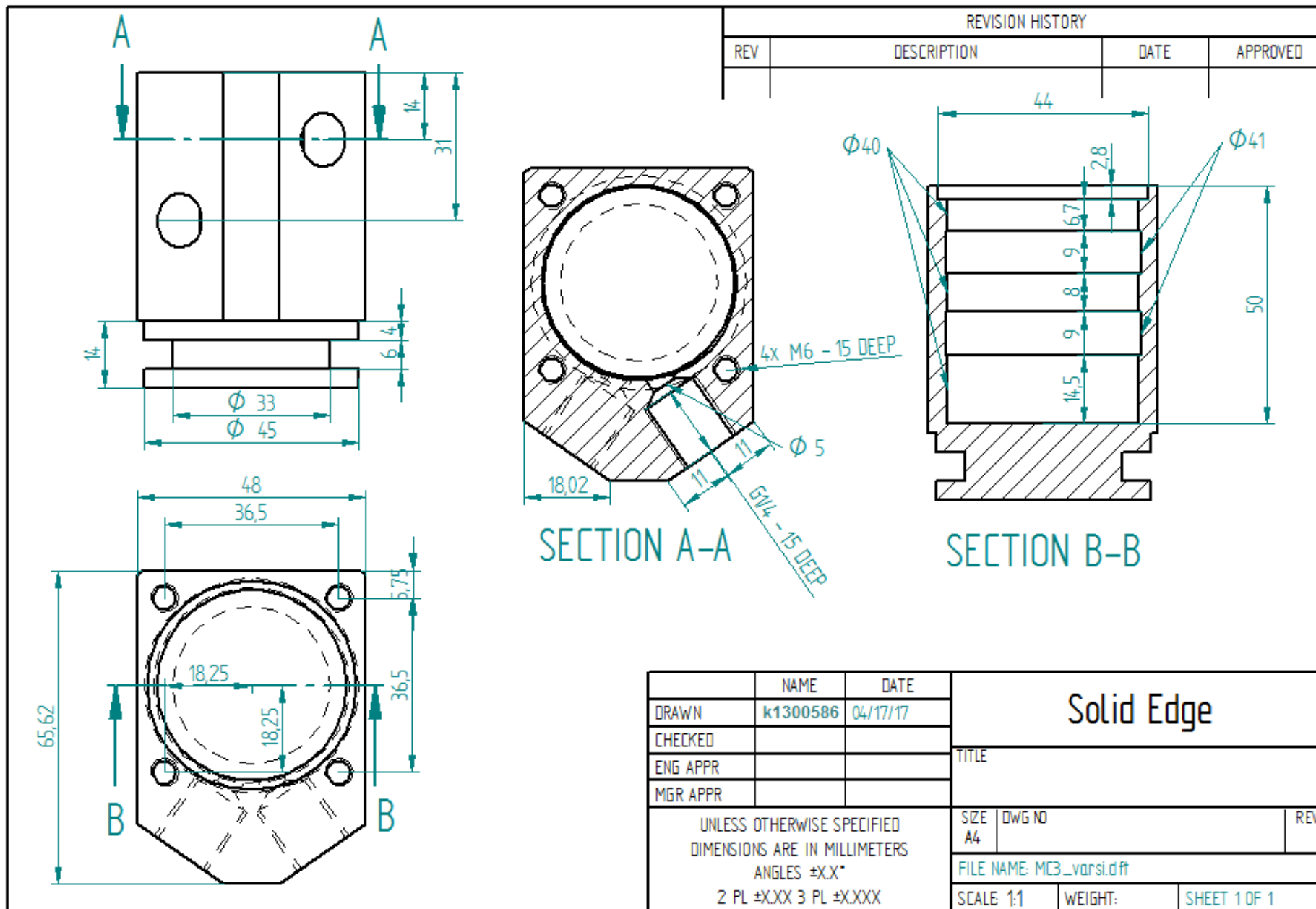
DIGITAL-valikossa: DO [83] laittaa sylinterit kiinni (P-linja), DO [84] avaa sylinterit (A-linja).





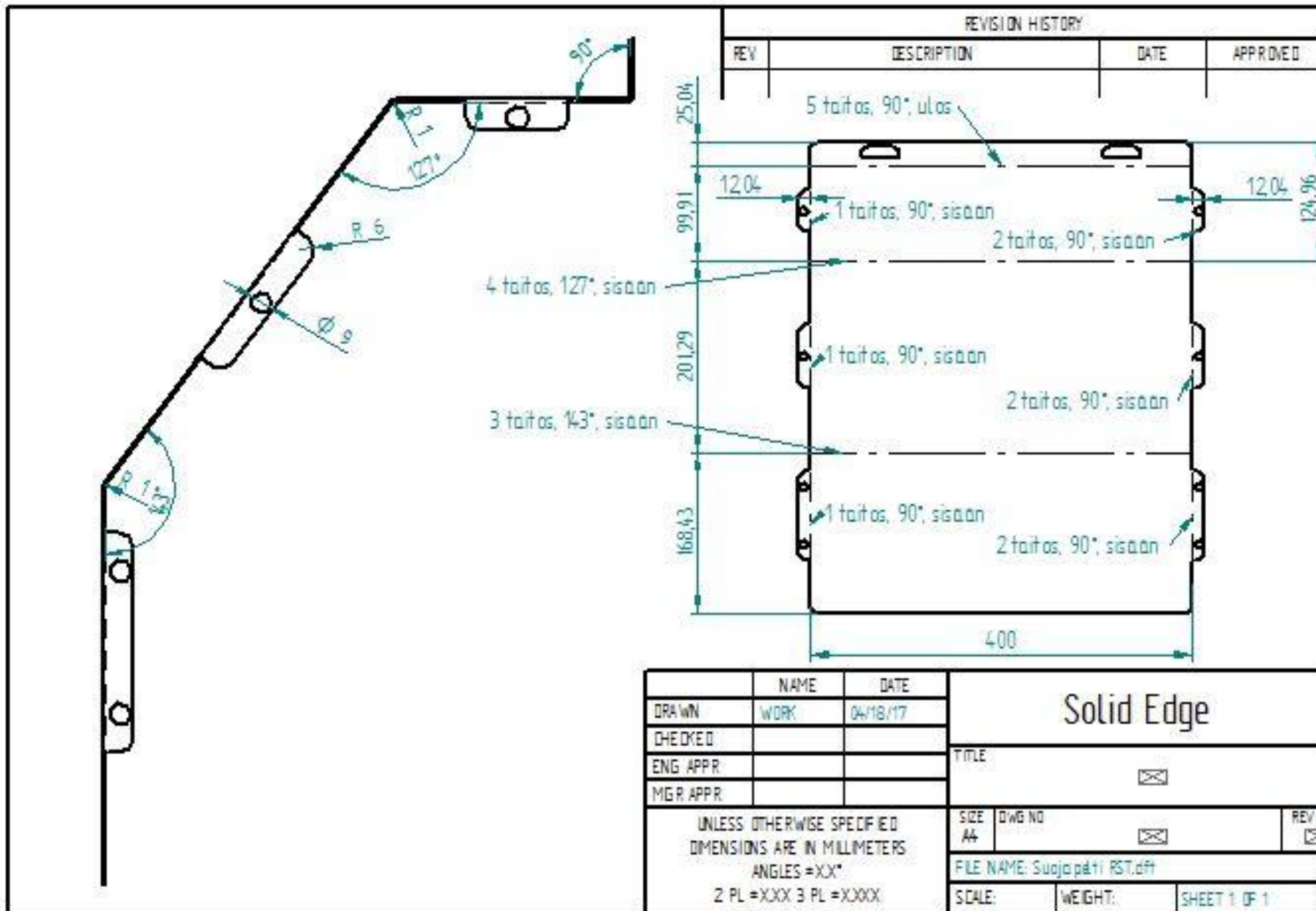
REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED

	NAME	DATE	Solid Edge		
DRAWN	k1300586	04/17/17			
CHECKED			TITLE		
ENG APPR					
MGR APPR					
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES $\pm X.X^\circ$ 2 PL $\pm X.XX$ 3 PL $\pm X.XXX$			SIZE A4	DWG NO	REV
			FILE NAME: MC3_levy ja koonpanokuva.dft		
			SCALE 1:1	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1



REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED

	NAME	DATE	Solid Edge	
DRAWN	k1300586	04/17/17		
CHECKED			TITLE	
ENG APPR				
MGR APPR				
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±X.X° 2 PL ±X.XX 3 PL ±X.XXX			SIZE A4	DWG NO
			FILE NAME: MC3_varsi.dft	REV
			SCALE 1:1	WEIGHT:
			SHEET 1 OF 1	



REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
	5 taitos, 90°, ulos		

	NAME	DATE
DRAWN	WORK	04/18/17
CHECKED		
ENG APPR		
MGR APPR		

Solid Edge

TITLE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
ANGLES =XX°
2 PL =XXX 3 PL =XXXX

SIZE A4 DWG NO. REV

FILE NAME: Suojapelti RST.dft

SCALE: WEIGHT: SHEET 1 OF 1

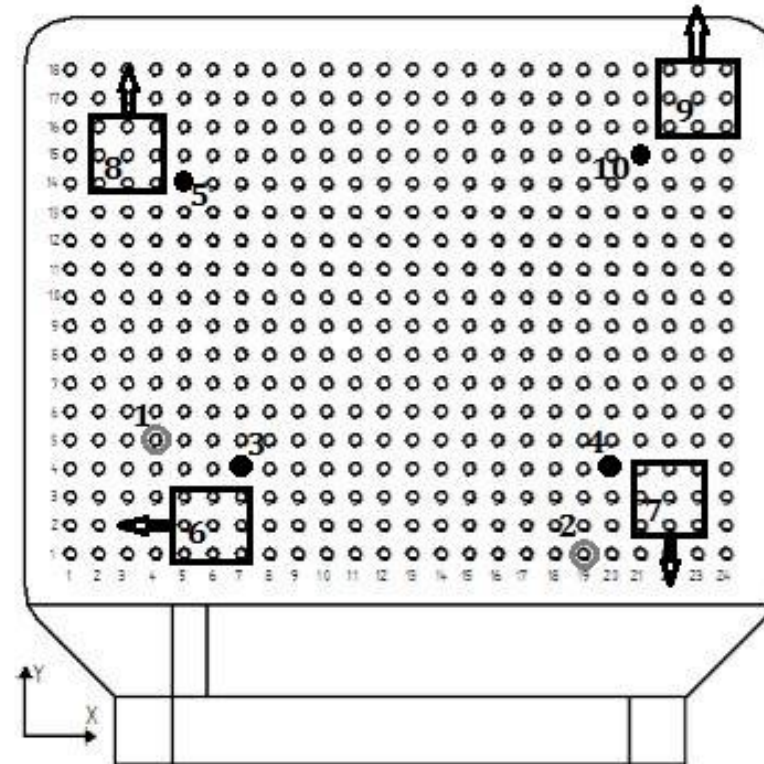


WORK ID: Iso kiekko DATE: 27.4.2017 KK

WORK COORDINATES

G5 X G5 X
 Y Y
 Z Z
 B B

TOOL NUM	TOOL	INFO
		Nuolet osoittavat letkujen suunnat (6-9)



ITEM NUM	ITEM	POS. X	POS. Y	INFO
1	40 lieriö vaste	4	5	pituus 70mm
2	"	19	1	"
3	sileä 6-kanta vaste	7	4	pituus 40mm
4	"	20	4	"
5	"	5	14	"
6	swing clamp	5-7	1-3	vaihe1
7	"	21-23	2-4	vaihe3
8	"	2-4	14-16	vaihe2
9	"	22-24	16-18	"
10	säädettävä vaste	21	15	