

Hitsausrobotointityöaseman suunnittelu ja riskikartoitus

Hannu Takamaa

Opinnäytetyö
Marraskuu 2016
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Konetekniikka

Tekijä(t) Takamaa, Hannu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2016
	Sivumäärä 77	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Hitsausrobotintyöaseman suunnittelu ja riskikartoitus		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Jorma Matilainen, Matti Siistonen		
Toimeksiantaja(t) M-levy Oy, Jouni Puhakka		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa suunnitteluprojekti, jossa päämääränä oli suunnitella ja turvallisuuskartoittaa automatisoitu hitsausrobotti. Tähän tarkoitukseen käytettiin M-levy Oy:n omistamaa hitsausrobotia, joka ei täyttänyt tuotannossa tarvittuja kriteerejä.</p> <p>Työn toteutus noudatti suunnitteluprojektin vaiheita. Projekti jaettiin kahteen eri suunnitteluprosessiin, robotin suunnitteluun ja kahden eri jigin suunnitteluun, ja riskikartoitukseen. Tietolähteinä käytettiin valmiina olevien resurssien käyttöohjeita, SFS-standardeja ja työn suorittajan työkokemusta ohutlevyalalta. Itse suunnittelu toteutettiin Solid Works 3D-mallinusohjelmistolla.</p> <p>Lopputuloksi saatiin vielä tuotekehitystä vaativa automatisoitu hitsausrobottikokonaisuus, jonka tuotantoon saattaminen ei vaadi suuria muutoksia, ja kaksi hitsausjigiä tuotantoa varten.</p>		
Avainsanat (asiasanat) M-levy Oy, hitsausrobotti, suunnitteluprojekti		
Muut tiedot Liitteinä projektin työpiirustukset, 28 sivua		

Author(s) Takamaa, Hannu	Type of publication Bachelor's thesis	Date November 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 77	Permission for web publication: x
Title of publication Designing and risk assessment of a welding robot workstation		
Degree programme		
Supervisor(s) Matilainen, Jorma; Siistonen, Matti		
Assigned by M-levy Oy, Jouni Puhakka		
Abstract <p>The goal of the thesis was to carry out a design project, in which the aim was to design and risk assess an automated welding robot. For this purpose, a welding robot owned by M-levy Oy, which did not fulfill the criteria of efficient processing, was used.</p> <p>The progression of the work followed the flow a design project. The project was divided into two design processes; the design of the robot and the design of two welding templates, and the risk assessment. Work manuals of the ready resources, SFS-standards and the work experience of the executor of the work was used as the knowledge base. The designs themselves were made with Solid Works 3D-modelin program.</p> <p>As a result, an automated welding robot assembly with the need of some additional product development and two welding templates were created.</p>		
Keywords/tags (subjects) M-levy Oy, welding robot, design project		
Miscellaneous Project drawings as annexes, 28 pages		

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Suunnitteluprojekti	4
	2.1 Projektin määrittely.....	6
	2.2 Projektin suunnittelu.....	6
	2.3 Projektin toimeenpano.....	7
	2.4 Projektin päättäminen.....	8
3	Suunnitteluprosessi	8
	3.1 Tehtävänasettelun selvitys.....	9
	3.2 Luonnostelu.....	9
	3.3 Kehittely.....	9
	3.4 Viimeistely	10
4	Koneturvallisuus ja standardit	10
	4.1 Standardi SFS-EN ISO 12100.....	11
	4.2 Standardi ISO 10218-2.....	12
5	Käytetyt laitteet	12
	5.1 Universal Robots UR10 Robotti.....	12
	5.2 Hitsauslaitteisto.....	15
	5.2.1 Fastmig Pulse 450.....	15
	5.2.2 KempCool 10.....	16
	5.2.3 DT400 Wire Feeder.....	16
	5.3 Pneumaattinen kääntäjä	17
	5.4 Automaattinen langankatkaisin	19
6	Projektin suunnittelu	19
7	Suunnitteluprojektin toteutus	20
	7.1 Automatisoidun hitsausrobotin suunnittelu	20
	7.1.1 Selvitys	20
	7.1.2 Luonnostelu	21

	2
7.1.3 Kehittely.....	24
7.1.4 Viimeistely	26
7.2 Hitsausjigien suunnittelu.....	28
7.2.1 Selvitys	29
7.2.2 Luonnostelu	29
7.2.3 Kehittely.....	32
7.2.4 Viimeistely	33
7.3 Riskianalyysi.....	34
7.3.1 Vaarojen tunnistaminen	34
7.3.2 Riskien suuruuden arviointi.....	35
7.3.3 Riskien merkityksen arviointi.....	36
7.3.4 Riskin pienentäminen	38
7.3.5 Riskien suuruuden uudelleenarviointi.....	40
7.3.6 Tulokset	42
8 Projektin päättäminen.....	42
9 Pohdinta.....	43
Lähteet	44
Liitteet.....	46

Kuviot

Kuvio 1. UR10 robotti (Universal Robots)	13
Kuvio 2. FastMig Pulse 450 ja KempCool 10 (Tuoteluettelo 2013, 20).....	16
Kuvio 3. DT400 Wire Feeder (KempArc Pulse TCS, 4)	17
Kuvio 4. DA-2000 langankatkaisin (Products)	19
Kuvio 5. Kokoonpanon asettelu	22
Kuvio 6. Pneumaattinen kääntäjä ja langankatkaisin	23
Kuvio 7. Pneumatiikkakytkentöjen sijoitus	24
Kuvio 8. Valoverhon sijoitus	28
Kuvio 9. Hitsausjigin asettelu	30
Kuvio 10. Hitsattavan kappaleen asettelu.....	30
Kuvio 11. Pohjalevyn taipuma FEM-analyysissa	31

Taulukot

Taulukko 1. Riskikartoitus taulukoituna	37
Taulukko 2. Riskianalyysin uudelleenarviointi taulukkona	41

1 Johdanto

Opinnäytetyön aihe sai alkunsa M-levy Oy:n tarpeesta saada toimiva ratkaisu jo hankitun hitsausrobotin tehottomalle tuotannolle. M-levy Oy oli hankkinut valmiina toimitetun hitsausrobotin vuonna 2015, mutta robotin kehittäminen tuotannon jatkeeksi ei ollut sujunut odotusten mukaisesti; robotti rajoittui pelkkien yksinkertaisten yksittäisten kappaleiden hitsaamiseen ilman toimivaa automatisointia ja lopulta robotin käytöstä luovuttiin täysin toteutuksessa tapahtuneiden teknisten ongelmien ja laatuongelmien takia.

Yhdessä M-levy Oy:n, JAMK:n ja Hannu Takamaan kanssa luotiin suunnitelma robotin täysautomatisoinnista ja sen saattamisesta työturvalliseksi. Tekniset ongelmat oli tarkoitus karsia ja robotti oli tarkoitus valjastaa sarjatuotantoon mahdollisimman pian. Robottia lähdettiin rakentamaan valmiilta pohjalta suunnitteluprojektina, joka samalla toimisi Hannu Takamaan opinnäytetyönä. Suunnittelun lisäksi toteutus oli tarkoitus suorittaa M-levy Oy:n toimesta saatujen tulosten pohjalta.

Suunnitteluprojektin tarkempana tarkoituksena oli kiinnittää robottiin jo kytketyn hitsauslaitteiston ja jalustan lisäksi kappaleen vaihdon hitsauksen aikana mahdollistava pneumaattinen kääntäjä ja suunnitella samalla tämän päälle kaksi kappaletta toimivia hitsausjigettä, joilla tuotanto voitaisiin aloittaa.

Käytössä oli sekä M-levy Oy:n resurssit sekä oppilaille Jyväskylän ammattikorkeakoulusta annetut opiskelijalisenssit, joilla suunnittelu- ja toteutusprosessi olisi mahdollista toteuttaa. Tehtävä vaati myös suuren määrän omatoimisuutta riskianalyysin osilta ja ulkopuolista apua haettiin koneturvallisuuden asiantuntijoista. Aikarajaa projektin toteutukselle ei varsinaisesti muodostettu, sillä robotti oli jo poistettu tuotannosta sen ongelmien johdosta ja korvattu hitsaajilla, mutta tuotannon tehostamisen kannalta oli tärkeää saada tämä resurssi käyttöön.

2 Suunnitteluprojekti

”Lyhyesti määriteltynä projekti on joukko ihmisiä ja muita resursseja, jotka on tilapäisesti koottu yhteen suorittamaan tiettyä tehtävää (Ruuska 2008, 19).”

Laajemmin määriteltynä projektille löytyy ominaisia piirteitä. Sen lisäksi, että projektilla tulee olla kiinteä budjetti ja aikataulu, on sillä oltava selkeä tavoite. Kun tavoite saavutetaan, projekti päättyy. Projekti ei myöskään ole jatkuvaa toimintaa ja sille täytyy määritellä etukäteen määritelty päätepiste. Tämä voidaan normaalisti johtaa tavoitteista. Projekti on rajattu itsenäinen kokonaisuus, ja vastuu on keskitetty yhteen pisteeseen. Tästäkin huolimatta projektin suorittaminen edellyttää ryhmätyötä. Projekti koostuu erillisistä vaiheista ja projektin edetessä varmuudella ei tiedetä mitä seuraavassa vaiheessa tapahtuu. Projekti kokee useita muutoksia elinkaarensa aikana, ja muutokset saattavat muuttaa projektin luonnetta ja tavoitteenasettelua. Projektilla omaista on, että se koostuu lukemattomista määrästä muuttujia, joilla on loogisia riippuvuuksia. Osa tehtävistä hoidetaan sisäisenä tai ulkoisena alihankintana, ja niiden määrä on suoraan verrannollinen projektin kokoon. Projekti on aina asiakaslähtöistä, joka asettaa projektille vaatimuksia ja reunaehjoja ja näin ollen rajaavat sen toimintaa. Riskit kuuluvat projektityön luonteeseen ja niiden määrä riippuu siitä, miten projekti viedään läpi. Projekti on aina ainutkertainen ja sitä ei voi toistaa. (Mts. 19-20.)

Tuotekehitysprojektien ideat syntyvät usein suoraan markkinoiden tarpeesta ja tuotekehitysprojektin lopputuloksena on sarjavalmistukseen soveltuva tuote. Projektin päätyttyä alkaa tuotteen valmistus ja myynti. Tuotekehitysprojektin tavoitteen määrittely on vaikeaa ja sen täsmentyminen ja mahdollinen muuttuminen projektin aikana on mahdollista. Tämän takia tuotekehitysprojekti vaiheistetaan ja vaiheiden välillä pidetään suunnittelukatselmukset, joissa tehdään jatkopäätökset. Tuotekehitysprojektin erityispiirteinä ovat suuri riski, aika-arvioiden vaikeus ja luova työtapo. (Pelin 2011, 33.)

Onnistuneen tuotekehitysprojektin ominaisuuksia ovat tuotteen valmistettavuus ja että tuote voidaan myydä voitollisesti. Tuotteen täytyy olla laadullisesti hyvä ja vastata asiakkaan tarpeita. Tuotteen valmistuskustannukset määrittelevät tuotteesta saadun voiton ja näin ollen ovat tärkeässä osassa. Lyhyt kehitykseen kulunut aika tarkoittaa nopeaa markkinoille tuloa ja näin ollen projektiin kulutetut varat palautuvat nopeammin. Kehityskustannukset muodostavat suuren osan investoinnista, ja nämä näyttelevät suurta osaa tuotteen voiton tavoittelussa. Onnistunut tuotekehitysprojekti myös tuo kokemusta suorittaneille tahoille ja

mahdollistaa tehokkaamman ja taloudellisesti kannattavamman projektitoiminnan tulevaisuudessa. (Eppinger & Ulrich 2012, 2-3.)

Projektin elinkaari koostuu tietyistä perusvaiheista, jotka voidaan nimetä tavoitteiden määrittelyksi, projektin suunnitteluksi, projektin toimeenpanoksi ja projektin päättä-miseksi (Virtanen 2000, 73). Näiden jaksotettujen vaiheiden käyttö takaa, että projekti seuraa järkevää prosessia ja helpottaa projektin seuranta ja raportointia. Vaikka jokaiselle vaiheelle on määritelty suoritettavat tehtävät, se ei tarkoita että vaiheet ovat yksittäisiä tapauksia vaan niihin voidaan palata useasti projektin edetessä. (Young 2006, 34.)

2.1 Projektin määrittely

Määrittelyvaiheessa projektille analysoidaan tarve sen toteuttamiseksi. Tämän vaiheen tuloksena projektista tulisi olla tiedossa päämäärä, mitä tehdään ja kenelle sekä mitä on kädessä kun projekti on valmis. (Virtanen 2000, 74.)

Ennen projektin varsinaista aloittamista tulisi sille tehdä ns. esiselvitys. Tästä tulisi selvittää projektin teknis-taloudelliset edellytykset ja että projektin ennakoitu lopputulos tukee tavoitteita. Esiselvityksessä tutkitaan ainakin karkealla tasolla toiminnalliset ja teknilliset tavoitteet, keskeiset ongelma-alueet, tavoiteaikataulu, kustannusarvio ja resurssitarve, onnistumisedellytykset ja lopputulos. (Ruuska 2008, 35-36.)

2.2 Projektin suunnittelu

Suunnitteluvaiheen tarkoitus on muuttaa määrittelyvaiheen sisältö aikapohjaiseksi suunnitelmaksi tehtävistä asioista. Tällä tavoin on mahdollista tunnistaa tehtävät asiat, vähentää riskit ja epävarmuudet minimiin, asettaa standardi toiminnalle, luoda pohja työn tekemiselle, asettaa menetelmä tehokkaalle työn kontrolloinnille ja säävuttaa tarvittavat lopputulokset minimi ajassa. (Young 2006, 94-95.)

Projektisuunnitelma on tekstiosasta ja liitteistä koostuva dokumentti, josta tulisi löytyä seuraavat tiedot: projektin ja lopputuotteen kuvaus, projektiorganisaatio, projektin ajalliset ja taloudelliset tavoitteet, laadunvarmistus, projektin sidos- ja intressi-

ryhmien hallinta, tiedonvälitys ja projektin etenemisen seuranta, projektin päättymisen. (Ruuska 2008, 180-181.)

2.3 Projektin toimeenpano

Projektin sujuva eteneminen vaatii paljon huomiota. Tehtävien koordinoinnin työkalut, projektin etenemisen seuranta ja projektisuunnitelmasta poikkeaminen muodostavat kolme suurinta ongelmaa projektin johtamisessa. (Eppinger & Ulrich 2012, 394.)

Projektin koordinoinnissa ongelmat muodostuvat tiedonkulun puutteesta väistämättömien muutosten tapahtuessa projektisuunnitelmassa. Näiden vaikeuksien voittamiseksi on useita mekanismeja. Vapaamuotoinen kommunikaatio ryhmän jäsenten välillä on tärkeää ja yksi hyödyllisimmistä tavoista kommunikoida, kun ryhmän jäsenet ovat lähellä toisiaan. Viralliset tapaamiset ovat päämekanismi projektiryhmien tiedonkululle projekteissa ja niiden tiheys vaihtelee päivittäisistä tapaamisista viikoittaisiin. Tärkein tiedonseurantatapa on projektiaikataulun seuranta.

Projektiaikataulun päivittäminen on hyvin tärkeää, kun halutaan seurata projektin etenemistä. Viikoittaiset muistiot ryhmän jäsenille projektin etenemisestä helpottavat tiedonkulkua. On myös mahdollista luoda erillisiä kannustimia ryhmille ja niiden jäsenille, jolloin pa-neutumisen projektiin on varmempaa ja motivaation nousee. Projektin etenemisen dokumentointi ja tulosten kirjaaminen ovat tärkeitä elementtejä projektin seuraamisessa. (Mts. 394-396.)

Projektin etenemisen seurantaan käytetään edellä mainittuja työkaluja. Myös katsaukset projektin etenemisestä ovat yleisiä tapoja seurata projektin etenemistä. Nämä katsaukset sijoittuvat yleensä jokaisen projektivaiheen loppuun. (Mts. 396.)

Kun projektissa huomataan poikkeama projektisuunnitelmasta, sen korjaamiseksi aloitetaan toimenpiteitä. Melkein aina nämä poikkeamat ilmenevät aikataulusta lipsumisena ja korjaavat toimenpiteet yrittävät korjata mahdollisia viivästyksiä projektissa. Muutamia mahdollisia korjaustoimenpiteitä ovat projektiryhmän resurssien lisääminen, projektiryhmän resurssien ohjaaminen kriittisiin tehtäviin, ulkopuolisten resurssien hankkiminen ja projektin laajuuden tai aikataulun muuttaminen. (Mts. 396-398.)

2.4 Projektin päättäminen

Projektilla on selvä alkamis- ja päättymisajankohta. Kun projektisuunnitelmassa määritellyt tehtävät on suoritettu ja kun tilaaja on hyväksynyt projektin lopputulokset, lopputuote luovutetaan tilaajalle, ja edellytykset projektin päättämiseksi ovat täyttyneet. (Ruuska 2008, 265.) Tuloksen valmistuttua Projektista laaditaan loppuraportti ja projektin lopettamista esitetään johtoryhmälle. Johtoryhmä voi päättää projektin ja purkaa projektiorganisaation. (Pelin 2011, 346.)

3 Suunnitteluprosessi

”Koneensuunnittelu on systemaattista ja älykästä määrittelyjen luomista ja arviointia esineille, joiden muoto ja toiminto saavuttavat mainitut tavoitteet ja tyydyttävät määritellyt rajoitukset (Dym & Little 2004, 6).”

Suunnittelu on luovaa toimintaa. Muodon ja toiminnon välinen suhde on tärkeä luovan toiminnan kannalta. Jos ymmärrämme kaikki tarvittavat toiminnot voimme luoda muodon, joka toteuttaa kaikki nämä toiminnot. (Mts. 6-7.)

On kiintopisteitä, joilla määrittelemme miten odotamme suunnitellun kohteen toimivan ja joilla arvioidaan prosessin etenemistä valmiiksi tuotteeksi. Näitä sanotaan suunnittelutavoitteiksi. Nämä syntyvät suunnittelijan soveltaessa asiakkaan tavoitteet suunniteltavaan kappaleeseen ja tunnistamalla tavat joilla ne ovat toteutettavissa, rajaamalla toiminnot niiden saavuttamiseksi ja tarkentamalla määritteet jotka tuotteen tulee täyttää. Suunnittelutavoitteet voivat olla arvoja tietyissä ominaisuuksissa, toimintatapoja, joilla piirteen suorituskykyä mitataan, tai suorituskyky, joka tuotteen pitää tavoittaa. (Mts. 7-8.)

Suunnitteluprosessin loppupäässä ovat valmistusmäärittelyt, joiden tulee olla selvät, yksiselitteiset, täydelliset ja ilmeiset. Niiden tulee mahdollistaa tuotteen täydellinen valmistus suunnitteluprosessiin ulkopuoliselta taholta, niin että tuote suoriutuu toivotulla tavalla ja toivotulla teholla. (Mts. 8.)

Suunnitteluprosessi voidaan karkeasti jakaa neljään vaiheeseen. Nämä vaiheet ovat tehtävän selvittely, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Jokaisen vaiheen jälkeen joko edetään seuraavaan vaiheeseen tai palataan aiempaan, mikäli vaiheen tulos on

epä-tydyttävä. Kehittelyn lopettaminen on myös mahdollista jokaisessa vaiheessa, jos kehittäminen ei osoittautu kannattavaksi. (Beitz & Pahl 1990, 47-48.)

3.1 Tehtävänasettelun selvitys

Tehtävänasettelun selvityksessä hankitaan informaatiota ratkaisulle asetetuista vaatimuksista ja pysyvistä yleisistä reunaehdoista ja niiden merkityksestä. Näistä laaditaan vaatimuslista, joka pidetään ajan tasalla. Vaatimuslista on pohjana luonnostelulle ja sitä seuraaville työaskelille. (Mts. 48.)

3.2 Luonnostelu

Luonnostelussa tehtävän selvittelyn jälkeen määritetään vaikutusrakenteeseen perustuva periaatteellinen ratkaisuperiaate. Ratkaisuperiaatetta voidaan esittää monella tavalla; kiinteitä rakenne-elementtejä käytettäessä riittävä voi olla toimintorakenteen lohkokaavio, kytkentäkaava tai kulkukaavio. Useissa tapauksissa vaikutusrakenteen arvostelu on mahdollista vasta, kun rakennelmalla on konkreettisemmat muodot. Nämä konkreettisemmat muodot edellyttävät tarkemman kuvan muodostamisesta tarvittavista työaineksista, alustavia peruspiirustuksia ja teknisten mahdollisuuksien huomioonottamista. (Mts. 48-49.)

3.3 Kehittäminen

Kehittäminen on se osa suunnittelua, jossa luonnostelusta saaduista tuloksista suunnitellaan teknisen tuotteen kokoonpanorakenne täydellisesti ja yksiselitteisesti teknisten ja taloudellisten näkökohtien mukaan. Kehittelyvaihe päättyy asianmukaisen läpikäymisen jälkeen teknistaloudelliseen arvosteluun. Näin ollen usein esiintyy tilanne, jossa arvostelun jälkeen jokin muunnos näyttää selvästi edullisimmalta, mutta sen parantaminen käyttämällä muiden, huonommilla vaikuttavien, osaratkaisujen ideoita on mahdollista. Näitä ratkaisuja yhdistelemällä ja heikkouksia poistamalla voidaan päästä lopulliseen ratkaisuun, ja tehdä päätös lopullisesta rakennemuotoilusta. (Mts. 49.)

3.4 Viimeistely

Viimeistelyssä täydennetään teknisen rakennelman kokoonpanorakennetta lopullisilla muodoilla ja kaikkien yksittäisten osien mitoitus ja pinnanlaatua koskevilla mää- räyksillä. Työainekset määritellään ja valmistusmahdollisuudet ja lopulliset kustan- nukset tarkistetaan. Samalla luodaan sitovat työpiirustukset ja muut asiakirjat suunni- tellun tuotteen valmistusta varten. (Mts. 50.)

Viimeistelyvaiheessa yksityiskohdilla on suuri merkitys. Tämä johtaa usein aiempien työvaiheiden uudestaan läpikäyntiin ja virheiden korjaamiseen, mutta tässä tapauk- sessa lähinnä rakenneryhmien ja yksityiskohtien vuoksi enemmän kuin kokonaisrat- kaisun takia. (Mts. 50.)

Korostuvat painoalueet ovat periaatteen optimointi, rakennemuotoilun optimointi ja valmistuksen optimointi ja ne ovat vuorovaikutuksessa toisiinsa. (Mts. 50.)

4 Koneturvallisuus ja standardit

Koneiden turvallisuutta koskevat säädökset koostuvat keskeisesti seuraavista osista; konelaista; oikealta nimeltään laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukai- suudesta, työturvallisuuslaista ja konedirektiivistä. Näiden lisäksi koneiden teknistä turvallisuutta koskevat direktiivit pienjännitedirektiivi, sähkömagneettista yhteenso- pivuutta koskeva direktiivi ja räjähdysvaaraa koskevat ATEX-direktiivit. Konedirektiivi koskee vuoden 1994 jälkeen hankittuja koneita, ja sen veloitteet on suunnattu lä- hinnä koneiden valmistajille. Työturvallisuuslaki ja käyttöasetus velvoittavat työnan- tajan varmistamaan hankittavan koneen olevan konedirektiivin vaatimuksen mukai- nen. Konedirektiivin liite 1 sisältää terveys- ja turvallisuusvaatimuksia, jossa määritel- lään mm. koneensuunnittelun tähtääminen turvallisuuteen, jolloin suojuksia ja turva- laitteita ei tarvita, ohjausjärjestelmien toteuttaminen, mekaanisten vaaratekijöiden torjunta sekä muista vaatimuksista, jotka koskevat esim. sähköstä, melusta, säteilystä ja muiden vaaratekijöiden torjuntaa. (Siirilä 2008, 26-37.)

EU:n direktiiveissä esitetään vain yleiset vaatimukset, joita täsmennetään eurooppa- laisissa standardeissa. Standardit eivät muodollisesti ole pakollisia, mutta käytän- nössä niitä on lähes aina noudatettava. Yhdenmukaistetun standardin mukaisesti

tehdyn koneen katsotaan täyttävän standardin kattamilta osin myös koneturvallisuusasetuksen liitteen 1 mukaiset vaatimukset. Kun standardi on vahvistettu EN-standardiksi, EU:n komission koneturvallisuusasiantuntijat arvioivat standardin kelpaamisen yhdenmukaistetuksi, jonka ehtona on, että standardin mukainen turvallisuustaso on vähintään sama kuin konedirektiivin liitteen 1 mukainen taso. (Mts. 58.)

Konedirektiiviä täsmentävät standardit koostuvat A-, B- ja C-tyyppin standardeista, jotka muodostavat kolmitasoisen järjestelmän, jossa ylimmällä tasolla on kaksi yleistä A-tyyppin standardia, jotka on tarkoitettu ohjeiksi alemman tason standardien tekijöille. B-tyyppin standardit koskevat useimpia koneita ja käsittelevät yleisesti mm. erilaisia turvalaitteita ja koneiden turvallisuusominaisuuksia. C-tyyppin standardit koskevat tiettyä konetta tai koneryhmää, kuten robotti, kuljetin, epäkeskopuristin tai sorvi. C-tyyppin standardin lisäksi tarvitaan aina myös A- ja B-tyyppin standardeja, koska C-tyyppin standardeissa ei käsitellä kaikkia vaaratekijöitä. (Mts. 58-61.)

4.1 Standardi SFS-EN ISO 12100

Standardi SFS-EN ISO 12100 on A-tyyppin standardi, jonka ensisijainen tarkoitus on esittää suunnittelijoille yleiset puitteet sekä ohjeet päätöksentekoon koneita kehitettäessä. Standardin käyttö antaa mahdollisuuden suunnitella koneita, jotka ovat turvallisia niiden tarkoitettuun käytössä (SFS-EN ISO 12100:2010, 12). Standardi määrittelee riskin arvioinnin ja riskin pienentämisen periaatteet, jotta aikaansaataisiin turvallisia koneita suunnittelussa. Standardissa käsitellään menettelytavat vaarojen tunnistamisen, riskin suuruuden ja merkityksen arvioimisen koneen elinkaaren asiaankuuluvien vaiheiden aikana ja tavat vaarojen poistamiseksi tai riskin riittäväksi pienentämiseksi. Standardissa opastetaan myös asiakirjojen laadintaan ja riskin arvioinnin sekä riskin pienentämisprosessin todentamiseen. (Mts. 14.)

Riskin arviointia ja riskin pienentämistä tehdessä suunnittelijan on tehtävä seuraavaksi kuvatut toimenpiteet esitetyssä järjestyksessä; koneen raja-arvojen määrittely, johon sisältyy tarkoitettu käyttö sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö, vaarojen tunnistus ja niihin liittyvät vaaratilanteet, riskin suuruuden arviointi ja päätökset riskin pienentämisen tarpeesta, riskin merkityksen arviointi ja päätös riskin

pienentämisen tarpeesta, vaaran poistaminen tai vaaraan liittyvän riskin pienentämisen suojaustoimenpiteiden avulla. Ensimmäiset neljä toimenpidettä liittyvät riskin arviointiin ja viimeinen riskin pienentämiseen. (Mts. 30.)

Nämä loogisesti etenevät vaiheet mahdollistavat järjestelmällisen koneisiin liittyvät riskien analysoinnin ja niiden merkityksen arvioinnin. Riskin arviointia seuraa riskin pienentäminen tarvittaessa niin, että vaaroja poistetaan mahdollisuuksien rajoissa, ja että riskejä pienennetään riittävästi suojaustoimenpiteitä toteuttamalla. Tämän prosessin toistaminen saattaa olla tarpeellista. Perusoletus on, että kyseiset vaarat aiheuttavat vahingon ennemmin tai myöhemmin, jos mitään suojaustoimenpiteitä ei toteuteta. (Mts. 30.)

4.2 Standardi ISO 10218-2

ISO 10218-2 standardi on luotu täydentämään standardia 10218-1, joka käsittelee ainoastaan robotin turvamääräyksiä. Standardissa ISO 10218-2 käsitellään vaaroja, jotka esiintyvät teollisuusrobottisysteemeissä, jotka ovat asennettu teollisuusrobottisoluihin ja –linjoihin. ISO 10218-2 on C-tyyppin standardi, joka käsittelee teollisuusrobotin integroinnille, asennukselle ja käytölle ominaisia vaaroja. (SFS-EN ISO 10218-2:2011, 11.)

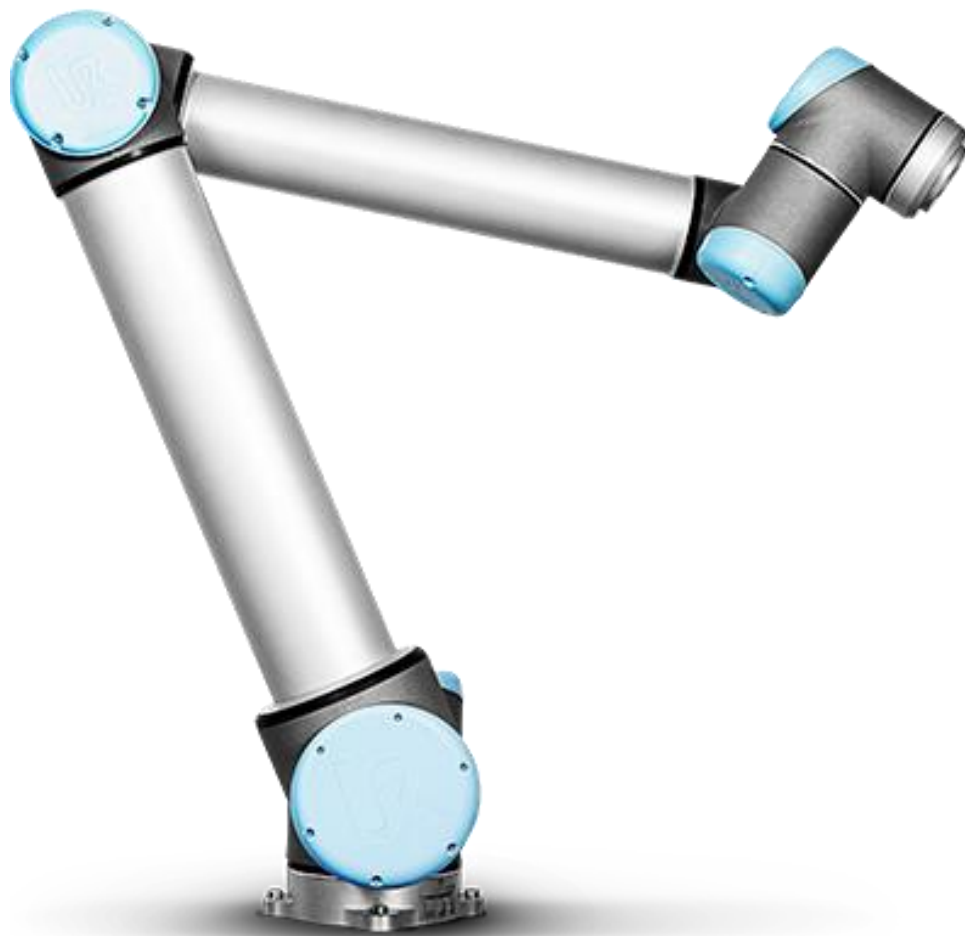
Standardissa kuvataan olennaisimmat vaarat ja vaaratilanteet näissä systeemeissä ja tarjoaa edellytykset niiden poistamiselle tai riittäväälle pienentämiselle. Standardia voidaan käyttää yhdessä muiden standardien kanssa, joissa käsitellään eri prosesseissa syntyviä vaaroja, kuten lasersäteily, lentävät lastut tai hitsaussavu. (Mts. 13.)

5 Käytetyt laitteet

5.1 Universal Robots UR10 Robotti

Universal Robots on tanskalainen yritys, joka on perustettu vuonna 2005. Yritys on keskittynyt valmistamaan kolmea eri robottimallia UR3, UR5 ja UR10, joista UR10 on suurin. Yritys mainostaa robottiensa olevan helppoja ohjelmoida, nopeita käyttöönottaa ja asettaa yhteistoimintaan, turvallisia sekä tarjoavat nopeimman takaisinmaksujan robottiteollisuudessa. (Universal Robots.)

Kuviossa 1 nähtävä UR10 ei ole pelkästään yrityksen suurin robotti vaan tarjoaa myös eniten nostovoimaa. UR10 robotilla pystytään automatisoimaan prosesseja, joissa vaadittava nostovoima on maksimissaan 10 kg. Robotin ulottuvuus on 1300 mm ja on yrityksen mukaan erityisen sopiva toimintoihin joissa eri toiminta-alueet ovat kauempana toisistaan. UR10 soveltuu pakkaamiseen, kuormalavojen täyttöön, ruiskuvalamiseen, laboratorioanalyysiin, ruuvien ruuvaamiseen, kiillottamiseen, liimaamiseen, annosteluun sekä hitsaamiseen. (UR10 Brochure. 5-6.)



Kuvio 1. UR10 robotti (Universal Robots)

Robotti koostuu kuudesta pyörivästä nivelestä, joiden kaikkien työsäde on 360 astetta. Näistä kahden alimman työnopeudet ovat 120°/s ja muiden 180°/s. Robotin liikkeiden toistettavuus on +/- 0,1 mm. Robotin kokonaispaino on 28,9 kg ja jalusta vaatii 190 mm halkaisijaltaan olevan alueen. (UR10 Technical Specification.)

Robotin fyysinen kontrollikeskus on 475 mm x 423 mm x 268 mm kokoinen teräksestä valmistettu laatikko. Laatikko sisältää robotin keskusyksikön sekä liittimet. Keskusyksikkö sisältää 16 digitaalista sisääntuloa, 16 digitaalista ulostuloa, 2 analogista sisääntuloa sekä 2 analogista ulostuloa. Näiden lisäksi työkalun liitin sisältää 2 digitaalista sisääntuloa, 2 digitaalista ulostuloa sekä 2 analogista sisääntuloa. Keskusyksikön I/O-porteille on 24 voltin 2 ampeerin virtalähde ja työkalulla sijaitseville 12/24 voltin 600 milliampeerin virtalähde. Keskusyksikkö on liitetty robottiin 6 metrin johdolla. (Mts.)

Robotin käyttökonsolina toimii 12” siirrettävä kosketusnäyttö, joka on kiinni keskusyksikössä 4,5 metrin johdolla. Robotin mukana toimitetaan seinään asennettava kiinnike, johon käyttökonsoli on mahdollista asettaa. (Mts.)

Robotti on seuraavien koneturvallisuusstandardien mukainen, mikäli käyttöohjeissa annettuja ohjeita on noudatettu:

- ISO 13849-1:2006 [PLd]
- ISO 13849-2:2012
- EN ISO 13849-1:2008 (E) [PLd – 2006/42/EC]
- EN ISO 13849-2:2012 (E) (2006/42/EC)
- ISO 13850:2006 [Stop category 1]
- EN ISO 13850:2008 (E) [Stop category 1 - 2006/42/EC]
- ISO 12100:2010
- EN ISO 12100:2010 (E) [2006/42/EC]
- ISO 10218-1:2011
- EN ISO 10218-1:2011(E) [2006/42/EC]

(UR10 User Manual, 71-72.)

Tämä ei kuitenkaan koske kokonaista järjestelmää, johon robotti liitetään, vaan järjestelmälle täytyy tehdä oma riskianalyysi. Valmistaja suosittelee, että riskianalyyssissä käytetään standardeja ISO 12100 ja ISO 10218-2 ja riskianalyyssissä käsitellään kolme skenaariota; robotin opettaminen, kun järjestelmää kehitetään, ongelmatilanteet ja huolto sekä robotin normaali käyttö. (Mts. 19.)

Robotti toimitettiin M-levy Oy:lle teräksestä koneistetun pöytälevyn kanssa, joka oli asetettu alumiiniprofiilien päälle. Pöytälevyn pituus oli 1300 mm, leveys 1000 mm ja korkeus jalkojen kanssa 647 mm. Robotti oli sijoitettu pöydän kulmaan niin, että etäi-

syys nurkasta pöydän pituussuunnassa oli 320 mm ja leveysuunnassa 310 mm. Pöytälevyytyn oli myös koneistettu useita reikiä, joiden edellisestä käyttötarkoituksesta ei ollut tietoa.

5.2 Hitsauslaitteisto

Robotin mukana toimitettu hitsauslaitteisto koostuu kolmesta osasta; Kemppi Fastmig Pulse 450- virtalähteestä, Kemppi KempCool 10 jäähdytysjärjestelmästä ja Kemppi DT400 langansyöttölaitteesta.

Näistä Fastmig Pulse 450 ja KempCool 10 on sijoitettu nelipyöräisen kuljetuskärryn päälle ja DT400 Wire Feeder- langansyöttölaite toimii erillisenä kokoonpanona, jolloin sen sijoittaminen haluttuun paikkaan on helppoa.

5.2.1 Fastmig Pulse 450

Kuviossa 2 nähtävä Fastmig Pulse 450 on MIG/MAG ja puikkohitsaukseen sopiva virtalähde, jonka modulaarinen rakenne mahdollistaa laitteen käyttämisen monissa kohteissa. Fastmig Pulse 450:n toimintoihin kuuluvat mm. hitsaustehon ja valokaaren pituuden säätö, lukittavat muistikanaavat, turvaeristys, induktanssin säätö, kaasutesti, langanajo, 2T/4T-toimintatilat, kuuma-aloitus, kraaterintäyttö sekä puikko- ja MatchLog-toiminnot. (Tuoteluettelo 2013, 21.)

Fastmig Pulse:n on saatavilla useita ohjelmistopaketteja, joista Work Pack on vakio- materiaalipaketti. Hitsausohjelmat ovat tarkoitettu teräkselle, ruostumattomalle teräkselle sekä lankahalkaisijoille 1,0 mm ja 1,2 mm. (Mts. 21.)

Fastmig:n liitäntäjännite on 400 volttia ja liitäntäteho 22,1 kVA:a. Kuormitettavuudeltaan Fastmig on, nimensä mukaisesti, 450 ampeeria. MIG-hitsauksen jännitealue on 8-50V ja Fastmig:llä saavutetaan 88 % hyötysuhde. (Mts. 22.)

Ulkomitoiltaan Fastmig on 590 mm pitkä, 230 mm leveä ja 430 mm korkea, ja painoa laitteella on 36 kg. (Mts. 22.)



Kuvio 2. FastMig Pulse 450 ja KempCool 10 (Tuoteluettelo 2013, 20)

5.2.2 KempCool 10

KempCool 10 on jäähdytyslaitte, joka voidaan yhdistää Kempin hitsauslaitteiden kanssa. Kuviossa 2 KempCool 10 sijaitsee laitteiston alaosassa. KempCool 10:n jäähdytysteho on 1 KW, ja se sisältää 3 litran säiliön, jossa käytetään jäähdytysnesteinä 20-40 %:sta monopropyleeniglykolia veden kanssa sekoitettuna. Ulkomitoiltaan KempCool 10 on 570 mm pitkä, 230 mm leveä ja 280 mm korkea, ja painaa 11 kg. (KempCool 10.)

5.2.3 DT400 Wire Feeder

DT400 Wire Feeder, joka nähdään kuviossa 3, on 4-pyöräisellä langansyöttömekanismilla ja täysmetallisilla syöttöpyörillä varusteltu, oikeanpuoleinen langansyöttölaite automatisoituun hitsaukseen. Se on mahdollista kiinnittää robotin käsivarteen tai integroida muuhun mekaaniseen hitsausjärjestelmään (KempArc Pulse TCS, 4). Wire Feeder:n lisäainelangan koot Fe-umpilangalle voivat olla välillä 0,6-1,6 mm (mts. 7).



Kuvio 3. DT400 Wire Feeder (KempArc Pulse TCS, 4)

5.3 Pneumaattinen kääntäjä

Laitteistossa käytettävä pneumaattinen kääntäjä on vanha hyvin yksinkertainen koneistuskäytössä ollut paineilmasylinterillä toimiva laite. Kääntäjän pohja sekä kansi, joka on pyöreä laatta, on koneistettu tasaiseksi ja kääntäjän kiinnitys alapuolelta tapahtuu kahdella M16 ruuvilla niille tehdyistä lovista ja yläpuolelta kahdeksalla M5 ruuvilla ja paikoitetaan kahdella 10 mm tapilla. Alapuolella sijaitsevat 16 mm lovet ovat sijoitettu vastakkaisille puolille pyörittäjän keskikohtaa ja painesylinterin suuntaisesti. Näiden reikäväli on 282 mm. Yläpuolen 10 mm tappien sijoitus on samanlainen, ja niiden väli on 80 mm. M5 kierteiden sijoitus näyttää sattumanvaraiselta ja tar-kan mitoituksen saaminen vaatii lisätarkastelua.

Kääntäjään kytketty paineilmasylinteri on sisähalkaisijaltaan 60 mm ja sijaitsee 55 mm pyörittäjän keskiöstä sivussa. Sylinterin iskun pituus on 130 mm.

Kääntäjässä on kaksi paineilmaliihtää, joista toinen antaa paineen paineilmasylinterille ja toinen lukitsee pöydän tiettyyn asentoon. Kun paineilma katkaistaan lukitsevaan liitääntään, työntää paineilmasylinteri toispuoleista hammaspyörästä kääntäen pöytää, kunnes lukitusliitääntään palautetaan paine tai sylinteri osuu mekaaniseen päätykappaleeseen, jolloin sylinteri palaa lähtöasetelmaansa. Näin ollen pöytä lukituu paikalleen sylinterin palatessa. Kääntöpöydän liike on maksimissaan 90° tai mikä tahansa sen alle 22,5 asteen välein. Tämä on säädettävissä joko päätykappaleen paikkaa siirtämällä tai säätämällä aikaa, jolloin toisen liitännän paine on suljettuna.

Pneumaattiselle kääntäjälle saadaan laskettua teoreettinen maksimimomentti käyttämällä kaavoja

$$M = Fr \quad (1)$$

missä M = momentti

F = voima

r = pyörimisakselin ja voiman vaikutuspisteen välinen etäisyys voiman normaalin suunnassa

$$F = pA \quad (2)$$

missä F = voima

p = paine

A = pinta-ala, jolle paine kohdistuu

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

missä A = pinta-ala

D = ympyrän halkaisija

Kaavoista 1-3 saadaan johtamalla:

$$M = p \frac{\pi D^2}{4} r, \quad (4)$$

jossa M on laskettava teoreettinen maksimimomentti, p on järjestelmässä oleva paine, joka tässä tapauksessa on kompressorin antama 7 baria eli 700000 Pascalia, D on sylinterin halkaisija ja r on sylinterin etäisyys pyörittäjän keskiöstä. Kun nämä sijoitetaan kaavaan, saadaan tulokseksi:

$$M = 700000Pa * \frac{\pi(0,060m)^2}{4} * 0,055m \approx 108,86Nm \quad (5)$$

5.4 Automaattinen langankatkaisin

Robotin yhteyteen liitettävä automaattinen langankatkaisin on saksimallinen, paineilmasylinterillä toimiva leikkuri, joka aktivoidaan mekaanisella vivulla. Kuviossa 4 nähdään yleiskuva langankatkaisijasta. Toiminta tapahtuu niin, että robotti ajaa hitsauskolvin oikeaan asemaan, syöttäen lankaa hieman ulos. Tämän jälkeen robotti suorittaa sivuttaisliikkeen aktivointivipua kohden, jolloin leikkuri leikkaa langan. Langankatkaisin on saksalaisen j.thielmann GmbH:n valmistama DA-2000 ja toimii 6 barin paineella (Products).



Kuvio 4. DA-2000 langankatkaisin (Products)

6 Projektin suunnittelu

Projektin tarkoitus oli siis tehdä suunnittelutyönä automatisoitu hitsausrobotti pneumaattisella kääntöpöydällä sekä automaattisella langankatkaisulla. Projektissa suunniteltaisiin myös kaksi hitsausjigiiä ja laitekokonaisuus riskikartoitettaisiin ja valmistettaisiin työturvalliseksi, jotta se olisi valmis tuotantoon.

Projekti päätettiin suorittaa työn ohessa Hannu Takamaan toimesta, jolloin aikataulun tulisi olla ilmava, mutta kuitenkin niin, että ehdoton takaraja olisi Marraskuu 2016. Suunnitteluprojekti suoritettaisiin Solid Works 3D-mallinnusohjelmistolla ja työturvallisuuden teoriapohja etsittäisiin SFS-standardeista. Projekti tehtäisiin yhteistyössä VSA-Service Oy:n kanssa ja M-levy Oy:stä löytyvien koneistuksen sekä hitsauksen ammattilaisten kanssa.

Projektin seurannasta vastaisivat Jyväskylän Ammattikorkeakoulun Jorma Matilainen sekä M-levy Oy:n toimitusjohtaja Jouni Puhakka, joista jälkimmäisellä olisi lopullinen

päättäen projektin sisältöön. Laaduntarkkailua ei erillisesti muodostettu vaan projektin vastaava konsultoi VSA-Service Oy:ä sekä M-levy Oy:n ammattilaisia sitä vaativissa tilanteissa.

Projektin käytössä olisi M-levy Oy:n sisäiset resurssit, jolla käsitettiin raaka-aineet ja koneaika. Muut välttämättömät hankinnat ja alihankinnassa teetetävät työt hyväksytettäisiin Jouni Puhakalla.

7 Suunnitteluprojektin toteutus

7.1 Automatisoidun hitsausrobotin suunnittelu

7.1.1 Selvitys

Hitsausrobotin ollessa kiinteästi kiinnitettynä koneistettuun pöytään, suunnittelun tavoitteena oli kiinnittää pneumaattinen kääntäjä kiinteästi ja luotettavasti kyseiseen pöytään. Pöydässä olevia valmiita rei'ityksiä oli mahdollista käyttää hyväksi, mikäli niiden mitoitus saataisiin riittävän tarkasti määritettyä. Kääntäjän sijoitus tulisi olla käyttäjän ergonomisesti käytettävissä, mutta kuitenkin robotin toiminta-alueella. Pneumaattisen kääntäjän tasomaisuus pöytään ja näin ollen robotin jalustaan tulisi olla 0,1 mm luokkaa, jolloin jigien tarkkuus olisi riittävä.

Pneumaattisen kääntäjän pneumaattiset kytkennät tulisi sijoittaa niin, että kytkentöjen väliset vedot olisivat mahdollisimman lyhyet ja noudattaisivat työturvallisuusstandardeja. Pneumaattisen laitteiston tulisi myös keskustella hitsausrobotin 24 voltin I/O-porttien kanssa, jotta laitteiston ohjaaminen robotin käyttöliittymästä olisi mahdollista. Suunnittelussa tulisi ottaa myös huomioon työturvallisuuteen liittyvät pneumaattisia laitteistoja koskevat standardit.

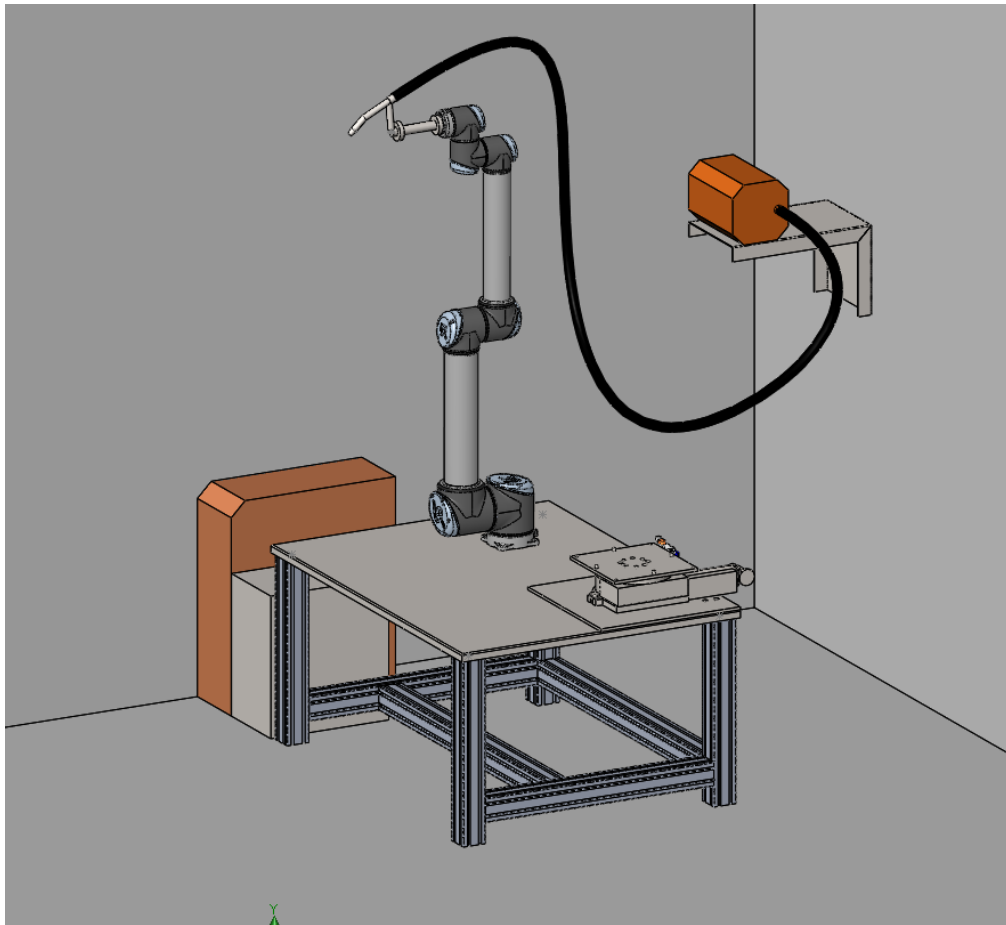
Hitsausrobotin modulaarisuus hitsausjigien osalta pakottaisivat suunnittelun muodostamaan kiinnityksistä mahdollisimman yksinkertaisia, mutta kuitenkin niin, että kiinnitykset kestäisivät pneumaattisen kääntäjän muodostavan momentin. Paikalle asetetun jigien tulisi olla paikoitettavissa 0,1 mm tarkkuudella.

Automaattisen langanleikkauslaitteen sijoituksen tulisi olla mahdollisimman lähellä jigien sijoitusta, jolloin robotin liike olisi mahdollisimman pieni jokaisen sytytyksen välillä.

7.1.2 Luonnostelu

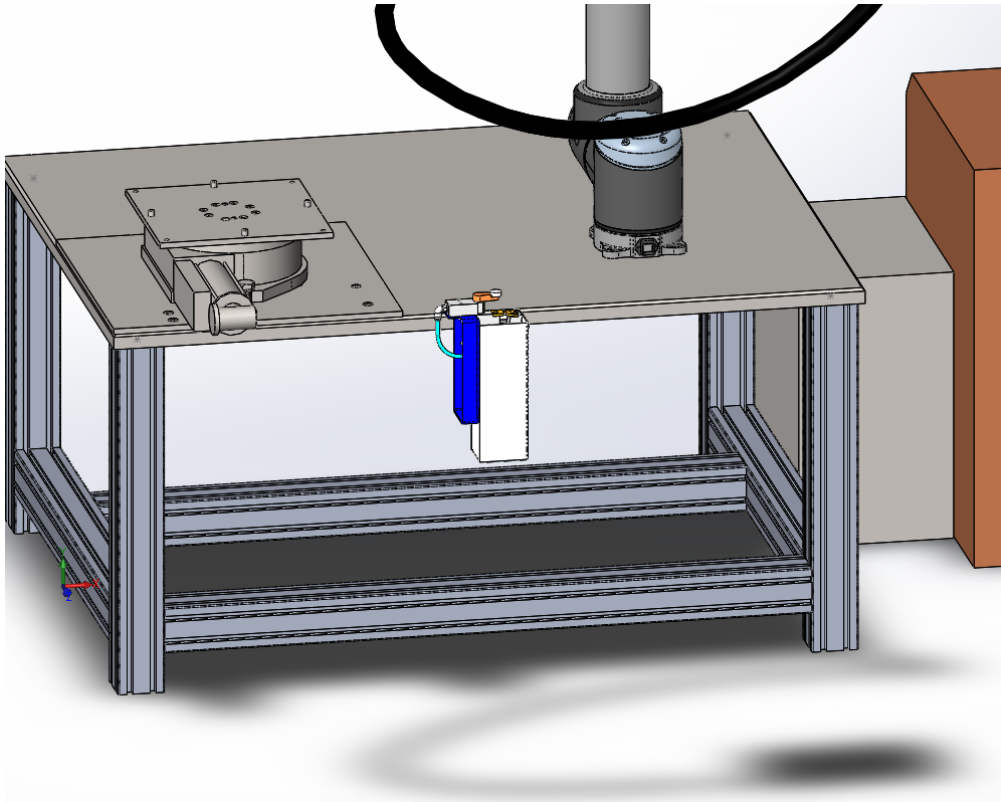
Robotin sijoituspaikaksi oli määritelty hitsaamon nurkkaosa, jolloin robotti olisi kahta seinää vasten. Sijoitussuunnaksi helpoimmaksi tilankäytöllisesti, käytön kannalta ja työturvallisuus huomioon ottaen olisi robotin pöydän asettaminen niin, että itse robotti olisi nurkkaa vasten. Pöytää ei asetettaisi täysin nurkkaan vaan tilaa jätettäisiin työturvallisuuden ja robotin muiden osien takia jonkin verran. Tarkat mitat selvisivät jigien maksimimittojen selvittyä.

Hitsauslaitteiston isoimmat osat ja robotin keskusyksikkö sijoitettiin seinän ja pöydän väliin niin, että pääsy niihin pöydän pituussuuntaiselta puolelta olisi esteetöntä. Käytökonsolin kiinnikkeiden sijoitus tulisi samalle seinäsivulle, jolloin käyttökonsolin johdon pituus riittäisi robotin ohjelmointiin. Langansyöttölaite päätettiin sijoittaa robotin yläpuolelle. Tällä tavoin ratkaistaisiin ongelmat langansyötössä, joihin törmättiin langansyötön kulkiessa robotin vartta pitkin. Kuviossa 5 nähdään 3D-malli suunnittelusta kokoonpanosta.



Kuvio 5. Kokoonpanon asettelu

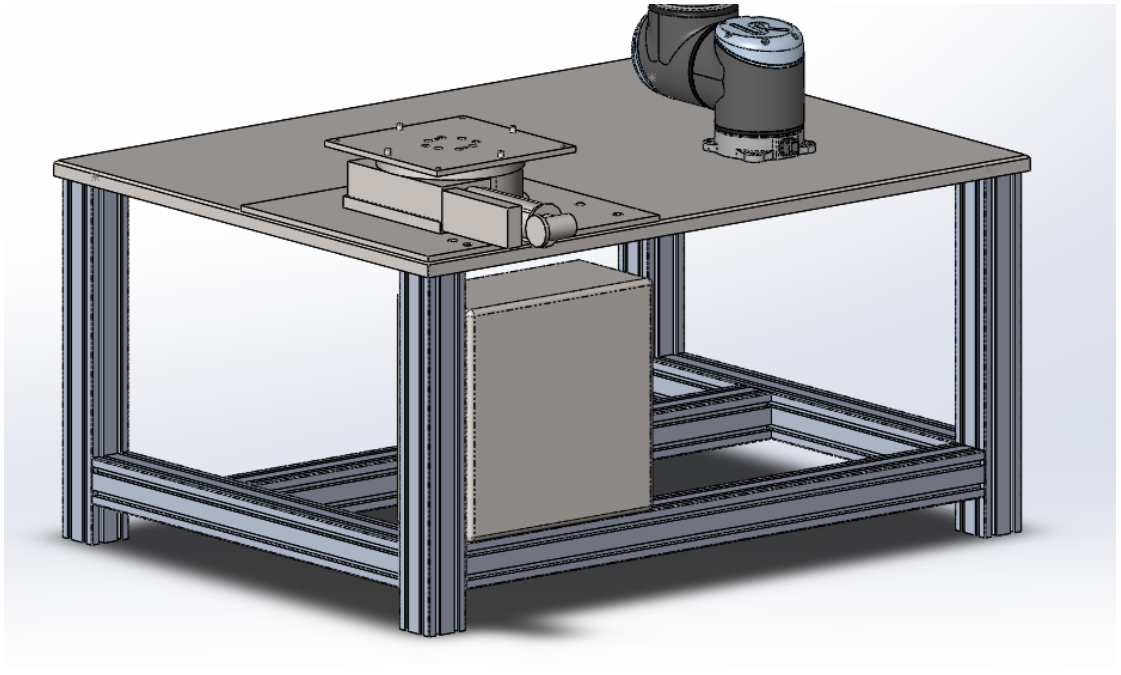
Luonnosteluvaiheessa pneumaattisen kääntäjä sijoitettiin pöytää pitkittäin katsoen robotin kanssa samalle puolelle, mutta leveyssuunnassa vastakkaiselle. Näin sijoitettuna kulku jigille olisi mahdollisimman hyvä, sekä robotin toiminta-alue saavuttaisi helposti jigien, mutta ei rasittaisi niveliä turhan tiukoilla liikkeillä. Langankatkaisijan sijoitus voitaisiin näin ollen asentaa pneumaattisen kääntäjän ja robotin väliin pöydän reunaan, jolloin se olisi lähellä jigia, mutta ei kuitenkaan tiellä. Kuviossa 6 kääntäjä sijaitsee vasemmalla ja langankatkaisin keskellä.



Kuvio 6. Pneumaattinen kääntäjä ja langankatkaisin

Pneumaattisen kääntäjän asento suunniteltiin niin, että pneumaattiset kytkennät jäisivät pöytää pituussuunnassa katsoen oikealle puolelle, jolloin ne eivät olisi kappaleen vaihdon edessä, eikä hitsausrobotin hitsauskolvin välittömässä läheisyydessä. Samalla kytkentöjen veto onnistuisi helposti, koska liitännät jäisivät pöydän ulkopuolelle.

Itse pneumatiikkaan tarvittavien laitteiden sijoituspaikaksi ajateltiin pöydän alapuoli, jossa osat olisivat suojassa hitsauksessa syntyviltä vaaroilta, mutta kuitenkin helposti tavoitettavissa. Kuviossa 7 nähdään pneumatiikkakytkennöille tarkoitettu laatikko pöydän alapuolella.



Kuvio 7. Pneumatiikkakytkentöjen sijoitus

Pneumaattisen kääntäjän kiinnitykselle luonnosteltiin koneistettua aluslevyä, joka kiinnitettäisiin pöytään valmiina olevista rei'istä ja pneumaattinen kääntäjä kiinnitettäisiin aluslevyyn kahdella M16 ruuvilla, joille kääntäjässä oli hahlot.

Jigien kiinnitystä varten hahmoteltiin koneistettua, neliön muotoista levyä. Levy kiinnitettäisiin pneumaattiseen kääntäjään M5 ruuveilla ja paikoitusta varten hyödynnettäisiin kääntäjässä olevia kahta 10 mm reikää, joihin asetettaisiin tapit. Jigien paikoitus hoidettaisiin myös 10 mm tapeilla, ja kiinnitystä varten levyyn tehtäisiin M8 ruuveille reiät.

7.1.3 Kehittely

3D-mallien tekeminen aloitettiin valmiina olevien osien mallinnuksesta. Robotista ja langankatkaisulaitteesta saatiin valmiit step-mallit valmistajalta, mutta pöydästä, pneumaattisesta pyörittäjästä, hitsauslaitteistosta ja robotin muista osista ne jouduttiin muodostamaan itse.

Hitsauslaitteistosta ja robotin osista muodostettiin yksinkertaistetut 3D-mallit, joiden tarkoituksena oli ainoastaan tilankäytön tarkastaminen ja ne eivät vaikuttaneet itse tarkempaan suunnitteluprosessiin. Pneumaattisen kääntäjän sekä pöydän mallinnuksessa käytettiin enemmän aikaa, jotta aikaan saatiin tarkat mitat ja kaikkien reikien ja lovien paikat saatiin muiden osien valmistusta varten mahdollisimman tarkoiksi.

Aluslevyn suunnittelu aloitettiin valitsemalla materiaaliksi 10 mm paksu neliön muotoinen teräslevy, joka sijoitettiin sille tarkoitettuun paikkaan. Levy olisi näin ollen riittävän paksu M16 ruuvien kiinnitykselle. Levyn sijoituksen jälkeen sijoitettiin pöydästä löytyvien kierrereikiä vastaavat reiät koneistettavaan aluslevyyn, jotka olivat senkattuja ja väljällä sovituksella. Aluslevy paikoittuisi automaattisesti paikoilleen ja pinta jäisi tasaiseksi. Pneumaattisen pyörittäjän kiinnitystä varten sijoitettiin kaksi M16 kierrereikää symmetrisesti levyn keskelle, ja pneumaattinen pyörittäjä levyn päälle. Pyörittäjän pohjassa sijaitseville kiilahahloille suunniteltiin 5mm syvät vastalovet pohjalevystä, joka ottaisi vastaan momentin aiheuttaman voiman.

Jigien paikoituslevyksi valittiin myös 10 mm paksu neliön muotoinen teräslevy. Neliö muoto helpottaisi, sekä robotin ohjelmoinnissa koordinaatistojen ja tasojen asettamista, että koneistamista. Levy paikoitettiin symmetrisesti pneumaattisen pyörittäjän 10 mm reikien ympärille. Näistä saatiin mitoitettua 5 mm kiinnitysreikien ja 10 mm tappien paikat levyyn. 5mm reiät määriteltiin upotetuiksi väljällä sovitteella, jolloin niihin sijoittuvat pultit osuvat varmasti paikoilleen ja levyn yläpinta jää tasaiseksi. 10 mm tappien rei'iksi valittiin ahdistussovite, jolloin ylimääräistä kiinnitystä ei tarvittaisi ja paikoitus olisi levyllä varma. Levyn nurkkiin asetettiin 4 kappaletta samanlaisella ahdistussovitteella olevia reikiä, joilla hitsausjigit paikoitettaisiin. Levyjen sivujen keskikohtiin asetettiin neljä kappaletta väljiä 8 mm reikiä joista hitsausjigit kiinnitettäisiin M8 ruuveilla.

Paikoitustappeina tulotisiin käyttämään vedetystä tangosta katkaistuja 20 mm pätkiä. Levyn paikoituksessa tapit upotettaisiin levyn tasalle, ja muuta kiinnitystä ei ahdistusovitteen takia tarvita. Jigien paikoitustappeina käytettäisiin samoja tappeja, mutta niin että ne tulisivat 10 mm levyn ylitse. Ahdistusovitteen varmistamiseksi tapit hitsattaisiin alapuolelta pienellä saumalla, kuitenkin niin, että niiden vaihto tarvittaessa olisi mahdollista pienellä vaivalla. Tappien kestävyys vielä varmistettiin laskemalla teoreettinen leikkausjännitys pneumaattisen kääntäjän teoreettisesta vääntömomentista. Teoreettinen leikkausvoima saatiin käyttämällä kaavaa

$$M = Fr, \quad (6)$$

joka tuli muotoon

$$F = \frac{M}{r}, \quad (7)$$

jossa F on saatu voima, M on edellä laskettu teoreettinen momentti ja r on tappien etäisyys kääntäjän keskikohdasta. Tulos jaettiin vielä kahdella, jotta saatiin yhteen tappiin kohdistuva leikkausvoima. Näin ollen saatiin:

$$F = \frac{108,86 \text{ Nm}}{0,04 \text{ m} \cdot 2} = 1360,75 \text{ N} \quad (8)$$

Leikkausjännitys laskettiin kaavalla

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (\text{Valtanen 2010, 465}), \quad (9)$$

jossa

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (10)$$

d :n ollessa tapin halkaisija 10 mm. Näihin sijoittamalla saatiin leikkausjännitys:

$$\tau = \frac{1360,75 \text{ N}}{\frac{\pi \cdot (0,01 \text{ m})^2}{4}} \approx 17300000 \text{ Pa} = 17,3 \text{ MPa} \quad (11)$$

Leikkausmyötölujuuden suhde normaalijännitykseen saadaan kaavasta:

$$\tau_m \approx 0,6 \sigma_m \quad (12)$$

missä τ_m = leikkausmyötöraja

σ_m = normaalijännityksen myötöraja

Käytetyn teräksen myötölujuuden ollessa 235 MPa, saadaan leikkausmyötörajaksi:

$$\tau_m \approx 0,6 \cdot 235 \text{ MPa} = 141 \text{ MPa} \quad (13)$$

Näin ollen tapin kestävyys riittää hyvin lasketulle teoreettiselle momentille.

7.1.4 Viimeistely

Viimeistely aloitettiin työpiirustusten tekemisellä valmistettavista osista. Näitä osia oli kaksi; aluslevy ja jigin paikoituslevy. Molemmat osat olivat koneistettavia osia ja niiden aihoiden leikkaus suoritettaisiin M-levy Oy:ssä, joten piirustuksiin merkittiin leikattavien aihoiden koko. Koneistettavien osien aihioihin jätettiin muutama millimetri koneistettavaa materiaalia, jotta tarvittava tarkkuus tasomaisuuteen savutettaisiin. Näin olleen aihoiden materiaaliksi muodostui 15 mm paksu S355JRG teräslevy, jota M-levy Oy:llä oli varastotuotteena ja jonka leikkaus laserilla onnistuisi.

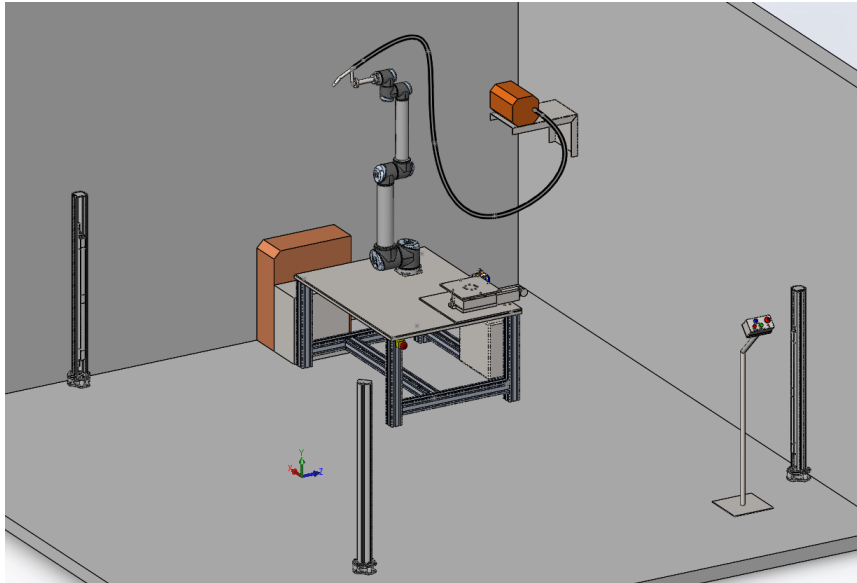
Koneistettavien työpiirustuksiin mitoitus rei'ille suoritettiin juoksevana mitoituksena nollapisteestä, jona toimi vasen alakulma. Tämä helpottaisi kappaleiden koneistusta. Pinnanlaaduksi tulisi riittämään Ra 6,3, koska vastassa olisi valmiiksi pinnanlaadutaan parempia osia. Työpiirustuksiin merkittiin laserilla leikattavien aihoiden koot sekä materiaalin paksuudet ja itse materiaali.

Kokoonpanoihin lisättiin standardien mukaiset ruuvit ja mutterit, jotka saatiin Solid Worksin omasta kirjastosta. Kokoonpanoille luotiin räjäytyskuvat, jolloin kokoonpanojen hahmottaminen olisi helpompaa.

Kokoonpanokuville ei luotu erillistä osaluetteloa, vaan osaluettelot sisällytettiin osakokoonpanoihin ja kokoonpanoihin. Koska kappaleiden kokoonpano suoritettaisiin M-levy Oy:ssä, oli helpointa suunnitella kokoonpanot valmistusjärjestyksessä ja jakaa eri työpisteillä suoritettaviin kokoonpanotehtäviin, jolloin suuret materiaalitulokset erillisissä lapuissa toisivat vain lisää paperityötä sekä sekoittaisivat tuotantoa.

Riskikartoituksessa ja itse jigien suunnittelussa muodostuneet mitat ja riskiratkaisut otettiin huomioon suunnittelun viimeistelyvaiheessa. Riskikartoituksessa selvisi valopuomin tarve laitteistossa, ja oikean tyyppisen valopuomin sijoittamisen suhteen olttiin yhteydessä SKS Automaatio Oy:n. He tekivät tarjouksen kolmisäteisestä valoverhosta, joka koostui MLD500-T3L lähettimestä, MLD510-R3L vastaanottimesta ja UMC-1300 peilipylvästä. Kyseinen kokoonpano vaatisi myös MSI-SR4B-02 turvareleen ja kiinnityspylväät lähettimelle ja vastaanottimelle.

Valoverho sijoitettiin niin, että lähetin asetettiin käyttökonsolin läheisyyteen seinään kiinni ja vastaanotin hitsausjigin viereiseen seinään kiinni. Peilipylväs asetettiin näiden säteitä ohjaamaan 45 asteen kulmaan sekä lähettimestä että vastaanottimesta suoraan seinästä poispäin. Valoverhojen sijainti koneeseen nähden saatiin laskettua standardista SFS-EN ISO 13 855 löytyvien kaavojen ja tietojen avulla. Kuvio 8 havainnollistaa valoverhon asettelua hitsausrobottiin nähden.



Kuvio 8. Valoverhon sijoitus

Valoverhon vähimmäisetäisyys Pneumaattisen kääntäjän reunasta oli laskettavissa kaavalla

$$S = (K * T) + C , \quad (12)$$

jossa S on vähimmäisetäisyys millimetreinä, K on kehon liikenopeustiedoista saatava muuttuja millimetreinä sekunnissa, T on järjestelmän kokonaispysähtymisaika ja C on lähestymisetäisyys millimetreissä (SFS-EN ISO 13 855, 26). Tässä tapauksessa K on kävelyvauhti eli 1600 mm/s (Siirilä 2008, 149). Järjestelmän kokonaispysähtymisaikaa T oli vaikea tietää ilman empiirisiä testejä, joten se arvioitiin maksimiarvoonsa 0,5 sekuntiin. Arvo C 1,1 m ulottuvalle valopuomille oli 1100 mm (Siirilä 2008, 150). Näistä pystyttiin laskemaan turvalliset etäisyydet pneumaattiseen kääntäjään:

$$S = (K * T) + C = \left(1600 \frac{\text{mm}}{\text{s}} * 0,5 \text{ s}\right) + 1100 \text{ mm} = 1900 \text{ mm} \quad (13)$$

7.2 Hitsausjigien suunnittelu

Suunnitteluprojektissa oli tarkoitus suunnitella kaksi hitsausjigiä asiakasyrityksen kahdelle eri tuotteelle, joiden sarjakoot ja toistuvuus olivat suuria, jolloin käsin hitsaamiseen verrattuna saataisiin suuria säästöjä. Molemmat kappaleet valmistettiin 6 mm 355JRG teräslevystä, ja molemmat kokoonpanot koostuivat kahdesta särmättävästä osasta, ja nämä osat liitettiin toisiinsa MAG-hitsauksella. Kappaleet olivat toisiinsa

nähdessä melko samanlaisia, mutta olivat kooltaan hieman erilaisia, pieniä eroja löytyi muodoissa ja kappaleet olivat käteisyydeltään vastakkaisia.

7.2.1 Selvitys

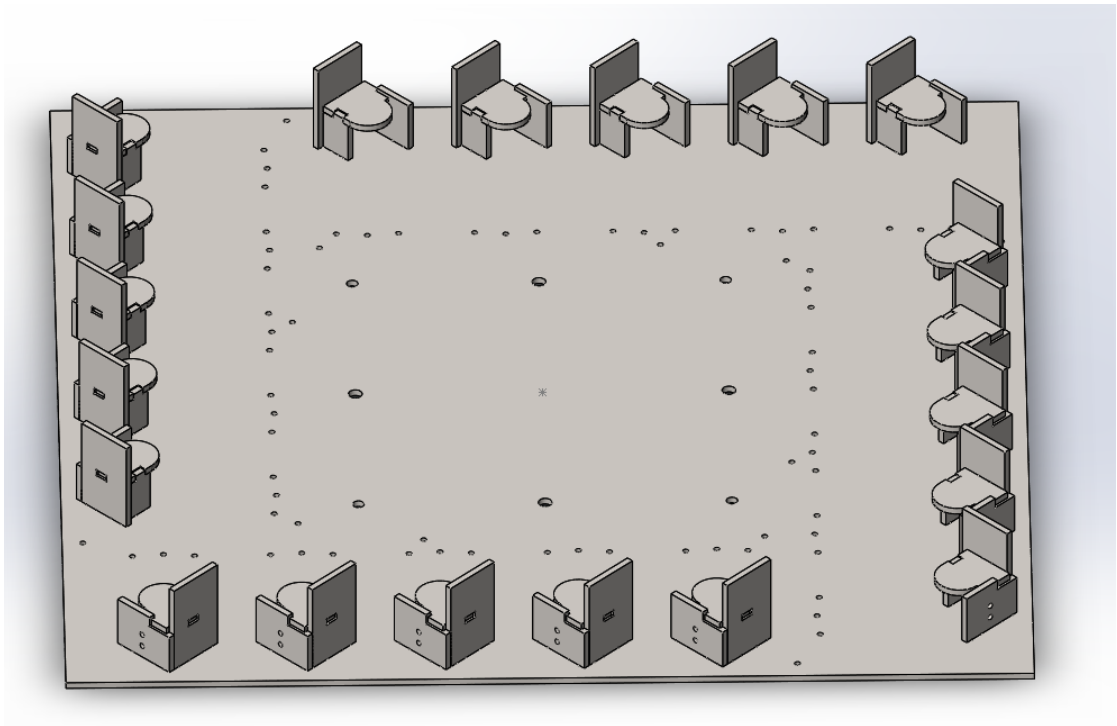
Hitsausjigin suunnittelussa oli tärkeää, että kappaleet sijoittuisivat toistuvasti robottiin nähden tarkasti samaan kohtaan, mutta kuitenkin niin, että kappaleiden vaihto jigiin, sekä osina, että valmiina hitsattuina kappaleina olisi mahdollisimman nopeaa. Jigin valmistus oli tarkoitus suorittaa mahdollisimman pitkälle M-levy Oy:ssä, jolloin valmistusmenetelmät rajattiin laserleikkaukseen, hitsaukseen, särmäykseen ja kokoonpanoon. Jos mahdollista, ainoastaan kiinnitystarvikkeet hankittaisiin ulkopuolelta. Suunnittelussa oli tärkeää huomioida jigin osien asettuminen tarkasti paikalleen ilman ulkoista mittaamista, mikä helpottaisi jigin kokoonpanoa ja parantaisi tarkkuutta. Suunnittelussa korostettiin yksinkertaisuutta ja valmistettavuutta, jolloin olemassa olevan jigin korvaaminen olisi tarvittaessa helppoa.

Luonnollisesti jigiin olisi sijoitettavissa useampi kappale, ja suunnittelussa tähdättiin viiden kappaleen hitsaukseen kerrallaan. Koska pneumaattinen kääntäjä käänsi 90 astetta, tämä tarkoitti 20 kappaleen asettamista jigiin, joista 5 olisi hitsattavana ja 5 olisi vaihdettavissa uusiin aihioihin.

Tärkeää suunnittelussa oli myös suunniteltavan hitsausjigin symmetrisyys, jolloin momentin tuottamat voimat eivät aiheuttaisi ylimääräistä rasitusta kiinnitykselle.

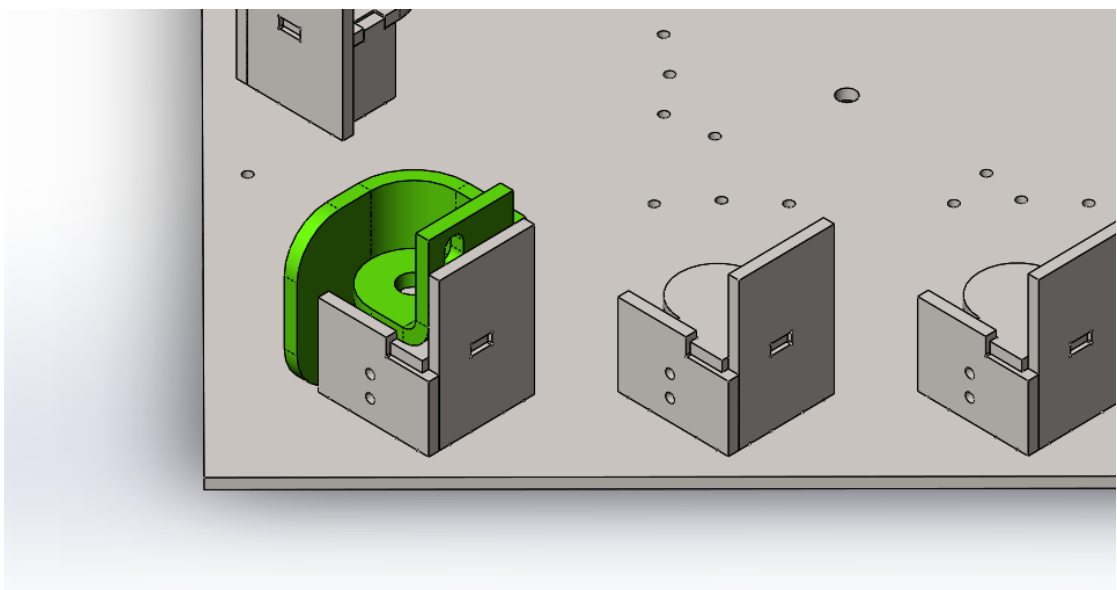
7.2.2 Luonnostelu

Luonnostelu aloitettiin neliön muotoisesta levystä, joka asetettiin pneumaattisen pyörittäjän päälle. Neliö muoto olisi helpoin tuottamaan tarvittavan tilan asetettaville kappaleille. Itse kappaleet määrittäisivät neliön koon. Kappaleiden välin ajateltiin olevan mahdollisimman pieni, jolloin robotin kulkema matka kappaleiden välillä olisi myös pieni. Kuviossa 9 nähdään jigin pohjalevy ja siihen asetellut jigin kiinteät osat. Viiden hitsattavan kappaleen asettelu suoritettiin neliön suoran sivun toiseen reunaan, jolloin tila saatiin mahdollisimman hyvin käytettyä ja kappaleiden kiinnitykselle saatiin tarvittavasti tilaa.



Kuvio 9. Hitsausjigin asettelu

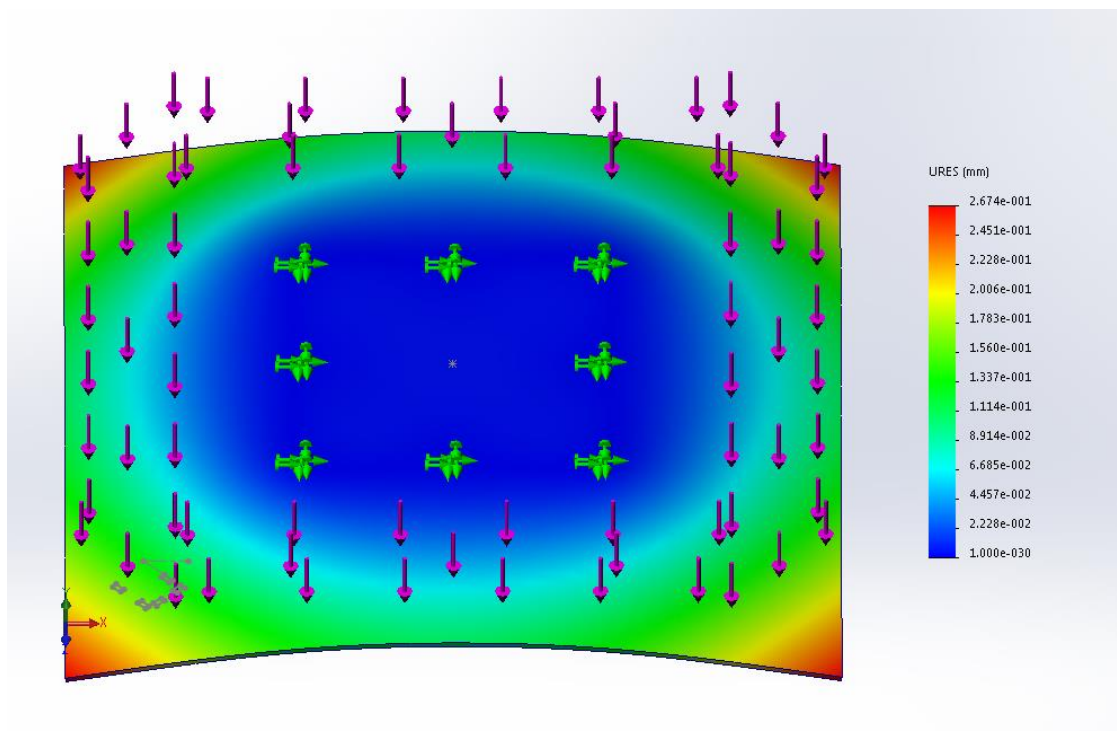
Kappaleiden asettelu suunniteltiin niin, että kiinnitykseen tarvittavat osat olisivat levyn reunoja vastaan, jolloin kappaleet eivät pääsisi karkaamaan pyöriytyksen aikana, ja kiinnitys olisi mahdollista tehdä levyn keskiosasta päin ja valmiiden kappaleiden irrotus tapahtuisi myös samaan suuntaan. Hitsattava kappale on esitetty virheällä kuviossa 10.



Kuvio 10. Hitsattavan kappaleen asettelu

Hitsattavien kappaleiden asettelussa tuli ottaa huomioon myös kappaleissa esiintyvien hitsauksien suunta. Kappaleet aseteltiin jigiin niin, että molemmissa kappaleissa hitsaus robotilla olisi mahdollista yhdellä pystysaumalla sekä yhdellä tasossa kulkevalla 90 asteen kulman tekevällä saumalla, jossa oli suuri säde. Tämä helpottaisi robotin ohjelmoimista ja parantaisi saumojen laatua muihin asentoihin verrattuna.

Materiaaliksi jigien paikoittaviin osiin valittiin 5 mm 355JRG levy. Levy olisi tarpeeksi vahvaa ollakseen taipumatta kappaleiden ja jigien osien painon alla, mutta kuitenkin laserleikkauksen tarkkuus läpi levyn olisi tasainen ja tarkka paikoitusta ajatellen. Levyn taipuma painon alla tarkistettiin vielä FEM-analyysillä, kun kappaleiden määrä ja jigien tarvittava materiaalin määrä oli tiedossa. FEM-analyysistä saadut tulokset nähdään kuvista 11. Kappaleiden sijoituksen kohdalla taipuma oli alle 0,2 mm, ja tämä ei muodostaisi ongelmia kappaleiden hitsauksessa.



Kuvio 11. Pohjalevyn taipuma FEM-analyysissä

Kappaleiden kiinnitys jigiin tapahtui niin, että ensin toinen osa aseteltiin paikalleen ja 1 mm jousiteräksestä valmistettu taipuisa ohutlevyosa kiristäisi sen paikalleen. Toinen osa asetettiin tämän osan taakse ja kaikki viisi kappaletta kiristettiin paikalleen takaa laskettavalla 3 mm teräslevyllä, jolloin jokaista ei tarvitsisi erikseen käydä läpi, vaan asetusaika olisi huomattavasti pienempi.

7.2.3 Kehittely

Jigien lopullinen mallintaminen aloitettiin pohjalevyjen kiinnitysreikien sijoittamisella. Aiemmin suunnitellut paikoitustappien paikat sekä kiinnityspulttien paikat sijoitettiin aluslevyn keskelle, jolloin aluslevy olisi symmetrinen. Paikoitustapeille piirrettiin tasaa 10 mm reiät, jotta ne istuisivat tarkasti paikalleen. Kiinnityspulttien rei'ille jätettiin hieman välystä, kuten pneumaattisen pyörittäjän levyssäkin, joten niiden halkaisijaksi muodostui 8,2 mm.

Kappaleiden paikoitusta varten luonnosteltujen osien mallinnus aloitettiin niiden muokkaamisella sellaisiksi, että ne asettuisivat paikalleen ilman mittaamista. Tämä toteutettiin suunnittelemalla kappaleisiin loveuksia ja ulokkeita, jolloin kokoonpano tapahtuisi hieman palapelimaisesti. Pohjalevyyn aseteltiin 5x10 mm suorakulmion muotoisia reikiä, johon pystyyn asetettavat jigien osat asettuisivat, niihin muodostetuilla 3x10 mm ulokkeilla. Nämä ulokkeet ovat levynpaksuutta pienempiä, jotta tulppahitsaaminen oli mahdollista jigien alapuolelta. Yksittäiseen vaakaosaan muodostettiin samanlaisia ulokkeita, joista osa tulppahitsattiin ja loppukokoonpano pienahitsattiin jigien sisäpuolelta, jolloin hitsaussaumamat eivät tulleet asetettavan kappaleen tielle.

Ensimmäisen kappaleen malli aseteltiin jigien sivun oikeaan reunaan ja tämän jälkeen reiät ja jigien osat monistettiin sivun suuntaisesti, jolloin kappaleita oli yhteensä viisi kappaletta sivulla tasaisin välimatkoin.

Kun kappaleiden paikoitus oli selvillä, suunniteltiin niiden kiinnitys. 1 mm jousiteräksestä suunniteltiin L:n muotoinen kappale, jonka kulma oli hieman alle 90 astetta. Kappaleen toiseen päähän suunniteltiin pieni vastakkaissuuntainen kantti, joka helpottaisi hitsattavien kappaleiden asettamista. Jousiteräskappaleen kiinnitys tapahtuisi kahdella M5x10 ruuvilla, joita varten tehtiin reiät jousiteräskappaleeseen ja vastaavat M5 kierteet yhteen pystykappaleista.

Kappaleiden taustan tukeminen tuli tapahtua yhdellä 3mm teräslevykappaleella. Tätä varten suunniteltiin ohutlevykappale, joka oli pituudeltaan riittävä kattamaan kaikki viisi sivulle asetettua kappaletta. Kappale suunniteltiin myös L:n muotoiseksi, jolloin kiinnitys pienestä kantista toisessa päässä tapahtuisi yleisesti M-levy Oy:ssä kokoonpanossa käytettävillä saranoilla. Saranat mallinnettiin ja asetettiin jokaisen hitsatta-

van kappaleen kohdalle, jolloin kiristävä voima olisi tasainen jokaisen kappaleen kohdalla. Saranoiden kiinnitys pohjalevyyn tapahtuisi M5x10 senkkikantaruuveilla, joita varten pohjalevyyn mallinnettiin M5 kierteet. Kiinnitys kiristävään kappaleeseen tapahtuisi M5x15 senkkikantaruuveilla ja M5 muttereilla, joita varten kiristävään kappaleeseen mallinnettiin vastaaville kohdille 5 mm:n reiät. Kiristävä kappale tulisi asettumaan jigä vasten pienessä kulmassa, jolloin alas laskettaessa se kiristäisi hitsattavan kappaleen paikoilleensa. Tätä varten kappaleeseen leikattiin 5 kappaletta lovia, jotka tietyssä kulmassa muodostaisivat 90 asteen kulman hitsattavaan kappaleeseen nähden.

Kun jigien osat yhdelle sivulle oli mallinnettu, ne yksinkertaisesti monistettiin pohjalevyn pohjalevyn keskikohdan suhteen, jolloin lopputuloksena oli symmetrinen jigä hitsattaville kappaleille.

7.2.4 Viimeistely

Viimeistely aloitettiin kokoonpanon osien läpikäymisellä. Koska kaikki kappaleet valmistettaisiin laserleikkaamalla, toisiinsa sovitettavien kappaleiden teräviin kulmiin määriteltiin 1 mm säteellä olevat ympyräleikkaukset. Laserleikkaus jättää terävät kulmat hieman pyöreäksi ja tämä aiheuttaisi ongelmia kokoonpanossa.

Kokoonpanoihin lisättiin tarvittavat kiinnitystarvikkeet. Kokoonpanoihin mallinnettiin tarvittava sarana M-levy Oy:stä löytyvien mallien mukaan. Muut kokoonpanoon tarvittavat ruuvit, pultit ja mutterit lisättiin Solid Worksin kirjastosta ja määriteltiin standardien mukaisesti ennalta suunniteltujen mittojen mukaan.

Viimeistelyn seuraavassa vaiheessa kaikille kokoonpanon osille tehtiin työpiirustukset. Työpiirustuksissa määriteltiin materiaalin vahvuus ja materiaali. Piirustuksiin merkittiin tärkeimmät mitat yksiselitteisesti, mutta toleranssit jätettiin pois, sillä laserleikkauksen toleranssit olisivat tarvittavan tarkat suoritettavassa kokoonpanossa.

Kappalekuvien tekemisen jälkeen siirryttiin kokoonpanokuvien tekemiseen. Kokoonpanokuvaan ei tarvittu ylimääräisiä mittoja, sillä kappaleet sijoittuisivat paikalleen ilman erillistä mitoitusta. Kokoonpanoihin lisättiin ainoastaan tarvittavat hitsausmerkinnät ja jos tarvetta oli; kokoonpanokuvista muodostettiin räjäytyskuvat.

Kuten aiemmin valmistetuissa kokoonpanokuvissa, myös hitsausjigeille valmistetuissa kokoonpanokuvissa käytettiin kokoonpanokuvissa olevia osaluetteloita erillisten osaluetteloiden sijaan. Tämä helpottaisi sekä laserleikkausvaiheessa, että hitsausvaiheessa.

7.3 Riskianalyysi

7.3.1 Vaarojen tunnistaminen

Vaarojen tunnistaminen aloitettiin standardin SFS-EN ISO 12100 mukaisesti.

Suunnittelukokonaisuuden raja-arvot määriteltiin ja tutkittiin robotin sekä muiden kokonaisuuteen liitettävien osien asiakirjoja ja käytössä olevia tietoja.

Koneen erilaisiin toimintatapoihin kuuluivat asetusten tekeminen, automaattikäyttö sekä tarvittavat huoltotyöt. Näitä toimenpiteitä suorittaviksi henkilöiksi määriteltiin koneen tekninen asiantuntija, käyttäjä, jolla oletetaan olevan jonkinlainen metallialan työkokemus, sekä tavallinen yleisö, sillä pääsyä koneen ympäristöön sen käytön tai huollon aikana ei ollut rajattu. Tuotantotiloihin pääsy ulkopuolisilta henkilöiltä oli rajattu, mutta tämänkään ryhmän pääsyä koneen läheisyyteen ei voitu poissulkea. Koneen käyttäminen tältä henkilöryhmältä ei kuitenkaan ollut mahdollista.

Koneen liikkeen laajuus määriteltiin sen liikkuvien elementtien perusteella; robotin maksimiulottuvuus sekä hitsausjigien pyörintäsäde pneumaattisen kääntäjän päällä. Robotin automaattikäytön ja asetuskäytön maksiminopeudet saatiin käyttöohjeista, mutta niitä käytettiin ainoastaan liitetyn työkalun nopeuden määrittämiseksi. Itse robotti oli työturvallisuuskartoitettu toimitettaessa ja riskianalyysi ei tämän johdosta keskittynyt sen ympärille. Pneumaattisen pyörittäjän maksimimomentista saatiin laskettua hitsausjigien uloimpien osien teoreettinen maksiminopeus 90 asteen käännöksissä. Koneen kanssa vuorovaikutuksessa olevien henkilöiden vaatima tila otettiin huomioon määrittelemällä käyttäjäkunnaksi kaksi henkilöryhmää: koneen asetuksia, ohjelmia ja huoltotöitä tekevät henkilöt sekä koneen käyttäjä sen tehdessä tuotantotyötä.

Koneen oletetuksi eliniäksi arvioitiin 20 vuotta ja mikäli kone toimisi kahdessa vuorossa työpäivisin, oli oletettu huoltoväli viikon välein tai vikaantumisen seurauksena useammin.

Muita raja-arvoja koneelle ei löydetty, sillä tilalla, materiaalien ominaisuuksilla ei ollut suhteellista merkitystä käytölle ja kone tulisi sijaitsemaan tasaisesti lämmitetyssä teollisuushallissa.

Raja-arvojen määrittämisen jälkeen aloitettiin itse vaarojen tunnistaminen. Referenssinä tässä käytettiin standardista SFS-EN ISO 12100 liitteenä B löytyvää esimerkkilistaa vaaratilanteista. Vaarat taulukoitiin järjestelmällisesti, käyden läpi koko koneen elinkaari eri osa-alueilla.

7.3.2 Riskien suuruuden arviointi

Riskien suuruuden ja merkityksen arvioimisessa käytettiin perustana työturvallisuuskeskuksen sivuilta löytyvää Riskien arviointi työpaikalla -työkirjaa (Riskien arviointi työpaikalla).

Riskin suuruutta arvioitiin kahdella taulukolla; riskin vakavuus ja riskin todennäköisyys. Molempia riskin ominaisuuksia päätettiin arvostella kolmiportaisella asteikolla. Riskin vakavuus määriteltiin sen tuottaman vamman suuruudella yksittäiselle henkilölle tai henkilöryhmälle. Seuraukset olivat joko vähäiset, haitalliset tai vakavat. Vähäiset riskit aiheuttaisivat ohimenevät sairauden tai haitan, joka ei edellyttäisi ensiapuasemalla käyntiä ja aiheuttaisivat korkeintaan 3 päivän poissaolon. Haitalliset tapahtumat aiheuttaisivat pitkäkestoisemmat seuraukset, jotka edellyttäisivät ensiapuasemalla käyntiä ja aiheuttaisivat maksimissaan kuukauden poissaolon. Vakavat riskit aiheuttaisivat pysyviä vammoja, edellyttäisivät sairaalahoitoa ja yli kuukauden poissaolon. (Riskien arviointi työpaikalla)

Riskin todennäköisyyden tapahtuminen arvioitiin joko epätodennäköisenä, mahdollisena tai todennäköisenä. Epätodennäköinen riski tapahtuisi harvoin ja epäsäännöllisesti, mahdollinen riski tapahtuisi toistuvasti mutta epäsäännöllisesti ja todennäköinen esiintyisi usein ja säännöllisesti. (Mts.)

7.3.3 Riskien merkityksen arviointi

Riskin merkityksen arvioimiseen käytettiin vakavuudesta ja todennäköisyydestä saatuja numeroarvoja. Riskin pienentäminen olisi tarpeellista, mikäli vakavuuden ja todennäköisyyden summa olisi 4 tai suurempi. Nämä riskit aiheuttaisivat, joko vammoja säännöllisesti, tai vakavia vammoja, ja pahimmassa tapauksessa molempia. (Mts.)

Tulokseksi saatiin taulukko, jossa riskit ja niiden vakavuudet oli määritelty. Taulukossa oli määritelty mitkä vaarat vaativat riskien pienentämistä, ja tämä toimi pohjana jatkotoimenpiteille. Saatu taulukko on nähtävissä taulukossa 1.

Taulukko 1. Riskikartoitus taulukoituna

Vaaratekijä	Vakavuus	Todennäköisyys	Vaatiiko toimenpiteitä
Koskettaminen teräviin reunoihin ja kulmiin tai ulkoneviin osiin	1	2	
Hitsattavien kappaleiden putoaminen tai sinkoutuminen	2	1	
Hitsausjigien vakuuden menetytys	3	1	x
Jigien rikkoontuminen käytön aikana	3	1	x
Paineilmakääntäjän paikaltaan siirtyminen	2	1	
Paineilmajärjestelmän yllättävä purkautuminen	1	1	
Sähkölaitteiston vikaantumisesta aiheutuva lämpilyönti, valokaari tai tulipalo	3	1	x
Hallitsemattomat liikkeet paineilmajärjestelmässä	3	1	x
Hallitsemattomat liikkeet robotissa	2	1	
Tarikoittamaton tai odottamaton käynnistyminen paineilmajärjestelmässä	3	1	x
Robotin tarikoittamaton tai odottamaton käynnistyminen	1	1	
Ohjausjärjestelmän vikaantuminen tai sen puutteellinen suunnittelu	3	1	x
Koskettaminen kuumiin kappaleisiin	3	3	x
Hitsauksessa syntyvät kaasut ja pöly	2	3	x
Hitsauksessa syntyvä vaarallinen säteily	2	3	x
Ponnistelu hitsausjigien asettelussa	1	2	
Inhimilliset virheet robotin, paineilma-kääntäjän tai langankatkaisijan toiminta-alueella	2	2	x
Tiheästi toistuvat liikkeet työkierron aikana	1	2	
Paineilman purkautuminen käytön aikana	2	3	x
Paineilmakääntäjän liikkeet käytön aikana	3	3	

7.3.4 Riskin pienentäminen

Riskien pienentäminen aloitettiin tutkimalla vaarojen mahdollista pienentämistä tai poistamista kokoonpanojen rakenteellisilla muutoksilla. Tämä osoittautui vaikeaksi ilman, että koneen koko rakenne muuttuisi tai toiminnallisuus kärsisivät.

Lähemmällä taulukon tutkinnalla selvisi, että suurin osa vaaroista johtui pneumaattisen kääntäjään tai siihen liittyvien osien muodostamista vaaroista työkierron aikana tai sen ulkopuolella. Tämä oli hyvä lähtökohta koneen työturvalliseksi saattamiseen ja näin ollen se toimi alkupisteenä.

Jatkojalostaminen aloitettiin pneumaattisista kytkennöistä sekä niiden sijoittamisesta. Pneumaattiset kytkennät suunniteltiin uudestaan niin, että tarvittavat paineilmaletkut olisivat mahdollisimmat lyhyet sekä pääsy paineilmalaitteistolle olisi helppoa mahdollisessa häiriötilanteessa. Paras paikka tälle laitteistolle oli paineilmakääntäjän ja automaattisen langankatkaisijan välissä pöydän alapuolella, johon kytkentälaatikko tultaisiin sijoittamaan. Koneen kytkentä paineilmaverkkoon tapahtuisi tästä kohdasta ja paineilmaverkosta vedettäisiin kiinteä putki lattian pintaan, jossa sijaitsisi sulkuventtiili ja liitin. Liittimestä paineilma tuotaisiin letkua pitkin koneen paineilmakytkennöille. Molemmat letkun päät varmistettaisiin vaijerilla mahdollisen piiskaantumisen estämiseksi. Etäisyys seinästä määriteltäisiin myöhemmin puristumisvaaraa käsiteltäessä. Pneumaattisiin kytkentöihin lisättäisiin paineenalennusventtiilit sekä virtausventtiilit tarvittaviin kohtiin. Paineilmajärjestelmään lisättiin rele hätäpysäytys kytkentää varten, jolloin hätäpysäytys signaali purkaisi paineen koko paineilmajärjestelmästä. Tämä rele kytkettäisiin robotin hätäseis kytkentöihin, jolloin se olisi kytköksissä kaikkiin syntyviin häiriötilanteisiin ja hätäseis painikkeisiin. Kokoonpanoon lisättäisiin valoverho, turvarele sekä paineilmarele pneumaattiselle kääntäjälle, joka robottiin ohjelmoitaessa estäisi paineen pääsyn paineilmasylinteriin valoverhon ollessa katkaistuna. Ainoastaan valoverhon ollessa kuitattuna, olisi mahdollista pyörittää pneumaattista kääntäjää. Valoverho ei vaikuttaisi robotin ja hitsauslaitteiston toimintaan, jotka saisivat jatkaa toimintaansa automaattisesti ihmisen ollessa valoverhon sisäpuolella. Kaikkiin releiden paineenpoistoon tarkoitettuihin liitäntöihin

lisättäisiin vaimentajat hallittua paineenpoistoa varten. Tämä poistaisi meluhaitat paineilmajärjestelmästä.

Seuraava huomattava vaara oli pöly ja hitsauskaasut, joille yksinkertaisin ratkaisu oli tarvittavan hyvällä imukyvyllä varustettu imuri ja huuva hitsauslaitteiston ympärille. Yksittäiset poistoimuripisteet olisivat sekä robotin että pneumaattisen kääntäjän tiellä ja tukkisivat tarvittavat kulkuväylät.

Hitsaussäteilyvaaran poistamiseksi jigeihin lisättiin säteilysuojat, jotka poistaisivat suoran säteilyn hitsattavista kappaleista kappaleita vaihtavaan ihmiseen. Tämä ei kuitenkaan riittänyt, sillä pöydän ollessa avoin pääsi säteilyä myös ympäristöön. Vaara päätettiin poistaa liikutettavilla hitsausverhoilla, jolloin automaattikäytössä ympäristö olisi suojattu säteilyltä. Ohjelmoinnin tapauksessa, ihmisen työskennellessä robotin lähellä, saisi verhoa siirrettyä kauemmas, jolloin se ei estäisi liikkumista robotin läheisyydessä. Ohjelmoijalta vaadittaisiin tietysti suojaruusteet hitsausta varten.

Työkierrossa suurin riski oli kuumien kappaleiden käsittely hitsauksen jälkeen. Hitsattavat kappaleet jäähtyisivät hieman ennen poistoa neljän hitsausasetelman ansiosta, jossa hitsatut kappaleet seisoisivat yhden hitsauskierron ajan, mutta tämä ei poista vaaraa kuumista kappaleista. Kappaleiden käsittely muuten kuin käsin oli mahdotonta, joten kappaleiden käsittelyä varten tulisi työntekijä ohjeistaa hyvin ja varustaa kuumien kappaleiden käsittelyyn tarkoitetuilla suojaruusteilla. Vaara pienenisi huomattavasti, mutta ei poistuisi kokonaan, joten myöhempi tarkastelu saattaisi olla tarvittavaa.

Yllättävien häiriötilanteiden osalta hitsauslaitteistoon sijoitettiin myös hätäpysäytyspainikkeita, jotka pysäyttäisivät kaiken liikkeen laitteistossa. Hätäpysäytyspainikkeet sijoitettiin pneumaattisen pyörittäjän kappaleenvaihtotilan viereen ja automaattisen käytön käyttökonsoliin. Robotin oma käyttökonsoli sisälsi oman hätäpysäytyspainikkeen, jolloin enempää ei nähty tarpeelliseksi.

Suosittelavaa olisi myös mahdollisten suojuetasojen ohjelmoiminen robottiin. Suojuetasot tulisi sijoittaa pöydän ulkoreunoihin sekä pneumaattisen kääntäjän keskikohtaan, jolloin robotin työkalu ei pääsisi ylittämään näitä tasuja ohjelmointivirheen tapahtuessa.

7.3.5 Riskien suuruuden uudelleenarviointi

Riskitaulukkoa tarkkailtaessa uudelleen korjaustoimenpiteiden jälkeen, oli jäljellä vielä kaksi kohtalaista riskiä aiheuttavaa tekijää, mutta teknisellä suunnittelulla näihin ei ikävä kyllä voitu vaikuttaa. Korjaustoimenpiteiden jälkeinen riskitaulukko on nähtävissä taulukossa 2. Sähköjärjestelmän suunnittelu ei kuulunut projektin määritteisiin ja robotin ohjausjärjestelmään ja robotin ohjelmointiin oli mahdotonta vaikuttaa suunnitteluvaiheessa.

Taulukko 2. Riskianalyysin uudelleenarviointi taulukkona

Vaaratekijä	Vakavuus	Todennäköisyys	Vaatiiko toimenpiteitä
Koskettaminen teräviin reunoihin ja kulmiin tai ulkoneviin osiin	1	2	
Hitsattavien kappaleiden putoaminen tai sinkoutuminen	2	1	
Hitsausjigien vakuuden menetyt	1	1	
Jigien rikkoontuminen käytön aikana	1	1	
Paineilmakääntäjän paikaltaan siirtyminen	1	1	
Paineilmajärjestelmän yllättävä purkautuminen	1	1	
Sähkölaitteiston vikaantumisesta aiheutuva läpilyönti, valokaari tai tulipalo	3	1	x
Hallitsemattomat liikkeet paineilmajärjestelmässä	1	1	
Hallitsemattomat liikkeet robotissa	2	1	
Tarjoittamaton tai odottamaton käynnistyminen paineilmajärjestelmässä	2	1	
Robotin tarjoittamaton tai odottamaton käynnistyminen	1	1	
Ohjausjärjestelmän vikaantuminen tai sen puutteellinen suunnittelu	3	1	x
Koskettaminen kuumiin kappaleisiin	2	1	
Hitsauksessa syntyvät kaasut ja pöly	2	1	
Hitsauksessa syntyvä vaarallinen säteily	2	1	
Ponnistelu hitsausjigien asettelussa	1	2	
Inhimilliset virheet robotin, paineilmakääntäjän tai langankatkaisijan toiminta-alueella	2	1	
Tiheästi toistuvat liikkeet työkierron aikana	1	2	
Paineilman purkautuminen käytön aikana	1	3	x
Paineilmakääntäjän liikkeet käytön aikana	2	1	

7.3.6 Tulokset

Hitsausrobotin käyttö sille tarkoitettussa tehtävässä tulisi olemaan mahdollista, mutta teknisessä suunnittelussa tehdyillä muutoksilla ei vielä poistettu kaikkia turvallisuusriskejä. Robotin jatkokehitysvaiheessa riskikartoitus tulisi uusia ja tarkastella kohdetta työryhmän kanssa, jonka asiantuntijuuteen kuuluisivat sekä sähkö- ja pneumatiikkakytkennät että robotin ohjelmointi ja sen ohjausjärjestelmä.

Tulokset ovat myös hitsausjigikohtaisia ja uusia suunnitellessa tulee kartoitusta myös täydentää, sillä kokoonpanon muuttuessa myös osa suunnitelluista suojuksista poistuu. Sikäli, että jigien kokoa suurennetaan, tulisi kartoitus tehdä myös uudestaan sillä nykyiset valoverhojen etäisyyksien laskelmat perustuvat suunniteltujen jigien ulkomittoihin. Myös kappaleiden paaskaantuminen oli mahdotonta jigien rakenteen ansiosta, mutta uusien jigien kohdalla näin ei välttämättä ole.

8 Projektin päättäminen

Projekti saatettiin päätökseen marraskuussa 2016. Tuloksena projektista saatiin hyvä alku suunnittelun jatkotoimenpiteille, mutta projektin jatkaminen ilman tarkempia määrittelyjä layoutympäristöstä sekä ammattitaitoa koneturvallisuudesta ja robotin ohjelmoinnista olisi ollut hedelmätöntä. Projektille ei määritelty tarkempia jatkosuunnitelmia ja päättäminen tapahtui toteuttajan todettua projektin tavoitteiden tulleen täytetyksi mahdollisuuksien rajoissa. Projektin tavoitteista saavutettiin teknisen suunnittelun osuus täysin, mutta ongelmakohtia ilman testausmahdollisuutta ei voitu karsia. Hitsausrobotin täysautomatisointi ei tämän projektin päättämisen hetkellä ollut mahdollista, mutta toimisi kuitenkin hyvänä referenssinä jatkossa. Hitsausjigien suunnittelu mahdollistaisi tuotannon käynnistämisen korjaustoimenpiteiden jälkeen ja projektin loppuunsaattaminen auttaisi sekä uusien jigien suunnittelussa että robotin toteuttamisessa. Toimeksiantajan mielipidettä projektin etenemisestä ei tiedetty projektin lopettamishetkellä.

9 Pohdinta

Opinnäytetyön tuloksiin voidaan olla tyytyväisiä pääosin, mutta parannettavaa löytyy monista kohdin. Kokonaisuutena opinnäytetyön on keskeneräinen ja itse projektin aikataulutus oli hankalaa koko sen toteuttamisen aikana. Ennalta-arvaamattomat ongelmat aiheuttivat suuria viivästyksiä ja suuria ponnistuksia vaadittiin, jotta aikataulu pystyttiin mahdollisuuksien mukaan kirmämään kiinni.

Opinnäytetyö ei sinällään ole valmistuskelpoinen, ja eritoten riskianalyysin uusiminen on kriittistä robotin valmistuksen kannalta. Tämä tulisi toteuttaa asiantuntijaryhmän kanssa ja, koska suuri osa koneen turvallisuusratkaisuista lepää robotin ohjelmiston, ohjelmien ja turvallisuusratkaisujen takana, on niissä oltava hyvin tarkkoja.

Projektin aikana robotin tuotantoon saatto ulkoistettiin kolmannelle osapuolelle ja siihen vaikuttaminen on hyvin vaikeaa, jolloin tehtävät ratkaisut saattavat olla täysin saatujen tulosten ulkopuolella. Näin ollen projektin muoto muuttui lähes täysin teoreettiseksi projektin edetessä, ja asetti erityisiä haasteita tekijälle.

Projektin toteutus oli suunnattu tietylle yritykselle ja tekijän oletuksena oli jatkaa kyseisen projektin parissa eivät saadut tulokset, vaikkakin standardin mukaisia, aina ole yksiselitteisiä ja se vaikeuttaa ulkopuolisen tarttumista aiheeseen.

Opinnäytetyön laajuus yllätti myös tekijänsä ja työtä olisi riittänyt useammallekin tekijälle, jolloin tietyiltä osin suunnittelu raapaisee vain pintaa siitä mitä se olisi voinut saavuttaa.

Kaikenkaikkiaan projektissa onnistuttiin hyvin, olosuhteet huomioon ottaen. Aikataullisesti projekti olisi voinut edetä nopeammin, mutta muuttuvat olosuhteet tuovat mukanaan lisähaasteita.

Lähteet

- Beitz, W., Pahl, G. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset
- Dym, C., Little, P. 2004. Engineering design. Yhdysvallat: John Wiley & Sons.
- Eppinger, S., Ulrich, K. 2012. Product design and development. New York: McGraw-Hill.
- KempArc Pulse TCS. N.d. KempArc Pulse TCS tuoteluettelo. Viitattu 20.10.2016. <http://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/tuote/kemparc-pulse-tcs/pdf/>
- KempCool 10. N.d. KempCool 10 tekniset tiedot. Viitattu 20.10.2016. <http://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/tuote/kempcool-10/pdf/technical-specification/>.
- Pelin, R. 2011. Projektihallinnan käsikirja. Keuruu: Otavan kirjapaino.
- Products. N.d. Luettelo ja kuvaukset J.thielmann GmbH:n tuotteista J.thielmann GmbH:n kotisivuilla. Viitattu 20.10.2016. http://www.j-thielmann.de/en/index200_000.htm.
- Riskien arviointi työpaikalla. 2015. Riskien arviointi työpaikalla -työkirja. Viitattu 7.11.2016. http://ttk.fi/files/4178/Riskien_arviointi_tyopaikalla_tyokirja_22052015.doc.
- Ruuska, K. 2008. Pidä projekti hallinnassa. Helsinki: Talentum.
- SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.12.2010. Viitattu 7.11.2016. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.
- SFS-EN ISO 10218-2:2011. Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 2: Robot systems and integration. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 05.09.2011. Viitattu 7.11.2016. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.
- SFS-EN ISO 13 855:2010. Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.06.2010. Viitattu 7.11.2016. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.
- Siirilä, T. 2008. Koneturvallisuus. EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. 2. p. Keuruu: Otavan kirjapaino.
- Tuoteluettelo 2013. N.d. Kempin tuoteluettelo 2013. Viitattu 20.10.2016. http://productinfo.kemppi.com/flipbook/prodcat_2013/fi/files/assets/basic-html/page1.html.
- Universal Robots. N.d. Universal Robots kotisivut. Viitattu 20.10.2016. <https://www.universal-robots.com>.
- UR10 Brochure. N.d. UR10 robotin mainoslehtinen. Viitattu 20.10.2016. https://www.universal-robots.com/media/1479182/10971_199933_ur_main-product-brochure_eng_north_america_low.pdf

UR10 User Manual. N.d. UR10 robotin käyttöohje. Viitattu 20.10.2016. [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/22108/UR10 User Manual en Global.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/22108/UR10_User_Manual_en_Global.pdf).

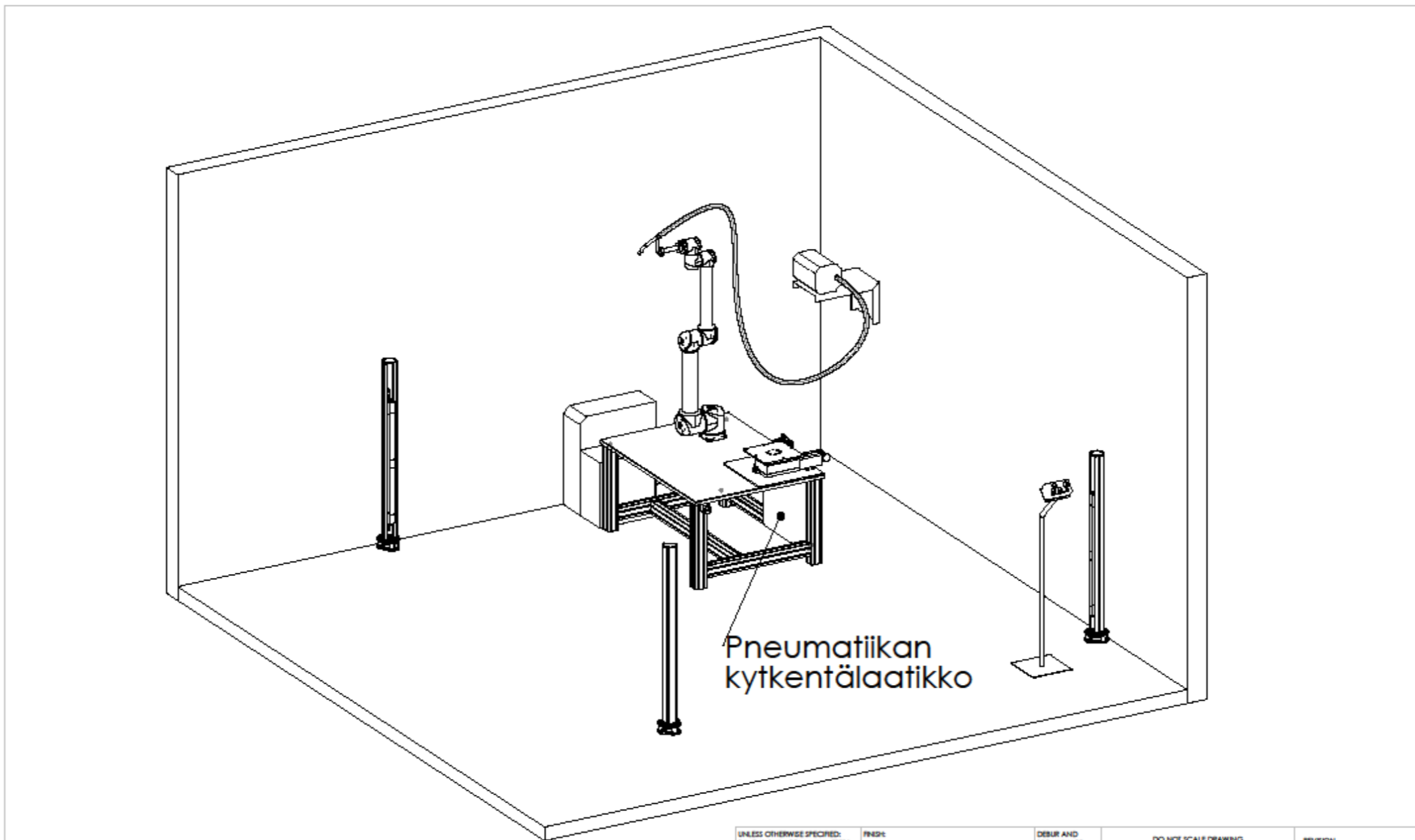
UR10 Technical Specification. N.d. UR10 robotin tekniset tiedot. Viitattu 20.10.2016. https://www.universal-robots.com/media/1514642/101081_199901_ur10_technical_details_web_a4_art03_rls_eng.pdf

Valtanen, E. 2010. Tekniikan taulukkokirja. 18. p. Mikkeli: Genesis-Kirjat

Virtanen, P. 2000. Projektityö. Porvoo: WS Bookwell.

Liitteet

Liite 1. Layout



Pneumatiikan
kytkentälaatikko

**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:				JAMK		
TOLERANCES:				TITLE:		
LINEAR:				Hitsausrobotin layout		
ANGULAR:				DWG NO. 1003_2		A3
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:		WEIGHT: 58330.17 kg
CHEK				SCALE: 1:25		SHEET 1 OF 1
APPVD						
MFG						
G.A.						

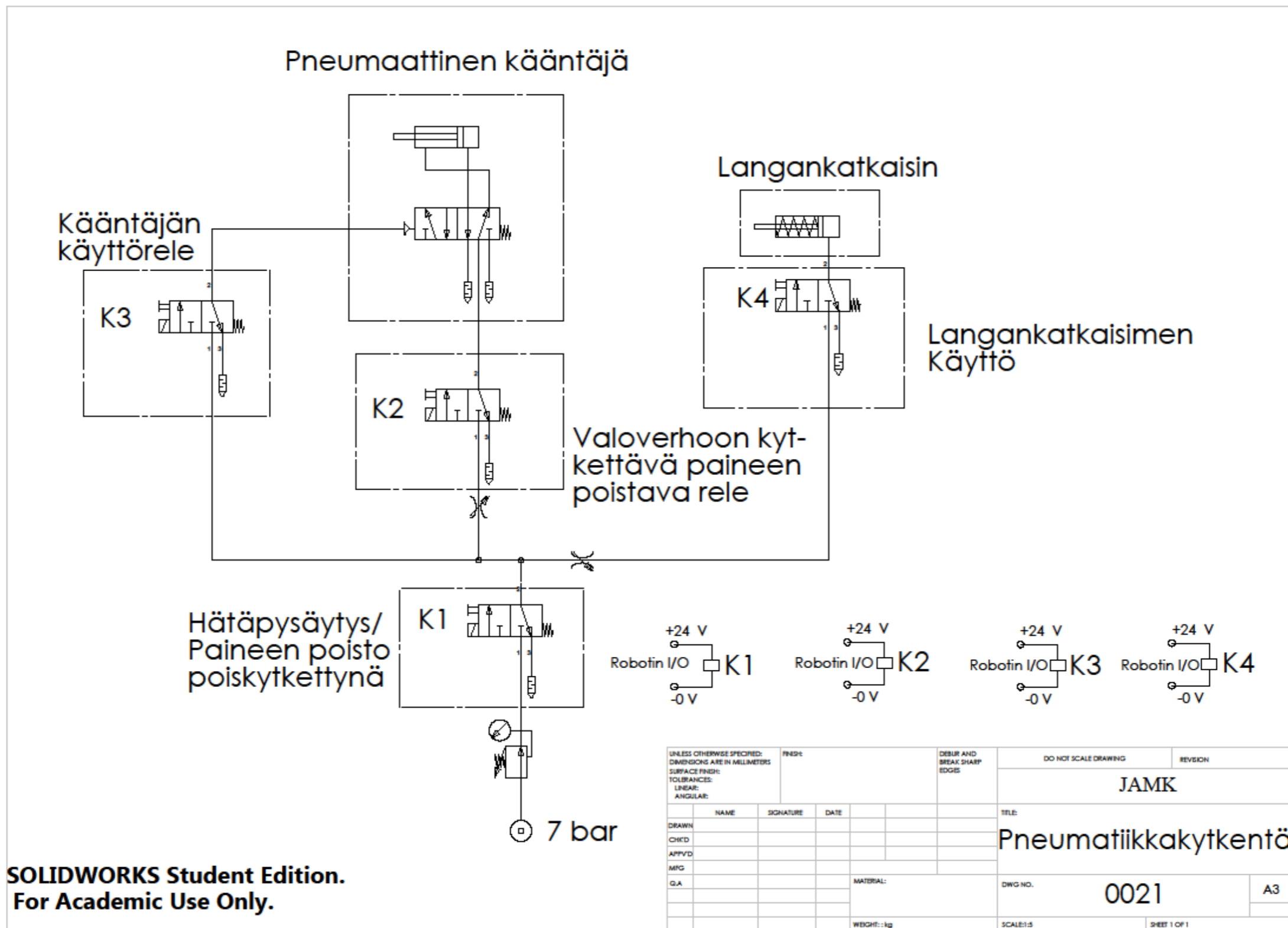
Liite 2. Layout

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	1001_pöytä	Pöydän Kokoonpano	1
2	UR10	UR10 Robotti	1
3	0016_käyttökytkin	Käyttökonsoli	1
4	0019_langansyöfin	Langansyöfin	1
5	0018_keskusyksikkö	Keskusyksikkö	1
6	0013_Hitsauskone	Hitsauskone	1
7	0022_hätäpysäytys	Hätäpysäytys	1
8	DA-2000 mit Rechteckblech	Langankatkaisin	1
9	549852_UDC-1300-S2	Valoverhon lähetin/vastaanotin	2
10	549781_UMC-1300-S2	Valoverhon peilitolppa	1

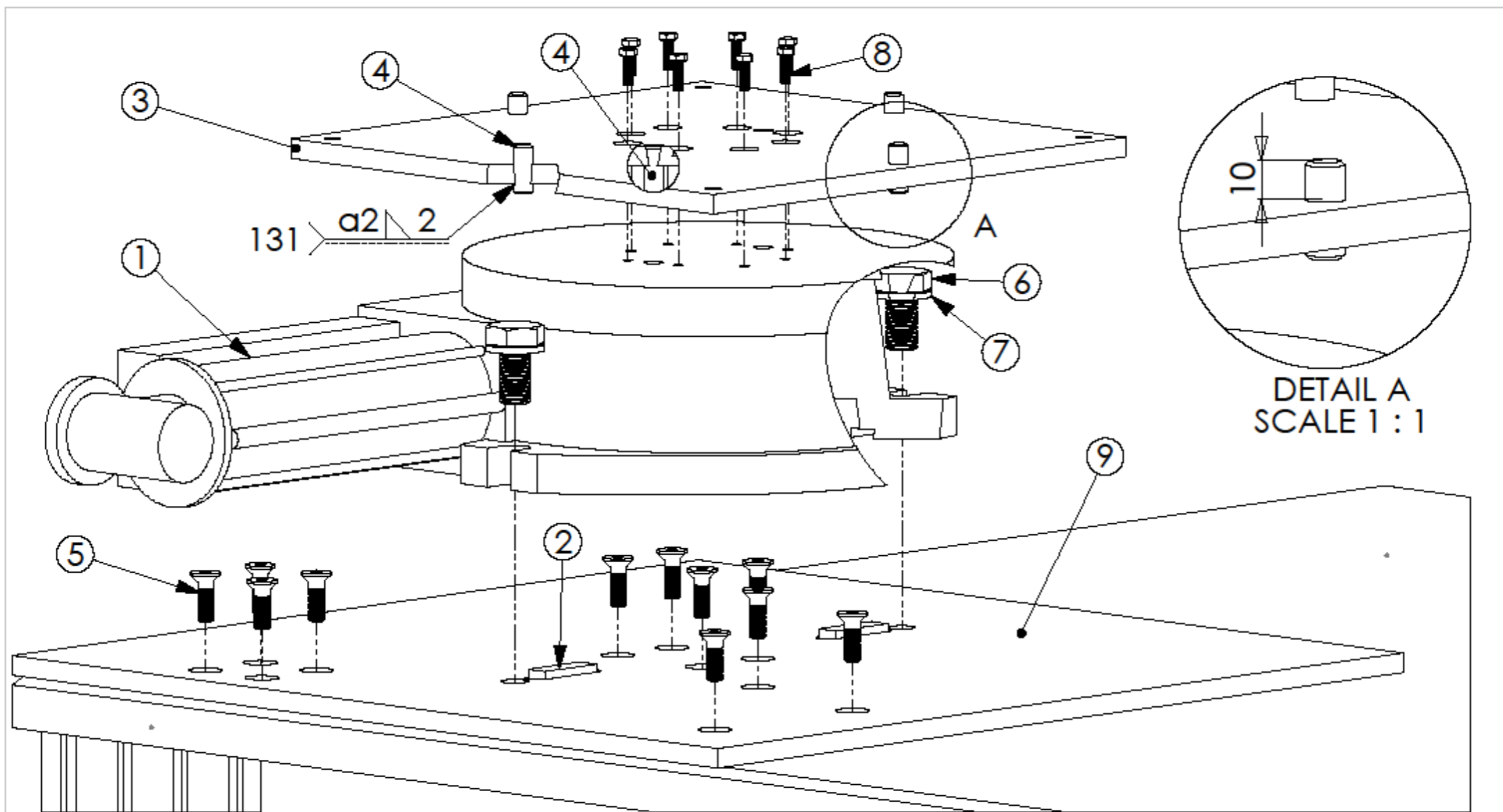
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:		JAMK			
TOLERANCES:		TITLE:			
LINEAR:		Hitsausrobotin layout			
ANGULAR:		MATERIAL:		DWG NO.	A3
NAME	SIGNATURE	DATE		1003_1	
DRAWN					
CHKD					
APPVD					
MFG					
G.A.					
WEIGHT: 58330.17: kg			SCALE: 1:25	SHEET 1 OF 1	

**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

Liite 3. Pneumatiikkakaavio



Liite 4. Kokoonpano

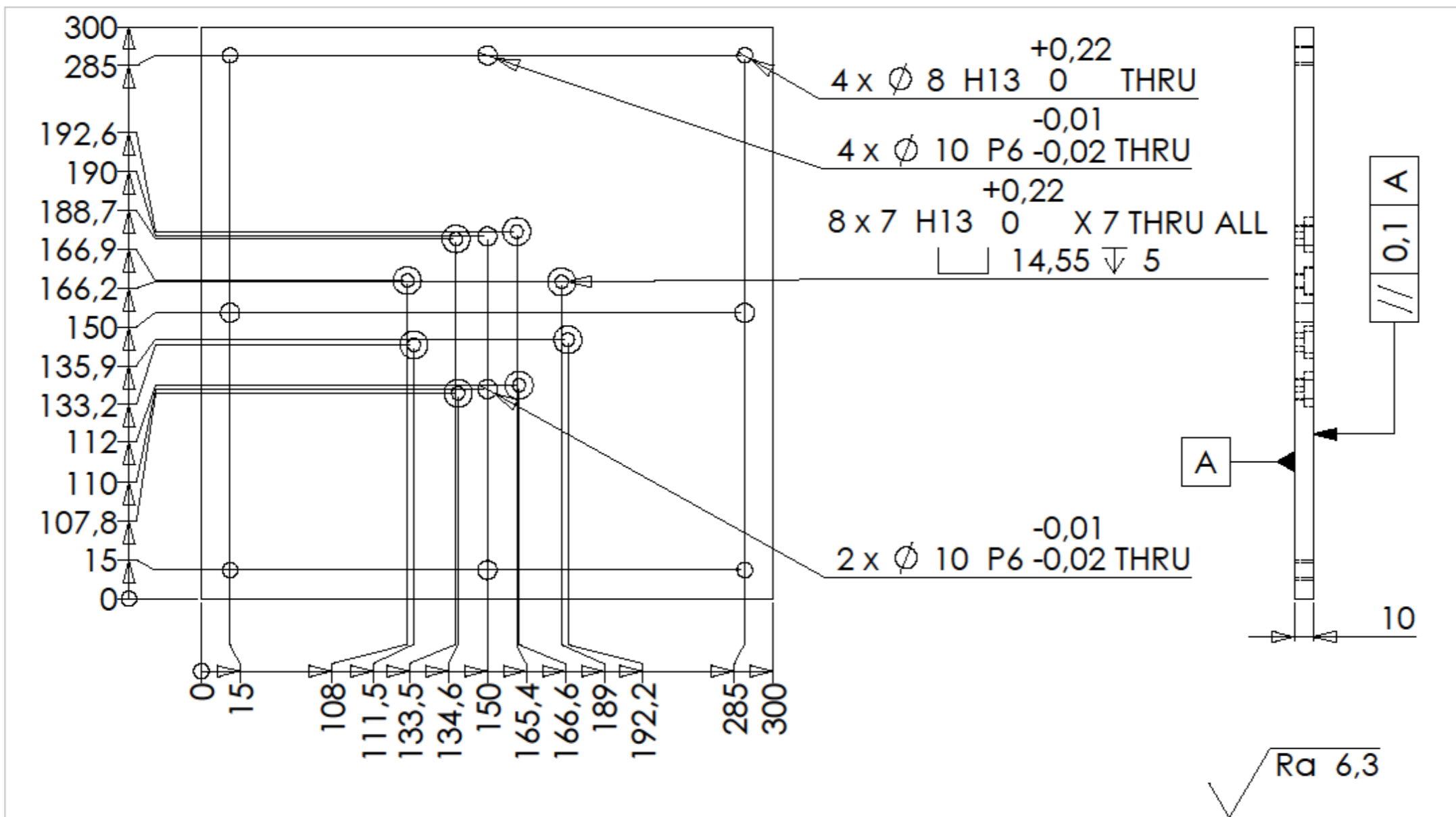


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	1002_pyörittäjä	Pyörittäjä	1
2	0017_kiila	Kiila	2
3	0007_jigin_pohja	Jigin Pohja	1
4	009_tappil	Paikoitustappi	6
5	ISO 10642 - M8 x 25 - 25S		11
6	ISO 7412 - M16 x 45 - 26-WS		2
7	Washer ISO 1089		2
8	ISO 1410 - M15 x 15-S1		8
9	0008_pohjalevy	Pohjalevy	1

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:					JAMK	
TOLERANCES:					TITLE:	
LINEAR:					Pöydän Kokoonpano	
ANGULAR:					DWG NO. 1001_pöytä	
NAME	SIGNATURE	DATE			A3	
DRAWN					SCALE: 1:2	
CHK'D					SHEET 1 OF 1	
APP'VD						
MFG						
Q.A.						
MATERIAL:						
WEIGHT: 433.45 kg						

Liite 5. Työkuva

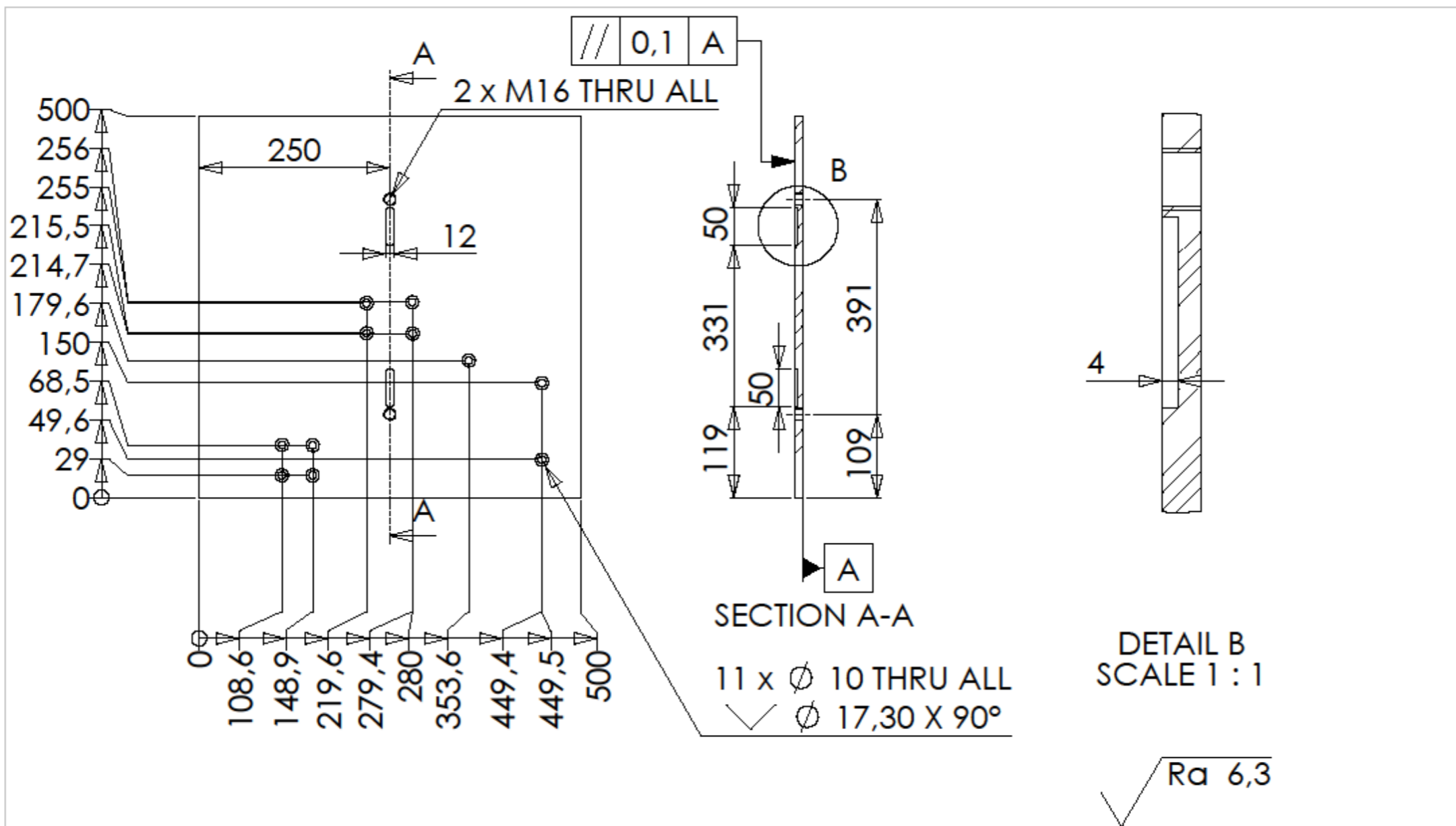


Koneistettava aihio 310x310x15 mm

**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:				JAMK		
TOLERANCES:				TITLE:		
LINEAR:				Jigin Pohja		
ANGULAR:				DWG NO: 0007_jigin_pohja A3		
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1
CHKD				1.0114 (S235J0)		
APPVD				WEIGHT: 4,90 kg		
MFG						
QA						

Liite 6. Työkuva

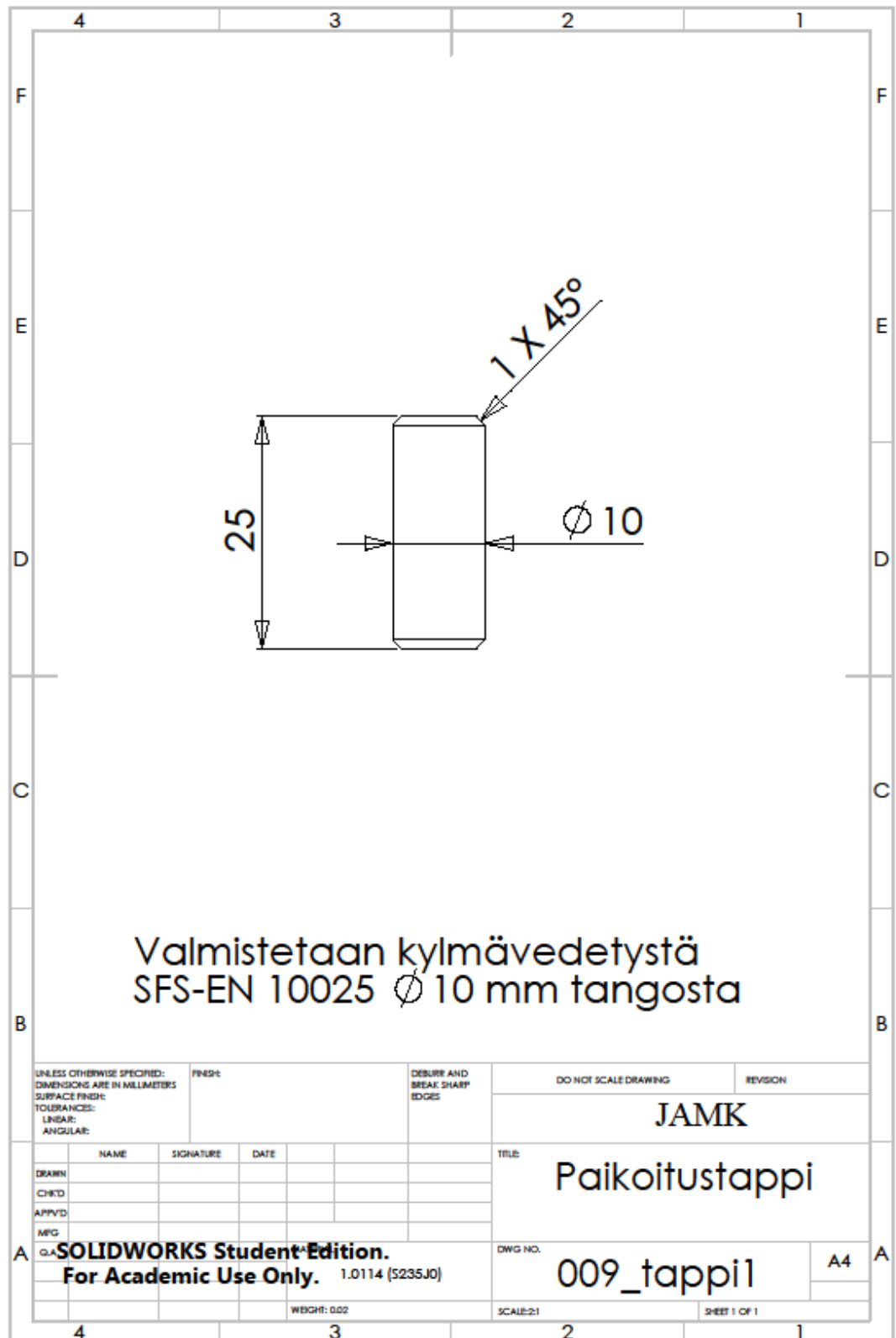


Koneistettava aihio 510x510x15 mm

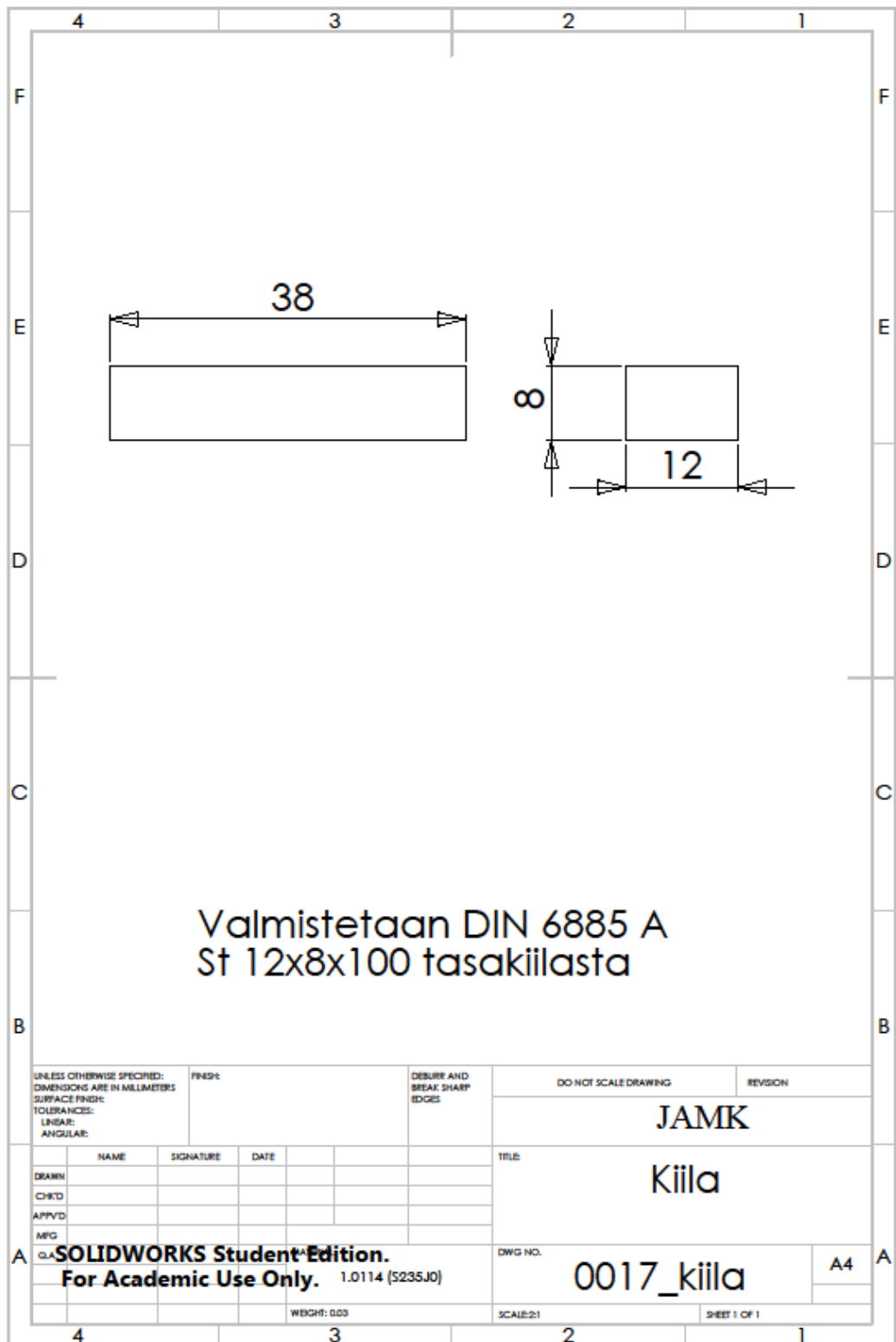
**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:				JAMK	
TOLERANCES:				TITLE:	
LINEAR:				Pohjalevy	
ANGULAR:				DWG NO. 0008_pohjalevy A3	
NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:	SCALE: 1:1 SHEET 1 OF 1	
			1.0114 (S235J0)		
DRAWN			WEIGHT: 19,35 kg		
CHK'D					
APP'VD					
MFG					
Q.A.					

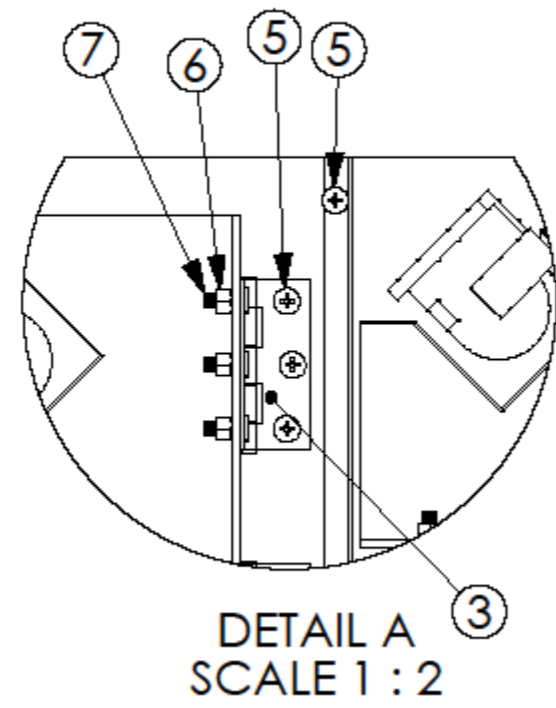
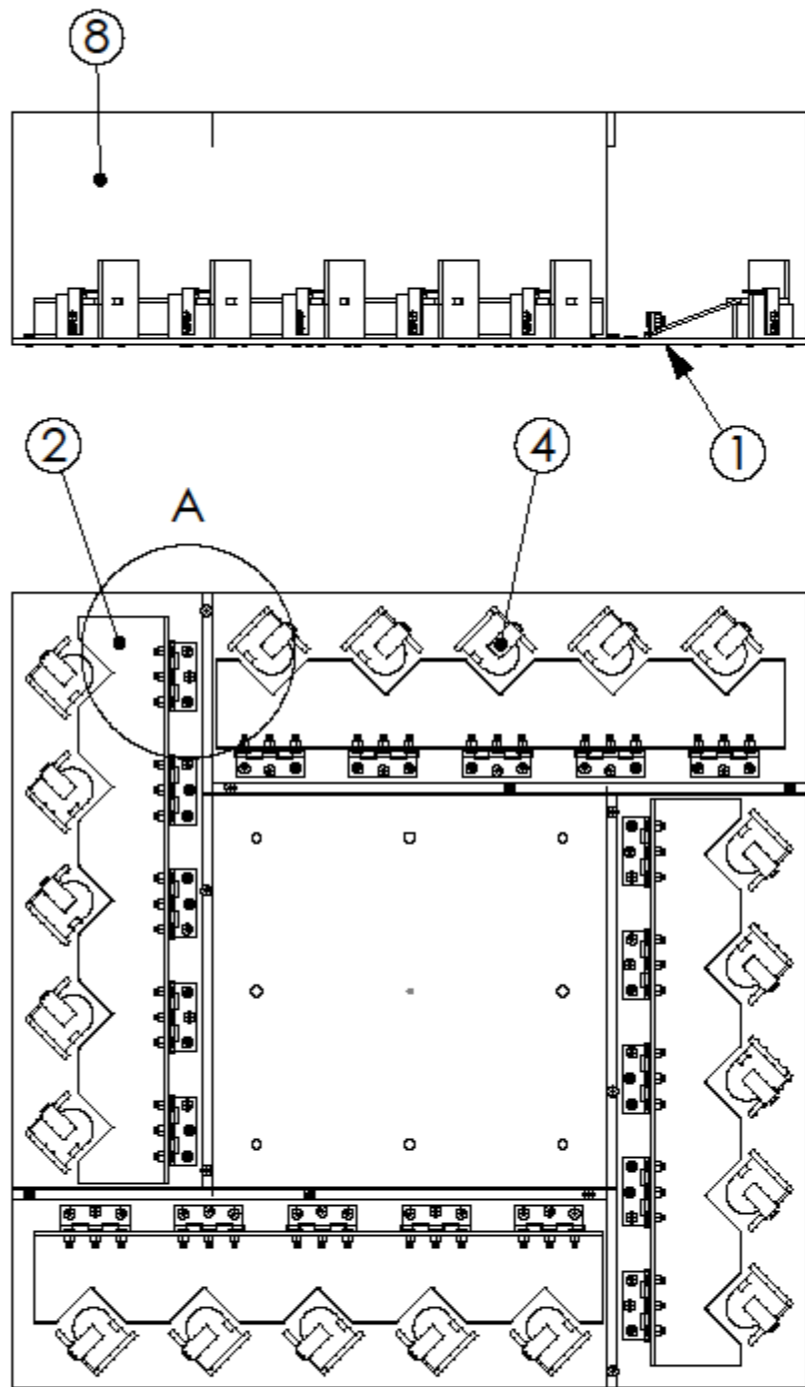
Liite 7. Työkuva



Liite 8. Työkuva



Liite 9. Kokoonpano

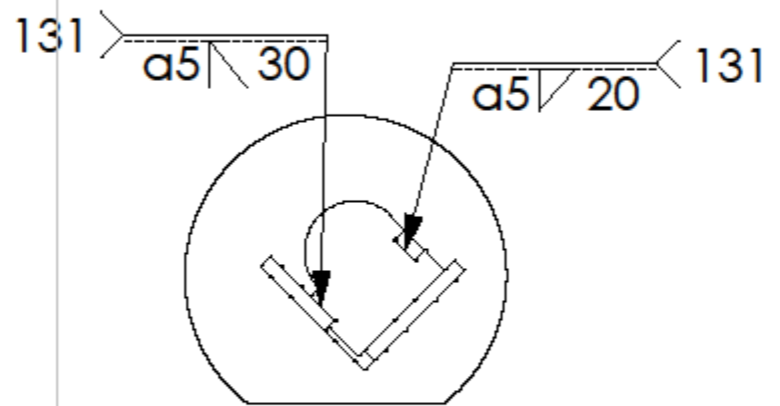
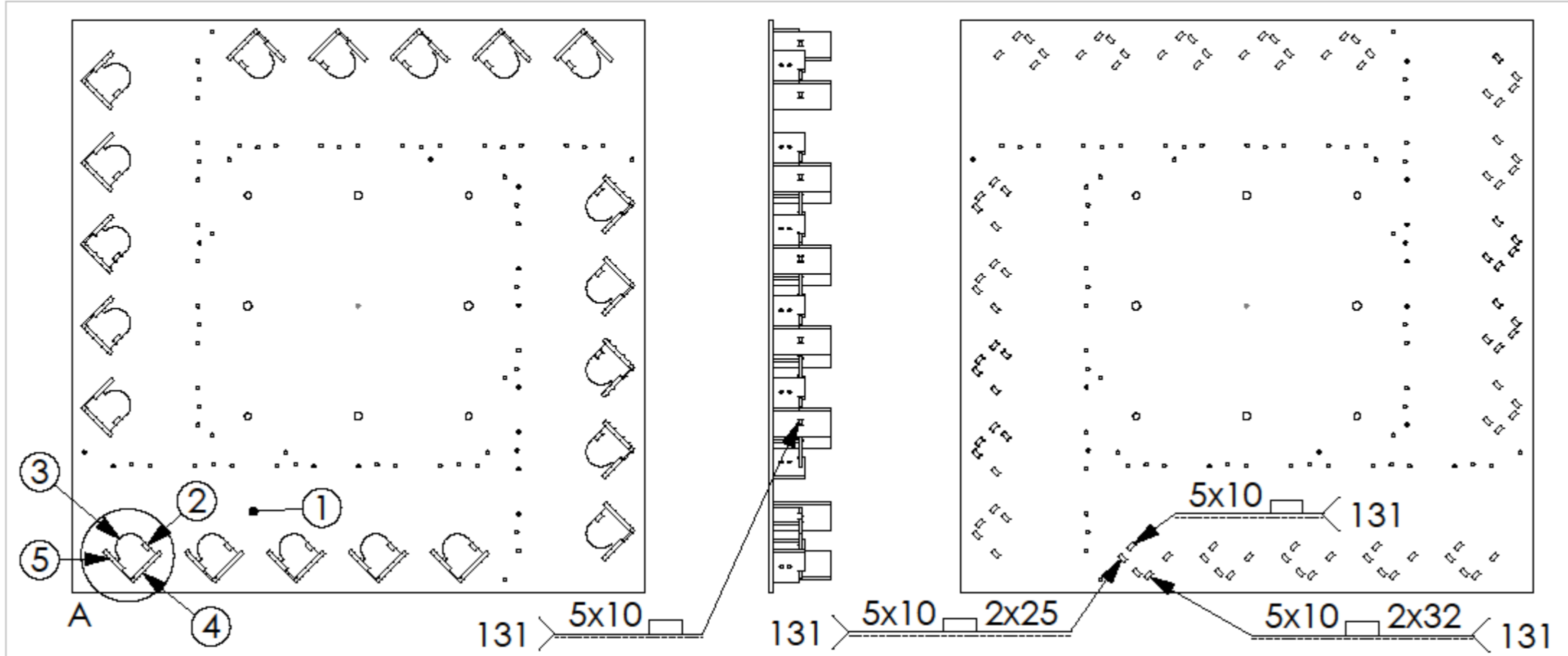


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	4001_D801808_jigi	D801808 Hitsauskokoonpano	1
2	0308_luukkupidin	Luukkupidin	4
3	sarana	Vakiosarana	20
4	0307_jousipidin	Jousipidin	20
5	ISO 7046-1 - M5 x 10 - Z - 10S		112
6	ISO - 4034 - M5 - S		60
7	ISO 7046-1 - M5 x 16 - Z - 16S		60
8	0309_suojalevy	Suojalevy	4

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
					JAMK	
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:			
DRAWN						
CHK'D						
APP'VD						
MFG						
G.A.			MATERIAL:	DWG NO: 4002_D801808_jigi A3		
			WEIGHT: 33.19 kg	SCALE: 1:5	SHEET 1 OF 1	

**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

Liite 10. Kokoonpano



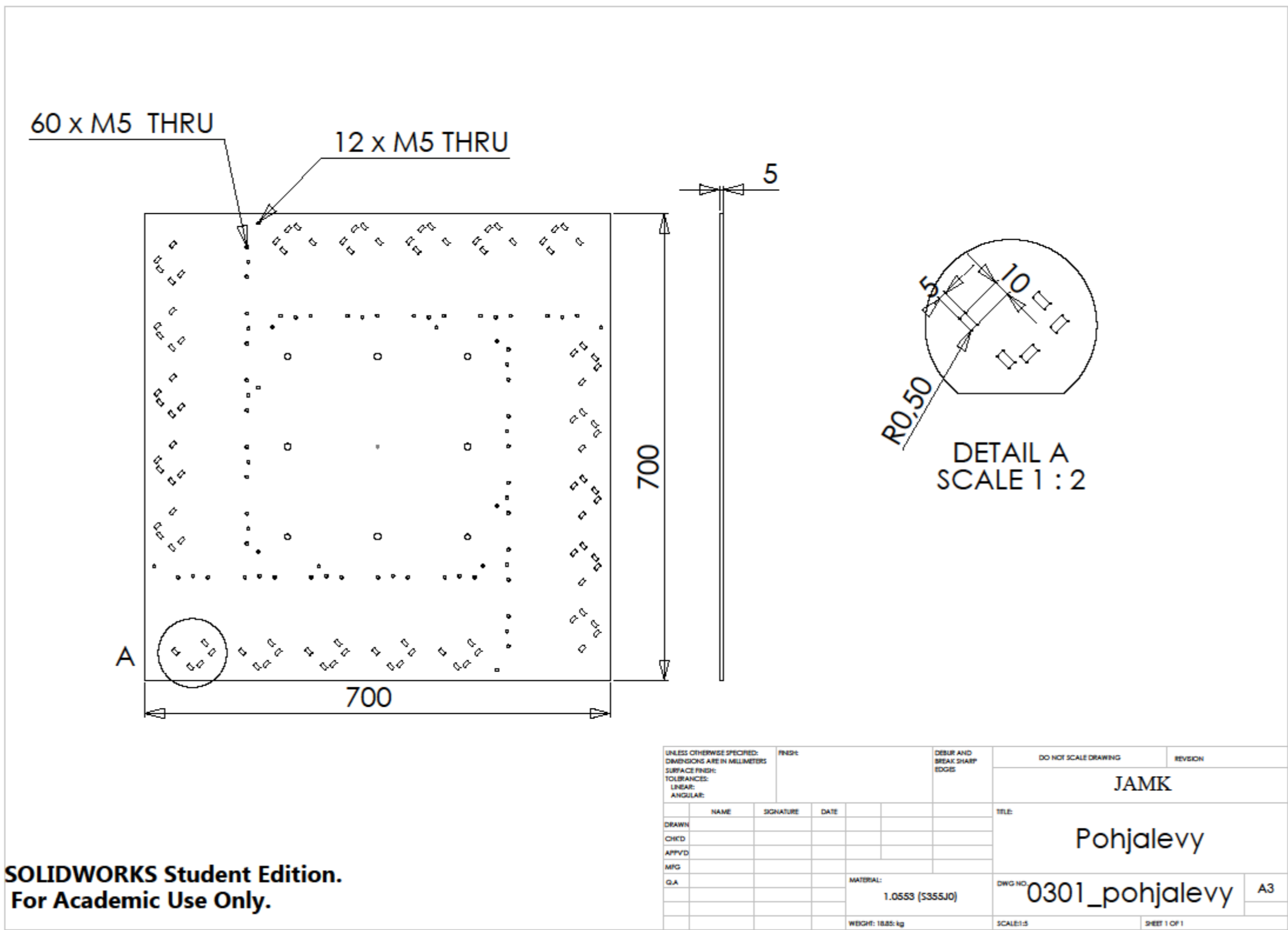
SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	0301_pohjalevy	Pohjalevy	1
2	0302_pystypala	Pystypala	20
3	0303_vaakapala	Vaakapala	20
4	0305_pystypala3	Pystypala	20
5	0306_pystypala4	Pystypala	20

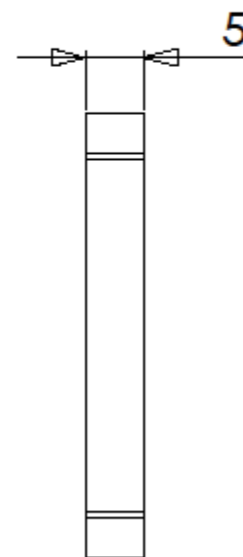
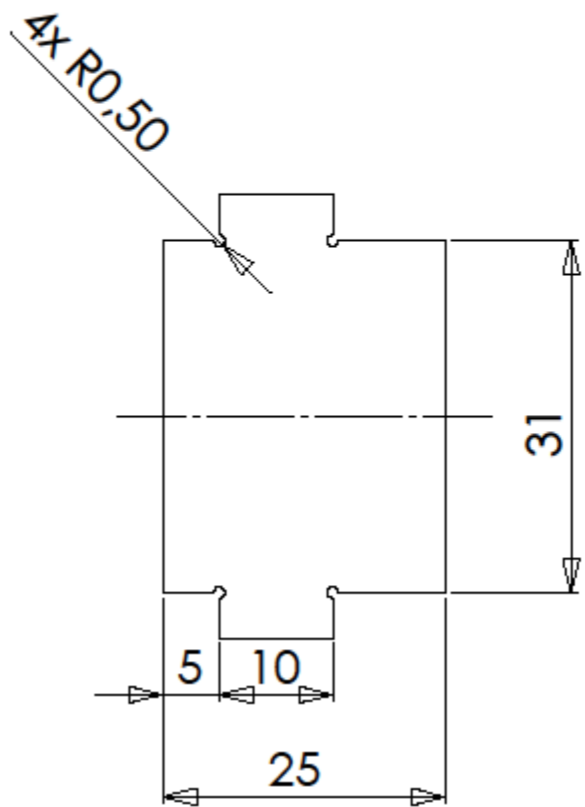
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:							JAMK			
TOLERANCES:										
LINEAR:										
ANGULAR:										
DRAWN:			NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHKD:										
APPVD:										
MFG:										
G.A.:										
							MATERIAL:		DWG NO: 4001_D801808_jigi A3	
									SCALE: 1:5 SHEET 1 OF 1	
							WEIGHT: 2471 kg			

D801808 Hitsauskokoonpano

Liite 11. Työkuva



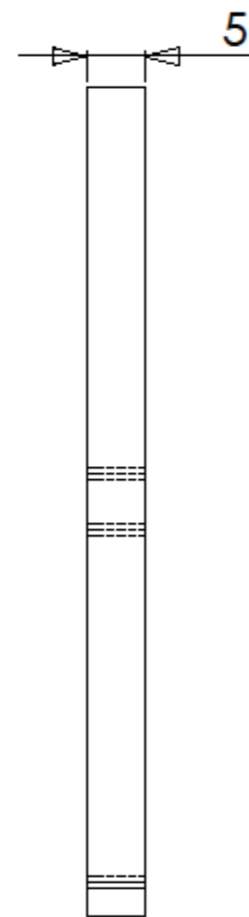
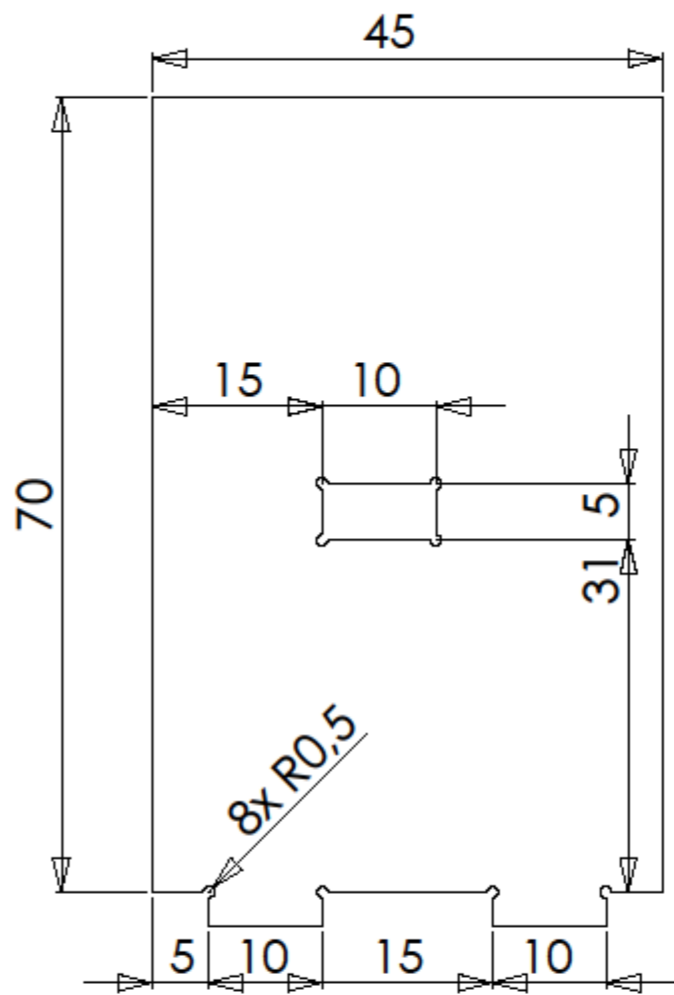
Liite 12. Työkuva



**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:				JAMK	
TOLERANCES:				Pystypala	
LINEAR:				TITLE:	
ANGULAR:				0302_pystypala	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:	DWG NO. A3
CHK'D				1.0553 (S355J0)	
APP'VD				WEIGHT: 0.02 kg	SCALE: 2:1
MFG					SHEET 1 OF 1
G.A.					

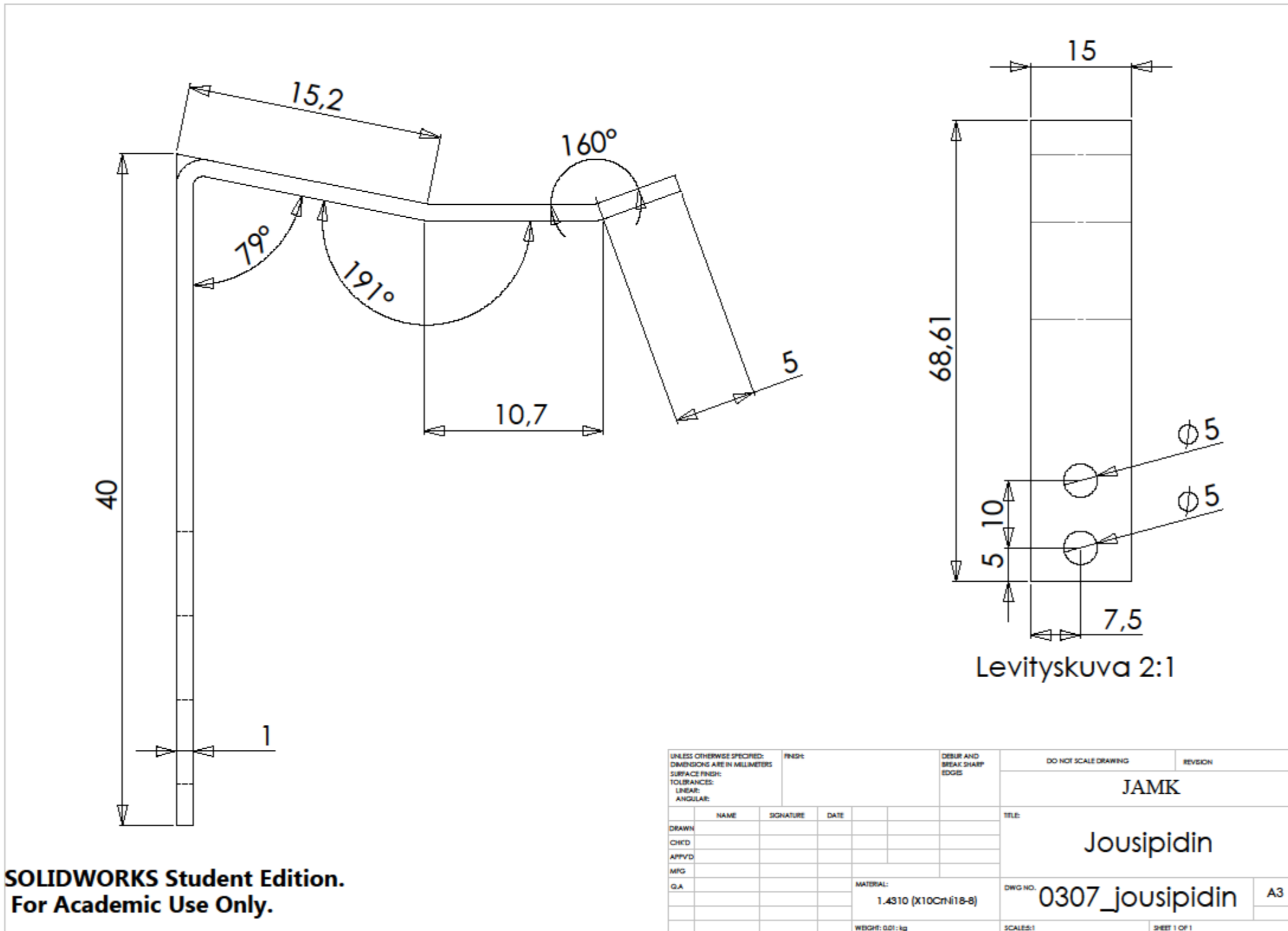
Liite 14. Työkuva

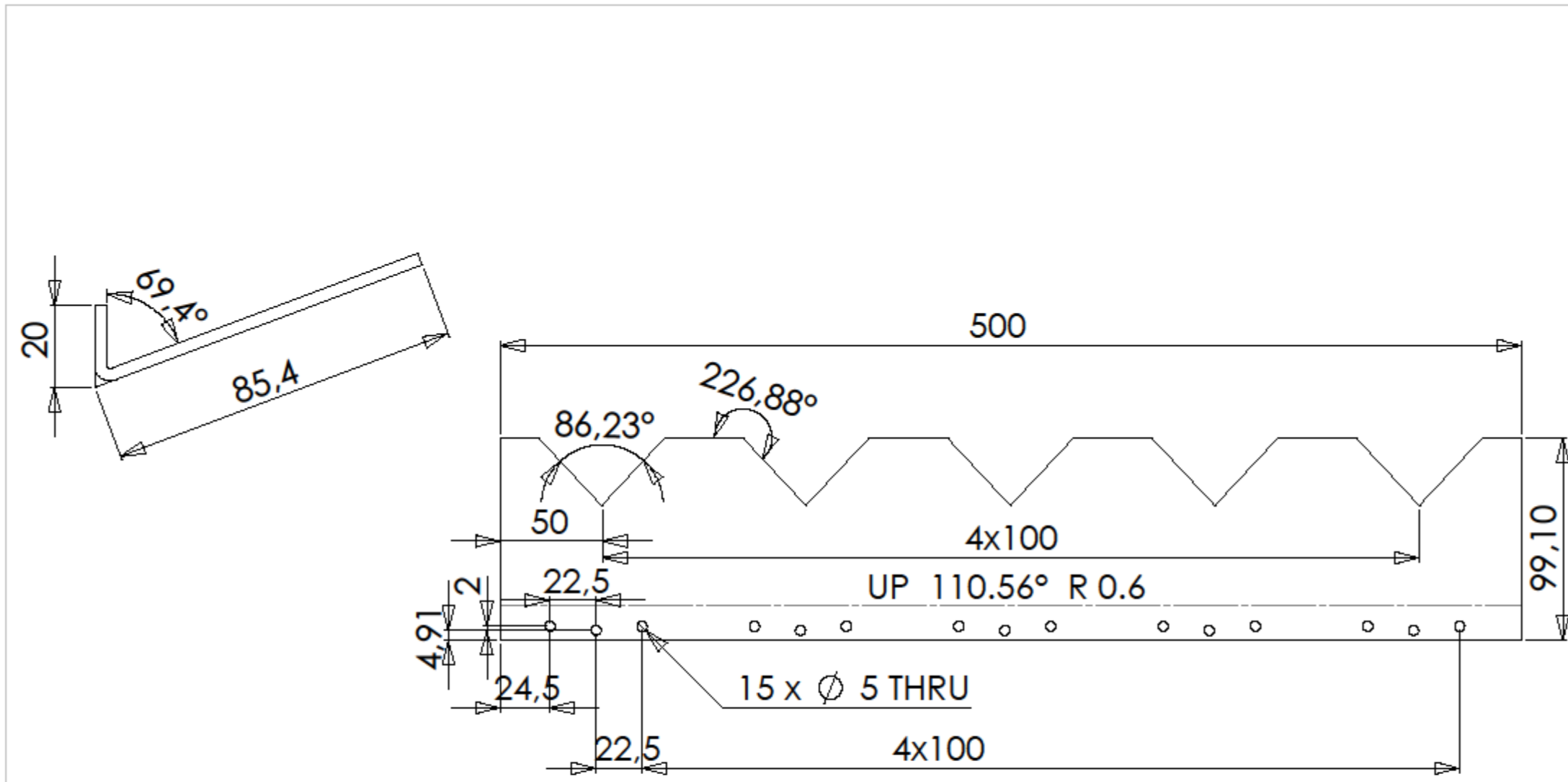


**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:				JAMK	
TOLERANCES:				Pystypala	
LINEAR:				0305_pystypala3	
ANGULAR:				A3	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:	DWG NO:
CHK'D				1.0553 (S355J0)	0305_pystypala3
APP'VD				WEIGHT: 0.12 kg	SCALE: 2:1
MFG					SHEET 1 OF 1
G.A.					

Liite 16. Työkuva



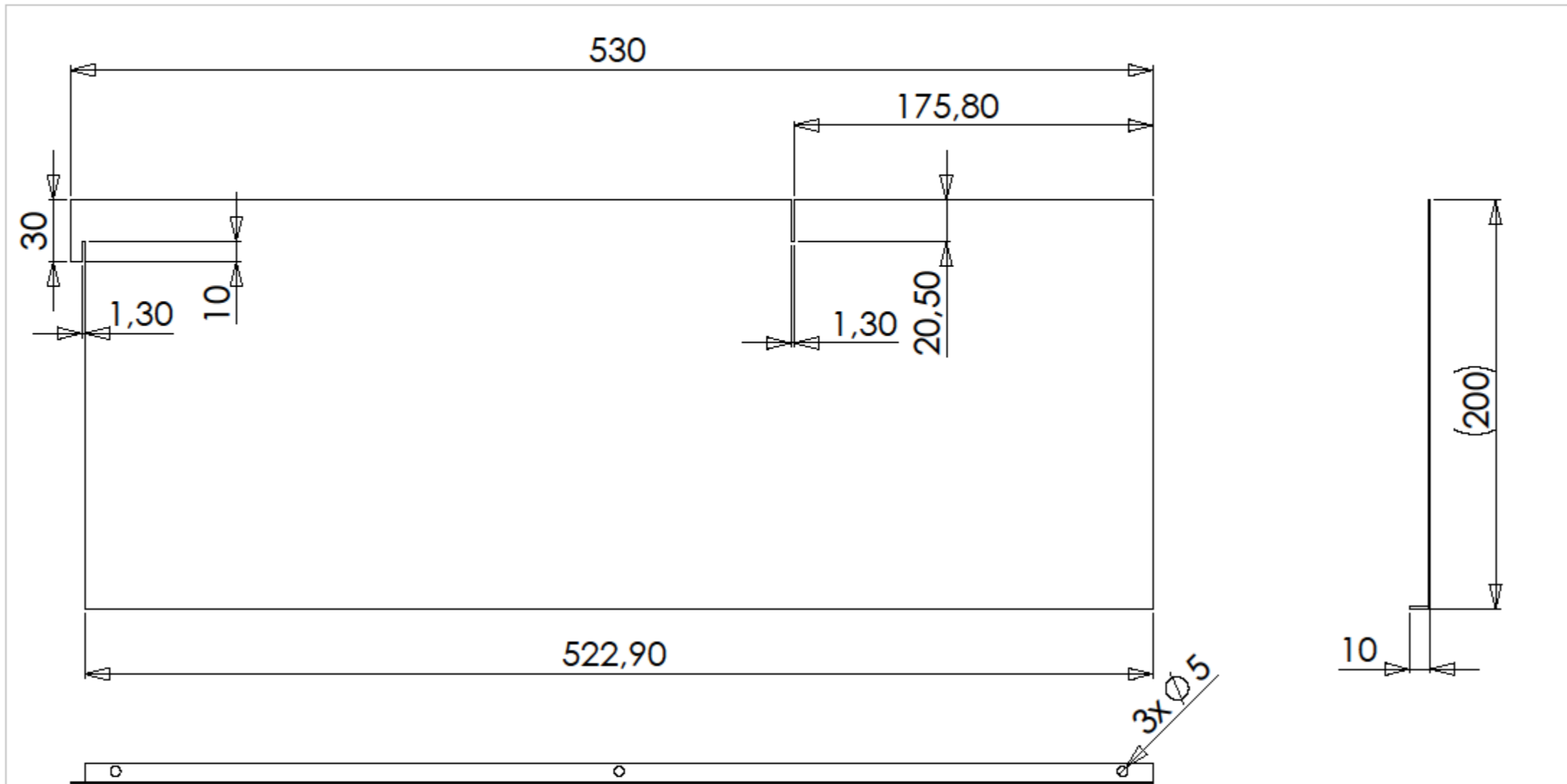


Levityskuva 1:2

**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION			
SURFACE FINISH:								JAMK					
TOLERANCES:													
LINEAR:								TITLE: Luukkupidin					
ANGULAR:													
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE				DWG NO:		A3	
CHKD										0308_luukkupidin			
APPVD										SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	
MFG								MATERIAL:					
G.A.								1.0114 (5235J0)					
								WEIGHT: 1.02: kg					

Liite 18. Työkuva



**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:								JAMK			
TOLERANCES:											
LINEAR:								Suojalevy			
ANGULAR:											
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D								0309_suojalevy			
APP'VD											
MFG								DWG NO.		A3	
G.A.								MATERIAL:		SCALE: 1:2	
								1.0114 (5235J0)		SHEET 1 OF 1	
								WEIGHT: 0.88 kg			

**DETAIL A
SCALE 1 : 2**

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	5001_D801847_jigi	D801847 Hitsauskokoonpano	1
2	0407_jousipidin	Jousipidin	20
3	sarana2	Vakiosarana	20
4	0408_luukkupidin	Luukkupidin	4
5	ISO - 4034 - M5 - S		60
6	ISO 7046-1 - M5 x 10 - Z - 10S		112
7	ISO 7046-1 - M5 x 16 - Z - 16S		60
8	0409_suojalevy	Suojalevy	4

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

JAMK

NAME: _____ SIGNATURE: _____ DATE: _____

TITLE:
D801847 Kokoonpano

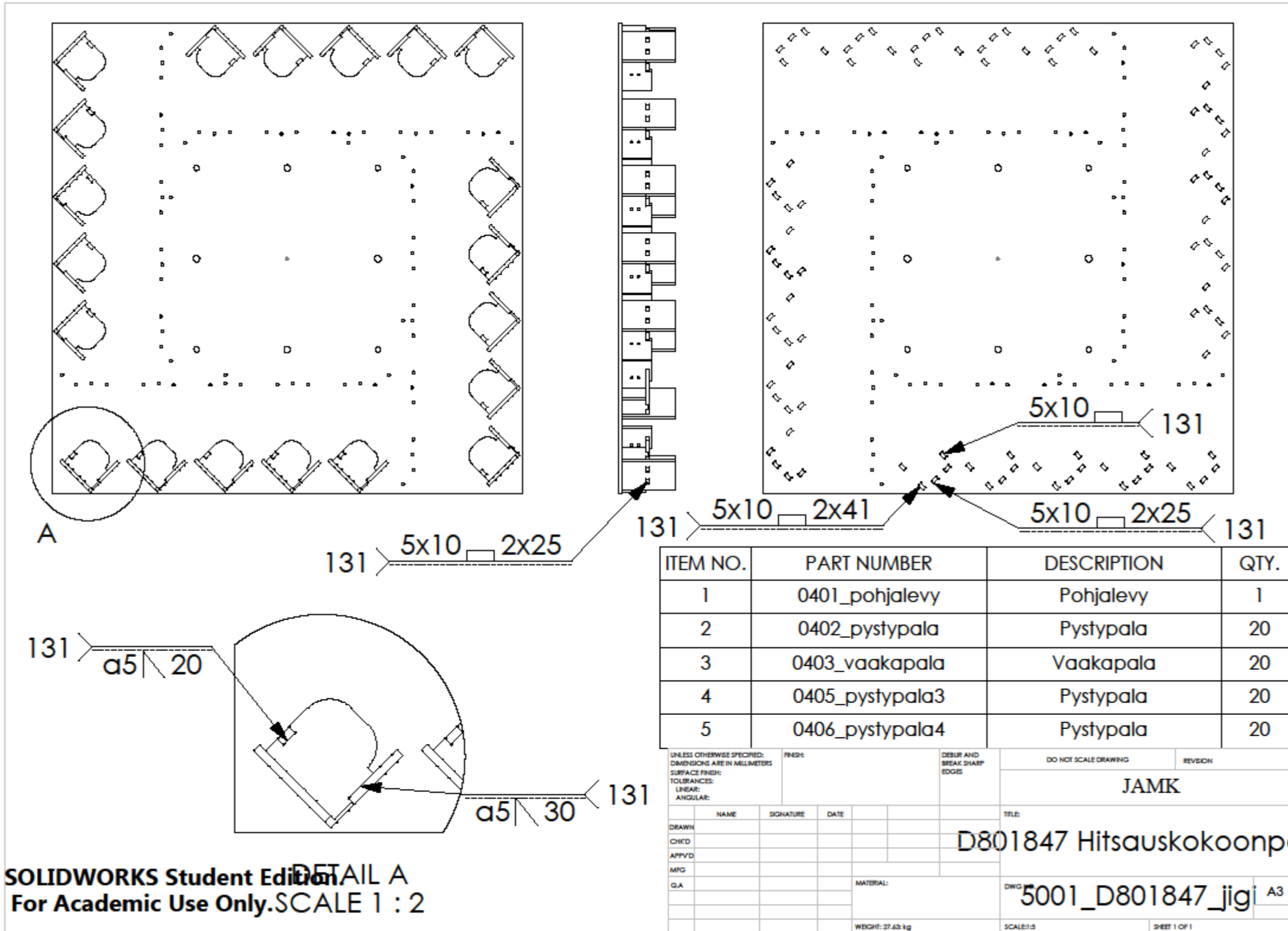
DWG NO: **5002_D801847_jigi** A3

WEIGHT: 36.09 kg

SCALE: 1:5

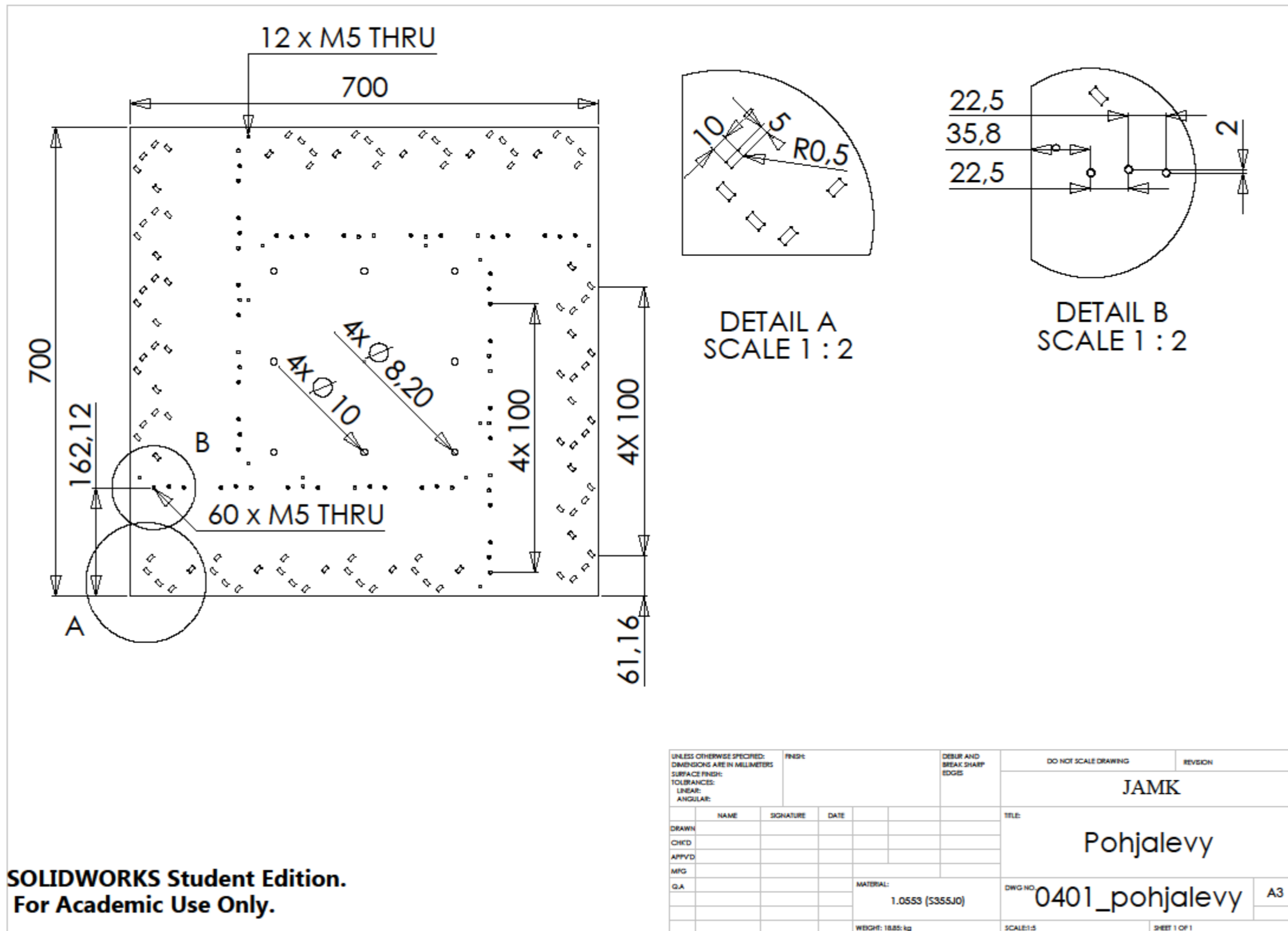
SHEET 1 OF 1

**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

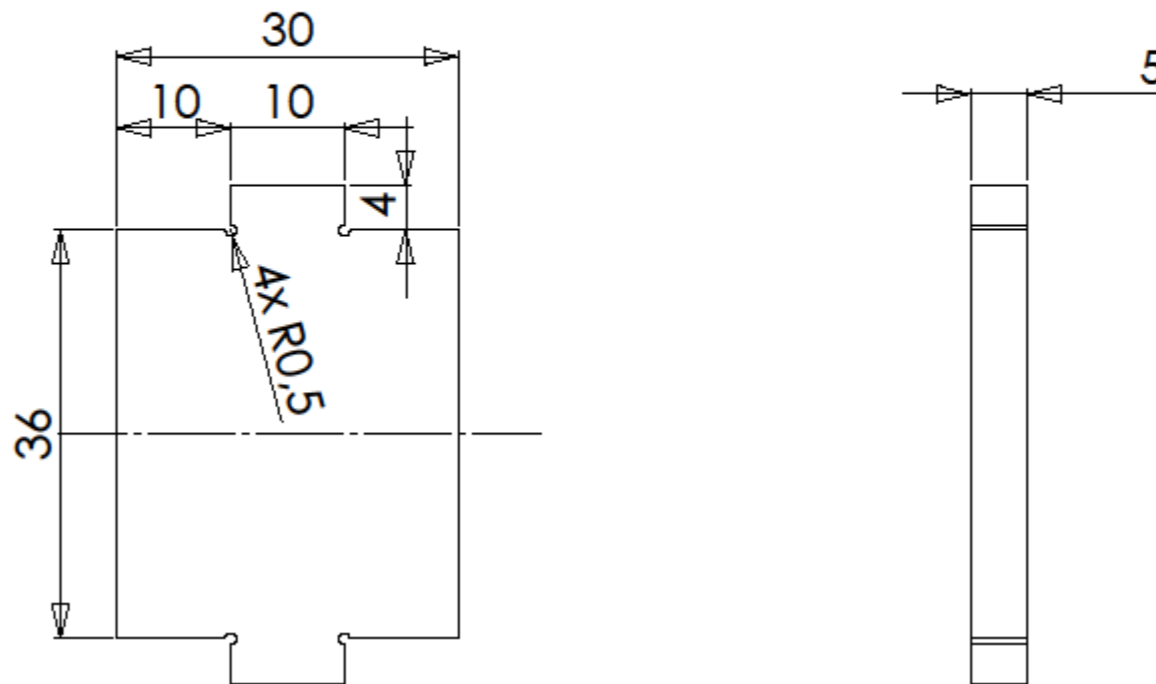


SOLIDWORKS Student Edition
 For Academic Use Only. SCALE 1 : 2

Liite 21. Työkuva



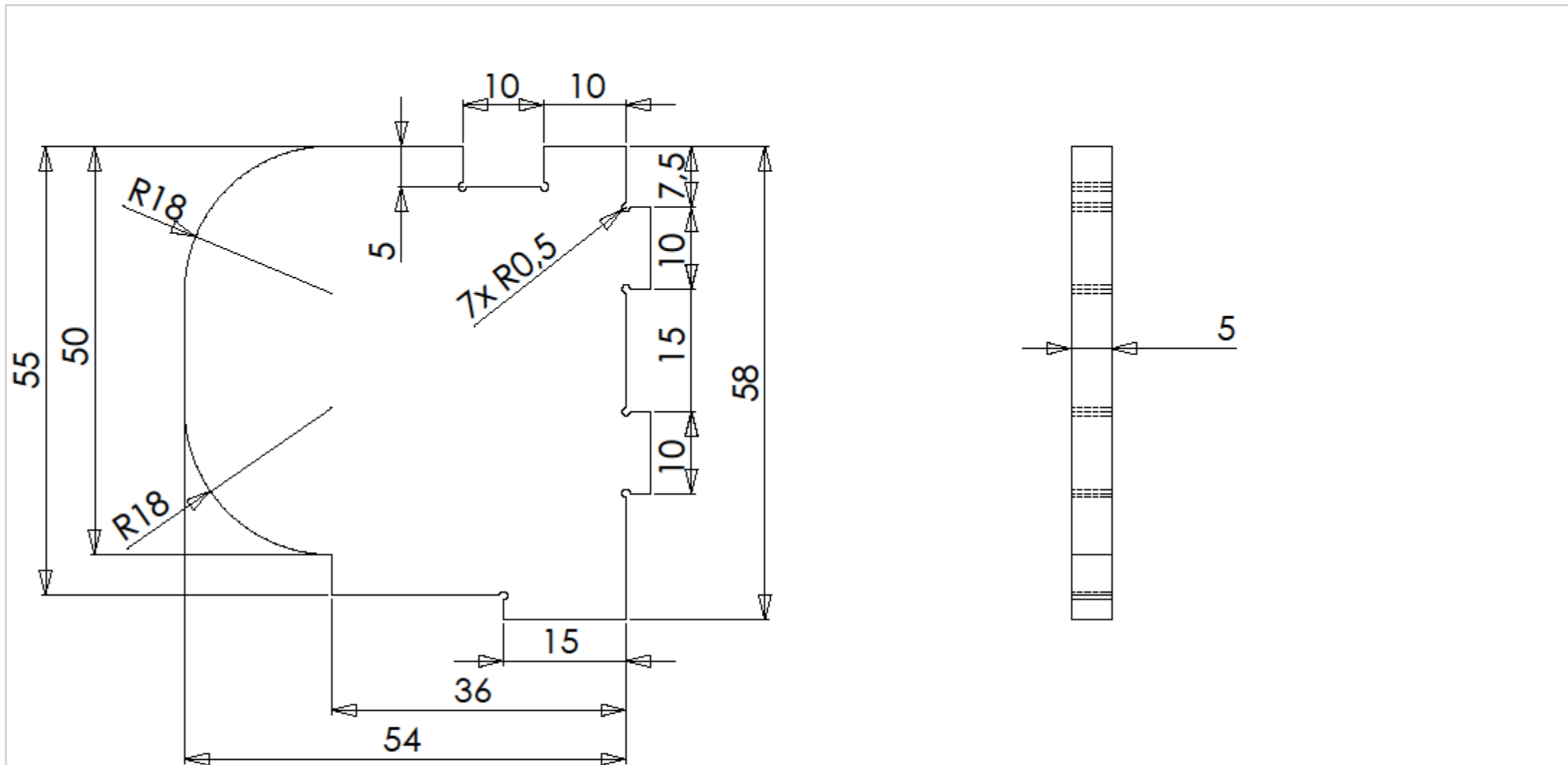
Liite 22. Työkuva



**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:				JAMK	
TOLERANCES:				Pystypala	
LINEAR:				0402_pystypala	
ANGULAR:				A3	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:	DWG NO.
CHK'D				1.0553 (S355J0)	0402_pystypala
APP'VD				WEIGHT: 0.05 kg	SCALE: 2:1
MFG					SHEET 1 OF 1
G.A.					

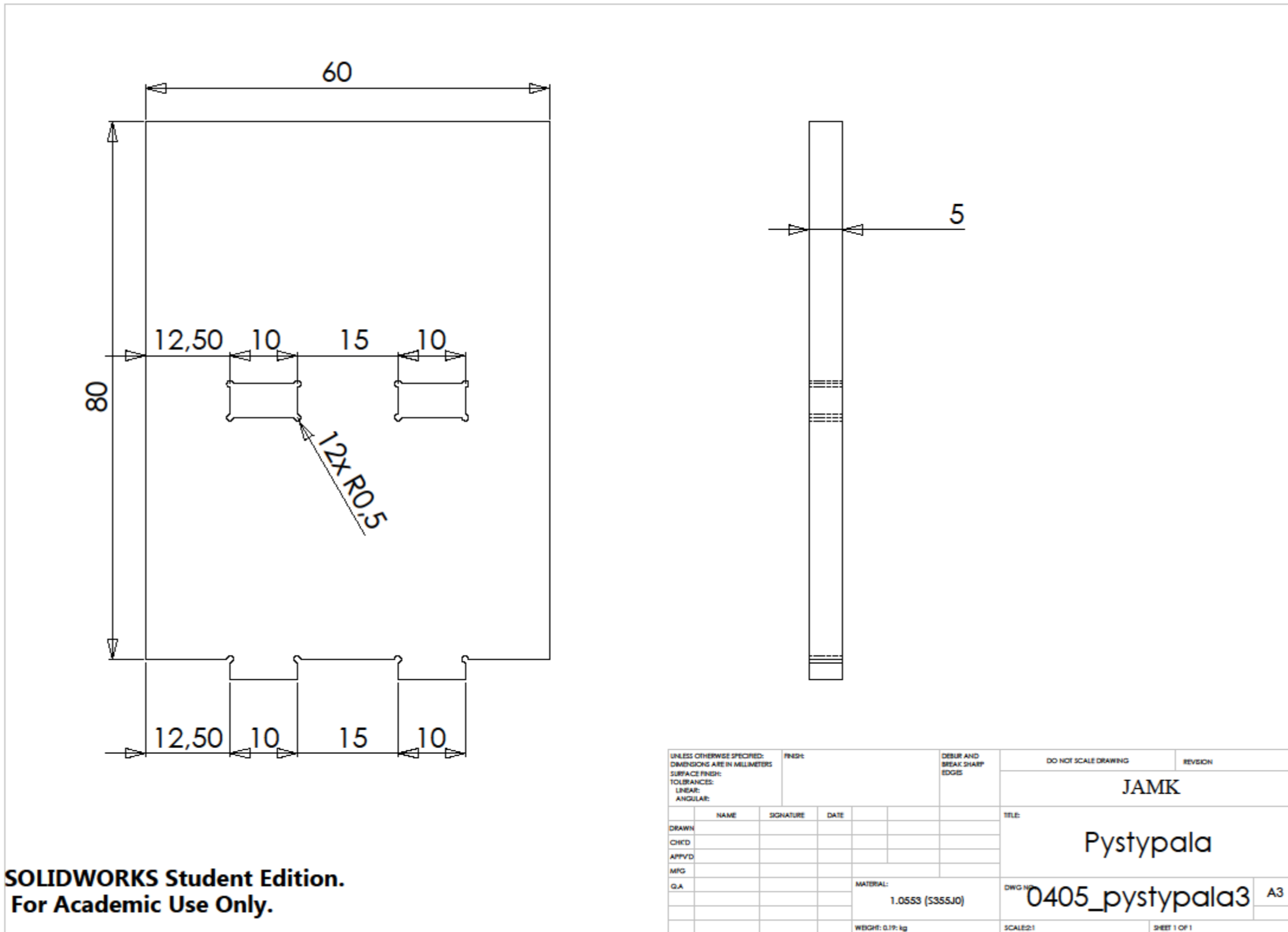
Liite 23. Työkuva



**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

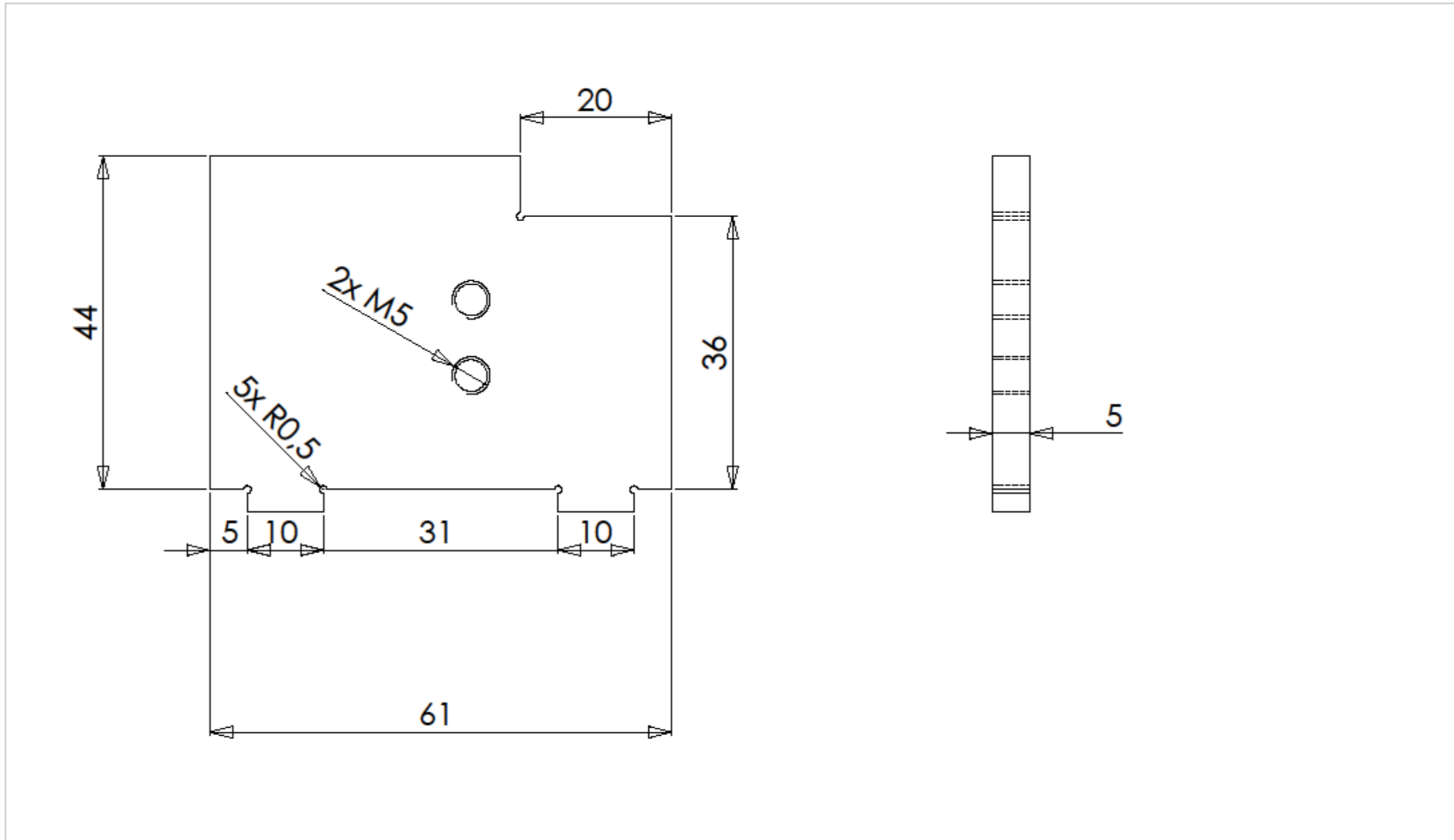
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:						JAMK	
TOLERANCES:						TITLE:	
LINEAR:						Vaakapala	
ANGULAR:						DWG NO: 0403_vaakapala A3	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			MATERIAL:	
CHKD						1.0553 (S355J0)	
APPVD						WEIGHT: 0.11 kg	
MFG						SCALE: 2:1	
G.A.						SHEET 1 OF 1	

Liite 24. Työkuva



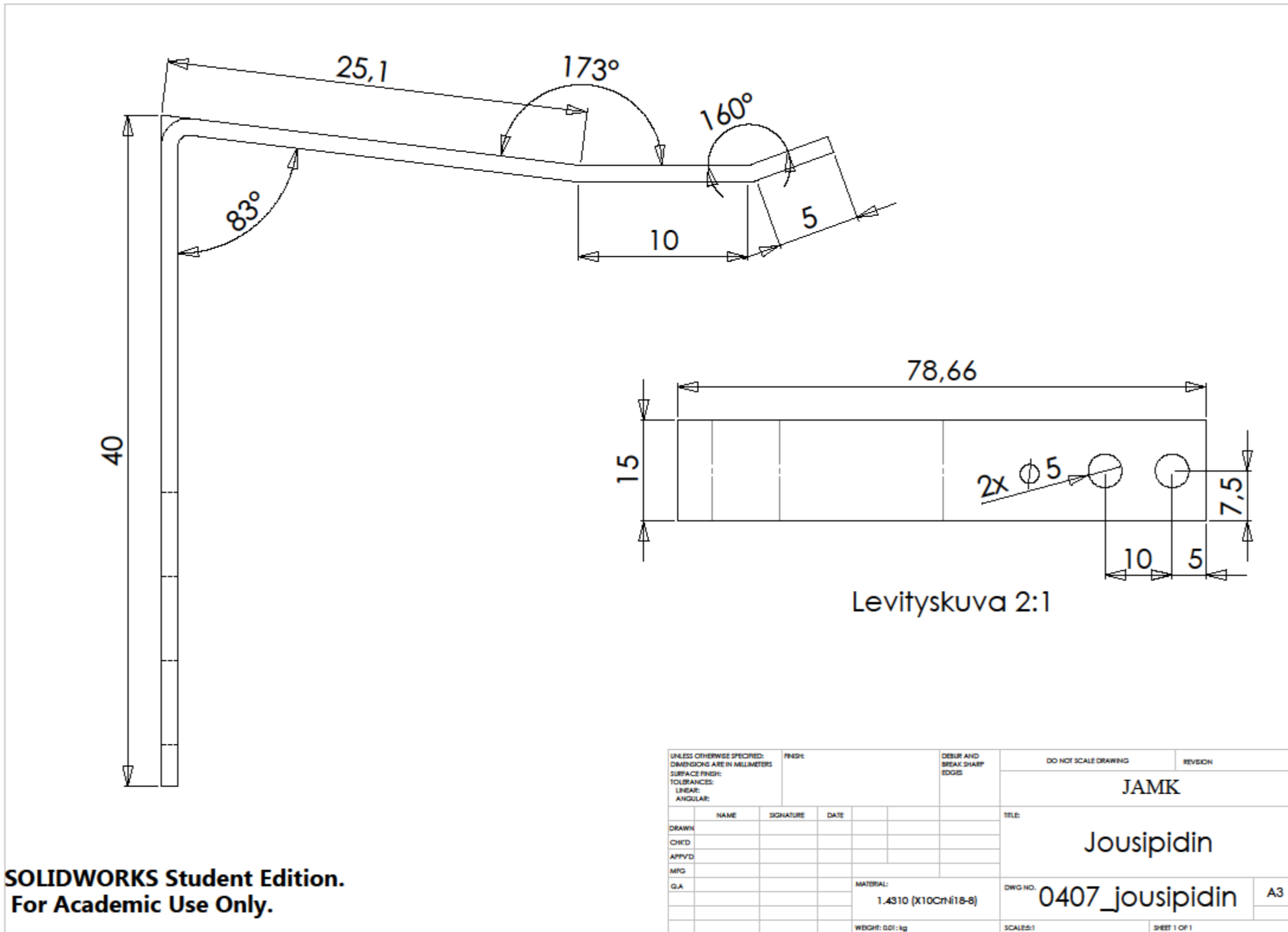
**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

Liite 25. Työkuva



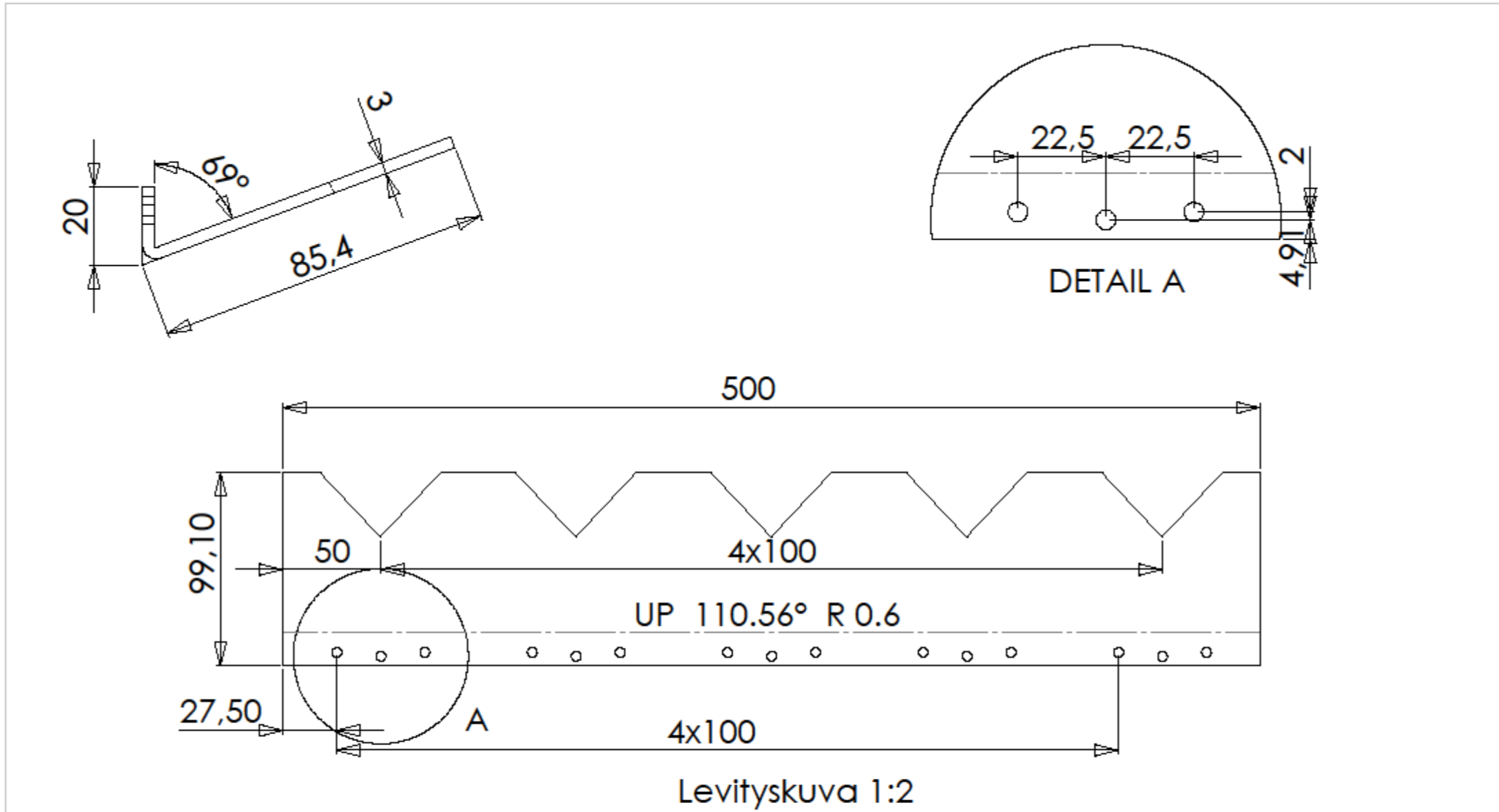
**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:						JAMK	
TOLERANCES:						Pystypala	
LINEAR:						0406_pystypala4	
ANGULAR:						A3	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			DWG NO: 0406_pystypala4	
CHKD						SCALE: 2:1	
APPVD						SHEET 1 OF 1	
MFG					MATERIAL:	1.0553 (S355J0)	
G.A.					WEIGHT:	0.10 kg	



**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

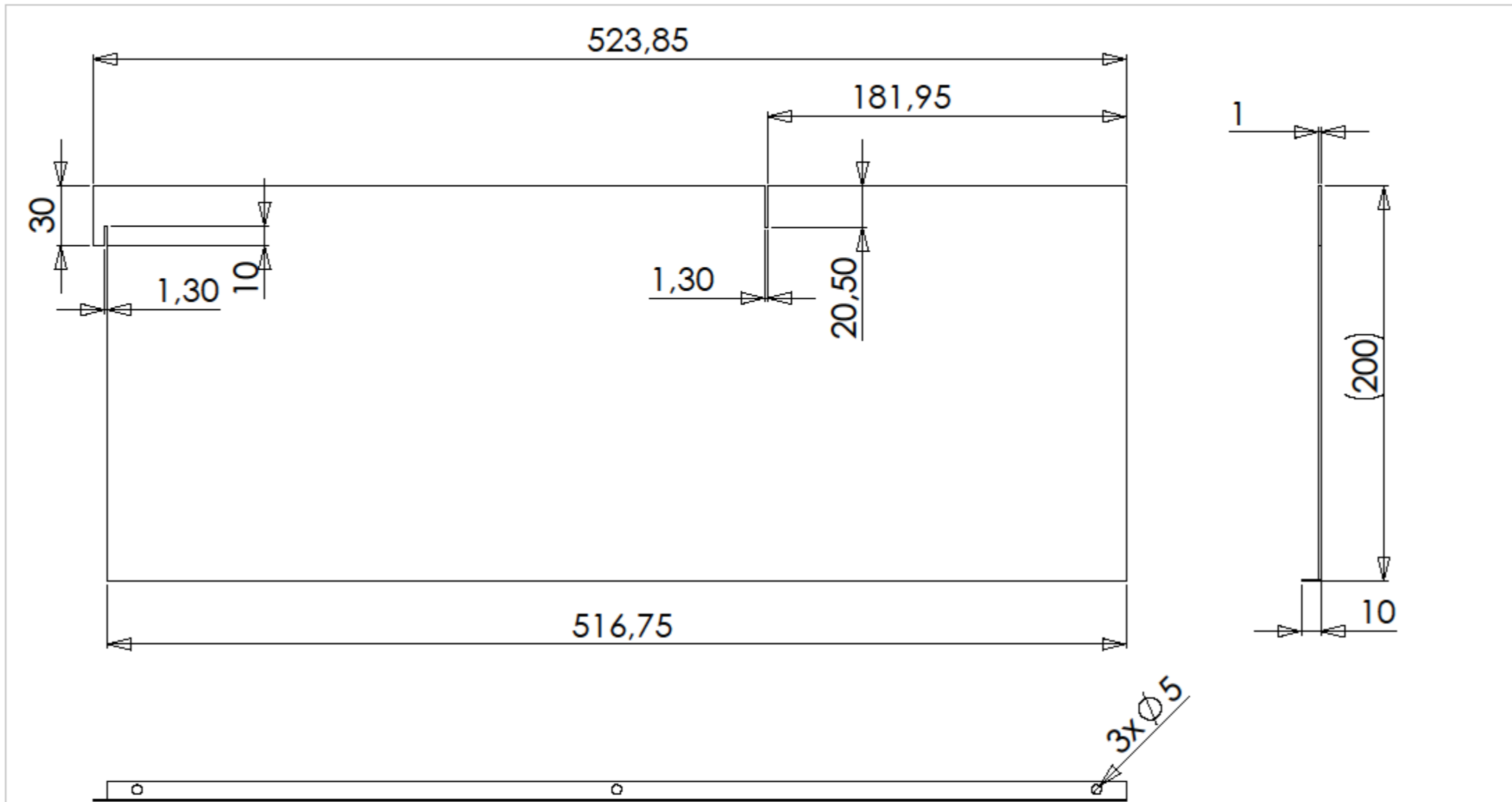
Liite 27. Työkuva



**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
						JAMK	
						TITLE:	
						Luukkupidin	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			DWG NO:	A3
CHKD						0408_luukkupidin	
APPVD							
MFG					MATERIAL:		
G.A.					1.0114 (5235J0)		
						WEIGHT: 1.02: kg	SHEET 1 OF 1

Liite 28. Työkuva



**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:								JAMK			
TOLERANCES:								TITLE:			
LINEAR:								Suojalevy			
ANGULAR:								DWG NO. 0409_suojalevy		A3	
NAME	SIGNATURE	DATE									
DRAWN											
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
G.A.											
MATERIAL:						1.0114 (S235J0)		SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 1	
WEIGHT: 0.84 kg											