

**CNC-särmäyksen opetussisällön kehittäminen kone- ja
tuotantotekniikan ammatillisessa koulutuksessa**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Konetekniikan koulutus, insinööri (AMK), Riihimäen kampus
Kevät 2022
Lauri Parkkila

Konetekniikka

Tekijä Lauri Parkkila

Työn nimi CNC-särmäyksen opetussisällön kehittäminen kone- ja tuotantotekniikan ammatillisessa koulutuksessa

Ohjaaja Tuukka Roiha (HAMK), Jere Jokelainen (Keuda)

Tiivistelmä

Vuosi 2022

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin Keski-Uudenmaan koulutuskuntayhtymän CNC-särmäyksen ammatillisen koulutuksen sisältöä. Kehitystyön tarkoituksena oli etsiä ratkaisuja koulutustoiminnan parantamiseksi, sekä luoda pohja opetussisällön laajentamisesta itsenäiseksi CNC-särmäyksen tutkinnon osaksi.

Työn ensimmäisessä osiossa perehdyttiin Keudan särmäyskoulutuksen tilanteeseen ja arvioitiin koulutuksen sisällön vastaavuutta opetushallituksen määrittämiin tutkinnon perusteisiin. Lähtötilanteen arvioimisen pohjalta tunnistettiin kehitystä vaativia kohteita itse opetuksessa sekä käytettävässä välineistössä.

Työn toisessa vaiheessa etsittiin kehityskohteisiin koulutustoimintaa parantavia ratkaisuja. Kehityskohteita ja ratkaisuja etsittiin erityisesti opetuksen resurssien tehostamisen, sekä opiskelijoiden itsenäistä oppimista ja ongelman ratkaisua tukevista näkökulmista. Toinen vaihe sisälsi myös CNC-särmäyksen tutkinnon osan opetussisällön pohjan luomisen sekä tehtäväpaketin suunnittelun.

Kehitystyön tuloksena uudistettiin Keudan särmäyskoulutusta sekä teoriaopetuksen, että käytännön suoritteiden saralla. Koulutuksen teoriaopetukseen luotiin selkeä sisältö ja materiaalit. Käytännön suoritteiden tueksi kuvattiin sarja opetusvideoita, jotka edesauttavat opiskelijoiden itsenäistä työskentelyä särmäyspuristimella. CNC-särmäyksen tutkinnon osan pohjaksi luotiin alustava koulutussisältö. Tutkinnon osalle luotiin myös teoria- ja tehtäväpaketti. Työn tuloksena Keudan särmäysopetus tehostui, ja koulutusta voidaan tarjota CNC-särmäyksen syventävässä tutkinnon osassa.

Avainsanat Särmäys, ammatillinen koulutus, levytyöt, valmistustekniikka

Sivut 29 sivua ja liitteitä 46 sivua

In this thesis the content of the vocational education of CNC-edging in Keuda Group was developed. The purpose of the development work was to find solutions in order to improve the edging training, and to create a basis for expanding the teaching content into an independent part of degree in CNC-edging.

The first phase of development was about reviewing the current situation of Keuda Group's CNC-edging training, and comparing of the teaching content with the vocational qualifications set by Finnish National Agency of Education. The objects requiring development in education and equipment were recognized on basis of evaluating current situation of the training.

In the second phase of the work, solutions were sought to improve educational activities. The objects requiring development and solutions to them were sought in particular from the perspective of enhancing the efficiency of educational resources, as well as supporting students' independent learning and problem solving. The second phase included also the creation of the teaching content for part of degree in CNC-edging, and the design of an exercise package.

As a result of the development work Keuda Group's edging training was renewed in the areas of theoretical teaching and practical working. Clear content and materials were created for theoretical teaching. A series of instructional videos were recorded to support the practical working and students' independent work with a press brake. A preliminary teaching content was created for the part of degree in CNC-edging. An exercise package was also created for the part of degree. As a result of the work Keuda Group's edging teaching became more efficient, and the teaching can be provided in the advanced part of degree in CNC- edging.

Keywords Edging, vocational education, plate works, production technology

Pages 29 pages and appendices 46 pages

Sisällys

Selitteet

1	Johdanto	1
1.1	Keski-Uudenmaan koulutuskuntayhtymä Keuda.....	1
1.2	Työn aihe ja tavoite.....	1
2	Särmääminen valmistusmenetelmänä.....	2
2.1	Mitä särmääminen on?	2
2.2	Taivutusmuodot	3
2.3	CNC- ohjelmointi särmäyksessä	4
3	CNC-särmäyksen koulutus Keudassa.....	6
3.1	Koulutuksen perusteet.....	6
3.2	Koulutuksessa käytettävät välineet	7
3.3	Yleiskuvaus koulutuksesta	8
3.4	Yhteenveto koulutuksen tilanteesta.....	9
4	Kehityskohteiden tunnistaminen	10
4.1	Havaintoja koulutuksen ongelmakohdista	10
4.2	Havaintoja koulutusvälineistön ja tilojen kehittämistarpeista	10
5	Koulutuksen kehittäminen	11
5.1	Opetustapahtumien kehittäminen	11
5.1.1	Yleisteoria.....	11
5.1.2	Levitysoppi	13
5.1.3	Ohjelmointiopetus	15
5.2	Käyttökoulutuksen kehittäminen	16
5.3	Digitalisaation hyödyntämismahdollisuudet opetuksessa	17
5.4	Särmäyspisteiden järjestely	18
6	CNC-särmäyksen tutkinnon osan suunnittelu.....	18
6.1	Ammattitaitovaatimukset.....	18
6.2	Tutkinnon osan sisällön suunnittelu	19
6.2.1	Työvaihesuunnitelman laadinta.....	19
6.2.2	Särmäyspuristimen käyttäminen ja kappaleen valmistaminen.....	20

6.2.3	Määräaikaishuollot ja tarkistukset.....	21
6.2.4	Työelämätapojen noudattaminen	22
7	Harjoitustöiden suunnittelu	23
7.1	Peltilaatikko.....	23
7.2	Lintulauta	24
7.3	Postilaatikko	24
7.4	Retkisavustin	25
7.5	Savustusuuni	26
8	Tulokset	27
9	Pohdinta	29
	Lähteet.....	30

Liitteet

Liite 1 CNC-särmäys 20 osp. teoria- ja tehtäväpaketti

Selitteet:

CNC	Computerized Numerical Control, numeerinen tietokoneohjaus
b	Taivutuksen lyhimmän sivun tekninen merkintä
ir	<i>Inner radius</i> , sisäsäde
kN	Voiman yksikkö, tuhat Newtonia
Matriisi	Särmäyspuristimen alatyökalun virallinen nimitys
r	Säteen matemaattinen merkintä, särmäyksessä yleisesti viitattu taivutuksen sisäsäteeseen
t	<i>Thickness</i> , materiaalin vahvuuden tekninen merkintä

1 Johdanto

1.1 Keski-Uudenmaan koulutuskuntayhtymä Keuda

Keski-Uudenmaan koulutuskuntayhtymä Keuda on vuonna 1962 perustettu Suomen viidenneksi suurin ammatillista koulutusta tarjoava oppilaitos. Keudalla on 10 toimipistettä, jotka sijaitsevat Sipoossa, Järvenpäässä, Keravalla, Nurmijärvellä, Mäntsälässä ja Tuusulassa. Keuda tarjoaa 80 tutkintoon johtavaa koulutusta, joissa opiskelee yhteensä noin 10000 opiskelijaa. Keudan henkilökunnan kokonaismäärä on 820 henkilöä, joista opetustehtävissä toimii noin puolet, tarkalleen 436 henkilöä. (Keuda, 2022)

Keudan kone- ja tuotantotekniikan koulutus on keskitetty Järvenpäähän Wärtsilänkadun toimipisteelle. Kone- ja tuotantotekniikan koulutuslalla tarjotaan koulutusta levyseppähitsaajan, koneistajan ja koneasentajan osaamisaloilla. Opiskelijoita koko koulutuslalla on yhteensä noin 100.

1.2 Työn aihe ja tavoite

Kone- ja tuotantotekniikan opintolinjalla CNC-särmäys sisältyy levyseppähitsaajan osaamisalan pakolliseen hitsaus- ja levytöiden tutkinnon osaan. Tutkinnon osan opetustavoitteena on antaa opiskelijalle perusteet eri hitsausprosessien sekä levytyökoneiden, kuten särmäyspuristimien ja levyleikkureiden käyttämisestä tuotteen valmistamisessa. Tutkinnon osan särmäyksen osion koulutuksen on todettu olevan epäorganisoitu sekä opetusmateriaaleiltaan, että koulutusmetodeiltaan. Koulutuksen epäjärjestelmällisyyden on havaittu johtaneen tilanteeseen, missä eri vuosikurssien välillä särmäystaidossa on suuria vaihteluita, ja särmäyspuristimien käytön opettaminen ja valvonta vie paljon opetusresursseja.

Työn ensimmäisenä tavoitteena on kehittää ja uudelleenjärjestää olemassa olevaa opetussisältöä, etsiä uusia näkökulmia koulutuksen toteutukseen, sekä edistää koulutuksen digitalisaatiota. Kehityskohteet pyritään tunnistamaan erityisesti opiskelijoiden oppimista ja

taitotasoa kehittävältä kannalta. Koulutuksen uudelleenjärjestelyllä pyritään vapauttamaan opetusresursseja, ja luomaan yhteneväinen koulutus jokaiselle vuosikurssille.

Keudassa ei ole tämän opinnäytetyön suorittamisen hetkellä tarjolla opetushallituksen asettaman kone- ja tuotantotekniikan tutkinnon perusteen mukaista CNC-särmäyksen 20:n osaamispisteen laajuista valinnaista tutkinnon osaa. Tutkinnon osan avaaminen luo mahdollisuuden opiskella CNC-särmäämistä myös muiden kuin levyseppähitsaajan osaamisalan opiskelijoille.

Työn toinen tavoite on luoda perusta CNC-särmäyksen 20 osaamispisteen tutkinnon osan avaamiselle luomalla alustava koulutussuunnitelma, sekä laatia tutkinnon osaan viisi harjoitustehtävää. Koulutussuunnitelmassa linjataan tutkinnon osan perusteen mukaisen arvosanan H3 mukainen opetussisältö.

2 Särmääminen valmistusmenetelmänä

2.1 Mitä särmääminen on?

Särmäämisellä tarkoitetaan levymateriaalien muovaamista pienellä taivutussäteellä.

Särmääminen soveltuu menetelmänä käytännössä kaikille levyvahvuuksille. Levyvahvuuden kasvaessa ja taivutussäteen pienentyessä rajoittava tekijä on lähinnä särmäyspuristimen teho. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 300)

Särmääminen on teollisuudessa yleisesti käytetty valmistusmenetelmä, joka mahdollistaa muotojen valmistamisen kappaleeseen kustannustehokkaasti ja ilman tarvetta mekaanisille liitoksille. Modernit särmäyspuristimet ovat käytännössä poikkeuksetta CNC-ohjattuja. Käytännössä särmäystyö suoritetaan taivuttamalla levyä ylä- ja alatyökalun välissä särmäyspuristimella haluttuun kulmaan. Särmäystyön suorittamista esitellään kuvassa 1.

Kuva 1: Särmästyön suorittamista



Yleisesti ylätyökalut ovat kiilamaisia painimia, joiden särmäykseen vaikuttava ominaisuus on työkalun kärjen pyöristyssäde. Alatyökalut ovat aukolla varustettuja vastinmatriiseja. Alatyökalujen määrittäviä tekijöitä ovat aukon poikkileikkauksen muoto, sekä aukon leveys. Tyypillisesti aukon poikkileikkaus on V- kirjaimen muotoinen, mistä juontaa juurensa yleisesti alatyökaluista käytetty ammattikielinen termi "V- aukko".

2.2 Taivutusmuodot

Särmääminen jakautuu kahteen päätyyppiin; pohjaiskutaivutukseen sekä ilmvälitaivutukseen. Pohjaiskutaivutuksessa levy pakotetaan ylätyökalun avulla alatyökalun muotoon. Pohjaiskutaivutus vaatii paljon voimaa, ja soveltuu siten yleisesti vain ohutlevyjen särmäysmenetelmäksi. Levyn pakottaminen muotoon plastisoi kokonaisuudessaan taivutettavan kohdan, jolloin takaisinjousto ei tapahdu, tai se on hyvin vähäistä. Käytettävän puristusvoiman tarve on 2 – 5ertainen ilmvälitaivutukseen verrattuna. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 305)

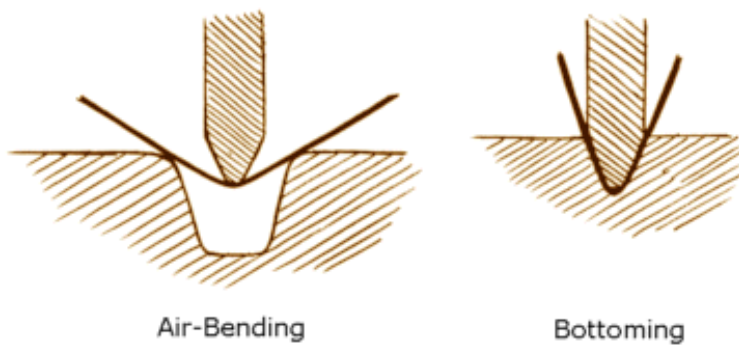
Ilmavälitaivutuksessa levyn ja alatyökalun väliin jää selvä rako, jolloin levyn taivuttaminen tapahtuu ylätyökalun kärjen ja alatyökalun aukon laitojen muodostaman kolmen pisteen varassa (Lepola & Makkonen, Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet, 2006, s. 305).

Ilmavälitaivutukseen vaadittu voima on huomattavasti pienempi kuin pohjaiskutaivutuksessa, joten menetelmä soveltuu kaikille levynvahvuuksille.

Ilmavälitaivutuksen tyypillinen ominaispiirre on materiaalin osittaisen plastisoitumisen aiheuttama takaisinjousto, jonka johdosta halutun muodon ja taivutuskulman saavuttaminen vaatii niinkutsutun ylitaivutuksen (Lepola & Makkonen, 2006, s. 305).

Pohjaiskutaivutuksen ja ilmavälitaivutuksen periaatteet ovat esitetty alla kuvassa 2.

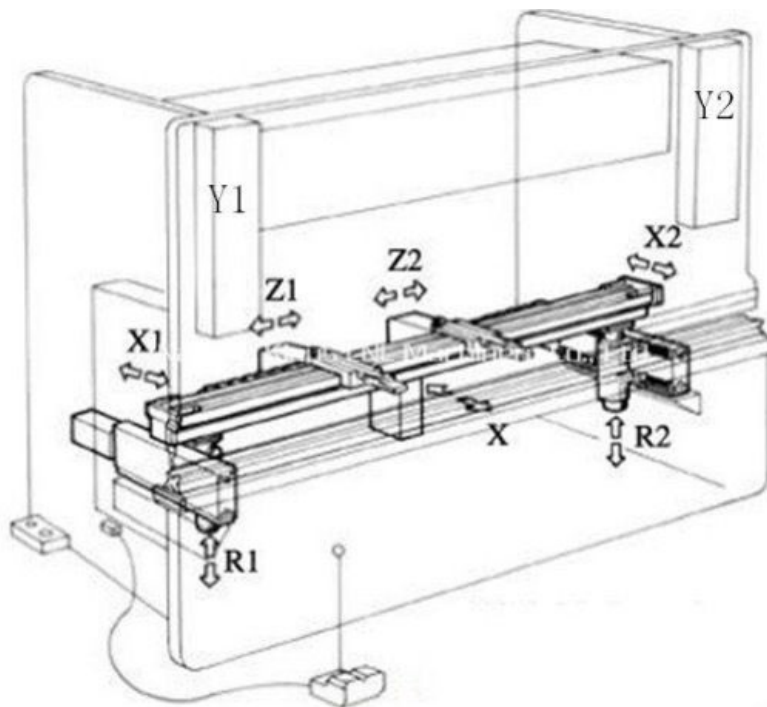
Kuva 2: Ilmavälitaivutuksen (vasemmalla) ja pohjaiskutaivutuksen (oikealla) periaatteet (Efunda, n.d.)



2.3 CNC-ohjelmointi särmäyksessä

Särmäyspuristimien CNC-ohjauksia on useilta valmistajilta, joiden ohjelmointilogiikka on kuitenkin yleistettynä yhteneväinen. Tavanomaisen särmäyspuristimen ohjelmoitavat perusakselit ovat takavasteiden syvyysijainti X, takavasteiden sivusuuntainen sijainti Z, takavasteiden korkeusakseli R, sekä halutun kulman taivuttamiseen tarvittava painimen syvyysijainti Y. Jokainen akseli voidaan ohjelmoida koneen konstruktion oikeana ja vasempana puolena, jolloin ohjelmoitavien akseleiden kokonaismäärä on kahdeksan. Tavanomaisen särmäyspuristimen konstruktio, sekä ohjelmoitavat akselit ovat esitetty kuvassa 3.

Kuva 3: Havainnekuva ohjelmoitavista akseleista (Kirjava, 2016)

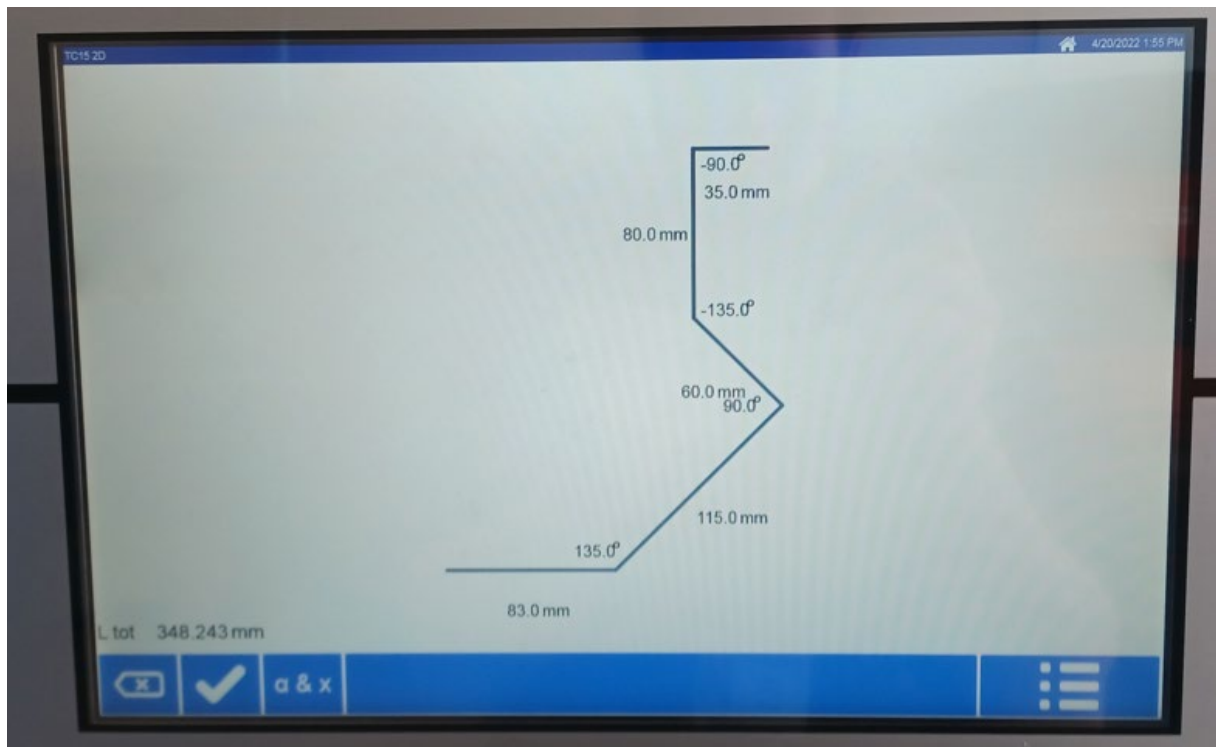


CNC-särmäyspuristimen tyypillisin ohjelmointitapa on kulmamuoto-ohjelmointi.

Ohjelmointitapa vaatii tiedot halutusta taivutuksen avautumiskulmasta, käytettävistä ala- ja ylätyökaluista, sekä taivutettavan kappaleen materiaalitiedot, eli särmättävän kappaleen materiaalin, materiaalivahvuuden sekä taivutettavan leveyden. Edellä mainituilla tiedoilla ohjelmisto laskee taivutuksessa tarvittavan voiman, sekä painimen Y- aseman halutun kulman saavuttamiseksi.

Särmäyspuristimien ohjausohjelmistoissa on myös pääsääntöisesti mahdollisuus määrittellä graafisesti taivutettava kappale. Käytännössä graafisessa ohjelmointitavassa koneeseen syötetään valmistettavan profiilin sivujen pituudet ja avautumiskulmat. Graafisen ohjelmoinnin selkein etu on taivutuksen simulointimahdollisuus, jolloin geometrian taivutusjärjestyksen vaikutukset tuotteen särmättävyyteen ja mahdolliset törmäykset koneen ja kappaleen välillä nähdään konkreettisesti. Toinen etu on koneen laskema oikaistu pituus taivutettavalle aihiolle. Kuvassa 4 esitetään esimerkki profiilin graafisesta ohjelmoinnista.

Kuva 4: Graafisesti ohjelmoitu profiili



Särmäyspuristimen kolmas ohjelmointitapa on absoluuttinen ohjelmointi, jolloin käyttäjä syöttää kaikille akseleille, mukaan lukien Y- akseli, haluamansa arvon, sekä määrittää itse taivutuksessa käytettävän voiman. Absoluuttinen ohjelmointitapa on harvoin käytetty, ja liittyy usein yksittäisten erikoisempien kappaleiden särmäämiseen.

3 CNC-särmäyksen koulutus Keudassa

3.1 Koulutuksen perusteet

Keudan särmäyskoulutuksen sisältö noudattaa opetushallituksen asettamaa kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon perustetta OPH-2541-2017. Perusteessa CNC-särmäyksen taitotason arviointikriteerit ovat sisällytetty hitsaus- ja levytöiden pakolliseen tutkinnon osan

ammattitaitovaatimukseen ”Opiskelija osaa käyttää levytyökoneita ja tehdä levytöitä”.

Perusteessa kuvataan opiskelijan särmäystöiden taitotason arviointi kirjallisesti arvosanoille T1 (Tyydyttävä), H3 (Hyvä), ja K5 (kiitettävä). Perusteen mukaiset taitotasokuvaukset ovat seuraavat:

T1: Opiskelija suorittaa yhden taivutuksen särmäystöitä ja osaa laskea oikaistut pituudet (OPH-2541-2017, 2018, s. 179).

H3: Opiskelija suorittaa kahden taivutuksen särmäystöitä, osaa laskea oikaistut pituudet sekä laatia työ- ja taivutusjärjestyksen taivutettavalle tuotteelle, hallitsee CNC-ohjatun särmäyskoneen peruskäytön (OPH-2541-2017, 2018, s. 179).

K5: Opiskelija selviytyy useamman taivutuksen sisältävästä särmäystöistä itsenäisesti manuaalisella ja CNC-ohjatulla särmäyskoneella (OPH-2541-2017, 2018, s. 179).

Levy- ja hitsaustöiden tutkinnon osan särmäyksen opetussisältö luo opiskelijalle perustan suorittaa särmäystöitä muiden tutkinnon osien harjoitusten suorittamisessa.

Lähtökohtaisesti teräsrakennetöiden, ohutlevytöiden ja syksyllä 2022 avattavan CNC-särmäyksen kurssien tehtävät sisältävät kappaleita, jotka vaativat useita taivutuksia sisältävien osien särmäämistä.

3.2 Koulutuksessa käytettävät välineet

Keudalla on käytössään kaksi särmäyspuristinta; hydraulitoiminen Amada HFB 8025, sekä servotoiminen Coastone Cone C12. Hydraulitoimisen Amada särmäyspuristimen työleveys on 2500 mm, ja kokonaisvoima 800 kN. Coastone särmäyspuristimen työleveys on 1200 mm, ja kokonaisvoima 550 kN.

Amada HFB 8025 on varustettu Amadan omalla Operauteur II- ohjauksella. Operateur II- ohjaus mahdollistaa särmäämistä absoluuttisella, graafisella, sekä kulmamuoto-ohjelmointitavoilla. Operateur II on verrattain vanhentunut ohjausjärjestelmä, jonka käyttöliittymä on analoginen, mutta ohjaus on edelleen pääominaisuuksiltaan monipuolinen ja nykyaikaisten ohjelmistojen kaltainen.

Coastone Cone C12 on varustettu Coastonen omalla Cone TC15 2D- ohjauksella. TC15 2D on moderni kosketusnäytölle suunniteltu ohjaus, jonka ohjelmointitavat ovat kulmamuoto-, sekä graafinen ohjelmointi. Ohjelmisto pitää sisällään myös kaaritaivutus- ohjelmointimuodon, jolla voidaan valmistaa suurisäteisiä kaarevia taivutuksia useilla perättäisillä pienillä taivutuksilla.

Käytössä oleva työkaluvalikoima on laaja. Särmäyspuristimien työkalukiinnikkeet ovat yhtenevät, jolloin kaikkia käytössä olevia työkaluja voidaan käyttää molemmissa särmäyspuristimissa. Käytössä olevien alatyökalut ovat V- matriiseja, joiden aukon leveydet ovat välillä 4 mm – 80 mm. Lisäksi alatyökaluista löytyy litistysterä, jolla saadaan valmistettua kaksinkertaisia taitoksia. Ylätyökalujen valikoima on suppeampi. Ylätyökaluja on pyörityssäteillä 0,8 mm, 3 mm, 5 mm, 10 mm sekä 20 mm. Lisäksi Keudalla on käytössään kaksi kappaletta laatikkotaivutustyökaluja, joilla voidaan särmätä sivun mitaltaan maksimissaan 150 mm umpinainen neliöprofiili. Työkalujen työpituudet vaihtelevat välillä 10 – 835 mm, jolloin työkaluista voidaan koota käyttökohteen mukaisesti oikean levyinen terä, mikä puolestaan mahdollistaa monimutkaisten osien särmäämisen.

3.3 Yleiskuvaus koulutuksesta

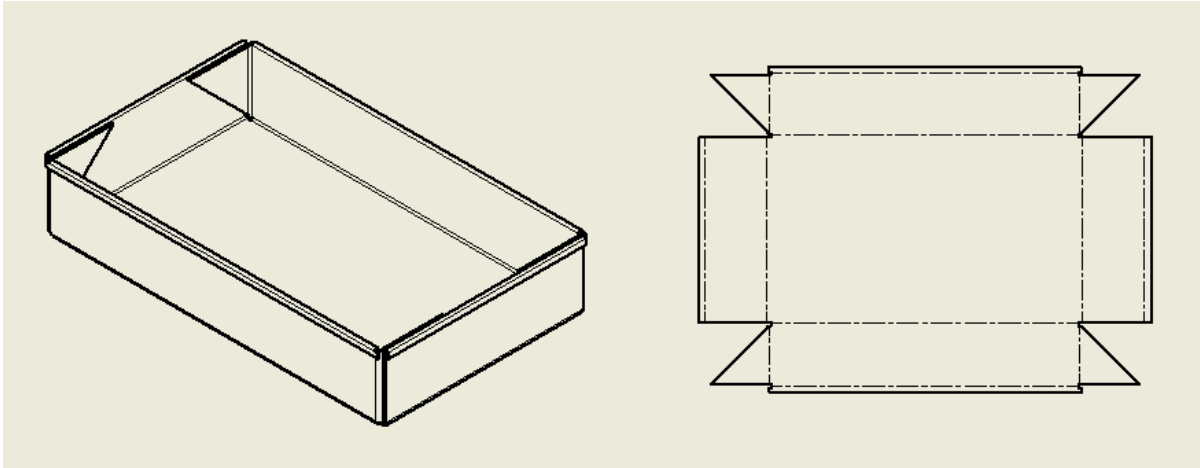
Keudan kone- ja tuotantotekniikan koulutuksessa särmäämisen perusteet kuuluvat ensimmäisen opiskeluvuoden aikana suoritettavaan hitsaus- ja levytöiden tutkinnon osaan. Tutkinnon osassa oppilaat saavat perehdytyksen särmäyspuristimen yleiseen käyttämiseen, ohjelmointiin, työturvallisuuteen sekä särmäystöiden yleiseen suorittamiseen.

Teoriaopetus painottuu särmäyksen yleisteorian ja ohjelmointikoulutuksen lisäksi levitysoppiin, eli kappaleiden levitettyjen pituuksien laskentaan, sekä levitetyn geometrian laadintaan. Teoriaopetuksen lähdemateriaalina toimii teos ”Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet” (Lepola & Ylikangas, 2022), sekä opetushenkilöstön itse tuottamat materiaalit.

Levitysoppi on olennainen osa särmättyjen tuotteiden suunnittelua ja valmistamista. Monimutkainenkin kappale voidaan levittää kaksiulotteiseksi geometriaksi, joka taas voidaan

leikata levystä ahioksi, ja särmätä tuotteeksi. Kuvassa 5 esitetään esimerkki särmäystä tuotteesta, sekä sen levitetystä geometriasta.

Kuva 5: Särmätty tuote ja levitetty geometria.



Varsinainen ohjelmointi- ja käyttökoulutus tapahtuu pääpainoisesti työsalinympäristössä, mikä sitoo opetusresursseja sekä itse opettamiseen, että koneiden oikeellisen ja turvallisen käytön valvontaan. Oppilaiden hitsaus- ja levytöiden harjoitustyöt koostuvat pääsääntöisesti tuotteista, jotka vaativat useita taivutuksia sisältävien komponenttien valmistamisen.

3.4 Yhteenveto koulutuksen tilanteesta

Koulutus tarjoaa opiskelijalle perusteet särmäyspuristimen käyttämisestä tuotannossa, sekä kappaleen oikaistun geometrian laadinnasta. Särmäystöiden opetussisältö noudattaa tällä hetkellä yleisesti perusteen OPH-2541-2017 mukaista H3 taitotasoa. Koulutuksessa käytettävät välineet ovat asianmukaiset, ja työkaluvalikoima on riittävän laaja monipuolisten särmäystöiden suorittamiseen.

4 Kehityskohteiden tunnistaminen

4.1 Havaintoja koulutuksen ongelmakohdista

Keudan särmäyskoulutus on kärsinyt organisoinnin puutteesta. Osaltaan taas opetuksen laatuun on vaikuttanut henkilöstön vaihtuvuus, sekä särmäyspuristimien epäselvät ja puutteelliset käyttöohjeet. Särmäyskoulutukselle ei ole nimettyä vastuuhenkilöä, vaan jokainen hitsaus- ja levytyökurssin vastuuhjaaja on opettanut särmäyksen perusteet omalla tavallaan. Näin ollen opiskelijoiden särmäyksen taidot voivat vaihdella vuosiluokkien välillä paljonkin. Myös opetusmateriaali on jossain määrin hajanaista sekä puutteellista, ja vuosiluokille pidettyjen teorituntien määrä ja laatu vaihtelee paljon.

Varsinainen ohjelmointi- ja käyttökoulutus tapahtuu pääpainoisesti työsaliympäristössä, mikä sitoo opetusresursseja sekä itse opettamiseen, että koneiden oikeellisen ja turvallisen käytön valvontaan. Työsaliympäristössä ohjelmoinnin opettaminen on myös haastavaa työsalimelun ja särmäyspuristimen pienen näytön takia, jolloin kaikki opiskelijat eivät näe suoritettuja toimintoja. CNC-ohjatut laitteet ovat yleisestikin monimutkaisia laitteita käyttää, mikä vaatii opetushenkilöstöltä jatkuvaa ohjausta koneen käyttämisessä sekä henkilö- että laitevahinkojen ehkäisemiseksi.

4.2 Havaintoja koulutusvälineistön ja tilojen kehittämistarpeista

Selkein ohjelmointikoulutusta rajoittava tekijä välineistön osalta on simulointiohjelmistojen puute. Markkinoilla on maksullisia tietokoneohjelmistoja offline- ohjelmointia ja särmäyksen simulointia varten. Laittevalmistajakohtaisissa simulointiohjelmistoissa käyttöliittymä on särmäyspuristimen käyttöliittymää vastaava, jolloin opettaja voi opettaa koneiden ohjelmoinnin luokkatilassa. Luokkaympäristössä tapahtuva ohjattu ohjelmointiopetus luo pohjan varsinaiselle koneen ohjelmoinnille työsalissa.

Särmäyspisteiden järjestykseen tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Siistit ja yleisjärjestykseltään hyvät työskentelytilat ovat yksi työturvallisuutta ja työskentelyn sujuvuutta edesauttavia tekijöitä. Särmäyspisteillä on omavalmisteiset terähyllyt, joissa terät

ovat varsin vapaassa järjestyksessä. Särmäyspuristimilla tarvittavat työkalut ja mittavälineet ovat sijoitettuna konekohtaiseen työkalulaatikkoon. Suurimmat epäjärjestyttä aiheuttavat tekijät ovat sekavat merkinnät terähyllyissä, sekä työpisteiden järjestyksen valvonnan puute.

5 Koulutuksen kehittäminen

5.1 Opetustapahtumien kehittäminen

Selvin keino vastata vallitsevaan organisoinnin puutteeseen on luoda selkeä sisältöjako sekä opetusmateriaalit teoriatunneille. Teoriaopetuksen sisältö jaotellaan kolmeen osaan; särmäyksen yleisteoria, levitysoppi, sekä ohjelmointi. Opiskelijoiden tietotaso todennetaan teoriakokeella. Seuraavissa kappaleissa käydään lyhyesti läpi oppituntien suunniteltu sisältö.

5.1.1 Yleisteoria

Yleisteorian osiossa opetetaan opiskelijalle särmäystöiden suorittaminen yleisesti, särmäyspuristimen rakenne, mittaustekniikkaa, työturvallisuus, taivutusjärjestyksen merkitys sekä työkalujen valinta. Opetustavoitteena on että opiskelija tuntee särmäyspuristimen yleisen rakenteen, toimintaperiaatteen, ja särmäyksen työturvallisuuden. Lisäksi opiskelija osaa mitata kulman suuruuden astemitalla, valita särmäystyössä käytettävät työkalut ja laatia valmistettavalle osalle taivutusjärjestyksen.

Opettaminen aloitetaan käsittellistämällä särmäys, ja luomalla opiskelijoille selkeä kuva särmäämisestä valmistusmenetelmänä. Särmäyspuristimien rakenteen tunteminen edesauttaa oppilaiden ymmärrystä särmäyspuristimen toimintaperiaatteesta, ohjelmoitavista akseleista, sekä särmäystöiden käyttöaluerajoituksista.

Mittaustekniikka on yksi yleisteoriaan sisällytettävä osa-alue. Opiskelijoille opetetaan kulman mittaaminen astemitalla, sekä särmättyjen kappaleiden päämittojen mittaaminen rullamitalla. Opiskelijoille opetetaan myös standardin SFS 5998 mukainen särmättyjen

kulmien toleranssitaulukon tulkinta. Standardin SFS 5998 levyprofiilien taivutettujen kulmien sallittujen poikkeamien taulukko on esitetty alla kuvassa 6.

Kuva 6: Levyprofiilien taivutettujen kulmien sallitut poikkeamat (SFS 5998, 2015)

Taulukko 4 Taivutuskulmien sallitut poikkeamat

Mitat mm					
Laipan pituus a ja b (lyhempi on nimellismitta)	≤ 30	> 30 ≤ 50	> 50 ≤ 80	> 80 ≤ 120	> 120
Taivutuskulman α sallitut poikkeamat	$\pm 2^\circ$	$\pm 1^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ 15'$	$\pm 1^\circ$

Työturvallisuus on nykyisin korostuneessa roolissa niin työpaikoilla, kuin oppilaitoksissa. Särmäyspuristimet ovat voimakkaita koneita, jotka aiheuttavat väärin käytettyinä jopa kuolemaan johtavan tapaturman riskin, ja joiden turvallinen käyttäminen edellyttää käyttäjältä suurta huolellisuutta. Oppilaille opetetaan käytössä olevien särmäyspuristimien turvalaitteet, sekä niiden toimivuuden testaaminen koneen käynnistysrutiinin yhteydessä. Työturvallisuuden aihepiirissä nostetaan esiin yleisten työturvallisuusmääräysten noudattamisen lisäksi särmäyksen työmenetelmäkohtaisia riskejä, kuten puristumisvaara, työkalujen kunnan varmistaminen.

Särmäyksen yksi tärkeimmistä opetuskohteista on oikeiden työkalujen valinta. Särmäystyökalujen valintaa määrittää taivutettava profiili, erityisesti taivutuksen sisäsäde. Taivutuksen sisäsäteen määrittelee valtaosassa tapauksista tuotteen teknisissä piirustuksissa määritetty taivutuksen säteen suuruus, mutta jos piirustuksissa ei ole määritetty sädettä, on särmäystöiden suorittajalla oltava valmiudet valita käytettävän ylätyökalun kärjen säde. Määrittämättömän sisäsäteen valintaa varten on laadittu särmäystaulukoita, joista tietyn aineenvahvuuden suositeltu pienin taivutussäde käy ilmi. Särmäystaulukon esimerkki esitetään edellä kuvassa kuvassa 7.

Matriisin aukon leveys määräytyy materiaalin vahvuuden mukaan. Aukon leveydelle pätee yleisesti kaksi laskentakaavaa. Kun materiaalin vahvuus $t < 10 \text{ mm}$ aukon leveydelle sovelletaan seuraavaa laskentakaavaa:

$$V = 8 * t$$

Kun levyvahvuus $t > 10 \text{ mm}$ aukon leveydelle sovelletaan seuraavaa laskentakaavaa:

$$V = 10 * t$$

Edellä esitetyt laskutavat ovat suuntaa antavia, ja useimmille särmäystöille voidaan soveltaa useita työkalupareja. Suositeltavat työkalut saadaan selville särmäyspuristinvalmistajien laatimista särmäystaulukoista. Särmäystaulukot ovat särmäyksen tueksi laadittuja taulukoita, joista selviää tietyille ainevahvuudelle suositellut matriisien aukkojen leveydet, ainevahvuudelle suositeltu pienin sisäsäde, matriisin aukolle soveltuva lyhin sivun pituus sekä tietyn työkaluparin vaatima voima valitun levyvahvuuden taivuttamiseksi. Esimerkki särmäystaulukosta on esitetty alla kuvassa 7.

Kuva 7: Esimerkki särmäystaulukosta (Fractory, n.d.)

t	V	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500		
	b	4	5.5	7	8.5	11	14	17.5	22	28	35	45	55	71	89	113	140	175	226	280	350		
	ir	1	1.3	1.6	2	2.6	3.3	4	5	6.5	8	10	13	16	20	26	33	41	53	65	83		
0.5	4	4																					
0.8	4	5.5	7																				
1	11	8	7	6																			
1.2	16	12	10	8	6																		
1.5		17	15	13	9	8																	
2			27	22	17	13	11																
2.5				35	26	21	17	13															
3					38	30	24	19	15														
4						54	42	34	27	21													
5							67	52	42	33	26												
6								75	60	48	38	30											
8									107	85	68	53	43										
10										134	105	85	67	53									
12											153	120	96	78	60								
15												188	150	120	95	75							
20														215	170	135	108	85					
25															265	210	170	130	105				
30																300	240	190	150	120			

5.1.2 Levitysoppi

Levitysopissa keskitytään kappaleiden levitettyjen geometrioiden laadintaan, sekä oikaistujen pituuksien laskentaan. Opetustavoitteena on että opiskelija osaa laatia valmistettavasta tuotteesta levitetyn geometrian, sekä laskea tuotteen oikaistut mitat. Levitysopin tärkein tarkoitus on opiskelijoiden kannalta luoda käsitys levitetyn kappaleen muodon ja taivutetun kappaleen välille. Levitetyn geometrian laadintaa havainnollistetaan

Autodesk Inventor CAD- ohjelmistolla laadituilla ohutlevymalleilla. Inventorissa on automaattinen levitystoiminto ohutlevykappaleille, jonka avulla monimutkaistenkin kappaleiden levityksen laatiminen on vaivatonta. CAD- ohjelmat etsivät levitykselle yleensä yhden optimoidun vaihtoehdon, mutta usein kappaleiden levitys voidaan laatia useilla eri tavoilla, jolloin eri tavalla levitettyjen kappaleiden geometriakin poikkeaa toisistaan. Kappaleiden levitetyn geometrian laadintaa voidaan tällöin demonstroida myös paperimalleilla, jolloin opiskelijat voivat itse tutkia kappaleen levittämistä ja tehdä havaintoja eri levitysvaihtoehtojen välillä.

Oikaistu pituus on käytännössä kappaleen jännityksistä ja venymästä vapaan neutraaliakselin pituus. Taivutuksen säde vaikuttaa neutraaliakselin sijaintiin kappaleessa, joten oikaistun pituuden laskennalle esitetään teoksessa "Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet" kolme kaavaa, kolmelle eri taivutustapaukselle:

Ohutlevyjen taivutuksessa ainevahvuuden ollessa $t \leq 1 \text{ mm}$, ja sisäsäteen ollessa $r = (0,2 \dots 2) * t$, neutraaliakselin katsotaan kulkevan taivutuksen sisäpinnassa. Näin ollen oikaistu pituus saadaan laskemalla kappaleen sisämitat yhteen. (Lepola & Ylikangas, 2021, s. 306) Ohutlevytuotteiden mitoituksessa käytetään yleisesti ulkomittoja, jolloin sisämitat saadaan laskettua vähentämällä ulkomitoista tapauskohtaisesti yksi tai kaksi ainevahvuutta.

Taivutussäteen kasvaessa neutraaliakselin sijainti siirtyy materiaalin keskilinjaa kohti. Kun taivutussäteen suuruus on $r < 5 * t$, neutraaliakselin säteen R_n voidaan katsoa kulkevan yhden kolmasosan päässä taivutuksen sisäpinnasta (Lepola & Makkonen, 2006, s. 306). Tällöin neutraaliakselin säteelle R_n saadaan seuraava laskentakaava:

$$R_n = \frac{1}{3} * t + r$$

Tapauksissa joissa $r > 5 * t$ neutraaliakseli kulkee materiaalin keskellä (Lepola & Ylikangas, 2021, s. 306). Tällöin neutraaliakselin säteelle R_n käytetään kaavaa:

$$R_n = \frac{1}{2} * t + r$$

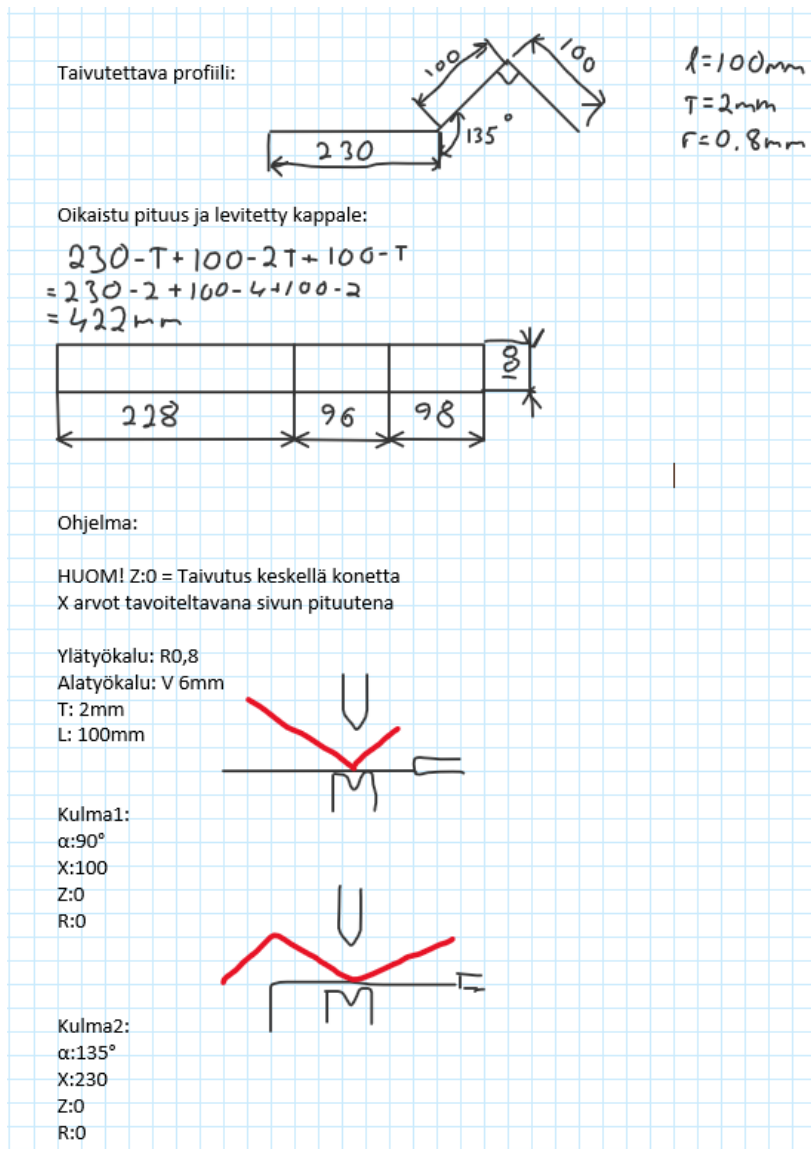
Kahdessa viimeisessä tapauksessa, joissa sovelletaan neutraalisäteen laskentaa, oikaistu pituus saadaan taivutusten neutraalisäteiden oikastujen pituuksien ja suorien osuuksien summana. Taivutusten neutraalisäteiden oikastun pituuden L laskemiseen sovelletaan ympyrän sektorin kehän pituuden laskentaa. Kehän pituuden laskennassa on huomioitava taivutuskulma α , joka vaihtelee särmäystapauksissa välillä $0^\circ - 180^\circ$. Sektorin kehän oikaistu pituus L lasketaan kaavalla:

$$L = \frac{\alpha}{180^\circ} * \pi * R_n$$

5.1.3 Ohjelmointiopetus

Ohjelmointiopetuksessa perehdytään Keudan särmäyspuristimien käyttöliittymään, sekä harjoitellaan ohjelman laadintaa erilaisille geometrioille. Yleinen ohjelmointiopetus voidaan toteuttaa ilman särmäyspuristimen käyttöliittymän sisältäviä simulaatio-ohjelmia ohjelmalistauksena. Ohjelmalistauksessa opiskelija määrittää jokaiselle geometriassa olevalle taivutukselle avautumiskulman, CNC-ohjauksen mukaisten akselien arvot, käytettävät työkalut, sekä piirtää luonnoksen taivutustapahtumasta ja laskee kappaleen oikaistun pituuden. Ohjelmalistauksen esimerkki on esitetty alla kuvassa 8.

Kuva 8: Esimerkki ohjelmalistauksesta



5.2 Käyttökoulutuksen kehittäminen

Käyttökoulutuksessa opiskelijoille opetetaan särmäyspuristimien käynnistäminen, turvalaitteiden tarkistaminen, referenssien ajaminen, puristimen hallintalaitteiden käyttäminen, työkalujen asentaminen paikalleen, ohjelman syöttäminen koneeseen, sekä särmäystyön yleinen kulku. Opetustavoitteena on että opiskelija osaa asettaa särmäyspuristimen toimintakuntoon, ja käyttää särmäyspuristinta kappaleiden valmistamiseen.

Särmäyspuristimien käynnistys-, käyttö- ja ohjelmointiprosessien muistutukseksi molemmille särmäyspuristimille laaditaan lyhyet ohjeet, jotka esittävät kuvallisesti ja sanallisesti koneiden käynnistämisen, referenssien ajamisen sekä ohjelmoinnin pääkohdat.

5.3 Digitalisaation hyödyntämismahdollisuudet opetuksessa

CNC-särmäyksen koulutuksessa voidaan hyödyntää digitalisaatiota opetusohjelmistojen ja digitaalisten oppimateriaalien kautta. Nykyaikaiset simulointiohjelmistot ovat tehokkaita työkaluja, joilla särmäyspuristimen ohjelmointi sekä särmäyksen simulointi voidaan suorittaa etätyöpisteellä. Opetuskäytössä simulaattoriohjelmisto siirtää työsalissa tapahtuvan ohjelmointiopetuksen luokkatilaan. Luokkatilassa opiskelijat voivat harjoitella ohjelmointia samanaikaisesti opettajan johdolla, jolloin opettaja voi opettaa koko ryhmälle massakoulutuksen omaisesti samat asiat. Järjestely mahdollistaa myös yksittäisen opiskelijan esiin nostaman kriittisen ongelmatilanteen ratkaisemisen opettamisen koko opetusryhmälle. Simulaatio-ohjelmistoilla voidaan myös tehdä ohjelman graafinen simulointi, jolloin opiskelija voi tehdä havaintoja suunnittelemansa taivutusjärjestyksen soveltuvuudesta geometrian valmistamiseksi, ja korjata ohjelmassa mahdollisesti olevat virheet, sekä muuttaa taivutusjärjestystä työkappaleen ja koneen rungon välisten törmäysten ehkäisemiseksi.

Toinen keino hyödyntää digitaalisia ympäristöjä on opetusvideoiden tekeminen. Särmäyspuristimen kylkeen laitetaan nähtäville sarja QR-koodeja, jotka skannaamalla opiskelijan puhelimeen aukeaa opetusvideo valitusta aiheesta. Opetusvideot kuvataan särmäyspuristimen käynnistämisestä ja referenssipisteiden ajamisesta, työkalujen valinnasta ja asentamisesta, puristimen ohjelmoimisesta sekä särmäystyön suorittamisesta. Myös särmäyspuristimien paperisena olevat käyttöohjeet voidaan digitalisoida ja asettaa QR-koodin taakse. Opiskelijan mahdollisuus katsoa opetusvideo aiheesta lisää opiskelijan itsenäistä otetta ongelman ratkaisussa, ja edesauttaa koneen oikeellista käyttämistä.

5.4 Särmäyspisteiden järjestely

Työpisteet järjestellään uudelleen osana kone- ja tuotantotekniikan koulutusalan 5S-laatumallin käyttöönottoa. 5S on Japanissa kehitetty toimintamalli, jonka tarkoituksena on parantaa työn tuottavuutta työmenetelmien ja työpisteiden standardisoinnin, ja organisoinnin keinoin. 5S koostuu viidestä vaiheesta; sortteeraus, systematisointi, siivous, standardisointi ja seuranta. (LeanLion, n.d.)

Keudan särmäystyöpisteiden tapauksessa 5S- menetelmä otetaan käyttöön poistamalla työpisteiltä ylimääräiset työkalut ja muu ylimääräinen välineistö, ja järjestelemällä työpisteiden välineistö uudelleen. Käytännössä omavalmisteisista avoimista terähyllystä luovutaan, ja tilalle hankitaan teräkaappi. Terien paikat merkataan kaappiin selkeästi, ja opiskelijat veloitetaan laittamaan käyttämänsä särmäystyökalut niille kuuluville paikoille.

Särmäyspisteiden työkalut inventoidaan, ja kaikki ylimääräiset työkalut poistetaan työpisteiltä. Pisteille jätetään ainoastaan työkalujen kiinnittämiseen tarvittavat kuusiokoloavaimet, sekä kulmien mittaamiseen tarkoitetut astemitat. Koneilla tarvittavat työkalut sijoitetaan koneille hankittuihin magneettikiinnitteisiin koukkuihin.

6 CNC-särmäyksen tutkinnon osan suunnittelu

6.1 Ammattitaitovaatimukset

Opetushallituksen asettama kone- ja tuotantotekniikan peruste (OPH-2541-2017, s.97) määrittelee CNC-särmäyksen 20 osaamispisteen tutkinnon osan opiskelijan ammattitaitovaatimukset seuraavasti:

Opiskelija osaa:

- laatia särmäystyön työvaihesuunnitelman

- käyttää särmäyspuristinta ja valmistaa särmättävän kappaleen särmäyspuristimella
- tehdä käyttäjälle kuuluvat määräaikaishuollot ja tarkistukset käyttämälleen CNC-koneelle ja sen työkaluille
- noudattaa työelämän toimintatapoja ja CNC-särmäyksen työturvallisuusvaatimuksia.

6.2 Tutkinnon osan sisällön suunnittelu

CNC-särmäyksen tutkinnon osan opetussisältö syventää opiskelijan taitoja särmäämisen saralla. Tutkinnon osan suoritustapa on harjoitustöiden, teorian tehtävien, ja näyttötyön suorittaminen hyväksytysti. Tutkinnon osan suoritettuaan opiskelijalla on hyvät valmiudet toimia teollisuudessa särmäyspuristimen käyttämisestä vaativissa työtehtävissä. Tutkinnon osaan osallistuminen edellyttää hyväksytysti suoritettua hitsaus- ja levytöiden tutkinnon osaa.

Tutkinnon osa painottuu käytännön harjoitusten tekemiseen. Tutkinnon osan sisältö ei vaadi varsinaisen teoriaopetuksen järjestämistä, vaan tutkinnon osan syventävät asiat opetetaan opiskelijalle työsalioppitunneilla.

Tutkinnon osan sisältö suunnitellaan vastaamaan perusteen OPH-2541-2017 mukaista H3 arviointikriteeristöä. Perusteessa esitetään arviointikriteerit kirjallisina edellisessä kappaleessa esitetyille ammattitaitovaatimuksille.

Opiskelijoille laaditaan teoria- ja tehtäväpaketti, jossa kerrataan hitsaus- ja levytöiden tutkinnon osan särmäysopetuksen teoriasisältö lyhyesti, jonka perusteella opiskelijalla on edellytykset suorittaa tutkinnon osa. CNC-särmäyksen tutkinnon osan harjoitustyöt ovat esitelty luvussa 7, ja tutkinnon osan teoria- ja tehtävä paketti esitetään liitteessä 1. Seuraavissa kappaleissa esitetään noudatettava arviointikriteeristö, ja arviointia vastaavan opetuksen suunniteltu pääsisältö.

6.2.1 Työvaihesuunnitelman laadinta

Opiskelija:

- tekee työpiirustuksen perusteella työsuunnitelman hyödyntäen työpiirustuksia ja tekee itsenäisesti suunnitteluun liittyvät laskutoimitukset, kuten aihion oikaistun pituuden laskennan (OPH-2541-2017, 2018).

Opiskelijalla on perusteet kappaleen oikaistun pituuden laskentaan sekä taivutusjärjestyksen suunnitteluun hitsaus- ja levytöiden särmäämisen osiosta. Opiskelijoille kerrataan oikaistun pituuden laskennan periaatteet kappaleessa 5.1.2 esitetyn tavan mukaisesti. Opiskelijoiden tietotaitoa monimutkaisen kappaleen taivutusjärjestyksen suunnittelusta syvennetään esittämällä esimerkkiohjelmia vaativien tuotteiden särmäämisestä.

Opiskelijoilla on mahdollisuus valita levitettyjen ahiokappaleiden valmistusmenetelmä.

Kappaleet on mahdollista valmistaa manuaalisten levytöiden keinoin, tai CNC-plasmaleikkauksella. Opiskelijoita johdatellaan oivaltamaan itse minkälaisia kappaleita on tuotannollisesti ajatellen järkevämpää valmistaa manuaalisesti, ja millaisia CNC-leikkauksen menetelmillä. Käytännössä yksinkertaiset suorakaideaihioihin perustuvat vähän profiilimuotoja sisältävät ahiot ovat monesti nopeampi valmistaa manuaalisesti, kun taas monimutkaisemmat paljon profiilimuotoja sisältävät kappaleet on yksinkertaisinta ja nopeinta valmistaa CNC-leikkausmenetelmillä.

6.2.2 Särmäyspuristimen käyttäminen ja kappaleen valmistaminen

Opiskelija:

- valitsee oikeat työkalut (vastin- ja painintyökalut) kohteeseen
- suorittaa taivutuksen simuloinnin automaattitoiminnolla
- valmistaa särmättävän kappaleen kysyen tarvittaessa lisää ohjeita ja neuvoja, ohjelmoi särmäyskonetta ja käyttää sitä ohjauspaneelilta itsenäisesti
- tarkistaa mittaamalla, että särmätyt kappaleet täyttävät piirustuksissa asetetut vaatimukset
- tuntee särmäyksen perusteet, särmäyspuristimen rakenteen, toimintaperiaatteen ja käyttöaluerajoitukset hyvin

- käsittelee materiaaleja ja valmiita särmäystuotteita ottaen huomioon materiaalien ominaisuudet sekä pakkaa ja dokumentoi ne. (OPH-2541-2017, 2018)

Opiskelijalla on perusteet työkalujen valintaan, koneen ohjelmointiin, sekä käyttämiseen hitsaus- ja levytöiden särmäämisen osiosta. Opiskelijalla on tukena särmäyspuristimella työskennellään koneille laaditut käyttöohjeet, sekä teoriapakettiin sisällytetty tieto aiheesta. Myös puristimen käyttämisestä laaditut opetusvideot ovat vapaasti opiskelijan käytössä.

Opiskelija perehdytetään molempien käytössä olevien särmäyspuristimien graafiseen ohjelmointiin. Graafinen ohjelmointi mahdollistaa särmättävän kappaleen taivutuksen simuloinnin, sekä mahdollistaa mahdollisten koneen ja kappaleen välisten törmäysten havaitsemisen. Simulointi voidaan suorittaa myös tietokonepohjaisilla simulointiohjelmistoilla.

Opiskelijan tietotaitoa särmäyksen perusteista, puristimien rakenteista, toimintaperiaatteesta ja käyttöaluerajoituksista syvennetään itseopiskelutehtävillä. Tehtävät esitetään liitteessä 1.

6.2.3 Määräaikaishuollot ja tarkistukset

Opiskelija:

- käyttää koneita ja niiden työkaluja huolellisesti ja oikein, säilyttää työkaluja oikein ja huolehtii työympäristöstä
- tunnistaa yleisimmät koneen ilmoittamat hälytykset ja virhekoodit sekä osaa kuitata ne pois ja tekee perushuollot ja tarkistukset CNC-särmäyspuristimelle
- lukee ja ymmärtää hyvin englanninkielistä alalla tarvittavaa sanastoa. (OPH-2541-2017, 2018)

Opiskelijalle pidetään työsalissa oppitunti särmäyspuristimen viikkohuollosta. Viikkohuolto pitää sisällään liukupintojen ja johteiden voitelun, sähkökaapin putsamisen paineilmalla, työkalukiinnittimien kunnan tarkastamisen, sekä koneen yleisen kunnan tarkastamisen.

Englanninkielisen materiaalin hyödyntämistä varten opiskelijalle laaditaan kurssin materiaaliin lyhyt särmäämistä käsittelevä sanasto. Varsinaisen englanninkielisen alan sanaston opettaminen voidaan integroida yleisien aineiden englannin kielen opintoihin tutkinnon osaa suorittavien opiskelijoiden kohdalla.

6.2.4 Työelämätapojen noudattaminen

Opiskelija:

- varmistaa ennen työn aloitusta, että omaa työssä tarvittavat luvat ja pätevyudet tai osaa niissä vaadittavat tiedot ja taidot, noudattaa työturvallisuus- ja tulityömääräyksiä ja -ohjeita sekä ottaa huomioon laatu-, ympäristö- ja tuotannonohjausjärjestelmien vaatimukset toiminnassaan
- valitsee itsenäisesti turvallisimmat ja ergonomiset työtavat ja pyrkii taloudellisten työtapojen valintaan
- toimii työryhmän jäsenenä, ottaa työssään huomioon muut työalueella toimivat henkilöt työskennellen aiheuttamatta vaaraa ihmisille tai ympäristölle sekä toimii työelämän yleisten toimintatapojen mukaisesti
- käyttää turvallisesti ohjeiden mukaisia suojaimia, työvälineitä ja työmenetelmiä ja materiaaleja, arvioi suojaimien ja työvälineiden kelpoisuuden kyseiseen työhön ja poistaa vialliset käytöstä, pitää huolta käyttämiensä koneiden ja työkalujen kunnosta sekä työympäristönsä siisteydestä ja järjestyksestä
- selviytyy vastuullaan olevista työtehtävistä oma-aloitteisesti, osaa etsiä ratkaisuja työhön liittyviin ongelmiin sekä ottaa vastaan palautetta ja suunnittelee ja arvioi omaa työskentelyään, osaamistaan ja työkykyään todenmukaisesti. (OPH-2541-2017, 2018)

Yleiset Keudan työsalityöskentelyä koskevat työturvallisuusmääräykset on opetettu opiskelijoille heti opintojen alussa. Särmäystöiden työturvallisuus on opetettu hitsaus- ja levytöiden tutkinnon osan särmäystöiden osiossa. Yleiset särmäystöitä koskevat työturvallisuusohjeet kerrataan opiskelijoille tutkinnon osan teoria- ja tehtäväpaketissa. Opetushenkilöstö seuraa aktiivisesti työturvallisuutta työsalissa, ja puuttuu havaittuihin puutteisiin ja työturvallisuuden vaarantavaan toimintaan välittömästi.

7 Harjoitustöiden suunnittelu

CNC-särmäyksen tutkinnon osan harjoitustyöt sisältävät tuotteita, jotka valmistetaan useista särmättävistä osista. Harjoitustöiden kohteiksi valikoitu yleishyödyllisiä käyttöesineitä, jotka voidaan myydä Keudan oppilastyökaupassa. Töissä sovelletaan jo opittuja hitsauslevytyötaitoja, sekä opitaan uusia taitoja CNC-särmäyspuristimen tehokkaasta ja oikeaoppisesta käyttämisestä tuotantotehtävissä. CNC-särmäyksen tutkinnon osaan suunnitellut viisi harjoitustyötä esitellään lyhyesti seuraavissa kappaleissa. Harjoitustöiden tekniset piirustukset esitetään liitteessä 1.

7.1 Peltilaatikko

Peltilaatikko on suora kopio pakollisesta valmistustyötehtävissä toimimisen tutkinnon osasta. Valmistustyötehtävissä toimimisen tutkinnon osassa laatikko valmistetaan käsityökaluin, CNC-särmäyksen tutkinnon osassa laatikko valmistetaan CNC-koneilla.

Laatikon levitetty geometria laaditaan CAD-ohjelmistolla, ja kyseinen aihio valmistetaan CNC-plasmaleikkurilla. Laatikon valmistaminen särmäämällä vaatii oikein laaditun taivutusjärjestyksen, palateristä koottujen työkaluparien käyttämisen hallinnan sekä litistysterän käytön. Valmis laatikko esitetään alla kuvassa 9.

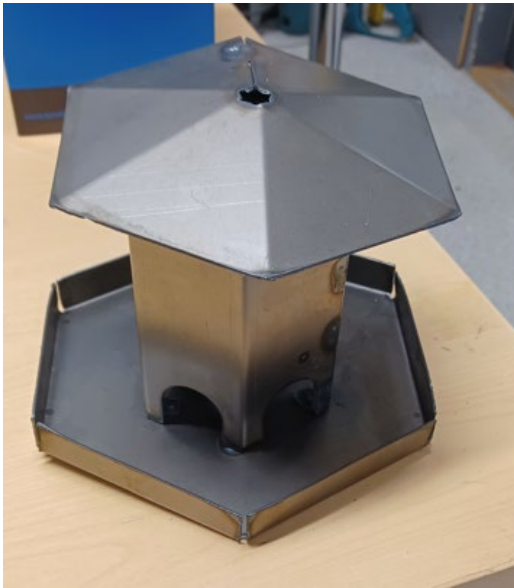
Kuva 9: Peltilaatikko



7.2 Lintulauta

Lintulauta on tutkinnon osan ensimmäinen useita osia sisältävä harjoitustyö. Harjoitustyön pääopetustavoite on harjaannuttaa opiskelijan levitysopin taitoja monimutkaisen profiilin levittämisen saralla, sekä taivutusjärjestyksen suunnittelun saralla. Kuva valmiista lintulaudasta on esitetty kuvassa 10.

Kuva 10: Lintulauta



7.3 Postilaatikko

Postilaatikon valmistaminen vaatii opiskelijalta kykyä valmistaa särmäämällä tarkasti mitoitettuja, toisiinsa sopivia osia. Postilaatikossa on useita taivutuksia sisältäviä osia, ja monimutkaisia profiilimuotoja, joiden levitetyn geometrian laadinta vaatii opiskelijalta kykyä hahmottaa monimutkaisia kokonaisuuksia. Postilaatikon osien valmistaminen edellyttää opiskelijalta taivutusjärjestyksen hyvää suunnittelua, sekä särmäyksen käyttöaluerajoitusten tuntemusta taivutettavien profiilien laadun varmistamiseksi. Alla kuvassa 11 esitetään valmis postilaatikko.

Kuva 11: Postilaatikko



7.4 Retkisavustin

Retkisavustimen valmistaminen harjaannuttaa opiskelijaa särmäystarkkuuden saralla. Savustimen toiminallisuus, ja helppo valmistettavuus vaatii tarkasti särmättyjä yhteensopivia osia. Savustimen päädyt on särmättävä tarkalla sovitteella rungon kanssa yhteenkäyviksi, jolloin hitsausliitos voidaan suorittaa laipparailona. Savustimen rungon ja kannen on muodostettava ilmatiivis kokonaisuus, jotta savustaminen laatikolla onnistuu. Savustimen rasvakaukalon geometrian on myös oltava myös oikea, että rasvakaukalo menee paikalleen. Valmis savustin on esitetty alla kuvassa 12.

Kuva 12: Retkisavustin



7.5 Savustusuuni

Savustusuuni on viimeinen harjoitustyö. Savustusuuni koostuu useista osista, ja uunin valmistaminen sujuvasti edellyttää opiskelijalta hyvää kykyä teknisten piirustusten lukemisessa, särmäyspuristimen käyttöaluerajoitusten tuntemuksessa, sekä työskentelyn organisoinnissa. Savustusuunin 3D- malli esitellään alla kuvassa 13.

Kuva 13: Savustusuunin 3D- malli



8 Tulokset

Työn tavoitteena oli kehittää ja uudistaa Keski-Uudenmaan koulutuskuntayhtymän särmäyskoulutusta. Kehitystyön tuloksina Keudan hitsaus ja levytöiden tutkinnon osan särmäyskoulutus on tehostunut. Koulutukseen laadittiin teorialuentien opetusmateriaalit jokaiselle kolmelle suunnitellulle teorialuennolle. Materiaalien kehittämistä jatketaan saadun palautteen perusteella. Työssä esitettyjä simulointiohjelmistoja ei ole kustannussyistä hankittu Keudan käyttöön, joten ohjelmointikoulutus toteutetaan toistaiseksi ohjelmalistauksen ja käytännön ohjelmoinnin opiskelun keinoin.

Opiskelijoiden särmäyspuristimen käyttöä tukemaan kuvattiin sarja opetusvideoita Keudan särmäyspuristimien käyttämisestä. QR- koodin työpisteellä skannaamalla avautuvat videot ovat lisänneet opiskelijoiden oma-aloitteisuutta, ja itsenäistä työskentelyä.

Työn toinen tavoite oli luoda Keudalle CNC-särmäyksen tutkinnon osan pohja. Tutkinnon osaa varten laadittiin tehtävä- ja teoriapaketti, sekä viisi harjoitustehtävää. Tutkinnon osan koulutustoiminnalle luotiin suuntaviivat, joiden pohjalta koulutusta voidaan alkaa tarjoamaan. Tutkinnon osan sisältöä ja materiaaleja tullaan jatkossa kehittämään ja laajentamaan.

Keudan uudistettua särmäyskoulutusta on pilotoitu syksyllä 2021 opiskelun aloittaneiden levyseppähitsaaja- opiskelijoiden hitsaus- ja levytöiden tutkinnon osan aikana 1.2.2022 – 11.4.2022. Koeryhmä koostui 15:sta opiskelijasta. Kokonaisuutena arvioiden koeryhmän taidot särmäämisen saralla ylittivät tutkinnon perusteissa esitetyt H3 arvosanan kriteerit, ja koulutuskonsepti todettiin toimivaksi.

Koeryhmältä kerättiin suullinen palaute särmäystöiden uusitusta opetussisällöstä. Opiskelijoiden antama palaute opetussisällöstä oli pääosin positiivista. Palautteissa nostettiin esille positiivisina asioina oppituntimateriaalien selkeys, koulutuksen johdonmukaisuus. Myös laaditut opetusvidot saivat laadustaan positiivista palautetta, ja oppilaat kokivat videoiden olevan tärkeä tuki särmäyspuristimen omatoimista käyttöä opetellessa.

Negatiivinen palaute rajoittui särmäystöiden matematiikkaan. Oikaistun pituuden laskennassa käytettävien kaavojen sisäistäminen on valtaosalle opiskelijoista haastavaa, ja matemaattinen lähestyminen asiaan koetaan turhana opiskelijoiden keskuudessa. Ainoa ratkaisematon haaste särmäyskoulutuksen saralla onkin miten opiskelijoita voidaan motivoida matematiikan soveltamiseen levytöissä.

9 Pohdinta

Ammatillisen koulutuksen tutkinnon osien kehittäminen ja suunnittelu on moniulotteista työtä. Opetushallituksen asettamat tutkinnon perusteet muodostavat selkeän tavoitteen, johon koulutuksella pyritään. Opetustyön haaste piilee teoriaopetuksen ja käytännön harjoitteiden tasapainossa, sekä opetuksen metodeissa. Ammatillisessa koulutuksessa opiskelijamateriaali vaihtelee hyvin laajasti, ja opetuksen tulee olla soveltuvaa jokaiselle opiskelijalle. Opiskelijan yksilöllisten kykyjen ja ominaisuuksien tunnistaminen vaatiikin opettajalta kykyä sopeuttaa ja yksilöllistää koulutusta tarvittaessa. Tutkinnon perusteiden arviointikriteerit ovatkin suhteellisen ympäripyöreitä, mikä luo toiminnanvapauden tutkinnon tavoitteiden saavuttamiseksi.

Opinnäytetyönä suorittamani koulutuksen kehitystyö oli aiheena minulle mieleinen. Olen henkilökohtaisesti tehnyt CNC-särmääjän työtä kokopäiväisesti kahden vuoden ajan, joten minulla oli kehitystyötä varten varsin selkeä visio siitä, mitkä ovat särmäämisen ongelmakohdat. Koulutusmetodeja miettiessäni reflektoinkin omia kokemuksiani siitä miten itselleni ammattikoulussa samoja asioita opetettiin, mitä olen työurani aikana asiasta oppinut, ja mitä muita hyviksi toteamiani tapoja särmäämisen saralla olen nähnyt.

Kokonaisuutena arvioiden olen henkilökohtaisesti tyytyväinen kehitystyön onnistumiseen. Keuda antoi minulle vapaat kädet uudistaa ja kehittää koulutusta parhaaksi näkemääni suuntaan. Seuratessani oppilaitteni kehitystä särmäystöiden suorittamisen saralla, voin ilokseni todeta kehitystyön tuottaneen kaivattuja tuloksia.

Lähteet

Efunda. (n.d.). *Bending*. Noudettu 29.3.2022 osoitteesta

https://www.efunda.com/processes/metal_processing/bending.cfm

Fractory. (n.d.). *Metallin särmäys*. Noudettu 15.3.2022 osoitteesta

<https://fractory.com/fi/metallin-sarmays/>

Keuda. (n.d.). *Keuda*. Noudettu 16.2.2022 osoitteesta <https://www.keuda.fi/keuda>

Kirjava, T. (2016). *OFFLINE-OHJELMOINTI OHUTLEVYJEN SÄRMÄYKSESSÄ* [Opinnäytetyö, Centria- ammattikorkeakoulu]

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/111214/Timo_Kirjava.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LeanLion. (n.d.) *Miksi 5S?* . Noudettu 22.4.2022 osoitteesta <https://www.leanlion.com/miksi-5s>

Lepola, P. & Makkonen, M. (2006). *Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet*. WSOY.

Lepola, P. & Ylikangas, R. (2021). *Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet*. Sanoma Pro OY.

OPH-2541-2017. (2018). *Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto*.

<https://eperusteet.opintopolku.fi/eperusteet-service/api/dokumentit/6570043>

SFS 5998. (2015). *Valssatun teräsohutlevyn kylmätaivutus*. SFS Online.

Liite 1: CNC- särmäys 20 osp. teoria- ja tehtäväpaketti

CNC- Särmäys 20 osp. (105936)

Ammattitaitovaatimukset

Opiskelija osaa:

- laatia särmäyksen työvaihesuunnitelman
- käyttää särmäyspuristinta ja valmistaa särmättävän kappaleen särmäyspuristimella
- tehdä käyttäjälle kuuluvat määräaikaishuollot ja tarkistukset käyttämälleen CNC-koneelle ja sen työkaluille
- noudattaa työelämän toimintatapoja ja CNC-särmäyksen työturvallisuusvaatimuksia.

Suoritustapa:

- Harjoitustyöt
- Teoriatehtävät
- Näyttötyö

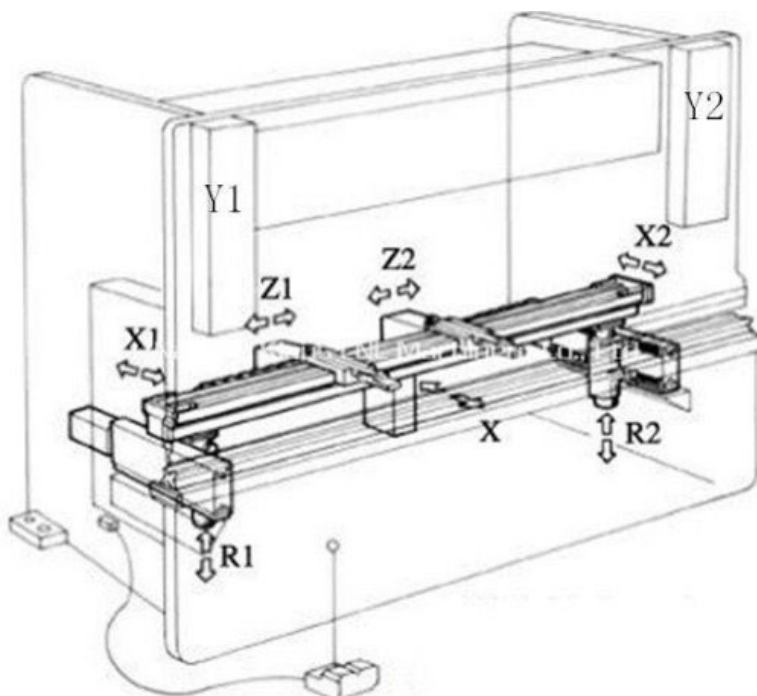
Särmäyspuristimen ohjelmoitavat akselit:

Y: Painimen korkeus sijainti (Vain absoluuttinen ohjelmointi)

X: Takavasteen sijainti (Joko taivutuksen keskilinja tai taivutuksen ulkomitta)

R: Takavasteen korkeussijainti (0 = Vasteen alalaita alatyökalun pinnan tasalla)

Z: Takavasteiden sivusuuntainen sijainti



Oikaistun pituuden laskeminen:

Ohutlevyjen taivutuksessa ainevahvuuden ollessa $t < 2 \text{ mm}$, ja sisäsäteen ollessa $r = (0,2 \dots 2) * t$, neutraaliakselin katsotaan kulkevan taivutuksen sisäpinnassa. Näin ollen oikaistu pituus saadaan laskemalla kappaleen sisämitat yhteen. Ohutlevytuotteiden mitoituksessa käytetään yleisesti ulkomittoja, jolloin sisämitat saadaan laskettua vähentämällä ulkomitoista tapauskohtaisesti yksi tai kaksi ainevahvuutta.

Taivutussäteen kasvaessa neutraaliakselin sijainti siirtyy materiaalin keskilinjaa kohti. Kun taivutussäteen suuruus on $r < 5 * t$, neutraaliakselin säteen R_n voidaan katsoa kulkevan yhden kolmasosan päässä taivutuksen sisäpinnasta. Tällöin neutraalisäteelle saadaan seuraava laskentakaava:

$$R_n = \frac{1}{3} * t + r$$

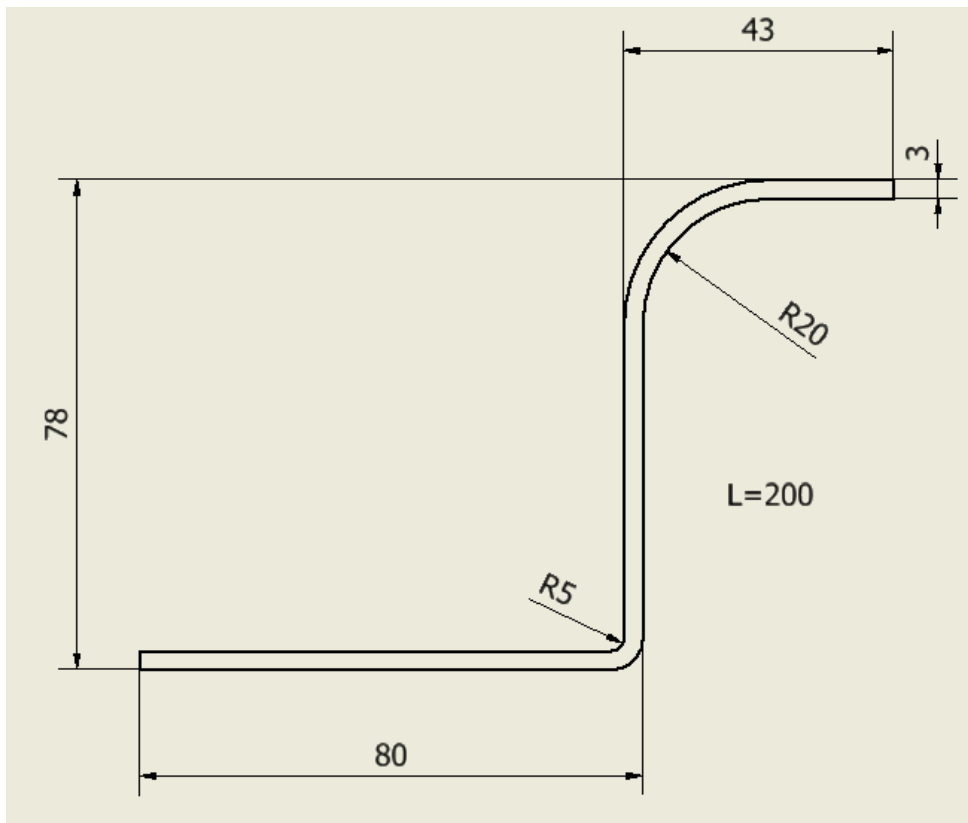
Tapauksissa joissa $r > 5 * t$ neutraaliakseli kulkee materiaalin keskellä. Tällöin neutraaliakselin säteelle R_n käytetään kaavaa:

$$R_n = \frac{1}{2} * t + r$$

Kahdessa viimeisessä tapauksessa, joissa sovelletaan neutraalisäteen laskentaa, oikaistu pituus saadaan taivutusten neutraalisäteiden oikastujen pituuksien ja suorien osuuksien summana.

Neutraalisäteen oikastun pituuden L laskemiseen sovelletaan sektorin kehän pituuden laskentaa:

$$L = \frac{\alpha}{180^\circ} * \pi * R_n$$

Esimerkkikappale:**Oikaistu pituus:**

Taivutus R5: $R5 < 5 \cdot t \rightarrow R_n = t \cdot 1/3 + R = 1\text{mm} + 5\text{mm} = 6\text{mm}$

$$L = \frac{\alpha}{180^\circ} \cdot \pi \cdot R_n = \frac{90^\circ}{180^\circ} \cdot \pi \cdot 6\text{mm} = 9,4\text{mm}$$

Taivutus R20: $R20 > 5 \cdot t \rightarrow R_n = t \cdot 1/2 + R = 1,5\text{mm} + 20\text{mm} = 21,5\text{mm}$

$$L = \frac{\alpha}{180^\circ} \cdot \pi \cdot R_n = \frac{90^\circ}{180^\circ} \cdot \pi \cdot 21,5\text{mm} = 33,8\text{mm}$$

Suorat osuudet:

$$\text{Suora 80: } 80\text{mm}-t-R5 = 80\text{mm}-3\text{mm}-5\text{mm} = 72\text{mm}$$

$$\text{Suora 78: } 78\text{mm}-t-t-R5-R20 = 78\text{mm}-3\text{mm}-3\text{mm}-5\text{mm}-20\text{mm} = 47\text{mm}$$

$$\text{Suora 43: } 43\text{mm}-t-R20 = 43\text{mm}-3\text{mm}-20\text{mm} = 20\text{mm}$$

$$\text{Oikaistu pituus: } 9,4\text{mm}+33,8\text{mm}+72\text{mm}+47\text{mm}+20\text{mm} = \underline{\underline{182,2\text{mm}}}$$

Ohjelma:

$$t=3\text{mm}$$

$$L=200\text{mm}$$

Kulma 1:

Ylätyökalu: R5

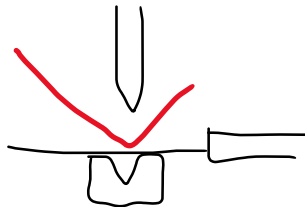
Alatyökalu: V25

$$\alpha=90$$

$$X=80$$

$$R=-1$$

$$Z=-150$$



Kulma 2:

Ylätyökalu: R20

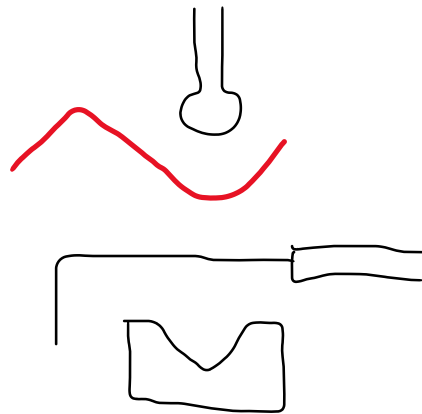
Alatyökalu: V50

$\alpha=90$

$X=43$

$R=-1$

$Z=150$



Työkalujen valinta:

Särmästyön yksi tärkeimmistä onnistumisen kriteereistä on oikeiden työkalujen valinta. Särmästyökalujen valintaa määrittää taivutettava profiili, erityisesti taivutuksen sisäsäde. Taivutuksen sisäsäteen määrittelee valtaosassa tapauksista tuotteen tekniisiin piirustuksiin määritetty säteen suuruus, mutta jos piirustuksissa ei ole määritetty sädettä, on särmäystöiden suorittajalla oltava valmiudet valita käytettävän ylätyökalun kärjen säde.

Matriisin V- aukon leveys määräytyy materiaalin vahvuuden mukaan. V- aukon leveydelle pätee yleisesti kaksi laskentakaavaa. Kun materiaalin vahvuus $t < 10\text{mm}$ aukon leveydelle sovelletaan seuraavaa laskentakaavaa:

$$V = 8 * t$$

Kun levynvahvuus $t > 10\text{mm}$ aukon leveydelle sovelletaan seuraavaa laskentakaavaa:

$$V = 10 * t$$

Edellä esitetyt laskutavat ovat suuntaa antavia, ja useimmille särmäystöille voidaan soveltaa useita työkalupareja. Suositeltavat työkalut saadaan selville särmäyspuristinvalmistajien laatimista särmäystaulukoista. Särmäystaulukot ovat särmäyksen tueksi laadittuja taulukoita, joista selviää tietyille ainevahvuudelle suositellut V- aukkojen leveydet, ainevahvuudelle suositeltu pienin sisäsäde ir , V- aukolle soveltuva lyhin sivun pituus b sekä tietyn työkaluparin vaatima voima valitun levynvahvuuden taivuttamiseksi.

t	V	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500		
	b	4	5.5	7	8.5	11	14	17.5	22	28	35	45	55	71	89	113	140	175	226	280	350		
	ir	1	1.3	1.6	2	2.6	3.3	4	5	6.5	8	10	13	16	20	26	33	41	53	65	83		
0.5	4	4																					
0.8	4	5.5	7																				
1	11	8	7	6																			
1.2	16	12	10	8	6																		
1.5		17	15	13	9	8																	
2			27	22	17	13	11																
2.5				35	26	21	17	13															
3					38	30	24	19	15														
4						54	42	34	27	21													
5							67	52	42	33	26												
6								75	60	48	38	30											
8									107	85	68	53	43										
10										134	105	85	67	53									
12											153	120	96	78	60								
15												188	150	120	95	75							
20														215	170	135	108	85					
25															265	210	170	130	105				
30																300	240	190	150	120			

Harjoitustyöt:

- Valmista seuraavilla sivuilla esitetyt tuotteet
- Laadi osista levitetty geometria, ja laske oikaistut pituudet. Vertaa laskentatulosta särmäyspuristimen graafisen ohjelmoinnin laskemaan pituuteen
- Huomioi valmistustarkkuus ja valmistuksen yleistoleranssit
- Mieti ja perustele itsellesi onko aihio järkevämpi valmistaa manuaalisesti, vai CNC- plasmalla ja miksi näin on?
- Muista poistaa purseet levyistä ennen taivutusta.
- Muista työturvallisuusohjeet!

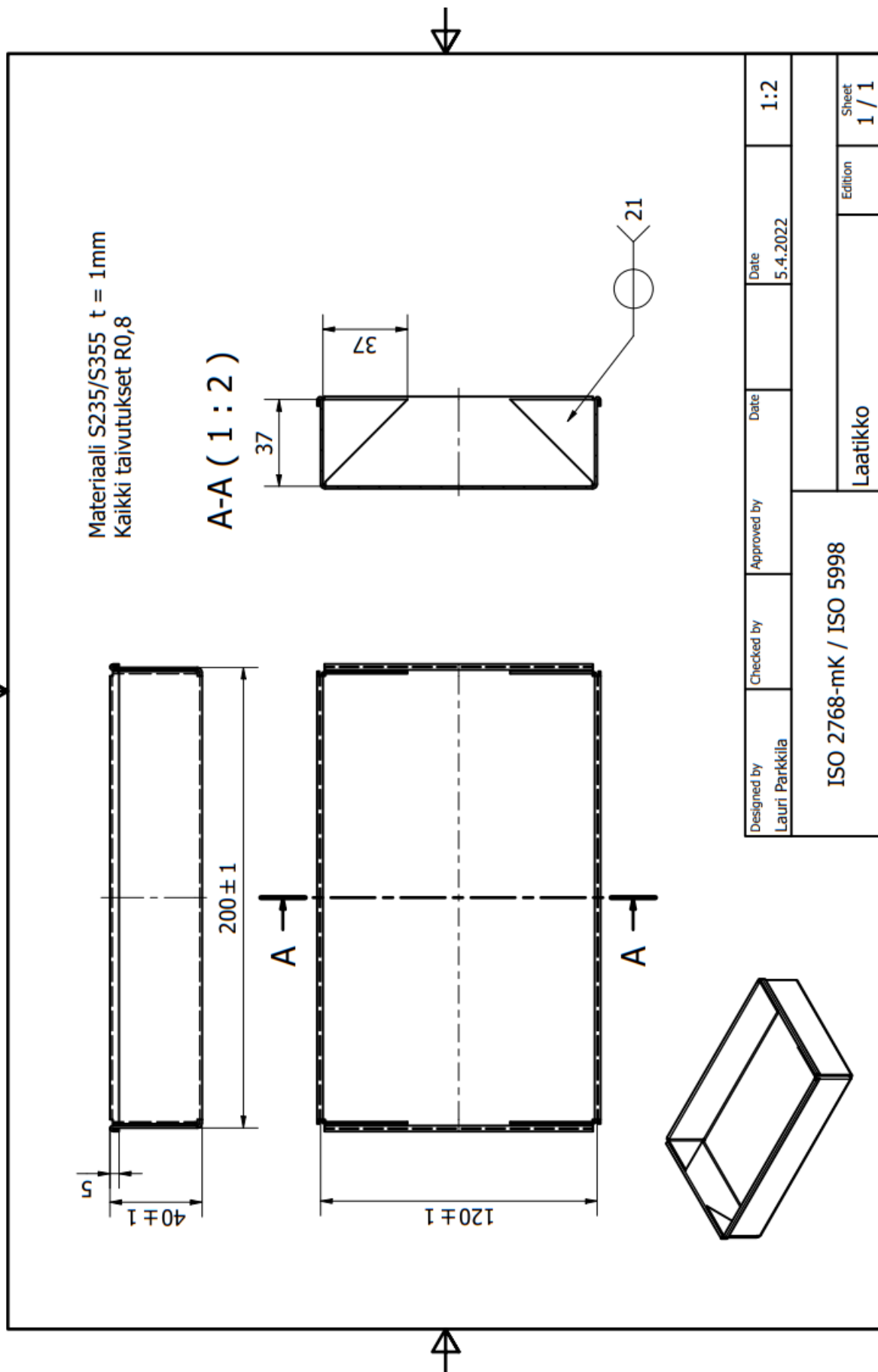
Tipsejä:

- Mieti taivutusjärjestys tarkkaan
- Älä tee taivutuksia suoraan tuotteeseen, vaan tee koetaivutukset. Mittaa sivunpituudet, ja kulma ja tee tarvittavat korjaukset ohjelmaan
- Isojen kappaleiden kanssa kannattaa käyttää vasteen hylly ominaisuutta
- Käytä tästä monistenipusta ja särmäyspuristimilta löytyviä ohjeita, oppaita ja videolinkkejä apuna jos meinaa tulla tenkkapoo, pyri ratkaisemaan ongelmat itsenäisesti.

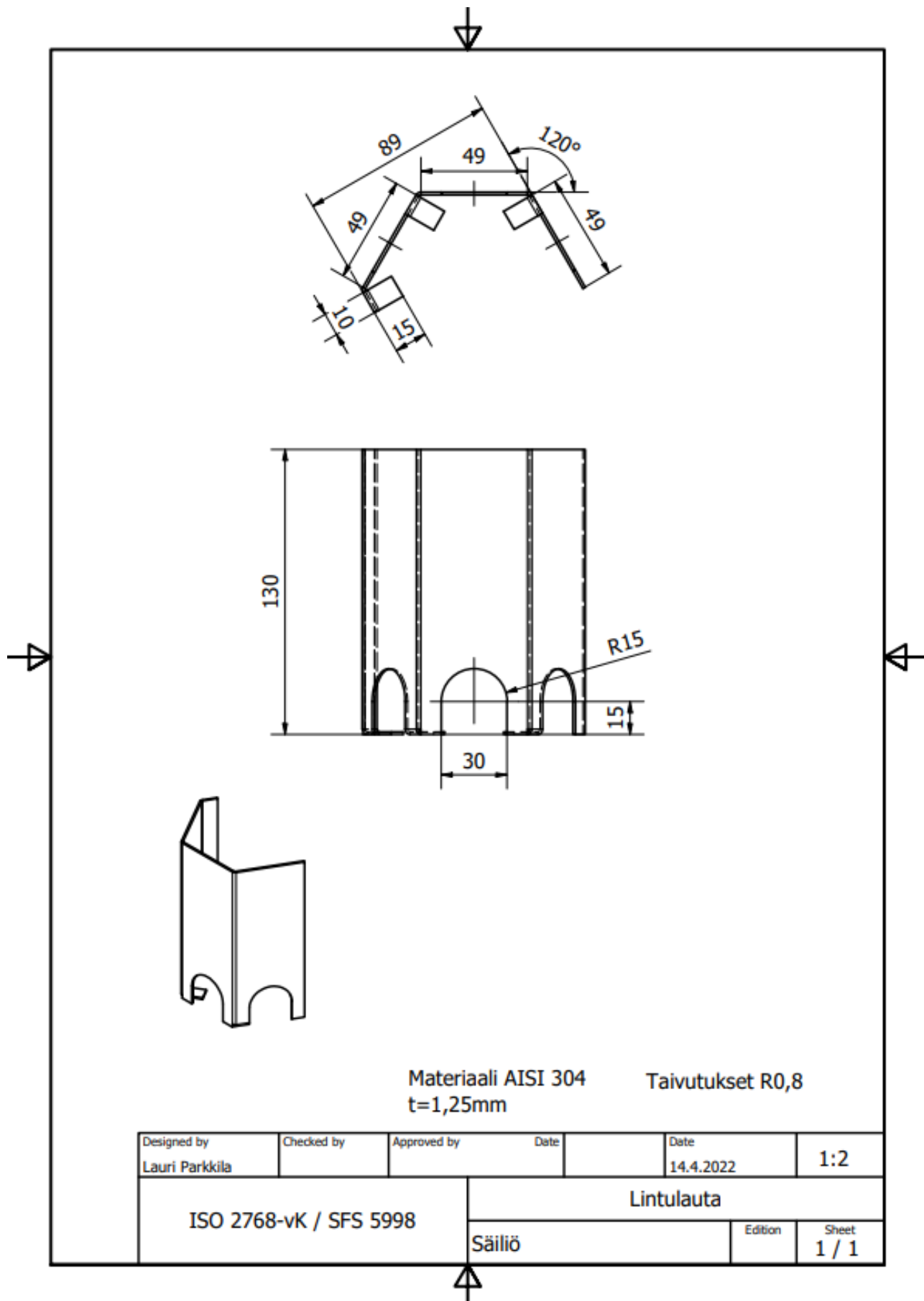
Työturvallisuuden mustilista:

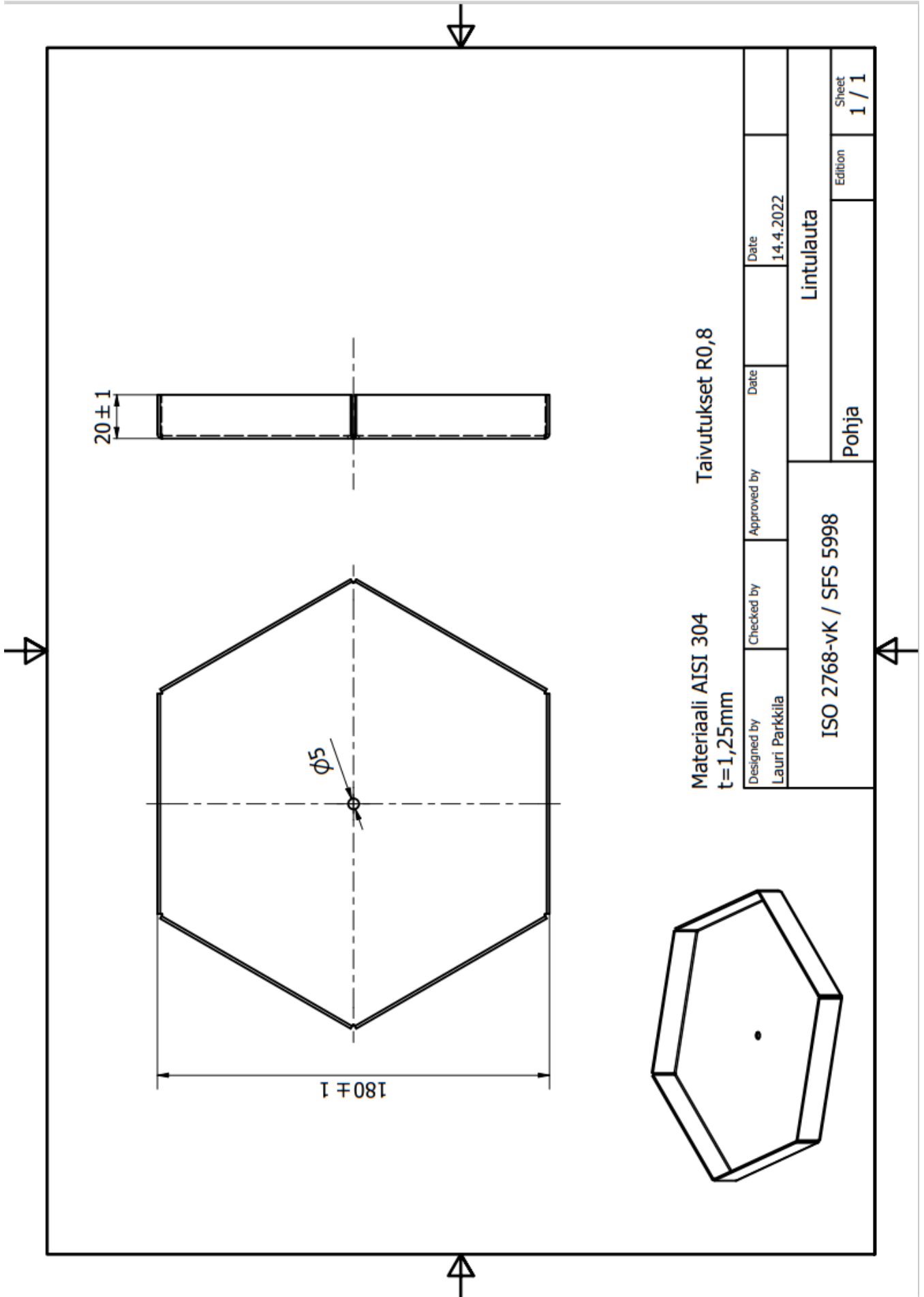
- ◇ Turvalaitteiden kunto ja testaus
- ◇ Puristumisvaara
 - ◇ Työskennellessä irrota ote kappaleesta kun taivutus alkaa
- ◇ Käytä aina itse hallintalaitteita
- ◇ Valitse sopivat työkalut
- ◇ Varmistu työkalujen kunnosta
- ◇ Älä käytä sormuksia tai koruja työskennellessäsi
- ◇ Putoamisvaara -> käytä tukipöytiä
- ◇ Pitkät hiukset ponnarille tai hatun alle työsalissa.

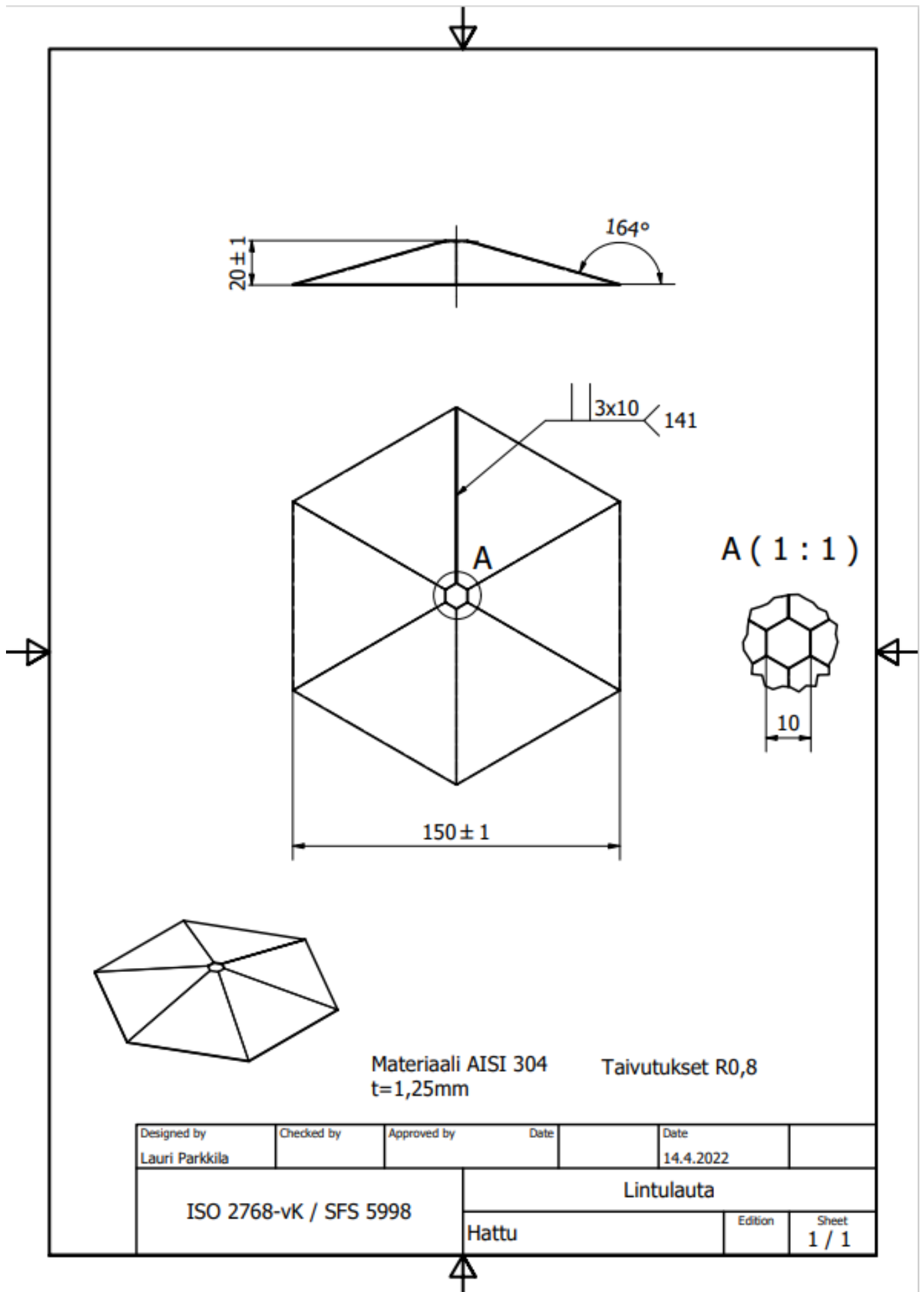
Harjoitus 1: Laatikko



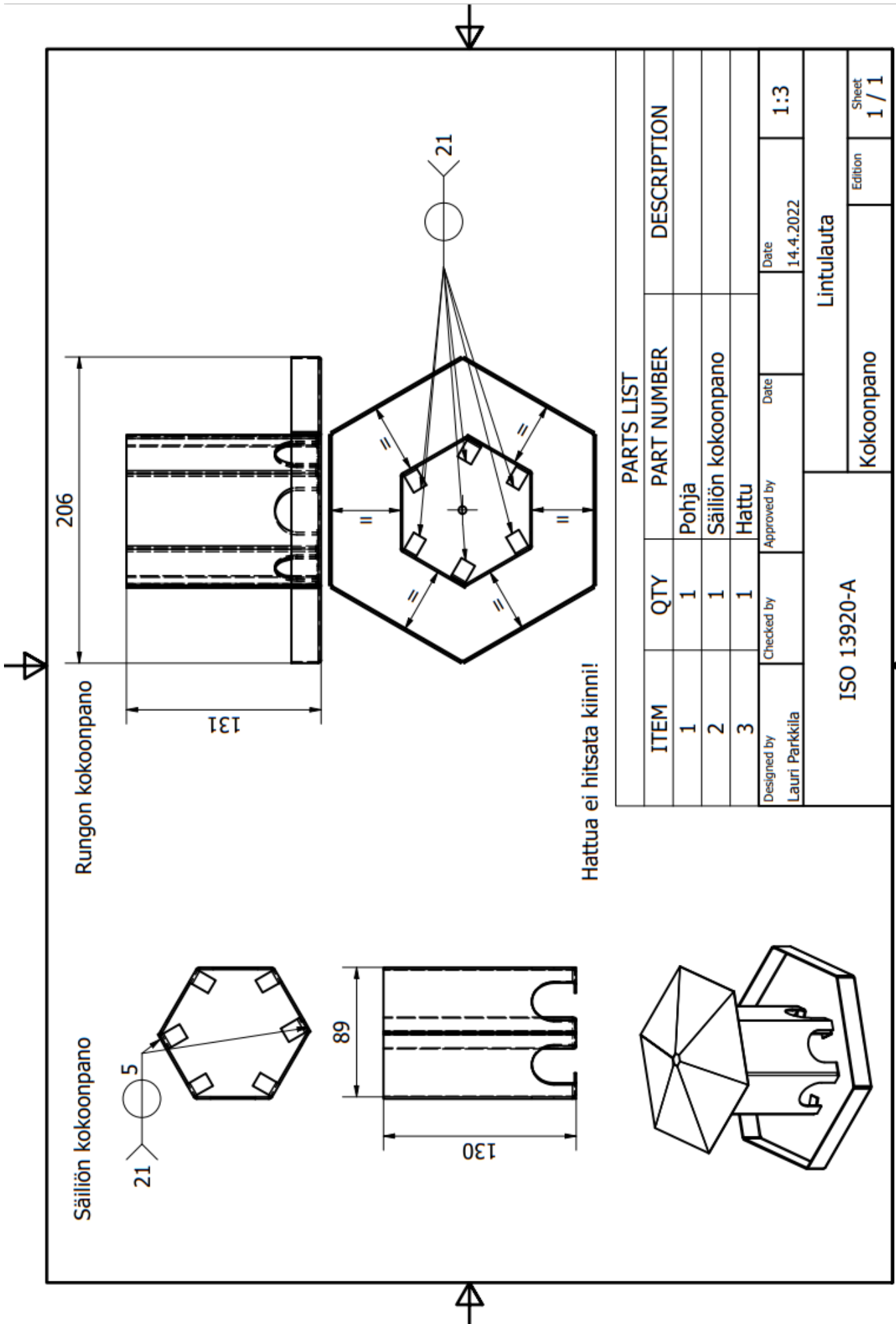
Harjoitus 2: Lintulauta



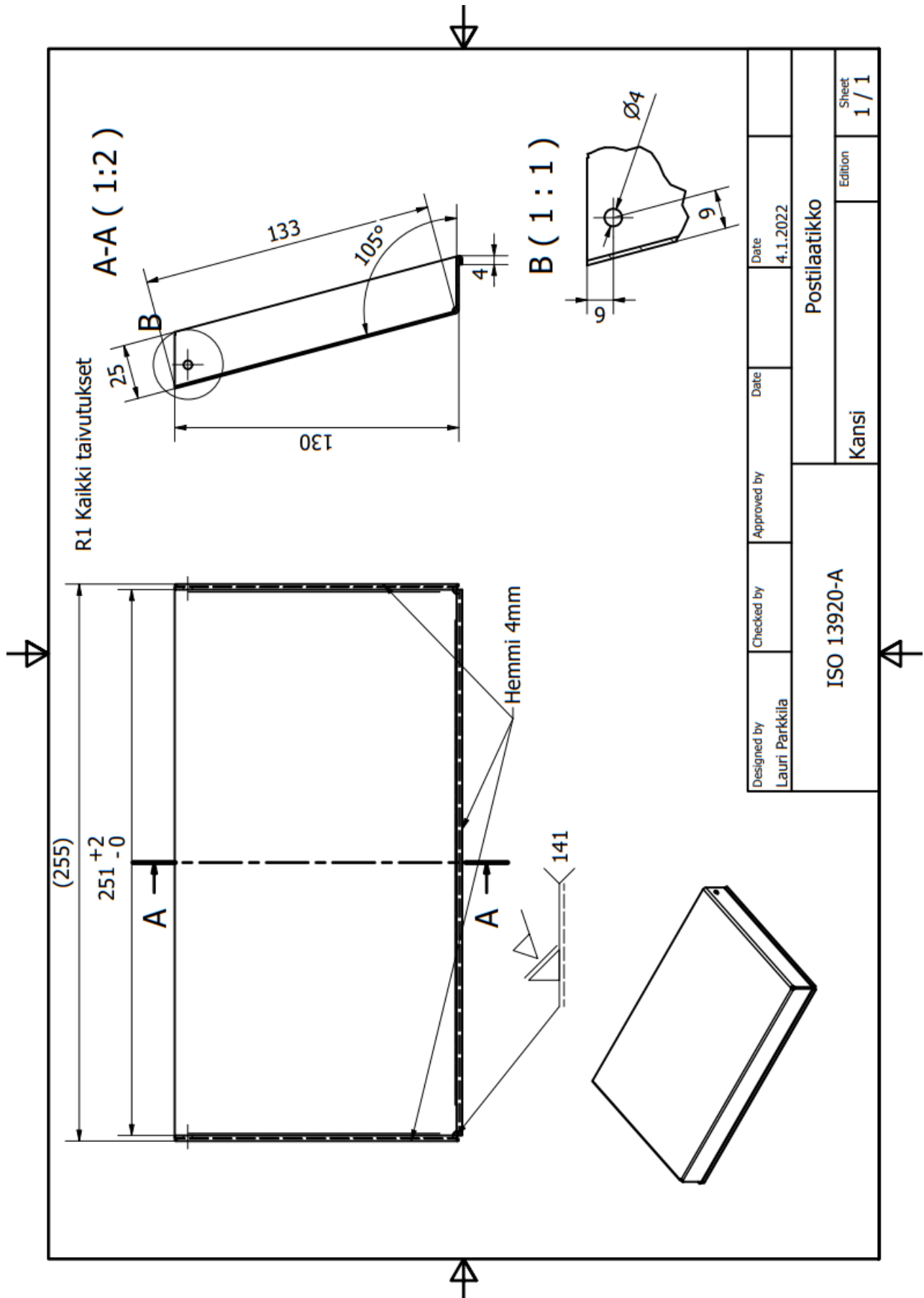


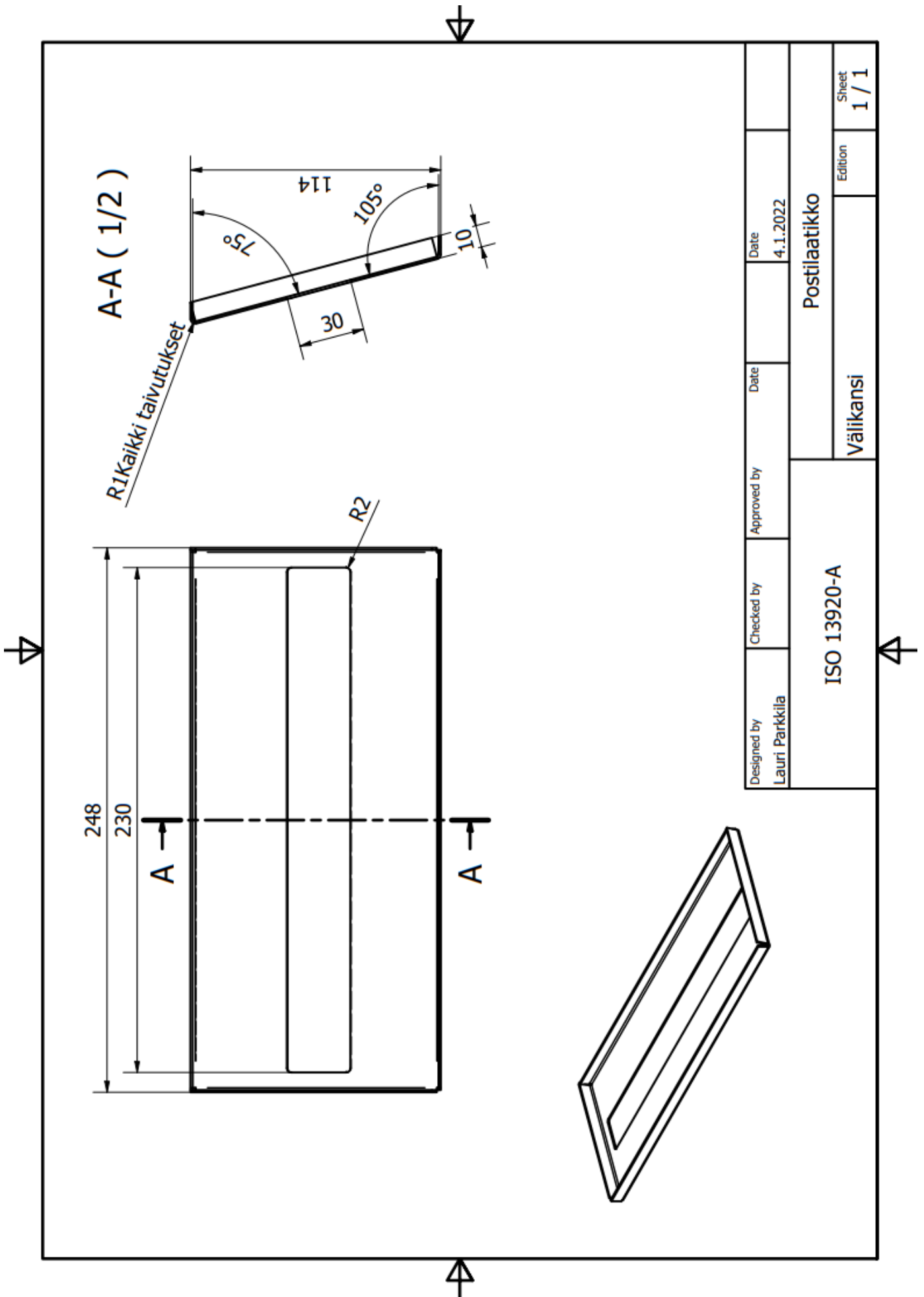


Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date	Date 14.4.2022
ISO 2768-vK / SFS 5998		Lintulauta		
Hattu		Edition	Sheet 1 / 1	

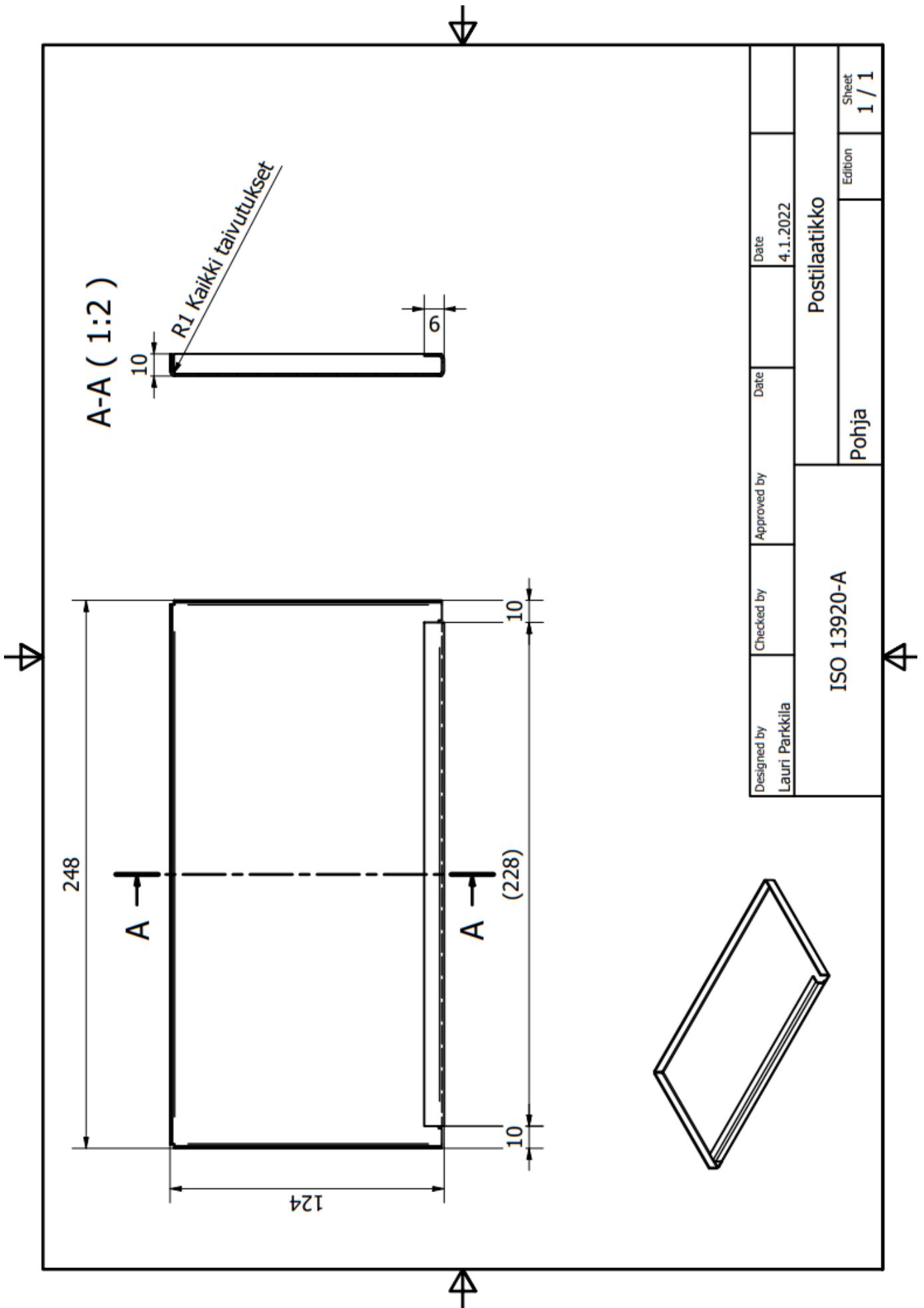


Harjoitus 3: Postilaatikko

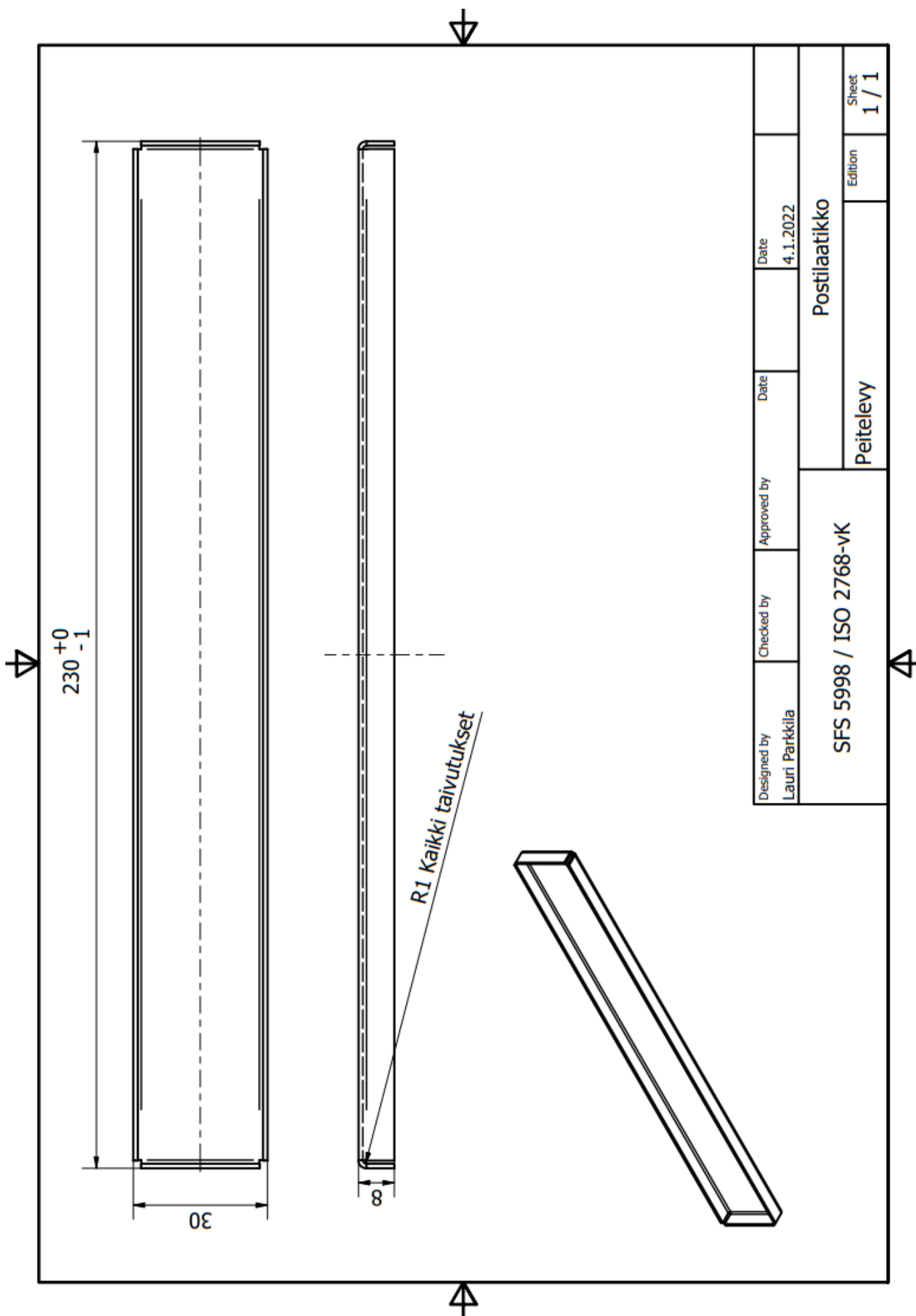


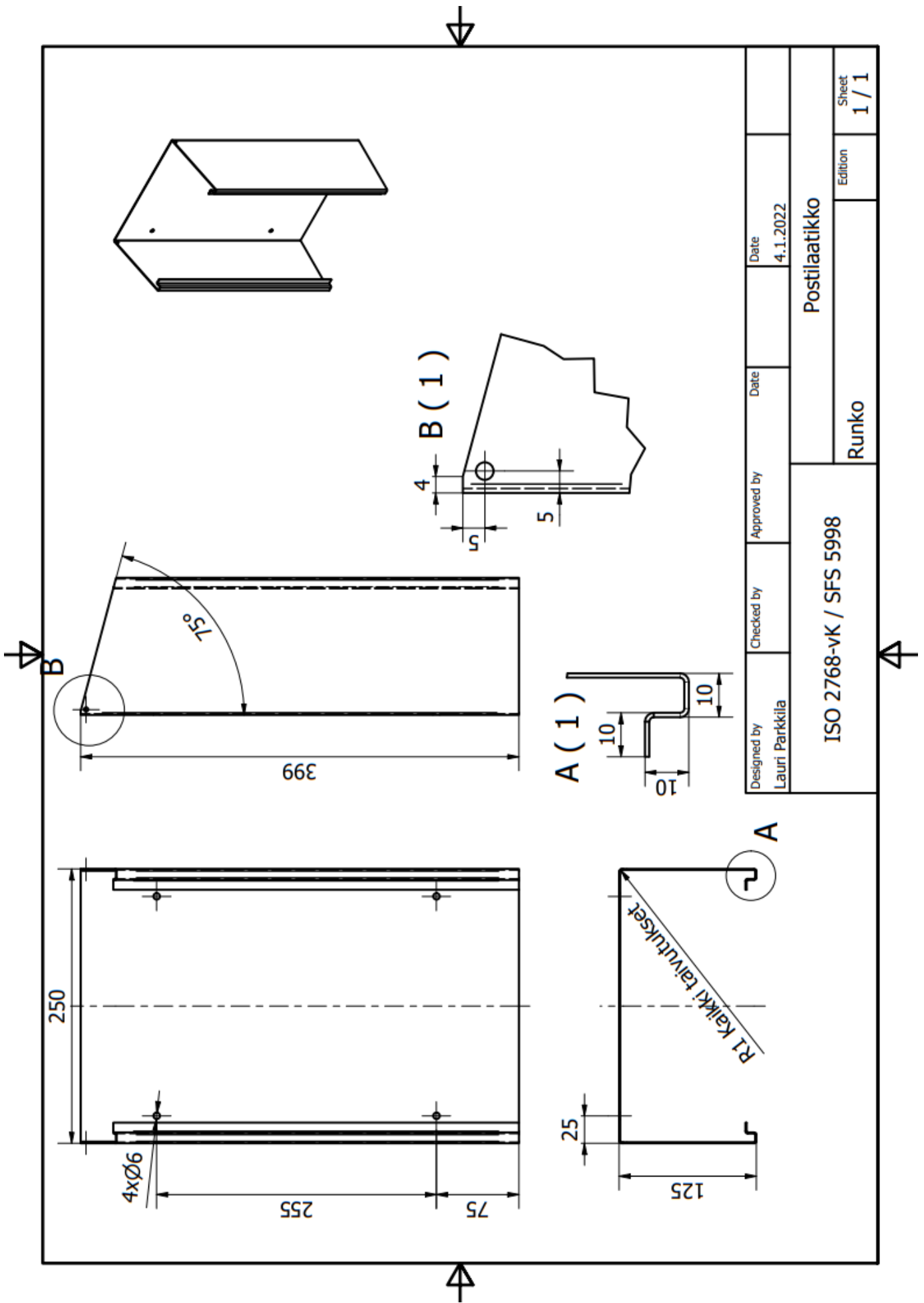


Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 4.1.2022	Sheet 1 / 1
ISO 13920-A			Postilaatikko	
Välikansi			Edition	

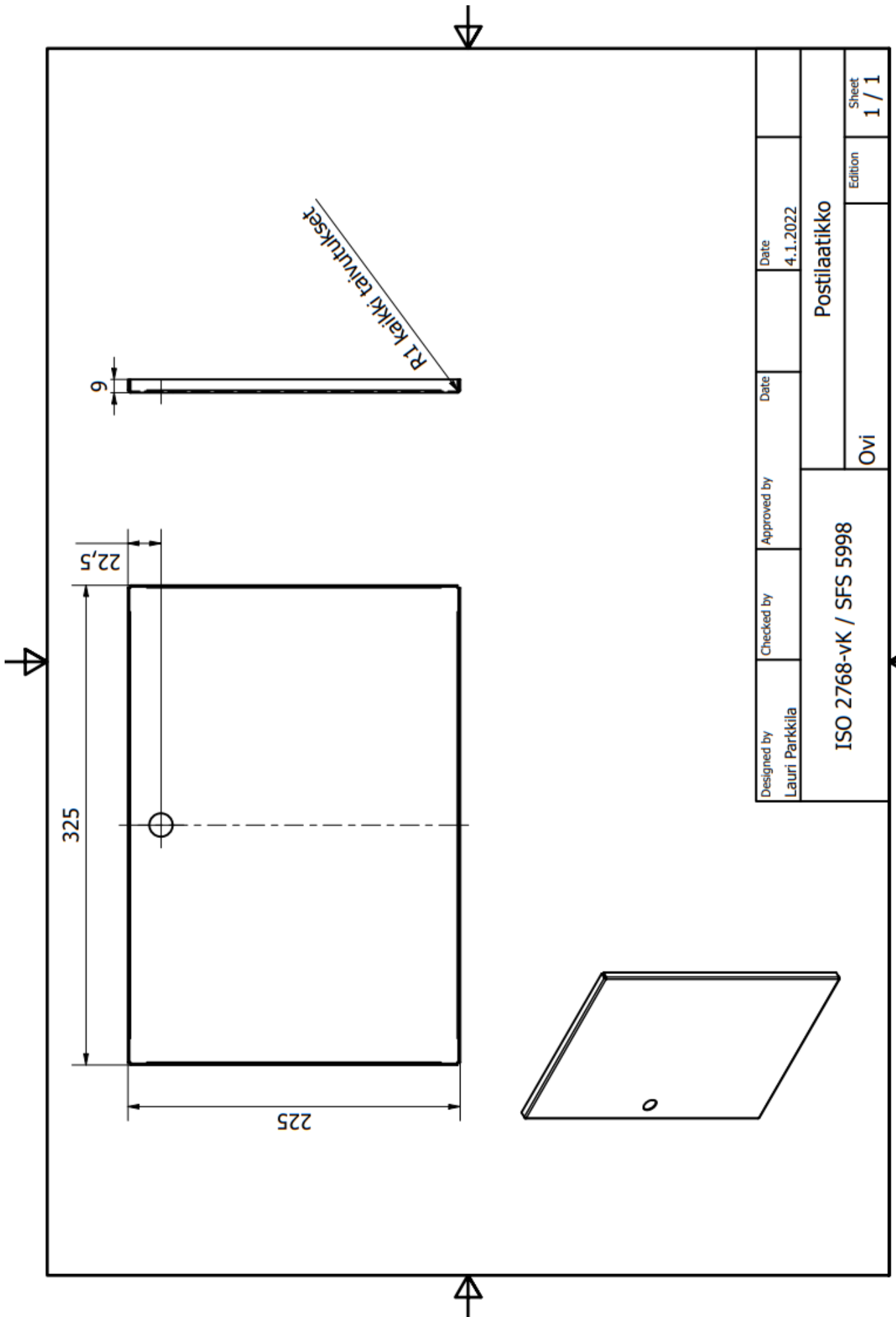


Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 4.1.2022	Sheet 1 / 1
ISO 13920-A			Edition	
Pohja			Postilaatikko	

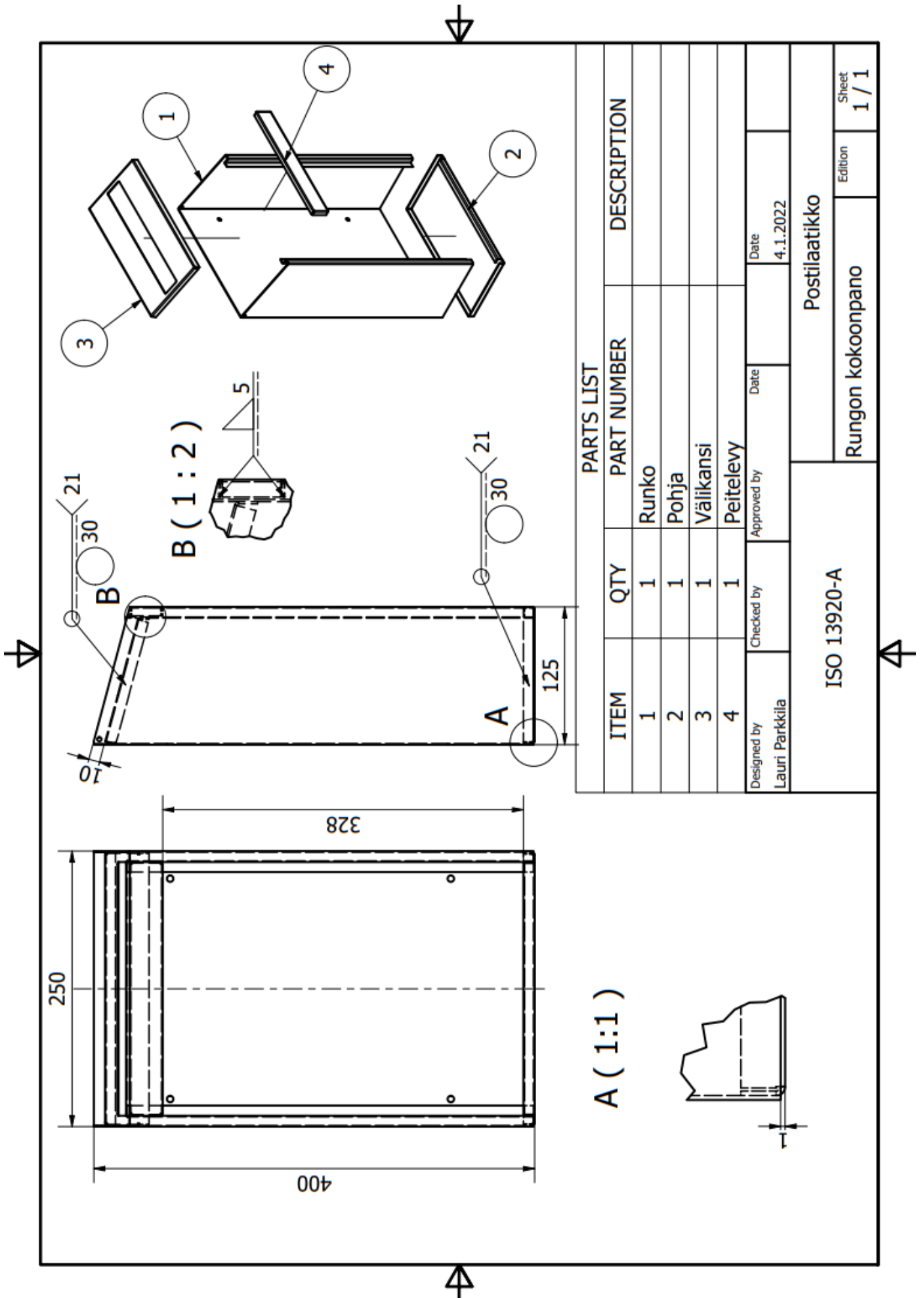




Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 4.1.2022
ISO 2768-vK / SFS 5998			Postilaatikko
Runko			Sheet 1 / 1



Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 4.1.2022	Date 4.1.2022	Sheet 1 / 1
ISO 2768-vK / SFS 5998			Postilaatikko		Edition 1 / 1
			Ovi		

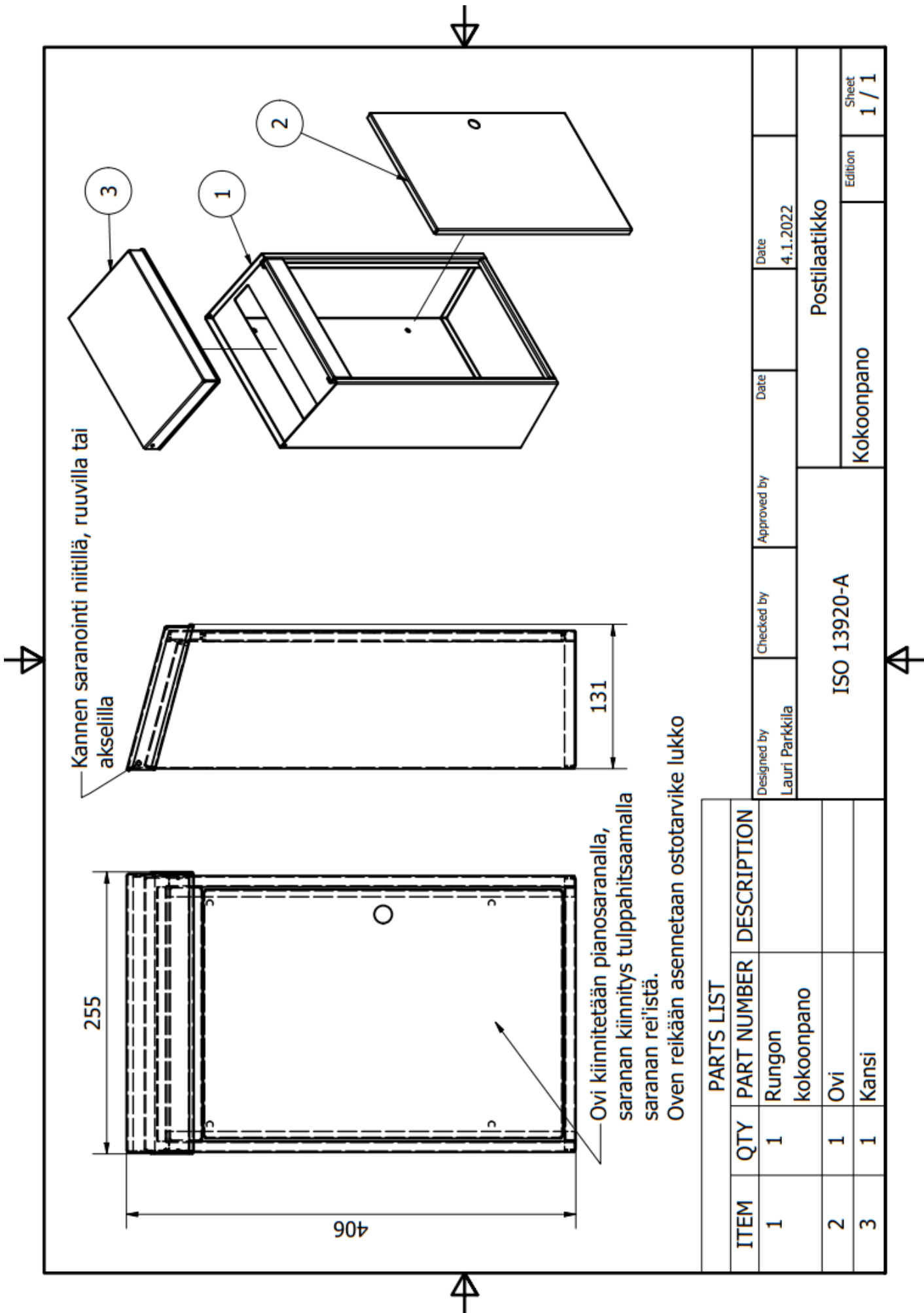


PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Runko	
2	1	Pohja	
3	1	Väläkansi	
4	1	Peitelevy	

Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 4.1.2022
-------------------------------	------------	-------------	------------------

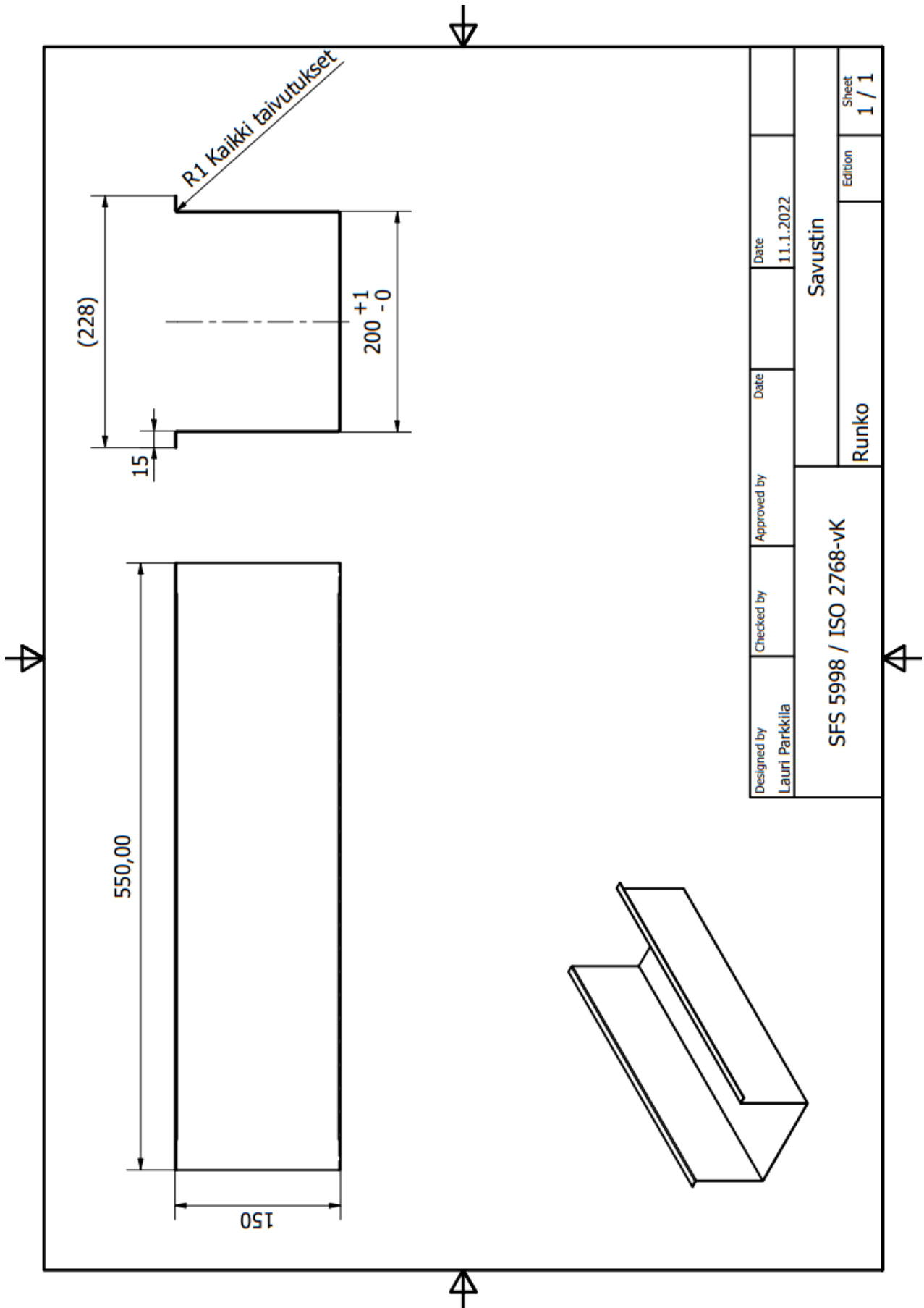
ISO 13920-A		Postilaatikko	
Rungon kokoonpano		Edition	Sheet
			1 / 1

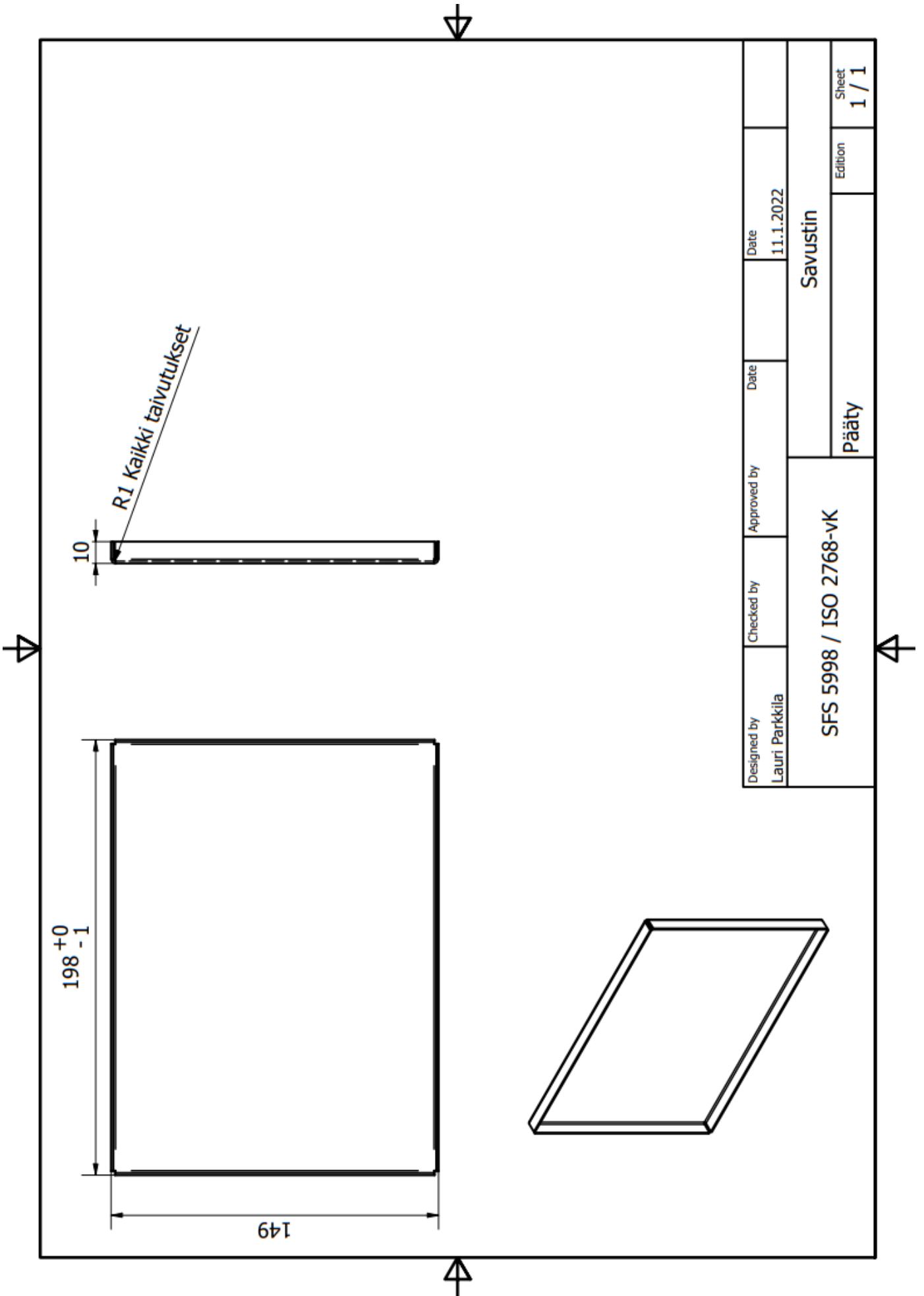


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Rungon kokoonpano	
2	1	Ovi	
3	1	Kansi	

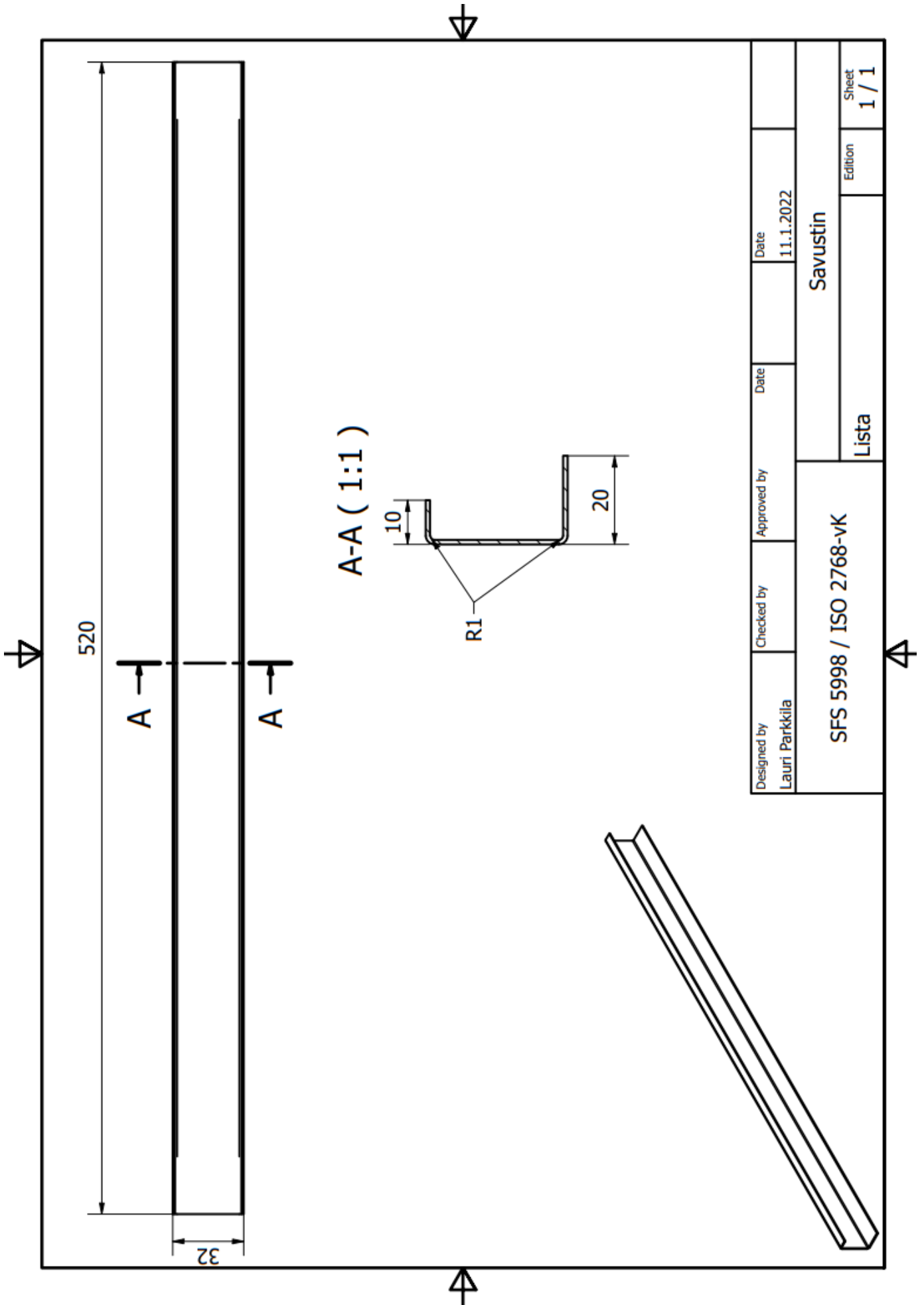
Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 4.1.2022
ISO 13920-A		Postilaatikko	
Kokoonpano		Edition	Sheet 1 / 1

Harjoitus 4: Retkisavustin

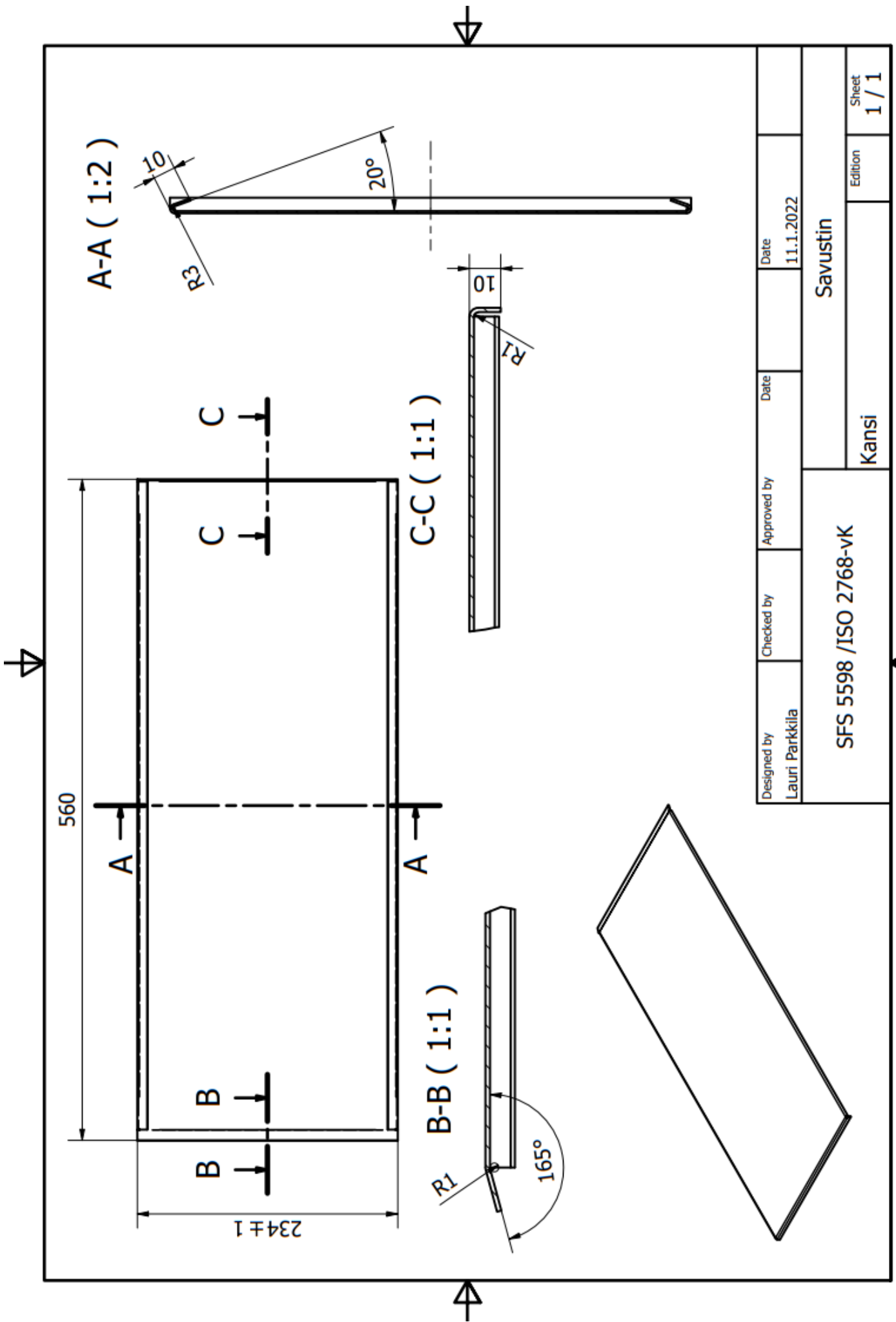




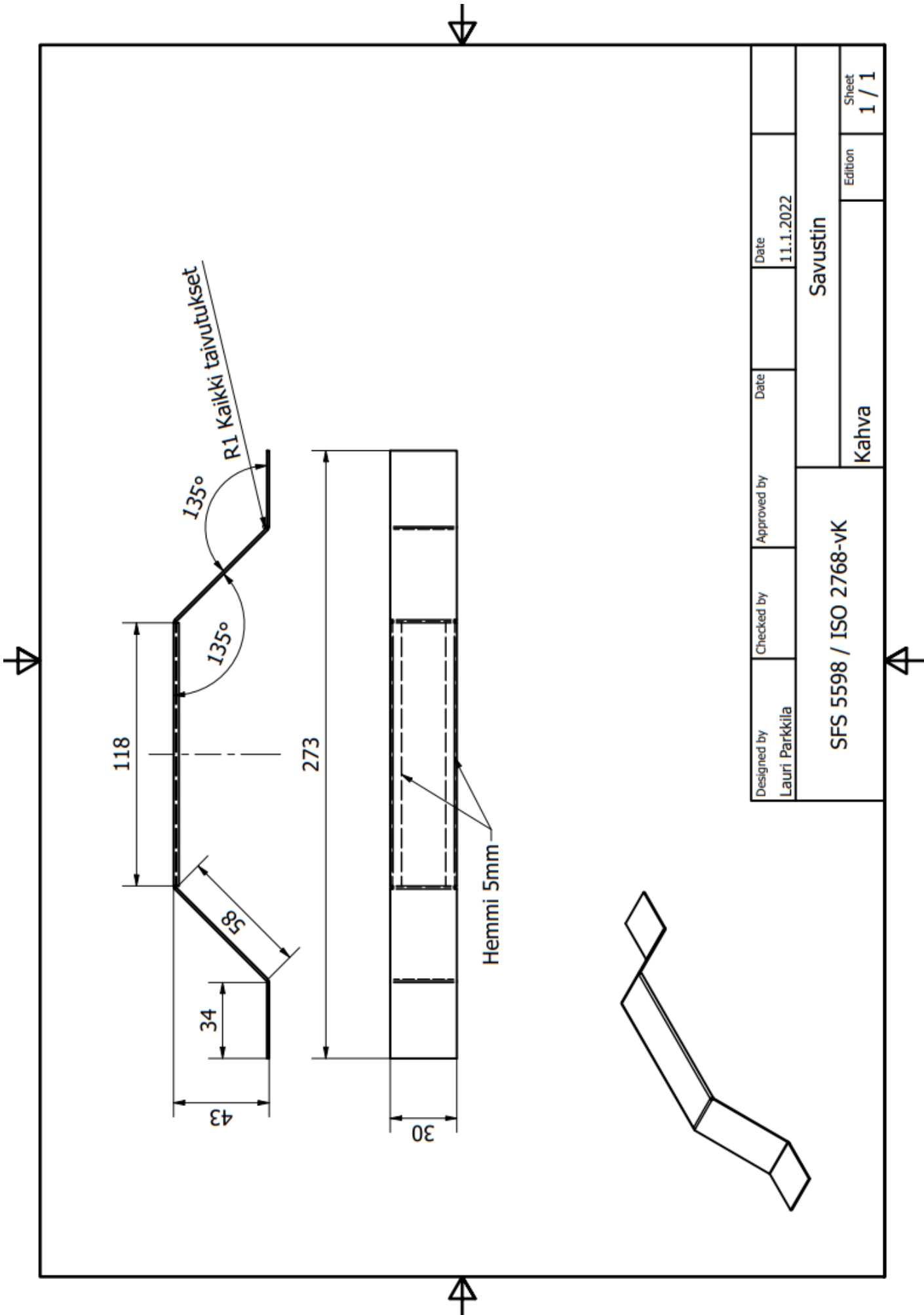
Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 11.1.2022	Sheet 1 / 1
SFS 5998 / ISO 2768-vK			Savustin	
			Pääty	

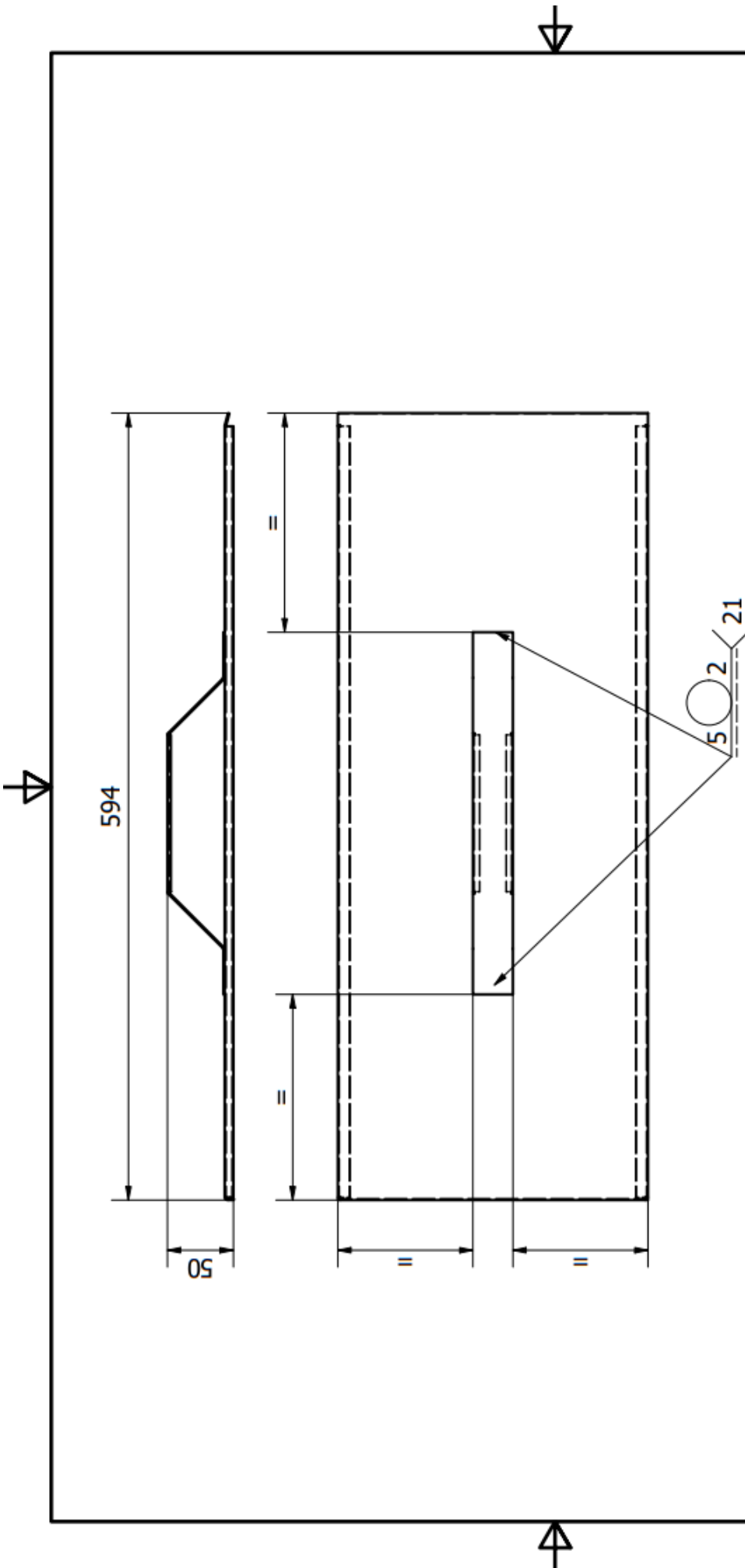


Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 11.1.2022	Date 11.1.2022	Sheet 1 / 1
SFS 5998 / ISO 2768-vK			Savustin		Edition
			Lista		1 / 1



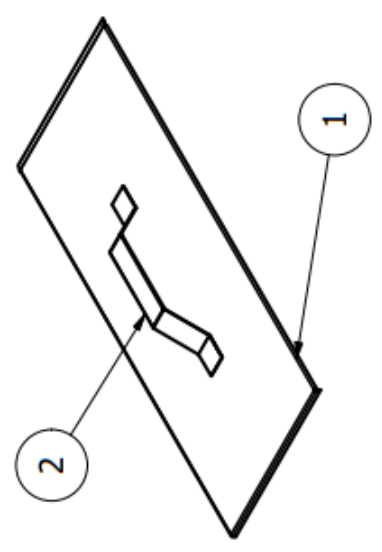
Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 11.1.2022
SFS 5598 / ISO 2768-vK			Savustin
Kansi			Edition 1 / 1

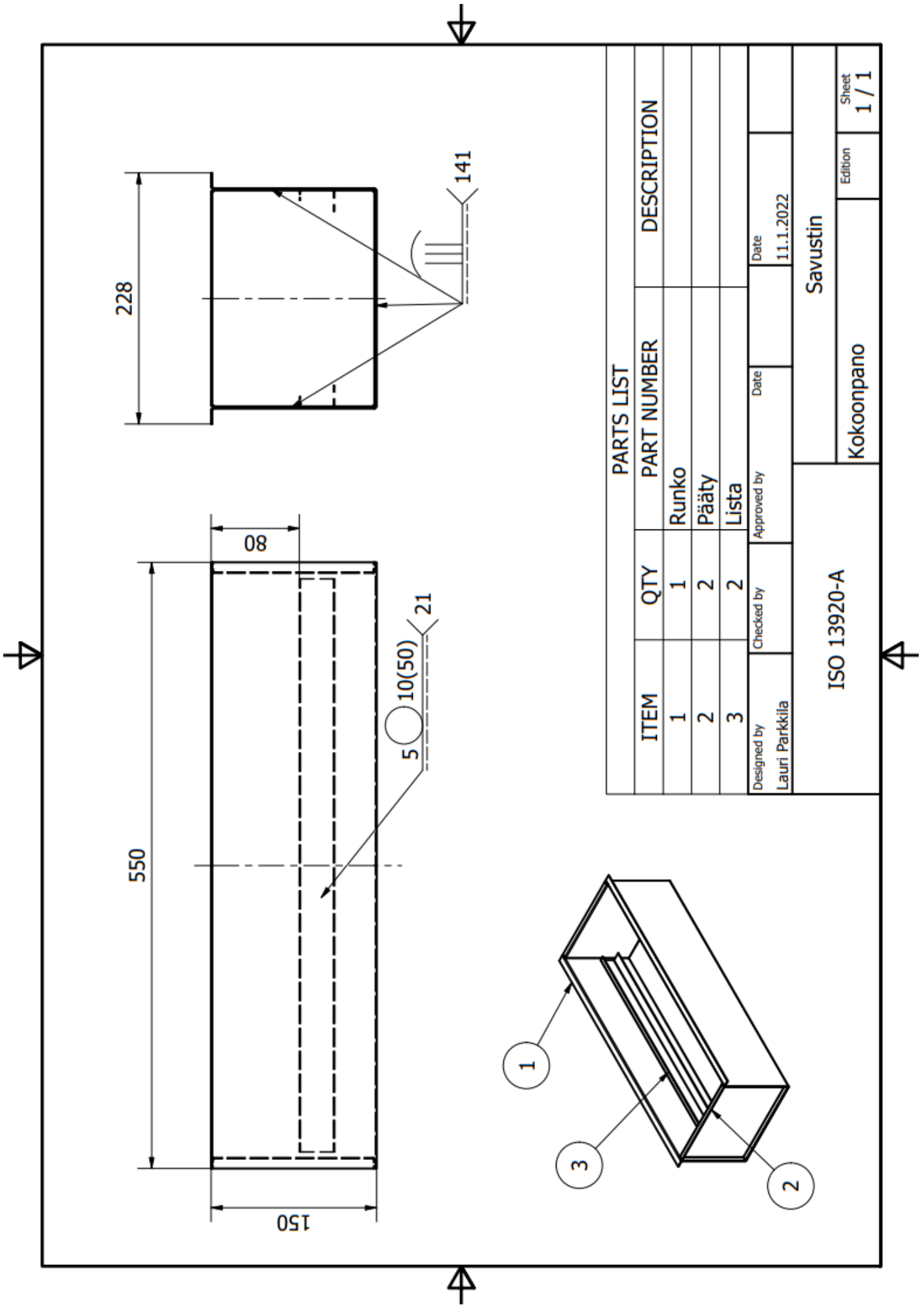




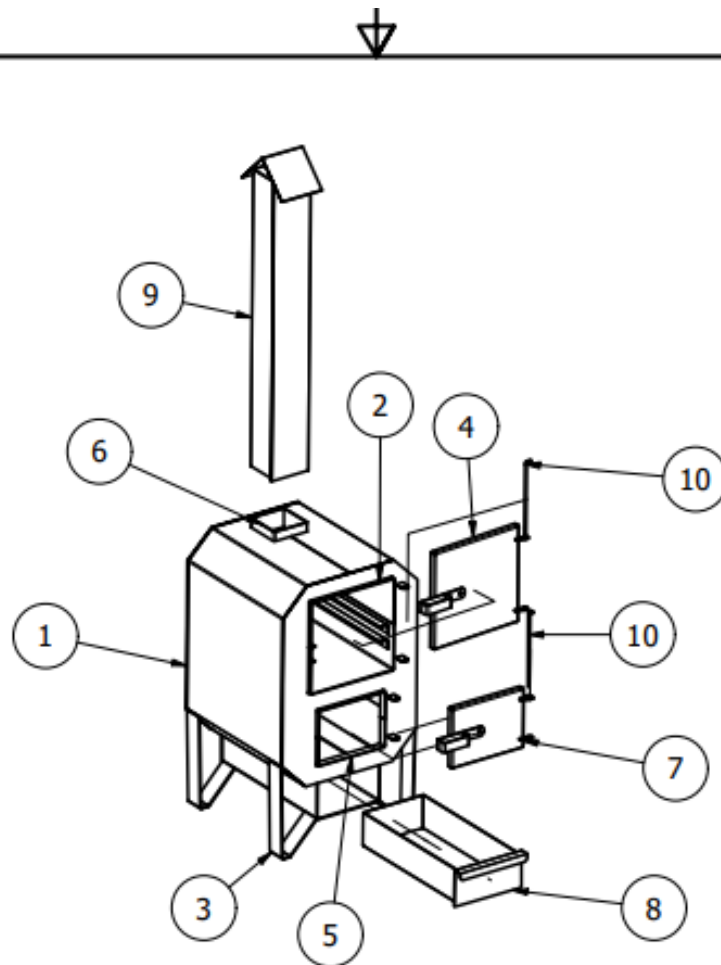
PARTS LIST		DESCRIPTION
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Kansi
2	1	Kahva

Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 11.1.2022
ISO 13920-A		Savustin	
		Kannen kokoonpano	Sheet 1 / 1





Harjoitus 5: Savustusuuni



PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Runko	
2	1	Savustuspesän kokoontapano	
3	4	Jalka	
4	1	Luukku	
5	1	Tulipesän kaulus	
6	1	Piipun kaulus	
7	1	Tulipesän luukku	
8	1	Tuhkalaatikko	
9	1	Savupiippu	
10	2	Saranatappi	

Designed by

Lauri Parkkila

Checked by

Approved by

Date

Date

11.4.2022

SAVUSTUSUUNI

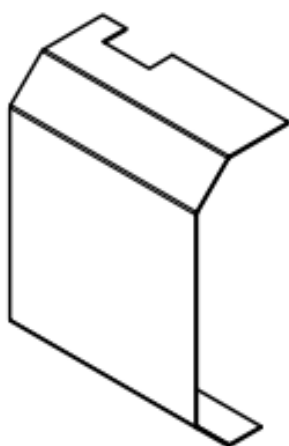
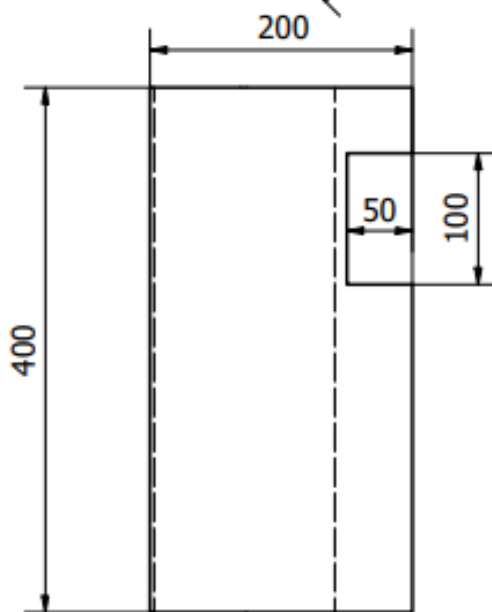
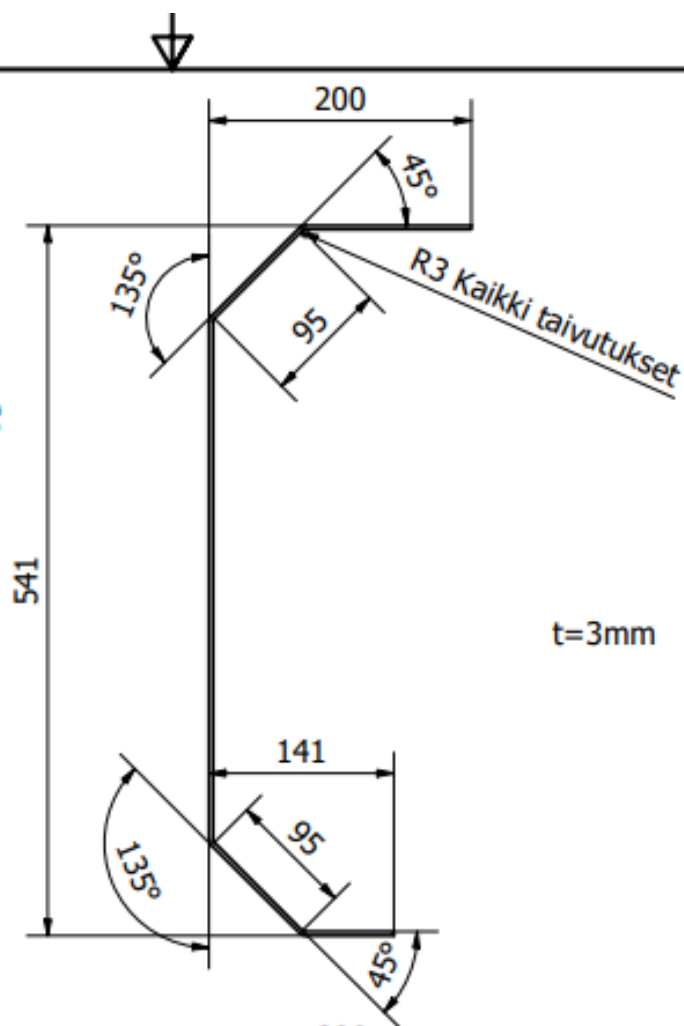
Kokoontapano

Edition

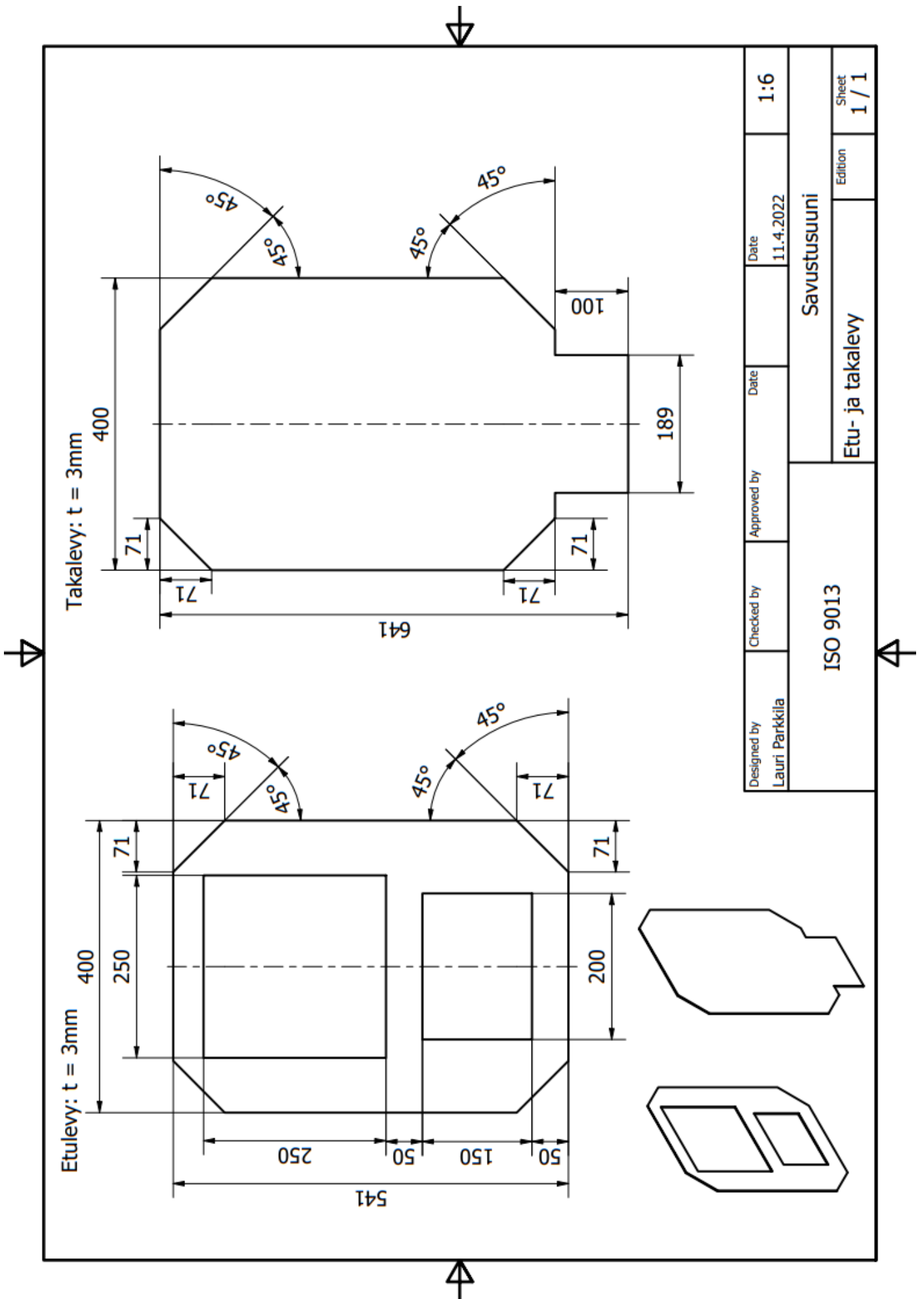
Sheet

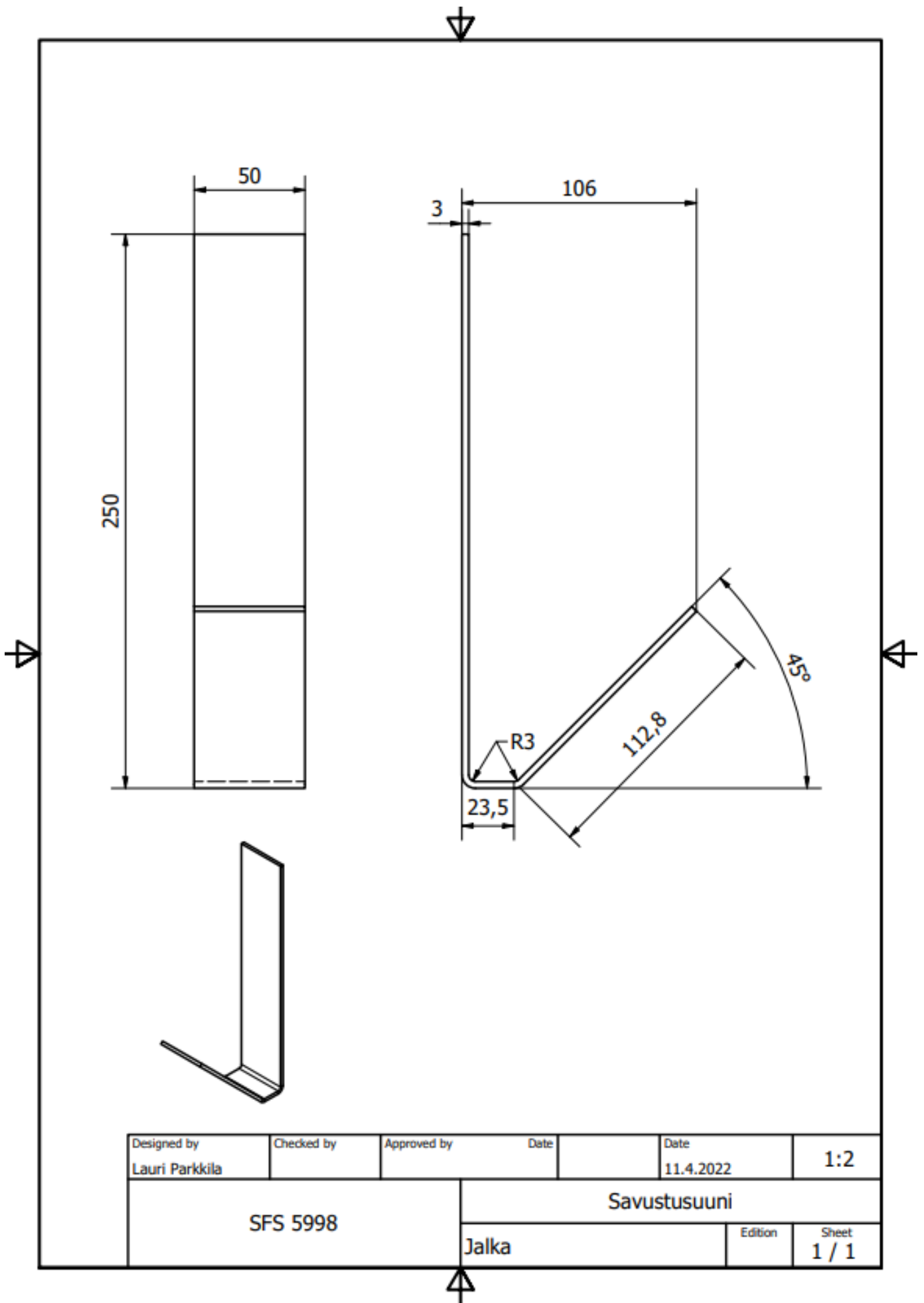
1 / 1

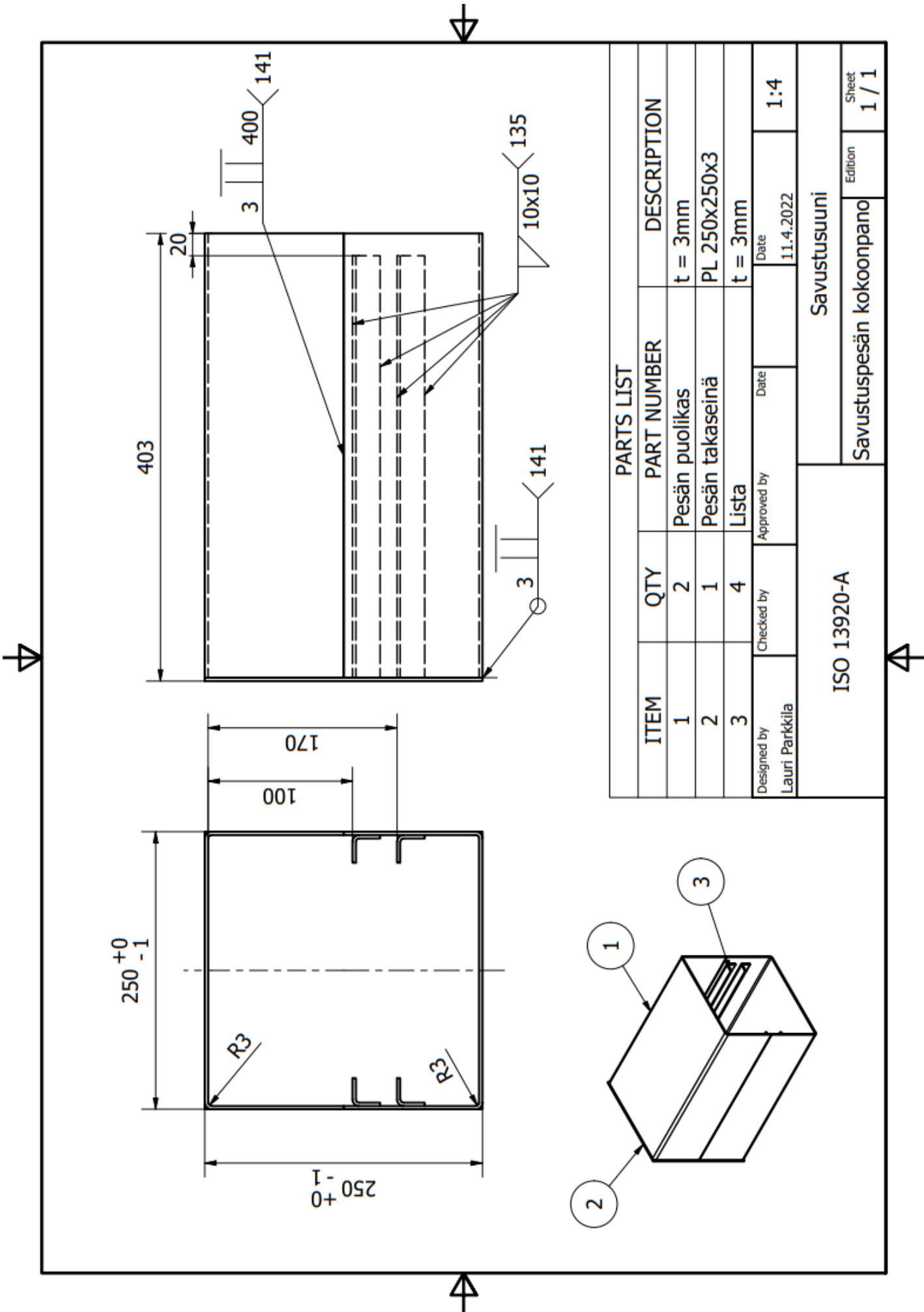
Toinen kappale
peilikuvana!

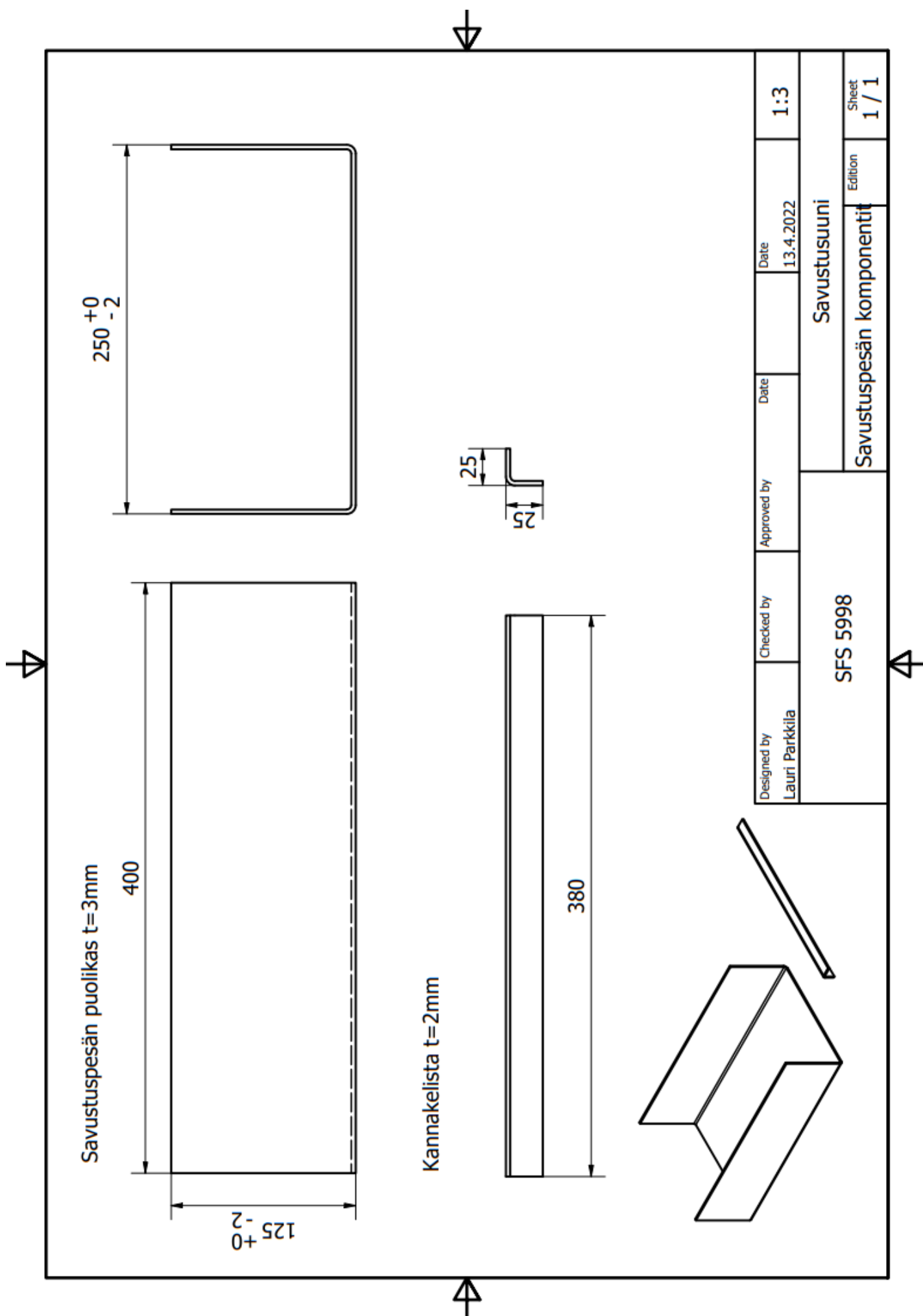


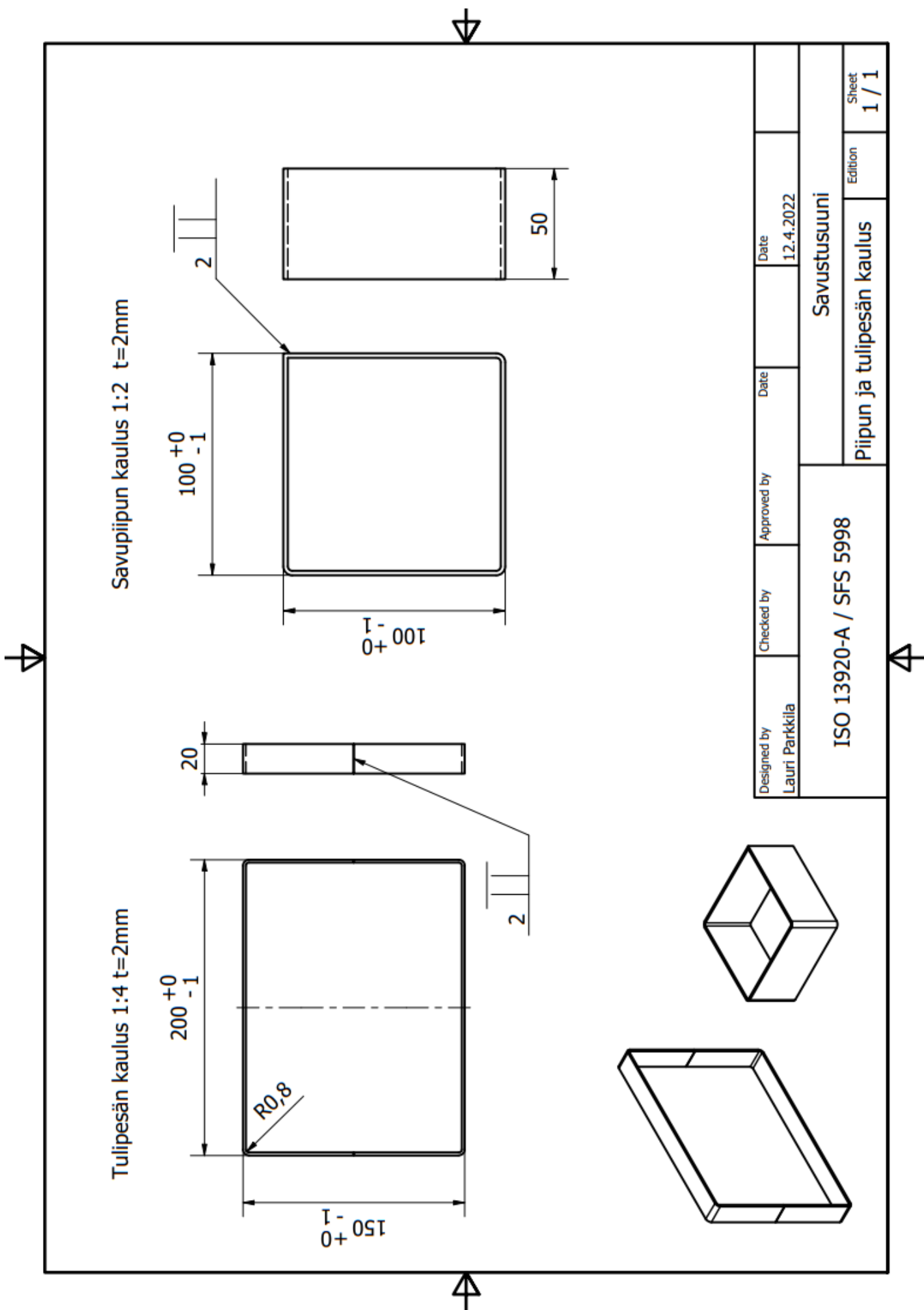
Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date	Date 11.4.2022	1:5
ISO 2768-vK / SFS 5998			Savustusuuni		
Kyljet			Edition	Sheet 1 / 1	



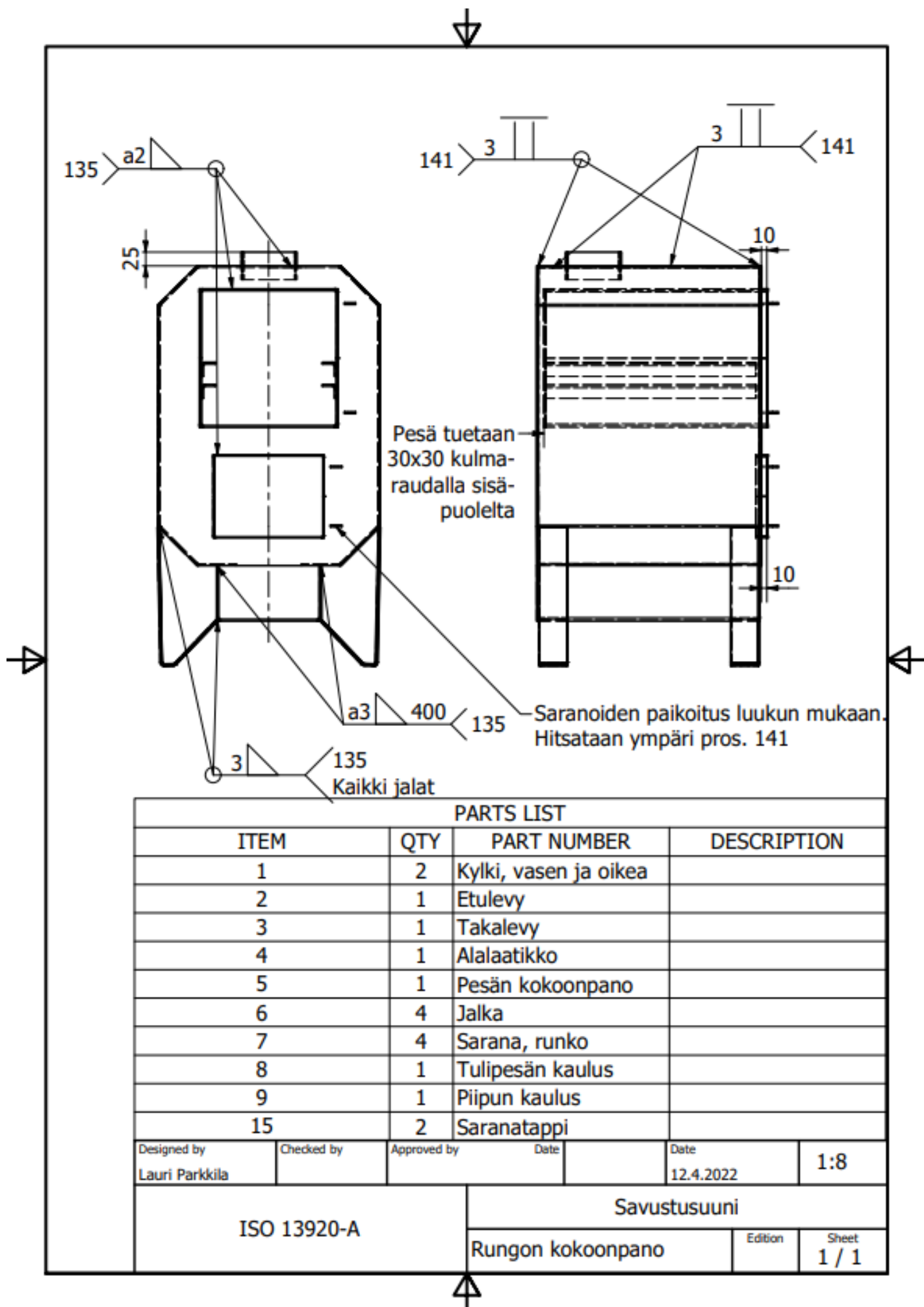


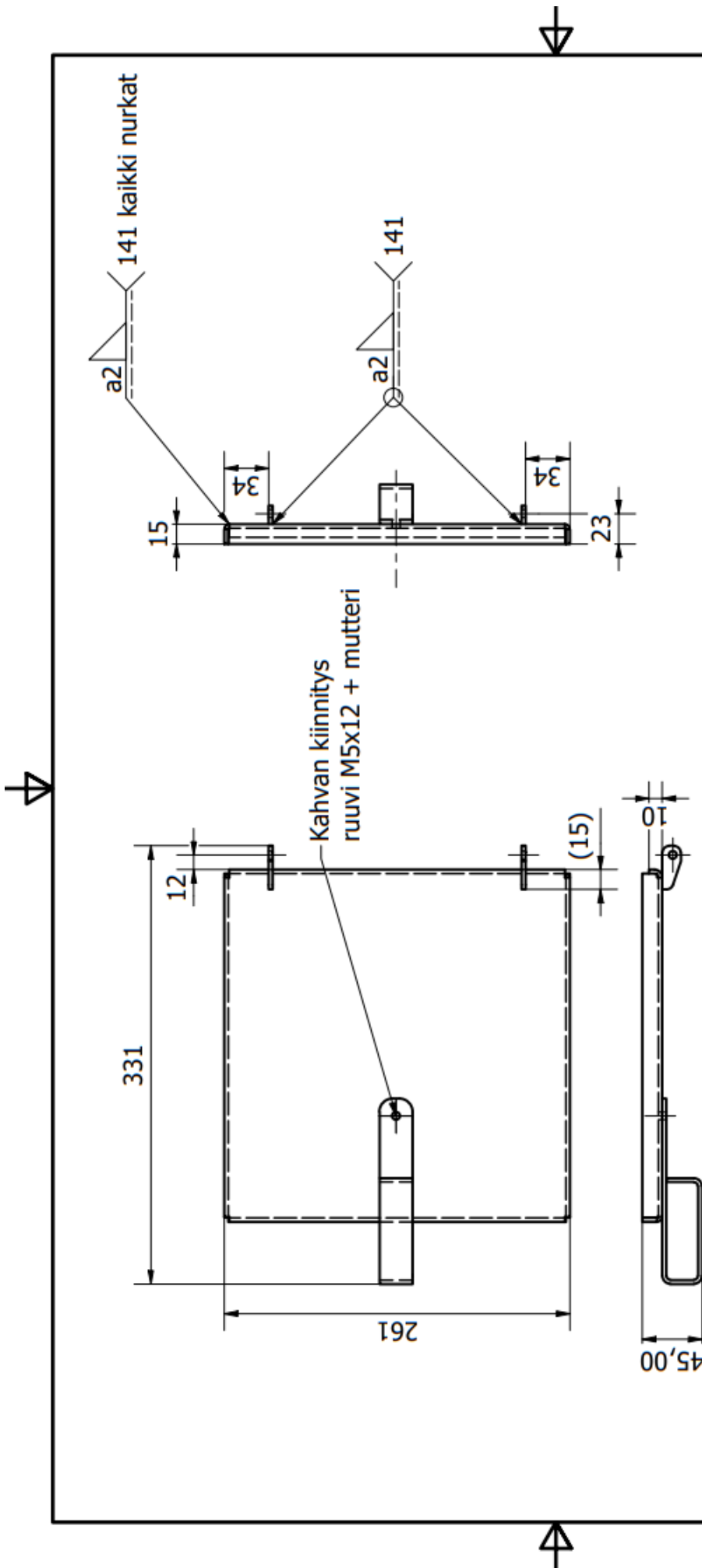






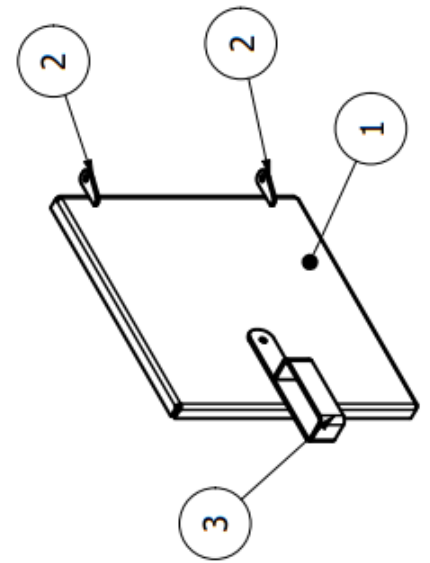
Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 12.4.2022	Date 12.4.2022	Sheet 1 / 1
ISO 13920-A / SFS 5998			Savustusuuni		
			Piiipun ja tulipesän kaulus		
			Edition		
			1 / 1		

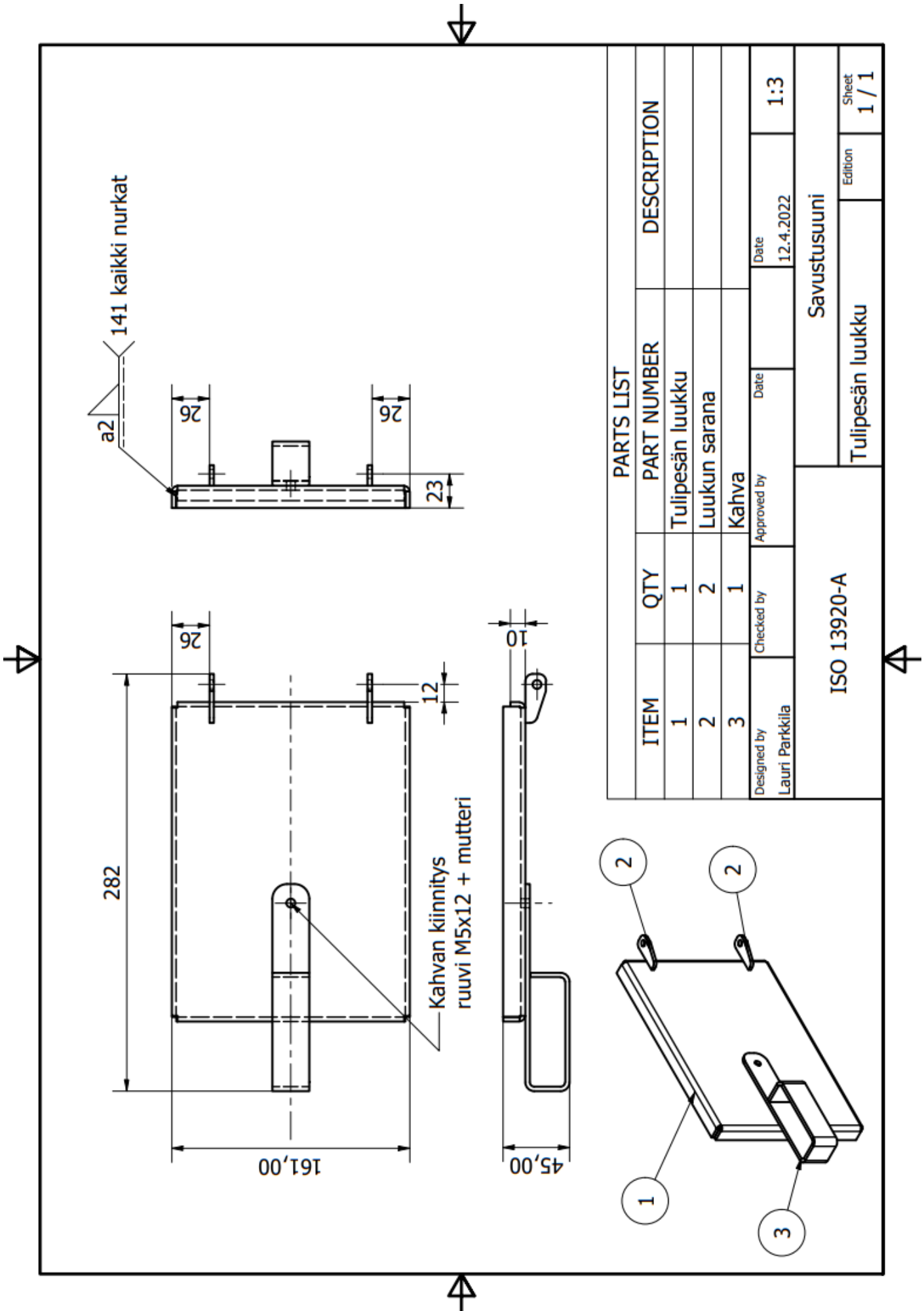




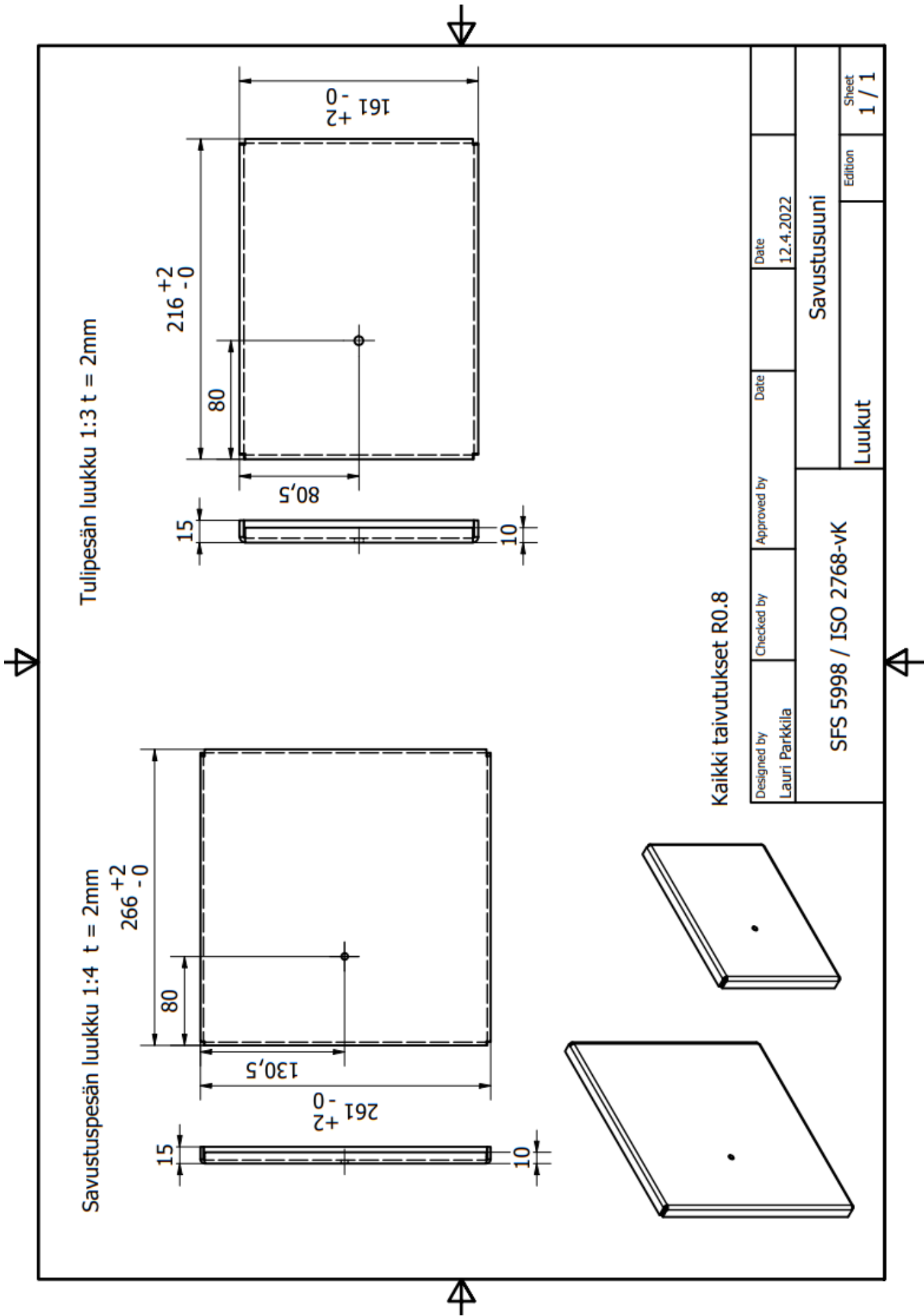
PARTS LIST		DESCRIPTION	
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Luukku	
2	2	Luukun sarana	
3	1	Kahva	

Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 11.4.2022	Date 11.4.2022	1:4
ISO 13920-A			Savustusuuni		
Luukku, kokoonpano			Edition		Sheet 1 / 1

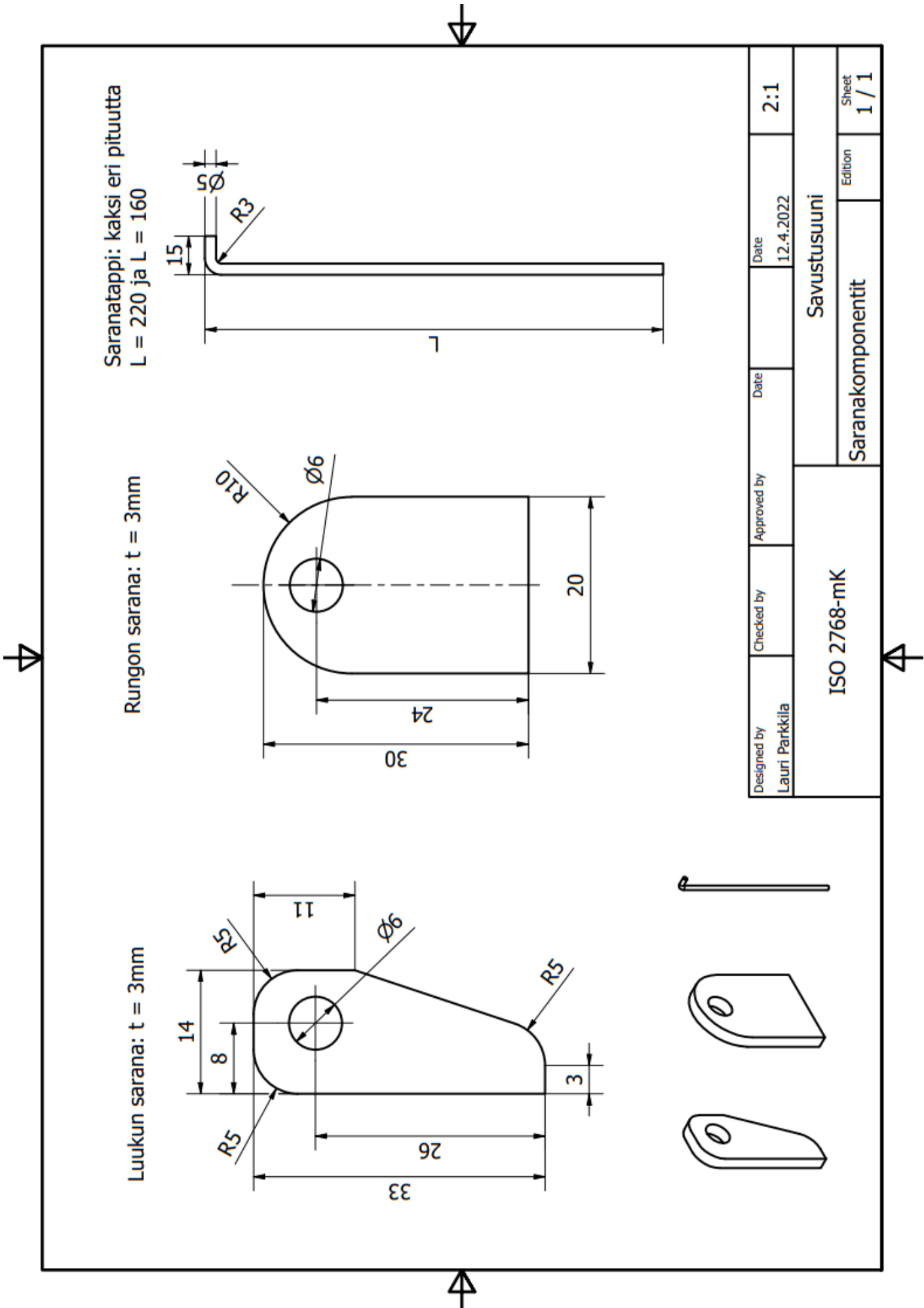


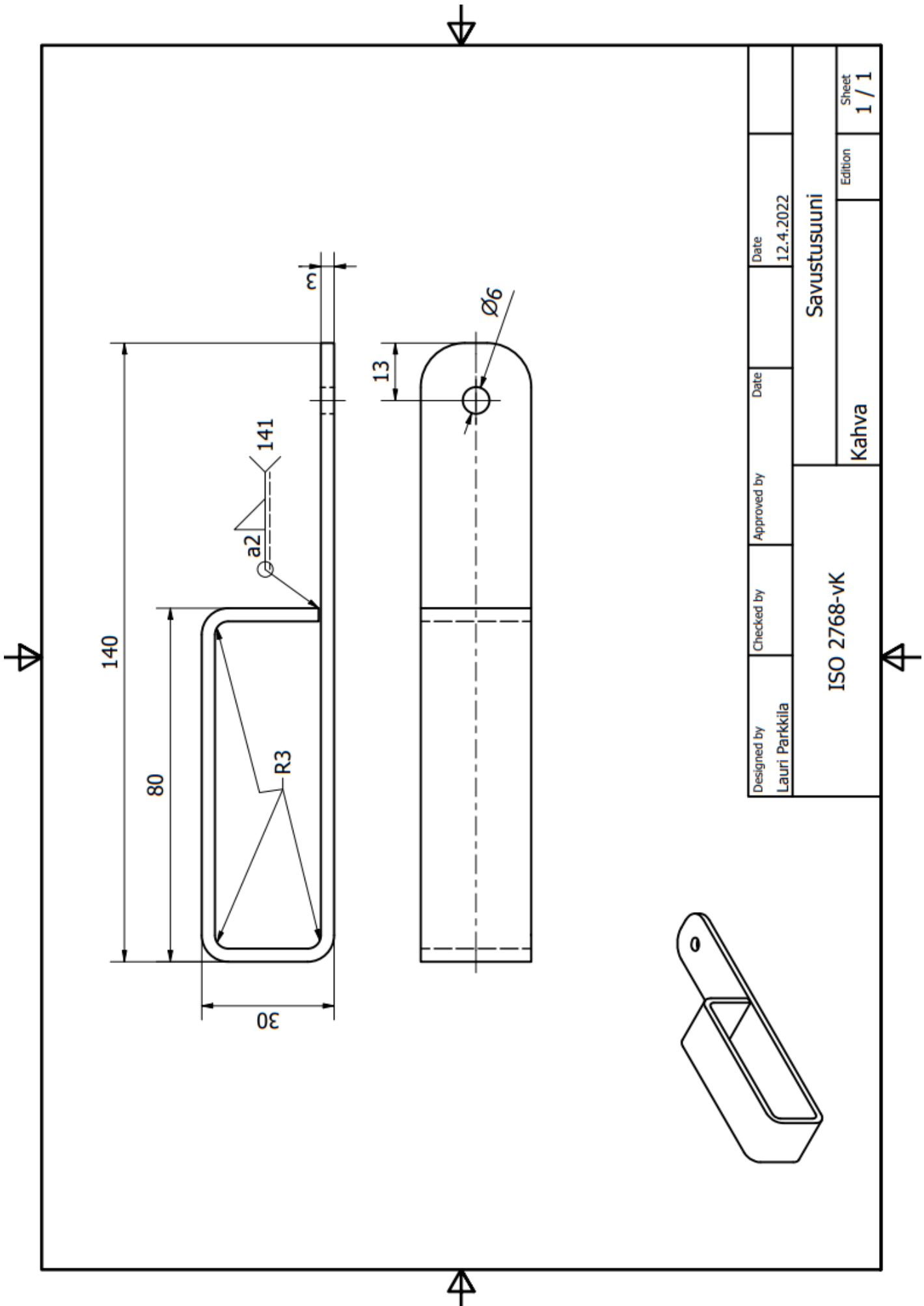


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Tulipesän luukku	
2	2	Luukun sarana	
3	1	Kahva	
Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 12.4.2022
ISO 13920-A		Savustusuuni	
		Tulipesän luukku	Sheet 1 / 1

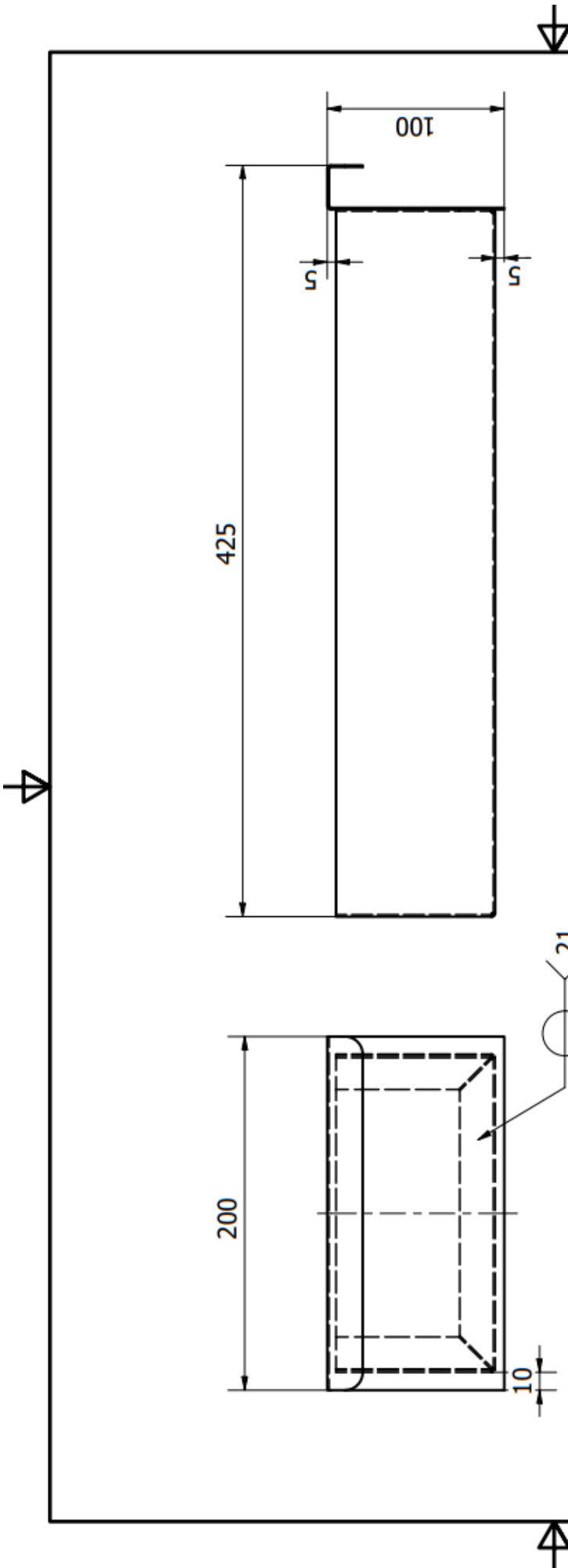


Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 12.4.2022
SFS 5998 / ISO 2768-vK		Savustusuuni	
Luukut		Edition	Sheet 1 / 1





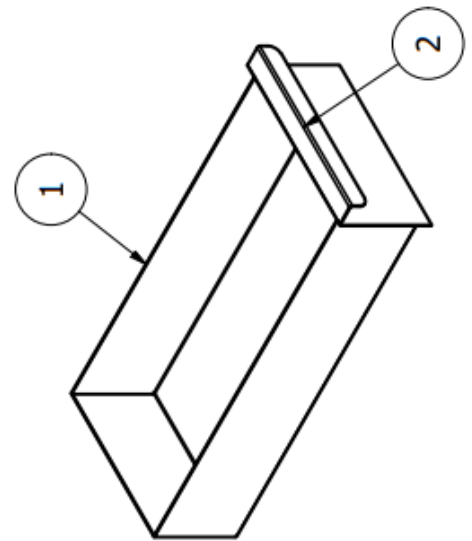
Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 12.4.2022	Date 12.4.2022
ISO 2768-VK			Savustusuuni	
			Kahva	
			Edition	Sheet 1 / 1

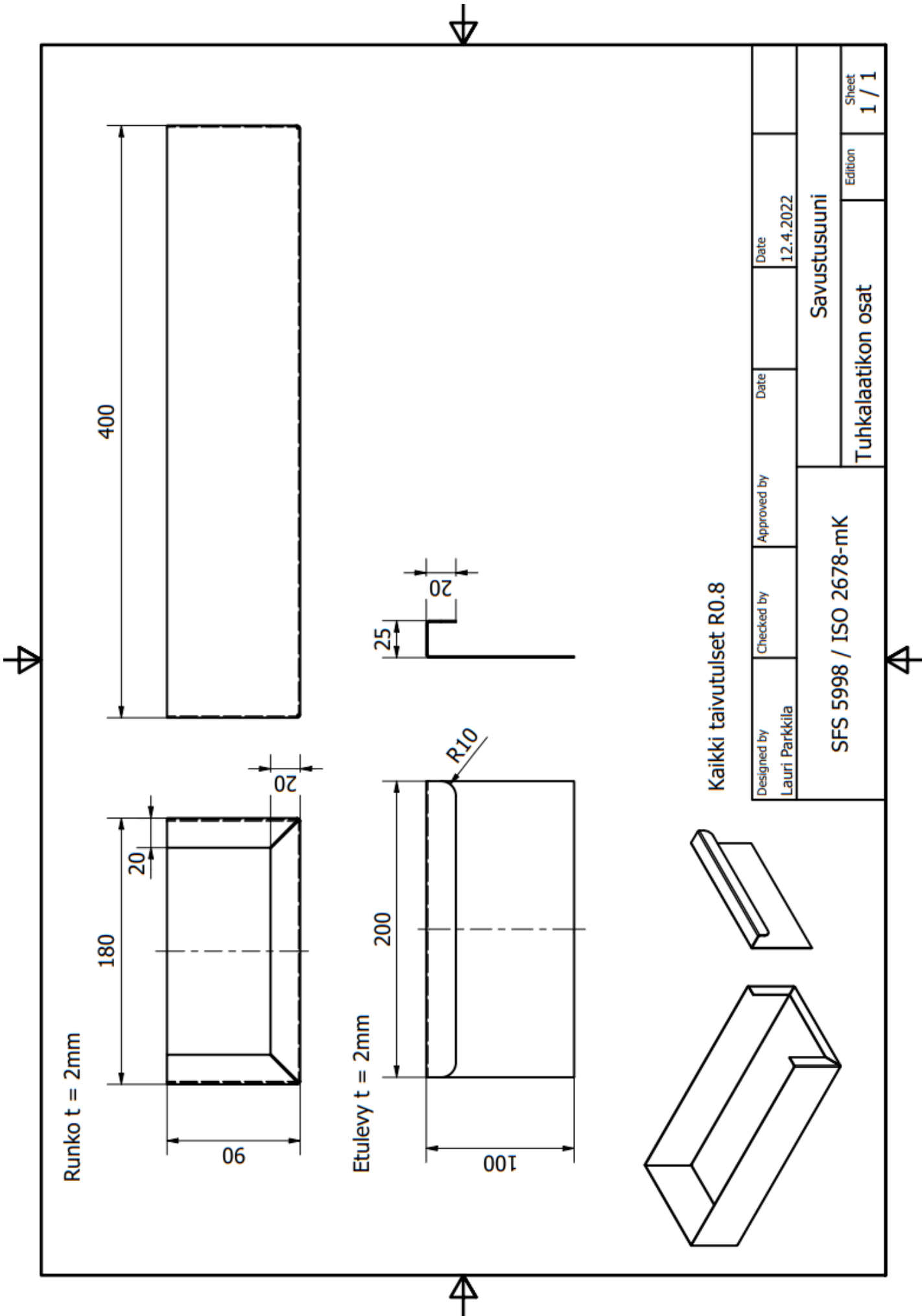


ITEM		QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1		1	Runko	
2		1	Etulevy	

Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by Etulevy	Date	Date	1:3
			12.4.2022		

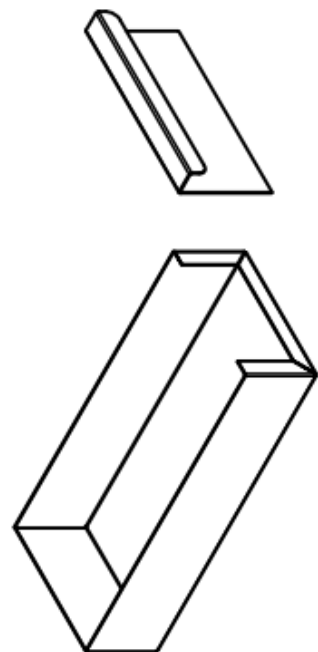
ISO 13920-A		Savustusuuni	
Tuhkalaatikko		Edition	Sheet
			1 / 1

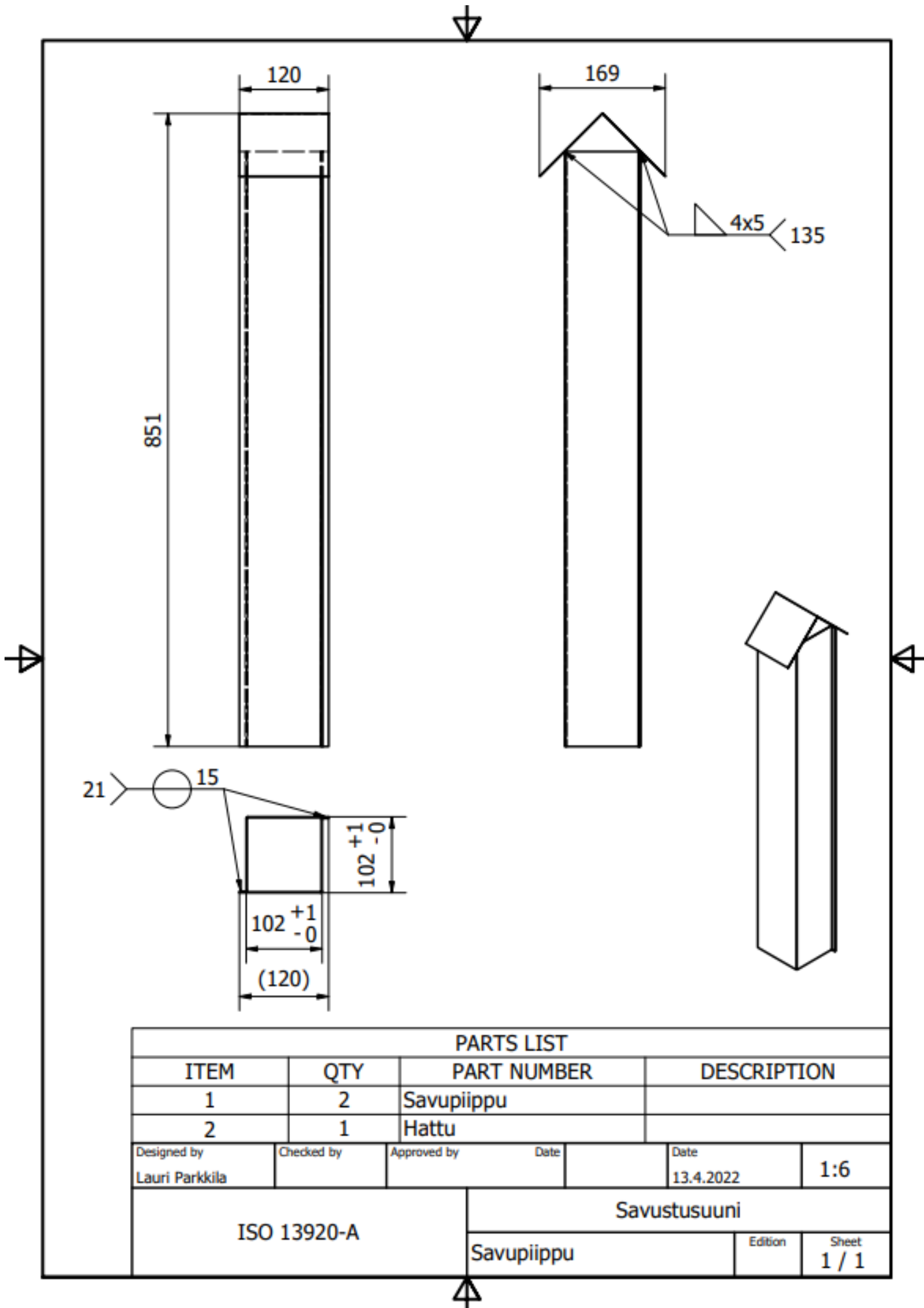




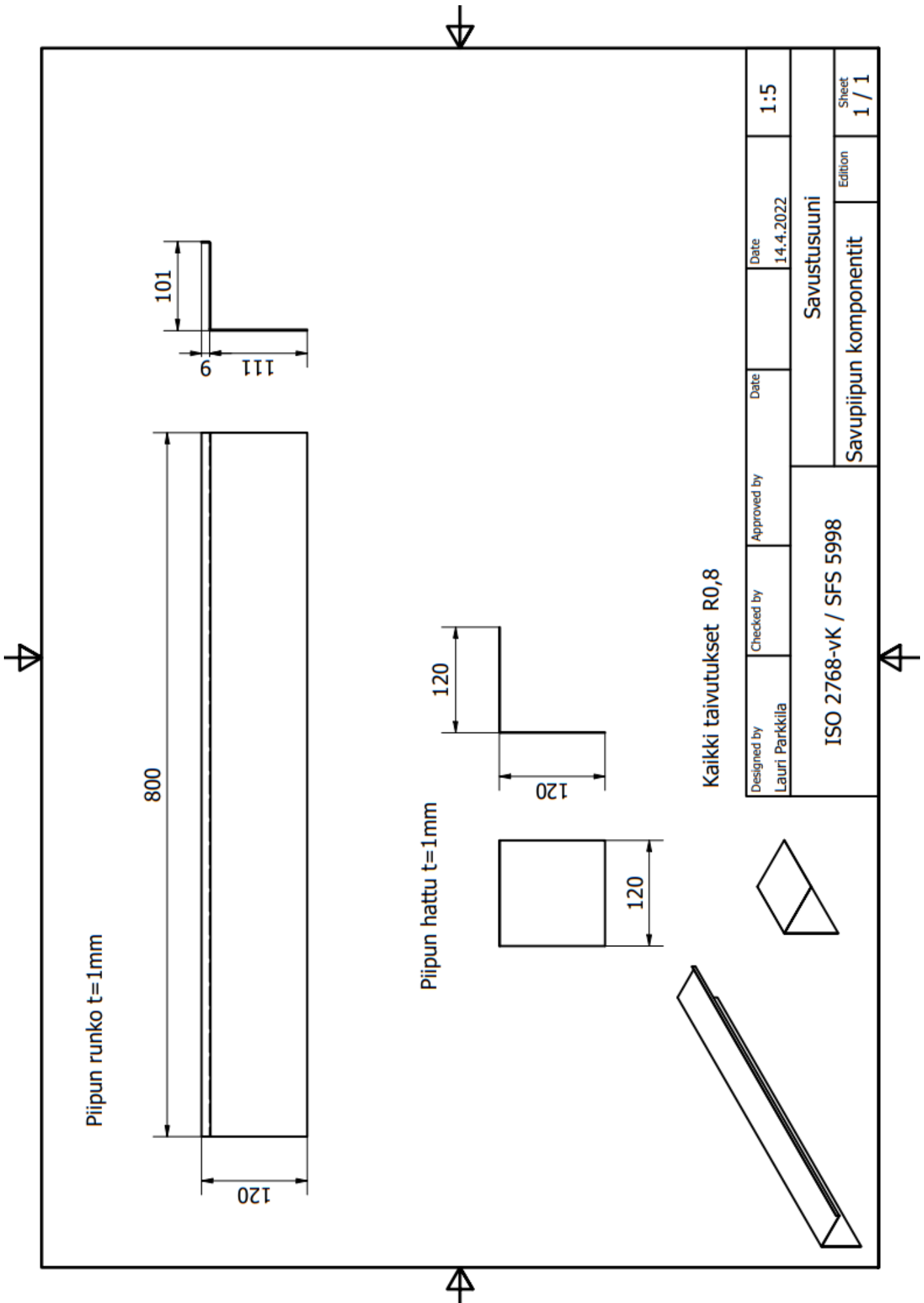
Kaikki taivutukset R0.8

Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 12.4.2022	Date	Date
SFS 5998 / ISO 2678-mK			Savustusuuni		
			Tuhkalaatikon osat		Sheet 1 / 1





PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	Savupiippu	
2	1	Hattu	
Designed by Lauri Parkkila	Checked by	Approved by	Date 13.4.2022
ISO 13920-A		Savustusuuni	
		Savupiippu	Edition Sheet 1 / 1



Kirjallisia tehtäviä:

1: Selvitä Keudan särmäyspuristimien taivutettavan kappaleen maksimitat (Leveys, paksuus, ja syvyys)

- Amada:
- Coastone:

2: Käytettävän V-aukon leveys on 160mm. Kuinka paksua materiaalia voit taivuttaa? Mikä on suositeltu sisäsäde?

3: Mitä eroja on kanttikoneella ja särmäyspuristimella? Etsi internetistä tietoa aiheesta.

4: Miten absoluuttinen ohjelmointitapa eroaa kulmamuoto ohjelmoinnista?

Laske oheisen profiilin oikaistu pituus ja tee ohjelmalistaus profiilin taivuttamiseksi. Merkitse laskun välivaiheet näkyviin. Mitat ovat ulkomittoja.

