



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niko Ohra-aho

# RIKKOMATTOMIEN TESTAUSMENETEL- MIEN TILAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Wärtsilä Finland Oy

Tekniikka  
2024

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Niko Ohra-aho
Opinnäytetyön nimi	Rikkomattomien testausmenetelmien tilan suunnittelu ja toteutus
Vuosi	2024
Kieli	suomi
Sivumäärä	49 + 31 liitettä
Ohjaaja	Sami Elomaa ja Visa Lang

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan toimipaikan tutkimuslaboratorioon rikkomattomien testausmenetelmien tila ja luoda suunnitelmien pohjalta toteutussuunnitelma. Kohdetila, johon opinnäytetyö sijoittuu, sijaitsee tutkimuslaboratorion tiloissa. Tavoitteena on vastata puutteelliseen kykyyn toteuttaa omissa laboratorion tiloissa rikkomattomia testausmenetelmiä raskaille komponenteille siististi, turvallisesti ja ympäristöystävällisesti.

Opinnäytetyössä käsitellään yleisimpiä rikkomattomia testausmenetelmiä teoriatasolla. Työssä perehdytään kohdetilan vaatimuksiin ja työkalusteiden sekä laitteiden määrityksiin, joihin suunnittelun on vastattava. Lisäksi opinnäytetyössä esitetään suunnittelun vaiheita ja sen lopputulokset. Työn aikana käytettiin kyseisestä kiinteistöstä vastaavan asiantuntijan konsultointiapua ja tutkimuslaboratorion omaa materiaalitieteiden kirjallisuuden kokoelmaa. Suunnitteluprosessin aikana haastateltiin tutkimuslaboratorion henkilökunnan ja tulevan tilan käyttäjien näkemyksiä tilasta ja sen vaatimuksista.

Suunnittelun lopputuloksena muodostui tilakokonaisuus, joka vastaa tutkimuslaboratorion ja tuotekehityksen materiaalitutkimuksen tarpeita. Rikkomattomia testausmenetelmiä pystytään toteuttamaan turvallisesti, siististi ja jätevesien ympäristöystävällisyys huomioiden. Suunnitellut parannukset täyttävät vaaditut määritykset, jotka olivat laadittu siten, että tilassa voidaan toteuttaa rikkomattomia testausmenetelmiä valtaosalle tutkimuksiin saapuvista komponenteista.

---

Avainsanat	Rikkomaton aineenkoetus, tekninen suunnittelu, elementtimenetelmä, layout
------------	---

## ABSTRACT

Author	Niko Ohra-aho
Title	Planning and Implementation of the Room of Non-destructive Testing Methods
Year	2024
Language	Finnish
Pages	49 + 31 Appendices
Name of Supervisor	Sami Elomaa and Visa Lang

---

The purpose of this thesis was to design a room for non-destructive testing methods for the Vaasa investigation laboratory of Wärtsilä Finland Oy and create an implementation plan based on these designs. The target room is within the investigation laboratory premises. The objective was to respond to the inadequate ability to implement non-destructive testing methods for heavy components in a clean, safe, and environmentally friendly manner within the laboratory's facilities.

The thesis covers the most common non-destructive testing methods at a theoretical level. It delves into the requirements of the target room and the specifications of the equipment that the design must meet. Additionally, the thesis presents the stages of the design process and its outcomes. During the making of the thesis, the consulting help of the expert responsible for property in question and the investigation laboratory's own collection of literature of material science was used. During the planning process the employees of the investigation laboratory were interviewed regarding the room and its requirements.

The result of the design is a room that meets the needs of the investigation laboratory and material research team of research and development. Non-destructive testing methods can be implemented safely, cleanly and considering the environmental friendliness of wastewater. The designed improvements meet the required specifications which were prepared in such a way that non-destructive testing methods can be implemented in the room for most of the components arriving for the investigation.

---

Keywords	Non-destructive testing, engineering design, finite element method, layout
----------	--

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	TYÖN AIHEEN ESITTELY.....	10
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY.....	11
	2.1 Wärtsilä Energy.....	11
	2.2 Wärtsilä Marine.....	11
	2.3 GTS Investigation Laboratories.....	12
3	YLEISIMMÄT NDT-MENETELMÄT.....	13
	3.1 Visuaalinen tarkastus (VT).....	14
	3.1.1 Boroskooppi.....	14
	3.1.2 Stereomikroskooppi.....	17
	3.1.3 Dronet.....	17
	3.2 Tunkeumanestetarkastus (PT).....	18
	3.2.1 Fysikaalinen periaate.....	18
	3.2.2 Käyttöperiaate.....	20
	3.3 Magneettijauh tarkastus (MT).....	21
	3.3.1 Fysikaalinen periaate.....	22
	3.3.2 Käyttöperiaate.....	23
	3.4 Ultraäänitarkastus (UT).....	25
	3.4.1 Fysikaalinen periaate.....	26
	3.4.2 Käyttöperiaate.....	27
	3.5 Radiografinen tarkastus (RT).....	28
	3.5.1 Fysikaalinen periaate.....	29
	3.5.2 Tekniikat.....	30
	3.6 Pyörrevirtatarkastus (ET).....	31

3.6.1	Fysikaalinen periaate .....	31
3.6.2	Käyttöperiaate.....	31
4	TILAVAATIMUKSET.....	32
4.1	Turvallisuus .....	32
4.2	Vesi ja valaistus .....	33
5	SUUNNITTELU.....	34
5.1	Määritykset .....	34
5.2	Layout.....	34
5.3	NDT-pöytä .....	36
5.3.1	Runko .....	37
5.3.2	Allas, seinät ja varusteet .....	38
5.4	Säiliö.....	42
5.5	Nostoratkaisu .....	44
5.6	Tilan lopputulos .....	44
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	48
	LÄHTEET .....	49
	LIITTEET .....	51

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Ohuita boroskooppeja. ....	15
<b>Kuva 2.</b> Boroskooppeja eri katselukulmilla.....	16
<b>Kuva 3.</b> Videoskooppi.....	17
<b>Kuva 4.</b> Vettymisominaisuudet määriteltynä kulmalla $\theta$ .....	19
<b>Kuva 5.</b> Vettyvyyden vaikutus kapillaariputkessa.....	20
<b>Kuva 6.</b> Tunkeumanesteen käytön vaiheet. ....	21
<b>Kuva 7.</b> Fluoresoiva magneettipartikkelitesti. ....	24
<b>Kuva 8.</b> Ultraäänilaitteisto. ....	28
<b>Kuva 9.</b> Tunkeuma- ja magneettipartikkelinesteen liukoisuus veteen.....	33
<b>Kuva 10.</b> NDT-huoneen mallinnus oven puoleiselta seinältä kuvattuna.....	35
<b>Kuva 11.</b> Tilan suunniteltu layout. ....	36
<b>Kuva 12.</b> Mallinnuksen verkotus, rajoitteet ja runkoon kohdistuva paino. ....	38
<b>Kuva 13.</b> Rungon FEM-laskennan tulokset. ....	38
<b>Kuva 14.</b> NDT-pöytä kuvattuna edestä.....	39
<b>Kuva 15.</b> NDT-pöytä kuvattuna ylhäältä.....	41
<b>Kuva 16.</b> Öljynerotuksen toimintaperiaate. ....	43
<b>Kuva 17.</b> Säiliön rakenne.....	43
<b>Kuva 18.</b> Tilan lopputulos edestä oikealta.....	45
<b>Kuva 19.</b> Tilan lopputulos edestä vasemmalta. ....	46
<b>Kuva 20.</b> Tilan lopputulos ylhäältä.....	47

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Tilattavien osien lista

**LIITE 2.** Toteutussuunnitelma

**LIITE 3.** Allaskolmio sivu

**LIITE 4.** Allaskolmio-etu-taka

**LIITE 5.** Viemäriputken levy

**LIITE 6.** Levy suihkulle oikaistu pituus

**LIITE 7.** Levy suihkulle

**LIITE 8.** Tukikolmio

**LIITE 9.** Seinä oikaistu pituus

**LIITE 10.** Seinä

**LIITE 11.** Etupaneeli oikaistu pituus

**LIITE 12.** Etupaneeli

**LIITE 13.** Huuva oikaistu pituus

**LIITE 14.** Huuva

**LIITE 15.** Viemäri allas

**LIITE 16.** Suihkukiinnike

**LIITE 17.** Allaskehikko

**LIITE 18.** Allas

**LIITE 19.** Allas-allaskehikko

**LIITE 20.** Runko

**LIITE 21.** Runko-allas-allaskehikko

**LIITE 22.** Seinät hitsaus

**LIITE 23.** Tukikehikko

**LIITE 24.** Tukikehikon hitsaus pöytään

**LIITE 25.** Säiliön pohja oikaistu pituus

**LIITE 26.** Säiliön pohja

**LIITE 27.** Säiliön sivu

**LIITE 28.** Säiliön kansi oikaistu pituus

**LIITE 29.** Säiliön kansi

**LIITE 30.** Öljynerotusputki

**LIITE 31.** Säiliö



## LYHENTEET JA TERMIT

NDT	Rikkomaton testaus, rikkomaton aineenkoetus (Non-destructive testing)
VT	Visuaalinen tarkastus (Visual Testing)
Drone	Maalla, vedessä, veden alla tai ilmassa liikkuva miehittämätön kauko-ohjattu alus tai ajoneuvo.
PT	Tunkeumanestetarkastus (Liquid Penetrant Testing)
MT	Magneettipartikkelitarkastus (Magnetic Particle Testing)
UT	Ultraäänitarkastus (Ultrasonic Testing)
RT	Radiografinen tarkastus (Radiography Testing)
ET	Pyörrevirtatarkastus (Eddy Current Testing)
UV	Ultravioletti
Layout	Pohjasuunnitelma
AISI	Pohjois-Amerikan terästuottajien kauppayhdistys (American Iron and Steel Institute)
EN	Eurooppalainen standardi (Europäische Norm)
FEM	Elementtimenetelmä (Finite Element Method)
IP	Luokitusjärjestelmä sähkölaitteiden ja laitekoteloiden tiiveyden määrittämiseksi
DN	Nominaalihalkaisija (Diamètre nominal)

## 1 TYÖN AIHEEN ESITTELY

Rikkomattomia testausmenetelmiä käytetään usein rikkovan aineenkoetuksen tekniikoiden kanssa täydentämään toisiaan materiaalitutkimuksissa. Rikkovan tutkimuksen ollessa materiaalitutkimuksen päämenetelmä, rikkomattomat menetelmät auttavat havainnollistamaan virheitä nopeasti laajoilta pinnoilta. Ne auttavat määrittelemään täyttääkö toimittajan laatu asetetut vaatimukset. Vauriotutkimuksessa rikkomattomia menetelmiä voidaan käyttää indikoimaan vaurioituneita alueita, jotka voidaan paloitella pienemmiksi jatkotutkimuksia varten. Visuaalisen indikaation menetelmillä pystytään havainnollistamaan murtuman päätepisteitä, jotta murtopinnan avausleikkaus onnistuu tuhoamatta itse murtopintaa ja sen todisteita. Ennen kaikkea rikkomattomilla menetelmillä, jotka antavat fyysisen visuaalisen indikaation, pystytään osoittamaan tutkimuksen lukijalle vaurion muoto ja laajuus kuvien muodossa dokumentoituna.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella rikkomattomien testausmenetelmien tila ja laatia tilan toteutuksesta toteutussuunnitelma. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Wärtsilä Finland Oy:n globaalin teknisen huollon Vaasan tutkimuslaboratorio. Vuoden 2021 loppupuolella huollon tutkimuslaboratorio muutti uusiin tiloihin tuotekehityksen materiaalitutkimuksen kanssa Vaasan Vaskiluotoon. Uusiin tiloihin oli suunniteltu erillinen huone rikkomattomille testausmenetelmille. Huoneesta puuttui kuitenkin asianmukaiset kalusteet. Huoneeseen asennettiin rakennusvaiheessa ikkunat piirustusten vastaisesti ja lopulta se täyttyi muilla toiminnoilla tilanpuutteen vuoksi.

Huoneen nykytilan rajoitteet kohdistuvat suurten komponenttien tarkastamiseen. Huoneessa ei ole suurten painavien kappaleiden vaatimaa nostolaitetta eikä rikkomattomien menetelmien käyttöpistettä suurille komponenteille. Tavoitteena on suunnitella toimiva ja työturvallinen tila rikkomattomien testausmenetelmien käyttöön. Suunnittelussa ja mallinnuksessa käytetään Siemens NX -ohjelmistoa ja mallinnusten renderöinnissä maksutonta CADRays-ohjelmistoa.

## **2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY**

Wärtsilä Oyj on kansainvälinen teknologiayhtiö, joka toimittaa teknologia- ja elinkaariratkaisuja merenkulku- ja energiamarkkinoille. Wärtsilä on perustettu vuonna 1834. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Helsingissä ja Wärtsilän osakkeet on listattuna Helsingin pörssiin. [1.]

Wärtsilä on vuosien varrella kasvanut merkittäväksi toimijaksi maailman laajuisesti. Vuoden 2023 liikevaihto oli 6 015 miljoonaa euroa ja vertailukelpoinen liike-tulos 497 miljoonaa euroa. Yhtiö työllisti vuoden 2023 lopulla yhteensä 17 807 henkilöä 280 toimipisteessä 79 eri maassa. Yhtiön liiketoiminnot ovat Wärtsilä Energy ja Wärtsilä Marine. [1.]

### **2.1 Wärtsilä Energy**

Wärtsilä Energy tarjoaa laajan valikoiman joustavia energiaratkaisuja energian varastoinnin ja voimalaitoksien puolella. Energiatuotannon siirtyessä kohti uusiutuvia energialähteitä, Wärtsilän ratkaisut auttavat tasapainottamaan ja varmistamaan energiantuotantoa tuotantovajauksissa ja häiriötilanteissa. Wärtsilän tavoite on johtaa muutosta kohti tulevaisuutta, jossa sähkö tuotetaan 100 % uusiutuvalla energialla. Tähän pyritään auttamalla asiakkaita irtautumaan hiilen energiakäytöstä kehittämällä johtavia teknologisia ratkaisuja. [2; 3.]

### **2.2 Wärtsilä Marine**

Wärtsilä Marinen tarjontaan kuuluu tehokkaat, luotettavat, turvalliset ja ympäristöystävälliset meriratkaisut meri- ja varustamoteollisuuteen. Tavoitteena on viedä meriteollisuutta kohti hiilineutraalia ja kestävää tulevaisuutta kehittämällä teknologioita, joilla edistetään uusien polttoaineiden käyttöönottoa merenkulussa. Wärtsilän tuottama ratkaisu onkin joka kolmannessa maailman merillä seilaavassa aluksessa. [1; 4; 5.]

### 2.3 GTS Investigation Laboratories

Global Technical Services (GTS) on liiketoimintayksikkö Parts and Field Servicen organisaatio, joka kuuluu Wärtsilä Marinen liiketoimintaan. Sen painopisteenä on tuotetuki, tekninen tuotepalaute kehitysorganisaatioille ja tuki asiakkaille ongelmatilanteissa. [6.]

Tutkimuslaboratorioita on yhteensä kolme. Kaksi näistä sijaitsee Suomessa: Vaasassa ja Turussa. Kolmas tutkimuslaboratorio sijaitsee Triestessä, Italiassa. Tutkimuslaboratorioiden tehtävänä on vauriotutkimusten tuottaminen ja toimittajan laadun tarkastukset. Laboratoriot toimivat vahvasti kaikkien sidosryhmiensä kanssa ja vaikka tutkimuslaboratoriot toimivat Marine-liiketoiminnan alla, kuuluvat myös voimalaitosten komponentit tutkittaviin kohteisiin. [7.]

Vauriotutkimuksen tarkoituksena on selvittää komponentin materiaalin vaurion syy. Materiaalia tutkimalla voidaan löytää syy itse materiaalista tai vaurioon johtanut tekijä materiaalin vaurioiden, taustatietojen ja ulkoisten merkkien tarjoamien todisteiden perusteella. Tutkimus tuottaa korjaavia ehdotuksia ja parannuksia suunnitteluun sekä materiaaliin ja valmistukseen. Tavoitteena on tuottaa tietoa, ettei vastaava vaurio toistuisi enää tulevaisuudessa. Tutkimus on osa vaurion juurisyyanalyysin muodostamista. [7.]

### 3 YLEISIMMÄT NDT-MENETELMÄT

Rikkomaton testaus (NDT) on materiaalitieteiden haara. Rikkomaton testaus on määritelty kattamaan testausmenetelmät, joita käytetään tarkastelemaan tai tutkimaan osaa, materiaalia tai järjestelmää vaarantamatta sen tulevaa käyttökelpoisuutta. Menetelmiä käytetään laadunvarmistuksessa ja vaurioiden havaitsemisessa. [8, s. 3.]

Termiä käytetään pääasiassa, kun viitataan ei-lääketieteellisiin tutkimuksiin materiaalin eheydestä. Tiukasti sovellettaessa rikkomattoman testauksen määritelmä sisältää ei-invasiiviset lääketieteelliset toimenpiteet. Ultraääntä ja röntgensäteitä käytetään lääketieteellisissä ja teollisuuden tutkimuksissa. Lääketieteellinen rikkomaton testaus on kuitenkin kehittynyt erilliseksi oppialaksi, eikä termi ”rikkomaton” ole käytössä vaan termit ovat muodostuneet ei-invasiiviseksi ja invasiiviseksi tutkimukseksi eli kajoamattomaan ja kajoavaan tutkimukseen. [8, s. 3.]

Rikkomatonta testausta käytetään tutkimaan materiaalin eheyttä. Sen tehtävänä on selvittää, onko materiaalissa vikaa, eikä vastata kysymykseen: ”Toimiiko tämä komponentti?” Tutkimus on luonteeltaan rikkovaa, jos tutkittavasta komponentista poistetaan materiaalia tutkimuksia varten. Edellinen koskee myös silloin, kun näytteenottoa ei ole kriittinen eikä vaikuta komponentin lujuusominaisuuksiin tai toimintaan millään tavalla. Näyte on poistettu käytöstä pysyvästi. Näytteenotto on rikkomatonta testausta, jos näyte palautetaan takaisin käyttöön vaurioittamatta itse komponenttia tai alkuperäistä rakennetta. Rikkomaton testaus ei rajoitu vain halkeamien havaitsemiseen ja materiaalin koostumuksen analysointiin. Muita materiaalin epäjatkuvuuskohtia ovat huokokset, seinämän ohentuminen korroosion seurauksena ja komposiittirakenteiden kerrosten adheesion pettäminen. [8, s. 3.]

Vaatimukset kestävämmistä materiaaleista ja koon sekä painon optimoinnista johtavat usein turvakertoimen pienentymiseen. Vaatimusten lisääntyessä yhä enemmän korostuu tarve paremmalle raaka-aineiden hallinnalle, materiaalien laadulle,

valmistusprosesseille ja työn jäljen laadulle. Käyttämällä rikkomattomia menetelmiä voidaan varmistaa toimittajan laatu ja laadun pysyvyys satunnaisilla testeillä jo tuotantoon hyväksytyiltä komponenteilta. [8, s. 4.]

### **3.1 Visuaalinen tarkastus (VT)**

Visuaalinen tarkastelu hyvässä valaistuksessa on usein ensimmäinen keino tutkia kohdetta. Se tarjoaa keinon havaita materiaalin pinnassa vikoja kuten ruostetta, pinnan viimeistelyn laatua ja epäjatkuvuuksia. Jos suoria visuaalisia tarkastuksia on mahdoton tehdä paljaalla silmällä tai suurennuslasilla, niin tutkimiseen voidaan käyttää apuna kehittyneempää optiikkaa. Visuaalisen tarkastelun haittapuolena on, että pienten halkeamien ja huokosten havaitseminen pinnalta on haastavaa ja vikoja materiaalin sisällä ei pystytä havaitsemaan. [9, s. 576.]

#### **3.1.1 Boroskooppi**

Boroskooppi on putkimainen optinen laite, joka on suunniteltu tarkisteltavan kohteen etäkatseluun. Sitä käytetään ahtaiden tilojen, kuten halkaisijaltaan pienten kanavien tai putkien tarkasteluun. Ne mahtuvat ahtaisiin paikkoihin mahdollistaen visuaalisen tarkkailun ja kuvantamisen sisäpinnan laadusta. Tarkasteltavia sovelluksia on monenlaisia, siksi boroskooppeja valmistetaan jäykissä, joustavissa, pidentenetyissä ja mikro- malleissa. [9, s. 578.]

Jäykät boroskoopit rajoittuvat ahtaan tilan suoraviivaiseen tutkimiseen. Jäykän boroskoopin perusrakenne koostuu valolähteestä, objektiivilinsistä, reelinssistä tai -linseistä ja okulaarista. Reelinssien tehtävä on välittää kuvan pitkähkö matka objektiivilinsiltä okulaarille. Suurimmassa osassa jäykissä ratkaisuisissa katselukulma ei ole muutettavissa. Tutkittava kohde saattaa tarvita useita jäykkiä boroskooppeja eri katselukulmilla, jos halutaan katsella kohteen pohjaa, seinämiä tai rakennetta ala- ja yläviistoon. Kuvassa 1 on esiteltyinä jäykkiä boroskooppeja, jotka

mahtuvat ohuisiin kanaviin. kuvassa 2 on jäykkiä boroskooppeja eri katselukulmilla. Kuvissa esiintyy myös boroskooppien valonlähteet ja adapterit järjestelmäkameraan. [10, s. 4]



**Kuva 1.** Ohuita boroskooppeja.



**Kuva 2.** Boroskooppeja eri katselukulmilla.

Joustavaa, toisin sanoen taipuisaa boroskooppia kutsutaan fiberoskoopiksi. Se soveltuu mutkaisten ja sokkeloisten rakenteiden tutkimiseen. Fiberoskoopissa objektiivin kameran okulaarille välittävät optiset kuidut. Kuitujen läpimitan halkaisija ja niiden määrä vaikuttavat kuvan resoluutioon. Ohuita kuituja mahtuu rajalliseen tilaan suurempi määrä ja niiden määrä kasvattaa kuvan tarkkuutta. Taipuisuuden lisäksi fiberoskoopissa on usein myös ominaisuus taivuttaa erikseen kärkeä 90 astetta neljään eri suuntaan. [10, s. 5]

Taipuisaa boroskooppia, jonka objektiivin on korvannut kuva-anturi, kutsutaan videoskoopiksi (kuva 3). Anturin analoginen data muutetaan digitaalseksi, digitaalinen data prosessoidaan signaaliprosessorissa ja välitetään kuvaksi näyttölle. Videoskoopin eduksi katsotaan parempi resoluutio ja pidempi työskentely-ikäisyys verrattuna fiberoskooppiin. [10, s. 7]





**Kuva 3.** Videoskooppi.

### **3.1.2 Stereomikroskooppi**

Stereomikroskooppi soveltuu kolmiulotteiseen tarkasteluun. Tutkittavan kohteen ei tarvitse mahtua pöytämallisen stereomikroskoopin alle, sillä niitä voidaan kiinnittää myös liikkuviin tukikäsiin. Suurenus on tyypillisesti 5–50-kertainen kohteen todelliseen kokoon verrattuna. Stereomikroskooppeja on kameralla varustettuja malleja, joilla voidaan tallentaa kohteen vikoja kuvan muodossa. [9, s. 593–595.]

### **3.1.3 Dronet**

Robotisoituja kauko-ohjattavia miehittämättömiä ajoneuvoja ja aluksia käytetään pitkien suurikokoisten putkilinjojen, maan ja meren alaisten kohteiden tarkastamiseen sekä kohteissa silminä, jotka ovat ihmiselle vaarallisia. Laitteet ovat varustettu valonlähteellä ja kameralla. Rajoittavia tekijöitä kauko-ohjattavien laitteiden käytössä ovat signaali- ja virtakaapeleiden pituus tai akun kesto. [9, s. 623–626.]

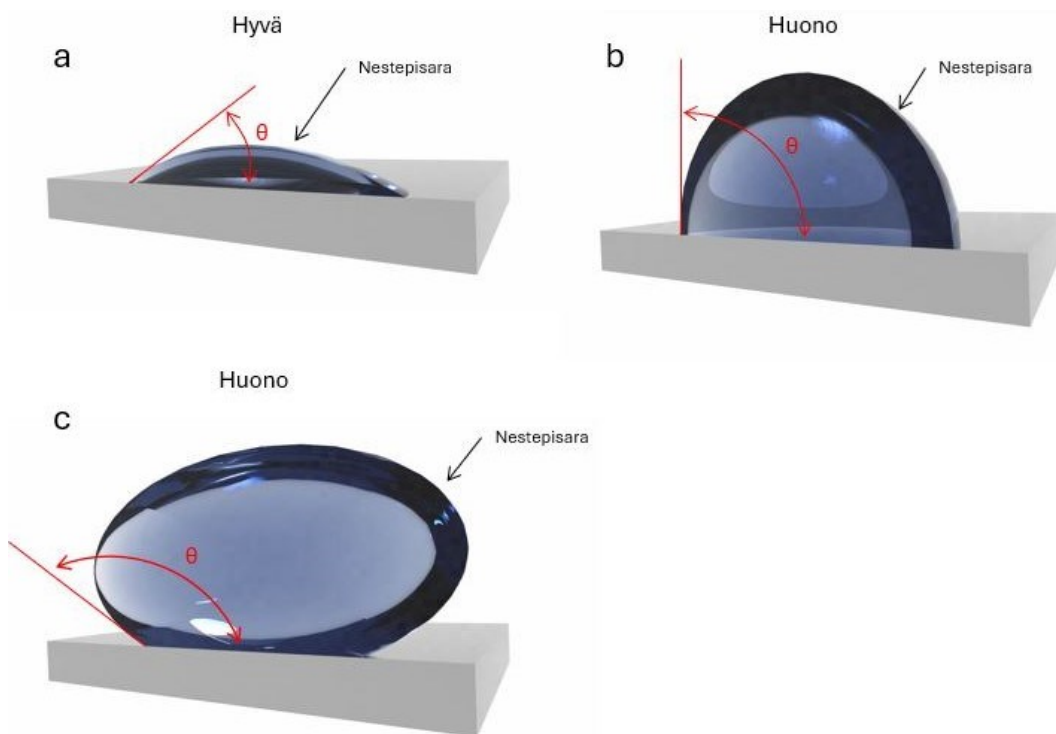
## 3.2 Tunkeumanestetarkastus (PT)

Tunkeumanestetarkastus on rikkomaton menetelmä, jolla voidaan etsiä materiaalin pintaan ulottuvia epäjatkuvuuksia. Menetelmää voidaan käyttää magneettisille ja ei-magneettisille materiaaleille, eikä sen käyttö ole riippuvainen kappaleen muodosta tai epäjatkuvuuksien suuntauksista. Menetelmä ei pysty havaitsemaan materiaalin sisäisiä epäjatkuvuuksia, jos ne eivät ulotu pinnalle. Karkea tai huokoinen pinnanlaatu saattavat haitata menetelmän käyttöä, vaikeuttaen todellisten epäjatkuvuuksien löytämistä. Ne aiheuttavat ”taustakohinaa” kehitteen jälkeen, signaloiden epäjatkuvuuksia. [10, s. 71.]

### 3.2.1 Fysikaalinen periaate

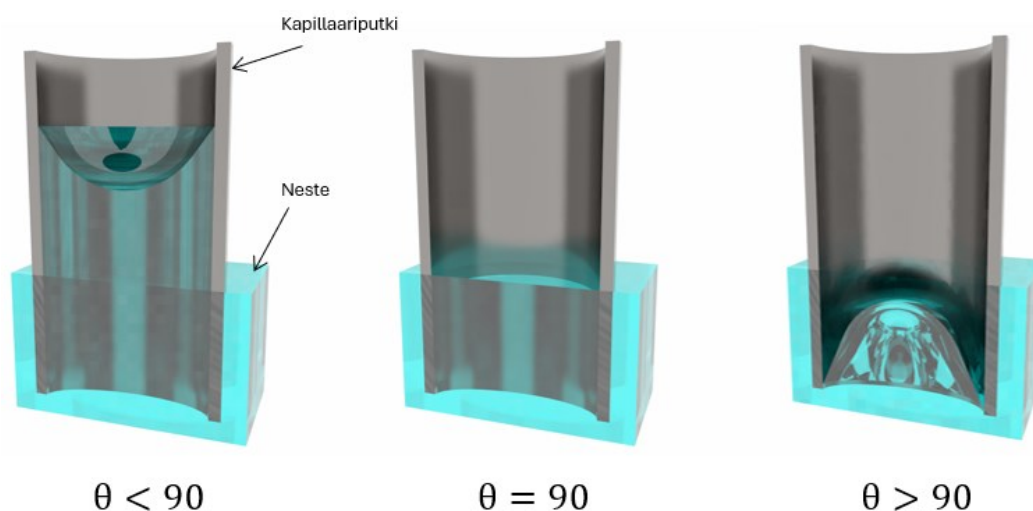
Tyypillisesti tunkeumaneste on matalaviskositeettinen ja hyvin vettyvä öljypohjainen punainen tai fluoresoiva neste. Matalaviskositeettinen neste leviää pinnalle nopeasti ja vaivatta. Vettyvyys on nesteen kyky ylläpitää kontaktia kiinteän pinnan kanssa. Tähän kykyyn vaikuttavat molekyylien väliset vuorovaikutukset, kun nämä kaksi tuodaan yhteen. [10, s. 71.]

Nesteen molekyylien väliset koheesivoimat aiheuttavat nesteen pintajännityksen. Kun neste ja kiinteä pinta tuodaan yhteen, pintajännityksen aiheuttava koheesivoima pyrkii vastustamaan nesteen ja kiinteän pinnan molekyylien välistä adhesiivista voimaa. Nämä voimat määrittelevät yhdessä nesteen ja pinnan välisen kosketuskulman  $\theta$ . Kulman ollessa alle 90 astetta, nesteen sanotaan olevan hyvin vettyvä (kuva 2 a). Jos kulma  $\theta$  on yhtä suuri tai suurempi kuin 90 astetta, vettyvyyttä pidetään huonona (kuva 2 b ja c). [10, s. 71.]



**Kuva 4.** Vettymisominaisuudet määriteltynä kulmalla  $\theta$ .

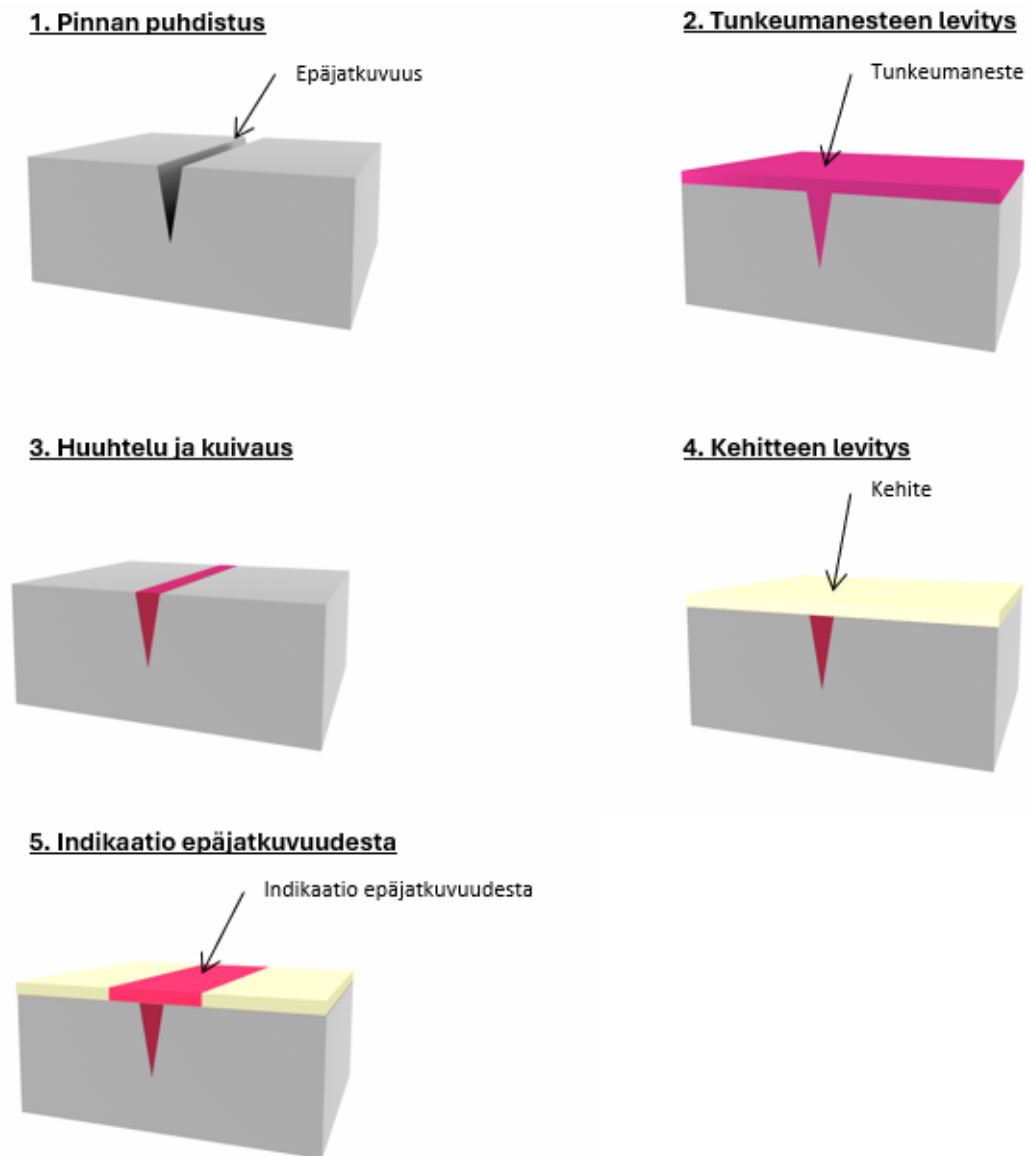
Kapillaari-ilmiö liittyy läheisesti vettymiskykyyn. Hyvin vettyvän nesteen reunat kaareutuvat ylöspäin kapillaariputkessa, kun taas huonosti vettyvän nesteen reunat eivät kaareudu ollenkaan tai ne kaartuvat alaspäin. Viskositeetilla ja vettyvyydellä on läheinen suhde toisiinsa. Matala viskositeettinen ja hyvin vettyvä neste hakeutuu pieniin halkeamiin ja kastelee pinnan nopeasti. Kuvassa 5 on kuvattu nesteen käyttäytymistä kapillaariputkessa, määriteltynä nesteen ja kiinteän aineen kosketuskulmalla  $\theta$ . [10, s. 71–72.]



**Kuva 5.** Vettyvyyden vaikutus kapillaariputkessa.

### 3.2.2 Käyttöperiaate

Tutkittavan kappaleen pinta on pestävä ja kuivattava huolellisesti ennen tunkeumanesteen levitystä. Lika ei saa estää tunkeumanesteen pääsyä pinnalle ulottuviin halkeamiin. Nesteen tunkeutuminen kestää 5–10 minuuttia. Matalat lämpötilat vaikuttavat nesteen viskositeettiin ja tällöin tarvitaan pidempi tunkeutusaika. Tunkeumaneste huuhdellaan kappaleen pinnalta vedellä tai kyseiseen tarkoitukseen kehitetyllä liuottimella. Tunkeumaneste huuhtoutuu pois kappaleen pinnalta, mutta ei pinnalle ulottuvista epäjatkuvuuksista. Kappaleen pinnan kuivuttua siihen levitetään kehite. Kehite muodostaa kappaleen pinnalle pesusienimäisen rakenteen, täynnä pieniä kapillaariputkia, joita pitkin tunkeumaneste nousee halkeamasta pinnalle. Tunkeumaneste värjää kehitteen epäjatkuvuuden kohdalta indikoiden epäjatkuvuutta. Kuvassa 3 on havainnollistettu tunkeumanesteen käytön eri vaiheet. [10, s. 71–76.]



**Kuva 6.** Tunkeumanesteen käytön vaiheet.

### 3.3 Magneettijauhetarkastus (MT)

Magneettijauhetarkastus on menetelmä materiaalin sisäisten ja pintaan ulottuvien epäjatkuvuuksien paikantamiseksi ferromagneettisissa materiaaleissa magnetoituvien partikkeleiden avulla. Epäjatkuvuuden ulottuessa materiaalin pintaan

tai lähelle pintaa, indikaatio epäjatkuvuudesta on selvä. Mitä syvemmillä materiaalissa epäjatkuvuus sijaitsee, sitä huonompi indikaatio on epäjatkuvuudesta. Syväällä materiaalissa olevien epäjatkuvuuksien tulisi olla suuria, jotta ne olisivat helppo visuaalisesti havaita kappaleen pinnalta. [10, s. 89.]

Menetelmä ei vaadi tutkittavan komponentin puhdistusta. Vieras materiaali, joka on täyttänyt epäjatkuvuuden, ei vaikuta epäjatkuvuuden havaitsemiseen. Menetelmän rajoittava tekijä on, että se ei sovellu ei-ferromagneettisille materiaaleille. Ei-magneettiset pinnoitteet vaikuttavat menetelmän herkkyyteen osoittaen epäjatkuvuus ferromagneettisessa materiaalissa pinnoitteen alla. Tutkitun komponentin demagnetointi on yleensä tarpeen, jotta magnetoituvat partikkelit saadaan puhdistettua komponentin pinnalta. [10, s. 89.]

### 3.3.1 Fysikaalinen periaate

Epäjatkuvuus materiaalissa aiheuttaa poikkipinta-alan pientymisen tutkittavassa komponentissa. Magneettivuon pysyessä vakiona, poikkipinta-alan pientyminen johtaa magneettivuon tiheyden suurentumiseen paikallisesti (kaava 1). Magneettivuon kohdatessa epäjatkuvuuden, osa siitä on pakotettu taipumaan ulos materiaalista ympäröivään väliaineeseen, koska permeabiliteetissa tapahtuu äkkinäinen heikkeneminen. Magneetikentän voimakkuus kasvaa myös paikallisesti epäjatkuvuuden kohdalla (kaava 2). Epäjatkuvuuden kohdalle muodostuu magneettinen dipoli. Tämä vuotokenttä on paikallinen magneetti. [11, s. 40; 10, s. 90.]

$$B = \frac{\Phi_M}{A}, \quad (\text{kaava 1})$$

jossa B = magneettivuon tiheys

$\Phi_M$  = magneettivuo

A = poikkileikkauksen pinta-ala

$$H = \frac{B}{\mu}, \quad (\text{kaava 2})$$

jossa H = magneettikentän voimakkuus

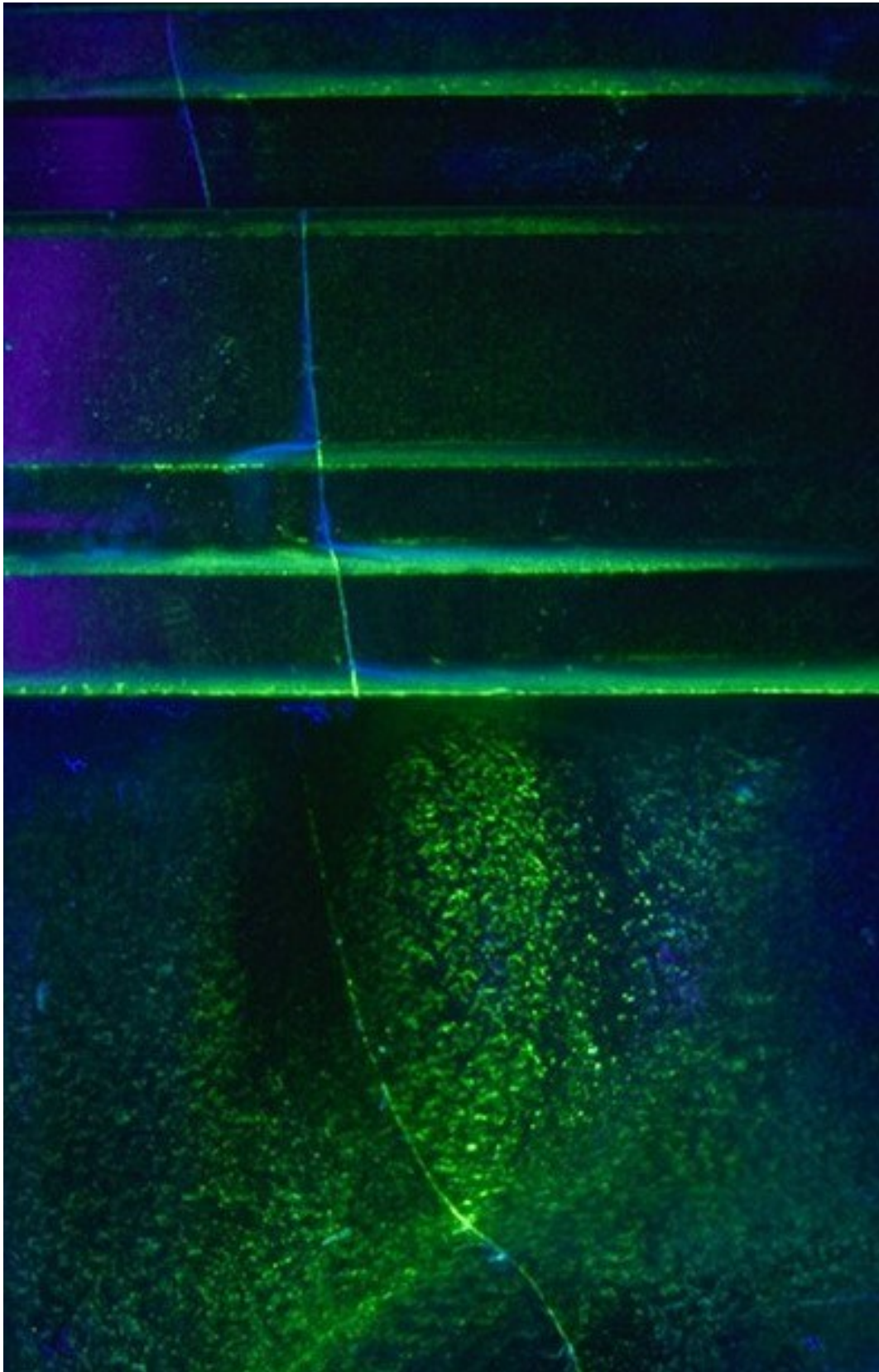
B = magneettivuon tiheys

$\mu$  = väliaineen permeabiliteetti

### 3.3.2 Käyttöperiaate

Tutkittava komponentti magnetoidaan. Magneettikentän on oltava tarpeeksi suuressa kulmassa epäjatkuvuuteen nähden, jotta kenttä säröytyy tutkittavan komponentin materiaalin ulkopuolelle. Paras tulos saadaan, kun magneettikenttä on 90° kulmassa suhteessa epäjatkuvuuteen. Menetelmä ei toimi, jos magneettikenttä on samansuuntainen vaurion kanssa. [10, s. 91.]

Komponentin pinnalle levitetään ferromagneettisia partikkeleita. Partikkelit ovat joko kuivana jauheen muodossa tai nesteeseen sekoitettuna. Osa partikkeleista hakeutuu epäjatkuvuuden aiheuttamaan vuotokenttään ja muodostavat ”sillan” epäjatkuvuuden yli. Partikkeleiden kasaantuminen osoittaa epäjatkuvuuden kohdan, koon ja muodon. Fluoresoivilla magneettipartikkeleilla tehty tarkastus on esitetty kuvassa 7, josta voimme havaita komponentin haljenneen. [10, s. 89.]



**Kuva 7.** Fluoresoiva magneettipartikkelitesti.



### 3.4 Ultraäänitarkastus (UT)

Ultraääntä käytetään tutkimaan materiaalin sisäisiä epäjatkuvuuksia ja mittaamaan materiaalin paksuutta. Menetelmä on hyvin herkkä havaitsemaan pieniä viikoja materiaalin sisäältä. Ultraäänitarkastus on tarkin NDT-menetelmä määrittelemään materiaalin sisäisten epäjatkuvuuksien sijainti, koko ja muoto. Tarkastuksia tehdään jopa 6 metrin syvyyteen materiaalin sisään. [10, s. 231.]

Menetelmä sopii kaikille teknisille materiaaleille. Tavanomaiset laitteet eivät kuitenkaan sovellu parhaiten puun ja betonin tarkastamiseen. Kappaleen monimutkainen muoto, karkea pinnanlaatu ja yhteen liitettyjen materiaalien akustiset impedanssierot saattavat rajoittaa menetelmän käyttöä. [12, s. 477, 481]

Ultraäänellä pystytään vertailemaan materiaalin mikrorakenteen samankaltaisuutta. Vertailu on hyödyksi sarjatuotannon laaduntarkkailussa. Tämä tapahtuu vertailemalla signaalin vaimentumista materiaalissa referenssisignaaliin. Signaalin vaimentuminen johtuu häviöistä, kuten aallon sironnasta. Aallon sironta johtuu pääasiassa materiaalin raekoosta. Hilavirheet, kuten raerajat, poikkeuttavat ultraäänen energiaa pienen määrän pääsäteestä. Raekoon ollessa pienempi kuin 0,01 kertaa aallonpituus, sironta on mitätöntä. Raekoon ollessa 0,1 kertaa aallonpituus tai suurempi, liiallinen sironta voi tehdä kelvollisten ultraäänitarkastusten suorittamisen mahdottomaksi. [10, s. 238, 274–276.]

Ultraäänellä voidaan myös mitata materiaalin sisäisiä jäännösännityksiä tai käytön aikaisia jännityksiä. Jännitysten mittaaminen perustuu pieniin ultraääniaallon nopeuseroihin, joita jännitykset materiaalissa aiheuttavat. Tätä kutsutaan akustoelastiseksi ilmiöksi (acoustoelastic effect). Tulosten tulkinta voi olla monimutkaista ja vaatii yleensä asiantuntemusta kyseiseltä aihealueelta. Menetelmää ra-

joittavat kappaleen muoto ja mikrorakenteen vaihtelu, kuten huokokset ja sulkeumat. Kappaleen tulisi olla geometrisesti yksinkertainen tarkoille ja hyväksyttävälle mittauksille. [12, s. 319–323.]

### **3.4.1 Fysikaalinen periaate**

Ultraääniaallot ovat mekaanisia aaltoja. Ne ovat taajuuksia, jotka ovat korkeampia, kun ihmisen korvan kuuloalue pystyy havainnoimaan. Ultraääniksi kutsutaan mekaanisten aaltojen taajuuksia, jotka ylittävät 20 kilohertsiä. Ultraäänit käyttäytyvät samalla tavalla, kun taajuudet ihmisen kuuloalueella. Ne pystyvät etenemään elastisessa väliaineessa, joka voi olla kiinteä, nestemäinen tai kaasu, mutta eivät tyhjiössä. Ultraäänin nopeus väliaineessa riippuu väliaineen ominaisuuksista. Ne heijastuvat ja taittuvat, kun kohtaavat kahden eri akustisen impedanssin rajapinnan. [10, s. 231–232.]

Kaksi yleisesti käytettyä aaltomuotoa ultraäänitarkastuksessa ovat pitkittäiset ja poikittaiset aallot. Pitkittäistä aaltoa sanotaan myös paineaalloksi. Ne aiheuttavat väliaineen partikkeleiden värähtelyn samansuuntaisesti aallon kulkusuuntaan nähden. Poikittaista aaltoa kutsutaan leikkausaalloksi. Poikittaiset aallot saavat väliaineen partikkelit värähtelemään kohtisuorasti aallon kulkusuuntaan nähden. Poikittainen aalto vaimenee nopeasti ja etenee vain kiinteissä aineissa. [9, s. 233.]

Ultraäänilaitteen kyky havaita todella pieniä epäjatkuvuuksia paranee käytettäessä korkeita taajuuksia. Haittapuolena korkeita taajuuksia käytettäessä on materiaalin läpäisykyvyn heikkeneminen. Korkeita taajuuksia käytettäessä epäjatkuvuuksien havaitseminen syvemmmältä materiaalista heikkenee. [9, s. 234.]

Ultraäänilaitteessa tuotetaan sähköisiä pulsseja, jotka välitetään luotaimelle. Luotain on pietsosähköinen värähtelijä, jossa sähköiset pulssit muutetaan mekaaniseksi värähtelyksi ja johdetaan tutkittavan kohteen materiaaliin. Värähtelyt tapahtuvat taajuuksilla, jotka ovat ultraääniä. Lähetetyn pulssin kohdattua välittäjäaineen, jolla on eri akustinen impedanssi, osa siitä heijastuu takaisin ja luotain

muuttaa vastaanotetun mekaanisen värähtelyn takaisin sähköisiksi pulsseiksi ultraäänilaitteelle prosessoitavaksi. Pulssin heijastuksien tarjoama tieto kuvannetaan näytölle aika-amplitudi- tai matka-amplitudi-asteikolla. [12, s. 60–173.]

### **3.4.2 Käyttöperiaate**

Ilma on huono välittäjäaine ääniaalloille, joiden taajuudet ovat megahertsien luokkaa. Ilman ja monen kiinteän aineen välinen suuri ero akustisessa impedanssissa johtaa ääniaaltojen olemattomaan välittymiseen luotaimesta tutkittavaan kappaleeseen, jos näiden välissä on pienikin määrä ilmaa. Sen sijaan tutkittavan kappaleen pinnalla käytetään nesteitä tai geelimäisiä aineita eliminoimaan ilma luotaimen ja kappaleen välistä. Ultraääniluotaimia, jotka käyttävät ilmaa ultraäänten välittämiseen, käytetään automaatioissa, robotiikassa ja metrologiassa. Niiden potentiaali kuitenkin rajoittuu 500 kilohertsin taajuuteen, johtuen ilman huonosta akustisesta impedanssista, jonka seurauksena korkeataajuiset aallot vaimenevat nopeasti. [9, s. 256; 12, s. 129.]

Ultraäänijärjestelmä koostuu näytöllisestä ultraäänilaitteesta, lähettimestä ja vastaanottimesta (kuva 8). Lähetin ja vastaanotin voi olla yksi luotain. Suorat luotaimet tuottavat pitkittäistä aaltoa. Kulmaluotainta käytetään yleensä poikittaisten aaltojen tuottamiseen. Tarkastettava kappale tutkitaan liikuttelemalla luotainta kappaleen pinnalla. [9, s. 256–257.]



**Kuva 8.** Ultraäänilaitteisto.

### 3.5 Radiografinen tarkastus (RT)

Radiografisessa tarkastuksessa käytetään hyväksi suurienergistä sähkömagneettista säteilyä, joka pystyy läpäisemään tutkittavan kohteen. Menetelmää käytetään kuvantamaan tutkittavan kohteen sisäinen rakenne ja tarkastelemaan materiaalin sisäisiä epäjatkuvuuksia. Epäjatkuvuuden syvyyden määrittelyyn tarvitaan kuvantamista eri kulmista. Syvyys pystytään määrittelemään geometrinen laskutoimitusten perusteella. [9, s. 295.]

Menetelmä sopii kaikille materiaaleille. Lyijy ja betoni ovat hyviä materiaaleja absorboimaan röntgen- ja gammasäteilyä tarpeeksi vahvoina materiaalipaksuuksina ja niitä käytetäänkin säteilyltä suojautumiseen. Epäjatkuvuuden koko suhteessa materiaalin paksuuteen vaikuttaa epäjatkuvuuden havaitsemiseen radiografialla.

Tyypillisesti kaikki piirteet, jotka aiheuttavat yli yhden prosentin eron säteilyn vaimenemisessa verrattuna ympäröivän materiaalin vaimenemiseen, voidaan havaita. [9, s. 295; 13, s. 130–133.]

### 3.5.1 Fysikaalinen periaate

Radiografisessa tarkastuksessa käytetään kahden tyypistä ionisoivaa elektromagneettista säteilyä: röntgen- ja gammasäteilyä. Röntgen- ja gammasäteilyllä on kyky läpäistä materiaalia, johtuen niiden lyhyestä aallonpituudesta ja suuresta energiasta. Gammasäteilyn aallonpituus on sähkömagneettisen spektrin lyhin ja täten sen fotoneilla suurin energia. [9, s. 297–298.]

Röntgensäteitä yleensä muodostetaan röntgenputkessa, jossa elektroneita kiihdytetään ja johdetaan kohdemateriaaliin, kuten volframiin. Atomia lähestyvä elektroni tuottaa röntgensäteilyä, kun se hidastuu ohittaessa atomin ytimen. Elektroni voi myös törmätä atomiin ja aiheuttaa atomin elektronikuorelle vakanssin. Kun toinen elektroni täyttää tämän vakanssin, syntyy röntgensäteilyä. Gammasäteily syntyy epävakaiden atomiytimien radioaktiivisen hajoamisen seurauksena. Gammasäteilyn lähteitä ovat luonnollisesti ja keinotekoisesti tuotetut alkuaineiden radioaktiiviset isotoopit. Kaksi yleisintä radiografiassa käytettyä alkuaineiden isotooppia gammasäteilyn tuottamiseen ovat iridium-192 ja koboltti-60. [9, s. 298, 308.]

Kuvan muodostaminen perustuu säteilyn vaimenemiseen. Materiaali ja siinä olevat epäjatkuvuudet absorboivat eri määrän säteilyä. Esimerkiksi filmiradiografiassa röntgenfilmille muodostuu täysin musta tausta tutkittavan kappaleen ympärille, koska se on valottunut eniten. Mitä suurempi tiheys kappaleella on, sitä enemmän se vastustaa säteiden kulkua. Materiaalit, joilla on suuri tiheys, kuvantuu filmille vaaleampana. Jos materiaalissa on huokonen, materiaalin tiheys kyseisestä kohtaa on pienempi ja se kuvantuu filmille tummempana kohtana kuin muu

osa kappaleesta. Röntgen filmi on negatiivi ja sille muodostunut kuva on enemmänkin kappaleen varjo, koska itse kohteen alue on vähiten valottunut säteilyn vaimenemisen seurauksena. [9, s. 309–310, 323.]

### 3.5.2 Tekniikat

Filmiradiografia on perinteinen radiografinen kuvantamistekniikka. Sen nykyaikainen vastine on digitaalinen radiografia. Filmiradiografia käyttää röntgensäteilyn kuvantamiseen nimensä mukaisesti röntgenfilmiä, joka on muovinen kalvo, jonka pinnalla on gelatiinia ja hopean halogeenisuolaa eli hopeahalidia, yleensä hopeabromidia. Digitaalisessa sovelluksessa filmin sijaan käytetään puolijohdeteknologiaa, kuten fotodiodeita ja amorfista seleeniä kuvan muodostamiseen. [9, s. 295, 314; 13, s. 286–288.]

Fluoroskopiolla saadaan reaaliaikaista materiaalin sisäistä kuvaa röntgensäteilyä apuna käyttäen. Fluoroskopia tunnetaan myös nimillä läpivalaisu, radioskopia ja reaaliaikainen radiografia. Analogisessa toteutustavassa reaaliaikaista kuvaa seurataan fluoresoivalta näytöltä, joka tuottaa elektromagneettista säteilyä ultraviolettin, sinisen tai vihreän valon spektrillä kohdatessa röntgensäteen. Digitaalisessa toteutuksessa digitaalinen ilmaisin, muuttaa röntgensäteilyn kuva-anturille sopivaan muotoon. Kuva-anturit ovat teknologialtaan samoja, joita käytetään digitaalisissa kameroissa. [9, s. 316; 13, s. 286–288, 254–276.]

Tietokonetomografia on digitaalinen radiografinen kuvantamistekniikka. Menetelmää kutsutaan myös tietokonekerroskuvaukseksi. Kohdetta kuvataan joka kulmasta. Säteilylähde ja ilmaisin pyörivät kohteen ympäri tai kohde pyöritetään oman akselinsa ympäri, säteilylähteen ja ilmaisimen pysyessä paikallaan. Kerätystä kaksiulotteisesta tiedosta muodostetaan kohteesta volumetrisellä renderöinnillä kolmiulotteinen malli. Menetelmän suuri etu on, että mallinnuksesta voidaan tarkastella kohteen poikkileikkauksia mistä kulmasta ja miltä etäisyydeltä tahansa sekä suodattaa pois materiaaleja tiheyden perusteella. [13, s. 304–337.]

### **3.6 Pyörrevirtatarkastus (ET)**

Pyörrevirtatarkastus perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Menetelmällä pystytään havaitsemaan pintaan ulottuvat ja materiaalin sisäiset epäjatkuvuudet. Yksi syy sen suosioon on, että menetelmä on monikäyttöinen. Menetelmä sopii kaikille sähköä johtaville materiaaleille. Sitä pystytään käyttämään epäjatkuvuuksien havaitsemiseen, materiaalin paksuuden määrittämiseen ja sillä pystytään lajittelemaan eri materiaaleja sähkönjohtavuuden perusteella. Koska menetelmä perustuu sähkömagneettiseen induktioon, se ei tarvitse suoraa kosketusta materiaaliin ja soveltuu nopeatempoiseen tarkastamiseen. [10, s. 164.]

#### **3.6.1 Fysikaalinen periaate**

Kun vaihtovirtaa johdetaan käämin lävitse, se saa aikaan muuttuvan magneettikentän. Faradayn induktiolain mukaan muuttuva magneettikenttä indusoi johtavaan materiaaliin sähkökentän. Tämä sähkökenttä aiheuttaa johtavassa materiaalissa pyörrevirtoja. Ampèren lain mukaan sähkövirta muodostaa ympärilleen magneettikentän. Pyörrevirrat muodostavat siis oman magneettikentän ja pyörrevirtatarkastuksessa käytetään hyväksi tämän magneettivuon muutosten tarkkailua. Epäjatkuvuudet materiaalissa aiheuttavat vuotokenttiä, kuten 3.3.1 magneettipartikkelitarkastuksen fysikaalisen periaatteen kohdassa on selvennetty. [10, s. 165.]

#### **3.6.2 Käyttöperiaate**

Pyörrevirtatarkastuksen laitejärjestelmä koostuu pyörrevirtayksiköstä ja anturista. Laiteyksikössä tuotetaan vaihtovirtaa, josta se johdetaan käämille, joka sijaitsee anturissa. Anturi kalibroidaan ennen testejä kalibrointipalalla. Näyttöyksikkö sijaitsee yleensä pyörrevirtayksikön yhteydessä ja se tarjoaa reaaliaikaista dataa anturin havaitsemista magneettivuon muutoksista. [10, s. 165.]

## 4 TILAVAATIMUKSET

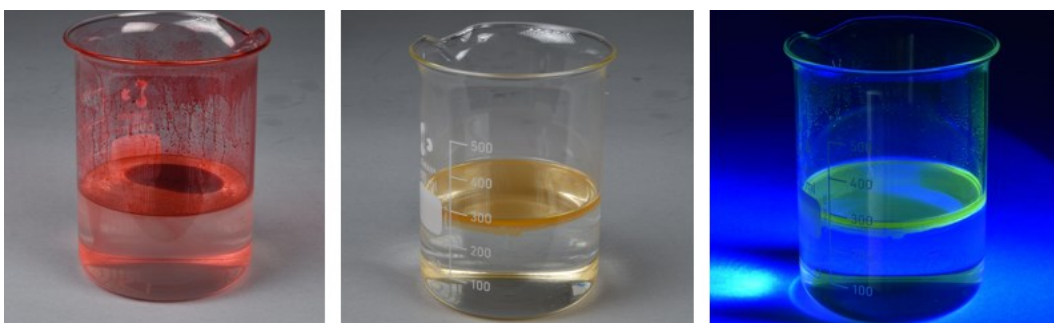
NDT-tilan suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon turvallisuus, toiminnallisuus ja ympäristövaatimukset. Käytettävien menetelmien osalta tilan tulee täyttää menetelmien käyttöön soveltuva toimintaympäristö. Tilassa tullaan käyttämään tunkeumaneste- ja magneettipartikkelitestausta.

### 4.1 Turvallisuus

Tilan tulee olla turvallinen käyttäjälleen ja ympäristölle. Tunkeumaneste-, kehite- ja magneettipartikkeli-aerosoleja tulee säilyttää tuuletetussa paloturvakaapissa [14]. Kemikaalien avoin käsittely tulee rajata mahdollisimman pienelle alueelle kohdepoistoin. Turvallisuus- ja kemikaaliviraston ohjeessa vaarallisten kemikaalien käsittelyyn ja varastointiin [14] todetaan, että palavan nesteen höyryn määrä ilmassa ei saa normaalitoiminnassa ylittää 25 prosenttia alemmasta syttymisrajasta. Lähtökohtana ilmanvaihtuvuuden mitoituksessa käsittelytiloissa on ilman vaihtuminen kuusi kertaa tunnissa [14].

Tunkeuma- ja magneettipartikkelinestettä käytetään aerosolipulloista. Molemmat ovat öljypohjaisia seoksia, jotka ovat liukenemattomia veteen [15; 16]. Näiden aineiden huuhtelu tutkittavan kappaleen pinnalta menetelmän käytön jälkeen aiheuttaa öljyn kulkeutumisen jätevesijärjestelmään. Huuhteluvesi tulee ohjata öljynerotukseen ennen jätevesijärjestelmään laskemista. Kuvassa 9 on havainnollistettu tunkeuma- ja magneettipartikkelinesteiden liukoisuutta veteen. Kuvassa vasemmalla tunkeumaneste, keskellä fluoresoiva magneettipartikkelineste näkyvässä valossa ja oikealla fluoresoiva magneettipartikkelineste UV-valon alla.





**Kuva 9.** Tunkeuma- ja magneettipartikkelinesteen liukoisuus veteen.

Tutkittavan kohteen tulee olla nostettavissa kuormittamatta työntekijää fyysisesti raskaasti. Huoneessa tulisi olla asianmukainen NDT-pöytä, jossa tarkastus ja huuhtelu onnistuu turvallisesti ja vaivatta siirtelemättä tarkasteltavaa kohdetta. Lisäksi tilassa tulee sijaita palosammutin alkusammutusta varten ja silmähuuhtelupullot.

#### **4.2 Vesi ja valaistus**

Vettä käytetään puhdistamaan tutkittava komponentti testauksen välissä ja testauksen jälkeen. Huuhtelu on luonteeltaan mekaanista, sillä käytettävät aineet ovat veteen liukenemattomia. Veden tulo pöydälle, missä rikkomattomien menetelmien käyttö tapahtuu, on välttämätöntä.

Käytettäessä fluoresoivaa magneettipartikkelitarkastusta, tila on saatava pimennettyä UV-valolla tarkastelua varten. Pimennys vähentää taustavalon häiriötä. Se parantaa menetelmän herkkyyttä ja tekee mahdollisten vikojen havaitsemisesta helpompaa.

## 5 SUUNNITTELU

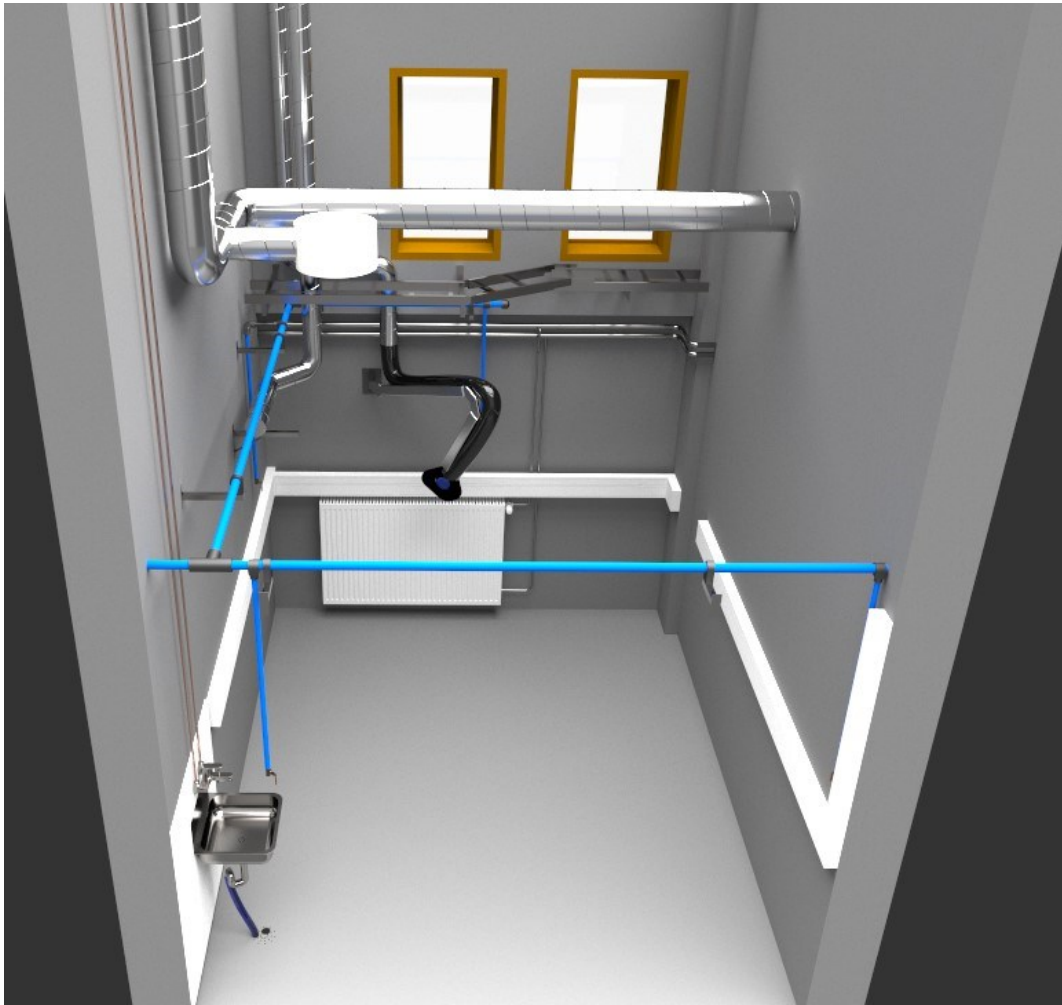
Suunnittelun lähtökohtana on ratkaista huoneen tärkeimmät tämänhetkiset puutteet. Tärkeimmät puutteista ovat kyky toteuttaa tunkeuma- ja magneettipartikelitarkastuksia suurille komponenteille sekä niiden nostaminen. Tilaan tarvitaan erillinen NDT-menetelmille tarkoitettu pöytä, missä pystytään toteuttamaan tunkeuma- ja magneettipartikelitarkastukset turvallisesti ja siististi.

### 5.1 Määritykset

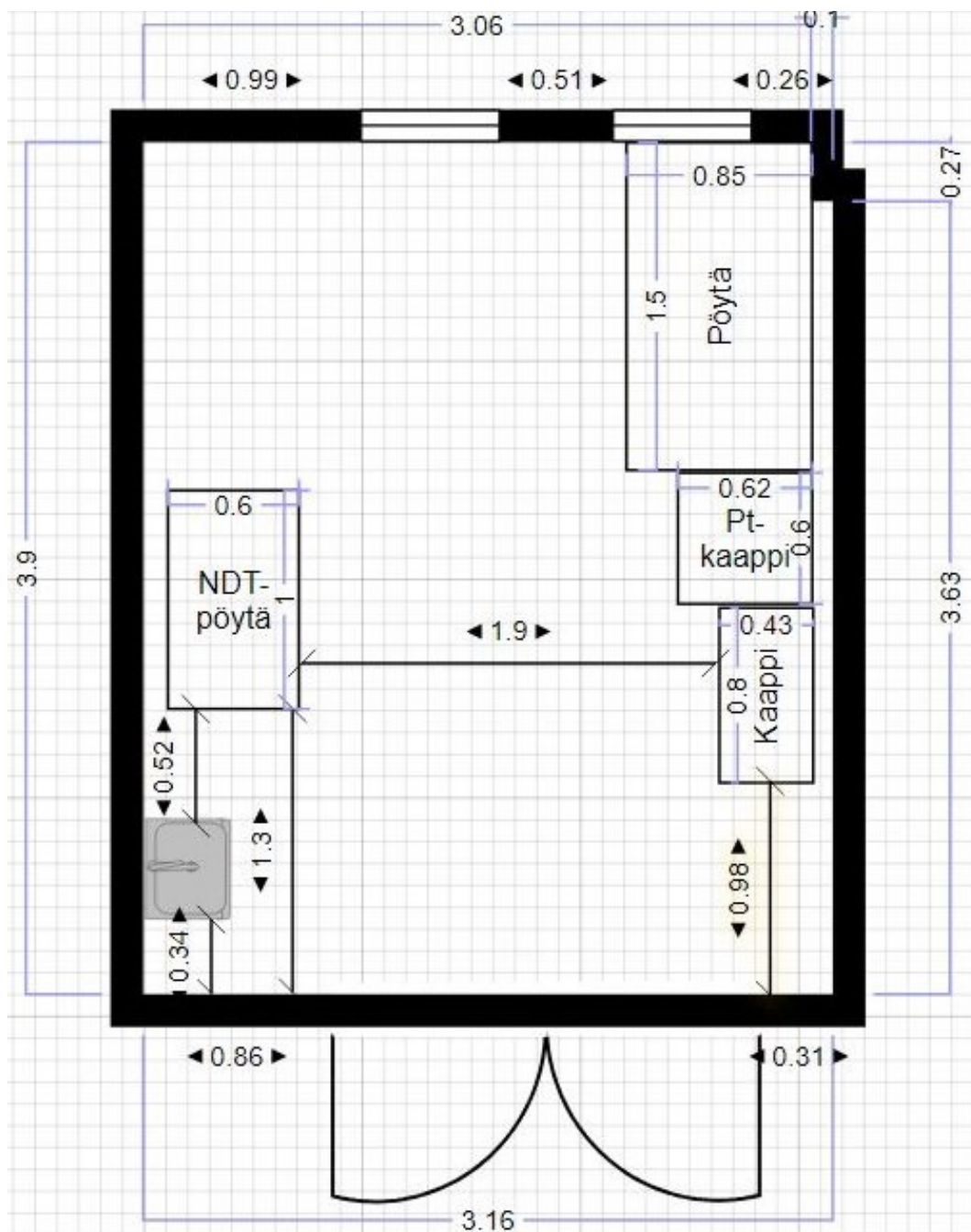
NDT-pöydälle tulee mahtua tietyn suuruinen suorakulmaisen särmiön muotoinen tilavuus. Tilavuus ei määräydy yksittäisen komponentin, vaan komponenttien erilaisten muotojen perusteella. Suunnitellun tilavuuden mitat, jonka tulee mahtua pöydälle ovat: 900 mm x 550 mm x 500 mm. Nosturin maksimi nostokapasiteetiksi on suunniteltu 125 kilogrammaa, joten nosturi asettaa pöydälle nostettavan komponentin maksimimassarajan. Lisäksi huoneen nurkkaan on jäätävä ylimääräinen pöytä polttoainesuuttimien testausta varten. Tilassa sijaitsee jo valmiiksi polttoainesuuttimien testauspöydälle ylettyvä kohdepoisto.

### 5.2 Layout

Huoneen mittojen määrittelyssä käytettiin rullamittaa ja Laserliner LaserRange-Master T4 Pro -laseretäisyysmittaria. Mittojen avulla mallinnettiin huonepohja, jossa pyrittiin mallintamaan myös kaikki tämänhetkiset kiinteät rakenteet, joilla on merkitystä kokonaisuuden sommittelun kannalta (kuva 10). Kuvassa 11 on esitettyinä rikkomattomien testausmenetelmien tilan suunniteltu layout. Huoneeseen on suunniteltu NDT-pöytä, pöytä polttoainesuuttimien testaukseen, paloturva-kaappi ja kaappi käytettäville työkaluille. Huoneen pienen pinta-alan takia, NDT-pöydän puoleinen seinä pidetään muuten tyhjänä esteettömän työskentelyn saavuttamiseksi. Layout on tehty ilmaisella selainpohjaisella SmartDraw-ohjelmistolla. Mittayksikkönä kuvassa 11 on metri.



**Kuva 10.** NDT-huoneen mallinnus oven puoleiselta seinältä kuvattuna.



**Kuva 11.** Tilan suunniteltu layout.

### 5.3 NDT-pöytä

Pöydän valmistusmateriaaliksi on suunniteltu matalahiilinen AISI 316L tai vastaava EN 1.4404 austeniittinen ruostumaton teräs, joka soveltuu hyvin hitsaamiseen,

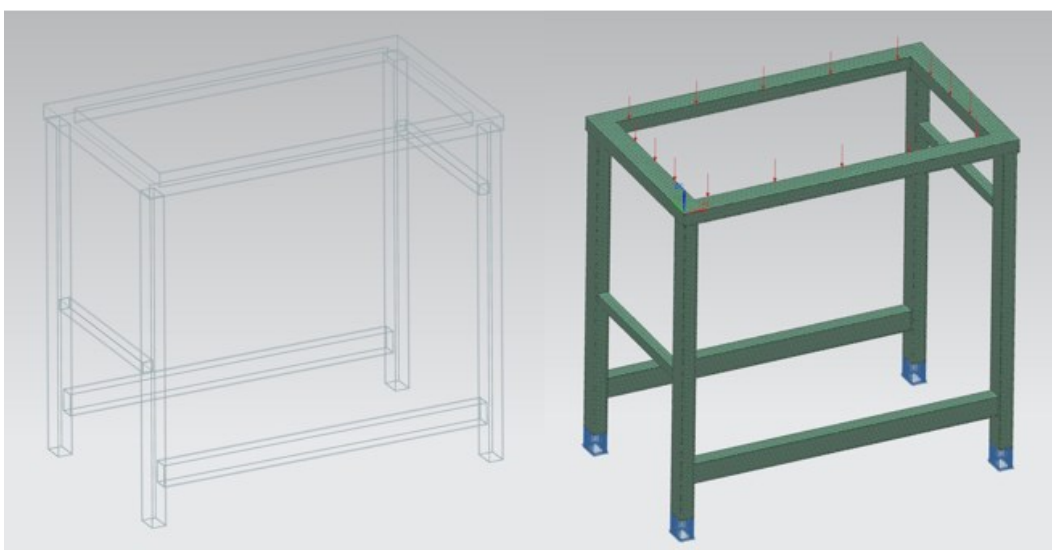
kestää kemikaaleja ja on helppo pitää puhtaana. Materiaali on pääosin 2 millimetrin vahvuista peltiä, suorakaide- ja neliöputkea. Valmistuksen suunnittelussa on käytetty teräksen särmäystä hyödyksi, jotta hitsaamista olisi vähemmän ja työn kustannuksia saadaan alemmaksi niiltä osin, kun se on mahdollista.

### 5.3.1 Runko

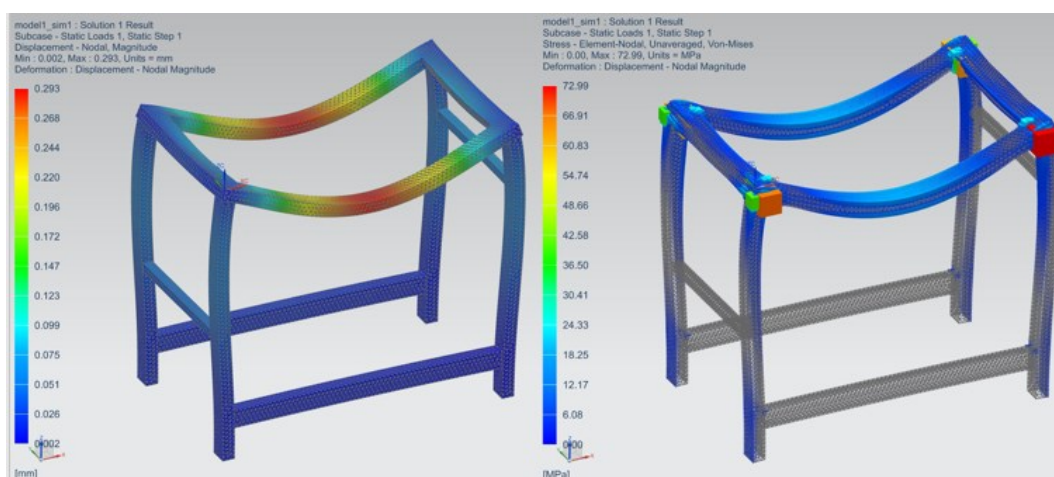
Runko on NDT-pöydän tärkein kokonaisuus. Sen tehtävä on kannatella pöydällä olevan kappaleen painoa. Runko on suunniteltava siten, että pöydälle lasketun kappaleen paino ei aiheuta liian suuria jännityksiä, jotka suuruudessaan yltyvät rungon materiaalin myötörajalta. FEM-analyysin avulla voidaan approksimoida painon aiheuttamia jännityksiä rungon rakenteessa.

FEM-laskennan verkotuksessa käytettiin 10 solmuista 14 millimetrin tetraedrielementtiä. Rajoitteet asetettiin rungon jalkoihin. Kuudesta vapausasteesta ainoastaan z-akselin suuntainen liike on rajoitettu paikallaan pysyväksi. Pöytään kohdistuvalle maksimipainolle laskennassa käytettiin varmuuskerrointa 2, joten laskennassa pöytään kohdistuva painon suuruus on 2 500 newtonia. Todellisuudessa varmuuskerroin on hiukan suurempi, koska putoamiskiihtyvyyden arvona lujuuslaskennassa käytetään  $10 \text{ m/s}^2$ . Kuvassa 12 on esitetty mallinnettu runko, verkotus sekä rajoitteet ja paino määriteltynä.

Laskennan tuloksista selviää, että suurin siirtymä on 0,3 millimetriä ja suurin paikallinen jännitys rungossa on 73 megapascalialia. Vertailun vuoksi AISI 316L ruostumattoman teräksen myötölujuus on 170 megapascalialia [17]. Saatu tulos suurimmasta paikallisesta jännityksestä on 43 prosenttia valmistusmateriaalin myötölujuudesta. FEM-laskennan tulokset ovat esitettynä kuvassa 13. Vasemmalla kuvassa on havainnollistettu dramatisoiden rungon muodonmuutosta. Runkoon kohdistuvat jännitykset (von Mises) kuvattuna oikealla elementtien solmukohdissa.



**Kuva 12.** Mallinnuksen verkotus, rajoitteet ja runkoon kohdistuva paino.



**Kuva 13.** Rungon FEM-laskennan tulokset.

### 5.3.2 Allas, seinät ja varusteet

Kappaleen puhdistaminen tunkeuma- tai magneettipartikkelinesteestä vaatii vesisuihkun käyttöä. Pöytään on suunniteltu asennettavaksi ulosvedettävä laboratoriorihana sekoittimella. Huuhteluvesi ohjataan runkoon kiinnitettävän altaan kautta pöydän alla sijaitsevaan öljynerottimeen. Veden ja tunkeumanesteen roiskeiden

estämiseksi pöydässä on seinät, jotka pitävät ympäröivän alueen siistinä ja ovat helppo puhdistaa. Pöydän yläpuolelle on suunniteltu huuva, jossa on liitäntä 125 millimetriselle ilmanvaihtokanavalle. Ilmanvaihtokanava toimii NDT-pöydän kohdepoistona. Kohdepoiston on/off-kytkimenä toimii sähkökäyttöinen venttiili. Tilaan suunniteltu NDT-kaappi on kuvattuna edestäpäin kuvassa 14.

NDT-tilan pinta-ala on pieni, mutta huonekorkeus on 7,5 metriä. Huoneen tilavuus on 92 kuutiometriä. Tilan LED-valaisimet sijaitsevat kuuden metrin korkeudessa. Valaistusta varjostavat valojen alapuolella 3,5 metrin korkeudessa sijaitsevat ilmanvaihtokanavat. Riittävä valaistus pöydällä työskentelyyn on toteutettu kahdella IP-65-suojaluokan LED-valaisimella.



**Kuva 14.** NDT-pöytä kuvattuna edestä.

Ilman nopeutta mitattiin kohdepoiston suulta, jonka ilmanvaihtokanavan halkaisija on 125 millimetriä. Mittaus suoritettiin Laserliner AirflowTest-Master-anemometrillä. Ilman nopeudeksi mitattiin 17 metriä sekunnissa. Poistoilmapuhaltimen huoneesta poistaman ilman määrä tunnissa voidaan laskea kertomalla tilavuusvirta luvulla 3 600. Tilavuusvirta lasketaan kaavasta 3. Kohdepoiston kautta ilmaa poistuu huoneesta tunnin aikana 751 kuutiometriä eli kahdeksan kertaa huoneen tilavuus. Huoneessa on myös oma erillinen kiinteistöautomaatiikkaan liitetty ilmanvaihtojärjestelmä.

$$Q = v \times A, \quad (\text{kaava 3})$$

jossa Q = tilavuusvirta

v = virtauksen nopeus

A = pinta-ala

Kappaleen painon rungolle välittää puristehitsattu ritilä. Ritilä on valmistettu EN 1.4404 -luokan austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä. Ritilän kantoteräksen paksuus on 2 millimetriä ja korkeus 25 millimetriä. Kantoterästen etäisyys toisistaan on 16 millimetriä ja sideterästen etäisyys 38 millimetriä. Valmistajan taulukossa sallitut kuormat perustuvat S235JRG2-rakenneteräksen ominaisuuksiin varmuuskertoimella 1,5 [18].

900 millimetrin jännevälillä ritilän tasaisesti jakautunut suurin sallittu kuorma on 20,4 kilopascalia ja taipuma kyseisellä kuormalla 5 millimetriä [19]. Vaikka Ritilään käytetyn ruostumattoman teräksen myötölujuus on alhaisempi kuin taulukossa käytetyn teräksen, on ritilä huomattavasti ylimitoitettu käyttötarkoituksessaan kohtaamille kuormille. 2 500 newtonin painolla ritilän 0,6 neliömetrin pinta-alalle kohdistuu 4 200 pascalin paine (kaava 4). Ylimitoitus johtuu siitä, että pienten



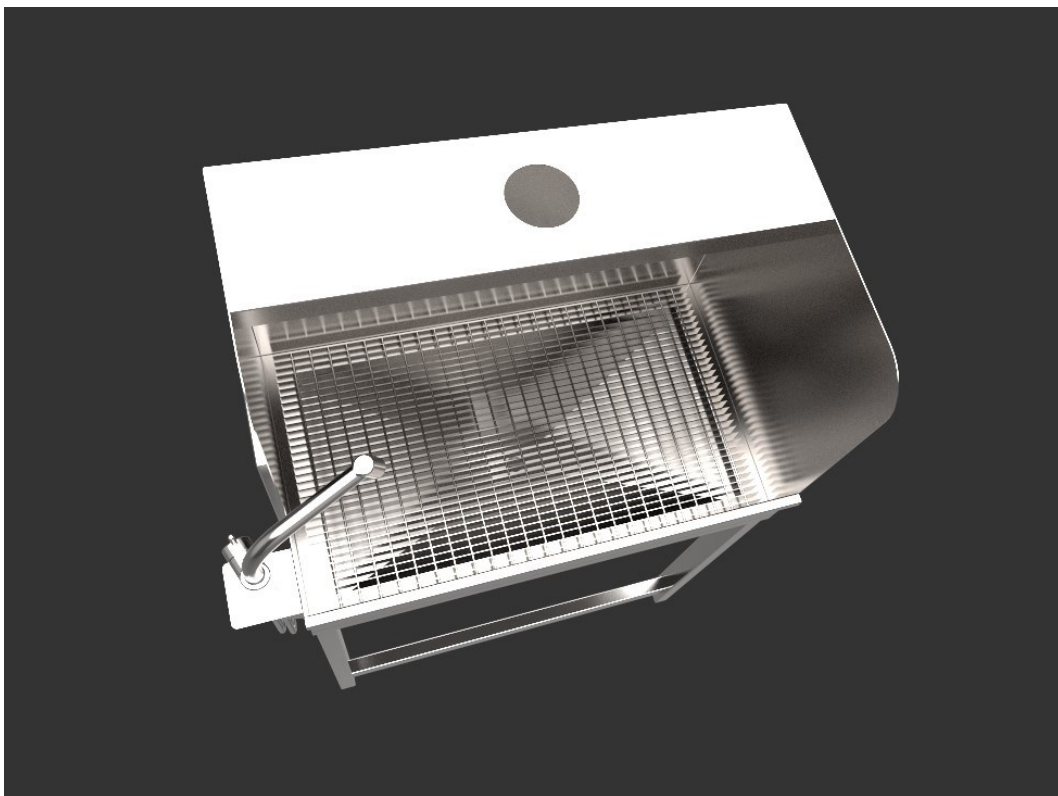
osien on myös pysyttävä ritilällä tippumatta altaaseen, joten silmäkoon on oltava pieni.

$$P = \frac{F}{A}, \quad (\text{kaava 4})$$

jossa P = paine

F = voima

A = pinta-ala



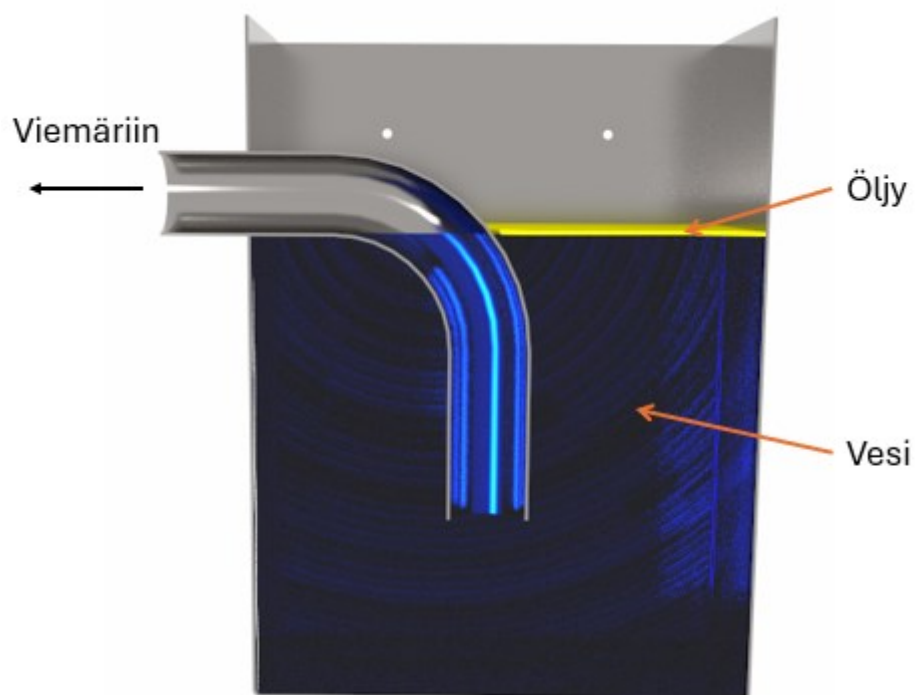
**Kuva 15.** NDT-pöytä kuvattuna ylhäältä.

## 5.4 Säiliö

Vältettäessä laskemasta veden mukana jätevesijärjestelmään kuulumatonta jätettä, NDT-pöydän huuhteluvedet on ohjattava ensiksi säiliöön. Säiliössä sijaitsee yksinkertainen öljynerotusmenetelmä, jotta rikkomattomissa testausmenetelmissä käytetyt öljypohjaiset nesteet saadaan erotettua huuhteluvedestä ennen jätevesijärjestelmään laskemista. Öljynerotus perustuu yksinkertaisesti nesteiden tiheyksiin (kuva 16).

Veden ollessa öljyä tiheämpää, öljy kerääntyy veden pinnalle. Öljy ei sekoitu tai liukene veteen, koska vesimolekyyli on poolinen ja pitkät hiilivetyketjut taas poolittomia [20, s. 12–13]. Öljy voidaan imeä tai imeyttää veden pinnalta asianmukaista jätteenkierrätystä varten. Öljynerottimen oikeaoppinen toiminta edellyttää, että veden pinta on korkeammalla kuin jäteveden laskuputken alin pää. Kannessa on öljyä kestävä neopreenitiiviste estämään roiskeita säiliön sisältä. Säiliössä on myös tyhjennyshana siltä varalta, jos se täytyy saada tyhjäksi. Valmistusmateriaali on AISI 316L tai vastaava EN 1.4404. Säiliön rakennetta on havainnollistettu kuvassa 17. Kuvassa oikealla säiliöstä on poistettu yksi sivu sisärakenteen hahmottamiseksi.

Säiliön tulvimisen estämiseksi, on suuremman määrän vettä poistuttava säiliöstä kuin sitä virtaa säiliöön. NDT-pöydälle Suunnitellun hanan normivirtaama on 0,3 litraa sekunnissa. Kyseiselle virtaamalle viemäriputken vähimmäiskooksi on ohjeistettu DN 32 [21]. Altaan hitsatun viemäriputken sisähalkaisija on 38 millimetriä ja säiliön jäteveden laskuputken 44 millimetriä. Putken halkaisijan suurentuessa viemäriä kohden, ei pääse syntymään tilannetta, missä vesi tulvii säiliön kannen välistä lattialle.



**Kuva 16.** Öljynerotuksen toimintaperiaate.



**Kuva 17.** Säiliön rakenne.

## 5.5 Nostoratkaisu

Työntekijän raskas fyysinen kuormitus, kuten raskaiden kappaleiden nostot, lisäävät tuki- ja liikuntaelinsairauksien sekä tapaturmien riskiä [22]. Suurten kappaleiden NDT-tarkastus edellyttää kappaleiden nostoa turvallisella menetelmällä. Suunnitelmissa oli asennuttaa tilaan seinään kiinnitettävä nosturi, mikäli se vain on rakenteellisesti mahdollista.

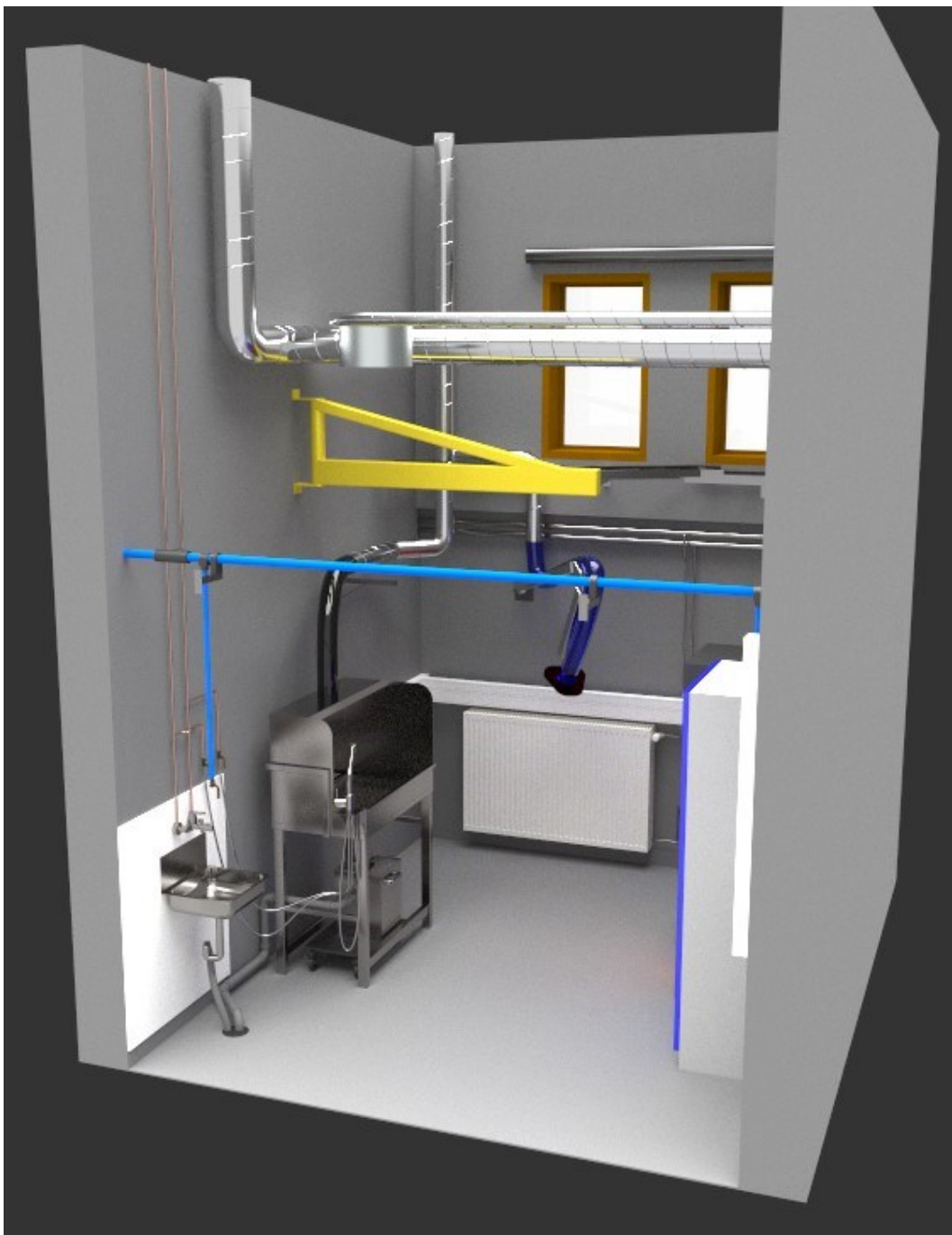
Kiinteistöinsinöörin tarkastettua seinärakenteen, myönnettiin lupa asentaa kääntöpuominosturi tilan seinään. Tilaan suunnitellun nosturin nostokapasiteetti on 125 kilogrammaa ja puomin pituus 1 700 millimetriä. Nosturi on käsin liikuteltava ja siinä on sähköisesti ohjattava ketjunostin.

## 5.6 Tilan lopputulos

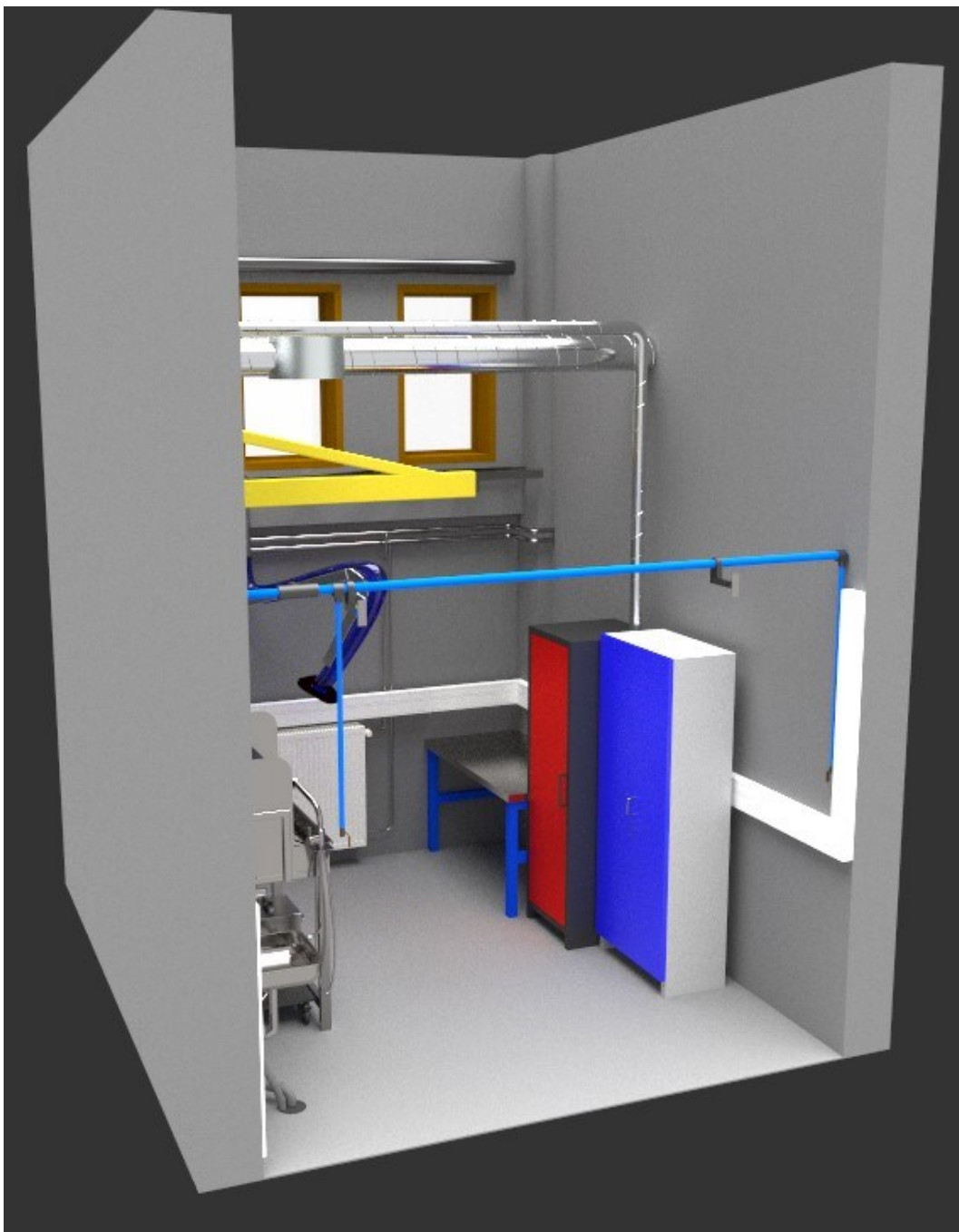
Komponentteja NDT-pöydällä huuhdellessa veden roiskumisen seurauksena kiinteistöstä vastaava insinööri määräsi sähkökaapelikoteloinnin alkavaksi puolen metrin etäisyydeltä NDT-pöydästä. Sähkökaapelikotelointi poistui siis pöydän takaa kokonaan. Koteloinnissa sijaitsee NDT-pöydän kohdepoiston kytkin sähköisesti ohjattulle venttiilille ja se jouduttiin siirtämään puoli metriä ikkunoihin päin.

NDT-pöydän ja ikkunoiden puoleisilta seiniltä poistettiin paineilmalinjat (kuva 18 ja 20). Pöydän puoleinen paineilmalinja oli asennettu irti seinästä 30 senttimetriä (kuva 10). Nosturin vaunu, missä nostolaite sijaitsee, pystyi ylettymään paineilmalinjaan ja mahdollisesti rikkoa sen käyttäjän ollessa huolimaton.

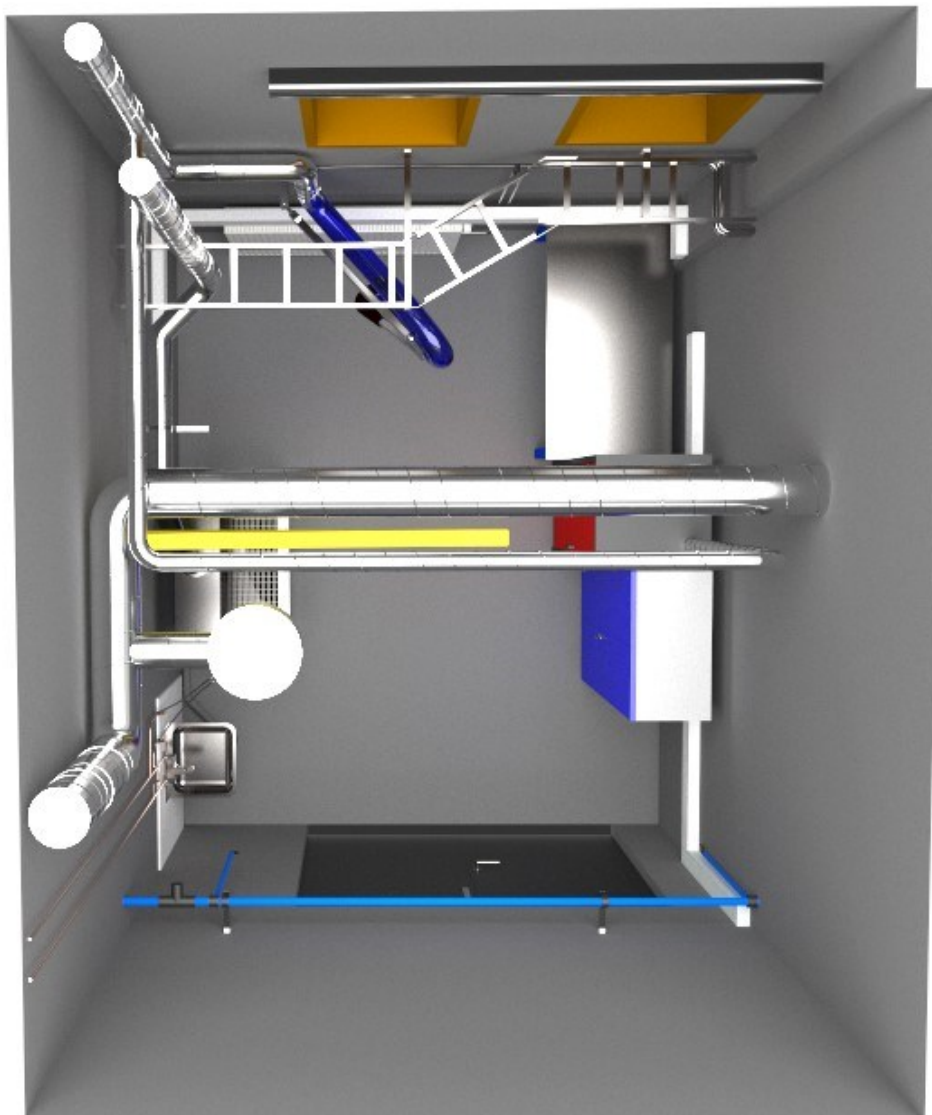
Jotta huoneen saa pimeäksi fluoresoivia testejä varten, ikkunoiden yläpuolelle on suunniteltu pimennysverho. Pimennysverho on sähkökäyttöinen ja kauko-ohjattu. NDT-huoneessa käytetään pääasiassa aerosolikemikaaleja. Kyseisiä kemikaaleja säilytetään paloturvakaapissa ja se tarvitsee kytkennän poistoilmakanavaan (kuva19).



**Kuva 18.** Tilan lopputulos edestä oikealta.



**Kuva 19.** Tilan lopputulos edestä vasemmalta.



**Kuva 20.** Tilan lopputulos ylhäältä.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Rikkomattomien testausmenetelmien tilan suunnittelun tavoitteena oli suunnitella ja myöhemmin toteuttaa tila pääasiassa tunkeumaneste- ja magneettipartikelitarkastukseen huollon tutkimuslaboratorion ja tuotekehityksen materiaalitutkimuksen tarpeisiin. Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi suunnitelma kokonaisuudesta, jossa rikkomattomia testausmenetelmiä pystytään toteuttamaan tarkoitukseen suunnitellussa tilassa turvallisesti, siististi ja jätevesien ympäristöstävällisyys huomioiden. Tarkoitukseen suunnitellun huoneen pienestä pinta-alasta huolimatta, tilan suunnittelussa onnistuttiin vastaamaan tutkimuslaboratorion tiiloissa sijaitsevan huoneen nykyisiin heikkouksiin toimia rikkomattomien testausmenetelmien tarkastustilana. Tilaan suunnitellut parannukset täyttävät vaaditut määritykset, jotka olivat laadittu siten, että tilassa voidaan toteuttaa rikkomattomia testausmenetelmiä valtaosalle tutkimuksiin saapuvista komponenteista.

Suunnittelun tulosten pohjalta tehtiin investointihakemus. Investointihakemuksen hyväksynnän jälkeen siirrytään toteutusvaiheeseen toteutussuunnitelman mukaisesti (liite 2). Toteutusvaihe sisältää alihankkijoilta tilattavat LVI-muutokset, sähkömuutokset, nosturin asennuksen, tilattavat komponentit (liite 1) ja tietysti NDT-pöydän ja säiliön teetättämisen piirustusten pohjalta (liitteet 3–31).

Lopuksi haluan osoittaa kiitollisuuteni työyhteisölleni, Vaasan tutkimuslaboratorion ja tuotekehityksen materiaalitutkimuksen henkilökunnalle, jotka ovat jakanee näkemyksiään ja tukeneet minua tämän opinnäytetyön aikana. Erityiskiitokset haluan esittää esimiehelleni ja ohjaajalleni Visa Langille, joka mahdollisti teke-mällään työllä koko opinnäytetyöprojektin. Lisäksi suuret kiitokset Wärtsilän Global Technical Services -organisaatiolle myönteisestä suhtautumisesta opinnäyte-työhön. Kiitän myös Vaasan ammattikorkeakoulun opettajaa Sami Elomaata oh-jaajana toimimisesta koulun puolelta.



## LÄHTEET

1. Wärtsilä. Tietoa Wärtsilästä. [internet]. [viitattu 6.2.2024]. Saatavilla: <https://www.wartsila.com/fi/wartsila>
2. Wärtsilä. Energy products & solutions. [internet]. [viitattu 6.2.2024]. Saatavilla: <https://www.wartsila.com/energy/solutions>
3. Wärtsilä. Energia. [internet]. [viitattu 6.2.2024]. Saatavilla: <https://www.wartsila.com/fi/energia>
4. Wärtsilä. Wärtsilän Liiketoiminnat lyhyesti. [internet]. [viitattu 10.2.2024]. Saatavilla: <https://www.wartsila.com/fi/media-fi/liiketoiminnat-lyhyesti>
5. Wärtsilä. Products and solutions for marine applications. [internet]. [viitattu 10.2.2024]. Saatavilla: <https://www.wartsila.com/marine/products>
6. Wärtsilä. Global Technical Services. [intranet]. [viitattu 16.2.2024].
7. Wärtsilä. Wärtsilä laboratory investigation services. [intranet]. [viitattu 16.2.2024].
8. American Society for Nondestructive Testing. 3. painos. Liquid Penetrant Testing. Nondestructive Testing Handbook Volume 2. Yhdysvallat: American Society Nondestructive testing; 1999.
9. Mix P. 2. painos. Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide. Yhdysvallat: John Wiley & Sons, Inc.; 2005.
10. ASM International. 9. painos. Nondestructive evaluation and quality control. Metals handbook Volume 17. Yhdysvallat: ASM International; 1989.
11. American Society for Nondestructive Testing. 3. painos. Electromagnetic Testing. Nondestructive Testing Handbook Volume 5. Yhdysvallat: American Society for Nondestructive testing; 2004.
12. American Society for Nondestructive Testing. 3. painos. Ultrasonic Testing. Nondestructive Testing Handbook Volume 7. Yhdysvallat: American Society for Nondestructive testing; 2007.
13. American Society for Nondestructive Testing. 3. painos. Radiographic Testing. Nondestructive Testing Handbook Volume 4. Yhdysvallat: American Society for Nondestructive testing; 2002.
14. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Vaarallisten kemikaalien käsittely ja varastointi. [internet]. [viitattu 18.3.2024]. Saatavilla: <https://tukes.fi/vaarallisten-kemikaalien-kasittely-ja-varastointi>

15. Käyttöturvallisuustiedote. Bycotest RP20 Aerosol. [internet]. [viitattu 18.3.2024]. Saatavilla: [https://publish-almego.econline.net/getfile/45F428BA-DD42-4290-BBED-60AEF0BF7503/html/887413/887413\\_Magnaflux%2C%20A%20divisio\\_Bycotest%20RP20%20Aeroso\\_FI-fi\\_v3\\_0](https://publish-almego.econline.net/getfile/45F428BA-DD42-4290-BBED-60AEF0BF7503/html/887413/887413_Magnaflux%2C%20A%20divisio_Bycotest%20RP20%20Aeroso_FI-fi_v3_0)
16. Käyttöturvallisuustiedote. Bycotest 101. [internet]. [viitattu 18.3.2024]. Saatavilla: [https://publish-almego.econline.net/getfile/45F428BA-DD42-4290-BBED-60AEF0BF7503/html/890975/890975\\_Magnaflux%2C%20A%20divisio\\_Bycotest%20101\\_FI-fi\\_v2\\_0](https://publish-almego.econline.net/getfile/45F428BA-DD42-4290-BBED-60AEF0BF7503/html/890975/890975_Magnaflux%2C%20A%20divisio_Bycotest%20101_FI-fi_v2_0)
17. Atlas Steels. Grade data sheet. [internet]. [viitattu 20.3.2024]. Saatavilla: [https://www.atlassteels.com.au/documents/Atlas\\_Grade\\_data\\_sheet\\_316\\_rev\\_Jan\\_2011.pdf](https://www.atlassteels.com.au/documents/Atlas_Grade_data_sheet_316_rev_Jan_2011.pdf)
18. Suomen Teräsritilä STR Oy. Suunnittelu. [internet]. [viitattu 21.3.2024]. Saatavilla: <https://www.str.fi/suunnittelu/>
19. Suomen Teräsritilä STR Oy. Kuormitustaulukko. [internet]. [viitattu 21.3.2024]. Saatavilla: <https://www.str.fi/wp-content/uploads/kuormitustaulukko.pdf>
20. Carey F, Giuliano R, Allison N, Bane S. 11. painos. Organic Chemistry. Yhdysvallat: McGraw-Hill Education; 2020.
21. Talotekniikkainfo. Viemärlaitteiston mitoitusohjeet. [internet]. [viitattu 22.3.2024]. Saatavilla: [https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/d1\\_2007\\_liite\\_4.pdf](https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/d1_2007_liite_4.pdf)
22. Työsuojeluhallinto. Nostot käsin. [internet]. [viitattu 22.3.2024]. Saatavilla: <https://tyosuojelu.fi/tyoolot/fyysinen-kuormitus/nostot-kasin>

**LIITTEET****LIITE 1****TILATTAVIEN OSIEN LISTA****NDT-pöytä**

Valonheittimet ja jodotus	2 kpl
UV-valaisin	1 kpl
Kalvotiiviste 7-10 mm	2 kpl
Suihku	1 kpl
Letkukiristin 50-65 mm	4 kpl
Letku 50 mm sisähalkaisija	1 m
HST-ritilä	1 kpl

**Säiliö**

Kahvat	3 kpl
Tiivistenauha neopreeni	1,2 m
G 3/8 sulkuhana	1 kpl
Rulla-alusta	1 kpl
Letkun ohjain	1 kpl

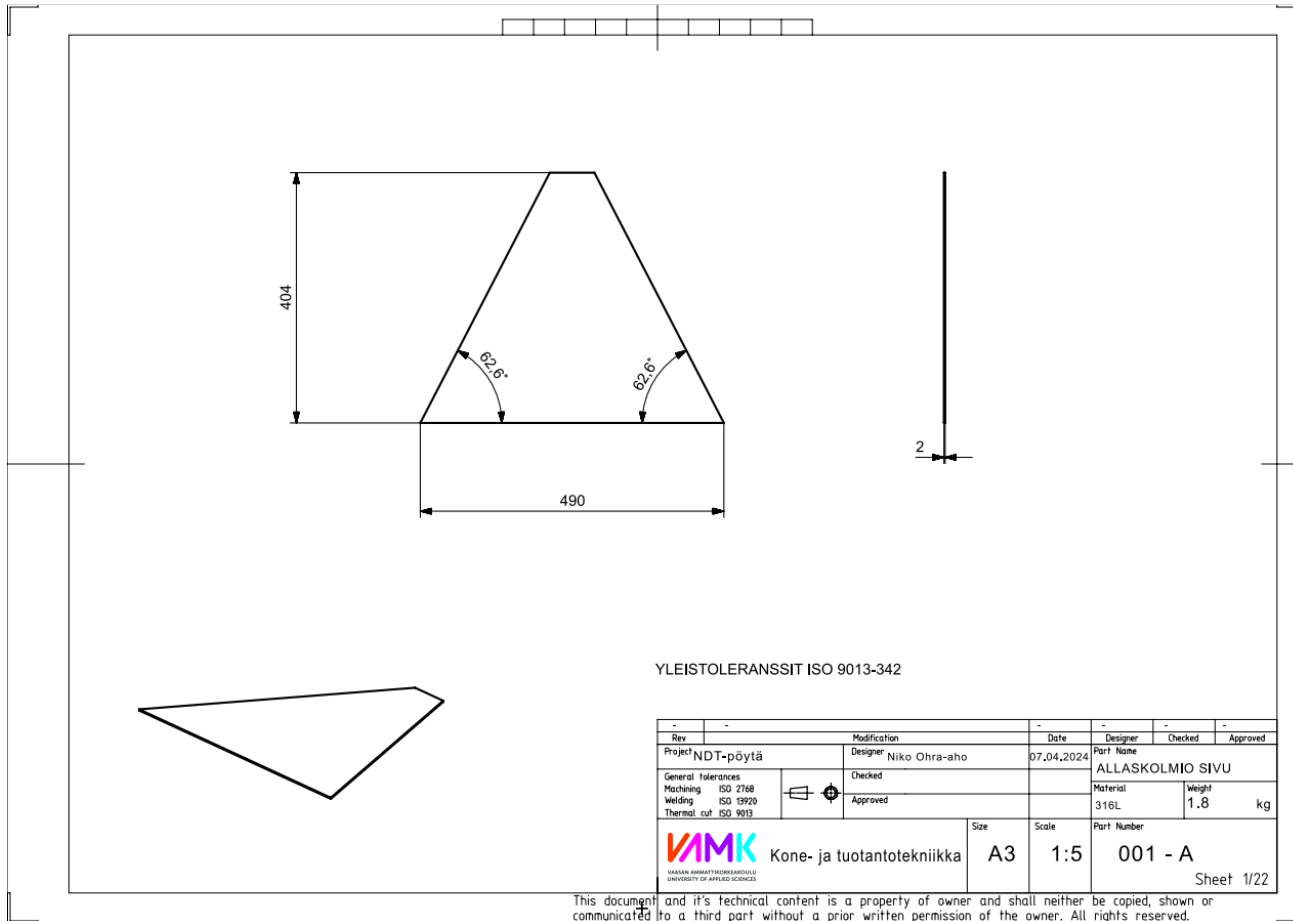
**Kääntöpuominosturi** 1 kpl

**Pimennysverho** 1 kpl

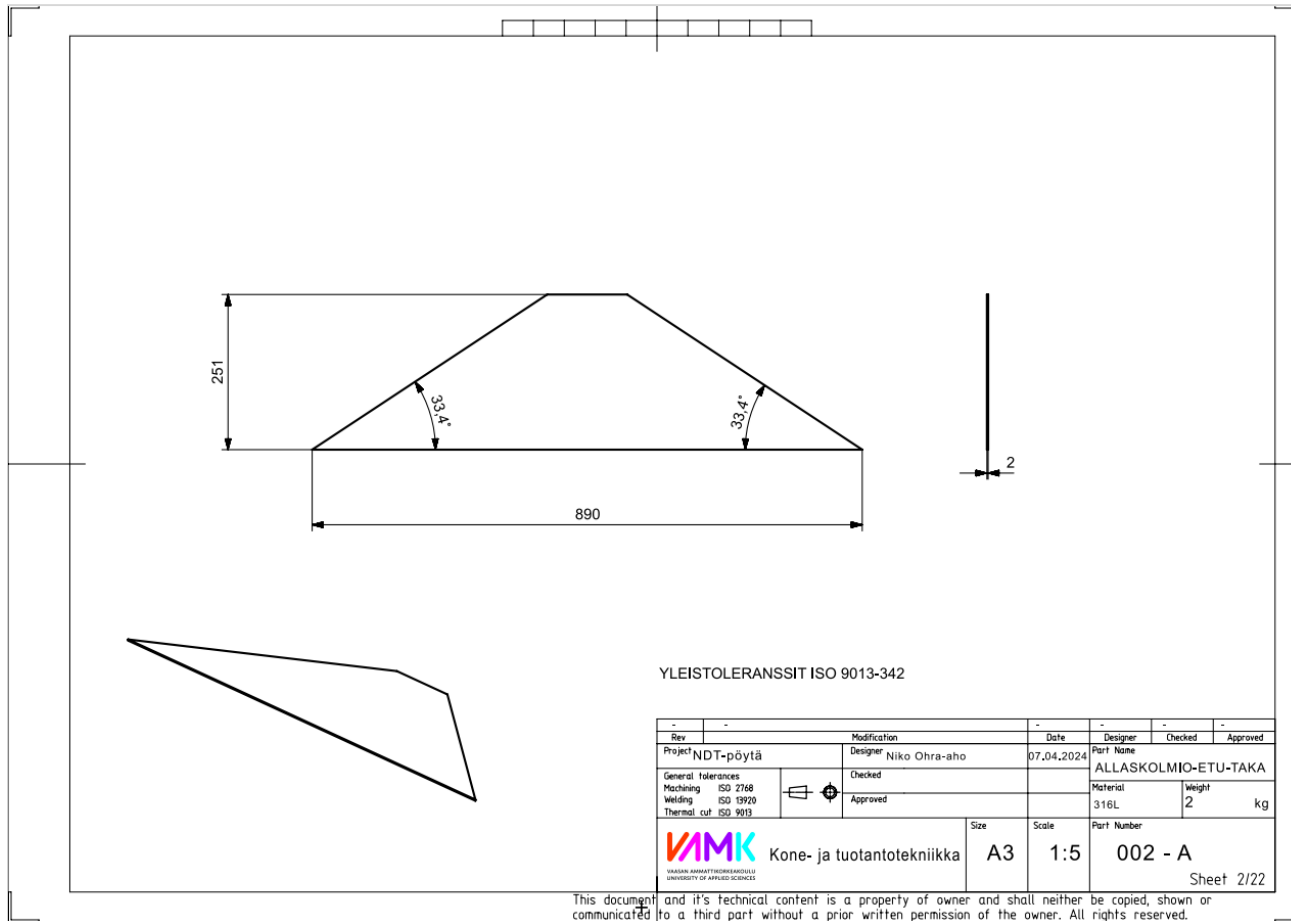
LIITE 2  
TOTEUTUSSUUNNITELMA

	2.5.2024	1.9.2024						
Tarjouspyynnöt	NDT-pöytä Säiliö Ritilä UV-valo Nosturi Pimennysverho Suihku							
Tilaus		NDT-pöytä Säiliö Ritilä UV-valo Nosturi Pimennysverho Suihku Muut						
Alihankinta kiinteistöilmoituksella	Sähkökourun siirto							
	Paineilmalinjojen poisto							
		Paloturvakaapin ilmanvaihto						
		Uudet vesihaarat						
			Pimennysverhon asennus			Nosturin asennus		
							NDT-kaapin suihkun kytkentä vesiverkkoon	
							Säiliön viemärointi	

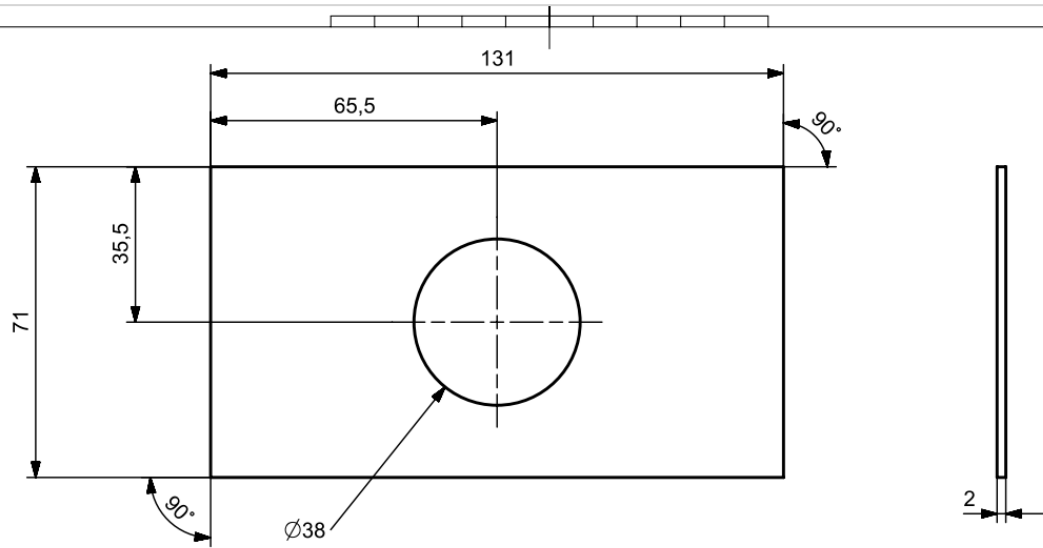
LIITE 3  
ALLASKOLMIO SIVU




LIITE 4  
ALLASKOLMIO-ETU-TAKA



LIITE 5  
VIEMÄRIPUTKEN LEVY

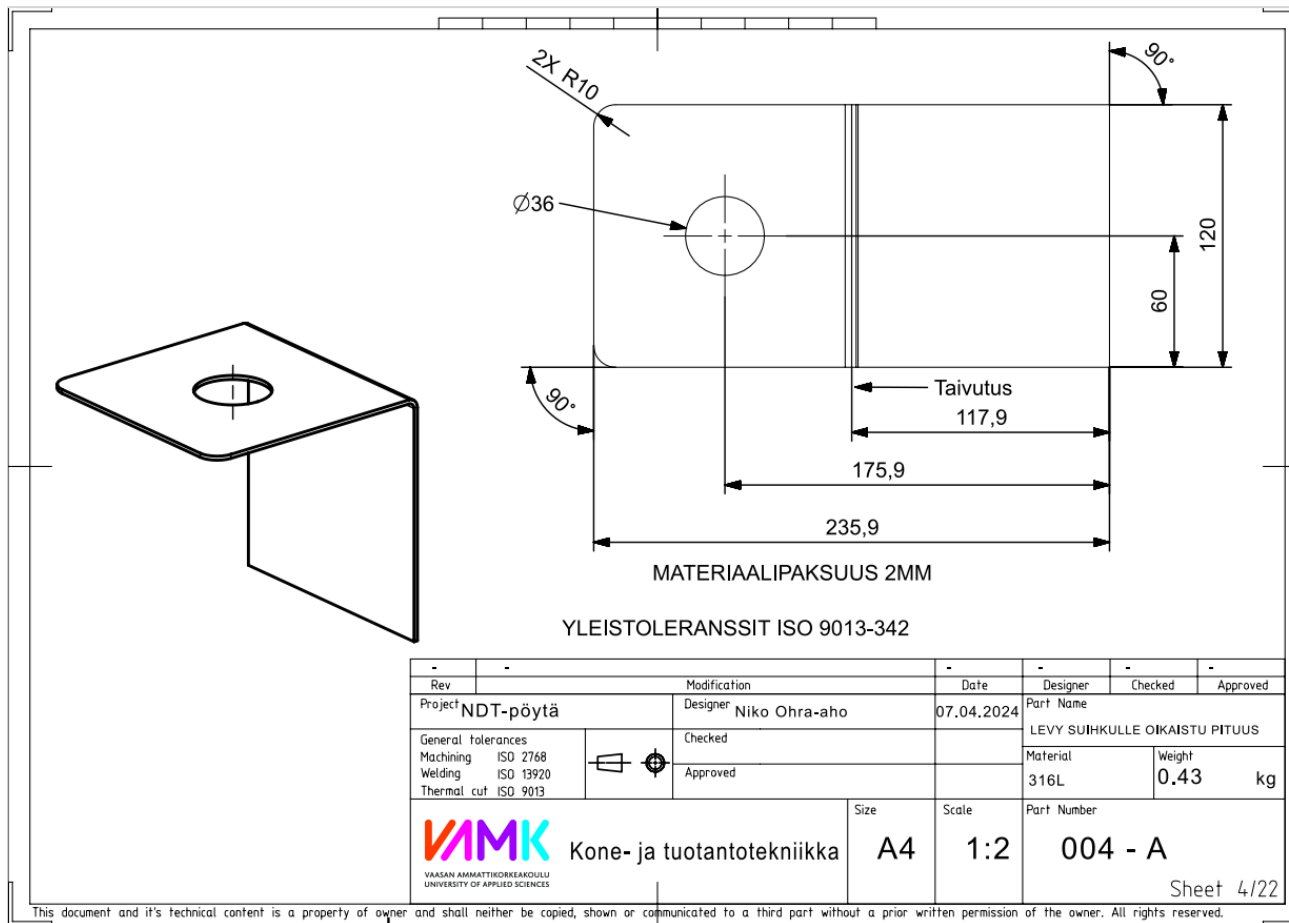


YLEISTOLERANSSIT ISO 9013-342

Rev	-	Modification	-	Date	-	Designer	-	Checked	-	Approved	-
Project	NDT-pöytä		Designer	Niko Ohra-aho		Date		07.04.2024		Part Name	
General tolerances		Checked		Approved		Material		Weight		kg	
Machining	ISO 2768				316L		0.13				
Welding	ISO 13920										
Thermal cut	ISO 9013										
 <b>VAMK</b> Kone- ja tuotantotekniikka <small>VAAKAN AMMATTIKORKEAKOULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</small>			Size	A4	Scale	1:1	Part Number		003 - A		
											Sheet 3/22

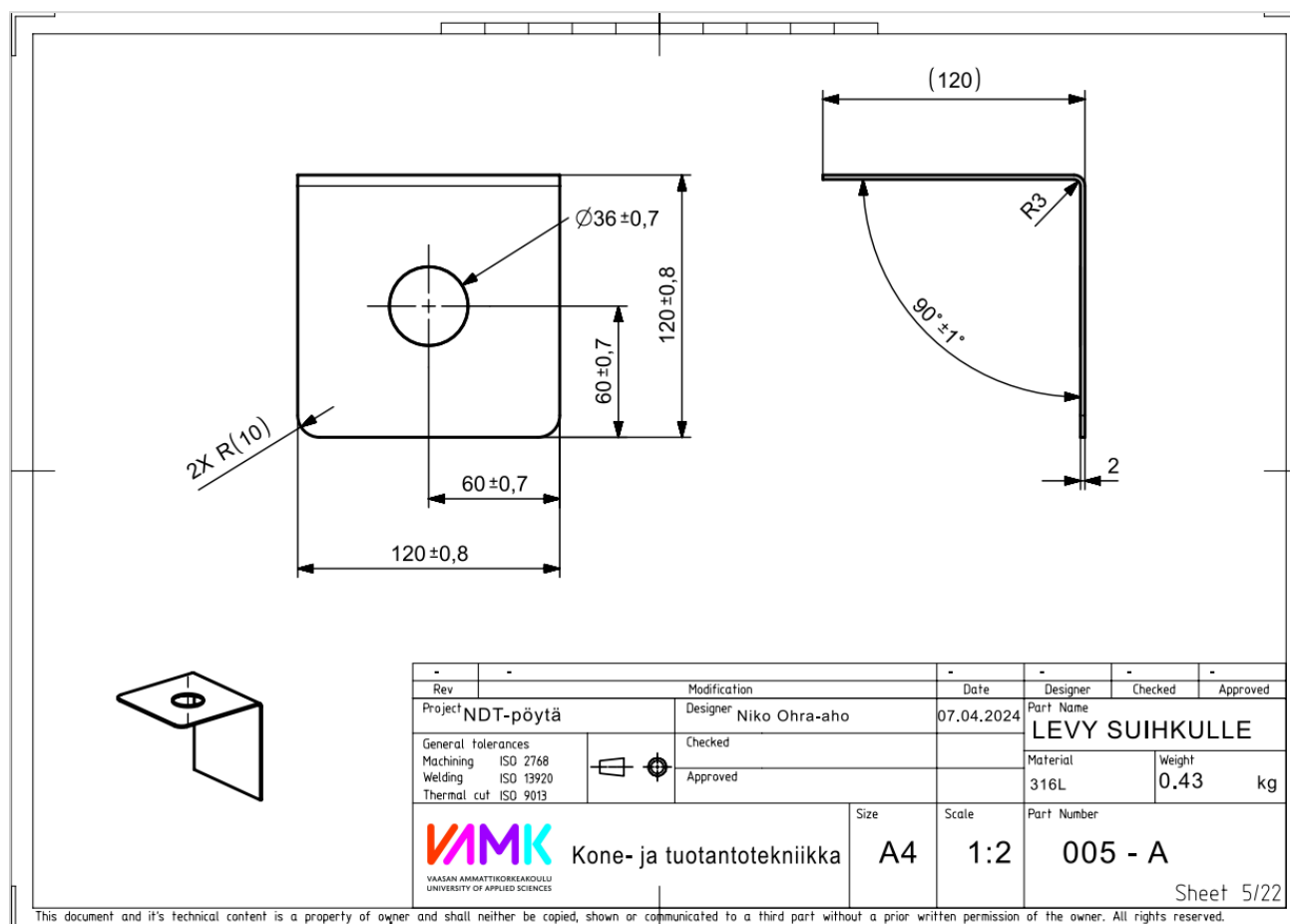
This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

LIITE 6  
LEVY SUIHKULLE OIKAISTU PITUUS

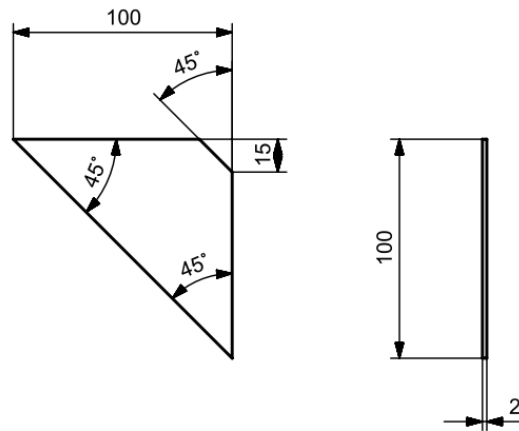




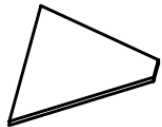
LIITE 7  
LEVY SUIHKULLE



LIITE 8  
TUKIKOLMIO

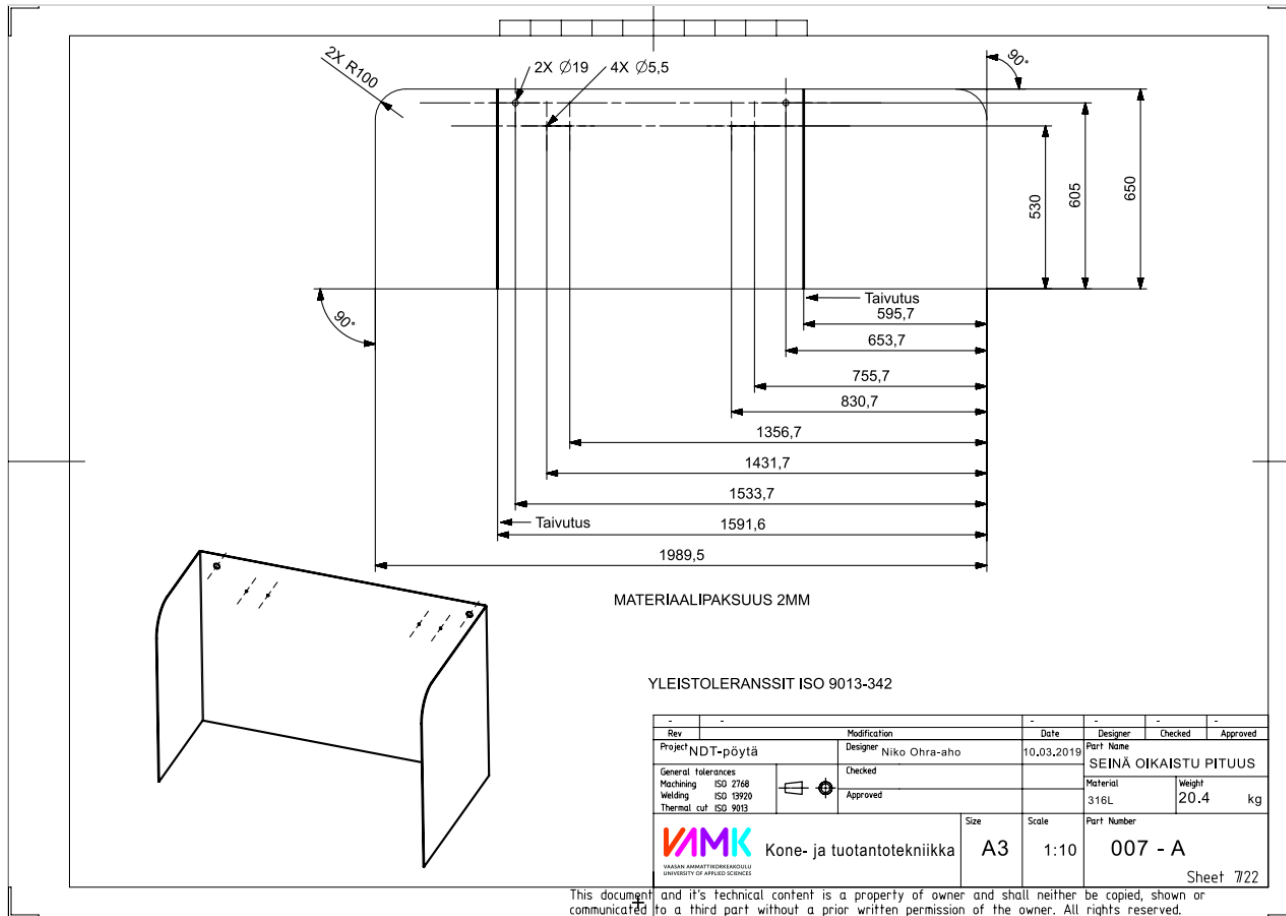



YLEISTOLERANSSIT ISO 9013-342



Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
-	-	-	-	-	-
Project	Designer	Date	Part Name		
NDT-pöytä	Niko Ohra-aho	07.04.2024	TUKILEVY		
General tolerances		Checked	Material	Weight	
Machining	ISO 2768		316L	0.08 kg	
Welding	ISO 13920			Approved	
Thermal cut	ISO 9013			Part Number	
VAMK Kone- ja tuotantotekniikka <small>VAAKAN AMMATTIKORKEAKOULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</small>		Size	Scale	Part Number	
		A4	1:2	006 - A	
Sheet 6/22					

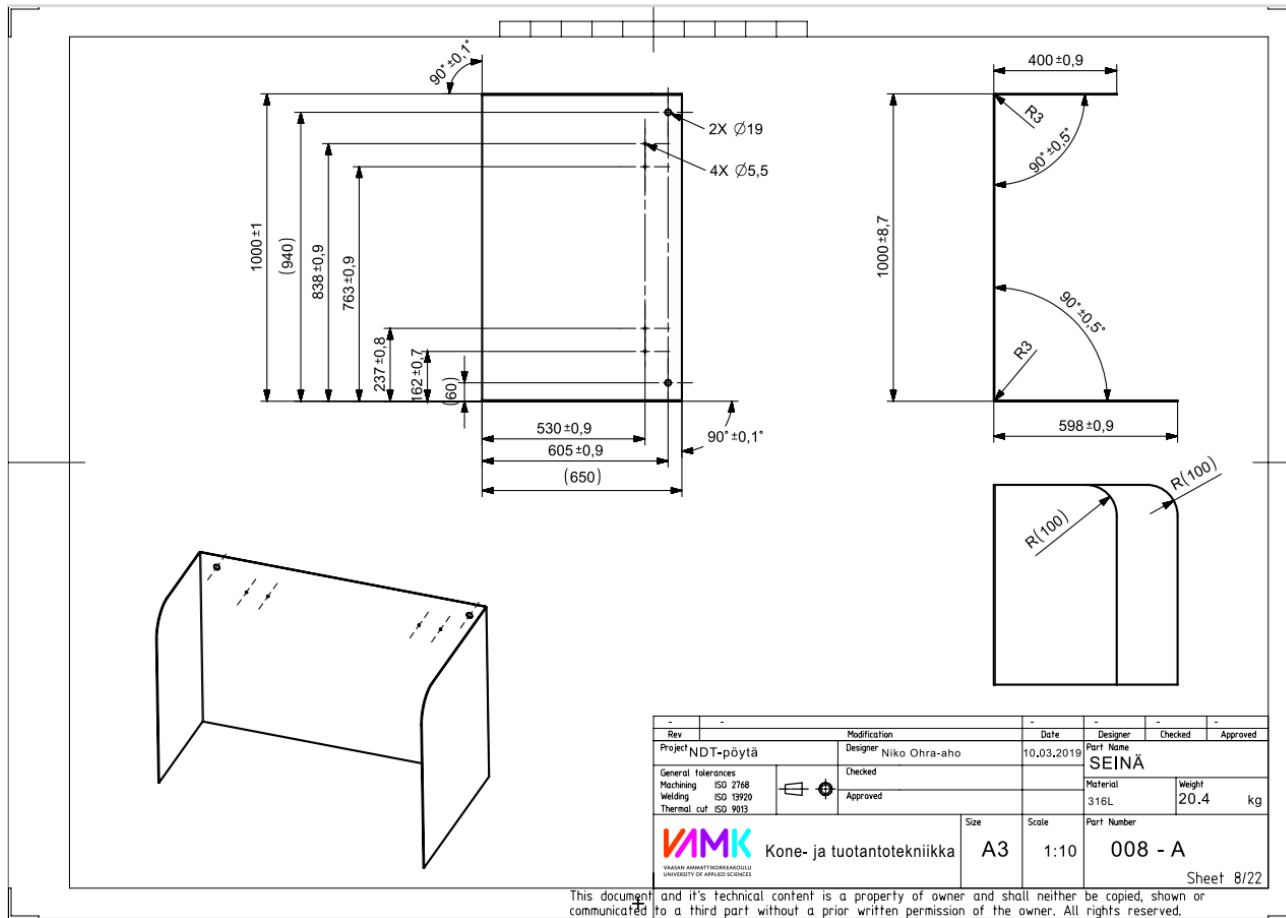
LIITE 9  
SEINÄ OIKAISTU PITUUS



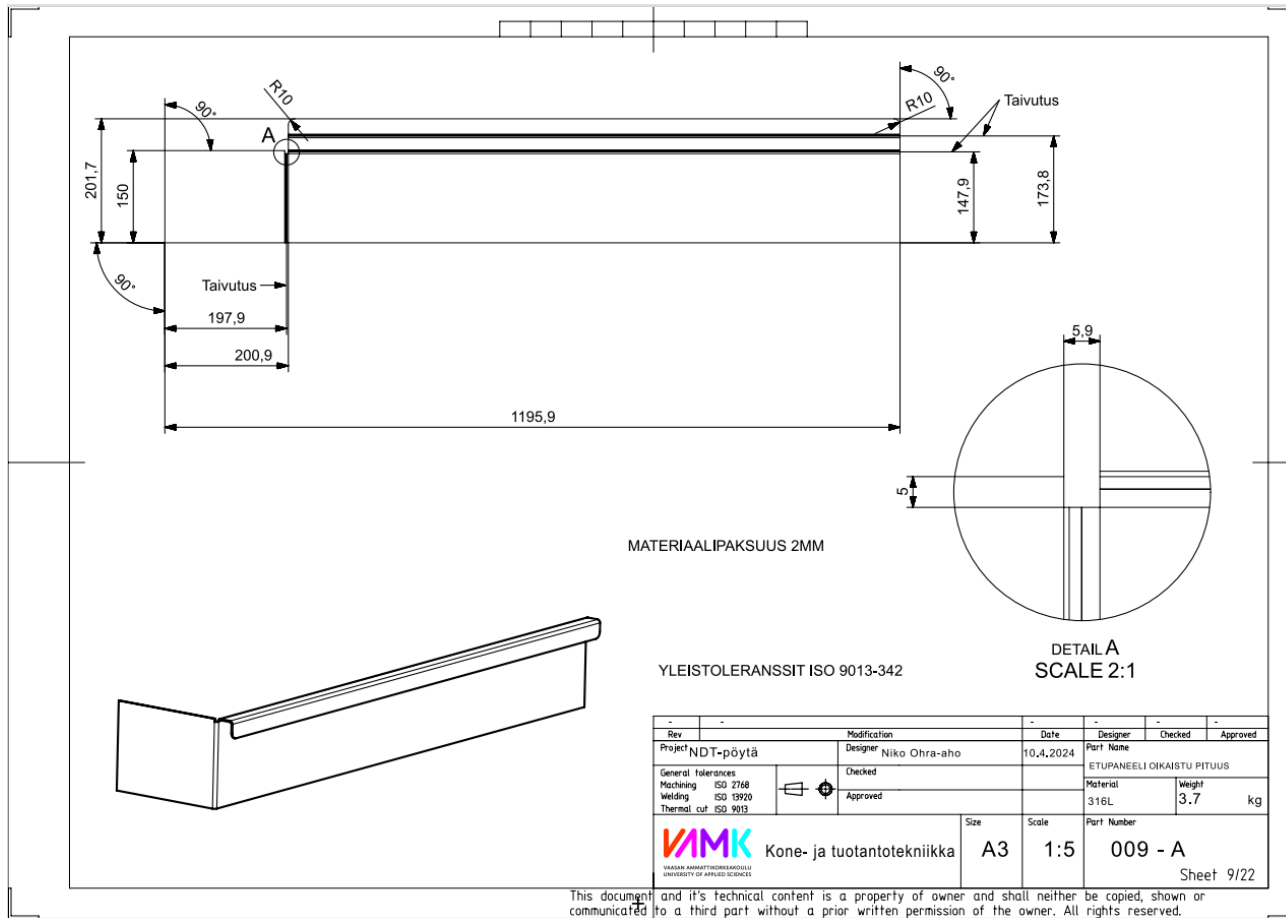
Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved	
-	-	-	-	-	-	
Project	NDT-pöytä	Designer	Niko Ohra-aho	10,03,2019	Part Name	SEINÄ OIKAISTU PITUUS
General Tolerances	ISO 2768	Checked			Material	316L
Machining	ISO 1920	Approved			Weight	20,4 kg
Welding	ISO 9013				Part Number	007 - A
Thermal cut	ISO 9013				Size	A3
 VAMK Kone- ja tuotantotekniikka VAASAN AMMATTITEKNIKKOPIIKKO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		Scale	1:10	Sheet	7/22	

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

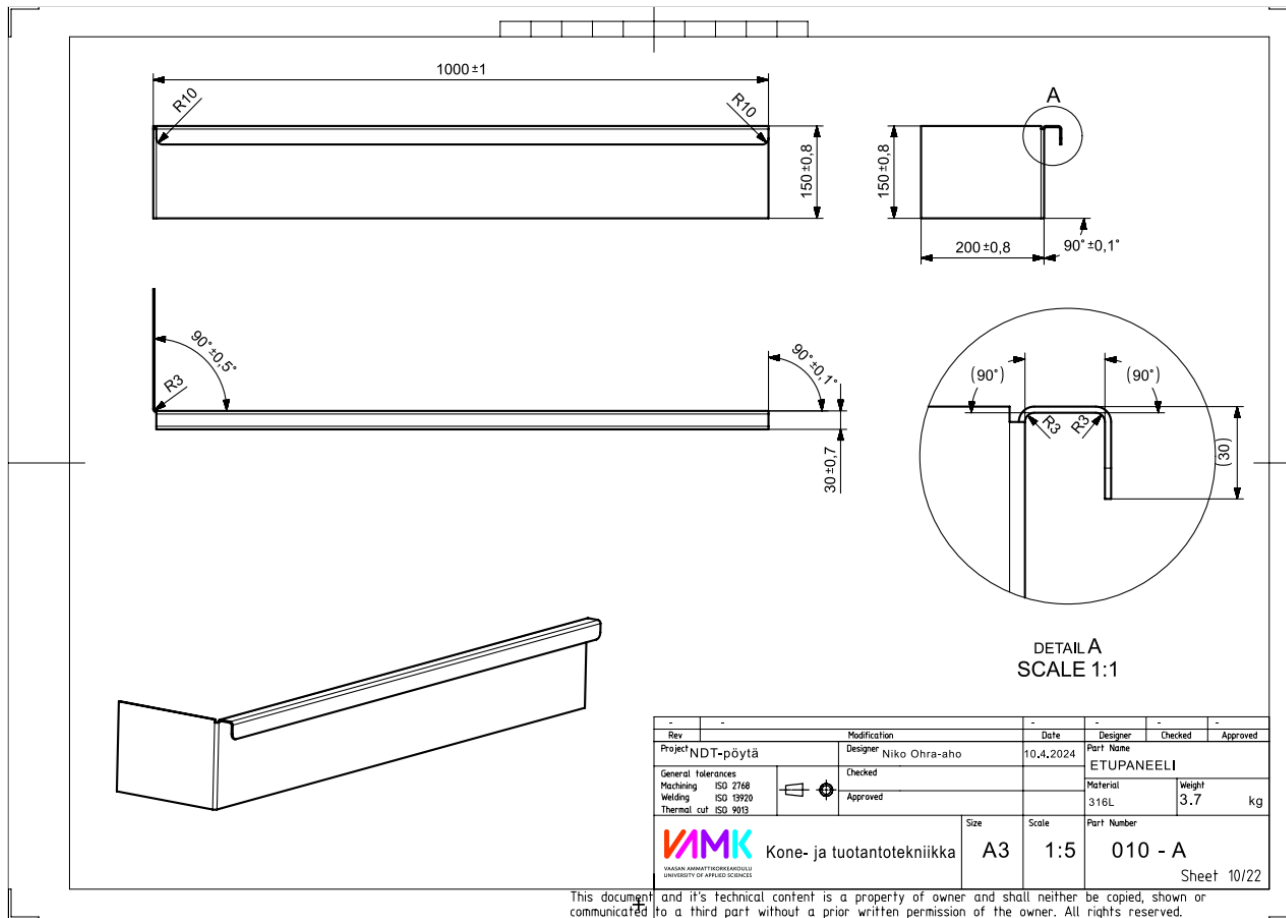
LIITE 10  
SEINÄ



**LIITE 11**  
**ETUPANEELI OIKAISTU PITUUS**



LIITE 12  
ETUPANEELI



LIITE 13  
 HUUVA OIKAISTU PITUUS

TAIVUTUS

49,9

90°

Ø126

90°

172,9

297,9

498

996

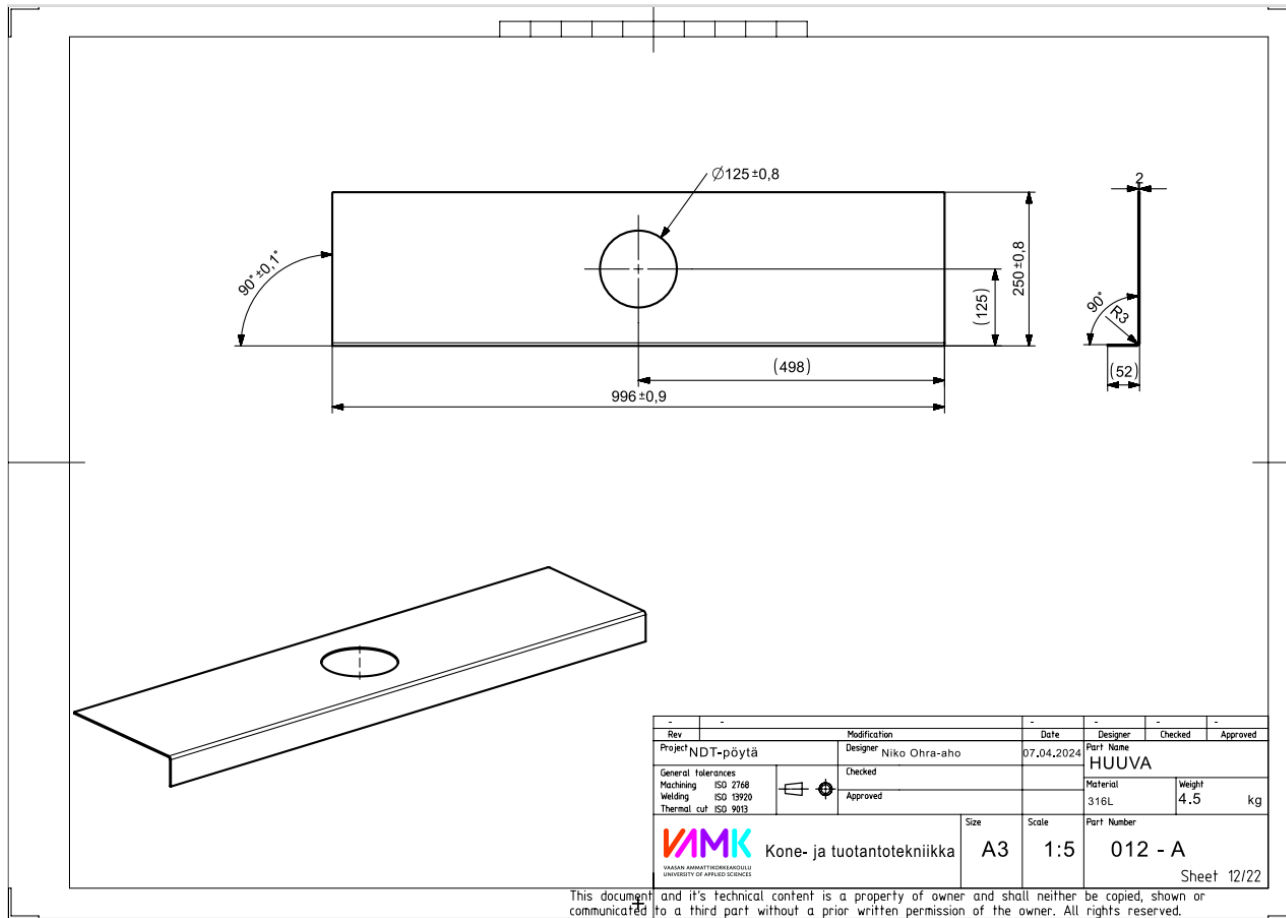
MATERIAALIPAKSUUS 2 MM

YLEISTOLERANSSIT ISO 9013-342

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
-	-	-	-	-	-
Project	NDT-pöytä	Designer	Niko Ohra-aho	10.04.2024	Part Name
General tolerances			Checked	Huuva oikaistu pituus	
Machining	ISO 2768		Approved	Material	Weight
Welding	ISO 13920		316L	4.5	kg
Thermal cut	ISO 9013				
VAMK Kone- ja tuotantotekniikka VAASAN AMMATTIOPISTO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES			Size	Scale	Part Number
			A4	1:10	011 - A
					Sheet 11/22

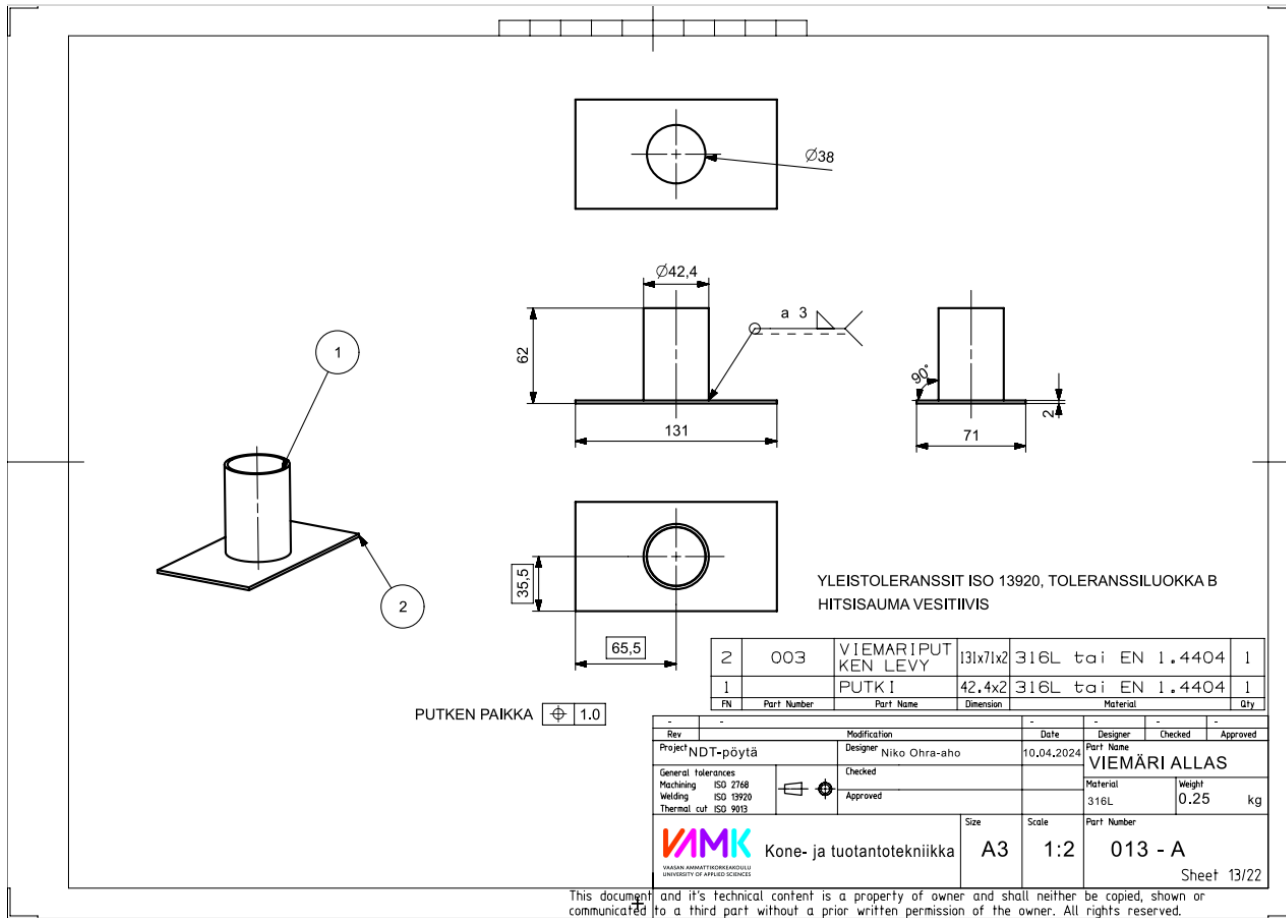
This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

LIITE 14  
HUUVA





LIITE 15  
VIEMÄRI ALLAS



LIITE 16  
SUIHKUKIINNIKE

120  
110  
10  
a 3 / 1 x 35 (25)  
a 3 / 1 x 35 (25)  
0.2  
18  
90°  
90°  
a 3 / 1 x 35 (25)  
a 3 / 1 x 35 (25)

YLEISTOLERANSSIT ISO 13920, TOLERANSSILUOKKA B

2	006	TUKIKOLMIO	316L tai EN 1.4404	2
1	005	LEVY SUIHKULLE	316L tai EN 1.4404	1
FN	Part Number	Part Name	Material	Qty

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
1		10,04,2024	Niko Ohra-aho		

General tolerances	ISO 2768	 	Part Name	Weight
Machining	ISO 1920		SUIHKUKIINNIKE	0.6
Welding	ISO 9013		Material	kg
 VAMK Kone- ja tuotantotekniikka		Size	Scale	Part Number
		A3	1:2	014 - A

Sheet 14/22

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

LIITE 17  
ALLASKEHIKKO

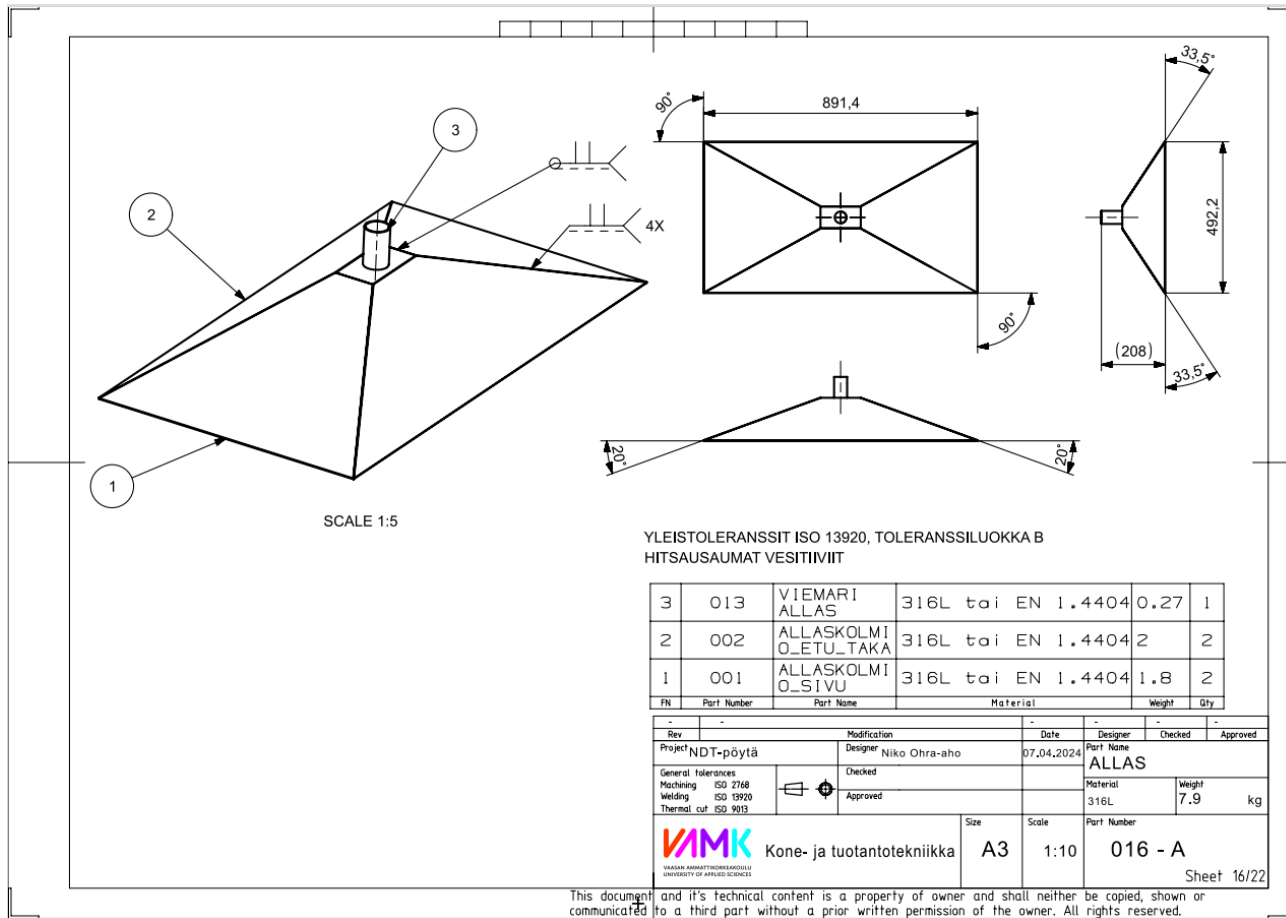
ISO 13920, TOLERANSSILUOKKA B  
HITSISAUMAT VESITIIVIIT

1	Putki 60x40	60x40x2	316L tai EN 1.4404
FN	Part name	Dimension	Material

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved		
-	-	-	-	-	-		
Project	NDT-pöytä	Designer	Niko Ohra-aho	07,04,2024	Part Name	Allaskehikko	
General tolerances		Checked			Material	316L	
Machining	ISO 2768	Approved			Weight	8.8 kg	
Welding	ISO 13920						
Thermal cut	ISO 9013						
VAMK Kone- ja tuotantotekniikka <small>VAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</small>		Size	A3	Scale	1:10	Part Number	015 - A
						Sheet	15/22

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

LIITE 18  
ALLAS



LIITE 19  
ALLAS-ALLASKEHIKKO

YLEISTOLERANSSIT ISO 13920, TOLERANSSILUOKKA B JA E  
HITSISAUMA VESITIIVIS

2	016	ALLAS	316L tai EN 1.4404
1	015	ALLASKEHIKKO	316L tai EN 1.4404
FN	Part Number	Part Name	Material

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
	Project: NDT-pöytä	10,04,2024	Niko Ohra-aho		
	Checked				Part Name
	Approved				ALLAS-ALLASKEHIKKO
General Tolerances			Material		
Machining	ISO 2768		316L	Weight	16,6 kg
Welding	ISO 13920				
Thermal cut	ISO 9013				
VAMK Kone- ja tuotantotekniikka VAASKAN AMMATTITEKNIIKKAKOULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		Size	Scale	Part Number	
		A3	1:10	017 - A	
Sheet 17/22					

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

LIITE 20  
RUNKO

Technical drawing of a frame (RUNKO) showing front, side, and perspective views with dimensions and a detail view.

Dimensions: 990, 910, 900, 100, 90°, 90°, (690), (400), 590, 470, a 3, 4X, 40, 60, 10, 5, 90°, 90°, A.

DETAIL A  
SCALE 1:2

YLEISTOLERANSSIT ISO 13920, TOLERANSSILUOKKA B

FN	Part Name	Dimension	Material	Qty
2	PUTKI 30x30	30x30x2	316L tai EN 1.4404	2
1	PUTKI 60x40	60x40x2	316L tai EN 1.4404	6

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved	
-	-	-	-	-	-	
Project	NDT-pöytä	Designer	Niko Ohra-aho	10,04,2024	Part Name	RUNKO
General tolerances	ISO 2768	Checked			Material	316L
Machining	ISO 13920	Approved			Weight	17.6 kg
Welding	ISO 9013				Size	A3
Thermal cut					Scale	1:10
VAMK Kone- ja tuotantotekniikka			Part Number	018 - A		
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES			Sheet 18/22			

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

LIITE 21  
**RUNKO-ALLAS-ALLASKEHIKKO**

590

990

90°

90°

1

2

a-a 3 4X

5

5

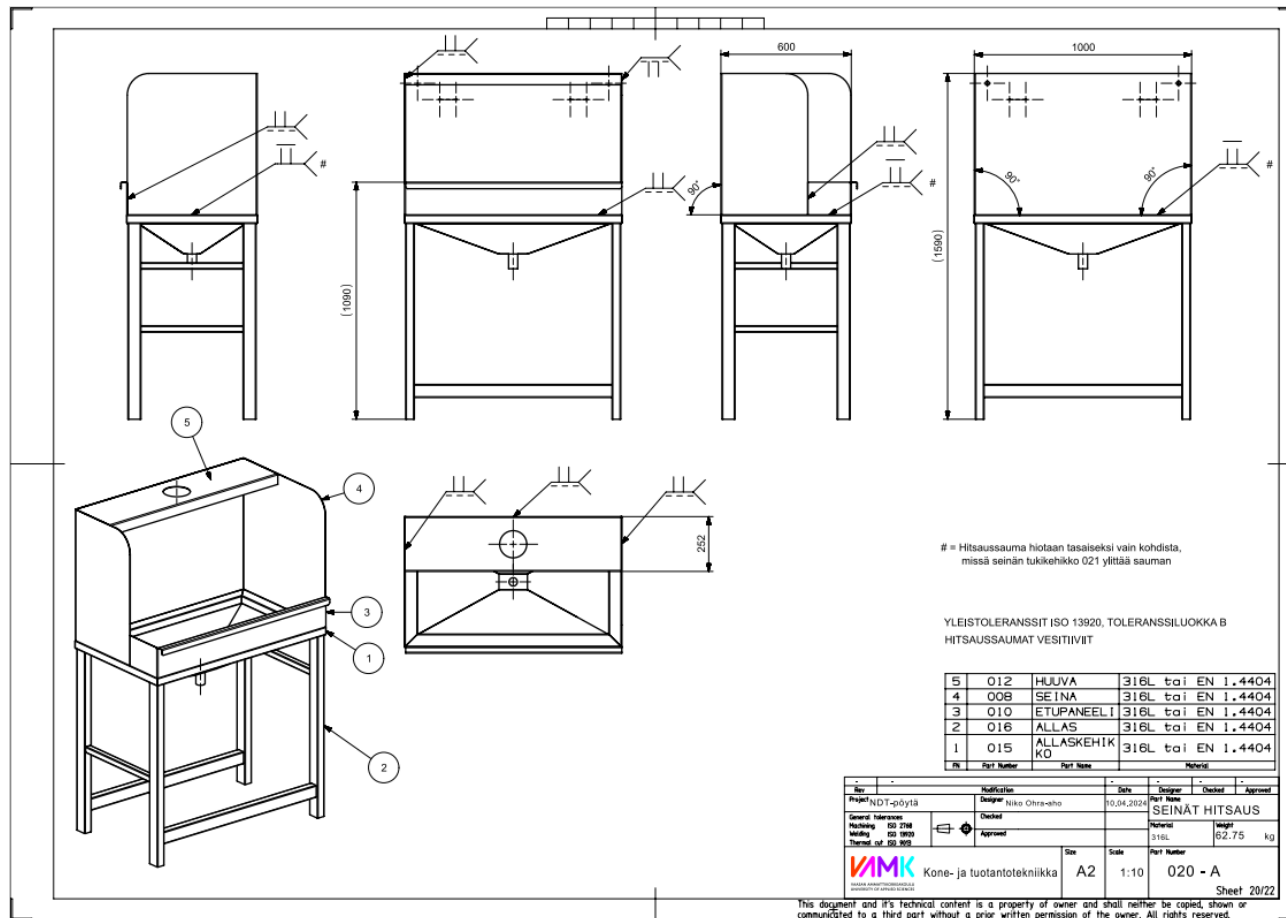
DETAIL A  
SCALE 1:2

2	018	RUNKO	316L tai EN 1.4404
1	017	ALLAS-ALLASKEHIKKO	316L tai EN 1.4404
FN	Part Number	Part Name	Material

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
-	-	-	-	-	-
Project: NDT-pöytä		10,04,2024	Designer: Niko Ohra-aho	Part Name: RUNKO-ALLAS-ALLASKEHIKKO	
General Tolerances: ISO 2768			Checked	Material: 316L	Weight: 34,22 kg
Machining: ISO 2768			Approved	Part Number: 019 - A	
Welding: ISO 15920					
Thermal cut: ISO 9913					
<b>VAMK</b> Kone- ja tuotantotekniikka <small>VAASAN AMMATTIOPISTO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</small>		Size: A3	Scale: 1:10	Sheet 19/22	

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

## LIITE 22 SEINÄT HITSAUS





LIITE 23  
TUKIKEHIKKO

Technical drawing of a support frame (TUKIKEHIKKO) showing front, side, and perspective views with dimensions and welding symbols.

Dimensions:  
 - Front view: Total height 600, inner height 400, width 480.  
 - Side view: Total height 540, inner height 400, width 1000.  
 - Perspective view: Shows a frame with a 45-degree angle and 90-degree corners.

Welding symbols: # = Ei hitsaussaamaa sisäpuolen saamaan, joka tulee seinää vasten.

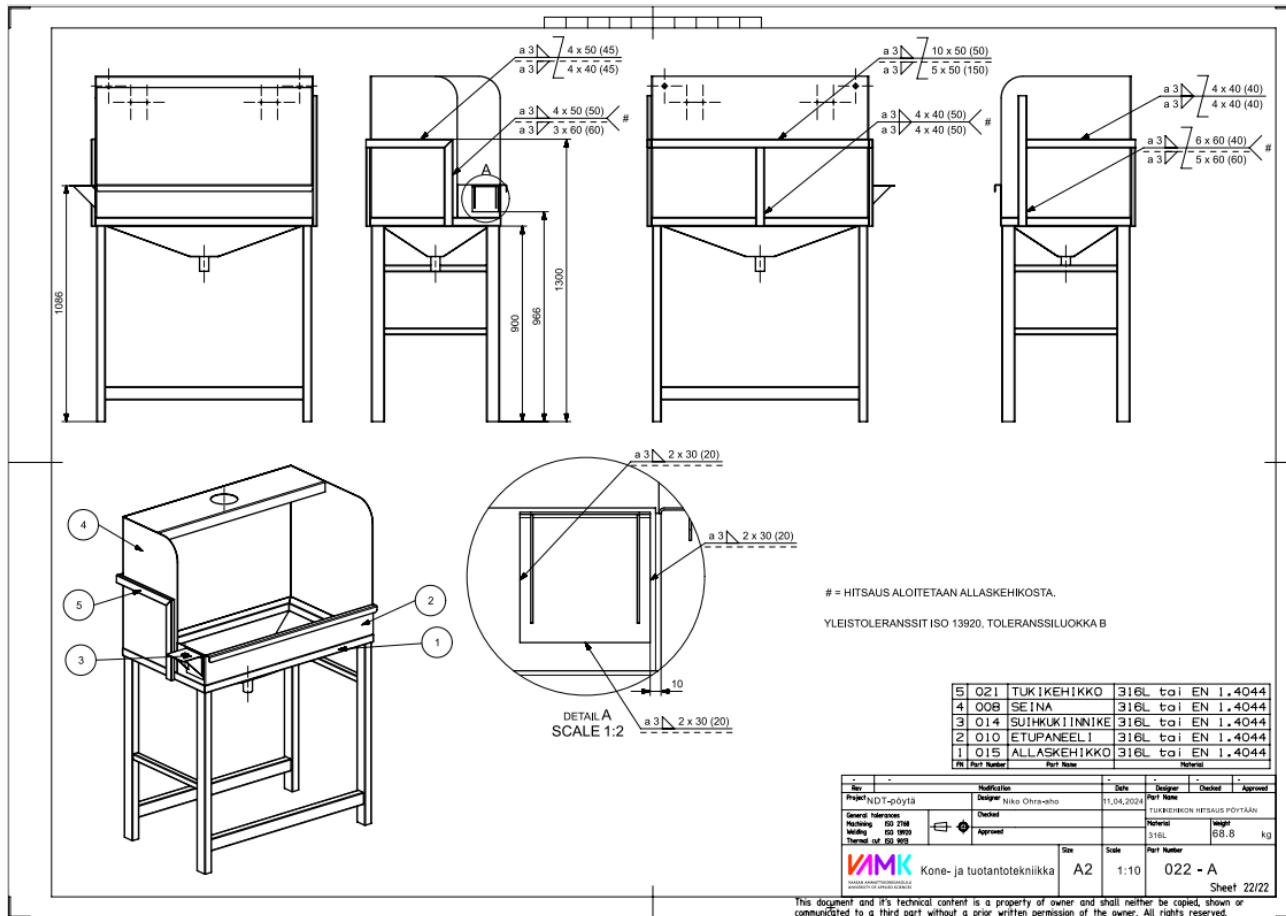
YLEISTOLERANSSIT ISO 13920, TOLERANSSILUOKKA B

1	PUTKI 40x20	40x20x2	316L tai EN 1.4404	6
FN	Part Name	Dimension	Material	Qty

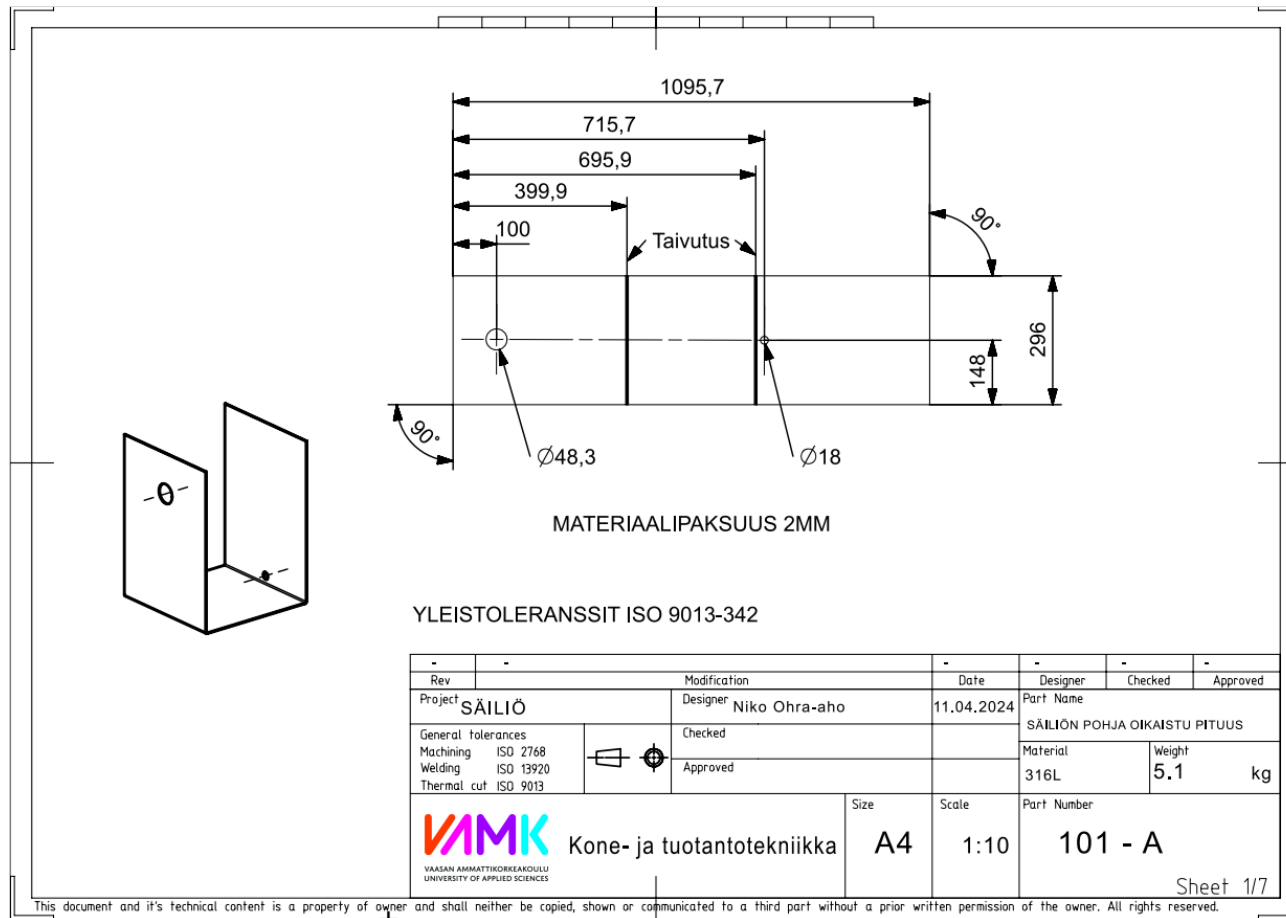
Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
Project	NDT-pöytä	11,04,2024	Niko Ohra-aho		
General tolerances	Checked		Part Name TUKIKEHIKKO		
Machining ISO 2768	Approved		Material	Weight	
Welding ISO 13920			316L	5.4	kg
Thermal cut ISO 9013					
Size		Scale	Part Number		
A3		1:10	021 - A		
Sheet 21/22					

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.

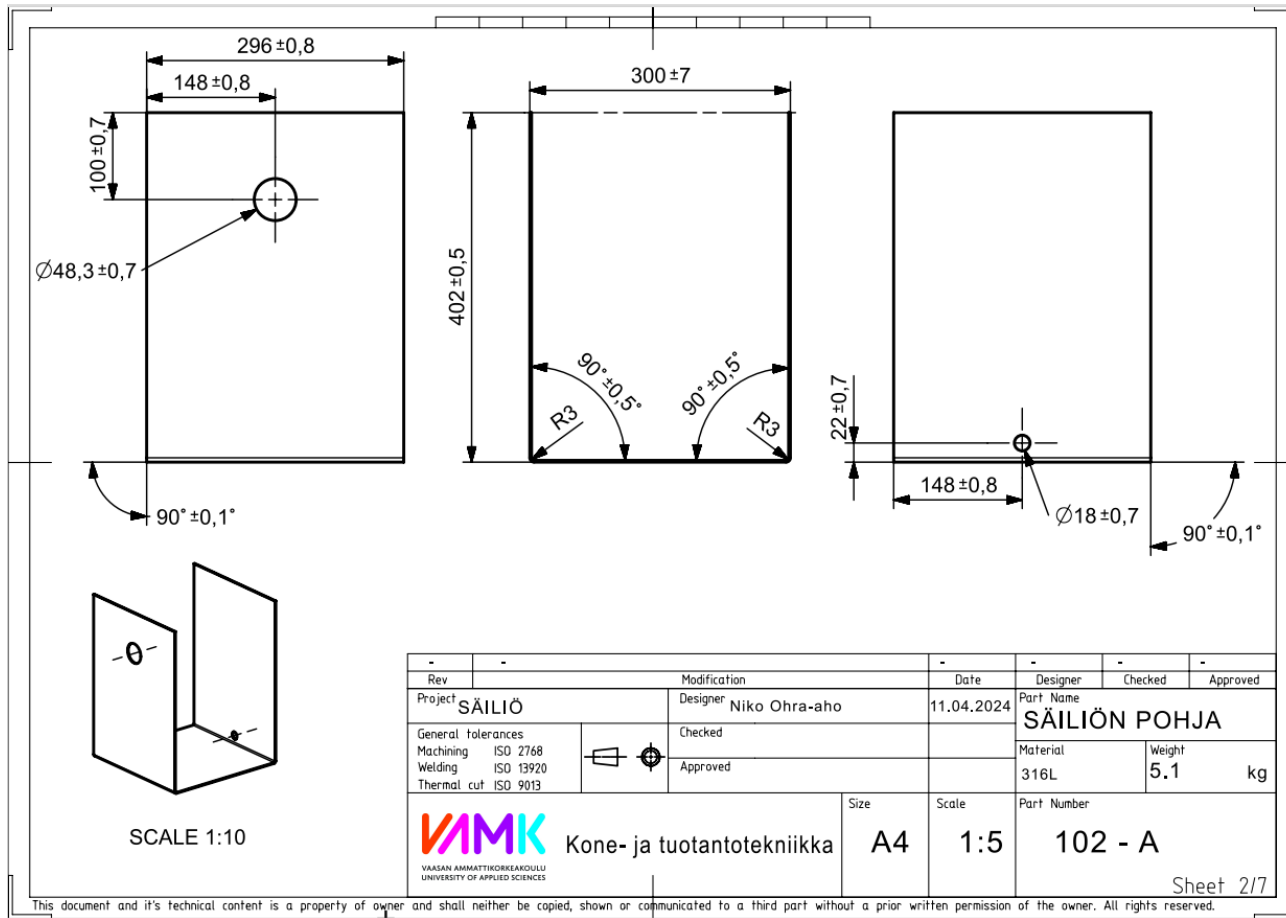
LIITE 24  
 TUKIKEHIKON HITSAUS PÖYTÄÄN



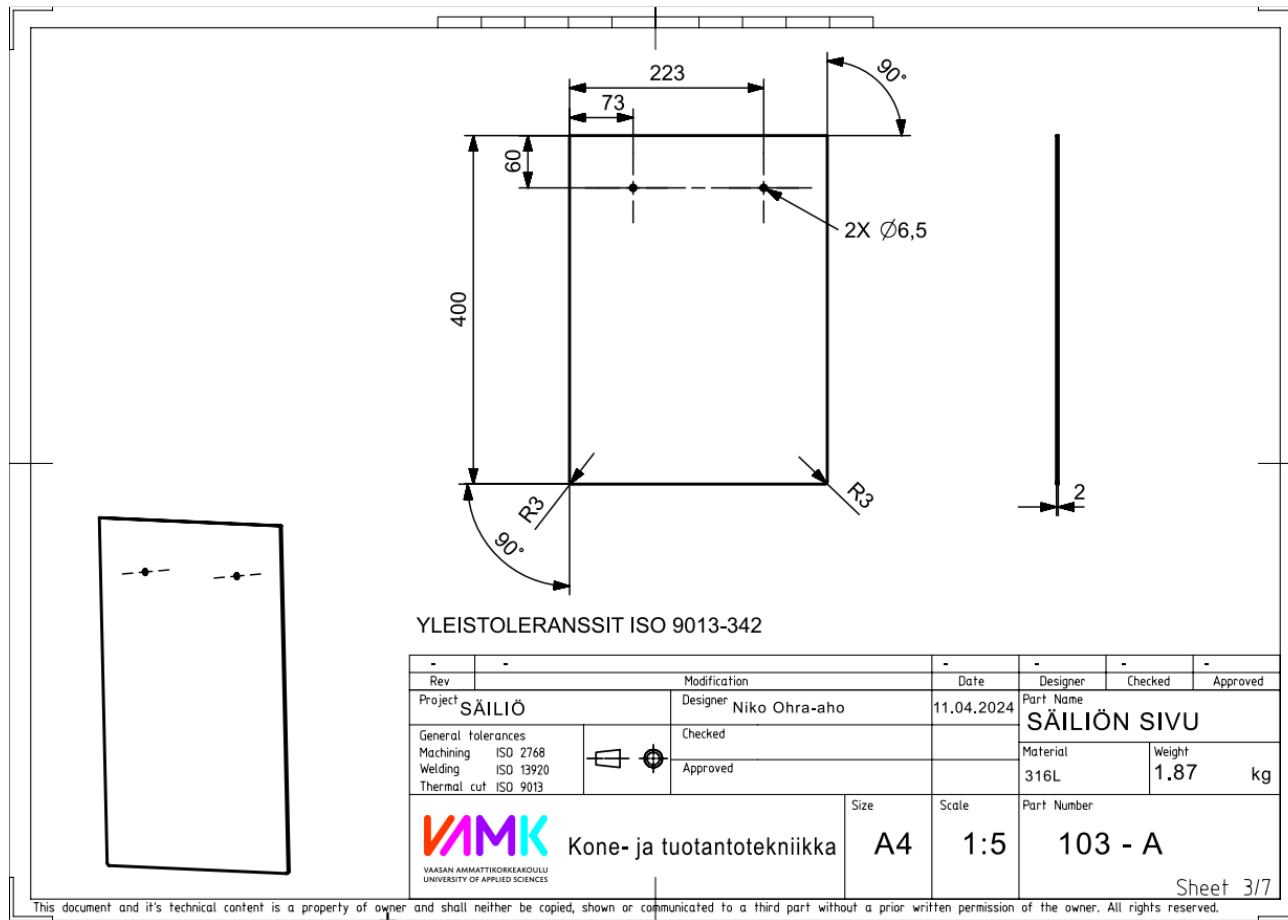
LIITE 25  
SÄILIÖN POHJA OIKAISTU PITUUS



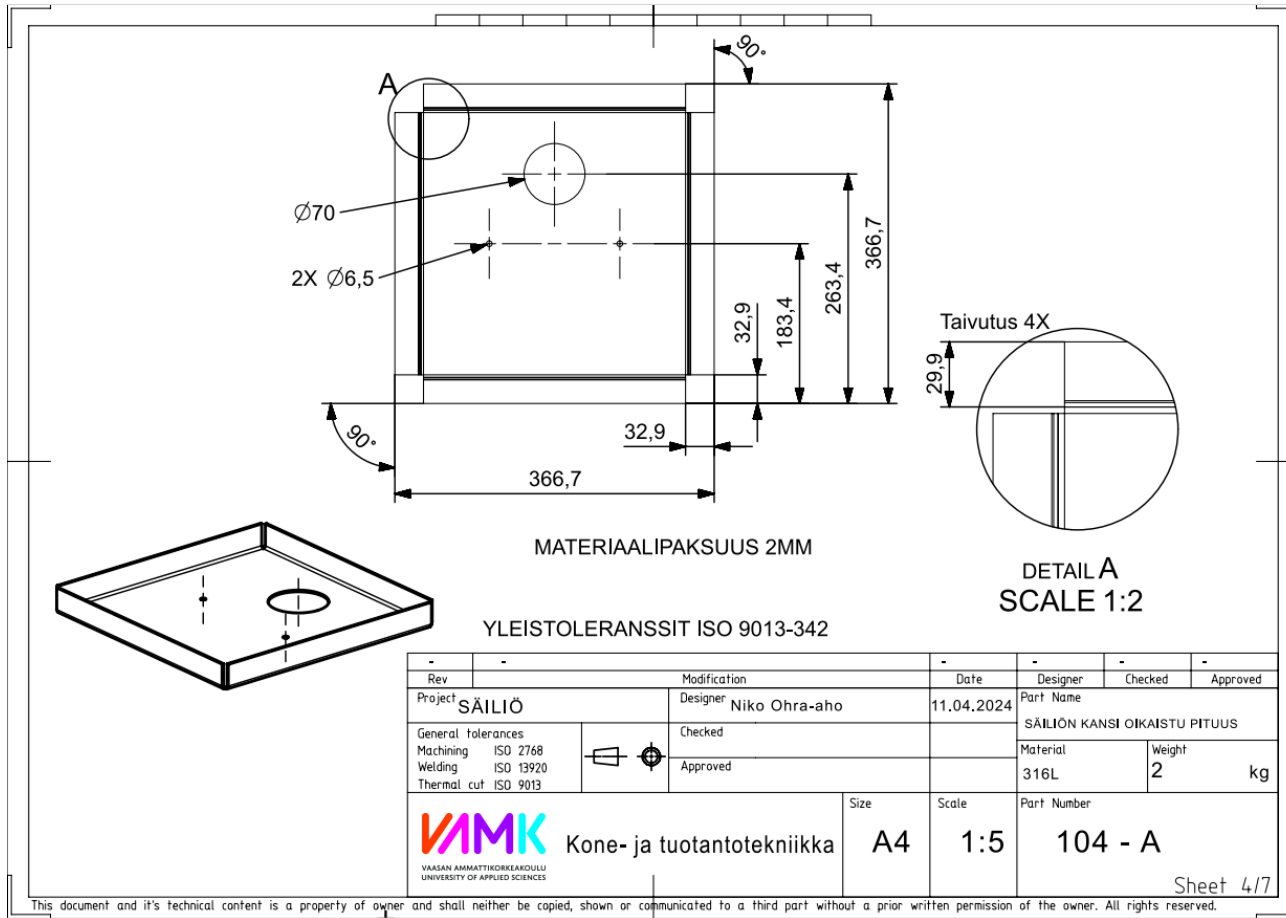
LIITE 26  
SÄILIÖN POHJA



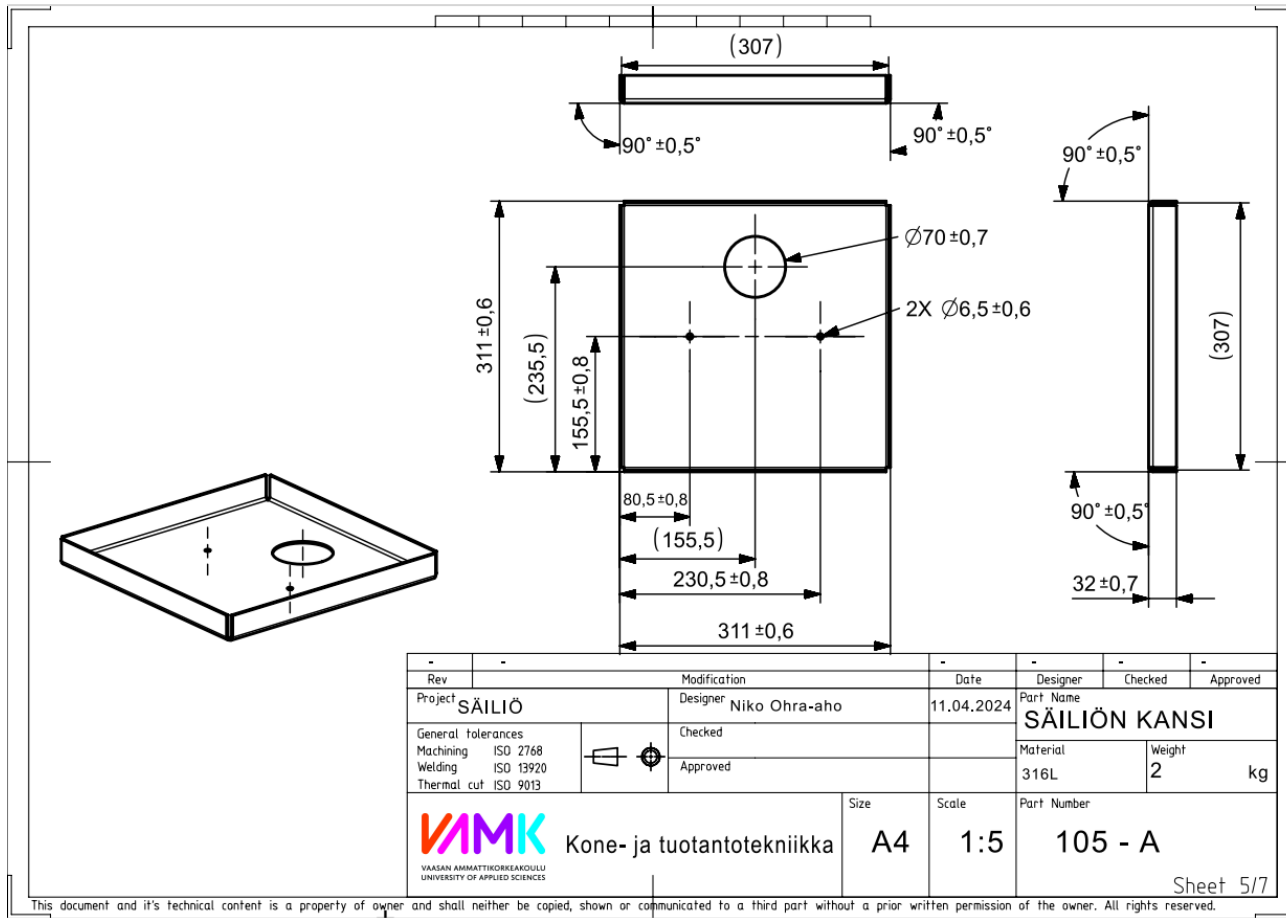
LIITE 27  
SÄILIÖN SIVU



LIITE 28  
SÄILIÖN KANSI OIKAISTU PITUUS



LIITE 29  
SÄILIÖN KANSI



LIITE 30  
 ÖLJYNEROTUSPUTKI

(226,6)  
 130  
 Ø48,3  
 R72,4 1,5xD  
 90°  
 130  
 (226,6)

YLEISTOLERANSSIT ISO 13920, TOLERANSSILUOKKA B  
 HITSAUSSAUMAT VESITIIVIIT

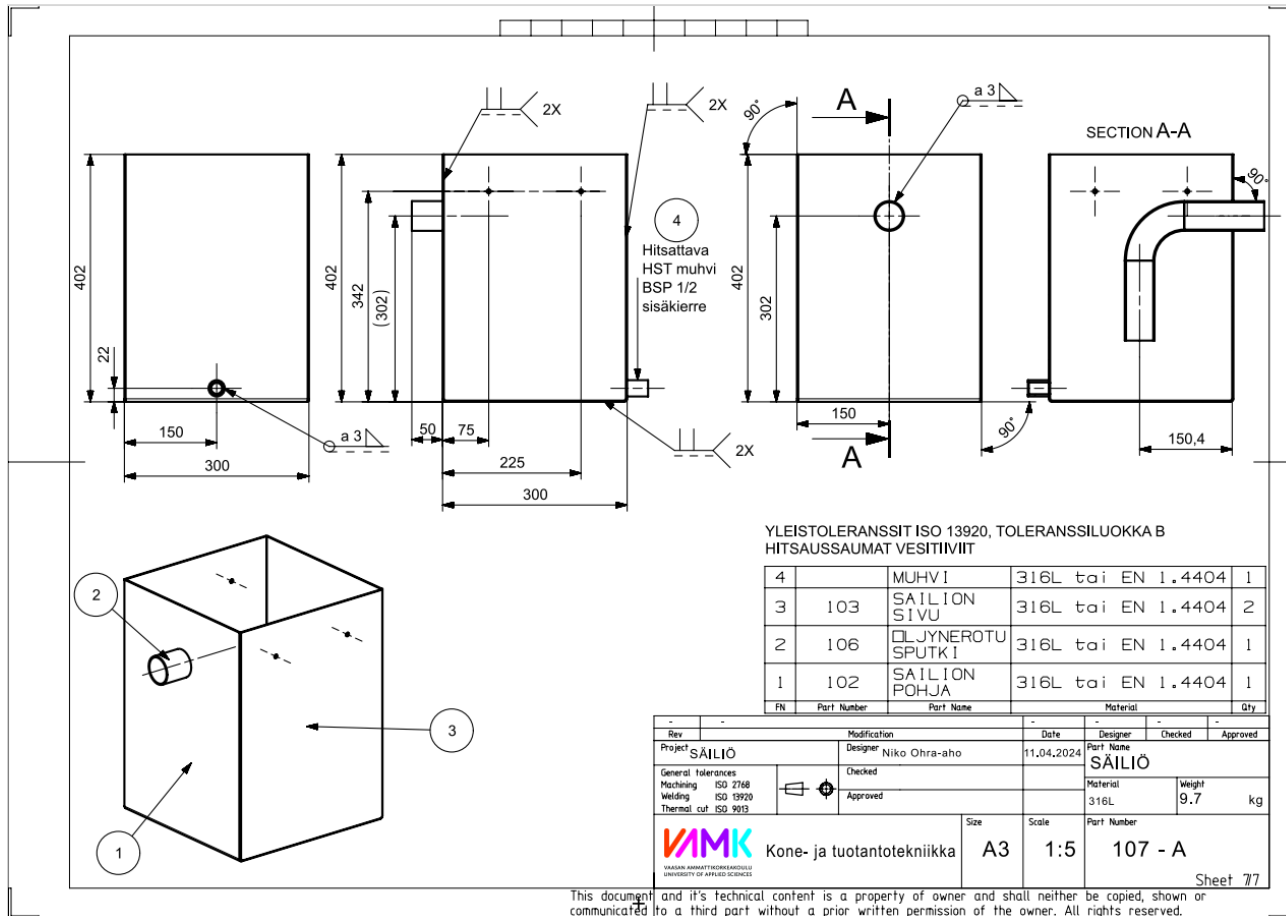
2	KAYRAJATKE PUTKI	48,3x2	316L tai EN 1.4404	2
1	KAYRA	48,3x2	316L tai EN 1.4404	1
FN	Part Name	Dimension	Material	Qty

Rev	Modification	Date	Designer	Checked	Approved
Project	SÄILIO	Designer	Niko Ohra-aho	11,04,2024	Part Name
General Tolerances	Checked	OLJYNEROTUSPUTKI			
Machining ISO 2768	Approved	Material	Weight	kg	
Welding ISO 13920		316L	0.86		
Thermal cut ISO 9013		Size	Scale	Part Number	
VAMK Kone- ja tuotantotekniikka <small>VAMKIN AMMATTITEKNIIKKAKOULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</small>		A3	1:2	106 - A	
Sheet 6/7					

This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.



LIITE 31  
SÄILIÖ



This document and its technical content is a property of owner and shall neither be copied, shown or communicated to a third part without a prior written permission of the owner. All rights reserved.