

# Hitsauspöytä harrastekäyttöön

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK) konetekniikan koulutus

2024

Petri Kettunen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Petri Kettunen	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 37	Valmistumisaika 2024
Työn nimi <b>Hitsauspöytä harrastekäyttöön</b>		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja)		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa hitsauspöytä omaan harrastekäyttöön kustannustehokkaasti nykyaikaisia leikkaustekniikoita käyttäen. Hitsauspöydän suunnittelussa hyödynnettiin omia käyttökokemuksia erilaisista hitsauspöydistä sekä tutkittiin kaupallisten tuotteiden ominaisuuksia.</p> <p>Opinnäytetyössä vertailtiin erilaisia leikkaus- ja hitsausmenetelmiä ja niiden soveltuvuutta hitsauspöydän valmistukseen sekä niiden vaikutusta hitsauspöydän mittatarkkuuteen. Erilaisilla mittauksilla pystyttiin toteamaan vaadittu mittatarkkuus, joka hitsauspöydälle oli asetettu.</p> <p>Hitsauspöytä valmistui suunnitellussa aikataulussa eikä valmistuksessa ilmennyt suuria ongelmia. Hitsauspöydän valmistuskustannukset jäivät huomattavasti pienemmiksi, mitä teollisesti valmistettu hitsauspöytä olisi maksanut. Vaikuttavana tekijänä oli, että valmistuskustannuksiin ei laskettu omia työtunteja, koska hitsauspöytä tuli omaan harrastekäyttöön.</p>		
Asiasanat hitsauspöytä, hitsaus, laserleikkaus		

## Abstract

Author(s)	Type of Publication	Published
Petri Kettunen	Thesis, UAS	2024
	Number of Pages	
	37	
Title of Publication		
<b>Welding table for recreational use</b>		
Degree, Field of Study		
e.g. Bachelor of Engineering (UAS), Mechanical Engineering		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party)		
Abstract		
<p>The aim of the thesis was to design and manufacture a welding table for personal recreational use. The goal was to find a cost-effective system using modern cutting techniques. Welding table design was based on the author's own experience, studying different types of welding tables and exploring similar commercial products.</p> <p>The thesis compared different cutting and welding methods and usability. The purpose of the study was to make the measurement accuracy of the table as high as possible. Measurements were carried out to guarantee the accuracy of the welding table.</p> <p>The welding table was completed on schedule and no major problems were not observed. The cost of self-made welding table was significantly lower than an industrially manufactured welding table. Manufacturing costs did not include any hours of own work, as the aim is to produce table for personal recreational purposes.</p>		
Keywords		
welding table, welding, laser cutting		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Hitsauspöydät.....	2
2.1	Reikäpöytä .....	2
2.2	T-urapöytä.....	2
3	Valmistustekniikat.....	4
3.1	Leikkausmenetelmät.....	4
3.1.1	Polttoleikkaus .....	4
3.1.2	Plasmaleikkaus.....	5
3.1.3	Laserleikkaus .....	6
3.1.4	Vesisuihkuleikkaus .....	8
3.1.5	Suuntaleikkaus ja lävistys.....	10
3.1.6	Poraus ja jyrshintä .....	11
3.1.7	Särmäys .....	11
3.2	Hitsausprosessit.....	12
3.2.1	Puikkohitsaus MMA/SMAW .....	13
3.2.2	MIG-/MAG-hitsaus.....	14
3.2.3	TIG-hitsaus.....	17
4	Valmistusmateriaalit.....	20
4.1	Kuumavalssatut rakenneteräkset.....	20
4.2	Kulutusteräkset.....	22
4.3	Ruostumattomat teräkset .....	22
5	Hitsauspöydän suunnittelu ja materiaalin valinta.....	24
5.1	Hitsauspöydän vaatimukset.....	24
5.2	Suunnittelu .....	24
5.3	Materiaalin valinta .....	25
5.4	Leikkausmenetelmän valinta .....	26
5.5	Hitsausmenetelmän valinta.....	26
6	Toteutus .....	27
6.1	Materiaalien hankinta .....	27
6.2	Hitsauspöydän kokoaminen.....	27
6.3	Mittatarkkuuden toteaminen .....	32
6.4	Valmistuskustannukset.....	35
6.5	Jatkokehittäminen .....	35
7	Yhteenveto ja pohdinta .....	36

Lähteet .....	37
---------------	----

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja valmistaa hitsauspöytä omaan harrastekäyttöön. Hitsauspöydän vaatimuksena on valmistettavien tuotteitten helppo mitoittaminen, pöydän muunneltavuus ja monikäyttöisyys, koska hitsauspöytää tullaan käyttämään myös muussa kuin hitsaustarkoituksessa. Lisäksi hitsauspöydän täytyy olla riittävän vankkarakenteinen, jotta se kestävä kovaa käyttöä useita vuosikymmeniä.

Hitsauspöydän valmistukseen käytettävä materiaali tulee olemaan teräs ja materiaalien täytyy olla helposti hankittavissa. Mittatarkkuus ei saa poiketa liikaa, jotta pintojen koneistuksilta vältytään. Valmistuskustannuksiltaan hitsauspöydän on oltava edullisempi kuin teollisesti valmistetut hitsauspöydät.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi erilaisia hitsauspöytämalleja ja valmistusmenetelmiä kuten leikkaustekniikoita ja hitsausprosesseja. Samalla tutkitaan hitsauspöytään soveltuvia materiaaleja, rakenteen suunnittelua ja toteutusta sekä materiaalikustannuksia.

## 2 Hitsauspöydät

### 2.1 Reikäpöytä

Reikäpöydän (Kuva 1) työpinta koostuu levystä, johon on koneistettu säännöllisen välein reikiä ruudukkomaisesti. Reikien koko on yleisesti 16 mm, 22 mm tai 28 mm. Reikiin pystytään liittämään helposti erilaisia kiinnitysjärjestelmiä. Reikäpöytää voidaan myös laajentaa erilaisten moduulien avulla, mikä mahdollistaa suuremman työalueen. Pöydän pinta on pinnoitettu hitsausroiskeiden kiinnijäämisen ehkäisemiseksi ja kulutuskestävyyden parantamiseksi. (Siegmund 2024.)



Kuva 1. Reikäpöytä (Siegmund 2024)

### 2.2 T-urapöytä

T-urapöydän työpinta on rakenteeltaan useilla rinnakkaisilla tai ristikkäisillä urilla toteutettu, jossa urat on valmistettu jyrsimällä. Hahlojen väli ja leveys voivat vaihdella suunnitellun pöydän käyttötarkoituksen mukaan, mutta yleinen väli on 100 mm. Urien ansiosta puristimien ja kiinnikkeiden käyttö ja sijoittaminen on helppoa mikä mahdollistaa helpon muunneltavuuden ja kappaleen tukevan kiinnityksen. Urapöydät soveltuvat hyvin tarkkuutta vaativiin töihin. Urapöydät ovat yleensä painavampia ja kalliimpia valmistaa kuin reikäpöytä. Kuvassa 2 on T-urapöytä, jossa on T-urien lisäksi reikiä kappaleitten kiinnitystä varten. (Siegmund 2024.)



Kuva 2. T-urapöytä (Siegmund 2024)

Urapöytä voidaan myös valmistaa H- tai T-profiilin palkista. Kuvassa 3 on urapöytä, joka on valmistettu useista vierekkäin olevista HEA-palkeista, uriin voidaan kiinnittää ruuvikiinnityksellä erilaisia vasteita ja puristimia.



Kuva 3. HEA-palkeista valmistettu urapöytä (Kuva: Petri Kettunen)

### 3 Valmistustekniikat

#### 3.1 Leikkausmenetelmät

##### Terminen leikkaaminen

Termisessä leikkauksessa leikattava metalli kuumennetaan pistemäisesti korkeaan lämpötilaan. Leikkaus tapahtuu, kun materiaali palaa, sulaa tai höyrystyy tai näiden prosessien yhdistelmänä, jonka lämmöntuonti aiheuttaa. Leikkausrailo pidetään puhtaana puhaltamalla siihen kaasua, joka poistaa leikkausjätteet tehokkaasti. Termisiä leikkausmenetelmiä ovat poltto-, plasma- ja laserleikkaus. (Matilainen ym. 2011,142.)

##### Mekaaninen leikkaaminen

Mekaanisessa leikkauksessa leikkaaminen suoritetaan erilaisilla terillä tai vesisuihkulla. Mekaaniset leikkausmenetelmät soveltuvat hyvin lähes kaikille materiaaleille, mutta on huomioitava materiaalien paksuus ja kovuus leikkausmenetelmää valittaessa. (Matilainen ym. 2011,169–170.)

##### 3.1.1 Polttoleikkaus

Polttoleikkaus on hyvin yleisesti käytetty metallin leikkaus menetelmä, jossa metallia leikataan kuumentamalla metalli syttymislämpötilaan ja polttamalla se pois leikkaushappisuihkulla, jolloin syntyy leikkausrailo. Tämä menetelmä soveltuu hyvin seostamattomien ja niukaseosteisten terästen leikkaamiseen, joiden paksuus on 5–250 mm ja leikkaustarkkuudet ovat yleisesti  $\pm 0,5 - \pm 1,0$  mm välillä. (Matilainen ym. 2011,143–144.) Leikkaaminen tapahtuu käyttämällä kaasuliekkiä, joka sisältää happea ja asetyleeniä. Asetyleenin sijasta voidaan myös käyttää nestekaasua, mutta tällöin kuumennusaika pitenee. Polttoleikkausta voidaan tehdä käsivaraisesti tai koneellisesti. (Lepola & Makkonen 2005, 244–245.)

Polttoleikattavan aineen tulee olla sellaista, että metalli palaa hapessa. Metallin syttymislämpötilan tulee olla suurempi kuin sulamislämpötilan ja metallin sulamispisteen pitää olla korkeampi kuin palamisessa syntyneiden oksidien sulamispiste. Seosaineet vaikuttavat terästen leikattavuuteen ja jossain tapauksissa levy vaatii esikuumennuksen ennen leikkaamista. Näin ollen polttoleikkaus ei sovellu kaikille metalleille, kuten ruostumattoman teräksen, kuparin, messingin ja alumiinin leikkaukseen. (Lepola & Makkonen 2005, 244–245.)

##### Polttoleikkauksen edut ja haitat

###### Edut

- pienet laiteinvestoinnit ja edullinen menetelmä

- soveltuu paksuille levyille
- leikkaustulos hyvä, jos leikkausparametrit on valittu oikein
- mahdollista tehdä leikkausta myös käsivaraisesti.

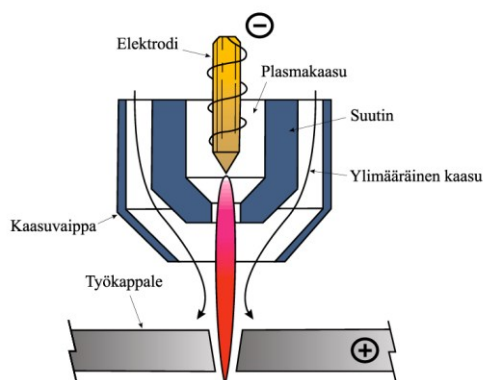
#### Haitat

- epätarkkuus muihin termisiin leikkausmenetelmiin verrattuna
- taipumat ja venymät työkappaleessa sekä laaja lämpövaikutusvyöhyke (HAZ)
- hidas leikkausnopeus ja levyn puhkaisunopeus
- ei sovellu pienille ja monimutkaisille leikkeille.

(Matilainen ym. 2011, 148.)

### 3.1.2 Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaus on sulaleikkausmenetelmä, jossa sähköisesti varattu plasmaa käytetään metallien, kuten teräksen, alumiinin ja ruostumattoman teräksen leikkaamiseen. Plasmaleikkausprosessi perustuu kuumen plasmasuihkun muodostamiseen, joka sulattaa ja poistaa leikkausalueen materiaalin erittäin korkeassa lämpötilassa. Lämpötila voi olla jopa yli 30 000 C° astetta. Plasmakaaren kuristaminen on tarpeellista riittävän leikkaustehon saavuttamiseksi. Pääasiassa eri plasmaleikkausmenetelmät jaotellaan kuristuksen tehostustavan perusteella. (Matilainen ym. 2011,148–149.) Tavanomaisen plasmaleikkauksen lisäksi on olemassa myös muita plasmaleikkausmenetelmiä kuten paineilma-, Dual-Flow-, happi-, happistabiloitu-, vedenalainen-, vesistabiloitu-, sekä hienosädeplasmaleikkaus. Plasma kaasuina käytetään leikkausmenetelmän mukaan paineilmaa, typpeä, happea, vetyä, argonia tai näiden seoksia. Plasmaleikkausta voidaan tehdä käsivaraisesti tai koneellisesti. Kuvassa 4 on Dual-Flow plasmaleikkausmenetelmä, joka on yleisesti käytetty. (Matilainen ym. 2011,150–154.)



Kuva 4. Dual-Flow plasmaleikkausmenetelmä (Matilainen ym. 2011, 150.)

Plasmaleikkauksen ongelmana voidaan pitää alaspäin kapenevaa leikkausrailon muotoa. Näin ollen leikatusta kappaleesta tulee eri mittainen ylä- ja alaosaan. Muita ongelmia ovat yläsärmän pyöristyneisyys ja leikatun pinnan uurteisuus. Mittatarkkuus jää polttoleikkauksen ja laserleikkauksen väliin, tähän voi vaikuttaa leikkaukoneen rakenne ja ominaisuudet. Hienosädeplasmaleikkaus on lähinnä laserleikkauksen tasoa. Leikkausuran leveyteen vaikuttaa suuttimen koko ja leikkausteho. Leikkausuran leveys on yleensä 0,1–4 mm ja lämmönvaikutusvyöhyke on 0,2–3 mm leikattavan materiaalin paksuuden mukaan. (Matilainen ym. 2011, 155–156.)

### **Plasmaleikkauksen edut ja haitat**

#### Edut

- edullinen laser- tai vesisuihkuleikkaukseen verrattuna
- vähäinen huollon tarve
- soveltuu eri metallien leikkaukseen
- leikkausprosessi helposti hallittavissa
- suhteellisen korkea leikkauksenopeus.

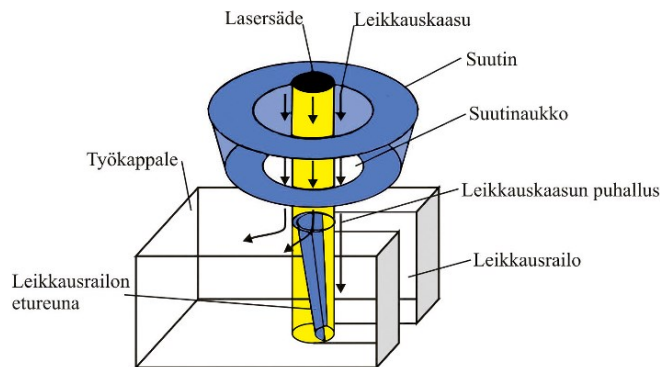
#### Haitat

- mittatarkkuus ja laatu ei ole yhtä hyvät kuin laser- tai vesileikkauksella
- suuttimen kulumisen nopea mikä heikentää leikkauspintojen laatua ja tarkkuutta
- leikkaaminen aiheuttaa melua, säteilyä ja haitallisia kaasuja
- leikkauspinnan läheisyyteen syntyy lämmönvaikutusvyöhyke (HAZ).

(Matilainen ym. 2011, 157–158.)

### **3.1.3 Laserleikkaus**

Laserleikkaus on yleinen leikkausmenetelmä, jolla voidaan leikata monia eri materiaaleja vapaamuotoisesti. Laserleikkaus soveltuu sekä levyjen että putki- ja palkkiprofiilien leikkaukseen. Se on nopea, tuottaa hyvälaatuisia osia ja vaatii harvoin jälkityöstöä. Laser tuottaa kapean ja voimakkaan valosäteen, joka kohdistetaan tarkasti leikattavan kohteen pintaan, jolloin se muuttuu lämmöksi, sulattaen, höyrystäen tai polttaen tai näiden yhdistelmäksi. (Matilainen ym. 2011, 158.) Leikkausprosessissa yleisesti käytettyjä leikkauskaasuja ovat typpi, argon ja happi tai näiden seos, jolla puhalletaan sula metalli pois leikkaukselta, leikkauskaasu suojaa myös leikkaustapahtumaa. (Matilainen ym. 2011, 159.) Kuvassa 5 on esitelty laserleikkauksen periaate.



Kuva 5. Laserleikkauksen periaate (Matilainen ym. 2011,158.)

Laserpolttoleikkaus eli laserhappileikkaus, käyttää lasersädettä ja happea, jolloin leikkaus nopeutuu hapettumisreaktion tuottaman lisäenergian ansiosta. Menetelmä sopii erityisesti hiiliteräksille ja niukkaseosteisille teräksille, mutta soveltuu myös materiaaleille, jotka eivät sovellu tavalliseen polttoleikkaukseen, kuten CrNi-teräkset. (Matilainen ym. 2011,159.)

Sulattavassa leikkauksessa lasersäde sulattaa materiaalin, ja korkeapaineinen inertti kaasu puhalttaa sulan pois. Menetelmä sopii kaikille metalleille, polymeereille ja keraameille. (Matilainen ym. 2011,159–160.)

Höyrystävä leikkaus höyrystää materiaalin lasersäteellä ja poistaa höyryn kaasuvirtauksella. Se sopii erityisesti akryylille, kumille, puulle ja ohuelle metallille, jolloin leikkaustarkkuus on hyvä. Pulssittamalla lasersädettä sulan määrä pystytään pitämään pienenä. Tämä menetelmä mahdollistaa monimutkaisten muotojen leikkaamisen ohuille materiaaleille. Yleisesti käytettyjä laserleikkulaitetyyppejä ovat CO<sub>2</sub>-laser, Nd:YAG-laser sekä kuitulaser, joka on yleistynyt viime vuosina. (Matilainen ym. 2011,160–161.)

Laserleikkauksella saavutetaan tyypillisesti noin 0,1 mm tarkkuus alle 10 mm paksuilla materiaaleilla. Laserleikkauksessa mittatarkkuus on parempi kuin perinteisessä poltto- ja plasmaleikkauksessa. Näin ollen jälkikoneistusta voidaan välttää tietyiltä osin mutta tarkkuus ei yllä sovitetarkkuuteen. Laserleikatun railon leveys on yleensä 0,05–1,0 mm ja riippuu lasersäteen halkaisijasta ja materiaalin paksuudesta. (Matilainen ym. 2011,161–162.) Lasersäteen polttopisteen ollessa mahdollisimman pieni saavutetaan korkea tehotiheys työkappaleeseen mikä mahdollistaa nopean leikkaamisen (Kulina ym. 1996, 3.2.1–8). Kapeampi railo parantaa tarkkuutta, mutta sulan poistuminen voi silloin estyä. Laserpolttoleikkauksella saavutetaan usein tasainen pinnanlaatu, mutta paksummilla materiaaleilla pinnankarheus voi kasvaa. Pinnankarheuteen vaikuttavat materiaalin paksuus ja leikkausparametrit. Näillä on vaikutusta myös purseen muodostumiseen, kun sula poistuu railon alareunan kautta leikkausprosessin aikana. (Matilainen ym. 2011,162–163.)

## Laserleikkauksen edut ja haitat

### Edut

- soveltuu monille materiaaleille, myös muille kuin metalleille
- tarkka mittatarkkuus
- vähäinen jälkikäsittelyn tarve
- kapea lämpövaikutusvyöhyke vähentää muodonmuutoksia
- nopea leikkausnopeus
- mahdollistaa putki- ja muotoprofiilien leikkaamisen.

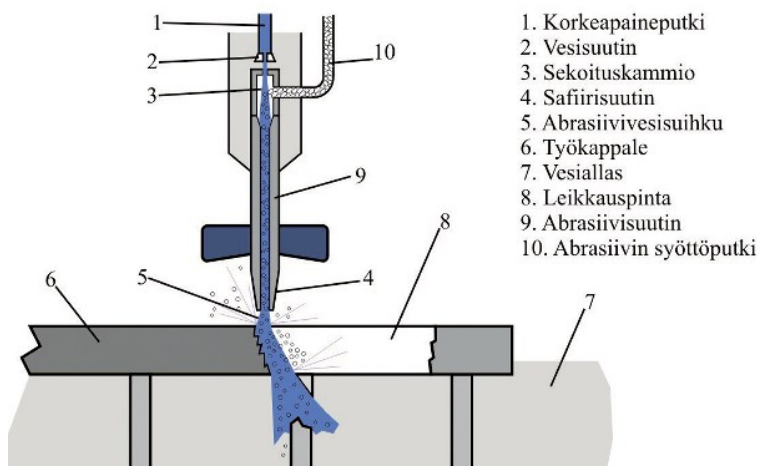
### Haitat

- korkeat investointikustannukset
- tuottaa toisinaan ylilaaatua, mikä ei ole aina kustannustehokasta
- heijastavat materiaalit ja epäpuhtaudet vaikuttavat leikkauslaatuun
- laitteisto vaativa huoltaa
- huomioitava lasersäteiden vaarat.

(Matilainen ym. 2011, 169.)

### 3.1.4 Vesisuihkuleikkaus

Vesisuihkuleikkaus perustuu materiaalin leikkaamiseen korkeapaineisella vesisuihkulla (1300–6200 bar), johon voi olla lisätty hiontapartikkeleita (abrasiivit). Pelkällä vedellä voidaan leikata pehmeitä materiaaleja kuten kumia. Kovat materiaalit, kuten metallit tai kivi vaativat abrasiivin. Abrasiivin materiaali ja raekoko vaikuttavat leikkausnopeuteen ja leikkauksen jälkeen. Esimerkiksi kvartsihiekkä ja granaatti ovat yleisesti käytettyjä abrasiiveja jotka soveltuvat kovien materiaalien leikkaukseen. Leikkaus tapahtuu ilman lämpövaikutusta, jolloin materiaali ei kuumene tai muutu mikrorakenteeltaan. Kuvassa 6 on esitetty vesisuihkuleikkauksen periaate. (Matilainen ym. 2011, 193–194.)



Kuva 6. Vesisuihkuleikkauksen periaate (Matilainen ym. 2011,194)

Vesisuihkuleikkauksella saavutetaan tyypillisesti  $\pm 0,1-0,2$  mm mittatarkkuus, riippuen käytetystä abrasiivista ja leikkausnopeudesta. Leikkauspinnan laatuun vaikuttavat abrasiivin koko ja leikkausnopeus. Hitaampi leikkausnopeus tuottaa yleensä paremman pinnanlaadun mutta liian hidas nopeus saattaa aiheuttaa leikkaurailon kartiomaisuutta. Leikkaurailon leveys on noin  $0,1-0,8$  mm. Nykyaikaisella vesisuihkuleikkauslaitteistolla voidaan leikata vinoja pintoja yli  $45^\circ$  työkappaleen pintaan nähden. (Matilainen ym. 2011,195–198.)

### Vesisuihkuleikkauksen edut ja haitat

#### Edut

- soveltuu monille materiaaleille
- ei lämpövaikutuksia ja muodonmuutoksia materiaaliin
- erinomainen leikkauspinnan laatu
- sopii sekä pienille että suurille sarjoille
- vähäinen jälkikäsittelyntarve.

#### Haitat

- hidas leikkausnopeus paksuilla kovilla materiaaleilla, mikä nostaa leikkaukustankuksia
- hidas leikkausnopeus laser- ja plasmaleikkaukseen verrattuna
- abrasiivin käyttö lisää kustannuksia
- melu, pölyäminen ja materiaalin kastuminen.

(Matilainen ym. 2011,199–200.)

### 3.1.5 Suuntaleikkaus ja lävistys

#### **Suuntaleikkaus**

Suuntaleikkausta käytetään yleensä suoraviivaiseen leikkaamiseen ohutlevyille, jolla voidaan leikata suorareunaisia muotoja. Suuntaleikkauksessa levyä leikkaa ylä- sekä alaterä, joka voidaan tehdä yhdensuuntaisena-, viisto tai heilurileikkauksena laitteiston mukaan. Leikkausprosessi on toteutettu hydraulisesti tai mekaanisesti. (Matilainen ym. 2011,170–171.)

Suuntaleikkauksen tarkkuus on noin 0,1 mm ja leikattavat materiaalit voivat olla jopa 40 mm paksuja. Leikatussa pinnassa näkyy usein vajaasärmä, kiillottunut ja murtunut vyöhyke sekä mahdollinen jäyste leikkauksen alareunassa. Yleisimmät leikkausvirheet ovat kiertyminen, tasokaareutuminen sekä taipuminen. (Matilainen ym. 2011,171–172.)

#### **Lävistys**

Lävistämällä voidaan leikata materiaalista erilaisia muotoja, kuten reikiä ja aukkoja. Lävistyksiä voidaan tehdä vieriviereen, jolloin puhutaan nakertamisesta. Mekaanisessa lävistämisessä levyyn leikataan muotoon pistimen ja tyynyn avulla. Levy asetetaan tyynyn päälle ja pistintä painetaan tyynyn läpi riittävällä voimalla, jolloin materiaali leikkautuu irti tyynyn sisältä. Leikattavan materiaalin paksuus vaikuttaa pistimen ja tyynyn väliseen työkaluvällykseen, jos vällys on väärä, työkalut kuluvat nopeasti. Perinteisesti lävistyksessä käytettiin epäkeskopuristimia, mutta nykyisin käytetään hydraulisia ja servotoimisia levytyökeskuksia. Tyypillinen puristusvoima on 150–600 kN, ja yleiset levynpaksuudet 0,5–8 mm materiaalin mukaan. (Matilainen ym. 2011,179–180.)

#### **Mekaanisen leikkauksen edut ja haitat**

##### Edut

- tarkkuus ja toistettavuus
- nopeus
- monipuolisuus
- kustannustehokkuus
- pienet materiaalihävikit.

##### Haitat

- työkalujen ja terien kuluminen
- rajoituksena materiaalin paksuus ja kovuus
- melu ja värinä

- leikattavan pinnanlaatu
- leikkauksesta aiheutuvat vääntymiset.

(Matilainen ym. 2011, 169–172, 186–189.)

### 3.1.6 Poraus ja jyrshintä

Reikien poraamiseen voidaan käyttää erilaisia porakoneita, kuten pylväs- tai säteisporakoneita sekä erilaisia jyrsinkoneita. Jyrsin- ja porakoneet voivat olla joko manuaalisesti- tai CN-ohjattuja. Työstöliike porattaessa on pää- eli lastuamisliike ja syöttöliike. Jyrsimen ot-sapinnalla jyrsettäessä pää- eli lastuamisliikkeen ja syöttöliikkeen lisäksi on asetusliike, joka määrää lastuamissyvyyden. (Heinonen & Kalliolahti 2020, 29.)

Porauksessa käytettävä terätyyppi on yleensä kierrepora, jonka materiaalina on pikateräs (HSS), joka on seostettu teräslaji. Lämpökäsittelyllä aikaansaadaan kulutusta kestävä ja sitkeä mikrorakenne. Pikaterästerää voidaan käyttää myös sorvauksessa. Kovametalliteriä käytetään erilaisissa työstömenetelmissä, kuten sorvauksessa, jyrinnässä ja poraamisessa. Kovametalli kestää paremmin kulutusta ja lämpöä kuin pikateräs, mutta se ei kestä iskuja ja tärinää. Kovametalliterät valmistetaan jauheesta, joka sisältää kovia ainesosia. Jauhe puristetaan oikeaan muotoon ja kuumennetaan korkeassa lämpötilassa. Näin valmistetut kovametallipalat voidaan kiinnittää erilaisiin terävarsiiin. (Heinonen & Kalliolahti 2020, 35–36.) Lastuamisneste estää terän lämpenemistä ja näin parantaa terän kestävyttä sekä auttaa lastujen poistossa (Heinonen & Kalliolahti 2020, 16–19).

### 3.1.7 Särmäys

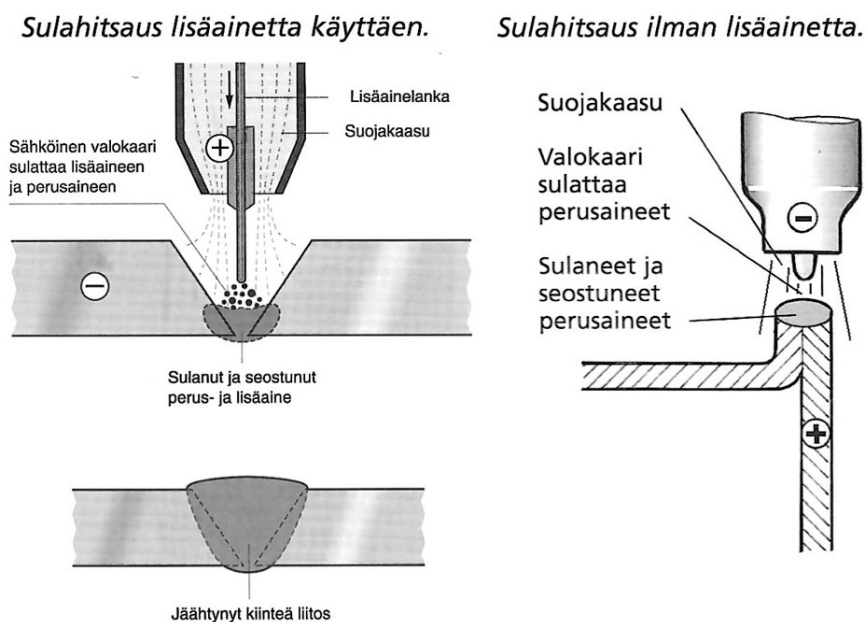
Särmäminen suoritetaan särmäyspuristimella. Työleveydet vaihtelevat 1–10 metrin välillä, yleisimmin särmäyspuristimet ovat 2–4 metriä työleveydeltään. Särmäyspuristimen puristusvoima voi olla 100–25 000 kN, ja se määräytyy materiaalin ja sen paksuuden mukaan. Särmäyspuristimia käytetään erityisesti ohutlevyteollisuudessa, ja ne voivat toimia mekaanisesti, hydraulisesti tai pneumaattisesti. Näistä hydrauliset koneet ovat yleisimpiä. Mittatarkkuus taivutuksilla on yleensä noin  $\pm 0,5$  mm. (Matilainen ym. 2011, 240–242.)

Koneen vasteita ja puristussyvyyttä ohjataan numeerisesti. Särmäysmenetelmistä yleisin on vapaataivutus, jossa ylätyökalu ei osu kokonaan alatyökalua vasten. Alatyökalun v-aukko valitaan materiaalin paksuuden mukaan, yleinen ohje v-aukon leveydelle on 8 kertaa levyn paksuus. Särmäyksessä on tärkeää hallita taivutusvoima, takaisinjousto ja aihion mittaamutokset. (Matilainen ym. 2011, 243.)

### 3.2 Hitsausprosessit

Hitsausprosessit jaotellaan kahteen ryhmään, jotka ovat sulahitsaus ja puristehitsaus. Sulahitsaus on hitsausmenetelmä, jossa liitettävät kappaleet kuumennetaan sulamispisteeseen, jolloin pinnat sulavat ja sekoittuvat toisiinsa muodostaen yhtenäisen liitoksen. (Lepola & Makkonen 2005, 8.)

Yleisimpiä kaarihitsausmenetelmiä ovat MIG/MAG-hitsaus (GMAW), puikkohitsaus (MMA) ja TIG-hitsaus (GTAW) (Kemppi Oy 2024.) Sulahitsausta voidaan tehdä lisäaineen kanssa tai ilman lisäainetta. Kuvassa 7 on esitetty kyseiset hitsaustavat. (Lepola & Makkonen 2005, 8.)



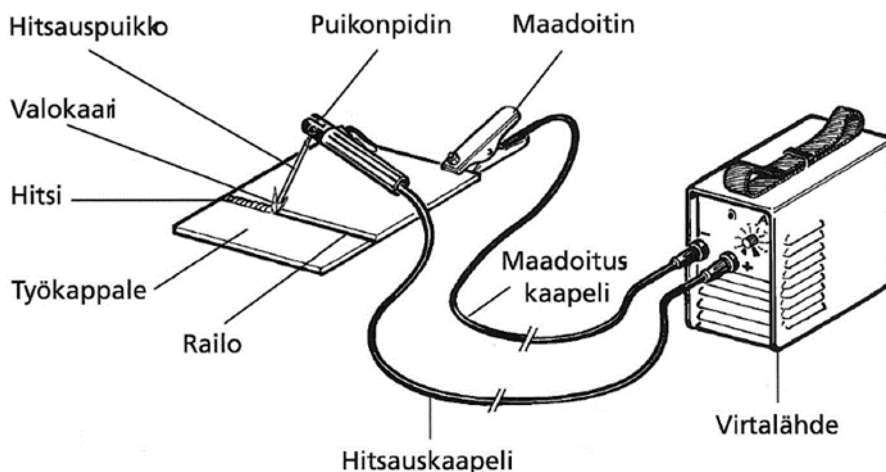
Kuva 7. Sulahitsaus (Lepola & Makkonen 2005, 8.)

Puristushitsausmenetelmässä kuumennetaan liitoskohtien pinnat lähes sulamispisteeseen sähkövirran avulla ja puristetaan ne yhteen. Puristushitsaus voidaan tehdä myös kappaleita suurella voimalla puristamalla, jolloin tapahtuu plastinen muodonmuutos, näin saadaan aikaiseksi kiinteä liitos. Puristushitsausmenetelmässä ei käytetä lisäainetta liitoskohtien yhteen liittämiseen. Yleisesti puristehitsauksessa käytetty hitsausmuoto on vastushitsaukseen kuuluva pistehitsaus, jota käytetään yleisesti ohutlevyjen liittämiseen. (Lepola & Makkonen 2005, 8–9.)

### 3.2.1 Puikkohitsaus MMA/SMAW

Puikkohitsaus Manual Metal Arc welding (MMA welding), Shielded Metal Arc Welding (SMAW) on sulahitsausprosessi. Tarkemmin sitä kutsutaan metallikaarihitsaukseksi ja tähän kuuluu myös suojakaasuton täytelankahitsaus. Kaarihitsauksessa tarvittava lämpö synnytetään sähköisen valokaaren avulla, josta sen nimi kaarihitsaus myös tulee. (Lepola & Makkonen 2005, 72.) Hitsauspuikkoa käytetään tässä sulahitsausprosessissa sulavana elektronina. Näin ollen lisäaineena oleva hitsauspuikko lyhenee hitsauksen aikana. (Kemppi Oy)

Puikkohitsaus soveltuu hyvin yli 1 mm paksuisille ainevahvuuksille, joten se sopii monenlaisiin hitsaustarpeisiin, kuten korjaus ja asennushitsauksiin. Näin sitä voidaan käyttää tuulisissa ja vetoisissa olosuhteissa. Hyvät asentohitsausominaisuudet, laitteiston yksinkertainen rakenne ja hitsausarvojen säätö sekä hyvä luokse pääsy ahtaissa kohteissa helpottavat hitsauksen suorittamista. (Lepola & Makkonen 2005, 42.) Nykyaikaiset puikkohitsauksessa käytettävät virtalähteet ovat toteutettu inverteriteknikalla, jolla on aikaansaatu kompaktin kokoinen virtalähde vanhempaan tekniikkaan verrattuna. Puikkohitsaus on harrastekäytössä suosittu hitsausmenetelmä sen yksinkertaisuuden takia (Kemppi Oy). Kuvassa 8 on esitelty havainnekuva puikkohitsauksesta.

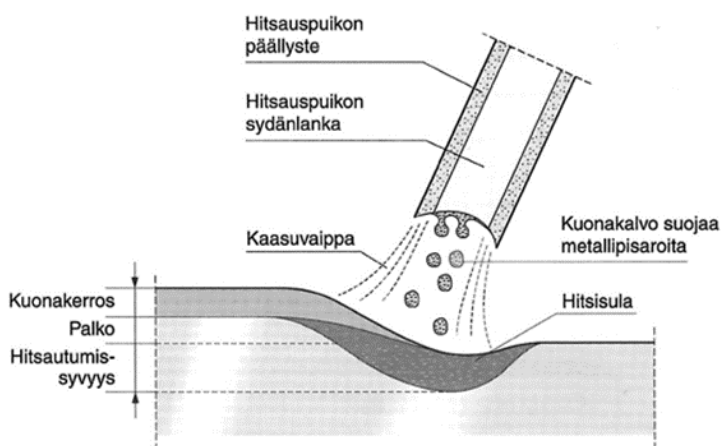


Kuva 8. Havainnekuva puikkohitsauksesta (Lepola & Makkonen 2005, 81.)

Hitsauspuikko koostuu metallilangasta (sydänlanka), jonka halkaisijan ja pituuden mukaan puikon koko määritellään. Sydänlanka on yleensä samaa metalliseosta kuin hitsattava perusaine. Sydänlangan ympärille on puristettu päällystemassa, jonka seosaineiden koostumus ja paksuus antavat puikolle sen hitsausominaisuudet. Kolme yleisintä päällystetyyppiä

ovat hapen-, emäs- ja rutiilipäälysteiset puikot, joista emäspäälysteiset ovat yleisimpiä. (Lepola & Makkonen 2005, 83–84.)

Hitsauspuikko sytytetään raapaisemalla hitsattavaa perusainetta (Lepola & Makkonen 2005, 89). Valokaaren palaessa sydänlanka ja päälyste sulavat. Päälyste muodostaa su-  
laa kuonaa ja kaasuja, jotka suojaavat hitsisulaa ilmassa olevan hapen vaikutukselta. Pää-  
lysteen tehtäviin kuuluu helpottaa valokaaren syttymistä ja ylläpitoa, korottaa valokaaren  
lämpötilaa sekä rauhoittaa valokaarta. Se suojaa myös siirtyviä lisäainepisaroita, sulaa- ja  
jäähmettyvää hitsiä ilmassa olevalta hapelta. Päälyste lisää ja parantaa tunkeumaa sekä  
seostaa hitsiä ja näin parantaa hitsin lujuutta. Metallisulaa nopeammin jäähmettyvä päälyste-  
teestä muodostuva kuona tukee hitsisulaa ja mahdollistaa siten asentohitsauksen. (Lepola  
& Makkonen 2005, 83). Kuona tulee poistaa aina hitsatun palon päältä ennen seuraavaan  
hitsipalon jatkamista tai päälle hitsaamista. (Lepola & Makkonen 2005, 91). Tällä toimenpi-  
teellä vältetään kuonasulkeumien muodostumista hitsiin (Lepola & Makkonen 2005, 97–  
98). Kuvassa 9 on esitetty metallikaarihitsausprosessi päälystetyllä puikolla.



Kuva 9. Kaarihitsaus päälystetyllä puikolla (Lepola & Makkonen 2005, 10.)

### 3.2.2 MIG-/MAG-hitsaus

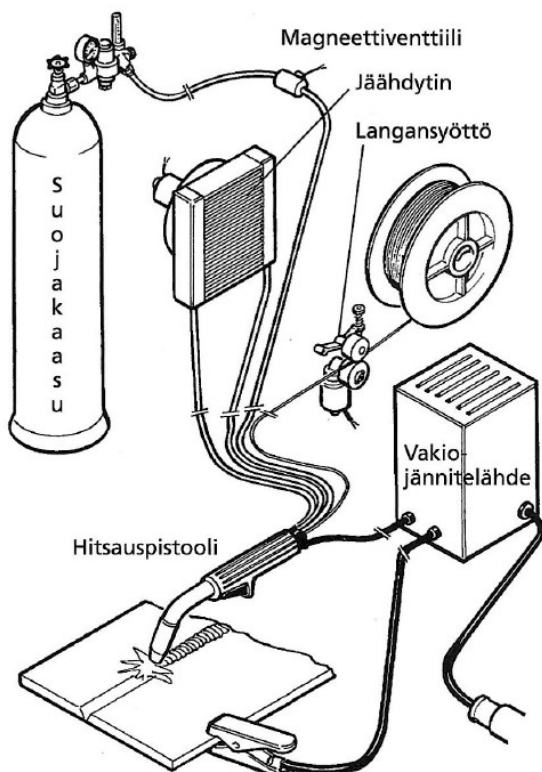
MIG-hitsaus on lyhenne sanoista Metal-arc (metallikaari) ja Inert Gas (Inerttinen kaasu). Inerttinen suojakaasu on reagoimaton eli passiivinen kaasu. Inertteinä suojakaasuina käytetään jalokaasuja, kuten argonia (Ar) tai argonin ja heliumin (He) kaasuseoksia. MIG-hit-  
sausta käytetään ei-rautametallien, kuten alumiinin, titaanin ja kuparin hitsaukseen. (Lepola  
& Makkonen 2005, 103.)

MAG-hitsaus puolestaan on lyhenne sanoista Metal-arc (metallikaari) ja Active Gas (aktii-  
vinen kaasu). Aktiivisina suojakaasuina käytetään argonin (Ar) ja hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>)

kaasuseosta tai argonin (Ar) ja hapen (O<sub>2</sub>) tai vedyn (H<sub>2</sub>) kaasuseosta. MAG-hitsausta käytetään erityisesti terästen hitsaamiseen. (Woikoski Oy)

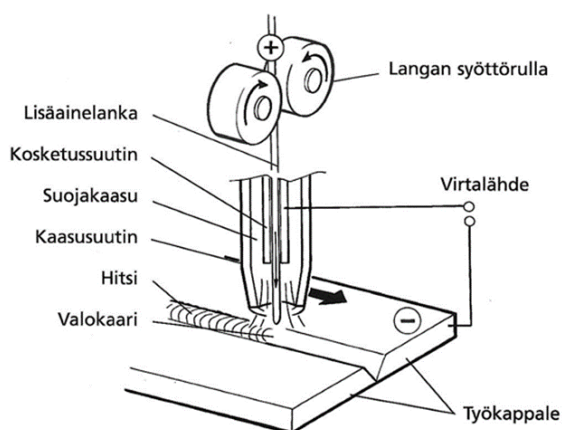
MIG-/MAG hitsauslaitteisto koostuu virtalähteestä, langansyöttölaitteesta, suojakaasupulosta ja siihen kiinnitettävästä paineenalennus- ja vakiovirtaussäätimestä sekä monitoimikaapelista, joka sisältää hitsauspistoolin. Suurilla tehoilla hitsattaessa käytetään nestejäähdytettyä hitsauspistoolia. Pienempikokoisissa hitsauslaitteissa ei ole nestejäähdytystä hitsauspistoolissa, vaan jäähdytys on hoidettu suojakaasulla. (Lepola & Makkonen 2005, 103–110.) Kuvassa 10 on esitetty MIG-/MAG-hitsauslaitteisto.

MIG-/MAG hitsauksen etuna voidaan pitää sen hyvää tuottavuutta, ohutlevyjen hitsattavuutta, lisäaineiden edullisuutta sekä hyvää hitsin laatua. MIG-/MAG hitsaus on pääsääntöisesti käsin hitsausta, mutta se on myös helposti mekanisoitavissa tai automatisoitavissa. Hitsaus onnistuu myös erilaisissa hitsausasennoissa, minkä takia sitä käytetään paljon asentohitsauksissa. Heikkoutena voidaan pitää, että se on arka tuulelle ja vedolle mikä rajoittaa käyttöä asennustyömaaolosuhteissa. Toisinaan hitsauspistoolin suuri koko aiheuttaa ongelmia ulottua ahtaisiin hitsaus kohteisiin toisin kuin puikkohitsauksessa. (Lepola & Makkonen 2005, 103.)



Kuva 10. MIG-/MAG-hitsauslaitteisto (Lepola & Makkonen 2005, 103.)

MIG-/MAG-hitsauksessa jännitteistä lisäainelankaa syötetään automaattisesti vakionopeudella hitsaus kohtaan. Hitsausprosessin aikana valokaari, joka muodostuu lisäainelangan kärjen ja perusaineen välille, sulattaa sekä lisäaineen että perusaineen, jolloin ne sekoittuvat ja muodostavat yhtenäisen hitsin. Hitsauskohta suojataan suojakaasulla, joka estää hapen ja typen pääsyn hitsisulaan ympäröivästä ilmasta. (Lepola & Makkonen 2005, 103.) Suojakaasu vaikuttaa myös hitsin ulkonäköön sekä roiskeiden kokoon ja määrään. Suojakaasulla on myös vaikutusta valokaaren vakauteen, tunkeuman muotoon ja syvyyteen sekä hitsin lujuusominaisuuksiin. (Lepola & Makkonen 2005, 110.) Kuvassa 11 on esitelty MIG-/MAG-hitsauksen periaate.



Kuva 11. MIG-/MAG-hitsauksen periaate (Lepola & Makkonen 2005, 11.)

MIG-/MAG-hitsauksessa lisäainelangan siirtyminen hitsisulaan riippuu hitsausvirrasta. Eri-laisia kaarialueita hyödynnetään hitsausasennon sekä perusaineen materiaalin ja paksuuden perusteella. Kaarialueita on neljää eri tyyppiä. Nämä ovat lyhyt-, seka-, kuuma- ja pulssikaari. (Lepola & Makkonen 2005, 115–116.)

Lyhytkaarihitsauksessa langan osuessa työkappaleeseen syntyy oikosulku, joka saa langanpään sulamaan ja pisaran kuroutumaan hitsisulaan, tämä tapahtuu pienellä lämmöntonilla hitsausparametrien ollessa noin 50–180 A ja 15–23 V. Kuumakaari hitsauksessa ei tapahdu oikosulkuja vaan lisäaine siirtyy hitsisulaan suihkumaisesti, tämä tapahtuu suurella lämmöntonilla hitsausparametrien ollessa yli 260 A ja 28 V. Sekakaarihitsausta pidetään lyhytkaari- ja kuumakaarihitsauksen välissä, jolloin lisäaine siirtyy joko oikosulkuina pisaroina tai ilman oikosulkuja suihkumaisena siirtymänä. Lisäaineen ollessa suuripisarainen se aiheuttaa paljon roiskeita. Yleensä vältetään sekakaarialueen käyttöä hitsauksessa. Pulssikaarialue kattaa kaikki tehoalueet matalasta korkeaan ja mahdollistaa oikosuluttoman aineensiirron. Pulssihitsauksessa hitsausvirta pulssitetaan niin, että yhden pulssin aikana irtoaa yksi lisäainepisara. Tämä menetelmä sopii monipuolisesti erilaisten metallien

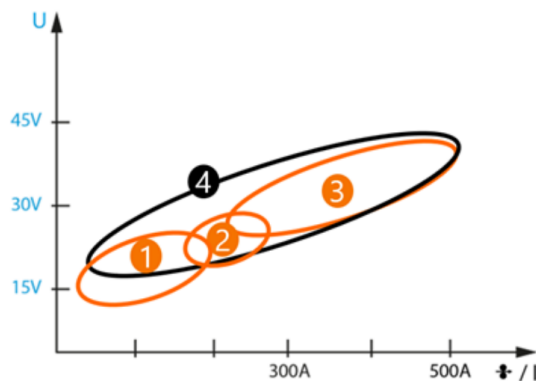
hitsaukseen. (Lepola & Makkonen 2005, 115–116.) Kuvassa 12 on esitelty MIG-/MAG-hitsauksen kaarialueet.

01 **Lyhyt kaari**

02 **Sekakaari**

03 **Kuumakaari**

04 **Pulssikaari**



Kuva 12. MIG-/MAG-hitsauksen kaarialueet (Welding Value 2023.)

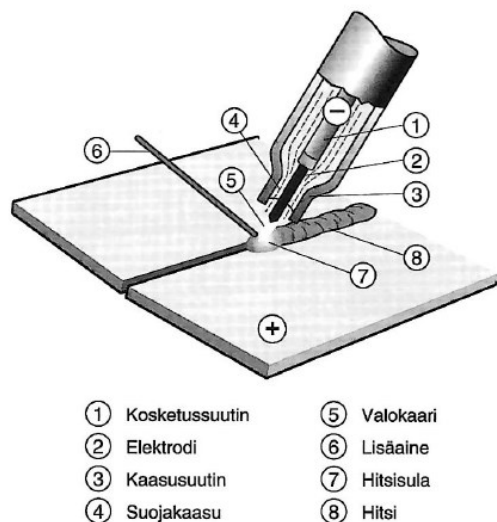
Hitsauslisäainelangan valinnassa kannattaa suosia perusaineen ominaisuuksia vastaavaa hitsauslisäainetta (Lepola & Makkonen 2005, 117). Teräkselle lisäaine valitaan standardin määrittelemien mekaanisten ominaisuuksien mukaan, jolla tarkoitetaan vähimmäislujuus- ja sitkeysarvoja. Lujuudella tarkoitetaan yleensä myötölujuutta ja sitkeydellä iskusitkeyttä. (Lukkari ym. 2016b, 97.) Hitsiaineen vetyttöisyys vaikuttaa myös lisäaineen valintaan. Suuri vedyn määrä hitsissä voi aiheuttaa vetyhalkeamia, jotka heikentävät hitsiä. (Lukkari ym. 2016b, 6–7, 13–15.)

MIG-/MAG-hitsauksessa rakenteeltaan lankana yleisin on umpilanka. Muita ovat erilaiset metalli- ja rutiilitäytelangat. Käytettyjen lankojen paksuudet ovat 0,6–1,6 mm. Langan paksuuden valintaan vaikuttaa hitsattavan materiaalin paksuus, railonmuoto ja hitsausvirta. (Lepola & Makkonen 2005, 117). Rutiilitäytelankoja käytetään yleensä erilaisissa asentohitsauksissa. Hitsauksessa nopeasti jähmettyvä kuona tukee hitsisulaa, mikä mahdollistaa kuumakaarella asentohitsauksen. (Lepola & Makkonen 2005, 138, 147.)

### 3.2.3 TIG-hitsaus

TIG-hitsaus, joka muodostuu sanoista Tungsten Inert Gas on kaasukaarihitsausprosessi, jossa sulamattoman volframielektrodin ja työkappaleen välillä hitsauksen aikana palaa valokaari. Erona puikkohitsaukseen sekä MIG-/MAG hitsaukseen on sulamaton elektrodi. Valokaaren lämpö sulattaa perusaineen muodostaen hitsisulan, johon voidaan lisätä lankamaista lisäainetta kädellä syöttäen. Hitsausrailon muodon mukaan hitsausta voidaan tehdä myös ilman lisäainetta sekä hitsausprosessi on mahdollista myös mekanisoida. Hitsisulaa ja elektrodia suojataan inertillä kaasulla, joka on yleensä argonia tai heliumia tai

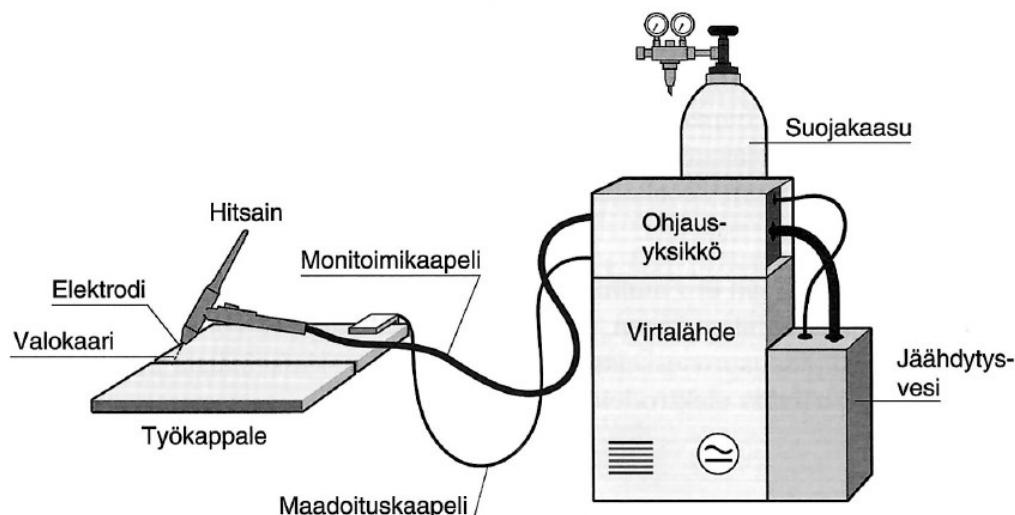
näiden seoskaasua. Kuvassa 13 on esitetty TIG-hitsauksen periaate. (Lepola & Makkonen 2005, 159.)



Kuva 13. TIG-hitsauksen periaate (Lepola & Makkonen 2005, 159.)

TIG-hitsauksen etuna voidaan pitää sen soveltuvuutta lähes kaikkien metallien hitsaukseen. Yleisimpiä hitsattavia materiaaleja ovat alumiinit sekä ruostumattomat- ja haponkestävät teräkset. Hitsausprosessi soveltuu hyvin ohuiden materiaalien hitsaukseen, jopa 0,1 mm paksuudesta alkaen, mutta yleisemmin paksuudet ovat 0,5–6 mm. Menetelmää käytetään myös erilaisten pohjapalkojen hitsaukseen, jossa vaaditaan erinomaista laatua tai hitsisauman täytyy olla hyvännäköinen ja roiskeeton. Näitä ovat esimerkiksi erilaisten putkien hitsaukset. (Lepola & Makkonen 2005, 160.)

TIG- hitsauslaitteisto koostuu useasta osasta, virtalähteestä, ohjausyksiköstä/suurtaajuuslaitteesta, monitoimikaapelista/hitsain, maadoituskaapelista ja suojakaasulaitteistosta. Laitteessa voi olla myös nestejäähdytysyksikkö. Virtalähde voi olla tasavirta- (DC) tai vaihtovirta- (AC) lähde tai näiden yhdistelmälaitteesta (AC/DC). Kuvassa 14 on esitetty TIG-hitsauslaitteisto. Haluttu virtalaji riippuu hitsattavasta materiaalista. Nykylaitteissa virtalähde sisältää ohjausyksikön, josta säädetään erilaiset hitsausparametrit, kuten hitsausvirta ja suojakaasuvirtaus. (Lepola & Makkonen 2005, 160–162.)



Kuva 14. TIG-hitsauslaitteisto (Lepola & Makkonen 2005, 160.)

TIG- hitsauksessa on kolme tapaa sytyttää valokaari, jotka ovat raapaisu-, kontakti- ja kipinäsytytys. Raapaisu- sytytys toimii kuten puikkohitsaus, kosketetaan jännitteisellä elektrodilla hitsattavaa kappaletta, jolloin valokaari syttyy. Raapaisu- sytytyksessä voidaan käyttää tavanomaista puikkovirtalähdettä, mutta sytytystapa vaurioittaa elektrodin kärkeä, mikä näin ollen heikentää hitsin laatua volframi sulkeumien takia. Kipinä- sytytyksessä ei kosketa hitsattavaa kappaletta elektrodilla vaan sytytys tapahtuu muutaman millimetrin päässä hitsattavasta kappaleesta painamalla hitsaimessa olevaa katkaisijaa, jolloin valokaari syttyy. Nykyaikaisissa TIG-hitsauslaitteissa käytetään pulssigeneraattoria suurjännitekipinän aikaansaamisessa valokaaren sytyttämiseen. Kontakti- sytytyksessä elektrodi koskettaa työkappaletta lyhyesti samalla painaen hitsaimen katkaisijaa. Näin syntyy pieni valokaari, jonka jälkeen elektrodin kärkeä nostetaan nopeasti kappaleesta ylöspäin, jolloin varsinainen valokaari syttyy. (Lepola & Makkonen 2005, 163–164.)

Elektrodi on volframijauheesta sintraamalla valmistettu metallipuikko. Elektrodit ovat yleensä seostettu hitsausominaisuuksien ja kestoajan parantamiseksi zirkoniumilla, ceriumilla, lantaanilla tai toriumilla. (Lepola & Makkonen 2005, 168–169.)

## 4 Valmistusmateriaalit

### 4.1 Kuumavalssatut rakenneteräkset

Teräs on metalliseos, joka koostuu pääasiassa raudasta ja hiilestä, jonka hiilipitoisuus on alle 2 %. Hiilipitoisuuden noustessa yli 2 % seosta kutsutaan valuraudaksi. Muina seosaineena teräksessä käytetään yleensä piitä (Si), mangaani (Mn), molybdeeniä (Mo), kromia (Cr), kuparia (Cu), nikkeliä (Ni), alumiinia (Al), vanadiinia (V), booria (B), titaania (Ti), volframia (W) ja niobia (Nb). Teräksessä olevia epäpuhtauksia ovat rikki (S), fosfori (P), vety (H) ja happi (O). Teräslajit määritetään standardista SFS-EN 10020:2000. (Lukkari ym. 2016a, 38.)

#### Seostamattomat rakenneteräkset

Seostamattomat rakenneteräkset SFS-EN 10025-2 ovat matalahiilisiä, jossa seosaineena käytetään hiiltä (C), piitä (Si) ja mangaania (Mn). Yleisesti konepajatuotteissa käytettävä rakenneteräs on S355J2, jonka myötölujuus ( $R_e$ ) on vähintään 355 N/mm<sup>2</sup> (MPa) ja materiaali iskuenergia vaatimus on vähintään 27J -20°C. Alussa oleva kirjain S merkitsee rakenneterästä. Muita lujuusluokkia on S235, jonka myötölujuus ( $R_e$ ) on vähintään 235 N/mm<sup>2</sup> (MPa). Mikrorakenteeltaan teräs on ferriittis-perliittinen. Teräkset ovat hyvin hitsattavia, särmättäviä, koneistettavia ja muovattavia. (Lukkari ym. 2016b, 40–43.)

#### Normalisoidut ja normalisointivalssatut hitsattavat hienoraeteräkset

Normalisoidut ja normalisointivalssatut hitsattavat hienoraeteräkset SFS-EN 10025-3 ovat matalahiilisiä, jossa seosaineena käytetään hiiltä (C), mangaania (Mn) ja piitä (Si) sekä lisäksi mikroseosaineita kuten niobia (Nb), titaania (Ti) ja vanadiinia (V). Normalisointi on lämpökäsittelymenetelmä teräksen valmistuksessa, jonka tarkoituksena on parantaa teräksen mikrorakennetta ja mekaanisia ominaisuuksia. Tämä prosessi koostuu teräksen kuumentamisesta uudelleenkitytymislämpötilan yläpuolelle, noin 900–940 °C, jonka jälkeen teräksen annetaan jäähtyä vapaasti. Näin saadaan ferriittis-perliittinen hienoraeteräs. Seostamattomaan rakenneteräkseen verrattuna näin saadaan suurempi lujuus ja iskutkeys sekä parempi hitsattavuus. Myötölujuudet ovat 275–460 MPa, joista yleisesti käytetyin on S355N. Kirjain N tarkoittaa toimitustilaa normalisoitu iskutkeyden ollessa vähintään 40J -20°C. Lisätunnus NL tarkoittaa iskutkeyden ollessa vähintään 27J -50°C. (Lukkari ym. 2016b, 48–49.)

Lisäksi on olemassa normalisoituja ja normalisointivalssattuja kylmämuokattavia teräksiä SFS-EN 10149-3, jotka soveltuvat paremmin kylmämuokattavaksi. Tämä teräslaatu

sisältää vähemmän epäpuhtauksia, kuten rikkiä (S) ja fosforia (P). Nämä teräkset on merkitty lisätunnuksella NC. (Lukkari ym. 2016b, 55–58.)

### **Termomekaanisesti valssatut hienoraeteräkset**

Termomekaanisesti valssatut hitsattavat hienoraeteräkset SFS-EN10025-4 ovat hyvin matalahiilisiä hiilimangaaniteräksiä. Termomekaaninen valssaus tarkoittaa valssaustekniikkaa, jossa terästä valssataan ja jäädytetään hallitusti tietyissä lämpötiloissa. Teräksen valmistuksen yhteydessä siihen on lisätty mikroseosaineita ja muita seosaineita. Näin saadaan tasainen ferriittis-perliittinen tai ferriittis-bainiittinen mikrorakenne, millä aikaan saadaan hyvät lujuus ja sitkeysominaisuudet sekä hyvä hitsattavuus. (Lukkari ym. 2016b, 49–52.) Myötölujuudet ovat 275–500 MPa, joista yleisesti käytetyin on S420M. Kirjaintunnus M tarkoittaa toimitustilaa termomekaanisesti valssattu, iskutkeyden ollessa vähintään 40J -20°C. Lisätunnus ML tarkoittaa iskutkeyden ollessa vähintään 27J -50°C. (Lukkari ym. 2016b, 49–52.)

Lisäksi on olemassa termomekaanisesti valssattuja kylmämuokattavia teräksiä SFS-EN 10149-2, jotka soveltuvat paremmin kylmämuokattavaksi. Tämä teräslaatu sisältää vähemmän epäpuhtauksia, kuten rikkiä (S) ja fosforia (P). Nämä teräkset on merkitty lisätunnuksella MC. (Lukkari ym. 2016b, 55–58.)

### **Nuorrutetut lujat rakenneteräkset**

Nuorrutetut lujat rakenneteräkset SFS-EN 10025-6, joita kutsutaan myös nuorrutusteräksiksi ovat lujia ja ultralujia teräksiä, joiden myötölujuudet ovat 460–960 MPa. Esimerkiksi merkintä S690Q, jossa S tarkoittaa rakenneterästä, 690 vähimmäis- myötölujuutta ja Q toimitustilaa nuorrutettu iskutkeyden ollessa vähintään 30J -20°C. Lisätunnuksia voi olla L ja L1, jotka ilmoittavat iskutkeyden laatuluokkaa 30J lämpötilassa -40°C ja -60°C. Markkinoilta löytyy myös lujempia nuorrutettuja teräksiä aina 1300 MPa asti esimerkiksi SSAB valmistama Strenx 1300. On myös koneenrakentamiseen käytettäviä nuorrutusteräksiä, jotka eivät sovellu hitsattavaksi suuren hiilipitoisuuden takia. Standardin mukaan hiilipitoisuuden ollessa alle 0,20 % hitsattavuus on vielä hyvä. Tästä suurempi hiilipitoisuus vaikuttaa suuresti karkenevuuteen, mikä tekee hitsistä hauraan ja näin ollen heikentää hitsauksen kestävyyttä. (Lukkari ym. 2016b, 52–55.)

Käyttöperusteena lujien ja ultralujien terästen käytölle on yleensä korkean lujuuden tuoma painon säästö. Tämän seurauksena levyn paksuuksia voidaan pienentää, mikä vähentää tarvittavan hitsausaineen määrää ja nopeuttaa hitsaustyötä. Lujien terästen suurempi kovuus (pintakovuus) parantaa rakenteen kulutus- ja pintapaineenkestävyyttä. (Lukkari ym. 2016b, 66–69.)

## 4.2 Kulutusteräokset

Kulutusteräokset ovat teräslaatuja, jotka on suunniteltu kestävään mekaanista kulutusta, kuten hankausta ja iskuja. Kulutusteräosten myötölujuudet ovat 1050–1700 MPa niiden kovuuden mukaan. Kulutusteräöksillä on useita kovuusluokkia välillä 300–600 HB, joista yleisimmin käytetyt kovuudet ovat 400-500HB. Karkaisulla aikaan saadaan suuri kovuus ja lujuus, jolloin teräksen mikrorakenne on joko martensiittis-bainittinen tai kovemmissa laaduissa martensiittinen. (Lukkari ym. 2016b, 111–116.)

Hitsattavuudeltaan nykyaikaiset kulutusteräokset ovat suhteellisen helposti hitsattavia. Hiiliekvivalenttiarvo CEV (Carbon Equivalent Value) ja CET (Carbon Equivalent for Thickness) kaavoja käytetään teräksen hitsattavuuden arviointiin. Nämä kaavat ottavat huomioon eri seosaineiden osuudet teräksessä ja auttavat arvioimaan, kuinka helposti terästä voidaan hitsata ilman merkittäviä ongelmia, kuten vetyhalkeilua (kylmähalkeilu). Teräksen valmistajat ilmoittavat tuotteistaan kyseiset arvot, mutta ne voidaan myös laskea kaavoilla 1 ja 2 kemiallisen koostumuksen perusteella. (Lukkari ym. 2016b, 8.)

$$CEV (\%) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) /5 + (Ni + Cu) /15 \quad (1)$$

$$CET (\%) = C + (Mn + Mo) /10 + (Cr + Cu) /20 + Ni/40 \quad (2)$$

## 4.3 Ruostumattomat teräokset

Matalahiilisiä rautaseoksia, jotka sisältävät pääseosaineena vähintään 10,5 % kromia kutsutaan ruostumattomaksi teräkseksi. Lisäksi nämä teräokset voivat sisältää nikkeliä ja mangaania sekä korroosiota parantavia aineita kromin lisäksi molybdeeniä ja typpiä. Ruostumattomissa teräöksissä yli 10,5 % kromi seos synnyttää teräksen pintaan ohuen oksidikerroksen, joka estää korroosion etenemisen ja näin metallin liukenemisen. Ruostumattomat teräokset jaetaan kolmeen ryhmään, jotka ovat korroosionkestävät, tulenkestävät ja kuuma-lujat teräokset. (Lukkari ym. 2016b, 172.)

Korroosion kestävästä teräksistä yleisimmin käytetty teräs on austeniittiset teräokset esim. EN 1.4301. Tämän teräksen myötölujuus on 230 MPa, mikä on melko matala nykyisiin rakenneteräksiin verrattuna. Lujitusvalssaamalla saadaan tarvittaessa lisättyä myötölujuutta. Tämä tapahtuu kylmävalssaamalla ne haluttuun lujuuteen, joista löytyy viisi luokkaa (standardti EN 10088-2). Toimitustilasta käytetään merkintää 2H. (Lukkari ym. 2016b, 175–177.)

Pääsääntöisesti austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat hyviä hitsata, eikä niissä esiinny korroosio- tai haurastumisongelmia. Hitsauksesta syntyvä vetely on voimakasta, koska materiaalilla on pieni lämmönjohtavuus ja suuri lämpölaajeneminen. (Lukkari ym. 2016b, 192,196.)

### Kovuusarvojen vertailu

Kun tiedetään materiaalin murtolujuus  $R_m$  on mahdollista vertailutaulukkoa apuna käyttäen vertailla eri materiaalien kovuutta. Taulukkoarvot ovat suuntaa antavia ja perustuvat tyypillisiin arvoihin kyseisillä teräslajeilla. Taulukossa 1 on vertailtu erilaisia teräs materiaaleja ja niiden kovuuksia.

Teräslaji	Brinellin kovuus (HB)	Vickersin kovuus (HV)	Murtolujuus $R_m$ (MPa)
S355JO	140–185	145–195	470–630
S690Q	230–290	240–300	770–940
XAR 400	360–440	378–462	1250
1.4301 (304)	160	170	540

Taulukko 1. Materiaalien kovuuden vertailu (mukailtu Lukkari ym. 2016b; SFS-EN ISO18256)

## 5 Hitsauspöydän suunnittelu ja materiaalin valinta

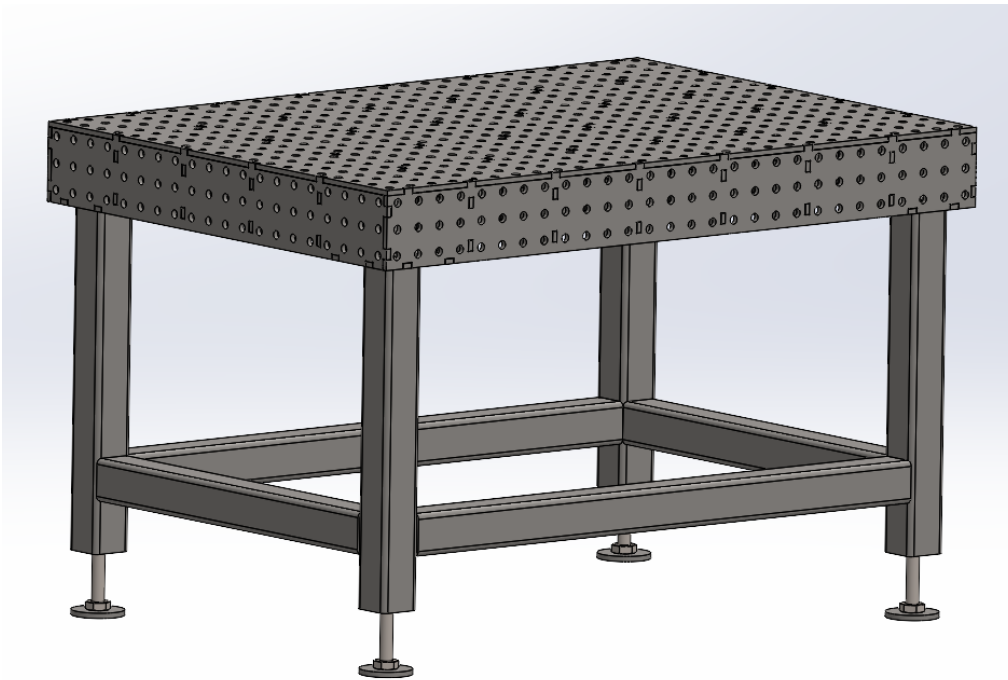
### 5.1 Hitsauspöydän vaatimukset

Valmistettavan hitsauspöydän täytyy olla hitsaustyöhön sopiva ja sen täytyy olla myös monikäyttöinen. Rakenteeltaan pöydän tulee olla riittävän tukeva ja luja sekä sen täytyy kestää suhteellisen raskasta käyttöä ja hitsauksen aiheuttamia lämpötiloja. Suunniteltu käyttöikä tulee olla vuosikymmeniä. Pöydän rakenteen pitää olla riittävän yksinkertainen, jolloin se on helppo valmistaa kustannustehokkaasti. Pöytään tulisi olla mahdollisuus kiinnittää erilaisilla puristimilla tai kiinnittimillä valmistettavan kappaleen osat silloituksen ajaksi mikä parantaisi valmistettavien tuotteiden mittatarkkuutta. Hitsauspöydän mittatarkkuuden olisi hyvä olla alle  $\pm 1$  mm. Pöydän rakenteen täytyy olla sellainen, että siihen pystytään tarvittaessa liittämään toinen vastaavanlainen pöytä tai erilaisia lisäosia. Lattian epätasaisuuden takia pöydän jaloissa täytyy olla jonkinlainen säätömahdollisuus. Pyörät eivät ole siirrettävyyden kannalta välttämättömät, koska pöytä tulee olemaan pääsääntöisesti samassa kohdassa. Jos pöytää tarvitsee siirtää, niin siihen voidaan käyttää haarukkavaunua, mutta tämäkin on otettava huomioon pöytää suunnitellessa.

### 5.2 Suunnittelu

Ennen hitsauspöydän suunnittelua ja valmistamista on tärkeää miettiä mitä ominaisuuksia todella tarvitaan ja kuinka paljon on valmis rahallisesti sijoittamaan hitsauspöytänsä. Suunnittelussa on pyritty yksinkertaiseen ja helposti kasattavaan rakenteeseen, millä saavutetaan riittävän jäykkä rakenne hitsauspöydälle. Suunnittelussa on huomioitu, että hitsauspöydässä olisi erilaisia osia mahdollisimman vähän ja ne olisivat symmetrisiä muodoltaan. Ohjainnastoilla helpotetaan hitsauspöydän osien asemointia ja mittatarkkuutta. Hitsauspöydän 3D-mallin ja valmistuskuvien tekeminen tapahtui SolidWorks-ohjelmalla.

Pöydän mitat muodostuivat sijoituspaikasta mihin pöytä tullaan sijoittamaan. Pöytälevy rakenne on kooltaan 1400x1000x150 mm, jossa materiaalin paksuus on 10 mm. Jäykisteet ovat pöytälevyn alapinnassa 200 mm\*200 mm jaolla. Pöytälevyissä olevat reiät ovat suuruudeltaan 16 mm, jossa reikäväli on sijoitettu ruudukkomaisesti 50 mm jaolla. Jalat ovat 80 mm\* 80 mm\* 4 mm putkiprofiilia. Jalkojen pituutta voidaan säätää 700–900 mm välillä M24 kierretankojen avulla. Jalkojen alareunassa on putkikehä, joka mahdollistaa pöydän siirtämisen haarukkavaunulla. Kuvassa 15 on hitsauspöytä suunniteltuna SolidWorks-ohjelmalla. Samalla suunniteltiin myös pienempi hitsauspöytä, joka on tarvittaessa liitettävissä isompaan hitsauspöytänsä.



Kuva 15. Hitsauspöytä suunniteltuna SolidWorks-ohjelmalla (Kuva: Petri Kettunen)

### 5.3 Materiaalin valinta

Teräslaatuja on monia, jotka soveltuvat hitsauspöydän materiaaliksi hyvin. Näitä ovat esimerkiksi erilaiset edulliset rakenneteräkset, kovaa kulutusta ja iskuja kestävät kulutusteräkset, sekä ruostumattomat teräkset, jotka soveltuvat myös tähän tarkoitukseen, mutta ovat kalliita hinnaltaan. Materiaalin valinnassa on huomioitava, kuinka eri materiaaleja pystytään koneistamaan, muovaamaan ja hitsaamaan.

Materiaalin valinnassa on huomioitava, mitä metalleja pöydällä käsitellään ja hitsataan. Jos pöydällä käsitellään paljon alumiinia, ruostumatonta- ja haponkestävää terästä, olisi pöytälevyn pinnan oltava kyseistä materiaalia tai muuten pinnoitettu. Tällä toimenpiteellä pystytään ehkäisemään vieraiden aineiden tarttumista valmistettavan kappaleen pintaan. Tällä on merkitystä valmistettavan kappaleen ulkonäköön ja korroosionkestävyyteen. Jos hitsauspöydällä käsitellään ensisijaisesti rakenneteräksiä, näin ollen parhaaksi vaihtoehdoksi soveltuu rakenneteräs. Rakenneteräksen hyvinä ominaisuuksina voidaan pitää hyvää hitsattavuutta ja lujuutta.

Teräslaaduista oli saatavilla seuraavia laatuja osaksi tai kokonaan pöydän kansirakenteen valmistamiseksi. Rakenneteräkset S3555 ja S690, kovuudeltaan 400HB kulutusteräs sekä yleisesti käytetty 1.4301 (304) ruostumatonteräs.

Vaativuutena on, että pöydän pintamateriaali on riittävän kovaa, jotta se kestäisi hyvin kulutusta. Materiaalin olisi oltava sekä hyvä hitsata että materiaalin hinnan täytyisi pysyä

kohtuullisena. Hinnaltaan rakenneteräs S355 oli tarjousten perusteella edullisin, S690 hie-  
man yli 10 % kalliimpi kuin S355. Kulutusteräs oli hinnaltaan kaksinkertainen ja ruostumaton  
teräs oli jo yli nelinkertainen S355 teräkseen verrattuna.

Hitsauspöydän materiaaliksi valikoitui pintakovuuden, lujuuden ja hinnan perusteella S690  
rakenneteräs tuotemerkiltä SSAB Strenx 700, joka on vielä hiilikvivalentti arvon perusteella  
hyvin hitsattavaa.

#### 5.4 Leikkausmenetelmän valinta

Leikkausmenetelmäksi valikoitui laserleikkaus sen nopeuden, tarkkuuden ja pienen lämpö-  
vaikutusalueen (HAZ, Heat Affected Zone) takia. Toisena vaihtoehtona olisi ollut myös ve-  
sileikkaus, mutta suuren reikämäärän vuoksi leikkausaika olisi pidentynyt huomattavasti  
verrattuna laserleikkaukseen. Plasmaleikkaus ja polttoleikkaus ovat toimivia menetelmiä,  
mutta niiden leikkausjälki ja tarkkuus ovat laserleikkausta heikompi sekä lämpövaikutusalue  
on laserleikkausta suurempi. Tällä on vaikutusta leikkuualueen viereiseen mikrorakentee-  
seen, jäännösjännityksiin ja materiaalin kovuuteen.

#### 5.5 Hitsausmenetelmän valinta

Hitsausmenetelmäksi 10 mm paksun Strenx 700 teräksen hitsaukseen soveltuu parhaiten  
Mag-, tai puikkohitsaus (MMA), oikean lämmöntonin aikaansaamiseksi. Pienahitsaus  
TIG- hitsauksena on hidasta näin paksulle ainevahvuudelle, joten se ei ole suositeltavaa  
suuren lämmöntonin takia.

Lisäaineen tulee vastata perusaineen lujuutta, jos liitoksesta halutaan yhtä luja kuin perus-  
aine. Lämmöntontiin pitää kiinnittää huomiota, jotta välttyttäisi liian nopealta hitsin jäähty-  
miseltä. Hitsin jäähtymistä austeniittisella lämpötila-alueella välillä 800–500 C° kuvataan  
parametrilla  $t_{8/5}$  (s) (Lukkari ym. 2016a, 72–73).

Liian nopea hitsin jäähtyminen vaikuttaa hitsausliitoksen sularajan viereisen muutosvyöhyk-  
keen kovuuteen ja iskusitkeyteen, mikä aiheuttaa kovan ja hauraan hitsin. Liian pitkä  $t_{8/5}$  (s)  
aika saa aikaan pehmentyneenvyöhykkeen sularajan viereen näin heikentäen iskusitkeys  
ominaisuuksia. On huomioitava nuorrutettuja teräksiä hitsatessa, että on vältettävä liian  
pientä tai liian suurta lämmöntontia. Hitsattaessa huoneenlämpötilassa ainevahvuuden ol-  
lessa vain 10 mm ei yleensä perusaineen esikumennusta tarvita. Esikumennusta käyte-  
tään estämään vetyhalkeilua erityisesti paksuilla ainevahvuuksilla. (Kauppi, T. 2021)

## 6 Toteutus

### 6.1 Materiaalien hankinta

Pöydän rakentamiseen tarvittavien materiaalien hankinta aloitettiin materiaalien kilpailuttamisella ja hintojen vertailulla eri yrityksiltä. Materiaalin hinnan lisäksi toimituksen täytyi olla maksimissaan kaksi viikkoa sekä materiaalin hankintojen osalta pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman lähellä olevia toimittajia, jotta logistiikkakustannukset pysyisivät alhaisina.

Leikkeitten ja putkien tilaus tapahtui kahdelta paikalliselta yritykseltä. Ruuvien, mutterien, kierretankojen sekä hiontarvikkeitten hankinta tapahtui hintavertailujen perustella halvimmasta lähellä olevasta rautakaupasta. Hitsauslisäaine, hitsaussuojakaasu ja hiomatarvikkeet olivat jo ennestään hankittuja.

Levyosien leikkaus toteutettiin Bystronic 20 kW kuitulaserilla. Leikkausparametreinä oli seuraavat arvot: leikkausteho 20kW, leikkausnopeus 10,6 m/min, leikkauskaasu 98 % typpeä + 2 % happea, kaasusuihkunpaine oli 6,5 baaria. Kokonaisleikkausaika levyosille oli 30 minuuttia. Pöydän jalkoihin käytettävät putket katkaistiin metallivannesahalla määrämittäiseksi, johon kului aikaa noin yksi tunti.

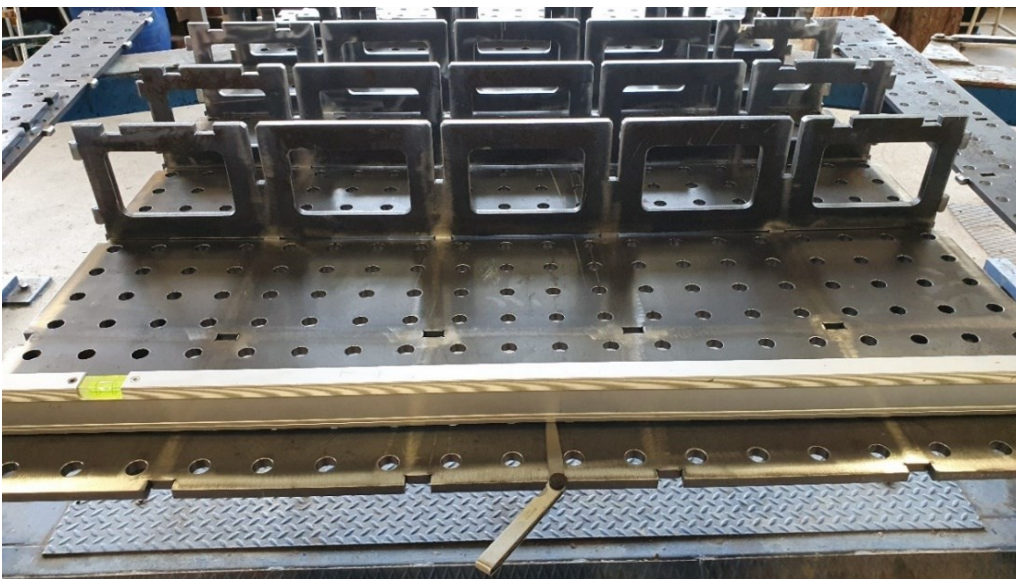
### 6.2 Hitsauspöydän kokoaminen

Pöydän kokoaminen aloitettiin levyosien suoruuden ja mittatarkkuuden toteamisella, jonka jälkeen hitsattaville kohdille suoritettiin valssihilseen poisto sekä laserpoltosta syntyneen pienen purseen poisto ja samalla leikattiin tarvittavat viisteet sekä suoritettiin terävien reunojen pyöristys. Kuvassa 16 on ohjainnastaan hiottu viiste hitsauksen helpottamiseksi. Kuvassa näkyy myös laserleikkauksesta syntynyt pinnanlaatu.



Kuva 16. Viisteen muoto (Kuva: Petri Kettunen)

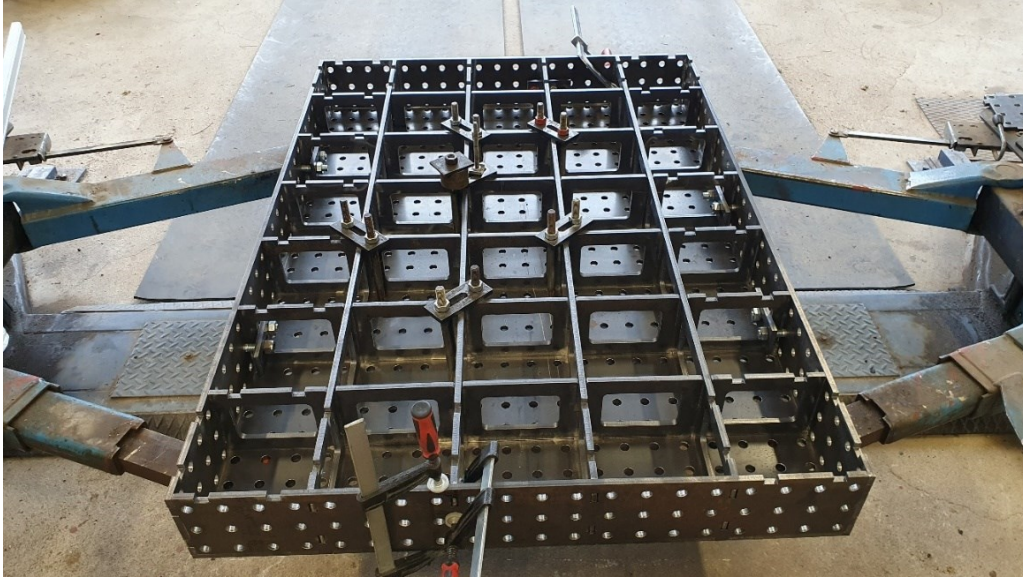
Viisteiden teon ja hiontojen jälkeen alkoi pöytäosan kokoaminen. Osissa on erilaisia koloja ja hahloja helpottamaan osien mitoittamista oikeisiin kohtiin. Koloihin ja hahloihin on jätetty noin 0,2–0,3 mm välys, joka osoittautui jossain kohdin liian pieneksi. Tämä johtui levyjen vääntymisestä laserleikkauksen aikana ja pienestä reikien kartiomaisuudesta. Levy on kovera noin 3 mm yhden metrin matkalla on nähtävissä kuvassa 17. Mittaus on suoritettu vesivaakaa ja välysmittaa apuna käyttäen ennen silloitusta.



Kuva 17. Pöytälevyn suoruuden toteaminen. (Kuva: Petri Kettunen)

Kuvassa 18 on esitetty levyosien kokoaminen. Pöytälevyn epätasomaisuuden takia pöytälevy kiristettiin ruuveilla kiinni runko-osaan. Apuna käytettiin myös erilaisia ruuvipuristimia.

Tässä vaiheessa suoritettiin tasomaisuuden tarkastaminen vesivaa'alla ja optisella vaaituskojeella ensimmäisen kerran.



Kuva 18. Levyosien kokoaminen (Kuva: Petri Kettunen)

Ennen silloitusta tarkistettiin, että jäykisteet olivat kiinni pöytälevyssä välaysmitalla mittamalla, joka on nähtävissä kuvassa 19. Mahdollinen rako poistettiin ruuveilla ja ruuvipuristimilla.



Kuva 19. Välyksen tarkistus silloitusta tehtäessä (Kuva: Petri Kettunen)

Ennen hitsauksen aloittamista pöytäpinnan tasomaisuus mitattiin. Mittauksessa pöydän pinnan tasomaisuus todettiin 0,5 mm kuperaksi ja yksi kulmista oli 0,5 mm korkeammalla,

kuin muut kulmat. Tässä vaiheessa oli mietittävä, miten pöytäpinnan kuperuus ei hitsauksen aikana lisäänty.

Hitsausjännityksistä aiheutuvia muodonmuutoksia pyrittiin minimoimaan erilaisin keinoin

- rakenteen suunnittelu
- hitsisaumojen sijoittelu
- katkohitsi
- lämmöntuonnin vähentäminen
- oikea hitsausjärjestys
- välttämällä ylisuurta pienahitsiä
- esijännittämällä hitsattava kappale hitsauksen ajaksi.

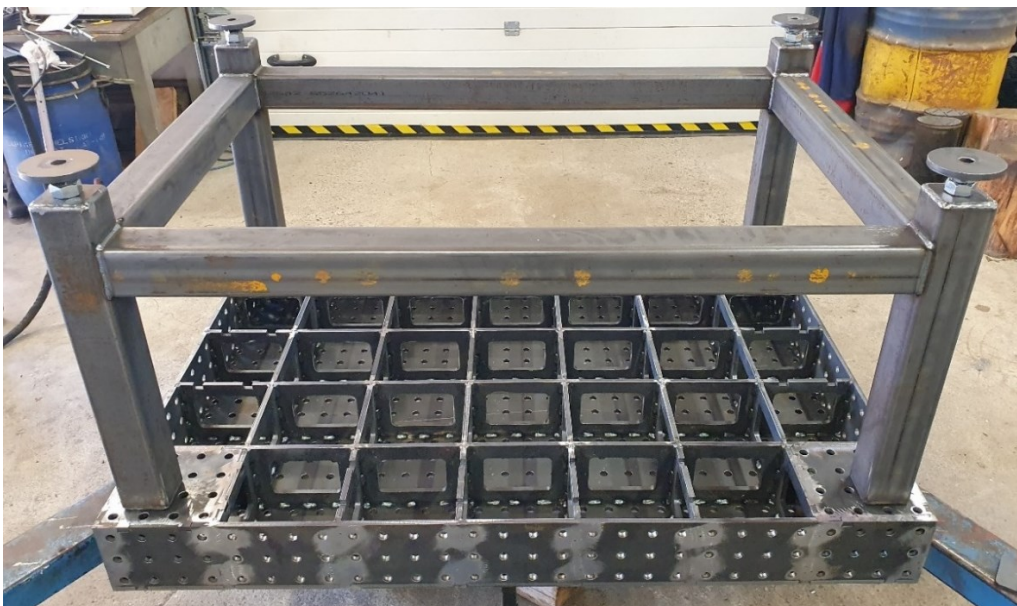
Hitsaus suoritettiin Kemppi merkisellä Mag-hitsauslaitteella ja lisäaineeksi valikoitui Esab OK AristoRod 69 1,0 mm, joka vastaa perusaineen lujuutta. Suojakaasuna käytettiin Woi-  
koski SK18. Hitsaus tapahtui jalkohitsaus asennossa käyttäen kuumakaarialuetta perusai-  
neen sulamisen varmistamiseksi ja roiskeiden syntyminen välttämiseksi. Langan syöttö oli  
noin 12 m/min, arvioitu virta noin 260A jännitteen ollessa noin 28V. Hitsaus suoritettiin  
katkopienahitsillä a-mitan ollessa 4 mm, hitsin pituus oli 15–20 mm, välin ollessa noin 30  
mm, jolloin hitsisauma tuli reikien väliin. Katkohitsauksella pyrittiin välttämään liiallista läm-  
möntuontia ja vetelystä tapahtuvaa muodonmuutosta.

Kuvassa 20 on nähtävissä hitsauspöydän jäykisterakenteiden hitsaus. Pöytää on esijänni-  
tetty hitsauksen ajaksi toisella samaan aikaan valmistuvalla pienemmällä pöydällä. Pöydät  
on liitetty toisiinsa kierretangoilla. Esijännitystä voidaan tehostaa tässä tapauksessa lisää-  
mällä ohut teräsliuska keskikohdalle pöytien väliin. Tässä vaiheessa ei ollut tarkkaa tietoa,  
kuinka rakenne käyttäytyy hitsauksen aikana, joten hitsaus suoritettiin ilman teräsliuskaa.  
Hitsattujen saumojen annettiin jäähtyä ennen esijännityksen poistoa.



Kuva 20. Hitsattava kappale esijännitettyä hitsauksen aikana (Kuva: Petri Kettunen)

Jalkaosat kiinnittyvät pöytään ruuveilla. Kuvassa 21 on nähtävissä pöydänjalkojen rakenne ja kiinnitys. Vaakaputket ovat pöydän siirtämistä varten, mikä tapahtuu haarukkavaunulla. Pöydän korkeutta voidaan säätää noin 200 mm kierretankojen avulla, lukitus tapahtuu muttereilla. On hyvin tärkeää, että pöytä voidaan säätää vaakatasoon lattiassa olevan suuren kaadon takia.



Kuva 21. Pöydänjalkojen kiinnitys (Kuva: Petri Kettunen)

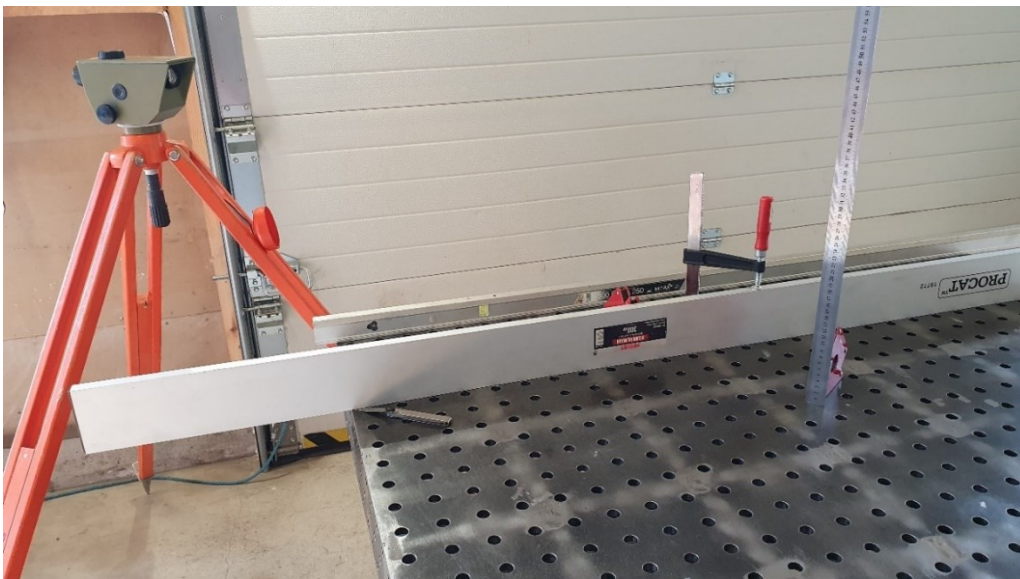
### 6.3 Mittatarkkuuden toteaminen

Hitsauspöydän mittatarkkuutta mitattiin koko rakentamisen ajan. Ensimmäinen mittaus suoritettiin levyosille, seuraava, kun osat olivat paikoillaan ja viimeinen hitsauksen jälkeen. Näin saatiin tulokset mittauksen erivaiheista ja niiden vaikutuksista valmiiseen tuotteeseen.

Mittavälineinä käytössä oli edulliset ja helposti saatavilla olevat mittalaitteet

- rullamitta
- vesivaaka
- työntömitta
- alumiinilinjari
- rakomitta
- metallimitta
- suorakulma.

Käytössä oli myös Kern Swiss GKO-A optinen vaaituskoje, jolla suoritettiin tasomaisuuden mittaus. Kuvassa 22 on nähtävissä mittauksissa käytettävää välineistöä.



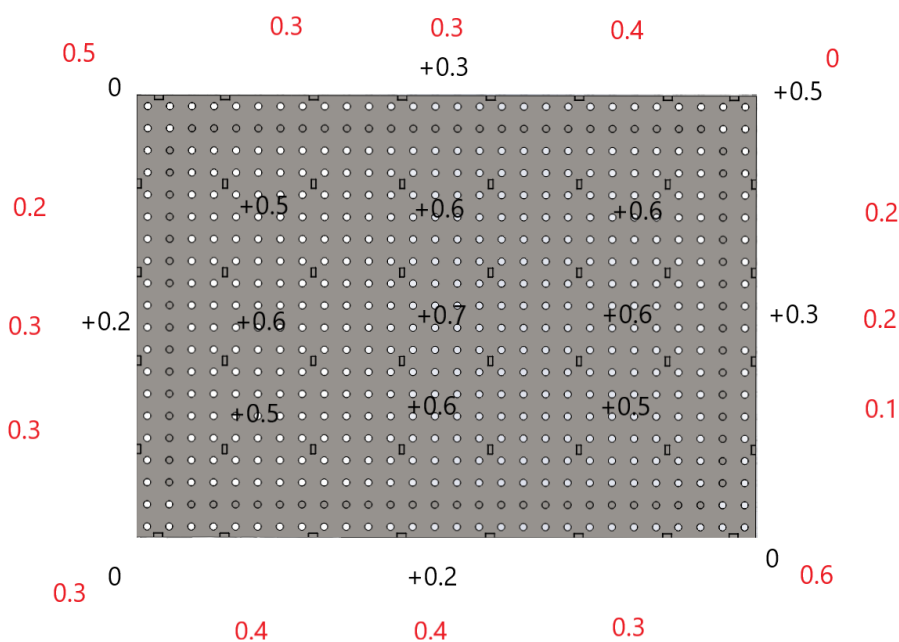
Kuva 22. Mittausvälineet (Kuva: Petri Kettunen)

Ennen lopullisen mittauksen aloittamista hitsauspöydän kansipinta hiottiin kevyesti vesihiomapaperilla suoraa teräslevyä apuna käyttäen. Tällä toimenpiteellä varmistettiin, että pintaan ei ole jäänyt mitään mittausta haittaavaa materiaalia. Hionta osoitti mitkä kohdat pöydäpinnassa ovat ylempänä. Pintaan muodostui ristikko, joka johtui pöytälevyn

alapintaan hitsatusta jäykisterakenteesta. Muodonmuutoksen syynä on hitsauksen lämmöntuonti. Taipuma oli alle 0,05 mm, jota ei pystytty mittaamaan rakomitalla.

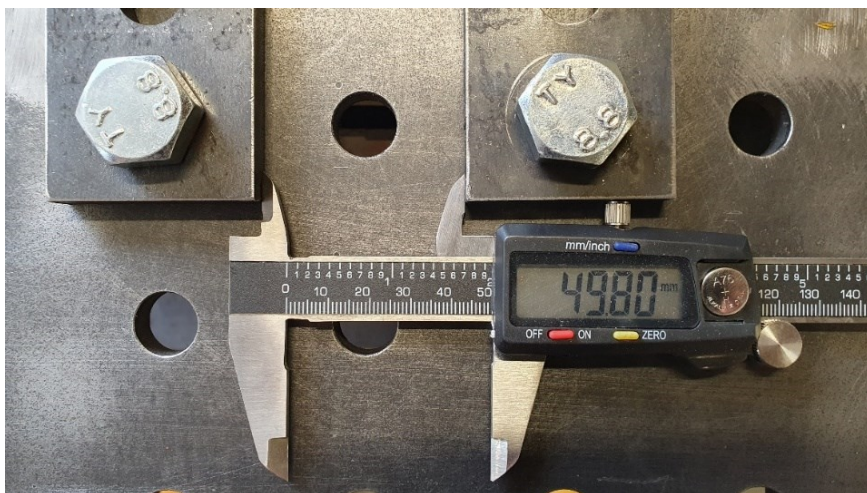
Mittaus aloitettiin vaaitsemalla pöydän tasopinnan kulmat vaakatasoon Kern Swiss GKO-A vaaituskojeella ja teräsmitalla, jossa oli 0,5 mm pituusasteikko. Mittaus tapahtui noin yhden metrin päästä hitsauspöydästä, joten mitta-asteikko näkyi erittäin hyvin vaaituskojeen suurennauksen ansiosta, jolloin mittaustuloksen voi arvioida  $\pm 0,2$  mm tarkkuudella. Ennen hitsausta pöydän pinnan tasomaisuus todettiin 0,5 mm kuperaksi ja yksi kulmista oli 0,5 mm korkeammalla kuin muut kulmat. Hitsauksen jälkeen mittaus toistettiin ja tasomaisuus oli muuttunut 0,7 mm kuperaksi ja yksi kulmista oli edelleen 0,5 mm korkeammalla, kuin muut kulmat. Mittaustulokset tarkistettiin vielä linjarilla ja rakomitalla, jonka jälkeen tulokset vastasivat toisiaan  $\pm 0,2$  mm tarkkuudella. Kuvassa 23 on esitetty mittaustulokset kahdella tavalla. Mustat merkinnät ovat vaaituskojeella mitattuja ja punaiset merkinnät linjarilla ja rakomitalla mitattuna. Pöytälevy on mitoiltaan 1000 mm x 1400 mm.

Tasomaisuutta verrattiin hitsattuja rakenteita koskevaan yleistoleranssiin SFS-EN ISO 13920:2023. Mittaustulokset osoittivat pöytäpinnan tasomaisuuden 0,7 mm kuperaksi  $\pm 0,2$  mm tarkkuudella. Mittausten perusteella tasomaisuus osoittautui tarkkuusluokkaan E, jossa todellisen pinnan ja mittaustason välinen etäisyys saa olla enimmillään 2 mm nimellismitta-alueella  $1000 < l \leq 2000$  mm (SFS-EN ISO 13920:2023).



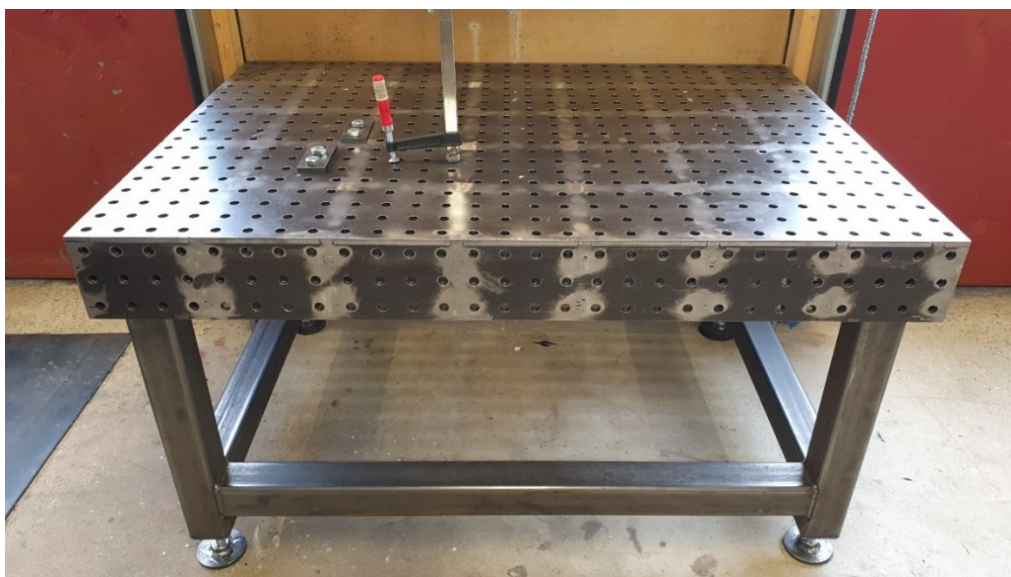
Kuva 23. Mittaustulokset (Kuva: Petri Kettunen)

Muita mittauksia oli laserleikattujen reikien välyksen mittaus. Mittaus suoritettiin mittaamalla levyjen välimitta työntömitalla, levyt ulko- ja sisäreunoihin painettuna. Levyjen laskennallinen väli oli 50,00 mm ja kymmenestä otoksesta mitta vaihteli suurimmillaan välillä 49,80–50,45 mm, keskiarvon jäädessä suuremman ja pienimmän mittauksen välillä 0,50 mm. Mittauksen aikana ruuveissa ei käytetty muttereita vaan levyt pääsivät liikkumaan vapaasti reikiin nähden. Kuvassa 24 on nähtävissä reikien mittaussvällys pienimmillään.



Kuvassa 24. Reikien välykset pienimmillään.

Kuvassa 25 on valmis hitsauspöytä suunnitellussa paikassa. Pöytätaso asetettiin vaakasuoraan säätämällä sen korkeutta säädettävien jalkojen avulla. Suoruus tarkistettiin vaaituskojeella ja vesivaa'alla.



Kuva 25. Valmis hitsauspöytä (Kuva: Petri Kettunen)

## 6.4 Valmistuskustannukset

Valmistuskustannukset muodostuivat hitsauspöydän materiaaleista, johon kuuluivat levyosat, putket ja kierretangot, ruuvit ja mutterit. Hitsauksesta ja hiomatarvikkeista syntyi myös jonkin verran kuluja.

Hitsauspöytään tarvittavat leikatut materiaalit ja muut valmistuskulut tulivat maksamaan noin puolet vertailukohteenä olevasta Siegmund system 16 vastaavan kokoisesta hitsauspöydästä. Osakuvien piirtämiseen, materiaalien kilpailutukseen- ja kuljetukseen sekä hankintaan kului noin kaksi työpäivää. Hitsauspöydän kasaamiseen ja hitsaamiseen meni yhteensä noin kolme työpäivää. Tämä aika sisälsi pöydän suoruuden mittauksen. Hitsauspöydän tullessa omaan harrastekäyttöön omalle työlle ei voi laskea tässä tapauksessa täyttä hintaa.

Mittatarkkuus itse valmistetulla pöydällä ei ole aivan samaa luokkaa, kuin tehdasvalmistetulla vertailupöydällä, joka on valmistettu koneistamalla. Laserleikkaamalla ei päästä koneistuksen tarkkuuteen, mutta pöydän tarkkuus on riittävä harrastekäyttöön.

## 6.5 Jatkokehittäminen

Hitsauspöydän jatkokehittäminen mahdollistaa sen käytettävyyden ja tehokkuuden parantamiseen. Lisäämällä laatikostoja ja hyllyjä voidaan parantaa tarvikkeiden säilytettävyyttä. Erilaisten säädettävien vasteiden ja pöydän jatkopalojen sekä puristimien käyttö helpottaa kappaleiden mitoittamista ja kiinni pysymistä silloituksen ja hitsauksen aikana.

## 7 Yhteenveto ja pohdinta

Hitsauspöydän suunnittelu ja rakentaminen onnistui hyvin. Aikataulullisesti pöydän rakentamiseen oli varattu yksi viikko, mikä osoittautui riittäväksi. Lisätöitä aiheutti ohjausnastojen reiät, jotka olivat liian pienet. Reikiin oli suunniteltu 0,2–0,3 mm välys, mutta joissain kohdissa suunniteltu välys osoittautui liian pieneksi. Tästä aiheutui lisätöitä, koska ohjausnastoja täytyi hieman pienentää hiomalla. Osasyynä tähän oli laserleikkauksesta johtuva levyjen pieni vääntyminen ja reikien kartiomaisuus. Toisaalta, jos kolot, hahlot ja reiät ovat liian väljät, saattaa se heikentää valmistettavan pöydän mittatarkkuutta.

Pöydän paino aiheutti haasteita, koska pöytä täytyi kääntää parhaaseen asentoon hitsauksen kannalta ja lopuksi nostaa pystyyn. Tämä vei yllättävän paljon aikaa itse työstä, koska oikeanlaista nostovälineistöä ei ollut käytettävissä.

Mittatarkkuus ei aivan yllä koneistettuihin tehdasvalmisteisiin hitsauspöytiin, mutta suunniteltu alle yhden millimetrin tasomaisuuden tarkkuus saavutettiin. Jos poikkeama olisi ollut suurempi, tasopinta olisi voitu oikaista suoraksi koneistamalla.

Sitä, kannattaako hitsauspöytä rakentaa itse vai ostaa, on jokaisen syytä pohtia omien tarpeidensa ja käytettävissä olevien resurssiensa perusteella. Raskasrakenteinen hitsauspöytä on pitkäikäinen investointi, jonka elinkaari on oikein käytettynä useita vuosikymmeniä.

## Lähteet

- Heinonen, M. & Kalliolahti, J. 2020. Koneistustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro oy.
- Kauppi, T. 2021. Käytännön hitsausmetallurgiaa osa 3: esimerkkejä rakenneterästen käyttäytymisestä sulahitsauksessa. Hitsaustekniikka. 73 (3), 32–37. Viitattu 17.9.2024. Saatavissa [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/503884/Kaytannon\\_hitsausmetallurgia\\_osa\\_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/503884/Kaytannon_hitsausmetallurgia_osa_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Kemppi Oy. Hitsausaapinen. Viitattu 12.9.2024. Saatavissa <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen>
- Kulina, P., Richter, K., Ringelhan, H. & Weber, H. 1996. Lasertyöstö. Keuruu: Jyväskylän ammatillinen aikuiskoulutuskeskus. Keuruun aikuiskoulutusosasto.
- Kumpulainen, J. 2023. MIG/MAG-kaarityypit. Welding Value. Viitattu 12.9.2024. Saatavissa <https://weldingvalue.com/fi/2023/07/mig-mag-hitsauskaarityypit/>
- Lepola, P. & Makkonen, M. 2008. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. 1.–3. painos. Helsinki: Werner Söderström osakeyhtiö.
- Lukkari, J., Kyröläinen, A. & Kauppi, T. 2016a. Hitsauksen materiaalioppi 1. Helsinki: Suomen hitsausteknillinen yhdistys r.y. (SHY).
- Lukkari, J., Kyröläinen, A. & Kauppi, T. 2016b. Hitsauksen materiaalioppi 2. Helsinki: Suomen hitsausteknillinen yhdistys r.y. (SHY).
- Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Tammerprint Oy.
- SFS-EN ISO 13920:2023. Hitsaus. Hitsattuja rakenteita koskevat yleistoleranssit. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Viitattu 16.9.2024. Saatavissa <https://sfs.fi/>
- SFS-EN ISO18256. 2013. Metallien kovuusarvojen muuntaminen. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Viitattu 16.9.2024. Saatavissa <https://sfs.fi/>
- Siegmund. 2024. Siegmund hitsauspöydät. Bernd Siegmund GmbH tai tytäryhtiöt. Viitattu 16.9.2024. Saatavissa <https://www.siegmund.com/fi-fi>
- Valtonen, E. 2019. Tekniikan taulukkokirja. 22. painos. Jyväskylä: Genesis-kirjat oy.
- Woikoski Oy. Hitsauskaasut. Viitattu 23.9.2024. Saatavissa <https://www.woikoski.fi/hitsaus/hitsauskaasut.html>