



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Lauri Mäkinen

---

## **Optimaalisimmat valmistusmenetelmät kustannustehokkuuden ja laadun näkökulmasta**

Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
SeAMK Tekniikka  
Kone- ja tuotantotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Lauri Mäkinen

Työn nimi: Optimaalisimmat valmistusmenetelmät kustannustehokkuuden ja laadun näkökulmasta

Ohjaaja: Samuel Suvanto

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 48

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Tibnor Oy ja työ tehtiin Seinäjoella toimivaan teräksen esikäsittelylaitokselle. Tibnor Oy on teräsyhtiö SSAB:n tytäryhtiö. Seinäjoen palvelukeskuksessa tuotetaan levyleikkeitä teollisuuteen ja konepajoille. Levyosat leikataan laser-, plasma- tai polttoleikkauskoneella. Lisäksi kappaleita voidaan työstää enemmänkin esimerkiksi viistämällä, särmäämällä ja koneistamalla.

Opinnäytetyön ensisijaisena tavoitteena oli löytää kustannustehokkaampia työmenetelmiä tai ratkaista niistä eri tapojen edullisin vaihtoehto. Samalla täytyi varmistaa, ettei edullisemman valmistusmenetelmän takia tuotteiden laatu kärsi. Yrityksessä oli mietitty kustannustehokkuuden parantamista. Asiasta oli erilaisia mielipiteitä siitä, miten kannattaisi mikäkin työvaihe tehdä. Esille nousseita asioita ei ollut oikeastaan tutkittu aikaisemmin, joten tutkiminen ja tulosten kirjaaminen tuli tarpeeseen.

Työn teoriaosuudessa käsitellään levytyö- ja valmistustekniikan osalta teräksen esikäsittelyihin liittyvää teoriaa. Työssä käydään läpi esimerkiksi kaikki leikkausmenetelmät, jotka Seinäjoen tehtaalla ovat käytössä sekä lisäksi myös muiden työvaiheiden teoriaa, terästä materiaalina sekä tuotannon kehittämistä. Työssä käsitellään hieman myös SSAB:n johtamisfilosofiaa SSAB ONE: a.

Tutkimusvaiheessa käydään läpi nykyisin käytössä olevia menetelmiä, joiden pohjalta erilaiset tutkimukset ja testit on tehty. Lisäksi tehtyjä tutkimuksia ja testejä vertaillaan kustannustehokkuuden ja laadun näkökulmasta.

Työn tulokset välittyvät tämän työn kautta yritykselle ja yrityksen sisällä tehdään sitten ratkaisuja menetelmien valintaan.

<sup>1</sup> Asiasanat: terminen leikkaus, särmäys, kustannustehokkuus, laatu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Lauri Mäkinen

Title of thesis: The most optimal manufacturing methods from view of cost-efficiency and quality.

Supervisor: Samuel Suvanto

Year: 2021

Number of pages: 48

Number of appendices: 0

---

This thesis was made for company named Tibnor Oy. Thesis was made for Seinäjoki service center. Tibnor belongs to SSAB group and is the subsidiary of SSAB. Tibnor produce steel products for industry and engineering works. Seinäjoki service center produce steel plate parts that are cut with laser-, plasma- or flame cutting. Usually, parts are processed in other ways too for example bevelling, bending and machining.

The most important target for this thesis was sort out the most cost-efficiency manufacturing methods without that quality was harmed. There had been considering improving cost efficiency in the company and there was lot of different opinions how processes should be done. It was very important that now studies were made and results saved to this thesis.

The theoretical part contains sheet metal and manufacturing technology in so far as they are related for Seinäjoki service center processes. Also, it includes SSAB management philosophy, production development and steel as a material.

After the theoretical part there are studies and tests. Every different process are in own chapter and there are statements of current manufacturing methods in chapters. After them there is results of each research.

<sup>1</sup> Keywords: thermal cutting, bending, cost efficiency, quality

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja luettelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tausta ja tavoitteet .....	8
1.2 Yritysesittely .....	9
2 SSAB ONE .....	11
2.1 Mikä on SSAB ONE? .....	11
2.2 Asiakasta varten.....	11
3 TERÄS MATERIAALINA .....	13
4 LEVYTYÖTEKNIIKAT .....	14
4.1 Termiset leikkausmenetelmät.....	14
4.1.1 Plasmaleikkaus .....	15
4.1.2 Kaasuleikkaus.....	16
4.1.3 Laserleikkaus .....	17
4.1.4 Leikkaustyövaiheen prosessi .....	18
4.2 Levyleikkauksen taloudellisuus .....	19
4.2.1 Nestaus eli sijoittelu .....	19
4.3 Taivuttaminen.....	20
4.3.1 Takaisinjousto .....	22
4.3.2 Särmäyssäde .....	23
4.3.3 Aihion levitys ja oikaistu pituus.....	24
4.3.4 Särmästyövaiheen prosessi .....	24
4.4 Sinkous .....	25
5 TUOTANNON KEHITTÄMINEN .....	27

5.1	JIT .....	27
5.2	Läpäisyajan lyhentäminen .....	28
6	TYÖMENETELMÄT TÄLLÄ HETKELLÄ TIBNOR OY:SSÄ .....	30
6.1	Pienten palojen sijoittelu ja leikkaaminen .....	30
6.2	Usean kappaleen särmäys yhtä aikaa .....	30
6.3	Viisteen tekeminen leikkauksen yhteydessä tai jälkiviisteenä .....	31
6.4	Sinkopuhallus .....	33
7	MENETELMIEN TESTAAMINEN .....	34
7.1	Pienten palojen sijoittelu ja leikkaaminen .....	34
7.2	Usean kappaleen särmäys yhtä aikaa .....	37
7.3	Viisteen tekeminen .....	39
7.4	Sinkopuhallus .....	42
7.4.1	Plasmaleikatut kappaleet .....	43
7.4.2	Pitkät ja isot kappaleet .....	43
7.4.3	Polttoleikatut kappaleet .....	44
7.4.4	Levysingon kuormitus .....	45
7.4.5	Esisingottujen levyjen naarmuuntuminen .....	45
8	YHTEENVETO JA TULOKSET .....	46
	LÄHTEET .....	47
	LIITTEET .....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>

## Kuva- ja kuvioluettelo

Kuva 1. Jalostajantien tuotantolaitos .....	9
Kuva 2. Tuottajantien tuotantolaitos.....	10
Kuva 3. Polttoleikkausta kolmella suuttimella yhtäaikaan .....	15
Kuva 4. Särmäyspuristin .....	21
Kuva 5. Pienten kappaleiden viimeistelypaikka, myllysinko .....	25
Kuva 6. Viisteen tekeminen leikkauksen jälkeen muotoviistekoneella .....	32
Kuvio 1. Havainne kuva polttoleikkaussuuttimesta .....	16
Kuvio 2. JIT vaikuttaa useisiin eri osa-alueisiin (Logistiikan maailma, [viitattu 10.3.2021].).....	28
Kuvio 3. Kuvakaappaus ensimmäisestä testisijoittelusta. ....	35
Kuvio 4. Kuvakaappaus toisesta testisijoittelusta.....	36
Kuvio 5. Leikkausohjelmien kustannusten vertailua.....	36
Kuvio 6. Leikkausohjelmien vertailua .....	37
Kuvio 7. Särmättävä kappale .....	38
Kuvio 8. Särmäyksen kustannukset.....	38
Kuvio 9. Kappale 1 kustannusten vertailua .....	40
Kuvio 10. Kappale 2 kustannusten vertailua .....	40
Kuvio 11. Kappale 3 kustannusten vertailua .....	41
Kuvio 12. Kappale 4 kustannusten vertailua .....	42

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Myötölujuus</b>	Suurin paine, joka aiheuttaa materiaalin myötämisen eli kappale antaa myöten, mutta ei vielä murru.
<b>RST</b>	Ruostumaton teräs, puhekielessä rosteri.
<b>HST</b>	Haponkestävä teräs.
<b>NC-aika</b>	Leikkauskoneen työaikaa, jolloin tapahtuu leikkausta, tai konetta ajetaan pikaliikkeellä.
<b>SSAB Multisteel SN</b>	SSAB:n valmistama rakenneteräslaatu, jonka myötölujuus on 355 MPa

# 1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkittiin Seinäjoella sijaitsevan Tibnor Oy:n teräspalvelukeskuksen valmistusmenetelmiä ja tuotannon prosesseja. Työssä esitellään teräksen esikäsittelyn prosesseja, termistä leikkausta ja siihen liittyvää nestausta eli sijoittelua, taivuttamista eli särmäystä sekä sinkopuhallusta. Lisäksi käsitellään myös tuotannon kehittämiseen liittyviä asioita. Työn loppupuolella perehdytään tällä hetkellä tuotannossa käytettäviin työmenetelmiin sekä vertaillaan erilaisia menetelmiä, joista on käyty keskusteluja yrityksessä. Näitä menetelmiä halutaan nyt testata ja vertailla, jotta voidaan tutkimusten pohjalta valita oikeat työmenetelmät.

## 1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön aihe alkoi kypsyä 2020 kesällä kirjoittajan työskennellessä yrityksessä. Yrityksessä oli pitkään keskusteltu tilaus-toimitusketjun tehokkuudesta ja siitä, miten kappaleet oikeasti pitäisi valmistaa kustannustehokkaasti. Aiheeksi päädyttiin valitsemaan valmistusmenetelmien ja prosessien kehittämiseen liittyvät näkökohdat. Aiheen punaisena lankana on valmistusmenetelmien ja tuotannon prosessien kustannustehokkuus. Siitä on hyötyä yritykselle kilpailutilanteessa, ja se vaikutti itsellekin mielenkiintoiselta, mikä oli tärkeä asia. Opinnäytetyön aihe vaikuttaa haastavalta, siksi, että vaikka prosesseja ja menetelmiä kehitetään kustannustehokkaammiksi, esimerkiksi työn nopeutumisella, laatu ei saa kärsiä siitä. Toinen haastava seikka on tuotannon vaihtelevuus. Yritys valmistaa teräslevyosia asiakkaiden tarpeisiin, ja valmistettavat osat ovat hyvin erilaisia, sekä sarjakoot vaihtelevat suuresti. Tästä syystä prosesseja ei voida aina tehdä täysin samalla tavalla.

Työn tavoitteena on siis tutkia valittuja prosesseja ja kehittää niitä kustannustehokkaammiksi, laadun siitä kärsimättä. Tarkoitus on laskea, mikä variaatio eri valmistusmenetelmistä on edullisin. Työn tavoite on myös kehittää toimintaa yrityksen arvojen mukaisesti. Tibnorissa työskennellään luoden lisäarvoa tuotteeseen ja tekemällä sitä, mistä asiakas maksaa. Työskennellessä tähdätään myös jatkuvaan parantamiseen. Prosesseista pyritään poistamaan arvoa tuottamatonta työtä, jolloin kustannustehokkuus paranee. (Tibnor, [viitattu 29.1.2021].)



## 1.2 Yritysesittely

Työn toimeksiantajana toimii Tibnor Oy:n Seinäjoen teräspalvelukeskus. Tibnor Oy kuuluu teräsyhtiö SSAB:n konserniin sen tytäryhtiönä. Tibnor toimittaa teräs- ja metallituotteita pohjoismaisille ja Baltian maiden teollisuusyrityksille. Tibnorilla on työntekijöitä 7 eri maassa yhteensä noin 1 000. Yrityksen liikevaihto vuonna 2019 on ollut 9,1 miljardia Ruotsin kruunua eli noin 900 miljoonaa euroa. Tibnorin osuus SSAB:n liikevaihdosta on 12 %. (Tibnor, [viitattu 29.1.2021].)

Seinäjoen palvelukeskus tuottaa teräslevyjen esikäsittelypalveluita sekä hoitaa levymyyntiä omasta varastostaan. Tuotantotilat sijaitsevat Seinäjoen Kapernaumissa Jalostajantiellä sekä Tuottajantiellä. Tuotantotilat ovat hyvien logistiikkayhteyksien äärellä, sillä molempien laitosten takana kulkee rautatie, joten levyjä tuodaan junavaunuilla. Lisäksi Kapernaumin teollisuusalueelta on hyvät väylät suurille maanteille. Seinäjoella on työntekijöitä vähän alle 200. 155 heistä työskentelee tuotannossa, toimihenkilöitä on noin 40.



Kuva 1. Jalostajantien tuotantolaitos

Koneet jakautuvat tuotantolaitosten välillä siten, että Jalostajantiellä plasmaleikkauskoneita on kuusi, laserleikkauskoneita kaksi ja särmäyspuristimia kahdeksan kappaletta. (Kuva 1.)

Tuottajantien puolella polttoleikkauskoneita on seitsemän, plasmaleikkauskoneita kolme, laserkoneita kaksi ja särmäyspuristimia kolme kappaletta. Lisäksi tuotantotiloissa on koneistuskeskus, säteisporakone, sinkopuhalluskoneita, mankeli, jälkiviistekoneita sekä oikaisukoneita. (Kuva 2.)



Kuva 2. Tuottajantien tuotantolaitos

## 2 SSAB ONE

### 2.1 Mikä on SSAB ONE?

SSAB ONE on konsernin yhteinen johtamisfilosofia. Siihen sisältyvät konsernin arvot, visio ja periaatteet. Nämä luovat perustan kaikelle toiminnalle SSAB konsernissa. SSAB ONE ei ole vain jotain, mitä esimiehet tai johtajat tekevät, vaan siihen ajatteluun osallistuvat kaikki. Kehitystä voi tapahtua vain, jos koko henkilöstö on sitoutunut tähän ajattelumalliin. SSAB ONE johtamisfilosofia on yhdenmukainen monessa kohtaa Toyotan johtamisfilosofiaan, Leaniin. Filosofia kuitenkin perustuu SSAB:n omaan historiaan ja käsityksiin. Muuttuvissa markkinatilanteissa pysyvät vakaina visio, arvot ja periaatteet, joiden pohjalta strategiaa ja työskentelytapoja muutetaan tarvittaessa tilanteeseen sopivaksi. (SSAB ONE, [viitattu 29.1.2021].)

### 2.2 Asiakasta varten

Ensimmäinen periaate on "Asiakasta varten". Periaate liittyy virtaustehokkuuteen, koska tuotteita valmistetaan vain asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Virtaustehokkuudessa tärkeintä on asiakkaan tarpeiden mukaan toimiminen. Tämä ajattelu eroaa teollisuudessa pitkään vallinneesta ajattelusta, jossa huomio on keskitetty massatuotantoon ja resursseihin. Massatuotannossa koneita, laitteita ja ihmisiä pyritään pitämään koko ajan työllistettyinä, vaikka asiakas ei olisi tilannutkaan tuotteita. Tästä aiheutuu ylituotantoa, eli ylimääräistä hukkaa ja kuluja. SSAB:n markkinoilla massatuotantoajattelu ei kuitenkaan toimi, sillä tilanne elää jatkuvasti, ja asiakkaan vaatimukset sekä kysyntä vaihtelevat. Tämä vaatii joustavuutta ja virtaustehokkuutta prosesseissa, jotta markkinoilla voi menestyä. Lean-ajattelussa tällaista periaatetta kutsutaan "just in time" termillä. (SSAB ONE, [viitattu 29.1.2021].)

Tuotannossa on pyrittävä siihen, että tuotetaan asiakkaan tilaama määrä oikeaa tuotetta siinä järjestyksessä kuin se on tilattu. Se poistaa monella tapaa ylimääräisiä vaiheita ja hukkaa prosessista. Haasteena on tuottaa erilaisia tuotteita tai palveluita niin, että arvoa lisäävät toiminnot toimitusketjussa olisivat lähellä toisiaan, eikä välissä tarvitsisi olla odotuksia, korjauksia, kuljetuksia tai muuta toimintaa, mikä ei lisää arvoa tuotteelle.

Ihannetilanne tässä "asiakasta varten" -periaatteen mukaisessa toiminnassa on toimia virtaustehokkaasti, pitäen yllä korkeaa resurssitehokkuutta. (SSAB ONE, [viitattu 29.1.2021].)

### 3 TERÄS MATERIAALINA

Tässä maailmassa valmistetaan ja rakennetaan todella paljon laitteita, koneita, rakennuksia ja erilaisia rakennelmia. Niissä sovelluksissa yleensä hyödynnetään erilaisia materiaaleja kunkin käyttötarkoituksen mukaan. Metalleja käytetään lähes kaikissa kohteissa, ja tärkein metalli onkin teräs. Teräksellä on monia hyviä ominaisuuksia, joiden ansiosta se sopii käytettäväksi myös rakennuksissa. Teräksellä on suuri lujuus, jota ei muilla yleisillä rakennusmateriaaleilla ole. Terästä valmistettaessa sen ominaisuuksia voidaan muokata koostumuksen ja valmistusprosessien avulla. (Teräsrakenneyhdistys, [viitattu 16.2.2021].)

Teräs koostuu useista eri alkuaineista. Pääasiassa se sisältää hiiltä ja rautaa, mutta perusseokseen kuuluvat myös pii, mangaani ja usein myös alumiini. Terästä seostaessa prosessissa käytetään myös muita aineita tai siihen lisätään muita aineita, jotka muuttavat teräksen ominaisuuksia. Esimerkiksi boorilla ja volframilla seostaessa teräksestä saadaan kulutuskestävämpiä, kovempia ja lujempia teräslaatuja. (Teräsrakenneyhdistys, [viitattu 16.2.2021].)

Terästä voidaan muovata monella tapaa, ja se on kestävä materiaalia, minkä vuoksi sitä käytetään niin paljon esimerkiksi rakentamisessa ja teollisuudessa lukemattomissa eri sovelluksissa. Teräksellä on myös hyvät arvot veto- ja murtolujuudessa. Lisäksi se johtaa hyvin lämpöä. Teräksen ominaisuuksien testaamiseen on kehitetty useita menetelmiä. Esimerkiksi vetolujuutta voidaan mitata vetokokeilla, teräksen sitkeyttä iskutitkeys-kokeella sekä kovuutta mitataan teräskappaleen pinnasta kuormittamalla sitä voimakkaasti. (Total materia, [viitattu 29.4.2021].)

## 4 LEVYTYÖTEKNIIKAT

Teräslevystä valmistettuja osia käytetään nykyään niin useissa kohteissa, että niiden luetteleminen tuskin onnistuisi. Levyosien valmistukseen on ajan kuluessa kehitetty monenlaisia tekniikoita. Teräslevyn käyttöä verrataan usein valamalla valmistettuihin kappaleisiin ja vertailua voidaankin tehdä, milloin rakenne kannattaa tehdä levyosista tai milloin valamalla.

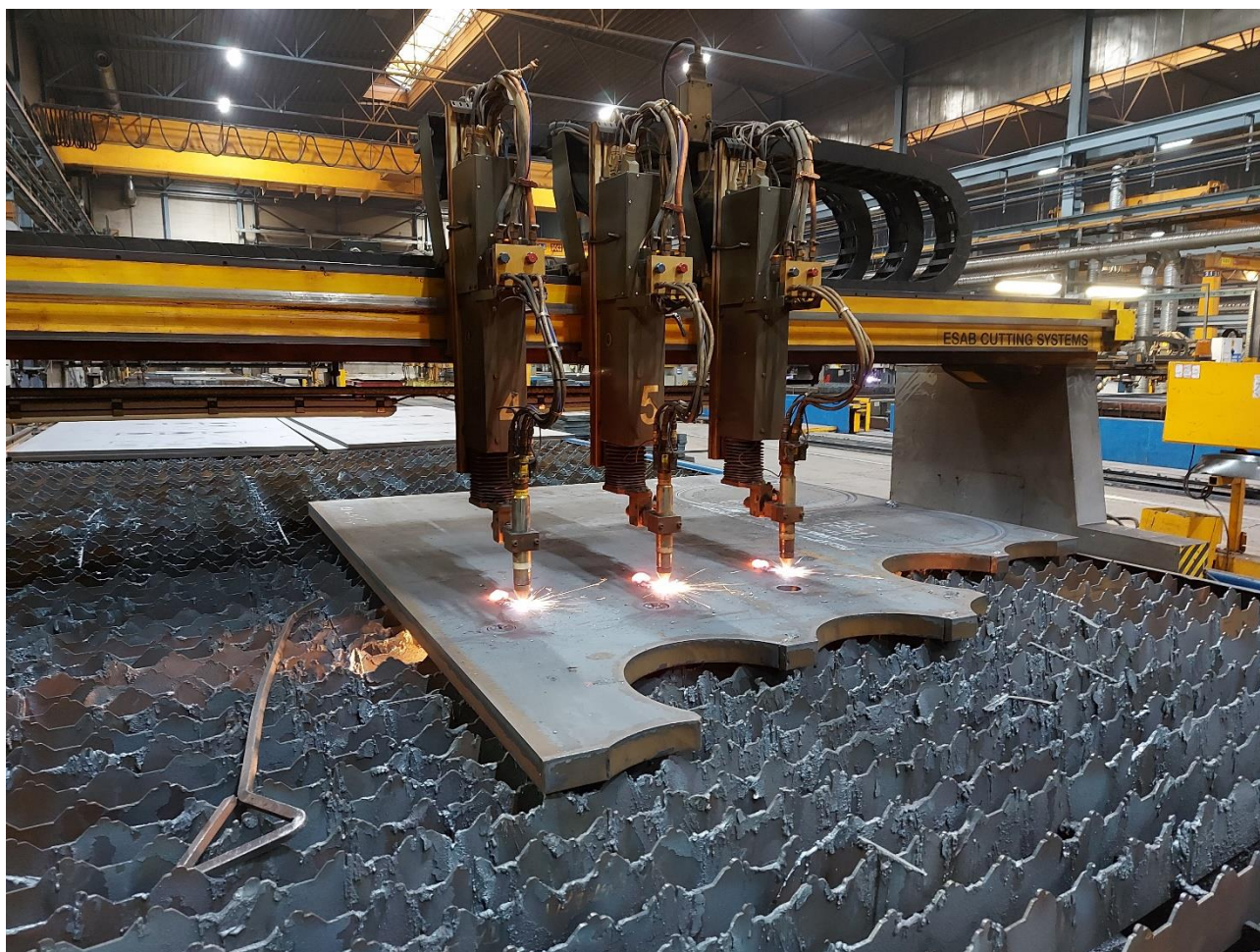
Tähän on melkein mahdotonta antaa täysin yleispätevää ohjetta, sillä muuttujia ja vaikuttavia tekijöitä on paljon. Pääosin levyn käyttöä rakenteessa voidaan perustella muutamilla seikoilla. Jos halutaan vähentää rakenteen painoa, levykonstruktio on usein parempi vaihtoehto. Kun tuotannot ovat usein pitkälle automatisoituja, voidaan levyrakenteissa paremmin hyödyntää pitkälle kehittynyttä automaattihitsausta robottien avulla. Toisaalta levyn muovausominaisuudet mahdollistavat sen, ettei hitsausliitosta välttämättä tarvita. Levyrakenteella saadaan usein kokoonpanon tai tuotteen valmistuksessa edullisempi rakenne kuin esimerkiksi hitsaamalla eri osista. Levytyöissä yleisimmät käytettävät menetelmät ovat leikkaamista, muovaamista ja liittämistä. Mutta myös lastuavan työstön menetelmiä käytetään levyrakenteiden valmistuksessa. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 1–2.)

Tässä työssä käsittelen opinnäytetyöhön liittyvien prosessien tekniikoita.

### 4.1 Termiset leikkausmenetelmät

Terminen leikkaus perustuu korkean lämpötilan aiheuttamiin muutoksiin levyssä. Leikattava metalli kuumennetaan korkeaan lämpötilaan paikallisesti. Metallia leikkautuu sulamalla, palamalla tai höyrystymällä tai näiden yhteisvaikutuksesta. Leikkaussuuttimesta puhalletaan sulatettuun kohtaan kaasua, joka puhaltaa sulaneen metallin pois. Hapen käyttö leikkauksessa edistää palamista ja näin saadaan kuumempi liekki. Yleisesti käytetyt menetelmät ovat kaasu-, plasma-, ja laserleikkaus. (Aaltonen ym. 1997, 18.) Näitä menetelmiä käsitellään työssä, sillä ne ovat käytössä Tlbnorilla Seinäjoella.





Kuva 3. Polttoleikkausta kolmella suuttimella yhtäaikaan

#### 4.1.1 Plasmaleikkaus

Plasmaleikkausmenetelmä on tullut teolliseen käyttöön 1950-luvun loppupuolella. Alussa sitä on käytetty karkeiden rakenneteräslevyjen leikkauksessa, mutta käyttökohteet ovat laajentuneet myös ohutlevyjen, erityisesti sinkittyjen levyjen leikkaamiseen. Plasmalla voidaan leikata kaikkia materiaaleja, jotka johtavat sähköä. Se onkin hyvin yleisesti käytetty menetelmä RST ja HST leikkauksessa. (Aaltonen ym. 1997, 20–21.)

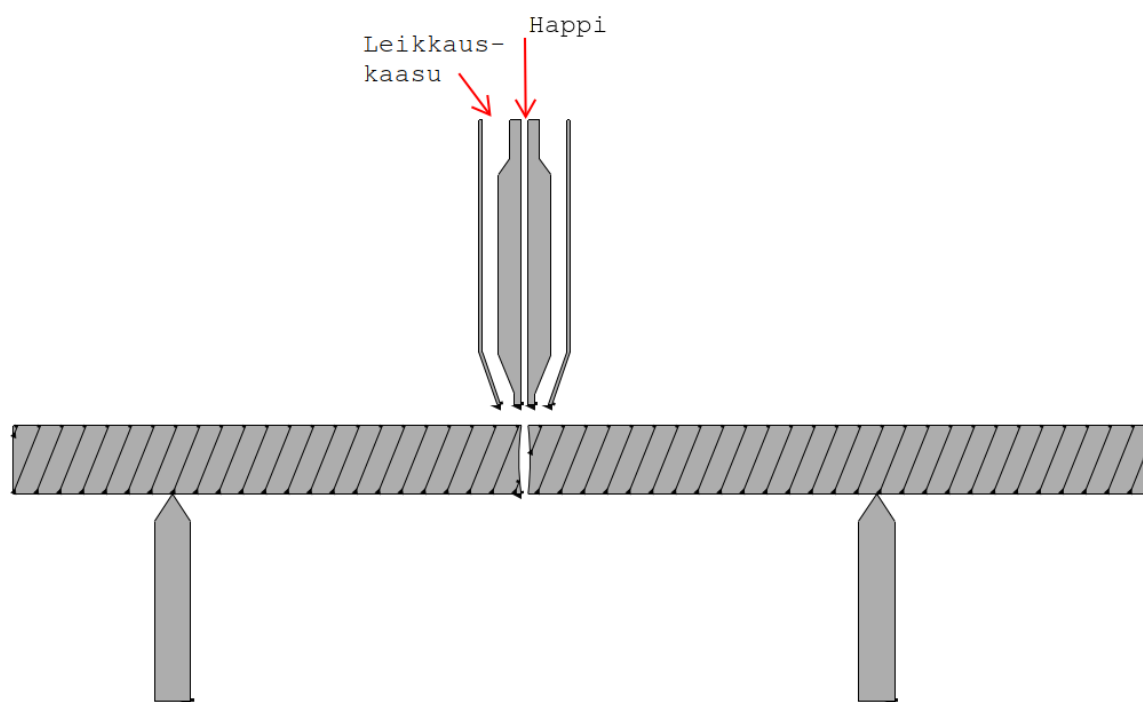
Plasma on kaasu, joka on dissosioitunut ja ionisoitunut korkeassa lämpötilassa. Plasmakaasulla puhalletaan valokaarella sulatettu metalli pois leikkausurasta. Valokaari palaa plasmasuuttimessa olevan elektrodin ja leikattavan kappaleen välillä. Leikkauksen aikana työkappale on positiivinen elektrodi ja suuttimessa oleva sauva on negatiivinen. Sauvan materiaali vaihtelee käytetyn kaasun mukaan, ja se voi olla esimerkiksi volframia. (Aaltonen ym. 1997, 20–21.)

Leikkaus tapahtuu lämmön ja paineilman tai plasmakaasun aiheuttaman liike-energian yhteisvaikutuksesta. Plasmaleikkauskoneessa virtalähteenä on tasasuuntaaja, virrat ovat 150–600 A ja kaarijännitteet 100-200 V. Näillä saadaan aikaan korkea lämpötila, noin 25 000–30 000 °C. (Aaltonen ym. 1997, 20–21.)

#### 4.1.2 Kaasuleikkaus

Kaasuleikkaus tarkoittaa nimensä mukaisesti sitä, että polttokaasua virtaa suuttimesta ja kaasu palaa suuttimen päässä liekillä, joka tuottaa lämpöä. Kaasuna tässä voidaan käyttää asetyleenia, propaania eli nestekaasua tai metaania eli maakaasua. Jotakin kaasua seostetaan hapen kanssa, jolloin saadaan tehokas liekki metallin sulattamiseen. (Aaltonen ym. 1997, 19–20.)

Lisäksi polttimen keskeltä puhalletaan happea, joka hapettaa sulan metallin ja puhaltaa muodostuneen metallioksidin pois. (Kuvio 4.)



Kuvio 1. Havainne kuva polttoleikkaussuuttimesta



Kaasuleikkaus eli tavallisemmin polttoleikkaus soveltuu hyvin rakenneteräslevyjen leikkaamiseen. Sillä voidaan leikata 3 mm:ä ja sitä paksummat levyt. Se on erittäin tehokas menetelmä myös hyvin paksujen, jopa 300 mm:n levyjen leikkaamiseen. Ruostumattomat ja haponkestävät teräkset eivät sovellu polttoleikattaviksi. (Aaltonen ym. 1997, 19–20.) Ruostumattomien terästen kromipitoisuus on yli 10,5 % ja polttoleikattavien terästen kromipitoisuuksien tulisi olla alle 9 %. Kromipitoinen teräs karkenee helpommin, joten polttoleikattaessa lämpötila nousee niin korkeaksi, että se aiheuttaa karkenemistä, mikä ei ole hyvä asia, jos karkenemistä ei haluta. (Tampereen teknillinen yliopisto, [viitattu 16.2.2021].)

Polttoleikatun kappaleen pinnanlaatu vaihtelee riippuen käytetyistä parametreista ja prosessin onnistumisesta muutenkin. Polttoleikatun uran leveys on noin millimetrin luokkaa. Leikatusta pinnasta tulee usein uurteinen, ja siihen jää hilsettä, joka on oksidoitunutta metallia. Lämpö leviää kappaleeseen kauttaaltaan, mutta lämmönvaikutusalue on melko suuri, yli millimetrin. Tällä alueella teräksen kemiallisessa rakenteessa siis tapahtuu muutoksia. Muutoinkin lämmöntuotto aiheuttaa kappaleissa vääntymiä ja jännityksiä. Niitä voidaan kuitenkin minimoida kiinnittämällä huomiota leikkaussuuntiin ja leikkauksen aloitukseen. (Aaltonen ym. 1997, 19–20.)

Polttoleikkauskoneissa voidaan käyttää useita polttimia yhtä aikaa. Sama kaasu on helppo jakaa useaan eri suuttimeen (Kuva 3). Tämä helpottaa varsinkin silloin, kun leikattavien osien sarjakoko on suuri. Kappaleet voidaan sijoitella vierekkäin levyille siten, että ne ovat leikattavissa usealla polttimella yhtä aikaa. (Aaltonen ym. 1997, 19–20.)

#### **4.1.3 Laserleikkaus**

Laser on yleisesti tunnettu kirkkaana valonsäteenä, jolla nykyisin on mitä erikoisempia sovelluksia. Konepajoissa laseria sovelletaan yleisimmin metallilevyjen leikkauksessa. Niin tässä, kuin muissakin termisen leikkauksen sovelluksissa peruseriaate on, että tuotetulla lämmöllä materiaali sulatetaan, ja sulanut metalli puhalletaan pois eri kaasujen ja niiden yhdistelmien avulla.

Laservalon avulla saadaan aikaan korkea lämpötila, koska valo on koherenttia, eli kaikki valonsäteet ovat samassa vaiheessa, valo on monokromaattista, eli kaikilla on sama aallonpituus ja kaikkien valonsäteiden kulkusuunta on sama. Leikkaussuuttimeen ohjataan metallia sulattavat lasersäteet. Leikkauskaasun avulla sulanut metalli puhalletaan pois railosta. (Ihalainen ym. 1996, 266–268.)

Valmistusmenetelmäksi kannattaa valita laserleikkaus, jos valmistettavan osan mitat ovat tarkkoja tai tiukkaan toleroituja. Toisin kuin plasmaleikkauksessa, laserilla leikattujen osien leikkauspinnat ovat kohtisuorassa kappaleen pintaan nähden, eivätkä leikkauspinnan särmit pyöristy. Laserleikattuja osia ei oikeastaan tarvitse viimeistellä lainkaan, jolloin säästytään ylimääräiseltä työltä. Muodoiltaan vaativat ja pienikokoiset kappaleet olisi hyvä myös leikata laserilla. Leikkausrailo on 5–10 mm:n paksuisessa levyssä vain noin 0,5–1,0 mm. Myöskään lämpövaikutukset eivät ulotu laajalle alueelle. (Ihalainen ym. 1996, 266–268.)

Huono puoli laserleikkauksen käyttämisessä on laitteiston hinta. Sen hankkiminen on todella kallista. Laserit eivät ole tehokkaita enää paksummille levyille, sillä leikkausnopeus kärsii sitä enemmän, mitä paksumpaa levyä leikataan. (Ihalainen ym. 1996, 266–268.)

#### **4.1.4 Leikkaustyövaiheen prosessi**

Ennen kuin teräslevyä päästään leikkaamaan koneella, on sitä varten tehty jo työtä tuotannonsuunnittelussa. Järjestelmässä oleva tilaus on käsiteltävänä tuotannonsuunnittelijalla, joka määrittää kappaleelle tehtävät työvaiheet, esimerkiksi leikkaustavan tai sen, että sinkopuhalletaanko kappale tai levy, josta se leikataan. Nämä päätökset perustuvat usein asiakkaiden vaatimuksiin ja kappaleen ominaisuuksiin. Suunnittelun jälkeen kappaleet tulevat sijoittelijalle, joka valitsee samaa materiaalia ja paksuutta olevia kappaleita ja sijoittelee ne levyille. Lisäksi hän tarkistaa, että kaikissa on sama leikkausmenetelmä. Kun osat ovat sijoiteltu, siitä tehdään leikkausohjelma CNC-leikkauskoneille. Ohjelmat tulevat leikkaajille työjonoon näkyviin. Varastonhoitaja tuo sijoittelijan määrittämän levyn leikkauskoneen luo, jonka jälkeen leikkaaja asettaa levyn ja koneen niin, että ohjelman ajaminen voidaan aloittaa.

Leikkauksen aikana leikkaaja seuraa leikkausta niin, että kaikki sujuu prosessin aikana, kuten kuuluukin. Leikkausohjelman aikana ja leikkauksen loputtua kappaleet kerätään ja merkataan lavoille asiakas- tai tilauskohtaisesti. Sen jälkeen osat viedään eteenpäin muihin työvaiheisiin.

## **4.2 Levyleikkauksen taloudellisuus**

Jokaiselle kappaleelle valitaan leikkausmenetelmä, jolla kappale valmistetaan. Käytettävä menetelmä määräytyy kappaleen ominaisuuksien perusteella. Materiaali, sen paksuus, toleranssivaatimukset ja esimerkiksi leikkauspinnan vaatimukset ovat määrääviä tekijöitä. Teräslevyjä leikatessa ohuimmat levyt (0-25 mm) leikataan pääasiassa laserilla tai plasmalla. Laseria käytetään, jos kappaleessa on tiukkoja toleranssivaatimuksia, joihin ei plasman tarkkuus riitä. Plasmaa käytetään vieläkin paksumpiin levyihin. Laseria voidaan käyttää myös paksumpiin levyihin, mutta se on jo haastavaa saada onnistumaan laadullisesti. Laserilla leikkausnopeus on paljon hitaampaa, jolloin työajan kustannukset kasvavat suuriksi. Laserilla leikatessa rei'istä tulee täysin pyöreät, toisin kuin plasmalla leikatessa. Myös leikkausreunoissa on eroa: plasmalla niistä tulee hieman vinoja, kun ne taas laserilla ovat suorina. Polttoleikkausta käytetään paksummille levyille. Polttoleikkaus on hidas prosessi mutta paksuille levyille silti taloudellisin. Mikäli levyn paksuus on suuri ja samanlaisia kappaleita leikataan iso sarja, kannattaa valita polttoleikkaus. Polttoleikkauksessa voidaan käyttää useaa poltinta yhtä aikaa, eikä se vaikuta leikkausnopeuteen. (Esabin osaamiskeskus, [viitattu 10.3.2021].)

Eri leikkausprosessien ominaisuuksia ja kappaleiden vaatimuksia vertailemalla selviää se, millä menetelmällä kappale pitäisi leikata. Jos vaihtoehtoisiksi jää kaksi menetelmää, niistä kannattaa tietenkin valita edullisempi.

### **4.2.1 Nestaus eli sijoittelu**

Nestaus eli sijoittelu on tapa, jolla leikattavat kappaleet pyritään järjestelemään levyille niin, että ne vievät mahdollisimman vähän tilaa ja niiden leikkaamiseen kuluu mahdollisimman vähän aikaa. Nestaukseen on olemassa tietokoneohjelmia, joissa on valmiit algoritmit siihen, miten kappaleet kannattaa sijoitella. Nestauksessa tosiaan ei pyritä pelkästään

asettelemaan kappaleita, vaan sillä pyritään myös minimoimaan pikaliikkeen ja tuottamattoman liikkeen aika. Nestauksella on mahdollista myös yhdistää leikkauskohtia esimerkiksi suorilla osuuksilla, jolloin romua ei synny lainkaan. Laadukkaalla nestauksella voidaan saada tuotannosta kustannustehokkaampaa ja luoda siten säästöä. Mitä suurempaa tuotanto on, sitä enemmän nestauksesta saadaan hyötyä. (Klein, [viitattu 10.3.2021].)

### **4.3 Taivuttaminen**

Taivuttaminen on yleinen levyn muovausmenetelmä. Tässä osiossa käsitellään särmäyspuristimella tapahtuvaa taivuttamista eli särmäämistä (Kuva 4). Taivuttaminen voi tapahtua yhden tai useamman yhdensuuntaisen tai käyrän taivutusakselin ympäri. Särmäyspuristimella tapahtuvaa taivuttamista tapahtuu vain yhdensuuntaisten taivutusakselien ympäri. Särmäyksessä taivutettava kappale ei liiku levyn suunnassa. Särmätessä aihion yhdeltä tai useammalta reunalta käännetään taive. (Aaltonen ym. 1997, 42–43.)



Kuva 4. Särmäyspuristin

Särmättäessä kappaleessa esiintyy ilmiöitä, jotka ovat hallittavissa, mutta samalla tärkeitä tiedostaa ja seurata. Hallittavissa olevien ilmiöiden lisäksi saattaa kappaleeseen tapahtua muitakin asioita, jotka vaurioittavat sitä, tehden siitä käyttökelvottoman. Työkappaleen

neutraaliakseli muuttuu, ja lievää venymistä on havaittavissa kappaleessa särmäyksen aikana. (Aaltonen ym. 1997, 42–43.) Kappale saattaa ratketa särmäyskohdasta, mikäli kappaletta särmätään liian pienellä ylätökalulla eli käytetään liian pientä särmäyssädettä.

Särmäyksessä vaikuttavia tekijöitä ovat koneen, työkalujen ja työkappaleen staattiset reaktiot. Lisäksi tässä tekniikassa vaikutusta on koneen ja työkalujen liikkeillä sekä työkappaleen geometria ja sen käyttäytymisellä. Kappaleen geometrian ja ominaisuuksien kannalta tärkeitä tekijöitä ovat takaisinjousto, aihion levitysmitta sekä taivutussäde. Yleensä särmättävä materiaali vaikuttaa eniten näihin asioihin, mutta myös kappaleen geometrialla ja halutuilla muodoilla on tähän merkityksensä. (Aaltonen ym. 1997, 42.)

Levyn särmättävyyteen vaikuttavat materiaaliominaisuudet ja paksuus. Toisaalta nämä antavat vain karkean kuvan siitä, millä tavalla kappale voidaan särmätä tai mitä särmääminen aiheuttaa. Vaikutus rajautuu lähinnä takaisinjoustoan ja särmäyssäteen käyttämiseen. Tarkemmin jos tarkasteltaessa, särmättävyyteen vaikuttaa myös materiaalin mikrorakenne ja koostumus. Eri mikrorakenteilla ja koostumuksilla on erilainen muodonmuutoskyky. Levyn pinnanlaatu ja valssaussuunta ovat myös merkityksellisiä, sillä taivutetun levyn ulkopinta on herkkä vaurioille. Vauriot saavat alkunsa pinnan epätasaisuuksista ja etenevät kappaleessa. Jos kappaletta särmätään valssaussuuntaan nähden pitkittäin, vaurion mahdollisuus on suurempi. Poikittain särmätessä voidaan joissain tapauksissa käyttää pienempää särmäyssädettä. (Aaltonen ym. 1997, 43–44.)

Eri laatuisten teräslevyjen särmättävyysominaisuudet löytyvät valmistajan laatimista materiaalitiedoista tai materiaalistandardeista. Usein valmistajilta löytyy materiaalia, jonka ominaisuudet ovat suotuisat särmäykselle. Näitä materiaaleja kannattaa hyödyntää, jos rakenne vaatii särmättyjä osia. (Aaltonen ym. 1997, 44.)

#### **4.3.1 Takaisinjousto**

Kun kappaletta taivutetaan haluttuun muotoon särmäyspuristimella, särmäyskohdassa tapahtuu plastista muovautumista, joka aiheuttaa muun muassa neutraaliakselin siirtymän. Plastista muovautumista tapahtuu eniten särmäyskohdan ulko- ja sisäpinnoilla. Ulkopinnalla tapahtuu vetojännitystä ja sisäpinnalla puristusjännitystä. Jännitysten väliin jää vyöhyke,

jossa tapahtuu vain elastista muutosta. Elastisen vyöhykkeen sisällä on myös jännityksiä, jotka pyrkivät palauttamaan kappaleen takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Elastisia jännityksiä vastustavat plastiset muutokset pinoilla. Kun näiden jännitysten voimat ovat tasan, muoto ei enää palaudu. Elastiset jännitykset siis aiheuttavat kappaleelle takaisinjouston. Särmätessä takaisinjousto täytyy huomioida ja kappaletta on taivutettava enemmän kuin mitä haluttu taivutuskulma on. (Ihalainen ym. 1996, 237.)

Takaisinjouston suuruus vaihtelee eri materiaaleilla. Yleisten rakenneterästen takaisinjoustot ovat suhteellisen pieniä verrattuna esimerkiksi ruostumattomien terästen takaisinjoustoon. Takaisinjouston lisäksi levy ohenee särmäyskohdasta. Takaisinjousto, levyn oheneminen ja muut tekijät särmäyksessä saattavat aiheuttaa haastavissa särmäyksissä monenlaisia ongelmia. (Ihalainen ym. 1996, 237.)

#### **4.3.2 Särmäyssäde**

Yksi tärkeimpiä laatutekijöitä särmäyksessä on käytettävä särmäyssäde. Särmäyssäteelle on määritetty rajat, joiden välillä sen täytyy olla. Tähänkin vaikuttavat materiaalin ominaisuudet, samoin kuin takaisinjoustossa. Särmäyssäde on kappaleessa särmäyskohdan sisäpuolinen säde.

Minimisärmäyssäde määritetään usein sen perusteella, kuinka paljon ulkopinnassa saa olla vauriota. Minimisäteeseen vaikuttaa kuitenkin moni muukin tekijä. Sisäpuolen puristuminen voi huolettaa jo ennen kuin ulkopuolella on tullut vauriota. Särmäyssädettä määritettäessä on tärkeä tietää kappaleessa vallitsevan rasituksen määrä sekä materiaalin ominaisuuksia, lähinnä sitkeyttä. Sitkeys määritellään siitä, kuinka paljon kappale kestää muodonmuutosta ennen vaurioitumista. Minimisärmäyssäde voidaan määritellä levyn paksuuden ja kertoimen avulla. Tämä kerroin on määritetty erilaisille materiaaleille materiaalien ominaisuuksien ja kokemusten perusteella. Esimerkiksi matalahiiliset teräkset, käytännössä yleisimmät rakenneteräkset, voidaan särmätä jopa puolet pienemmällä särmäyssäteellä, kuin ainepaksuus. Kerroin on siis silloin 0,5. (Boljanovic 2004, 57–59.)

Särmätessä ei voida käyttää myöskään liian isoa sädettä. Jos käytetään liian isoa sädettä, kappaleessa ei tapahdu pysyvää plastista muodonmuutosta. Kun särmäyspuristimen voima

vapautetaan kappaleesta, se palautuu takaisin muotoonsa ennen särmäystä. (Boljanovic 2004, 59–60.)

### 4.3.3 Aihion levitys ja oikaistu pituus

Kappaleet särmätään valmiiksi oikeaan muotoon ja mittoihin leikattuna eikä niitä enää muokata taivutuksen jälkeen lukuun ottamatta niitä tapauksia, joissa käytetään apupaloja, halutun taivutuksen tekemiseksi. Kappaleen levitysmitat saadaan laskemalla trigonometrisillä laskentatavoilla. Laskeminen tapahtuu tietokoneilla suunnitteluohjelmissa. Oikaistu pituus on siis aihion levitysmitta, josta särmäysten jälkeen muodostuu oikean mittainen ja muotoinen kappale. Kappaleen kylkimitat eivät pelkästään määritä oikaistua pituutta, vaan siihen vaikuttavat myös särmäyssäteet ja -kulmat. (Aaltonen ym. 1997, 50–51.)

### 4.3.4 Särmästyövaiheen prosessi

Särmäys tapahtuu usein kappaleen viimeistelyn ja sinkopuhalluksen jälkeen. Särmääjät valitsevat työjonosta kappaleita, joita voidaan särmätä mahdollisimman paljon samoilla työkaluilla. Tämä säästää aikaa, kun ei tarvitse vaihtaa ylä- ja alatyökaluja. Kappaleen särmäyksessä käytettävät työkalut määrittää tuotannosuunnittelija. Särmääjät saattavat kuitenkin särmätä eri työkaluilla, mikäli he huomaavat särmäysohjelmaa tehdessä, että joillakin toisilla työkaluilla särmäys onnistuu paremmin tai särmäys voidaan suorittaa koneessa kiinni olevilla työkaluilla.

Kappale nostetaan käsin tai nosturilla särmäyskoneelle ja asetellaan särmäyskohtaan. Särmääjä käyttää konetta usein polkimella, jolloin särmäyspuristin tekee ohjelman mukaisen painalluksen. Painamisen jälkeen särmääjä tarkastelee mittoja ja korjailee tarvittaessa mahdollisuuksien mukaan. Sen jälkeen levyä siirretään toiseen särmäyskohtaan tai otetaan uusi kappale käsittelyyn. Haastavimmissa tapauksissa voidaan käyttää sabluunaa apuna muodon tarkastamiseen.



#### 4.4 Sinkous

Sinkopuhdistusta käytetään metallikappaleiden puhdistamiseen. Levyosien lisäksi sitä käytetään myös valetuille kappaleille. Teräslevyosien puhdistuksessa käytetään pieniä teräskuulia, joita singotaan kovalla nopeudella kappaleen pintaan. (Ihalainen ym. 1996, 95.) Levyosat ajetaan pääosin sinkouskoneen läpi, ja teräskuulasuihku kohdistetaan kappaleen pinnalle. (Aaltonen ym. 1997, 77.)



Kuva 5. Pienten kappaleiden viimeistelypaikka, myllysinko

Sinkopuhdistus on maalattaville kappaleille hyvä tapa varmistua siitä, ettei maalipinnan alle jää epäpuhtauksia tai irtonaista hilsettä. Kuulasuihku poistaa kappaleista valssihilseen, leikkauksessa syntyneen kuonan ja ruosteen. Sinkopuhdistuksen myötä myös kappaleiden käsin viimeistely jää vähemmälle. Sinkopuhdistuslaitteilla voidaan singota myös kokonaisia levyjä, jolloin kappaleet ovat lähes valmiita leikkauksen jälkeen, eikä yksittäisiä osia tarvitse

syöttää koneeseen. Plasmalla leikatessa singottuun levyyn jää kuona lujemmin kiinni kuin sinkoamattomaan, joten se hidastaa hieman kappaleiden viimeistelyä. (Salo 2021)

Sinkopuhallus suoritetaan kappaleiden viimeistelyn jälkeen eli kun leikkauspurseet on poistettu tai hiottu kappaleesta. Viimeistelijä nostaa kappaleet käsin tai nostinta apuna käyttäen sinkopuhalluskoneen verkkoradalle, joka kuljettaa kappaleet koneen läpi. Useimmiten riittää, kun kappaleet ajetaan koneen läpi kerran. Joissakin tilanteissa täytyy ajaa toisenkin kerran, koska verkkoradan kohdalle jää hilsettä tai muuta epäpuhtautta. Toisella kertaa kappale käännetään toisin päin. Verkkoradan toisessa päässä kappaleet nostellaan takaisin lavalle, jonka jälkeen lavat viedään hyllyyn odottamaan seuraavaa työvaihetta.

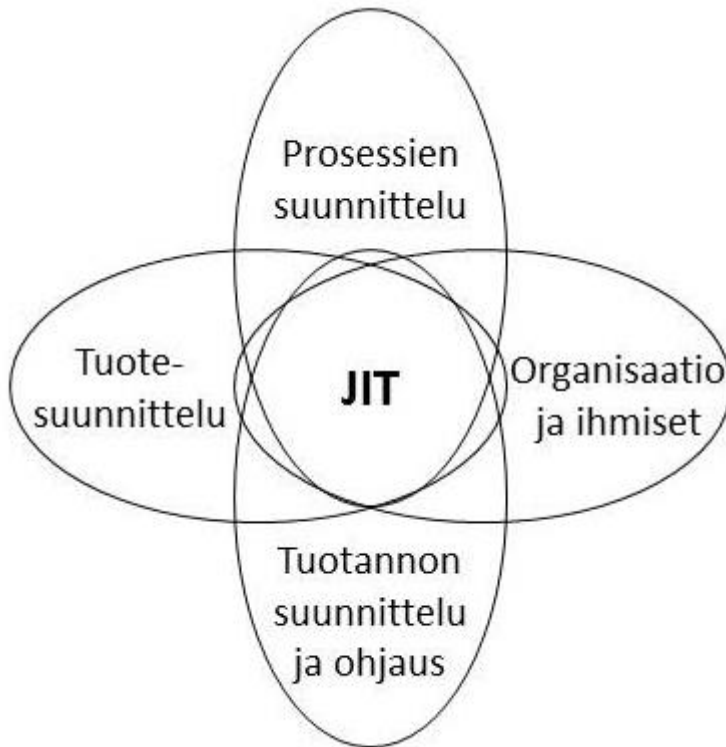
Kappaleita voidaan myös viimeistellä ja singota myllysingossa. Myllysingossa kappaleet pyörivät ja iskeytyvät toisiaan vasten, jolloin leikkauspurseet irtoilevat. Lisäksi myllysinkoon puhalletaan teräskuulia samalla tavalla kuin sinkopuhalluskoneessakin. Tämä nopeuttaa prosessia koska leikkauspurseet voidaan poistaa samaan aikaan sinkouksen kanssa. (Kuva 5.)

## 5 TUOTANNON KEHITTÄMINEN

Tärkein menestystekijä yrityksillä on kilpailukyky. Mikäli yritys haluaa menestyä markkinoilla, on pystyttävä tarjoamaan asiakkaille hyvää palvelua, laadukkaita tuotteita sekä tuottamalla niitä mahdollisimman pienin kustannuksin. Kustannustehokkuuden parantaminen onkin usein esillä, kun puhutaan yrityksen toiminnasta ja sen kehittamisestä. (Logistiikan maailma, [viitattu 23.2.2021].) Kustannustehokkuus määritellään seuraavasti: ”Käytettävien resurssien ja saatavan tuloksen suhteen optimointi niin, että mahdollisimman pienillä resursseilla saadaan suhteessa suurempi tuotos.” (Tieteen termipankki, [viitattu 18.2.2021].) Selvä on se, että pienemmillä tuotantokustannuksilla rahaa jää enemmän käytettäväksi yrityksen kehittämiseen, tai toisaalta tuotteita voidaan myydä halvemmalla, jolloin saadaan enemmän myyntiä ja kilpailuetua muiden yritysten suhteen.

### 5.1 JIT

JIT muodostuu englannin kielen sanoista Just-In-Time. Lyhenne tunnetaan japanilaisten tuotantofilosofioiden periaatteena. Suomeksi se tarkoittaa juuri oikeaan aikaan. Tuotteita valmistetaan juuri oikea määrä ja oikeaan aikaan, sillä siirtäminen, varastointi ja ylimääräiset tuotteet aiheuttavat lisäkustannuksia. Tavoitteena tässä periaatteessa on pitää varastot minimaalisina, virittää eri prosessit niin, että läpäisy aika on mahdollisimman lyhyt. Näiden lisäksi tuotteiden oikeellisuus eli virheiden välttäminen, virtaava ja joustava tuotanto ja kaiken ylimääräisen kuluja aiheuttavan toiminnan vähentäminen ovat keskeisiä asioita, jotka eivät voi tapahtua nopealla aikataululla, vaan periaate ja tavoitteet sisäistettävä sekä tehtävä töitä, että kehittämisen suunta kääntyy periaatteita ja tavoitteita kohti. (Logistiikan maailma, [viitattu 10.3.2021].) JIT vaikuttaa laajemmasta näkökulmasta tarkasteltuna useisiin yrityksen toiminnan osa-alueisiin (Kuvio 2.) JIT periaate on lähellä Lean- filosofian ajattelua, ja niistä puhutaan usein rinnakkain. Ne onkin vaikea erottaa toisistaan tarkasti. (Logistiikan maailma, [viitattu 10.3.2021].)



Kuvio 2. JIT vaikuttaa useisiin eri osa-alueisiin (Logistiikan maailma, [viitattu 10.3.2021].)

## 5.2 Lämpäisyajan lyhentäminen

Kun asiakas tilaa yritykseltä jonkin tuotteen, se maksaa vain sen tuotteen materiaalista ja lisäarvoa tuottavasta työstä. Kuvitellaan esimerkkinä pienehkö kokoonpano, johon kuuluu erilaisia teräsosia. Teräsosat valmistetaan levystä, jolloin ne täytyy leikata irti levystä, yksi osa pitää olla taivutettu ja toisessa täytyy olla kierrereiät. Työvaiheita sisältyy siis leikkaus, särmäys, koneistus ja hitsaus. Lisäksi tuote täytyy pakata ja lähettää asiakkaalle. Lisäarvoa tuottaviin työvaiheisiin ei kulu kaikkiaan kovin kauan aikaa, mutta silti toimituksessa kestää kauan. Tuotteelle saatetaan tehdä paljonkin lisäarvoa tuottamatonta työtä, usein jopa yli 90 % kokonaisajasta. Tästä voidaan huomata, että lämpäisyajan lyhentäminen vähentämällä turhaa tekemistä, odottamista ja hukkaa on erittäin tärkeää tuotannon kehittämisessä. Tuotantoprosessi on hyvin hallinnassa, jos lämpäisyäikää voidaan lyhentää vähentämällä hukkaa ja odottelua. Hyvin hallinnassa oleva prosessi pysyy myös aikataulussa, eikä suuria vaihteluja esiinny. Yleensä asiakas on tyytyväinen monesta syystä; tuote saadaan nopeammin ja varmemmin aikataulussa, kun toimittaja on kehittänyt prosessiaan ja saanut läpimenoaikaa lyhennettyä. (Logistiikan maailma, [viitattu 10.3.2021].)

Ennen kuin läpimenoaikaa voidaan lyhentää, täytyy tarkastella perin pohjin oman tuotannon prosessit ja niiden läpimenoajat sekä se, että mistä ne koostuvat. Läpäisyäikää täytyy jaotella palasiin ja jakaa ne prosesseihin. Prosesseja voidaan tarkastella useista eri näkökulmista. Logistiikan maailman mukaan täytyy selvittää, voiko prosesseihin liittyviä tehtäviä poistaa tai yhdistellä. Lisäksi täytyy tarkastella, onko prosessien välissä turhaa odottamista vai voidaanko joitakin prosesseja tehdä rinnakkain. (Logistiikan maailma, [viitattu 23.2.2021].)

## **6 TYÖMENETELMÄT TÄLLÄ HETKELLÄ TIBNOR OY: SSÄ**

Kappaleiden valmistuksessa on useita työvaiheita ja työvaiheidenkin sisällä monia eri työtapoja. Tällä hetkellä tavat ovat vakiintuneet eivätkä ne tavat välttämättä ole kustannustehokkaimpia. Eri tapojen välillä on asioita, jotka puoltavat tai vastustavat valintaa. Työmenetelmät ovat valikoituneet kokemuksien, palautteiden ja kehityksen yhteisvaikutuksesta. Eri menetelmien kustannuksia ei ole tutkittu tarkasti, joten tämän hetken tavat voivat olla kalliita. Tibnor Oy:n tuotannossa pyritään oikea-aikaiseen valmistumiseen. Yleensä osat valmistetaan siinä järjestyksessä kuin tilaus tulee, sillä asiakkaat haluavat sille mahdollisimman nopean toimitusajan. Tilauksissa saattaa olla myös toimitusaika vasta pitkän ajan kuluttua, jolloin niiden valmistusvaiheet ajoitetaan niin, että ne valmistuvat toimituspäiväksi. Haasteena on, etteivät tuotteet valmistu liian aikaisin, kun samankaltaisia osia pyritään valmistamaan samaan aikaan, vaikka kaikkien toimitusaika ei vielä vaatisi valmistusta. Jos joitakin tuotteita valmistetaan paljon aikaisemmin kuin olisi tarve, saattavat jotkin muut toimitukset myöhästyä sen takia.

### **6.1 Pienten palojen sijoittelu ja leikkaaminen**

Leikkausohjelmassa on usein monen eri tilauksen kappaleita, ja luonnollisestikin ne ovat erimuotoisia ja -kokoisia. Kappaleet voidaan sijoitella levyille eri tavoin. Tutkittavat tavat liittyvät pienten palojen vaihtoehtoiseen sijoitteluun. Pienet palat voidaan sijoitella levyn alkuun toistensa lähelle. Tässä tavassa suurimpana etuna on kappaleiden kerääminen ja monella pillillä ajaminen. Toinen tapa on sijoitella pienet kappaleet ympäri levyä, täyttäen suurempien kappaleiden tyhjät tilat, joita jää kappaleiden väliin. Suurimpana etuna tässä vaihtoehdossa on saanto, eli levy hyödynnetään tarkemmin, kun tyhjät tilat on täytetty pienillä kappaleilla.

### **6.2 Usean kappaleen särmäys yhtä aikaa**

Nykyään teräsosissa ja teräsrakenteissa hyödynnetään paljon särmäyksiä, joilla voidaan välttää hitsauksia tai muuta kokoonpanoa. Siitä johtuen konepajoissa särmäyspuristimia käytetään runsaasti. Tärkeä olisi löytää keinoja, joilla voitaisiin nopeuttaa särmäysprosessia

ja palvella asiakasta paremmin. Siten myös kustannustehokkuus paranee, jos samassa ajassa saadaan enemmän kappaleita särmättyä.

Tällä hetkellä kappaleita särmätään pääasiassa yksitellen muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Yhtä aikaa särmättävät kappaleet ovat usein sellaisia, joiden halutaan olevan yhdenmuotoisia. Myös haastavat särmäykset saatetaan tehdä samalla kertaa moneen osaan. (Salo 2021.) Yhtä aikaa särmääminen vaatii kappaleen ulkomuodon olevan sellainen, että se on helppo yhdistää toiseen kannakkeella, joka myöhemmin poistetaan.

### **6.3 Viisteen tekeminen leikkauksen yhteydessä tai jälkiviisteenä**

Teräsosiin tehdään usein esikäsittelyvaiheessa hitsausviisteitä, jotta kokoonpanossa hitsaus voidaan suorittaa paremmin ja liitoksesta saadaan kuhunkin kohteeseen sopiva. Viisteitä voidaan tehdä tietyin rajoituksin jo termisen leikkauksen yhteydessä, jolloin vähennetään käsin tehtävää työtä. Jälkikäteen tehtävä viiste voi olla lähes minkäläinen vain, haastavat viisteet vaativat enemmän työaika. (Kuva 6.)





Kuva 6. Viisteen tekeminen leikkauksen jälkeen muotoviistekoneella

Usein pohditaan, milloin viisteen tekeminen olisi kannattavinta. Leikkauksen yhteydessä olisi ehkä järkevä tehdä isoon sarjaan viisteet, jotka ovat pitkiä. Jos on yksittäisiä kappaleita ja lyhyt viiste, saattaisi olla järkevämpi tehdä viiste jälkikäteen. (Salo 2021) Tämäkin usein määräytyy monen tekijän summasta. Viistehjelmien teko on hitaampaa, viistekoneen



kuormitus vaikuttaa valintaan, sekä leikkaus iltavuorossa, jolloin ohjelmien muokkaaminen ei välttämättä onnistu (Pajuluoma 2021; Salo 2021).

#### **6.4 Sinkopuhallus**

Teräskappaleita sinkopuhalletaan usein, kun niiden pinnasta halutaan poistaa epäpuhtauksia esimerkiksi maalauksen tai hitsauksen takia. Sinkopuhalluksella lähtee kappaleesta helposti ruoste, valssihilse, kuona ja muu leikkauksesta tullut roiske. Seinäjoen Tibnorilla kappaleita puhalletaan leikkauksen jälkeen tai kokonaisena levynä ennen leikkausta. Levyt puhalletaan ennen plasma- tai laserleikkausta. Jotkut leikkauskoneet vaativat ruosteettoman levyn, jotta leikkauslaatu pysyy hyvänä. Leikatuista kappaleista hiotaan leikkauksessa syntynyt kuona pois, jonka jälkeen ne puhalletaan. Usein plasmaleikkattujen osien viimeistelyssä ei tarvitse hioa kulmahiomakoneella vaan siihen riittää terävällä metallilastalla raaputtaminen. Jos levy on puhallettu ennen leikkausta, kuona jää kappaleeseen lujemmin kiinni, jolloin tarvitaan kulmahiomakonetta ja viimeistely hidastuu.

## 7 MENETELMIEN TESTAAMINEN

Työmenetelmiä ja -tapoja testattiin erilaisilla menetelmillä. Osa tutkimuksista voitiin toteuttaa olemassa olevan datan perusteella, ja joissakin tapauksissa tehtiin aivan tätä työtä varten todellinen tutkimustilanne. Viiteen tutkimisessa käytettiin aiemmin kerättyä tietoa ja särmäystä tutkittaessa seurattiin oikean kappaleen särmäystä tuotannossa. Data kerättiin yrityksen järjestelmistä. Tutkimuksiin osallistui tuotannonsuunnittelija ja työnjohtoa sekä työntekijöitä. Tuotannon työntekijät eivät tienneet esimerkiksi sijoitteluista, että ne ovat testausta varten, mikä olisi saattanut vaikuttaa lopputulokseen.

### 7.1 Pienten palojen sijoittelu ja leikkaaminen

Tämän aiheen ympärillä päätettiin tehdä kaksi erilaista sijoittelua, joihin sisällytettiin samoja osia molempiin. Ohjelmat päätettiin tehdä kaasuli polttoleikkauskoneelle. Polttoleikkauskoneella materiaalin käyttö on ratkaisevassa osassa, sillä ainepaksuudet ovat suurempia, ja siitä syystä käytettyjen tai säästettyjen teräskilojen määrä vaihtelee suuremmin.

Ensimmäisessä sijoittelussa tuotannonsuunnittelija sijoitteli pieniä paloja ohjelman ja levyn alkuun niin, että niitä voitiin leikata useammalla suuttimella yhtä aikaa. Myöhemmin ohjelmassa tuli isompia kappaleita, jotka oli myös sijoiteltu niin, että ne leikataan kahdella suuttimella yhtä aikaa. Kun pienet kappaleet ovat ohjelman alussa, leikkaaja voi ne kerätä siitä järjestelmällisesti, joka säästää aikaa siltä, että leikkaaja kerää osia ympäri levyä. Tällä tavalla saadaan nopeampaa uusi levy ja ohjelma työn alle. Ensimmäisessä sijoittelussa materiaalia käytettiin kokonaisuudessaan 3 210 kg, josta 1081,62 kg oli kuonaa tai leikkauksesta jäänyttä hukkapalaa, mistä saadaan romun hinta eli XXX € / tonni. Loput 2128,39 kg on myytävää materiaalia, josta saadaan XXX € / tonni. Työaika käytettiin asetusaika ja NC-aika yhteenlaskettuna XXX minuuttia. Leikkauksen tuntihinta on XXX €/h. Molemmissa sijoitteluissa materiaalina käytettiin SSAB Multisteel SN terästä, jonka paksuus oli 30 mm.

## Kuva piilotettu julkisesta työstä

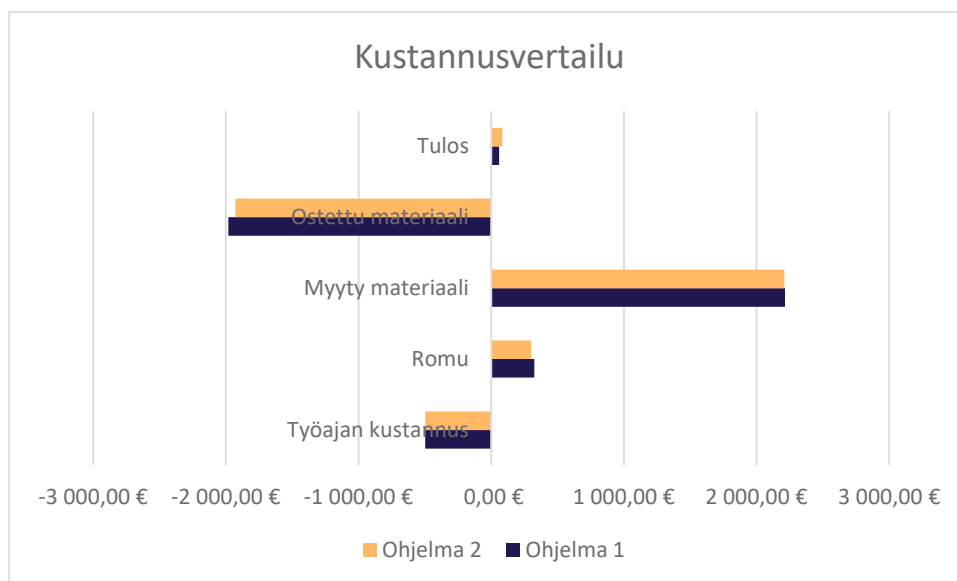
Kuvio 3. Kuvakaappaus ensimmäisestä testisijoittelusta.

Toisessa sijoittelussa kappaleet oli aseteltu niin, että ne peittäisivät mahdollisimman hyvin levyn, jolloin levyä menee vähiten hukkaan. Pienet kappaleet olivat isomprien väleissä ja erilaisissa asennoissa. Tämäkin ohjelma leikattiin kahdella suuttimella. Leikkaajan täytyi kerätä pienempiä kappaleita eri paikoista ja liikkumaan levyn päällä paljon. Liikkuminen levyn päällä on myös turvallisuusriski, jota kannattaisi välttää mahdollisimman paljon. Kun kappaleita keräillään ja viedään lavalle, tulee levyyn aukkoja, johon voi astua jalalla ja horjahtaa ja loukata itseään. Toisessa sijoittelussa materiaalia käytettiin 3126,70 kg, josta kuonaa ja hukkaa 1001,76 kg. Myytävää materiaalia oli 2124,94 kg ja työaika käytettiin yhteensä XXX minuuttia.

## Kuva piilotettu julkisesta työstä

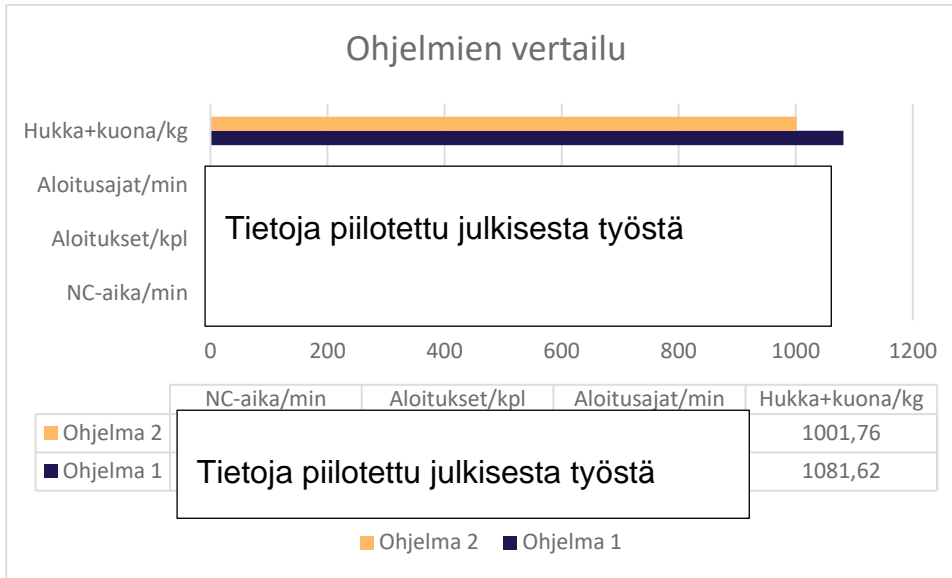
Kuvio 4. Kuvakaappaus toisesta testisijoittelusta.

Kuviossa 5 tulokset on laskettu työn omakustannehinnalla, eikä siinä ole huomioitu laskutettavaa työn osuutta.



Kuvio 5. Leikkausohjelmien kustannusten vertailua

Kuviossa 6 on tietoa sijoittelujen työajoista, aloitusten lukumääristä ja hukan määristä. Kuvaajasta nähdään kuinka NC- aika eli leikkaus- ja pikaliikkeiden aika on noin kolmanneksen pienempi ensimmäisessä ohjelmassa. Aloitusajat, jotka sisältävät levyn asettelua, leikkaussuutinten säätöä ja muita asetusten säätämistä, ovat kuitenkin pidemmät ensimmäisessä sijoittelussa, mikä tasaa leikkauksen kokonaistyöajan samaksi molemmissa ohjelmissa.



Kuvio 6. Leikkausohjelmien vertailua

Kustannusten osalta ohjelmissa ei ole suurta eroa, joten kustannustehokkuuteen ei myöskään ole suurta vaikutusta. Ohjelmassa 2 tulee enemmän aloituksia, jotka kuluttavat koneen leikkaussuuttimia enemmän ja aiheuttaa näin ollen lisää kustannuksia. Myös NC-aika eli koneen työaika on suurempi johtuen isommasta aloitusten määrästä. (Kuvio 4.)

## 7.2 Usean kappaleen särmäys yhtä aikaa

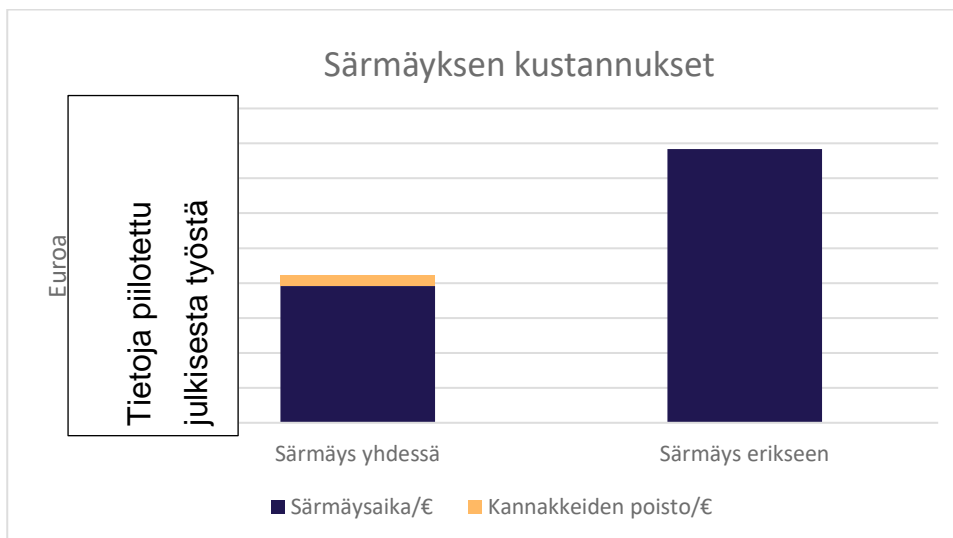
Särmäämistä tutkittiin tuotannossa olevilla kappaleilla, jotka osoittautuivat erittäin sopiviksi useastakin syystä. Särmättävät kappaleet olivat suhteellisen uusia geometrioita tuotannossa, vaikka lähes vastaavia on kuitenkin joskus tehty. Kappaleiden on oltava keskenään yhdenmuotoisia ja lisäksi särmäykset ovat haastavia. Tuotantoon ei tehty mitään erillistä testitilausta tai testikappaleita, vaan työaikatiedot otettiin yrityksen järjestelmistä. Testikappaleita ei haluttu tehdä, koska työkuorma tuotannossa oli niin suuri, ettei sitä lähdetty enää lisäämään. Tutkimuksia varten järjestelmistä saatiin tarpeeksi luotettavaa dataa, jota hyödynnetään.

# Kuva piilotettu julkisesta työstä

Kuvio 7. Särmättävä kappale

Kappaleita oli silloitettu kaksi yhteen, jolloin särmäyksen valmistuessa oli kaksi valmista kappaletta, tosin kannakkeet täytyi poistaa. 20 kokonaisuuden särmäämiseen kului järjestelmän mukaan aikaa XXX minuuttia. Särmäys ei hidastu, vaikka siinä on toinen kappale kannakkeilla kiinni. Mikäli kappaleita ei olisi silloitettu, voidaan todeta, että kulunut aika olisi kaksinkertainen verrattuna siihen, kun kappaleet särmätään yhdessä. Käsittävän kappaleen massa kaksinkertaistuu, kun siihen laitetaan toinen samanlainen kannakkeilla kiinni. Kappaleen massa vaikuttaa kappaleen käsittelyyn, mutta tässä tapauksessa sillä ei ollut merkitystä, koska nosturia käytetään jo yksittäisenkin kappaleen särmäyksessä. Tämä asia on kuitenkin otettava huomioon muissa tapauksissa, kun mietitään kappaleiden silloittamista.

Toisaalta tällä tavalla toimiminen aiheuttaa lisätyötä kannakkeiden poistamiseen. Järjestelmän mukaan aikaa kului yhteensä XXX minuuttia.



Kuvio 8. Särmäyksen kustannukset

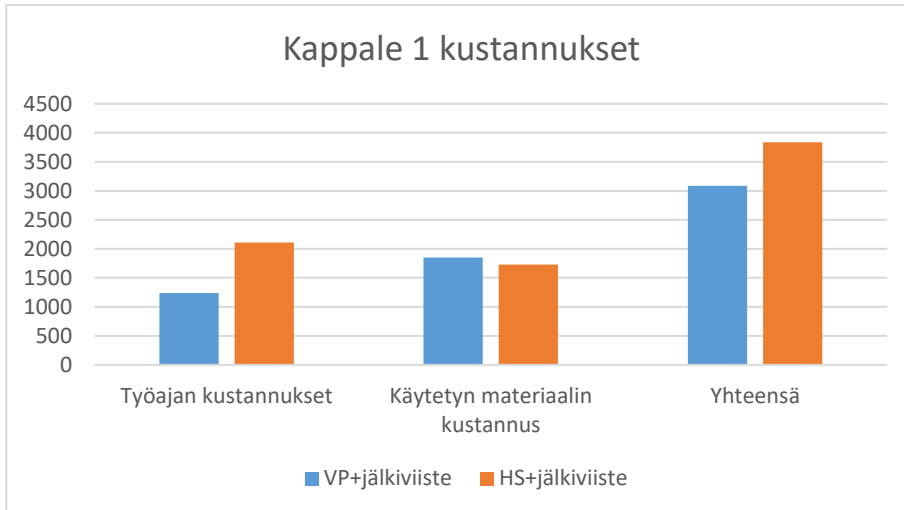
Kuvion 8 avulla voimme todeta selvästi, että haastavat ja aikaa vievät särmäykset kannattaa ehdottomasti särmätä yhdessä, mikäli se geometrian puitteissa on mahdollista. Tällä kertaa tutkimustietoa ei ole helpohkoista särmäyksistä, mutta voidaan olettaa, että tavallisia muutaman pökkauksen särmäyksiä ei kannata laittaa kannakkeilla, sillä kannakkeiden poistaminen tuottaa lisää työtä muualle, sekä kuormittaa apupalan poistajaa, joka myös poistaa kannakkeet.

Laadullisesti haastavat kappaleet kannattaa silloittaa, jotta osat ovat yhdenmuotoisia. Kannakkeiden poistossa on oltava tarkkana, että kappaleen geometria tulee sellaiseksi kuin asiakas on sen halunnut. Mitä suurempi kappaleen ainepaksuus on, sitä haastavampi ja hitaampi on tehdä kannakkeen poisto niin, että kappale on laadullisesti hyvä.

### 7.3 Viisteen tekeminen

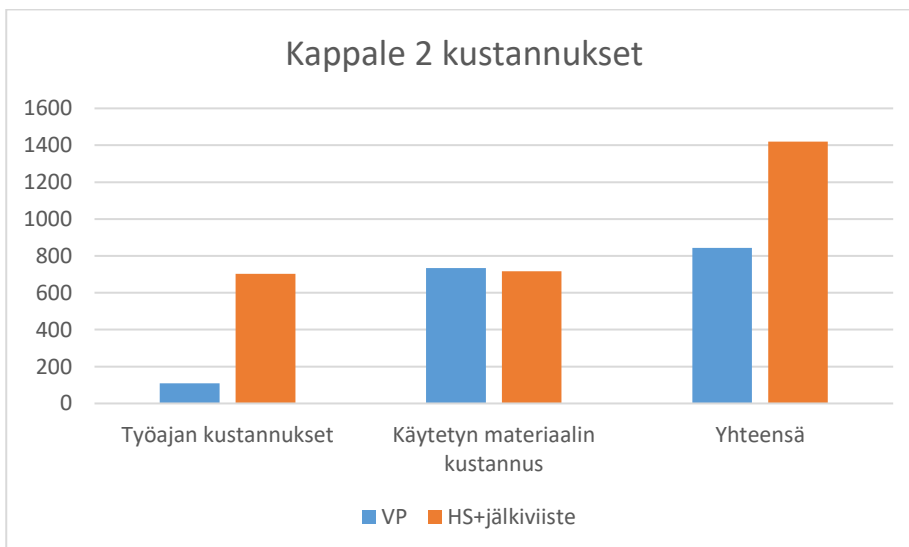
Hitsausviisteiden tekemistä ei myöskään lähdetty testaamaan erillisillä testeillä korkean työkuorman vuoksi. Yrityksessä oli aikaisemmin tehty tähän liittyviä testejä, joiden tulokset oli kirjattu ylös, mutta muuten tulokset jätetty huomiotta tai unohdettu, koska saman asian äärellä silti käydään keskustelua. Mitään yksiselitteistä vastausta tähän ei tietenkään ole, koska kappaleiden geometria, viisteet ja tilattu määrä vaihtelevat suuresti. Tehdyn testin tulokset antavat kuitenkin suuntaa, mitä menetelmää tulisi suosia.

Kappale 1, jota testierissä valmistettiin 200 kpl. Menetelmäksi valittiin hienosädeplasma, jonka jälkeen viisteet tehtiin kokonaan jälkikäteen. Toinen erä leikattiin viisteplasmalla, jonka jälkeen pieni osa viisteestä jälkikäteen. Kokonaan jälkikäteen tehtynä työaika kului yhteensä 1900 minuuttia sekä materiaalia käytettiin 2800 kg. Viisteplasmaa hyödyntäessä työaika yhteensä oli XXX minuuttia ja materiaalia käytettiin 3000 kg. Viisteplasmalla leikattuna työajan kustannukset ovat lähes puolet pienemmät. Viisteplasman leikkausohjelma vaatii enemmän materiaalia, joten hukkaa jää enemmän. Tässä tapauksessa sitä ei kuitenkaan jäänyt niin paljon, että se olisi uhannut viisteplasmalla tehtävän leikkauksen edullisuutta. (Kuvio 9.)



Kuvio 9. Kappale 1 kustannusten vertailua

Kappale 2, jota testierissä valmistettiin 20 kpl. Tämän kappaleen osalta se voitiin leikata kokonaan viisteplasmalla, johon työaika kului XXX minuuttia. Materiaalia käytettiin 1190 kg. Hienosädeplasmalla leikatessa ja jälkikäteen viiste tehtynä aikaa kului XXX minuuttia ja materiaalia käytettiin 1162 kg. Työajan kustannuksissa nähdään suuri ero. Suoralla plasmalla leikatessa ja jälkikäteen viistettynä kustannukset olivat lähes 7 kertaiset. Materiaalin kustannuksissa viisteplasma häviää todella pienellä erolla, joten edellisen tapauksen tavoin työajan kustannus on ratkaiseva tekijä. (Kuvio 10.)

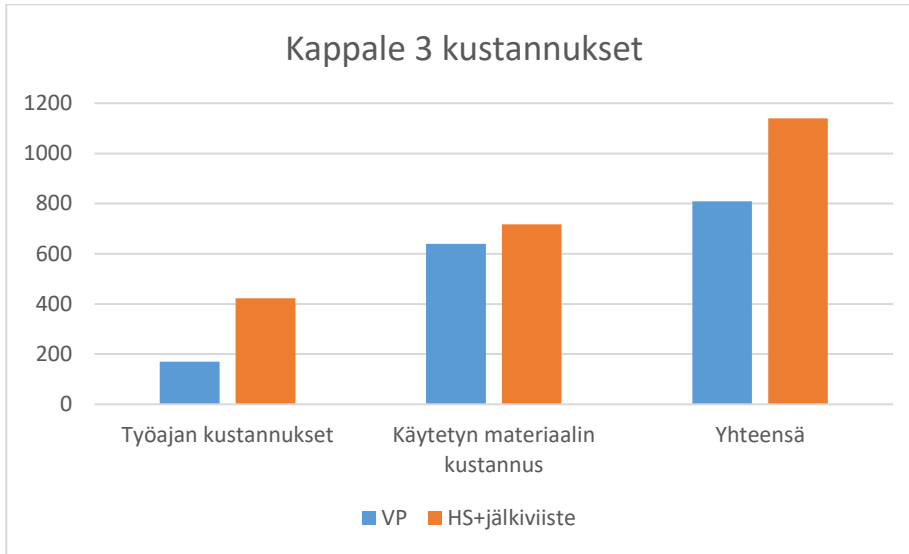


Kuvio 10. Kappale 2 kustannusten vertailua

Kappale 3, jota myös valmistettiin 20 kpl. Viisteet kokonaisuudessaan voitiin leikata viisteplasmalla, jolloin työaika kului XXX minuuttia, ja materiaalia käytettiin 1036 kg.

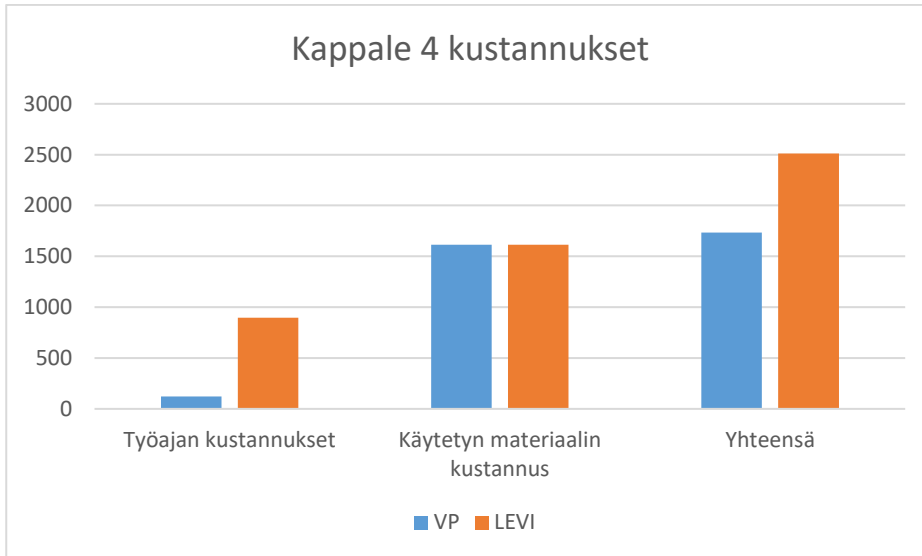


Suoralla leikkauksella ja viiste jälkikäteen tehtynä aikaa kului XXX minuuttia ja materiaalia käytettiin 1162 kg. (Kuvio 11.)



Kuvio 11. Kappale 3 kustannusten vertailua

Kappale 4, on viimeinen testikappale, jolla vertailtiin viisteplasman ja viistepolttoleikkauskoneen eroja. Kappalemäärä erässä oli 24. Viisteplasamalla leikatessa aikaa kului XXX minuuttia ja polttoleikkaamalla XXX minuuttia. Materiaalia käytettiin yhtä paljon molemmissa eli 2615 kg. Molemmissa työmenetelmissä viisteet tehtiin leikkauksen yhteydessä. Viistepoltto on kuitenkin niin paljon hitaampi menetelmä. Materiaalia käytettiin saman verran, joten lähes 8 kertainen työn kustannus viistepoltolla ratkaisi tämän menetelmän, ja kustannukset kääntyivät viisteplasman käytön. (Kuvio 12.)



Kuvio 12. Kappale 4 kustannusten vertailua

Kappaleiden 1–4 tutkimustulosten perusteella voidaan hyvin vetää johtopäätökset siitä, että useimmiten viisteet kannattaa tehdä leikkauksen yhteydessä, jolloin aikaa säästyy todella paljon. Materiaalin menekillä ei ole isoa merkitystä, vaikka sitä kuluu jonkin verran enemmän. Viisteohjelmien teko vaatii enemmän tilaa levyltä, koska viisteen leikkaaminen ulottuu suoraa leikkausta pidemmälle suuttimen kulmasta johtuen.

Tuloksista huomataan myös se, että viisteplasmaa kannattaa käyttää viistepolttoleikkauksen sijasta, mikäli se on mahdollista. Viisteplasmalla päästään myös lähes samaan ainepaksuuteen; siinä suurin paksuus on 50 mm ja viistepoltolla 60 mm. Lisäksi viistepoltolla päästään 55 asteen kulmaan, kun viisteplasmalla suurin viistettävä kulma on 45 astetta.

## 7.4 Sinkopuhallus

Toimeksiantajan toiveesta sinkopuhallus asiaa lähdettiin tutkimaan kokemusten perusteella. Asioiden selvittämiseksi haastateltiin Tuottajantien ja Jalostajantien työnjohtoa. Jalostajantien hallissa on enimmäkseen plasmaleikkauskoneita, ja siellä tämä sinkopuhallus ja viimeistelyvaihe on isossa roolissa läpimenon kannalta.

### 7.4.1 Plasmaleikatut kappaleet

Molemmista tuotantolaitoksista tuli selkeästi ilmi, että esisingotut eli ennen leikkausta puhalletut levyt vaativat leikkauksen jälkeen hiomista, ja se vie enemmän aikaa. Jalostajantien viimeistelijän mukaan kuvitellun 100 kpl erän 500 mm x 100 mm kokoisten esisingottujen kappaleiden viimeistelyyn kuluu aikaa noin XXX minuuttia. Vastaavasti käsitlemättömän erän viimeistelyyn kuluu aikaa noin XXX minuuttia. Viimeistelyn kustannus XXX € tunnilta. Esisingottujen kappaleiden viimeistelyn hinta on XXX €, sinkoamattomien viimeistelyn hinta XXX €. Yhden erän kustannuksissa tuo on huima ero. Jälkikäteen puhalluksen ja esisinkouksen aikaeroa on vaikea määrittää tällaiselle erälle, koska esisinkouksessa singotaan koko levy, josta saadaan myös muita kappaleita. Täytyy muistaa, että myös ne muut kappaleet hidastavat viimeistelyä noin kahdeksankertaisesti. Arvio on, että tuon erän sinkoamiseen jälkikäteen kuluisi aikaa noin XXX minuuttia, jolloin puhalluksen kustannukseksi tulisi XXX €. Kokonaisuudessaan viimeistelyn sekä puhalluksen kustannus on XXX €. Esisingottuna pelkästään viimeistely maksaisi XXX €, joten voidaan todeta, että on kustannustehokkaampaa singota kappaleet leikkauksen jälkeen.

Täytyy kuitenkin muistaa, että jälkikäteen sinkous kuormittaa paljon enemmän pientä sinkopuhalluskonetta, mutta toisaalta kevennetään viimeistelytyötä. Voisi olla kannattavaa lisätä kappaleiden puhallukseen kapasiteettia, jolloin jää pois käsityötä ja käsityön tekijä voisi siirtyä puhalluskoneen operaattoriksi. Kokonaisuudessaan viimeistelyn ja puhalluksen läpimenoaika saattaisi lyhentyä. Tämä pohdinta poikkeaa opinnäytetyön aiheesta, joten se jääköön toimeksiantajalle mietittäväksi.

### 7.4.2 Pitkät ja isot kappaleet

Pitkien kappaleiden viimeistelyssä on myös haasteita puhalletusta levystä leikattuna. Viimeistelijän arvion mukaan 6 000 mm x 2 000 mm kokoisen kappaleen viimeistelyyn menee aikaa noin XXX minuuttia riippuen muodoista ja mahdollisista rei'istä. Esisingotun kappaleen viimeistelyyn kuluu aikaa noin XXX minuuttia. Lisäksi viimeistely rasittaa fyysisesti enemmän, koska suuria kappaleita on usein mahdotonta kääntää ympäri ja hiominen joudutaan tekemään tukien päällä ja vaikeissa asennoissa. Arvioiden pohjalta

voidaan todeta, että isojen esisingottujen kappaleiden viimeistely vie aikaa vähintään kaksinkertaisesti.

### 7.4.3 Polttoleikatut kappaleet

Jotkut asiakkaat haluavat polttoleikatut kappaleet singottuina, eikä niissä silloin saa olla yhtään hilsettä. Tämänkaltaiset kappaleet täytyy esisingota ennen leikkausta ja vielä kerran singota kappaleet yksitellen, jotta leikkauspinnatkin puhdistuvat. Mikäli niitä ei esisingottaisi, ne jouduttaisiin sinkoamaan yksitellen molemmilta puolilta, koska sinkopuhalluskoneessa on verkkokuljetin ja verkon kohdalle jää hilsettä ensimmäisen puhalluskerran jälkeen. Tämä kuormittaa sinkopuhalluskonetta kaksinkertaisesti ja työaika kuluu myös kaksinkertaisesti. Polttoleikattujen kappaleiden viimeistelyyn esisinkous ei vaikuta. Polttoleikkauksen jäljiltä kuona joudutaan kaikissa tapauksissa hiomaan pois kulmahiomakoneella. Esisinkouksen kustannus on noin kaksinkertainen verrattuna kappaleiden puhallukseen. Toisaalta esisinkous on tehokkaampaa, koska levystä saadaan paljon kappaleita ja yksitellen niitä puhallettaessa siihen kuluisi aikaa moninkertaisesti.

Levy, josta saadaan 100 kpl osia, esisingotaan ja leikkauksen jälkeen singotaan vielä leikkauspintojen takia. Levyn puhallukseen kuluu aikaa XXX minuuttia ja kustannus olisi XXX €. Esisinkouksen kustannus on XXX € tunnilta. Lisäksi 100 kpl jälkikäteen puhallus vie aikaa XXX minuuttia, jonka hinta olisi XXX €. Kun kappaleet puhalletaan jälkikäteen kahteen kertaan, kustannus on XXX €. Pelkästään sinkousten kustannuksella laskettuna esisinkous ja kerran jälkikäteen singottuna on edullisempaa. Koska levysinko sijaitsee Jalostajantien hallissa ja polttoleikkaukoneet Tuottajantiellä, levyt joudutaan kuljettamaan toiseen halliin puhallettaviksi. Tämä aiheuttaa ylimääräistä siirtelyä ja trukkiliiikennettä, eli hukkaa. Läpimenoajan lyhentämiseksi hukkaa tulisi välttää.

Kustannusten erot ovat kuitenkin suhteellisen pienet, joten ratkaisevaksi tekijäksi jäisi eri puhalluskoneiden kuormitus. Kuormitusten pohdinta rajautuu pois opinnäytetyöstä, joten asian ratkaisu jää toimeksiantajalle. Puhallustöiden kustannusten perusteella polttoleikkauksessa esisinkoaminen ja kerran jälkikäteen puhaltaminen olisi edullisempaa.

#### **7.4.4 Levysingon kuormitus**

Ison levysingon kuormitusta on jo parannettu karsimalla turhia puhallettavia pois. Työnjohtajien mukaan turhan puhalluksen osuutta on vaikea arvioida, mutta turhaa puhallettavaa ovat esimerkiksi välivarastopalojen puhallus romutettujen kappaleiden uudelleen leikkaamista leikkaamista varten. Tällaisissa tapauksissa kappaleiden määrä on niin vähäinen, että olisi nopeampaa puhaltaa kappaleet yksitellen leikkauksen jälkeen kuin kuljettaa välivarastopala isolle levysingolle.

#### **7.4.5 Esisingottujen levyjen naarmuuntuminen**

Eisingotun levyn pintaan saattaa helpommin tulla naarmuja, jotka heikentävät sen laatua. Singotun levyn pinta on karheampi, ja siihen tarttuu paremmin esimerkiksi trukin piikit ja levykärryn palkit tai leikkauskoneen pöytä. Sinkoamattoman levyn pinnassa piikit tai palkit luistavat paremmin jättämättä naarmuja.

## 8 YHTEENVETO JA TULOKSET

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena oli parantaa Tibnor Oy:n Seinäjoen palvelukeskuksen kustannustehokkuutta muutamien työvaiheiden osalta. Työvaiheita olivat leikkaus, särmäys, viisteytys sekä sinkopuhallus. Yrityksessä oli käyty keskusteluja siitä, miten mikäkin työvaihe kannattaisi tehdä, eikä eri tapojen kustannustehokkuuteen ollut tarkemmin perehdytty. Tämän työn tarkoitus oli selvittää, mikä työmenetelmä olisi edullisin toteuttaa ilman, että laatu kärsii. Kaikkia neljää työvaihetta tutkittiin ja jokaiseen saatiin tulos. Ainoastaan leikkaustyövaiheen tutkimuksessa erot olivat niin pieniä tehdyssä testissä, että on vaikea sanoa kumpi menetelmästä, olisi edullisempi suorien kustannusten kautta laskettuna. Lisäksi muutamissa ratkaisuissa esitettiin myös asioita, jotka jäivät yrityksen mietittäväksi koska poikkeavat opinnäytetyön aiheesta.

Työn teoriapohjana käytettiin alan kirjallisuutta sekä verkkosisältöä. Neljän työvaiheen teoria-asiaa selvitettiin työn alkupuolella, ja lisäksi käsiteltiin myös terästä materiaalina, SSAB:n johtamisfilosofiaa sekä tuotannon kehittämistä, muun muassa läpäisyajan lyhentämistä.

Tutkimuksia suoritettiin työtä varten tehdyllä testillä, keräämällä dataa tuotannosta yrityksen järjestelmien avulla, hyödyntämällä aiemmin tehtyjen tutkimuksen tuloksia sekä haastatteleamalla yrityksen työntekijöitä. Tutkimusten tulokset esitetään yritykselle tämän työn muodossa ja mahdollisuus niiden käyttämisestä tilaus-toimitusketjun kehittämiseen jää yritykselle.

Työtä tehtiin yhteistyössä yrityksen kanssa. Toimeksiantajalta tuli toiveita joidenkin työvaiheiden tutkimusten osalta, että ei tehdä esimerkiksi testitilauksia korkean työkuorman vuoksi. Näissä tutkimuksissa hyödynnettiin valmista dataa tuotannosta sekä aikaisempia tutkimuksia, jotka olivat ehkä unohdettu. Lisäksi sinkopuhalluksen tutkiminen ja sen tulokset haluttiin perustuvan haastatteluihin.

## LÄHTEET

Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Levytyö- ja työvälinetekniikat. Porvoo : Helsinki ; WSOY.

Boljanovic, V. 2004. Sheet metal forming processes and die design. New York: Industrial Press.

Esabin osaamiskeskus. Ei päiväystä. Mikä on teräslevyn paras leikkausmenetelmä. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.3.2021]. Saatavana: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate.cfm>

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 1996. Valmistustekniikka. Helsinki : Otatieto.

Klein, J. 2019. CNC Nesting: All About This CNC Cutting Method. All3DP. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.3.2021]. Saatavana: <https://m.all3dp.com/2/cnc-nesting-all-about-cnc-cutting-method/>

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo : Helsinki; WSOY.

Logistiikan maailma. Ei päiväystä. Prosessien kehittäminen. [Verkkosivu]. Reijo Rautauoman säätiö. [Viitattu 23.2.2021]. Saatavana: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/>

Logistiikan maailma. Ei päiväystä. JIT (just-in-time) ja imuohjaus. [Verkkosivu]. Reijo Rautauoman säätiö. [Viitattu 10.3.2021]. Saatavana: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/jit-just-in-time-ja-imuohjaus/>

Pajuluoma, J. 2021. Tuotannonsuunnittelija. Tibnor Oy. Seinäjoen esikäsittely-yksikkö. Haastattelu 14.1.2021.

Salo, J. 2021. Työnjohtaja. Tibnor Oy. Seinäjoen esikäsittely-yksikkö. Haastattelu 22.1.2021.

SSAB ONE. SSAB ONE: Yhteinen johtamisfilosofiamme. [Viitattu 29.1.2021]. Vain yrityksen sisäiseen käyttöön.

Tampereen teknillinen yliopisto Materiaaliopin laitos. 2005. Terästen ryhmittely. [Verkkosivu]. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. [Viitattu 16.2.2021]. Saatavana: [http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv\\_4\\_1\\_4.php](http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_1_4.php)

Teräsrakenneyhdistys. Ei päiväystä. Teräs materiaalina. [Verkkosivu]. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys. [Viitattu 16.2.2021]. Saatavana: <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/teras-materiaalina/>

Tibnor. Ei päiväystä. Tietoa Tibnorista. [Verkkosivu]. Helsinki: Tibnor. [Viitattu 29.1.2021]. Saatavana: [https://www.tibnor.fi/fi\\_FI/tietoa-tibnorista](https://www.tibnor.fi/fi_FI/tietoa-tibnorista)

Tieteen termipankki. 2017. Clean Energy Research: cost efficiency. [Verkkosivu]. Helsinki: Tieteen termipankki. [Viitattu 18.2.2021]. Saatavana: [https://tieteentermipankki.fi/wiki/Clean\\_Energy\\_Research:cost\\_efficiency](https://tieteentermipankki.fi/wiki/Clean_Energy_Research:cost_efficiency)

Total Materia. Ei päiväystä. Teräksen ominaisuudet. [Verkkosivu]. Key to Metals AG. [Viitattu 29.4.2021]. Saatavana: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=SteelProperties&LN=FI>