

Antti Puumala

Levyleikkaamo tuotantoyksikön lisääminen valmistusprosessiin

Nordautomation Oy

Opinnäytetyö

Kevät 2021

SeAMK Tekniikka

Teknologiaosaamisen johtaminen

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: YAMK

Suuntautumisvaihtoehto: Teknologiaosaamisen johtaminen

Tekijä: Antti Puumala

Työn nimi: Levyleikkaamo tuotantoyksikön lisääminen valmistusprosessiin

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2021 Sivumäärä: 62 Liitteiden lukumäärä: 2

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Nordautomation Oy. Työssä tutkittiin ja kehitettiin yrityksen omavaraista levyosavalmistusta, joka oli aiemmin alihankinnan varassa. Työn tavoitteena oli saada toimiva oma levyosavalmistusyksikkö toimimaan ja palvelemaan tuotannon muuta prosessia. Tällä haluttiin poistaa tuotannon pullonkauloja, parantaa reagointia muutoksiin sekä vaikuttaa laatuun. Työssä perehdytään muun muassa plasmaleikkaukseen, layouttyyppeihin, materiaalivirtoihin sekä resurssitehokkuuteen.

Entisen maalaamon kiinteistöön tehtiin tarvittavat saneeraukset materiaalivirtoja tutkimalla ja kiinteistö varusteltiin levyosavalmistusta varten. Yrityksen investoima plasmaleikkauskeskus asennettiin onnistuneesti ja saatiin henkilöstölle käyttökoulutus. Tutkimus ja kehitystyötä voidaan pitää onnistuneena ja loppuun saatettuna. Nyt yrityksellä on levyosavalmistus plasmaleikkauskeskuksella omassa tuotantoprosessissa mukana, ja siten myös tärkeänä osana koko tuotantoketjua. Tulevaisuudessa on tarkoitus kehittää ja ylläpitää yksikön jatkuvan parantamisen prosessia Lean-työkaluin. Tällä hetkellä käytössä on 5S-menetelmät, sekä vielä osittain vaiheessa jatkuvan parantamisen mallin jalkauttaminen ja seurantakatselmusten ylläpito, että saadaan prosessi toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla.

Avainsanat: valmistusvaihe, kuormitus, sisäiset asiakkuudet, plasmaleikkaus, materiaalivirta

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Master's Degree Programme in Technology Competence Management

Author: Antti Puumala

Title of thesis: Adding a sheet metal cutting unit to the production process

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2021      Number of pages:62      Number of appendices:2

---

The client of the thesis was Nordautomation Oy. The task was to research and develop the company's self-sufficient sheet metal part production, which was previously dependent on subcontracting. The aim of the thesis was to create a functional sheet metal part manufacturing unit which would operate and serve the rest of the production process. The aim was to eliminate production bottlenecks, improve the response to change, and increase the quality. The theoretical part introduced plasma cutting, layout types, material flows and conduction methods.

The company's former paint shop was renovated as a workshop for the production of sheet metal parts by examining the material flows and the facility was equipped for manufacturing the production of sheet metal parts. The company's plasma-operated cutting center was successfully installed, and user training was provided to the staff. The research and development work can be considered as successfully proceeded and completed. Now the company has its own production process of plate parts with the plasma cutting center, and the plasma cutting center is also an important part of the entire production chain.

For the future, the plan is to develop and maintain the unit's continuous improvement process with LEAN tools as 5S.

Keywords: workload, production planning, operations, plasma cutting

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ .....	3
Kuvaluettelo .....	1
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	3
1 Johdanto .....	4
1.1 Työn taustaa .....	4
1.2 Työn tavoite .....	5
1.3 Työn rakenne .....	5
1.4 Yritys ja tuotteet .....	6
1.5 Nordautomationin tilaus-toimitusprosessi .....	9
1.6 Kehittämistyö .....	10
2. Levynleikkaus ja tuotannonohjaus .....	12
2.1 Terminen levynleikkaus .....	13
2.1.1 Plasmaleikkaus .....	15
2.1.2 Plasmaleikkaus teollisuudessa .....	16
2.1.3 Plasmaleikkuslaitteisto .....	20
2.2 Valmistusyksikön layout ja tuotevirtaus.....	25
2.2.1 Funktionaalinen layout .....	26
2.2.2 Tuotantolinjalayout.....	27
2.2.3 Solulayout .....	29
2.2.4 Layouttyypin valintaperusteet.....	30
2.3 Tuotannonohjaus .....	32
2.3.1 Karkeakuormitus.....	32
2.3.2 Hienokuormitus .....	33
2.4 Resurssitehokkuus .....	34
2.4.1 Kapasiteetti ja kuormitusryhmä .....	35
2.4.2 Resurssi- ja virtaustehokkuus .....	36
2.4.3 Lean.....	40
2.4.4 JIT/JOT .....	40

2.5 Sisäinen tilaus-toimitusprosessi.....	41
2.6 Arvovirtakartoitus .....	42
2.7 Investointilaskelma .....	43
<b>3 Uuden levyosavalmistussyksikön perustaminen .....</b>	<b>45</b>
3.1 Investointi ja levyleikkauskoneen valinta .....	46
3.2 Tilakapasiteetti ja layout.....	46
3.3 Plasmaleikkaussyksikön vastaanotto ja käyttöönotto. ....	48
3.4 Henkilöresurssointi.....	52
3.5 Kappaleiden sijoittelu ja leikattavan materiaalin optimointi .....	52
3.6 Sisäinen tilaus-toimitusprosessi, levyosavalmistus .....	53
<b>4 Yhteenveto ja yleistä pohdintaa .....</b>	<b>58</b>
Lähteet .....	1
Liitteet: .....	4

## Kuvaluettelo

Kuva 1. Tuotantolaitos Alajärvellä (Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].).....	7
Kuva 2. Tukinlajittelu. (Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].) ...	8
Kuva 3. Sahaansyöttö (Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].) ..	9
Kuva 4. prosessikuvaus (Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].)	10
Kuva 5. Vertailutaulukko, leikkausmenetelmät (Kauppinen 1991, 47). ....	12
Kuva 6. Aineen neljä olomuotoa .....	15
Kuva 7. Atomin ionisoituminen.....	16
Kuva 8. Plasmaleikkauspoltin .....	17
Kuva 9. Lämpötilat leikkauksessa .....	18
Kuva 10. Hienosädeplasman poltinpää.....	19
Kuva 11. Plasmaleikkauslaitteisto (Hypertherm 2020).....	21
Kuva 12. Virtalähde (Hypertherm 2020).....	22
Kuva 13. ohjausyksikkö .....	23
Kuva 14. leikkauspoltin (Hypertherm 2020). ....	23
Kuva 15. kulutusosat (Hypertherm 2020).....	25
Kuva 16. (Funktionaalinen layout).....	26
Kuva 17. Tuotantolinja layout (Logistiikanmaailma 2021.) .....	28
Kuva. 18 Layoutvertailu .....	29
Kuva 19. Solulayout (Logistiikan Maailma 2021.) .....	30

Kuva 20. Tuotemäärä-analyysi (Haverila ym. 2009, 479). .....	32
Kuva 21. Resurssi/virtaustehokkuus .....	36
Kuva 22. Resurssitehokas malli (Modig & Åhlström 2018, 10).....	37
Kuva 23. Materiaali tehokas malli (Modig & Åhlström 2018, 15). .....	38
Kuva 24. Tilaus-toimitusprosessi (logistiikanmaailma 2020.).....	42
Kuva 25. Materiaali- ja informaatiovirta .....	43
Kuva 26. Levyosavalmistusyksikön sijainti.....	47
Kuva 27. Leikkaamon solumallin layout .....	48
Kuva 28. Asennuslayout .....	49
Kuva 29. Suuttimet virta-arvon mukaan .....	50
Kuva 30. Plasmaleikkauskone .....	51
Kuva 31. Kappaleiden sijoittelu levyille .....	53
Kuva 32. Työkuvat, materiaalityypin ja materiaalivahvuuden lajittelu.....	55
Kuva 33. Merkityt leikkeet .....	56
Kuva 34. havainnekuva, leikkaamo ja muu valmistus .....	57

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>5S</b>	Leanin työkalu (sortteeraus, systematisointi, siivous, standardisointi ja seuranta).
<b>PLASMA</b>	Aineiden neljäs tunnettu olomuoto
<b>Virtaustehokkuus</b>	Maksimoitu asiakasarvon virtaus organisaation läpi
<b>XPR 300</b>	Hyperthermin valmistama uusimman sukupolven plasmaleikkauskoneen virtalähde



# 1 Johdanto

## 1.1 Työn taustaa

Projektitoimituksiin erikoistunut yritys Nordautomation Oy on valmistanut tukinkäsittelylaitteita jo yli 30 vuotta. Yrityksen lähes omavarainen tuotanto on ollut tärkeässä roolissa ja varmasti myös tuonut kilpailuetua toimialallaan. Vahvistaakseen omavaraisuutta valmistuksen suhteen on yritys investoinut moderniin plasmaleikkauskeskukseen, jota varten on myös saneerattu oma kiinteistö. Investoinnin myötä yritys on täysin riippumaton alihankinnasta.

Yrityksen tuotteet sahalaitoksille, muun muassa tukinkäsittelyyn ovat rakenteellisesti terästä ja koostuvat lähinnä levyleikkeistä sekä HE- ja putkipalkeista. Yleisesti tuotteen kokoonpanohitsaaminen yrityksen konepajalla alkaa levyleikkeistä, jotka toimivat koko tuotteelle ns. "luurankona". Aiemmin prosessi alkoi kuvien valmistuttua suunnittelusta, tämä jälkeen tuotannon aikataulutaminen alihankinnasta tilattujen levyosien tilausvahvistuksien aikataulun perusteella, joka oli keskimäärin noin 2 viikkoa tilauksesta.

Tarpeen tutkimukselle ja kehittämiselle tekee päätös investoinnista omaan leikkausmoyksikköön konepajalle ja siten myös kokonaan uuteen valmistusvaiheeseen. Koska henkilöstöllä ei ole aiempaa kokemusta plasmaleikkauksesta, on tiedettävä periaatteet, miten plasmaleikkaus toimii, mitkä ovat leikkausmenetelmän edut ja toisaalta heikkoudet.

Työssä kehitetään tukinkäsittelylaitteiston valmistukseen tarvittavien levyosien sisäistä tilausprosessia, materiaalivirtoja ja valmistuksen resursointia. Omavarainen levyosien valmistaminen mahdollistaa tuotannosuunnittelun, valmistuksen ja aikataulutuksen alihankinnasta riippumattomaksi. Tällä on yritykselle suuri merkitys tilaus-toimitusprosessin läpimenon kannalta, johtuen tuotteista, jotka sisältävät pääosin levyosia ja tarve on heti valmistusprosessin alussa.

## 1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli saada käyttöön yritykselle uutta tekniikkaa plasmaleikkaamisen myötä, sekä integroitua levyosavalmistuvaihe palvelemaan tuotannon kokonaisuutta mahdollisimman joustavasti ja tehokkaasti. Tämän tavoitteen saavuttaminen vaati muun muassa perehtymistä plasmaleikkaustekniikkaan, sisäisen tilaus-toimitusprosessin tutkimista ja organisoimista. Investointi toi mukanaan yritykseen myös kokonaan uutta tekniikkaa plasmaleikkaamisen myötä. Tämä uusi tekniikka tuo mukanaan mahdollisuuksia ja ominaisuuksia, joiden hyödyntäminen vaatii muun muassa ymmärrystä plasmaleikkaustekniikasta, leikkausmenetelmistä, leikattavista materiaalilaaduista, sekä koneen kapasiteetista. Näitä edellä mainittuja asioita käydään teoriassa läpi, jonka jälkeen tavoitteena on soveltaa tietoa ja kehittää yrityksen valmistusprosessia. Työssä mietitään myös kehitysnäkymiä tulevaisuuteen, mitkä edelleen parantaisivat prosessia.

Työssä tutkitaan myös layoutmalleja teoriassa ja pohditaan paras mahdollinen malli käytäntöön palvelemaan seuraavaa tuotantovaihetta materiaalivirtojen mukaisesti. Tarkoituksena on myös pystyä kartoittamaan optimaalinen resursointi vastaamaan koneen kapasiteettiä ja toisaalta muuta tuotantoa. Työssä myös selvitetään toimintamallia, onko kokonaisuuden kannalta paras malli virtaustehokas vai resurssitehokas palvelemaan tuotantoa kokonaisuutena.

## 1.3 Työn rakenne

Työn johdanto-osuudessa esitellään yritys, jolle työ tehdään ja yrityksen tuotteet sekä tilaus-toimitusketjun prosessikuvaus. Lisäksi kerrotaan tarpeet sekä tavoitteet tälle tutkimukselle ja kehittämiselle.

Seuraavissa osioissa käsitellään kehittämiseen tarvittavaa teoriapohjaa, jota sitten hyödynnetään soveltamalla sitä työn kehittämisvaiheessa. Teoriaosuudessa kerrotaan muun muassa teollisuuden leikkausmenetelmistä, resurssoinnista, layoutmaileista sekä materiaalivirtojen kartoituksesta.

Kolmannessa osiossa keskitytään itse tutkimukseen, joka pohjautuu teoriaosion faktoihin, sekä tietoon nykytilasta. Näiden tietojen pohjalta tehdään valinta leikkausmenetelmästä plasmaleikkaukseksi, tutkitaan sisäistä tilaus-toimitusprosessia levyosavalmistuvaiheessa, pohditaan materiaalivirtoja ja kehitetään valmistusvaihetta tuotannonohjauksen näkökulmasta. Tässä osiossa käsitellään myös tutkimuksen tulokset, päätelmät sekä pohdinnat.

#### **1.4 Yritys ja tuotteet**

Nordautomation Oy on vuonna 1991 perustettu puunjalostusteollisuuden projekti-toimituksiin erikoistunut yritys ja markkinoiden johtava tukinkäsittelytekniikan valmistaja. Yritys on osa ruotsalaista Addtech-konsernia. Asiakkaille toimitetaan tukinlajittelun, sahaansyötön ja alasahan linjastoja sekä näistä koostuvia kokonaisprojekteja avaimet käteen -periaatteella. Strategiana on tarjota asiakkaille alan huipputeknologiaa ottaen huomioon laadun, työturvallisuuden, ympäristön ja kapasiteetin vaatimukset. Strategiaan kuuluu myös tarjota asiakkaille aina ykkösluokan palvelut koko investoinnin elinkaaren ajan. (Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].)

Hallinto, projektinjohto, suunnittelu, tuotekehitys, markkinointi ja myynti toimivat Kristiinankaupungissa. Tuotantolaitos sijaitsee Alajärvellä Etelä-Pohjanmaalla. Yritys työllistää noin 90 teknologiateollisuuden ammattilaista. (Nordautomation Oy – Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].)



Kuva 1. Tuotantolaitos Alajärvellä (Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].)

Yritys valmistaa tukinkäsittelyyn laitteita sahalaitoksille. Koko tilaus-toimitusprosessi on yrityksen omassa käsissä.

Yritys valmistaa asiakkailleen seuraavia kuljetinmalleja ja hyödykkeitä tukinlajitteluun:

- tukkipöydät
- hajoituspöydät
- porrasannostin
- arvostelukuljetin (sis. tasausrullaston)
- tukkikuljettimet
- metallinilmaisinkuljetin
- mittauskuljetin
- lajittelukuljettimet
- lajittelulokerot

(Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].)



Kuva 2. Tukinlajittelu. (Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].)

Yritys valmistaa kuljetinjärjestelmiä sahaansyöttöön:

- tukkipöydät
- hajoituspöydät
- tukkikiramot
- tasausrullastot
- porrasannostimet
- tukkikuljettimet
- kiihdytyskuljettimet
- hihnakuljettimet
- metallinpaljastimeen liittyvät kuljetinradat
- raappakuljettimet
- kuori- ja roskakuljettimet
- tukkinostimet
- tukinkääntimet; revolveri- ja kaarikääntimet, kääntöpöydät

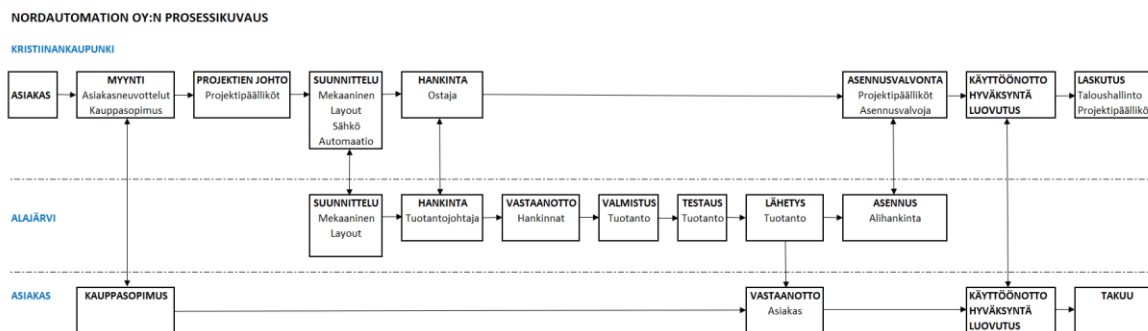
(Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].)



Kuva 3. Sahaansyöttö (Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].)

### **1.5 Nordautomationin tilaus-toimitusprosessi**

Projektitoimituksiin erikoistuneen yrityksen tilaus-toimitusketju omistaa käytännössä kaikki toiminnot tilaus-toimitusprosessissa (kuva 4), lukuun ottamatta asennusta, joka ostetaan ulkopuoliselta toimijalta.



Kuva 4. prosessikuvaus (Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].)

Työn keskiössä olevalla tuotantolaitoksella Etelä-Pohjanmaan Alajärvellä työskentelee kuutisenkymmentä monitaitoista ammattilaista. Alajärven tuotantoyksikkö on pinta alaltaan noin 10 500 neliometriä pitäen sisällään monikäyttöiset tuotantotilat, jotka mahdollistavat erilaisten ja vaihtelevien projektien valmistuksen. Tuotannon työvaiheita ovat muun muassa osavalmistus, hitsaus, koneistus, pintakäsittely, koonpano ja lopputestaus. (Nordautomation Oy –Yritysesittely [viitattu 25.01.2021].)

Oma tuotanto tarjoaa joustavuutta ja mahdollistaa lyhyetkin toimitusajat laadusta tinkimättä. Lisäksi oman tuotannon etuihin voidaan laskea laadun valvonta ja hallinta koko valmistusprosessin ajan, aina myynnistä ja suunnittelusta valmiiseen tuotteeseen asti. Yritystä johtamisessa auttaa ISO9001:2015, se on eurooppalainen laadunhallintajärjestelmien vaatimuksia käsittelevä standardi, joka auttaa analysoimaan ja kehittämään organisaation prosesseja ja tehostamaan toimintaa sekä rakentamaan, ylläpitämään ja kehittämään laadunhallinnanjärjestelmää. (Nordautomation Oy –Yritysesittely, [viitattu 25.01.2021].)

## 1.6 Kehittämistyö

Kehittämistyön tarkoituksena on saada parannuksia ja ratkaisuja toimintoihin esimerkiksi organisaation sisällä. Kehitystoimet voivat kohdentua esimerkiksi asioihin tai ilmiöihin, kuten tuotteet, palvelut tai prosessit. (Kananen 2012, 13-20).

Tässä työssä kehitettiin yrityksen toimintoja. Työn taustalla oli prosessi, jonka haluttiin olevan kehittämistyön jälkeen toimiva ja osa yrityksen valmistusprosessia. Työhön liittyy teoria, johon itse kehittäminen pohjautuu. Tavoitteena oli soveltaa olemassa olevaa tietoa yrityksen omaan toimintaympäristöön. (Kananen 2012, 13-20).

Kehittämiskohteen lisäksi työssä täytyy tunnistaa ne toimenpiteet, jotka vaikuttavat haluttuun lopputulokseen pääsemiseen. Tässä kehitystyössä nämä toimenpiteet olivat hyvin konkreettisia, mutta tärkeää on tuntea koko prosessin toiminnot ja syy-seuraussuhteet, että haluttuun lopputulokseen voidaan vaikuttaa oikealla tavalla. (Kananen 2012, 21).

Kehittämistyö jaetaan useaan eri vaiheeseen. Ratkaisut rakenteessa voivat vaihdella, mutta perusajatus on samankaltainen. Kehittämistyöstä löytyy ongelman tai kehittämiskohteen määrittely, esitelmä tavoitteen saavuttamiseksi, itse työ eli ratkaisu ja lopuksi arviointi. Kehittämistutkimuksen ja toimintatutkimuksen välinen ero ei ole suuri. Tästä syystä kehittämistutkimuksessa voidaankin lainata toimintatutkimuksen vaiheistusta tarvittaessa. Toimintatutkimuksen vaiheistus sisältää ongelman määrittelyn, tutkimisen, syiden ja seurausten pohdinnan, ratkaisun esittelyn, eli intervention, ratkaisun toiminta, ratkaisun mahdollinen muuttaminen, uuden ratkaisun toiminnan testaaminen ja päätelmät. (Kananen 2012, 53).



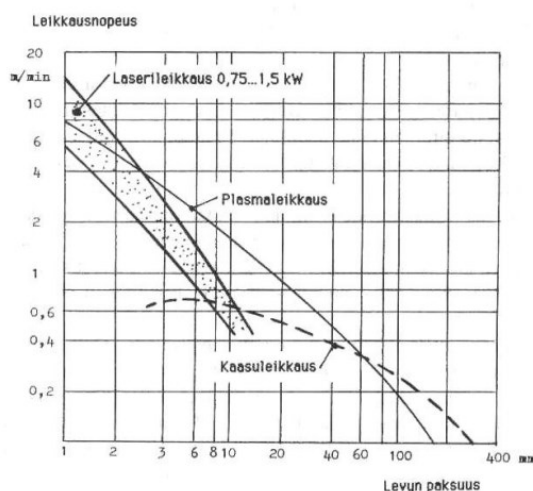
## 2. Levynleikkaus ja tuotannonohjaus

Työssä kehitettävien asioiden keskiössä ovat terminen levynleikkaus ja siihen liittyvä teoria eri leikkausmenetelmistä, koska kyse on yrityksen tarpeeseen oikean menetelmän valinnasta. Tekniikan ollessa yritykselle ennestään tuntematonta, tutkitaan teoriapohjaa termisistä leikkausmenetelmistä erityisesti plasmaleikkausta hieman syvällisemmin.

Yrityksen strategiana on omavarainen tuotanto ja sitä haluttiin edelleen vahvistaa omalla plasmaleikkauskeskuksella. Tuotteisiin tulevat leikkeet niukkahiiliteräksestä väliltä 2 – 40mm. Tämä on ollut valmistusprosessin ainoa alihankinnan varassa ollut työvaihe. Tämä vaihe on valmistusprosessin kannalta erittäin kriittinen, koska tuotteen hitsauskokoontamiseksi ei voida aloittaa ennen kuin leikkeet tuotteeseen ovat saatavilla.

Leikkeitä voidaan valmistaa käytännössä myös vesi- tai laserleikkaamalla, kuten 2.1 tullaan käsittelemään. Näissä leikkausmenetelmissä vastaan tulee materiaalin vahvuudet laserilla ja vesileikkauksessa hidas nopeus. Polttolaikkauskone yrityksestä jo löytyykin, mutta käytännössä leikkausmenetelmän suuri lämpötila ei mahdollista laadukkaiden ja tarvittavan mittatarkkojen kappaleiden leikkausta varsinkaan ohuemmillä materiaaleilla (kuva 5).

Tästä syystä päädyttiin plasmaan optimaalisena leikkausmenetelmänä.



Kuva 5. Vertailutaulukko, leikkausmenetelmät (Kauppinen 1991, 47).

Koska työn yhtenä osa-alueena on kokonaan uuden valmistusyksikön perustaminen levyosien tuottamiseen, on tarpeen tutkia erilaisia layoutmalleja, materiaalivirtauksia ja yksikön resurssointia tarvittavan kapasiteetin saavuttamiseksi. Toimintatiloiksi visioitiin vanha pintakäsittelylaitos, joka oli logistisesti haastava vaihtoehto, koska se sijaitsi erillään muista kiinteistöistä ja vieläpä toisella puolella yleistä tietosuutta. Tämä kuitenkin olisi kustannustehokkain vaihtoehto, koska kiinteistö oli jo olemassa. Konepajan alueella pihatilat valmisteille, puolivalmisteille ja materiaalille olivat tiukoilla, joten uuden kiinteistön rakentamista tontille ei voitu ajatella.

Tämän yhteydessä työssä tutkitaan myös hankittavan koneen kapasiteettia ja siihen liittyvää teoriaa. Tällöin pystytään kartoittamaan yritykselle sopiva ja mukautettu tuotantofilosofia, ja onko tarkoituksen mukaista pyrkiä resurssitehokkaaseen toimintaan, vai virtaustehokkuuteen. Näissä kaikissa asioissa otetaan huomioon tuotanto kokonaisuutena ja tavoitteena on saada tukinkäsittelylaitteiden valmistuksesta entistä joustavampaa, laadukkaampaa, työturvallisempaa ja kustannustehokkaampaa.

## **2.1 Terminen levynleikkaus**

Termisiä leikkausmenetelmiä ovat plasma-, poltto-, jauhe- ja laserleikkaus. Termistä leikkausta käytetään pääasiassa metallien työstämiseen palamattomuuden vuoksi. Termisessä leikkauksessa metalli kuumennetaan leikkauskohdalta hyvin korkeaan lämpötilaan. Leikkaus tapahtuu sulattamalla, polttamalla, höyrystämällä tai niiden yhteisvaikutuksella. (Matilainen ym. 2011,142.)

Plasmaleikkauksella tarkoitetaan termistä leikkausmenetelmää, missä materiaalin leikkaus tapahtuu lämpöenergian avulla. Plasmaleikkaukseen soveltuvat sähköä johtavat materiaalit. (Ihalainen ym. 2003, 319.)

Polttoleikkaus on myös terminen leikkausmenetelmä, mutta poiketen plasmaleikkauksesta, polttoleikkauksessa materiaali esilämmitetään tyypillisesti nestekaasulla ja kuumennetaan lähes sulamispisteeseen puhtaalla happisuihkulla puhaltaen metallioksidirailosta pois (Mattila & Lakso 1997, 2)

Laserleikkaus on terminen leikkausprosessi, jossa fokusoitu lasersäde aiheuttaa leikkavassa materiaalissa höyrystymisen ja sulamisen. Apuna työstössä käytetään happea tai typpeä, jonka suuntaa ohjataan suuttimella puhaltamaan railosta sula aines pois. (Kujanpää, Salminen, & Vihinen, 2005, 33.)

Jauheleikkausta käytetään yleensä harvemmin, mutta ruostumattomien teräksien kanssa useimmiten. Hienojakoinen rautapitoinen jauhe syötetään erikseen leikkausvyöhykkeelle kaasumaisessa väliaineessa ja rautajauheen palaminen lisää reaktiolämpötilaa ja hapettumistuotteiden juoksevuuutta. Tämä mahdollistaa tarkemman ja edullisemmän työstön. (TWI-global 2019.)

Metalleja ja muita materiaaleja pystytään leikkaamaan termisten leikkausmenetelmien lisäksi vedellä. Vesisuihkuleikkaus perustuu eroosiopohjaiseen prosessiin, joka käyttää erittäin korkeaa vedenpainetta, vähintään 4137 bar (60000 psi), materiaalin leikkaamiseen. Hionta-aineen kanssa tai ilman käytettävät vesisuihkujärjestelmät ovat parhaimmillaan, kun tarvitaan tarkkaa ja monenlaisen materiaalivalikoiman leikkaamista ilman kappaleen kuumenemista. (Kauppinen 1991, 61.)

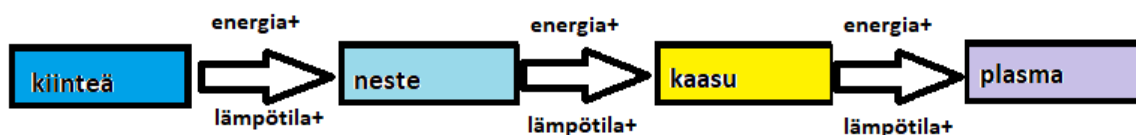
Modernit leikkauskoneet konepajateollisuudessa ovat NC-ohjattuja, ja jopa työstö/leikkauspäät voivat olla pyöriteltäviä omalla numeerisesti ohjatulla akselilla. Tällöin samalla polttimella pystytään leikkaamaan levyjä sekä viistämään ja leikkaamaan tarvittaessa putkipalkkien rei'itykset, tosin tämä toiminto vaatii koneelta yhden ylimääreisen akselin. Muun muassa plasma- ja polttoleikkausta pystytään käyttämään myös käsileikkauksena, jossa tosin materiaalin paksuus ja laatu rajoittaa niiden käyttöä, johtuen virtayksikön koosta. Käsivarainen leikkaus on myös epätarkkaa. (Ihalainen ym. 2003, 41.)

Numeerisesti ohjattu leikkauskeskus teollisuudessa tuo mukanaan edistyksellisiä etuja. Muun muassa laatu pysyy tasaisena, kun leikkauspään etäisyys ja nopeus pystytään pitämään vakiona. Koneelle syötetyt tiedot materiaalin vahvuudesta ja laadusta kertovat NC-koodein mikä on kulloinkin optimaalinen nopeus ja leikkauspään etäisyys materiaalista. Ohjelmisto antaa tiedon, joka siirtyy servomootoreille, eli koneen akseleille. Välyksettömien komponenttien ja servomootoreiden ansiosta kone pystyy toistamaan millin kymmenyksien tarkasti kappaleen toisensa jälkeen. (Ihalainen ym. 2003, 39.)

### 2.1.1 Plasmaleikkaus

Aineiden kolme yleisintä esiintymismuotoa ovat kiinteä, neste ja kaasu. On olemassa myös aineen neljäs olomuoto, sitä kutsutaan plasmaksi. Se on kuitenkin koko maailmankaikkeuden aineiden yleisin esiintymisolomuoto. Plasma koostuu atomytimistä, jotka ovat saaneet kuumenemisen ja värähtelyn johdosta positiivisen varauksen ja elektroneista, joilla on negatiivinen varaus. Tätä ionisoitunutta kaasua kutsutaan plasmaksi. Kun plasma palautuu takaisin kaasuksi, kutsutaan tapahtumaa rekombinaatioksi. (Karttunen 2004, 120.)

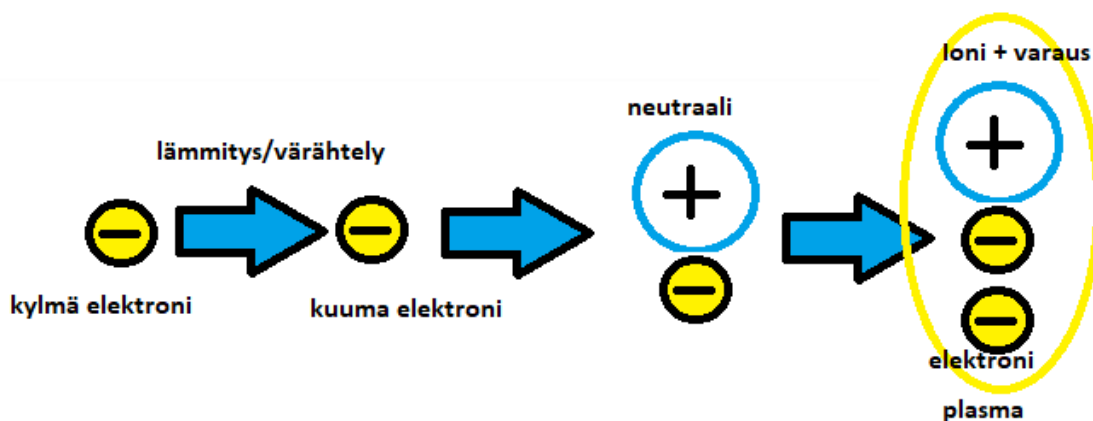
Aineen siirtyminen eri olomuodosta toiseen vaatii energiaa ja lisää lämpöä, riippuen kumpaan suuntaan olomuodon muutos on kulloinkin menossa (kuva 6) (Karttunen 2004, 120.)



Kuva 6. Aineen neljä olomuotoa

Plasman syntyminen vaatii siis hyvin paljon energiaa ja samalla aineen lämpötila nousee useisiin tuhansiin asteisiin (Karttunen 2004, 120).

Plasman aikaan saamiseksi lisätään kaasuun ulkopuolista energiaa, jolloin se samalla lämpenee hyvin voimakkaasti. Lämpeneminen taas saa kaasun atomit värähtelemään ja luovuttamaan vapaan elektronin. Tästä syystä ydin saa positiivisen varauksen ja elektronit saavat negatiivisen varauksen, tätä ionisoitunutta kaasua kutsutaan plasmaksi (Kuva 7). (Karttunen 2004, 121.)



Kuva 7. Atomin ionisoituminen

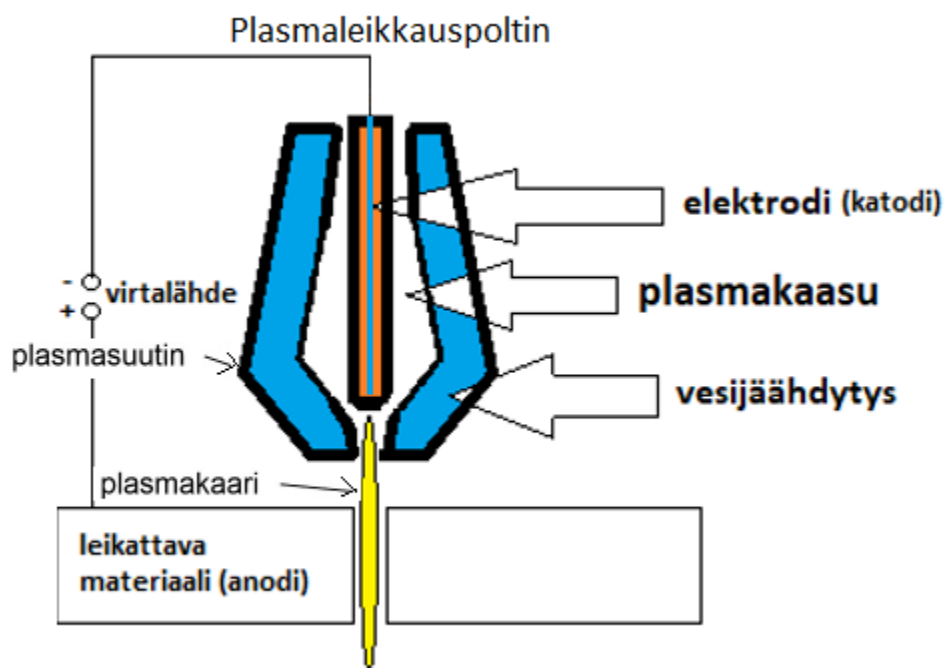
Atomin osien varauksien muutos mahdollistaa hyvän sähkön johtavuuden kaassassa, mitkä käytetään hyväksi plasmaleikkauksessa (Karttunen 2004, 121).

### 2.1.2 Plasmaleikkaus teollisuudessa

Plasmaleikkaus on kehitetty 1950-luvulla, kun huomattiin, kuinka kuristamalla suurinopeuksista ja ionisoitunutta kaasuvirtaa ja samaan aikaan johtamalla tähän tasajännitettä, saatiin kuristettu suihku sulattamaan metallia. 1960-luvulla NC-ohjattujen koneiden yleistyessä, plasmaleikkaus lisäsi vakuuttavuutta teollisuudessa, kun leikkaustekniikka voitiin yhdistää numeerisesti ohjattuun koneeseen ja leikkauslaatu saatiin paremmaksi. Lopullinen läpimurto plasmaleikkaukseen tapahtui 1980-luvulla, kun laitteet kehittyivät ja niiden kustannukset laskivat. Samalla ensimmäiset PC-ohjatut laitteet tulivat markkinoille, ja käyttäjät pystyivät itse laatimaan NC-koneen vaatiman G-koodin. Näin syntyivät CNC-koneet, joiden avulla koneen käyttäjä pystyy itse muuttamaan ohjelmaa (G-koodia), joka on nykyaikaisten koneiden ohjelmoinnin pohjalla. Plasmaleikkaus löi lopullisesti läpi 1990-luvulla, kun suuritehoiset virtalähteet tulivat sekä poltintekniikka kehittyi hienosädeplasmaksi, ja kappaleiden työstötarkkuus parani huomattavasti. Samalla leikkauskustannukset alenivat. (Walsh 2005)

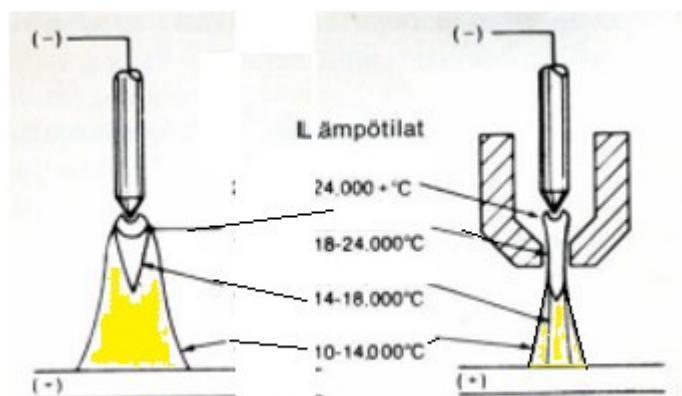
Plasmaleikkaus on sulatusleikkausmenetelmä, jossa kuumen plasman energiaa hyväksi käyttämällä saadaan aikaiseksi työstettävään kappaleeseen leikkausrailo. Plasmakaari saadaan aikaiseksi virtalähteen avulla elektrodin ja kappaleen välille,

plasmakaarta kuristetaan plasmaleikkauspolttimen suuttimen avulla (kuva 7.). Sulanut metalli puhalletaan railosta pois plasmakaasun avulla. Kaasu voi olla typpeä, happea, argonia, paineilmaa tai näiden kaasujen seoksia riippuen leikattavasta materiaalista. (Ihalainen, ym. 2003, 263.)



Kuva 8. Plasmaleikkauspoltin (Hypertherm 2020. muokattu)

Plasmaleikkauspolttimen tärkeimmät osat ovat elektrodi ja suutin, joissa itse plasmakaasu syntyy valokaaren avulla. Elektrodi on sijoitettu plasmasuuttimen sisään ja elektrodin ympärillä suurella nopeudella virtaava plasmakaasu ionisoituu elektrodin ja leikattavan materiaalin välillä, mikä johtaa sähköä. Syntyneellä plasmakaasulla on leikkauksessa kaksi tehtävää, sulattaa leikattavaa materiaalia ja poistaa sulanut materiaali leikkausrailosta. Kuumuudesta ja sulasta aineesta johtuen nämä kaksi osaa ovat polttimessa eniten kuluvia osia (kuva 8) ja niiden merkitys leikkauksen jälkeen on hyvin suuri. Kuluneella suuttimella jälki huononee merkittävästi ja railon reunaan kertyy sulaa ainetta eli kansanomaisesti pursetta. Viisteominaisuuden käyttö lyhentää suuttimen ikää, sekä myös leikkauksaloitukset, eli materiaalin lävistykset. (Ihalainen ym. 2003, 263.)



Kuva 9. Lämpötilat leikkauksessa (Niemi & Aromäki 1985,. 24.)

Leikkausprosesseja on kolmea eri tyyppiä: yksi kaasu-, kaksoiskaasu- ja vesivaippaleikkaus (Hypertherm 2020.)

Yksikaasuleikkaus on nimensä mukaisesti vain yhdellä kaasulla toteutettu leikkaus. Leikkauskaasuna toimii hyvin monesti kompressorilla tuotettu paineilma, jota käytetään valokaassa, plasmana ja elektrodin ja kilven jäähdyttämiseen, samalla se toimii sulan plasman poispuhalluksessa railosta. Käsikäyttöiset plasmaleikkurit ovat tyypillisesti yksikaasuleikkauspolttimella varustettuja. (Hypertherm 2020.)

Kahdella kaasulla toteutetussa leikkauksessa, toisen kaasun tehtävä on muodostaa plasma, kun toinen kaasu jäähdyttää kulutusosia ja suojaa leikkauskohtaa ulkoisilta kaasuilta. Tällä menetelmällä saadaan kulutusosille pidempi kesto ja samalla leikatavan materiaalin leikkauspinnan laatu paranee, kun prosessi on puhtaampi. Kulu-neilla kulutusosilla laatu leikkauksessa huononee merkittävästi. (Hypertherm 2020.)

Vesivaippaleikkaus on periaatteiltaan samalainen kuin kaksoiskaasu, mutta jäähdyttävä kaasu on korvattu vedellä, jolloin polttimen osien käyttöikä paranee edelleen. Vesikaasupoltinta käytetään tyypillisesti ruostumattoman teräksen leikkaukseen (Hypertherm 2020.)

Hienosädepolttin (kuva 10) on tyypillinen polttinmalli teollisuudessa nykyisin. Se perustuu kaksoiskaasuun, ja polttinpää on nestejäähdytetty. Hienosädeplasmalla saavutetaan monia etuja perinteisiin polttimiin verrattuna. Tästä syystä plasma onkin noussut kilpailemaan usein laserin kanssa, kun puhutaan laatuvaatimuksista. Se on

energiaystävällisempi, kaasun kulutus vähenee, leikkausrailo kaventuu valokaaren energiatiheyden ansiosta ja tällöin säästyy materiaalia. Työstettävien kappaleiden mittatarkkuus ja leikkauspinnan suoruus parantuu, näin hukka pienenee. (Hypertherm 2020.)



Kuva 10. Hienosädeplasman poltinpää

Kaasuilla on suuri merkitys plasmaleikkauksen tehokkuuteen ja myös laatuun. Oikeiden kaasujen valinta eri materiaaleille ja materiaalivahvuuksille on tärkeä osa onnistunutta leikkausta. Leikkauskaasut plasmaleikkauksissa tyypillisesti ovat typpi, sekä paineilma ja happi. Myös hiilidioksidi, argonia ja vetyä käytetään tietyissä tapauksissa plasmaleikkaukseen. Paineilma on yleisimmin käytetty leikkauskaasu, sen saatavuuden ja kustannuksien vuoksi. Plasmakaasun tehtävä on muodostaa plasmakaari ja siirtää plasmakaaren kineettinen energia ja lämpöenergia työkappaleelle, sekä tuottaa lisää lämpöenergiaa prosessiin. Plasmakaareissa hajoavat kaasumolekyylit yhdistyvät uudelleen työstettävän kappaleen pinnalla, eli anodissa.



Paineilmalla voidaan leikata kaikkia materiaaleja teräksestä alumiiniin, mutta leikkauslaatu on huono muilla materiaaleilla paitsi teräksellä. Käyttö rajoittuuakin paineilmalla lähinnä yksikaasupolttimiin. (Hypertherm 2020.)

Happea käytetään tyypillisimmin leikkauskaasuna niukkahiiliteräksen kanssa, koska näin saadaan aikaiseksi hyvä kemiallinen reaktio ja plasmakaaren hallinta on helppoa. Teräksen leikkauksessa puhalluskaasuna käytetään paineilmaa sen kustannustehokkuuden vuoksi. (Hypertherm 2020.)

Typpi on ollut plasmaleikkauksen lähtökohtakaasu. Nykyisin typpeä käytetään lähinnä seoskaasuna, kun tehdään erittäin tarkkoja reikiä, esimerkiksi kierteytystä varten. (Hypertherm 2020.)

Yhteenvetona: tärkeitä ominaisuuksia kaasuille plasmaleikkauksessa ovat ionisaatio- ja dissosiaatioenergia, lämmönjohtavuus, atomimassa sekä kemiallinen reagoivuus (aktiivinen, inertti, pelkistävä). Kaasuina voidaan käyttää paineilmaa, happea, typpeä, argonia tai vetyä, mutta usein optimaalinen kaasu on näiden seos, jolloin eri kaasujen hyviä ominaisuuksia voidaan yhdistellä leikattavan materiaalin ja materiaalivahvuuden sekä laatu- ja tehokkuusvaatimusten mukaan. Esimerkiksi matalaseosteisen hiiliteräksen leikkauksessa käytetään tyypillisesti plasmakaasuna happea sekä toisiokaasuna happea, typpeä tai näiden seosta. Runsasseosteisten terästen leikkauksessa plasmakaasuna on 6 mmin paksuuteen asti tyypillisesti typpi ja tätä paksummilla materiaaleilla argonin, typen ja vedyn seos. Toisiokaasuna runsasseosteisten terästen leikkauksessa käytetään typpeä tai typen ja vedyn seosta. (Hypertherm 2020.)

### **2.1.3 Plasmaleikkauslaitteisto**

Plasmaleikkauslaitteistoon (kuva 11) kuuluvat tyypillisesti: virtalähde, valokaaren käynnistysyksikkö ja leikkauspoltin. Muita tarpeellisia laitteita, mutta ei sinällään plasmaleikkaustekniikkaan liittyviä, ovat leikkauspöytä, joka voi olla vesi- tai ilmapöytä ja portaali joka kuljettaa itse leikkauspoltinta NC-koodin mukaisesti, sekä savukaasuimuri. (Hypertherm 2020).



Kuva 11. Plasmaleikkauslaitteisto (Hypertherm 2020).

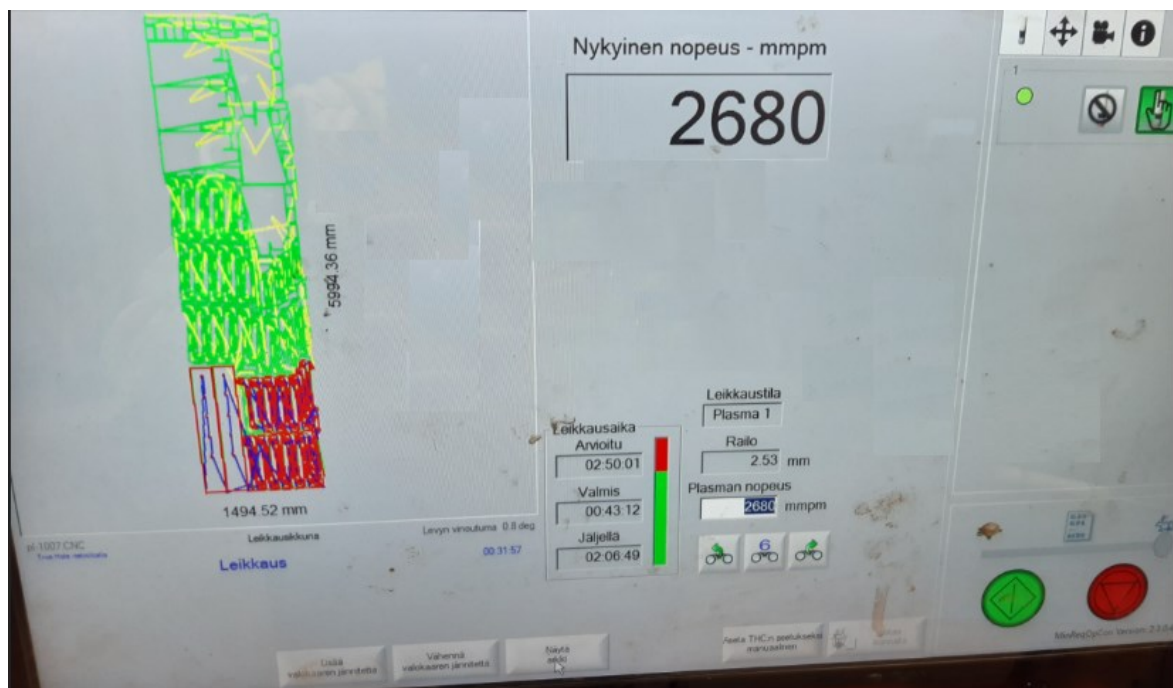
Plasmaleikkauskeskuksen virtalähde (kuva 12.) tuottaa 3-vaiheisesta verkkojännitteestä (400 VAC) jatkuvaa ja hyvälaatuista tasajännitettä 200–400 VDC. Virtalähteessä on suurtaajuuspiiri, minkä avulla leikkauskaasu yhdessä tasajännitteen kanssa muutetaan polttimen sisällä leikkausplasmaksi (kaasu ionisoituu). Käytettävä kaarijännite riippuu leikattavan materiaalin paksuudesta ja polttimen työkäluista. Jännite antaa tyypillisesti leikkauksissa virta-arvon 80–300 amp. Niin sanottua pilottipiiriä tarvitaan plasmakaaren sytyttämiseksi polttimen sisällä elektrodin ja suuttimen välille. Kun työstettävä kappale on tullut riittävän lähellä elektrodia, purkautuu pilottikaari ulos suuttimen reiästä. Tämä saa aikaiseksi varsinaisen plasmakaaren. Työstettävä kappale kytketään virtalähteen +-napaan ja elektroni -napaan. (Hypertherm 2020.)



Kuva 12. Virtalähde (Hypertherm 2020).

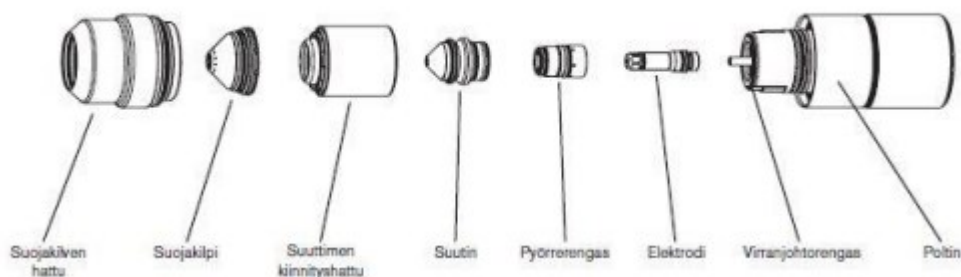
Plasmaleikkauksen hallinta tapahtuu ohjausyksikön avulla (kuva 13), joka on PC, johon on asennettuna leikkausohjelma sekä tarvittavat painikkeet ohjausta varten. Leikkausohjelmalla säädellään polttimen asetuksia materiaalin mukaan. Näitä ovat esimerkiksi kaarijännite, leikkausvirta, polttimen korkeus, leikkausnopeus, kaasun tai näiden seoksien määrä. (Ihalainen ym. 2003, 264.)

Ohjainyksiköllä voidaan tehdä myös kappaleiden nestaukset erillisellä ohjelmalla leikattaviin levyihin. Nestauksessa leikattavat kappaleet sijoitetaan leikkauslevylle ja määritellään leikkauksen aloituspiste (sisä- tai ulkomuodon mukaan), railoleveys ja suojaetäisyys toiseen kappaleeseen. Nestausohjelma muuttaa leikkauskuvan CNC-koneiden käyttämäksi G-koodiksi, jolla itse leikkauskomennot viedään servo-moottoreille eli akseleille. Yleisesti nestausohjelmalla varustettu PC on erillinen, joten nestaukset voidaan tehdä esimerkiksi leikkuun aikana. (Ihalainen ym. 2003, 264.)



Kuva 13. ohjausyksikkö

Leikkauspoltin (kuva 14.) koostuu polttinrungosta, elektrodista, pyörrenkaasta, suuttimesta, suuttimen hatusta, kilvestä ja kilven hatusta. (Hypertherm 2020).

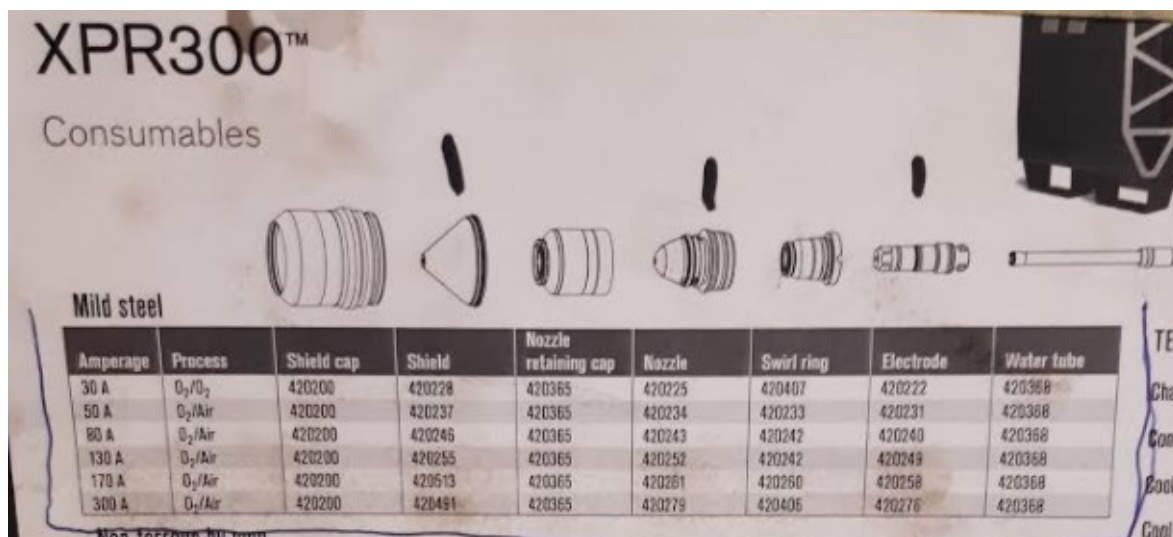


Kuva 14. leikkauspoltin (Hypertherm 2020).

Kaikki leikkausprosessissa tapahtuu polttimen kautta. Eniten kuluvat komponentit ovat elektrodi ja suutin. Näitä osia tulee myös vaihtaa sen mukaan, mikä levyn vahvuus on kulloinkin kyseessä. Levyn vahvuus määrittelee virta-arvon ja siten polttimen rakenteen. Polttinrunko on omalla akselillaan kiinni portaalissa, jota CNC-ohjelma ohjaa suunnassa X,Y ja Z. Lisäksi koneesta löytyy vielä neljäskin akseli,

joka saa aikaan koneelle viisteytysominaisuuden, eli polttinrungon kääntämisen jota ohjaa myös CNC-ohjelmalta tuleva G-koodisto. Elektrodi on alimpana polttimen rungon sisällä, johon virtalähteen negatiivinen napa on kytketty. Elektrodin päälle tulee pyörre rengas, mikä saa aikaan käytettävän leikkauskaasun pyörteen elektrodin ympärille. Pyörre tehostaa plasmankaaren tehoa. Runkoon kierretään suutin, jonka päässä olevan reiän koko määräytyy leikattavan materiaalin paksuuden mukaan. Myös muiden komponenttien koko ja ominaisuudet muuttuvat leikattavan materiaalin paksuuden ja laadun mukaan. Tämä koko paketti suojataan hattulla, jonka päälle tulee kilpi. Kilven tehtävä on suojata roiskeet pois polttimen päästä. Hatun tehtävä on myös pitää leikkauskaasu erillään suojakaasusta. Erityisesti viistettäessä ja paksujen materiaalien puhkaisussa sulanutta materiaalia lentää polttimeen päin. Ylimmäinen osista on suojakilven hattu, jonka tehtävänä on pitää kaikki osat paikoillaan polttimen sisässä. Polttimen sisällä kiertää vielä erillinen jäähdytysneste, jolla kulutuskomponenttien käyttöikää pidennetään. (Hypertherm 2020).

Hypertherm XPR300 -polttimen pään osat on numeroitu eri ampeerimäärän (A) mukaan teräkselle, ruostumattomalle teräkselle ja alumiinille (kuva 15). Leikkausvirran (A) määrä on suoraan verrannollinen leikattavan materiaalin vahvuuteen. Tästä syystä täytyy poltinpään osat vaihtaa aina kulloisellekin virtamäärälle sopiviksi. Esimerkiksi varustelemalla XPR 300 -virtalähteen poltinpää 30 A osilla voidaan leikata materiaaleja vahvuudesta 0,5.- 2mm., 80 A osilla varustellulla polttimella voidaan leikata 5-8mm., 130 A osilla 8-20mm., 170 A osilla 20-30mm. ja 300 A osilla voidaan leikata PL40-terästä puhkaisulla ja reunasta aloittamalla päästään jopa 80 mm:n vahvuuteen. Poltinpään varustelun valintaan vaikuttaa myös haluttu leikattavan kappaleen laatu sekä materiaali. Kun halutaan levyä leikata suositeltua nopeampaa, täytyy valita osat isomman ampeerikoon mukaisesti. Tämä vaikuttaa leikkauksen lopputulokseen laatua alentavasti, mutta joskus se on tarkoituksen mukaista. (Hypertherm 2020).



Kuva 15. kulutusosat (Hypertherm 2020).

## 2.2 Valmistusyksikön layout ja tuotevirtaus.

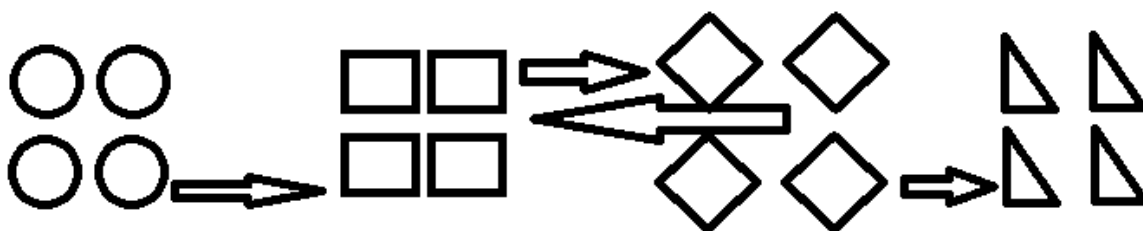
Layout on nykyisin yleisessä puhekielessä käytetty ammattisana, joka tulee englannin kielestä. Layout kuvaa yleisesti kaksiulotteisesti koneiden ja laitteiden sijoittelua kiinteistön pohjapiirustukseen. Toimivan layoutin yhtenä tärkeänä tavoitteena on, että kaikki toimintaan kuuluvat tekijät on huomioitu ja suunniteltu mahdollisimman pitkälle niin, että toiminta siihen tarkoitettuun tilaan on mahdollisimman tehokasta. Layouttyypit voidaan yleisesti jakaa kolmeen eri kategoriaan: funktionaalinen layout, tuotantolinja- ja solulayout. Layoutmallin valintaan ei ole yhtä oikeaa ratkaisua, vaan siihen vaikuttaa muun muassa edelliset ja seuraavat työvaiheet ja valmistettavan tuotteen materiaalit. Layouttyyppiä valittaessa on tärkeää tehdä valmistuksen arvovirtakartoitus, jolla pystytään määrittelemään kriittiset tuotevirtaukset ja mahdolliset varastot. (Haverila ym. 2009, 475.)

Perusteina hyvälle layoutille voidaan pitää muun muassa turvallisuutta sekä vieraille että omalle henkilökunnalle. Hyvässä layoutmallissa myös minimoidaan tuotteen läpäisy aika, sekä työntekijöiden turhat liikkeet ja kuljettamiset työpisteiden tai vaiheiden välillä. Laatu näkökulmasta katsottuna layoutilla on myös siihen suuri vaikutus. Selkeä layout ja visuaalisuus parantaa poikkeamien havaitsemista. (Logistiikanmaailma 2021.)

### 2.2.1 Funktionaalinen layout

Funktionaalisisessa layoutmallissa tuotteen valmistukseen liittyvät koneet ja muu tarvittava materiaali sijaitsee samassa paikassa. Tätä layoutmallia kutsutaan myös prosessilähtöiseksi layoutiksi perustuen koneiden tuotantoteknologian ryhmittelyyn. Tässä layoutmallissa tuotteet ja tuotantomäärät voivat vaihdella paljon. (Haverila ym. 2009, 477.)

Funktionaalisen layoutin toteutus on helppo ja suhteellisen halpa verrattuna tuotantolinjaan. Kapasiteetin kasvattaminen on joustavaa ja samoin kuin erilaisten tuotteiden valmistaminen. Eri valmistusyksiköt layoutin sisällä eivät ole riippuvaisia toisistaan. Funktionaalisen layoutin tuottavuus on kuitenkin heikompi verrattuna tuotantolinjaan johtuen pienistä sarjoista ja siten tuotteiden toistuvuudesta. Myös kuormitusasteet saattavat jäädä keskimääräistä alhaisemmalle tasolle. (Haverila ym. 2009, 477.)



Kuva 16. (Funktionaalinen layout).

Funktionaalisisessa layoutissa (kuva 16.) kaikki samankaltaiset resurssit kerätään yhteen ja niistä muodostetaan ryhmiä, kuten koneistamo, levyosavalmistus tai maa-laamo (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 79). Funktionaalisisessa layoutissa tuotantomäärät ja tuotetyypit voivat vaihdella huomattavasti. Koneet ovat usein monentyypiseen työhön sopivia, näillä koneilla voidaan valmistaa monipuolisesti erilaisia tuotteita. Tuotteet valmistetaan yksittäisinä tai sarjoina. Tuotannonohjaus perustuu eri koneille jonottavien töiden järjestelyyn, siten tämä layouttyyppi vaatii paljon ohjausta. (Haverila ym. 2009, 476.)

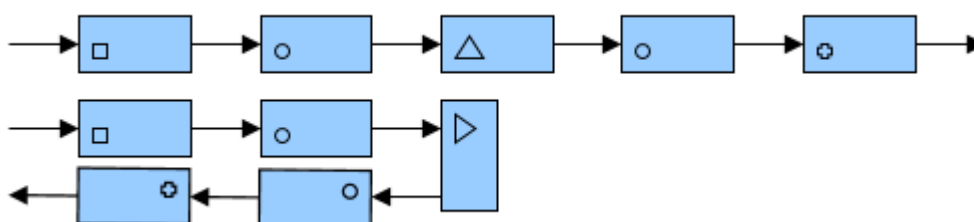
Koska tuotantopisteitä ohjataan osoittamalla niille jonottavia töitä, on funktionaalissa layoutissa mahdollista käyttää kapasiteetti tehokkaasti, ja tehokkuus on mahdollista nostaa jopa 100 %:in. Funktionaalisen layoutin etuja ovat kapasiteetin tehokkaan käytön lisäksi kapasiteetin lisääminen ja vähentäminen tarpeen mukaisesti helposti. Funktionaalisen layoutin avulla voidaan valmistaa joustavasti hyvin erilaisia tuotteita, ja sen toteutus tuotantolinjaan verrattuna on edullista, koska tuotantolinja vaatii usein suurempia laiteinvestointeja. (Haverila ym. 2005, 476.) Yhdeksi eduksi voidaan laskea myös ammattitaidon keskittyminen koneryhmään, jolloin kokeneemmat työntekijät voivat helpommin ohjata vähemmän kokeneita. Tämä mahdollistaa myös yhteisien työvälineiden käytön, mikä voi osaltaan vähentää kalliiden erikoisvälineiden tarvetta. (Lapinleimu ym. 1997, 79.) Funktionaalisen layoutin haitta on työllistävä ohjattavuus. Töiden ohjaus oikea-aikaisesti työvaiheelta toiselle on haastavaa johtuen vaikeasti erotettavasta kiireellisyysjärjestyksestä. Kerääntyneet työjonot kasvattavat puolivalmisteiden määrää ja siten myös koko tuotannon läpimenoaikaa. Koska työpisteet eivät sijaitse aina peräkkäin, tuotteiden kuljetuskustannukset kasvavat ja lisäävät hukkaa. Kaikki tämä yhdessä lisää työnjohdon ja tuotannonohjauksen jatkuvaa ohjausta. (Haverila ym. 2009, 476.)

### **2.2.2 Tuotantolinjalayout**

Tuotantolinjalayoutissa ovat koneet, laitteet ja materiaalit valmistettavan tuotteen työnkulun mukaisessa järjestyksessä. Tuotantolinjassa kappaleen valmistus on automatisoitua, tehokasta ja se sopii hyvin vakioituille ja moduloiduille tuotteille, joissa ei ole juurikaan vaihtelua. Työnkulku on selkeää, ja työvaiheiden välissä voidaan käyttää esimerkiksi kuljettimia hukan minimoinnin ja toistuvuuden vuoksi. Suuri volyyymi, vakiotuote ja korkea kuormitusaste ovat keskeiset syyt tuotantolinjan rakentamiselle. Vaikka tuotantolinjan rakentamisen kustannukset ovat yleensä suuret, muodostuu sillä tuotettavan tuotteen yksikköhinta alhaiseksi suurten valmistuserien ansiosta. Tuotantolinja on häiriöherkkä, ja pienikin häiriö voi johtaa nopeasti koko

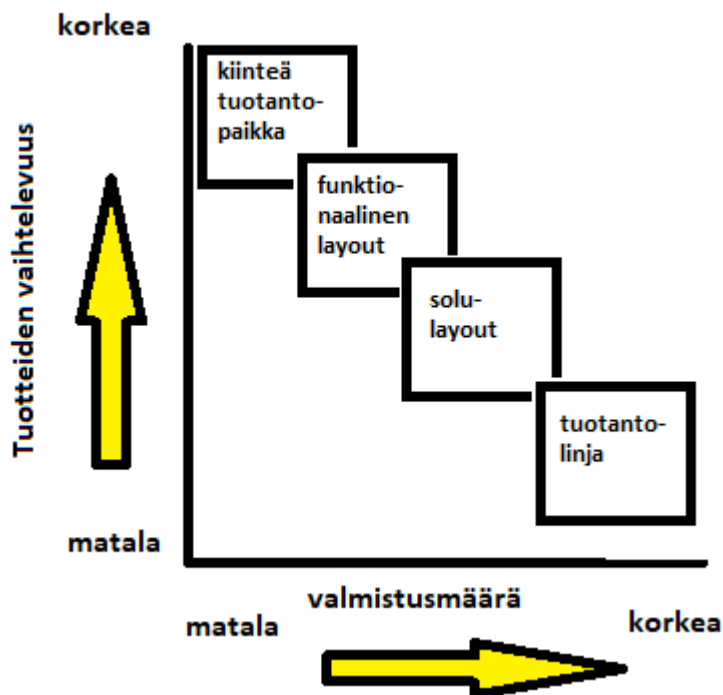


linjan tuottavuuteen. Tuotantolinjan tahtiaika on aina sama, kuin hitaimman valmistusvaiheen aika. Laadunvalvonta tuotantolinjalla on tärkeää, sillä linjalla valmistuu myös tehokkaasti ja systemaattisesti viallisia tuotteita asetusten tai lähtötietojen poiketessa aiotusta. Kapasiteetin kasvattaminen linjan perustamisen jälkeen on haastavaa, muutoin kuin lisäämällä mahdollisesti vuoroja. Tuotantosarjat ovat tyypillisesti pitkiä, sillä tuotteen vaihtaminen tai muuttaminen vaatii tavallisesti pitkän seisokin koko linjalle ja on kallista. Tuotantolinjaa ohjataan usein yhtenä kokonaisuutena. (Haverila ym. 2005, 475 - 476.)



Kuva 17. Tuotantolinja layout (Logistiikan maailma 2021).

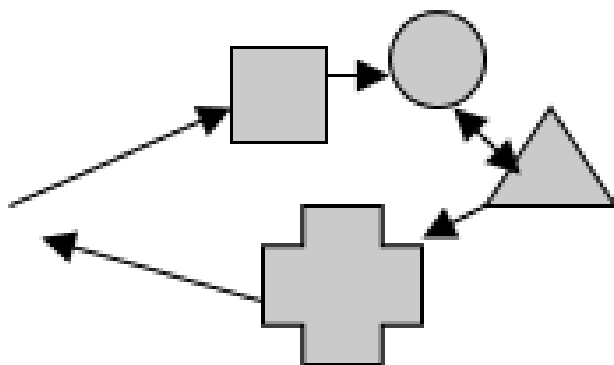
Tuotantolinjaa nimitetään myös tuotelähtöiseksi layoutiksi. Linja voi olla pakkotahtinen tai vapaatahtinen. Vapaatahtisessa mallissa työ on järjestetty linjamaiseksi, mutta materiaalin siirtyminen työpisteestä toiseen ei ole tahtiaikataulutettua. Vapaatahtinen linja sallii suuremman vaihtelun tuotteissa, pakkotahtinen taas soveltuu paremmin hyvin suurille kappalemäärille ja vakioituille tuotteille. Pakkotahtinen layoutmalli on usein käytössä muun muassa autotehtaissa tai vastaavissa samantyyppisistä tuotteista valmistavissa tuotantolaitoksissa. (Logistiikan Maailma 2021.)



Kuva. 18 Layoutvertailu

### 2.2.3 Solulayout

Solulayout on sekoitus funktionaalisesta layoutista ja tuotantolinjalayoutista, siinä eri työpisteistä ja koneista muodostetaan ryhmiä ja/tai soluja, jotka ovat erikoistuneet tiettyjen osien valmistamiseen, tai tiettyjen työvaiheiden suorittamiseen. Solujen läpäisyajat funktionaaliseen layoutiin verrattuna ovat huomattavan lyhyitä. Asetusajat tuotteesta toiseen siirryttäessä ovat lyhyet, ja solu pystyy valmistamaan joustavasti niitä tuotteita, joiden valmistukseen se on suunniteltu. (Haverila ym. 2009, 477 - 478.)



Kuva 19. Solulayout (Logistiikan Maailma 2021.)

Jotta jokainen solu olisi itsenäinen yksikkönsä, sillä on oltava oma tuoteisto valmistettavanaan, oma yhtenäinen alueensa, oma tuotantokalustonsa, omat siirto- ja nostolaitteensa, oma henkilöstönsä, vastuu kaikesta toiminnastaan. Näiden resurssien ansiosta solulayoutissa sen sisäiset koneet yhdistyvät yhdeksi, yhdellä impulssilla ohjattavaksi vaiheeksi. Solussa on yleensä työasemia enemmän kuin henkilöstöä, jolloin solun sisäistä kuormaa tasataan vaihtamalla työasemaa. Tämän takia henkilöstön täytyy koostua moniosaajista. (Lapinleimu ym. 1997, 85.)

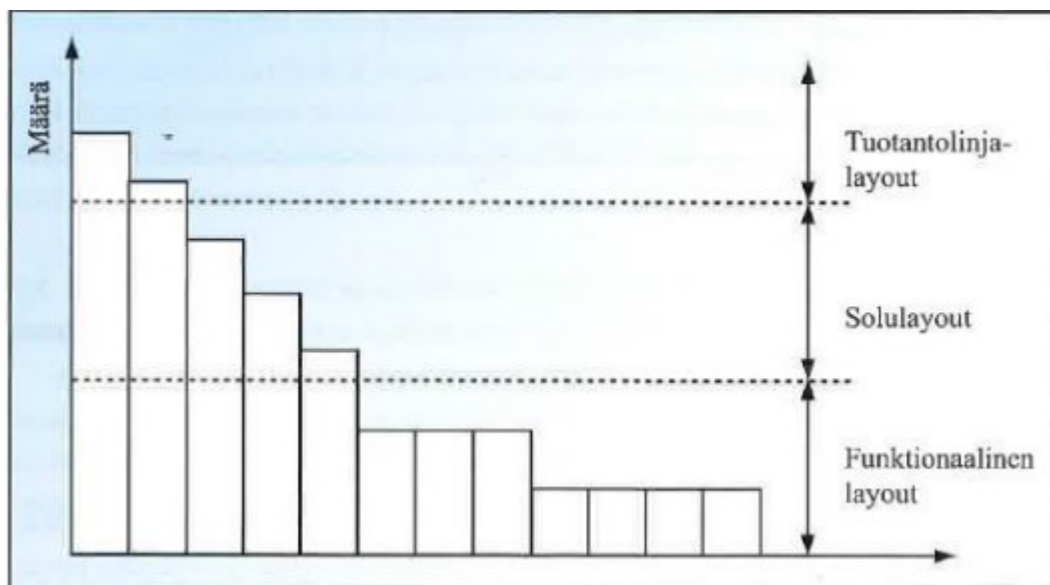
Solulayoutin hyviä puolia ovat helppo ohjattavuus, sillä solua ohjataan yhdellä impulssilla. Tuotteiden tuotantomäärät voivat vaihdella paljon, ja niitä valmistetaan yleensä yksittäiskappaleina tai pieninä sarjoina. Laadunvalvonta helpottuu, koska työvaiheet suoritetaan peräkkäin samalla alueella. Samalla helpottuu virheiden löytäminen ja korjaaminen. (Haverila ym. 2009, 477 - 478.)

Vaikka solulayout on tuotantolinjaa joustavampi ja funktionaalista järjestelmää tehokkaampi, se on näitä vain oman tuoteryhmänsä puitteissa. Se on funktionaalista järjestelmää herkempi kuormituksen vaihteluille ja tuotevalikoiman muutoksille. (Haverila ym. 2009, 478.)

#### 2.2.4 Layouttyyppien valintaperusteet

Layouttyypin valintaan vaikuttaa muun muassa tuotevalikoiman laajuus ja tuotettavien yksiköiden määrä. Valmistettaessa suuria määriä samanlaisia tuotteita sovelletaan tuotantolinjalayoutia. Kun taas tuotantomäärät ovat pienet, mutta tuotetyyppien määrä suuri, käytetään funktionaalista layouttyyppiä. Solulayout toimii ikään kuin kompromissina edellä mainittujen välillä. Sitä sovelletaan, kun eri tuotteita valmistetaan toistuvasti muttei kuitenkaan niin paljon, että olisi järkevää muodostaa tuotantolinjaa. Solussa on mahdollisuus valmistaa tuotantolinjaa joustavammin erityyppisiä tuotteita. (Haverila ym. 2009, 479.)

Layout voi myös vaihdella tehtaan sisällä. Tuotteet voidaan valmistaa solulayoutissa ja kokoonpano voi tapahtua tuotantolinjassa. Tuotantolinjassa laitteet ja tarvikkeet ovat työkulun mukaisessa järjestyksessä. Näin tuotteen käsittely ja valmistus tehostuu ja laadun seurattavuus paranee. Tuotantolinjan rakentamisen lähtökohtia ovat muun muassa vakioidut tuotteet, suuret valmistusmäärät ja korkea kuormitusaste. Suuret valmistusmäärät laskevat yksikköhintaa ja tuotanto on kannattavaa. Tuotantolinjan tuottavuuteen vaikuttaa nopeasti pienetkin häiriöt linjastossa. Häiriöiden aiheuttamat kustannukset voivat olla suuria, sillä tuotantolinja pystyy tuottamaan niin hyviä kuin myös virheellisiä tuotteita. Tämän vuoksi laadunvalvonnalla on todella suuri merkitys. Tuotantosarjat ovat usein pitkiä ja uuden tuotteen valmistuksen käynnistäminen vaatii pitkän asetusajan. Tuotemääräanalyysillä (kuva 18.) pystytään haarukoimaan, mikä layouttyyppi olisi mahdollisesti sopivin. (Haverila ym. 2009, 475-479.)



Kuva 20. Tuotemäärä-analyysi (Haverila ym. 2009, 479).

## 2.3 Tuotannonohjaus

Tuotannonohjauksella saadaan tuotanto toimimaan aikataulujen, laadun, tuotteiden vaatimusten sekä määrän mukaan. Tällä ohjataan resurssien käyttöä tuotantotavoitteisiin pääsemiseksi. Tuotannonohjausta tarvitaan, koska kysyntä, eli markkinat ja myöskin toimitusketjun toiminta on vaihtelevaa. Tuotannonohjaus pyrkii vaikuttamaan tähän vaihtelevuuteen ja ennakoimaan sen vaikutuksia. Siihen kuuluu perinteisesti tuotannon suunnittelu, tuotannon seuranta, materiaalinohjaus sekä valmistuksenohjaus. Tärkeässä roolissa on näistä edellä mainituista toimista saatavan informaation avulla tuotannon kehittäminen. Tavoitteena tuotannonohjauksella on hyvä toimituskyky, pienehkö varasto, lyhyt läpäisy aika ja tehokas resurssien käyttö, eli korkea käyttöaste. Tuotannonohjaus on sidoksissa yrityksen kaikkiin muihin toimiin ja siten synkronoi markkinoiden kysynnän ja tuotannon mahdollisuudet yhteen. (Hokkanen ym. 2011, 209).

### 2.3.1 Karkeakuormitus

Karkeakuormituksen suunnittelemisessa lähtökohtana käytetään tavallisesti yrityksen tilauskantaa, tuotteiden varastotilannetta ja valmistusbudjetin tavoitteita. Kar-

keakuormitukseen määritellään tuotannon vaatimat resurssit ja tehdään yleissuunnitelma resurssien käytöstä. Tarvittaessa tehdään päätöksiä kapasiteetin lisäämisestä tai vähentämisestä. Karkeakuormituksen perusteella ei tavallisesti ohjata valmistusta, vaan tarkoituksena on sopeuttaa resurssit menekkiä vastaavalle tasolle. (Haverila ym. 2009, 415.)

Keskeisimpiä karkeakuormituksen tehtäviä on yrityksen toimituskyvyn hallinta. Asiakasohjautuvassa tuotannossa asiakkaalle luvattavat toimitusajat perustuvat usein tuotannon karkeakuormituksen suunnitteluun. (Haverila ym. 2009, 416.)

Nordautomation Oy:n karkeakuormitus tehdään Excel-ohjelmistolla, jonne sijoitellaan myydyt projektit ja näistä lasketut budjettivalmistustunnit. Tunnit voidaan sijoittaa aikataulujanoille laskettuna toimituspäivästä taaksepäin. Projekteja on yleensä useita, joten ne saattavat varata samaa kapasiteettia samalla ajanjaksolla. Kuormitus lasketaan käytettävissä olevilla tunneilla per viikko ja suhteutetaan myytyihin projekteihin. Tällä pystytään laskennallisesti ennustamaan resurssien riittävyys ja toisaalta myynnille vapaa kapasiteetti seuraaviin tarjouksiin.

### **2.3.2 Hienokuormitus**

Tuotannon tarkemmasta aikatauluttamisesta käytetään termiä hienokuormitus, jota käytetään tuotannonsuunnitteluun. Hienokuormitustyökalun avulla tuotanto voi reagoida dynaamisesti henkilöresurssien, asiakastilausten ja laiteresurssien nopeisiin muutoksiin toimitusvarmuuden varmistamiseksi. Hienokuormituksella pyritään suunnittelemaan tuotantoa, tasapainottamaan ja uudelleen ajoittamaan konerikkosten, ennalta arvaamattomien huoltojen sekä muiden seisokkien aiheuttamaa kapasiteetin vaihtelua. Hienokuormituksella ohjataan valmistusta myös tuotekohtaisesti huomioiden tuotteiden koko, että saadaan riittävä tilakapasiteetti varattua oikealla ajanhetkellä. (Haverila ym. 2009, 417-219.)

Hienokuormituksessa muodostetaan tuotantoerät ja suunnitellaan tuotantoerän eri työvaiheiden ajoitus, kuten levyosavalmistus tai koneistetut kappaleet. Tämän pohjalta luodaan tarkka suunnitelma resurssien käytöstä. Tuotantoerien suunnittelussa

pyritään mahdollisuuksien mukaan yhdistelemään samojen tuotteiden tai osien valmistusta isommiksi sarjoiksi. Hienokuormituksen tuloksena syntyy tarkka tuotanto-suunnitelma. Sen lähtökohtana on karkeakuormitukseen tehty tuotantoerien karkea ajoitus (Haverila ym. 2009, 417.)

Yrityksen hienokuormitus rakennetaan Excel-pohjalle, johon on merkittynä resurssit tilakapasiteettinä, kuluva ajanjakso viikkoina ja työkuorma janoina kunkin kapasiteetin kohdalle. Tällä voidaan joustavasti priorisoida valmistettavia töitä, sekä tekemään äkillisiä muutoksia tilanteen niin vaatiessa.

## **2.4 Resurssitehokkuus**

Tehokkuuden muotona yleisesti pidetään resurssitehokkuutta, jolla tarkoitetaan saatavilla olevien resurssien mahdollisimman hyvää hyödyntämistä. Kehitys teollisuudessa on viimeiset vuosikymmenet perustunutkin resurssien hyödyntämistehokkuuden parantamiseen. Riippuen toimialasta ja tuotteesta, saatetaan tehokkuden parantamiseksi tehtäviä pilkkoa pienempiin osiin ja tämän jälkeen jakaa ne organisaatiossa tietyille resurssipaikoille. Toisena vaihtoehtona on tyypillisesti samankaltaisten töiden niputtaminen yhteen ja valmistuttaa työt resurssitehokkaasti toistuvilla työvaiheilla, jolloin yksikkökustannuksia saadaan alennettua. (Modig & Åhlström 2016, 9.)

Resurssitehokkuudessa keskiössä ovat resurssit, joita tarvitaan tuotteen tai palvelun tuottamiseen. Resurssiksi luetaan muun muassa yrityksen henkilöstö, toimitilat, koneet ja laitteet. Tehokkuuden mittarina käytetään resurssin käyttöä per ajanjakso. Esimerkiksi toimitilojen resurssitehokas käyttö on silloin parhaimmillaan, kun se saadaan jaettua mahdollisimman monelle tunnille vuorokaudessa. Henkilöresurssin käyttöä ei voida ajatella samalla tavalla, koska työntekijälle maksetaan palkka vain työajasta. Toiminta on resurssitehokasta, kun palvelu tai tuote saa lisäarvoa eli arvoa, mistä asiakas maksaa enemmän kuin syntyneet kustannukset ovat. Ellei työskennellä resurssitehokkaasti syntyy vaihtoehtoista kustannusta, joka on tappio. (Modig & Åhlström 2016, 11.)

Resurssitehokkaaseen tekemiseen yhdistetään Lean-valmistus tai Lean-tuotanto. Termi Lean taas yhdistetään Toyota-tuotantojärjestelmään (TPS). Ei ole kuitenkaan tarkkaa tapaa kuvailla mitä Lean todellisuudessa on, koska moderni Lean-valmistus koostuu monista erilaisista ”työkaluista” ja soveltamisen taso vaihtelee yrityksittäin riippuen muun muassa toimialasta, tuotannosta ja tuotteista. Lean on ollut itseasiassa käytössä aikojen alusta lähtien, koska yksi avaintekijöistä on arvon lisääminen vähemmällä työllä sekä virheistä oppiminen. Lean-termiä käytti ensimmäisen kerran John Krafcik, joka työskenteli MIT:ssä tutkijana. Krafcik huomasi, että länsimaisilla yrityksillä tuotannossa on paljon puskurivarastoja. Hän vertasi länsimaista käytäntöä Toyotan-tapaan (TPS) ja tekemällä havaintoja hän pystyi luomaan Lean-filosofian, miten on mahdollista saavuttaa parempi virtaus, parempi laatu, kuitenkin minimoimalla puskurivarastot. Lyhyesti sanottuna Lean tarjoaa tavan tehdä enemmän vähemmällä ja samalla tulla lähemmäksi asiakkaita ja tarjota heille juuri sitä, mitä he haluavat eli maksavat. (Womack & Jones 2003, 15.)

#### **2.4.1 Kapasiteetti ja kuormitusryhmä**

Kapasiteetti on tuotantokykyä kuvaava mittari. Kapasiteetti voi olla esimerkiksi tuoteyksiköissä ilmaistava luku, jos tuotteet poikkeavat vain vähän toisistaan. Mikäli tuotteet vaativat erilaisen määrän kapasiteettia, se voidaan myös määritellä tuotantoresurssin käyttöaikana. (Haverila ym. 2009, 399.)

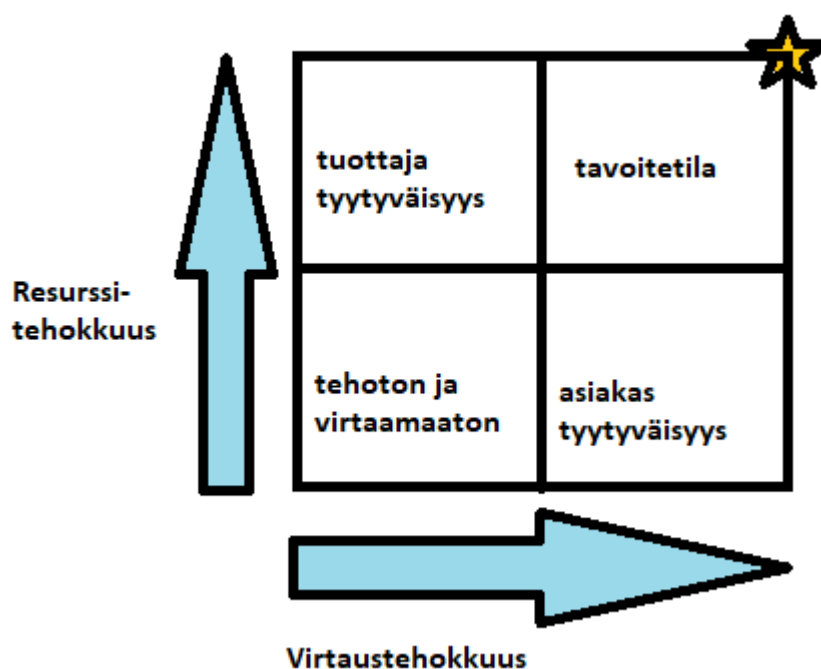
Kuormitusryhmällä tarkoitetaan sellaista kokonaisuutta, jonka kapasiteettia sekä kuormitusta tarkastellaan yhtenä samana kokonaisuutena. Kuormitusryhmien määrittely tehdään ohjaustarpeiden perusteella. Tehdastasolla voidaan seurata kokonaiskapasiteettia tämä voi olla joko kokonaistuotantomäärä tai kokonaistuntimäärä. Karkeasuunnittelussa käytetään laajoja kuormitusryhmiä esimerkiksi: valmistuslinja tai työntekijäryhmä. Tarkemmassa suunnittelussa eli hienokuormituksen suunnittelussa käytetään solu, kone- tai työntekijäryhmäkohtaisia pienempijakoisempia kuormitusryhmiä. (Haverila ym. 2009, 399.)



Kapasiteetin hallinta perustuu työpisteen kapasiteettiin sekä suunniteltujen töiden kuormitukseen. Kuormitus kertoo, paljonko suunniteltu tuotanto varaa kapasiteettia. Kuormitus voidaan ilmoittaa kapasiteettimääränä. Kuormitussuhde kertoo määrätyn ajanjakson suhteellisen kuormituksen käytettävissä olevaan kapasiteettiin verrattuna. Laskuesimerkkinä:  $(\text{kuormitus} \times 100\%) / (\text{kapasiteetti}) = \text{Kuormitussuhde}$ . (Haverila ym. 2009, 400.)

### 2.4.2 Resurssi- ja virtaustehokkuus

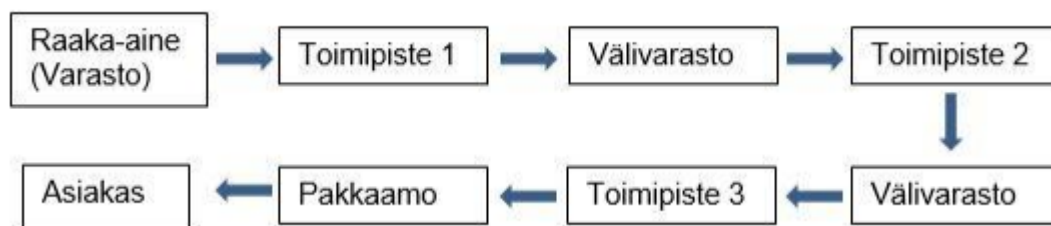
Yritykset voivat tehdä tuotetta tai palvelua resurssi- tai virtaustehokkaasti. Hyvin moni yritys toimii resurssitehokkaasti, mikä on ollut teollisuuden perinteinen muoto. Resurssitehokkuudella tarkoitetaan resurssien mahdollisimman tehokasta hyödyntämistä. (Herranen. 2020, 41.)



Kuva 21. Resurssi/virtaustehokkuus

Resurssitehokas toiminta voidaan jakaa toimipisteisiin ja varastoihin. Tässä toiminnassa tuotteet valmistuu sykleittäin. Jokaisessa toimintopisteessä, jossa tuote saa

lisää arvoa, on koneen käyttöaika maksimaalinen. Arvon lisäyksen jälkeen tuote siirtyy seuraavaan pisteeseen tai välivarastoon. Näin tuote kiertää varastosta tai toimipisteestä toiseen, kunnes se on valmis lähetettäväksi asiakkaalle. Asiakas voi olla yrityksen sisäinen (seuraava työvaihe) tai ulkoinen tekijä. (Modig & Åhlström 2018, 10.)



Kuva 22. Resurssitehokas malli (Modig & Åhlström 2018, 10).

Resurssitehokkaassa toiminnassa jokaista toimipistettä pyritään käyttämään mahdollisimman maksimaalisen työajan, jolloin toiminto vaatii varaston. Varaston avulla saadaan varattua työstettäviä aihioita niin, että kone pysyy toiminnassa maksimaalisen ajan. Tämän toimintomallin tehokkuutta voidaan mitata, kuinka hyvin resursseja käytetään suhteessa tiettyyn ajanjaksoon. Resurssitehokkuus = prosessin käyttöaika / tarkastelujakson aika. (Modig & Åhlström 2018, 10).

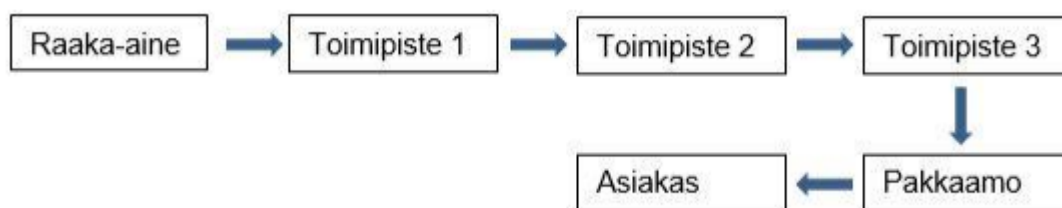
Esimerkkilaskelma: kone työstää tuotetta 16 tunnin ajan, joka on sitä valvovan työntekijöiden vuorojen yhteispituus. Tällöin koneen resurssitehokkuus vuorokaudessa on 16 tuntia / 24 tuntia = 66,6 %. Toimipisteen tehokkuutta voidaan lisätä vain nostamalla sen vuorokautista käyttöastetta, eli kone tarvitsisi kolmannen vuoron ja valvojan, tällöin vuorokautinen resurssitehokkuus olisi laskennallisesti 24 tuntia / 24 tuntia = 100 %. Jos toimipisteitä olisi kolme ja yhden tuotteen tekoaika per toimipiste olisi 1 tunti, lisäksi välivarastointi olisi 8 tuntia, näin ollen tuotteen vaatima läpimenoaika olisi 3+8 tuntia. Jotta tuote saadaan vielä asiakkaalle lähtemään, pitää sen mennä pakkaamon yhden tunnin mittaisen työvaiheen kautta, joka lisää kokonaisläpimenoajan 12 tuntiin. (Modig & Åhlström 2018, 10.)

Virtaustehokkaassa toiminnassa tuote virtaa toimintopisteestä toiseen ilman varastointia, jolloin koneen käyttöaika ei ole maksimaalinen tai optimaalinen, mutta tuot-

teen toimitusaika tilauksesta lähettämiseen on mahdollisimman nopea. Virtaustehokkaassa toiminnassa tuotteen arvon nousu on paljon nopeampi kuin resurssitehokkaassa toiminnassa, koska tuotteen valmistamisessa ei käytetä välivarastointia ollenkaan (kuva 23). (Modig & Åhlström 2018, 15).

Virtaustehokkuuden laskemiseen käytetään kaavaa (*prosessointiaikojen summa / kokonaisaika tuotteen valmistamiseen*) (Modig & Åhlström 2018, 26).

Virtaustehokkaassa toiminnassa pääpaino on tuotteen virtaavuudessa eri toimipisteiden läpi aloituksesta loputukseen eli valmiiseen tuotteeseen. Jotta voidaan mitata toiminnon tai toimintojen virtaustehokkuutta, tuote tulee muuttua virtausyksiköksi. Virtaustehokkuus mittaa, kuinka paljon tuote jalostuu eli saa arvoa, mistä asiakas maksaa tietyssä ajanjaksossa. Ajanjakso alkaa tilauksesta ja päättyy, kun tuotteet on toimitettu asiakkaalle. (Modig & Åhlström 2018, 15.)



Kuva 23. Materiaali tehokas malli (Modig & Åhlström 2018, 15).

Laskemalla esimerkein virtaustehokkuuden kaavalla voidaan vertailla näitä kahta erilaista mallia: **Resurssitehokkaassa** mallissa tuotanto valmistaa ja toimittaa tuotteen tilauksesta 5 vuorokaudessa asiakkaalle. Tuotteen valmistusaika on esimerkiksi 8 tuntia ilman välivarastointia, mutta välivarastointien takia toimitukseen kuluu 5 vuorokautta, näin ollen sen tuotannon virtaustehokkuus on  $8 \text{ tuntia} / (24 \text{ tuntia} \times 5) = 6,67 \%$ .

**Virtaustehokkaassa** mallissa tuotanto toimittaa tuotteen tilauksesta 16 tunnissa asiakkaalle, näin ollen sen tuotannon virtaustehokkuus on  $8 \text{ tuntia} / 16 \text{ tuntia} = 50 \%$ . Havaintona voidaan todeta, että mallit antavat erilaisen virtaustehokkuuden.

Arvioitaessa malleja kumpi on parempi, resurssi- vai virtaustehokas toiminta, ajattelee helposti resurssien tehokkaan käytön olevan ensisijaisen tärkeää, jotta saada maksimaaliset koneajat ja jalostettua tuotteelle maksimaalinen arvon nousu asiakkaan näkökulmasta. On kuitenkin vaarana, että resurssien tehokas käyttö saattaa kostautua virtauksen kustannuksella, tämä näkyy tuotteen pitkittyneessä toimitusajassa. Kilpailukykyisellä yrityksellä tuotannon pitää olla sekä resurssi- että virtaustehokasta, jotta tuotteen arvon nousu asiakkaan näkökulmasta olisi mahdollisimman tehokasta mutta kuitenkin samaan aikaan resurssitehokasta. Näiden kahden tehokkuusmallin optimaalinen käyttö on haasteellista, koska nykyisessä jatkuvan parantamisen mallin tuotannossa pitää pyrkiä yhdistämään jokaisen toiminnon prosessit yhdeksi ketjuksi. Ketjutetut prosessit mahdollistavat pohjan virtaustehokkuudelle, joka lisää tuotteen arvon nousua. (Modig & Åhlström 2018, 16.)

Jotta ymmärretään virtaustehokkuutta paremmin, täytyy tutkia prosessien toimintaa, koska prosessit saavat aikaan virtausta. Resurssitehokkaassa toiminnassa prosessiksi määritellään esimerkiksi koneen tai työntekijän tekemä valmistus toimipisteellä tuotteelle, joka saa tuotteen arvon kasvamaan. Virtaustehokkaassa toiminnassa tuotteelle tehdään täysin samat asiat kuin resurssitehokkaassa, mutta tapahtumia tarkastellaan eri näkökulmasta, tämä tapahtuu virtausyksikön näkökulmasta. Prosessi täytyy aina määritellä virtausyksikön näkökulmasta, jos halutaan ymmärtää virtaustehokkuutta paremmin. Virtaustehokkaassa toiminnassa tärkeää on määritellä toiminnon tai toimintojen rajat, mistä jokin toiminto alkaa ja mihin se päättyy. Ilman näitä ei pystytä mittaamaan virtausyksikön läpimenoaikaa, joka on edellytys virtaustehokkaan toiminnan laskemiseen. Läpimenoaika ei ole tärkein asia virtaustehokkaassa toiminnassa, sillä vaikka läpimenoaika olisi kuinka nopea, ei tuotteen arvo silti nouse sen enempää kuin hitaimmalla pisteellä läpimenoajallisesti. Tuotteen arvon nousu prosessissa on avainasia, johon tähdätään aina. Tuotteet eivät saa arvon nousua varastoissa, kuljetuksissa pisteeltä toiselle tai puskureissa, nämä ovat arvoa tuottamattomia prosesseja. (Modig & Åhlström 2018, 20-23.)

### 2.4.3 Lean

Lean on Toyotan tuotantofilosofiaa kuvaava termi. Tämä pohjautuu lähes 100 vuotta sitten kehitettyyn tuotantofilosofiaan, joka tuli ensimmäistä kertaa tunnetuksi vuonna 1977 japanilaisten kirjoittamissa artikkeleissa. Nämä artikkelit esittelivät uskomattomia tuloksia Toyotan tehtaalta. Filosofia lähtee asiakastyytyväisyydestä. Siinä keskitytään kokonaisuuden optimoimiseen eikä yksityiskohtiin. (Sixsigma 2020.)

Läpimenoaika pitää sisällään asiakkaan näkökulmasta katsottuna arvoa lisäävää ja arvoa lisäämätöntä aikaa. Arvoa ei-lisäävä aika tarkoittaa asioita joista asiakas ei ole valmis maksamaan suoraan taikka edes epäsuorasti. Arvoa lisäävä aika on tämän vastakohta. Näiden kahden asian suhdetta kutsutaan virtaustehokkuudeksi tai prosessin ajanjakson tehokkuudeksi. Kun tuotannon läpimenoaika kasvaa, aikaa käytetään muuhunkin kuin arvon tuottamiseen asiakkaalle, resurssien käyttö lisääntyy ei-arvoa tuottaviin asioihin. Näitä asioita voivat olla muun muassa varastot, siirrot, muutokset ja resurssien hallinta. Kun näitä töitä tehdään ja resursseja sitoutuu ei-arvoa tuottaviin töihin, työn tuottavuus laskee. Leanin tavoitefilosofia on lyhentää läpimenoaikaa, jolloin virtaustehokkuus kasvaa ja resursseja ei hukkaannu arvoa tuottamattomiin asioihin asiakasnäkökulmasta. (Sixsigma 2020.)

Yrityksien ja organisaatioiden tehtävänä on tuottaa kulutetulle ajalle ja valmistavassa teollisuudessa myös materiaalille lisäarvoa. Eri tuotantofilosofiat antavat malleja ja periaatteita sovellettavaksi. On huomattava, että jokainen yritys on yksilöllinen ja malli ei useinkaan ole monistettavissa yrityksestä toiseen, vaan sitä on sovellettava kunkin organisaation omaan tarpeeseen. (Sixsigma 2020.)

### 2.4.4 JIT/JOT

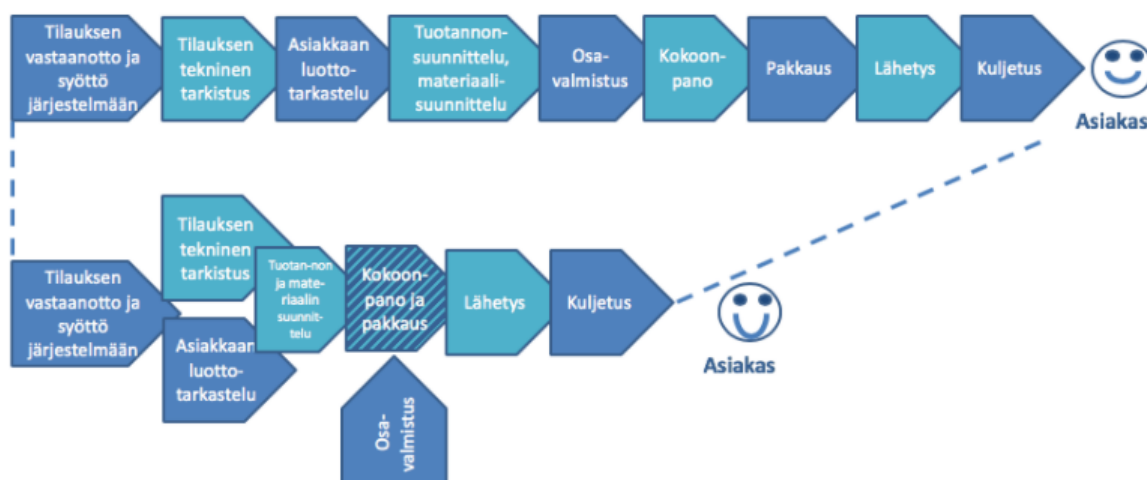
JIT on lyhenne sanoista Just In Time (JIT) tai suomalaisemmin Juuri Oikeaan Aikaan (JOT). Tämä toimintafilosofia on ollut Japanissa tehtailla käytössä jo ennen,

kuin ollaan puhuttu Lean-filosofiasta. Yksinkertaisesti toimintamallissa on tarkoituksena, että valmistusprosessissa materiaaleja siirrellään vain tarpeen mukaan, minkä taustalla on asiakaskysyntä. Tällä pyritään nopeaan läpimenoaikaan, parantamaan laatua sekä välttämään varastointia eli hukkaa. JOT-mallista puhutaan myös imuohjauksena, jolloin esimerkiksi tuotannon eri osastot ”imevät” puolivalmisteet oikealla ajalla seuraavaan työvaiheeseen ja siten virtaavat kohti viimeistä pistettä, eli asiakasta. Varastojen välttämiseksi ja minimoimiseksi on JOT-ohjauksessa usein käytössä Kanban-malli, jossa varstoille määritellään maksimirajat tai kaksilaatikkajärjestelmä. Kaksilaatikkajärjestelmä perustuu kahteen laatikkoon, joista molemmat täytetään nimikkeillä tai puolivalmisteilla, mutta seuraavan kerran tilataan tai täytetään vasta lisää, kun toinen laatikoista on tyhjentynyt. Tämä estää varastojen turhan suurentumisen, mutta näin ei pääse tavara myöskään koskaan loppumaan. Tämä vaatii kuitenkin hyvän määritelmän laatikkojen sisällön optimoimiselle, mikä perustuu kunkin yrityksen tilauskantaan. (logistiikan Maailma 2021.)

## **2.5 Sisäinen tilaus-toimitusprosessi**

Tilaus-toimitusprosessi tarkoittaa tyypillisesti asiakkaan tilausta ja siitä alkanutta prosessia, joka pitää sisällään yrityksen toimet aina saadusta tilauksesta (myynti) toimitettuun tuotteeseen (valmistus) ja mahdollisesti jälkimarkkinointiosastolle siirtämiseen (takuu-aika). Yrityksen toiminnoista riippuen on usein tärkeää, että informaatio on selkeää ja materiaalivirta koko ketjun läpi on nopea. Tästä hyötyinä seuraa alhainen sitoutunut pääoma, reagointi markkinoiden vaihteluihin, laatupoikkeamiin välitön puuttuminen ja muiden virheiden huomiointi. Jotta päästään paremmin perille prosesseihin ja siten lyhentämään läpäisyäikää, tulee prosessit kuvata pilkkomalla kokonaisläpäisyäikä osiin. Tämän jälkeen tulee pohtia, voidaanko prosessin jokin osa jopa poistaa kokonaan, yhdistää toiseen, jolloin jää pois aloituksia ja lopetuksia, tai kannattaako tietyt toiminnot suorittaa rinnakkain (kuva 24). Tässä tarvitsee tehdä kartoitus valmistusprosessille ja löytää niin sanottu kriittinen polku. Vaikka ajansäästöt yksittäisissä toimissa olisivat mitättömän pienen tuntuisia, niin saattaa säästetyt ajan summa, ottaen huomioon koko tilaus-toimitusprosessi olla kuitenkin merkittävä. (logistiikan Maailma 2021.)

### Kokonaispotentiaali läpäisyajan lyhennykselle esimerkkiyrityksessä



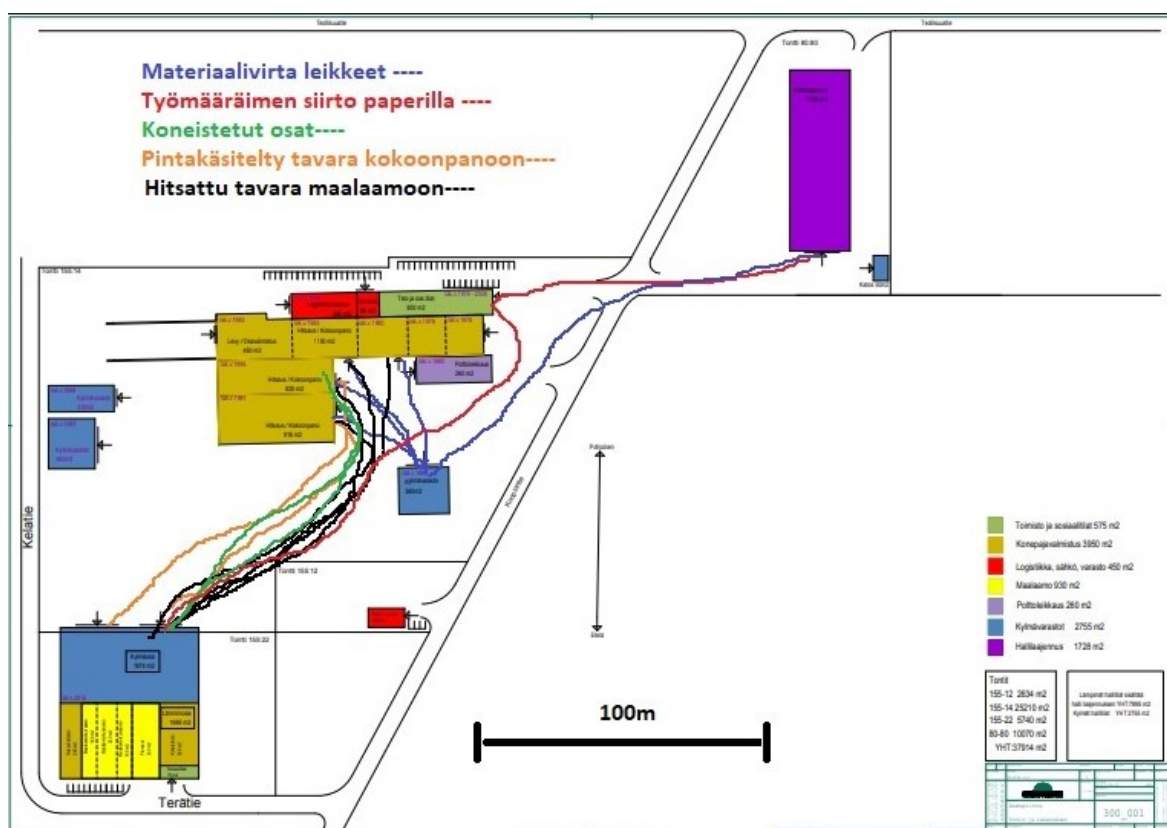
Kuva 24. Tilaus-toimitusprosessi (logistiikan Maailma 2021.)

## 2.6 Arvovirtakartoitus

Arvovirtakartoituksen, eli value stream mapping (VSM), tarkoituksena on muun muassa antaa tutkittavasta prosessista arvokasta tietoa tuotteen jalostumista näkökohdista pitäen ja paljastaa mahdollisia epäkohtia. Ennen kartoitusta täytyy rajata mitä halutaan kartoittaa ja seurata. Kysymyksessä voi olla jokin tuote, valmistuksen osa tai esimerkiksi tuoteryhmä, joka kuuluu samaan prosessiin. (Keyte & Locher, 2016, 59.)

Arvovirtakartoituksen tarkoitus on perehdyttää kartoituksen tekijä yrityksen prosessien eri vaiheisiin. Kun tekijä on perehtynyt jokaiseen prosessiin, pystyy kartoituksen laativa henkilö tekemään arvovirtaa kuvaavan kartan. Tähän kartoitukseen mitataan yleensä tuotteiden ja työvaiheiden läpimenoaikoja eri työvaiheissa ja kokonaisuutena. Kun arvovirtakartoitusta lähdetään laatimaan, on tärkeää tehdä ensimmäisessä vaiheessa nykytila-analyysi yrityksen tilasta ja toimista. Tällä päästään kartoittamaan hukkia ja solmukohtia. Kartoituksen jälkeen laaditaan tavoitetila, jota kohti lähetään pyrkimään. (Keyte & Locher, 2016, 60.)

Kuvassa 25 on kuvattuna Nordautomation Oy yrityksen koko tuotannon materiaali- ja informaatiovirrat.



Kuva 25. Materiaali- ja informaatiovirta

## 2.7 Investointilaskelma

Investointilaskelmilla selvitetään investoinnin arvokkuus koko pitoajalta. Laskelmia varten pitää selvittää, paljon perustietoja joita tässä kappaleessa esitetään. Mitä merkittävämmästä investoinnista on kyse, sitä enemmän yrityksen tulee panostaa tiedonkeruuseen. Investoinnin kannattavuuteen eli takaisinmaksuaikaan vaikuttaa seuraavat tekijät: hankintameno, investoinnista laskennallisesti saatavat nettotuotot, investoinnin pitoaika, investoinnin jäännösarvo ja laskentakorko. Yrityksen tapauksessa investoinnin pitoaika tarkoittaa plasmaleikkauskoneen elinkaarta. (Leppiniemi & Puttonen 2002, 79.)

Investoinnit ovat yritykselle menoja. Investoinnin kannattavuutta arvioitaessa käytetään kaavaa: Investoinnin tuotot - erilliskustannukset + jäännösarvo = erilliskate. Kaavassa tuotot ovat myyntituloja, joita yritys laskennallisesti saa investoinnin myötä, eli ilman investointia jäisi nämä tulot kokonaan saamatta. (Pellinen 2006,



170-171). Erilliskustannuksia ovat kustannukset, joita syntyy investointipäätöksen seurauksena, kuten esimerkkirytyksen tapauksessa kiinteistön ylläpitämisestä ja palkattavista resursseista aiheutuvat kustannukset. Jäännösarvoksi kutsutaan investointikohteen arvoa käyttöajan päätyttyä eli nk. myyntiarvoa. (Pellinen 2006, 170-171).

### 3 Uuden levyosavalmistussyksikön perustaminen

Yksikön perustamisessa edettiin laskemalla investointiehdotelmaa varten takaisinmaksuaika investoinnille, luvun 2.7 mukaisesti. Tätä laskelmaa varten selvitettiin alihankinnasta tulleiden leikkeiden keskimääräinen hinta per kilogramma ja tämän jälkeen saadulla summalla kerrottiin koko vuoden tilaukset. Näin saatiin summa mikä on tilattujen kappaleiden suorat kustannukset. Kappaleiden hintoihin oli jyvitettyä myös rahtikustannukset mukaan. Näitä laskelmia verrattiin investoinnista syntyneeseen kustannukseen, sekä lisättiin kiinteisiin kustannuksiin, joita investoinnin käyttö ja ylläpito aiheuttaa. Siten voitiin laskea takaisinmaksuaika. Vaikka laskelma näyttikin lyhyttä, jopa alle kahden vuoden takaisinmaksuaikaa plasmaleikkauskeskuksen osalta, niin suurin kustannustehokkuus tulee välillisistä asioista, eli odotusajat seuraavilla työvaiheilla poistuvat tai lyhenevät merkittävästi.

Itse leikkauskoneen valinta, tilaus ja vastaanotto olivat osa kokonaisuutta. Koneen valinta vaikuttaa kapasiteettiin, mitä koneella voidaan leikata, sekä mikä on koneen teoreettinen kapasiteetti leikkausmäärissä. Näiden tietojen pohjalta pohdittiin, mitä leikataan edelleen olemassa olevalla polttoleikkauskoneella ja mikä on tulevan koneen resurssointi. Myös leikkaamoksi perustettavaan kiinteistöön tehtiin mittavat saneeraukset uutta toimintaa varten.

Yhtenä työvaiheena yksikön perustamisessa oli materiaalivirtojen tutkiminen ja tämän pohjalta päätelmät sopivimmasta toimintamallista sekä layoutista. Näihin asioihin oleellisesti vaikutti myös resurssit, joilla prosessi saatiin toimimaan sekä huomioon otettavat edelliset ja seuraavat työvaiheet. Parhaimpaan mahdolliseen lopputulokseen pääsemiseksi sovellettiin Lean-filosofiaa eri osa-alueilla, joita olivat 5-S menetelmät, Kanban ja sixsigma

### **3.1 Investointi ja levyleikkauskoneen valinta**

Tuotannossa laadittiin investointiehdotelma, joka sisälsi budjettilaskelmat investoitavasta koneesta, sekä vaadittavista muutoksista tuotantotilaan, johon kone oli tarkoitus asentaa. Alihankinnasta koituneiden kustannuslaskelmien pohjalta laadittiin investointiehdotelmaan myös takaisinmaksulaskelmat, kuten edellä on kerrottu. Investointiesitykselle saatiinkin pian myönteinen päätös, koska yrityksen hallitus jäsenistöineen olivat hyvin vakuuttuneita takaisinmaksulaskelmasta, sekä valmistusvaiheen tärkeydestä tuottaa entistä tehokkaammin ja laadukkaammin tuotteita asiakkaille.

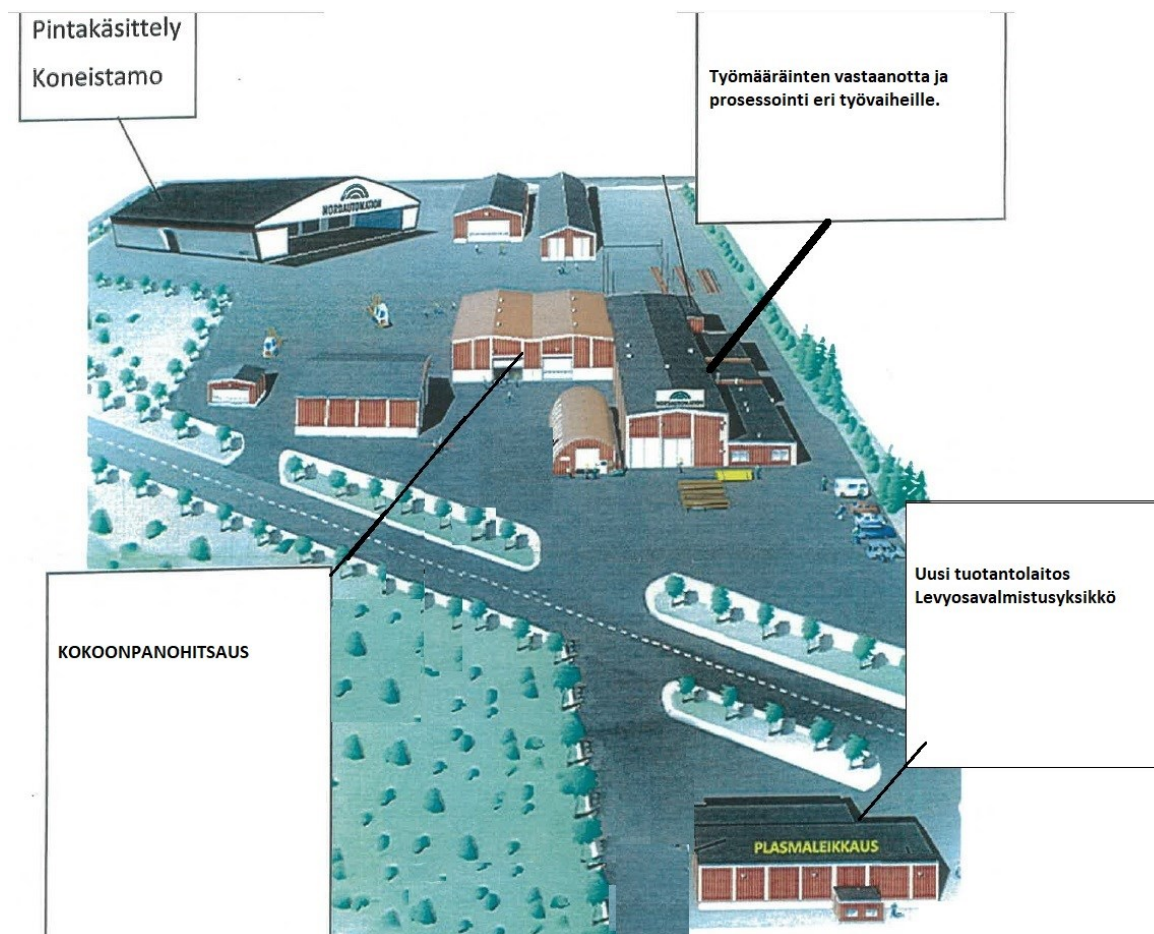
Yritys oli saanut plasmaleikkauskeskuksen toimittajilta useita tarjouksia, joista valikoitui lopuksi kolme tarjousta, jotka täyttivät tarvittavat kriteerit. Tuotannon tarvitsemat suurimmat kappaleet tiedettiin, joten sen perusteella valittiin leikkausaltaan sopivat keskuksat. Tämän jälkeen tarkistettiin valmistettavien tuotteiden perusteella tarvittava materiaalin läpäisykyky niukkahiilisessä teräksessä. Tässä päädyttiin vahvuuteen 40 mm. (aloittamatta reunasta, suoralla lävistyksellä). Yli 40 mm vahvat teräkset leikattaisiin edelleen yrityksessä jo olevalla polttoleikkauskoneella. Jäljelle jäi vain tarjoajat, joilla oli virtalähteenä Hyperterm XPR300. Lopuksi valinta tehtiin kahden koneen välillä, joista Ermaksan oli hinnallisesti ja leikkausaltaan kilpailukykyisin. Kaikissa tarjouksien leikkauskeskuksissa oli sama leikkaustekniikan valmistaja Hypertherm. Myös referenssivierailu, jonka konetta myyvä yritys oli järjestänyt, vakuutti koneen hankintapäätöksessä.

Kun Ermaksani oli valittu plasmaleikkauskeskuksen toimittajaksi, määritettiin koneen varusteet ja varaosat. Tämän jälkeen allekirjoitettiin hankintasopimus. Toimitusaika koneelle tilauksesta oli n. 6 kk.

### **3.2 Tilakapasiteetti ja layout**

Puolen vuoden ajanjaksossa, mikä on toimitusaika tilatulle plasmaleikkauskeskukselle, saneerataan vanha pintakäsittelylaitos (kuva 26.) uuteen käyttötarkoitukseen, levyosavalmistusyksiköksi. Tämä kiinteistö toimi ennen pintakäsittelylaitoksena, jo-

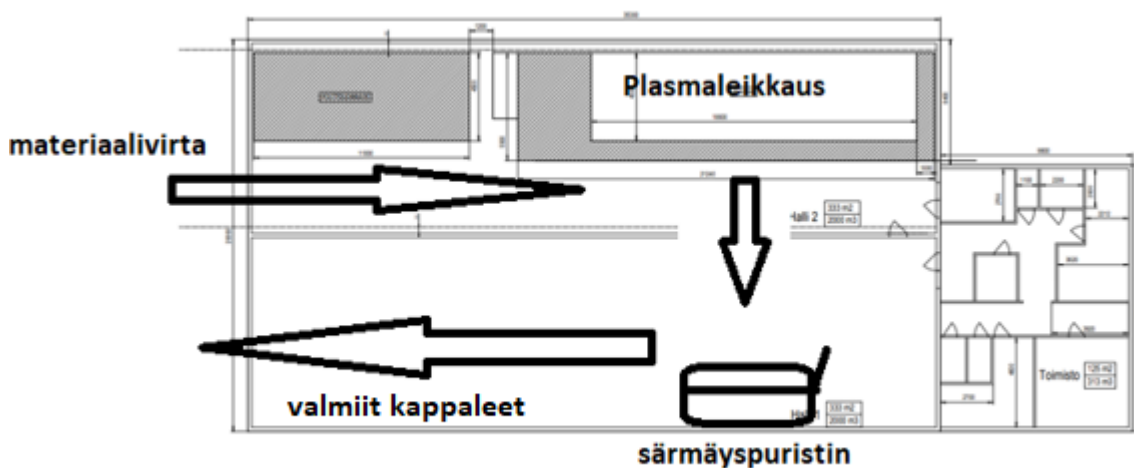
ten muutokset kiinteistöön levyosavalmistusta varten olivat mittavat. Yritys oli jo hie-  
man aiemmin ottanut käyttöön uuden modernin pintakäsittelylaitoksen tontin toisella  
puolella. Pintakäsittelylaitteistot purettiin pois tulevasta levyleikkausyksiköstä ja kiin-  
teistö saneerattiin sisäosilta käytännössä kokonaan uudelleen lattiaa ja kattoa myö-  
ten.



Kuva 26. Levyosavalmistusyksikön sijainti

Useiden ”hiekkalaatikkomallien”, eli layout pienosmallinnoiksi perusteella kiinteis-  
tön layout (kuva 27) muutettiin, että levyosavalmistuksen materiaalivirta saataisiin  
toimimaan joustavasti ja yhteen suuntaan. Tämä vaati yhden seinä purkamisen  
pois, mutta se ei ollut ongelma teräsrakenteisessa teollisuushallissa. Tällöin mah-  
dollistui solulayout, joka on joustava ja helposti ohjattavissa (Haverila ym. 2009, 477  
- 478.). Kiinteistön toiseen päähän asennettiin uudet nosto-ovet, jotka toimivat  
kauko-ohjauksella trukista käsin, sekä uusi siltanostin levyjen lastausta ja leikatuista

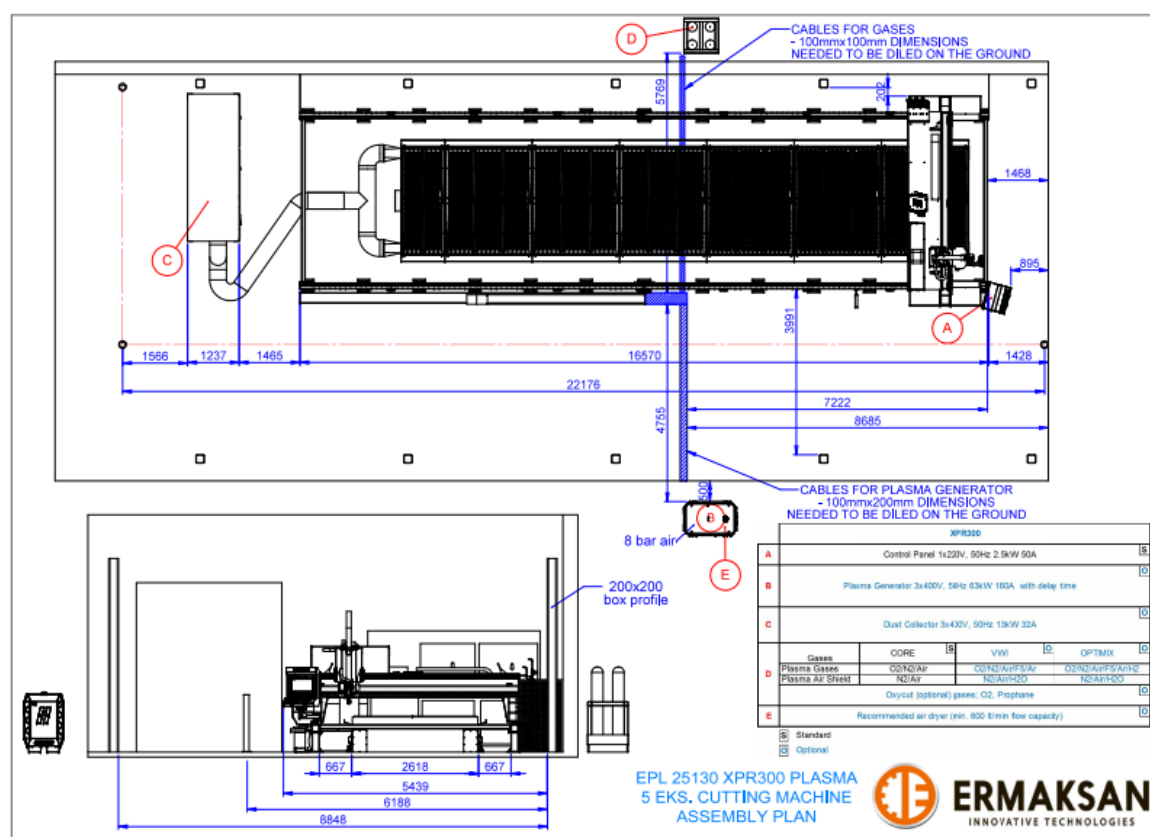
levyistä jäävien rankojen purkua varten. Painavimman levyn perusteella valittiin sil-  
tanostimen riittäväksi kapasiteetiksi 5000 kg. Levyosavalmistuksen toiminta edellytti  
myös tarvittavat verkkoyhteydet ja toimistotilat.



Kuva 27. Leikkaamon solumallin layout

### 3.3 Plasmaleikkausyksikön vastaanotto ja käyttöönotto.

Plasmaleikkauskoneeksi valikoitui Ermaksan XPR 300. Ennen koneen toimitusta Suomeen, käytiin koneen valmistajan tehtaalla Turkissa tehdashyväksynnässä (FAT). Testiajossa koneella ajettiin Nordautomationin tuotantoon tarvittavista kappaleista haastavimmat. Levyleikkeistä lähetettiin etukäteen DXF-tiedostot, että valmistaja pystyi tekemään tarvittavat asetukset koneelle soveltuviksi. Mukana oli maksimaalista lävistystä vaativia sekä haastavimpia viisteominaisuutta tarvitsevia kappaleita. Koneeseen oli valittu optiona 50-asteen viisteleikkausmahdollisuus. Ennen toimitusta katsottiin asiakkaan R&D-osaston kanssa asennuslayout (kuva 28) ja varmistettiin kaikkien kaapeleiden sekä kaasuletkujen sijainnit ja etäisyydet. Nämä hyödykkeet (sähkö, paineilma, happi ja typpi) oli oltava tehtaalla valmiina koneen saapuessa.



Kuva 28. Asennuslayout

Testiajojen ja pienten säätöjen jälkeen allekirjoitettiin koneen toimituksen hyväksyntäpaperit. Tämän jälkeen tehtaalla testattu kone purettiin ja kuljetettiin sopimuksen mukaisesti Suomeen tehtaalle asennettavaksi. Kone asennettiin suunnitelmien mukaan (kuva 30) ja tämän jälkeen oli vuorossa käyttöönottoluovutus ja viikon mittainen koulutus koneen käyttöön sekä huoltamiseen liittyen.

Mekaanisen asennuksen jälkeen koneella ajettiin testikappaleet, joilla voitiin varmistua referenssipisteen osoituksesta sekä lineaarijohteiden onnistuneesta asennuksesta. Kappaleet mitattiin tarkasti X- ja Y- suunnassa ja tarkastettiin kappaleen leikkausjälki. Asennuksen jälkeiset testaukset menivät hyvin ja pienten korjausten jälkeen voitiin todeta, että asennus on onnistunut.

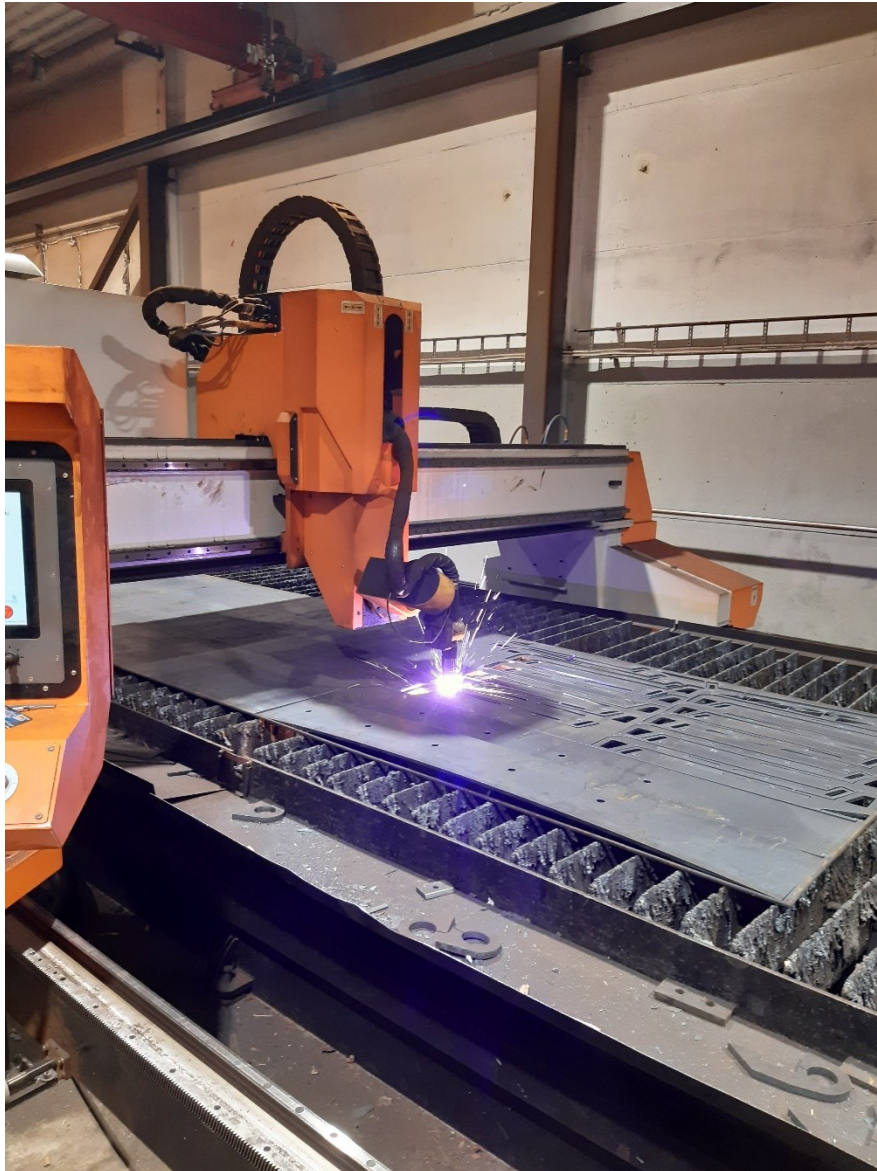
Operaattoreita koulutettiin noin viikon mittaisella jaksolla. Koulutuksessa perehdyttiin teoriassa huoltoihin ja opastettiin koneesta ennen käyttöä tarkistettavat kohteet. Koneesta tarkistetaan tietyt kohdat listan mukaisesti päivittäin. Muu koneen huoltamiseen liittyvä koulutus annettiin myös käytännön koulutuksena (Liite: kunnossapi-

toloki). Huolto- ja kunnossapitokoulutuksen jälkeen perehdyttiin itse koneen käyttöön. Työvaihe alkaa koneen operaattorilla kappaleiden lataamisella materiaali-kirjastosta ProNest-ohjelmistoon, jolloin leikattavat kappaleet voitiin sijoittaa levyille. Suomessa tätä kutsutaan englannin kielestä tulevalla termillä ”nestaamiseksi”.

Tässä vaiheessa operaattorin pitää tietää, mitä materiaalia leikataan ja kuinka vahva on ainevahvuus. Tämän lisäksi nestausohjelmassa valitaan, minkä kokoiselle levyille tullaan kappaleet sijoittamaan. Kappaleen ainevahvuus taas vaikuttaa suuttimen rakennevalintaan, joka täytyy tarkistaa Hypertermin taulukosta virta-arvon mukaan, kuten kerrottu luvussa 2.1.3. Suuttimen eri rakennevaihtoehtoja on useita ja nämä rakenteeseen liittyvät osat tulee säilöä pölyttömässä tilassa merkityillä paikoilla (kuva 29). Kun kouluttaja oli opettanut operaattoreille koneen huoltoihin, turvallisuuteen ja käyttöön liittyvät asiat voitiin koneella (kuva 30) aloittaa ensimmäistä kertaa tuotannollinen kappaleiden ajo. Ensimmäinen ajo suoritettiin peruskappaleilla ja operaattorit toimivat ensimmäistä kertaa koneen käyttäjinä itsenäisesti.



Kuva 29. Suuttimet virta-arvon mukaan



Kuva 30. Plasmaleikkauskone



### 3.4 Henkilöresurssointi

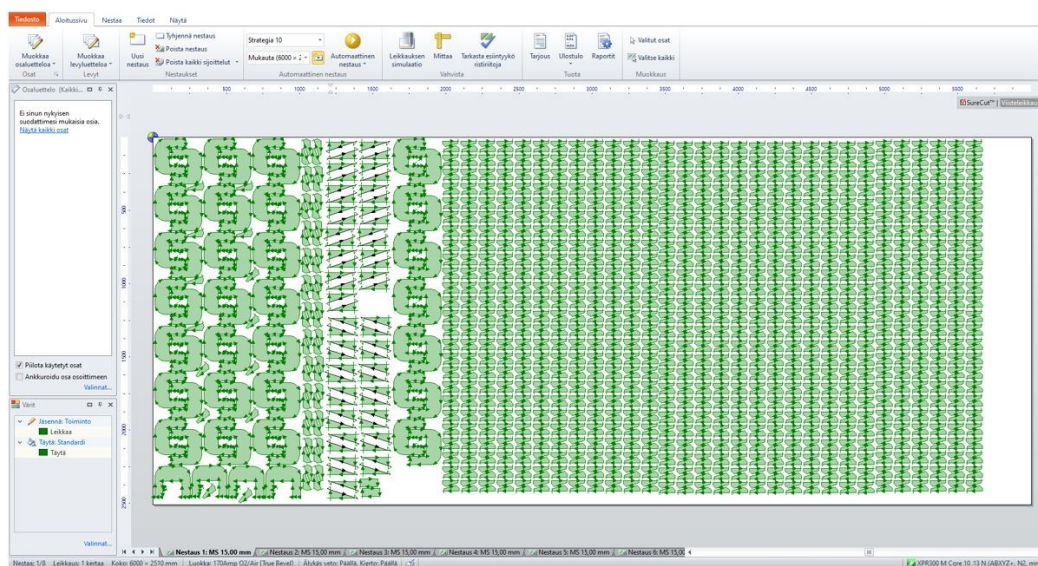
Alihankinnasta tulleiden levyosien perusteella pystyttiin määrittelemään laskennallisesti riittävä kapasiteetti leikkaamoyksikölle. Laskelmat tehtiin leikattujen kilojen perusteella. Tiedettiin, paljonko keskuksen kapasiteetti oli kilogrammoissa kahdeksassa tunnissa, keskimääräisellä levyn vahvuudella. Tähän aikaan otettiin huomioon tauot. Laskelmien perusteella voitiin päätellä, että koneen kapasiteetti ei tulisi riittämään yhdessä vuorossa. Kahdessa vuorossa kapasiteettiä jäisi hieman yli, mutta se aika olisi tarpeen, koska leikatut kappaleet pitää myös merkitä, viimeistellä ja järjestellä seuraavaa työvaihetta varten levyleikkaamoyksikköön. Päädyttiin työturvallisuusasiat huomioiden ratkaisuun, että levyleikkaamoyksikössä työskentelee yhteensä neljä työntekijää kahdessa vuorossa. Kaksi uutta työntekijää rekrytoitiin yritykseen ulkopuolelta. Lisäksi käytetään leikkeiden siirtelemiseen jaettua resursia, joka on sisäisen logistiikan hoitaja.

Suunnittelusta tulleet työkuvat eli työmääräimet tuodaan leikkaamoon tuotantokoordinaattorin toimesta. Levyleikkaamossa kuvat lajitellaan materiaalivahvuuksien mukaan. Myös kulutusteräksestä valmistettavat leikkeet lajitellaan vahvuuksien mukaan. Työkuvat tuodaan leikkaamoon välittömästi ilman aikataulutusta tässä vaiheessa, eli toimitaan resurssitehokkaalla mallilla.

### 3.5 Kappaleiden sijoittelu ja leikattavan materiaalin optimointi

Levyn hukan minimoimiseksi leikattavat kappaleet sijoitetaan optimaalisen kokoiselle levyille hyvällä hyötysuhteella. Tämä vaatii operaattorin ymmärrystä ja perehtymistä työkuvien kautta parhaaseen mahdolliseen sijoitteluun, kulloinkin valitsemalleen aihiolle. Operaattori valitsee leikattavien kappaleiden perusteella plasmaleikkauskoneen pöydälle optimaalisen kokoisien levy-aihioiden, koneen äärimittojen ollessa jopa 2600 mm x 13000 mm. Kvarttolevyjen pituudet taas ovat tyypillisesti 6000–12000 mm. Leveydet taas vaihtelevat 1500 – 2500mm. Isompiin tarkkamittaisiin kappalesarjoihin levyt kannattaa tilata hyvissä ajoin tehtaalta määrämittäisenä, jolloin hukka pystytään minimoimaan vielä tehokkaammin.

Plasmaleikkauskeskuksen mukana tullut ProNest-ohjelmisto sijoittaa automaattisesti kappaleet yleensä optimaalisesti (kuva 28), käyttäen apunaan yhtä tai useampaa matemaattista algoritmia (Hypertherm 2020). Joskus operaattorin täytyy näitä sijoituksia kuitenkin hieman muutella, sekä osoittaa koneelle, mikä on leikattava kappale ja mikä on hukkamateriaali. Tämän osoittaminen on tärkeää, koska plasman suihku on kynttilän liekin muotoinen ja siten aina hieman vino. Koneen ohjelmisto korjaa tämän vinouden aina siten, että leikattavan kappaleen reuna on suora. Tämä tapahtuu plasman suihkua kääntämällä (Hypertherm 2020). Sijoittelussa ohjelmisto ottaa myös huomioon mm. kulloisenkin levyn vahvuuden sekä mahdolliset viisteet levyyn, nämä seikat vaikuttavat railon leveyteen ja siten kappaleiden etäisyyksiin toisistaan ja levyn reunaan. Tästä seuraa, mitä vahvempi materiaali on, sitä suurempi täytyy railon olla. Toisin sanoen mitä vahvempi on levy, sitä enemmän tulee hukkaa (Hypertherm 2020).



Kuva 31. Kappaleiden sijoittelu levyille

### 3.6 Sisäinen tilaus-toimitusprosessi, levyosavalmistus

Levyosavalmistuksessa tärkeimpänä tehtävänä on tuottaa valmistusprosessin seuraavalle vaiheelle materiaali eli leikattu levyosa, merkittynä, viimeisteltynä, aikataulun ja kuvan mukaisesti. Tuotteisiin tarvittavat leikkeiden kuvat vastaanotetaan

suunnittelusta tuotantokoordinaattorin toimesta, joka lajittelee ja tarkastaa työlle menevät kuvat. Kuvista ilmenee kappaleiden mittojen lisäksi, myös projektin numero ja kuvan numero. Leikkeet, jotka ovat 10 mm tai alle, ja ovat suorakaiteen muotoisia leikataan mekaanisella levyleikkurilla.

Plasmalla leikataan leikkeet, jotka sisältävät muotoja ja/tai reikiä. Kappaleiden materiaalivahvuus on tyypillisesti 2 – 40mm. Tästä vahvemmat leikkeet leikataan polttoleikkauskoneella kuten ennenkin. Tuotantokoordinaattori merkitsee kuviin valmistustavan. Nämä kuvat toimivat valmistukselle työmääräiminä. Kuvien perusteella haetaan yrityksen verkosta oikea ”polttomalli” eli DXF-päätteinen tiedosto, jonka suunnittelija on ladannut verkkokansioon omalta koneeltaan.

Vastaanotetut kuvat, jotka on osoitettu plasmaleikattavaksi, viedään kaikki plasmaleikkaamoon aikataulutuksesta piittaamatta. Tällöin toimitaan resurssitehokkaasti, mikä on projektitoimituksiin sopivampi malli tässä tapauksessa, kun varastointia ja puskuria sallitaan joustavamman ja helpommin ohjattavan tuotannon mahdollistamiseksi. Kaikki leikattavat leikkeet on tällöin lajiteltu, ei aikataulujärjestykseen, vaan leikattavan levytyypin mukaan (vahvuus ja materiaali). Tämä mahdollistaa maksimaalisen levyn hyödyntämisen. Pyrkimyksenä on kappaleiden sijoittelussa saada käytettyä aina levy kerrallaan kokonaan, ettei siitä jää pientä palasta jäljelle. Näitä on vaikea myöhemmin hyödyntää huonon kappaleiden sijoittelumahdollisuuden takia. Myös useat aloitukset ja lopetukset huonontavat koneen käyttöastetta sekä ovat osa työturvallisuutta.

Valmistuskuvat (Kuva 32) lajitellaan plasmaleikkaamoon operaattorin toimesta vahvuuksittain, sekä leikattavan materiaalityypin mukaan (kulutusteräs HB400 tai normaalirakenneteräs S355). Operaattori ottaa huomioon myös hienokuormituksen työjärjestyksessään. Leikatut kappaleet merkitään huolellisesti ja lajitellaan EUR-lavoille leikkaamoon seuraavan työvaiheen mukaan (kuva 33). Lajitellut leikkeet siirretään leikkaamosta eteenpäin seuraavalle työvaiheelle tai välivarastoon sisäisen logistiikan hoitajan toimesta.

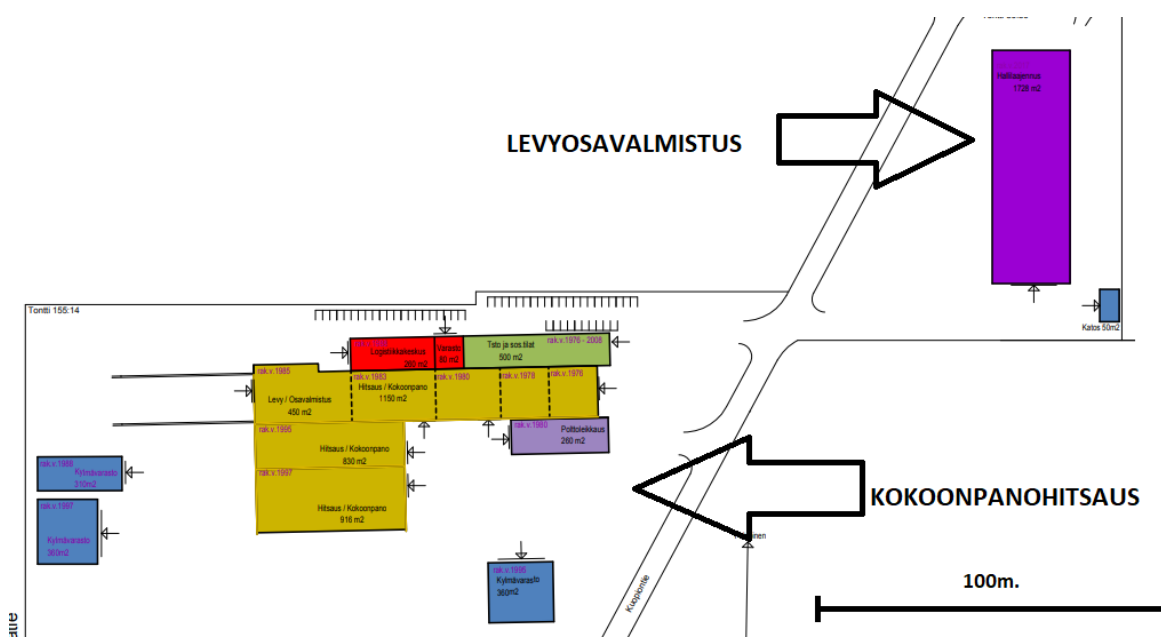


Kuva 32. Työkuvat, materiaalityypin ja materiaalivahvuuden lajittelu



Kuva 33. Merkityt leikkeet

Levyleikkaamoyksikkö sijaitsee yrityksen muista kiinteistöistä ja toimista erillään omassa kiinteistössä yleisen tien toisella puolella (kuva 34), mikä tuo oman logistisen haasteen. Tätä varten tehtiin visuaalista ohjausta materiaaleille kirjoittamalla tuotantolaitoksen seinälle, mikä on seuraava prosessi leikatulle materiaalille. Seuraavat toimet voivat olla tyypillisimmin kokoonpanohitsaus, särmäys, koneistus tai harvinaisemmin valmis kappale, joka vain pintakäsitellään. Jokainen leikattu kappale merkitään leikkauspöydällä ennen kuin ne viedään odottamaan seuraavaa toimea. Levyosavalmistus käyttää Kanban-ohjausta leikatuille puolivalmisteille, tähän kuuluu kaksilaatikkojärjestelmä vakio-osien varastoinnissa, työpisteiden valkotaulut materiaaltarpeista, sekä puolivalmisteiden merkityt varastointipaikat. Varastopuskurin kanssa pyritään olemaan työajallisesti noin 5 työpäivää edellä muuta tuotantoa. Tällöin voidaan toimia resurssitehokkaasti ja palvella muita työpisteitä ilman pysäytyksiä. Sisäisen logistiikan hoitajan rooli korostuu tämän tyyppisessä logistisesti haastavassa tuotantoympäristössä, ja tuotannosuunnittelun rooli korostuu aikataulujen laatimisessa ja ohjaamisessa. Sisäisen logistiikan hoitaja kiertää kaksi kertaa viikossa kartoittaakseen kunkin työpisteen ja vaiheen tilanteen ja tulevat tarpeet, keskustelemalla tiiminvetäjien kanssa ja seuraamalla hienokuormitusta. Tämä on tärkeä tieto myös levyosavalmistukseen, kun seuraavia töitä aloitetaan ja valitaan levy-aihiot leikkauspöydälle.



Kuva 34. havainnekuva, leikkaamo ja muu valmistus

## 4 Yhteenveto ja yleistä pohdintaa

Tutkimus ja kehittämistyö tehtiin yrityksen päätöksestä investoida omaan levy-osa-valmistusyksikköön. Päätöksen perusteena oli selkeän pullonkaulan poistaminen tuotteen valmistamiselle suunnittelun jälkeen. Tämä investointi auttoi yritystä poistamaan useita viikkoja tuotteen tilaus-toimitusprosessista. Työssä tutkittiin uuden levyosavalmistuvaiheen perustamiseen liittyviä haasteita ja kehittämistarpeita, joita olivat yrityksen tarpeisiin oikeanlaisen levytyökeskuksen kartoittaminen, investoinnin perusteet, uuden tekniikan käyttöönotto, valmistusyksikkökiinteistön perustaminen ja resursointi sekä materiaali ja datavirtojen tutkiminen ja kehittäminen. Omavaraisen levyosavalmistuksen ansiosta tuotanto saa läpimenoaikoja lyhyemmäksi sekä koko valmistusta resurssitehokkaammaksi.

Työn tavoitteena oli saada omavarainen leikkausyksikkö toimimaan osana konepajan tuotantoa. Koska plasmaleikkaus oli yritykselle ja sen henkilöstölle ennestään tuntematonta tekniikkaa, täytyi aiheeseen perehtyä työssä syvällisemmin. Työssä tutkittiin plasmaleikkausta teoriassa jo ennen päätöstä koneen investoinnista, koska tämä tekninen tietämys ja perustelu tutkimuksen kautta oli oleellinen osa investointiehdotelman sisältöä. Investointiehdotelmassa päädyttiin plasmaleikkauskeskukseen, koska sen tekniset ominaisuudet osoittautuivat kustannustehokkaimmiksi ja kokonaisuudessaan parhaiten yritystä palvelevaksi ottaen huomioon muun muassa käytetyt materiaalivahvuudet ja koneen käyttökustannukset sekä hankintahinta.

On tärkeää tietää teoriassa, miten tekniikkaa voidaan käytännössä hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla. Plasmaleikkausta ja plasmaleikkalaitteistoa käsittelevää teoriaa hyödynnettiin, että saatiin yrityksen käyttöön sovellettua mahdollisimman hyvä kokonaisuus palvelemaan muuta tuotantoa.

Työssä myös perehdyttiin layouttyyppeihin ja tämän perusteella päätettiin soveltuvien layoutmallien olisi solulayout levyosavalmistusyksikön tarpeita palvelemaan, sekä muuta kokonaisuutta. Näissä valinnoissa jouduttiin tekemään kompromisseja resurssi- ja virtaustehokkuuden välillä. Kuitenkin päästiin hyvään lopputulokseen, jossa käytetään resurssitehokkuuden säilyttämiseksi pientä välivarastointia. Tarkastelun kohteena olivat myös materiaalivirrat, joita syntyy leikattavasta materiaalista,

valmiista kappaleista sekä levyrainoista, joita leikatuista levyistä jää jäljelle. Materiaalivirtoja tutkittaessa oli lähtökohtana työturvallisuus sekä materiaalin yhdensuuntainen virtaus. Tässä onnistuttiin, vaikkakin olemassa olevaan kiinteistöön jouduttiin tekemään mittaviakin rakenteellisia muutoksia. Yhtenä tärkeänä osana työtä oli laskea yksikön kapasiteettitarve ja tämän perusteella resursoida yksikköön riittävästi henkilöstöä.

Vaativa projekti saatiin valmiiksi ja omavarainen levyosien valmistus toimimaan osana konepajan kokonaisuutta. Oman levyosavalmistuksen suurimmiksi eduiksi on havaittu käytännössä töiden joustavampi priorisointi, tarkempi tuotannosuunnittelu aikataulujen ollessa omissa käsissä sekä mahdollisiin muutoksiin reagointi, esimerkiksi valmistuskuvien muutosten vuoksi.

Tulevaisuudessa on tarkoitus edelleen tehostaa yksikön toimintaa myös jatkuvan parantamisen mallilla, jossa esiin tulleita poikkeamia ja ehdotelmia tarkastellaan ja tehdään tarvittavia toimia. Myös koko yrityksen tuotantoa koskeva 5S-malli tullaan ottamaan yksikössä käyttöön. Nämä toimet tulevat varmasti lyhentämään leikkauskeskuksen takaisinmaksuaikaa, sekä parantamaan laatua ja työturvallisuutta.



## Lähteet

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. Infacs Johtamistekniikka Oy. Kuudes painos. Tampere: Infacs Oy

Herranen, K. 2020. Ketterä kasvu. Helsinki: Alma Talent Oy.

Hokkanen, S., Karhunen, J. & Luukkainen, M. 2011. Johdatus logistiseen ajatteluun. 6. p. Jyväskylä: SHO Business Development Oy

Hypertherm. 2020. XPR300 plasma cutting system [www-lähde]. [viitattu 13.2.2021]. Saatavissa: <https://www.hypertherm.com/learn/cutting-education/plasma-technology/types-of-plasma/>

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen P. 2003. Valmistustekniikka. Helsinki: Hakapaino Oy

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2007. Valmistustekniikka. 12. painos. Helsinki: Otatieto Oy

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Tampere: Tampere University Press.

Kauppinen, V. 1991. Levytyöt pienerätuotannossa. 2 painos. Helsinki: Otatieto Oy.

Karttunen H. 2004. Tiedettä kaikille Fysiikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Kujanpää, V., Salminen, A. & Vihinen, J. Teknolomiteollisuuden julkaisu nro 3/2005. Lasertyöstö. Tampere: Tammer Oy.

Keyte, B. & Locher, D. A., 2016. The Complete Lean Enterprise, Value Stream Mapping for Office and Services. 2nd edition. CRC Press Taylor & Francis Group.

Leppiniemi, J. & Puttonen, V. 2002. Yrityksen rahoitus. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Logistiikan Maailma 2021. Tuotannon Layout [www-lähde]. [viitattu 20.2.2021].  
Saatavissa: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotannon-layout/>

Logistiikan Maailma 2021. Tuotannon kehittäminen [www-lähde]. [viitattu 20.2.2021]. Saatavissa: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/jit-just-in-time-ja-imuohjaus/>

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E., Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Tammerprint.

Mattila, T & Lakso, T. 1997. Termisten leikkausmenetelmien ja vesisuihkuleikkauksen nykytila ja sovelluspotentiaali teollisuudessa. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Tutkimusraportti.

Modig N., Åhlström, P. 2018. Tätä on Lean. Halmstad: Bulls Graphics Ab.

Niemi, J. & Aromäki, M., 1985. Teräslevyjen terminen leikkaus. MET, Tekninen tiedotus 9/1985. 85s.

Nordautomation Oy - yritysesittely. 1.6.2020. [www-lähde]. Nordautomation Oy, yrityksen internet. [viitattu 9.4.2021]. Saatavissa: <https://nordautomation.fi/tuotteet/tukkien-lajittelu/>

Pellinen, J. 2006. Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu. Talentum Media Oy.

Sixsigma. 2020. Lean historiaa. [www-lähde]. Lahti: Sixsigma. [Viitattu 13.4.2021].  
Saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/leanin-historiaa/>

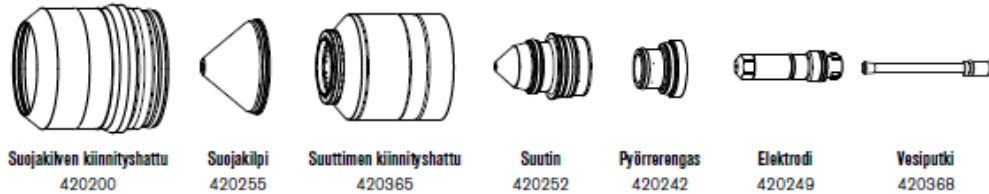
TWI-global 2019. powder cutting [www-lähde]. [Viitattu 20.2.2021]. Saatavissa: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-powder-cutting>

Walsh M. (2005). Plasma cutting: Then and Now. [www-lähde]. [Viitattu 20.2.2021]. Saatavissa: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/plasma-cutting/plasma-cutting-then-and-now>

Womack, P. J. & Jones T.D. 2003. Lean thinking – banish waste and create wealth in your corporation. Free press. New York.

## Liitteet:

### Niukkahiilinen teräs - 130 A - O<sub>2</sub> plasmakaasuna / ilma suojakaasuna - veden päällä (Core, VWI, OptiMix)



Virtausnopeus - V/min / scfh			
	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ilma
Esvirtaus	33 / 69	-	85 / 180
Pistovirtaus	-	31 / 65	82 / 173
Leikkausvirtaus	-	31 / 65	92 / 195

### Metrijärjestelmä

Aineen paksuus mm	Leikkaus luokka	JÄRJESTELMÄN ASETUKSET				CNC-ASETUKSET								
		XPR Prosessitunnus	Piston suojakaasu asetus	Leikkausvirtaus		Leikkausnopeus mm/min	Valokaari jännite voltia	Siirtokorkeus mm	Pistokorkeus mm	Pistovive sekuntia	Leikkauskorkeus mm	Railon kompensointi mm		
3	3	1101	37	92	45	6502	134	5,08	5,08	0,1	2,54	2,2		
4						5557	134	5,30	5,30	0,1			2,65	
5						4681	134	5,59	5,59	0,2			2,3	
6	1102	27	4036	135	0,3	2,79								
7	1	1103	37	92			82	3602	134	5,80	5,80	0,3	2,79	2,3
8					3282	134		6,10	6,10	0,4	2,5			
10					2680	136		6,25	6,25					
12					1104	77		2200	137	6,60	6,60			
15	2	1105	37	92	72	1665	142	7,62	7,62	0,7	3,81	2,8		
20						1044	149			1,1			4,03	
25						546	162			1,8			4,03	
30	4	1106	37	92	58	434	165	Reunan alku	0,3	4,57	4,4			
32						398	165					5,7		
38	5	1107	37	92	50	256	174	Reunan alku	0,3	4,57	5,7			

(Railon leveydet, hyperterm)

**Kunnossapitoloki XPR-plasmajärjestelmiä varten**

Päivittäiset tehtävät	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<i>Tulopainekokeen toteutus</i>																																
<i>Kaikkien ilmansuodattimien tarkastus</i>																																
<i>Jäähdytysnesteen tason ja kunnan tarkastus</i>																																
<i>O-renkaiden tarkastus ja voitelu</i>																																
<i>Vesiputken ja polttimen tarkastus</i>																																
Viikoittaiset tehtävät	Viikko (alkamispäivä):							Viikko (alkamispäivä):							Viikko (alkamispäivä):							Viikko (alkamispäivä):										
<i>Letkujen, kaapeleiden ja johtojen tarkastus</i>																																
<i>Kaasuvuotojen testaus</i>																																
<i>Jäähdytysnesteen virtauksen tarkistus</i>																																
Kuukausittaiset tehtävät (ympyröi yksi)	Tammikuu	Helmikuu	Maalis	Huhtikuu	Touko	Kesä	Heinä	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu																				
<i>Plasmavirtalähteen sisäpuolinen puhdistus</i>													Huomautukset:																			
<i>Liittimien tarkastus</i>																																
<i>Apuvalokaaren releen tarkastus</i>																																
<i>Jäähdytysnestejärjestelmän tarkastus</i>																																
<i>Jäähdytysnesteen virtauksen testaus</i>																																
<i>Kaasuputkien liittimien tarkastus</i>																																
<i>Letkujen tarkastus</i>																																
<i>Kaapeleiden tarkastus</i>																																
<i>Maadoitusliittimien tarkastus</i>																																
<i>Pöydän ja työkalupöydän välisen liitännän tarkastus</i>																																
<b>6 kuukauden välein – Toteutuspäivä:</b>													<i>Jäähdytysnesteen ja jäähdytysnestesuodattimen vaihto sekä pumpun siivilän tarkastus ja puhdistus</i>																			

**Kunnossapitoloki (Hyperterm)**