



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Atte Tammi

---

## Särmäyspuristimen investointikartoitus

Opinnäytetyö  
Kevät 2022  
Kone- ja tuotantotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Atte Tammi

Työn nimi: Särmäyspuristimen investointikartoitus

Ohjaaja: Heikki Kokkonen

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 53

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Seinäjoella toimivan Tibnor Oy:n teräspalvelukeskus. Tibnor Oy on ollut teräsyhtiö SSAB:n tytäryhtiö vuodesta 2014. Seinäjoen teräspalvelukeskus valmistaa levyleikkeitä teollisuuteen ja alihankintaan. Levyleikkeet leikataan laser-, plasma-, ja polttoleikkauskoneella. Yrityksen konekantaan kuuluvat myös särmäyspuristimet, viiste-, teräsraepuhallus- ja koneistuskoneet.

Toimeksiantajalla oli tarve hankkia uusi särmäyspuristin pienten kappaleiden särmäykseen. Yrityksen tavoitteena oli vapauttaa kapasiteettia isommille särmäyspuristimille. Opinnäytetyön päätavoitteena oli löytää toimeksiantajan toimittaman raakadatan perusteella parhaiten yrityksen tarpeisiin soveltuva investointiratkaisu ja laatia tälle investointilaskelma.

Työn teoriaosuudessa syvennyttään levyleikkeiden särmäyksen teoriaan, käydään läpi eri levymateriaalien kemiallisia koostumuksia, ominaisuuksia ja niiden käyttökohteita. Teoriaosuuden loppupuolella syvennyttään investointilaskelmien teoriaan.

Työn toteutusosiossa puretaan toimeksiantajan toimittamaa raakadataa. Datan perusteella lähdettiin etsimään yrityksen tarpeisiin soveltuvia investointiratkaisuja. Laittevalmistajien toimittamien tietojen pohjalta tehtiin vertailu teknisten ominaisuuksien perusteella. Tämän vertailun pohjalta valittiin yrityksen käyttöön parhaiten soveltuva särmäyspuristin, jonka hankinnalle laadittiin investointilaskelma. Laskelman perusteella todettiin tämän investoinnin olevan yritykselle kannattava.

<sup>1</sup> Asiasanat: särmäys, investointi, ohutlevy, vertailu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author/s: Atte Tammi

Title of thesis: Investment mapping of press brake machines

Supervisor(s): Heikki Kokkonen

Year: 2022

Number of pages: 53

Number of appendices: 0

---

This thesis was assigned by the steel service center of Tibnor Oy located in Seinäjoki. Tibnor Oy has been the subsidiary company of SSAB since 2014. The steel service center primarily manufactures steel plate products for industrial and subcontracting purposes. Steel plates are cut using either a laser, plasma or oxy-fuel cutting machines. The machines in the production also include press brakes, chamfering machines and steel shot blasts.

The company had developed a need for a smaller press brake for smaller parts, in order to release capacity from the larger press brakes. Therefore, the main goal of the thesis was to find the best fitted investment for the company's needs in the form of a new, smaller press brake. The sponsor delivered raw data, which was utilized to find the most appropriate investment solution. After finding the most appropriate investment solution, investment calculations were performed to gain insight into the investment's benefits.

The theoretical part of the thesis focuses on the theory of press brake bending and on the chemical compositions of plate materials, their properties, and possible uses. The theory of investment calculation is explored towards the end of the chapter.

The executive part of the thesis is focused on processing the raw data. In addition, the information provided by the machine production factories acted as a basis for comparison between the press brakes and their technical properties. The most fitting press brake was chosen as a result of the comparison. Investment calculations were performed for the acquisition. As a result, it could be concluded that the investment would be profitable for the company.

<sup>1</sup> Keywords: bending, investment, thin sheet metal, comparison

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Työn tausta ja tavoitteet .....	9
1.2 Työn rakenne .....	9
1.3 Yritysesittely .....	10
2 TAIVUTTAMINEN .....	14
2.1 Särmäys .....	14
2.2 Vapaataivutus.....	16
2.3 Pohjaaniskutaivutus .....	16
2.4 Taivuttaminen elastista vastinta käyttämällä .....	17
2.5 Taivutuksen periaate .....	18
2.5.1 Kappaleen muodonmuutokset ja takaisinjousto .....	19
2.5.2 Puristusvoima .....	20
2.5.3 Materiaalin taivutettavuus .....	21
2.5.4 Taivutuksen tarkkuus .....	21
2.5.5 Työkalujen valinta .....	22
3 LEVYTERIAALIT .....	24
3.1 Teräs .....	24
3.1.1 Teräsohutlevyt .....	26
3.1.2 Kulumista kestävät teräkset .....	27
3.2 Ruostumaton teräs .....	27
3.2.1 Austeniittiset ruostumattomat teräkset .....	27
3.2.2 Ferriittiset ruostumattomat teräkset.....	28
3.2.3 Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset .....	29

3.3	Alumiini.....	29
3.3.1	1000-sarja.....	30
3.3.2	2000-sarja.....	30
3.3.3	3000-sarja.....	31
3.3.4	5000-sarja.....	31
3.3.5	6000-sarja.....	31
3.3.6	7000-sarja.....	32
4	INVESTOINTILASKELMAT .....	33
4.1	Laskentakorkokanta .....	34
4.2	Investoinnin pitoaika.....	35
4.3	Jäännösarvo.....	35
4.4	Annuiteettimenetelmä.....	35
4.5	Sisäisen korkokannan menetelmä.....	36
4.6	Nykyarvomenetelmä.....	37
4.7	Korottoman takaisinmaksuajan menetelmä.....	40
5	RAAKADATAN PURKAMINEN .....	41
6	SÄRMÄYSPURISTIMIEN VERTAILU.....	44
6.1	Taivutusvoima .....	44
6.2	Nopeus.....	45
6.3	Maksimi taivutusleveys.....	45
6.4	Toistotarkkuus .....	46
6.5	Hinnoittelu .....	46
6.6	Pisteytys.....	47
6.7	Nettotuoton laskeminen.....	47
7	INVESTOINTILASKELMA .....	49
8	TULOKSET .....	51
9	YHTEENVETO JA OMAT POHDINNAT .....	52
	LÄHTEET .....	53

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Tibnorin toimipaikat. ....	11
Kuva 2. Tibnorin Seinäjoen Tuottajantien tuotantoyksikkö.....	12
Kuva 3. Tibnorin Seinäjoen Jalostajantien tuotantoyksikkö. ....	13
Kuva 4. Särmäyspuristimen työkalut.....	15
Kuva 5. Särmäyspuristimen ylätyökaluvaihtoehtoja.....	23
Kuvio 1. Vapaataivutuksen periaate. ....	16
Kuvio 2. Pohjaaniskutaivutuksen periaate. ....	17
Kuvio 3. Taivuttaminen elastista vastinta käyttämällä.....	18
Kuvio 4. Investoinnin rahoitusvaihtoehdot. ....	33
Kuvio 5. Diskonttaaminen. ....	39
Taulukko 1. Esimerkkejä terästen tyypillisistä hiilipitoisuuksista. ....	25
Taulukko 2. Iskusitkeyden arvon määrittely. ....	25
Taulukko 3. Iskukokeen arvon määrittely.....	26
Taulukko 4. Esimerkkejä teräslajien kemiallisista koostumuksista ja mekaanisista ominaisuuksista. ....	28
Taulukko 5 Alumiiniseokset ryhmiteltynä pääseosaineen mukaan. ....	30
Taulukko 6. Alle metristen kappaleiden osuus vuonna 2021 särmätyistä kappaleista...42	
Taulukko 7. Kappaleiden määrät eri voimantarpeilla. ....	42

Taulukko 8. Kappaleiden työajat eri voimantarpeilla. ....	43
Taulukko 9. Laitteiden taivutusvoimien vertailu.....	44
Taulukko 10. Laitteiden taivutus- ja paluunopeuksien vertailu. ....	45
Taulukko 11. Laitteiden maksimi taivutusleveyden vertailu.....	45
Taulukko 12. Laitteiden toistotarkkuuden vertailu. ....	46
Taulukko 13. Laitteiden hinnoittelun vertailu. ....	46
Taulukko 14. Laittevaihtoehtojen lopullinen pisteytys. ....	47
Taulukko 15. Alle metrinen kappaleiden määrä, työaika ja paino. ....	48
Taulukko 16. Investoinnin sisäinen korkokanta laskettuna Excelillä. ....	50

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Diskonttaus</b>	Tulevaisuuden rahavirran arvon palauttaminen nykyhetkeen
<b>Kimmoraja</b>	Suurin jännitys, jonka kappale kestää muotoaan pysyvästi muuttamatta
<b>Murtolujuus</b>	Suurin jännitys, jonka koesauva kestää vetokokeessa.
<b>Myötölujuus</b>	Jännitys, jossa plastinen eli pysyvä muodonmuutos alkaa
<b>Raex 400</b>	SSAB:n valmistama kulutusteräs, jonka Brinell-kovuus on 400



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Seinäjoella sijaitseva Tibnor Oy:n teräspalvelukeskus. Tibnor Oy valmistaa levyleikkeitä teollisuuteen ja konepajoille. Levyleikkeet leikataan plasma-, laser-, tai polttoleikkauskoneella. Levyleikkeitä voidaan myös työstää esimerkiksi särmäämällä, viistämällä ja teräsraepuhalluksella. Toimeksiantajalla on valmiudet tehdä todella suuria kappaleita asiakkaan tarpeisiin. Tilatuista kappaleista kuitenkin osa on alle metrin pituisia kappaleita, jotka vaativat särmäystä. Tällä hetkellä pienten kappaleiden särmäykset tehdään isolla ja hitaalla särmäyspuristimella, jolla kuluu tarpeettoman paljon aikaa pienten kappaleiden valmistukseen.

Toimeksiantaja on pohtinut, että yritys hankkisi pienemmän ja nopeamman särmäyspuristimen pienempiä kappaleita varten, jolloin säästyisi työstöaikaa. Samalla uusi investointi toisi lisäkapasiteettia isommille koneille.

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella, mitä etuja saataisiin pienemmästä ja nopeammasta särmäyspuristimesta. Työssä tullaan laskemaan tilatuista kappaleista alle yhden metrin pituisten kappaleiden osuus. Aineisto analysoidaan tonneina, kappaleina sekä työaikana. Lisäksi kartoitetaan markkinoilla olevista särmäyspuristimista yrityksen tarpeisiin parhaiten soveltuva laite. Soveltuvista laitevaihtoehtoista tehdään vertailu, jonka pohjalta valitaan yrityksen tarpeisiin parhaiten soveltuva laite. Uudelle mahdolliselle investoinnille laaditaan investointilaskelma, josta nähdään investoinnin kannattavuus yritykselle.

## 1.2 Työn rakenne

Opinnäytetyön alussa käydään lyhyesti läpi työn taustaa sekä tärkeimpiä tavoitteita, jonka jälkeen esitellään toimeksiantajayritys. Seuraavaksi syvennyttään särmäyksen teoriaan, eri levymateriaaleihin ja investointilaskelmien teoriaan. Työn toteutus alkaa keräämällä dataa yrityksen tilaushistoriasta, jolla pyritään selvittämään särmättävistä kappaleista alle metrin mittaisen osuus tilausmassasta. Seuraavaksi lasketaan pieniin kappaleisiin käytetty työ- ja asetusaika.

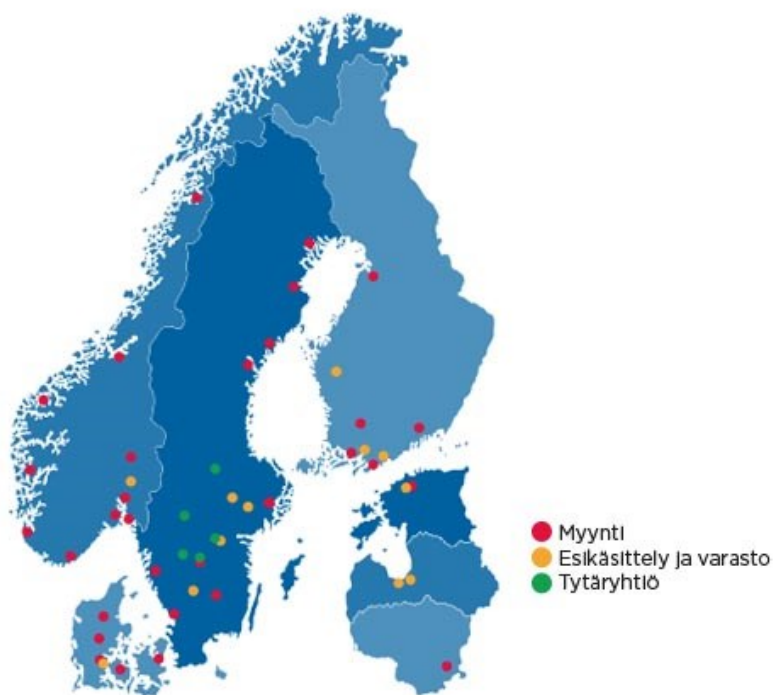
Opinnäytetyön loppupuolella lähdetään kartoittamaan eri vaihtoehtoista sopivia särmäyspuristimia asiakkaan tarpeisiin. Tämän jälkeen tehdään investointilaskelmat, joiden avulla voidaan arvioida investoinnin kannattavuutta yrityksen näkökulmasta.

### **1.3 Yritysesittely**

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Tibnor Oy:n Seinäjoen teräspalvelukeskus (Tibnor, i.a.). Tibnor Oy on SSAB:n tytäryhtiö vuodesta 2014. Tibnor työllistää yli 1000 työntekijää seitsemässä eri maassa. Pääkonttori sijaitsee Solnan kunnassa Tukholmassa. Tibnor toimittaa erilaisia teräs- ja metallituotteita ympäri Pohjoismaita ja Baltian maita.

SSAB:n liikevaihto vuonna 2020 oli 65 miljardia Ruotsin kruunua, ja Tibnorin liikevaihto vuonna 2020 oli 8,2 miljardia kruunua eli noin 806 miljoonaa euroa, joka oli 13 % SSAB-konsernin kokonaisliikevaihdosta (SSAB, i.a.).

Tibnorilla on myyntikonttoreita, varasto- ja esikäsittelytehtaita Suomessa, Norjassa, Ruotsissa, Tanskassa ja Baltian maissa (Tibnor, i.a.). Tibnorille on karttunut asiakaskuntaa noin 10 000 asiakkaan verran Pohjoismaissa ja Baltiassa (SSAB, i.a.). Tibnorin päätoimialoja ovat alihankinta, rakentaminen, koneistus sekä autoteollisuus, mukaan lukien raskaat ajoneuvot. Kuvassa 1 on esiteltyä Tibnorin eri toimipaikat kartalla.



Kuva 1. Tibnorin toimipaikat. (Tibnor, i.a.).

Tibnorin Seinäjoen yksikössä työskentelee noin 200 työntekijää (Tibnor, i.a.). Tuotantotilat sijaitsevat Seinäjoen Kapernaumissa Tuottajan- ja Jalostajantiellä, jotka ovat hyvien kulkuyhteyksien varrella. Esimerkiksi levyjä kuljetetaan junalla yrityksen tuotantotilojen läheisyyteen. Lisäksi Seinäjoen teollisuusalueelta on lyhyt matka niin länsi- kuin etelärannikonkin satamiin valtateitä pitkin. Seinäjoen yksikön päätoimiala on kappaleiden leikkaaminen teräslevyistä asiakkaiden tilausten mukaisesti käyttäen laser-, plasma- ja polttoleikkausmenetelmiä. Kappaleisiin pystytään myös tekemään hitsausviisteitä edellä mainituilla leikkausmenetelmillä. Seinäjoen yksikön palveluihin kuuluu myös levyjen taivutus eli särmäys, koneistus sekä raepuhallus. Kuvassa 2 on esitettyä Tuottajantien tuotantoyksikkö.



Kuva 2. Tibnorin Seinäjoen Tuottajantien tuotantoyksikkö (Tibnor, i.a.).

Tuottajantien konekantaan kuuluu 7 polttoleikkauskonetta, 3 plasmaleikkauskonetta, 2 laserkonetta, 3 särmäyspuristinta, CNC-koneistuskeskus, säteisporakone, sinkopuhalluskone, mankeli, jälkiviistekone sekä oikaisukone.

Kuvassa 3 esitettyä Jalostajantien tuotantoyksikkö. Jalostajantien konekantaan kuuluu 6 plasmakonetta, 2 laserleikkauskonetta sekä 8 särmäyspuristinta.



Kuva 3. Tibnorin Seinäjoen Jalostajantien tuotantoyksikkö (Tibnor, i.a.).

## 2 TAIVUTTAMINEN

Ihalainen ym. (2003, s. 236) mukaan taivuttamisella tarkoitetaan levyaihion taivuttamista spesifiin kulmaan tai muotoon. Lepola ja Makkonen (2005, s. 300) toteavat, että kun halutaan pysyvää muodonmuutosta, täytyy materiaalin myötöraja ylittää, jotta materiaali jää taivuteltuun muotoon. Taivuttamisella tarkoitetaan teräslankojen, muototerästen ja levyjen taivutusta isolla säteellä. Särmäämisellä tarkoitetaan levymateriaalin muokkaamista pienellä taivutussäteellä. Tätä menetelmää voidaan käyttää periaatteessa kaikille levypaksuuksille särmäyspuristimen voimantuoton rajoissa.

### 2.1 Särmäys

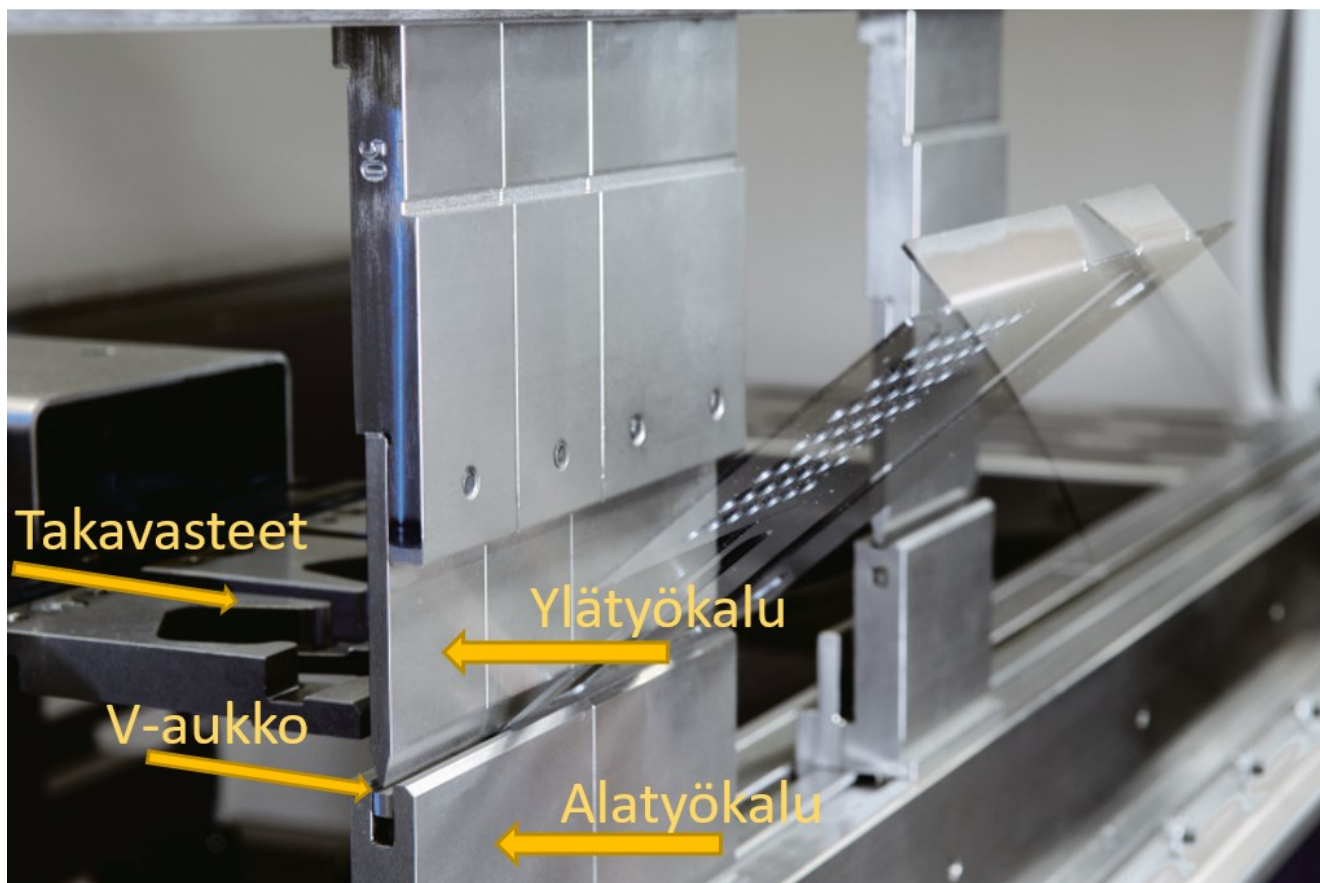
Särmäyspuristimella saadaan erilaisista metalleista valmistettu aihio taivutettua haluttuun muotoon ylä- ja alatyökalujen välissä (Lepola & Makkonen, 2005, s.301). Särmäämisellä saadaan lisättyä kappaleeseen jäykkyyttä, jonka johdosta ainevahvuutta pystytään pienentämään (mts. 300). Ainevahvuuden kasvaessa ja särmäyssäteen pienentyessä taivutuksen rajoittavaksi tekijäksi muodostuu särmäyspuristimen puristusvoima.

Särmäyspuristin on yksi suosituimmista ohutlevyjen taivuttamiseen käytetyistä koneista (Matilainen ym., 2010, s. 240). Särmäyspuristimen voimantuotto voidaan toteuttaa mekaanisesti, pneumaattisesti tai hydraulisesti, ja niiden puristusvoimantuotto vaihtelee 100–25 000 kN välillä. Hydraulisilla särmäyspuristimilla saadaan tuotettua näistä suurimmat puristusvoimat ja voima jakaantuu tasaisesti kappaleeseen. Pneumaattisesti toimivat koneet ovat näistä harvinaisimpia. Servomootoreilla toimivilla särmäyspuristimilla saadaan toteutettua tarkkoja ja nopeita puristusliikkeitä. Moderneissa särmäyspuristimissa puolestaan vasteita ja puristusvyvyttä pystytään ohjaamaan numeerisesti, mikä mahdollistaa särmäyksen toistotarkkuuden.

Särmäyspuristimien kartoitusta tehdessä ilmeni, että särmäyspuristimien leveydet vaihtelevat yhdestä metristä jopa 20 metriin, kun koneita laitetaan sarjaan (Ursviken Technology, i.a.). Lepolan ja Makkosen (2005, s. 309) mukaan särmäyspuristimen kriittisimmät työkalut ovat painin, vastin ja niiden kiinnittämisessä käytetyt lisälaitteet. Moderneissa särmäyspuristimissa yläpalkki tekee työliikkeen, kun taas vanhemmissa puristimissa työliikkeen teki



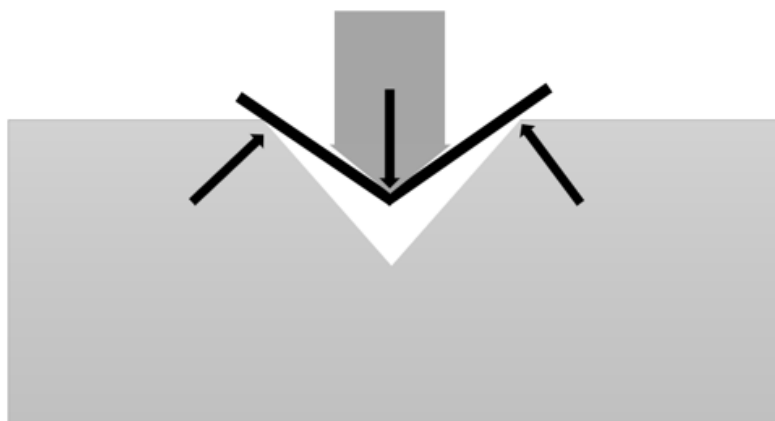
alapalkki. Paininta ja vastinta valittaessa täytyy ottaa huomioon suoritettavan työn vaatimukset, joita ovat muun muassa materiaalin laatu, särmättävä muoto ja levyn paksuus. Särämäyspuristimeen voidaan asentaa samanaikaisesti useampia työkalupareja, joilla saadaan pienennettyä asetusaikoja. Kuvassa 4 on esiteltyä särämäyspuristimen työkalut.



Kuva 4. Särämäyspuristimen työkalut (Commons.Wikimedia, 2006, i.a.).

## 2.2 Vapaataivutus

Särmäyspuristimella tehtävät taivutukset ovat pääpiirteittäin vapaataivutuksia (Matilainen ym., 2010, s. 241). Vapaataivutuksessa levyä taivutetaan kolmipistetaivutuksena alatyökälun v-aukon kulman ja ylätyökälun suhteen. Isku lopetetaan ennen kuin aihio osuu alatyökälun pohjaan. Taivutuksen kulma ei ole sidoksissa käytettäviin työkaluihin. Menetelmän etuna pidetään yksinkertaisia työkaluja ja menetelmän automatisoinnin helppoutta. Kuviossa 1 esitettynä vapaataivutuksen periaate.

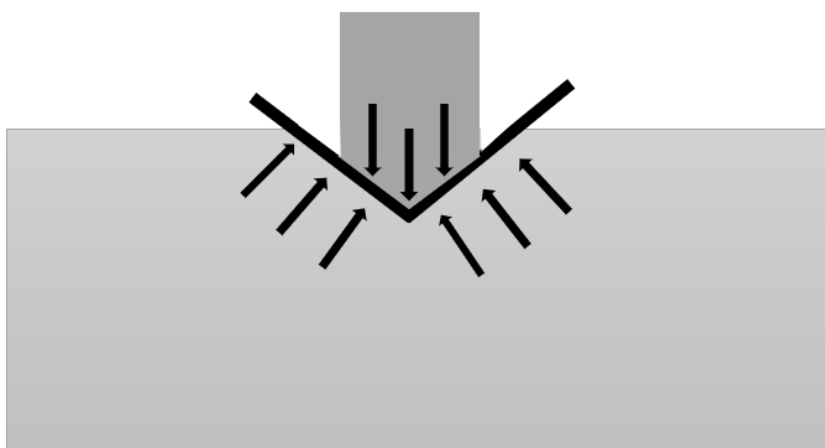


Kuvio 1. Vapaataivutuksen periaate (soveltaen Lepola & Mikkonen, 2005, s. 305).

## 2.3 Pohjaaniskutaivutus

Pohjaaniskutaivutus saa nimensä siitä, kun ylätyökälu painautuu täysin alatyökälua vasten (Matilainen ym., 2010, s. 241). Pohjaaniskutaivutuksessa aihio muotoutuu tarkasti ylä- ja alatyökälujen muotojen mukaisesti. Puristusvoiman tarve kasvaa peräti 3–5 kertaiseksi vapaataivutukseen nähden. Menetelmää käytettäessä levyyn saadaan pysyvä muodonmuutos, jolla saadaan poistettua takaisinjousto lähes täysin. Suurien voimien ja käytettävien työkalujen mittatarkkuuden takia menetelmää suositellaan vain alle 2 millimetrin paksuisille kappaleille (mts. 242). Kuviossa 2 on esiteltynä pohjaaniskutaivutuksen periaate.

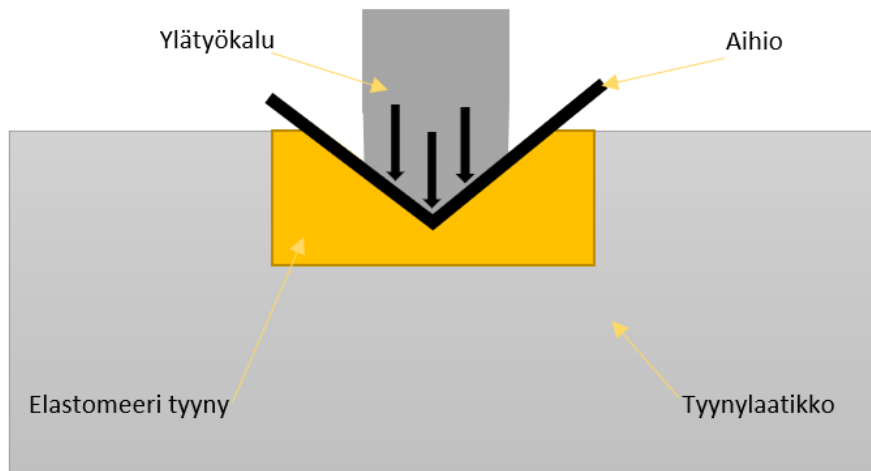




Kuvio 2. Pohjaaniskutaivutuksen periaate (soveltaen Lepola & Makkonen, 2005, 305).

## 2.4 Taivuttaminen elastista vastinta käyttämällä

Menetelmää käyttämällä pystytään valmistamaan erittäin vaikeitakin kappaleita (Matilainen ym. 2010, s. 242). Menetelmässä kappale muotoutuu särmän ylätyökalun muotoiseksi, kun elastinen vastin antaa periksi. Elastisen vastimen eli elastomeerin kovuus täytyy valita tarkasti, muuten työstettävän kappaleen pinnanlaatu kärsii. Liian kovaa vastinta käytettäessä puristusvoima kasvaa liian suureksi, kun taas liian pehmeä vastin kasvattaa iskunpituutta liian suureksi. Kuviossa 3 on esitetty elastisen vastimen periaate.



Kuvio 3. Taivuttaminen elastista vastinta käyttämällä (soveltaen Matilainen ym., 2010, s. 242).

Kolmesta edellä mainitusta menetelmästä elastomeeri sijoittuu tarkkuudeltaan toiseksi (Matilainen ym., 2010, s. 242). Menetelmän heikkouksina voidaan pitää epätarkkuutta yli kahden metrin taivutuksessa sekä silloin kuin puristusvoiman tarve on suurempi kuin vapaa-taivutuksessa. Puristusvoiman tarvetta voidaan kuitenkin pienentää rasvaamalla elastomeerityynyn pintoja tai käyttämällä leveämpää vastinta ja taivuttamalla pienemmällä pyöristyksellä.

## 2.5 Taivutuksen periaate

Matilaisen ym. (2010, s. 239) mukaan levyä taivutettaessa siihen kohdistuu jännitystä ja voimaa, jotka jaetaan kolmeen eri vaiheeseen:

1. Taivutuksen alkutilanne, jossa taivutus on ainoastaan elastista eikä myötörajaa ylitetä. Levy palautuu alkuperäiseen muotoonsa, jos taivutus lopetetaan.

2. Pintakerrosten plastinen muodonmuutos tapahtuu, kun materiaalin pintakerroksien myötöraja ylitetään ja levy muuttuu elastis-plastiseksi. Taivutusta lisätessä myös levyn sisäosissa tapahtuu myötölujuuden ylitystä ja levy muovautuu plastisesti sisustaa kohti. Kun kuormitusta vähennetään, levy pyrkii palautumaan alkuperäiseen muotoonsa. Levyyn on kuitenkin jäänyt pysyvä venymä, koska osa levyn osista on muuttanut muotoaan plastisesti.
3. Täysi plastinen muodonmuutos. Levyä taivutetaan lähes samansuuruiselle säteelle levyn paksuuden kanssa, jolloin levyn elastisten osien osuus vähenee entistä enemmän. Levyyn poikkileikkaukseen on tapahtunut lähes täysin plastinen muodonmuutos.

### 2.5.1 Kappaleen muodonmuutokset ja takaisinjousto

Taivutettaessa levyn pinnoilla tapahtuu muodonmuutoksia (Matilainen ym., 2010, s. 245). Taivutuksen kohdalla levyn ulkopinnassa tapahtuu venymistä ja sisäpinnalla tapahtuu tyyssäntymistä. Materiaalille tapahtuu ohenemista taivutuksen kohdalla sekä särmän reunat kokevat muodonmuutoksia. Materiaalissa tapahtuu pysyviä muodonmuutoksia, kun venymä ylittää materiaalin kimmorajan. Jos venymä ei kuitenkaan riitä ylittämään kimmorajaa, levy joustaa takaisin alkuperäiseen muotoonsa taivuttavien voimien lakattua vaikuttamasta. Tavallisesti muodonmuutoksessa tapahtuu osittain elastista ja osittain plastista muodonmuutosta. Kuitenkin niin, että muodonmuutoksen jäädessä liian vähäiseksi, takaisinjousto on välttämätöntä.

Taivutuksen neutraaliakselin ympärille on muovautunut elastisesti muokkautunut alue, joka pyrkii palautumaan alkuperäiseen muotoonsa (Lepola & Makkonen 2005, s. 304). Sitä kuitenkin estävät ulko- ja sisäpintojen plastiset muodonmuutokset. Materiaalin takaisinjousto on vähäisempää pienellä särmäyssäteellä kuin suurella, koska pienellä särmäyssäteellä plastisen muodonmuutoksen osuus on prosentuaalisesti suurempi kuin elastisella muodonmuutoksella. Takaisinjoustoon vaikuttavat useat tekijät, mutta voidaan todeta, että takaisinjousto on suurempaa ohuilla levyillä ja takaisinjousto kasvatavat särmäyssäteen suuruus ja korkea myötöraja. Takaisinjoustossa on myös materiaalikohtaisia eroja (Ihalainen ym., 2003, s. 237). Takaisinjousto on huomattavasti suurempaa ruostumattomalla teräksellä kuin normaalilla rakenneteräksellä.

Moderni automatisointi on lisännyt toleranssivaatimuksia valmistettaville ohutlevyille, joten takaisinjouston hallinta on entistä tärkeämpää (Matilainen ym., 2010, s. 247). Takaisinjousto ei aiheuta ongelmia valmistamisen näkökulmasta, mutta sen ennustaminen on vaikeaa. Takaisinjoustoon on kehitetty erilaisia taulukoita ja kaavoja eri materiaaleille ja levyypaksuuksille sekä taivutuskulmille, joilla päästään erittäin tarkkoihin tuloksiin, mikäli aihion mekaaniset ominaisuudet tunnetaan tarkasti. Aihoiden materiaaliikohtaiset erot (esimerkiksi myötölujuus) aiheuttavat vaikeuksia tarkkojen tulosten saamiseksi. Takaisinjoustokerroin  $K$  esittää takaisinjouston suuruutta, joka pystytään laskea kaavasta 1.

Takaisinjoustosuhde  $K$  määritetään kaavalla 1:

$$K = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}, \quad (1)$$

missä

$\alpha_1$  = taivutuskulma ennen takaisinjoustoja

$\alpha_2$  = taivutuskulma takaisinjouston jälkeen.

Takaisinjoustoja voidaan hallita koetaivutuksilla ja tietokonesimuloinneilla (Matilainen ym., 2010, s. 248). Modernit taivutusta simuloivat simulointiohjelmat ovat usein tarpeeksi tarkkoja. Takaisinjoustoja voidaan lisäksi hallita käyttämällä pohjaaniskutaivutusta, jossa takaisinjousto ei ole yhtä rajua.

### 2.5.2 Puristusvoima

Särmäyksessä tarvittavaa puristusvoimaa voidaan arvioida murtolujuuden avulla, kuitenkin arvion ollessa vain suuntaa antava (Matilainen ym., 2010, s. 252). Särmäyksessä käytettäviä taulukoita voidaan hyödyntää puristusvoiman arvon määrittämisessä, mutta parhaimman taivutustuloksen saavuttamiseksi täytyy hyödyntää niin kokemusta kuin teoreettista tietoa. Särmäyksen lopputulokseen vaikuttaa myös käytettävien työkalujen kunto. Erilaisen teräslajien taivuttamiseen tarvittava puristusvoima  $F$  saadaan määritettyä kaavasta 2.

Tarvittavaan puristusvoimaan vaikuttavat murtolujuus, levyn paksuus, taitoksen pituus ja käytettävän työkalun V-aukon leveys (mts. 252).

Tarvittava puristusvoima  $F$  määritetään kaavalla 2:

$$F = C \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{V}, \quad (2)$$

missä

$C$  = vakio (1,2 ... 1,5)

$R_m$  = levyn murtolujuus, N/mm<sup>2</sup>

$b$  = taitoksen pituus, mm

$s$  = levyn paksuus, mm

$V$  = V-aukon leveys, mm.

### 2.5.3 Materiaalin taivutettavuus

Tuotteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon materiaalin taivutettavuus, joka on riippuvainen monesta tekijästä (Matilainen ym., 2010, s. 254). Taivutettaessa on kiinnitettävä huomiota muun muassa voiman tarpeeseen, materiaalin taipumismurtumiseen, taivutussäteeseen sekä ulkonäköominaisuuksiin. Taivutettavan materiaalin ominaisuudet, kuten kimmoisuus, murtolujuus ja karkaisu tulee ottaa myös huomioon, jotta taivutuksen onnistumista pystyttäisiin arvioimaan laaja-alaisesti (mts. 256).

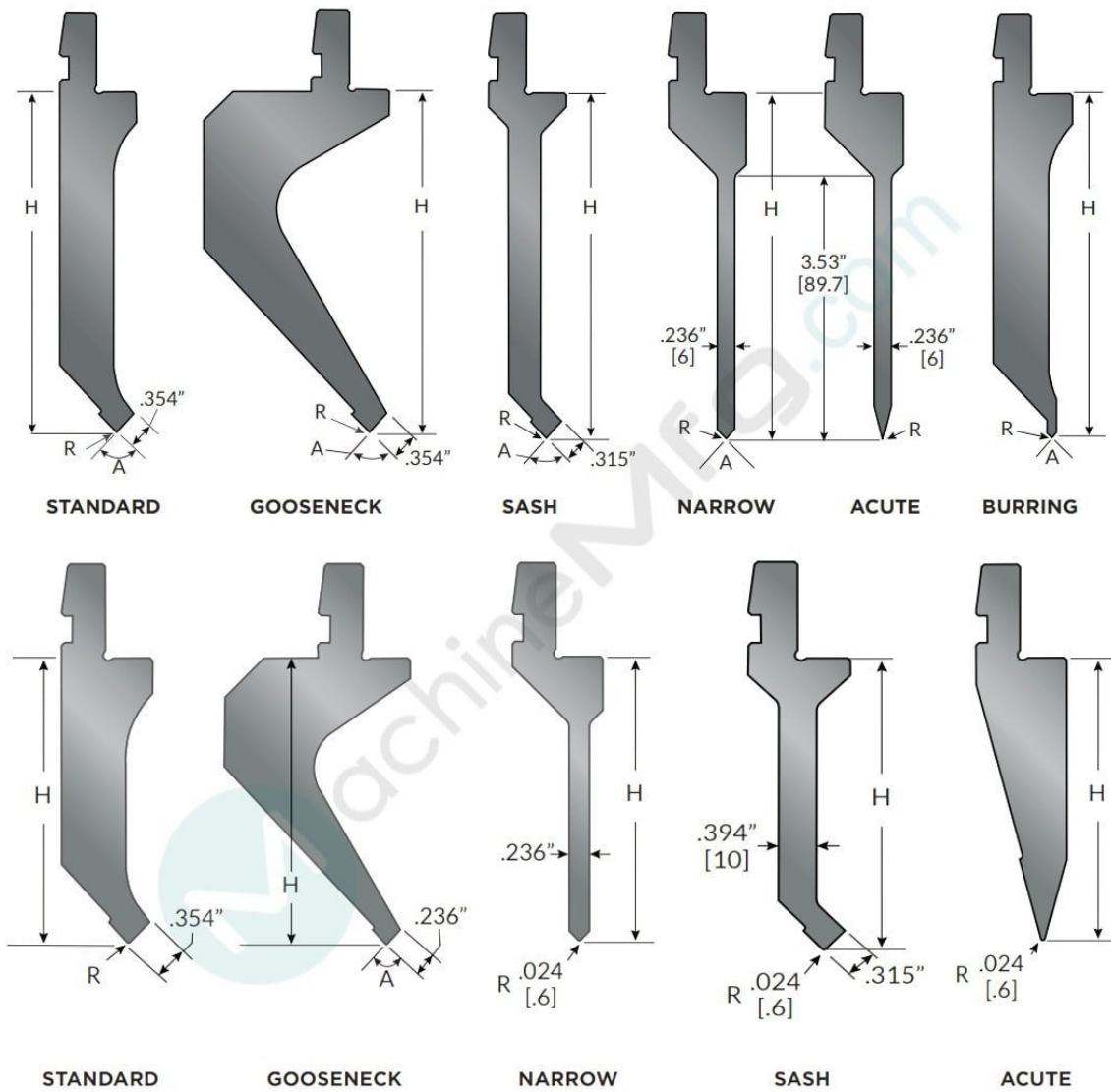
### 2.5.4 Taivutuksen tarkkuus

Levytuotteiden taivutuksilta vaaditaan tarkkuusvaatimuksia niin taivutuskohdalle kuin taivutuksen sijainnille (Matilainen ym., 2010, s. 253). Taivutuksella pystytään saavuttamaan vähintään ± 0,5 millimetrin tarkkuus, joka myös vaaditaan kaikilta taivutusta tekeviltä koneilta. Valmistustarkkuuteen vaikuttaa muun muassa materiaalin ominaisuudet, takaisinjousto,

valitut työkalut, kitka ja aihion mitat. Taivutuksen sijaintitarkkuuteen vaikuttaa aihion työstö- ja paikoitustarkkuus, vasteiden ja ohjaimien paikoitus- ja toistotarkkuus, käytetyt vastetyypit ja ohjaimet sekä valittu perusreuna ja sen suoruuus. Myös käytetyllä leikkausmenetelmällä on suuri vaikutus perusreunan suoruteen (mts. 254).

### **2.5.5 Työkalujen valinta**

Särmäyspuristimen työkalut valikoidaan toimimaan pareina (Lepola & Makkonen 2005, s. 310). Ohutlevytyöskentelyssä useimmiten ylätyökalun muodoksi valitaan joutsenkaula monipuolisuutensa takia. Sillä saadaan taivutettua levyä loivista kulmista aina 90 asteeseen saakka. Kun halutaan taivuttaa alle 90 asteen kulmia, työkaluksi valitaan teräväkärkinen ylätyökalu. Ylätyökalujen kärkiä on saatavilla eri taivutussäteillä, jolloin voidaan valita levynvahvuudelle sopiva kärki. Kuvassa 5 on esimerkkejä särmäyspuristimen ylätyökaluista. Alatyökalua valitessa tulee ottaa huomioon käytettävä ylätyökalu, materiaalin vahvuus ja laatu, aihion mitat sekä taivutustapa (vapaa- vai pohjataivutus). Alatyökaluja on saatavilla yksiuraisena ja nelitahoisena. Yksiura-alatyökalut soveltuvat parhaiten tilanteisiin, joissa aihioissa on perättäisiä ja erisuuntaisia särmäyksiä tai vaativien kappaleiden valmistukseen, sillä särmäykset voidaan sijoittaa lähekkäin. Nelitahoalatyökalu soveltuu hyvin yleiskäyttöön, kun valmistettava kappale on yksinkertainen valmistaa (mts. 310).



Kuva 5. Särmäyspuristimen ylätyökäluvaihtoehtoja (Machinemfg, i.a.).

### 3 LEVYTERIAALIT

Luvussa 3.1 ja sen alaluvuissa käydään läpi erilaisia levyteraaaleja, niiden ominaisuuksia sekä käyttökohteita.

#### 3.1 Teräs

Teräksien luokittelu voidaan toteuttaa monilla eri tavoilla (Koivisto ym., 2010, s. 128). Terästen ryhmittelyn perusteena voidaan käyttää esimerkiksi käyttötarkoitusta, kiderakennetyyppiä, pinnoitustyyppiä tai tuotteen muotoa. Järkevin ryhmittelyperuste olisi teräksen kemiallinen koostumus, mutta teräksen muut ominaisuudet ovat käyttäjälle niin tärkeitä, ettei sitä ole voitu käyttää standardisoinnin perusteena. Yleisin koostumuksen perusteella tehty ryhmittely on seuraava:

1. Seostamattomat rakenneteräkset
2. Niukka- ja runsasseosteiset rakenneteräkset
3. Seostamattomat ja seostetut työkaluteräkset.

Rakenneteräksiksi luokitellaan seokset, joiden hiilipitoisuus (C) on vähemmän kuin 0,6 % ja työkaluteräksiksi seokset, joiden hiilipitoisuus on enemmän kuin 0,6 % (mts. 129). Seoksen hiilipitoisuuden kasvaessa teräksen kovuus ja lujuus lisääntyvät (mts. 131). Taulukossa 1 on esitettyä terästen tyypillisiä hiilipitoisuuksia.



Taulukko 1. Esimerkkejä terästen tyyppillisistä hiilipitoisuksista (soveltaen Koivisto ym., 2010, s. 131).

Seostyyppi	Hiilipitoisuus
Austeniittinen ruostumaton teräs	n. 0,03 % C
Kylmävalssattu seostamaton ohutlevy	n. 0,05 % C
Hitsattava rakenneteräs	n. 0,14 % C
Hiiletysteräs kappaleen sisältä	n. 0,18 % C
Nuorrutettava akseliteräs	n. 0,40 % C
Ratakiskoteräs	n. 0,60 % C
Hiiletetyn kappaleen pintakerros	n. 0,80 % C
Kylmätyöstöteräs	n. 1,00 % C

Koiviston ym. (2010, s. 134) mukaan rakenneteräksille yhteisiä piirteitä ovat kohtalaisen pieni hiilipitoisuus (useimmiten 0,2–0,8 % C), seostamattomuus tai vähäinen seostus. Yleisessä rakenneteräskäytössä olevat teräslaadut ovat S235JR ja S355J2. Merkintä ”S” tarkoittaa rakenneterästä, numero-osa tarkoittaa materiaalin myötölujuuden minimiä, esimerkiksi 355 N/mm<sup>2</sup>, kun taas numero-osan jälkeiset merkit ilmaisevat iskutheyden minimiarvon ja iskukokeen suorituksen aikaisen lämpötilan. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty iskutheyden ja iskukokeen arvojen merkitykset, sekä taulukossa 3 on esitetty iskukokeen arvon määrittelyn arvot:

Taulukko 2. Iskutheyden arvon määrittely (soveltaen Koivisto ym., 2010, s. 134).

Arvo	Iskutheys vähintään
J	27
K	40
L	60

Taulukko 3. Iskukokeen arvon määrittely (soveltaen Koivisto ym., 2010, s. 134).

Arvo	Iskukokeen lämpötila
R	+20 °C
0	0 °C
2	-20 °C
3	-30 °C
4	-40 °C
5	-50 °C
6	-60 °C

### 3.1.1 Teräsohutlevyt

Teräsohutlevy voi olla pintakerrokseltaan joko pinnoitettu tai pinnoittamaton ja sen ainevahvuus on useimmiten maksimissaan 3 millimetriä (Matilainen ym. 2010, s. 7). Teräsohutlevyjen valmistustapoja ovat kylmä- ja kuumavalssaus, joilla saadaan levyille erilaisia ominaisuuksia. Kylmävalssauksella saadaan levyille hyvä mittatarkkuus ja pinnanlaatu, jotka ovat usein korkealaatuisempia kuin kuumavalssatulla levyllä. Kuumavalssatun levyn pinnanlaatua voidaan parantaa esimerkiksi jälkivalssauksella tai peittauksella. Teräsohutlevyt voidaan luokitella muovattaviin teräksiin, rakenneteräksiin ja lujiin muovattaviin teräksiin, sekä erittäin lujiin muovattaviin teräksiin.

Seostamattomien ohutlevyterästen lajitunnukset määrittää standardi SFS-EN 10130, jonka mukaan ohutlevyteräslaadut määritetään tunnuksin DC01-DC07 (Koivisto ym., 2010, s. 137). Kylmämuovattavuutta kuvaa tunnus "D", kun taas tunnus "C" indikoi valmistustapaa eli kylmävalssausta. Lopun numero-osa puolestaan ilmaisee levyn muovattavuutta.

Terästunnus DC01 soveltuu rullamuovaukseen, taivutukseen ja suppeaan venytysmuovaukseen (Matilainen ym., 2010, s. 8). DC03 soveltuu normaaliin syvävetoon ja vaativaan venytysmuovaukseen, DC06 ja DC07 puolestaan soveltuvat haastavimpiin syvävetoihin ja venytysmuovauksiin.

### 3.1.2 Kulumista kestävät teräkset

Kulutusteräksen tulee kestää monentyyppistä kulutusta, joista voidaan mainita esimerkiksi hiova, iskevä ja jauhava kuluminen, sekä väsymisen tai korroosion edistämä kuluminen (Koivisto ym., 2010, s. 142). Kulumiskestävyys yhdistetään usein aineenkoetuksessa mitattuun kovuuteen. Kulutusterässeokset sisältävät kromia ja booria sekä ne sisältävät vähän hiiltä, koska niiltä vaaditaan hyvää hitsattavuutta. Esimerkiksi SSAB:n valmistamassa RAEX 400 -levyssä oleva numeroarvo kertoo Brinell-kovuustestistä saadun kovuuden arvon. Kulutusteräksiä käytetään muun muassa kuormauskauhoissa, panssarilevyissä, kuorma-autonlavojen päällysteissä sekä tiehöylänterissä.

## 3.2 Ruostumaton teräs

Ruostumattomaksi teräkseksi luokitellaan seokset, joiden kromipitoisuus on vähintään 10,5 % (Matilainen ym., 2010, s. 28). Ruostumattoman teräksen korroosionkestävyys perustuu teräksen pintakerroksissa olevaan kromioksidikerrokseen. Ruostumattomaan teräkseen saadaan austeniittinen mikrorakenne lisäämällä seokseen nikkeliä ja austeniittis-ferriittinen kaksoisrakenne lisäämällä seokseen suotuisa määrä nikkeliä ja kromia.

Ruostumattomassa teräksessä käytetään seosaineena kromin lisäksi myös nikkeliä, typpeä ja molybdeeniä (Koivisto ym., 2010, s. 144). Nikkelillä saadaan parannettua teräksen sitkeyttä ja muovattavuutta, kun taas typellä ja molybdeenillä saadaan parannettua korroosionkestävyyttä. Ruostumattomat teräkset voidaan jakaa mikrorakenteen mukaan neljään eri pääryhmään:

1. austeniittiset
2. ferriittiset
3. austeniittis-ferriittiset (duplex)
4. martensiittiset.

### 3.2.1 Austeniittiset ruostumattomat teräkset

Ruostumattomista teräksistä käytetään eniten austeniittisen mikrorakenteen omaavaa teräslajia, joka omaa erinomaisen sitkeyden, kohtalaisen lujuuden ja hyvän hitsattavuuden

(Koivisto ym., 2010, s. 145). Austeniittisiä teräksiä voidaan hitsata melkein kaikilla hitsausmenetelmillä, mutta niillä on noin 1,5-kertainen lämpölaajeneminen verrattuna tavallisiin hiiliteräksiin, joka tulee ottaa hitsatessa huomioon. Kun austeniittiselle teräkselle tehdään lastuavaa työstöä, tulee käyttää teräviä työkaluja, voimakasta jäähdytystä sekä suurta syöttönopeutta.

Tavallisesti austeniittiset ruostumattomat teräkset sisältävät 7 % nikkeliä ja vähintään 17 % kromia (Koivisto ym., 2010, s. 146). Eniten käytetty austeniittinen ruostumaton teräs 1.4301 (nimike X5CrNi18-10) (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2014, s. 12) sisältää 18 % kromia ja 8 % nikkeliä (Koivisto ym., 2010, s. 146). Mikäli teräksestä halutaan haponkestävää, voidaan seokseen lisätä 2–3 % molybdeenia, jolloin saadaan esimerkiksi teräslajit 1.4401 ja 1.4432.

Taulukkoon 4 on koottu esimerkkejä teräslajien kemiallisista koostumuksista ja mekaanisista ominaisuuksista standardia SFS-EN 10088-2 mukailleen.

Taulukko 4. Esimerkkejä teräslajien kemiallisista koostumuksista ja mekaanisista ominaisuuksista (soveltaen SFS-EN 10088-2, 2014, s. 22–33, s. 40–64).

Teräslaji	Kemiallinen koostumus, %					Tuotemuoto	min Rp0.2, N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> , N/mm <sup>2</sup>	Mikrorakenne
	C	Cr	Ni	Mo	Muut				
1.4301	0,07	17,5-19,5	8,0-10,5	-	-	H	210	520-720	Austeniittinen
1.4401	0,07	16,5-18,5	10,0-13,0	2,0-2,5	-	H	220	530-680	Austeniittinen
1.4432	0,03	16,5-18,5	10,5-13,0	2,5-3,0	-	H	220	550-700	Austeniittinen
1.4510	0,05	16,0-18,0	-	-	-	H	230	420-600	Ferriittinen
1.4003	0,03	10,5-12,5	0,3-1,0	-	-	H	280	450-650	Ferriittinen
1.4512	0,03	10,5-12,5	-	-	-	H	210	380-560	Ferriittinen
1.4462	0,03	21,0-23,0	4,5-6,5	2,5-3,5	-	H	460	700-950	Duplex

### 3.2.2 Ferriittiset ruostumattomat teräkset

Ferriittiset ruostumattomat teräkset ovat usein fysikaalisilta ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan lähellä tavallisia hiiliteräksiä, mutta niiden korroosionkestävyys on parempi (Koivisto ym., 2010, s. 147). Yleisimmin käytetty ferriittinen teräslaji on 1.4510, ja se sisältää 17 % kromia. Tätä terästä käytetään pesukoneiden rummuissa, lämminvesivaraajissa sekä kotitaloustarvikkeissa. Mikäli ferriittisen teräksen korroosionkestävyyttä halutaan entisestään parantaa, voidaan seokseen lisätä molybdeeniä. Näitä kutsutaan ”superferriiteiksi”. Lisäämällä seokseen vain 12 % kromia saadaan terästen ryhmä, jolla on hyvät

hitsattavuusominaisuudet. Esimerkkejä tästä ryhmästä ovat 1.4003- ja 1.4512-teräslajit. Teräslajia 1.4003 käytetään hitsattavuutensa takia muun muassa kuljetusvälineiden rakenteissa ja rakentamisessa, kun taas 1.4512 terästä käytetään autojen pakoputkissa.

### 3.2.3 Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset

Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset tunnetaan nimellä ”duplex” kahden eri mikro-rakenteensa takia (Koivisto ym., 2010, s. 147). Niiden käyttö on yleistynyt muun muassa kemia- ja paperiteollisuudessa sekä öljynjalostus- ja laivanrakennusteollisuudessa. Duplexit ovat ominaisuuksiltaan korroosionkestäviä, sitkeitä ja niillä on hyvä hitsattavuus. Duplex-teräkset jaetaan neljään eri pääryhmään: matala-, keski- ja runsasseosteiset sekä ”superduplexit”. Keskiseosteisista teräksistä käytetyin teräslaji on 1.4462.

## 3.3 Alumiini

Nykypäivänä alumiini on yksi käytetyimmistä metalleista keveytensä ja lujuutensa ansiosta (Huhtaniemi, 2006, s. 8). Sen tiheys on noin kolmasosa raudan ja kuparin tiheydestä. Alumiiniseosten murtolujuus ( $R_m$ ) vaihtelee välillä 70–700 MPa. Alumiinin korroosionkestävyys on erittäin hyvä, minkä takia sitä käytetään usein teräksen tilalla (Matilainen ym., 2010, s. 60). Sen korroosionkestävyys perustuu kemialliseen reaktioon hapen kanssa, joka muodostaa ohuen hapettuneen kerroksen alumiinin pinnalle, jolloin oksidikerros suojaa alempia kerroksia hapettumiselta.

Seostamalla alumiinia erilaisten seosaineiden kanssa saadaan sille halutut ominaisuudet (Matilainen ym., 2010, s. 60). Alumiinin seosten lujuudet vaihtelevat erittäin pehmeästä erittäin lujiin seoksiin. Sen sitkeysominaisuudet säilyvät alhaisissakin lämpötiloissa. Alumiinista saadaan muovautuvuutensa ansiosta valmistettua laaja skaala erilaisia tuotteita, folioista pursotettuihin tuotteisiin. Sitä voidaan työstää poraamalla, jyrsimällä sekä sorvaamalla. Alumiinin liittämiseen käytettyjä tekniikoita ovat muun muassa hitsaus, niittaus ja liimaus. Alumiini on taloudellinen valmistaa, koska se on helposti kierrätettävissä verrattuna muihin käyttömatalleihin.

Taulukossa 5 on esitetty alumiiniseosten sarjat ja niiden pääseosaineet. Alumiiniseokset voidaan ryhmitellä pääseosaineiden mukaan seuraavasti:

Taulukko 5. Alumiiniseokset ryhmiteltynä pääseosaineen mukaan (soveltaen Koivisto ym. 2010, s. 168).

Seosaine	Sarja
kupari	2000-sarja
mangaani	3000-sarja
pii	4000-sarja
magnesium	5000-sarja
magnesium ja pii	6000-sarja
sinkki	7000-sarja
muut seosaineet	8000-sarja

### 3.3.1 1000-sarja

1000-sarjaan kuuluu pääosin seostamattomat alumiinit, jotka ovat ominaisuuksiltaan pehmeitä, hyvin muovautuvia ja niillä on hyvä sähkönjohtokyky (Koivisto ym., 2010, s. 169). Eniten käytetty seos on puhtausasteeltaan 99,5 % (EN AW-1050A, EN AW-AI 99,5). Tyypillisiä käyttökohteita ovat muun muassa foliot ja pakkaukset, sähkönjohtimet ja muotoprofiilit.

### 3.3.2 2000-sarja

2000-sarjan seoksia kutsutaan duralumiineiksi, siis duraaleiksi (Koivisto ym., 2010, s. 169). Kuparin lisäksi seosaineena niissä käytetään yleisesti magnesiumia, piitä ja mangaania. Seokset ovat ominaisuuksiltaan erittäin lujia ( $R_m > 400 \text{ N/mm}^2$ ) ja erkautuskarkenevia. Seosten huonona puolena voidaan pitää niiden huonoa korroosionkestävyyttä ja hitsattavuutta. Seoksista tehtyjen levyjen korroosionkestävyyttä saadaan parannettua valssaamalla ohut kerros puhdasta alumiinia levyn pinnalle. Seosten huonon hitsattavuuden takia parempana liitostapana pidetään liimausta ja niittausta. Seoksia käytetään lujutensa takia muun muassa koneenrakentamisessa esimerkiksi lentokoneenrakennuksessa. Suomessa yleisimmin käytetty seos on EN AW-2017A (EN AW-AICu4MgSi(A)).

### 3.3.3 3000-sarja

3000-sarjan yleisimmin käytetty seos sisältää 1 % mangaania, josta esimerkkinä EN AW-3103 (EN AW-ALMn1) (Koivisto ym., 2010, s. 169). Lisäämällä mangaania seokseen saadaan parannettua alumiinin lujuutta ilman, että korroosionkestävyys kärsii. Joissakin tilanteissa mangaani on vaikuttanut haitallisesti seoksen korroosionkestävyyteen sidottuaan alumiinissa olevan raudan ja piin. 3000-sarjaa käytetään muun muassa rakennusteollisuuden poimulevyissä ja julkisivuelementeissä ja kuljetuskonttien peitelevyinä.

### 3.3.4 5000-sarja

5000-sarjan alumiiniseoksia kutsutaan merialumiineiksi erinomaisen korroosionkestävyyden sekä hitsattavuuden ansiosta (Koivisto ym., 2010, s. 170). Tästä syystä niitä käytetään paljon laivojen ja veneiden hitsattavissa rakenteissa. 5000-sarjan Al-Mg-seosten magnesiumpitoisuudet vaihtelevat 0.5–5.5 % välillä. Seoksen lujuutta saadaan parannettua lisäämällä magnesiumpitoisuutta, mutta haittapuolena sen muovattavuus heikkenee. Lujuusominaisuuksia saadaan parannettua myös lisäämällä pieni määrä mangaania tai kromia. Seosten kylmänkestävyyden ansiosta ne soveltuvat jopa -200 °C lämpötiloihin asti, koska lämpötilan pudotessa seosten sitkeys säilyy.

### 3.3.5 6000-sarja

6000-sarjan seoksia käytetään paljon pursotetuissa tuotteissa, jopa yli 80 % valmistetuista tuotteista (Matilainen ym., 2010, s. 62). Seoksen pii- ja magnesiumpitoisuuksien ansiosta pursotetuissa kappaleissa on hyvä pinnanlaatu sekä hyvät muovausominaisuudet. Näiden lisäksi 6000-sarjan seoksilla on hyvä sitkeys, lujuus sekä väsymislujuus. Seoksilla on myös hyvä hitsattavuus ja anodisoitavuus. Niitä käytetään paljon rakennusten ikkuna-, ovi- ja julkisivurakenteissa sekä tikkaissa ja auton osissa.

Al-Mg-Si-seoksista saadaan lujia erkautuskarkaisulla ( $R_m$  noin 300 N/mm<sup>2</sup>) (Koivisto ym., 2010, s. 170). Seoksissa käytetään paljon lisäaineena lyijyä, kuparia ja mangaania. Lyijyä lisäämällä saavutetaan erinomaiset lastuavuusominaisuudet. Käytetyin 6000-sarjan

pursotusmateriaali on EN AW-6060 (EN AW- $\text{AlMgSi}$ ), jonka murtolujuus ( $R_m$ ) on noin 220 N/mm<sup>2</sup>.

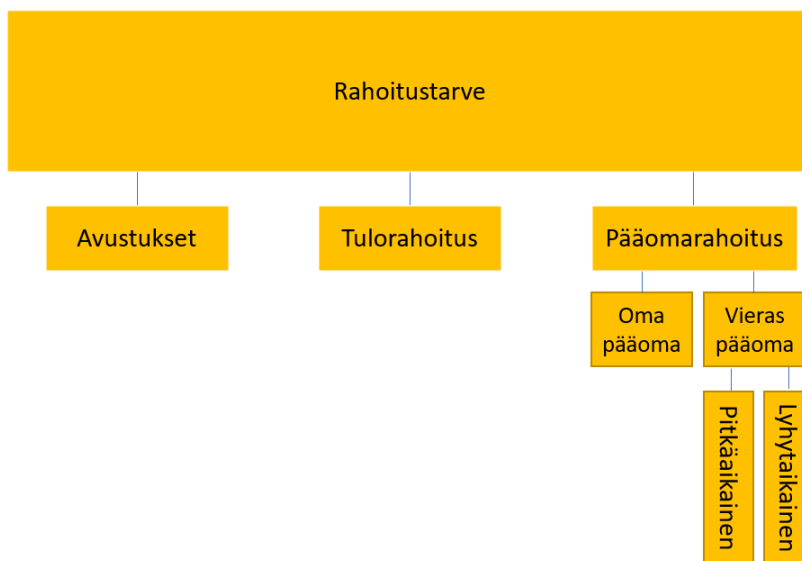
### 3.3.6 7000-sarja

7000-sarjan Al-Zn-seoksissa toimii seosaineena magnesium, jolloin seos saadaan, erkautuskarkaisulla todella lujaksi, murtolujuuden ollessa yli 300 N/mm<sup>2</sup> (Koivisto ym., 2010, s. 170). Seoksen korroosionkestävyys ja hitsattavuus on saatu erinomaiseksi, joten hitsausseura on melkein yhtä luja kuin perusmetalli jäähtymisnopeutensa ansiosta. 7000-sarjan alumiiniseokset soveltuvat erinomaisesti käyttökohteisiin, joissa vaaditaan kovaa rasituksen kestävyttä, kuten kuljetuskonteissa ja koneiden osissa. Näihin soveltuva alumiiniseos on esimerkiksi EN AW-7020. Kun seokseen lisätään 1–2 % kuparia, seoksesta saadaan lujimpia saatavilla olevia alumiiniseoksia. Lämpökäsitellyillä pursotusprofileilla vetomurtolujuus voi yltää jopa 750 N/mm<sup>2</sup>.



## 4 INVESTOINTILASKELMAT

Investointipäätöksiä tehtäessä on kysymys esimerkiksi uuden koneen tai laitteen hankinnasta, yrityskaupoista tai uusien työntekijöiden palkkauksesta (Karjalainen, 2005, s. 102). Harkitun investoinnin kannattavuus on pystyttävä määrittämään mahdollisimman todenmukaisesti. Tavoitteena on löytää vastaus kysymyksiin kuten ”kannattaako investointi?” tai ”mikä investointilaskelmien menetelmä soveltuu tilanteeseen parhaiten?”. Toisaalta päätöksen kriteerinä ei ole aina investoinnin kannattavuus, mutta silti rahoituslaskelmat ovat välttämättömiä. Kuviossa 4 on esitettyä investoinnin rahoitusvaihtoehtoja, jotka jakautuvat avustuksiin, tulorahoitukseen ja pääomarahoitukseen, joista viimeisin jakautuu edelleen omaan pääomaan ja vieraaseen pääomaan. Vieraan pääoman rahoitukselle voi saada joko lyhytaikaista tai pitkäaikaista rahoitusta.



Kuvio 4. Investoinnin rahoitusvaihtoehdot. (soveltaen Neilimo, Uusi-Rauva, 2005, s. 209).

Investoinnin kannattavuuden laskemiseen käytettyjä laskentamenetelmiä ovat nykyarvomenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä, annuiteettimenetelmä, pääoman tuottoastemenetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 213).

Nykyarvo-, annuiteetti- ja sisäisen korkokannan menetelmiä nimetään peruslaskentamenetelmiksi. Vastaavasti pääoman tuottoastemenetelmää ja takaisinmaksuajan menetelmää kutsutaan yksinkertaistetuiksi menetelmiksi (mts. 214).

Yleisimmin käytettyjä laskentamenetelmiä ovat sisäisen korkokannan ja takaisinmaksuajan menetelmät, joita käytetään täydentämään toisiaan (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 224). Sisäinen korkokannan menetelmä korostaa investoinnin kannattavuutta ja takaisinmaksuajan menetelmä rahoitusvaikutuksia.

Investoinneilla on erilaisia tuotto- ja kiireellisyysvaatimuksia, joiden mukaan ne voidaan jakaa ryhmiin (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 210). Numeraaliset arvot ovat kuitenkin vain indikaatiivisia, joten yrityksen tulee toimia harkinnanvaraisesti. Investoinnit voidaan jaotella esimerkiksi seuraavasti:

1. Ei tuottovaatimusta. Lakiin ja viranomaismääräyksiin perustuvat investoinnit, kuten ympäristö- ja työsuojeluinvestoinnit
2. 6 %, Markkina-aseman turvaaminen investoimalla
3. 10–12 %, Koneiden ja laitteiden uusinta ja peruskorjaukset
4. 15 %, Kustannuksien alentaminen investoimalla
5. 20 %, Tuottojen lisääminen investoimalla
6. 25 %, Uusien markkina-alueiden valtaaminen tai uusien tuotteiden aikaansaaminen huomattavan riskialaisin investoinnein.

#### **4.1 Laskentakorkokanta**

Laskentakorkokannalla tarkoitetaan korvausta rahan lainaamisesta, jota velkoja saa myöntämästään luotosta (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 216). Investointi voidaan rahoittaa osittain omalla ja osittain vieraalla pääomalla tai vastaavasti kokonaan omalla pääomalla. Kannattavuusvertailun tekemiseksi tarvitaan laskentakorkokantaa ( $i$ ), jota usein pidetään minimituottovaatimuksena, jonka investointihyödykkeen tulee tuottaa. Rahan ollessa pitkään sijoitettuna hyödykkeeseen, korolla pystytään kuvaamaan rahan arvo tietyn ajanjakson kuluttua.

## 4.2 Investoinnin pitoaika

Investoinnin pitoajalla ( $n$ ) tarkoitetaan koneen tai laitteen taloudellista käyttöaikaa yrityksessä. Pitoaika on riippuvainen ulkoisista ja yrityksen sisäisistä seikoista (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 217). Pitoajalla tarkoitetaan muun muassa koneen fyysistä ikää, jonka ajan se on käyttökuntoinen alkuperäisessä tarkoituksessaan. Koneen käyttöikä voidaan teknisesti jatkaa loputtomiin tarpeellisilla korjauksilla ja päivityksillä. Pitoaikaa tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon ajanjakso, milloin markkinoille tulee parempia koneita, joilla pystytään työskentelemään tehokkaammin. Investoidessa kannattaa ottaa huomioon, että investointikohteilla saattaa olla erimittaiset pitoajat.

## 4.3 Jäännösarvo

Investointikohteen jäännösarvolla tarkoitetaan myyntituloa, joka on investoinnin arvo pitoajan lopussa (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 218). Konkreettista myyntituloa on pitkän ajanjakson päättyessä kuitenkin vaikea arvioida. Jäännösarvon vaikutus on usein suhteellisen pieni investoinnin kannattavuuteen, joten se huomioidaan harvoin teollisuuslaitoksen investointilaskelmissa. Toisaalta joillakin hyödykkeillä, kuten työkoneilla ja ajoneuvoilla on olemassa käytettyjen hyödykkeiden markkinat. Yhtäältä investoinnin jäännösarvo voi myös jäädä negatiiviseksi, jolloin yrityksen tulee itse maksaa päästäkseen hyödykkeestä eroon.

## 4.4 Annuiteettimenetelmä

Neilimon ja Uusi-Rauvan (2005, s. 220) mukaan annuiteettimenetelmä on nykyarvomene-  
telmän käännteinen muoto. Annuiteettimenetelmässä investoinnin hankintakustannukset jae-  
taan pitoajan jokaiselle vuodelle valitun korkokannan mukaan tasaeriksi eli annuiteeteiksi.  
Mikäli vuotuinen tuloannuiteetti on suurempi kuin menoannuiteetti, on investointi taloudelli-  
sesti kannattava. Annuiteettia laskettaessa hankintakulut kerrotaan annuiteettitekijällä.

Annuiteetti eli tasaerä määritetään kaavalla 3 (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 220):

$$m = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} * k, \quad (3)$$

missä

$m$  = annuiteetti

$n$  = maksujen määrä

$k$  = pääoman arvo

$i$  = tuottovaatimus (laskentakorkokanta).

Annuiteettitekijälle löytyy valmiita taulukoita, joissa on valmiit arvot eri pitoajoille ja laskentakorkokannoille (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 220). Jos investoinnilla on jäännösarvoa, sen diskonttaamalla saatu nykyarvo on vähennettävä hankintamenoista ennen annuiteetin laskemista (mts. 221).

#### 4.5 Sisäisen korkokannan menetelmä

Laskettaessa sisäisen korkokannan menetelmällä, investoinnin nettonykyarvoksi saadaan nolla eli investoinnin laskentakorkokantaa käyttäen investoinnista saatujen nettotuottojen nykyarvo määräytyy yhtä suureksi kuin investoinnin hankintameno (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 221). Edullisimmaksi vaihtoehdoksi valikoituu se, jonka korkokanta on suurin. Menetelmä kertoo sijoitetun pääoman tuoton prosentteina. Mikäli korkokanta on vähintään halutun pääoman tuottoprosentin suuruinen, investointia voidaan pitää kannattavana.

Sisäinen korkokanta saadaan ratkaisemalla  $i$  yhtälöstä 4 (Martikainen & Vaihekoski, 2015, s. 106):

$$k * \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} + \frac{j}{(1+i)^n} = h, \quad (4)$$

missä

$k$  = vuotuinen nettotuotto

j = jäännösarvo

h = hankintakustannus

i = sisäinen korkokanta

n = jaksojen määrä.

#### 4.6 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä investoinnista johtuvat tuotot ja kustannukset diskontataan eli palautetaan laskentakorkokannan mukaisesti nykyhetkeen (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 218). Mikäli nettotulojen ja jäännösarvon nykyarvojen summa on suurempi kuin investoinnin hankintakustannus, katsotaan investoinnin olevan kannattava yritykselle (mts. 219). Jos laskentakorkokanta jätettäisiin hyödyntämättä, olisi investointi kannattava, jos nettotuottojen summa olisi vähintään hankintakustannusten suuruinen. Tällöin ei kuitenkaan syntyisi haluttua tuottoa sijoitetulle pääomalle (mts. 218).

Nettotuottojen nykyarvo määritetään kaavalla 5 (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 220):

$$k * \frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n}, \quad (5)$$

missä

k = vuotuinen nettotuotto

n = maksujen määrä

i = tuottovaatimus (laskentakorkokanta).

Jäännösarvon nykyarvo määritetään kaavalla 6 (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 218):

$$\frac{j}{(1+i)^n}, \quad (6)$$

missä

$j$  = jäännösarvo

$n$  = maksujen määrä

$i$  = tuottovaatimus (laskentakorkokanta).

Nettotuottojen ja jäännösarvon nykyarvo määritetään kaavalla 7 (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 220):

$$k * \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} + \frac{j}{(1+i)^n}, \quad (7)$$

missä

$k$  = vuotuinen nettotuotto

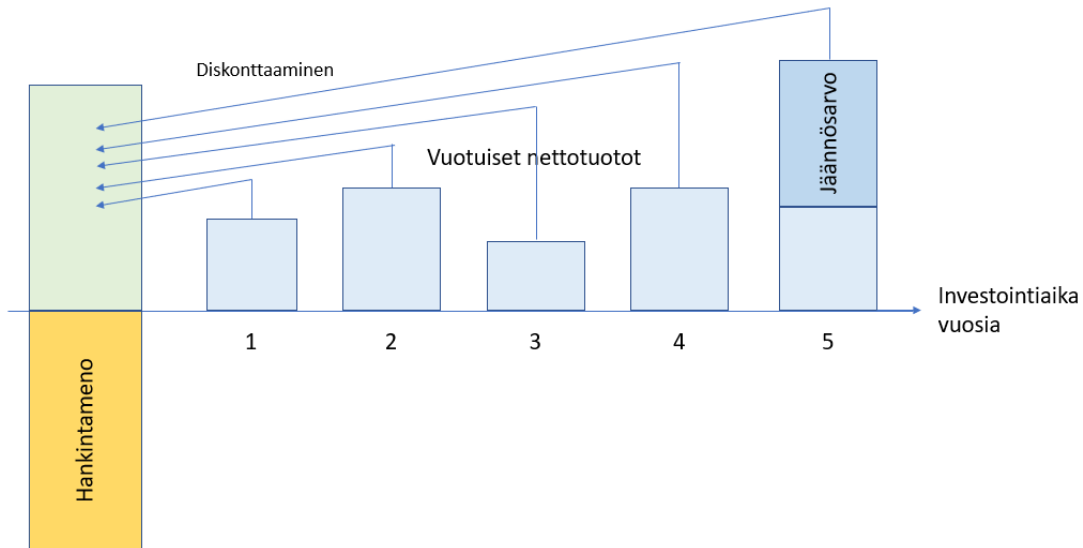
$j$  = jäännösarvo

$n$  = maksujen määrä

$i$  = tuottovaatimus (laskentakorkokanta).

Nettotuottojen ja jäännösarvon nykyarvo saadaan laskettua kaavalla 7, johon on saatavilla laskentaa helpottavia nykyarvotekijän taulukoita. Taulukoissa on valmiit arvot eri suuruisille laskentakoroille ja pituisille pitoajoille. Nykyarvomenetelmän mukaan nettonykyarvon ollessa positiivinen investointi on kannattava (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 220).

Neilimon ja Uusi-Rauvan (2005, s. 216) mukaan diskonttaus on korkolaskennalle käänteinen tapahtuma. Diskonttaamisen helpottamiseksi on luotu valmiita taulukoita, joissa on diskonttaustekijälle arvot eri laskentakorkokannoille ja eri mittaisille pitoajoille. Kuviossa 5 on esitettyä diskonttaamisen periaate. Vuotuiset nettotuotot ja kustannukset palautetaan laskentakorkokannan mukaisesti investointihetkeen.



Kuvio 5. Diskonttaaminen (soveltaen Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 219).

Diskonttaustekijä määritetään kaavalla 8 (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 364):

$$D = \frac{1}{(1+i)^n}, \quad (8)$$

missä

D = diskonttaustekijä

i = tuottovaatimus (laskentakorkokanta)

n = maksujen määrä.

#### 4.7 Korottoman takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmän mukaan, mitä lyhyempi takaisinmaksuaika investoinnilla on, sitä edullisempänä investointia voidaan pitää (Martikainen & Vaihekoski, 2015, s. 110). Menetelmän haittapuolena voidaan pitää sitä, ettei se huomioi takaisinmaksuajan jälkeisiä nettotuloja, joilla on vaikutusta investoinnin kannattavuuteen. Menetelmä jättää myös huomiotta rahan aika-arvon ja siinä tapahtuvan muutoksen.

Menetelmää käyttämällä saadaan selville ajanjakso, minkä kuluessa investoinnin yhteenlasketut nettotuotot kasvavat suuremmiksi kuin hankintakustannus (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 223). Jos laskentakorko jätetään huomioimatta ja vuotuinen nettotuotto pysyy muuttumattomana, saadaan takaisinmaksuaika määritettyä kaavasta 9:

$$\text{takaisinmaksuaika} = \frac{\text{hankintakustannus}}{\text{vuotuinen nettotuotto}} \quad (9)$$

Vuotuisten nettotuottojen poiketessaan toisistaan, pitää selvittää, monenko vuoden nettotuotot vaaditaan, jotta niiden summa ylittää hankintakustannuksen. Takaisinmaksuajan menetelmä on yleisessä käytössä yritysten keskuudessa laskennallisen helppoutensa vuoksi. Menetelmän haittapuolena on, ettei siinä huomioida laskentakorkoa, mutta tarvittaessa se voidaan ottaa huomioon hyödyntämällä diskonttaustekijää. Tällöin vuotuiset nettotuotot täytyy ensin diskontata investoinnin ajankohtaan. Tässä tapauksessa lasketaan, monenko vuoden diskontatut vuosituotot tarvitaan, että niiden summa ylittää hankintakustannuksen.

Investointikartoitusta tehdessä ilmeni, kuinka monipuolinen ohjelmisto Microsoft Excel on investointien kannattavuuksien laskennassa. Jokaiselle investointilaskelmanmenetelmälle on Excelissä oma laskentakaava, jota käyttäen haluttu tunnusluku on helppo laskea.



## 5 RAAKADATAN PURKAMINEN

Raakadatan analysointi alkoi toimeksiantajan toimittaman datan purkamisella. Asiakasyritys käyttää toiminnanohjauksessaan SAP-järjestelmää ja tuotannonohjauksessa Nestix-järjestelmää. Työssä tutkitaan vuoden 2021 asiakastilauksia, joiden työvaiheketju sisältää särmäyksen. Tuodessa raakadataa SAP-toiminnanohjausjärjestelmästä saadaan kaikki asiakastilauksiin liittyvä data Microsoft Excel-muodossa, josta suodatettiin tutkimuksen kannalta olennainen tieto. Särmäyksessä käytettyjen työkalujen taivutussäteet (R eli säde) on jaettu viiteen ryhmään seuraavasti:

1. R0-10
2. R11-20
3. R21-30
4. R31-50
5. R>50.

Särmäyksen suorittamiseen tarvittava voima on jaettu seitsemään voimaluokkaan seuraavasti:

1. Alle 30,9 tonnia
2. 31–50 tonnia
3. 50,1–80 tonnia
4. 80,1–120 tonnia
5. 120,1–150 tonnia
6. 150,1–200 tonnia
7. Yli 200 tonnia.

Työn kannalta on tärkeää, että saadaan selville kuinka suuri osuus kaikista vuonna 2021 särmätyistä kappaleista on suurimmalta sivun pituudeltaan alle yhden metrin. Taulukkoon 6 on koottu kaikki vuonna 2021 särmätyt kappaleet, jotka ovat esitetty:

1. Tilausriveinä
2. Kappalemääränä

3. Työaikana
4. Painona.

Vastaavasti alle yhden metrin pituisista kappaleista on koottu edellä mainitut tiedot, jotka ovat myös taulukossa 6. Taulukkoon 6 on myös laskettu alle metrin pituisten kappaleiden suhteellinen osuus kaikista särmätyistä kappaleista.

Taulukko 6. Alle metristen kappaleiden osuus vuonna 2021 särmätyistä kappaleista.

Kokonaisuus alle 1 metrisiä (pisin sivu)			
	Tilattu yhteensä -21	Alle metriset kappaleet	Alle metristen osuus kaikista tilatuista -21
SÄ Tilausrivit	16308	5231	32,1 %
SÄ Kappaleita	135533	49534	36,5 %
SÄ Työaika (min)	1539291	362941	23,6 %
SÄ Paino (kg)	9571430	455995	4,8 %

Taulukon 6 avulla voidaan todeta, että vuoden 2021 aikana särmätyistä kappaleista 36,5 % on ollut alle metrin mittaisia ja työajasta 23,6 % on käytetty näihin kappaleisiin. Pienten kappaleiden osuus on niin merkittävä, että on perusteltua tutkia vaihtoehtoisia särmäyspuristimia.

Taulukkoon 7 on suodatettu alle yksi metristen kappaleiden määrät eri voimaluokille. Taulukosta 7 nähdään, että 76,6 % kappaleista on vaatinut voimantarpeeksi alle 50 tonnia.

Taulukko 7. Kappaleiden määrät eri voimantarpeilla.

Voimantarve	Kappaleita (< 1 m)	Kokonaiskappalemäärä (< 1 m)	%
<30,9 tn	32936	49534	66,5 %
31–50 tn	5008	49534	10,1 %
50,1–80 tn	7505	49534	15,2 %
80,1–120 tn	2202	49534	4,4 %
120,1–150 tn	206	49534	0,4 %
150,1–200 tn	844	49534	1,7 %
> 200 tn	833	49534	1,7 %

Taulukkoon 8 on suodatettu alle yhden metrin kappaleiden työajat eri voimaluokille. Työajan osuus on ollut 60,2 % alle metristen kappaleiden kokonaistyöajasta, kun voimantarve on ollut alle 50 tonnia.

Taulukko 8. Kappaleiden työajat eri voimantarpeilla.

Voimantarve	Työaika < 1 m (min)	Kokonaistyöaika (< 1 m)	%
<30,9 tn	179441,5	362940,9	49,4 %
31–50 tn	39175,5	362940,9	10,8 %
50,1–80 tn	71659,2	362940,9	19,7 %
80,1–120 tn	47162,8	362940,9	13,0 %
120,1–150 tn	5820,7	362940,9	1,6 %
150,1–200 tn	9441,6	362940,9	2,6 %
> 200 tn	10239,5	362940,9	2,8 %

## 6 SÄRMÄYSPURISTIMIEN VERTAILU

Investointivaihtoehdoille tehdään laitevalmistajilta saatujen teknisten ominaisuuksien pohjalta laitevertailu. Laitteet saavat teknisten ominaisuuksien mukaan arvosanan 1–5, jossa 1 on kohtalainen ja 5 on erinomainen. Laitteiden ominaisuuksille asetettiin painotus seuraavasti:

1. Taivutusvoima (20 %)
2. Nopeus (40 %)
3. Maksimi taivutusleveys (15 %)
4. Toistotarkkuus (10 %)
5. Hinnoittelu (15 %)

Laitteiden ominaisuuksista nopeutta ja taivutusvoimaa pidettiin tärkeimpänä. Opinnäytetyön loppupuolella kerrotaan vertailun tulosten perusteella soveltuvin laite Tibnor Oy:n Seinäjoen yksikölle. Työn lukuarvoja on jouduttu piilottamaan opinnäytetyön julkisesta versiosta.

### 6.1 Taivutusvoima

Taulukossa 9 vertaillaan eri laitevalmistajien laitteiden taivutusvoiman tuottoa ja lopuksi laitteet pisteytetään tulosten perusteella. Suurimman taivutusvoiman omaava laite saa parhaimmat pisteet.

Taulukko 9. Laitteiden taivutusvoimien vertailu.

Taivutusvoima (tn)					
Valmistaja	Toimittaja 1	Toimittaja 1	Toimittaja 2	Toimittaja 2	Toimittaja 3
Malli	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1
tn	X	X	X	X	X
Pisteytys	5	2	3	3	4

## 6.2 Nopeus

Taulukossa 10 vertaillaan laitteiden taivutus- ja paluunopeutta ja lopuksi laitteet pisteytetään tulosten perusteella. Suurimman nopeuden omaava laite saa parhaimmat pisteet.

Taulukko 10. Laitteiden taivutus- ja paluunopeuksien vertailu.

<b>Nopeus</b> Taivutusnopeus / Paluunopeus (mm/s)					
<b>Valmistaja</b>	Toimittaja 1	Toimittaja 1	Toimittaja 2	Toimittaja 2	Toimittaja 3
<b>Malli</b>	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1
<b>mm/s</b>	X	X	X	X	X
<b>Pisteytys</b>	1	2	5	4	3

## 6.3 Maksimi taivutusleveys

Taulukossa 11 vertaillaan laitteiden maksimi taivutusleveyksiä ja lopuksi laitteet pisteytetään tulosten perusteella. Suurimman maksimi taivutusleveyden omaava laite saa parhaimmat pisteet.

Taulukko 11. Laitteiden maksimi taivutusleveyden vertailu.

<b>Maksimitaivutusleveys</b> (mm)					
<b>Valmistaja</b>	Toimittaja 1	Toimittaja 1	Toimittaja 2	Toimittaja 2	Toimittaja 3
<b>Malli</b>	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1
<b>mm</b>	X	X	X	X	X
<b>Pisteytys</b>	4	3	3	3	5

## 6.4 Toistotarkkuus

Taulukossa 12 vertaillaan laitteiden toistotarkkuutta ja lopuksi laitteet pisteytetään tulosten perusteella. Pienimmän toistotarkkuuden omaava laite saa parhaimmat pisteet.

Taulukko 12. Laitteiden toistotarkkuuden vertailu.

Toistotarkkuus (mm)					
Valmistaja	Toimittaja 1	Toimittaja 1	Toimittaja 2	Toimittaja 2	Toimittaja 3
Malli	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1
mm	X	X	X	X	X
Pisteytys	5	5	4	4	4

## 6.5 Hinnoittelu

Taulukossa 13 vertaillaan laitteiden hinnoittelua ja lopuksi laitteet pisteytetään tulosten perusteella. Edullisin laite saa vertailusta parhaimmat pisteet.

Taulukko 13. Laitteiden hinnoittelun vertailu.

Hinta (€)					
Valmistaja	Toimittaja 1	Toimittaja 1	Toimittaja 2	Toimittaja 2	Toimittaja 3
Malli	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1
€	X €	X €	X €	X €	X €
Pisteytys	1	5	2	4	3

## 6.6 Pisteytys

Taulukossa 14 vertaillaan laitteiden pisteiden tuloksia. Eniten pisteitä kerrytti konetoimittajan 2, konemalli 1. Toiseksi eniten pisteitä sai konetoimittajan 2, konemalli 2 ja kolmanneksi eniten pisteitä sai konetoimittajan 3, konemalli 1. Taulukoiden tulosten perusteella kannattaisi uudeksi särmäyspuristimeksi valita konetoimittajan 2, konemalli 1, mutta lopullisen päätöksen tekee opinnäytetyön toimeksiantaja.

Taulukko 14. Laittevaihtoehtojen lopullinen pisteytys.

Pisteet					
Valmistaja	Toimittaja 1	Toimittaja 1	Toimittaja 2	Toimittaja 2	Toimittaja 3
Malli	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1	Konemalli 2	Konemalli 1
Pisteytys	2,65	2,9	3,75	3,65	3,6

## 6.7 Nettotuoton laskeminen

Yrityksen miettiessä uutta investointia tulee myös pohtia riittääkö uuden investoinnin kapasiteetti suorittamaan siltä vaaditut tehtävät. Suunnitellulla särmäyspuristinvaihtoehdolla on taivutusnopeus sekä paluunopeus 220 mm/s, kun taas vanhoilla koneilla nopeudet ovat 120 mm/s. Uuden särmäyspuristimen teoreettinen nopeus on 83 % suurempi kuin vanhojen puristimien. Edellä mainittu ei kuitenkaan tarkoita sitä, että uusi puristin kykenisi tekemään samassa ajassa 83 % enemmän kappaleita. Todelliseen nopeuteen vaikuttavat muun muassa taivutuksen haastavuus ja materiaalin saatavuus. Voidaan maltillisesti arvioida, että uudella särmäyspuristimella työajasta on mahdollista säästää noin kolmasosa.

Taulukossa 15 on esitetty vuonna 2021 valmistettujen alle metrinen kappaleiden määrä, työaika ja kokonaismassa. Samasta taulukosta nähdään edellä mainitut tiedot kappaleille, joiden voiman tarve on alle 50 tonnia. Yritys saa nettotuottoa  $X \text{ €} / \text{ tonni}$ , joten kappaleista, joiden voiman tarve on alle 50 tonnia, on saatu nettotuottoa noin  $X \text{ €}$ .

Taulukko 15. Alle metrinen kappaleiden määrä, työaika ja paino.

	Kappaleiden määrä -21 (kpl)	Kappaleiden määrä (voiman tarve alle 50 tn)	%
Alle 1 metriä	49534	37944	76,6 %
	Työaika yhteensä -21 (min)	Työaika min (voiman tarve alle 50 tn)	%
Alle 1 metriä	362941	218617	60,2 %
	Paino yhteensä -21 (kg)	Paino (voiman tarve alle 50 tn)	%
Alle 1 metriä	455995	180191	39,5 %

Taulukon 15 tietojen perusteella uuden särmäyspuristimen tuoman ajan säästö yhdessä vuodessa olisi noin  $\frac{1}{3} \cdot 218617 \text{ min} \approx 1200 \text{ h}$ . Vuodessa on keskimäärin 250 työpäivää ja vuosityötunteja keskimäärin kertyy yhdessä vuorossa 2000 tuntia. Kappaleisiin, joiden voiman tarve on alle 50 tonnia, on käytetty taulukon 15 mukaan  $\frac{218\,617}{60} \text{ h} \approx 3644 \text{ h}$ . Näiden arvojen pohjalta voidaan olettaa, ettei yhtä vuoroa tehtäessä kapasiteetti aivan riitä täyttämään vaadittua tuntimäärää. Tuotannon tulisi näin ollen pyöriä kahdessa vuorossa.

Taulukon 15 ja särmäyskoneen nopeuden kasvun perusteella investoinnin vuotuisesti nettotuotoksi voidaan maltillisesti arvioida  $\frac{1}{3} \cdot \frac{218617}{60} \text{ h} \cdot X \frac{\text{€}}{\text{h}} \approx X \text{ €}$ . Työntekijän tuntihinnaksi tässä arvioidaan  $X \frac{\text{€}}{\text{h}}$ .



## 7 INVESTOINTILASKELMA

Suunnitellulle investoinnille tehdään investointilaskelma, jonka perusteella voidaan päätellä investoinnin kannattavuus. Laskelmassa käytetään alaluvussa 4.5 selostettua sisäisen korkokannan menetelmää. Tämä menetelmä antaa investoinnin vuotuisen tuottoprosentin siihen investoidulle pääomalle. Luvussa 4 kerrottiin, että uusille laiteinvestoinneille pääoman tuottovaatimuksena pidetään vähintään 10 %. Mikäli investoinnin sisäinen korkokanta on vähintään halutun tuottoprosentin suuruinen, voidaan laiteinvestointia pitää kannattavana.

Alaluvussa 6.7 arvioitiin investoinnin vuotuiseksi nettotuotoksi noin  $X$  €. Särämäyspuristimen jäännösarvoksi arvioitiin pitoajan loputtua  $X$  €, jonka arvonlisäveroton arvo on  $X$  €. Lopulliseksi investointitarpeeksi arvioitiin yhteensä  $X$  €. Investointi sisältää särämäyspuristimen, asennuksen, tarvittavat muutostyöt perustuksiin, koulutuksen sekä muut kulut. Alaluvussa 4.5 esitetyn kaavan (4) mukaan sisäinen korkokanta saadaan ratkaisemalla  $i$  yhtälöstä:

$$X * \frac{(1+i)^8 - 1}{i(1+i)^8} + \frac{X}{(1+i)^8} = X. \quad (10)$$

Yhtälöstä (10) saadaan muuttujan  $i$  arvoksi 0,124. Investoinnin sisäiseksi korkokannaksi kahdeksan vuoden investointiajalla saadaan täten 12,4 %. Investoinnin sisäinen korkokanta on suurempi kuin tuottovaatimus 10 %, joten investointi on kannattava. Mikäli uudella särämäyspuristimella työskennellään kahdessa vuorossa, sisäisen korkokannan arvo olisi vielä paljon edellä saatua suurempi.

Taulukossa 16 on tarkastettu investoinnin sisäinen korkokanta Excel -ohjelmalla. Sisäisen korkokannan arvoksi saadaan 12,4 %, kun nettotuotto on X € ja investointiaika on 8 vuotta.

Taulukko 16. Investoinnin sisäinen korkokanta laskettuna Excel -ohjelmalla.

Investoinnin sisäinen korkokanta		Kassavirta	
Perushankintakustannus	X €	0.	-X €
Nettotuotto	X €	1.	X €
Jäännösarvo	X €	2.	X €
KORKO	10 %	3.	X €
KAUDET	8	4.	X €
<b>Sisäinen korkokanta</b>	<b>12,4 %</b>	5.	X €
		6.	X €
		7.	X €
		8.	X €

## 8 TULOKSET

Parhaimmaksi investointivaihtoehdoksi vertailun pisteiden pohjalta valikoitui konetoimittajan 2, konemalli 1. Kyseisessä särmäyspuristimessa on tarpeeksi voimantuottoa sekä liikenopeudet tehostavat kappaleiden läpimenoaikoja. Investoinnilla pystyttäisiin palvelemaan entistä suurempaa asiakaskuntaa, kun uusi laite mahdollistaisi entistä pienempien kappaleiden valmistamisen ja vapauttaisi kapasiteettiä isommilta koneilta.

Lopulliseksi investoinnin hinnaksi arvioitiin yhteensä X € investointiajan ollessa 8 vuotta. Investointihinta sisältää särmäyspuristimen, asennuksen, tarvittavat muutostyöt perustuksiin, koulutuksen sekä muut kulut. Yhdessä vuorossa työskenneltäessä vuotuisen nettotuoton arvioitiin olevan noin X €, särmäyspuristimen arvonlisäverottomaksi jäännösarvoksi arvioitiin X €. Edellä mainituilla arvoilla laskettaessa saadaan sisäisen korkokannan arvoksi 12,4 %, joten investoinnin korkokanta on suurempi kuin vaadittu tuottovaatimus 10 %. Voidaan todeta, että yrityksen olisi kannattava tehdä särmäyspuristininvestointi.

Työn tulokset helpottavat toimeksiantajan päätöksentekoa tulevaisuuden investointia tehdessä. Työn tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua varauksella, koska tulokset pohjautuvat yhden tutkijan selvitystyöhön ja näkökulmiin.

## 9 YHTEENVETO JA OMAT POHDINNAT

Opinnäytetyön lähtökohtana oli Tibnor Oy:n Seinäjoen yksikön kiinnostus uuden pienemmän ja nopeamman särmäyspuristimen investoinnille. Tavoitteena oli kartoittaa yrityksen tarpeisiin parhaiten soveltuvat laitteet, joiden joukosta valitaan sitten yrityksen tavoitteet parhaiten täyttävä laite. Lisäksi tavoitteena oli laatia valitulle investoinnille kannattavuuslaskelma. Tämänhetkiset laitteet ovat kokoluokaltaan liian isoja ja hitaita pienten kappaleiden särmäämiseen, joten kappaleiden läpimenoaika kärsii huomattavasti. Pienemmällä ja nopeammalla särmäyspuristimella saataisiin läpimenoaikoja lyhennettyä ja vapautettua kapasiteettia isommilta koneilta.

Uusi särmäyspuristin pystyisi vapauttamaan noin 1200 tuntia kapasiteettia isommilta koneilta ja suuremmilla koneilla voidaan valmistaa levyleikkeitä noin 425 kg/h. Lisääntyneiden tuntien myötä myös suurempien tuotteiden valmistus kasvaa, jolloin saadaan enemmän myyntiä ja tätä kautta lisää nettotuottoa yritykselle. Siispä rohkeasti arvioiden vuotuinen nettotuotto voisi olla jopa X €. Näin ollen kokonaisnettotuotto voisi olla jopa X € vuodessa. Tällä edellä mainitulla nettotuotolla sisäisen korkokannan arvoksi tulisi 46 % ja korolliseksi takaisinmaksuajaksi kymmenen prosentin korkokannalla tulisi alle 2 vuotta.

Nettotuoton näin suuri kasvu on kuitenkin pelkkä arvio, johon tuleekin suhtautua varauksella. Vaikka suuremmilta särmäyskoneilta vapautuukin kapasiteettia, ei se automaattisesti tarkoita, että lisäämyntiä syntyisi. Nettotuoton arvoon vaikuttavat useat eri tekijät, joista tärkeimpänä ovat yritykselle tulevat tilaukset. Yrityksen palveluiden tulee pysyä kilpailukykyisinä mahdollisten uusien yritysten tullessa markkinoille. Lisäksi nettotuottoon voi vaikuttaa yritykselle tulevat harkitut tai yllättävät lisäkulut. Yhteiskunnalliset kriisit, kuten sota ja ilmastomuutos, vaikuttavat suoraan myös teollisuuteen esimerkiksi raaka-ainekustannusten kasvuna ja saatavuuden vaikeutena.

## LÄHTEET

- Huhtaniemi, K. (2006). *Raaka-ainekäsikirja - Alumiinit* (2. uud. p.). Teknologiainfo Teknova Oy.
- Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. (2003). *Valmistustekniikka* (10 muut. p.). Otatieto.
- Karjalainen, L. (2005). *Optimi-matematiikkaa talouselämän ammattilaisille* (5. uud. p.). Otava.
- Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. (2010). *Konetekniikan materiaalioppi* (12.-13 p.). Edita.
- Machinemfg. (i.a.-a). *Press Brake Dies (Toolings): The Ultimate Guide*. <https://www.machinemfg.com/press-brake-dies-guide/>
- Martikainen, M. & Vaihekoski, M. (2015). *Yritysrahoituksen perusteet*. Sanoma Pro Oy.
- Matilainen, J., Parvianen, M., Havas, T., Hiitelä, E., & Hultin, S. (2010). *Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja*. Teknologiateollisuus ry.
- Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. (2005). *Johdon laskentatoimi* (6. -7. uud. p.). Edita.
- Suomen Standardisointiliitto (SFS). (2014). *Ruostumattomat teräkset. Osa 2: Yleiseen käyttöön tarkoitetut korroosionkestävät levyt ja nauhat. Tekniset toimitusehdot* (SFS-EN 10088-2).
- SSAB. (i.a.). *Johtava teräksen ja metallien jakelija sekä esikäsittelypalveluiden tarjoaja Pohjoismaissa*. <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/liiketoiminta/tibnor>
- Tibnor. (i.a.). *Terästä, metalleja ja uskoa pohjoismaiseen teollisuuteen*. [https://www.tibnor.fi/fi\\_FI/tietoa-tibnorista](https://www.tibnor.fi/fi_FI/tietoa-tibnorista)
- Ursviken. (i.a.). *Optima*. <https://www.ursviken.com/optimal>
- Wikipedia Commons. (2006). *Bystronic Bending*. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bystronic\\_Bending.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bystronic_Bending.jpg)