

# **Termiseen- ja vesileikkaukseen toimintaperiaate, sekä hinnoittelumallit**

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK) Konetekniikan koulutus  
2023  
Ivan Drogovoz

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Ivan Drogovoz	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 49	Valmistumisaika 2023
Työn nimi <b>Opinnäytetyön otsikko</b> Termiseen- ja vesileikkaukseen toimintaperiaate, sekä hinnoittelumallit		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja)		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoitus oli tarkastella termisen- ja vesisuihkuleikkauksen toimintaperiaatteita, niiden etuja ja haittoja. Opinnäytetyössä tarkasteltiin myös erilaisten laitteiden likimääräisiä kustannuksia ja tarkastellaan myös erilaisia hinnoittelumalleja, sekä sitä, mitä hinnoittelumalleja voidaan käyttää erilaisissa tilanteissa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin tietoa termisen- ja vesisuihkuleikkauksen hinnoista, kustannuksista, niiden eduista ja haitoista. Tuloksena saatiin myös likimääräinen käsitys laitteiden hinnoista, niiden ylläpitokustannuksista sekä siitä, kuinka paljon eri osien valmistus voi maksaa ja kuinka paljon eri leikkausteknologiat voivat kuluttaa resursseja.</p>		
Laserleikkaus, plasmaleikkaus, vesisuihkuleikkaus, kaasuleikkaus, hinnoittelumallit		

## Abstract

Author(s) Ivan Drogovoz	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 49	
Title of Publication <b>Title of the Bachelor's Thesis</b> Operating principle for thermal and water cutting and pricing models		
Degree, Field of Study Engineer (AMK), mechanical engineering education		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party)		
Abstract <p>The purpose of the thesis was to examine the operating principles of thermal and water jet cutting, their advantages and disadvantages. The thesis also looked at the approximate costs of different devices and, also looks at different pricing models, as well as which pricing models can be used in different situations.</p> <p>As a result of the thesis, information was obtained about the prices, costs, advantages, and disadvantages of thermal and water jet cutting. The result also provided an approximate understanding of equipment prices, their maintenance costs, and how much the manufacturing of different parts can cost and how much different cutting technologies can consume resources.</p>		
Laser cutting, plasma cutting, water jet cutting, gas cutting, pricing models		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Laserleikkaus teknologia.....	2
2.1	Laserleikkaus teknologian esittely.....	2
2.2	Laserleikkaus toimintaperiaate.....	2
2.3	Laserleikkauksen ominaisuudet.....	4
2.4	Yhteenveto laserleikkauksen teknologiasta .....	7
3	Plasmaleikkaus teknologia.....	8
3.1	Plasmaleikkaus teknologian esittely.....	8
3.2	Plasmametallileikkauksen ominaisuudet.....	9
3.3	Plasmaleikkauksen yhteenveto.....	10
4	Vesisuihkuleikkaus teknologia .....	12
4.1	Vesisuihkuleikkaus teknologia esittely .....	12
4.2	Tekniikan ominaisuudet: .....	13
4.3	Vesisuihkuleikkauksen yhteenveto .....	14
5	Kaasuleikkausteknologia ja toimintaperiaate.....	16
5.1	Kaasuleikkausteknologian esittely .....	16
5.2	Kaasuleikkaus kaasu tyypit.....	17
5.2.1	Propaanileikkaus .....	17
5.2.2	Ilmakaarileikkaus .....	17
5.3	Kaasuleikkauksen yhteenveto .....	18
6	Sovellusalueet .....	19
7	Laitteiden erilaiset kustannukset .....	21
7.1	Plasmaleikkaus.....	21
7.2	Laserleikkaus.....	22
7.3	Vesileikkaus.....	23
7.4	Kaasuleikkaus .....	24
7.5	Ympäristövaikutukset ja niiden kustannukset.....	25
7.6	Investointi esimerkki .....	26
8	Tulevaisuuden näkymät.....	28
8.1	Johdanto teknologioiden tulevaisuuden näkymiin .....	28
8.2	Plasmaleikkaus.....	28
8.3	Laserleikkaus.....	29
8.4	Kuitu- ja disk-laserit .....	30
8.5	Vesileikkaus.....	31
8.6	Kaasuleikkaus .....	32

8.7	Koneoppimisen ja tekoälyn integraatio.....	33
8.7.1	Kehittyneet ennustavat huoltomallit .....	33
8.7.2	Älykkäät optimointialgoritmit .....	33
9	Hinnoittelumallit .....	34
9.1.1	Hinnoittelumallin vaikutus yritykseen .....	35
9.1.2	Hinnoittelumallin vaikutus asiakkaihin.....	35
9.1.3	Hinnoittelumallin vaikutus tuotantoon suunnitteluun.....	35
9.1.4	Hinnoittelumallin vaikutus joustavuuteen ja räätälöintiin.....	35
10	Leikkauksien hinnat .....	37
11	Yhteenveto .....	44
	Lähteet .....	46

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan yksityiskohtaisesti tavallisimpia termisiä metallien leikkausmenetelmiä ja niiden soveltuvuutta erilaisiin teollisuuden tarpeisiin. Työn päätavoitteena on tarjota kattava tieto eri leikkausteknologioiden valintaan. Tämän työn kautta pyritään auttamaan ymmärtämään eri leikkausmenetelmien toimintaperiaatteita sekä vahvuuksia ja heikkouksia, jotta lukijat voivat tehdä tietoon perustuvia päätöksiä sopivimman leikkaustekniikan valinnassa.

Leikkausmenetelmien valintaan vaikuttavat monet tekijät, kuten materiaalin laatu, leikkaustarkkuuden tarve ja kustannustehokkuus. Tämä työ käsittelee termisiä leikkausmenetelmiä, kuten laser-, plasma-, kaasu- sekä vesisuihkuleikkauksen teknologia, analysoimalla niiden soveltuvuutta eri olosuhteisiin ja materiaaleihin. Lisäksi työssä tutkitaan, miten eri leikkausmenetelmät vaikuttavat, tuotannon nopeuteen ja kustannuksiin.

Tavoitteena on tarjota metallintyöstön asiantuntijoille ja alihankintaa suunnitteleville tilaajille syvällistä tietoa eri leikkausteknologioiden ominaisuuksista. Tämän opinnäytetyön tulokset auttavat lukijoita tekemään perusteltuja valintoja metallien leikkaustekniikoista, mikä on erityisen tärkeää nykyaikaisessa, nopeasti kehittyvässä teollisuus ympäristössä.

## 2 Laserleikkaus teknologia

### 2.1 Laserleikkaus teknologian esittely

Laser on lyhenne sanoista "light amplification by stimulated emission of radiation". Laserleikkaus kone on laite, joka tuottaa fokusoidun ja koherentin valonsäteen. Laserleikkauksessa käytetään erilaisia lasereita, kuten CO<sub>2</sub>-lasereita, O<sub>2</sub>-lasereita tai typpeä (N<sub>2</sub>). Laserin pääelementti on aktiivinen väliaine (yleensä kaasu, kide tai puolijohde), joka stimuloi fotonien emissiota ja muodostaa lasersäteen. Laserleikkausta varten lasersäde on kohdistettava kapeaan kohtaan. Tämä saavutetaan käyttämällä optista järjestelmää, joka sisältää linsskejä tai peilejä. Tarkennus mahdollistaa lasertehon keskittämisen pienelle alueelle materiaalia, mikä tekee leikkaamisesta tehokkaampaa. (TWI Ltd.)

Materiaalin pintaan osuva lasersäde on vuorovaikutuksessa materiaalin kanssa. Laserista tuleva fotonien energia absorboituu materiaaliin, mikä aiheuttaa kuumenemista ja sulamista. Lasertehosta ja materiaalin ominaisuuksista riippuen materiaali sulaa tai jopa haihtuu. Laserleikkausprosessia ohjataan tietokoneella, joka säätelee lasersäteen liikettä ja tehoa. Näin luodaan tarkkoja ja monimutkaisia ääri viivoja ja muotoja materiaalille. Laserleikkausta voidaan soveltaa erilaisiin materiaaleihin, mukaan lukien metallit, puu, muovi, lasi, keramiikka ja muut. Oikea laser ja asetukset valitaan materiaalityypin ja leikkausvaatimusten mukaan. (TWI Ltd.)

Laserleikkauksella on useita etuja, kuten korkea tarkkuus, materiaalin minimaalinen muodonmuutos, ei fyysistä kosketusta materiaaliin, pieni kuumennusvyöhyke ja kyky käsitellä monimutkaisia geometrisia muotoja. Laserleikkausta käytetään laajasti useilla teollisuudenaloilla, mukaan lukien autoteollisuus, lääketiede, ilmailu, mainonta ja suunnittelu, elektronikan valmistus ja monet muut. Turvallisuusohjeita on tärkeää noudattaa laseria käytettäessä, sillä lasersäteily voi olla haitallista silmille ja iholle. Suojavarusteiden käyttö ja laitteiden käytön sääntöjen noudattaminen on pakollista. (TWI Ltd; Wayken 2022.)

### 2.2 Laserleikkaus toimintaperiaate

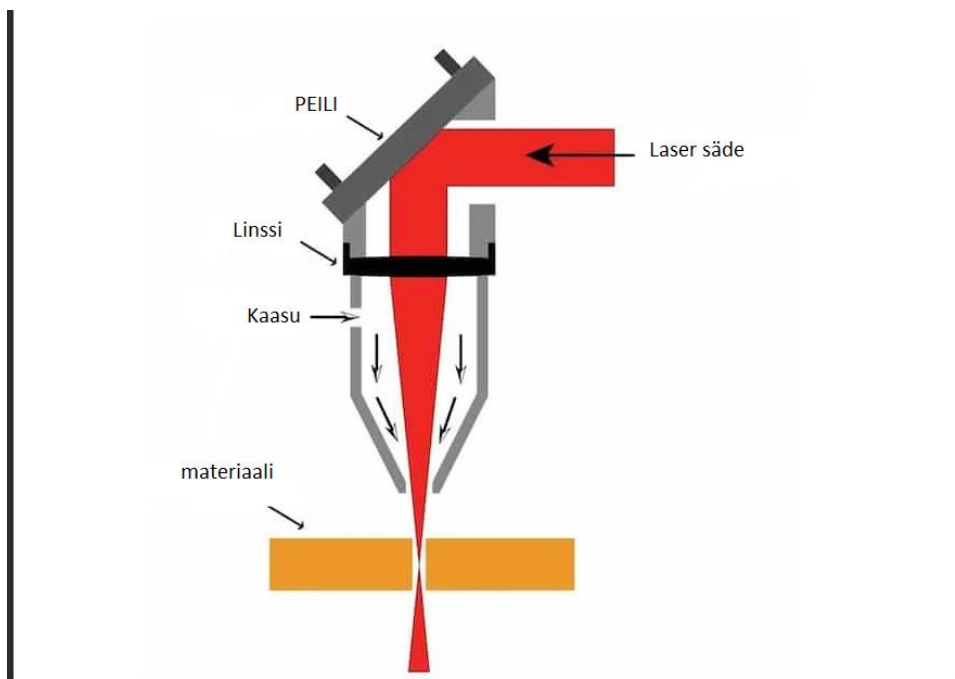
Laserleikkauksen toimintaperiaate on käyttää fokusoitua ja voimakasta lasersädettä materiaalin erottamiseen tai leikkaamiseen. Laserleikkauksen toimintaperiaatteen perusvaiheet sisältävät seuraavat vaiheet:

1. Lasersäteilyn tuottaminen: Prosessi alkaa lasersäteilyn tuottamisesta. Laserissa (aktiivisessa väliaineessa) atomeja tai molekyyliä stimuloidaan lähettämään

fotoneja (tämä tapahtuu valoenergian tai muun stimulaation vaikutuksesta). Tätä prosessia kutsutaan stimuloitu emissio. Tästä prosessista vapautuvilla fotoneilla on sama vaihe ja suunta, mikä tekee säteilystä koherenttia (yhdenmukaista) ja monokromaattista (yksi aallonpituus). (kuvio 1.)

2. Laservahvistus: Koherentit fotonit kulkevat sitten peilien tai optisten elementtien läpi laserontelon sisällä, missä ne kulkevat toistuvasti aktiivisen väliaineen läpi ja vahvistuvat. Tämä luo voimakkaan lasersäteen. (kuvio 1.)
3. Lasersäteen fokuointi: Lasersäde suunnataan optisen järjestelmän läpi, joka sisältää linsskejä tai peilejä sen tarkentamiseksi kapeaan kohtaan leikattavan materiaalin pinnalla. (kuvio 1.)
4. Vuorovaikutus materiaalin kanssa: Kun erittäin fokusoitu lasersäde osuu materiaalin pintaan, se on vuorovaikutuksessa sen kanssa. Fotonienergia absorboituu materiaaliin, mikä aiheuttaa kuumenemista ja voi lasertehosta ja materiaalin ominaisuuksista riippuen aiheuttaa materiaalin leikkaamiseen, sulamisen tai jopa haihtumisen. (kuvio 1.)
5. Liike ja ohjaus: Tietyn geometrian tai muodon luomiseksi materiaalille tietokoneohjauksella liikutetaan lasersädettä ennalta määrättyä reittiä pitkin. Lasertehoa säädetään myös leikkaussyvyyden säätämiseksi tai kuinka pitkälle lasersäde tunkeutuu materiaaliin.
6. Jäähdytys: Laserleikkausprosessin aikana materiaali voi tulla melko kuumaksi, joten jäähdytysjärjestelmiä tai jäähdytyskaasuja käytetään usein säätämään lämpötilaa ja estämään materiaalin vääntymistä.
7. Leikkauksen valmistuminen: Kun leikkaus on valmis, lasersäde sammuu ja materiaali voidaan poistaa. (Xometry 2023.)





Kuvio 1. Lasersädekaavio (Lacutor Oy 2020)

### 2.3 Laserleikkauksen ominaisuudet

Metallien laserleikkaukseen, tarkemmat tiedot riippuvat useista tekijöistä, kuten metallityypistä, materiaalin paksuudesta ja laserlaitteiden asetuksista. Metallin laserleikkaus on tehokasta laajalla paksuusalueella. Tyypillisesti laserit voivat leikata metalleja, joiden paksuus vaihtelee 1 mm:stä (metallikalvot ja ohuet levyt) 25 mm:iin (paksuille teräslevyille). (Be group.) Uran (raon) leveys metallia laserleikkauksessa voi olla melko kapea ja riippuu leikkausparametreista, tyypillisesti se on 0,3 mm metalleille. (Fractory Solutions OÜ.) Leikkausnopeus riippuu materiaalista ja sen paksuudesta. Esimerkiksi 1 mm paksulla teräksellä leikkausnopeus voi olla noin 10000–35000 mm minuutissa, kun taas 10 mm paksulla teräksellä nopeus on huomattavasti pienempi ja voi olla 1000 mm minuutissa tai sitä pienempi riippuen koneen tehosta. (Taulukko 1.) Metallin laserleikkaus tuottaa yleensä korkealaatuisen reunan. Reuna on puhdas eikä vaadi lisäkäsittelyä. Reunan laatu voi kuitenkin vaihdella leikkausparametrien mukaan, materiaalin paksuudesta tai itse materiaalista. Laserleikkaus ei tyypillisesti aiheuta metallin merkittävää muodonmuutosta, joten se sopii tarkkoihin ja herkkiin sovelluksiin. Laserleikkausta voidaan soveltaa erilaisiin metallimateriaaleihin, mukaan lukien teräs, alumiini, kupari, messinki, ruostumaton teräs tai titaani. Metallien laserleikkaukseen voidaan käyttää erilaisia kaasuja, kuten happea (O<sub>2</sub>), typpeä (N<sub>2</sub>) tai inerttejä kaasuja. Kaasun valinta riippuu metallityypistä ja leikkausprosessin vaatimuksista. Laserleikkauksen

avulla voidaan luoda monimutkaisia kuviota, mikä on tärkeää joissakin sovelluksissa, kuten monimutkaisten metalliosien valmistuksessa. (Baison 2023; MachineMfg.)

Laser Cutting Thickness & Speed Chart											
		500W	1000W	1500	2000W	3000W	4000W	6000W	8000W	10000W	12000W
	Thick	speed m/min	speed m/min	speed m/min	speed m/min	speed m/min	speed m/min	speed m/min	speed m/min	speed m/min	speed m/min
CS (Q235A) (musta Teräs)	1	7.0-9.0	8.0-10	15-26	24-30	30-40	33-42	35-42	35-42	35-42	35-42
	2	3.0-4.5	4.0-6.5	4.5-7.0	4.7-6.0	4.8-7.5	5.2-8.0	6.0-8.0	6.2-10	7.0-12	10-13
	3	1.8-3.0	2.4-3.0	2.6-4.0	3.0-4.8	3.3-5.0	3.5-5.5	3.8-6.5	4.0-7.0	4.2-7.5	4.5-8.0
	4	1.3-1.5	2.0-2.4	2.5-3.0	2.8-3.5	3.0-4.2	3.1-4.8	3.5-5.0	3.5-5.5	3.5-5.5	3.5-5.5
	5	0.9-1.1	1.5-2.0	2.0-2.5	2.2-3.0	2.6-3.5	2.7-3.6	3.3-4.2	3.3-4.5	3.3-4.5	3.3-4.8
	6	0.6-0.9	1.4-1.6	1.6-2.2	1.8-2.6	2.3-3.2	2.5-3.4	2.8-4.0	3.0-4.2	3.0-4.2	3.0-4.2
	8		0.8-1.2	1.0-1.4	1.2-1.8	1.8-2.6	2.0-3.0	2.2-3.2	2.5-3.5	2.5-3.5	2.5-3.5
	10		0.6-1.0	0.8-1.1	1.1-1.3	1.2-2.0	1.5-2.0	1.8-2.5	2.2-2.7	2.2-2.7	2.2-2.7
	12		0.5-0.8	0.7-1.0	0.9-1.2	1.0-1.6	1.2-1.8	1.2-2.0	1.2-2.1	1.2-2.1	1.2-2.1
	14			0.5-0.7	0.7-0.8	0.9-1.4	0.9-1.2	1.5-1.8	1.7-1.9	1.7-1.9	1.7-1.9
	16				0.6-0.7	0.7-1.0	0.8-1.0	0.8-1.5	0.9-1.7	0.9-1.7	0.9-1.7
	18				0.4-0.6	0.6-0.8	0.65-0.9	0.65-0.9	0.65-0.9	0.65-0.9	0.65-0.9
	20					0.5-0.8	0.6-0.9	0.6-0.9	0.6-0.9	0.6-0.9	0.6-0.9
	22					0.4-0.6	0.5-0.8	0.5-0.8	0.5-0.8	0.5-0.8	0.5-0.8
25						0.3-0.5	0.3-0.5	0.3-0.7	0.3-0.7	0.3-0.7	
SS (201) (ruostu- maton teräs)	1	8.0-13	18-25	20-27	24-30	30-35	32-40	45-55	50-66	60-75	70-85
	2	2.4-5.0	7.0-12	8.0-13	9.0-14	13-21	16-28	20-35	30-42	40-55	50-66
	3	0.6-0.8	1.8-2.5	3.0-5.0	4.0-6.5	6.0-10	7.0-15	15-24	20-30	27-38	33-45
	4		1.2-1.3	1.5-2.4	3.0-4.5	4.0-6.0	5.0-8.0	10-16	14-21	18-25	22-32
	5		0.6-0.7	0.7-1.3	1.8-2.5	3.0-5.0	4.0-5.5	8.0-12	12-17	15-22	18-25
	6			0.7-1.0	1.2-2.0	2.0-4.0	2.5-4.5	6.0-9.0	8.0-14.0	12-15	15-21
	8				0.7-1.0	1.5-2.0	1.6-3.0	4.0-5.0	6.0-8.0	8.0-12.0	10-16
	10					0.6-0.8	0.8-1.2	1.8-2.5	3.0-5.0	6.0-8.0	8.0-12
	12					0.4-0.6	0.5-0.8	1.2-1.8	1.8-3.0	3.0-5.0	6.0-8.0
	14						0.4-0.6	0.6-0.8	1.2-1.8	1.8-3.0	3.0-5.0
	20							0.4-0.6	0.6-0.7	1.2-1.8	1.8-3.0
25								0.5-0.6	0.6-0.7	1.2-1.8	
30								0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	
40									0.4-0.5	0.5-0.6	
Alu Alumiini	1	4.0-5.5	6.0-10	10-20	15-25	25-38	35-40	45-55	50-65	60-75	70-85
	2	0.7-1.5	2.8-3.6	5.0-7.0	7-10	10-18	13-25	20-30	25-38	33-45	38-50
	3		0.7-1.5	2.0-4.0	4.0-6.0	6.5-8.0	7.0-13	13-18	20-30	25-35	30-40
	4			1.0-1.5	2.0-3.0	3.5-5.0	4.0-5.5	10-12	13-18	21-30	25-38
	5			0.7-1.0	1.2-1.8	2.5-3.5	3.0-4.5	5.0-8.0	9.0-12	13-20	15-25
	6				0.7-1.0	1.5-2.5	2.0-3.5	4.0-6.0	4.5-8.0	9.0-12	13-18
	8				0.6-0.8	0.7-1.0	0.9-1.6	2.0-3.0	4.0-6.0	4.5-8.0	9.0-12
	10					0.4-0.7	0.6-1.5	1.0-2.0	2.2-3.0	4.0-6.0	4.5-8.0
	12					0.3-0.45	0.4-0.6	0.8-1.4	1.5-2.0	2.2-3.0	4.0-6.0
	16						0.3-0.4	0.6-0.8	1.0-1.6	1.5-2.0	2.2-3.0
	20							0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-1.6	1.5-2.0
25								0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-1.6	
35									0.5-0.7	0.7-1.0	
Bra messinki	1	4.0-5.5	6.0-10	8.0-13	10-16	20-35	25-30	45-55	55-65	65-75	75-85
	2	0.5-1.0	2.8-3.6	3.0-4.5	4.5-7.5	6.0-10	8.0-12	25-30	30-40	33-45	38-50
	3		0.5-1.0	1.5-2.5	2.5-4.0	4.0-6.0	5.0-6.5	12-18	20-30	25-40	30-50
	4			1.0-1.6	1.5-2.0	3.0-5.0	3.2-5.5	8.0-10	10-18	15-24	25-33
	5			0.5-0.7	0.9-1.2	1.5-2.0	2.0-3.0	4.5-6.0	7.0-9.0	9.0-15	15-24
	6				0.4-0.7	1.0-1.8	1.4-2.0	3.0-4.5	4.5-6.5	7.0-9.0	9.0-15
	8					0.5-0.7	0.7-1.0	1.6-2.2	2.4-4.0	4.5-6.5	7.0-9.0
	10						0.2-0.4	0.8-1.2	1.5-2.2	2.4-4.0	4.5-6.5
	12							0.2-0.4	0.8-1.5	1.5-2.2	2.4-4.0
	14								0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1.5

Taulukko 1. Laserin nopeus verrattuna paksuuteen (MachineMfg)

Laserleikkauksen Edut:

- Tarkkuus ja tasoitus: Laserleikkaus on erittäin tarkka, mikä mahdollistaa monimutkaisten muotojen ja kuvioitten leikkaamisen ja pienimmätkin yksityiskohdat voidaan toteuttaa tarkasti. (TWI Ltd.)

- Nopeus: Laserleikkaus on yleensä nopeampi kuin perinteiset leikkausmenetelmät, etenkin monimutkaisissa leikkauksissa. (TWI Ltd.)
- Laadun johdonmukaisuus: Toistettavuus on erinomainen, koska jokainen leikkaus on yhtä tarkka kuin edellinen. (Be Group.)
- Joustavuus: Samalla laitteistolla voidaan käsitellä monenlaisia materiaaleja ja paksuuksia ilman työkalun vaihtoa. (TWI Ltd.)
- Minimaalinen materiaalin vahingoittuminen: Koska laserleikkaus on kosketukseton menetelmä, on materiaalin vahingoittumisriski pienempi ja mekaaninen rasitus materiaalissa vähäisempi. (Be Group.)
- Materiaalisäästöt: Tiukemman kappaleiden asettelun ansiosta materiaalia säästyy, mikä vähentää jätettä ja voi vähentää kustannuksia. (Be Group.)

#### Laserleikkauksen Haitat:

- Kustannukset: Laserleikkaukoneiden hankinta, ylläpito ja käyttö voivat olla kalliita verrattuna perinteisiin menetelmiin. Koska laserleikkaukone kuluttaa enemmän sähköä, sekä vaati myös huolellisempaa huoltoa. (LevStal.)
- Rajoitetut materiaalipaksuudet: Vaikka laserleikkaus on tehokasta monissa sovel-luksissa, erittäin paksujen yli 25 mm materiaalien leikkaaminen voi olla hankalaa tai vaatia erittäin suuren tehon laserlaitteita. (Be group.)
- Energiankulutus: Laserleikkaus voi kuluttaa paljon energiaa, erityisesti korkeatehoi-set laserit 3–12 kW. (MachineMfg.)
- Tietynlaisten materiaalien rajoitukset: Joitakin materiaaleja, kuten heijastavia metal-leja tai materiaaleja, jotka voivat vapauttaa myrkyllisiä höyryjä leikattaessa, voi olla vaikea tai vaarallista käsitellä. (LevStal.)
- Turvallisuusvaatimukset: Laserit voivat olla vaarallisia, jos niitä ei käytetä oikein. Suojavarusteet ja turvatoimenpiteet ovat välttämättömiä, kuten esimerkiksi palotur-vallisuuden noudattamista tai laitteiden säännölliset tarkastukset ja huolto.
- Kulumis- ja huoltotarve: Vaikka laserleikkaukoneissa ei ole monia liikkuvia osia, tarkkuuskomponentit, kuten linssit ja peilit, voivat kulua ja vaatia säännöllistä huol-toa ja kalibrointia.
- Laserleikkaus on tehokas ja tarkka, mutta sen kustannukset ja käyttöön liittyvät ra-joitukset on syytä ottaa huomioon, kun vertaillaan eri leikkausmenetelmiä. (Levstal; Group.)

## 2.4 Yhteenveto laserleikkauksen teknologiasta

Laserleikkaus sopii ohuiden levyjen käsittelyyn yleisimpiä materiaalia, joita leikataan laserilla ovat: kulutuksen kestävät teräkset, rakenne teräs, haponkestävä teräs, ruostumaton teräs ja alumiini. Minimipaksuus vaihtelee välillä 0,2–1 mm ja maksimi on 25 mm, kyky luoda monimutkaisia ääri viivoja sisältäviä kappaleita, sekä luoda melko pieniä reikiä keskimäärin puolet levyn paksuudesta. Leikkauksen jälkeen, jos leikattava materiaali on alle 10 mm paksuista, jälkikäsittely on tarpeetonta. (Be Group.)



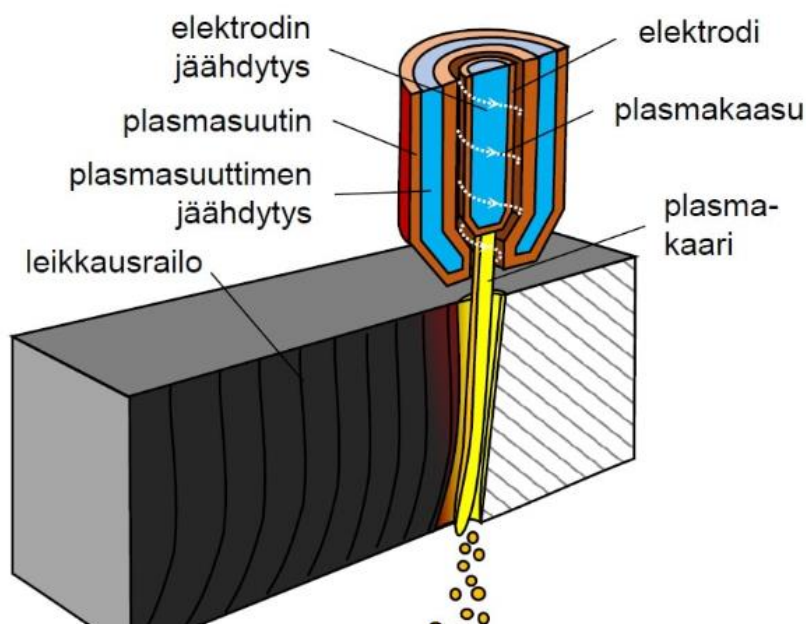
Kuva 1. Laserleikkauksen esimerkki kappaleet (Gensun 2019)

### 3 Plasmaleikkaus teknologia

#### 3.1 Plasmaleikkaus teknologian esittely

Plasmaleikkaus on metallimateriaalien erotusprosessi, jossa materiaalin sulattamiseen ja poistamiseen käytetään korkean lämpötilan plamasädettä. Plasmaleikkausprosessi sisältävät seuraavat vaiheet:

1. Plasman muodostuminen: Plasmaa syntyy, kun kaasu ionisoituu sähköpurkauksen seurauksena polttimen sisällä olevien elektrodien läpi, missä tapahtuu sähköpurkaus. Tämä purkaus lämmittää kaasun erittäin korkeaan lämpötilaan, jolloin syntyy plamasäde.
2. Plasmasäteen fokusointi: Plasmasäde tarkennetaan sitten käyttämällä suutinta ja kaasusuihkua. Tämä luo korkeaan energian plamasäteen, joka on suunnattu metallipintaan. (Kuvio 2.)
3. Reagointi materiaalin kanssa: Plasmasäde vaikuttaa metallin pintaan nostamalla lämpötilan sulamispisteeseen. Metallin alku sulaa ja kaasusuihku poistaa sulan materiaalin muodostaen erotusraon.
4. Liike ja ohjaus: Tietyn muodon tai ääriviivan luomiseksi plasmaleikkuri liikkuu määritettyä polkua pitkin. Liikeohjaus voidaan tehdä manuaalisesti tai automaattisesti käyttämällä tietokoneen numeerista ohjausta (CNC).
5. Leikkauskaasu: Metallin tyypistä ja paksuudesta riippuen voidaan käyttää erilaisia leikkauskaasuja, kuten happea, typpiä tai kaasuseoksia. Kaasu auttaa myös suojaamaan plamasädettä ympäristöltä ja säätelee leikkaustehoa. (VT-Metall 2022.)



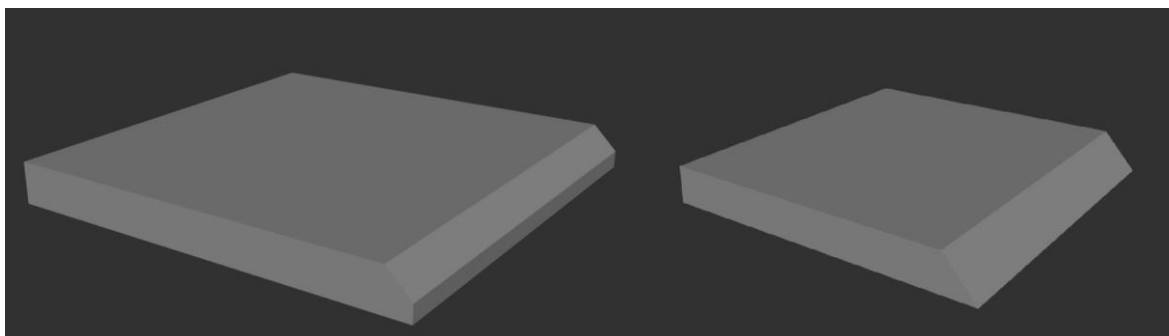
Kuvio 2. Plasmaleikkaukoneen kaavio (Ionix Oy)

### 3.2 Plasmametallileikkauksen ominaisuudet

Plasmaleikkaus sopii paksummille metallimateriaaleille kuin laserleikkaus. Sitä voidaan käyttää metallille, jonka paksuus on 5 mm – useita senttimetrejä. Plasmaleikkaus on tyypillisesti nopeampaa, kuin monet muut menetelmät, kuten esimerkiksi vesileikkaus tai laserleikkaus, varsinkin kun leikataan paksuja metallilevyjä. Reunojen laatu plasmaleikkauksella on yleensä hieman huonompi kuin laserleikkauksella ja saattaa vaatia lisäkäsittelyä. Plasmaleikkausta käytetään laajalti teollisuudessa, mukaan lukien laivanrakennus, autoteollisuus, teräsrakenne ja muut alat. Plasmaleikkaukslaitteet ovat yleensä edullisempia kuin laserjärjestelmät. Sekä laser- että plasmaleikkauksen menetelmillä on etunsa ja rajoituksensa, ja niiden välillä valitseminen riippuu projektin erityisvaatimuksista, materiaalityypistä ja budjetista. (VT-Metall 2022.)

#### Plasmaleikkauksen Edut:

- Suhteellisen helppo ja kustannustehokkaampi kyky luoda viisteitä, jotka voivat olla myös juurellisia ja kaarevia. Nopea prosessiaika vähentää myös metallin hankautumisen, virheellisten leikkausten ja materiaalin vääristymisen riskiä. (Be group; Kuvio 2.)



Kuvio 3. Vasemmalla juurellinen viiste, oikealla tavallinen viiste

- Monipuolisuus. Plasmaleikkauksen avulla voidaan käsitellä terästä, valurautaa, alumiinia, kuparia, titaania ja mitä tahansa muuta metallia, ja työ suoritetaan samoilla laitteilla. On myös tärkeää huomata, että materiaalin pinnan esikäsittelyn laatu ei ole erityisen tärkeä: ruoste, maali tai lika eivät tule esteeksi (VT-Metall 2022.)
- Tuotteen ylikuumeneminen eliminoiduu, koska leikkausalue kuumenee vain paikallisesti. (VT-Metall 2022.)

#### Plasmaleikkauksen Haitat:

- Plasmaleikkausmenetelmä on terminen, mikä väistämättä vaikuttaa metallireunojen laatuun: tapahtuu osittaista materiaalin häviämistä ja myöhempi käsittely vaatii lisäkustannuksia (Be Group).
- Leikkauslaatu ei ole kovin hyvä - plasma ei sovellu leikkaamaan tuotteita, jotka vaativat suurta leikkaustarkkuutta. Suurin leikkaustarkkuus on 0,1 mm (Be Group.)

### 3.3 Plasmaleikkauksen yhteenveto

Plasmaleikkauksen tärkein etu on nopeus ja kyky käsitellä paksuisia kappaleita (30–150 mm riippuen laiteista), sekä mahdollisuus luoda viisteitä, jotka voivat olla myös juurellisia ja kaarevia (kuvio 2). Mitä ohuempi levy on, sitä huonompi laadusta tulee, kuin laserleikkauksella, mutta taas mitä paksumpi tulee levystä, sitä parempi laadusta tulee. Kun käytetään plasmaleikkausta ohuiden levyjen kanssa, tarkkuus ja laatu voivat olla heikompia. Tämä johtuu siitä, että plasma-arkin kuumuus ja energia voivat olla liian voimakkaita ohuelle materiaalille, mikä aiheuttaa epätasaisuuksia ja suurempaa lämpövääristymää. Ohuet levyt voivat myös reagoida voimakkaammin leikkausprosessin aiheuttamiin lämpöjännitteisiin, mikä voi johtaa materiaalin muodonmuutoksiin. Toisaalta paksumpien levyjen kanssa plasmaleikkaus tuottaa yleensä parempia tuloksia. Paksut materiaalit kestävät paremmin

plasman korkeita lämpötiloja, mikä mahdollistaa tarkemman ja puhtaamman leikkauksen. Lisäksi paksujen levyjen tapauksessa lämpövääristymät ovat vähäisempiä, koska materiaali pystyy absorboimaan ja hajottamaan lämpöä tehokkaammin.

16 mm paksuisesta ruostumattomasta teräksestä leikatusta viistekappaleesta plasmaleikkausta käyttäen. Kuvassa näkyy paljon "kraattereita" jotka jäävät levyyn, kuin kone läpäisee levyä, tässä näkyy hyvin, että plasmalla on vaikea käyttää koko levyä, koska "kraatterit" syövät ison osan levystä. Tässä näkyy miksi plasmaleikkauksen jälkeen usein tarvittavaa pintaviimeistelyä. (kuva 2)



Kuva 2. 16 mm paksuisesta ruostumattomasta teräksestä plasmaleikkauksella tehty viistekappale.



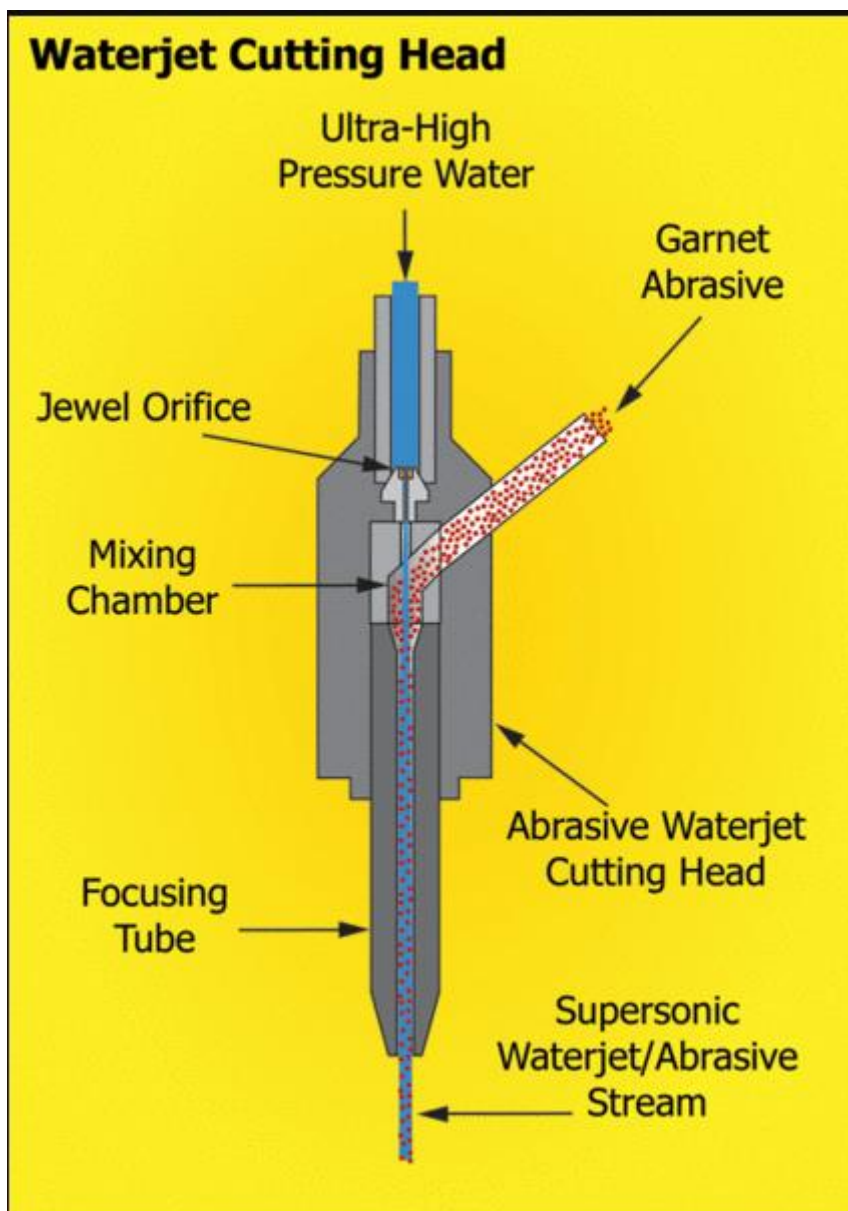
## 4 Vesisuihkuleikkaus teknologia

### 4.1 Vesisuihkuleikkaus teknologia esittely

Vesisuihkumetallileikkaus on metallimateriaalien leikkausprosessi, jossa käytetään veden ja hankaavien hiukkasten, tyypillisesti graniitti- tai timanttihiukkasten, seosta vahvan suihkuvirran luomiseksi. Tämä virran avulla voidaan hajottaa ja poistaa materiaalia. Suihkun nopeus kasvaa paineen noustessa astiassa, jossa se sijaitsee. Kun halkaisijaltaan 1 mm:n reikä avataan, vesi kulkee sen läpi nopeudella, joka ylittää äänen nopeuden 2–3 kertaa. Hioma-aineen lisääminen nesteeseen lisää veden tuhoavaa voimaa. Vesisuihkuleikkausta voidaan käyttää minkä tahansa materiaalin leikkaamiseen. Joissakin tapauksissa tämä menetelmä on ainoa tehokas tapa leikata materiaalia. (Esab Oy; JetDivision.)

Vesisuihkuleikkauksen päävaiheet ovat:

1. Suihkuvirtauksen aloitus: Prosessi alkaa tuottamalla vahva suihkuvirta, joka sisältää veden ja hankaavien hiukkasten seoksen. Tämä virtaus luodaan käyttämällä erikoislaitteita, kuten pumppuja ja suuttimia. (kuvio 3)
2. Fokusoiva vesisuihku: Vesisuihku fokusoidaan suuttimen avulla ja suunnataan leikkattavalle metallipinnalle. Tarkennus määrää leikkaustarkkuuden ja -syvyyden.
3. Vuorovaikutus materiaalin kanssa: Hioma-aineiden sisältämä vesisuihku vaikuttaa metallipintaan. Yli 900 m/s nopeuksilla liikkuvat hiomahiukkaset aiheuttavat mikrokovia iskuja, jotka johtavat materiaalin kulumiseen ja erotusraon muodostumiseen.
4. Liike ja ohjaus: Vesisuihkuleikkuri liikkuu ennalta määrättyä reittiä, jota ohjataan tietokoneen numeerisella ohjauksella (CNC). Tämän avulla voidaan luoda monimutkaisia muotoja ja ääriviivoja. (Esab Oy; JetDivision.)



Kuvio 4. Vesisuihkuleikkauspää (Esab Oy)

#### 4.2 Tekniikan ominaisuudet:

Prosessissa vesi pumpataan pumpulla 1000–6000 ilmakehän paineeseen (atm). Sen jälkeen se syötetään leikkuupäähän halkaisijaltaan 0,08–0,5 mm suuttimen kautta. Kun vesisuihku saapuu sekoituskammioon yläääninopeudella, se yhdistyy hankaavien hiukkasten kanssa. Tällainen suihkuseos vaikuttaa voimallisesti käsiteltävään materiaaliin. Hioma-aineita voidaan valita eri kovuusasteilla. Mitä korkeampi kovuusaste, sitä kovempaa materiaalia voidaan leikata. On huomioitava, että mitä kovempia hiomaelementit ovat, sitä nopeammin leikkuupää kuluu. Hioma-aineina vesisuihkuleikkauksessa voidaan käyttää esimerkiksi graniittia, timanttia tai kvartsihiekkää (JetDivision.)

Menetelmän edut ja haitat:

**Vesileikkauksen edut:**

- Sopii minkä tahansa materiaalin käsittelyyn, jolloin leikattavalle alueelle muodostuva lämpötila on 60–90 °C.
- Mahdollistaa lämpöherkkien raaka-aineiden käsittelyn.
- Ympäristöturvallinen ja estää haitallisten höyryjen ja kaasujen haihtumisen.
- Prosessissa on räjähdys- ja kaasuturvallisuus. (JetDivision.)

**Vesileikkauksen haitat:**

- Leikkausnopeus on riippuvainen materiaalin paksuudesta ja voi olla hitaampi verrattuna muihin menetelmiin. Ohuita osia voi olla tehokkaampaa leikata plasma- tai lasermenetelmillä. (JetDivision.)
- Korkeat laite- ja ylläpitokustannukset, vesileikkaukoneet voivat maksaa satojatusiansia euroja. (Machineseeker.)

#### 4.3 Vesisuihkuleikkauksen yhteenveto

Vesisuihkuleikkaus on erityisen sopiva paksumpien materiaalien leikkaamiseen. Vaikka se on teknologisesti edistynyt menetelmä, se on yleensä hitaampi verrattuna muihin leikkausmenetelmiin kuten plasma- ja laserleikkaus, koska materiaali poistetaan hiomisen kautta, mikä on aikaa vievä prosessi. Leikkausnopeus riippuu materiaalin paksuudesta, laitteen tehosta sekä käytetystä hiomamateriaalista ja voi vaihdella 50–300 mm/m. Leikkausnopeuteen vaikuttavat myös osan muodon monimutkaisuus sekä reikien määrä ja geometria. (Jet-Division).



Kuva 3. 200 mm alumiini kappale (Cuprum)

## 5 Kaasuleikkausteknologia ja toimintaperiaate

### 5.1 Kaasuleikkausteknologian esittely

Kaasuleikkaus on laajalti käytetty metallien käsittelytekniikka, joka perustuu hapen ja palavan kaasun, kuten asetyleenin, yhdistelmään. Tämä prosessi tunnetaan toiminnan yksinkertaisuudestaan ja se ei vaadi monimutkaisia laitteita, mikä tekee siitä suosittua erityisesti korjaus-, rakennus- ja maatalousaloilla. Kaasuleikkaukslaitteet ovat yleensä siirrettäviä, mikä mahdollistaa niiden helpon kuljetuksen ja käytön eri työmailla. (Anohin.)

Ennen leikkausta on tärkeää valmistella metalliosat huolellisesti, mukaan lukien pinnan puhdistaminen liasta ja oksideista. Kaasuleikkausprosessi käsittää polttoaineen ja hapen yhdistämisen polttimessa, joka sytytetään tuottamaan korkean lämpötilan liekki. Kun metalli on saavuttanut riittävän lämpötilan, lisätään puhdas happivirtaus. Tässä vaiheessa tapahtuu kemiallinen reaktio, jossa happi reagoi kuumennetun metallin kanssa, mikä tuottaa lisää lämpöä ja saa metallin sulamaan. (Anohin.)

On tärkeää tunnistaa, että kaasuleikkauksen tarkkuus ei ole yhtä korkea kuin esimerkiksi laserleikkauksen, ja se voi aiheuttaa enemmän lämpömuodonmuutoksia. Lisäksi menetelmä ei sovellu kaikille materiaalityypeille, kuten alumiinille tai ruostumattomalle teräkselle. Tästä huolimatta kaasuleikkaus tarjoaa tehokkaan ratkaisun eripaksuisten metallien leikkaamiseen, etenkin kun edullinen laitekustannus on tärkeä tekijä. (Anohin.)

Tässä ovat kaasuleikkauksen päävaiheet ja keskeiset näkökohdat:

1. Valmistelu: Leikkaavat metalliosat on valmisteltava asianmukaisesti. Tämä sisältää pinnan puhdistamisen lialta ja oksideista hyvän pääsyn varmistamiseksi leikkausalueelle.
2. Kaasujen lähteet: Kaasuleikkaukseen käytetään kahta kaasua - happea ja palavaa kaasua. Happi saa aikaan metallin hapettumisen, ja syttyvä kaasu, kuten asetyleeni, tarjoaa lämmönlähteen metallin sulattamiseen.
3. Kaasupoltin: Kaasupoltin on laite, joka yhdistää hapen ja syttyvän kaasun ja sitten sytyttää ne luoden korkean lämpötilan liekin. Kaasusoihdut voivat olla erilaisia, mukaan lukien seka- ja erillispolttimet
4. Sytytys ja lämmitys: Kaasupolttimen liekki suunnataan leikkauskohtaan. Happi ja syttyvä kaasu sekoitetaan ja sytytetään polttimessa. Tämä luo voimakkaan liekin, joka lämmittää ja sulattaa metallin.

5. Leikkaus: Sulava metalli poistetaan happivirralla, joka hapettaa metallin ja poistaa sen. Näin voidaan tehdä metalliosaan leikkauksen.
6. Liike ja ohjaus: Kaasupoltinta tai sen osia voidaan liikuttaa halutun muodon tai ääri-viivan luomiseksi leikattaessa. Ohjaus voidaan tehdä manuaalisesti tai automaattisesti käyttämällä tietokoneen numeerista ohjausta (CNC). (Anohin.)

## 5.2 Kaasuleikkaus kaasu tyypit

Eri metallien kaasuleikkaus luokitellaan käytön menetelmiin, yleisesti käytetyistä kaasuista. Jokainen menetelmä on optimaalinen tiettyjen tehtävien suorittamiseen. Esimerkiksi, jos on mahdollista muodostaa yhteys verkkoon, voidaan käyttää happisähköistä kaarileikkausta, tai kun työskennellään vähähiilisten terästen kanssa, on parempi käyttää kaasuilmaseosta propaanin kanssa. Seuraavat menetelmät ovat käytännössä kysytyimpiä. (Anohin.)

### 5.2.1 Propaanileikkaus

Metallin leikkaus propaanilla ja hapella on yksi suosituimmista työmenetelmistä, mutta sillä on joitain rajoituksia. Toiminta soveltuu titaaniseoksille, vähähiiliselle ja niukkaseosteisille teräksille. Jos materiaalin hiilipitoisuus tai seosainekomponentti ylittää 1 %, on etsittävä muita happi tehokkaita metallinleikkausmenetelmiä. Tämä menetelmä sisältää myös muiden kaasujen käytön: metaani, asetyleeni ja propaani. (Anohin.)

### 5.2.2 Ilmakaarileikkaus

Happi sähkökaarileikkaus on erittäin tehokas menetelmä. Metallin sulatetaan kaarella ja jäännös poistetaan ilmasuihkulla. Happisähkökaarileikkauksessa kaasua syötetään suoraan elektrodiin pitkin. Tämän menetelmän haittana on matalat leikkaukset. Mutta niiden leveys happi sähkökaarihitsausta tehtäessä voi olla mikä tahansa. (Anohin.)

Kaasuleikkauksen edut:

- Suhteellisen alhaiset laitteet ja materiaalit, laitteet voivat maksaa useita tuhansia euroja (Pzo).
- Mahdollisuus leikata eripaksuisia metalleja 5–300 mm (Pzo).
- Helppokäyttöinen (Pzo).

Rajoitukset ja ominaisuudet:

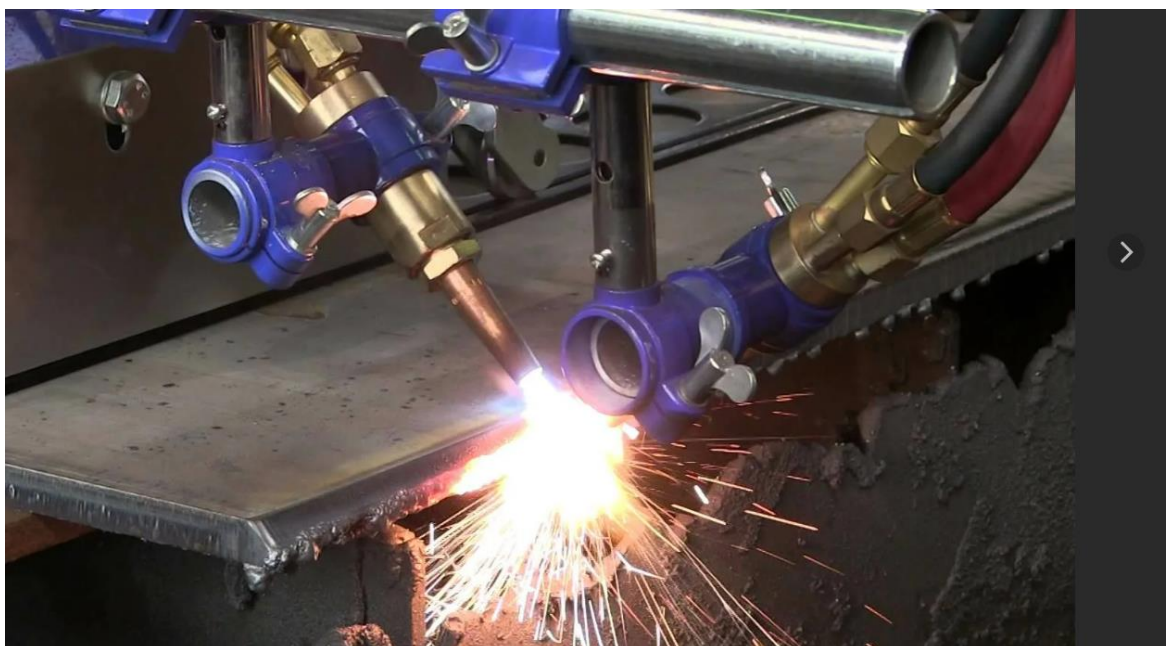
- Ei niin suuri tarkkuus ja leikkausnopeus kuin laserleikkaus tai plasma.
- Enemmän lämpömuodonmuutosta ja hapettumista kuin jotkut muut menetelmät.

- Ei sovellu palamista tukemattomien materiaalien, kuten alumiinin tai ruostumattoman teräksen, leikkaamiseen (Anohin).

### 5.3 Kaasuleikkauksen yhteenveto

Kaasuleikkauksen tärkein etu on, että käsiteltävä materiaali voi olla melko paksua, jopa 300 mm ja enemmän rippujen laitteista, sekä laitteen edullinen hinta verrattuna muihin menetelmiin. Tämän menetelmän suurin haittapuoli on kuitenkin usein käsittelyn tarkkuuden ja laadun puute verrattuna muihin metallinkäsittelytyyppeihin.

Kuvasta ilmenee, että osa vaatii leikkauksen jälkeen lisäkäsittelyä (Kuva 4). Vaikka tämä leikkausmenetelmä soveltuu hyvin yksinkertaisten muotojen leikkaamiseen, monimutkaisempiin kuvioihin on muita, paremmin sopivia menetelmiä. Tämä menetelmä on kuitenkin mahdollinen myös monimutkaisemmissa tapauksissa, vaikkakin se vaatii enemmän aikaa kappaleen jälkikäsittelyn vuoksi.



Kuva 4. 12 mm S355 Kaasuleikkaus (Gelento)

## 6 Sovellusalueet

Tässä luvussa tarkastellaan vielä plasma-, laser-, vesi-, sekä kaasuleikkauksen tyypillisimmät sovellusalueen, mitä materiaalia käytetään, sekä miksi juuri sitä teknologiaa käytetään. Kukin metallinleikkausteknologia on erityisen hyödyllinen tietyissä sovelluksissa ja teollisuudenaloilla riippuen niiden erityisominaisuuksista. Tässä on yleiskatsaus siitä, missä kunkin teknologian vahvuudet korostuvat:

Plasmaleikkaus:

Plasmaleikkauksen sovellusalueet: Raskas teollisuus, laivanrakennus, teräsrakentaminen, kaivosteollisuus.

Plasmaleikkauksen erityiset metallit: Teräkset, ruostumaton teräs, alumiini ja monet muut sähköä johtavat metallit.

Miksi voidaan valita plasmaleikkausta: Plasmaleikkaus on erityisen tehokas paksujen metallilevyjen leikkaamisessa ja se voi leikata monenlaisia metalleja. (Vzmkkontur a.)

Laserleikkaus:

Laserleikkauksen sovellusalueet: Autoteollisuus, ilmailu, elektroniikkateollisuus, hienomekaniikka ja korut.

Erytyiset metallit: Teräs, ruostumaton teräs, alumiini, titaani ja monia muita, myös ei-metallimateriaaleja.

Miksi: Laserleikkaus tarjoaa erittäin tarkan ja puhtaan leikkauksen, mikä tekee siitä ihanteellisen hienoihin ja monimutkaisiin muotoihin. (Vzmkkontur b.)

Vesileikkaus:

Sovellusalueet: Komposiittimateriaalien leikkaus, kiviteollisuus, laatta- ja mosaiikkivalmistus, lento- ja avaruusteollisuus.

Erytyiset metallit ja materiaalit: Lähes kaikki materiaalit, mukaan lukien teräs, titaani, alumiini, lasi, kivi ja keramiikka.

Miksi: Vesileikkaus ei tuota lämpöä, joten se ei vääristä materiaaleja. Se on erityisen tehokas leikkaamaan sekä erittäin kovia että hauraita materiaaleja. (JetDivision.)

Kaasuleikkaus:

Sovellusalueet: Teräksen valmistus, rautatieteollisuus, raskas koneenrakennus.

Erytyiset metallit: Pääasiassa matalahiilliset teräkset.



Miksi: Kaasuleikkaus käyttää kaasua polttamaan ja sulattamaan metallia, ja sitä on perinteisesti käytetty paksujen teräslevyjien leikkaamiseen. (Anohin.)

Kun otetaan huomioon teollisuuden erityisvaatimukset ja materiaalien erilaiset ominaisuudet, tietyt leikkaustekniikat voivat olla suositumpia tietyissä sovelluksissa. Esimerkiksi, kun tarkkuus ja monimutkaiset muodot ovat välttämättömiä (kuten ilmailu), laserleikkaus voi olla suositumpi valinta. Toisaalta, kun käsitellään erittäin paksuja teräslevyjä, plasmaleikkaus ja kaasuleikkaus voivat olla tehokkaampia.

Leikkausmenetelmä	Hyvät Puolet	Huonot Puolet
Plasmaleikkaus	Nopea leikkausnopeus, Monipuolisuus, Hyvä leikkaustarkkuus, Helppokäyttöisyys, Kustannustehokkuus, Ei lämpömuodonmuutoksia, Kyky leikata paksuja materiaaleja	Ei yhtä tarkka kuin laser, Voi aiheuttaa lämpövaurioita, Rajoitetumpi materiaalivalikoima, Tarvitsee kulutustarvikkeita (kaasut, elektrodit)
Laserleikkaus	Erittäin tarkka, Nopea, Monipuolinen materiaalien käyttö, Pieni lämpövyöhyke, Automaatio ja ohjelmointi, Ympäristöystävällinen, Pieni viillon leveys, Vähemmän jälkikäsittelyä	Korkeat alkuinvestoinnit, Rajoitukset paksuudessa, Korkea energiankulutus, Huoltotarpeet, Turvallisuusriskit, Materiaalirajoitukset
Kaasuleikkaus	Eduellinen, Sopii paksujen materiaalien leikkaamiseen, Ei vaadi monimutkaista laitteistoa, Siirrettävyys	Ei tarkka, Tuottaa lämpömuodonmuutoksia, Ei sovellu kaikille materiaalityypeille, Kaasujen kustannukset
Vesileikkaus	Erittäin tarkka, Ei lämpömuodonmuutoksia, Sopii monille materiaalityypeille, Vähäinen ympäristövaikutus, Ei tuota haitallisia kaasuja tai pölyä, Ei aiheuta materiaalin kovettumista	Kallis, Rajoitukset leikkausnopeudessa, Huoltotarpeet, Voi kuluttaa paljon vettä ja sähköä, Tarvitsee erikoistarvikkeita (abrasiiviaineet)

Taulukko 2. Lyhyesti positiivisista ja negatiivisista asioista.

## 7 Laitteiden erilaiset kustannukset

### 7.1 Plasmaleikkaus

Työvoima:

Plasmaleikkaus vaatii koulutetun työvoiman, mutta teknologian yleisyys ja käyttäjäystävälliset käyttöliittymät ovat tehneet siitä hieman vähemmän erikoistuneen verrattuna laserleikkaukseen. Kuitenkin turvallisuuden varmistaminen ja tehokkaan toiminnan ylläpitäminen vaativat ammattitaitoa. (NMF 2024).

Energiakustannukset:

Vaikka plasmaleikkaus on myös suhteellisen energiantensiivistä, se on tyypillisesti hieman vähemmän kuluttavaa kuin laserleikkaus. Energiakulutus riippuu leikattavan materiaalin paksuudesta ja leikkausnopeudesta. Plasmakoneilla voi olla hyvin erilaisia tehoja 3 kW:sta 50 kW:iin tai enemmän riippuen siitä, mitä ja kuinka paksua materiaalia täytyy käsitellä. (Machineseeker.)

Laitteiston hankintakustannukset:

Kustannukset riippuvat laitteen kapasiteetista ja ominaisuuksista. Ammattikäyttöön tarkoitetut plasmaleikkurit voivat maksaa muutamasta sadasta eurosta satoihin tuhansiin euroihin. (Machineseeker.)

Käyttökustannukset:

Plasmakaasut kuten argon, typpi tai ilmasekoitukset ovat välttämättömiä. Niiden kustannukset vaihtelevat, mutta voivat olla useita tuhansia euroja kuutiometriä kohden. Plasmaleikkausta voidaan suorittaa myös paineilmaa käyttäen, mutta se vaikuttaa leikkauspintoihin. Paineilmaa käytettäessä ei ole suositeltavaa leikata metalleja, jotka ovat alttiita oksidoinnille, kuten alumiinia tai ruostumatonta terästä. Paineilman käyttö on usein kustannus tehokkaampaa kuin erikoiskaasujen käyttö. (Linde plc.)

Huolto ja korjaus:

Suuttimien ja elektrodien vaihto voi olla välttämätöntä usein, ja niiden kustannukset voivat olla muutamasta eurosta yli kymmeneen euroon kappaleelta. (Machineseeker.)

Plasmaleikkauksen kaasun kulutus:

Tarkkojen tietojen saamiseksi plasman leikkauksessa käytettävien kaasujen kulutuksesta otetaan huomioon tekijöitä kuten materiaalin paksuus ja tyyppi, käytetyn plasmaleikkurin tyyppi sekä leikkausasetukset. Tässä on likimääräisiä arvoja yleisille tilanteille:

**Ilma:** Hiiliteräksen leikkaamiseen käytettävän ilman kulutus voi vaihdella 0,17–0,34 m<sup>3</sup>/min välillä.

**Typpi:** Ruostumattoman teräksen ja alumiinin leikkaamiseen käytettävän plasman kaasun kulutus on yleensä noin 0,19–0,38 m<sup>3</sup>/min, ja suojakaasun kulutus noin 0,17–0,34 m<sup>3</sup>/min.

**Happi:** Hiiliteräksen leikkaamiseen käytettävän hapen kulutus on yleensä 0,17–0,34 m<sup>3</sup>/min.

**Argon-vety:** Paksun ruostumattoman teräksen ja alumiinin leikkaamiseen käytettävän plasman kaasun kulutus voi olla noin 0,065–0,13 m<sup>3</sup>/min, ja suojakaasun kulutus 0,17–0,38 m<sup>3</sup>/min.

Nämä arvot ovat suuntaa antavia ja voivat vaihdella laitteiston ja leikkausolosuhteiden mukaan. (Pzo.)

## 7.2 Laserleikkaus

Työvoima:

Laserleikkaus on teknologisesti edistynyttä ja vaatii käyttäjältä erityistä asiantuntemusta ja koulutusta. Koneiden käyttö ja ohjelmointi, työstettävien osien asettelu ja leikkausparametrien optimointi vaativat koulutettua henkilökuntaa. Tämä voi kasvattaa työvoimakustannuksia, sillä korkeamman pätevyyden omaavat työntekijät yleensä saavat korkeampaa palkkaa.

Energiakustannukset:

Laserleikkaus on yksi energiantensiivisimmistä leikkausmenetelmistä. Koneiden tehokkuuden mukaan ne voivat kuluttaa paljon sähköä, etenkin kun käytössä on suurteholaserit. Jatkuva, pitkäaikainen käyttö lisää sähkönkulutusta merkittävästi, mikä tekee siitä kalliimman vaihtoehdon verrattuna muihin leikkaustekniikoihin. (Machineseeker.)

Laitteiston hankintakustannukset:

Ammattimaiset laserleikkaukoneet voivat maksaa satatuhatta euroa tai enemmän riippuen tehosta, tarkkuudesta ja muista ominaisuuksista. (Machineseeker.)

Käyttökustannukset:

Energiankulutus on huomioitava, samoin kuin mahdolliset kaasut kuten typpi tai argon, joka voi kattaa suurimman osan kustannuksista 1 kuutiometri typpeä voi maksaa yli 2000 euroa. (Linde plc.)

Huolto ja korjaus:

Laserelementit voivat olla kalliita korvata, mutta niiden elinikä voi olla pitkä oikein käytettynä. Huoltosopimukset voivat olla useita tuhansia euroja vuodessa (Lasermeister).

Laserleikkauksen kaasun kulutus

Kaasun kulutus laserleikkauksessa määritetään useiden tekijöiden perusteella, mukaan lukien käsiteltävän materiaalin paksuus ja tyyppi, laserin teho ja leikkausnopeus. Kaasun kulutus voi olla 0.1–0.8 m<sup>3</sup>/min (Stal-Kom 2021).

### 7.3 Vesileikkaus

Työvoima:

Vesileikkauksessa, erityisesti abrasiivisessa vesileikkauksessa, vaaditaan ammattitaitoista käyttäjää, jotta prosessi olisi turvallinen ja tehokas. Vesileikkaus voi vaatia enemmän huoltoa ja tämän vuoksi myös lisää huoltotyötä, mikä voi kasvattaa työvoimakustannuksia.

Energiakustannukset:

Vesileikkauslaitteet vaativat pumppuja, jotka tuottavat korkean paineen vettä, ja tämä voi kuluttaa paljon energiaa, pienet ja keskikokoiset koneet voivat kuluttaa 15–40 kilowattia, kun taas suuret teollisuustason vesileikkaukoneet voivat kuluttaa yli 50 kilowattia. Lisäksi, jos käytössä on abrasiivinen vesileikkaus, tarvitaan energiaa myös abrasiiviaineen syöttämiseen leikkausvirtaan. (Techni Waterjet).

Laitteiston hankintakustannukset:

Ammattikäyttöön tarkoitetut vesileikkaukoneet voivat maksaa satojatuhansia euroja riippuen koosta ja ominaisuuksista. (Machineseeker).

Käyttökustannukset:

Abrasiivi materiaalin, kuten hiekka, lisäksi on otettava huomioon veden ja energian kulutus. Abrasiivi voi maksaa useita euroja kilogrammaa kohden (JetDivision).

Huolto ja korjaus:

Pumput ja suuttimet kuluvat ja voivat olla kalliita korvata, mutta niiden elinikä voi olla pitkä oikein käytettynä (JetDivision).

Vesileikkauksen veden ja abrasiivin kulutus:

Vesisuihkukoneessa käytetään abrasiivi, jonka syöttönopeus on 200–500 grammaa minuutissa. Tunnissa kulutus voi olla jopa 30 kiloa abrasiivia. Vesikustannukset riippuvat esimerkiksi siitä, käytetäänkö suljettua järjestelmää vai ei. Vesisuihkuleikkauskone kuluttaa noin 4,5 litraa vettä minuutissa (JetDivision).

#### 7.4 Kaasuleikkaus

Työvoima:

Kaasuleikkaus on vanhempi tekniikka verrattuna plasma- tai laserleikkaukseen ja sitä pidetään yhtenä yksinkertaisimmista ja helpoimmista oppia. Tämän vuoksi työvoimakustannukset voivat olla alhaisemmat verrattuna edistyneempiin teknologioihin, mutta silti turvallisuusnäkökohdat ja ammattitaitoinen käyttö ovat tärkeitä. (Anohin.)

Energiakustannukset:

Kaasuleikkauksen energiankulutus voi olla suhteellisen alhainen verrattuna muihin menetelmiin, mutta kaasujen, kuten hapen ja asetyleenin tai propaanin, kustannukset täytyy ottaa huomioon. Kaasujen hinta vaihtelee markkinoilla, ja ne voivat muodostaa merkittävän osan operatiivisista kustannuksista. (Anohin.)

Kun puhutaan operatiivisista kustannuksista, on tärkeää mainita, että teknologian kehittyessä myös energiatehokkuus paranee. Uudet laiteversiot voivat kuluttaa vähemmän energiaa ja olla yksinkertaisempia käyttää, mikä voi alentaa sekä työvoima- että energiakustannuksia pitkällä aikavälillä. Lisäksi automatisaation lisääntyminen voi vähentää työvoimakustannuksia, mutta saattaa lisätä alkuinvestointien tarvetta. (Anohin.)

Laitteiston hankintakustannukset:

Yksinkertaiset kaasupolttimet voivat maksaa pari tuhatta euroja, kun taas automatisoidut järjestelmät voivat nousta kymmeneen tuhansiin (Machineseeker).

Käyttökustannukset:

Kaasujen, kuten happi ja asetyleeni, hinta voi vaihdella mutta voi olla useita tuhansia euroja kuutiometriä kohden (Machineseeker).

Huolto ja korjaus:

Suuttimien ja polttimien kulumista voi esiintyä, mutta niiden korvaaminen ei yleensä maksa paljon.

Kaasuleikkaus kaasun kulutus:

Hapen ja propaanin kulutus metallin kaasuleikkauksen aikana riippuu useista tekijöistä. Ensimmäinen tekijä on kaasuleikkattavan metallin paksuus ja tyyppi. Mitä paksumpi metalli, sitä enemmän happea ja propaania tarvitaan työn suorittamiseen. Toinen tekijä on kaasuleikkauksen menetelmä. Kaasuleikkaukseen on erilaisia menetelmiä, kuten manuaalinen, mekaaninen tai automaattinen. Jokaisella menetelmällä on omat ominaisuutensa ja se vaatii tietyn hapen ja propaanin kulutuksen. Kolmas tekijä on operaattorin kokemus ja ammattitaito. Kokenut käyttäjä voi määrittää tarkemmin optimaalisen happi-propaani-suhteen parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Kaasunkulutus metallia leikattaessa voi vaihdella välillä 0,2–0,8 m<sup>3</sup>/tunti. (Pzo.)

## 7.5 Ympäristövaikutukset ja niiden kustannukset

Ympäristövaikutukset ja niistä aiheutuvat kustannukset ovat yhä tärkeämpiä tekijöitä tuotantomenetelmiä valittaessa. Kustannuksia voi syntyä suoraan ympäristölle aiheutettavasta haitasta, resurssien kulutuksesta, päästöistä, energiankulutuksesta ja jätteiden käsittelystä sekä epäsuorasti regulaatioiden, päästöoikeuksien ja markkinoiden vaatimusten myötä.

### **Laserleikkaus**

Ympäristövaikutukset:

- Pienet päästöt: Laserleikkaus tuottaa vähän suoria päästöjä, mutta voi synnyttää haitallisia höyryjä ja savua, mikäli leikattava materiaali sisältää myrkyllisiä aineita.
- Energiankulutus: Laserleikkaus voi kuluttaa paljon sähköä, mikäli energia ei ole peräisin uusiutuvista lähteistä, tämä voi kasvattaa leikkausmenetelmän hiilijalanjälkeä. (JQ Laser).

Kustannukset:

- Ilmanpuhdistus- ja poistoilman käsittelyjärjestelmien tarve voi lisätä kustannuksia.
- Energiankulutuksesta johtuva suurempi hiilidioksidipäästö voi vaikuttaa yrityksen päästöoikeuskustannuksiin.

### **Plasmaleikkaus**

Ympäristövaikutukset:

- Päästöt: Plasmaleikkaus voi vapauttaa ilmakehään haitallisia kaasuja ja savuja, etenkin kun leikataan pinnoitettuja tai sisältämiä materiaaleja.

- Melutaso: Plasmaleikkaus voi aiheuttaa korkeita melutasoja, jotka voivat vaikuttaa työympäristöön ja ympäristöön yleensä. (VT-Metall 2022).

Kustannukset:

- Tarve tehokkaille ilmanpuhdistusjärjestelmille voi lisätä operatiivisia kustannuksia.
- Meluntorjunta voi vaatia investointeja äänieristykseen tai muuhun melun vähentämiseen.

## Vesileikkaus

Ympäristövaikutukset:

- Vesikulutus: Vesileikkaus käyttää suuria määriä vettä, mikä voi olla ongelma vesipulan alueilla.
- Abrasiivijätteen käsittely: Abrasiivinen vesileikkaus tuottaa kiintojätettä, joka on käsiteltävä ja hävitettävä asianmukaisesti. (JetDivision).

Kustannukset:

- Veden kulutuksesta voi aiheutua suoria kustannuksia, ja vesien kierrätysjärjestelmien käyttöönotto voi olla tarpeen.
- Jätteiden käsittely ja hävittäminen voi tuoda lisäkustannuksia, riippuen paikallisista määräyksistä ja saatavilla olevista käsittelypalveluista.

## Kaasuleikkaus

Ympäristövaikutukset:

- Päästöt: Perinteiset kaasuleikkausmenetelmät voivat päästää ilmakehään kasvihuonekaasuja ja muita haitallisia aineita.
- Energiakulutus: Vaikka kaasuleikkaus voi olla energiatehokkaampaa kuin muut menetelmät, kaasujen tuotanto ja kuljetus voi sisältää ympäristöriskit. (Anohin).

Kustannukset:

- Kaasujen, kuten happi ja asetyleeni, säilytys ja käsittely vaatii tiukkoja turvallisuusmääräyksiä, mikä voi lisätä kustannuksia.

## 7.6 Investointi esimerkki

On melko vaikeaa laskea, kuinka paljon pääomaa kuhunkin laitteeseen tai tekniikkaan tarvitaan, koska jokainen pieni yksityiskohta voi joko vähentää tai lisätä investointikustannuksia huomattavasti. Esimerkkinä voi kuitenkin ottaa ”Otinus FLV-3015-CT-6022 3kW”, joka maksaa 135 515,88 euroa (Machineseeker). Laserkoneiden käyttöikä ilman huoltoa on keskimäärin 30 000 tuntia, jos työpäivä on ma-pe, niin saavutetaan tämän luvun 5 vuoden kulluttua, mutta on harvinaista, että tehdas toimii ympäri vuoden 24 tuntia vuodessa, kesällä laitos yleensä toimii usein 8–18 tuntia, joten tämä luku voidaan nostaa 8–10 vuoteen. Jos huolletaan konetta asianmukaisesti ja vaihdetaan varaosat ajoissa, tätä lukua voidaan kasvattaa.

Kaasunkulutus vaihtelee suuresti riippuen materiaalin paksuudesta sekä konetyypistä ja käsiteltävästä materiaalista, joten tarkkoja lukuja on vaikea antaa. Kannattaa huomioida myös sähkön hinta, joka voi myös vaikuttaa ”Otinus FLV-3015-CT-6022 3kW” koneen kustannuksiin, kulutus voi olla 4,3 kW/h. Jos otetaan suurin mahdollinen kulutus niin laserkoneen sähkönkulutus yhden vuoden aikana olisi noin 21586 kilowattituntia (kWh), kun se toimii 8 kuukautta 24 tuntia päivässä ja 4 kuukautta 16 tuntia, vuonna 2023 suomessa oli 251 työpäiviä, jos keskimäärin työskennellään 20 tuntia päivässä. Laserkone sähkönkulutus yhden vuoden aikana olisi noin 21586 kilowattituntia (kWh). Sähkön hinta muuttuu koko ajan mutta jos otetaan sähkön hintaa 15.11.2023, joka on 0.1612 euroa (Summarum.) niin vuoden energian kustannukset ovat noin 3500 euroa.

Kaasun kustannuksiakin täytyy huomioida koska ne ovat yleensä suurin kustannus metallin leikkauksessa. Tarkasti kaasun kulutusta on erittäin vaikeaa laskea, koska se riippuu monista tekijöistä, kuten esimerkiksi leikattavan kappaleen paksuudesta, materiaalista, laiteista, kaasun laadusta sekä monista muista tekijöistä. Kulut ovat noin 2500–27 500 euroa kuukaudessa. (sendcutsend 2023). Ylläpitokustannukset voivat vaihdella useista tuhansista euroista vuodessa. (lasermeister,) Myös työntekijöiden kustannukset kannattaa ottaa huomioon, laserkoneen työntekijän palkka on keskimäärin jossain 2200–3400 euron luokkaa kuukaudessa. Jos otetaan kaikki mainitut kulut niin ensimmäisenä vuotena investointi kulut ja ylläpitokustannukset voivat olla noin 200,000–300,000 euroa, ja noin 150,000 euroa seuraavina vuosina. Mutta nämä ovat likimääräisiä lukuja, sillä sähkön hinta voi muuttua, samoin kuin kaasun hinta ja kulutus voivat vaihdella aika paljon. On myös syytä ottaa huomioon kaikki mahdolliset viat, joita voi ilmetä koneen käytön aikana.



## 8 Tulevaisuuden näkymät

### 8.1 Johdanto teknologioiden tulevaisuuden näkymiin

Tulevaisuuden näkymät metallien leikkausteknologioiden osalta ovat erittäin lupaavat. Teknologinen kehitys ja teollisuuden tarpeet ajavat jatkuvaa innovaatiota näillä alueilla. Tässä on lyhyt yhteenveto siitä, mitä voidaan odottaa kunkin mainitun teknologian osalta:

### 8.2 Plasmaleikkaus

#### **Tehokkuuden ja tarkkuuden parantuminen:**

Uusien teknologioiden kehittyessä plasmaleikkureiden tarkkuus ja leikkausnopeus voivat parantua huomattavasti. Kehittyneet ohjausjärjestelmät ja ohjelmistot, kuten tekoäly ja koneoppiminen, voivat auttaa optimoimaan leikkausprosessia, vähentämään materiaalihukkaa ja parantamaan lopputuotteen laatua.

**Energiatehokkuuden Parantaminen:** Energiatehokkuuden parantaminen on keskeinen tavoite, sillä se vähentää kustannuksia ja on ympäristön kannalta kestävämpää. Kehittyneemmät plasmageneraattorit ja leikkaustekniikat voivat vähentää tarvittavan energian määrää ja parantaa energian hyödyntämistä prosessissa.

**Automatisaatio ja Robotiikka:** Plasmaleikkausprosessin integrointi automatisoituihin tuotantojärjestelmiin ja robottijärjestelmiin on yksi tärkeä kehityssuunta. Tämä mahdollistaa monimutkaisempien ja tarkempien leikkausten suorittamisen vähemmällä ihmistyövoimalla, lisäten tuotannon tehokkuutta ja vähentäen virheitä.

**Ympäristöystävällisyys:** Plasmaleikkaustekniikan kehittyessä ympäristönäkökulmat, kuten päästöjen vähentäminen ja energiankulutuksen alentaminen, tulevat entistä tärkeämmiksi. Puhtaammat teknologiat ja prosessit, jotka vähentävät haitallisia päästöjä ja melua, voivat olla kehityksen kohteena.

**Materiaalien Monipuolistuminen:** Uudet plasmaleikkaustekniikat voivat tarjota parempaa suorituskykyä erilaisten materiaalien, kuten erikoismetalliseosten ja komposiittien leikkauksessa. Tämä monipuolistaa plasmaleikkauksen käyttökohteita ja tekee siitä entistä joustavamman työkalun erilaisiin valmistustehtäviin.

**Käyttäjäturvallisuus ja Koulutus:** Käyttäjäturvallisempien käyttöliittymien ja ohjelmistojen kehittäminen voi helpottaa plasmaleikkureiden käyttöä ja huoltoa. Koulutus ja virtuaaliodellisuuden hyödyntäminen koulutuksessa voivat olla keskeisiä tekijöitä, kun työntekijöitä koulutetaan käyttämään uusia plasmaleikkaustekniikoita. Näiden kehityssuuntien

myötä plasmaleikkaus pysyy tärkeänä ja kehittyvänä osana metallintyöstöteollisuutta, vastaten tulevaisuuden haasteisiin ja mahdollisuuksiin. (vzmkkontur a.)

### 8.3 Laserleikkaus

Metallien laserleikkauksen tulevaisuus näyttää erittäin lupaavalta, kun otetaan huomioon jatkuva teknologian kehitys ja teollisuuden tarpeiden muuttuminen.

**Tehokkaampien Laserien Kehitys:** Tulevaisuudessa voidaan odottaa entistä tehokkaampia lasereita, mikä mahdollistaa paksujen metallilevyjen nopeamman ja tarkemman leikkaamisen. Kehittyneet laserlähteet, kuten kuitu- ja disklaserit, ovat jo nyt suosittuja niiden tehokkuuden ja käyttöiän ansiosta. Tulevaisuudessa voidaan nähdä vielä tehokkaampia ja energiatehokkaampia laserlaitteita.

**Eri Aallonpituuksien ja Lasertyyppien Tutkimus:** Eri aallonpituuksia käyttävien lasereiden tutkimus voi tarjota parempia ratkaisuja erityyppisten metallien leikkaamiseen. Esimerkiksi tietyt aallonpituudet voivat olla tehokkaampia tietyille metalliseoksille.

**Automaatio ja Älykkäät Järjestelmät:** Laserleikkausprosessien integrointi älykkäisiin valmistusjärjestelmiin ja automaation lisääntyminen voivat parantaa tehokkuutta ja vähentää inhimillisiä virheitä. Tekoäly ja koneoppiminen voivat auttaa optimoimaan leikkausprosessit ja parantaa tuotannon suunnittelua.

**Ympäristöystävällisyys ja Energiatehokkuus:** Energiatehokkuus on yhä tärkeämpää, ja tulevaisuuden laserleikkausteknologiat voivat keskittyä entistä vähäisempään energiankulutukseen. Ympäristövaikutusten vähentäminen, esimerkiksi vähäpäästöisten laitteiden ja prosessien kehittäminen, on myös tärkeää.

**Materiaalien Monipuolistuminen:** Uudet laserleikkaustekniikat voivat tarjota parempia ratkaisuja monenlaisten materiaalien, kuten erilaisten metalliseosten ja komposiittien, leikkaamiseen. Tämä monipuolistaa laserleikkauksen käyttökohteita ja tekee siitä entistä joustavamman työkalun erilaisiin valmistustehtäviin.

**Turvallisuus ja Käyttäjystävällisyys:** Turvallisuus paranee entisestään uusien teknologioiden ja parempien turvallisuusstandardien myötä. Käyttöliittymien ja ohjelmistojen parannukset tekevät laitteista helpompia ja intuitiivisempia käyttää. Nämä kehityssuunnat osoittavat, että metallien laserleikkausteknologia ei ole ainoastaan pysymässä relevanttina, vaan se on myös kehittymässä vastaamaan tulevaisuuden haasteisiin ja mahdollisuuksiin teollisuudessa. (vzmkkontur b.)

## 8.4 Kuitu- ja disk-laserit

Kuitu- ja disk-laserit ovat kaksi erittäin suosittua ja tehokasta lasertyyppiä, jotka ovat saaneet huomattavaa suosiota teollisuudessa erityisesti metallien leikkauksessa ja hitsauksessa.

### **Kuitulaser:**

Toiminta: Kuitulaserissa lasivoima generoidaan harvinaisten maaperämetallien, kuten ytterbiumin, doteeraamissa optisissa kuiduissa.

### **Edut:**

- Korkea hyötysuhde: Koska lähde on kuitu, se on erittäin tehokas, ja sillä on pienet lämpöhäviöt.
- Kestävyys: Ei liikkuvia osia ja vähemmän huoltoa tarvitsevia komponentteja.
- Joustavuus: Kuitujen pituuden ja joustavuuden ansiosta niitä voidaan käyttää monimutkaisissa asennuksissa.
- Hyvä säteenlaatu: Säde on erittäin tarkka, mikä mahdollistaa erittäin ohuiden materiaalien leikkauksen.
- Käyttökohteet: Kuitulaserit ovat suosittuja erityisesti ohuiden metallien leikkauksessa ja hitsauksessa, mutta niitä käytetään myös merkintäsovelluksissa ja hienomekaniikassa. (Senfeng).

### **Disk-laser:**

Toiminta: Disk-laserissa lasivoima generoidaan paksusta, levymäisestä puolijohdelevystä (diskistä), joka on dotoitu harvinaisilla maaperämetalleilla.

### **Edut:**

- Hyvä jäähdytys: Koska laserdiskillä on suuri pinta-ala suhteessa tilavuuteen, se voi hajottaa lämmön tehokkaasti.
- Korkea tehokkuus: Disk-laserit voivat toimia suurilla tehoilla pitkän aikaa.
- Hyvä säteenlaatu: Disk-laserit tuottavat korkealaatuisen ja tarkan säteen.
- Skaalautuvuus: Disk-laserin tehoa voidaan helposti lisätä lisäämällä laserdiskejä.
- Käyttökohteet: Disk-lasereita käytetään usein sovelluksissa, jotka vaativat suuria tehoja, kuten metallien leikkaus ja hitsaus sekä materiaalien pintakäsittely.
- Molemmat lasertyypit tarjoavat korkean hyötysuhteen ja tarkkuuden, ja ne ovat olennainen osa modernia teollista valmistusta. Vaikka ne ovat hieman kalliimpia kuin

perinteiset CO<sub>2</sub>-laserit, niiden tehokkuus ja pitkä elinikä tekevät niistä kustannustehokkaita pitkällä aikavälillä. (Veiler 2009).

## 8.5 Vesileikkaus

**Teknologian Kehittyminen ja Korkeapainetekniikan Parannukset:** Vesileikkaustekniikan jatkokehitys voi tuoda mukanaan korkeamman paineen ja tarkemman suuttimen teknologioita, jotka mahdollistavat entistä tarkemman ja nopeamman leikkaamisen. Uudet materiaalit suuttimissa ja muissa kriittisissä komponenteissa voivat lisätä laitteiston kestävyyttä ja tehokkuutta.

**Energiatehokkuuden Parantaminen:** Vesileikkauksen energiatehokkuuden parantaminen on tärkeää, koska se vähentää sekä kustannuksia että ympäristövaikutuksia. Kehittyneet pumpputeknologiat ja energianhallintajärjestelmät voivat vähentää vesileikkausjärjestelmien energiankulutusta.

**Ympäristöystävällisyys ja Kestävä Kehitys:** Vesileikkaus on jo ympäristöystävällinen prosessi, mutta sen kehityksessä voidaan keskittyä vielä enemmän veden ja muiden resurssien säästämiseen. Käytetyn veden kierrätysjärjestelmien ja jäteveden puhdistustekniikoiden kehitys voi olla keskeistä.

**Materiaalien Monipuolistuminen:** Vesileikkaus on jo nyt monipuolinen menetelmä, joka soveltuu monenlaisille materiaaleille, mutta tulevaisuudessa se voi laajentua entisestään, esimerkiksi erilaisten komposiittien ja uusien metalliseosten käsittelyyn.

**Automaatio ja Älykkäät Järjestelmät:** Vesileikkauksilaitteiston integrointi automatisoituihin tuotantolinjoihin ja älykkäisiin valmistusjärjestelmiin voi lisätä prosessin tehokkuutta ja tarkkuutta. Tekoäly ja koneoppiminen voivat auttaa optimoimaan leikkausprosesseja ja parantamaan tuotannon suunnittelua.

**Käyttäjäystävällisyys ja Koulutus:** Käyttöliittymien ja ohjelmistojen suunnittelussa voidaan keskittyä käyttäjäystävällisyyteen, mikä helpottaa laitteiston käyttöä ja ylläpitoa. Koulutus ja tukimateriaalit ovat tärkeitä, jotta käyttäjät voivat hyödyntää vesileikkaustekniikan täyden potentiaalin. Näiden kehityssuuntien myötä vesileikkaustekniikka pysyy kilpailukykyisenä ja relevanttina vaihtoehtona monille teollisuudenaloille, vastaten samalla kestävä kehityksen haasteisiin.

## 8.6 Kaasuleikkaus

Kaasuleikkaustekniikan tulevaisuus voi keskittyä useisiin innovaatioihin ja parannuksiin, jotka tehostavat prosessia ja tekevät siitä ympäristöystävällisemmän. Tässä on joitakin mahdollisia kehityssuuntia kaasuleikkaukselle:

**Energiatehokkuuden ja Ympäristöystävällisyyden Parantaminen:** Uudet kaasuseokset ja polttoaineet, jotka polttavat puhtaammin ja tehokkaammin, voivat vähentää päästöjä ja parantaa energiatehokkuutta. Kehittyneet palamistekniikat voivat myös auttaa vähentämään kaasun kulutusta ja pienentämään hiilijalanjälkeä.

**Tarkkuuden ja Nopeuden Parantaminen:** Teknologian kehittyessä kaasuleikkauksen tarkkuus ja nopeus voivat parantua, mikä tekee menetelmästä kilpailukykyisemmän muihin leikkaustekniikoihin verrattuna. Tarkemmat suuttimet ja parempi ohjaustekniikka voivat mahdollistaa monimutkaisten ja tarkkojen leikkausten tekemisen.

**Automaatio ja Älykkäät Järjestelmät:** Kaasuleikkauslaitteiston integrointi automatisoituihin tuotantolinjoihin voi lisätä tehokkuutta ja vähentää virheitä. Älykkäät ohjausjärjestelmät, jotka käyttävät tekoälyä ja koneoppimista, voivat optimoida leikkausprosessia ja parantaa lopputuloksen laatua.

**Turvallisuuden Parantaminen:** Uudet turvallisuusteknologiat ja -protokollat voivat vähentää onnettomuusriskiä ja parantaa työntekijöiden turvallisuutta. Kaasuvuotojen havaitsemisjärjestelmät ja automaattiset sammutusjärjestelmät voivat olla tärkeitä turvallisuusparannuksia.

**Monipuolistuminen ja Sovellusalueiden Laajentuminen:** Kaasuleikkauksen soveltuvuuden parantaminen erityyppisille ja -paksuisille materiaaleille voi avata uusia markkinoita ja sovellusalueita. Kehittyneet menetelmät, kuten laserin ja kaasuleikkauksen yhdistäminen, voivat tarjota monipuolisempia ratkaisuja monimutkaisiin leikkaustarpeisiin.

**Käyttäjystävällisyys ja Koulutus:** Käyttöliittymien ja ohjelmistojen parantaminen voi tehdä kaasuleikkureiden käytöstä helpompaa ja tehokkaampaa. Koulutusohjelmat ja virtuaaliodellisuusperustainen koulutus voivat olla avainasemassa, kun uusia teknologioita otetaan käyttöön. Kaasuleikkaustekniikan tulevaisuus näyttää siis keskittyvän ympäristöystävällisyyteen, tehokkuuteen, turvallisuuteen ja teknologian integraatioon, mikä varmistaa sen pysyvän merkittävänä työkaluna metallintyöstössä ja muissa teollisissa sovelluksissa.

## 8.7 Koneoppimisen ja tekoälyn integraatio

A koneoppimisen ja tekoälyn syvempi integraatio metallien leikkausteknologioihin avaa useita mahdollisuuksia tehokkuuden ja luotettavuuden parantamiseen. Tässä on tarkempi selostus näistä kahdesta osa-alueesta:

### 8.7.1 Kehittyneet ennustavat huoltomallit

Koneoppimista voidaan hyödyntää leikkauslaitteiden ennakoivaan huoltoon, joka perustuu laitteiden toimintadataan ja suorituskykytietoihin. Sensoreita ja datankeruulaitteita käyttäen voidaan kerätä tietoa leikkausprosessista, kuten terän kulumisesta, leikkauspaineesta, lämpötilasta ja muiden kriittisten komponenttien kunnosta.

Tämä data syötetään koneoppimismalleihin, jotka oppivat tunnistamaan kuviot ja ennustamaan mahdollisia ongelmia, kuten laitteiston vikaantumisen tai huoltotarpeen. Mallit voivat esimerkiksi havaita epätavallisia värähtelymalleja tai lämpötilan muutoksia, jotka voivat viitata komponentin kulumaan tai rikkoutumiseen. Näin voidaan ajoittaa huolto ennen kuin laite hajoaa, mikä vähentää odottamattomia seisokkeja ja voi säästää merkittävästi kustannuksia.

### 8.7.2 Älykkäät optimointialgoritmit

Tekoälyä ja koneoppimista voidaan käyttää myös leikkausprosessien jatkuvassa optimoinnissa. Käyttämällä reaaliaikaista dataa, kuten materiaalin paksuus, koostumus ja edellisten leikkausten tulokset, tekoälyalgoritmit voivat säätää leikkausolosuhteita, kuten leikkausnopeutta, tehoa ja polttoaineen tai abrasiivisen aineen virtausta optimaaliseen suorituskykyyn.

Nämä algoritmit voivat oppia ajan myötä ja sopeuttaa toimintaansa muuttuviin olosuhteisiin. Esimerkiksi, jos tietyn materiaalierän leikkaus aiheuttaa enemmän kulumista tai ei tuota haluttua leikkausjälkeä, algoritmi voi itsestään säätää parametreja parhaan tuloksen saavuttamiseksi seuraavilla kerroilla. Lisäksi tekoäly voi auttaa optimoimaan leikkausreittejä, minimoida hukkamateriaalin ja parantaa leikattavien kappaleiden laatua.

Koneoppimisen ja tekoälyn hyödyntäminen metallien leikkausteknologioissa on vasta alkuvaiheessa, ja sen potentiaali on valtava. Jatkuvan oppimisen ja parantumisen myötä nämä järjestelmät voivat radikaalisti muuttaa leikkausteknologioiden tehokkuutta, vähentää tuotantokustannuksia ja lisätä valmistusprosessien kestävyttä.

## 9 Hinnoittelumallit

Hinnoittelumallit ovat olennainen osa metallinleikkauspalveluiden markkinointia ja myyntiä. Ne vaikuttavat asiakkaiden ostopäätöksiin ja voivat olla ratkaiseva tekijä kilpailuetua ha-  
kiessa. Hinnoittelumallin valinnassa otetaan huomioon monia tekijöitä, kuten tuotantokus-  
tannukset, kilpailutilanne, asiakkaan vaatimukset ja palvelun arvo asiakkaalle. Tässä on  
joitakin yleisimpiä hinnoittelumalleja.

### **Kiinteä hinta:**

- Tämä malli tarjoaa yhden hinnan riippumatta siitä, kuinka paljon aikaa tai materiaalia leikkaus vie. Se voi olla houkutteleva asiakkaille, jotka haluavat etukäteen tietää tar-  
kalleen paljonko palvelu tulee maksamaan.

### **Painoon perustuva hinta:**

- Tässä mallissa hinta määräytyy leikattavan materiaalin painon mukaan.

### **Aikaan perustuva hinta:**

- Tässä hinnoittelumallissa asiakkaille laskutetaan leikkaamiseen käytetyn ajan mu-  
kaan. Tämä voi olla kustannustehokas asiakkaille, joilla on monimutkaisia leikkaus-  
tarpeita, jotka vaativat pitkää leikkausaikaa.

### **Viivan pituuteen perustuva hinta:**

- Joissakin tapauksissa leikkaustyön hinta perustuu leikkausviivan pituuteen. Tämä  
malli on yleinen laserleikkauspalveluissa, jossa työn monimutkaisuus ja leikkausvii-  
van pituus voivat vaikuttaa suoraan tuotannon kustannuksiin.

### **Materiaalin ja leikkaustekniikan yhdistelmä:**

- Tämä malli ottaa huomioon sekä käytetyn materiaalin että valitun leikkaustekniikan.  
Esimerkiksi erikoismetallien tai -seosten leikkaus voi olla kalliimpaa johtuen materi-  
aalin hankintakustannuksista ja vaadittavasta erikoisteknologiasta.

### **Projektipohjainen hinnoittelu:**

- Suurille projekteille tai kokonaisille tuotantosarjoille voidaan tarjota projektikohtainen  
hinnoittelu, joka kattaa kaikki projektin leikkauskustannukset alusta loppuun.

### 9.1.1 Hinnoittelumallin vaikutus yritykseen

**Kiinteä hinta:** Kiinteä hinta käytetään yleensä tilanteissa, jossa tiedetään jo leikkaus aikaa, sekä tiedetään leikkaus kustannukset (kaasu sekä energia), jos tilaajaa on pysyvä asiakas, joka tilaa samoja kappaleita jatkuvasti voidaan tarjota hänelle jo jokin kiinteä hintaa. Voi johtaa parempaan kannattavuuteen ennustettavissa olevien työtehtävien yhteydessä, mutta voi myös merkitä tappiota, jos todellinen työaika ylittää arvioidun.

**Painoon perustuva hinta:** voi olla kannattava raskaille tai arvokkaille materiaaleille, mutta vähemmän kannattava kevyille materiaaleille.

**Aikaan perustuva hinta:** korvaa tehokkaasti käytettyä aikaa, mutta voi olla vähemmän houkutteleva nopeille tai yksinkertaisille töille.

**Viivan pituuteen perustuva hinta:** kannattava monimutkaisille leikkauskuviolle, mutta vähemmän kannattava yksinkertaisille tai suoraviivaisille leikkausurakoille.

### 9.1.2 Hinnoittelumallin vaikutus asiakkaihin

Pienet yritykset tai yksityiset asiakkaat saattavat suosia kiinteää hinnoittelua, koska se tarjoaa selkeän ja ennustettavan kustannusrakenteen. Suuret teollisuusasiakkaat, joilla on monipuolinen tuotanto, voivat suosia aikaan tai viivan pituuteen perustuvaa hinnoittelua, jolloin he maksavat vain todellisesta työmäärästä. Asiakkaat, jotka työstävät arvokkaita materiaaleja, voivat suosia painoon perustuvaa hinnoittelua, sillä se vastaa materiaalin kustannuksia.

### 9.1.3 Hinnoittelumallin vaikutus tuotantoon suunnitteluun

Kiinteä hinta saattaa kannustaa tehostamaan tuotantoprosesseja, jotta työ saadaan tehtyä arvioitua aikaa nopeammin.

Aikaan perustuva hinnoittelu voi vaatia tarkempaa aikataulutusta ja tehokasta työnkulun suunnittelua, jotta työ voidaan suorittaa mahdollisimman kannattavasti.

Viivan pituuteen perustuva hinnoittelu edellyttää tarkkaa suunnittelua leikkauspolkujen optimoinnissa, jotta vältetään tarpeeton materiaalin kulutus ja tehdään työ mahdollisimman tehokkaasti.

### 9.1.4 Hinnoittelumallin vaikutus joustavuuteen ja räätälöintiin

Kiinteä hinnoittelu on yksinkertainen ja selkeä, mutta voi olla joustamaton, jos asiakkaan vaatimukset muuttuvat projektin aikana.



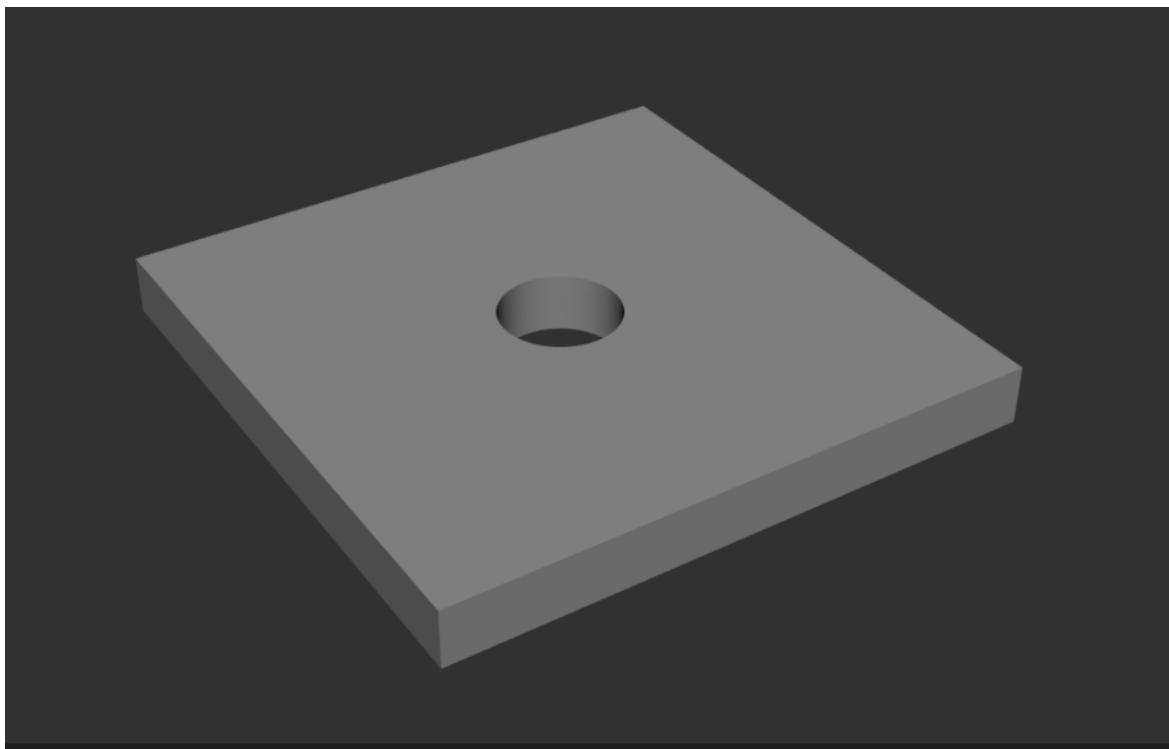
Aikaan ja viivan pituuteen perustuvat mallit tarjoavat enemmän joustavuutta ja mahdollistavat räätälöidyn hinnoittelun erilaisille työkappaleille ja asiakkaiden erityistarpeille.

Yhdistelmähinnoittelumallit, jotka ottavat huomioon sekä käytetyn materiaalin että työn monimutkaisuuden, voivat tarjota parhaan joustavuuden ja räätälöinnin mahdollisuudet asiakkaille.

## 10 Leikkauksien hinnat

Metallin laserleikkauksen hinta metriä kohden voi vaihdella huomattavasti riippuen monista tekijöistä, kuten metallityypistä, materiaalin paksuudesta ja leikkaussuunnitelman monimutkaisuudesta. Keskimäärin leikkauksen tuntihinta on noin 90–150 euroa tuntia kohden ja yksittäisen osan tekeminen voi maksaa noin 50 sentistä – 1,50 euroon. (Eagle Grop.)

Seuraavaksi katsotaan metallin leikkauksen keskihinnat kontuurin muodon mukaan. Jos otetaan esimerkiksi jonkin yksinkertaisen muodon, esimerkiksi tämänkaltaisen osan parametreillä 100x100x10 mm, jossa keskellä on 10 mm reikä, niin alataulukoiden avulla saadaan karkeasti selville, kuinka paljon tämä osa maksaa eri koneilla ja eri materiaaleista.



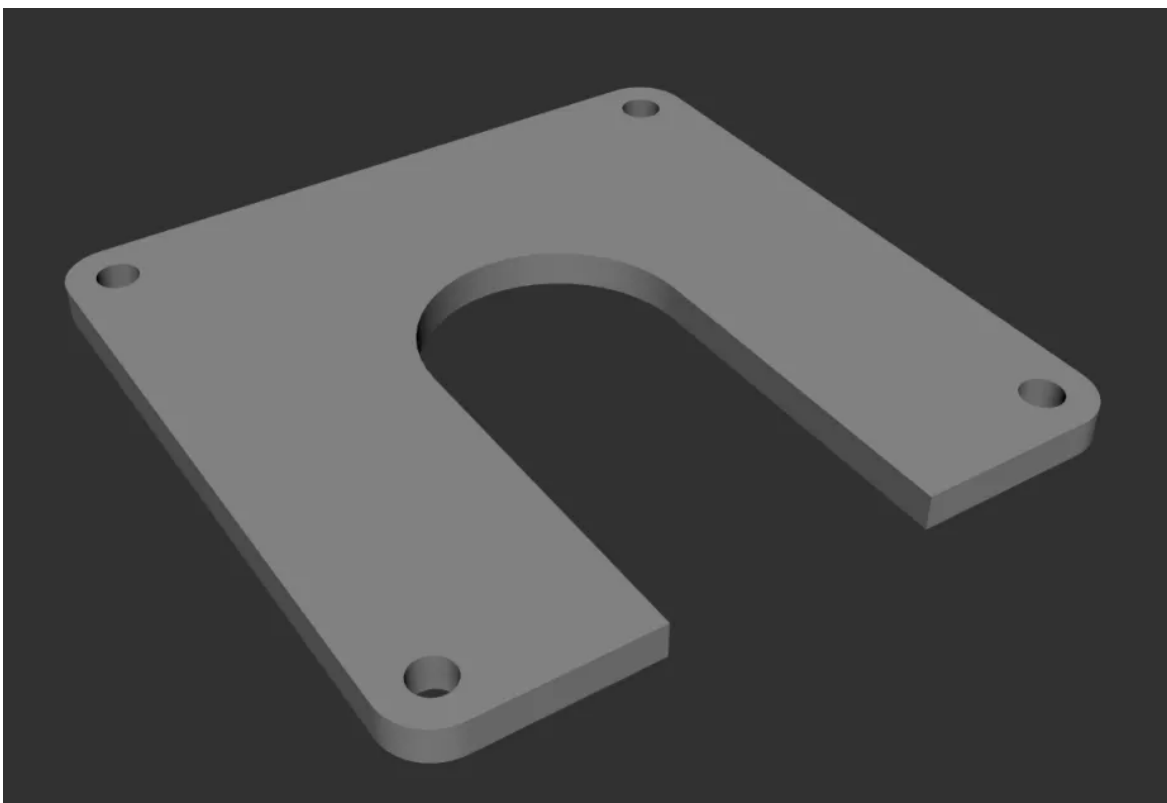
Kuvio 5. Esimerkki tuote 100x100x10 mm

Oletetaan, että otetaan perusteräksen ja halutaan, että tämä osa ei vaadi jälkikäsittelyä, joten on parempi valita laserleikkaukone. Tarvitaan myös esimerkiksi 100 tällaista varaosaa. Yhden osan leikkauspituus tulee olemaan noin 432 mm. Kerrotaan tämä 100 kappaleella ja muutetaan metreiksi, jolloin saadaan 43,14 m. Katsotaan taulukosta 10 mm teräksen hintaa, koska leikkauspituus on alle 100 m, hinta tulee olemaan 4.1 euroa per metri, ts. näiden varaosien leikkaushinta tulee olemaan keskimäärin 177 euroa.

Jos päätetään, että voidaan suorittaa jälkikäsitteilyn itse tai että se ei ole tärkeää tässä tilauksessa, ja otetaan huomioon joitakin epäsäännöllisyyksiä, joita plasmaleikkaus saattaa aiheuttaa, käytetään samoja tietoja kuin laserleikkauksessa. Tällöin hinnaksi tulee 1,5 euroa metriltä, joten plasmaleikkauksen kokonaishinta on silloin noin 64,7 euroa.

Katsotaan vielä vähän monimutkaisempaa kappaletta, jonka mitat ovat 200x200 mm. Kappaleen leikkauspituus on 101,7 cm ja siinä on neljä 10 mm reikää, joiden yhteenlaskettu kehän pituus on 125,6 mm, jolloin kokonaisleikkauspituudeksi saadaan 1,15 m. Kuvitellaan, että tilaus on suuri, jossa tarvitaan 1000 kappaletta tätä osaa. Tällöin leikkauspituus on yhteensä 1150 m. Asiakas haluaa kappaleet 25 mm paksusta ruostumattomasta teräksestä eikä aseta suuria vaatimuksia pinnan laadulle. Asiakas toimittaa levyt, joista kappaleet leikataan. Tilaaja on toimittanut neljä 2000x6000 mm levyä ja toivoo jäännöslevyn palautusta. Tilaaja on ilmoittanut, että kiirettä ei ole, sillä hän tarvitsee kappaleet vasta kuuden kuukauden kuluttua. Käytössä on neljä leikkausmenetelmää: plasma, laser, kaasu ja vesileikkaus. Koska tarvitaan leikkaamiseen noin 3,5 levyä, voidaan sulkea pois plasma- ja kaasuleikkauksen, sillä näin paksun materiaalin leikkaaminen aiheuttaa liian suuria 'kraattereita', kuten luvussa 4.3 kuvassa 6, ja pienet reiät voivat epäonnistua levyjen ylikuumentumisen vuoksi. Laserleikkaus ei ole myöskään vaihtoehto, sillä paksun ruostumattoman teräksen leikkaaminen laserilla on kallista kaasu- ja energiakustannusten vuoksi. Tarjotaan siis tilaajalle vesileikkausta. Kokonaisleikkauspituus on 1150 m, ja hinta per metri 25 mm paksulle levyille on 33,6 euroa, jolloin kokonaishinnaksi tulee 38 640 euroa.

Lasketaan vielä kulut tähän leikkaukseen. Lasketaan leikkauksessa käytetty aika, jos oletetaan, että kone leikkaa noin 100 mm/min, niin leikkaus kestää noin 8 päivää ja voi kuluttaa noin 30 kiloa abrasiivia tunnissa, eli kone voi kuluttaa 5–6 tonnia abrasiivia koko leikkauksen aikana, abrasiivin kulutus tieto löytyy luvusta 7.5. Vesisuihkuleikkaukoneet voivat olla eri tehoisia, mutta keskimäärin ne kuluttavat noin 15–30 kW. Oletetaan, että kone kuluttaa 20 kW/h, silloin sähkön kulutus tulee olemaan 3840 kW. Täytyy myös muistaa, että kulutetaan tosi paljon vettä kulutus voi olla, jopa noin 4.5 litraa minuutissa, eli koko leikkauksen aikana veden kulutus voi olla 52 kuutiometriä.



Kuvio 6. Toinen esimerkki kappale.

Alla on taulukoita eri koneiden ja eri materiaalien leikkaus hinnoista metriä kohden, joita käytettiin esimerkki tapauksissa.

<b>Paksuus (mm)</b>	<b>Kontuurin pituus enintään 100 metriä/€</b>	<b>100 - 500 m, €</b>	<b>500 - 1000 m, €</b>	<b>Yhden läpäisyn hinta, €</b>
0.8	0.80	0.50	0.40	0.04
1.0	0.84	0.50	0.40	0.04
1.5	0.90	0.60	0.50	0.04
2.0	0.94	0.70	0.60	0.04
2.5	1.00	0.90	0.70	0.04
3.0	1.2	1.00	0.92	0.04
4.0	1.4	1.1	1.02	0.04
5.0	1.7	1.3	1.22	0.06
6.0	2.2	1.5	1.38	0.06
8.0	3.1	2.00	1.79	0.06
10.0	4.1	3.4	2.56	0.06
12.0	5.1	3.9	3.20	0.12
16.0	8.9	6.5	5.9	0.12
20.0	10.9	9.8	8.9	0.12
25.0	13.60	13.36	13.48	0.16

Taulukko 2. Teräksen laserleikkaus keskihinta/m (Stallist).

Paksuus (mm)	Kontuurin pituus enintään 100 metriä/€	100 - 500 m, €	500 - 1000 m, €	Yhden läpäisyn hinta, €
0.8	1.1	0.8	0.7	0.04
1.0	1.1	0.8	0.7	0.04
1.5	1.8	1.1	0.9	0.04
2.0	2.3	1.6	1.3	0.04
3.0	3.1	2.5	1.7	0.04
4.0	4.1	3.1	2.2	0.04
5.0	5.9	4.1	2.9	0.06
6.0	7.8	5.8	4.4	0.06
8.0	11.9	8.9	6.9	0.14
10.0	15.0	11.8	8.9	0.14

Taulukko 3. Ruostumattoman teräksen laserleikkaus keskihinta/m (Stallist).

Paksuus (mm)	Kontuurin pituus enintään 100m, €	Kontuurin pituus 100-1000m, €	Kontuurin pituus yli 1000m, €
1	0.6	0.5	0.4
2	0.7	0.6	0.5
3	0.8	0.6	0.5
4	0.9	0.7	0.6
5	1.0	0.8	0.6
6	1.1	0.9	0.7
8	1.4	1.1	0.8
10	1.5	1.2	0.9
12	2.0	1.5	1.0
14	2.1	1.6	1.1
16	2.4	2.0	1.6
18	2.5	2.1	1.7
20	2.9	2.5	2.1
22	3.3	2.9	2.4
25	3.6	3.1	2.6
30	6.2	5.2	4.2
32	7.5	6.3	5.3
35	9.1	7.6	6.2

Taulukko 4. Teräksen plasmaleikkaus keskihinta/m. (InTehProm).

Paksuus (mm)	Kontuurin pituus enintään 100m, €	Kontuurin pituus 100-1000m, €	Kontuurin pituus yli 1000m, €
1	1.0	0.8	0.6
2	1.1	0.9	0.7
3	1.2	1.0	0.8
4	1.3	1.1	0.9
5	1.6	1.4	1.2
6	1.7	1.5	1.3
8	2.0	1.8	1.6
10	2.1	1.9	1.7
12	3.0	2.4	2.2
14	3.2	2.6	2.4
16	5.0	4.0	3.0
18	5.4	4.4	3.4
20	6.1	5.1	4.1
22	6.6	5.6	4.6
25	7.2	6.4	5.6

Taulukko 5. Ruostumattoman teräksen plasmaleikkaus keskihinta/m. (InTehProm).

Paksuus (mm)	Alumiinin hinta, €/m
2	0.8
5	1.6
8	2.3
10	3.8
12	4.4
15	5.8
18	7.8
22	9.0
25	12.6
30	16.2
35	22.2
40	26.4
50	31.4
60	39.0
70	56.8
80	70.8
90	97.4
100	137.0

Taulukko 6. Alumiinin vesileikkauksen keskihinta/m. (Gidrorez-spb).

Paksuus (mm)	Ruostumaton teräs hinta/m
2 mm	1,90 €
5 mm	5,10 €
8 mm	7,20 €
10 mm	11,60 €
12 mm	12,10 €
15 mm	16,20 €
18 mm	19,80 €
22 mm	29,00 €
25 mm	33,60 €
30 mm	46,00 €
35 mm	55,60 €
40 mm	64,00 €
50 mm	98,00 €
60 mm	121,20 €
70 mm	154,80 €
80 mm	179,80 €
90 mm	231,00 €
100 mm	250,40 €

Taulukko 7. Ruostumattoman teräksen vesileikkauksen keskihinta/m. (Gidrorez-spb).

Levyn paksuus	Hinta per metri leikkausta
10 mm	1,20 €
12 mm	1,60 €
14 mm	1,60 €
16 mm	2,20 €
20 mm	2,60 €
30 mm	4,00 €
40 mm	5,00 €
50 mm	6,00 €
60 mm	7,40 €
70 mm	8,00 €
80 mm	9,00 €
90 mm	10,00 €
100 mm	11,00 €
120 mm	13,00 €

Taulukko 8. Metallin kaasuleikkaus propaanilla (rezka-mo).

Levyn paksuus	Hinta per metri leikkausta
60 mm	11,20 €
70 mm	13,20 €
80 mm	14,20 €
100 mm	16,20 €
120 mm	18,60 €
150 mm	20,00 €
200 mm	22,00 €

Taulukko 10. Metallin kaasuleikkaus hapella (rezka-mo).



## 11 Yhteenveto

Opinnäytetyössä "Metallien leikkaus teknologiat ja menetelmät" tarkasteltiin eri metallien leikkausmenetelmiä, kuten laser-, plasma-, kaasu- ja vesisuihkuleikkausta. Tavoitteena oli antaa metallintyöstön asiantuntijoille ja alihankintaa suunnitteleville tilaajille syvällistä tietoa näiden teknologioiden ominaisuuksista, auttaen heitä tekemään tietoon perustuvia päätöksiä sopivimman leikkaustekniikan valinnassa. Lopuksi kerrataan lyhyesti eri leikkaustekniikoita.

### Laserleikkaus

Laserleikkaus käyttää erittäin fokusoitua ja koherenttia valonsädettä materiaalin leikkaamiseen. Se soveltuu monenlaisiin materiaaleihin ja tarjoaa korkean tarkkuuden sekä minimaalisen materiaalin muodonmuutoksen. Se on myös yksi energiaintensiivisimmistä leikkausmenetelmistä, varsinkin suurteholaserien käytössä.

### Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaus on vaihtoehto metallimateriaalien laserleikkaukselle, jossa korkean lämpötilan plasmasäde sulattaa ja poistaa materiaalia. Plasmaleikkaus on suhteellisen energiain-  
tensiivistä, mutta kuluttaa tyypillisesti vähemmän energiaa kuin laserleikkaus. Vaikka se vaatii koulutetun työvoiman, sen yleisyys ja käyttäjäystävälliset käyttöliittymät tekevät siitä vähemmän erikoistuneen verrattuna laserleikkaukseen.

### Vesisuihkuleikkaus

Vesisuihkuleikkaus käyttää veden ja hankaavien hiukkasten seosta materiaalin leikkaamiseen. Tämä menetelmä soveltuu monenlaisille materiaaleille ja on erityisen hyvä paksu-  
mille materiaaleille. Vesisuihkuleikkauksen energiakustannukset voivat olla merkittäviä, Vesisuihkuleikkaus ei tuota lämpöä, joten se ei vääristä materiaaleja, joka voi olla tosi tärkeää jossain tapauksissa.

### Kaasuleikkaus

Kaasuleikkaus yhdistää hapen ja palavan kaasun, kuten asetyleenin, metallien leikkaamiseen. Se on yksinkertainen ja edullinen menetelmä, joka soveltuu erityisesti paksujen metallien leikkaamiseen. Kaasuleikkauksen energiakustannukset ovat suhteellisen alhaiset verrattuna muihin menetelmiin, mutta kaasujen kustannukset on otettava huomioon.

Näiden leikkaustekniikoiden valinta riippuu useista tekijöistä, kuten materiaalin laadusta, leikkaustarkkuuden tarpeesta ja kustannustehokkuudesta. Jokaisella menetelmällä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa, ja niiden soveltuvuus vaihtelee eri olosuhteissa ja

materiaaleissa. Tämän opinnäytetyön tulokset auttavat lukijoita tekemään perusteltuja valintoja metallien leikkaustekniikoista, mikä on erityisen tärkeää nykyaikaisessa nopeasti kehittyvässä teollisuusympäristössä.

## Lähteet

Anohin, V. Wikimetall. "Tekhnologiya gazovoj rezki metalla". Viitattu 15.11.2023. Saatavissa <https://wikimetall.ru/metalloobrabotka/gazovaya-rezka-metalla.html>

Baison 2023. "Laser Cutting Metal: The Link Between Power, Thickness, and Speed". Viitattu 15.9.2023. Saatavissa <https://baisonlaser.com/blog/laser-cutting-power-thickness-and-speed/>

Cuprum. "Gidroabrazivnaya rezka metalla". Viitattu 30.11.2023. Saatavissa <https://cuprum.ru/rezka/gidroabrazivnaya-rezka.html>

Eagle group. "Example calculation". Viitattu 15.11.2023. Saatavissa <https://eagle-group.eu/en/example-calculation>

Esab Oy. "Miten vesisuihkuleikkaus toimii?". Viitattu 05.10.2023. Saatavissa [https://esab.com/fi/eur\\_fi/esab-university/blogs/how-does-waterjet-cutting-work/](https://esab.com/fi/eur_fi/esab-university/blogs/how-does-waterjet-cutting-work/)

Fractory Solutions OÜ. "Mitä on leikkausrailo? Leikkausmenetelmien vertailu". Viitattu 15.9.2023. Saatavissa <https://fractory.com/fi/mita-on-leikkausrailo/>

Gelento. "Газовая Резка Metalla Kupit". Viitattu 15.11.2023. Saatavissa <https://gelento.ru/газовая-резка-металла-купить>

Gensun 2021. "What is CNC Laser Cutting? How it Works, Types, and Advantages". Viitattu 05.09.2023. Saatavissa <https://www.china-machining.com/blog/what-is-a-cnc-laser-cutter/>

Gidrorez-spb. "Stoimost' gidroabrazivnoj rezki metalla". Viitattu 20.11.2023. Saatavissa <https://pezka-spb.spb/stoimost-gidroabrazivnoj-rezki/>

InTehProm. "Cena plazmennoj rezki metalla". Viitattu 17.11.2023. Saatavissa <https://itpmet.ru/metalloobrabotka/plazmennaya-rezka>

Ionix. "Plasmaleikkaus". Viitattu 01.12.2023. Saatavissa <https://www.ionix.fi/teknologiat/lasersertyosto/laserleikkaus/>

JQ Laser 2022. "Laser cutting and the environment: Sustainability considerations". Viitattu 20.11.2023. Saatavissa <https://www.jqlaser.com/laser-cutting-and-the-environment-sustainability-considerations/>

Jet Division. "Gidroabrazivnaja rezka". Viitattu 15.10.2023. Saatavissa <https://jetdivision.ru/stati.html>

Lacutor Oy 2020. "Ob istorii razvitiya lazernoj CO2 rezki". Viitattu 12.09.2023. Saatavissa <http://lacutor.ru/ob-istorii-razvitiya-lazernoy-co2-rezki/>

- Lasermeister. "Huolto". Viitattu 29.10.2023. Saatavissa <https://lasermeister.ee/fi/hooldus/>
- Levstal 2023. "Levyjen Laserleikkaus: tyypit, edut ja materiaalit". Viitattu 10.09.2023. Saatavissa <https://levstal.com/fi/blog/metallin-laserleikkaus-teras/>
- Linde plc. "Kaasujen hinnat". Viitattu 29.10.2023. Saatavissa <https://www.linde-gas.fi/shop/fi/fi-ig/home>
- Machineseeker. "Koneiden hinnat". Viitattu 29.10.2023. Saatavissa [https://www.machine-seeker.fi/?gclid=CjwKCAiAkp6tBhB5EiwANTCx1FInENtoivSdAILalqS-btdICZkvXwAnJBz2B1bh77Ysq9vnxkmEKBoCT\\_oQAvD\\_BwE](https://www.machine-seeker.fi/?gclid=CjwKCAiAkp6tBhB5EiwANTCx1FInENtoivSdAILalqS-btdICZkvXwAnJBz2B1bh77Ysq9vnxkmEKBoCT_oQAvD_BwE)
- MachineMfg. "Laser Cutting Thickness & Speed Chart". Viitattu 15.9.2023. Saatavissa [https://www.machinemfg.com/laser-cutting-thickness-speed-chart/?expand\\_article=1&utm\\_content=cmp-true](https://www.machinemfg.com/laser-cutting-thickness-speed-chart/?expand_article=1&utm_content=cmp-true)
- Muototera. "Vesisuihkuleikkaus koneet". Viitattu 10.10.2023. Saatavissa <https://muototera.com/fi/etusivu/>
- NMF 2024. "Plazmennaya rezka metallov". Viitattu 15.12.2023. Saatavissa <https://nmf-expo.ru/articles/plazmennaya-rezka-metallov>
- Novametal. "Gazovaya rezka metalla". Viitattu 28.11.2023. Saatavissa [https://novamet.com.ru/uslugi/rezka\\_metalla/gazovaya\\_rezka/](https://novamet.com.ru/uslugi/rezka_metalla/gazovaya_rezka/)
- PP-SPB. "Lazernaya rezka metalla: tekhnologiya, preimushchestva, vidy oborudovaniya". Viitattu 10.9.2023. Saatavissa <https://laserstore.ru/blog/lazernaya-rezka-metalla/>
- Pzo. "Rezka metalla gazom". Viitattu 15.11.2023. Saatavissa <https://p-z-o.ru/metalloobrabotka/gazovaya-rezka/gazovaya-rezka-metalla>
- rezka-mo. "Stoimost' gazovoj rezki metalla". Viitattu 29.11.2023. Saatavissa <https://rezka-mo.ru/zakazat/gazovaya-rezka>
- Sendcutsend. "The True Cost of Owning a Laser Cutter". Viitattu 29.11.2023. Saatavissa <https://sendcutsend.com/blog/the-true-cost-of-owning-a-laser-cutter/>
- Senfeng. "Chto takoe volokonnyj lazer i kakov ego princip raboty?". Viitattu 30.11.2023. Saatavissa <https://senfeng.ru/blog/equipment/what-is-a-fiber-laser-and-how-does-it-work%3F/>
- Stal-Kom 2021. "Rashod gaza pri lazernoy rezke metalla". Viitattu 17.11.2023. Saatavissa <https://stal-kom.ru/raskhod-gaza-pri-lazernoy-rezke-metalla/>

Stallist. "Ceny na metalloobrabotku". Viitattu 17.11.2023. Saatavissa <https://www.cla-ser.ru/price.html>

Summarum. "Sähkön hinta kWh". Viitattu 20.11.2023. Saatavissa <https://www.summarum.fi/sahkon-kilpailuttaminen/sahkon-hinta-kwh/>

TWI Ltd. "Laser cutting - cutting processes". Viitattu 10.9.2023. Saatavissa <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/cutting-processes-laser-cutting-052>

Veiler, S. 2009. "Diskovye lazery dlya promyshlennosti". Viitattu 30.11.2023. Saatavissa [https://www.photonics.su/files/article\\_pdf/2/article\\_2555\\_814.pdf](https://www.photonics.su/files/article_pdf/2/article_2555_814.pdf)

VT-Metall. "Kak rabotaet plazmennaya rezka: tekhnologiya, vozmozhnosti, preimushchestva". Viitattu 15.09.2023. Saatavissa <https://vt-metall.ru/articles/366-kak-rabotaet-plazmennaya-rezka/>

Vzmkkontur a. "Plazmennaya rezka metalla: Tekhnologiya, primenenie i preimushchestva". Viitattu 02.10.2023. Saatavissa <https://vzmkkontur.ru/rezka-metalla/plazmennaya-rezka/>

Vzmkkontur b. "Lazernaya rezka metalla: Tekhnologiya, primenenie i preimushchestva". Viitattu 28.09.2023. Saatavissa <https://vzmkkontur.ru/rezka-metalla/lazernaya-rezka/>

Wayken 2022. "Sheet Metal Laser Cutting: Process, Pros & Cons, And Applications". Viitattu 10.9.2023. Saatavissa <https://waykenrm.com/blogs/sheet-metal-laser-cutting/>

Xometry 2023. "8 Steps of Laser Cutter Process (Laser Cutting)". Viitattu 15.9.2023. Saatavissa <https://www.xometry.com/resources/sheet/laser-cutter-process/>