



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Eero Laurila

Nitrattavan kappaleen kiinnityksen suunnittelu

Nitrausprosessiin tutustuminen

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Eero Laurila

Työn nimi: Nitrattavan kappaleen kiinnityksen suunnittelu – Nitrausprosessiin tutustuminen

Ohjaaja: Jussi Yli-Hukkala

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 38

Liitteiden lukumäärä: 0

Opinnäytetyössä suunniteltiin nitrausprosessiin tilankäytön ja massan kannalta optimoitu panosteline. Työssä perehdyttiin nitraukseen ja ennakoitiin uuden prosessin aloitusta yrityksessä.

Nitraus on teräksen pintakäsittelyprosessi, jossa kappaleen pintaan johdetaan tyypeä luoden sille kovan ja ohuen pintakerroksen. Typetyksen hyviä puolia ovat vähäiset mittamuutokset johtuen alhaisesta käsittelylämpötilasta, tuotteen hyvät liukuominaisuudet ja hyvä korroosionkesto. Nitrauksen jälkeen kappale kestää erinomaisesti kovaa tasaista kuormitusta. Prosessin yleisin muoto on hiilitypetys, joka on suhteellisen nopea ja edullinen menetelmä verrattuna perinteiseen kaasutypetykseen.

Prosessia käytetään paljon työkalujen ja polttomoottoreiden osien valmistuksessa. Suomessa yleisesti alihankintatypetystä tekevät teräksen lämpökäsittelyä tarjoavat yritykset. Laitteistoja on myös suurilla konserneilla osana oman tuotteen valmistusprosessia.

Työn teoriaosuudessa perehdyttiin teräksen ominaisuuksiin, tuotteen valmistusprosessiin sekä itse nitrauksen teoriaan.

Toimeksiantaja laajensi opinnäytetyön myötä tietouttaan uudesta prosessista osana tuotantoa ja sai tarvittavaa esityötä uuden prosessin aloitukseen.

¹ Asiasanat: nitraus, hiilitypetys, suunnittelu, valmistettavuus, laadunvalvonta

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Eero Laurila

Title of thesis: Design implementation of charging unit for nitriding process – Studying nitriding process

Supervisor: Jussi Yli-Hukkala

Year: 2022

Number of pages: 38

Number of appendices: 0

In the thesis, a charge unit was optimized for space utilization and the mass used in a nitriding process was designed. In the thesis the nitriding process was studied, as the beginning of a new process in the company was anticipated.

Nitriding is a surface treatment process of steel, where nitrogen is diffused into the surface of a product, creating a hard and thin surface layer. The benefits of nitriding are minor dimensional changes due to low treatment temperature, good tribological properties and excellent corrosion resistance. After nitriding, the product is tough and can withstand high stresses. The most common process is nitrocarburizing, which is relatively fast, and it is a low-priced method compared to traditional gas nitriding.

The process is widely used in manufacturing of tools and engine parts. In Finland, the subcontracting nitriding is generally made by companies who provide steel heat treatment. Also, large company groups have equipment as part of the manufacturing process of their own products.

In the theory part of the thesis, steel properties, the manufacturing process of the product and the theory of nitriding were highlighted.

The client, being a heat treatment plant, acquired more information about a new process of production and received the required preparatory work knowledge to start a new process with the assistance of the thesis.

¹ Keywords: nitriding, nitrocarburizing, designing, manufacturing, quality control

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkuuettelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 Johdanto	8
1.1 Tehtävänanto ja opinnäytetyösopimus	8
1.2 Opinnäytetyön rakenne	8
1.3 Yritysesittely	8
2 Teoria.....	9
2.1 Teräksen ominaisuudet.....	9
2.1.1 Teräksen kiderakenne	9
2.1.2 Faasit	10
2.1.3 Teräksen hiilipitoisuus.....	12
2.1.4 Teräksen lämpökäyttäytyminen	13
2.1.5 Nitrattavat teräkset.....	13
2.2 Rakennesuunnittelu.....	15
2.2.1 Cad-suunnittelu.....	16
2.2.2 Valmistusystävällinen suunnittelu	17
2.2.3 Materiaalin valinta suunnittelussa	19
2.3 Nitrausprosessi.....	19
2.3.1 Nitraus	19
2.3.2 Mustanitraus	22
2.3.3 Nitrausuunit.....	23
2.3.4 Typetyssyvyys.....	24
2.3.5 Prosessi tulosten analysointi.....	25
3 Tehtävät työt	27
3.1 Prosessiin tutustuminen	27
3.1.1 Prosessin kulku.....	27

3.2	Laitteistoon tutustuminen	28
3.2.1	Uttis tyytysuuni.....	28
3.2.2	Uunin kaasutilavuus	28
3.2.3	Pesukone	29
3.3	Telineen suunnittelu	29
3.3.1	Panoskoon kartoitus	30
3.3.2	Lujuuslaskenta	30
3.3.3	Rakenteen muotoilu	31
3.3.4	Telineen kustannusarvio	33
3.3.5	Telineen kokoonpano ja toiminnallisuus	34
4	Yhteenveto	35
5	Suositukset ja jatkotutkimukset.....	36
LÄHTEET		37
LIITTEET		Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva. 1 Yleisesti käytetty kuoppauuni.....	24
Kuva. 2 Mikroskooppikuva yhdistekerroksesta.	26
Kuvio. 1 Teräksen rauta-hiili-tasapainopiirros (Wikipedia, 2021).	10
Kuvio 2. Cct-diagrammi (Docplayer, 2022).	11
Kuvio. 3 Terästen hiilipitoisuus.	12
Kuvio. 4 Solidedge suunniteltu tuotekokoonpano.	16
Kuvio. 5 DFMA-prosessi.	18
Kuvio. 6 Nitrauskerrokset.....	20
Kuvio. 7 Typetyssyvyys.....	25
Kuvio. 8 Hiilitypetyssyvyys.	25
Kuvio. 9 Nitrausprosessin kulku.....	27
Kuvio. 10 Orsi huoneenlämmössä.	31
Kuvio. 11 Orsi typetyslämpötilassa.	31
Kuvio. 12 Telineen ensimmäinen mallinnus.....	32
Kuvio. 13 Telineen lopullinen mallinnus.....	33
Taulukko. 1 Ruostumattomien terästen kimmokerroin.....	13
Taulukko. 2 Nitrattavat teräket.	14
Taulukko. 3 Nitraustelineen kustannusarvio.	34

Käytetyt termit ja lyhenteet

Pintakäsittely	Teräksen pintakäsittelyä alhaisessa lämpötilassa, jossa kappaleen sisällä ei tapahdu rakennemuutoksia.
Kiderakenne	Teräksen rakennemuoto, josta riippuvat materiaalin ominaisuudet.
HV kovuus	Vickers-kovuusmittausmenetelmä.
HB kovuus	Brinell-kovuusmittausmenetelmä.
Kimmokerroin	Kappaleen jäykkyyttä kuvaava arvo.
Atmosfääri	Uunin sisällä oleva kaasukehä, eli eri kaasuista muodostuva seos suljetussa tilassa.

1 Johdanto

1.1 Tehtävänanto ja opinnäytetyösopimus

Heatmac Oy on hankkinut käyttöönsä uuden nitrauslaitteiston vuonna 2021. Laite asennetaan vuoden 2022 alussa valmistuviin toimitiloihin. Prosessi pitäisi saada heti pyörimään ja ennalta valmistaa tarvittavat panostelineet. Aloituspalaveri pidettiin 25.11.2021 toimeksiantajan toimitiloissa Heatmac Oy:n toimitusjohtajan, ohjaavan opettajan sekä opiskelijan kesken. Aihe tarkennettiin lopulliseen muotoonsa ja halutut tulokset määriteltiin.

1.2 Opinnäytetyön rakenne

Työ koostuu teoria- ja suunnitteluosioista. Teoriaosuudessa käydään läpi teräksen teoriaa ja ominaisuuksia korkeissa lämpötiloissa sekä suunnittelutyön eri vaiheita. Nitrauksen teoriaa ja käytäntöä käsitellään työssä myöskin laajasti. Soveltavassa osuudessa valmistaudutaan uuden prosessin käynnistämiseen moneltakin osalta. Uuden nitraustelineen suunnittelu vaatii syvää perehtymistä laitteistoon ja prosessin eri vaiheisiin.

1.3 Yritysesittely

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimii Heatmac Oy Seinäjoelta. Yritys tarjoaa teräksen lämpökäsittelypalveluita alihankintana suureilla volyyymeilla. Heatmac oy on perustettu vuonna 2019 ja yrityksen toiminta perustuu laatuun. Yritys on kasvanut nopeaa tahtia ja sen liikevaihto oli jo vuonna 2021 n.800 000 €. Toimitusjohtajana toimii Hannu Kangas.

2 Teoria

2.1 Teräksen ominaisuudet

Lämpö- tai pintakäsittelyprosessin onnistuminen vaatii tekijältä laajaa tietoutta käsiteltävästä materiaalista. Erilaisilla teräksillä pystytään saavuttamaan eri käyttökohteisiin kestävämpiä rakenteita. Nitrausteräokset ovat rakenneteräksiä, jotka saavuttavat prosessissa kovan pintakovuuden ja hyvän lujuuden kovan pintakuoren alla seosaineidensa takia (Sten, i.a.).

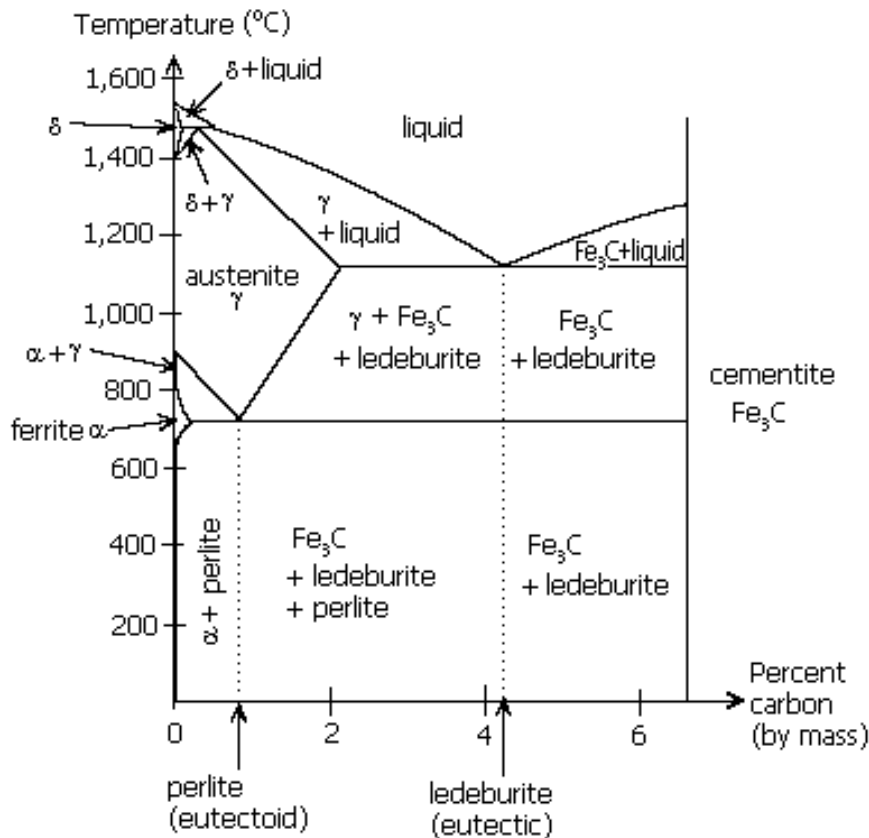
Teräs sisältää suurimmaksi osaksi metallia, mutta se koostuu myös hiilestä ja muista seosaineista (Hanses, 2015, s. 9). Teräksen valmistusmenetelmällä on suuri vaikutus lopputuotteen laatuun, joten on tärkeää osata valita oikeanlaiset aihiot osaksi suunnittelu- ja valmistusprosessia. Nykyään teräksen valmistusprosessi mielletään useasti ympäristölle haitalliseksi prosessiksi, mutta on myös huomioitava, että teräs on kierrätettävä materiaali. Terästehtaat arvioivat, että noin 50 % valmistuvasta teräksestä sisältää kierrätettyä materiaalia, minkä vuoksi ympäristöhaitat jäävät oletettua paljon alhaisimmiksi.

2.1.1 Teräksen kiderakenne

Teräksen kiderakenne voidaan luokitella kahteen eri luokkaan riippuen atomien järjestäytymisestä (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, i.a.). TKK-rakenne eli tilakeskinen kuutio omaa ferriittisen kiderakenteen, kun taas PKK-rakenne eli pintakeskinen kuutio omaa austeniittisen rakenteen. Kappaleen lämpötilalla pystytään vaikuttamaan teräksen kiderakenteeseen, johon perustuu teräksen lämpökäsittelyprosessi.

Tietyissä tapauksissa, joissa nitrattavalta kappaleelta vaaditaan hyvää kestävyyttä, niin suoritetaan sille ensin karkaisu eli yleisemmin nuorutus, jossa saavutetaan kappaleen ytimelle lisää lujuutta. Tässä työssä perehdytään myös teräksen faasimuutoksiin, jotka ovat keskeinen osa lämpökäsittelyä.

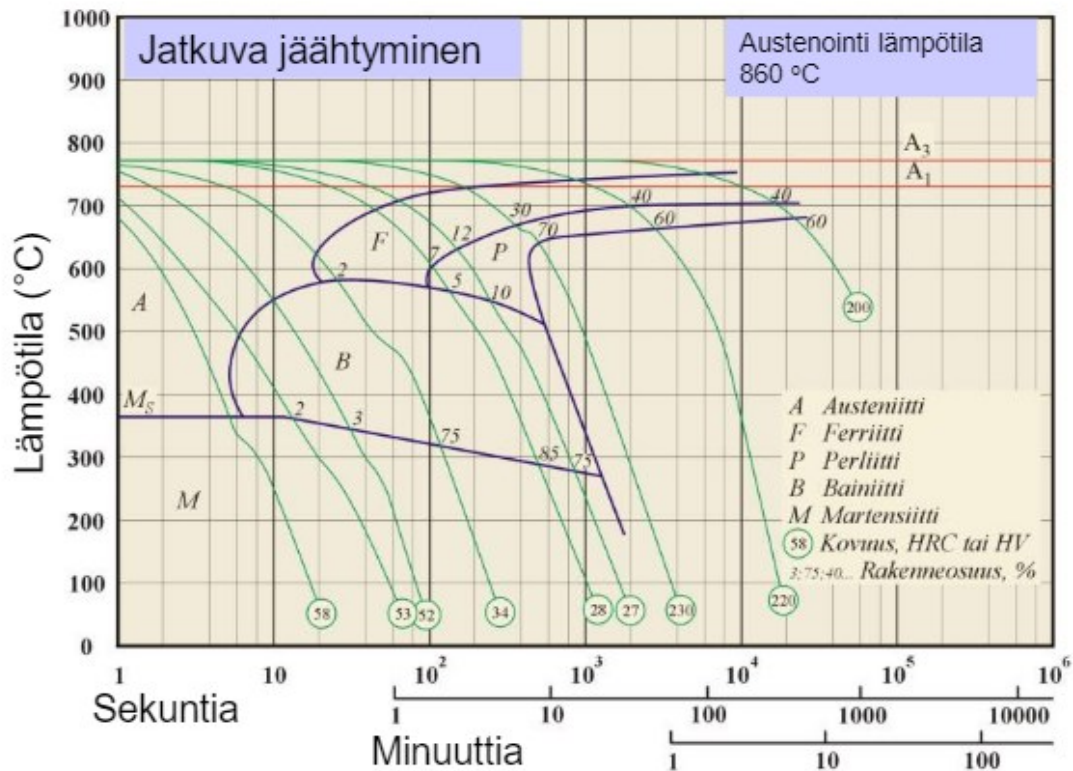
Teräksen rauta-hiili-tasapainopiirroksista kuviosta 1 voidaan nähdä, minkälaisena faasina teräs esiintyy eri lämpötila-alueilla, ja muodostuuko se yhdestä vai useammasta faasista (Kivivuori, 2016, s. 60). Tasapainopiirros on oleellinen osa lämpökäsittelyä suunniteltaessa, koska sen avulla voidaan ennalta arvioida tulevaa rakennetta ja ominaisuuksia.



Kuvio. 1 Teräksen rauta-hiili-tasapainopiirros (Wikipedia, 2021).

2.1.2 Faasit

Lämpökäsittelyä suunniteltaessa on havaittu hyväksi jatkuvan jäähtymisen diagrammi eli CCT- käyrä (Kivivuori, 2016, s. 64). Käyrästä on avulla pystytään arvioimaan halutulle materiaalille tietylle kovuudelle muodostuvan faasirakenteen jäähtymisajan suhteessa sammutuslämpötilaan. Kuviossa 2 on CCT-käyrä nuorrutusteräkselle.



Kuvio 2. Cct-diagrammi (Docplayer, 2022).

Ferriitti on yleisimpiä kiderakennemuotoja ja se tunnetaan sen hyvästä magneettisuudesta ja huonosta lujuudesta (Kivivuori, 2016, s. 64). Yleensä lämpökäsittelyssä tavoitteena on saada aikaan lujempia rakenteita, joten ferriittistä loppurakennetta ei yleensä haluta.

Austeniittinen rakenne puolestaan tunnetaan ruostumattomuudesta ja siitä, ettei se ole magneettinen (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, i.a.). Rakenne muuttuu korkeassa lämmössä lähes aina austeniittiseksi, mutta rikkoutuu sitten lämpötilan laskeutuessa alle 730 asteen difusioitumalla tai leikkautumalla. Useimmiten jäähtyessään se muuntautuu ferriitiksi.

Perliitti muodostuu rakenteessa ferriitin ja sementiitin kerroksista (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, i.a.). Sementiitti lujentaa rakennetta ja ferriitti puolestaan pehmentää perliittiä ollessaan niiden välimuotona. Perliittinen rakenne muodostuu austeniitista jäähtymisen tapahtuessa noin 500–700 asteesta. Rakenteen muodostuminen voidaan välttää nopealla sammuksella. Sementiittinen kiderakenne ilmenee korkeahiilisissä teräksissä, joilla on suuri kovuus, mutta ne ovat myös heikkoja ja hauraita.

Bainiittinen rakenne voidaan saada aikaan lämpökäsittelyprosessissa oikeanlaisella sammutuksella (Kivivuori, 2016, s. 63). Se muodostuu martensiitin ja perliitin välisellä jäähtymisalueella. Bainiitti tunnetaan hyvin sen sitkeydestä ja suhteellisen hyvästä lujuudesta. Mikrorakenne pyritään yleensä saamaan kokonaan bainiittiseksi. Yläbainiitin, joka muodostuu noin 500 asteessa kovuus on luokkaa 400 HB ja alabainiitin, joka muodostuu noin 300 asteessa kovuus on noin 600 HB.

Martensiitti voidaan saavuttaa vain nopeassa jäähtymisessä eli perinteisessä karkaisussa vähäseosteiseen teräkseen austeniittiselta alueelta (Kivivuori, 2016, s. 62). Mitä nopeampi sammutus saadaan aikaan mahdollisimman alhaisella hiilipitoisuudella, sitä korkeampi lujuus ja kovuus saadaan aikaan. Ongelmana yleensä ilmenee rakenteen muodostuessa ominainen piirre eli tilavuuden kasvu ja aiheutuvat muodonmuutokset.

2.1.3 Teräksen hiilipitoisuus

Hiili on yksi teräksen seosaineista, joka lujittaa rakennetta eniten ja kasvattaa myös kovuutta (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, i.a.). Hiili muodostaa teräkseen karbideja, jotka ovat rautaa ja hiiltä sisältäviä kiteitä. Hiilipitoisuuden kasvaessa tyypillistä on kappaleen huonompi hitsattavuus ja muovattavuus sekä haurastuminen. Hiilen määrä teräksessä riippuu paljolti teräksen kiderakenteesta, eli kiderakennetta muokkaamalla pystytään vaikuttamaan paljon teräksen lujuuteen. Alla olevassa kuviossa 3 on terästen yleisiä hiilipitoisuuksia ja niiden käyttökohteita.

Hiilipitoisuus	Nimike	Käyttökohteet
Alle 0.05%	Matalahiiliset teräkset	Ohutlevyt
0.05-0.25%	Niukkaahiiliset teräkset	Rakenneteräkset
0.25-0.6%	Keskihiiliset teräkset	Työstettävät konepajateräkset
0.6-1.7%	Runsashiiliset teräkset	Työkaluteräkset

Kuvio. 3 Terästen hiilipitoisuus.

Matalahiiliset teräkset sopivat hyvin hiilitypetykseen ja hiiletyskarkaisuun ohuemmilla seinämäpaksuuksilla (Holm ym., 2012, s. 243). Keskihiilisten terästen ominaisuudet saadaan parhaiten käyttöön induktiokarkaisussa sekä karkaisussa. Korkeahiilisille teräksille yleisin lämpökäsittely on suorakarkaisu martensiitiksi. Tyytetyprosessi onnistuu yleisesti kaikille

teräslaaduille, mutta korkeahiilisissä teräksissä tulosta voidaan parantaa seostamalla terästä mangaanilla ja nikkelillä.

2.1.4 Teräksen lämpökäyttäytyminen

Eri mikrorakenteista ja seostuksista johtuen eri teräslaadut käyttäytyvät eri tavoin eri lämpötiloissa. Tässä opinnäytetyössä olennaista on tutkia eri materiaalien lämpökäyttäytymistä korkeissa lämpötiloissa.

Teräksen lujuus heikkenee aina lämpötilan kasvaessa, mutta sitä voidaan ehkäistä seostamisella (Koivisto ym., 2010, s. 140). Esimerkiksi rakenneteräksen myötölujuus on enää 50 % 400 asteessa, ja ruostumattomia teräksiä voidaan käyttää enää kohtuullisesti 700 asteessa. Taulukosta 1 nähdään yleisimpien ruostumattomien teräksien kimmokertoimia eri lämpötiloissa. Ruostumattomien teräksien suosiota lämpimissä olosuhteissa kuvaa hyvin 1.4307 ruostumattoman teräksen kimmokertoimen muutos huoneenlämmöstä 500 asteeseen, joka on vain 35 Gpa.

Taulukko. 1 Ruostumattomien terästen kimmokerroin.

Teräksen nimike	Numero tunnus	Tiheys kg/dm ³	Kimmokerroin lämpötilassa (Gpa)					
			20°C	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C
X2CrNi18-7	1.4318	7,9	200	194	186	179	172	165
X10CrNi18-8	1.4318	7,9	200	194	186	179	172	165
X2CrNi18-9	1.4307	7,9	200	194	186	179	172	165
X9CrNi18-9	1.4325	7,9	200	194	186	179	172	165
X8CrNiS18-9	1.4305	7,9	200	194	186	179	172	165
X6CrNiCuS18-9-2	1.4570	7,9	200	194	186	179	172	165
X3CrNiCu18-9-4	1.4567	7,9	200	194	186	179	172	165
X5CrNi19-9	1.4315	7,9	200	194	186	179	172	165
X3CrNiCu19-9-2	1.4560	7,9	200	194	186	179	172	165
X5CrNiCu19-6-2	1.4640	7,9	200	194	186	179	172	165
X2CrNi18-10	1.4311	7,9	200	194	186	179	172	165
X5CrNi-18-10	1.4301	7,9	200	194	186	179	172	165
X6CrNiTi18-10	1.4541	7,9	200	194	186	179	172	165

2.1.5 Nitrattavat teräkset

Typetysprosessin monimuotoisuutta kuvaa hyvin se, että periaatteessa se onnistuu kaikille teräslaaduille ja myös valuteräksille (Blomster, 2015). Yksi yleisimmistä nitrausteräksistä on

34CrAlMo5, jolla voidaan saavuttaa pintakovuudeksi yli 1000 HV. Nitraukseen hyvin soveltuvat teräslaadut sisältävät yleisimmiten kromia, molybdeeniä, vanadiinia ja alumiinia.

Nitrausteräksistä on saatavilla myös standardi EN 10085 (Koivisto ym., 2010, s. 140). Alla olevassa taulukossa 2 on esitetty yleisimpiä nitrattavia teräksiä ja niille saavutettavia kovuuksia sekä typetyssyvyyskyksiä eri typetysmenetelmillä. Taulukossa on huomioitu lähinnä vaan pitkän käsittelyaikojen prosesseissa käytettävät nitrausteräket. Erikseen voitaisiin mainita paljon teollisuudessa käytetty teräs 42CrMo4 teräslaatu, jolle suoritetaan useasti 120 minuutin hiilitypetys. Näin nopealla prosessilla saavutetaan typetyssyvyyydeksi 0,40 mm ja yhdistekeroksen paksuudeksi 15–20 µm. Tästä syystä kyseistä ainetta käytetään laajalti konepajateollisuudessa.

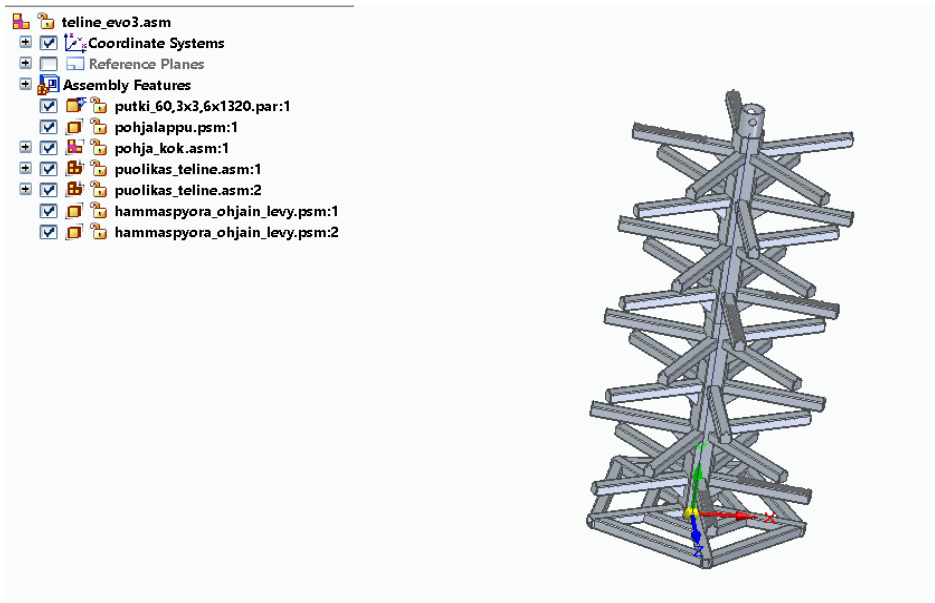
Taulukko. 2 Nitrattavat teräket.

Tunnus	Terästyyppi	Pintakovuus, HV1	
41CrAlMo7-10	Nitrausteräs	1100	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
31CrMoV9	Nitrausteräs	850-1000	Plasmanitraus, 30h, 480°C
34CrAlNi7-10	Nitrausteräs	1100	Plasmanitraus, 30h, 480°C
S355JR	Kuumavalssattuteräs	400	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
19MnVS6	Hiiliteräs	650	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
C45E	Korkeahiilinen teräs	450	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
25CrMo4	Korkeahiilinen teräs	650	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
42CrMo4	Korkeahiilinen teräs	650	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
34CrNiMo6	Korkeahiilinen teräs	650	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
16NiCrS4	Matalahiilinen teräs	600	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
Ovako 255 A	Nitrausteräs	850	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
GGG50	Valuteräs	550	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
GGG70	Valuteräs	600	Kaasunitraus 30h, 510°C Plasmanitraus, 30h, 480°C
95MnWCr5	Työkaluteräs	700	Plasmanitraus, 30h, 480°C
X100CrMoV5	Työkaluteräs	1100	Plasmanitraus, 30h, 480°C
X153CtMoV12	Työkaluteräs	1150	Plasmanitraus, 30h, 480°C

X40CrMoV5-1	Työkaluteräs	1150	Plasmanitraus, 30h, 480°C
HS6-5-2	Pikateräs	1200	Plasmanitraus, 60 min
X20Cr13	Ruostumatonteräs	1100	Plasmanitraus, 30h, 480°C
X5CrNi18-10	Ruostumatonteräs	1250	Plasmanitraus, 30h, 480°C
X8CrNiS18-9	Ruostumatonteräs	1100	Plasmanitraus, 30h, 480°C
40CrMnM0S8-6	Työkaluteräs	750	Plasmanitraus, 30h, 480°C
AISI P20	Työkaluteräs	700	Plasmanitraus, 30h, 480°C
SSAB Toolox 33	Työkaluteräs	650	Plasmanitraus, 30h, 480°C
SSAB Toolox 44	Työkaluteräs	750	Plasmanitraus, 30h, 480°C

2.2 Rakennesuunnittelu

Tässä työssä perehdytään rakennesuunnittelun osalta rakenteen optimoimiseen massan ja kestävyyskannalta. Tällaisessa työssä helposti unohtuu tuotteen valmistettavuus, joka on myös tärkeää lopputuotteen hinnan kannalta. Kannattava liiketoiminta nykypäivänä vaatii tuotteiden optimointia pitääkseen kustannukset riittävän alhaalla (Hietikko, 2021, s. 74). Rakenteiden lujuuslaskennan avulla voidaan välttää ylivoimittamista ja näin säästää materiaalikustannuksissa. Kuviossa 4 on nähtävissä esimerkillinen tuote, joka saatiin aikaan tämän opinnäytetyön rakennesuunnittelussa.



Kuvio. 4 Solidedge suunniteltu tuotekokoonpano.

Rakennetta suunniteltaessa suunnittelijalla on tärkeä rooli löytää kestävin ja kustannustehokkain vaihtoehto tuotteen rakenteelle. Yllä olevassa kuviossa nähdään telinerakenne, joka on päätetty valmistaa putki- ja levyrakenteista hitsaamalla. Cad-ohjelmassa on valmistettu tuotteesta piirustukset, jonka pohjalta se on mahdollista valmistaa. Monta kertaa suunniteltaessa tulee vastaan osioita, jotka vaan eivät ole mahdollisia toteuttaa jostain syystä, mutta useasti lopputulokseen on monta mahdollista ratkaisua, joista vaan on osattava valita se oikea (Laakko ym., 1998, s. 68). Tällaisissa tapauksissa kokemus on korvaamatonta.

2.2.1 Cad-suunnittelu

Tuotteen 3D-CAD-suunnittelussa pystytään laatimaan valmistettavasta kappaleesta, kokoonpantavasta tuotteesta tai tuoteperheestä oleva geometria tietokoneohjelmassa, jossa siitä pystytään laatimaan piirustukset, simulointiohjelma tai suorittamaan lujuuslaskentaa kyseiselle kappaleelle (Laakko ym., 1998, s. 9). Näistä ilmenee myös tuotteelle asetetut materiaallivaatimukset ja toleranssit.

Tuotemallia pystyy hallitsemaan moni henkilö ja sitä pystytään hyödyntämään esimerkiksi markkinoinnissa ja asiakkaiden omien tuotekehitysten osana (Laakko ym., 1998, s. 10). Cad-suunnitteluvaiheessa pystytään vaikuttamaan vielä hyvin kokoonpanon sujuvuuteen, tuotetietojen hallintaan, valmistettavuuteen ja kustannuksiin sekä laadullisiin vaatimuksiin.

2.2.1.1 FEM-laskenta

FEM-analyysin tarkoitus on varmistaa tuotteen kestävyys ja toimivuus käyttökohteessa ennen sen siirtymistä valmistusprosessiin (Laakko ym., 1998, s. 159). Analyysillä voidaan säästää suunnittelijan työmäärässä ja mahdollisten ongelmien välttäminen valmiissa tuotteessa. Yleisimmin FEM-laskentaa käytetään siis tuotteen tai kappaleen lujuuslaskentaan. Ohjelmassa tehdään myös paljon lämpövirtaus- ja värähtelylaskentaa.

Laskennassa pystytään asettamaan Cad-ohjelmassa suunnitellulle tuotteelle tai kappaleelle käyttökohdetta vastaava kuormitus tai ominaisuus (Hietikko, 2021, s. 171). Tuloksena laskennasta saadaan kappaleelle tulevat voimat ja niistä aiheutuvat siirtymät. FEM-laskenta on lähes kokonaan syrjäyttänyt kokeellisen testaamisen pois lukien tietysti vaativat volyymituotekehitykset.

2.2.2 Valmistusystävällinen suunnittelu

Tyypillinen tilanne monessa yrityksessä on, että suunnittelu- ja tuotanto-osasto eivät tee riittävästi yhteistyötä (Laakko ym., 1998, s. 184). Ongelma ilmenee silloin, jos suunnittelu ei osaa ottaa huomioon riittävästi valmistuksen näkökulmia.

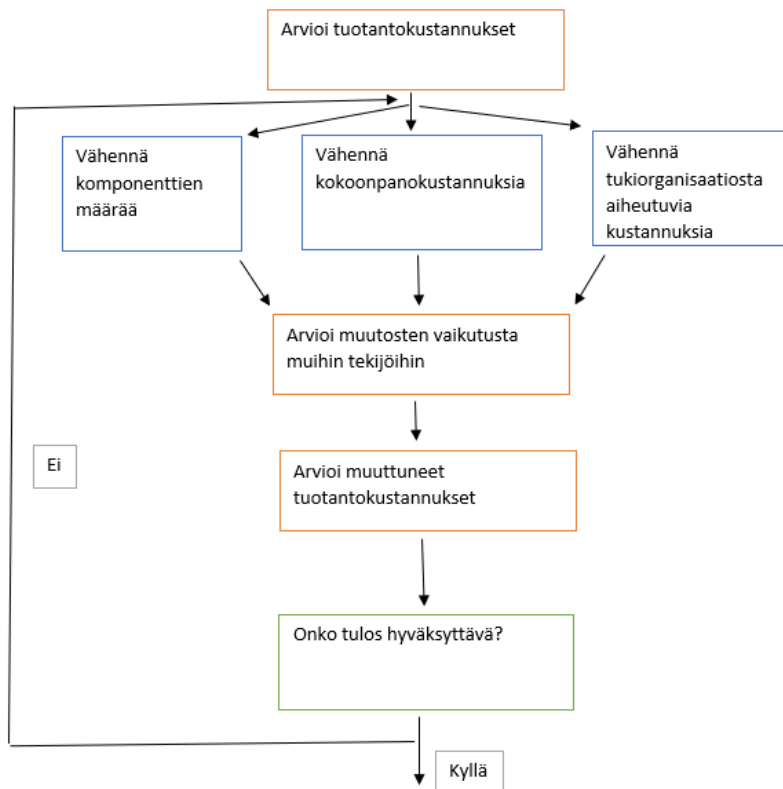
Hietikko (2020, Valmistettavuus -luku) toteaa, että suunnitteluvaiheessa monelle tuotteelle valitaan jo lopullinen valmistusmenetelmä, eli suunnittelija vastaa myös paljon myöskin kerääntyvistä valmistuskustannuksista (Hietikko, 2020, Valmistettavuus -luku). Kustannuksiin ja valmistusmukavuuteen vaikuttaa myös, miten suunnittelija osaa hyödyntää jo valmiiksi suunniteltuja ja valmistettuja standardiosia.

2.2.2.1 DFMA

DFMA eli Design For Manufacturing and Assembly on valmistusystävälliseen suunnitteluun pohjautuva ajatustyyli (Hietikko, 2020, Valmistettavuus -luku). Ajatus on, että tuote pyritään suunnittelemaan niin, että kokoonpanoprosessissa välttyttäisiin ongelmilta ja virheiltä. Suunnittelussa tapahtuvat ongelmat siirtyvät yleensä eteenpäin tuotantoon ja kokoonpanoon, ja ongelmat heijastuvat lopuksi lopputuotteen heikkona laatuna esimerkiksi hankalana varaosien saatavuutena tai monimutkaisena huollettavuutena. Monta kertaa myös tuotteen myyntihinta asetetaan liian korkeaksi, koska se lasketaan valmistuskustannusten mukaan, vaikka

todellisuudessa tuote pitäisi pystyä suunnittelemaan yleisten markkinahintojen perusteella (mt.).

Alla olevassa kuviossa 5 on esitetty DFMA-prosessin kulku. Mikäli prosessissa ei saavuteta haluttuja tuloksia, niin se voidaan toistaa useasti uudelleen.



Kuvio. 5 DFMA-prosessi.

Laakko (1998, s. 185) kertoo, että DFMA-suunnittelu jakautuu kahteen osa-alueeseen: DFM-suunnittelu, jossa huomioidaan tuotteen valmistamisen kannalta helpoimmat seikat, ja DFA-suunnitteluun, jonka tarkoituksena on tehdä tuotteen kokoonpanoprosessista mahdollisimman tehokas ja nopea. Prosessia voidaan yhtä lailla hyödyntää jo valmiin markkinoilla olevan tuotteen kehittämiseen, kuin osana uuden tuotteen kehitysprosessia. CAD-ohjelmistossa ei ole olemassa erillistä työkalua hyödyntämään DFMA-suunnittelua, mutta niistä löytyy paljon toimintoja, joita jokainen pystyy hyödyntämään valmistusystävällisessä suunnittelussa. Esimerkiksi näitä ovat osakirjastot ja materiaalitiedot.

2.2.3 Materiaalin valinta suunnittelussa

Kappaleen materiaalin valinnalla on suuri merkitys myös tuotteen kustannusten minimoinnissa (Hietikko, 2020, Valmistettavuus -luku). Mahdollisesti eri materiaalilla voidaan valita jokin muu valmistusmenetelmä, jossa voidaan saada aikaan suuriakin säästöjä.

Materiaalin valinta ei suinkaan aina perustu kustannustekijöihin eikä myöskään aina lujuuteen, vaan toisinaan täytyy osata suunnitella tuotteen elinkaarta (Hietikko, 2021, s. 42). Valinnassa käytetään myös hyväksi varmuuskertoimen laskukaavaa, jonka avulla pyritään välttämään pienet riskitekijät.

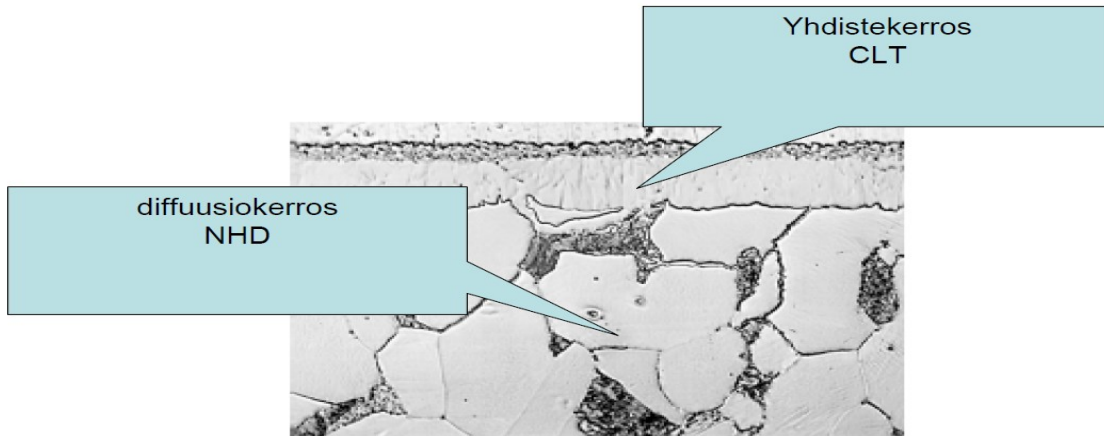
Materiaalin valinta suunnitteluvaiheessa etenee sen mukaan, mitä vaatimuksia tuotteelle on asetettu, ja sen pohjalta aletaan suunnittelemaan tuotetta ja lopuksi voidaan vielä tarkentaa esimerkiksi oikea seos materiaalille helpommin tuotteen geometrian perustein (Koivisto ym., 2010, s. 258). Tuotetta suunniteltaessa voi käyttää apuna esimerkiksi CAD- ohjelmiston FEM- laskentaa, jossa voi suorittaa lujuuslaskentaa kappaleelle eri materiaaleilla.

2.3 Nitrausprosessi

2.3.1 Nitraus

Typetys eli nitraus on lämpökäsittelyprosessi, jossa kappaleen pintaan syötetään typpeä noin 570 asteessa (Kivivuori, 2019, s. 204). Kappaleen pintaan muodostuu nitridejä luoden kovan ja liukkaan pintakerroksen. Nitrausta kutsutaan myös pintakäsittelyprosessiksi, koska siinä tapahtuvat mittamuutokset ovat vähäisiä.

Typetyksellä eli nitrauksella saavutetaan moneen käyttökohteeseen paremmat ominaisuudet kuin esimerkiksi pintakarkaisulla, ja näitä ominaisuuksia ovat parempi lämmönkesto, korkeampi korroosionkestävyys ja tribologiset ominaisuudet (Härkönen & Saviranta, 2003, s. 16). Nitrauksessa kappaleen pintaan muodostuu yhdistekerros CLT, joka on erittäin kova, jopa yli 1000 HV, mutta erittäin hauras. Yhdistekerroksen paksuus on noin 10–20 µm, ja sen alle muodostuu diffuusiokerros NHD, joka ei ole yhtä kova, mutta se lujittaa rakennetta. Sen paksuus on yleensä noin 0,05–0,8 mm. Typetyksen suosiota lisää se, että se tapahtuu suhteellisen alhaisessa lämpötilassa, jossa teräksen rakenteessa ei tapahdu faasimuutoksia.

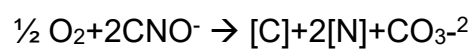


Kuvio. 6 Nitrauskerrokset.

Kuviosta 6 voidaan havaita mikrorakennekuva eri tyyppisistä kerroksista. Ohut yhdistekerros luo kappaleelle suuren kovuuden, hyvän liukuvuuden ja hyvän ruosteenkestävyyden (Holm ym., 2012, s. 505). Paksumpi diffuusiokerros kiinnittää ohuen yhdistekerroksen ja alkuperäisen materiaalin, jossa ei tapahdu muutoksia sitkeästi toisiinsa. Diffuusiokerros luo kappaleelle lujuutta ja lämmönkestävyyttä.

2.3.1.1 Suolakylpynitraus

Kivivuori (2019, s. 216) kertoo, että kylpynitrauksessa kappale upotetaan suolakylpyyn, jossa siihen johtuu typpeä ja hiiltä noin 580 asteessa. Prosessissa suolakylvyssä oleva syanaatti muuntautuu kappaleen pinnalla, johon prosessi perustuu:



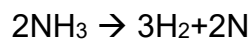
Kylpynitrauksella saadaan yleisesti kovempi sitkeys ja alhaisempi kovuus, mitä kaasunitrauksessa, ja käsittelyajat ovat vain noin 1–2 tuntia (Kivivuori, 2019, s. 217). Yhdistekerroksen paksuus kylpynitrauksessa yleensä on 5–20 µm ja diffuusiokerroksen paksuus 0,1–0,8 mm. Kappaleen joitain osia pystytään suojaamaan nikkelillä tai kuparilla, jos sen ei haluta kokonaan nitrautuvan.

Yleisimpiä teräslajeja kylpynitrauksessa ovat pikateräksiset sekä lievästi seostetut tai seostamattomat teräksiset. Sammutus prosessissa tehdään öljyyn tai hydroksidisuolakylpyyn seostetuimmilla teräksillä ja lievästi seostetuilla veteen.

Suolakylvyn käyttö sammutusvälineenä ei ole läheskään niin yleistä kuin esimerkiksi öljyn, koska suolaliuoksen sisältävä syanidi on myrkyllistä ja ympäristölle haitallista, joten sen ylläpito vaatii suuremmat kustannukset (Holm ym., 2012, s. 519). Nykyään syanidin käyttö on vähentynyt ja se on korvattu myrkyttömillä aineilla. Suolakylpynitrauksesta käytetään myös useasti nimeä Tenifer-käsittely.

2.3.1.2 Kaasunitraus

Kivivuori (2019, s. 214) toteaa kaasunitrauksen vaativan hyvän ja tiiviin uunin, koska prosessissa käytetään ammoniakkikaasua, joka muodostuu kappaleen pinnalle vedyksi ja typeksi:



Kaasunitraukselle tyypillistä on laajat käsittelyajat, jopa 10–60 tuntia. Pidemmällä käsittelyajoilla saavutetaan suurempia kerrosten syvyyksiä. Tyypillinen käsittelylämpötila on 500–530 astetta. Prosessia voidaan säädellä ammoniakkikaasunvirtausta säätämällä, joka muuttaa dissosioitumisastetta. Tärkeää prosessissa on myös saada huuhdeltua typellä ja ammoniakilla ilma pois uunista, koska ammoniakki ja ilma ovat räjähdysvaarallinen yhdistelmä, joka syttyy pienestäkin kipinästä. Kaasunitrauksen suosiota kuvaa sillä saatava erittäin suuri pintakovuus (1000–1600 HV) (mts. 216).

Yleisesti typetyksestä puhuttaessa puhutaan kaasunitrauksesta, sen ollessa laadukas ja perinteisin nitrausprosessi (Holm ym., 2012, s. 510). Prosessissa on mahdollista saavuttaa kaikista kovimmat pintakovuudet, mutta koska diffuusiokerros etenee hitaasti ja käsittelyaikojen ollessa niin pitkät, on hiilitypetys vienyt sen suosiota.

2.3.1.3 Alipaine- eli plasmanitraus

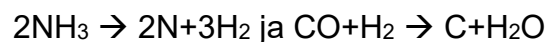
Plasmanitrauksen kehitystä on hidastanut laitteistojen suhteellisen korkea hinta, koska prosessissa kappale on alipaineuunissa sähkökentässä (Kivivuori, 2019, s. 221.). Sähkökentän ansiosta saadaan kaasu johdettua oikeassa muodossa kappaleen pintaan. Käsittelylämpötila

prosessissa on noin 300–600 astetta ja uunissa oleva paine on noin 0,1–10 mbar. Jänniteeroa uunissa on kappaleella ja uunin kuorella 250–1000 voltia. Plasmanitrausuunin sähkökentässä panos toimii katodina ja uuni anodina. Alipainehiiletyksessä käsittelyajat vaihtelevat 10 minuutista jopa 30 tuntiin.

Yhdistekerroksen paksuutta prosessissa säädellään kaasuseoksella, ja vedyn määrällä pystytään säätämään uuniatmosfäärin potentiaalia (Holm ym., 2012, s. 517). Plasmanitrattavien teräslaatuojen määrä on laaja ja lähes sama, kuin kaasunitrattavien, mutta prosessi on erityisen suosittu työkaluteräksille ja ruostumattomille teräksille.

2.3.1.4 Hiilitypetys

Hiilitypetys (nitrocarburizing) on edullinen ja yleisesti käytetty nitrausmenetelmä (Kivivuori, 2019, s. 217). Se eroaa kaasunitraukselta siltä osin, että uuniin johdetaan myös hiilidioksidia, jolla saadaan lyhennettyä käsittelyaikaa huomattavasti. Yleisesti käytetty typetyslämpötila on 570 astetta hiilitypetyksessä ja käsittelyaika on noin 0,5–6 tuntia. Prosessissa tapahtuvat reaktiot ovat:



Hiilitypetyksen yleisyyttä kasvattaa sen muuntautuvuus, automatisoitavuus sekä edistyneempi työturvallisuus moneen muuhun typetykseen verrattuna. Hiilitypetyksen eri variaatioilla pystytään käsittelemään myöskin valurautoja ja lähes kaikkia teräslaatuja (mts. 218).

Hiilitypetyksessä käytetään myöskin ammoniakkikaasua yhtenä prosessikaasuina, joten sitä suoritetaan usein samoissa uuneissa, kuin perinteistä kaasunitrausta. (Holm ym., 2012, s. 513).

2.3.2 Mustanitraus

Mustanitraus eli oksidointi on nitrausprosessin loppupuolella tapahtuva hapetus, joka yleisesti toteutetaan syöttämällä uuniin ilokaasua tai vesihöyryä, joka muodostaa kappaleeseen mustan oksidikerroksen (Härkönen & Saviranta, 2003, s. 16). Kerroksen ansiosta kappale saa vielä paremmat tribologiset eli liukuominaisuudet. Jälkihapetus tapahtuu noin 450–550 asteissa, ja kerroksen paksuus on 1–3 µm.

Tärkeimmät saavutettavat hyödyt mustanitrauksessa on tuotteen hyvä ulkonäkö, joka on musta ja tasainen, sekä erinomainen korroosion kesto. Prosessissa laajennetaan magnetiitti (Fe_3O_4) kerrosta lähimmäksi kappaleen pintaa (Holm ym., 2012, s. 520). Mustanitrausta käytetään nykyään laajalti paljon erilaisissa holkeissa sekä tapeissa ja hydraulikassa.

2.3.3 Nitrausuunit

Yleisimpiä nitrausuuneja ovat alipaineuunit, atmosfääriuunit ja suolakylpyuunit (Kivivuori, 2016, s. 129) Yleisesti nitrausuunit ovat sähkötoimisia, ja niissä vastukset lämmittävät teräs-retorttia, jonka sisällä on kaasutiivis panostila. Uunit lastataan joko sivusta olevasta luukusta tai monesti käytössä on myös päältä lastattavat uunit, jolloin uuneissa on useasti erillinen sammutuskammio, jossa panos jäähdytetään sähköpuhaltimella. Yleinen nitrausuunien tilavuus on suunniteltu noin 500 kg:n tai 1000 kg:n panoksille.

Normaali typetysuuni on yritykselle yleisesti helpompi investointi, kuin esim. hiiletyskarkaisu-uuni, koska sammutus tapahtuu ilmalla jäähdyttämällä, eikä johonkin väliaineeseen esim. öljyyn. Vaadittava lämmitysteho on myös alhaisempi johtuen matalammasta lämpötilasta, mutta hyvää tiiviyttä toki vaaditaan. Tämä väite ei toki koske alipaineuuneja, jotka ovat tunnettuja korkeista hinnoista, sekä suolakylpyuuneja, jossa väliaineena sammutuksessa toimii suolaliuos.



Kuva. 1 Yleisesti käytetty kuoppauuni.

Eniten teollisuudessa käytetty tyytysuuni on kuoppauuni, jossa uunit panostetaan ylhäältä päin (Kivivuori, 2016, s. 132). Tästä syystä uunit sijoitetaan monesti upotukseen lattiaan työergonomian vuoksi. Kuvasta 1 voidaan nähdä erillinen uuni ja sammutuskammio, jolloin voidaan lisätä tuotannon kapasiteettia paljon esimerkiksi tehtäessä lyhyitä hiilitypetyksiä. Monesti on myös havaittavissa, että jäähtyminen tapahtuu samassa kammiossa eli uunissa, mutta tällöin jäähtymisaika on todella pitkä, ellei panosta pystytä jäähdyttämään jotenkin il-mavirralla. Kuoppauuni eli pystyretorttiuuni sisältää yleensä lämmityselementit, jotka lämmit-tävät retorttia, joka on tiivis panostila, jossa panos sijaitsee ja mihin kaasut johdetaan. Retortti on vähän kuin metallinen paineastia, tosin halutussa muodossaan. Sen paksuus on luokkaa 5 mm ja valmistettu tulenkestävistä teräksistä. Retortin ei tule olla kiinteä uunin kanssa, jol-loin on mahdollista käyttää erillistä jäähdytyskammiota vain nostamalla retortti uunista kam-mioon panostilan ollessa tiiviinä.

2.3.4 Typetyssyvyys

Typetyssyvyyden eli diffuusiokerroksen määritelmänä nykyään käytetään rajapintaa, jossa kovuus on kappaleen alkuperäinen kovuus +50HV (A. Piensoho, henkilökohtainen

tiedonanto, 2010). Itse syvyys ilmoitetaan piirustuksessa millimetreinä. Yhdistekerroksen paksuus ilmoitetaan mikrometreinä. Pinnankovuus ilmoitetaan Vickers-kovuutena ja sen perään merkitään käytettävä HV voima, mikäli käytetään jotain muuta kuin 0,5 voimaa.

typetetty
 $\geq 800 \text{ HV}_3$
 $\text{NHD HV}_{0,3} = 0,1^{+0,05}_0$

Kuvio. 7 Typetyssyvyys.

Kuviosta 7 voidaan nähdä perinteinen esimerkki piirustusmerkinnästä, josta selviää haluttu pintaa kovuus 800 HV mitatulla voimalla. Typetyssyvyys on 0,1 mm tässä tapauksessa tietyllä HV voimalla mitattuna ja toleranssit on myös määritetty $0+0,05$ mm.

hiilitypetetty
 $\text{CLT} = (12^{+6}_0) \mu\text{m}$

Kuvio. 8 Hiilitypetysyvyys.

Typetysmuotona käytettäessä hiilitypetystä, merkitään se yleensä piirustukseen mainitsemalla hiilitypetys ja kertomalla yhdistekerroksen paksuus CLT. Kuviosta 8 havaitaan halutuksi yhdistekerroksen paksuudeksi 12 mikromillia ja toleranssiksi +6 mikromillia.

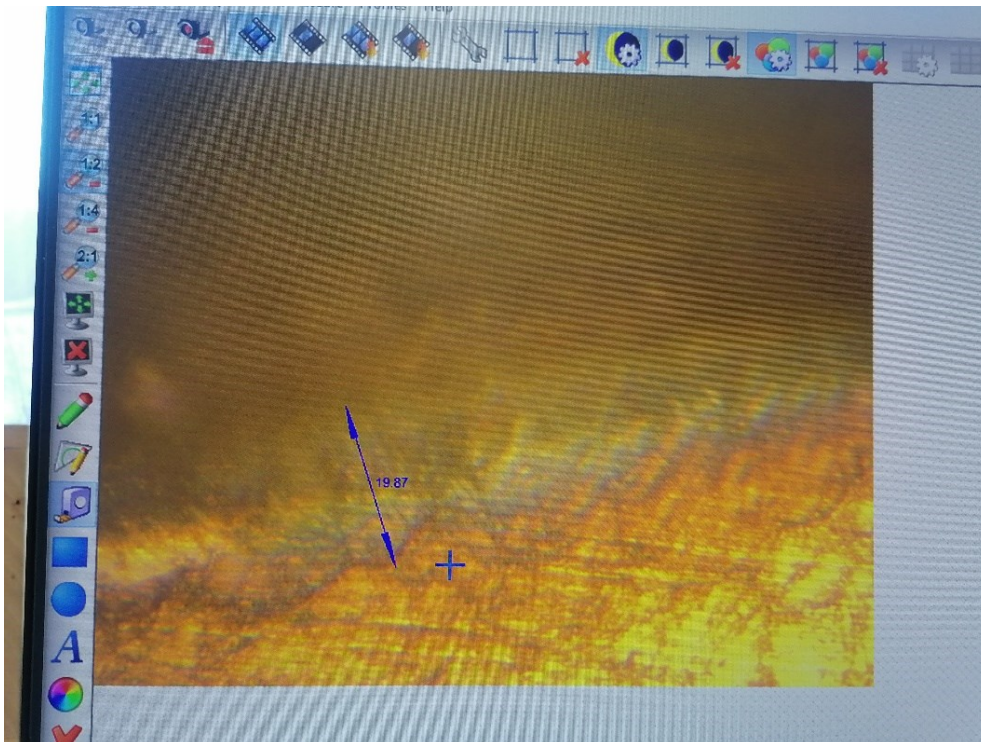
2.3.5 Prosessi tulosten analysointi

Panoksissa käytetään useasti koepalaa, mikä on samaa materiaalia, kuin nitrattava tuote. Valmis nitrattu koepala katkaistaan sahalla, jolloin päästään tutkimaan kappaleen sisäistä rakennetta. Kappaleesta mitataan Vickers-kovuuksia, ja mittaaminen aloitetaan kappaleen keskeltä perusaineen kovuus ja sitten lähdetään kappaleen reunalta sisustaa kohti ottamaan kovuuksia ja pystytään näkemään typetyssyvyyden raja, joka yleensä on 50 HV perusainetta kovempi. Yleisesti käytetyllä Rockwell-mittalaitteella nitrattun kappaleen todellista kovuutta ei pystytä mittaamaan, koska se käyttää mittauksessa liian suurta mittausvoimaa.

Suuri vastuu prosessituloksia seurattaessa, on myös työntekijällä, koska kappaleen ulkonäöstä voidaan päätellä paljon prosessin onnistumista, ja se ilmenee tuotteen pinnalla läiskinä ja

vaihtelevana värinä. Kaikki erilaiset liat, öljyt ja suolat estävät typettymistä, ja sen takia pesun merkitys prosessissa on niin oleellinen.

Yleisesti nitraustuloksia analysoitaessa apuna käytetään mikroskooppia, minkä avulla voidaan nähdä yhdistekerroksen paksuus syövyttämällä leikattu pinta nitaalilla, mikä on alkoholin ja typpihapon liuos. Yhdistekerroksen ollessa niin ohut, yleensä noin 10–20 μm , sitä ei pysty näkemään edes mikroskoopilla ilman syövyttämistä. Kuvasta 2 voidaan havaita mikroskoopin kuvasta yhdistekerros ja sen mitoitettu paksuus, joka kyseisessä mittauksessa on ollut hieman alle 20 μm .



Kuva. 2 Mikroskooppikuva yhdistekerroksesta.

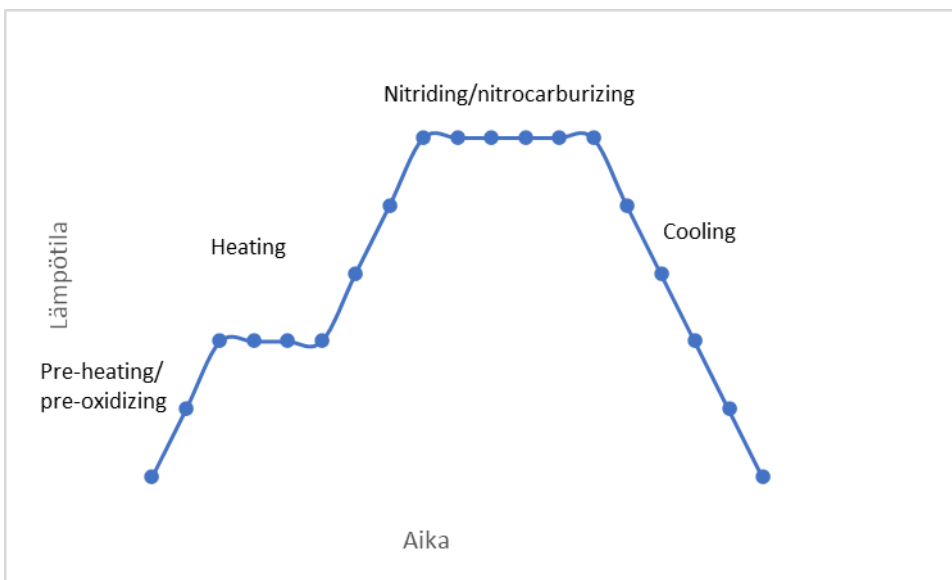
3 Tehtävät työt

3.1 Prosessiin tutustuminen

Typetysprosessista on saatavilla heikommin tietoutta ja kirjallisuutta, kuin esimerkiksi koneistus- tai layoutsuunnitteluperiaatteista. Nitrauslaitteiston haltijat Suomessa ovat yleisesti isoja alihankintalämpökäsittelylaitoksia tai konepajoja, jotka typettävät esimerkiksi omia työkalujaan johonkin muuhun prosessiin. Tästä syystä käytännön tietous ja kokemus on korvaamaton tuotannon aloituksessa. Opinnäytetyössä olen saanut hyödynnettyä prosessin lainalaisuuksia yrityksen laajan kokemuksen ansiosta.

Nitrauksessa tärkeässä roolissa on kappaleiden asettelu, sillä kaasunkierroksen ongelmat kappaleen johonkin pinnalle estävät sen pinnan nitrautumisen. Tämän takia telineen suunnittelussa tulee ottaa huomioon etäisyydet laatuongelmien välttämiseksi. Asetettava mittaväli kappaleiden välille riippuu tuotteen muodoista.

3.2 Prosessin kulku



Kuvio. 9 Nitrausprosessin kulku.

Kuviossa 9 on havainnoitu nitrausprosessin kulku ajallisesti ja pystyakselilta on nähtävissä jokaisen osion väliset lämpötilamuutokset. Typetyksen tai hiilitypetyksen tärkeimmät kolme osiota ovat kuumennus, jossa kappaleet kuumennetaan typetyslämpötilaan, nitrausvaihe, jossa saavutetaan haluttu syvyys nitraukselle sekä jäähdytysvaihe, missä kappaleet

sammutetaan haluttuun väliaineeseen. Esilämmitysvaihetta käytetään yleisesti osana hiilitypetyprosessia ja sillä voidaan saavuttaa ajansäästöä hiilitypetyvaiheessa. Esihapetus osana prosessia edistää yhdistekerroksen muodostumista.

3.3 Laitteistoon tutustuminen

Laitteistoon tutustumista työssä helpotti se, että yritys oli ostanut aiemmin jo sopivan tilaisuuden tullessa laitteiston, mutta sitä ei ollut tilanpuutteen takia vielä asennettu paikalleen. Jo aiemmissa projektiopinnoissa, laitteille oli suunniteltu uusiin toimitiloihin hyvä paikka, jossa niitä on ergonomista käyttää korkean rakenteen ja prosessissa tarvittavan jatkuvan nosturin käytön vuoksi.

3.3.1 Uttis-typetysuuni

Heatmac Oy oli hankkinut käyttöönsä typetys- eli nitrausuunin, joka oli malliltaan kuoppauuni, jossa on erillinen uuni ja jäähdytyskammio, joten rakenne on toteutettu erillisellä kaasutiiviillä retortilla. Prosessi aiheuttaa vähän enemmän työtä siirroista johtuen, mutta erillinen sammuskammio on kustannusteknillisesti kannattavampi vaihtoehto ajankäytön kannalta. Suunnittelutyötä hankaloitti vähäinen laitteen valmistajan piirustusten toimittaminen.

Uunin retorttia voidaan verrata painesäiliöön, jossa on avattava kansi. Eli retortti on valmistettu teräslevystä, joka prosessissa toimii lämmönsiirtäjänä panokseen ja kaasutiiviinä tilana. Uunin puolella retorttia kuumennetaan vastuksilla, ja sammutuskammiossa sitä jäähdytetään kylmällä ilmalla puhaltimen avulla. Retortin kannessa on integroitu sähkömoottorilla toimiva puhallin, joka kierrättää kaasuja uunin sisällä. Panos on sijoitettu uunissa puhaltimen alle ja ritilän päälle, jotta kaasut pääsevät kiertämään ritilän ja panoksen läpi panoksen ulkopuolella olevan väliseinän ja retortin väliseen jäävän tilan kautta takaisin ylös puhaltimelle. Sähkömoottorin laakeripesiä jäähdytetään vedellä samoin kuin retortin ja sen kannen välistä tiivistettä.

3.3.2 Uunin kaasutilavuus

Ennen prosessin aloitusta yksi iso työ on kaasujen hankinta ja niiden lainmukainen käyttö turvallisesti sekä niiden varastointi. Sopimuksia tehtäessä on hyvä osata arvioida ennalta

tulevaa kaasunkulutusta. Heatmac Oy:n aloittaessa uunilla tekemään hiilitypetysprosessia voidaan kokemusten ja saatujen tietojen perusteella arvioida kaasunkulutuksen olevan yhden syklin aikana 1–5 kertainen uunin tilavuuteen nähden. Käytännössä kulutus tulee olemaan tuolla välillä, mutta jos kaasua syötetään vain yhden uunin tilavuuden verran, tuskin saavutetaan haluttua tulosta, mutta uunin ollessa laadultaan hyvä niin varmasti 2–3 tilavuuden kertainen kulutus on hyvin lähellä todellisuutta ennalta arvioitaessa.

Eniten prosessissa määrällisesti käytetty kaasu on typpi, joka toimitetaan typpipattereina. Typpipatterin tilavuus on 114m^3 , joten niitä kuluu vuositasolla minimissään 16 patteria ja suurimmillaan 79 patteria. Ammoniakkia kuluu vuositasolla 5–23 kpl 64 kg pulloa.

3.3.3 Pesukone

Typetysprosessin ollessa todella tarkka epäpuhtauksille, se vaatii yleensä oman monikammiopesurin. Heatmac Oy:n tehdessä alihankintatyötä korkealla laadulla hyvän pinnanlaadun saavuttaakseen ehdoton vaihtoehto on kolmikammiopesuri. Kolmikammiopesurin toimintaperiaate on, että se pesee eri pesuaineilla kappaleet sekoittamatta pesuaineita keskenään. Ensimmäisessä vaiheessa pesuri pesee kappaleet kovilla pesuaineilla, ja silloin koneistusrasvat yms. saadaan poistumaan tuotteista. Toisessa vaiheessa pesu tehdään puhtaalla vedellä, jolloin vältetään suurilta pesuainejäämiltä. Kolmannessa vaiheessa pesu tehdään lievillä pesuaineella välttämällä kappaleen korroosiota, joka on suuri ongelma pestäessä puhtaalla vedellä.

Yritys on hankkinut käyttöönsä uuden pesurin, joka on valmiina heti nitrausprosessia ensikeräta testatessa. Mahdollisimman hyvän pesutuloksen saavuttamiseksi nitrausteline on suunniteltu kahtena osana, joten pesua voidaan suorittaa myös pienemmälle panokselle laadun kannalta sen vaatiessa.

3.4 Telineen suunnittelu

Opinnäytetyön keskeinen osuus, nitraustelineen suunnittelu, sai alkunsa asiakkaan nitraustarpeesta suurivolyymiselle tuotteelle, jonka prosessi täytyisi saada mahdollisimman tehokkaaksi kannattavuuden vuoksi. Osiossa suunniteltiin tilankäytön ja massan kannalta optimoitu teline, joka oli kustannustehokkaasti valmistettavissa. Telineen materiaaliksi valikoitui

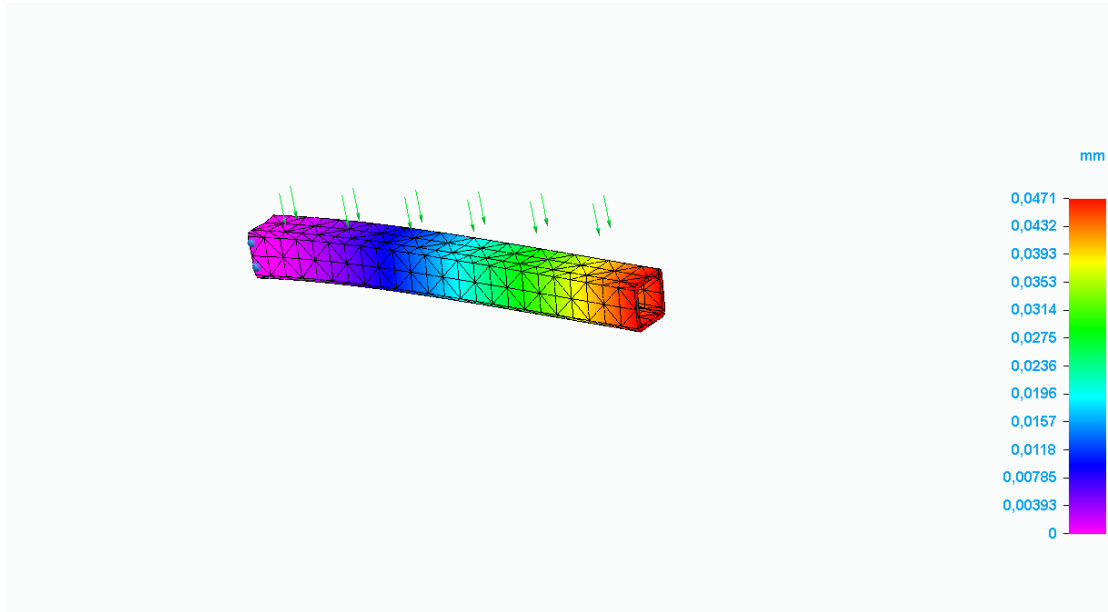
ruostumaton teräs, koska se on paljon käytetty ja suhteellisen edullinen teräs tulenkestäviin teräksiin verrattuna, se kestää hyvin korkeita lämpötiloja. Laitteen valmistajalta tulleet telineet eivät soveltuneet kyseiselle tuotteelle. Volyymituotteen ollessa hammaspyörä, se on kannattavinta asettaa roikkumaan asetustyön helppouden vuoksi ja hyvän pesutuloksen saavuttamisen vuoksi, joten päädyttiin suunnittelemaan uusi ripustustyylinen nitrausteline.

3.4.1 Panoskoon kartoitus

Ensimmäiseksi telineen suunnittelussa aloitettiin kartoittamaan maksimaalinen panoskoko. Hammaspyörän painon ollessa 1,46 kg voi niitä panokseen enimmillään asettaa 342 kpl. Pyörän ollessa halkaisijaltaan kohtuu iso (160 mm), joutui niitä limittämään kerroksittain maksimimäärän saavuttamiseksi. Panostuksen tapahtuessa ripustamalla tuotteet orsille, pystytään ne sijoittamaan lähelle toisiaan pesukoneen suihkutussominaisuuden myötä. Halutun maksimaalisen panoskoon saavuttamiseksi hammaspyörät on sijoitettava 3 mm välein orsille. Näiden tietojen pohjalta oli mahdollista päästä aloittamaan lujuuslaskentaa mahdollisille telinerakenteille.

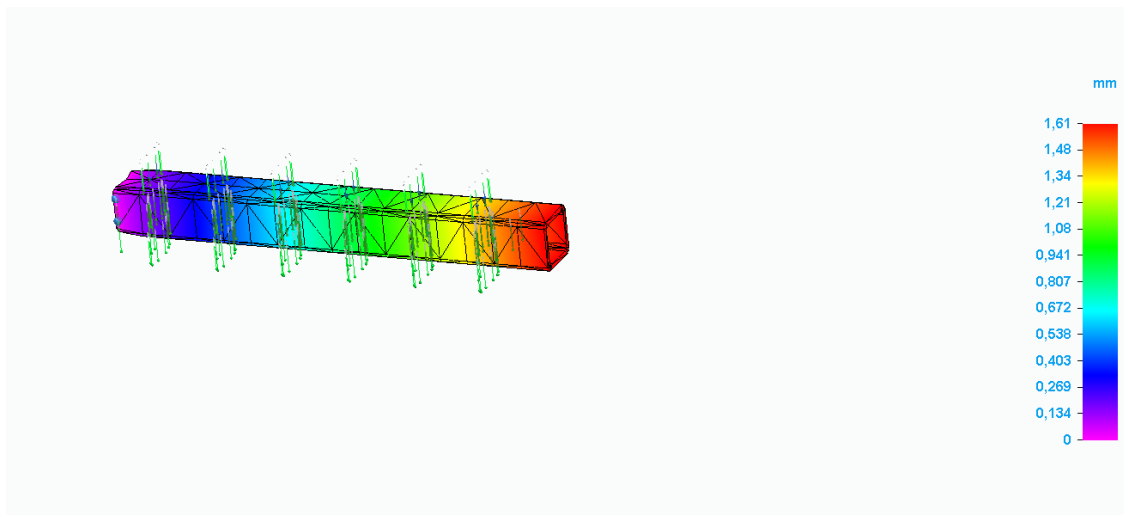
3.4.2 Lujuuslaskenta

Hyvin nopeasti ensimmäisiä suunnitelmia tehdessä, orsien rakenteeksi valikoitui neliöputki 30x30x3 sen ollessa maksimaalisen kokoinen ulkomitoiltaan hammaspyörän keskireikään suhteutettuna ja neliöputken ollessa lujuuden kannalta kestävin ja myös kustannustehokkain valinta. Lujuuslaskennassa apuna käytin Solid edgen FEM-laskentaa, jossa oli myös mahdollista toteuttaa rakenteelle lämpölujuuslaskentaa. Kuviossa 10 on nähtävissä suunnitellun orren päähän tapahtuva siirtymä huoneenlämmössä kappaleiden painosta aiheutuvan voiman ansiosta, joka on todella vähäinen.



Kuvio. 10 Orsi huoneenlämmössä.

Kuviosta 11 voidaan taas havaita jo suurempi siirtymä varteen, ja se tapahtuu samoilla voimilla typetyslämpötilassa, eli 570 asteessa. Kyseiset laskelmat on tehty lopullisella materiaalilla. Lämpölaskentaa suorittaessa, myös tulenkestäville teräksillä ei saavutettu huomattavaa parannusta ruostumattomaan teräkseen, joten lopuksi päädyttiin yksimielisesti valmistamaan rakenne ruostumattomasta teräksestä.

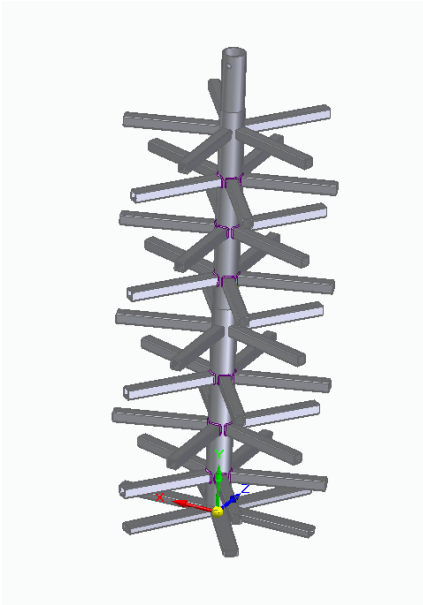


Kuvio. 11 Orsi typetyslämpötilassa.

3.4.3 Rakenteen muotoilu

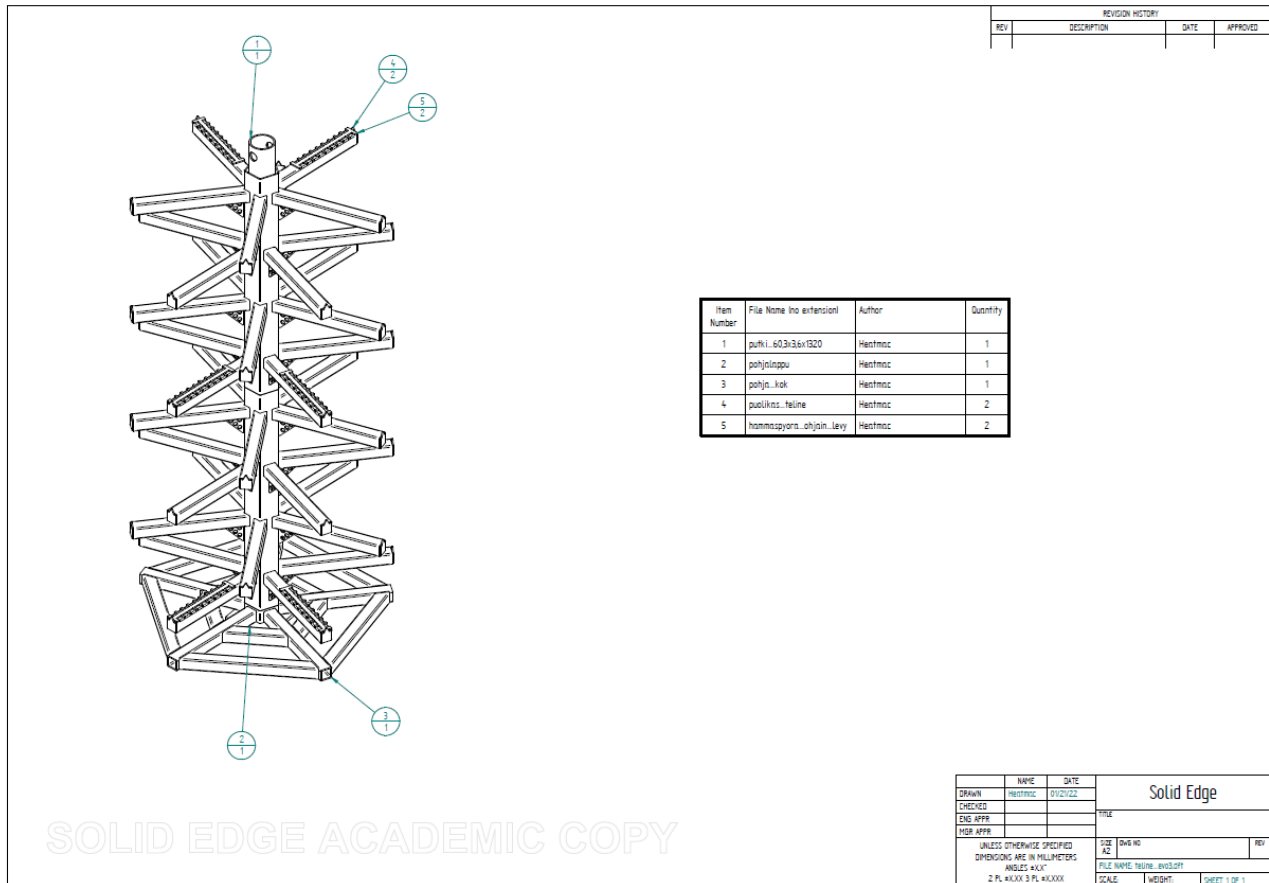
Telineen suunnittelua aloitettaessa sille asetettiin yhtenä vaatimuksena sen tyylinen layout, joka edistää kappaleiden pesutulosta. Telineen korkean rakenteen vuoksi se on hyvä saada katkaistua kahteen osaan valumien ehkäisemiseksi. Tästä syystä suunnittelua hieman

vaikeutti sopivalla välyksillä olevien putkikokojen löytyminen ruostumattomasta teräksestä. Ensimmäisessä mallinnuksessa oli saada aikaa karkea versio tulevasta telineestä, jota se lopuksi tuli aika paljon muistuttamaan. Kuviosta 12 voidaan havaita telineessä erillinen keskiputki, jonka päälle liu'utetaan pohja ja kaksi telineen puolikasta. Telineen puolikkaisiin orret kiinnitetään hitsaamalla, koska niitä ei ole tarvetta irrottaa.



Kuvio. 12 Telineen ensimmäinen mallinnus.

Telineen toinen ja kolmas mallinnus muistuttivat aika paljon toisiaan, mutta lopullisessa mallinnuksessa päädyttiin tekemään telineen puolikkaan varsi levyistä kanttaamalla ja hitsaamalla, koska sopivan kokoista putkea ei ollut saatavilla ja levyistä sen muodostaessa viisikulmion, se helpottaisi kokoonpanijaa hitsaustyössä sekä mitoittamisessa. Kuviosta 13 voidaan myös havaita telineen pohjan muotoilu kestävämmäksi, orsien kulmatuet nurjahduksen estämiseksi sekä päätylaput tipahtamisen välttämiseksi. Orsien päälle myös suunniteltiin leikkeet, että hammaspyörät asettuvat varrelle sopivien välein ja se helpottaa panostustyötä.



Kuvio. 13 Telineen lopullinen mallinnus.

3.4.4 Telineen kustannusarvio

Telineen kustannusten ennakkointi oli keskeisenä osana suunnittelutyötä, koska siihen pystyttiin vaikuttamaan paljon materiaalilla, sekä valmistusmenetelmävalinnoilla. Materiaaliksi valittiin ruostumaton teräs, koska se on halvempaa kuin esimerkiksi tulenkestävät teräkset ja sitä on laajemmin saatavilla eri muodoissa. Lopullinen tuotos koostui lopulta täysin putkista, jotka ostettiin suoraan katkottuna mittaan, ja levyleikkeistä, jotka ostettiin alihankkijalta. Valmistuskustannuksille työssä ei laskettu arvoa, koska hyvin suunniteltu työ oli helppo itse valmistaa yrityksen tiloissa piirustusten mukaan. Ruostumattoman teräksen hitsaus poikkeaa normaali teräksen hitsauksesta enimmäkseen täyteaineen eli hitsauslangan osalta, joten ainoa kustannus sen osalta oli hitsauslankarulla. Taulukosta 4 voidaan havaita kahden nitraustelineen lopullinen summa, koska tehokas tuotanto vaatii vähintään kaksi telinettä.

Taulukko. 3 Nitraustelineen kustannusarvio.

Telineen kustannusarvio, alleviivatut levyleikkeitä		
Tuote	Määrä	Hinta
30x30x3x265mm	50	175,00 €
30x30x3x270mm	40	142,00 €
30x30x3x160mm	10	45,50 €
30x30x3x325mm	10	25,00 €
60,3x3,6x1500mm	2	165,00 €
<u>varsi viiskulmio1</u>	4	99,76 €
<u>varsi viiskulmio2</u>	4	117,36 €
<u>pohja viiskulmio1</u>	2	33,16 €
<u>pohja viiskulmio2</u>	2	33,72 €
<u>paatylappu 3mm</u>	80	52,00 €
<u>kulmatuki 3mm</u>	80	78,40 €
<u>hammaspyora ohjain levy</u>	80	94,40 €
<u>pohjalappu</u>	4	54,92 €
Hitsauslanka Aisi 308	1	220 €
Summa 2 telineelle sis. Alv		<u>1 336,22 €</u>

3.4.5 Telineen kokoonpano ja toiminnallisuus

Telineen kokoonpano ja valmistus suoritettiin yrityksen toimitiloissa hankituista osista normaalein konepajavarustein. Kokoonpanoa helpotti sitä avustava suunnittelu, jolla välttyttiin ongelmilta ja turhilta kustannuksilta. Ruostumattoman teräksen käsittely ei poikkea merkittävästi normaalista teräksestä, jonka käsittelystä löytyi jo aiempaa kokemusta. Telineen hitsauksessa käytimme normaali mag-hitsauskonetta ja täyteaineena Aisi 308 hitsauslankaa, joka on tarkoitettu ruostumattomien teräksien hitsaukseen. Jokaisesta telineen eri osasta oli tehty valmistuskuva, jota oli helppo käyttää apuna esimerkiksi putkien kulmaan sahauksessa tai hitsattavia kappaleita mitoittaessa kohdilleen.

Ensimmäisissä typetystesteissä havaittiin telineen toiminnallisuus hyväksi, putkien välitys pysyi sopivana ja levyosat eivät lähteneet vetelemään jännitysten purkautuessa. Testeissä ei havaittu telineen osalta ongelmia ja se todettiin toimivaksi tuotantoa aloittaessa. Ruostumaton teräs imee itseensä prosessikaasuja kauemmin, kuin käsiteltävä tuote, joten ottaa pitemmän aikaa telineen värin tasautumiseen, joka aiheutti ihmetystä aluksi.

4 Yhteenveto

Opinnäytetyö laajensi opiskelijan ja toimeksiantajan tietoutta nitrausprosessista ja antoi kokemusta uuden laiteinvestoinnin käyttöönotosta kaupasta tuotannon aloitukseen. Työ sisälsi enimmäkseen suunnittelutyötä, joka on osana koneinsinöörin jokapäiväistä työtä. Työn pohjalta on hyvät lähtökohdat jatkaa työtä kyseisessä yrityksessä.

Haasteita työssä aiheutti vähäinen tiedon olemassaolo typetyksestä ja laitteen valmistajan vähäiset käyttöohjeet uunille. Vaikea oli myös suunnitella etukäteen prosessin eri vaiheita ja läpimenoaikoja ilman käytännön kokemusta.

Nitraus on suhteellisen yksinkertainen prosessi sen tekijälle, mutta se vaatii laajaa tietoutta, koska se sisältää myrkyllisiä kaasuja. Ongelmallinen kohta on avattava tiivis panostila, mikä avataan joka prosessisyklin välissä. Jos uunissa ilmenee vuoto, on se osattava ajaa alas oikealla tapaa, koska kaasujen reagoidessa ilman kanssa korkeassa lämpötilassa on se räjähtävä yhdistelmä. Turvallisuustekijöistä johtuen todetaan perehtymiselle olleen suuri tarve ohjeistuksia laatiessa.

Projektille annettiin tavoitteeksi suunnitella uusi nitrausteline yritykselle ennalta tunnetulle tuotteelle ja tutustua prosessiin sekä toimia osana sen aloituksen valmistelua. Työssä saatiin onnistuneesti valmistettua tilankäytön ja massan kannalta optimoitu teline kyseiselle tuotteelle, jossa on huomioitu maksimaaliset välietäisyydet mahdollisimman hyvän pesutuloksen saavuttamiseksi.

Työn voidaan todeta onnistuneen eri osapuolien kannalta erinomaisesti, koska ennalta asetetut tavoitteet saavutettiin aikataulussaan. Yrityksellä on nyt hyvät lähtökohdat aloittaa tuotantoa ja maksimoida sen käytettävyys laadulliset näkökulmat huomioon ottaen.

5 Suositukset ja jatkotutkimukset

Tulevaisuuden kehityskohteita yritykselle nitraustelineen osalta olisi kehittää siitä eri kokoisille tuotteille sopivimmat telineen puolikkaat, joissa pystytään hyödyntämään nyt olemassa olevia telineen osia. Näin saataisiin optimoitua maksimaaliset panoskoot erikokoisille tuotteille. Nyt on olemassa jo hyvät mallinnukset, joista voidaan mitoittaa etäisyydet oikeaksi ja tilata tarvittavat osat valmistukseen.

Opinnäytetyössä saadun tiedon pohjalta on seuraavaksi laadittava tarvittavat ohjeistukset ja parametrit työntekijöiden työtä ja kouluttamista varten. Yrityksellä on käytössä nyt tarvittavat lähtökohdat ja välineet prosessin aloitusta varten, mutta Heatmac oy:n periaatteita noudattaen laadulliset asiat saadaan kehitettyä huippuunsa ja valmiiksi ensimmäisten massatuotteiden valmistuessa.

Työn ulkopuolisia asioita käsiteltäessä seuraavia isompia askeleita on tarpeen vaatiessa markkinointi materiaalin kehitys nitraukselle ja lopullisten käsittelyaikojen selvittäminen tuotannon kapasiteetin maksimointi ja siinä apuna käytettävien työkalujen suunnittelu. Muilta osilta todetaan toiminnan olevan vaaditulla tasollaan.

LÄHTEET

- Aro, P. (1.2.2017). *Cct-diagrammi* [Kuvio]. Docplayer. <https://docplayer.fi/23702224-Teras-ten-lampokasittelyn-perusteita.html>
- Blomster, K. (2015). *Lämpökäsittelyt pintakarkaisut*. Docplayer. Teräkset Kon kurssi Tekn. tri Kari Blomster LÄMPÖKÄSITTELY PINTAKARKAISUT Pintakarkaisut. Typetys eli nitraus - PDF Free Download (docplayer.fi)
- Chan, C. (8.8.2021). *Rauta-hiili-tasapainopiirros* [Kuvio]. Wikipedia. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phase_diag_iron_carbon.PNG
- Hanses, K. (2015). *Basics Steel Construction*. <http://id.loc.gov/vocabulary/relators/edt>
- Hietikko, E. (2020). *Solidworks 2020: tietokoneavusteinen suunnittelu* (8. p.). BoD - Books on Demand GmbH.
- Hietikko, E. (2021). *Palkki: Lujuuslaskennan perusteet* (4. p.). BoD - Books on Demand GmbH.
- Holm, T., Olsson, P., Troell, E. (2012). *Steel and its heat treatment*. Swerea IVF.
- Härkönen S., Saviranta E. (2003). *Typetys ja typetysteräkset*. Metallitekniikka, 6, 16.
- Kivivuori, S. (2016). *Lämpökäsittelyoppi 2 – Lämpökäsittelytietoa suunnittelijoille*. Teknologia-teollisuus.
- Kivivuori, S. (2019). *Lämpökäsittelyoppi 1 – Lämpökäsittelytietoa karkaisijoille*. Teknologiateollisuus.
- Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P., Tuomikoski, J. (2010). *Kone-tekniikan materiaalioppi*. (12.–13. p.) Edita.
- Laakko, E., Sukuvaara, A., Borgman, J., Simolin, T., Björkstrand, R., Konkola, M., Tuomi, J., Kaikonen, H. (1998). *Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu*. WSOY.
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK). (i.a.). *Teräksen hiilipitoisuus ja kiderakenne*. https://moodle.seamk.fi/pluginfile.php/1346534/mod_resource/content/1/Kiderakenne%20kertaus.pdf
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK). (i.a.). *Terästen Lämpökäsittelyt* [Kuvio].
- Sten. (i.a.). *Nitrausteräkset*. Haettu 19.01.2022, <https://www.sten.fi/fin/tuotteet/nuorrutusterakset/>

