



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Konetekniikan koulutus

Särmättävän kappaleen valmistettavuuden parantaminen ja särmästyökalun suunnittelu

Pyry Autti

Opinnäytetyö, lokakuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Lokakuu 2023
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä(t)
Pyry Autti

Nimeke

Särmättävän kappaleen valmistettavuuden parantaminen ja särmäystyökalun suunnittelu

Toimeksiantaja

EFM Group / KKR-Steel Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli parantaa särmättävän kappaleen valmistettavuutta ja suunnitella uusi särmäystyökalu KKR-Steel Oy:lle yhteistyössä Joensuun CNC-machining kanssa. Tavoitteena oli saada yritykselle toimiva työkalu, joka tuottaa mittatarkkoja kappaleita.

Työssä käytettiin Creo CAD-mallinnusohjelmaa sekä Abaqus/CAE-elementtianalyysi-ohjelmaa. Näitä ohjelmia käytettiin työkalun suunnittelussa ja simulaatioissa.

Työn tuloksena syntyi suunnitelmat uudelle ylä- ja alatyökälulle särmäyspuristimeen. Yritys voi hyödyntää työkaluista laadittuja dokumentteja työkalun valmistuksessa, mikäli yritys arvioi valmistamisen olevan kannattavaa.

Kieli
suomi

Sivuja 33
Liitteet 5
Liitesivumäärä 17

Asiasanat

Särmäys, Koneensuunnittelu, Ohutlevytekniikka



THESIS
October 2023
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Pyy Autti

Title
Improving the Manufacturability of a Press Braked Part and Designing a Press Brake Tool

Commissioned by
EFM Group / KKR-Steel Oy

Abstract

The objective of this thesis was to improve the manufacturability of press braked part and to design new press brake tools for KKR-Steel Oy in partnership with Joensuun CNC-Machining Oy. The aim was to create a working upper and lower press brake tool that produces dimensionally accurate parts.

Creo CAD modelling software and Abaqus/CAE element analysis software were used in this work. These software were used in designing and simulations of the tool.

As a result, new designs for a new upper and lower tool for a press brake machine were created. Documents of the tools were created from which the company can produce the tools if the company finds it profitable.

Language
Finnish

Pages 33
Appendices 5
Pages of Appendices 17

Keywords
bending, machine design, sheet metal manufacturing

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Keskeiset käsitteet	5
2.1	Särmääminen	5
2.2	Vapaataivutus	6
2.3	Pohjaaniskutaivutus	6
2.4	Veneilmiö	7
2.5	Takaisinjousto	8
2.6	Oikaistu pituus	8
2.7	Laserleikkaaminen	8
2.8	Laserleikkaamisen edut ja ongelmat	8
2.9	FEM-Analyysi	9
2.10	Särmäystyökalun suunnittelu	9
2.11	Ideointityö	10
2.12	Suunnittelussa käytettävät ohjelmistot	10
3	Nykytilanne	10
3.1	Nykyinen tuotantoprosessi	10
3.2	Ongelmia tuottavat vaiheet	12
4	Suunnittelutyö	14
4.1	Takaisinmallinnus	14
4.2	Työkalun suunnittelu	15
5	Analyysit ja laskelmat	16
5.1	Särmäysvoima	16
5.2	Takaisinjouston arviointi	17
5.3	Takaisinjouston kompensointi	20
5.4	Työkalujen lujuuslaskenta	21
6	Tulokset	22
7	Pohdinta	24
	Lähteet	25

Liitteet

Liite 1 Piirustukset

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa erään särmättävän kappaleen valmistettävyyttä ja suunnitella uusi särmäystyökalu, jolla tavoite saavutettaisiin. Työkälun tulisi tuottaa mittatarkkoja kappaleita ja olla valmistettavissa yrityksen omaa tuotantolaitteistoa käyttäen.

Toimeksiantajana toimi KKR-Steel Oy, joka on osa EFM Group -konsernia. KKR-Steel on erikoistunut monipuolisiin teräksen leikkausmenetelmiin. Teräslevyjä käsittelemällä se tuottaa aihioita, joista jatkojalostetaan koneenosia teollisuuteen ja raskaaseen liikkuvaan kalustoon. KKR-Steel Oy:n palveluihin kuuluu muun muassa laser, plasma- ja kaasuleikkaus, hitsaus, kierteitys, viisteitys, särmäys, raekuulapuhallus ja jauhemaalaus. (KKR-Steel 2023.)

2 Keskeiset käsitteet

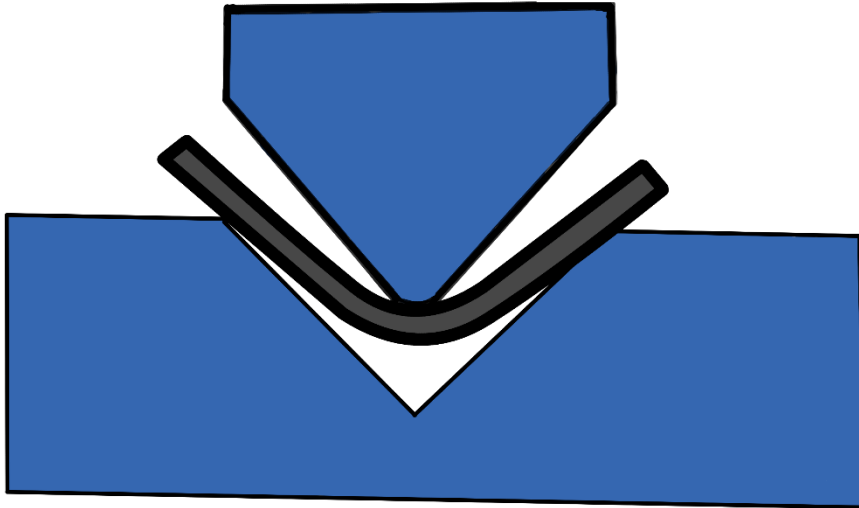
2.1 Särmääminen

Särmääminen on prosessi, jossa metallilevyä taivutetaan särmäyspuristimeksi kutsutulla koneella. Särmäyspuristimia on erikokoisia ja niiden työleveys voi vaihdella 1 ja 10 metrin välillä. Lisäksi niiden puristusvoimat voi vaihdella 100-25 000kN välillä. Särmäyspuristimet ovat yksi yleisimmistä koneista ohutlevyteollisuudessa. Niiden toiminta voi olla toteutettu hydraulisesti, mekaanisesti tai pneumaattisesti, mutta yleisimmin suuritehoisten koneiden toiminta toteutetaan hydraulisesti. (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelä & Hultin 2011, 240–241.)

Särmäys toteutetaan useimmiten vapaataivutuksena tai pohjaaniskutaivutuksena, mutta taivutuksen muoto voidaan myös toteuttaa elastisia vastimia käyttäen. (Matilainen ym 2011, 240–241.)

2.2 Vapaataivutus

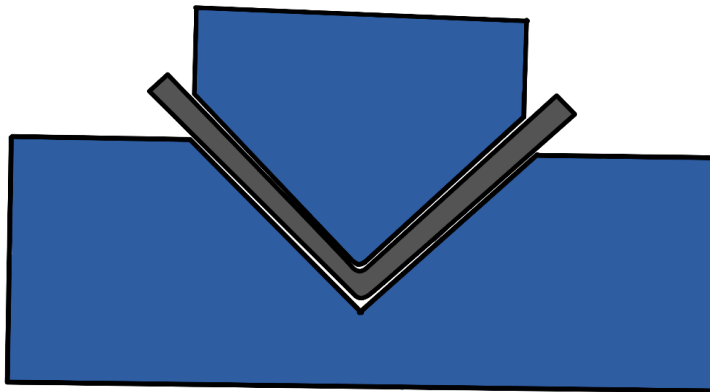
Vapaataivutuksessa (Kuva 1) levyä taivutetaan ylä- ja alatyökalun kulmien suhteen kolmipistetaivutuksena. Ylätyökalun isku kuitenkin lopetetaan ennen kuin levy osuu alatyökalun pohjaan. (Matilainen ym. 2011, 241.)



Kuva 1. Vapaataivutus. (mukaillen Matilainen ym. 2011, 241)

2.3 Pohjaaniskutaivutus

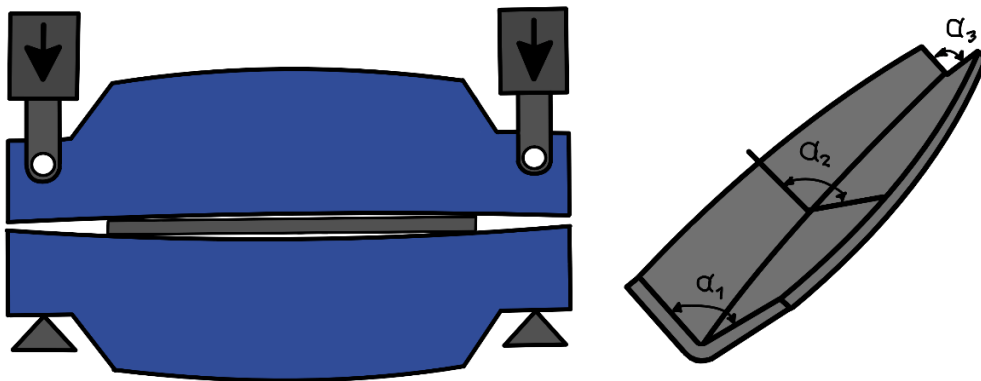
Pohjaaniskutaivutuksessa (Kuva 2) levy muovautuu tarkasti ylä- ja alatyökalun muodon mukaan. Ylätyökalun iskupituus on säädetty siten, että levy painautuu kokonaan vasten alatyökalua. (Matilainen ym. 2011, 241.)



Kuva 2. Pohjaaniskutaivutus (mukaillen Matilainen ym. 2011, 241)

2.4 Veneilmiö

Veneilmiö (Kuva 3) aiheutuu särmäyspuristimen joustojen seurauksena. Pitkien kappaleiden taivutuksessa voima ei jakaudu tasaisesti koko taivutuksen pituudelle. Tämä aiheuttaa taivutettavan levyn kylkien pullistumisen. Veneilmiö on taivutuskulman lisäksi tärkeä taivutuksen tarkkuuteen vaikuttava tekijä. (Matilainen ym. 2011, 244.)



Kuva 3. Koneen joustosta aiheutuva taivutetun kappaleen kylkien pullistuminen eli ns. veneilmiö. (mukaillen Matilainen ym. 2011, 244)

2.5 Takaisinjousto

Takaisinjoustossa taivutuksessa levyn plastisesti muovautuneiden veto- ja puristusjännitevyöhykkeiden väliin jää elastisesti muovautuneita alueita, eikä voimasapainoista tilaa saavuteta, kun ulkoiset voimat poistetaan. Tämä ilmiö esiintyy kaikissa levynmuovaustöissä. (Matilainen ym. 2011, 245.)

2.6 Oikaistu pituus

Oikaistu pituus määritetään käyttäen neutraaliakselia. Neutraaliakseli sijaitsee levyn sisä- ja ulkoreunan puristus- ja vetojännitysten välissä sijaitsevassa jännityksettömässä alueessa. (Matilainen ym. 2011, 245.)

”Arvio oikaistulle pituudelle voidaan laskea käyttäen seuraavaa kaavaa: $L=a+b-v$, jossa a ja b ovat laippojen pituudet ja v on levynpaksuuden, taivutussäteen ja taivutuskulman mukaan muuttuva korjaava tekijä.” (Matilainen ym. 2011, 245.)

2.7 Laserleikkaaminen

Leikkaus on yksi yleisimmistä teräksen valmistusprosessin osista särmäyksen ja hitsauksen lisäksi. Laserleikkauksessa levystä irrotetaan osa käyttäen keskitettyä laseria. (Levstal Group, 2023.)

Laserleikkaus voidaan suorittaa höyrystävänä, sulattavana- tai polttoleikkauksena. (Matilainen ym. 2011, 158.)

2.8 Laserleikkaamisen edut ja ongelmat

Laserleikkaamisen etuihin kuuluu muun muassa materiaalien ja levynpaksuuksien nopea vaihtaminen muokkaamalla laitteiston asetuksia vain hieman.

Laserleikkaaminen on myös joustava ja tarkka menetelmä. (Matilainen ym. 2011, 169.)

Huonoja puolia laserleikkauksessa on muun muassa laitteiston suhteellisen korkea hinta. Myös heijastavien materiaalien leikkaaminen on hankalaa ja laitteiston huolto vaati osaamista. (Matilainen ym. 2011, 169.)

2.9 FEM-Analyysi

FEM-menetelmässä rakenne kuvataan pienemmillä osilla eli elementeillä, jotka on kytketty toisiinsa solmupisteissä. Solmupisteiden koordinaattien ja materiaalin ominaisuuksien avulla muodostetaan jäykkyyssmatriisi, joka edelleen yhdistetään kuormitukseen ja näin saadaan selville kunkin solmupisteen siirtymä. Solmupistesiiirtymien avulla voidaan laskea kappaleessa vaikuttavat jännitykset. (Hietikko 2021, 170.)

2.10 Särmäystyökalun suunnittelu

Särmäyspuristimien työkalut voidaan valmistaa omassa konepajassa tai tilata työkalujen valmistajilta. Työkalun suunnittelussa tulee ottaa huomioon käytettävän särmäyspuristimen parametrit, kuten puristusvoima ja painimen kiinnitysmittat. Taivutettava levy ja taivutusmetodi tulee myös ottaa huomioon työkalua suunnitellessa. (Aaltonen, Ekman, Kamppari, Kauppinen, Kivivuori, Paro & Vuorinen 1991, 128.)

”Särmäyspuristimien työkalut valmistetaan yleisimmin höyläämällä. Painimen kärki on pyöristetty. Suorat painimet ovat yleisimpiä, mutta käytetään myös paljon väistöllä varustettuja ns. hanhenkaulapainimia.” (Aaltonen ym. 1991, 128.)

2.11 Ideointityö

Tärkeintä uusien ideoiden generoinnissa on ”ajatella laatikon ulkopuolella” Tämä tarkoittaa, että tietoisesti irtaudutaan käsillä olevasta ongelmasta ja etsitään ajatuksia, jotka sijoittuvat kokonaan sen ulkopuolelle. (Hietikko 2015, luku Luovan työn tekniikat ja luonnostelu.)

Ideointivaiheen jälkeen arvioidaan ideoiden potentiaalia ja valitaan niistä pari, joita lähdetään jatkokehittämään. Mikäli jatkokehityksessä huomataan, ettei ideat olleetkaan toimivia, palataan tällöin takaisin ideointivaiheeseen.

2.12 Suunnittelussa käytettävät ohjelmistot

Abaqus/CAE on Dassault systemèsin kehittämä ohjelmisto, jolla voidaan tehdä elementtianalyyskejä.

Abaqus/CAE-ohjelmaa käytettiin taivutuksen simulointiin. Tämä simulaatio mahdollistaa taivutettavan kappaleen takaisinjouston selvittämisen.

Työkalujen mallinnukseen ja työkalujen FEM-analyysseihin käytettiin Creo 3D CAD -ohjelmaa, joka on PTC:n kehittämä tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma.

3 Nykytilanne

3.1 Nykyinen tuotantoprosessi

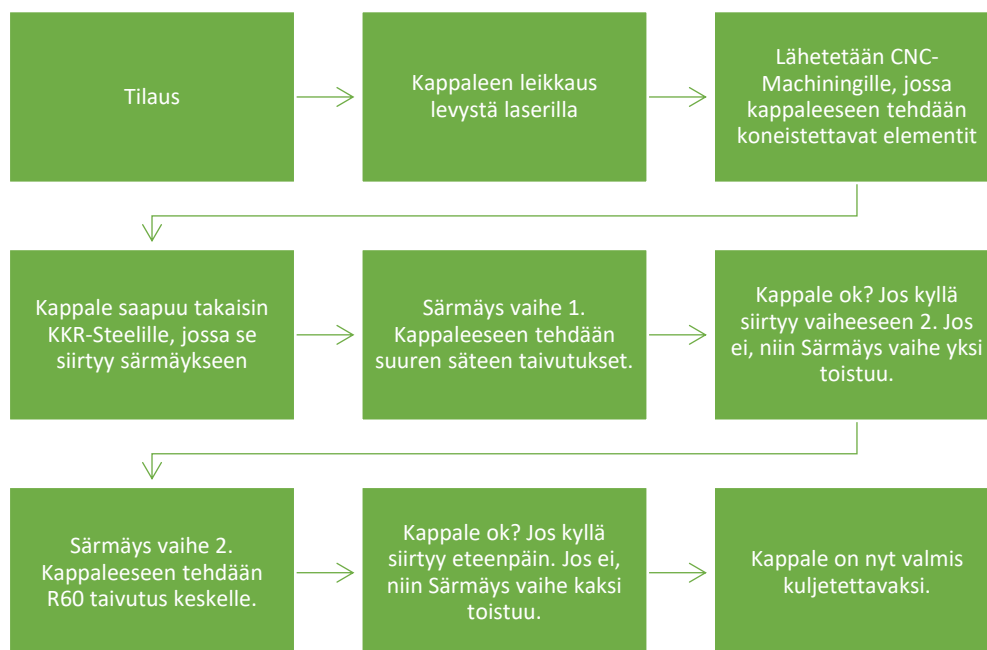
Alkuun selvitettiin kappaleen nykyisen tuotantoprosessin vaiheet ja kesto. Tilauksia oli vuoden aikana 10 kappaletta ja tilauksien keskimääräinen osamäärä oli 13. mediaani sen sijaan 12.

KKR-Steeliltä saadut työajat sijoitettiin Excel-taulukkoon ja selvisi, että yhden osan valmistaminen kestää keskimäärin noin 10 minuuttia. Mediaani oli 11,5 minuuttia. Yhden sarjan tekemiseen kului keskimäärin 2,5 tuntia.

Kappaleen nykyiset tuotantovaiheet:

1. Kappale leikataan levystä laserilla.
2. Kappale lähetetään Joensuun CNC machining:lle, jossa siihen tehdään koneistettavat elementit.
3. Kappale saapuu takaisin KKR-Steelille, jossa se menee särmäykseen.
4. Särmäys tehdään kahdessa vaiheessa. Ensin tehdään suuren säteen taivutukset, jotka hoidetaan ns. tikittämällä eli taivutetaan kappaletta yhdeksästä kohdasta molemmista päädyistä hieman, jotta saadaan aikaan suuri säde kappaleen päätyihin. Tämä vaihe toteutetaan SAFAN 3300/150t särmäyspuristimella käyttämällä R6 yläterää ja V50 Alaterää. Kappaleen muoto tarkastetaan käyttämällä sapluunaa, mikäli kappale ei ole toleranssien sisällä, tehdään siihen tarvittavat korjaavat taivutukset ja tarkastetaan uudelleen. Tätä toistetaan niin kauan, kunnes kappale vastaa vaatimukset.
5. Kappale siirtyy suuremmalle 600 tonnin särmäyspuristimelle, jossa siihen tehdään viimeinen taivutus kappaleen keskelle käyttäen R60 yläterää ja V210 alaterää. Kappale tarkastetaan taas sapluunaa käyttäen, ja toimitaan samalla tavalla, kuin edellisessä vaiheessa.
6. Kappale on nyt valmis kuljetettavaksi tilaajalle.

Kuvassa 4 on esitetty tuotannon vaiheet yksinkertaisessa prosessikaaviossa.



Kuva 4. Nykyisen tuotannon prosessikaavio

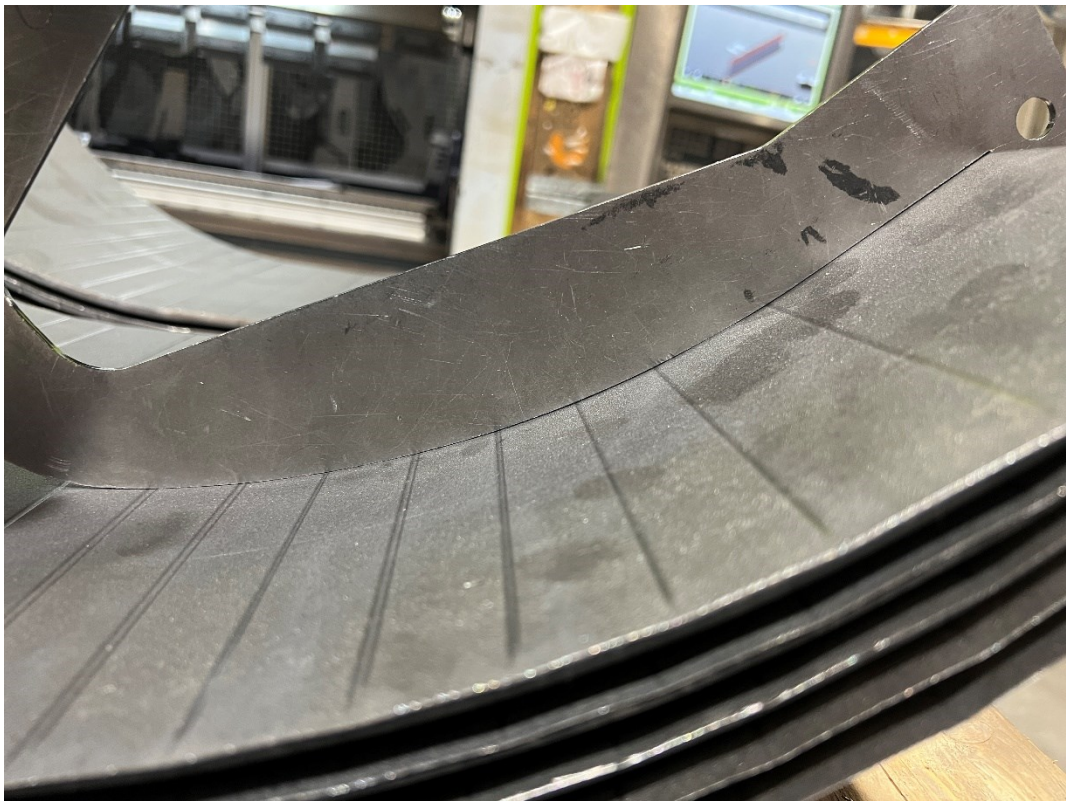
3.2 Ongelmia tuottavat vaiheet

Suurin ongelma esiintyy tuotantovaiheessa 4. Koska kappaleen muodon aikaansaamiseksi kappaletta joudutaan taivuttamaan useasta kohdasta, virheet taivutuksissa kertaantuvat. Usein käy niin, että kappale ei vastaa piirustuksen antamia vaatimuksia, ja joudutaan tekemään useita korjaavia taivutuksia. Tämä aiheuttaa läpimenoajan kasvua samalla suurentaen kappaleen valmistuskustannuksia.

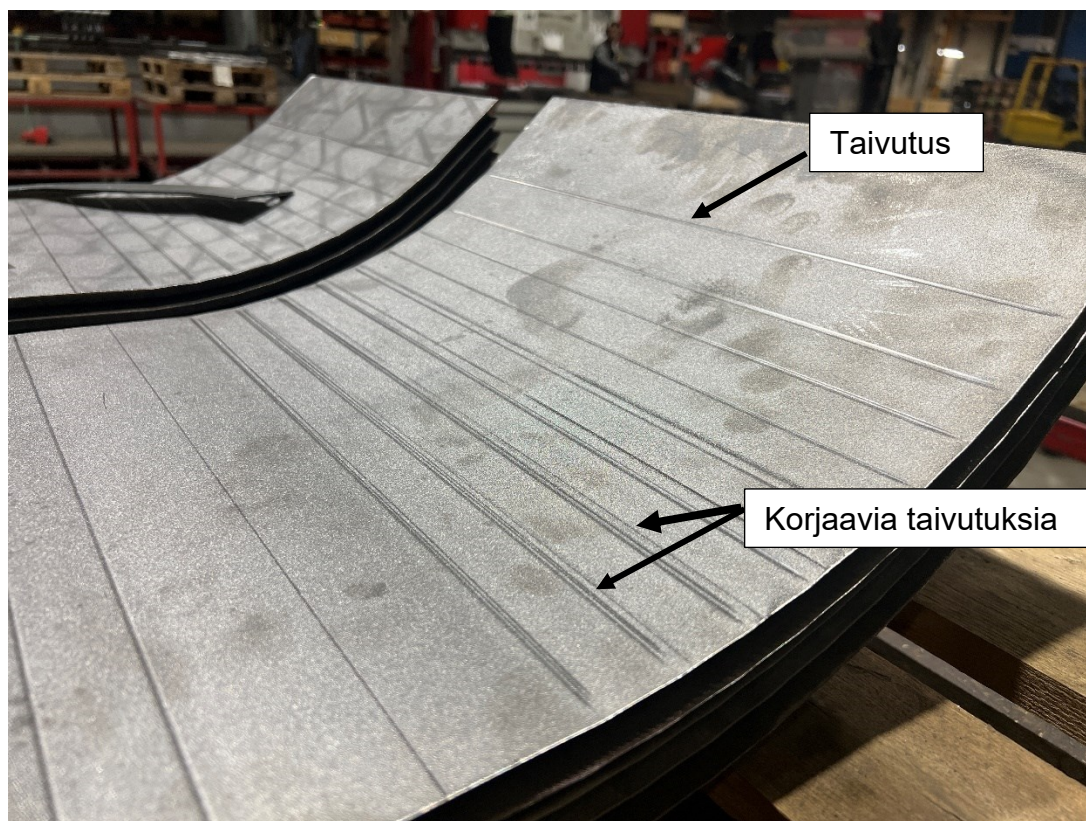
Jokainen kappale tarkastetaan ensimmäisen taivutusvaiheen jälkeen sapluunalla. Mikäli kappaleen ja sapluunan väliin jää yli 1 mm rako, joudutaan korjaavia taivutuksia tekemään. Kappaleen tarkistaminen sapluunalla on esitetty kuvissa 5 ja 6. Kuvassa 7 näkyy kappaleeseen tehdyt taivutukset sekä ylimääräiset korjaavat taivutukset.



Kuva 5. Sapluunalla tarkastus. Hyväksynnän rajamailla (Pyrö Autti)



Kuva 6. Sapluunalla tarkastus. Toivottava lopputulos. (Pyrö Autti)

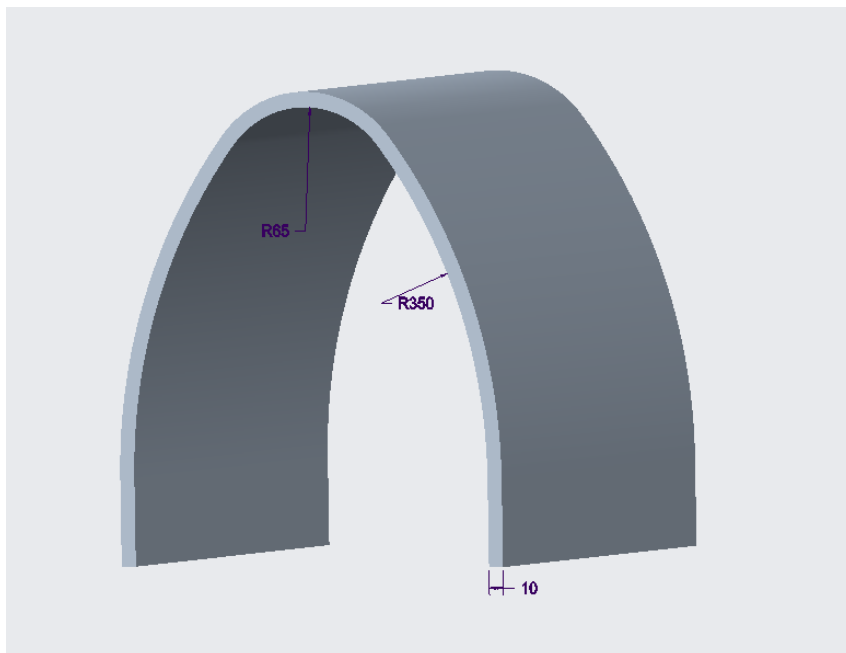


Kuva 7. Särmättävä kappale ensimmäisen särmäsvaiheen jälkeen (Pyy Autti)

4 Suunnittelutyö

4.1 Takaisinmallinnus

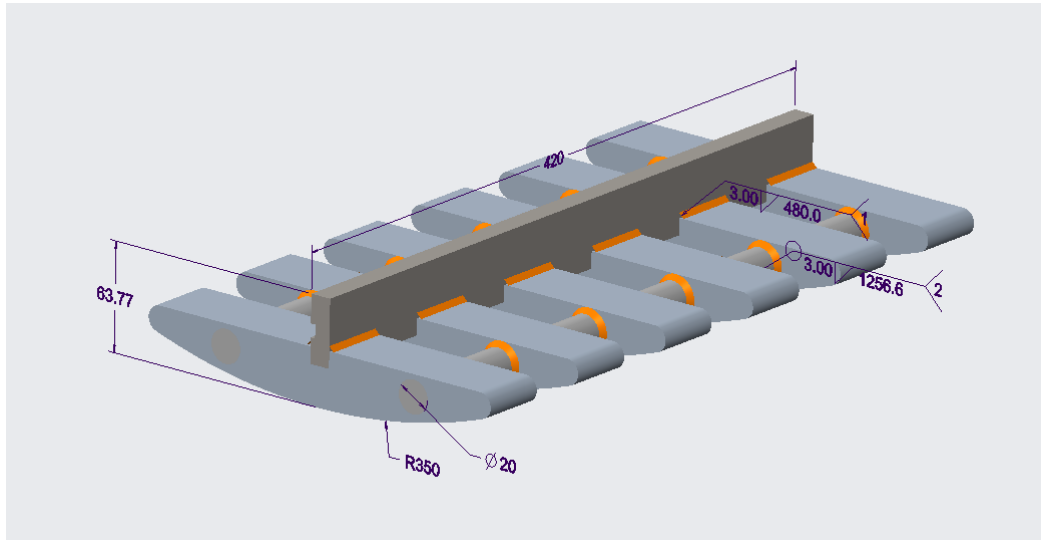
Suunnittelutyö lähti liikkeelle valmistettavan kappaleen mittojen ottamisesta piirustuksista. Koska kaikkia mittoja ei suoraan näe piirustuksista, päätin takaisinmallintaa kappaleen käyttäen Creo CAD -ohjelmaa. Takaisinmallinnettu kappale on esitetty kuvassa 8. Tästä mallista on mahdollista tarkastaa kaikki tarpeelliset mitat. Kaikkia mittoja ei ole esitetty kuvassa tietosuojaan nojalla. Malli auttaa myös uusien työkalujen suunnittelussa ja auttaa havainnollistamaan tulevien työkalujen toimintaa.



Kuva 8. Takaisinmallinnettu kappale (Creo CAD, Pyy Autti)

4.2 Työkalun suunnittelu

Työkalun suunnittelua varten tarvittiin ensimmäiseksi käytettävissä olevan särmäyskaluston mitat ja ominaisuudet. KKR-Steelillä on käytössä kahdeksan särmäyspuristinta, joiden puristusvoima vaihtelee 100 tonnista 800 tonniin. Käytettävissä olevista särmäyspuristimista valitsin BAYKAL 400t APHS 4116x400:n, jonka puristusvoima on 400 tonnia. Laite valikoitui parhaaksi vaihtoehdoksi alaterän kiinnikkeen koon ja puristusvoiman takia.



Kuva 9. Ylätyökalu v1 (Creo CAD, Pyy Autti)

5 Analyysit ja laskelmat

5.1 Särmäysvoima

Särmäysvoiman laskeminen on kriittinen osa särmästyökalun suunnittelua. Särmäysvoimaa tarvitaan sekä työkalun kestävyuden varmistamiseen että myös käytetyn särmäyspuristimen puristusvoiman riittävyyden varmistamiseen.

Särmäysvoiman laskenta on havainnollistettu yhtälössä 1.

Taivutusvoiman laskeminen (1)

$$F=C \cdot R_m \cdot b \cdot s^2$$

$$F=C \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{V}$$

jossa

R_m = levyn murtolujuus

s =levyn paksuus

C =vakio (1,2–1,5)

b =taivutettava pituus

V = V-aukon leveys

(Matilainen ym. 2011, 252.)

Koska kyseessä pohjaanis-
kutaivutus, lisätään lopputu-
lokseen kerroin 3.
(matilainen ym. 2011, 241.)

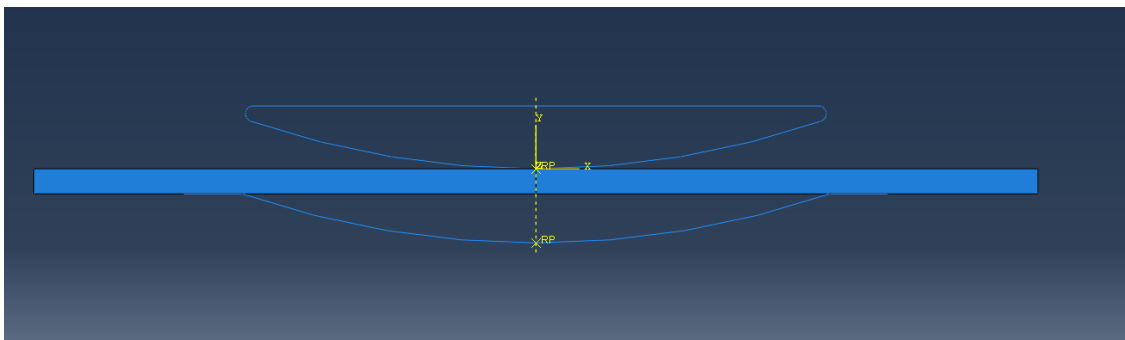
$$132000 \text{ N} * 3 = 396000 \text{ N}$$

$$f:=1.5 \cdot \frac{\frac{550 \cdot \text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 400 \cdot \text{mm} \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{250 \cdot \text{mm}} \rightarrow 132000 \cdot \text{N}$$

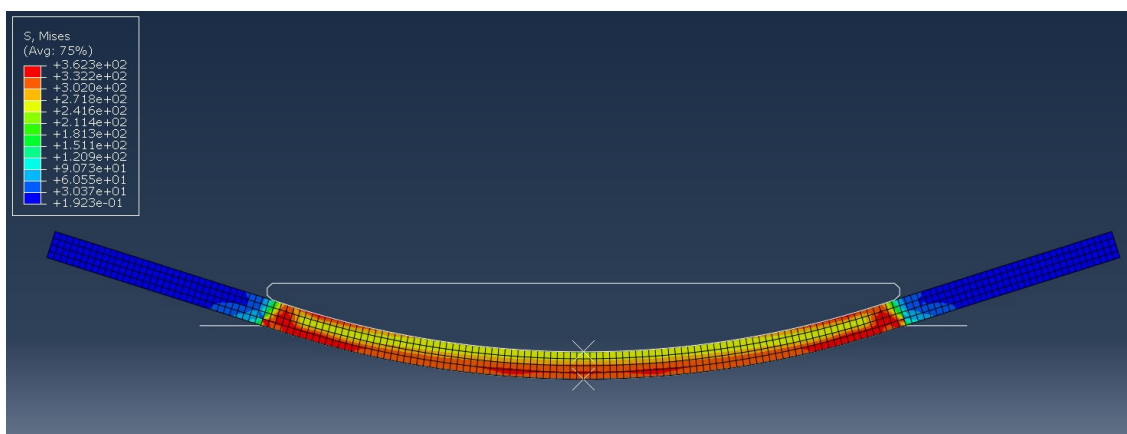
5.2 Takaisinjouston arviointi

Takaisinjouston arviointiin käytettiin Abaqus/CAE-ohjelmaa. Tällä ohjelmalla suoritettiin FEM-analyysi taivutuksesta. Analyysistä selvisi, että takaisinjousto on 4,9 astetta.

Takaisinjoustoanalyysin lähtöasetelmaan (kuva 10) on mallinnettu taivutettava levy sekä ylä- ja alatyökalut. Kun lähtöarvot ovat asetettu, voidaan simulaatioon tehdä stepit eli simulaation vaiheet, jotka ovat lähtöasetelma ja liikerata. Tämän jälkeen ajetaan simulaatio, josta saadaan selville, miten kappale taipuu (Kuva 11) ja minkälaisia voimia taivutettavaan kappaleeseen kohdistuu.



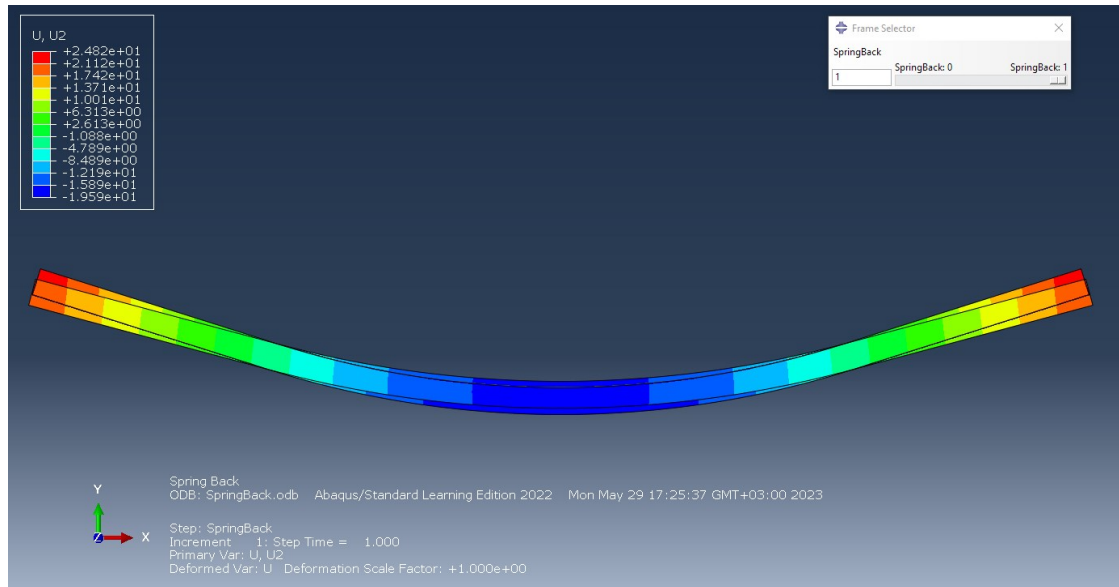
Kuva 10. Simulaation lähtöasetelma (Abaqus CAE, Pyyri Autti)



Kuva 11. Taivutus (Abaqus CAE, Pyyri Autti)

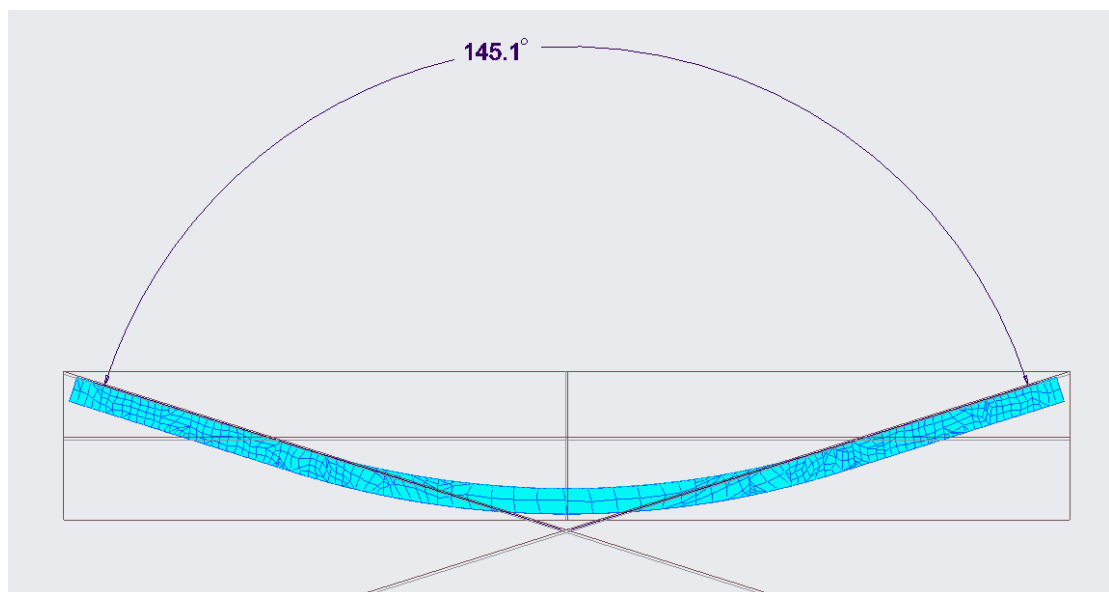
Takaisinjoustoanalyysistä voidaan sitten tehdä uusi asetelma, jossa taivutettu kappale vapautetaan puristuksesta. Tällöin elastisesti muovautuneet alueet pääsevät vapaasti siirtymään voimatasapainoiseen tilaan ja saadaan takaisinjouston suuruus selville.

Kuvassa 12 esitetty päällekkäiskuva kappaleesta puristuksessa ja vapautettuna.

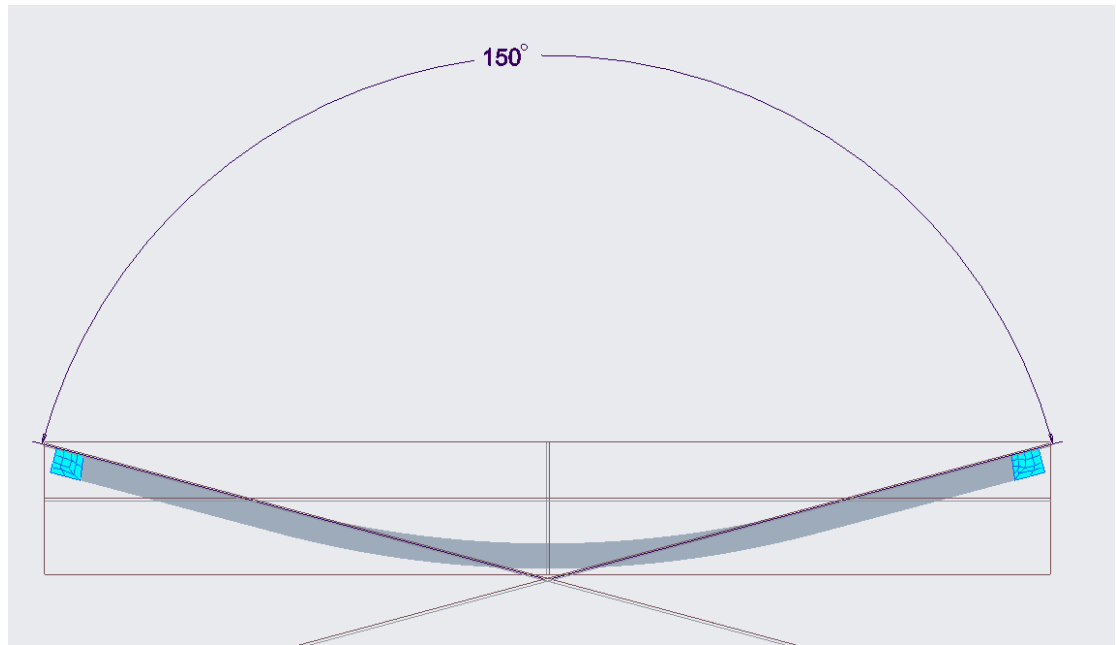


Kuva 12. Takaisinjousto päällekkäiskuva. Mitta-asteikko on kokonaissiirtymä millimetreinä. (Abaqus CAE, Pyry Autti)

Kuvissa 13 ja 14 näkyy takaisinjouston aiheuttama taivutuskulman muutos, kun kappale vapautetaan puristuksesta.



Kuva 13. Kappale puristuksessa (Creo CAD, Pyry Autti)



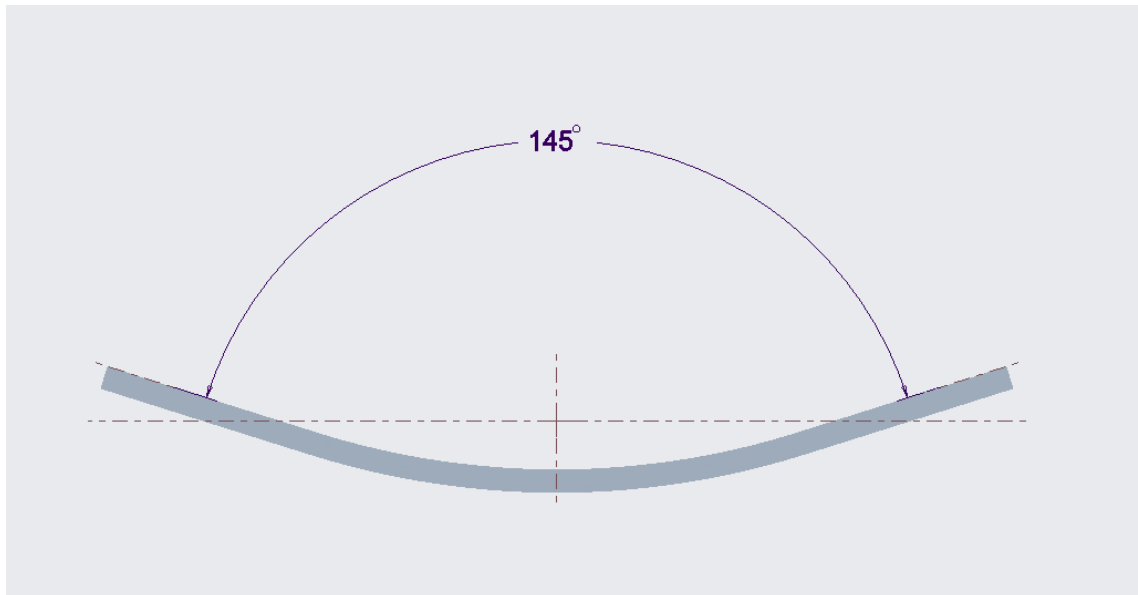
Kuva 14. Kappale vapautettuna puristuksesta (Creo CAD, Pyry Autti)

5.3 Takaisinjouston kompensointi

Ensimmäisen takaisinjoustosimulaation perusteella tehtiin tarvittavat muutokset työkalujen mittoihin. Työkaluihin tehtiin muutokset särmäyspinnan geometriaan. Pinnan kaaren sädettä pienennettiin, jotta kappale saadaan taipumaan yli toivotun kulman, ja tällöin vapauttaessa palautuu oikeaan kulmaan takaisinjouston myötä.

Kun kappaleiden mitat oli muutettu, voitiin ajaa uudelleen sama simulaatio, mutta uusilla työkalun mitoilla. Simulaatiosta kävi ilmi, että taivutuksen takaisinjousto oli saatu kompensoitua, ja uudet työkalut ovat oikean mittaiset.

Kuvassa 15 näkyy takaisinjouston kompensoinnin jälkeinen kulma.



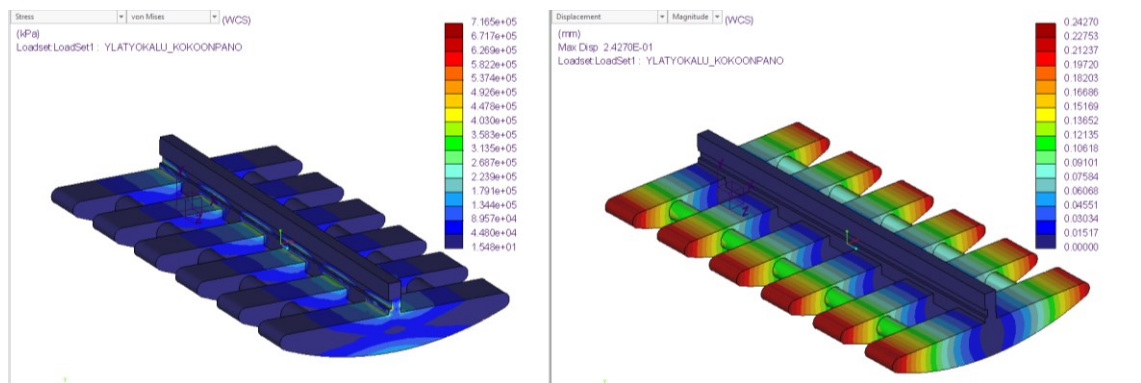
Kuva 15. Kappale vapautettuna puristuksesta. Taivutus tehty uusilla työkaluilla. (Creo CAD, Pyry Autti)

5.4 Työkalujen lujuuslaskenta

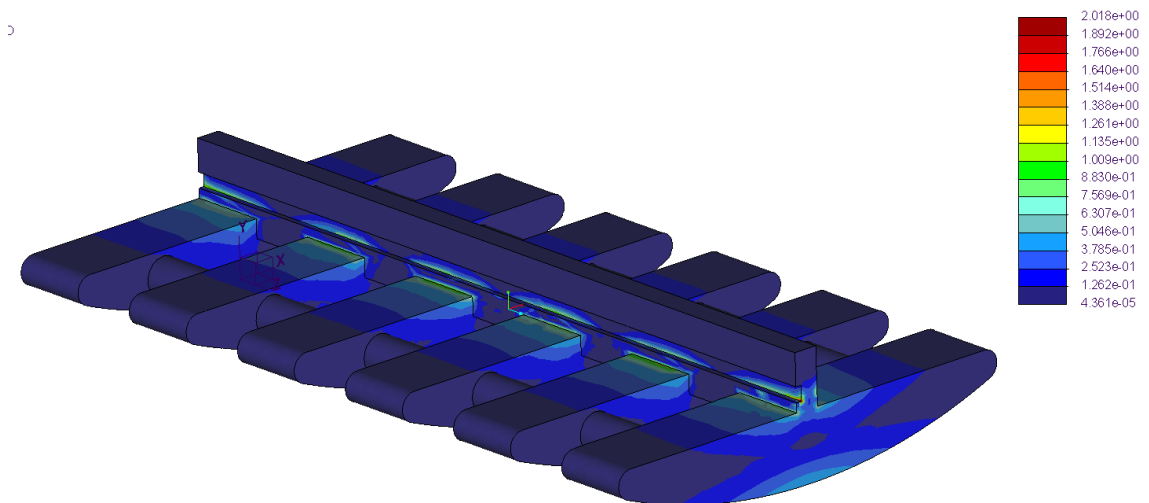
Lujuuslaskennassa tarkastettiin suunniteltujen työkalujen rakenteellinen kestävyys taivutuksen aiheuttamasta kuormasta FEM-analyseillä. Työkaluista selvitettiin puristusvoiman kestävyden turvakero (Kuva 17), siirtymä taivutuksessa (kuva 16) sekä työkalun käyttöikä.

FEM-analyseissä käytettiin laskennasta saatua taivutusvoimaa. Tuloksista selvisi, että työkalu kestää lasketun taivutusvoiman ja turvakero on heikoimmassa kohdassa yli 2. Myös siirtymä taivutuksen aikana on minimaalinen.

Tuloksista voidaan päätellä, että suunnitellut työkalut ovat käyttötarkoitukseen sopivat eikä rakenteeseen tarvitse tehdä muutoksia. Ne kestävät taivutuksessa esiintyvät voimat ja kulutuksen käytössä, sekä ovat turvallisia käyttää.



Kuva 16. Von Mises jännitys ja siirtymä (Creo CAD, Pyry Autti)



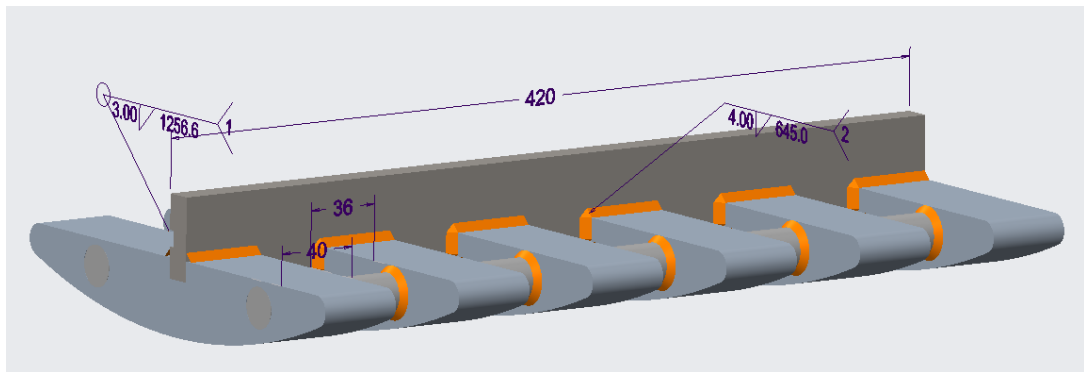
Kuva 17. Turvakerroin (Creo CAD, Pyry Autti)

6 Tulokset

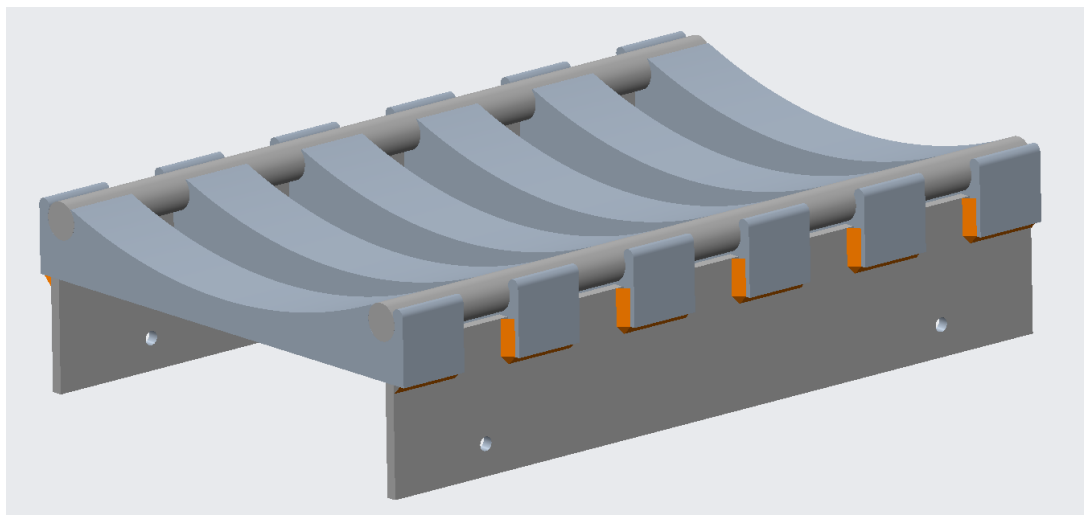
Työn tuloksena syntyivät mallit ylä- ja alatyökalusta särmäyspuristimeen, jotka esitettynä kuvissa 18 ja 19. Lisäksi laadittiin tarvittavat dokumentit työkalujen valmistusta varten.

Dokumenteista ja malleista laadittiin toimeksiantajalle projektikansio, josta löytyy mallit STEP-tiedostoina, laser- ja plasmaleikattavien osien leikkaamiseen tarvittavat DXF-tiedostot, sekä osa- ja kokoonpanopiirustukset kaikista kappaleista.

Särmättävän kappaleen valmistaminen uusilla työkaluilla teoriassa vähentää särmättävän kappaleen valmistamiseen tarvittavaa taivutusten määrää täten keventäen työntekijän taakkaa sekä pienentäen särmäysvaiheen läpimenoaika. Laskennallisesti taivutusten määrän laskiessa neljästätoista kahteen taivutukseen ensimmäisessä särmäysvaiheessa läpimenoaika vähenisi 85 prosenttiseksi. Tämä tarkoittaa ajallisesti noin 4 minuutin säästöä kappaletta kohden, jolloin keskimääräisen sarjan tekoon kuluva aika vähenisi 48 minuutilla.



Kuva 18. Lopullinen ylätyökalu (Creo CAD, Pyry Autti)



Kuva 19. Lopullinen alatyökalu (Creo CAD, Pyry Autti)

7 Pohdinta

Työn haastavin osuus oli takaisinjoustop simulointi. Koska koulun käytössä oleva mallinnusohjelma Creo ei tähän kyennyt, jouduin etsimään ohjelman, jolla tämä olisi mahdollista. Abaqus/CAE-ohjelma oli tähän tehtävään sopiva, joten päätin käyttää sitä. Tämä tosin tarkoitti sitä, että täytyi opetella ohjelman käyttö alusta lähtien itse. Tämä aiheutti haasteita simuloitien epäonnistuessa, kun syitä epäonnistuneisiin simulointeihin ja virheisiin täytyi etsiä omin neuvoin.

Taivutusvoiman laskenta ei ole täysin luotettava, joten ennen työkalujen valmistusta olisi tarpeellista tehdä uudet laskelmat taivutusvoimasta. Taivutussimulaatioista saatujen arvojen voidaan olettaa vastaavan todellisuutta, sillä simulaatioihin asetettiin tarkat materiaaliominaisuudet levyn valmistajan tarjoamista ominaisuustaulukoista.

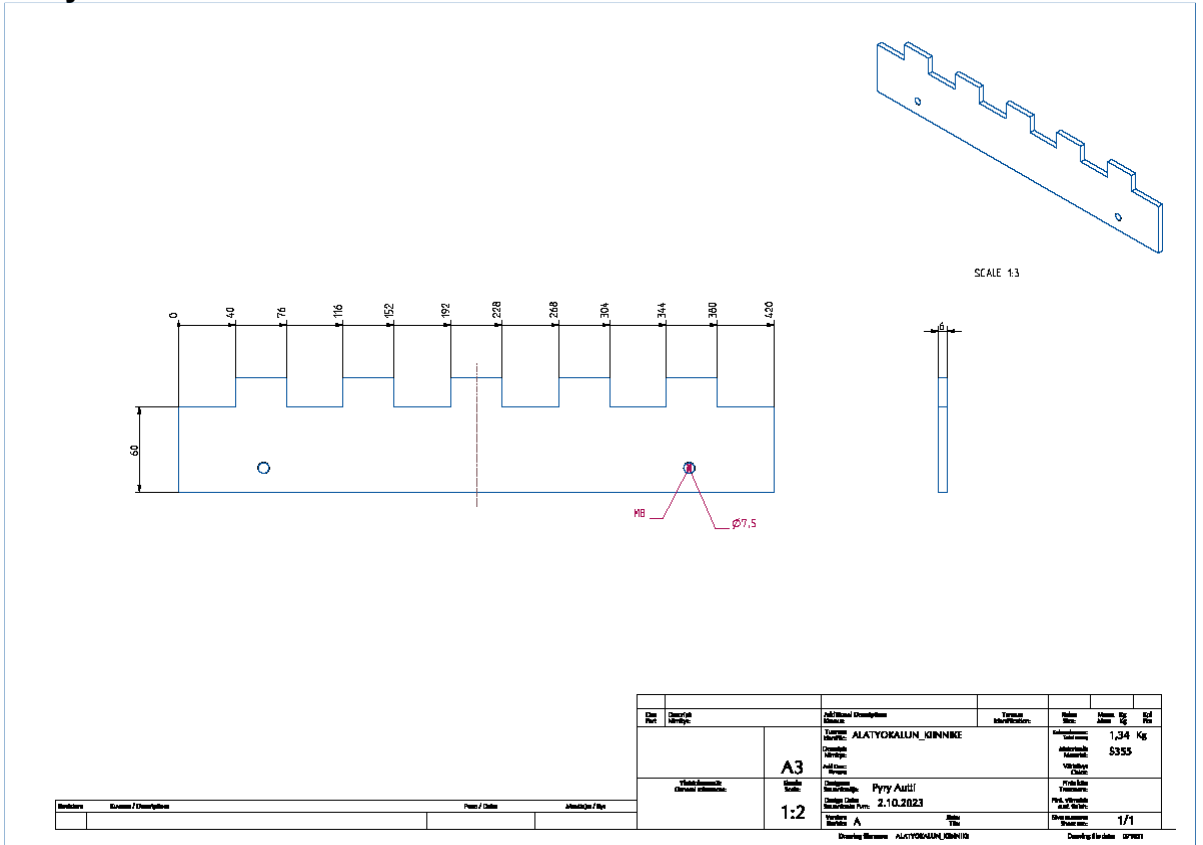
Työn tuloksena syntyneiden työkalujen pitäisi teoriassa toimia suunnitellussa käyttötarkoituksessa. Lisäksi joitakin työkalujen osia, kuten yläterän kiinnikettä, voidaan käyttää tulevaisuudessa vastaavien työkalujen suunnittelussa ja valmistuksessa.

Haluan kiittää KKR Steel Oy:tä ja EFM Groupia opinnäytetyön aiheen antamisesta ja CNC Machining Oy:tä erinomaisesta ohjauksesta.

Lähteet

- Aaltonen, K., Ekman, K., Kamppari, J., Kauppinen, V., Kivivuori, S., Paro, J. & Vuorinen, J., 1991. Työvälinetekniikka. Otaniemi: Otatiteto Oy.
- Benson, S., 9.6.2014. Bending Basics: The hows and whys of springback and springforward. <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/bending/bending-basics-the-hows-and-whys-of-springback-and-springforward> 26.10.2023
- BE Group. 2023. <https://www.begroup.fi/tuotteet/levyt-ja-kelat/kuumavalssatut-kvarttolevyt/kuumavalssatut-kvarttolevyt-s355k2n> 26.10.2023
- EFM Group. 2023. <https://efmgroup.fi/efm-group/kkrsteel> 26.10.2023
- Hietikko, E., 2021. Lujuuslaskennan perusteet. 4. painos. Helsinki: Bod – Books on demand.
- Hietikko, E., 2015. Tuotekehitystoiminta. 3. Painos. Helsinki: Bod – Books on demand.
- Levstal Group. 2.2.2023. Levyjen laserleikkaus: tyypit, edut ja materiaalit. <https://levstal.com/fi/blog/metallin-laserleikkaus-teras/> 25.11.2023
- Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S., 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Teknologiateollisuuden julkaisu 6/2010. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.
- SSAB. 2023. <https://www.ssab.com/fi-fi/brandit-ja-tuotteet/ssab-domex/tuotevalikoima/355mc> 26.10.2023

Alatyökälun kiinnike



Alatyökälun kokoonpano

