

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

Tuotekehitystekniikka

2021

Aaro Keskinen

VALETUN KEINUVIVUN SUUNNITTELU LH410- LASTAUSKONEESEEN

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Konetekniikka | Tuotekehitystekniikka

2021 | 20 sivua

Aaro Keskinen

VALETUN KEINUVIVUN SUUNNITTELU LH410-LASTAUSKONEESEEN

Tämä opinnäytetyö luotiin Sandvik Oy:lle. Sen tarkoituksena on suunnitella valettava keinuvipu LH410-lastauskoneeseen korvaamaan nykyinen hitsaamalla toteutettu rakenne.

Nykyinen hitsattu keinuvipu voi murtua, kun lastauskoneen kauhaan kohdistuu suuri kuormitus. Hitsisaumat muodostavat heikon kohdan, josta murtuma lähtee leviämään. Valetulla keinuvivulla päästään eroon hitsausaumoista ja saadaan siten aikaan kestävämpi kappale. Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella valamalla valmistettava keinuvipu, joka kykenee kestävään suuriin kuormituksiin.

Ensiksi luotiin ja arvioitiin useita keinuvipukonsepteja SolidWorks ohjelmalla. Lupaavimmat keinuvipukonseptit mallinnettiin Siemens NX ohjelmalla. LH410-lastauskonetta ja nykyistä keinuvipua tutkittiin Teamcenter ohjelman avulla. SpaceClaim ohjelmaa käytettiin mallien yhteen liittämiseen kuormaajan mallien kanssa FEM-simulointia varten. ANSYS ohjelmaa käytettiin mallien arvioimiseen FEM-simulaatioilla. Konsepteja arvioitiin myös valusimuloinnilla, jonka suoritti Peiron Valimo.

Työn lopputuloksena syntyi tavoitteet täyttävä valettu keinuvipukonsepti, joka simulaatioissa kestävä suuriin kuormituksiin ja saavuttaa vaaditun käyttöiän.

ASIASANAT:

Tuotekehitys, Valu, Konsepti

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering | Product Development Technology

2021 | 20 pages

Aaro Keskinen

DESIGNING CAST SWING LEVER TO LH410 LOADER

This thesis was commissioned by Sandvik Oy. Its purpose is to design a cast swing lever for LH410 loader to replace the current swing lever created through welding.

The current swing lever design may break, when the bucket of the loader is subjected to great loads. The welds create weak spots in the structure, from which cracks begin to spread. The purpose of this work is to design a new cast swing lever that can endure great loads.

First several swing lever concepts were created and evaluated with SolidWorks program. The most promising swing lever concepts were modelled with Siemens NX program. Teamcenter program was used to study the LH410 loader and the current swing lever design. The swing lever models were combined with the loader model for FEM-simulation using SpaceClaim program. FEM-simulations were performed with ANSYS program. Two of the concepts were also evaluated through casting simulations, which were performed by Peiron Foundry.

The result of the work was a cast swing lever concept that in simulations fulfills the set requirements, enduring great loads and reaching the required service life.

KEYWORDS:

Product development, Casting, Concept

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Opinnäytetyön aihe	7
1.2 Työvälineet	8
1.3 Sandvik	8
2 VALAMINEN JA VALUKAPPALEEN SUUNNITTELU	9
2.1 Valukappaleen suunnittelu	9
2.2 Teräsvalun ja rautavalun erot	9
2.3 Valusimulointi	10
2.4 Väsymislaskenta	10
3 TYÖVAIHEET	12
3.1 Konseptien luonti	12
3.2 NX-mallien luonti	12
3.3 Väsymiskuormitusten laskenta	13
3.4 Laskettavat mallit	15
3.5 Valusimulointi ja konseptien muokkaus	15
4 LOPPUTULOKSET	17
LÄHTEET	19

KAAVAT

Kaava 1. Palgrem-Miner kumulatiivinen vauriosääntö (Salmi & Pajunen 2010, s. 396).	11
Kaava 2. Valuteräksen murtolujuus (University of Puerto Rico 2021).	13
Kaava 3. Valuraudan murtolujuus (University of Puerto Rico 2021).	13
Kaava 4. Pinnanlaatu ja kokokertoimet (Björk & al.2014, s.32).	13
Kaava 5. S-N-käyrien arviointi (Wingate 2021).	14
Kaava 6. Väsyttävän kuormituksen laskenta (Björk & al. 2014, s.49).	14

KUVAT

Kuva 1. LH410-lastauskone (Sandvik 2021a).	7
Kuva 2. Laskenta 1 (Equivalent (von-Mises) stress) keinuivulla 2S JK reikien kanssa.	17

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

FEM	Finite element modelling.
CAD	Computer assisted design.
Työstövara	Työstöä varten varattu ylimääräinen materiaali kappaleessa.
Hellitys	Kappaleen pinnan kaltevuus, joka vaaditaan muotin poistoon.
Verkko	FEM laskennassa CAD malli jaetaan elementteihin verkon avulla. Tulosten tarkkuus kasvaa verkon koon pienentyessä.
S_{ut}	Materiaalin murtolujuus.
S_f	Väsymislujuus, joka kertoo kuinka suuren jännityksen materiaali kestää tietyllä kuormitusyksi määrällä murtumatta.
S_m	Materiaalin 10^3 kuormitusyksiä vastaava kestoaja eli jännitys jolla materiaali kestää 10^3 kuormitusyksiä.
S_e	Vaihtolujuus eli jännitys jonka alapuolella materiaalin kestoikä on teoriassa ikuinen.
N	Kestoluku, joka kertoo montako kuormitusyksiä materiaali kestää tietyllä jännityksellä.
f	Jäljellä olevan väsymislujuuden osuus 10^3 kuormitusyksiin kohdalla.

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön aihe

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Sandvik Mining and Construction Oy:lle LH410-lastauskoneeseen valettu keinuvipu, jolla korvattaisiin nykyinen hitsamalla valmistettu keinuvipu. Valamisella on tarkoitus saavuttaa suurempi käyttöikä ja mahdollisesti myös pienemmät valmistuskustannukset. Suunniteltava keinuvipu valettaisiin joko yhtenä kappaleena tai kahtena erillisenä kappaleena, jotka hitsattaisiin yhteen. Mahdollisen hitsausprosessin on oltava suoritettavissa robotilla.



Kuva 1. LH410-lastauskone (Sandvik 2021a).

Keinuvivun tarkoitus on välittää voima hydraulisylinteristä koiranluuhun, kääntäen kuormaajan kauhaa. Jos kauhaan tippuu suuri määrä materiaalia, kohdistuu keinuvipuun suuri kuormitus. Äärimmäisessä kuormitustapauksessa voi kuormaajan perä nousta ilmaan.

Valusuunnittelun lisäksi työhön liittyi myös suunnitellun mallin testaus FEM-simuloimalla ja väsymiskuormitusten laskenta näiden tulosten perusteelta.

1.2 Työvälineet

Työvälineinä käytettiin useita eri ohjelmia. Mallinnuksessa käytössä olleet CAD-ohjelmat ovat SolidWorks, Siemens NX12 ja SpaceClaim. SolidWorks oli käytössä alustavia malleja luotaessa ja niitä FEM-simuloitaessa. Siemens NX12 oli pääasiallinen mallinnusohjelma ja SpaceClaimin avulla saatiin nämä mallit yhteensopivaksi ANSYS-ohjelman kanssa. Lopulliseen FEM-simulointiin käytettiin ANSYS 2019 R3-ohjelmaa. Lisäksi käytössä on ollut Siemens Teamcenter-ohjelmisto, jonka avulla päästiin käsiksi Sandvikin lähtötietoihin.

Tukea ohjelmien käyttöön saatiin Sandvikin lujuuslaskijoilta ja valamiseen tutustuttiin Peironin valimolla.

1.3 Sandvik

Sandvik on vuonna 1862 Ruotsissa perustettu korkean teknologian teollisuuskonserni. Yrityksen erikoisaloihin kuuluvat työkalut ja järjestelmät teolliseen metallin leikkaukseen, ruostumattomat teräkset ja erikoisoseosmateriaalit, teolliseen lämpökäsittelyyn tarkoitetut tuotteet ja koneet, kalusto, palvelut ja tekniset ratkaisut kaivos- ja urakointiteollisuuksille. Konsernilla on noin 37 000 työntekijää. (Sandvik 2021b).

Sandvik Mining and Rock Technology on osa Sandvik konsernia ja Turun toimipiste erikoistuu erilaisten kaivoskoneiden tuotantoon, suunnitteluun ja niihin liittyviin palveluihin. Nopeasti kehittyvä konsernin osa tarjoaa automaatio- ja etävalvontakalustoa, joilla nostetaan prosessien tehokkuutta, luotettavuutta ja tuottavuutta sekä pidennetään käyttöikää ja lasketaan hintoja. (Sandvik Group 2021).

2 VALAMINEN JA VALUKAPPALEEN SUUNNITTELU

2.1 Valukappaleen suunnittelu

Valaminen eroaa valmistusmenetelmänä huomattavasti hitsaamisesta. Valettavaa kappaletta suunniteltaessa on varmistettava sekä sulan metallin eteneminen muotissa, että lopullisen kappaleen laatu. Näiden varmistamiseksi on otettava huomioon sulan metallin pääsy muotin eri osiin ja sen jähmettyminen, käytettävän metallin ominaisuudet, valuasento, muotin jakotaso, sekä tarvittavat hellitykset ja pyöristykset. (Valuatlas 2021)

Teräviä kulmia tulee valukappaletta suunniteltaessa välttää ja kaikkiin teräviin kulmiin on saatava pyöristys (Valuatlas 2021).

Valettavaa kappaletta suunniteltaessa on myös otettava huomioon valun laatu sekä kappaleen pinnanlaatu. Tarkkuutta vaativat pinnat on valun jälkeen työstettävä ja näille pinnoille on suunnitteluvaiheessa jätettävä 6–10 mm:n paksuinen työstövara. (Mikkola 2020).

2.2 Teräsvalun ja rautavalun erot

Valuterästä on käytettävä valuraudan sijaan, jos kappaleelta vaaditaan hitsattavuutta. Lisäksi valuteräksellä voidaan saavuttaa parempi korroosion, kulumisen tai tulen kestävyys. (Honkavaara 2014, s.17).

Verrattuna muihin valumetalleihin valuteräksellä on huono valettavuus. Suunnittelussa on vältettävä ohuita seiniä, jotka voivat johtaa valuvikoihin. Teräs kärsii myös suuresta kutistumisesta jäähtyessään, mikä voi johtaa imuvirheisiin valukappaleessa ja vaatii sulan metallin syöttämistä kutistuneen materiaalin tilalle. Tämä vaatii usein suuremman määrän metallin syöttökohtia. Teräksen kutistuminen jäähtyessä johtaa myös jäähtymisjännityksiin, kun eri alueet jäähtyvät eri nopeudella johtuen seinämäpaksuuksista. Jäähtymisjännitykset voivat johtaa repeämiin. (Asanti 1962, s. 128).

2.3 Valusimulointi

Valusimuloinnilla voidaan mallintaa valun onnistumista ja ennustaa kappaleeseen tulevia valuvirheitä. Tietokoneen avulla havainnoidaan sulan metallin jähmettymistä ja siten saadaan tietoa, jonka pohjalta on mahdollista muokata kappaletta helpommin valettavaksi. Saatujen tietojen pohjalta suunnitellaan myös kappaleen valu ja määritetään tarvittavat valukanavistot, syötöt ja jäähdytyskappaleet. Valusimulointia voidaan käyttää yhdessä lujuuslaskennan kanssa esimerkiksi kappaleen lujuuden optimointiin. Yhden laskennan tuloksia käytetään tällöin toisen laskennan lähtötietoina. (Valuatlas 2021).

2.4 Väsymislaskenta

Staattisessa eli muuttumattomassa kuormituksessa kappale murtuu, kun jännitys saavuttaa materiaalin murtorajan. Dynaamisen eli vaihtuvan kuormituksen alaisen kappaleen murtuminen ei ole yhtä helposti ennustettavissa ja jännitysvaihtelujen suuruudella on suurempi merkitys kuin jännityksen suuruudella. Vaihtuva kuormitus aiheuttaa kappaleeseen pieniä vaurioita, jotka kerääntyvät olemassa olevien mikroskooppisten materiaaliavokojen ympärille. Nämä vauriot muodostavat lopulta makroskooppisen alkusärön, joka kasvaa joka kuormitusyökin aikana, kunnes kappale murtuu. Väsymislaskennalla pyritään ennustamaan kappaleen kestoikä. (Salmi & Pajunen 2010, s. 355)

Materiaalin ennustettua käyttöikää kuvataan S-N-käyrällä, joka tunnetaan myös Wöhler-käyränä. Se kuvaa jännityksen suuruuden ja kuormitusyökin määrän välistä suhdetta. Käyrää kuvataan usein logaritmisella asteikolla. Se piirretään alkamaan 10^3 syökin kohdalta ja teräksisillä materiaaleilla tasoittuu 10^6 syökin jälkeen, jolloin materiaali saavuttaa teoriassa ikuisen käyttöiän. (Salmi & Pajunen 2010, s. 359)

Kuormituksen suuruuden vaihdellessa syökeitäin voidaan käyttää Palgrem-Minerin kumulatiivista vauriosääntöä (Salmi & Pajunen 2010, s. 396).

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_k}{N_k} = 1$$

Kaava 1. Palgrem-Miner kumulatiivinen vauriosääntö (Salmi & Pajunen 2010, s. 396).

Säännön mukaan jokainen kuormitusyksi kuluttaa osan kappaleen eliniästä. Kulutettu osuus on kappaleen keston luvun N käänteisluku ja kun kulutettujen osuuksien summa on yksi, kappale murtuu. (Salmi & Pajunen 2010, s. 396)

3 TYÖVAIHEET

3.1 Konseptien luonti

Alustavat konseptit luotiin alkuperäisen keinuvivun mallin ja Sandvikilta saadun palautteen perusteella. Nämä luonnokset tehtiin ensin paperilla ja useimmat ideat hylättiin tässä vaiheessa. Konsepteja luodessa tavoitteena oli luoda keinuvipu, joka olisi kevyempi ja kestävämpi kuin nykyinen hitsattu keinuvipu. Huomioon oli otettava myös kappaleen valettavuus ja alkuperäisen keinuvivun mitat. Niveliä varten tarvittujen reikien sijaintia ei saanut muuttaa ja valettavan keinuvivun oli mahduttava samaan tilaan kuin alkuperäinen keinuvipu. Keinuvivun paino ei saanut myöskään merkittävästi nousta.

Ensin malleja luotiin vain kahdesta erillisestä teräksisestä kappaleesta hitsattavan keinuvivun suunnitteluun, mutta valimoon tutustumisen jälkeen otettiin vaihtoehdoksi myös kokonaan valettu rautainen keinuvipu, jota ei hitsattaisi. Lisäksi välipalaverissa, 3D-malleja tarkasteltaessa, vaihtoehdoksi nousi myös kokonaan teräksestä valettu keinuvipu, jota ei hitsattaisi.

Kun alustavien konseptien luonnokset oli tehty, siirryttiin mallintamiseen. Alussa ohjelmana oli käytössä pelkästään SolidWorks, jolla tehtiin ensimmäiset 3D-mallit. Nämä mallit myös simuloitiin SolidWorks-ohjelmalla, mutta kyseiset simulaatiot eivät vastanneet oikeaa käyttötilannetta ja olivat pelkästään suuntaa antavia.

3.2 NX-mallien luonti

NX-mallit luotiin konseptien ja alkuperäisen keinuvivun perusteella. Malleja tehdessä tavoitteena oli luoda keinuvipukonsepti, jolla on vaaditut lujuusominaisuudet ja on valettavissa. Alkuperäinen keinuvipu saatiin Sandvikin Teamcenter-palvelusta. Malli suunniteltiin sopimaan nykyisen keinuvivun paikalle. Lopulliset mallit tehtiin Siemens NX-ohjelmalla, koska se on Sandvikilla käytössä oleva CAD-ohjelma.

3.3 Väsymiskuormitusten laskenta

Väsymiskuormitusta laskettiin oletuksella, että yhtä kauhallista kohden kuormaajan tarkarunko nostetaan ilmaan kauhan varassa neljä kertaa ja lasketaan kerran. Oletuksena on, että kauhallisia on tunnissa 20 ja oletettu kestoikä on 15 000 tuntia.

Laskun 3 maksimi von-Mises-jännityksistä saatiin kauhan noston aiheuttama jännitys. Laskun 2 minimi päävetojännityksen ja laskun 3 suurimman päävetojännityksen suurin erotus tuotti arvon, jolla laskettiin kauhan lasku.

$$S_{ut} = \text{Ultimate tensile strenght} = \text{murtolujuus} = 490 \text{ MPa}$$

$$S_m = S_{ut} * 0,9 = 441 \text{ MPa}$$

$$S_{e'} = S_{ut} * 0,5 = 245 \text{ MPa}$$

Kaava 2. Valuteräksen murtolujuus (University of Puerto Rico 2021).

$$S_{ut} = \text{Ultimate tensile strenght} = \text{murtolujuus} = 500 \text{ MPa}$$

$$S_m = S_{ut} * 0,9 = 450 \text{ MPa}$$

$$S_{e'} = S_{ut} * 0,4 = 180 \text{ MPa}$$

Kaava 3. Valuraudan murtolujuus (University of Puerto Rico 2021).

Väsymiskuormitusta laskettaessa otettiin huomioon kappaleen pinnanlaatu ja sen koko.

$$S_e = k_1 * k_2 * S_{e'} = 0,66 * 0,6 * S_{e'}$$

Kaava 4. Pinnanlaatu ja kokokertoimet (Björk & al.2014, s.32).

Väsymiskuormitusten laskentaan vaadittiin S-N-käyrä, joka saatiin aikaan kaavalla 5.

$$Sf = a * N^b$$

$$N = \left(\frac{Sf}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

$$a = \frac{(f * Sut)^2}{Se}$$

$$b = -\frac{1}{3} * \log\left(\frac{f * Sut}{Se}\right)$$

$$f = \frac{\sigma f}{Sut} * (2 * 10^3)^b$$

$$\sigma f = Sut + 50 \text{ ksi} = Sut + 344,8 \text{ MPa}$$

$$b = -\frac{\log\left(\frac{\sigma f}{Se}\right)}{\log(2 * Ne)}$$

Kaava 5. S-N-käyrien arviointi (Wingate 2021).

Kaavalla 6 saatiin väsymiskuormitusten kappaleen eliniästä kuluttama osuus C, jonka arvon tulisi olla alle yksi. Pienempi arvo tarkoittaa pidempää kestoikää. Arvot N_{nosto} ja N_{lasku} saatiin kaavasta 5.

$$20 * 15\,000 * \left(\frac{4 * \text{Noston jännitys}}{N_{\text{nosto}} * \text{Noston jännitys}} + \frac{1 * \text{Laskun jännitys}}{N_{\text{lasku}} * \text{Laskun jännitys}} \right) = C$$

Kaava 6. Väsyttävän kuormituksen laskenta (Björk & al. 2014, s.49).

Valuraudan myötölujuus on 330 MPa ja teräksen myötölujuus on 290 MPa. Tulosten mukaan valuraudasta tehty keinuvipukonsepti kestää äärimmäiskuormituksen toisin kuin nykyinen hitsattu keinuvipu.

3.4 Laskettavat mallit

Tutkittavia malleja oli työn aikana seitsemän kappaletta. Näistä malleista oli olemassa useita eri versioita, joita muokattiin FEM-laskennan tulosten pohjalta.

- 2T JK. Suora muoto, kolme kiinnityspistettä.
- 2T JT. Kaareva muoto, kolme kiinnityspistettä.
- 4T JK. Suora muoto, viisi kiinnityspistettä.
- 4T JT. Kaareva muoto, viisi kiinnityspistettä.
- 2T JK R. Suora muoto, kolme kiinnityspistettä, reiällinen.
- 4T JK R. Suora muoto, viisi kiinnityspistettä, reiällinen.
- 2S JK. Suora muoto, seinällinen.

Tulosten vertausta varten toteutettiin laskenta myös nykyisellä hitsatulla keinuviivulla.

Aluksi keinuviipu oli tarkoitus toteuttaa teräsvaluna kahdesta valetusta osasta, jotka hitsattaisiin yhteen. Hitsausta ei ole mahdollista toteuttaa valuraudalla, joten tarkoituksena oli käyttää valuterästä. Lopuksi päädyttiin kuitenkin käyttämään valurautaa sen paremman valettavuuden vuoksi, sillä se teki hitsauksen tarpeettomaksi.

Kaareva muoto ja reiälliset mallit hylättiin ennen kuin kaikki laskennan ongelmat oli ratkaistu, koska niistä ei ollut etua muihin malleihin verrattuina. Myöhemmin reiällisiä malleja kuitenkin tutkittiin uudelleen valamisen helpottamiseksi ja ne osoittautuivat toteuttamiskelpoisiksi. Kolmen kiinnityspisteen malli hylättiin ensimmäisessä välitapaamisessa sen heikosta väsyttävän kuormituksen kestosta johtuen. Seinällinen kolmen kiinnityspisteen malli antoi laskennoissa paremmat tulokset kuin viiden kiinnityspisteen malli.

3.5 Valusimulointi ja konseptien muokkaus

Valusimulointia varten malliin muokattiin tarvittavat työstövarat ja hellitykset, kun paras valuasento saatiin tietoon valimon puolelta. Laskentaa varten luotiin samasta konseptista erillinen malli. Tarvittavien hellityksien suuruus riippui hellityksiä vaativan rakenteen koosta, ja työstövarana tarkkuutta vaativissa kohdissa oli 10 mm.

Malli 2S JK antoi parhaat tulokset lujuuslaskennassa, mutta osoittautui hankalaksi valaa johtuen sen umpinaisesta rakenteesta, joka vaati suurta keernaa. Valamista yritettiin helpottaa muokkaamalla kappaletta ja lisäämällä reikiä keernaa varten. Muutokset paransivat valettavuutta, eivätkä heikentäneet lujuusominaisuuksia. Vaihtoehdoksi konseptille 2S JK kokeiltiin myös konseptia 4T JK, koska ero lujuusominaisuuksissa ei ollut merkittävä. 4T JK osoittautui huomattavasti helpommaksi valaa, ja koska kummatkin konseptit omaavat vaaditut lujuusominaisuudet, valikoitui parhaaksi konseptiksi 4T JK. Valettu keinuvipukonsepti 4T JK antaa väsymislaskennassa lähes yhtä hyvät tulokset kuin alkupe-
räinen hitsattu keinuvipu ja kestää maksimikuormituksen, joka saa hitsatun keinuvivun hajoamaan.

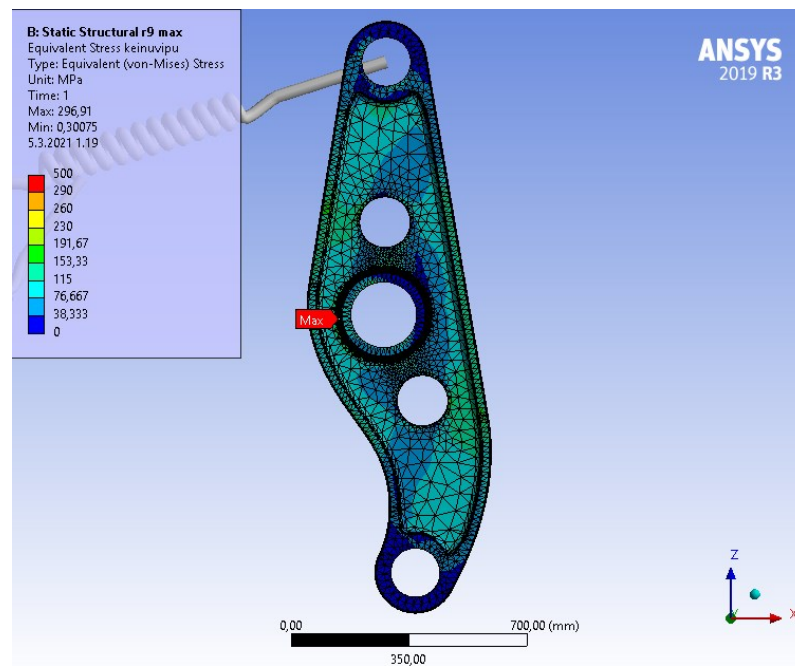
4 LOPPUTULOKSET

Suunnitteluprosessi tuotti useita konsepteja, joista valittiin parhaiten toteutettavissa oleva versio. Ratkaisevia kriteerejä olivat kappaleen valettavuus ja kestävyys, tärkeimpänä näistä valettavuus. Lopuksi valettavissa olevista osista valittiin se, jolla oli paras kestävyys.

Työ ei edennyt aikataulun mukaisesti. Työtä hidastivat osaamisen ja kokemuksen puute, ohjelmistojen käytön opettelu ja etätöihin siirtymisen jälkeen myös heikompi työtahti.

Työ tuotti valetun keinuvipukonseptin, joka FEM-simulaatioissa kestää suurimman annetun kuormituksen toisin kuin alkuperäinen hitsaamalla valmistettu keinuvipu. Väsymiskuormitus on uudella konseptilla suurempi kuin alkuperäisellä, joten pidempää käyttöikää ei lujuuslaskennassa saavuteta matalilla kuormituksilla, vaikka vaadittu käyttöikä saavutetaan.

FEM-simulaatiot eivät kuitenkaan vastaa täysin todellista kappaletta ja käyttötilannetta, sillä esimerkiksi alkuperäisen keinuvivun hitsisaumoja ei niissä oteta huomioon. Tulokset ovatkin vain suuntaa antavia.



Kuva 2. Laskenta 1 (Equivalent (von-Mises) stress) keinuvivulla 2S JK reikien kanssa.

Konseptia on vielä mahdollista optimoida ja kehittää eteenpäin. Reikien lisääminen painon vähentämiseksi ja valettavuuden helpottamiseksi nousi esille alustavia konsepteja luodessa ja joissain tutkituissa malleissa parempaa valettavuutta tavoiteltaessa sillä saavutettiin säästöjä painossa ja materiaalikuluissa ilman, että kappaleen kestävyys olisi merkittävästi heikentynyt.

Myös keiuvipukonseptin muotoja on mahdollista optimoida, ja laskennassa saatujen kokemusten perusteella näin voitaisiin saavuttaa paremmat tulokset ilman suuria muutoksia kappaleen painossa ja hankaloittamatta valamista.

LÄHTEET

Honkavaara, Tapani 2014; Valutuotteiden suunnitteluopas.

[https://svy.info/wp-content/uploads/2015/04/Valutuotteiden suunnitteluopas.pdf](https://svy.info/wp-content/uploads/2015/04/Valutuotteiden_suunnitteluopas.pdf)

Kumera Corporation 2021; Materiaalit. Viitattu 8.2.2021

<http://www.kumera.com/fi/materiaalit.html>

Mikkola, Jussi 2020: RE: Keinuivun työstö. Yksityinen sähköpostiviesti 22.10.2020.

Paavo Asanti 1962; Valukappaleen suunnittelu 1 - 2. Weer Söderström osakeyhtiö, Porvoo

Sandvik 2021a; Sandvik LH410. Viitattu 5.4.2021

<https://www.rocktechnology.sandvik/fi/laitteet/maalalaiset-lastauskoneet-ja-dumpperit/edistyk-selliset-louhintakoneet-maalalasiin-kaivoksiin/lh410-lastauskone-maalalasiin-kaivoksiin/>

Sandvik 2021b; Sandvik Group. Viitattu 5.4.2021

<https://www.rocktechnology.sandvik/fi/tietoja-meist%C3%A4/sandvik-konserni/>

Sandvik Group 2021; Sandvik Mining and Rock Solutions. Viitattu 8.2.2021

<https://www.home.sandvik/en/about-us/our-company/business-areas/sandvik-mining-and-rock-solutions/>

Tapio Salmi, Sami Pajunen 2010; Lujuusoppi. Pressus Oy, Tampere.

Timo Björk & al.2014; Koneenosien suunnittelu. SanomaPro, Helsinki

University of Puerto Rico 2021. Viitattu 8.2.2021

<https://academic.uprm.edu/pcaceres/Courses/INME4011/MD-6B.pdf>

Valuatlas 2021. Viitattu 2.3.2021

<https://www.valuatlas.fi/>

Wingate, Kathryn. Module 31: Approximating the SN Curve. Coursera-verkkopalvelu. Viitattu 8.2.2021

<https://www.coursera.org/lecture/machine-design1/module-31-approximating-the-sn-curve-YxXIG>