



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

NIVELAURAN LISÄSIIPPIEN TUOTTEISTAMINEN

Tuotekehitysprojekti

TEKIJÄ

Pekka Ryhänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Pekka Ryhänen	
Työn nimi Nivelauran lisäsiipien tuotteistaminen	
Päiväys	28.5.2015
Sivumäärä/Liitteet	35/1
Ohjaaja(t) Esa Jääskeläinen, Pentti Halonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Koljonvirran Teollisuuspalvelu Tmi	
Tiivistelmä	
<p>Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella, valmistaa ja tuotteistaa pyöräkuormaajalla käytettävään nivelauraan lisäsiivet yrityksessäni Koljonvirran Teollisuuspalvelu Tmi. Lumiauran lisäsiipien tuotteistuksen tarkoituksena on saada referenssikohde yritykselleni ja samalla oppia tuotekehitysprosessia ja tuotteistamista.</p> <p>Opinnäytetyössä suunniteltiin ja tuotteistettiin nivelauraan lisäsiivet, jotka kasvattivat työskentelyleveyden neljästä metristä kuuteen metriin. Opinnäytetyössä käsiteltiin myös tuotekehitystä, tuotteistamista, valmistustekniikkaa ja valmistusmateriaaleja. Lisäsiivet suunniteltiin ja mallinnettiin Solid Works 3D – mekaniikkasuunnitteluohjelmalla.</p> <p>Nivelauran lisäsiivistä suunniteltiin ja tuotteistettiin tuote, jotka on mahdollista markkinoida nivelauraihin. Tuotteesta tehdyt piirustukset ja valmistuskuvat sekä valmistusohjeet mahdollistavat tuotteen valmistamisen missä tahansa konepajassa. Tuotteen valmistettavuudessa otettiin huomioon laserleikkauksen tuomat edut ja mittatarkkuus osien valmistamiseen.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin aikaan lumiaura jonka työskentelyleveys on välillä 2,5–6 metriä. Yritykselleni opinnäytetyö on hyvä referenssi tulevaisuutta varten, ja sillä voin esitellä yritykseni osaamista suunnittelusta valmiiksi tuotteeksi.</p>	
Avainsanat 3D- mekaniikkasuunnittelu, tuotekehitys, tuotteistaminen, valmistettavuus	
Luottamuksellisuus Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Pekka Ryhänen			
Title of Thesis Productization of additional wings of articulated plough			
Date	May 28, 2015	Pages/Appendices	35/1
Supervisor(s) Esa Jääskeläinen, Pentti Halonen			
Client Organisation /Partners Koljonvirran Teollisuuspalvelu			
<p>Abstract</p> <p>The subject of this thesis was to engineer, produce and productize additional wings for an articulated plough used in wheel loaders. The thesis was made for my own company Koljonvirran Teollisuuspalvelu. The aim of the productization was to get a reference work for the company and at the same time to learn about R&D process and production.</p> <p>In this thesis additional wings for the articulated plough were engineered and productized, which increased the width of the working area from 4 to 6 meters. The thesis also views the R&D, productization, production methods and materials. Additional wings were designed and modeled by Solid Works 3D-engineering software.</p> <p>Additional wings of the articulated plough were engineered and productized so that it would be possible to market and sell this to articulated ploughs. The manufacturing drawings of the product and manufacturing instructions create a possibility to manufacture this product in any workshop. The benefits of the laser cutting and measurement accuracy were noticed in the manufacturability of the product.</p> <p>As a result of this project an articulated plough with working width from 2,5 to 6 meters was produced. This thesis is good reference for my company in the future because now I can show the company's know-how from engineering to a ready-made product.</p>			
Keywords 3D mechanical engineering, R&D, productizing, manufacturability			

ALKUSANAT

Opinnäytetyöni mahdollistui tehtäväksi asiakkaani tarpeista saada tehokkaampi lumiaura elementti-tehtaan lumitöihin. Asiakkaallani on neljä metriä leveä nivelaura, jonka työskentely leveyttä haluttiin kasvattaa. Opinnäytetyössä nivelauraan suunniteltiin ja valmistettiin lisäsiivet, joilla sen työskentely leveydeksi tuli kuusimetriä. Tämä insinöörityö on toteutettu omistamassani Koljonvirran teollisuus-palvelu Tmi. yrityksessä. Tuotekehitysprojekti toteutettiin suunnittelun ja valmistuksen osalta kevääl-lä 2014. Opinnäytetyön kirjallinen osuus sekä tuotteen tuotteistaminen toteutettiin kevään 2015 ai- kana.

Haluan esittää suuret kiitokset insinööriopintojeni avustamisessa Savonia AMK –opettajille, jotka jak-soivat kannustaa opintojeni aikana. Suurimmat kiitokset kuuluvat aviopuolisolleni Päiville, joka jaksoi kannustaa kaikki nämä viisi ja puoli vuotta minkä aikana valmistuin insinööriksi.

Iisalmessa Toukokuussa 2015

Pekka Ryhänen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	KOLJONVIRRAN TEOLLISUUSPALVELU	8
2.1	Suunniteltuja ja valmistettuja tuotteita	8
2.2	Yrityksen konekanta ja palvelut	9
3	LÄHTÖKOHDAT JA VAATIMUKSET	10
4	TUOTEKEHITYS.....	11
4.1	Tuotekehitysprojektin vaiheet	11
4.2	tuotteistaminen.....	13
5	TUOTTEEN SUUNNITTELUN VAIHEITA.....	14
5.1	Suunnittelun lähtökohdat.....	14
5.2	Kokoonpanomyönteinen suunnittelu.....	14
5.3	Koneenpiirustus	15
6	NIVELAURAN LISÄSIPIEN VALMISTUSTEKNIIKAT JA MATERIAALIT	18
6.1	Laserleikkaus.....	18
6.2	Koneistus	18
6.3	MAG-hitsaus	19
6.4	nivelauran lisäsiipien valmistusmateriaalit	19
7	LUJUUSTEKNINEN TARKASTELU.....	21
7.1	Leikkausjännitys	22
7.2	Hitsausliitoksen mitoitus ja suunnittelu	23
8	MALLINNUS, KONEPIIRUSTUKSET JA KOKOONPANOKUVAT.....	26
8.1	Terälevy.....	26
8.2	Perussiipi.....	26
8.3	Laajakulmanivel	28
9	HYDRAULIIKKAASUUNNITTELU	30
9.1	Hydraulisylinterit.....	30
9.2	Sähköinen 6/2 -suuntaventtiili.....	30
10	LISÄSIPIEN KIINNITTÄMINEN VANHAAN AURAAAN	32
11	YHTEENVETO.....	33
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	34
	LIITE 1: Terästen hiiliekvivalentti.....	35

1 JOHDANTO

Tuotekehitys on keskeinen ja vaativa osa yrityksen toimintaa. Tuotekehitysprojektien pääperiaatteet ovat varsin yhteneviä kehitettiinpä uutta konetta, uutta lääkettä tai vaikkapa elintarviketta. Uuden tuotteen kehittäminen edellyttää tuotekehitystyöhön osallistuvalla ryhmällä yhteistyökykyä, tuotekehitysprojektin hallintaa, omien erityisalueidensa osaamista ja tiedon jalostamista tuotteeksi tai palveluksi, joka täyttää markkinoiden tarpeet. Kehitettävälle tuotteelle tai palvelulle täytyy olla aina tietyt perusedellytykset. Uudella tuotteella tai palvelulla on oltava markkinat, tuotteen täytyy olla kilpailukykyinen, tuotteen on täytettävä yrityksen tai asiakkaan tarpeet ja sille asetetut vaatimukset. (Välimaa, Kankkunen, Lagerrooss ja Lehtinen 1994, 7–8.)

Tuotekehityksellä tarkoitetaan myös määrätietoista toimintaa jolla pyritään saamaan markkinoille uusia tuotteita tai parannuksia nykyisiin tuotteisiin. Tuotekehitykseen kuuluu samalla myös tutkimustulosten ja kokemusten kautta saadun tiedon käyttämistä menetelmien ja valmistusprosessin parantamiseksi. (Välimaa, Kankkunen, Lagerrooss ja Lehtinen 1994, 7–8.)

Tässä opinnäytetyössä selvitetään tutkimustuloksia ja kokemuksesta saatua tietoa nivelauran lisäsiipien kehittämiseen. Opinnäytetyön tarve syntyi asiakasyritykseni käytössä olevan nivelauran auraimistehon kasvattamisesta. Nivelauran tehokkuutta oli tarkoitus kasvattaa suunnittelemalla ja valmistamalla siihen säädettävät lisäsiivet. Insinööriyön aihe oli tuotekehittää ja tuotteistaa suunnittelemani ja valmistamani nivelauran lisäsiivet. Nivelauran muutostyöt sekä lisäsiipien rakentamisen tapahtui yrityksessäni Koljonvirran Teollisuuspalvelu Tmi.

Opinnäytetyöhön liittyy oleellisesti tuotekehitysprojektin hallinta, tuotteen suunnittelu, sen valmistaminen ja valmistettavuus sekä tuotteen tuotteistaminen. Tuote suunnitellaan Solid Works 3D -mekaniikkasuunnitteluohjelmistolla. Tuotteistamisessa keskitytään tuotteen valmistettavuuteen sekä tuotteen dokumentointiin liittyviin asioihin, tuotteen markkinointi sekä markkinat eivät kuuluneet opinnäytetyöhön.

Olen toiminut metallialan yrittäjänä vuodesta 1992 lähtien toimien itse käytännön töissä valmistaen kaikenlaisia laitteita ja koneita pahvimallien avulla. Insinööriopintojen ansiosta olen saanut mahdollisuuden käyttää koulutustani 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelman käyttöön. Ohjelmisto antaa mahdollisuuden suunnitella lisäsiivet ja valmistuspiirustukset sekä osakuvat. 3D -ohjelmiston sähköiset piirustukset mahdollistivat kilpailuttamisen ja tilaamisen tuotteeseen tarvittavista laserleikkeistä. Insinöörikoulutus mahdollisti lujuuslaskennan tuotteen valmistusosiin sekä hitsisaumoihin.

2 KOLJONVIRRAN TEOLLISUUSPALVELU

Koljonvirran Teollisuuspalvelu Tmi on vuonna 1992 perustettu Iisalmelainen alihankintakonepaja. Yrityksen pääasiallisia palveluja ja tuotteita ovat betonielementtitehtaalle tehtävät erilaiset betonielementtimuotit, betonielementin valmistuskoneet, betonielementteihin liittyvät tartunnat ja harjateräskierteet. Yrityksen toimialana ovat myös erilaisten koneiden ja laitteiden asennus, kunnossapito ja huolto.

2.1 Suunniteltuja ja valmistettuja tuotteita

Yrityksessäni on valmistettu muun muassa kuvassa 1 olevia Aiv-paalinkantolaitteita. Aiv-paalinkantolaitteet ovat suunniteltu ja valmistettu yrityksessäni. AIV- Paalinkantolaitetta kehittäessä sen yhdeksi ominaisuudeksi vaadittiin mahdollisuutta saada rehupaalit pystyasentoon. Tämä ratkaistiin suunnittelemalla kantolaitteeseen kippaava ominaisuus joka mahdollisti rehupaalien kääntämisen pystyyn.



KUVA 1. Aiv rehupaalinkantolaitteita. Valokuva Pekka Ryhänen 15.2.2007.

Vuonna 2014 Koljonvirran Teollisuuspalvelu oli mukana suunnittelemassa ja valmistamassa kuvassa 2 olevaa kuorilaattakoneen prototyyppiä elementtitehtaalle. Kuorilaattakoneella voidaan valmistaa betonisia kuorilaattoja. Valmistettavien betonielementtien korkeus voi vaihdella välillä 50–250 millimetriin ja elementin leveys on 1 200 millimetriä.



KUVA 2. Kuorilaattakone. Valokuva Pekka Ryhänen 15.11.2014.

2.2 Yrityksen konekanta ja palvelut

Yrityksen vahvuutena on ollut perustamisesta lähtien yrityksen monipuolinen konekanta ja osaaminen niiden käyttöön. Yritykseni konekanta on mahdollistanut valmistamaan tuotteet ja laitteet alusta loppuun asti. Konekanta on mahdollistanut akseleiden ja tappien koneistuksen, tuotteen hitsaamisen joko MAG-, TIG- tai puikko hitsaamalla ja kokoonpanon sekä hiekkapuhalluksen ja maalaamisen korkeapaine-maaliruiskulla. Monipuolisesta konekannasta on hyötyä valmistettaessa erilaisia prototuotteita ja yksittäiskappaleita.

Koljonvirran teollisuuspalvelu Tmi:n työvälineisiin ja konekantaan kuuluu mm. seuraavia koneita.

- metallisorvi, kärkiväli 1 500
- pylväsporakoneita
- MAG-hitsauskoneita, 500 ja 400 ampeerin
- puikko ja TIG hitsauskoneita
- plasmaleikkauskone
- jyrsinkone
- 2 trukkia (2,5 tonnia)
- pyöräkuormaaja ja
- kevytkuorma-auto

Yrityksen alihankintapalveluihin kuuluu.

- hitsaajan pätevyudet (ruostumaton ja rakenneteräs), kulloiseenkin tarpeeseen sekä asiakkaan vaatimiin hitsausasentoihin
- MAG-, TIG- ja puikkohitsauksia (ruostumaton sekä rakenneteräkset)
- hiekkapuhallusta (siirrettävällä kalustolla 6,6 kuution laitteistolla)
- betonielementtimuotteja
- teräsrakenteita
- prototuotteita
- pyöräkoneiden ja traktoreiden lisälaitteita
- koneistusta manuaali sorvilla ja jyrsimellä sekä
- IWS-hitsauskoordinaattoripalvelut.

3 LÄHTÖKOHDAT JA VAATIMUKSET

Opinnäytetyön kohteena oli pyöräkuormaajan nivelaura, jonka maksimi työskentelyleveys on neljä metriä. Lumisateen jälkeen aurattavana ovat elementtitehtaan varastokentät, ajotiet, lastauskentät sekä kaikki elementtitehtaan alueet, joita on yhteensä noin viisi hehtaaria. Tehtaan pyöräkuormaajan kuljettajan kanssa suorittamissa mittauksissa saimme selvitettyä lumen auraamiseen menevän työajan. Sataneen lumen määrästä johtuen työaikaa auraamiseen kuluu viidestä kahdeksaan tuntiin.

Tehtaan aurattavat alueet sisältävät kapeita kulkuväyliä, joista johtuen auran maksimileveys ei saa olla yli kaksi ja puoli metriä. Vertailemalla eri lumiauran valmistajien esitteitä selvitimme mahdollisuuksia auran leveyden kasvattamiseen ja sieltä saimme idean lisänivelillä varustettuihin lisäsiipiin. Hydraulisesti säädettävät lisäsiivet mahdollistavat lumiauran työleveyden 2,5–6 metrille. Lisäsiipien ansiosta lumiauralla on myös mahdollisuus kerätä lunta suurin kasoihin, joista lumi ajetaan myöhemmin pois.

Lumitöitä tekevän pyöräkuormaajan JCB 456 työpaino on noin 22 tonnia. Pyöräkuormaajan suuren työpainon vuoksi keskeisenä päämääränä oli suunnitella ja valmistaa aurasta mahdollisemman lujarakenteinen ja kestävä vastaamaan pyöräkuormaajan työpainoa. Lisäsiipien rakenteen suunnittelussa käytettiin hyödyksi nivelauran kestäviksi todettuja rakenneratkaisuja ja sen ainepaksuuksia. Nivelaura on valmistettu S355-rakenneteräksestä ja sen siipirakenne on kotelomainen. Kuvassa 3 erottuu auran rakenne ja terälevyn joustamisen mahdollistavat kierrejouset.



KUVA 3. Nivelaura. Valokuva Pekka Ryhänen 10.1.2014.

4 TUOTEKEHITYS

Tuotekehityksen tarkoituksena on etsiä, valita, synnyttää, ideoida, ja kehittää asiakastarpeet ja tekniset mahdollisuudet tuotteeksi tai palveluksi. Onnistunut tuotekehitysprosessi on yksi yrityksen menestymisen edellytyksiä. Jokaisen yrityksen täytyisi jatkuvasti huolehtia tuotekehityksestä. Yritys joka laiminlyö tuotekehityksen on vaarana, että tuotteet vanhentuvat ja niiden myynti loppuu kokonaan. Tuotekehityksellä pyritään täyttämään asetetut tavoitteet niin hyvin kuin ne on taloudellisesti ja teknisesti mahdollista ja tarkoituksenmukaista toteuttaa. (Jokinen 1987,9.)

Tuotekehitysprojekti voidaan jakaa karkeasti neljään eri toimintavaiheeseen jotka ovat käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Tuotekehitysprojektin eri vaiheissa arvioidaan kyseisen vaiheen tuloksia. Tarvittaessa voidaan palata edelliseen vaiheeseen takaisin. (Jokinen 1987, 9–10.)

4.1 Tuotekehitysprojektin vaiheet

Tuotekehitysprojektin ensimmäinen vaihe on käynnistyminen. Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään tuotteen tai palvelun kehittämiskustannuksia, markkinointinäkymiä sekä tuotteella tai palvelulla saatavat tuotot. Käynnistymisvaiheessa tuotetta ideoimassa kannattaa olla mukana mahdollisemman monipuolinen osajajoukko: muiden muassa myynnin edustaja (asiakasnäkökulma), valmistuksen edustaja (valmistusnäkökulma) sekä mahdolliset eriosaajat tuotekehityksestä kuten muotoilijat. Käynnistämässä otetaan samalla huomioon myös tuotteen työterveydelliset ja ympäristönsuojelliset kysymykset. Käynnistämisvaiheen tietojen ja selvitysten perusteella päätetään tuotekehityksen jatkamisesta. (Jokinen 1987, 14.)

Projektin toisessa vaiheessa selvitetään tuotteelle asetetut vaatimukset ja tavoitteet. Tätä vaihetta kutsutaan luonnosteluksi. Luonnosteluvaiheessa tuotteelle laaditaan vaatimuslista, jonka aikana saattaa tulla ilmi seikkoja joiden vuoksi joudutaan palaamaan käynnistymisvaiheeseen ja keskustelemaan kehityspäätöksen tekijöiden kanssa. Vaatimusluettelo voi yksinkertaisimmillaan olla kuvan 4 kaltainen lista, josta selviävät asiakkaan vaatimat vaatimukset tuotteelle. Kuvassa on projektia koskevat tiedot. Luonnostelu vaiheessa etsitään vaihtoehtoisia ratkaisuluonnoksia kehitettävälle tuotteelle. Tässä tuotekehitysvaiheessa tuotteesta ei vielä tehdä yksityiskohtaisia mittakaavaan laadittuja piirustuksia. Suunnitelmat ja piirustukset ovat vielä enimmäkseen käsivaralta laadittuja luonnoksia. Luonnosteluvaiheen tärkeimmät työmenetelmät ovat erilaiset luovaan insinööriyön tekemiseen soveltuvat ideointimenetelmät. (Jokinen 1987,14–21.)

VAATIMUSLUETTELO			
Sivu: 1 (2)			
Päiväys:	Laatinut:	Projektiehd. numero	Rev.
15.2.2014	Pekka Ryhänen		
Projektiehdotuksen kuvaus:		Lisäsiivet Lumiauraan.	
Muut.	K/V/T	Kehitettävän tuotteen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:	Vastaava
	K	Kiinteä vaatimus: Vaatimuksen tulee toteutua kaikissa tilanteissa	
	V	Vähimmäisvaatimus: Vaatimuksella on raja-arvo, joka on saavutettava ja jonka ylittäminen tai alittaminen on toivottavaa	
	T	Toivomus: Tarve, joka otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan	
	K	<ul style="list-style-type: none"> • auran maksimi leveys 2500 millimetriä • rakenteessa huomioitava pyöräkuormaajan massa 20 000 kg • auran kaikkia neljää sylinteriä voitava hallita erikseen • lumen aeraus mahdollisuus sekä oikealle että vasemmalle 	
	V	-	
	T	.	

KUVA 4. Vaatimusluettelo Pekka Ryhänen 15.2.2015.

Luonnostelu sisältää samoja työvaiheita kuin mitä tarvitaan päätöksenteossa tai mitä ongelmanratkaisemisessa käytetään. Ongelmanratkaisemiseksi ja päätöksen tekemisen varten on monenlaisia erilaisia menetelmiä. Ongelmanratkaisun kulku on yleensä samantyyppinen ja sisältää seuraavia vaiheita: ongelman havaitseminen, asiantietojen hankinta ja ongelman analysointi, tavoitteiden ja vaatimusten havaitseminen, ratkaisuideoiden etsiminen, ideoiden arvostelu ja karsinta sekä valittujen ratkaisujen testaus ja lopullisten päätösten tekeminen. (Jokinen 1987, 21.)

Projektin kolmannessa vaiheessa tuotesuunnittelussa suunnitellaan tuotteen osakokoonpanot, muotoilu, ulkomitat, valmistustekniikat ja rakenneratkaisut. Tuotekehityksen kolmannessa vaiheessa markkinointi ja valmistustekniikat kytkeytyvät mukaan prosessiin. Markkinointiosasto osallistuu tässä vaiheessa projektiin suunnittelemalla markkinointia ja mainontamateriaalia. Tuotekehityksen kolmannessa vaiheessa aloitetaan prototyypin valmistus ja sen etenemisen aikana viimeistellään laitteen yksityiskohtia sekä dokumentointia kuten piirustuksia ja osaluetteloita. Tuotantokelpoisuus ja työvaiheistus tarkistetaan käyttäen apuna prototyypin valmistuksesta saatuja kokemuksia. Prototyypin valmistamisen aikana saadaan myös selvitettyä tarpeet mahdollisille erikoistyökaluille sekä hitauskiinnittimille. (Välimaa ym. 1994, 30.)

Tuotekehitysprojektin neljännessä vaiheessa tuote viimeistellään. Tässä vaiheessa tuotteesta piirretään lopulliset työpiirustukset, laaditaan osaluettelot, tehdään tarvittavat käyttö- ja huolto-ohjeet sekä muu tarvittava dokumentaatio. Neljännessä vaiheessa tuotteen yksityiskohdat saavat lopullisen muotonsa. Edellisessä vaiheessa valmistetusta prototyypistä saatuja kokemusten perusteella voidaan tässä vaiheessa valmistaa mahdollinen nollasarja. Nollasarjalla testataan suunniteltuja valmistusmenetelmiä ja samalla saadaan lisää tietoa uuden tuotteen ominaisuuksista. (Jokinen 1987, 17.)

4.2 tuotteistaminen

Tuotantotoimintaa harjoittavan yrityksen menestys riippuu sen kyvystä tunnistaa asiakkaan tarpeet ja reagoida niihin nopeasti kehittämällä uusia tuotteita. Tuotteella tarkoitetaan konkreettisen ja kosketeltavan objektin lisäksi yhä useammin myös abstraktikampaa asiaa, kuten palvelua tai osaamista. Tuote on kohde, jonka yritys myy asiakkaalleen. (Hietikko 2009, 9.)

Tuotteistamisen perusajatuksena on uuden palvelun tai tuotteen kehittäminen ja sen saaminen markkinoille. Tuotteistuksella pyritään saamaan markkinoille kilpailukykyinen tuote tai palvelu. Tuotekehitysprojektin kuluessa kerätään tietoa, jonka avulla tuote tai palvelu saadaan vastaamaan asiakkaan tarpeita mahdollisemman tarkasti. Tavaroiden tuotteistamisessa haetaan parhaita realistisia ratkaisuja tuotteen tuotanto-ominaisuuksien ratkaisemiksi, niitä ovat muun muassa raaka-aineet, muotoilu, valmistusprosessit ja käyttöominaisuudet. Tuotteistaminen liittyy yleensä tilanteeseen, jossa on jokin prototyyppi tai idea, josta halutaan tehdä varsinainen tuote. Valmistuksen ja asiakkaan näkökulmasta tuotteen tuotteistamisessa selvitetään muun muassa seuraavia asioita:

- Mihin tilaaja tarvitsee tuotetta?
- Mitä tuote sisältää ja mitkä ovat sen ominaisuudet?
- Mitä tuote maksaa?
- Mitkä ovat tuotteen valmistuskustannukset?
- Mitä laatukriteerejä tuote sisältää?
- Miten tuote valmistetaan?
- Mikä on tuotteen valmistumisaikataulu?

Uuden tuotteen tuotteistamisen tavoitteena on myös löytää tuotteelle tuotenimi ja rakennettava tuotemerkki sekä tarvittaessa brändi. Tuotenimen on tarkoitus erottaa tuote kilpailijoista. Tuotenimen ympärille muodostetaan tuoteimago, jota käytetään tuotteen markkinoinnissa ja myynnissä. Tuotenimi on joissakin tapauksissa jopa yhtä tärkeä kuin tuotteen varsinaiset ominaisuudet. (Yritys suomi 2015.)

Tuotteistamisen aikana selvitetään onko suunnitteilla olevalla tuotteella immateriaalioikeuksia. Immateriaalioikeuksilla on kyse siitä onko kehitettävällä tuotteella jo olemassa olevia patenteja tai muita valmistamista ja markkinointia estäviä rajoitteita. Tuotteistamisen aikana on varmistettava, ettei kehitteillä oleva tuote loukkaa jonkun muun suojaamia oikeuksia. Kun tuotteelle suunnitellaan tuotemerkkiä ja nimeä, on myös varmistettava että tällainen merkki, nimi tai muotoilutapa on vapaasti käytettävissä. (Yritys Suomi 2015.)

Tuotteistusprosessissa keksitty ja kehitetty idea muuttuu hiotuksi lopputuotteeksi joka on valmis markkinoille. Tuotteistuksen aikana luodaan tuotteelle valmistus- ja tuotantoprosessit, valmistusmateriaalit, dokumentaatio ja suunnitellaan markkinointi. Tuotteistuksen tuloksena tapahtuu muutos jossa tuote saa nimen ja tuote on mahdollista alkaa valmistaa. (Yritys Suomi 2015.)

5 TUOTTEEN SUUNNITTELUN VAIHEITA

Tuotesuunnittelu ja tuotekehitys sekoitetaan useasti keskenään toisiinsa. Tuotesuunnittelu on osa tuotekehitysprosessia. Tuotekehitys on osa laajempaa kokonaisuutta, se kattaa kaikki toiminnot ideasta tuotannon käynnistämiseen, kuten edellä on kuvattu. Tuotesuunnittelu tarkoittaa tiedon käsittelemistä ja luomista sellaisen rakenteen löytämiseksi, joka kykenee toteuttamaan halutut toiminnot. Voidaan myös ajatella että suunnittelu tarkoittaa prosessia, jossa tieto muuttuu tarpeista, vaatimuksista ja reunaehdoista sellaisen rakenteen kuvaukseksi, joka kykenee toteuttamaan nämä. (Hietikko 2009, 12.)

Tämän opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on saada referenssikohde yritykselle tuotesuunnittelusta ja erityisesti Solid Works 3D-ohjelmiston käyttämisestä tuotesuunnitteluun. Valmistuspiirustusten tekeminen ja tuotesuunnittelu sekä tuotteistaminen mahdollistavat tarvittaessa nivelauran lisäsiipien valmistamisen muihin auroihin. Tässä luvussa esittelen lisäsiipien suunnittelua teoriaan verraten.

5.1 Suunnittelun lähtökohdat

Nivelauran lisäsiipien tuotesuunnittelussa on monia suunnittelua vaativia kohtia. Suunnittelun lähtökohdana käytettiin apuna nivelauran rakenteita ja siinä olevia rakenneratkaisuja. Vanha nivelaura on ollut työkäytössä jo noin kymmenen vuotta. Kuluneet vuodet eivät ole aiheuttaneet sen rakenteisiin vaurioita. Tästä johtuen pystyin käyttämään suunnittelussa samoja materiaaleja sekä auran osien rakenteita mallina tuleviin lisäsiipiin.

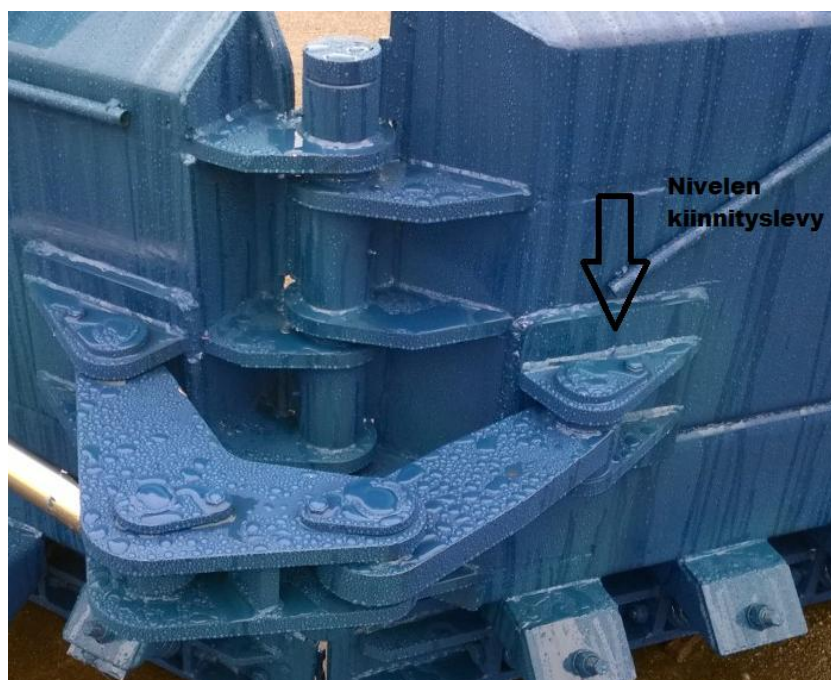
lisäsiipiä pitää pystyä kääntämään 180 astetta. Tällaisen liikeradan aikaan saaminen hydraulisylintereillä vaatii laajakulmanivelen, jolla siipiä voidaan kääntää haluttuun kulmaan. Pyöräkuormaajan työpaino 20 tonnia vaatii käyttämään paksuja ainepaksuuksia auran osissa, jotta varmistetaan auran pitkä käyttöikä.

5.2 Kokoonpanomyönteinen suunnittelu

Omassa yrityksessä tapahtuva tuotekehitys mahdollistaa prototuotteen kokoonpanomyönteisen suunnittelun. Tämä tarkoittaa että tuotteen suunnittelussa otetaan huomioon normaalia enemmän valmistustekniikka. Huonosti huomioitu valmistustekniikka lisää tuotteen valmistuskustannuksia. esimerkiksi jos tuotteen valmistuksessa käytetään erikoisia valmistusmenetelmiä sekä –materiaaleja tai jos tuotteesta suunnitellaan turhan monimutkainen. (Hietikko 2009, 15–17.)

DFMA-lyhenne tulee sanoista *Design For Manufacturing and Assembly*. Se tarkoittaa että tuote pyritään suunnittelemaan siten, että sen kokoonpano on mahdollisemman yksinkertaista ja virheetöntä. M-kirjain tarkoittaa kokonaisvaltaisemmin valmistusystävällistä suunnittelua (DFM= Design For Manufacturing) (Hietikko 2009, 15.)

Laajakulmanivelen suunnittelussa ja mallintamisessa käytimme DFMA-ajattelua suunnittelemalla nivelen valmistamisen kokonaan toimivaksi ennen sen asentamista nivelauraan. Nivelen levykorvakot hitsattiin 250 x 250 millimetrin terälevyihin hitsauskiinnittimissä. Tällä varmistettiin niiden asettuminen oikeisiin kohtiin toisiinsa nähden sekä pysyminen hitsaamisen aikana kohdallaan. Nivelen valmistaminen erillään antoi mahdollisuuden sovittaa sen paikkaa lisäsiipien asentamisen yhteydessä. Kuvassa 5 nivelen asentamisesta auringon ja lisäsiipiin erottuu nivelen liittämistapa hitsaamalla 250 x 250 millimetrin teräslevy MAG-hitsaamalla. Laajakulmanivel on ajateltu valmistettavaksi omana osakokoonpanona. Omana osakokoonpanona oleva laajakulmanivel on mahdollista valmistuttaa alihankintana.

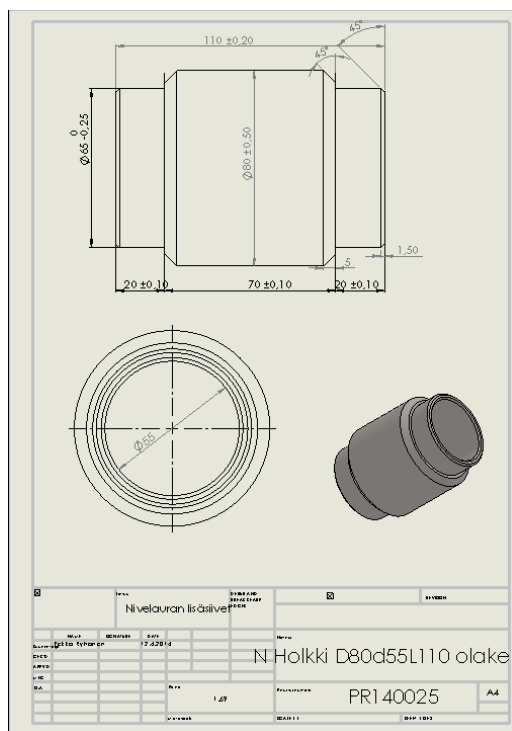


KUVA 5. Laajakulmanivelen liittäminen nivelauraan. Valokuva Pekka Ryhänen 21.10.2014.

5.3 Koneenpiirustus

Koneenpiirustuksen tarkoitus on saada valmistuksessa toimivat henkilöt keskustelemaan samalla loogikalla ja symboleilla, jotta monimutkaisetkin laitteet ja koneet saadaan valmistettua. Jos yritämme saada kappaleet valmistettua vain pelkällä kirjoittamisella tai puhumalla, valmistus olisi joidenkin kappaleiden kohdalla jopa mahdotonta. Tästä johtuen on luotu tietty kieli, jota suunnittelijat käyttävät. Koneenpiirustukset mahdollistavat laitteiden ja koneiden valmistamisen missä tahansa konepajassa, jolla vain on sopiva konekanta ja ammattitaito niiden käyttämiseen. (Pere 2009, 1.)

Osien piirustuksen tulee sisältää riittävä määrä projektioita ja mitoituksia osan valmistamista varten. Yleinen käytäntö on piirtää jokainen osa omalle piirustukselle. Piirustuksissa tulee olla yksityiskohtaiset tiedot valmistettavasta esineestä. Piirustuksesta täytyy koulutetun ammattihenkilön pystyä ilman lisäselvitystä valmistamaan valmis osa sellaiseksi kuin suunnittelija on sen tarkoittanut. Kuvassa 6 koneenpiirustus laajakulmanivelen holkista. (Pere 2009, 1–3.)



KUVA 6. Laajakulmanivelen holkin konepiirustus. Pekka Ryhänen 12.3.2014.

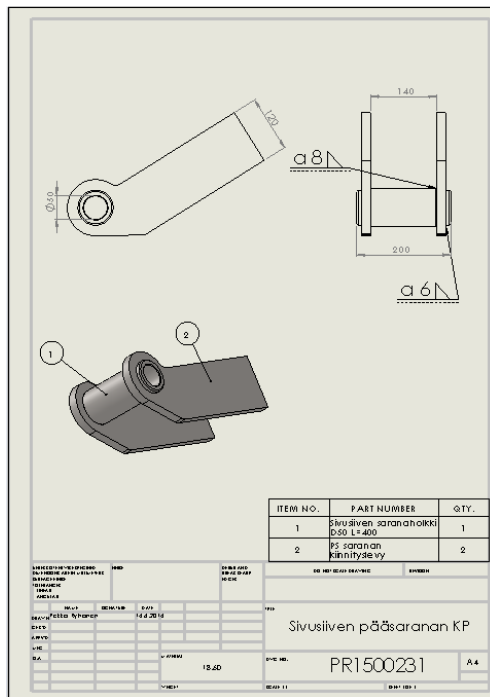
Väärintulkinta saattaa johtaa tuotteen virheelliseen valmistukseen siihen että valmistettava koonosaa ei ole mahdollista asentaa sille tarkoitettuun paikkaan. Väärintulkinnan välttämiseksi piirustuksesta tulee käydä vähintään ilmi seuraavat merkinnät, piirustuksen ja yrityksen nimi, kappaleen tai osan nimitys ja osa numero. (Pere 2009, 1—2.)

Lisäksi piirustuksissa suositellaan esitettävän seuraavia asioita. (Pere 2009, 1—2.)

- piirtäjä tai suunnittelija
- päivämäärät
- revisionumero tai kirjain, joka kertoo mikä versio kappaleesta on kyseessä
- käytetty skannaus (esimerkiksi 1:2, 1:5)
- hyväksyjä eli henkilö, joka on hyväksynyt piirustuksen valmistettavaksi
- tarkastaja eli henkilö, joka on tutkinut piirustuksen virheiden varalta
- käytettävä materiaali
- osaluettelo, jos kyseessä on jokin muu kuin yksittäinen kappale sekä
- käytetty paperikoko, esimerkiksi A4, A3, A2.

Tuotteet valmistetaan yleensä siten, että tehtaan kukin osasto valmistaa oman osastonsa toimialan tuotteet tai osa valmistusosista on alihankinnasta tulevia osia. Tuotteeseen saattaa sisältyä standardeja kuten ruuvit, mutterit ja laakerit. Jotta tuote voidaan kokoonpano-osastolla valmistaa, täytyy kokoonpanossa olla piirustus, jossa esiintyy kaikki tuotteen osat. Tällaisia piirustuksia nimitetään kokoonpanopiirustuksiksi. (Pere 2009, 16—1.)

Koneenpiirustukset ovat yleensä helposti tulkittavissa. Kuvassa 7 on lisäsiipien saranoiden osakokoonpanopiirustus. Kokoonpanossa saranan kiinnityslevyt hitsataan saranaholkin kanssa yhteen. Hitsausliitos suoritetaan a6- ja a8-pienahitsauksena, joista kuvassa on merkinnät.



KUVA 7. sivusiiven saranan osakokoonpanopiirustus. Pekka Ryhänen 12.3.2014.

Koneenpiirustukseen on mahdollista tarvittaessa lisätä merkintöjä joilla varmistetaan tuotteen oikea valmistus. Tällaisia merkintöjä on esimerkiksi: hitsausmerkinnät, koneistustoleranssit, käytettävät valmistustoleranssit sekä pintakäsittelyohjeet.

6 NIVELAURAN LISÄSIPIEN VALMISTUSTEKNIIKAT JA MATERIAALIT

Nivelauran lisäsiipien valmistamisessa käytettyjä valmistustekniikoita ovat laserleikkaus, MAG-hitsaus, särmäys sekä koneistus. Lisäsiipien valmistamiseen on monia vaihtoehtoisia valmistustekniikoita esimerkiksi laserleikkauksen voi korvata plasmaleikkauksella tai polttoleikkauksella. Päädyimme laserleikkaukseen alihankintayrityksen ehdotuksesta ja sen valmistuksessa saavutettavan tarkkuuden vuoksi.

Ensimmäisen prototuotteen koneistusosat valmistettiin manuaalisorvilla. Holkit hitsattiin MAG-hitsauksena sarana- ja nivelenlevyihin kiinni. Hitsauksen johdosta holkeissa tapahtui pieniä lämpötilasta johtuvia muutoksia holkkien mittoihin. Manuaalikoneistuksella proton rakentamisen yhteydessä haettiin sopivaa toleranssia hitsattaville holkeille. Tuotekehityksen sekä lisäsiipien tuotteistamisen ansiosta koneistusosia on mahdollista tilata seuraaviin tuotteisiin alihankinta CNC-koneistuksena.

6.1 Laserleikkaus

Laserleikkauksessa lasersäde kohdistetaan linssillä polttopisteeksi leikattavaan materiaaliin. Polttopiste kuumenee niin kuumaksi, että työstettävä materiaali sulaa, palaa tai suurta energiatiheyttä käytettäessä höyrystyy. Laserleikkaus soveltuu monien materiaalien leikkaukseen sitä käytetään mm. teräksen, ruostumattoman- sekä haponkestävän teräksen leikkaamiseen. Myös muita materiaaleja, kuten värimetalleja sekä alumiinia on mahdollista leikata laserilla. Laserleikkauksen etuna on nopeat asetusajat, sekä se, että leikkaamisella saadaan kerralla valmis mittatarkka tuote. (HT laser 2015)

6.2 Koneistus

Lisäsiipien saranoissa sekä nivelien holkeissa käytetty ainesputki E470 sekä tapeissa käytetty pyöräteräs S355J2G3 koneistettiin manuaalisorvilla suunniteltuihin mittoihin. Kuvassa 8 lisäsiipien valmistuksessa tarvittavat holkit sekä tapit valmiina hitsauskokoontaan. Manuaalikoneistuksen etuna on valmistaa osia prototuotteen valmistumisen kanssa samalla ajoituksella. Tällä mahdollistetaan osien toleranssien ja mittojen muuttaminen valmistuksen tarpeen mukaiseksi.



KUVA 8. Lisäsiipien holkit sekä tapit. Valokuva Pekka Ryhänen 20.4.2014.

6.3 MAG-hitsaus

Aurojen ja sen osien liittämässä on runsaasti erilaisia hitsausliitoksia. *Koneen osien suunnittelu* kirjassa Airila (2003, 244) toteaa, että ”hitsaus on osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten että osat muodostavat jatkuvan yhteyden”. Hitsauksessa voidaan käyttää apuna hitsausaineita.

Auran rakenneosien materiaali paksuudet vaihtelevat kuudesta kahteenkymmeneen millimetriin. Nivelaurassa on runsaasti erilaisia ja eriasennoissa suoritettavia hitsausliitoksia. MAG-hitsaus on soveltuvin hitsausmenetelmä tuotteen valmistamiseen.

MAG-hitsauksen etuja lisäsiipien valmistamisessa

- jatkuva lisäaine, jonka ansiosta ei lisäaineen vaihtokohtia hitsissä ja hitsaus on jatkuvaa
- hyvä tuottavuus esimerkiksi 1,2 mm umpilangalla noin 2...7 kg/h
- hitsaus on mahdollista kaikissa asennoissa
- laaja hitsausarvojen säätömahdollisuus
- lisäaine ei muodosta kuonaa (umpilanka), jonka ansiosta kuonansulkeumavaara vähäinen
- hinnaltaan edullinen lisäaine (umpilanka)
- ohutlevyjen hitsausmahdollisuus sekä
- MAG-hitsaus on helposti mekanisoitavissa ja automatisoitavissa. (Lepola ja Makkonen 2009, 103.)

6.4 nivelauran lisäsiipien valmistusmateriaalit

Koneen tai sen osan suunnittelussa tulee selvittää, minkälaisia toimintoja sen tulee tehdä. Materiaalien tulee täyttää koneen tai osan toimintojen vaatimukset. Samalta osalta voidaan vaatia useita erilaisia vaatimuksia, mutta jokin niistä on aina määräävin ja se yleensä ratkaisee käytettävän materiaalivalinnan. Kone tai sen osa on pystyttävä valmistamaan mahdollisimman edullisesti jotta se voidaan valmistaa ja markkinoida. Valmistusmenetelmät ja materiaalin saatavuus vaikuttavat myös materiaalivalintoihin. (Koivisto, 2010, 9—11.)

Nivelauran lisäsiipien valmistusmateriaaleina käytettiin seuraavia yleisesti saatavilla olevia valmistusmateriaaleja. Lisäsiipien koteloiden, saranalevyjen, nivellevyjen ja sylinterinkorvakkeiden materiaaliksi valittiin Ruukki Oy:n Laser 355 MC plus -rakenneteräs. Materiaalin valintaan vaikutti rakenneteräksen hyvä saatavuus, edullinen hinta sekä rakenneteräksen helppo hitsattavuus ja työstettävyys. (RUUKKI Oy 2015)

Terälevyn materiaalina on kulutusta kestävä Raex 400 -kulutusteräs. Terälevyyn kohdistuu auratessa kovia iskuja ja se saattaa joutua alttiiksi kulutukselle joutuessaan hankautuessaan asfalttia vasten.

Tästä syystä sen materiaaliksi valittiin kulutusteräs. Saranoiden sekä nivelten holkkien materiaalina käytettiin yleisesti käytettyä E470 -ainesputkea.

Nivelaurassa on useita tappeja. Saranoiden tappien paksuudeksi suunniteltiin 50 millimetriä. Saranatappien paksuudella varmistettiin niiden riittävä lujuus mahdollisessa törmäys tilanteessa. Saranatapin myötäraja leikkausvoimaksi laskettiin 47 000 kg. Leikkausvoimataulukko (taulukko 1) on nähtävissä lujuusteknisessä osiossa. Nivelauraan asennettavat hydraulisylinterit oli varustettu 40 millimetrin holkeilla joten niiden asentamiseen valittiin 40 millimetrin pyöröteräs. Tappien valmistusmateriaaliksi valittiin S355J2G3-pyörötanko. Pyöröteräs S355J2G3 on valmiiksi h9-toleranssialueella. Pyöröteräksen toleranssitarkkuuden vuoksi tappeja ei ole tarpeellista koneistaa.

Nivelauran holkkien ja akselien laakeroinnissa käytettiin voideltavia liukulaakereita. Laakereiksi valittiin pronssisia (kuvassa 9) esitettyä NB1 4020-NOMO ja NB1 5020-NOMO liukulaakereita. Laakerit voidellaan rasvapuristimella holkkeihin tulevien rasvanippon kautta. Rasva varastoituu liukulaarissa oleviin reikiin ja takaa pitkän huoltovälin.



KUVA 9. NB1 4020-NOMO liukulaakeri. Valokuva Pekka Ryhänen 10.3.2014.

7 LUJUUSTEKNINEN TARKASTELU

Koneelta ja laitteelta edellytetään tiettyä käyttöikää. Käyttöikä riippuu olennaisesti koneen tai laitteenkäyttötarkoituksesta. Oletetun käyttö- tai kestoajan aikana saattaa kuitenkin tapahtua sellaisia vahinkoja tai onnettomuuksia jotka tekevät laitteen toiminnan mahdottomaksi tai ainakin huomattavasti vaikeuttaa sitä. (Airila 2003, 9.)

Lujuusteknisen tarkastuksen tekeminen on nivelauralle vaikeaa. Kaikkia siihen kohdistuvia voimia ei voi tarkasti todentaa. Pyöräkuormaajan työpainon on noin 20 000 kilogrammaa. Lumitöitä suorittaessa tapahtuvassa mahdollisessa törmäystilanteessa olevat iskuvoimat ovat suuria. Taulukossa 1 laskettu törmäystilanteessa syntyviä voimia. Törmätessä kiinteään esteeseen pyöräkuormaajan maksiminopeudella (40 km/h) ja pysähtymisaajan ollessa 0,1 sekuntia, syntyviä voima on noin 2 222 kN (226 000 kg).

Taulukko 1. Liikemäärän laskentataulukko. Pekka Ryhänen 20.5.2015.

Laskettu kaavalla $F=(m \times \Delta v)/\Delta t$

Liikemäärän laskentataulukko			
Nopeus km/h	Massa kg	Pysähtymisaika s	Voima kN
5	20000	0,1	277,8
5	20000	0,5	55,6
5	20000	1	27,8
10	20000	0,1	555,6
10	20000	0,5	111,1
10	20000	1	55,6
20	20000	0,1	1111,1
20	20000	0,5	222,2
20	20000	1	111,1
40	20000	0,1	2222,2
40	20000	0,5	444,4
40	20000	1	222,2

Kehitysprojektin kohteena olevanivelaura on ollut työkäytössä kymmenen vuotta, ja sen rakenneratkaisut ovat kestäneet siihen kohdistuvat rasitukset vaurioitta. Osien mitoituksessa käytettiin apuna modifioitavan auran rakenneratkaisuja, koska ne olivat osoittautuneet toimiviksi. Lisäsiipien kotelorakenteet suunniteltiin ja mallinettiin vanhan hyväksi havaitun auran rakenteiden mukaisiksi. Rakenteiden ainepaksuudet sekä materiaalit ovat samanlaisia kuin aiemmin. Nivelauran käytöstä ei aiheudu huomattavaa vaaraa käyttäjälle tai sivullisille henkilöille koska lumia aurataan yleensä yöaikaan ja betonielementtitehtaan sisäpuolelle ei ole asiaa sivullisilla henkilöillä. Edellä mainitun näkökohdan perusteella ei ollut nähneet tarpeelliseksi suorittaa lujuustarkastelua kaikille osille.

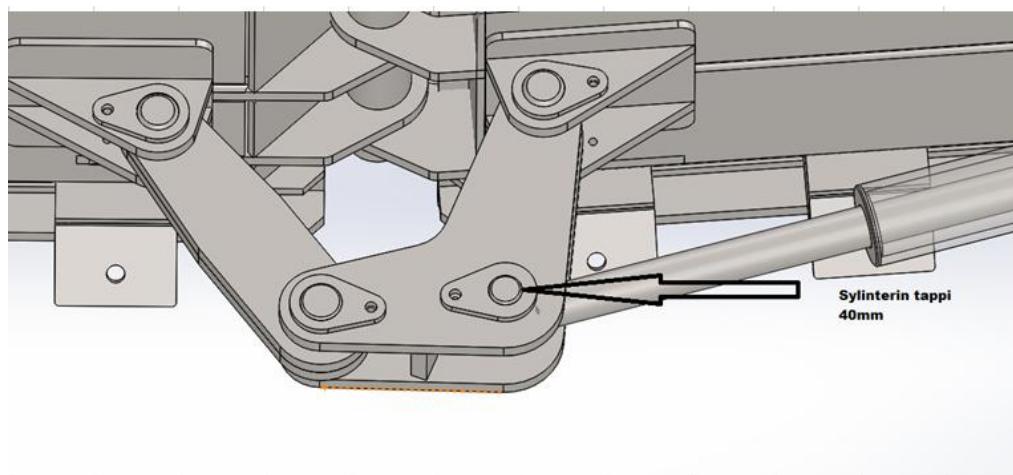
7.1 Leikkausjännitys

Leikkausjännitys syntyy kappaleeseen kun siihen vaikuttaa leikkausrasitus. Suunnitelluissa lisäsiivissä leikkausrasituksia syntyy moniin eri kohtiin nivelauran rakenteissa. Suoria leikkausjännityksiä syntyy nivelaudessa hydraulisylinterien tappeihin, laajakulmanivelen tappeihin, saranatappeihin sekä terälevyn kiinnityksessä käytettyihin pultteihin. Taulukossa 2 on laskettu eripaksuisille akseliteräksille S355 myötörajalta maksimivoimat sekä vetovoimat ja leikkausvoimat.

TAULUKKO 2 Akseliteräksen S355 maksimi vetolujuus ja leikkausvoima taulukko. Pekka Ryhänen 21.5.2015.

Leikkaus jännitys			
$\tau (\text{tao}) = F/A$			
Akseliteräksen lujuus taulukko		Materiaalin myötöraja 355 N/mm ²	
Akseliteräksen halkaisija	Akselin pinta-ala mm ²	Akselin vetolujuus myötörajalle MN	Akselin leikkausvoima kerroin 1,5. MN
25	490,87	1,7	1,2
30	706,86	2,5	1,7
35	962,11	3,4	2,3
40	1256,64	4,5	3,0
45	1590,43	5,6	3,8
50	1963,50	7,0	4,6
55	2375,83	8,4	5,6
60	2827,43	10,0	6,7
65	3318,31	11,8	7,9
70	3848,45	13,7	9,1
75	4417,86	15,7	10,5
80	5026,55	17,8	11,9

Nivelauran hydraulisylinterit on rakennettu siten että niiden liittämiseen käytetään 40 millimetrin tappeja. Nivelauran nivelten ja saranoiden suunnittelussa ja valmistamisessa on käytetty 50 millimetrin tappeja saadaksemme varmuuden, että sylinterin kiinnitys on rakenteen heikoin kohta. Nivelauran törmätessä esteeseen sylinterin tappiin kohdistuu leikkausvoima nivelen välityksellä. Kuvassa 10 on nivelen rakenteesta Solid Works-mallinnus, josta erottuu sylinterin tappi 40 millimetrin sekä laajakulmanivelen 50 millimetrin tapit.



KUVA 10. Sylinterin tappi. Pekka Ryhänen 15.3.2014.

Sylinterin tapin myötörajalalle sallittu leikkausvoima on noin 30 000 kilogrammaa. Leikkauspisteitä nivelen rakenne muodostaa kahteen leikkauspisteeseen. Tällöin myötörajalalle tuleva maksimi leikkausvoima on 60 000 kilogrammaa. Lisäsiipien liikuttamiseen on suunniteltu hydraulisylinteri jonka mähkän halkaisija on 80 millimetriä. Pyöräkuormaajasta saatava hydraulipaine on 200 kg/cm^2 , ja tällöin maksimivoima hydraulisylinterille on noin 10 000 kg. Sylinterin tapin varmuuskertoimeksi saatiin kuusi. Erikokoisten hydraulisylinterien työntövoimista on laskenta esimerkkejä taulukossa 3 sivulla 31.

7.2 Hitsausliitoksen mitoitus ja suunnittelu

Hitsausliitokset jaetaan eri tyyppeihin käyttötarkoituksen ja liitosten mitoituskriteerit huomioiden. Suunnittelijan ja valmistajan on tarpeellista tunnistaa eri liitostyyppit ja niiden päätoiminto. Liitosten eri tyyppejä ovat seuraavat liitostyyppit (Airila ym. 2003, 246–252.)

- Voimaliitos. Sille ominaista on välittää rakenneosassa vaikuttava voima tai momentti seuraavaan rakenneosaan. Voimaliitokset mitoitetaan yleensä yhtä lujiksi kuin heikompi liitettävä rakenneosa. Nivelauran lisäsiipien hitseistä näitä on muun muassa sylinterinkorvakoiden ja saranoiden hitsit.
- Kiinnitysliitos. Valtaosa hitseistä on kiinnityshitsejä. Kiinnityshitsit mitoitetaan staattisen kuormituksen perusteella. Hitsit ovat yleensä pitkiä ja a-mitat pieniä. Kiinnityshitseillä kootaan tavallisesti profiileja esimerkiksi nivelauran kotelorakenteet.
- Sideliitos. Sideliitoksilla hitsataan yleensä rinnakkaisia rakenteita tai osia toisiinsa jolla estetään niitä nurjahtamasta erillisenä rakenteena.
- Varusteliitos. Nimensä mukaisesti varusteluhitseillä liitetään esimerkiksi putkien ja kaapeleiden kannakkeita, tikkaita sekä esimerkiksi kaiteita.

Hitsien kestävyden tarkastelua ei useinkaan tarvitse tehdä läheskään kaikille tuotteeseen tuleville hitseille. Suunnittelijat mitoittavat useimmat hitsit tasalujiksi liitettävän osan kanssa ilman lujuuslaskelmia. Hitsausliitosten suunnittelijan on tärkeää tunnistaa, mitkä liitokset voidaan tehdä heikomiksi kuin liitettävät rakenneosat. Osat, jotka voidaan hitsata kiinnitysliitoksella säästävät hitsauskustannuksia. Suunnittelun pääsääntönä on mitoittaa voimaliitokset tasalujiksi liitettävän osan kanssa. (Airila ym. 2003, 246–252.)

Nivelauran lisäsiipien suunnittelussa ja valmistuksessa käytettiin liitoshitseinä voimaliitoksia sekä kiinnitysliitoksia. Voimaliitoksina hitsattiin lisäsiipien saranoiden osat, nivelen osat, sekä lisäsiipien ja nivelauran liittämiseen tarvittavat hitsit. Kyseiset hitsit välittävät voimia rakenteissa seuraavaan rakenneosaan. Voimaliitosten hitsien a-mitat ovat 8–12 millimetriä. Kotelorakenteiden hitseinä käytettiin kiinnitysliitosta. A-mitat kotelon hitsaamisessa ovat 6 ja 8 millimetriä. Esimerkilaskelmassa kuvassa 11 laskettiin sylinterien ja laajakulmanivelen kiinnityslevyn 250 x 250 millimetrin hitsin vetolujuus myötörajalalle.

Kiinnityslevyn 250 x 250 hitsin maksimi vetolujuus myötörajalle

Hitsin tekniset tiedot	
Hitsin A-mitta	6 mm
Hitsinpituus	1000 mm
Esab OK 12.51 Mag- langan max myötöraja	420 N/mm ²
a x hitsin pituus x max myötöraja = F	
6mm x 1000mm x 420 N/mm² = 2 520 000 N	

KUVA 11. Kiinnityslevyn hitsin vetolujuus myötörajalle. Pekka Ryhänen 15.5.2015.

Esimerkilaskelmassa laskettiin kiinnityslevyn maksimivoima myötörajalle joka on 256 tonnia. Hydraulisylinterin työntövoima on noin 10 tonnia, tällä voimalla hitsiin kohdistuu noin 20N/mm²:n jännitys.

Suunnittelussa ajateltiin kiinnityslevyn 250x250 pinta-alan jakavan siihen kohdistuvaa rasitusta ja jännityksiä suuremmalle alalle vanhan nivelauran kotelorakenteissa.

Hitsausliitosten suunnittelussa hyödynnettiin aikaisemmissa kehitysprojekteissa suoritettuja MAG-hitsaustestejä. Niissä suoritettiin hitsauskokeita ja valmistettiin kokeista hiet. Hitsauskokeiden analysoinneista pystyttiin määrittelemään hitsin tunkeumat. Kuvassa 12 MAG-hitsin tunkeumat havaittavissa hiessä.



KUVA 12 MAG-hitsaus hie. Valokuva Pekka Ryhänen 15.2.2013.

Teräksiä hitsatessa suunnittelijan tulee tietää teräksen kemiallinen koostumus ja sen hiiliäkvivalentti. Hiiliäkvivalentti ilmaisee teräksen karkenevuutta ja kylmähalkeilualttiutta hitsauksessa liitteessä 1 Ruukki Oy:n hiiliäkvivalentit eri teräslaaduille. Yleisin laskemiseen käytetty kaava on IIW:n (International Institute of Welding) julistama CEV (hiiliäkvivalentti)(RUUKKI Oy 2015a)

HIILIEKVIVALENTTI KAAVA :

$$CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

Teräs on kylmähalkeilualttiuden kannalta hyvin hitsattavaa, kun CEV-arvo on alle 0,41. Lisäsiivissä käytetty Ruukki Laser 355 mc -rakenneteräksen CEV-arvo on 0,34. Lisäsiipien koteloiden hitseissä käytettiin hitsausarvoina taulukossa 3 olevia hitsausparametreja.

TAULUKKO 3 Hitsausparametrit lisäsiipien koteloiden hitseihin. Pekka Ryhänen 10.2.2013.

Koe 3		
virta	22	V
	220-	
Ampeerit	225	Amp
kempin asetukset	4,3	
langansyöttönopeus	15	M/min
Kaasun virtaus	15	L/min

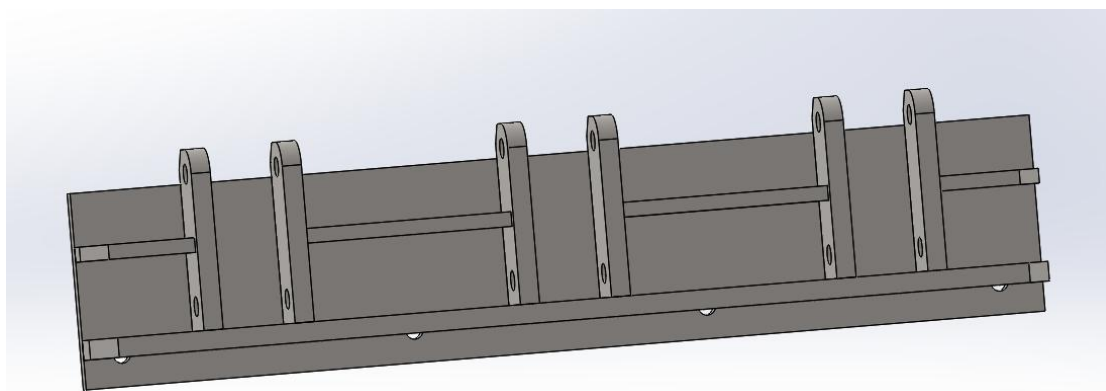
8 MALLINNUKSEEN, KONEPIIRUSTUKSET JA KOKOONPANOKUVAT

Lisäsiipien osien mallinnus, konepiirustukset ja kokoonpanokuvat tehtiin Solid Works 3D-mekaniinnasuunnittelu ohjelmalla. 3D-ohjelmiston käyttäminen mahdollisti rakenneosien kilpailuttamisen ja tilaamisen laserleikkaukseen keskittyviltä yrityksiltä sähköisesti. 3D-ohjelmistolla suunniteltiin lisäsiipien liikeradat toimiviksi ja lisäksi nivelien sekä saranoiden kohdistukset saatiin piirustuksiin mikä helpottaa lisäsiipien valmistusta.

8.1 Terälevy

Lisäsiipien terälevy on suunniteltu samanlaiseksi kuin alkuperäisessä nivelaurassa. Tämä ratkaisu mahdollistaa auran osien vaihtokelpoisuuden vaurioitilanteissa. Tuotteen osien samanlaisuus mahdollistaa niiden valmistamisen ja hitsaamisen hitsauskiinnittimissä, millä varmistetaan osien paikoillaan pysyminen. Terälevyn ja auransiiven väliin tulee kierrejousi. Kierrejousen tarkoitus on vaimentaa iskuja, jotka tulevat, kun törmätään auralla kiinteään esteeseen. Törmäystilanteessa terälevy myötää jousen ansiosta taaksepäin ja tämä mahdollistaa esteen ylittämisen. Terälevyn ainepaksuudeksi käytettiin 20 millimetrin Raex 400 –kulutusterästä. Tähän teräkseen päädyttiin koska alkuperäisessä nivelaurassa on käytetty samanlaista terästä ja se on vuosien käytössä osoittautunut kestäväksi.

Terälevyyn kiinnitetään verkkoterät, jotka on valmistettu kulutusteräksestä. Verkkoterät on mahdollista vaihtaa, kun ne ovat kuluneet käytössä loppuun. Tällä ratkaisulla estetään terälevyn kulumisen. Kuvasta 13 erottuu terälevyn rakenne. Terälevyyn liitetään hitsaamalla yksitoista osaa ja rakenteeseen hitsataan kaikkiaan noin kuusimetriä hitsiä. Terälevyn kokoonpano hitsaaminen tapahtuu hitsauskiinnittimessä jolla estetään rakenteen taipuminen johtuen lämpölaajenemisesta.

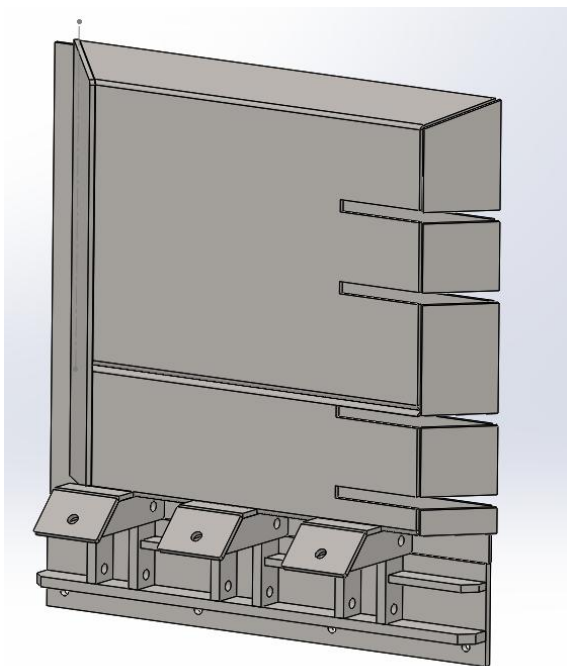


KUVA 13. Luonnos terälevynrakenteesta. Pekka Ryhänen 10.3.2014.

8.2 Perussiipi

Nivelauran lisäsiipi suunniteltiin valmistettavaksi rakenteeltaan samanlaiseksi kuin olemassa olevassa nivelaurassa. Auran koteloiden materiaalina on kahdeksan millimetrin S355-rakenneteräs. Kotelora-

kenteella haettiin rakenteeseen kestävyttä. Rakenteen toimivuus on havaittu hyväksi vanhan auran vuosia kestäneessä käytössä. Kuvassa 14 erottuvat koteloihin valmistetut kolot, joihin nivelauran saranat asennetaan ja liitetään hitsaamalla. Perussiipeen liitetään hitsaamalla kierrejousien kannakkeet. Kierrejousien kannakkeet on valmistettu S355-rakenneteräksestä ja niiden ainepaksuus on 15 millimetriä. Perussiivessä on 21 koneenosaa, jotka liitetään hitsaamalla. Hitsiä perussiivessä on noin 10,5 metriä.



KUVA 14. Luonnos terälevyn sovittamisesta auransiipeen. Pekka Ryhänen 11.3.2014.

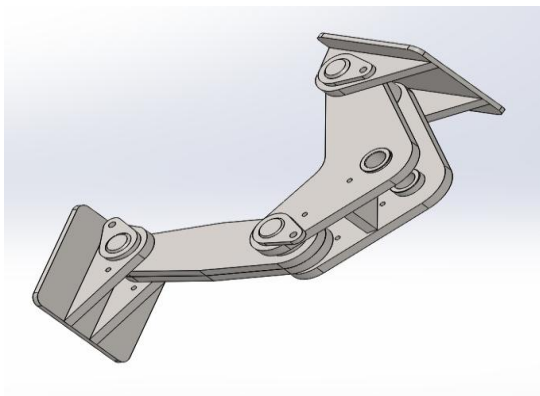
Terälevy kiinnitetään auransiipiin 20 millimetrin M8.8-pulteilla. Pultteja laitetaan kokoonpanovaiheessa kuusi kappaletta kuhunkin terälevyyn. Pulttiliitos toimii rakenteessa saranana, jonka vuoksi liitos täytyy jättää hieman löysäile, jotta saranointi voi toimia. Kuvassa 15 erottuu jousituksen rakenne.



KUVA 15. Rakennekuva terälevyn ja perussiiven liitoksesta. Pekka Ryhänen 10.6.2014.

8.3 Laajakulmanivel

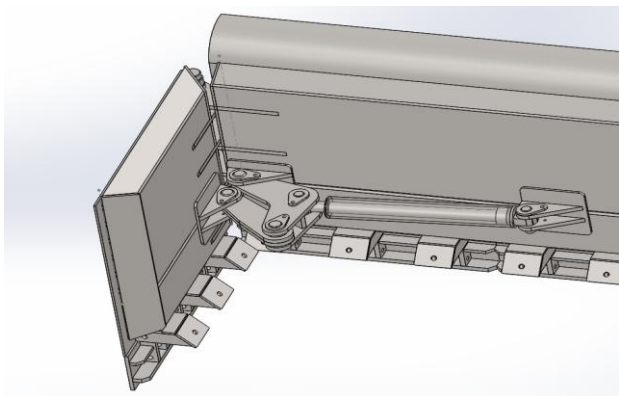
Hydraulisessa lisäsiivillä varustetussa nivelaurassa on kolme saranakohtaa, joista auran leveyttä ja auruussuuntaa voidaan säätää. Auran keskinivelellä säädetään auran pääsiipiä, josta pääsiivet liikkuvat eteenpäin ja taaksepäin. Siipien kääntökulma on 90 astetta. Lisäsiipien kääntökulman täytyy olla 180 astetta. Tämä ratkaisu vaatii nivelen, johon sylinteri kiinnitetään. Nivelen ansiosta saadaan tarpeeksi suuri liikevara lisäsiivelle, jolloin sitä voidaan säätää sekä eteen- että taaksepäin 90 astetta. Laajakulmanivelen osien paksuuksissa pyrittiin varmistamaan rakenteen kestävyys. Osien paksuudet suunniteltiin valmistettavaksi 20 millimetrin rakenneteräksestä S355. Kuvassa 16 erottuu nivelen rakenne jonka osat on suunniteltu valmistettavaksi laserleikkeistä.



KUVA 16. Laajakulmanivelen periaateluonnos. Pekka Ryhänen 11.3.2014.

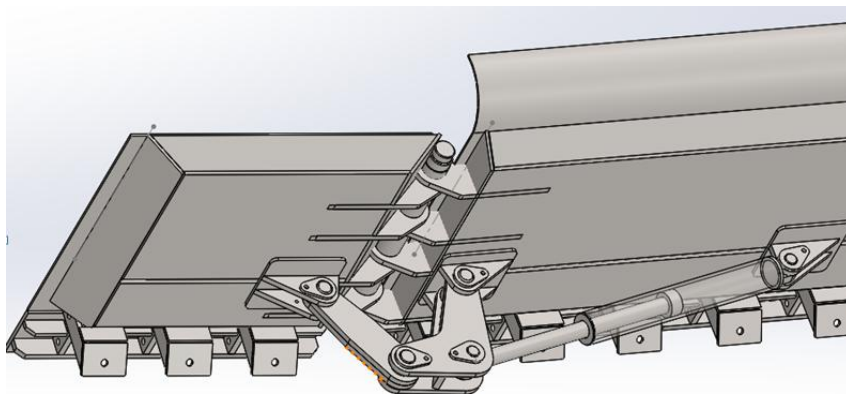
Laajakulmaniveleen kohdistuu suuria voimia auran törmätessä kiinteään esteeseen, esimerkiksi kairon kanteen. Nivelen sylinterin turvana on hydraulikkalohkossa paineventtiili, jossa oleva jousikuormitteinen venttiili mahdollistaa hydraulipaineen pääsemisen paineakkuun. Kuormituksen vähentyessä paineakku päästää hydraulipaineen takaisin sylinteriin.

Tällaisen nivelen suunnittelussa on suurena apuna 3D-piirustusohjelmisto. 3D-ohjelmistoa apuna käyttämällä pystyi mitoittamaan sopivat liikeradat nivelelle. 3D-ohjelmistolla on myös mahdollista tarkastella rakenteita, jotta koneenosat mahtuvat toimimaan suunnitellulla tavalla. Nivelauralla ahtaita paikkoja auratessa lisäsiipeä joudutaan kääntämään 90 astetta taaksepäin. Kuvassa 17 nivel on ahtaimmillaan siiven ollessa käännettynä kokonaan taaksepäin. Hydraulisyliinteri on kuvassa painunut lyhimmilleen lisäsiiven ollessa käännettynä taaksepäin.



KUVA 17. Lisäsiipi käännettynä taaksepäin. Pekka Ryhänen 11.3.2014.

Nivelauran ollessa leveämmillään kuudessa metrissä, sylinteri on työntänyt laajakulmaniveltä ulospäin ja siipi on samassa suunnassa pääsiiven kanssa. Kuvassa 18 lisäsiipi on käännettynä suoraan nivelauran siiven kanssa: tällöin nivelauran hyötyleveydeksi tulee kuusi metriä.



KUVA 18. Lisäsiipi leveimmässä asennossa. Pekka Ryhänen 12.3.2014.

Nivelauran lisäsiivet antavat mahdollisuuden työskennellä auralla sen ollessa keräävässä asennossa. Tällöin nivelauralla on mahdollista kasata lunta suuriin kasoihin. Hydraulisyliinteri säätämällä uloimpaan asentoon lisäsiipi on kääntynyt kokonaan eteenpäin. Laajakulmanivel on kääntänyt kuvassa 19 lisäsiiven kokonaan eteenpäin keräävään asentoon.



KUVA 19. Lisäsiipi käännettynä eteenpäin. Valokuva Pekka Ryhänen 10.2.2015.

Lisäsiipien mallinnuksen jälkeen osista laadittiin konepiirustukset sekä kokoonpanokuvat Solid Work 3D -ohjelmistolla. Koneen osien piirtämisen jälkeen kilpailutettiin laserleikkeet sekä muut tarvittavat koneenosat. Seuraavaksi aloitettiin kokoonpano hitsaukset ja niiden valmistuttu suoritettiin auran kokoonpanotyö. Tämän jälkeen aura maalattiin sekä asennettiin huomiovalot ja varoitus teippaukset.

9 HYDRAULIIKKAASUUNNITTELU

Nivelauran liikkeiden hallintaa helpottaa paljon se että nykyaikaisissa pyöräkuormaajissa on valmiina monipuolinen hydrauliiikka, jolla vaikutetaan auran liikkeiden hallintaan. Pyöräkuormaajissa on yleensä lisähydrauliiikkaputkitus valmiiksi nostoaisoihin asennettuna. JCB 456 -pyöräkuormaajassa on valmiina kahdella putkituksella oleva lisähydrauliiikka tehtaalla asennettuna nostoaisoihin. Tämä on mahdollistanut hallita nivelauran kahta hydraulisynteriä. Lisäsiivillä varustettuun nivelauraan asennetaan neljä kappaletta hydraulisyntereitä. Neljän hydraulisynterin hallinta vaatii nivelauraan asennettavaksi sähköisen 6/2 -suuntaventtiilin, jolla kaikkia neljää synteriä voidaan hallita yksittäin.

9.1 Hydraulisynterit

Nivelauran liikkeitä hallitaan hydraulisyntereillä. Hydraulisynterit mahdollistavat auranleveyden säädettäväksi sopivaksi aurattavan alueen perusteella. Nivelauran lisäsiipiin valittiin samankokoisella männällä varustetut sekä saman paksuisella synterinvarrella olevat synterit, jollaiset on levitettävissä aurassa. Lisäsiipien syntereiden männähalkaisija on 80 millimetriä ja iskunpituus 650 millimetriä. Hydraulisynterin työntövoimaan vaikuttavat käytettävissä oleva hydraulipaine sekä synterin männän halkaisija. Synterin työntövoimien vertailemista varten valmistettiin Exceliin laskentataulukko 4. Taulukolla on mahdollisuus vertailla erikokoisia hydraulisyntereitä. Synterin iskunpituuden määrittelyssä käytimme Solid Works-suunnitteluohjelmistoa. Ohjelmistolla auran liikeratoja mallintamalla todensimme synterin iskunpituudeksi 650 millimetriä.

Taulukko 4. Hydraulisynterien työntövoimien vertailuun. Pekka Ryhänen 8.5.2015.

Hydraulisynterin työntövoimia

(Synterin työntövoimat lasketaan kaavalla)				
$\pi * r^2 * (\text{hydraulipaine kg/cm}^2)$		Hydraulipaine kg/cm ³		
		150	200	
Männähalkaisija mm	Männän pinta-ala cm ²	Synterin voima KG		
30	7,1	1060	1414	
40	12,6	1885	2513	
50	19,6	2945	3927	
60	28,3	4241	5655	
70	38,5	5773	7697	
80	50,3	7540	10053	
90	63,6	9543	12723	
100	78,5	11781	15708	

9.2 Sähköinen 6/2 -suuntaventtiili

Lumitöitä tehdään hyvin monimuotoisilla alueilla ja lumiauraa täytyy voida säädellä moniin erilaisiin kulmiin ja asentoihin lunta auratessa. Pyöräkuormaajan omalla hydrauliiikalla voidaan hallita nivelauran kahden hydraulisynterin liikkeitä. Lisäsiivillä varustettuun nivelauraan asennetaan neljä sylin-

teriä, joita jokaista täytyy pystyä hallitsemaan erikseen. Asentamalla pyöräkuormaajan hydraulilinjaan kuvassa 20 erottuva sähköinen 6/2-suuntaventtiili, se mahdollistaa nivelauran kaikkien sylinterien liikkeitä.

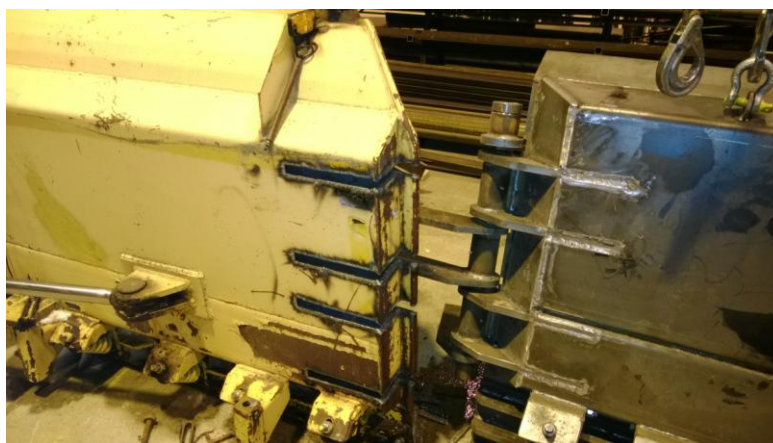


KUVA 20. Lisäsiipien sähköventtiili asennettuna. Valokuva Pekka Ryhänen 20.5.2015.

Sähköisestä 6/2-suuntaventtiilissä on törmäystilanteita varten paineventtiili, joka päästää hydraulipaineen paineakkuun. Paineakku mahdollistaa hydraulisynterinin joustamisen taaksepäin ja se säästää auran rakenteita törmäysenergioilta. Paineventtiilin säätö suoritettiin auraamalla lunta kasaan jotta vasten puskeamalla säädettiin sopiva jousto sylinterille.

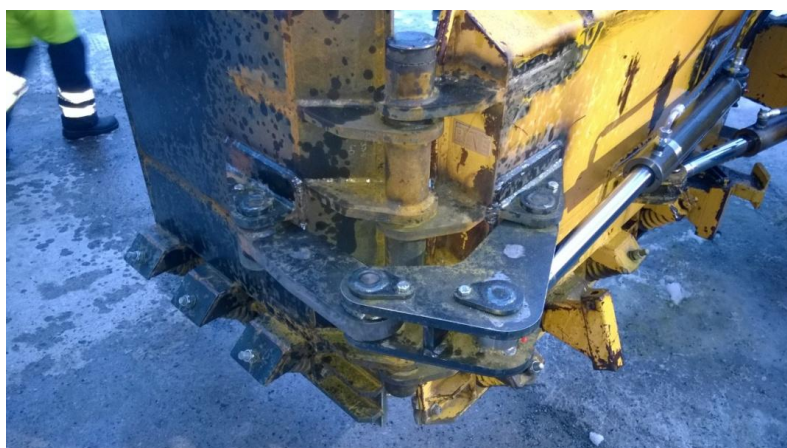
10 LISÄSIPIEN KIINNITTÄMINEN VANHAAN AURAAAN

Opinnäytetyön kohteena olevaan vanhaan nivelauraan kiinnitettiin uudet lisäsiivet MAG-hitsaamalla. Lisäsiipien asentaminen aloitettiin mitoittamalla nivelauran siipiin kolojen kohdat. Mitoituksen jälkeen nivelauran siipiin valmistettiin polttoleikkaamalla kolot. Rakennertkaisulla varmistettiin saranoiden hitsien riittävyys sekä rakenteen kestävyys auraustyössä. Kolojen polttoleikkaamisen jälkeen lisäsiipien saranalevyt kohdistettiin koloihin ja liitokset hitsattiin kiinni a6-pienahitseillä. Kuvassa 21 nivelauran siipien polttoleikkattuihin koloihin ollaan sovittamassa lisäsiipiä. Lisäsiipien koteloihin saranat oli hitsattu paikoilleen jo niiden kokoonpanovaiheessa.



KUVA 21. Lisäsiipien kiinnittäminen vanhaan auraan. Valokuva Pekka Ryhänen 20.4.2014.

Lisäsiipien saranoiden kestävyuden varmistettiin käyttämällä saranalevyissä kahdenkymmenen millimetrin ainepaksuutta. Siipien sovittamisen jälkeen kiinnitimme laajakulmanivelen hitsaamalla pienellä hitsisaumalla kiinni ja liikeratojen testaamisen jälkeen se liitettiin kuvassa 22 näkyvillä a8-pienahitsillä kiinni.



KUVA 22. Laajakulmanivel kiinnitettynä. Valokuva Pekka Ryhänen 10.5.2014.

Kokoonpanon seuraavassa vaiheessa laajakulmanivelen ja nivelauran siiven välille asennettiin hydraulisylinteri. Hydraulisylinterien kiinnittämisessä käytettiin samanlaisia kiinnityslevyä 250 x 250 jollaisia käytettiin laajakulmanivelen kiinnittämisessä.

11 YHTEENVETO

Aloittaessani tekemään opinnäytetyön kirjallista osuutta käytännön työn jälkeen, ajattelin että hyvin suunniteltu on puoliksi tehty. Erehdyin totaalisesti. Ajatuksia ei tahtonut tulla millään paperille eikä rauhaa kuten myöskään aikaa tuntunut riittävän työn aloittamiseen. Mitä enemmän eri aihealueisiin tutustui sitä enemmän tuntui, ettei niistä tiennyt niin paljon kuin olisi pitänyt. Rajapintoja miettiessä päätin jättää CE- merkinnän sekä konedirektiivin opetteluun tuonemmaksi ja keskittyä opinnäytetyössä yleisesti tuotteistamiseen. Tuotekehitysprojektin aikana sain valmiiksi lisäsiivillä varustetun nivelauran, sen valmistamiseen tarvittavat konepiirustukset, valmistuskuvat sekä hitsausohjeita. Projekti on ollut työläs, opettavainen ja monessa mielessä todella kehittävä. Projektin suunnittelu ja valmistaminen samalla aikaa yrityksessäni mahdollisti sen, että valmistamisessa eteen tulevat suunnitteluvirheet tai valmistamisen kannalta muutettavat työvaiheet ja ideat pystyi saman tien muuttamaan suunnitelmiin ja konepiirustuksiin. Pitkästä metallialan kokemuksesta oli paljon hyötyä miettiessä rakenneratkaisuja sekä valmistustapoja.

Tämän insinöörityön yhtenä tarkoituksena oli saada yritykselleni referenssikohde. Opinnäytetyöllä voidaan näyttää yrityksen mahdollisuudet kehittää, suunnitella sekä tarvittaessa valmistaa prototyyppisiä tai yksittäistuotteita. Yritykselläni on mahdollisuus tarvittaessa tuotteistaa idea valmiiksi tuotteeksi. Insinöörityöhön kuului tuotteen suunnittelu sekä valmistus asiakkaalle. Insinöörityössä oli paljon Solid Worksin 3D-suunnitteluohjelman käyttöä, mikä oli minulle erittäin mieleinen ja hyödyllinen asia oppia. Se laajentaa tulevaisuudessa yritykseni työnkuva suunnittelun ja tuotekehityksen suuntaan. Insinöörikoulutuksen aikana siirryin pahvi- sekä ruutupaperimalleista 3D – ohjelmistojen aikaan sekä matemaattiset kurssit mahdollistivat suorittamaan lujuus- ja kannattavuuslaskelmia. Koulun aikana suoritettut eri projektit opettivat kirjottamisprosesseissa sekä projektin hallinnointia.

Mielestäni onnistuin tuotekehitysprojektissa suunnittelemaan ja valmistamaan käyttökelpoiset ja kestävät lisäsiivet nivelauraan erittäin hyvin ja joihin asiakas on ollut erittäin tyytyväinen. Lisäsiivet ovat nopeuttaneet ja helpottaneet lumentöitä merkittävästi I tehdasalueella.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINESTOT

AIRILA, Mauri 2003. Koneen osien suunnittelu. Porvoo: WS Bookwell OY.

HIETIKKO, Esa 2009. Solid Works-tietokoneavusteinen suunnittelu. 3. painos. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

HT-LASER Oy 2015. Laserleikkaus. [verkkajulkaisu][viitattu 26.5.2015]. Saatavissa: <http://www.htlaser.fi/fi/menetelmat/leikkausmenetelmat/laser>

JOKINEN, Tapani 1987. Tuotekehitys. 6. painos. Helsinki: Hakapaino Oy

KOIVISTO, Kaarlo, LAITINEN, Esko, NIINIMÄKI, Matti, TIAINEN, Tuomo, TIILIKKA, Pentti ja TUOMIKOSKI, Juhon 2010. Konetekniikan Materiaalioppi. 12.–13. painos. Helsinki: Edita Prima OY.

LEPOLA, Pertti, MAKKONEN, Matti 2009. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet.4. painos. Helsinki: WSOYpro Oy

PARANTAINEN, Jari 2014. Tuotteistaminen. Viro: Talentum media Oy.

PERE, Aimo 2009. Koneenpiirustus1&2. 9. painos. Espoo: Kirpe OY

RUUKKI Oy 2015. nivelauran lisäsiipien valmistusmateriaalit.[verkkajulkaisu][viitattu 26.5.2015]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Teras/Kuumavalssatut-terakset/Rakenneterakset/Laser-Plus-rakenneterakset>

RUUKKI Oy 2015a Hitsausliitoksen mitoitus ja suunnittelu. [verkkajulkaisu][viitattu 28.5.2015]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Kuumavalssatut%20-%20kasittelyohjeet/Ruukki-Kuumavalssatut-terakset-Hitsaus-Yleistietoa.pdf>

VÄLIMAA, Veikko, Kankkunen, Martti, Lagerroos, Olle ja Lehtinen, Markku 1994. Tuotekehitys. Helsinki: Painatuskeskus Oy

Yritys Suomi www-sivu [viitattu 7.5.2015]. Saatavissa: www.yrityssuomi.fi/idean-tuotteistaminen

LIITE 1. TERÄSTEN HIILIEKVIVALENTTI

Taulukko 4. Terästen hiiliekvivalenttiarvot, $CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$

	Hiiliekvivalentti CEV												
	Keskimäärin				Enintään								
	Levyn paksuus mm				Levyn paksuus mm								
	≥2 ≤13	≥5 ≤20	>20 ≤40	>40 ≤150	≥2 ≤13	≤40	≥5 ≤20	≥5 ≤16	>16 ≤40	>20 ≤40	>40 ≤150	≤63	>63 ≤100
Levy- ja nauhatuotteet													
EN 10025-2 S235JR, S235J2							0,35					0,38	
EN 10025 2 S355J2, S355K2							0,47					0,47	
EN 10025-3 S355N, S355 NL												0,43	0,45
EN 10025-3 S420N, S420NL												0,48	0,50
Nauhatuotteet													
Multisteel		0,40				0,43							
Ruukki Laser® 250 C					0,24								
Ruukki Laser® 355 MC					0,24								
Ruukki Laser® 420 MC					0,28								
Optim® 500 MC	0,32				0,36								
Optim® 550 MC	0,33				0,38								
Optim® 600 MC	0,40				0,41 ¹⁾								
Optim® 650 MC	0,35				0,41								
Optim® 700 MC	0,37				0,41								
Optim® 900 QC	0,52				0,56								
Optim® 960 QC	0,52				0,56								
Optim® 1100 QC	0,50				0,55								
Optim 550 W	0,28				0,32								
Optim® 960 W	0,51				0,58								
Levytuotteet													
Ruukki Laser® 250 C					0,30								
Ruukki Laser® 355 MC					0,34								
Ruukki Laser® 420 MC					0,38								
Multisteel		0,39	0,41	0,43			0,41			0,43	0,45		
Multisteel N		0,39	0,41	0,43			0,41			0,43	0,45		
EN 10025-4 S355 ML								0,39	0,39				
EN 10025-4 S420 ML								0,43	0,45				
EN 10025-4 S460 ML								0,45	0,46				
Optim® 500 ML	0,41				0,43								
Optim® 700 QL	Keskimäärin 0,40 (6–12mm); 0,50 (12)–35mm; 0,56 (35)–40mm ja 0,58 (40)–60mm.												

¹⁾ Paksuusalueella 2,2 – 4,6 mm CEV ≤ 0,45.

Karkaistujen kulutusterästen tyyppillinen CEV-alue on: Raex 400: 0,42 – 0,56, Raex 450: 0,47 – 0,57 ja Raex 500: 0,54 – 0,57.

Karkaistavien booriterästen tyyppilliset CEV-arvot ovat koko paksuusalueella: B 135 ja B 24: 0,51 sekä B 27: 0,54.