

**KANTOHARVESTERIN UUDELLEENSUUNNITTELU**  
Materiaalin vaihto

Holopainen Martti

Opinnäytetyö  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Konetekniikka  
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikan ja liikenteen ala  
Konetekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Martti Holopainen	<b>Vuosi</b>	2018
<b>Ohjaaja</b>	Ins. (YAMK) Marko Koskimäki		
<b>Toimeksiantaja</b>	Tervolan konepaja		
<b>Työn nimi</b>	Kantoharvesterin uudelleen suunnittelu		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	34 + 1		

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin osana Tervolan konepajan tuotekehitystä. Opinnäytetyön tavoitteena oli uudelleen suunnitella kantoharvesteri KHM-125 ja lisätä siihen laajakulmanivel voimanvälitykseen. Tavoitteena on myös materiaalin päivittäminen S355-luokasta S700-lujuusluokan teräkseen. Massan säästön tavoitteeksi asetettiin 20 % opinnäytetyön aloituspalaverissa.

Työn tekemistä varten täytyi tutustua kantoharvesterien toimintaan ja käytettävien materiaalien ominaisuuksiin. Tarvittava tietopohja löytyi alan kirjallisuudesta, internetlähteistä sekä asiantuntijoilta. Kyseisen tietopohjan avulla tuotteen rakenne voitiin suunnitella kevyemmäksi kuin alkuperäinen.

Tämän raportin lisäksi opinnäytetyön tulokseksi saatiin uudelleensuunnittelun kantoharvesterin 3D-malli sekä useita FEM-analyysejä. 3D-mallin mitoituksia ja FEM-analyyseissä käytettyjä kuormitusarvoja ei avata työn luottamuksellisuudesta johtuen.

Opinnäytetyön tekemisen myötä toimeksiantaja sai 40 % keventyneen kantoharvesterin 3D-mallin. FEM-analyysien pohjalta todettiin uudelleensuunnittelun onnistuneen, sillä tuote täytti sille asetetut vaatimukset.

Avainsanat

tuotekehitys, optimointi, lujuustarkastelu, kantoharvesteri

Technology, Communication and Transport  
Mechanical and Production Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Martti Holopainen	<b>Year</b>	2018
<b>Supervisor</b>	Marko Koskimäki, M.Eng.		
<b>Commissioned by</b>	Tervolan Konepaja		
<b>Subject of thesis</b>	Re-design of stump removal		
<b>Number of pages</b>	34 + 1		

---

The thesis made as part of the product development at Tervolan konepaja. The target of this thesis was to re-design the stump removal KHM-125 and add on it a wide-angle joint on power transmission. Another target was to change the material from the S355 class to the S700 class steel. At start meeting of this thesis, the target was to save 20 % of the mass.

It was necessary to learn about the function of the stump removal and the features of material to write this thesis. The needed knowledge was found in books, internet resources and from experts. With this knowledge, it was possible to re-design the structure of the stump removal lighter than the original one.

In addition to this report, the results of the thesis were the re-designed stump-removal 3D model and several FEM analyses. The thesis does not include the exact measures of 3D model and load of the FEM analyses due to confidentiality.

Along with the thesis, the client, gets a 40 % lighter 3D model of the stump removal. On the basis of the FEM analyses it can be stated that the re-design succeeded, because the product meet the requirements that was set for it.

**Key words** product development, optimizing, strength calculations, stump removal

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 TERVOLAN KONEPAJA.....	7
3 KANTOHARVESTERI .....	8
3.1 Käyttö ja hyödyt.....	10
3.2 Historia ja kehitys .....	11
4 UUDET OSAT .....	17
4.1 Valmistettavuus .....	19
4.2 Murtopultin paikka .....	19
5 RUNKO.....	20
6 MATERIAALI .....	24
6.1 Rakenteen optimointi ja keventäminen .....	24
6.2 Valmistettavuus ja hitsaukset.....	26
7 KANTOHARVESTERIN OMINAISUUKSIEN MUUTOKSET .....	28
7.1 Painon muutokset.....	28
7.2 Kestävyys .....	29
8 YMPÄRISTÖHYÖDYT .....	31
9 POHDINTA .....	32
LÄHTEET .....	33
LIITTEET.....	34

## ALKUSANAT

Sain tämän mielenkiintoisen ja monipuolisen opinnäytetyön aiheen Tervolan Konepajalta. Opinnäytetyön tekemisen myötä opin paljon lujuuksista, lujuustarkastelusta ja FEM-analyysin tekemisestä.

Haluan kiittää tämän opinnäytetyön aiheesta Tervolan Konepajaa ja sen edustajia. Lisäksi tahdon kiittää ohjaajaani Marko Koskimäkeä ja muita opinnäytetyöprosessissani mukana olleita.

Torniossa 9.12.2018

Martti Holopainen

## 1 JOHDANTO

Kantoharvesterin uudelleensuunnittelu ja materiaalin päivittäminen ovat haastavaa työtä. Haastavuuteen vaikuttaa monet tekijät, kuten suuret kuormitukset, keveysvaatimukset ja saatavilla olevan teorian tiedon määrä. Kuten koneet yleensä, myös kantoharvesteri koostuu useista osista. Tällöin keventämällä yhtä osaa sen vaikutus näkyy koko kokoonpanossa.

Työn lopputuloksena on tarkoitus saada vähintään 20 % keventynyt kantoharvesteri KHM-125-rungon 3D-malli. Uudelleen suunnittelun pohjana on eri materiaali. Uutena materiaalina käytetään S700MC-terästä. Rungon uudelleensuunnittelussa muotoilulla materiaali kohdistetaan sinne, missä sitä tarvitaan riittävän lujuuden ja keveyden saavuttamiseksi.

Opinnäytetyö rajattiin yhteen kantoharvesterimalliin ja siinä keskityttiin kantoharvesterin runko-osaan. Lujuustarkastelu ja rakenteen optimointi päivitettyllä materiaalilla valikoitui opinnäytetyön aiheeksi, tuotekehitystä kohtaan olevan kiinnostuksen johdosta.

## 2 TERVOLAN KONEPAJA

Tervolan konepaja on suomalainen, Tervolassa toimiva, konepajatoimintaan keskittynyt yritys. Yritys valmistaa tuotteita teollisuuteen. Lisäksi se huoltaa sekä korjaa asiakkaidensa nykyistä kalustoa. Toiminnan pääpainona on huolto ja korjauspalvelut. (Tervolan konepaja 2018a.)

Pallarin suvun konekorjauksen voidaan sanoa alkaneen jo 1920-luvulta, kun nykyisen toimitusjohtajan Olli Pallarin isän isoisä Olli Pallari omisti toisen Lapin läänin traktoreista. 1970-luvulla Ollin poika Pauli Pallari lopetti karjan pidon kokonaan ja aloitti Konekorjaamo P. Pallarin liiketoiminnan Tervolan Lapinniemen kylässä, tyhjilleen jääneessä navetassaan. (Tervolan konepaja 2018a.)

Vuonna 1975 P. Pallarin Konekorjaamo vaihtoi nimensä Tervolan Konepajaksi. 1990 vuonna yritykselle valmistui uusi halli nykyiselle toimipaikalle ja toiminta siirtyi vanhan navetan tiloista täysimääräisesti uuteen halliin. 1999 vuonna laajennettiin ja yritykselle valmistui toinen halli edellisen lisäksi. (Tervolan konepaja 2018a.)

Asiakaskunta on muuttunut vuosien varrella siten, että se on siirtynyt omalta kylältä ympäri maailmaa. Tärkeimpinä asiakasryhminä nykypäivänä ovat teollisuus, maansiirto- ja metsäkoneurakoitsijat. (Tervolan konepaja 2018a.)

Toimintaansa yritys on laajentanut vuosien varrella konekorjauksesta metallituotteiden suunnitteluun ja valmistukseen. Nykyinen toimitusjohtaja Olli Pallari aloitti yrityksen johtamisen vuonna 1987 ja on tällä hetkellä toiminut virassaan 31-vuotta. (Tervolan konepaja 2018a.)

Konekorjaus on työllistänyt Pallarin sukua jo viidessä sukupolvessa. Yritys on onnistunut vakiinnuttamaan asemansa vuosien varrella ja laajentamaan toimintaansa. Ulkomaan vienti on tärkeä osa toimintaa ja omista tuotteista tunnetuimpia ovat kannonkäsittelylaitteet, kuten kantoharvesterit ja kantoleikkurit. (Tervolan konepaja 2018a.)

### 3 KANTOHARVESTERI

Tuotteena kantoharvesteri (Kuvat 1 ja 4) ja kantohara (Kuva 2) ovat kumpikin yleisesti käytettyjä kantojen irrottamisessa. Niiden toiminnassa on yksi ratkaiseva ero. Kantoharvesteri pilkkoo kannon ja kantohara vain irrottaa sen. Kantoharvesterin käytöllä saavutetaan muutamia etuja kantoharaan verrattuna. Etuna ovat pienemmät kannon palat, joten kuljettamista varten ne asettuvat tiiviimmin, kuten kuvassa kolme näkyvässä kantokuormassa. Toisena etuna saadaan maa-aines irtomaan juurakosta. (Jouhiaho, Rieppo & Mutikainen 2010, 1-2.)



Kuva 1. Kantoharvesteri Pallari KHM-140 (Tervolan Konepaja Oy) ja kaivukone Hyundai 210 LC-7. (Jouhiaho, ym. 2010, 1.)





Kuva 2. Kantohara Väkevä (A. Hirvonen Oy) ja kaivukone Volvo EC 210B LC.  
(Jouhiaho, ym. 2010, 2.)



Kuva 3. Kantojen metsäkuljetusta Valmet 860 metsätraktorilla (Laitila 2010, 9.)



Kuva 4. Tervolan Konepaja Oy:n kantoharvesteri Pallari KHM-140 (Jouhiaho, ym. 2010, 2.)

### 3.1 Käyttö ja hyödyt

Kantoharvesterin päätehtävänä on kantojen pilkkominen ja maasta nostaminen. Pilkkomisen tavoitteena on juurien mukana nousevan maan määrään vähentäminen ja kannon irrottamisen helpottaminen. Puhtaammat kannot tarjoavat paremman raaka-aineen kantomurskeen valmistukseen. Mursketta voidaan käyttää esimerkiksi lämpölaitosten polttoaineena. (Jouhiaho, ym. 2010. s.1-2.) Kuvassa viisi kantojen murskaus käynnissä.

Kantojen kerääminen on lisääntynyt 2000-luvun alusta lähes joka vuosi. Kerääminen lisääntyi kiristyneiden ympäristösäädösten vuoksi ja lamakauden vuoksi kohonneen sähkön sekä öljyn hinnan takia. Kiristyneiden säännösten myötä kantoja ei saa polttaa tai haudata, kuten aikaisemmin. (Tervolan konepaja 2018a.)

Vuonna 2017 kantomurskeen käyttö lämpölaitoksilla tippui jyrkästi. Syynä käytön vähenemiseen on hyvin pyörivä metsäteollisuus, jonka sivuvirroista saadaan paljon poltettavaa. Osa syynä on myös halventunut tuontisähkö. (Skyttä 2017.)



Kuva 5. Vermeer HG6000-murskain (Kärhä, Mutikainen & Hautala 2010.)

Kantojen sisältämän suuren puumäärän vuoksi niiden kerääminen lisää suoraan hakkuun tuottavuutta. Keräämisen seurauksena uuden taimikon tuottavuus kasvaa paremman kasvualustan myötä. Yhdistämällä kantojen keräämiseen oksien ja latvusten keräys saadaan tuottavuutta nostettua lisää. (Pohjonen 2017.)

Kantojen poistamisen myötä taimet kasvavat nopeammin ja pysyvät hyvälaatuisina. Suurena etuna on vanhojen kantojen täysimääräisestä poistosta seuraava juurikäävän eli maannouseman riskin poistuminen uudelta taimikolta. Uudesta taimikosta tulee myös helppohoitoisempi risuttoman ja kannottoman pohjan vuoksi. (Pohjonen 2017.)

### 3.2 Historia ja kehitys

Vuonna 1973 valmistui ensimmäinen Pallarin kantoharvesteri. Laitteen kehitti Nykyisen toimitusjohtajan setä, Kyösti Pallari. Ensimmäinen malli oli massaltaan noin 600 kg. Kaivinkoneella käytettävä harvesteri kohtasi nopeasti kehittyvän tekniikan. Vanha tuote ei enää kestänyt uudempia ja voimakkaampia kaivinkoneita. Ratkaisuna kehitettiin järeämpiä kantoharvestereita. (Tervolan Konepaja 2018a.)



Tervolan konepajan pienimmän mallin massa on 800 kg ja isompien mallien massat ovat 1600-2000 kg. Pääasiallisena myyntialueena on toiminut Amerikka vuoteen 2001. Tämän jälkeen kantoharvestereita alettiin markkinoida myös Suomen markkinoilla. Amerikassa tuotteita käytettiin esimerkiksi punaekalyptuksen kantojen pilkkomiseen ja nostamiseen. Kuvassa 6 esillä kantoharvesteri pilkkomassa punaekalyptusta. (Tervolan Konepaja 2018b.)



Kuva 6. Kantoharvesteri ja punaekalyptus (Pietilä 2014.)

KH-160 malli kiinnitetään kiinteästi kaivinkoneen puomiin, rajoittaen koneen muuta käyttöä. Sen kita-avaumaksi ilmoitetaan 135 cm, joka on 25 cm enemmän kuin pienemmällä mallilla. Tuotteena se on suunnattu isoille kannoille, kuten pu-naekalyptuspuun kanto. Sitä on myyty vuodesta 1986 alkaen Yhdysvaltojen markkinoille. Vuonna 2001 aloitettiin myös kotimaassa markkinointi. (Tervolan Konepaja 2018b.) KH-160 on esillä kuvissa 7 ja 8.



Kuva 7. KH-160 ja kaivinkone (Tervolan konepaja 2018b.)



Kuva 8. KH-160 ja kanto (Tervolan konepaja 2018b.)



KHM-140 kantoharvesteri varustetaan konekohtaisilla pikakiinnikkeillä valmistusvaiheessa, joten esimerkiksi kauhaa voidaan käyttää samalla koneella edelleen. Vertaamalla kuvien 7 ja 9 kantoharvestereiden kiinnitystapoja kaivinkoneeseen huomataan kiinteän- ja pikakiinnikkeen-ero. Ominaisuuksiltaan KHM-140 malli on lähes KHM-125 mallin kaltainen, mutta on leveämpi ja korkeampi. (Tervolan konepaja 2018b.)



Kuva 9. KHM-140 kannon irrotuksessa (Tervolan konepaja 2018b.)

Vuonna 2009 esiteltiin KHM-100 malli. Erona vanhempiin järeisiin malleihin on rungon suojassa sijaitsevat sylinterit (Kuva 10). Massaa mallisarjan pienimmälle kertyy 800 kg. Kidan avauma on 70 cm. KHM-100 ei rajoita koneen käyttöä KH-160 tapaan pikakiinnikkeiden ansiosta. (Kuusjärvi 2010.)



Kuva 10. KHM-100 (Tervolan konepaja 2018b.)



Vuonna 2010 esiteltiin KHM-125 malli (Kuva 11). Se on pitkälti KHM-100 mallin kaltainen, mutta se on huomattavasti isompi. Tämän mallin kita aukeaa noin 110 cm. Massaa tuotteelle kertyy 1600 kg, eli kaksinkertaisesti KHM-100 malliin verrattuna. (Kuusjärvi 2010.)

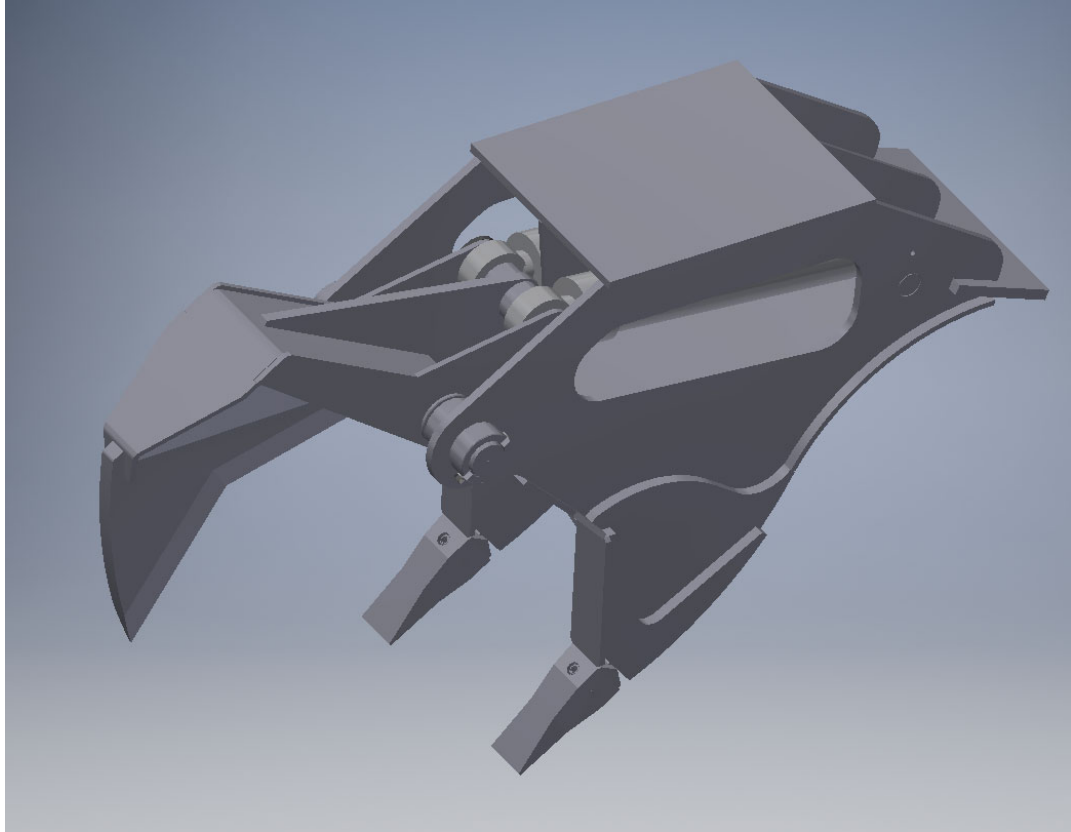


Kuva 11. Kantoharvesteri KHM-125 (Tervolan konepaja 2018b.)

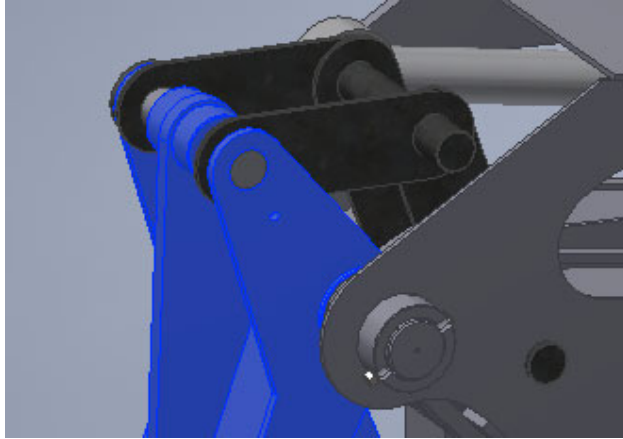


#### 4 UUDET OSAT

Tervolan konepajan toimeksiantona tuotteeseen KHM-125 lisättiin voiman välitykseen laajakulmanivel. Laajakulmanivel oli visioitu ja hahmoteltu alustavasti, joten tehtäväkseni jäi sen 3D-mallintaminen, mitoittaminen ja sijoittaminen kokoonpanoon. Laajakulmanivel on näkyvässä kuvassa 13 ja alkuperäinen malli kuvassa 12.

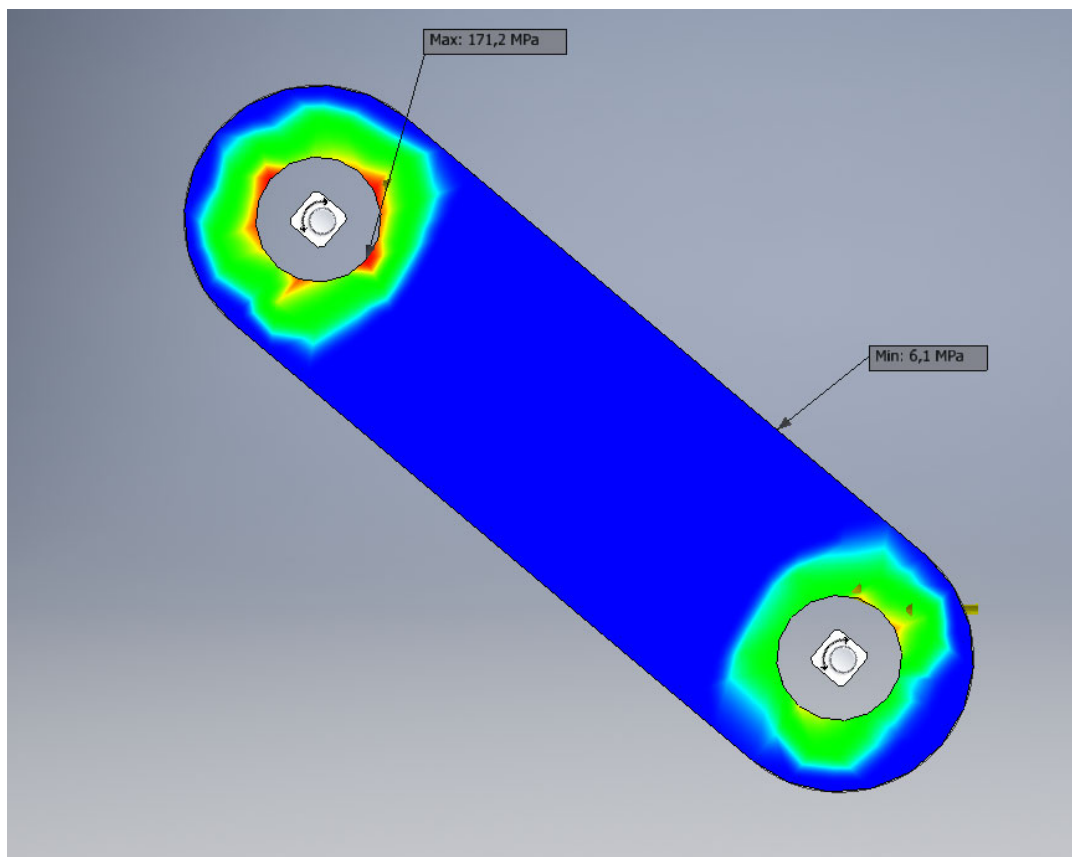


Kuva 12. Alkuperäinen KHM-125 malli



Kuva 13. KHM-125 laajakulmanivel

Laajakulmanivelen suunnittelussa laskettiin hydrauliiikan tuottama voima, joka kohdistuu niveleen. Lasketun voiman perusteella rakenne voidaan mitoittaa riittäväksi. Nivelen osien kestävyyttä tarkasteltiin Inventorin FEM-työkalulla ja todettiin osien olevan oikein mitoitettut. Kuvassa 14 nähdään laajakulmanivelen osa kuormitettuna ja siitä syntyvät jännitykset. FEM-työkalu skaalaa värin sinisen ja punaisen välillä. Punainen edustaa suurinta jännitystä ja sininen pienintä.



Kuva 14. Laajakulmanivelen osa, FEM-työkalun jännityssimulointi.

#### 4.1 Valmistettavuus

Laajakulmanivelen levyosat voidaan valmistaa kerralla valmiiksi, esimerkiksi vesileikkaamalla tai laserleikkaamalla. Vedellä leikatessa leikkauspinnalle ei synny lämpöä. Termistä muutosta ei synny kappaleeseen ja vältytään muutosvyöhykkeiltä. (Esab 2018.) Leikattavan osan reunat eivät karkaistu vesileikkauksessa. Esimerkiksi vesileikkauksella voidaan valmistaa hammaspyöriä kerralla valmiiksi. (Laserle 2018.)

Laserilla leikattaessa kappaleeseen tuodaan lämpöä ja lämpö aiheuttaa termisiä muutoksia kappaleessa. Leikkausreunat karkaistuvat ja materiaalin ominaisuudet muuttuvat leikkausreunan läheisyydessä. Sitä kutsutaan termiseksi muutosvyöhykkeeksi. (Esab 2018.)

Laser- ja vesileikkaus ovat huomattavasti tarkempia plasmaleikkaukseen verrattuna. Niiden väliltä valitsemisen suurin kysymys on mahdollisen termisen muutosvyöhykkeen haitta kappaleessa. Mikäli muutosvyöhykkeestä ei ole haittaa, tai se on vähäistä, niin laserleikkaus on yleisesti edullisempi. Mikäli muutosvyöhykettä ei haluta ollenkaan, tai rakenne ei sitä salli, vaihtoehdoksi jää vesileikkaus. (Esab 2018)

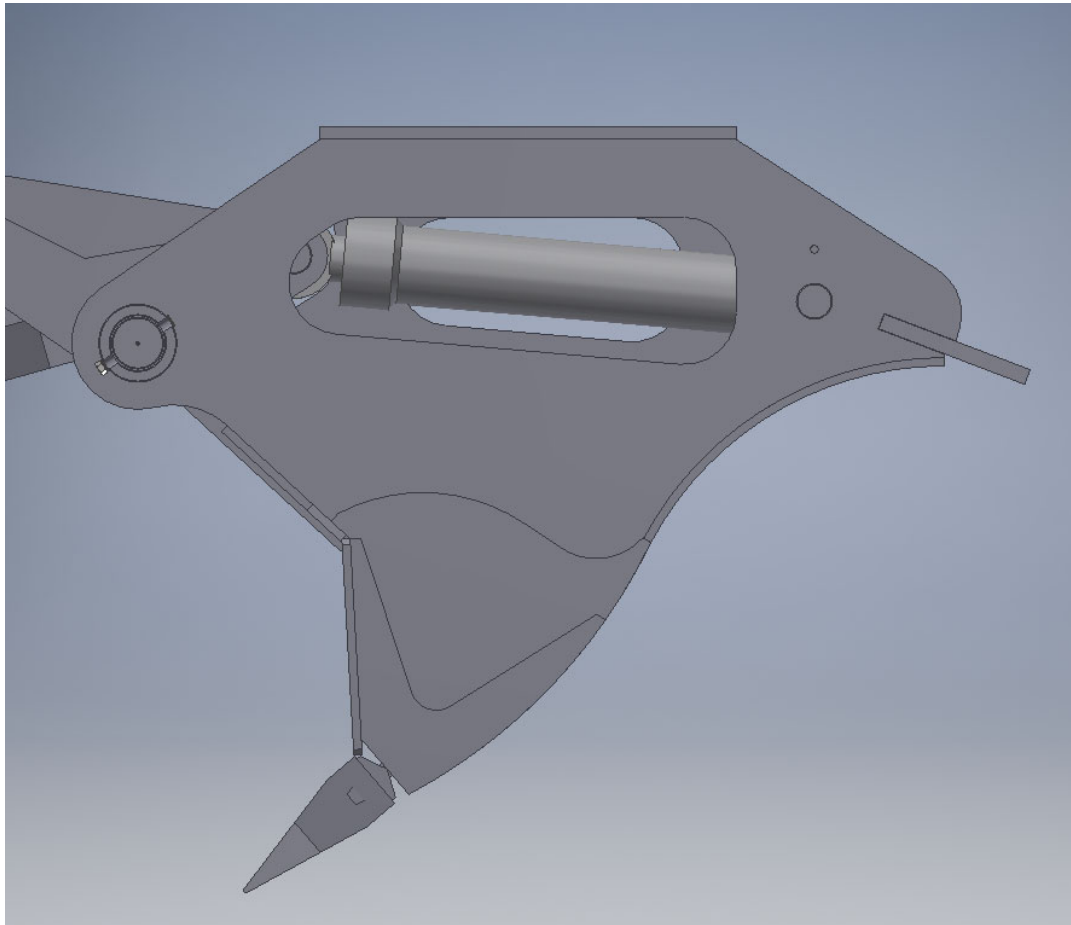
#### 4.2 Murtopultin paikka

Laitteen kestävyys kannalta huomioitiin mahdollinen ylikuormitustilanne. Ylikuormituksen yhteydessä on laitteen rikkoutumisen vaara olemassa. Vahinkojen minimoimiseksi määritellään osa, joka toimii niin sanottuna murtopulttina. Tuotteesta siis hajoaa ennalta määritetty osa ylikuormitustilanteessa. Tällaisessa tilanteessa vahingot rajautuvat murtopulttina toimivaan kohtaan.

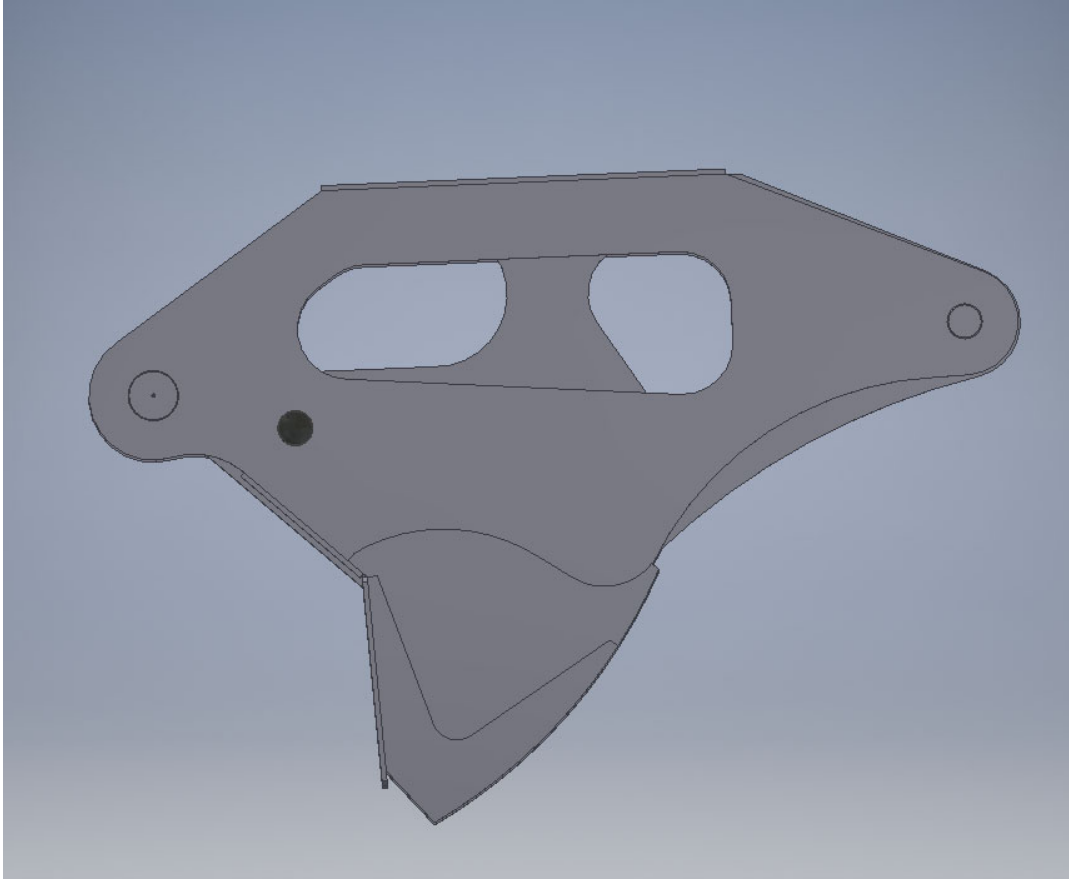
Murtopultin paikaksi määriteltiin hydraulikkasyylinterit ja laajakulmanivelen yhdistävä akseli. Murtopultti voidaan korvata myös paineanturilla ja ohitusventtiilillä. Toteutus tapahtuisi mittaamalla hydraulikan painetta ja painearvon ylittäessä raja-arvon aukeaisi ohitusventtiili. Liian suuria voimia ei pääsisi tällaisessa tilanteessa syntymään ja konetta ei tarvitsisi korjata. Henkilökohtaisesti suosittelen paineanturia ja ohitusventtiiliä.

## 5 RUNKO

Kantoharvesterin runko osa vaati muutoksia laajakulmanivelen lisäyksen myötä. Runkoa pidennettiin, koska hydraulikkasyntereiden kiinnitys korvakkeiden akselia täytyi siirtää noin 30 cm. Runkoa pystyttiin keventämään jatkamisesta huolimatta. Kuvissa 15 ja 16 nähdään alkuperäisen ja jatkettun runkolevyn sivuprofiili.

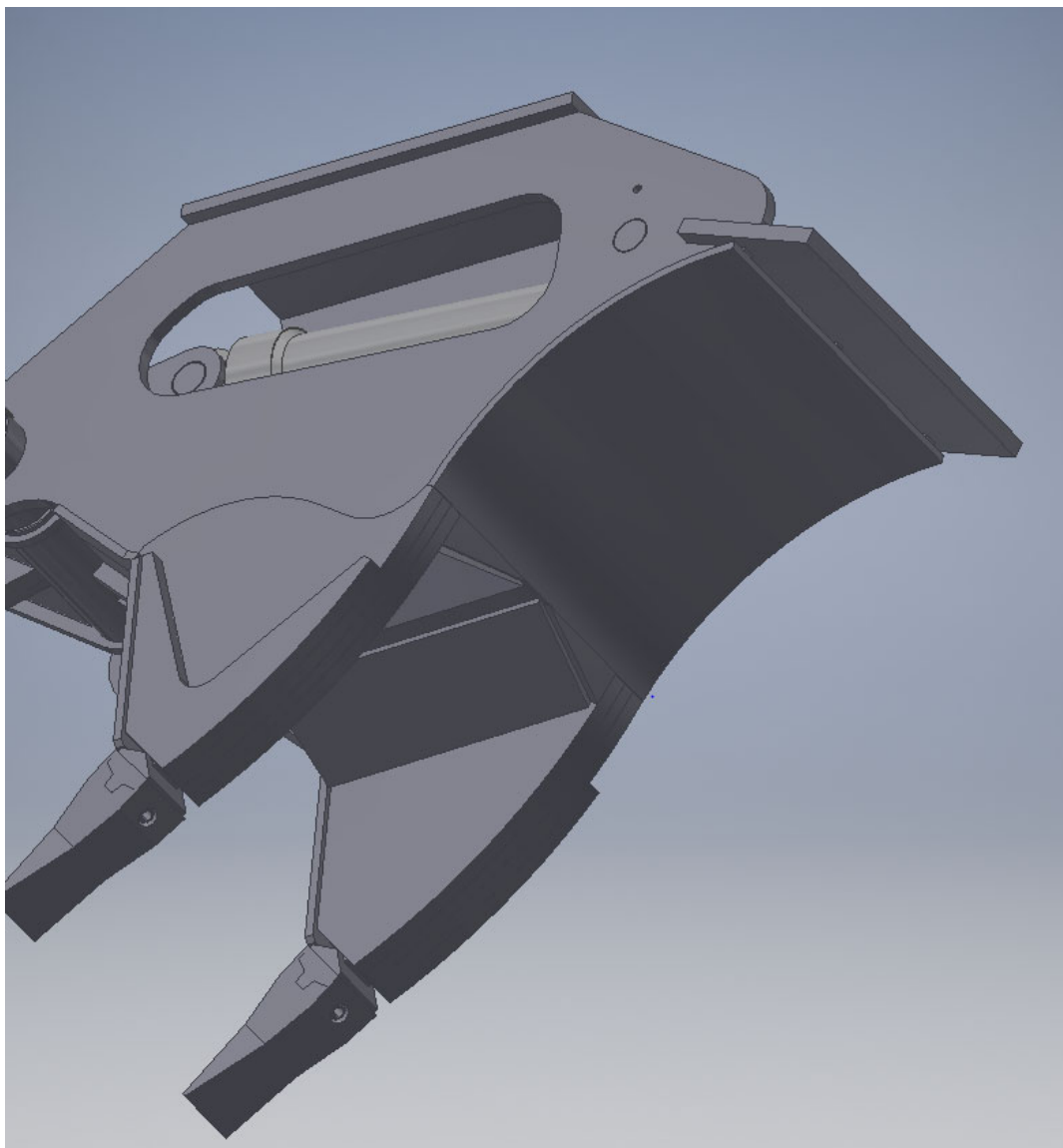


Kuva 15. Alkuperäinen runkolevy

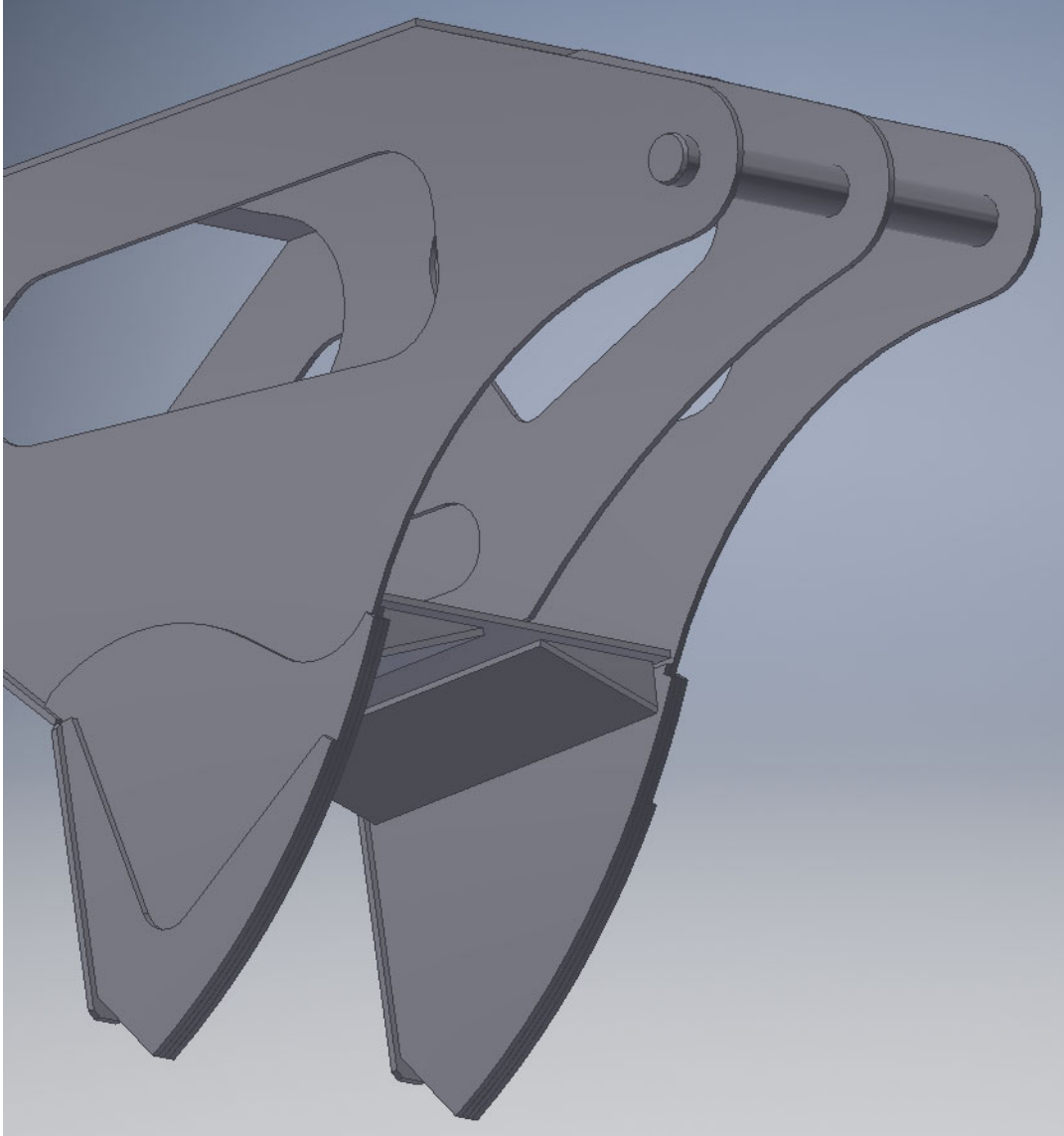


Kuva 16. Jatkettu runkolevy

Rungon materiaali vaihdettiin, jolloin sitä voitiin ohentaa ja muotoilua tarkastella uudelleen. Samalla rungosta poistettiin ylimääräiset jäykisteet ja mätätyslevy. Kuvissa 17 ja 18 nähdään materiaalivahvuuksien muuttuneen ja rakenteen muuttuneen avoimemmaksi.



Kuva 17. Kantoharvesteri mätästyslevyillä



Kuva 18. Kantoharvesteri ilman mätätyslevyjä

Rungon muutosten myötä kokoonpanon massa ja materiaalin menekki vähenivät huomattavasti. Kantoharvesterin rungon käsittely ja kokoaminen helpottuvat kevyempien osien johdosta.

## 6 MATERIAALI

Kantoharvesterin materiaalin vaihdos tehdään osana tuotekehitystä. Kehittyneen materiaalitekniikan ansiosta saatavilla on lujempia teräslaatuja. Kasvaneen lujuu- den myötä rakenteita voidaan keventää, kestävyuden pysyessä samana. Tuote- kehityksen yhteydessä vanha materiaali korvataan uudella.

Materiaalimuutoksen myötä alkuperäisen S355-lujuusluokan teräs korvataan SFS-EN 10149-2:2013 –standardin asettamat vaatimukset täyttävällä S700MC- teräksellä. (SSAB 2018.) Materiaalin parantuneiden ominaisuuksien johdosta al- kuperäiset osat voidaan uudelleen suunnitella ja lisätä halutut muutokset.

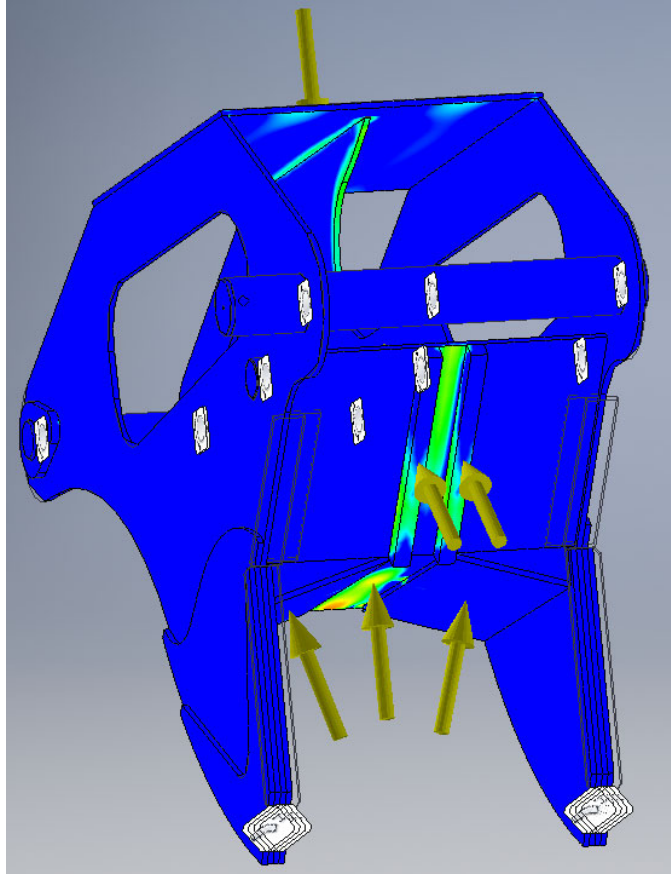
### 6.1 Rakenteen optimointi ja keventäminen

Uudelleen suunnitellun rakenteen sekä osien rakenteen optimoiminen painokriit- tisestä näkökulmasta vaatii perehtymistä lujuuksiin ja kappaleiden jännityksiin. Koko rakenteen tarkastelu erinäisissä kuormitustilanteissa on haasteellisin vaihe jännitystarkastelussa. Kantoharvesterin käyttötilanteesta ei ole tiedossa kaikkia kantoharvesteriin kohdistuvien voimien suuruutta.

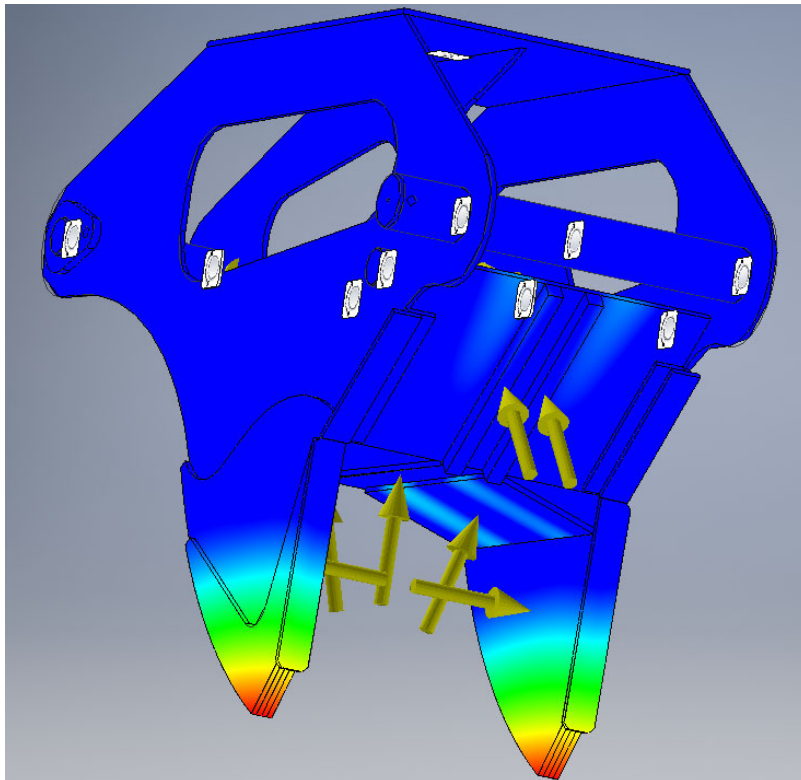
Uudistetun rakenteen suunnittelussa osa käytetyistä voimien arvoista on arvioita mahdollisista kuormitustilanteista. Arviot tehtiin yläkanttiin tuotteen kestävyuden varmistamiseksi. Rasittavista voimista kantoharvesterin hydraulisylintereiden tuottama voima pystytään laskemaan. Käyttäjän ja ympäristön aiheuttamia epä- säännöllisiä voimia ei voida määrittää tarkasti, vaan ne täytyy arvioida.

Kuvissa 20 ja 21 esitellään FEM-mallilla laskettuja erilaisia rasiitustilanteita ja nii- den aiheuttamia taipumia. Keltaiset nuolet osoittavat kuormituksen suunnan. Kuormitusten suuruutta ei avata työn luottamuksellisuudesta johtuen. Kuvassa 19 nähdään kokoonpanon eri kohtien varmuus, sininen on 15-kertainen varmuus ja vihreä pienempi ja punainen pienin.

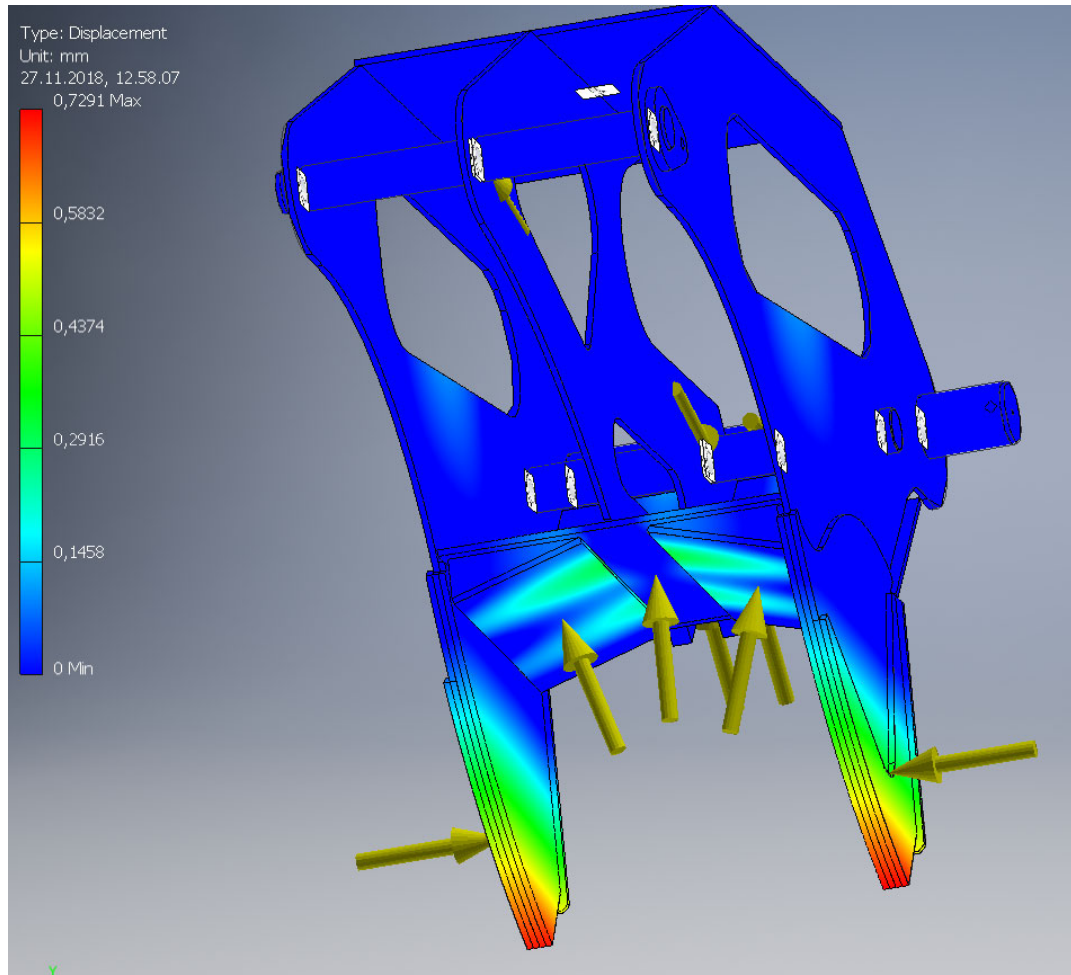




Kuva 19. Varmuuskerroin



Kuva 20. Taipuma



Kuva 21. Taipuma erisuuntaisella kuormituksella

Kuormitusten arvioinnissa huomioitiin seuraavia asioita: kaivurin puomin pituus, kaivurin kääntökehä, maaperä, kivet sekä käyttäjien työtavat. Arvioituja voimia arvioitiin asiantuntijoiden kesken ja niiden arvioidaan olevan realistisia laitteen suunniteltu käyttötarkoitus huomioiden (Liite 1). Materiaalin lujuusarvot laskentaa varten selvitettiin standardista EN 10149-2:2013.

## 6.2 Valmistettavuus ja hitsaukset

Suunnittelussa otettiin huomioon valmistettavuus. Uudet osat ovat huomattavasti kevyempiä, joten niiden käsittely on helpompaa. Tasavahvojen ainevahvuuksien vuoksi hitsaaminen helpottuu.

Kappaleiden esikuumennuksen tarve hitsausta varten riippuu teräksen (S700MC) hiilikvivalentista (Kuva 22). Taulukosta 1 voidaan katsoa muita esilämmityksen tarpeeseen vaikuttavia asioita. Taulukoita 1 ja 2 tarkastelemalla havaitaan, ettei esilämmitystä tarvita, kun käytetään S700MC-terästä alle 30 mm ainevahvuuksilla huoneenlämmössä. Kokoonpanossa on ainevahvuuksia välillä 30-45 mm, joten esilämmitystä suositellaan tehtäväksi lämpötilassa  $T=75\text{ °C}$ .

#### Hiilikvivalentti, CET (CEV)

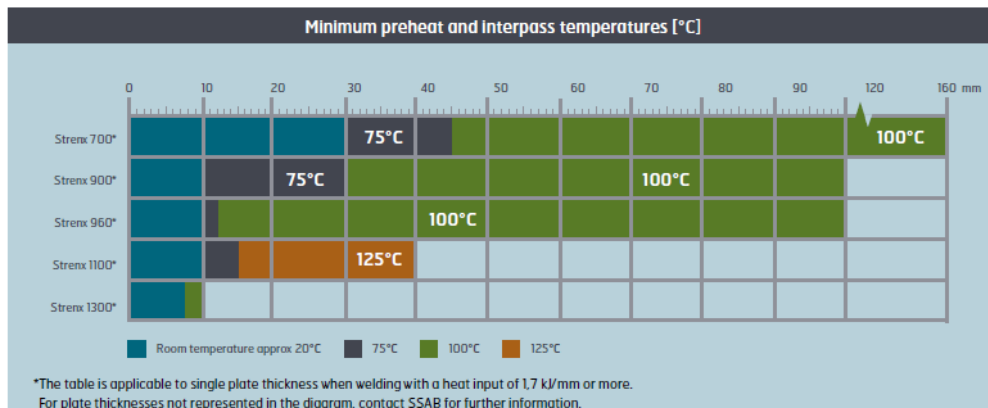
Paksuus (mm)	2 - 10
Typillinen CET(CEV)	0.25 (0.39)

Kuva 22. Hiilikvivalentti (SSAB 2018 a)

Taulukko 1. Esikuumennustarpeen määrittely hiilikvivalentin CEV avulla. (Kauppi 2018)

CEV:n arvo	Esikuumennus ja muita toimenpiteitä
<0.40	Hyvä hitsattavuus, esikuumennusta ei yleensä tarvita. Esikuumennusta saatetaan tarvita, jos ainespaksuus on suuri, jäykkyys on suuri, vetypitoisuus on korkea
0.40 - 0.50	Ohuet seinämäpaksuudet voidaan hitsata ilman esikuumennusta. Suuremmat aineenpaksuudet tarvitsevat esikuumennusta ja niukkavetyiset lisäaineet.
>0.50	Esikuumennus ja niukkavetyiset lisäaineet. Mahdollisesti vielä jälkilämpökäsittelynä (PWHT) vedynpoistohehkutus.

Taulukko 2. Esikuumennuksen tarve (SSAB 2018 b)



## 7 KANTOHARVESTERIN OMINAISUUKSIEN MUUTOKSET

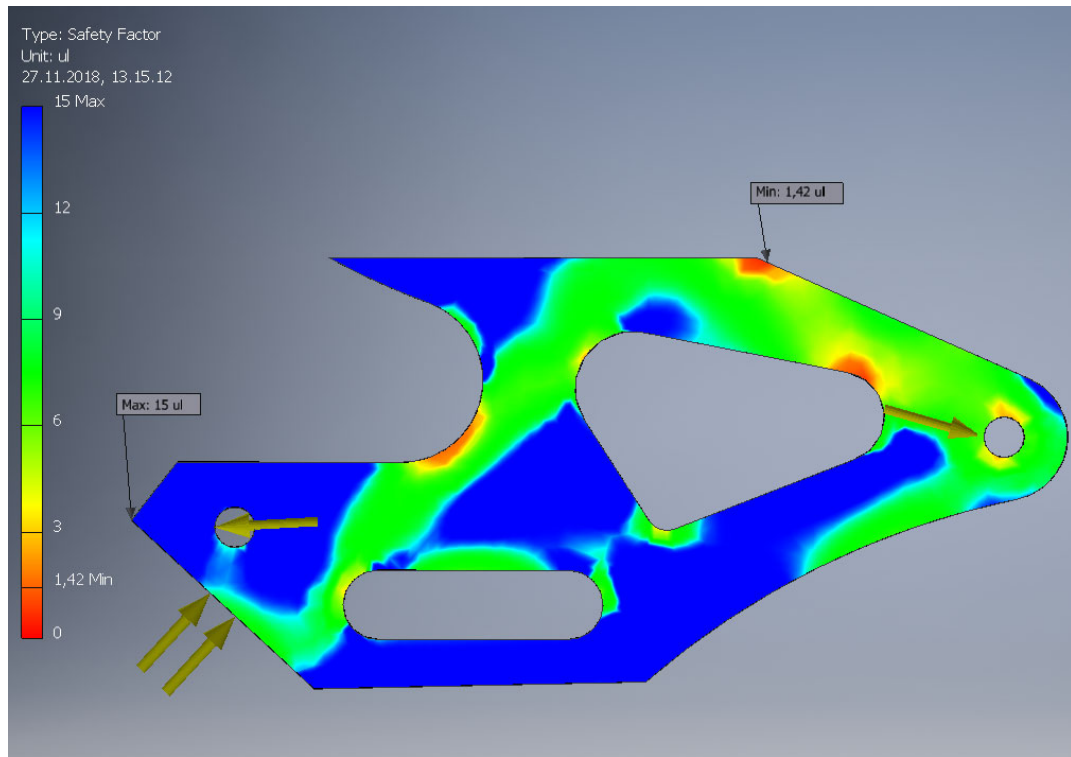
Tämän opinnäytetyön uudelleen suunnittelun myötä kantoharvesteri Khm-125 ominaisuudet muuttuivat nykyaikaisemmiksi. Sen massa pieneni huomattavasti uuden, huomattavasti lujemman materiaalin ansiosta. Lisäksi tuotteeseen lisättiin toimeksiantajan visioima lisäosa. Lisäosat esiteltiin luvussa 4.

### 7.1 Painon muutokset

Rungon keventyminen oli huomattavaa. Opinnäytetyön alussa asetettiin keventämistavoitteeksi koko kantoharvesterille noin 20 %. Keventäminen kohdistettiin tapahtuvaksi kantoharvesterin runko-osalle. Massan vähenemisen myötä osien käsiteltävyys helpottuu.

Runko-osa keveni verrattuna alkuperäiseen noin 685 kg. Tämä vastaa noin 42 % keventymistä koko kantoharvesterin osalta. Massaa lisäävä rakenne on laajakulmanivel, mutta sen tuoma massanlisä on vähäistä, noin 50 kg. Kokonais keventyminen on näin ollen 635 kg. Prosentuaalinen koko kantoharvesterin massan väheneminen on 40 %. Taulukossa 3 nähdään eriteltynä kappaleiden massat ja uudelleen suunnittelun vaikutus niihin.





Kuva 23. Uuden keskilevyn varmuus jakauma

FEM-työkalun ansiosta rakenteesta on mahdollista paikantaa heikoimmat kohdat. Tietämällä heikot kohdat voidaan niitä tarvittaessa vahvistaa. Vahvoista kohdista voidaan ottaa ylimääräistä materiaalia pois, mikäli niissä on liikaa materiaalia suhteessa kestävyys tarpeeseen.

## 8 YMPÄRISTÖHYÖDYT

Poistamalla kannot poistetaan hakkuuaukealta maannouseman riski ja taimille on tarjolla parempi kasvualusta. Tällaisella hyvällä kasvualustalla taimien hoito on helpompaa. Lisäksi saadaan laadukkaampia taimia, jotka kasvavat nopeammin. Nopeasti kasvava hyvälaatuinen metsä toimii hyvänä hiilinieluna ja sitoo hiilidioksidi päästöjä. (Pohjonen 2017.)

Laitteen keventämisellä säästettiin noin 630 kg terästä. Teräksen tarpeen vähentäminen pienentää tuotteen hiilijalanjälkeä huomattavasti. Myös massan pienentyminen vähentää välillisesti laitteen käytöstä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä ja esimerkiksi kaivinkoneen sekä siirtokaluston polttoaineen kulutusta. Pienemmän polttoaineen tarpeen myötä kantojen kerääminen tai keräyttäminen on kannattavampaa metsän omistajalle.

Kannot voitaisiin polttaa paikallisilla lämpölaitoksilla. Hyötyinä olisivat muun muassa lyhyemmät kuljetusmatkat ja uusiutuva polttoaine. Lyhyet kuljetusmatkat pienentäisivät kantomurskeen kuljetuskaluston polttoaineen tarvetta, eli välillisesti hiilidioksidipäästöt vähenisivät. Uudistetun kantoharvesterin käyttö olisi näin ollen ekoteko, joka vähentäisi kasvihuonekaasujen syntyä ja nopeuttaisi hiilinielujen uusiutumista.

## 9 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntyi noin 40 prosenttia kevyempi versio kantoharvesteri KHM-125 mallista. Työn tavoitteiden tavoitteeksi asetettiin 20 prosentin painon säästö. Lopputulos on siis vähintäänkin hyvä.

Opinnäytetyön aikana opin lisää lujuustarkastelusta, sekä materiaalien ominaisuuksista. Lisäksi 3D-mallinnustaidot kehittyivät ja FEM-analyysien teko tuli tuuksi työn edistyessä. Haasteita asettivat ristiriitaiset lähtötiedot, mutta niistä selvitettiin laskemalla itse todelliset arvot. Teoriatiedon saatavuus osoittautui haasteelliseksi, sillä materiaalivaihdokset ja tuotteiden keventäminen ovat pitkälti yritysten tuotekehitystä ja näin ollen salaista tietoa.

Jatkossa tuotetta voisi keventää entisestään, sillä opinnäytetyön resurssien puitteissa ei ollut järkevää hioa viimeisiä kiloja pois. Viimeisten kilojen poistaminen on haastavampaa ja vaatii huomattavasti enemmän tietämystä, sekä aikaa. Kantoharvesteri KHM-125 terä on entisellään, joten sen rungon materiaalin voisi vaihtaa tulevaisuudessa.

Tuotteesta olisi hyvä valmistaa prototyyppi. Sitä tulisi testata käytännön olosuhteissa toiminnan ja käyttöolosuhteiden keston varmistamiseksi. Materiaalin päivitystä ja rakenteen optimointia voisi laajentaa myös muihin toimeksiantajan tuotteisiin.



## LÄHTEET

Esab 2018. Mikä on teräslevyn paras leikkausmenetelmä. Viitattu 20.11.2018. <http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate.cfm>

Jouhiaho, A., Rieppo, K. & Mutikainen, A. 2010. TTS tutkimus. Viitattu 01.11.2018. <http://www.tts.fi/files/1350/meti738.pdf>

Kauppi, T. 2018. Julkaisematon tutkimus. Viitattu 30.11.2018

Kuusjärvi, J. 2010. Entistä kevyemmät ja tehokkaammat Pallari-kantoharvesterit. Viitattu 03.11.2018. <https://www.koneporssi.com/uutiset/entista-kevyemmat-ja-tehokkaammat-pallari-kantoharvesterit/>

Kärhä, K., Mutikainen, A. & Hautala, A. 2010. Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa. Viitattu 30.10.2018. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja\\_2010\\_15\\_Vermeer\\_HG6000\\_terminaalihaketuksessa\\_kk\\_am\\_ah.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2010_15_Vermeer_HG6000_terminaalihaketuksessa_kk_am_ah.pdf)

Laitila, J. 2010. Kantojen korjuun tuottavuus. Viitattu 02.11.2018 <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp150.pdf>

Laserle 2018. Vesileikkaus. Viitattu 20.11.2018. <https://www.laserle.fi/vesileikkaus/>

Pietilä, A. 2014. Red Eucalyptus stumps lifted in Brazil. Viitattu 23.11.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=PMPJTvM9hgY>

Pohjonen, V. 2017. Kannot kaskesta. Viitattu 23.11.2018. <https://www.koillissanomat.fi/mielipidekolumnit/kannot-kaskesta-6.229.200657.22586d9def>

Skyttä, V. 2017. Kannonnostovillitys jäi lyhyeksi. Viitattu 19.11.2018. <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/kannonnostovillitys-jai-lyhyeksi/>

Ssab 2018a. Strenx 700 Mc. Viitattu 21.11.2018. <https://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/strenx/tuotteet/strenx-700-mc>

Ssab 2018b. Welding of strenx. Viitattu 21.11.2018

Tervolan konepaja Oy 2018a. Arkisto. Viitattu 25.10.2018.

Tervolan konepaja Oy 2018b. Tuotteet. Viitattu 27.10.2018. <http://www.tervolan-konepaja.fi/fi/ws/1/tuotteet.html>

LIITTEET

Liite 1. Asiantuntijalausunto

Martti Holopaisen pyynnöstä olemme tutustuneet opinnäytetyössä esitettyihin 3D-CAD -suunnitelmiin, simulointimalleihin ja -tuloksiin. 3D-CAD -mallit ovat huolellisesti laadittuja ja niistä syntyvä kokoonpanomalli on todenmukainen. Simuloinneissa on käytetty Autodesk Inventorin FEM -työkaluja, joilla pystytään analysoimaan mm. tuotteessa esiintyviä jännityksiä ja muodonmuutoksia erilaisissa kuormitustilanteissa. Simuloinneissa käytetyt kuormitukset ovat näkemyksemme mukaan todenmukaisia, perusteltuja ja ne kuvaavat hyvin tuotteen erilaisia käyttötilanteita. Simuloinneissa käytetyt kuormitukset on määritelty voimina, jotka kohdistuvat (suuruus, suunta, jakautuminen) tuotteen pinnoille. Simulointitulokset ovat uskottavia ja niitä on saatu useisiin erilaisiin käyttötilanteisiin.

Tulokset osoittavat, että vaikka tuotetta on alkuperäiseen nähden kevennetty merkittävästi, se kestää edelleen oletettuja käytönaikaisia kuormituksia. Tietokoneavusteisesti saatujen tulosten varmistamiseksi olisi kuitenkin suositeltavaa valmistaa prototyyppi verifiointitarkoituksia varten. Tämä kannattaisi tehdä siitäkin syystä, että nyt laadittu malli on ensimmäisiä täysin tietokoneavusteisesti suunniteltuja tuoteversioita. Prototyypin avulla simuloinneista saatua tietoa voitaisiin verrata kenttäkokeiden ja -mittausten antamaan tietoon. Näin toimien tietokoneavusteisten suunnittelumenetelmien hyödyt saataisiin esiin ja simulointitulosten oikeellisuus varmistettua. Simulointitulosten verifiointi pienentää virheiden mahdollisuutta, riskien hallinta helpottuu ja tulevaisuuden tuotekehitystä voidaan entistä enemmän sitoa tietokoneavusteisiin menetelmiin.

Kemissä 10.12.2018

  
Lauri Kantola

  
Petri Kesälahti