



H-palan keventäminen CH7- puomiin

Uula Hursti
OPINNÄYTETYÖ
Syyskuu 2020
Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

HURSTI, UULA:
H-palan keventäminen CH7-puomiin

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Syyskuu 2020

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan John Deere Forestry Oy:lle tilauksesta H-pala harvesterin CH7-puomiin. H-pala yhdistää pääpuomin taittopuomiin ja tukee siten koko puomin rakennetta. Työnantajan puolesta työntekoon annettiin ainoastaan kolme selkeää linjausta. Kappaleen tuli olla nykyistä kevyempi, sekä valmistusmenetelmän toivottiin olevan muu kuin valaminen. Tämän lisäksi kappaleen kokoonpanon piti olla mahdollista ilman hitsaamista.

H-palan kevennys ratkaistiin topologian optimoinnilla, jolloin alkuperäisestä kappaleesta poistetaan tietokoneavusteisesti lujuuslaskentaohjelmalla mahdollisimman paljon ylimääräistä materiaalia. Jotta lopputuloksesta saatiin mahdollisimman kevyt, valittiin käytettäväksi materiaaliksi normaalia lujempi ultraluja rakeneteräs. Työssä käytettiin lujuuslaskennassa Altair Inspire -ohjelmaa, joka on suunniteltu erityisesti topologian optimointiin.

Tuloksista selvisi, että H-palan keventäminen on mahdollista. Topologian optimoinnin jälkeen optimoitujen alueiden massasta oli jäljellä noin 40 prosenttia alkuperäiseen verrattuna, mutta muoto oli liian orgaaninen valmistettavaksi muutoin kuin 3D-tulostamalla. Tämän takia kappale mallinnettiin uudestaan käyttäen ohjeena lujuuslaskentaohjelman laskemaa muotoa. Lopullisen kappaleen massa oli alkuperäiseen verrattuna huomattavasti alhaisempi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

HURSTI, UULA:
Mass Reduction of the CH7 Boom H-Piece

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 9 pages
September 2020

The purpose of this thesis was to design an H-piece for a forest harvester's CH7 boom for John Deere Forestry Oy. The H-piece connects the main boom to the folding boom and thus supports the entire boom structure. The guidelines for how the work should be done were relatively loose except for three predefined requirements. The part had to be lighter than the current one and the manufacturing method would be some other than casting. In addition to this, assembly of the part had to be possible without welding.

The work on the thesis began through topology optimization, which means that as much excess material as possible was removed from the original part with the help of a strength calculation program. In order to make the result as light as possible, high-strength structural steel was chosen as the material to be used. It has stronger attributes than normal steel, which made it perfect for the application. The strength calculation program used was Altair Inspire, which is designed especially for topology optimization. Studying the use of the program proved to be relatively difficult due to the limited availability of teaching material, so the proper usage required a great deal of experimenting.

The results indicate that it is possible to lighten the H-piece. After topology optimization about 40% of the mass of the tooled areas remained compared to the original, but the shape was too organic to be manufactured without 3D printing. Because of this, the part was remodeled using the shape calculated by Inspire as a guide. The mass of the final part was significantly lower than the original.

Key words: topology optimization, strength of materials, part design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	JOHN DEERE.....	7
2.1	John Deere Forestry Oy.....	7
3	MALLINNUS	8
3.1	Ohjelmat.....	8
3.1.1	Autodesk Inventor.....	8
3.1.2	Altair Inspire	8
3.2	Topologian optimointi	9
4	MATERIAALI	11
4.1	Strenx® 1100 ultraluja rakenneteräs.....	11
5	H-PALAN KEVENTÄMINEN	12
5.1	H-palan mallintaminen	12
5.1.1	Materiaalin mallintaminen	13
5.2	Kuorma	14
5.3	Kappaleen topologian optimointi	15
5.4	Viimeistely	16
5.5	Analysointi.....	17
5.6	Tulokset	20
5.6.1	Lisähuomioita	21
5.7	Akselien kiinnitys.....	23
6	VALMISTUSMENETELMÄT	24
6.1	CNC-jyrsintä.....	24
6.2	Laserleikkaus	24
6.3	Vesileikkaus	24
7	POHDINTA	25
	LÄHTEET.....	26
	LIITTEET	28
	Liite 1. H-palan mitat. John Deere Forestry Oy. (salattu).....	28
	Liite 2. H-palan voimat. John Deere Forestry Oy. (salattu)	29
	Liite 4. Koneistussuosituksia Strenx® -teräkselle. 12-16. SSAB.....	32

LYHENTEET JA TERMIT

CAD	Computer aided design (Tietokoneavusteinen suunnittelu)
DFX	Design for excellence (Erinomaisuuden suunnittelu)
CAM	Computer aided manufacturing (Tietokoneavusteinen valmistus)
CNC	Computer numerical control (Numeerinen ohjaus tietokoneella)
MPa	Megapascal (paineen mittayksikkö)
psi	Paunaa neliötuumaa kohti, 1 psi = 6,89 kPa

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan John Deere Forestry Oy:n pyynnöstä harvesterin CH7-puomiin pääpuomin ja taittopuomin väliin vaihtoehtoinen H-pala, joka on nykyistä kevyempi. Nykyinen H-pala painaa noin 80 kg ja on versioitu joko valettavaksi tai hitsattavaksi. Uudessa versiossa liitokset toteutetaan liimamalla.

H-palan materiaalina käytetään ultralujaa rakenneterästä, joka mahdollistaa kevyemmän rakenteen säilyttäen kuitenkin erittäin lujat ominaisuutensa. Suunnittelussa käytetään apuna Altair Inspire -mallinnus- ja lujuuslaskentaohjelmaa, jolla voidaan hyödyntää topologian optimointia ylimääräisen materiaalin karsimiseksi.

Opinnäytetyössä käydään yksityiskohtaisesti läpi työn taustalla oleva teoria ja apuna käytettävät ohjelmat. Lisäksi työvaiheita tarkastellaan yksityiskohtaisesti, jota seuraa analyysi ja lopputulokset.

John Deere Forestry Oy:n toimittamat materiaalit ovat salassa pidettävää materiaalia ja tästä syystä piilotettu liitteistä julkisesti julkaistavasta opinnäytetyöstä.

2 JOHN DEERE

John Deere, virallisesti Deere & Company, on maailmanlaajuisesti toimiva yhdysvaltalainen metsä-, maatalous- ja rakennuskoneiden valmistaja.

2.1 John Deere Forestry Oy

John Deere Forestry Oy on Suomessa toimiva metsäkoneita valmistava yritys, jonka pääkonttori sijaitsee Tampereella. Yritys toimi aikaisemmin nimellä Timberjack Oy, jonka omisti Metso Oyj. Deere & Company osti yrityksen vuonna 2000, jota seurasi nimen muutos vuonna 2005 (Virta 2014).

John Deere Forestry Oy:n pääkonttori ja suunnitteluosasto toimivat Lokomonkadulla Tampereella, mutta koneiden valmistus tapahtuu Joensuun tehtaalla. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2019 noin 553,5 miljoonaa euroa (Kauppalehti).



KUVA 1. 1270G Harvesteri CH7 -puomilla. H-pala ympyröity. (John Deere 2020)

3 MALLINNUS

Jotta H-palan painosta voitiin pudottaa mahdollisimman suuri osa pois, täytyi alkuperäinen osa mallintaa mallinnusohjelmalla liitteistä löytyvien piirustuksien mukaan (liite 1). Mallinnettu osa tuotiin topologian optimointia laskevaan lujuuslaskentaohjelmaan, jonka avulla siitä saatiin karsittua ylimääräinen materiaali pois.

3.1 Ohjelmat

Työn tekemiseen käytettiin pääsääntöisesti Autodesk Inventor 2020:tä ja Altair Inspireä. Alkuperäisen kappaleen mallintaminen tehtiin John Deere Forestry Oy:n toimittamista piirustuksista Inventor 2020 -ohjelmalla. Materiaalin luonti ja mallin optimointi tapahtui Altair Inspirellä, jonka jälkeen optimoitu malli viimeisteltiin jälleen Inventorilla.

3.1.1 Autodesk Inventor

Inventor on Autodeskin markkinoima CAD-ohjelmisto, joka on tarkoitettu 3D-mekaniikkasuunnitteluun, dokumentointiin ja simulointiin. Tässä opinnäytetyössä on käytetty Autodesk Inventor Professional 2020 -versiota opiskelijalisenssillä.

3.1.2 Altair Inspire

Altair Inspire on solidThinkingin kehittämä CAD-mallinnusohjelma, jolla voi kappaleiden mallintamisen lisäksi tehdä jo olemassa oleville malleille rakenteen analyysia, dynaamista liikkeen simulointia, sekä parantaa hyötysuhdetta materiaalin käytössä topologian optimoinnilla. Tässä opinnäytetyössä on käytetty solidThinking Altair Inspire 2019.3.3 -versiota opiskelijalisenssillä.

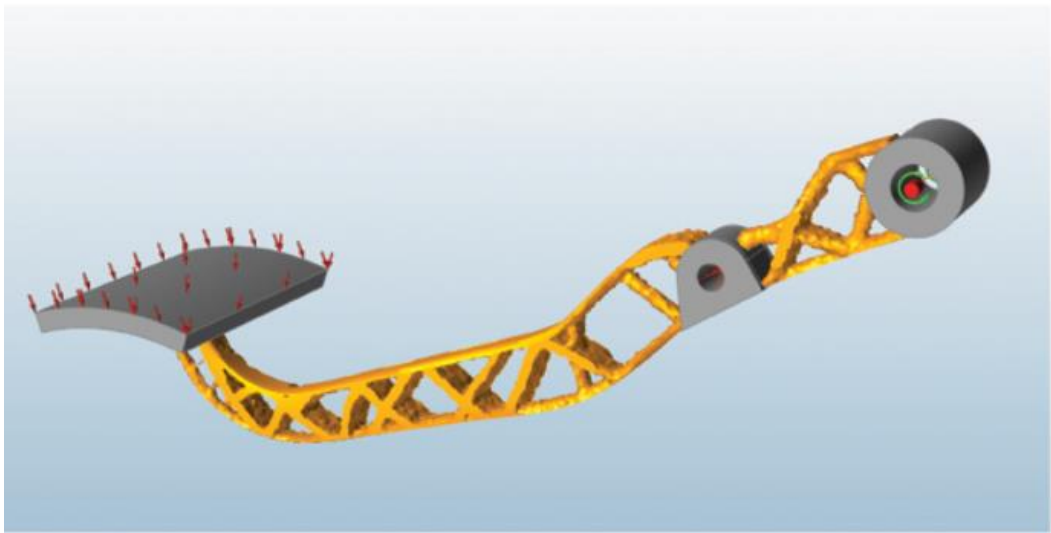
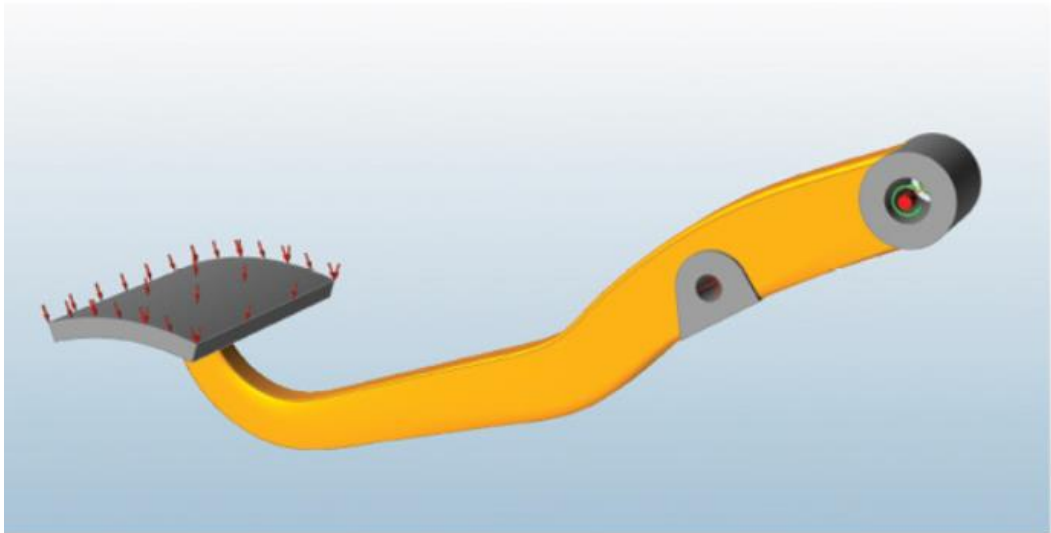
3.2 Topologian optimointi

Topologiaa optimoidessa kappaleesta tehdään matemaattisesti kevyempi siten, ettei rakenteen lujuus kärsi. Kappaleesta tulee näin vahva ja kevyt. Lisäksi materiaalia kuluu mahdollisimman vähän. Nykyään topologiaa optimoidaan siihen suunnitelluilla tietokoneohjelmilla, joita markkinoilla on saatavilla useita. Tässä opinnäytetyössä optimointiin käytettiin Altair Inspire -ohjelmaa.

Ohjelmalla mallinnetaan tai sinne tuodaan valmiiksi mallinnettu 3D-malli optimoitavasta kappaleesta. Ohjelmalle kerrotaan kappaleeseen vaikuttavat kuormitukset ja alueet, joille optimointia halutaan tehdä. Tämän jälkeen ohjelma poistaa alkuperäisestä mallista käyttäjän määrittämien parametrien mukaan ylimääräisen materiaalin. Kappaleesta tulee usein orgaanisia muotoja muistuttava, mikä siinänsä sulkee osan valmistusmenetelmistä pois. Inspirellä on kuitenkin mahdollista kertoa ohjelmalle valmistusmenetelmä, kuten esimerkiksi valaminen, jolloin ohjelman laskema optimoitu muoto pitäisi olla mahdollista valmistaa käyttämällä valutuotteille tyypillisiä valmistusmenetelmiä.

Tässä opinnäytetyössä optimoitua muotoa käytetään ohjeena kevennetyn kappaleen suunnittelulle, joten ohjelman valmistusmenetelmärajotukset eivät ole esteenä kappaleen suunnittelulle.

General Electricin esimerkissä (kuva 2) topologian optimointia suorittavalla ohjelmalla vähennettiin lentokoneen moottorin pidikkeen alkuperäisestä painosta 84%. Kappaletta valmistetaan titaanista 3D-tulostamalla ja sen on arvioitu säästävän lentokoneiteollisuudelta \$31 miljoonaa dollaria energiatehokkuuden parantumisen kautta. (Make Parts Fast 2019)



KUVA 2. General Electric engine bracket. (Make Parts Fast 2019)

4 MATERIAALI

Materiaalin valinta määrittää materiaalinkäytön optimointia. Mitä lujempi materiaali, sitä kevyempää rakennetta voidaan määrätyle kuormalle rakentaa. Sopivaa materiaalia valittaessa käytiin läpi erilaisia teräksiä, kuin myös komposiittisia materiaaleja. Terästä on kuitenkin helpompi käsitellä, joten sen perusteella valittiin mahdollisimman luja SSAB:n Strenx® 1100.

4.1 Strenx® 1100 ultraluja rakenneteräs

SSAB:n valmistama Strenx® 1100 ultraluja rakenneteräs on myötölujuudeltaan vähintään 1100 MPa, mikä on noin kolminkertainen tavanomaiseen teräkseen verrattuna. Myös murtolujuus Strenx:llä on välillä 1250-1550 MPa.

Ultralujan teräksen ominaisuudet ovat hyvin lähellä tavanomaista terästä, joten sitä voidaan käyttää kaikissa teräksen ominaisuuksia vaativissa käyttökohteissa. Kun materiaali halutaan vaihtaa ultralujaan teräkseen, toivotaan yleensä rakenteen kestävän suurempaa kuormaa tai sen tarvitsee jostain syystä olla kevyempi. Joskus kohteesta halutaan myös tehdä yksinkertaisesti turvallisempi. (SSAB)

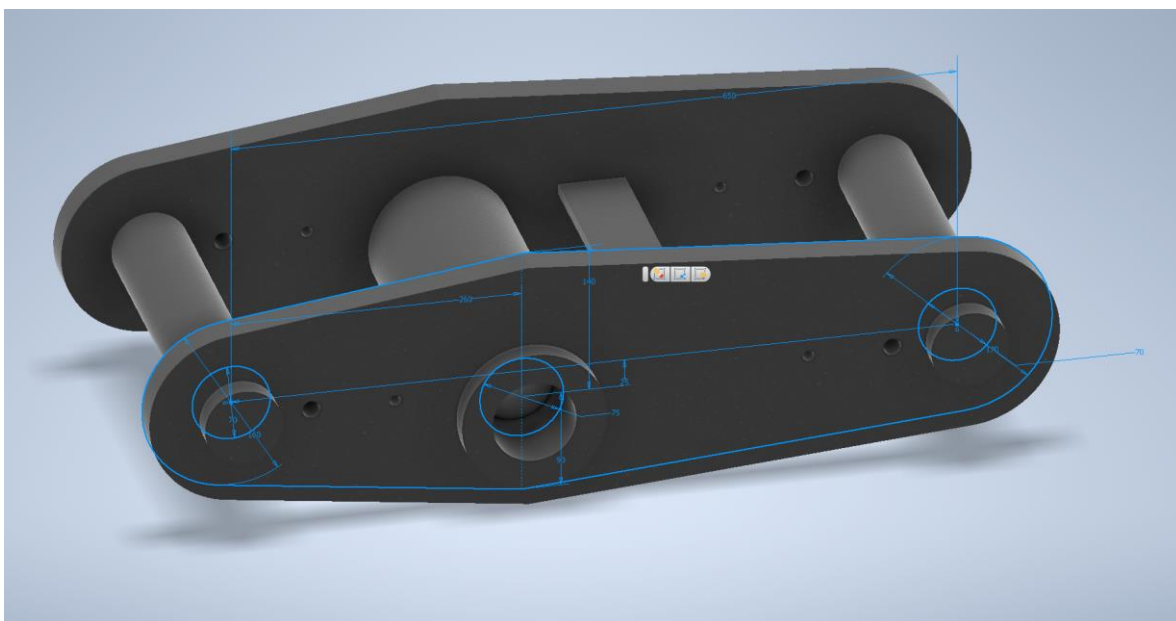
Strenx®:n ominaisuuksiin kuuluu tarvittaessa hyvä hitsattavuus ja sen myötä liitoskohtien lujuus. Toleranssit teräksessä ovat tiukkoja ja iskutkeys erinomainen. Teräs noudattaa standardeja kuumavalssattujen terästen mitta- ja muototoleransseista (SFS-EN 10029 2011) sekä pinnanlaatuvaatimuksista (SFS-EN 10163-2 2005).

5 H-PALAN KEVENTÄMINEN

Alkuperäisen kappaleen keventäminen tehtiin John Deere Forestry Oy:n toimittamien materiaalien perusteella. Materiaaleista käy ilmi kappaleen mitat ja siihen vaikuttavat voimat (liite 1 ja 2). Näiden tietojen perusteella kappale mallinnettiin ja mallille lisättiin kuorma. Tämän jälkeen kuormaa analysoitiin ja se optimoitiin, jonka perusteella mallinnettiin uusi, kevyempi malli.

5.1 H-palan mallintaminen

Työn tekeminen aloitettiin mallintamalla kappale Autodesk Inventorilla John Deere Forestry Oy:n toimittamien piirustusten mukaan (kuva 3). Kappaleen alkuperäiset mitat löytyvät liitteistä (liite 1).

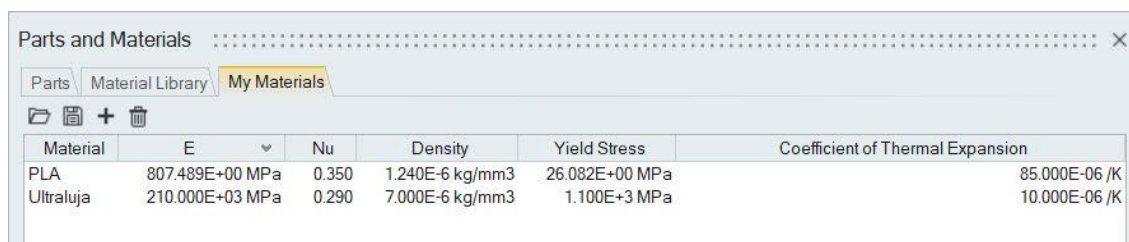


KUVA 3. H-palan malli Inventorissa.

5.1.1 Materiaalin mallintaminen

Jotta Inspirellä saataisiin aikaan luotettavia tuloksia, täytyy sille kertoa käytettävä materiaali. Tässä tapauksessa materiaalina käytettiin Strenx® 1100 ultralujaa rakennerästä, jota ohjelman oletusmateriaaleista ei sellaisenaan löytynyt.

Materiaalin kaikkia ominaisuuksia valmistaja ei ilmoittanut, mutta myötöraja löytyi suoraan valmistajan tiedoista. Ultralujassa teräksessä materiaalin muut ominaisuudet pysyvät suhteellisen samoina, joten loput suureet ovat hyvin pitkälti suuntaa antavia tavallisen teräksen arvoja. Materiaalin tiheyttä, mikä olisi oleellinen keventämisen kannalta, ei löytynyt, joten se on arvioitu muista teräksistä. Lopullinen massa opinnäytetyössä ei siis välttämättä pidä absoluuttisesti paikkaansa ja voi todellisuudessa muuttua hieman.

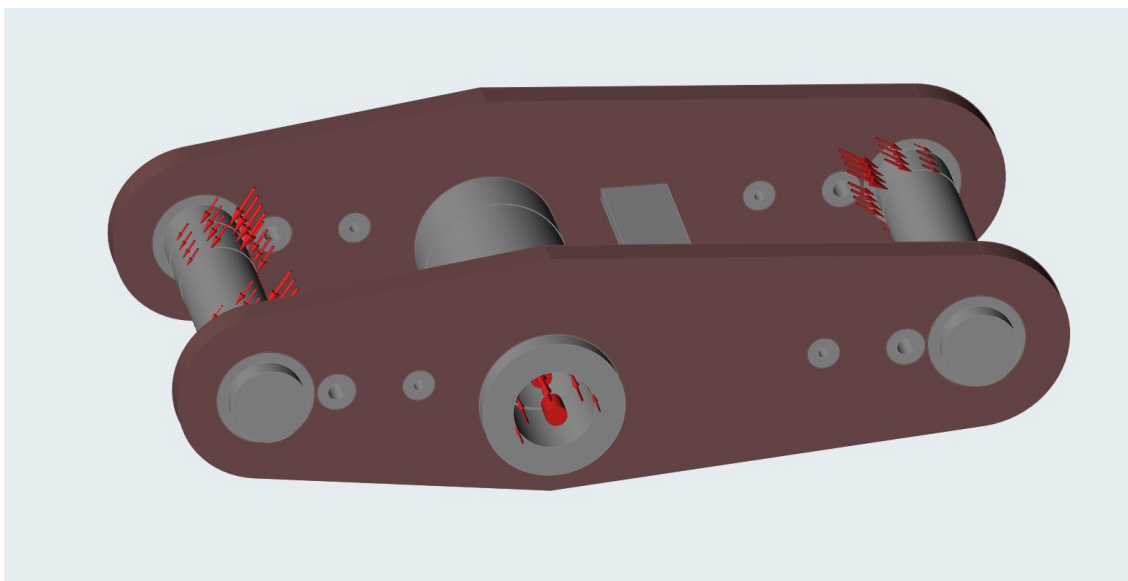


Material	E	Nu	Density	Yield Stress	Coefficient of Thermal Expansion
PLA	807.489E+00 MPa	0.350	1.240E-6 kg/mm3	26.082E+00 MPa	85.000E-06 /K
Ultraluja	210.000E+03 MPa	0.290	7.000E-6 kg/mm3	1.100E+3 MPa	10.000E-06 /K

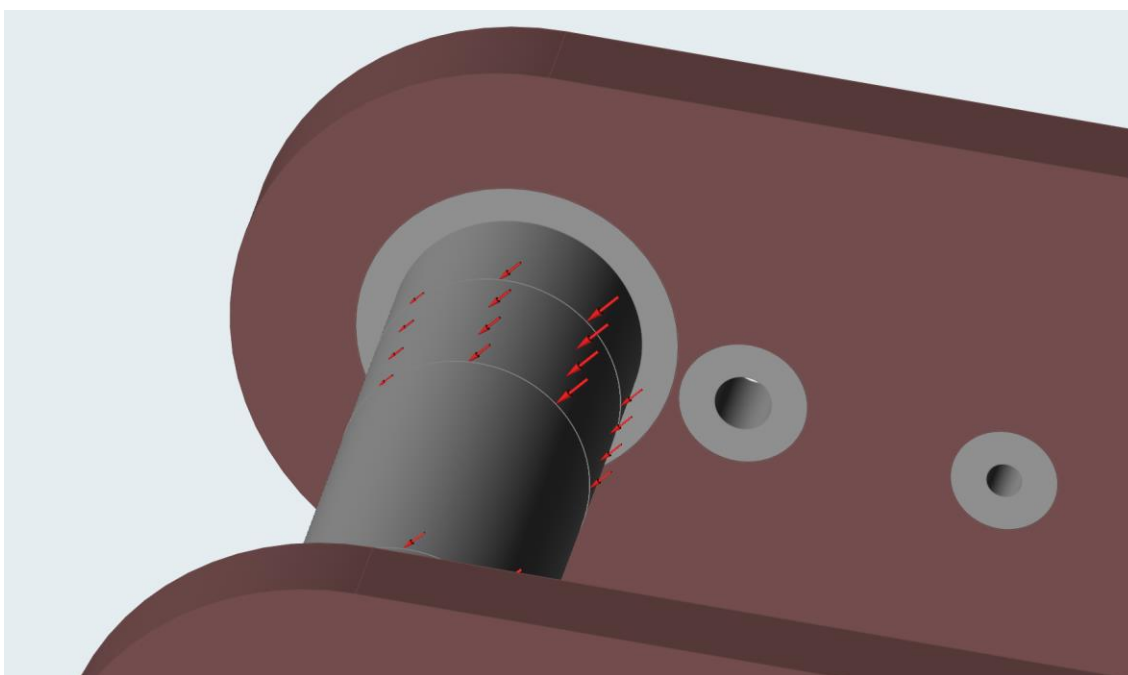
KUVA 4. Käyttäjän luomat materiaalit Inspiressä.

5.2 Kuorma

H-palaan vaikuttaa kolme erisuuruista voimaa kolmesta eri suunnasta, joiden suuruus käy ilmi liitteistä (liite 2). Kuorma jakautuu tässä tapauksessa laakerimaisesti kiinnitysalueelle, joka on mallinnettavissa ohjelmalla. Kappaleeseen vaikuttavat kuormat mallinnettiin Altair Inspire -ohjelmalla, jolla kappaleesta ositettiin pinta-alat, joihin voimat suoraan vaikuttavat.



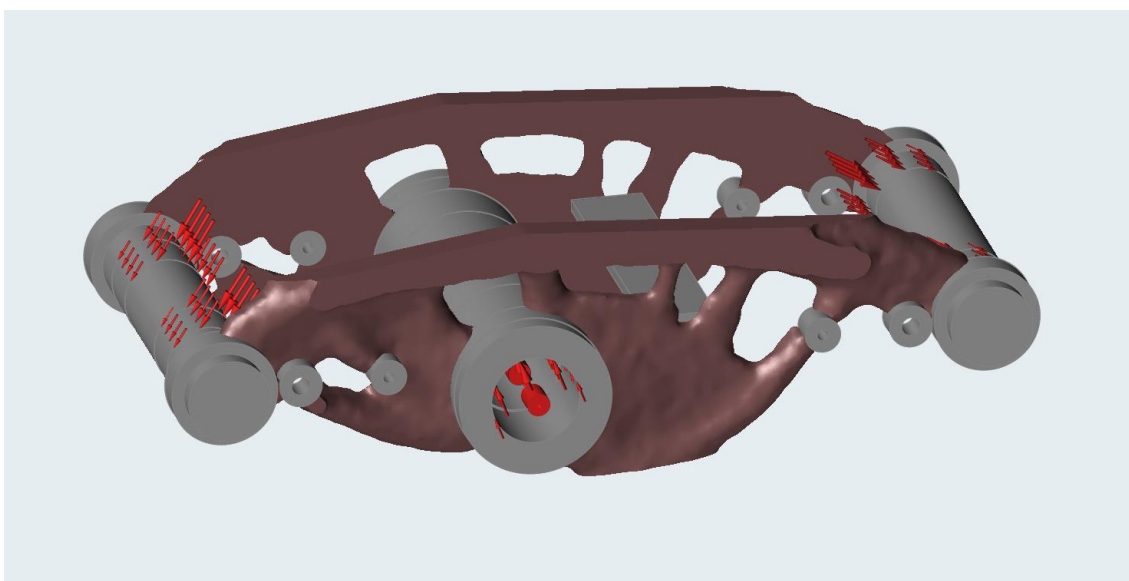
KUVA 5. H-palaan vaikuttavat voimat.



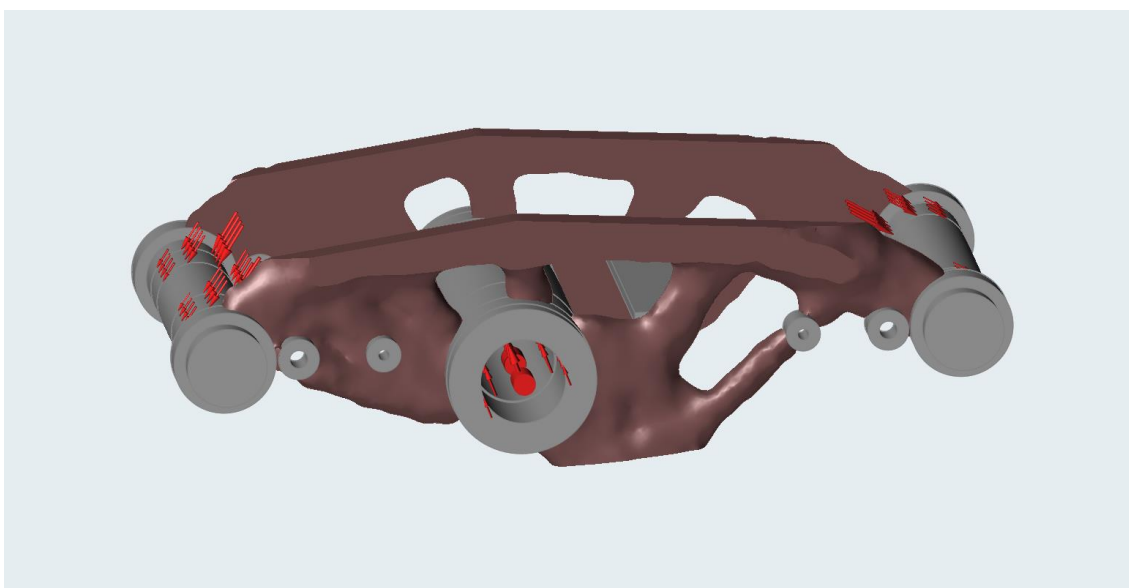
KUVA 6. Lähikuva kappaleen rakenteeseen vaikuttavasta voimasta.

5.3 Kappaleen topologian optimointi

Kun kappaleelle on määritetty siihen vaikuttavat voimat, voidaan se optimoida kertomalla ohjelmalle parametrit, joiden perusteella materiaalia karsitaan. Alue, jota ohjelma optimoi, on kuvassa merkitty tummanpunaisella. Harmaat alueet pysyvät sellaisina, kun ne ovat alun perin olleet ja se otetaan laskennassa huomioon. Kuvassa 7 kappale on optimoitu tavoitemassaprosentin perusteella, kun taas kuvassa 8 käyttäen turvallisuuskerrointa pääkomponenttina. Lopputulema on hyvin samankaltainen molemmissa.



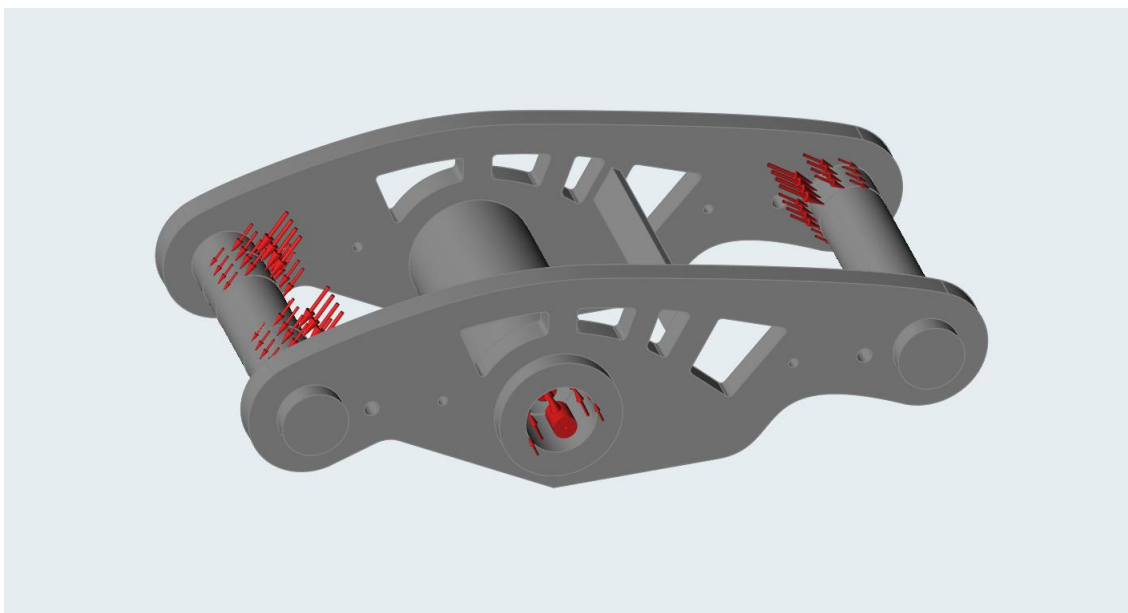
KUVA 7. Kappaleen topologia optimoituna siihen vaikuttavalla kuormalla.



KUVA 8. Kappale optimoituna hieman erilaisilla parametreillä.

5.4 Viimeistely

Topologian optimointi on suuntaa antava ja kappale täytyy sen jälkeen mallintaa käsin uudestaan, jotta sen valmistaminen olisi mahdollista ilman kalliita valmistustekniikoita, kuten 3D-tulostamista. Lopullisen mallin mallintamiseen käytettiin Autodesk Inventoria, jossa mukailtiin alkuperäisten mittojen mukaan Inspirellä laskettua optimaalista muotoa. Lopullinen malli tuotiin tämän jälkeen takaisin Inspireen (kuva 9), jossa toistettiin kappaleeseen vaikuttavat voimat, kerrottiin käytettävä materiaali ja analysoitiin mallinnettu topologia.

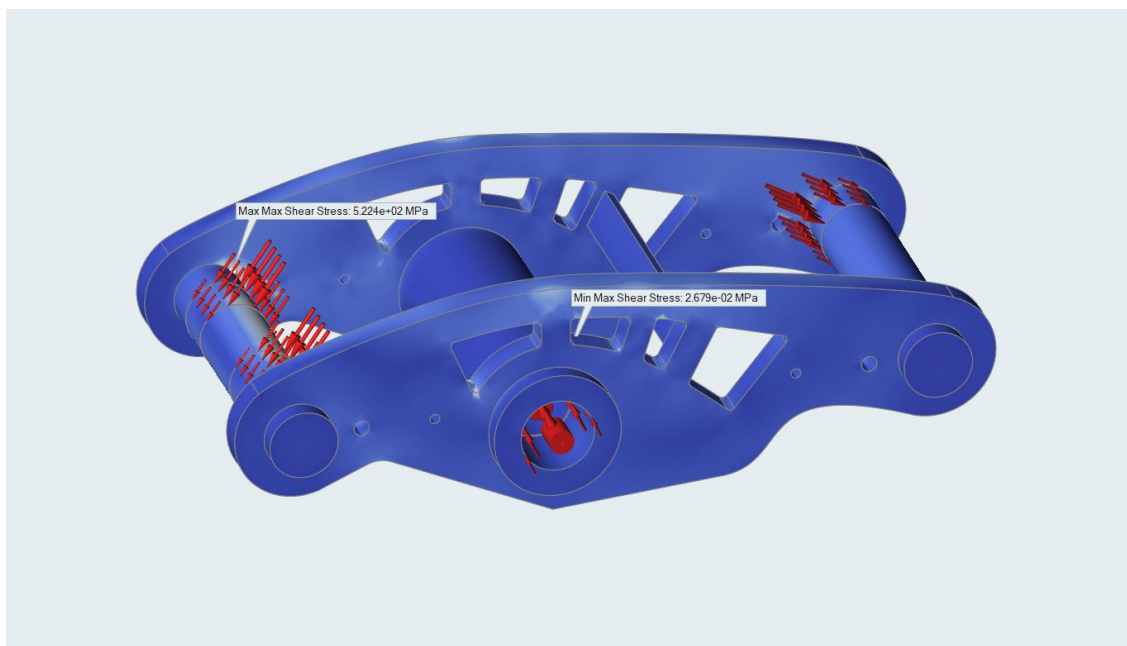


KUVA 9. H-pala mallinnettuna topologian optimoinnin perusteella.

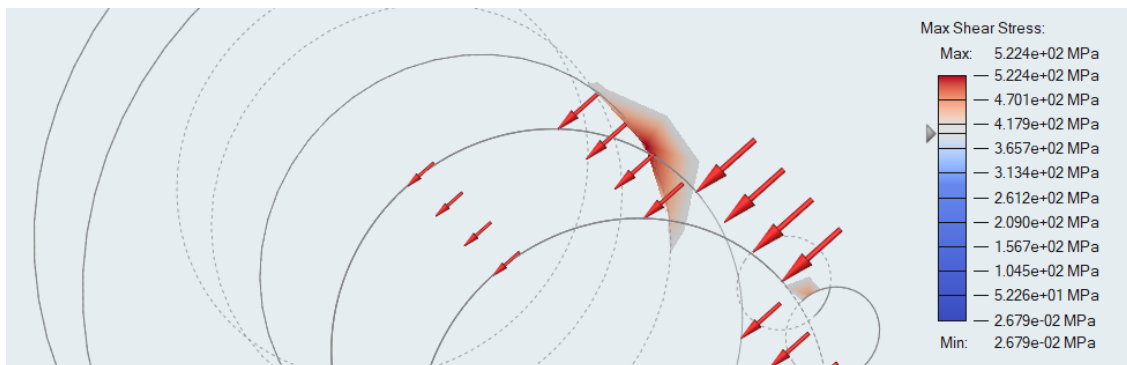
5.5 Analysointi

Työssä käytetyssä lujuuslaskentaohjelmassa, Altair Inspiressä, on mahdollista analysoida kappaleita useilla eri mittareilla. Tässä työssä tarkasteltiin leikkausjännityksen lukemia ja ohjelman laskemaa turvallisuuskerrointa.

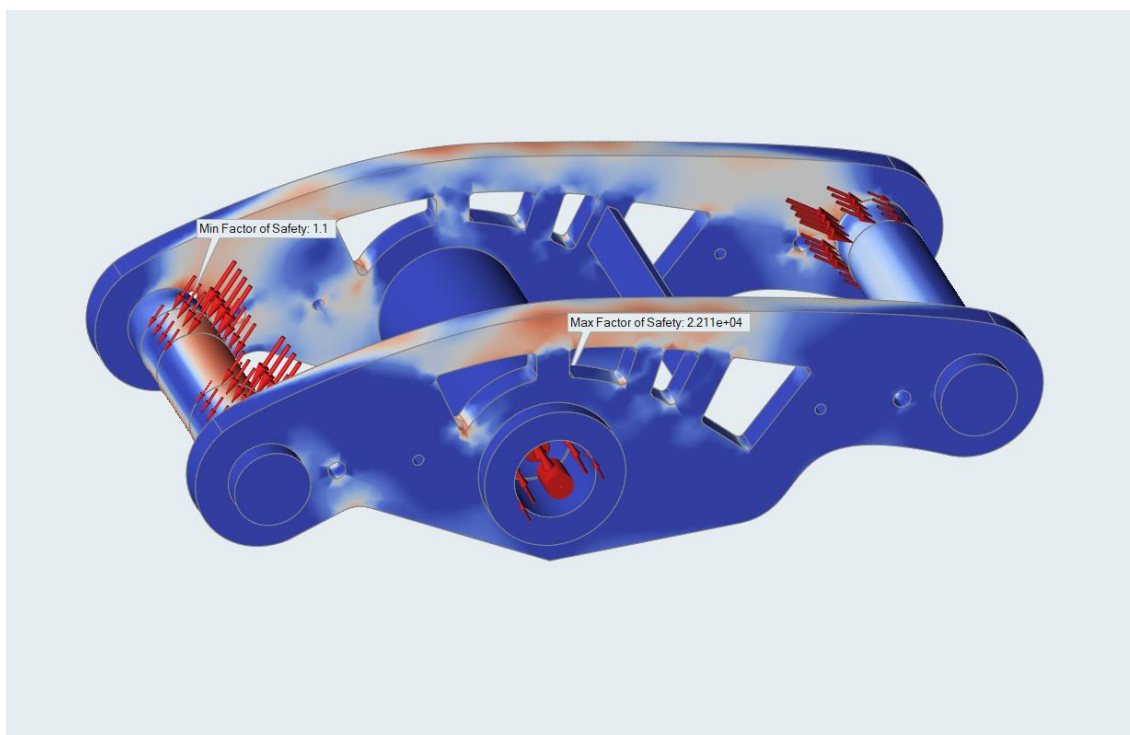
Kappaleessa kohta, johon leikkausjännitystä eniten kohdistuu, löytyy vasemman akselin kiinnityskohdasta, kappaleen sisäsyryltä (kuva 10). Tälle pisteelle ohjelma laskee turvallisuuskertoimen 1,1 (kuva 11), joka on myös kappaleen kertoimenä pienin kappaleen kohdalla. Tämä piste sijaitsee kohdassa, jonka ympärille ei kohdistu kriittisiä jännityksiä, joten se ei kappaleen kestävydessä aiheuta ongelmia. Myös alkuperäisessä kappaleessa kyseinen kohta on mitoitukseltaan täysin samanlainen, mutta materiaalina on käytetty hauraampaa materiaalia.



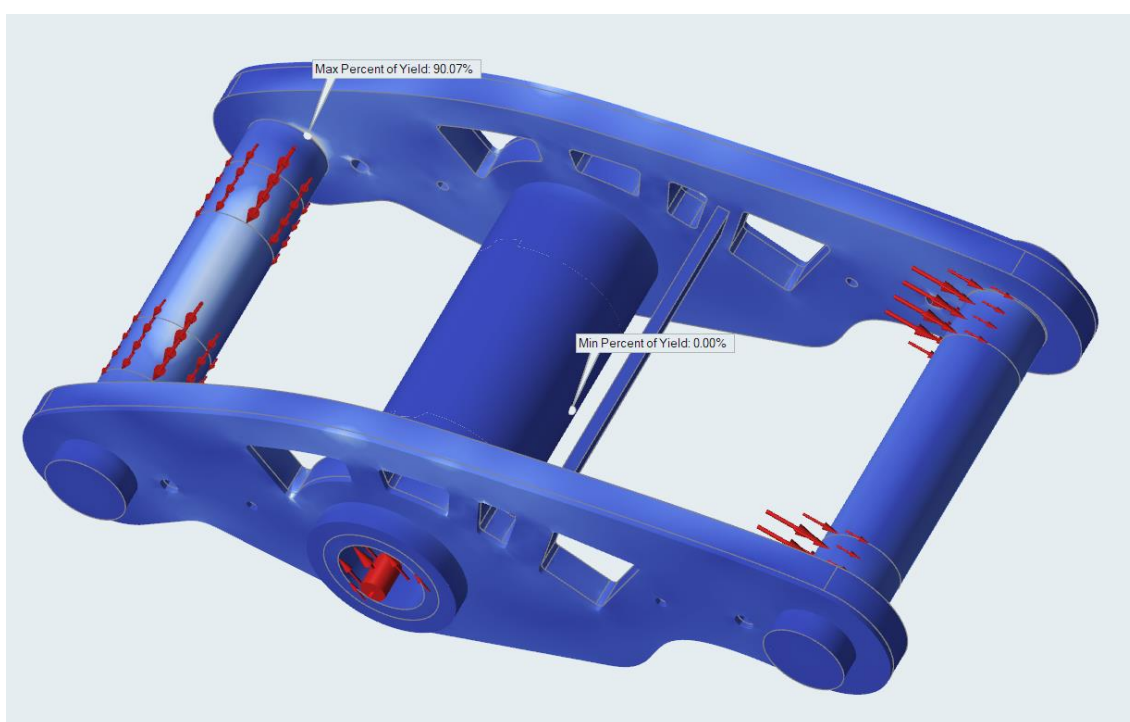
KUVA 10. Kappaleeseen kohdistunut leikkausjännitys visualisoituna.



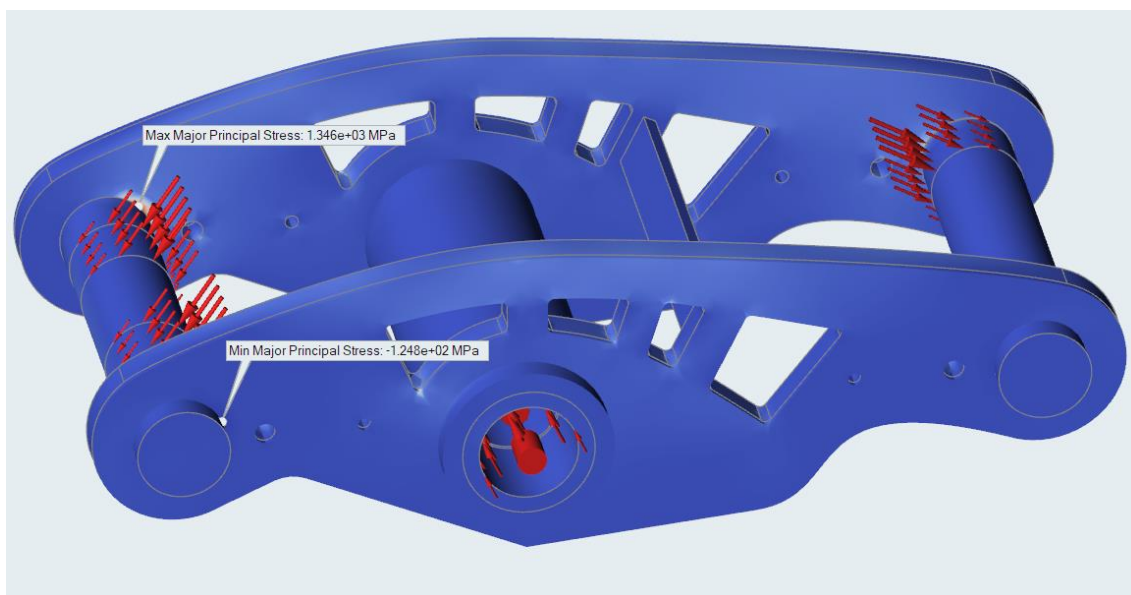
KUVA 11. Suurin leikkausjännitys kappaleessa.



KUVA 12. Turvallisuuskertoimet visualisoituna.



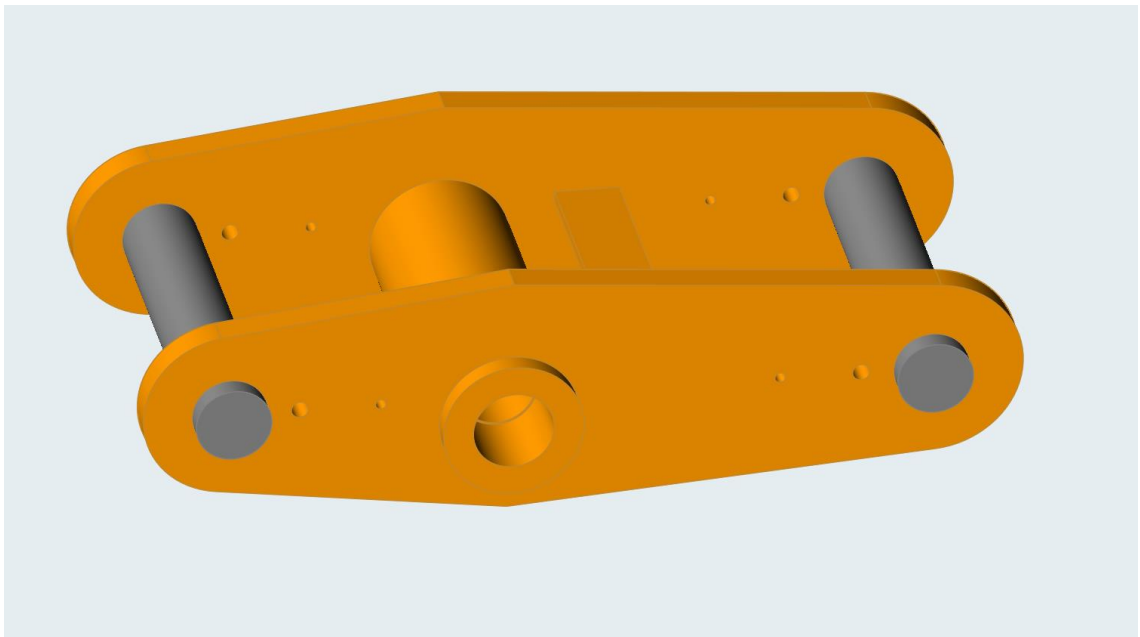
KUVA 13. Kun myötöraja saavuttaa 100%, ei kappale palaudu jännityksen päättyessä enää takaisin alkuperäiseen muotoonsa.



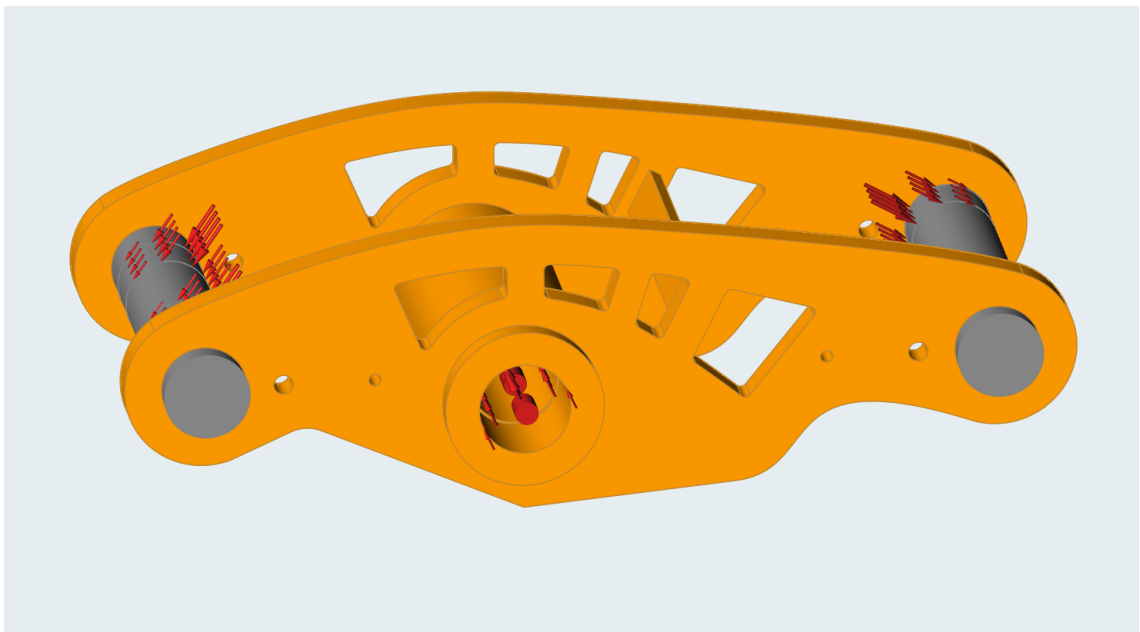
KUVA 14. Kappaleeseen kohdistuvat minimi ja maksimi pääjännitykset.

5.6 Tulokset

Topologian optimoinnin, materiaalin luonnin ja viimeistelyn jälkeen selviää, että kappaleesta on mahdollista pudottaa painoa. Alkuperäisen kappaleen massaksi ohjelma määrittää ilman päätyakseleita 92,1 kg (kuva 15), joka on suhteellisen lähellä John Deere Forestry Oy:n tehtävänannon 80 kg arviota. Viimeistelyn jälkeen kappaleen massa laski noin 72,4 kilogrammaan, mikä on huomattava pudotus (kuva 16).



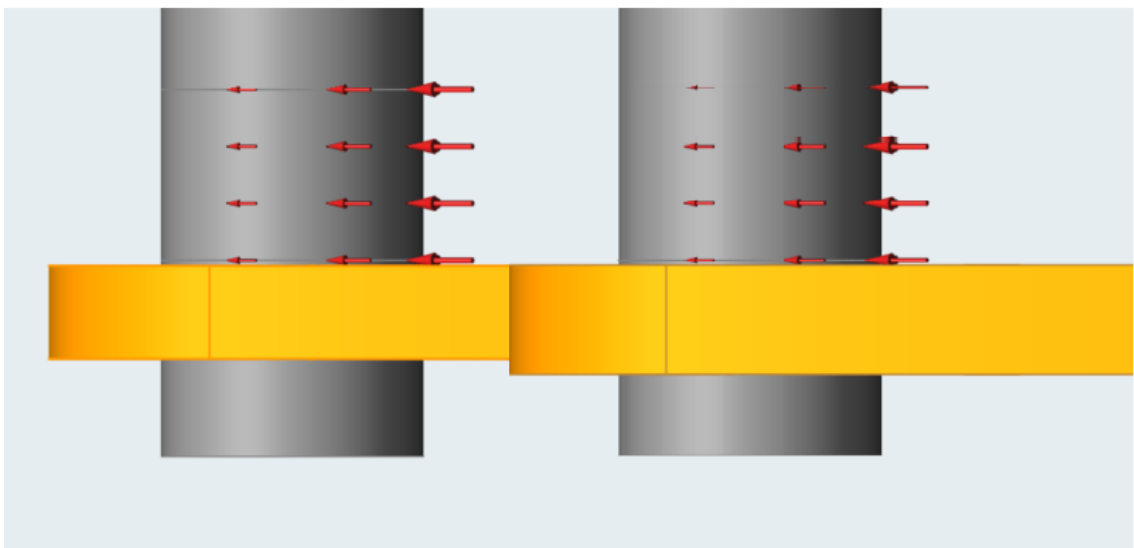
KUVA 15. Alkuperäinen massa kappaleella on 92,1 kg (keltaiset alueet).



KUVA 16. Viimeistelyn jälkeen massa on 72,4 kg (keltaiset alueet).

5.6.1 Lisähuomioita

Kappaleen sivulevyjä on mahdollista kaventaa lopullisesta mallista kumpaakin 5mm ilman, että turvallisuuskerroin laskee yhdessäkään pisteessä alle 1.0 (kuva 17). Tällöin kappaleen massa ilman päätyakseleita olisi 65,0 kg ja vain käsiteltyjen osien massa 37,1 kg. Mitat haluttiin kuitenkin pitää mahdollisimman lähellä alkuperäistä, joten tätä ei lopullisessa mallissa otettu huomioon. Tällainen mahdollisuus keventämisessä kuitenkin teoriassa olisi ja sillä massaa saataisiin laskeutua edelleen huomattavasti.

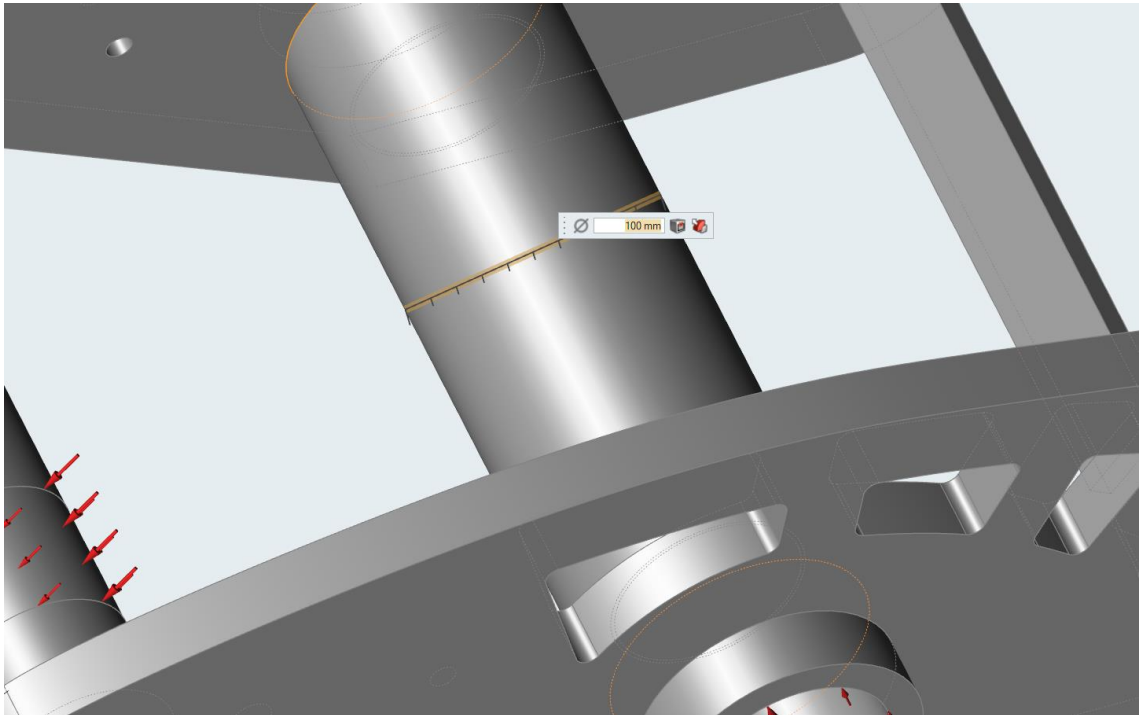


KUVA 17. Mahdollinen kevennys havainnollistettuna. Oikeanpuoleisesta levystä vähennetty 5mm.

Myös keskiakselin kevennys on mahdollista, sillä alkuperäisessä H-palassa keskiakseli on todella paksu suhteutettuna siihen vaikuttaviin voimiin. Tarkastelussa käytetään samaa ultralujaa materiaalia, mitä sivulevyjen tarkastelussa on käytetty. Akselin sisähalkaisija pysyy tarkastelussa samana.

Keskiakselin halkaisijasta oli mahdollista poistaa vähintään 30 mm ilman minäkäänlaista merkittävää muutosta kappaleen kestävydessä. Inspire laski tällöin keskiakselin alhaisimmaksi turvallisuuskertoimeksi 4,5. Tähän kertoimeen viitaten keskiakselin edelleen keventäminen olisi mahdollista, mutta suuria hyötyjä materiaalin vähentämisestä ei kuitenkaan saa, sillä halkaisijan ollessa 100 mm (kuva 18) on keskiakselin massa vain 11,2 kg.

Ennen kevennystä keskiakselin massa oli noin 26 kg, joten materiaalia on mahdollista vähentää vähintään 57% tai 15 kg. Huomioitavaa kuitenkin on, että sivulevyihin on lisättävä materiaalia, jos keskiakselin halkaisijaa pienennetään.



KUVA 18. Keskiakselin kevennysmahdollisuudet. Akselin halkaisija kuvassa 100mm.

Topologian optimoinnin, sivulevyjen kavennuksen ja keskiakselin materiaalin karstimisen jälkeen on H-palan massa teoriassa mahdollista pudottaa niinkin alas kuin 50,4 kg, kun päätyakselit jätetään huomiotta. Alkuperäisestä kappaleesta on siis mahdollista pudottaa ainakin 41,7 kg eli noin 45%.

5.7 Akselien kiinnitys

Akselien kiinnityksessä alkuperäinen suunnitelma oli käyttää holkkeja, jotka olisi ruuvien avulla kiinnitetty niin lieriömäiseen akseliin, kuin myös kappaleen sivulevyihin. Tämä menetelmä kuitenkin kumoaa kappaleen kevennyksessä saavutetun hyödyn, sillä holkit lisäävät kokoonpanon massaa huomattavasti. Kun hitsaaminen oli työssä vältettävä, jää varteenotettavaksi vaihtoehdoksi liimaaminen.

Liimaa käyttämällä säästetään kappaleen massassa ja vaadittavien osien määrässä. Liimaamisessa tulee käyttää erittäin vahvaa epoksiliimaa, jolla on hyvät ominaisuudet myös terästä liimattaessa. Metallin liimaaminen epoksiliimalla antaa vahvan suojan leikkausjännitystä ja iskuja vastaan. Lisäksi liimaan eivät vaikuta suurelta lämpötilanvaihtelut. Liimatun teräksen leikkausmurtolujuus voi saavuttaa 41 MPa eli noin 6000 psi. (Permabond. Strongest adhesive).

Yksi vaihtoehto käytettävälle liimalle on 3M:n valmistama Scotch-Weld Epoxy Adhesive DP420. Liiman leikkauslujuudeksi ilmoitetaan 4500 psi. (3M. Scotch-Weld adhesive). 3M demonstroi liimaa nostamalla ilmaan 6600 kg kontin ainoastaan liiman varassa olevalla liitoksella videolla 3M Assembly Solutions: Epoxy Adhesive Demonstrating Strength (2016).

6 VALMISTUSMENETELMÄT

6.1 CNC-jyrsintä

H-palan sivulevyjen valmistusmenetelmänä on mahdollista käyttää CNC-jyrsintää, jolla kappaleesta pystytään tekemään DFX-suunnitteluohjenuoran mukainen. CAD-tiedostosta voidaan CAM-ohjelmistolla luoda jyrsimiseen tarvittavat radat ja liikenopeudet. Materiaalina käytetyn Strenx® 1100 ultralujan rakenneteräksen jyrsimiseen löytyy kattavat ohjeet SSAB:n koneistussuosituspöytäkirjasta, jonka jyrsimistä käsittelevät sivut 12-16 löytyvät liitteistä (liite 4). (SSAB 2018)

6.2 Laserleikkaus

Laserleikkauksella on mahdollista leikata enimmillään 25 mm paksuista terästä ja 20 mm paksuista ruostumatonta terästä. Jos H-palan sivulevyjä edelleen kavennetaan, voi laserleikkausta pitää vartenotettava vaihtoehtona. Laserleikkauksen laatu ja leikkaustarkkuus ovat todella hyviä, mikä tekee siitä hyvän vaihtoehdon valmistusmenetelmää valittaessa. (Laserkeskus. Laserleikkaus)

6.3 Vesileikkaus

Myös vesileikkausta voi harkita vaihtoehtona H-palan sivulevyjen leikkausmenetelmäksi. Vesileikkauksella saadaan siisti ja tarkka leikkausjälki materiaalista riippumatta, minkä lisäksi leikkaus tapahtuu todella nopeasti. Vesileikkauksella pystytään leikkaamaan jopa 100 mm paksua terästä. (Flinkenberg. Vesileikkaus)

7 POHDINTA

Työtä aloitettaessa lähtökohtana oli, että CH7-puomin H-palaa saadaan kevennettyä. Työnantajan puolesta työhön annettiin suhteellisen vapaat kädet ja ainoat lähtötiedot olivat alkuperäisen kappaleen mittasuhteet ja siihen vaikuttavat voimat.

Ainoastaan sen päättäminen, millä tavalla ongelmaa lähdetään ratkaisemaan, oli haastavaa. Lopulta päädyttiin käyttämään topologian optimointia, sillä se tulee jo lähitulevaisuudessa olemaan teollisuudessa yhä suuremmassa roolissa.

Tavoitteet työlle olivat kappaleen keventäminen ja sen suunnitteleminen niin, että se on mahdollista valmistaa. Tavoitteet olivat selkeät ja suoraviivaiset, niihin päästiin ja samalla opittiin valtavasti uutta. Tavoitteita mietittäessä oli haastavaa tai lähes mahdotonta määritellä, kuinka paljon kappaleesta haluttaisiin painoa pois, mutta ajatuksen tasolla 20 kg oli mielikuvituksellinen lähtökohta, joka tässä tapauksessa toteutui.

Sitä, onko H-palan keventäminen loppujen lopuksi niin tarpeellista, että valmistusmenetelmiä ja materiaalia kannattaisi vaihtaa mahdollisesti kalliimpiin, on vaikea sanoa. Muutokset ainoastaan keskiakseliin ja sivulevyjen paksuuteen antavat jo erittäin hyviä tuloksia, mutta topologian optimoinnin avulla massaa saadaan edelleen pudotettua huomattavasti. Joka tapauksessa H-palan materiaalin vaihtaminen lujempaan kannattaa, sillä sen avulla saadaan aikaan tehokkaita ja yksinkertaisia muutoksia.

LÄHTEET

Virta, I. 2014. Talouselämä 20/2014. Suomen suurimmat yritykset. Helsinki: Tal-entum Media Oy.

Kauppalehti. John Deere Forestry Oy. Luettu 31.6.2020.

<https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/john+deere+forestry+oy/15923318>

SSAB. Strenx® 1100 ultraluja rakenneteräs. Luettu 1.7.2020.

<https://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/strenx/tuotteet/strenx-1100>

SFS-EN 10029. 2011. Kuumavalssatut teräslevyt, paksuus 3 mm tai yli. Mitta- ja muototoleranssit. Luettu 1.7.2020. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/161214.html.stx>

SFS-EN 10163-2. 2005. Kuumavalssattujen teräslevyjen, lattatankojen ja profiilien pinnanlaatuvaatimukset toimitustilassa. Osa 2: levyt ja leveät latta- tangot. Luettu 1.7.2020. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/161214.html.stx>

Autodesk. 2020. Inventor overview. Luettu 3.7.2020.

<https://www.autodesk.fi/products/inventor/overview?plc=INVPROSA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>

SolidThinking. 2020. Altair Inspire. Luettu 6.7.2020.

<https://solidthinking.com/product/inspire/>

Make Parts Fast. 2019. What is topology optimization?. Luettu 8.7.2020.

<https://www.makepartsfast.com/what-is-topology-optimization/>

3M. Scotch-Weld Epoxy Adhesive DP420. Luettu 10.8.2020.

https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/3M-Scotch-Weld-Epoxy-Adhesive-DP420/?N=5002385+3293242436&rt=rud

3M Assembly Solutions: Epoxy Adhesive Demonstrating Strength. Design World. YouTube 2016. Katsottu 10.8.2020.

<https://www.youtube.com/watch?v=jDbvvsuSiQM>

John Deere. 2020. 1270G Harvesteri. Luettu 12.8.2020.

<https://www.deere.fi/fi/harvesterit/1270g/>

SSAB. 2018. Koneistussuosituksia Strenx -teräkselle. Luettu 20.8.2020.

<https://ssabwebsitecdn.azureedge.net/-/media/files/fi/strenx/421-fi-machining-recommendations-for-strenx-brochure-v1-2018-web.pdf?m=20180820080050>

Permabond. Strongest Adhesive for Bonding Metal. Luettu 16.9.2020.

<https://www.permabond.com/resource-center/strongest-adhesive/>

Laserkeskus. Laserleikkaus. Luettu 22.9.2020.

<https://www.laserkeskus.fi/palvelut/laserleikkaus/>

Flinkenberg. Vesileikkaus. Luettu 22.9.2020.

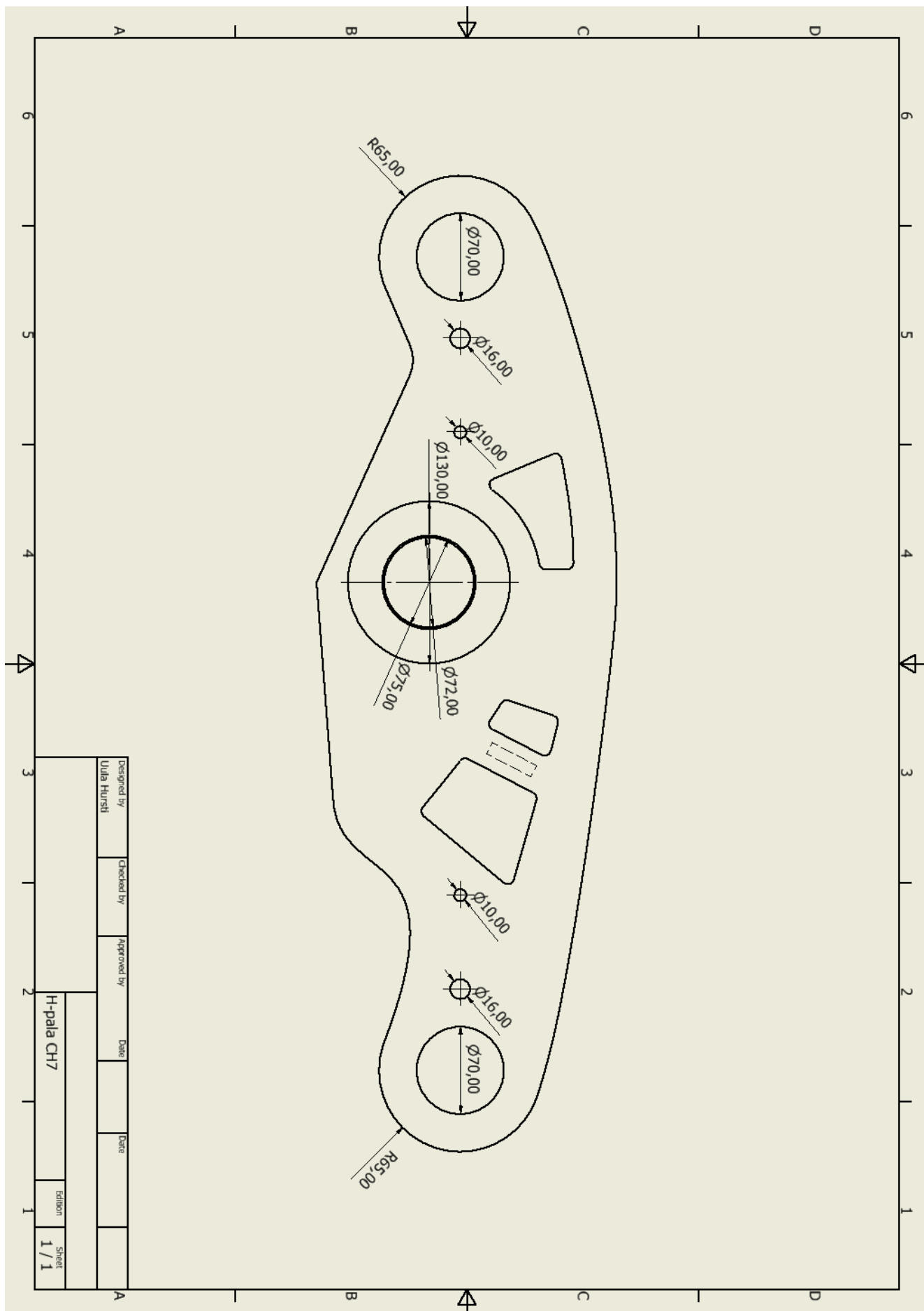
<https://www.flinkenberg.fi/steel/teraslevyt/vesileikkaus/>

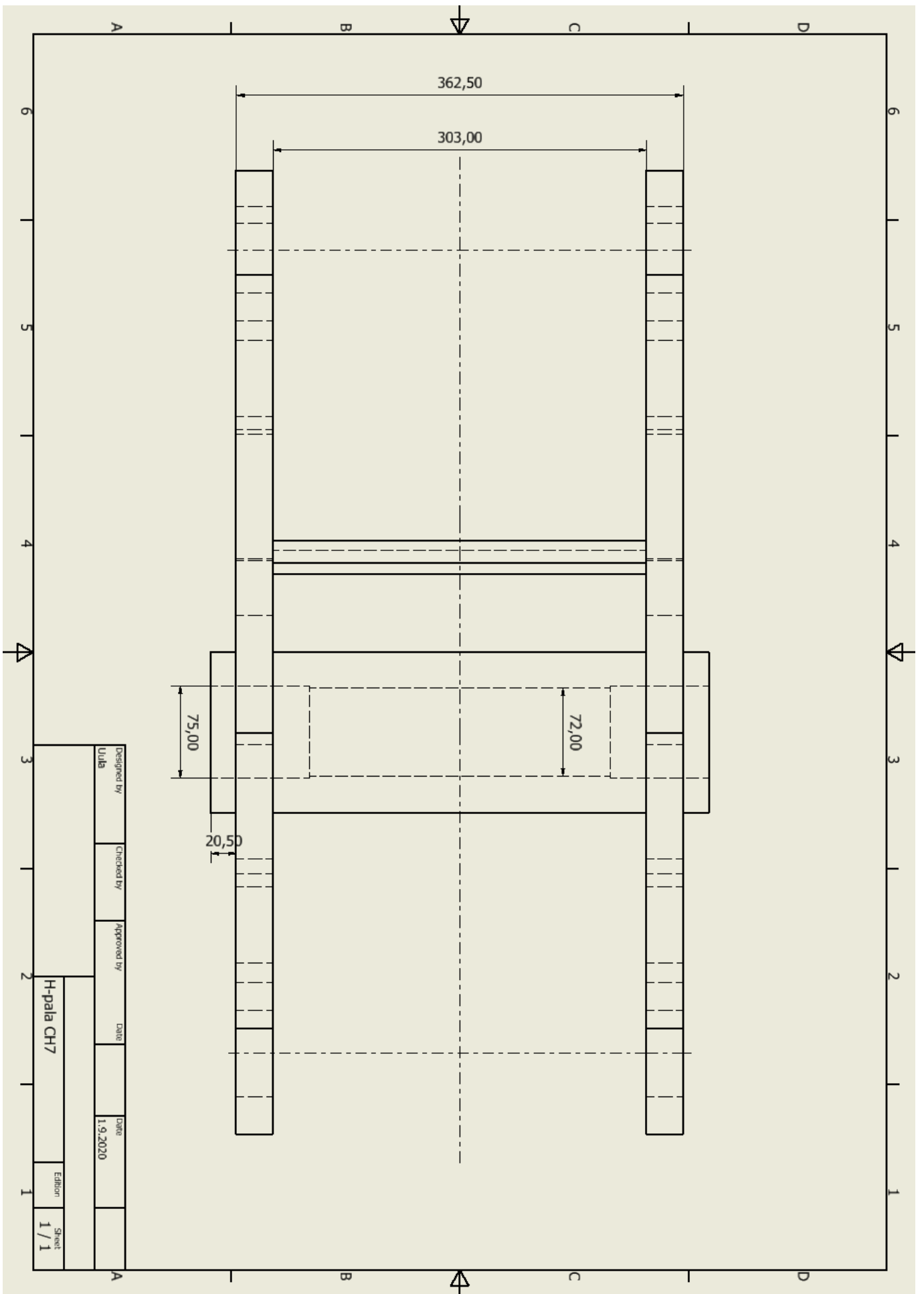
LIITTEET

Liite 1. H-palan mitat. John Deere Forestry Oy. (salattu)

Liite 2. H-palan voimat. John Deere Forestry Oy. (salattu)

Liite 3. Piirustukset valmiista kappaleesta.





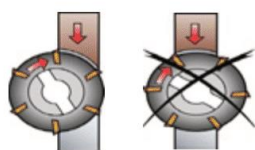


OHJEITA JYRSINTÄÄN



- Aseta leikkuri epäkeskisesti (vasemmalle), jotta sisäänmenokohdan lastut olisivat paksumpia ja jotta paksuja lastuja ei esiintyisi ulostulokohdassa.
- Vältä leikkurin keskilinjan läpi leikkaamista, sillä se voi aiheuttaa tärinää.
- Käytä aina myötäjyrsimistä.
- Suosittelemme, että leikkauksen leveys (ae) on 25 tai 75–80% halkaisijasta.
- Käytä kaarevaa lähestymisliikettä.
- Jos käytät koneistusterästä, suosittelemme kuivajyrsintää.
- Jos koneen teho on alhainen, käytä harvahampaista jyrsintää.
- Käytä aina asianmukaisia ja hyviä kiinnityslaitteita.
- Kaasuleikattuja reunoja jyrsittäessä leikkaussyvyyyden tulisi olla vähintään 2 mm, jotta polttoleikkauksen muutosvyöhyke poistuu.

KAAVAT JA MÄÄRITELMÄT



$$n = V_c \times 1000 / \pi \times d$$

$$V_c = \pi \times d \times n / 1000$$

$$v_f = f_z \times n \times z_n$$

$$f_z = v_f / n \times z_n$$

$$\pi = 3,14$$

$$V_c = \text{leikkausnopeus (m/min)}$$

$$n = \text{nopeus (rpm)}$$

$$f_z = \text{syöttönopeus hammasta kohden (mm/hammas)}$$

$$v_f = \text{syöttönopeus (mm/min)}$$

$$z_n = \text{jyrsintäterien määrä}$$

$$d = \text{työkalun halkaisija}$$

$$a_p = \text{leikkaussyvyys (mm)}$$

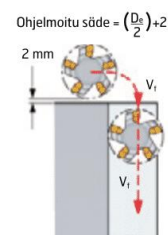
Jos syötät työkappaleen kaarevalla lähestymisliikkeellä, lastun paksuus ulostulokohdassa on aina nolla, ja tämä pidentää työkalun käyttöikää.



Kaareva lähestymisliike



Suoraan työkappaleeseen



JYRSINTÄÄN KÄYTETTÄVIEN KONEISTUSTERIEN LUOKITUKSET

P	ISO	ANSI	
P	01	C8	↑
	10	C7	
	20	C6	
	30		
	40	C5	↓
	50		
M	10		↑
	20		
	30		
	40		↓
K	01	C4	↑
	10	C3	
	20	C2	
	30	C1	
	40		↓
K	01	C4	↑
	10	C3	
	20	C2	
	30	C1	↓

TYÖKAPPALEEN MATERIAALI

P	ISO P= Teräs
M	ISO M = Ruostumaton teräs
K	ISO K = Valurauta
K	ISO H = Karkaistu teräs

↑ = Kulutuksenkestävyys

↓ = Sitkeys

* Esimerkkikoneistusterän luokitus: 1030.

Koneistusterän luokituksen 2 viimeistä numeroa ilmoittavat terän aseman tällä asteikolla, jos terälle on määritelty kulutus- tai sitkeysvastus.

KONEISTUSTERÄN GEOMETRIA

Makrogeometria vaikuttaa useisiin parametreihin leikkausprosessissa. Vahvakärkinen koneistusterä voi toimia suurella kuormituksella, mutta tällöin käytetään myös enemmän leikkausvoimaa, kulutetaan enemmän energiaa ja tuotetaan enemmän lämpöä.



Parametri	PIT	M	K
Terän lujuus			
Leikkausvoimat			
Energiankulutus	← Alhainen	Keskitaso	Korkea →
Lastun enimmäispaksuus			
Tuotettu lämpö			

- Käytä luokkien P30–50 koneistusteriä, joilla on pieni leikkausgeometria, ja harvahampaista jyräintä, jos koneen teho on alhainen ja jos koneistusolosuhteet ovat epävakait.

OTSAJYRSINTÄSUOSITUKSIA 45 ASTEEN ASETUSKULMALLE

Jos koneistusolosuhteet ovat hyvin vakaat ja alusta tuettu kunnolla, P10-luokan koneistusterä soveltuu parhaiten kaikkeen koneistusterillä tehtävään jyrsintään. Tällöin leikkausnopeutta voidaan nostaa n. 80–100 %.

Suositus tavallisiin koneistusolosuhteisiin.



	Strenx® 700	Strenx® 900/960	Strenx® 1100	Strenx® 1300
Vc (m/min)	200–250	180–220	110–150	100–140
Syöttönopeus (fz)	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.
P30-luokan koneistusterä	0,15–0,35	0,15–0,35	0,15–0,35	0,15–0,35

OTSAJYRSINTÄSUOSITUKSIA PYÖREILLE KONEISTUSTERILLE

Pyöreillä koneistusterillä on lujat kärjet ja niitä kannattaa käyttää, kun pinnassa on reikiä, aukkoja tms.

Suositus tavallisiin koneistusolosuhteisiin.



	Strenx® 700	Strenx® 900/960	Strenx® 1100	Strenx® 1300
Vc (m/min)	200–250	180–220	110–150	100–140
Syöttönopeus (fz)	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.
P30-luokan koneistusterä	0,10–0,25	0,10–0,25	0,10–0,25	0,10–0,25

KULMAJYRSINTÄSUOSITUKSIA 90 ASTEEN ASETUSKULMALLE

Suositus tavallisiin koneistusolosuhteisiin.



	Strenx® 700	Strenx® 900/960	Strenx® 1100	Strenx® 1300
Vc (m/min)	200–250	180–220	110–150	90–130
Syöttönopeus (fz)	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.
P30-luokan koneistusterä	0,12–0,25	0,12–0,25	0,12–0,25	0,12–0,25

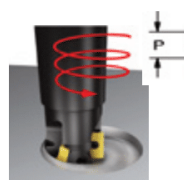
REIKIEN TEKEMINEN JYRSIMÄLLÄ SUURTA SYÖTTÖNOPEUTTA KÄYTTÄEN (NOUSUINTERPOLAATIO)

Nousuinterpolatio (t. nousullinen interpolaatio t. kierteinen interpolaatio) voi toimia myös vaihtoehtona poraamiselle. Se tarkoittaa simultaanista liikettä pyöreällä reitillä (X ja Y) käyttäen aksiaalisyyttöä (Z) ja ennalta määriteltyä kierteen nousua (P). Nousuinterpolatation hallintaan tarvitaan CNC-konetta.

Ohjeita

- Poista metallilastut paineilmalla.
- Käytä aina myötäjyrsimistä.
- P = kierteen nousu, mm/rev.
- Maks. kierteen nousu 09-kokoiselle jyrsimelle on 1,2 mm.
- Maks. kierteen nousu 14-kokoiselle jyrsimelle on 2,0 mm.

Nousuinterpolatio



Suositus tavallisiin koneistusolosuhteisiin.

	Strenx® 700	Strenx® 900/960	Strenx® 1100	Strenx® 1300
Vc (m/min)	200–250	180–220	110–150	100–140
Syöttönopeus (fz)	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.
P30-luokan koneistusterä	0,15–0,35	0,15–0,35	0,15–0,35	0,15–0,35



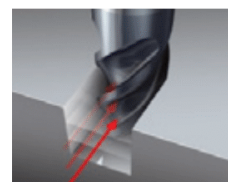
Coromill 210

- fz- ja mm/rev-arvot ovat Sandvik Coromantin Coromill 210:lle tarkoitettuja suosituksia.

PÄÄTYJYRSINTÄSUOSITUKSIA KOVILLE KARBIDITYÖKALUILLE

Urienjyrsintäsuosituksia

	Strenx® 700	Strenx® 900/960	Strenx® 1100	Strenx® 1300
Vc (m/min)	95–120	85–110	70–95	45–70
Syöttönopeus (fz)	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.
Hal- kaisija	3,0–6,0	0,01–0,035	0,01–0,03	0,01–0,025
	8,0–12,0	0,04–0,07	0,04–0,07	0,03–0,06
	14,0–20,0	0,07–0,10	0,07–0,10	0,06–0,08



Ohjeita urien jyrsimiseen

Ap (leikkaussyvyys)
maks. 0,5 x D



Ohjeita kulmajyrsintään

ap (käytä koko leikkuupituutta)

ae (radiaalinen lastuamis-
syvyys) maks. 0,1 x D

KULMAJYRSINTÄSUOSITUKSIA

		Strenx® 700	Strenx® 900/960	Strenx® 1100	Strenx® 1300
Vc (m/min)		210–240	180–210	160–190	120–150
Syöttönopeus (fz)		min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.	min.–maks.
Hal- kaisija	3,0–6,0	0,02–0,05	0,02–0,04	0,02–0,04	0,015–0,035
	8,0–12,0	0,07–0,10	0,06–0,09	0,06–0,09	0,05–0,07
	14,0–20,0	0,10–0,14	0,10–0,13	0,10–0,12	0,08–0,10

- Jos mahdollista, käytä vain paineilmaa lastujen poistamiseen ja Weldon-istukkaa halkaisijaltaan yli 10 mm:n työkaluille.