

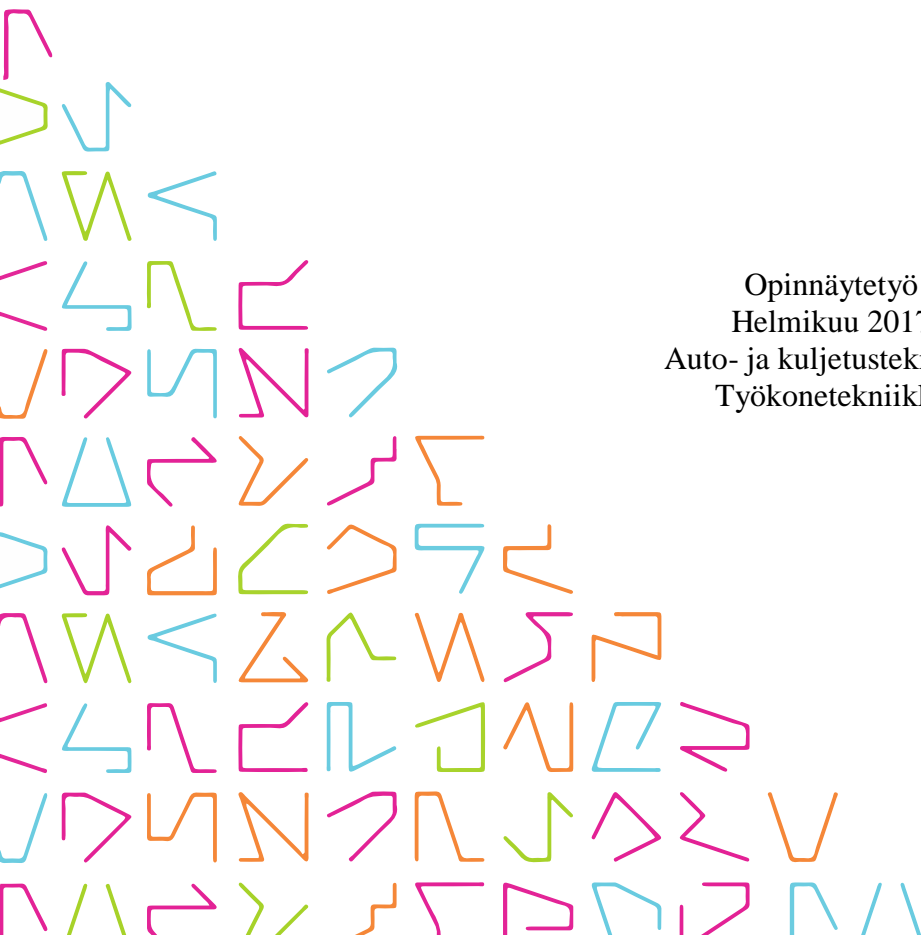


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

DRIFT TRIKEN RUNGON SUUNNITTELU

Teo Stavenhagen

Opinnäytetyö
Helmikuu 2017
Auto- ja kuljetustekniikka
Työkonetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Työkonetekniikka

Stavenhagen, Teo
Drift Triken rungon suunnittelu

Opinnäytetyö 28 sivua
Helmikuu 2017

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä drift trike –moottoriajoneuvon runkogeometriaan ja sen vaikutukseen rungon jäykkyyteen.

Rungon ääriimitat laskettiin jo selvillä olevien asioiden myötä, kuten renkaiden kitkakerroimet sekä saatavilla olevien taka-akseleiden pituudet. Staattisten lujuuslaskujen perusteella valittiin alustava standardien mukainen runkoputki. Simuloinnissa käytettiin useita erilaisia runkogeometrioita, joista haettiin parhaat ominaisuudet.

Teräsputkirungon suunnittelun jälkeen aloitettiin mitoittamaan samalla runkogeometrialla toista runkoa, jossa valmistusmateriaalina käytettiin PLA –tulostemuovia, sekä valmistusmenetelmänä 3D-tulostusta. Kyseiseen runkogeometriaan simuloitiin erilaisia profiileja, joista selvitettiin taivutusjännitykset. Tulostetun rungon simulaatiotuloksia käytettiin vain teoriapohjaisina, koska tarkkoja lujuuksia tulostetulle muoville ei ollut tiedossa.

Lopuksi vertailtiin tulostetun rungon sekä teräsputkirungon eroja, hyötyjä sekä haittoja eri näkökulmista, kuten valmistus sekä massa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Automobile and Transport Engineering
Automobile and Industrial Vehicle Engineering

Stavenhagen, Teo
Drift Trike Frame Design

Bachelor's thesis 28 pages
February 2017

This thesis was meant to get familiar with drift trike's frame geometry and its effect to chassis strength.

Frame end points were calculated by using already known facts, such as tires friction multipliers and rear axle widths. Based on static calculations, a standard according frame tubing was selected. Various different frame geometries were simulated, and the best features were claimed.

After the steel frame was designed, the same geometry was used to design another frame, which was meant to be produced with 3D-printing from PLA-plastic. The simulation results from this frame were used only on theoretical base, therefore the exact rigid values for 3D-printed PLA weren't available.

Finally, a comparison of the printed frame and steel tube frame differences, advantages and disadvantaged of different points of view, such as manufacturing and mass.

Key words: drift trike, frame strength, chassis design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MIKÄ ON DRIFT TRIKE?.....	6
3	ESITUTKIMUS	7
4	ÄÄRIMITTOJEN JA VOIMIEN LASKEMINEN	8
	4.1 Mitoituksiin vaikuttavat tekijät	8
	4.2 Äärimittojen laskeminen.....	8
	4.3 Runkoon vaikuttavat voimat	10
	4.4 Rungoputken koko	10
5	RUNKOGEOMETRIA	12
	5.1 Runkogeometria 1	12
	5.2 Runkogeometria 2.....	13
	5.3 Runkogeometria 3.....	14
	5.4 Runkogeometria 4.....	14
	5.5 Runkogeometria 5.....	15
	5.6 Runkogeometria 6.....	16
	5.7 Runkogeometria 7.....	17
	5.8 Runkogeometria 8.....	18
	5.9 Runkogeometria 9.....	18
	5.10 Runkogeometria 10.....	19
	5.11 Yhteenveto	20
6	VAIHTOEHTOINEN RUNKOMATERIAALI	21
	6.1 Materiaali ja sen ominaisuudet	21
	6.2 Erilaiset profiilit	21
	6.3 Tulostettavan profiilin koko.....	24
	6.4 Tulostettavan rungon staattinen simulaatio	25
	6.5 Yhteenveto	27
7	POHDINTA.....	28
	LÄHTEET.....	29

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksen oli tutkia sekä suunnitella drift trike -moottoriajoneuvon runko. Drift trikeä käytetään hauskanpito- sekä ajanviettotarkoituksiin, sillä se on tieliikennelaiton moottoriajoneuvo. Sillä ei ole kilpasarjaa vielä olemassa, joten runko suunniteltiin puhtaasti harrastekäyttöön. Tarkoituksena oli suunnitella sellainen runko, joka olisi helppo sekä halpa valmistaa, sekä riittävän jäykkä. Drift triken runko perustuu suurelta osin perinteiseen kolmipyöräiseen polkupyörään, jossa on yksi pyörä edessä ja kaksi takana. Lisäksi drift trikeissä on polttomoottori liikuttamassa ajoneuvoa. Tässä opinnäytetyössä ei keskitytty moottoriin tai välityssuhteisiin, vaan keskipisteenä oli runko. Teräsrungon suunnittelun ja simuloinnin jälkeen laskettiin toinen runko samalla geometrialla mutta runkoputkien profiilia muuttamalla niin, että toinen runko valmistettaisiin PLA -tulostemuovista 3D-tulostinta käyttämällä. Kun molemmat rungot oli simuloitu, niiden eroja verrattiin valmistuskustannusten, massan sekä jäykkyyden kannalta.

2 MIKÄ ON DRIFT TRIKE?

Drift trike on alkujaan Uudessa-Seelannissa nuorison jalostama kolmipyöräinen polkupyörä, jossa takarenkaiden päälle on kiinnitetty PVC-putkea pidon vähentämiseksi. Ajatuksena on ollut laskea näillä kolmipyörillä mutkaista mäkeä alas luisuen sivuttain. Kun tietoisuus drift triken olemassaolosta levisi, niiden omavalmistus lisääntyi voimakkaasti ja mäkiä alettiin laskea suuremmilla joukoilla. Etupyörässä oli joko polkimet joilla pystyttiin polkemaan vauhtia tasamaalla, tai jalkatapit helpottamaan tasapainoa mutkissa. Jarruna käytettiin polkupyörän etujarrua eturenkaalla. (www.en.wikipedia.org, www.driftrikemag.com)

Kun suosio laajeni, keksittiin yhdistää mikroauton takaosa ja BMX -polkupyörän etuosa. Tämä yhdistelmä mahdollisti ajamisen myös tasaisella maalla, kuin ylämäessäkin. Tästä syntyi tässä opinnäytetyössä käsiteltävä motorisoitu drift trike, jossa moottorina käytettiin yleisesti hyväksi todettua 250cc nelitahtista ottomoottoria. Tälle luvattiin tehtaalta 4,8 kilowatin teho sekä 3800 kierrosta minuutissa. (www.harbourfreight.com)

3 ESITUTKIMUS

Ennen oman runkogeometrian suunnittelun aloittamista, kartoitettiin millaisia erilaisia runkogeometrioita oli käytetty. Drift triken runkojen perusrakenteet olivat hyvin samankaltaisia, kuitenkin useita eroja löytyi eri valmistajien väliltä (Kuva 1.). Rungon etuosan korkeuteen vaikuttava tekijä oli eturenkaan halkaisija.

Yleisimmin käytetyt eturengaskoot olivat 20” ja 26”, mikä osaltaan vaikutti rungon etuosan korkeuteen maasta ohjauksen asennon muuttuessa. Eturenkaan leveydet vaihtelivat 2” aina 3” leveyteen asti. Renkaan halkaisijalla ja leveydellä oli suora vaikutus rungon korkeuden käyttäytymiseen eturengasta käännettäessä. Suurempi halkaisija ja leveämpi rengas muuttavat rungon ohjausputken korkeutta enemmän. Runkoputkien paksuuksista ei löytynyt tietoa, joten sen määrittäminen jäi alustavien laskujen varaan. (www.sfdindustries.com, www.flatoutdriftrikes.com)



KUVA 1. Amerikkalaisvalmisteisia drift triken runkoja (SFD Industries)

4 ÄÄRIMITTOJEN JA VOIMIEN LASKEMINEN

4.1 Mitoitukseen vaikuttavat tekijät

Drift triken äärimittoihin vaikutti moni eri tekijä. Koska drift trikella ajaminen sivuluisissa muistattaa paljon autolla ajettavaa driftingiä, molemmissa pätevät samat lainalaisuudet. Mikäli käytetään pidempää runkoa, on se suuntavakaa käsitellä suurissa nopeuksissa mutta vastaavasti haasteellinen käsiteltävä pienissä nopeuksissa. Niin ikään kapea runko on epävakaa suurissa nopeuksissa ja vastaavasti ketterä pienissä nopeuksissa. (www.driftworks.com, www.driftrikemag.com)

Rungon leveyden lisäksi oli muitakin asioita jotka vaikuttavat ajo-ominaisuuksiin. Mikäli runko olisi leveä ja vakaa käsitellä suurissa nopeuksissa, sen kuljettaminen ajoradalle olisi hankalaa koska runko vaatisi paljon tilaa leveyssuunnassa. Pituussuunnassa yksi vaikuttava tekijä olisi eturenkaan halkaisija.

20” eturengas oli tilankäytöllisesti pienempi koska ohjauksen vaatima tila käännettäessä ääriasentoihin oli huomattavasti pienempi verrattuna esimerkiksi 26” renkaaseen. Halkaisija vaikutti myös oleellisesti jalkatappien leveyteen. Jalkatapit oli sijoitettu etupyörän molemmille puolille ja näin ollen eivät olleet merkityksellisessä asemassa suunniteltaessa rungon etuosaa. Ajettaessa suurella luistokulmalla eturengas voi olla käännettynä jopa 90 astetta. Näin ollen rungon mitoituksen suunnittelussa oli ratkaisevassa asemassa laitteen käsiteltävyys, jotta ajo-ominaisuudet suhteessa laitteen äärimittoihin saatiin pidettyä järkevissä suhteissa. Runko oli tarkoitus pitää kapeana myös siis syystä, että ajoneuvossa säilyisi tietynlainen ketteryys.

4.2 Äärimittojen laskeminen

Ensimmäisenä määräävänä tekijänä rungon mittojen suhteen oli taka-akseli. Tähän tarkoitukseen valittiin yleisessä käytössä oleva 1070mm pitkä mikroauton taka-akseli, jolloin rungon leveimmäksi osaksi tulisi 950mm.

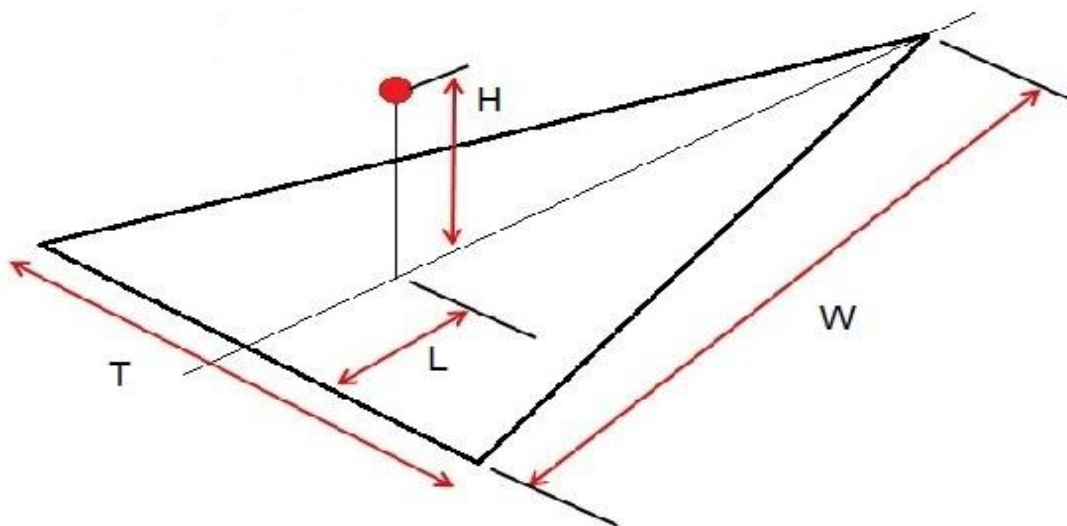
Koska suurin ohjausta määrittävä tekijä olisi eturengas, valittiin sen lepokitkakertoimen perusteella sivuttaiskiihtyvyyden rungolle. Täksi arvoksi saatiin 0,8 g. (Taulukot.com)

Runko tultaisiin suunnittelemaan maksimissaan 110 kilogrammaa painavalle kuljettajalle, vaikka keskiverto kuljettaja painaisi 75 kg. Tällöin mahdollistettaisiin laajempi harrastajakunta laitteelle. Istuimen keskipisteen olisi tarkoitus olla 300 mm taka-akselin etupuolella jolloin istuimen taakse jäisi tarpeeksi tilaa ketjusuojaalle. Painopisteen korkeudeksi arvioitiin 380mm perustuen moottorin sekä kuljettajan korkeuteen rungosta. 17 kg painava moottori olisi tarkoitus sijoittaa taka-akselin taakse. Rungon painoksi arvioitiin 25 kg, jotta voitiin laskea massakeskipisteen kaavalla painopisteen etäisyys taka-akselista (Kuva 2.). Tämän jälkeen käytettiin kaavaa (Kaava 1.), jolla saatiin lasketta sopiva akseliväli.

$$\begin{aligned}
 A &= \textit{sivuttaiskiihtyvyyys} & (1.) \\
 T &= \textit{raideleveys} \\
 W &= \textit{akseliväli} \\
 L &= \textit{painopisteen etäisyys taka-akselista} \\
 H &= \textit{painopisteen korkeus}
 \end{aligned}$$

$$A := \frac{T \cdot (W - L)}{2 \cdot W \cdot H}$$

Akselivälin pituudeksi saatiin 925 mm. Suurinta laskennallista sivuttaiskiihtyvyyttä drift trikellä ei tultaisi saavuttamaan, koska takarenkailla olevalla PVC –muovilla ei ole tarpeeksi suurta kitkakerrointa. Vaihtoehtoisesti jos takarenkaat olisivat kumia, jäykkä taka-akseli estäisi kääntymistä ja vauhdin kasvaessa alkaisi esiintyä aliohjaamista.



KUVA 2. Rungon yksinkertaistettu laskentamalli

4.3 Runkoon vaikuttavat voimat

Triken runkoon laskettiin 8 kg lisää massaa, joka sisälsi renkaat, tarvittavat sähköt, polttoaineen sekä etuhaarukan. Tällöin triken kokonaismassaksi tuli 160 kg. Sivuttaiskiihtyvyyden avulla laskettiin painopisteeseen vaikuttava maksimi sivuttaisvoima. Kun painopisteeseen vaikuttavat maksimivoimat oli saatu laskettua, ne laskettiin taka-akselilla vaikuttaviksi voimiksi, jolloin tiedettiin kuinka suurella voimalla runkoa on tarkoitus kiertää simulaatioissa. Maksimivoimaksi saatiin 781 newtonia rengasta kohden, jolloin toisella puolella voima vaikuttaisi alaspäin ja toisella puolella ylöspäin.

Simuloinnilla oli tarkoitus selvittää, kuinka paljon jokaiseen runkogeometriaan syntyy muodonmuutosta, sekä mahdollisia jännityspisteitä. Suurimmat muodonmuutokset tulisivat oletettavasti sijaitsemaan kuormituspisteissä, mutta jännityspisteiden sijainti vaihtelisi runkogeometrian mukaan.

4.4 Rungoputken koko

Staattisessa tilanteessa etuakselille tuli painoa 485,4 newtonia ja taka-akselille 1083,6 newtonia, jolloin painopiste oli 69 % taka-akselilla. Ideaali tilanne olisi ollut 66% taka-akselipainoa, jolloin jokaiseen pyörään kohdistuisi staattisessa tilanteessa yhtä paljon painoa. Jarrutustilanteessa painopiste siirtyy eteenpäin, jolloin liian etupainoinen ajoneuvo menettäisi herkemmin eturenkaalta pidon. (Motorcycle handling and chassis design. Tony Foale. 2006.)

Teoreettiset laskut eivät olleet paikkaansa pitäviä koska niissä ei huomioitu runkogeometriaa tai rinnakkaisia rungoputkia. Taulukossa esitetyissä tuloksissa on laskettu etuakselin tukivoima painopisteen etäisyydellä etuakselista, joka on triken rungossa pisin jänneväli. Näillä voimilla laskettiin putkeen vaikuttava maksimijännitys sekä teoreettinen maksimitaipuma.

Runkomateriaalin tuli olla helposti saatavilla olevaa materiaalia. Tämän vuoksi putkivaihtoehdot valittiin Polarputki Oy:n saumattomista putkivaihtoehdoista. Putkityypiksi valittiin S355J2H-saumaton teräsputki.

TAULUKKO 1. Runkoputkien vertailua taipuman ja massan mukaan

ulkohalkaisija [mm]	seinämävahvuus [mm]	laskennallinen		maksimi jännitys [Mpa]	massa [kg/m]
		taipuma [mm]			
38	3,2	46,63		189,43	2,750
42,4	3,2	32,69		148,14	3,094
44,5	2,6	33,03		157,14	2,687
48,3	2,6	25,48		131,53	2,930
51	2,9	19,58		106,75	3,440
54	3,2	15,06		86,92	4,010

Polarputki Oy:n sivuilta löytyvästä putkikokotaulukosta koottiin ohutseinäisimmät putkikoot, jolloin paino pysyi mahdollisimman alhaisena putken ulkohalkaisijaan nähden. Putkille laskettiin teoreettinen taipuma millimetreinä sekä maksimijännitys metrin matkalla (Kaava 2.). Voimana F_g käytettiin drift triken painoa. Taulukosta löytyi putkikoko, jossa taivutusjännitys jatkoi vielä laskemista mutta putken massa alkoi kasvaa merkittävästi.

Runkoputken kooksi valittiin ulkohalkaisijaltaan 48,3mm ja seinämävahvuudella 2,6mm oleva saumaton teräsputki (Taulukko 1.). Tälle putkikoolle oli annettu maksimi myötölujuudeksi 345 MPa sekä murtolujuudeksi 500 MPa. (Polarputki)

$$y_{\max} := \frac{F_g \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (2.)$$

5 RUNKOGEOMETRIA

Runkogeometria hahmottamisessa käytettiin apuna markkinoilla tarjolla olevia useita erilaisia ratkaisuja. Apuna rautalankamallin suunnittelussa käytettiin myös kolmiointia, mikä on tehokas tapa jäykistää erilaisia runkoja sekä jakaa voimia tasaisemmin. Ensimmäinen vaihe oli simuloida useita erilaisia runkogeometrioita ja selvittää, kuinka jännitykset jakautuvat missäkin geometriassa. Joihinkin runkoihin tehtiin muutoksia, jotka simuloitiin uudelleen. Kun kaikki rungot oli simuloitu, vertailtiin runkojen painoja, mikä on varsin oleellinen asia näin kevyessä ajoneuvoluokassa.

Kaikkia runkoja kuormitettiin taka-akselin laakeripukkien paikalta kiertävällä voimalla, sekä runko tuettiin etuhaarukan paikalta. Taka-akselia kiertäväksi voimaksi 351 Nm, joka saatiin laskemalla suurin sivusuuntainen voima kiihtyvyyden suhteen ja tämän jälkeen kertomalla se painopisteen korkeudella (Kaava 3, Kaava 4).

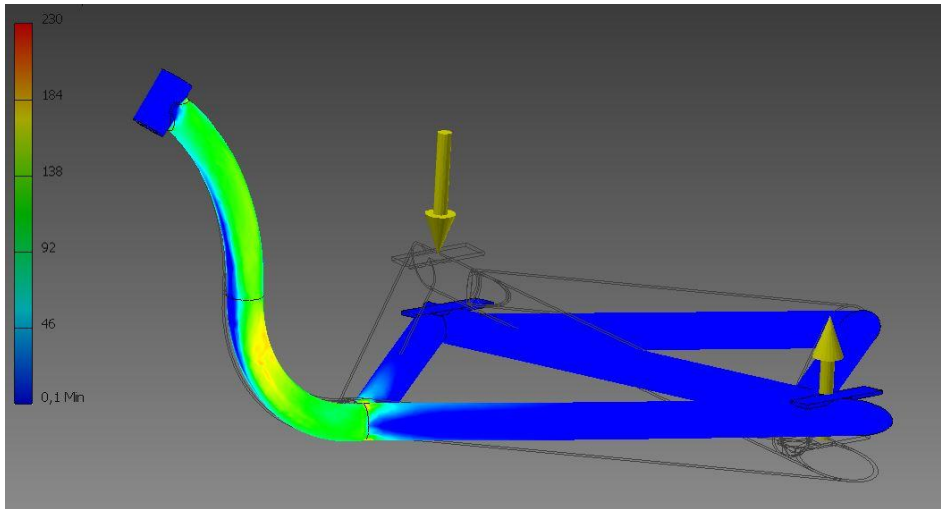
$$F_c := m \cdot a = 1255.3\text{N} \quad (3.)$$

$$F_k := F_c \cdot h = 351.47\text{N} \cdot \text{m} \quad (4.)$$

Tällöin simuloinnissa näkyvät voimat jakautuivat realistisesti normaaliin ajotilanteeseen verrattuna. Simuloinneissa ei käytetty jalkatappeja, koska niillä ei ole oleellista merkitystä rungon jäykkyyteen, sekä ne tulitisiin asentamaan pulttiliitoksella valmiiseen runkoon portaattoman korkeuden säädön takia.

5.1 Runkogeometria 1

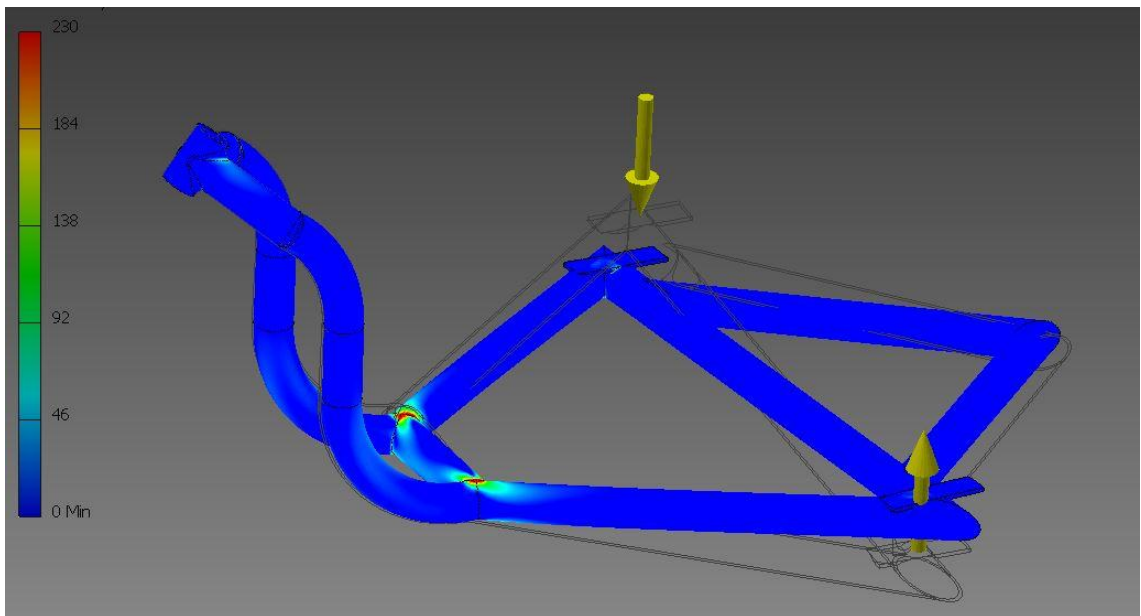
Ensimmäinen runko perustui puhtaasti lujuuslaskennasta tuttuun kolmiointiin. Tällainen runkogeometria oli helpoin tapa selvittää kuinka voimat jakautuvat runkoon. Simuloinnissa selvisi, että jännitykset kerääntyvät etummaisen runkoputken juureen (Kuva 3.). Tämä oli juuri se paikka rungossa, joka ottaa taka-akselilta tulevan kiertymän vastaan. Taaempi osa rungosta ei simulaatiossa ottanut kiertomomenttia vastaan.



KUVA 3. Runkogeometria 1 jännityssimulaatio

5.2 Runkogeometria 2

Seuraava runkogeometria vastasi ensimmäistä geometriaa, mutta emäputkia oli 2 kappaletta (Kuva 4.). Tällä muutoksella oli tarkoitus jakaa ensimmäisessä simulaatiossa havaittu emäputken jännitys kahteen putkeen, jolloin jännityshuiput pienenisivät.



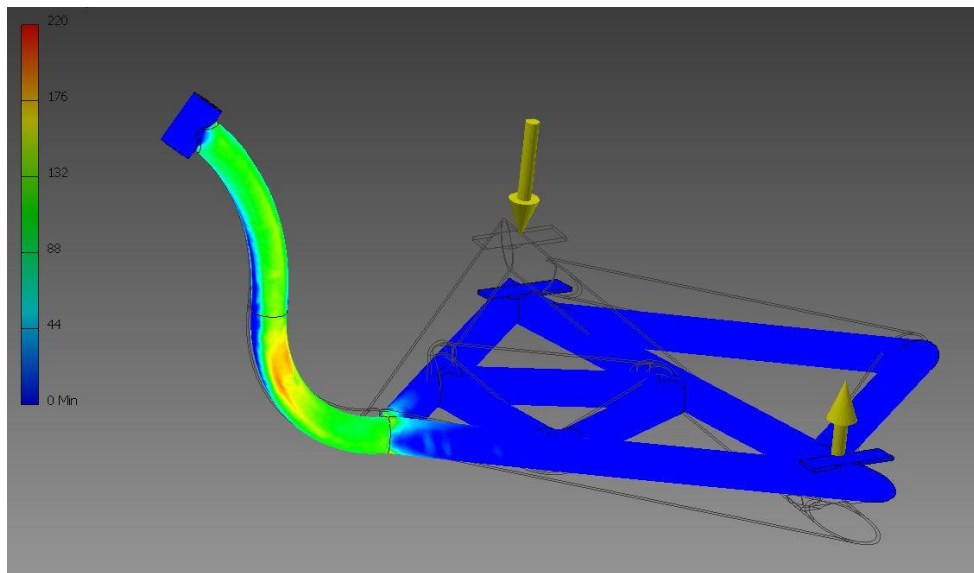
KUVA 4. Runkogeometria 2 jännityssimulaatio

Kuten simulaatiosta huomattiin, vaikka emäputkien määrä kaksinkertaistettiin, niihin vaikuttava voima ei puolittunut. Kaksi täysin rinnakkaista emäputkea tekivät rungon etuosasta huomattavasti jäykemmän, mikä jakoi jännitykset putkien sijaan liitoksiin.

Tämä johtui siitä, että emäputket eivät jousta, jolloin jännitykset siirtyivät lähimpään heikkoon paikkaan.

5.3 Runkogeometria 3

Kolmas runkogeometria perustui ensimmäiseen, mutta rungon sisälle sijoitettiin toinen kolmio (Kuva 5.). Tällä oli tarkoitus siirtää voimia tasaisemmin rungossa, jolloin emäputkeen ei kohdistuisi niin suuria jännityksiä.

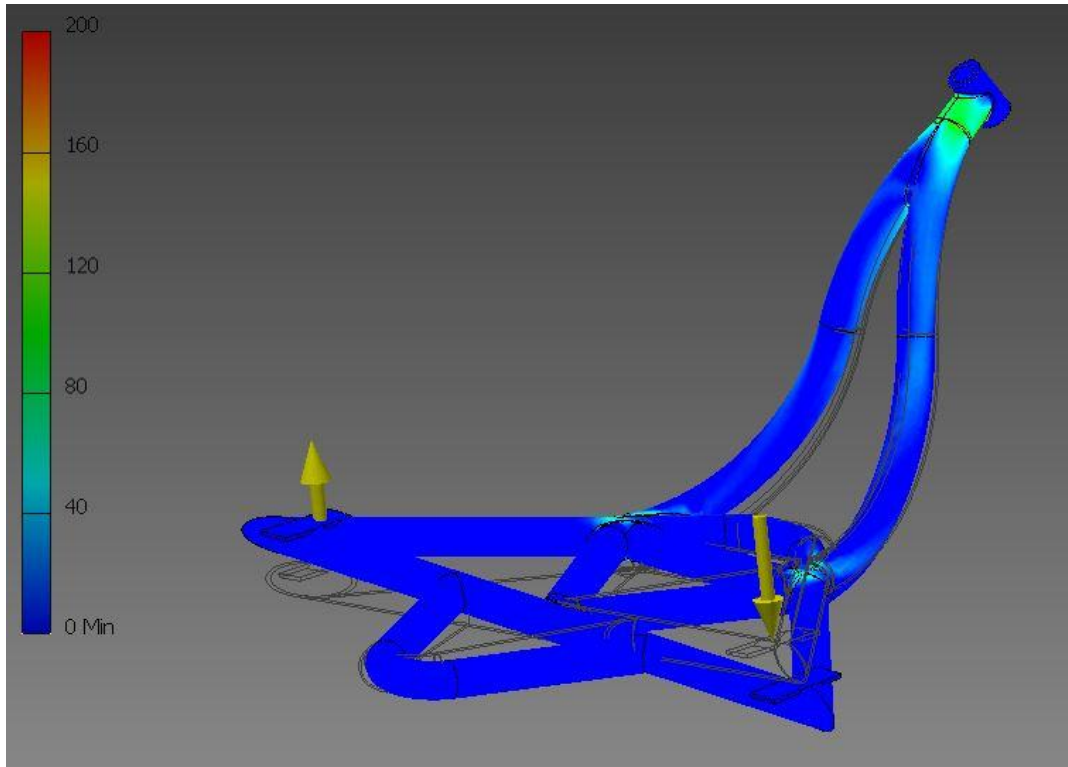


KUVA 5. Runkogeometria 3 jännityssimulaatio

Simuloinnissa nähtiin rungon lisääjäkyky kolmion lisäämisessä. Ensimmäisessä runkogeometriassa olevat vinoputket joustivat hieman, mutta kolmion lisäämisen myötä runko jäykistyi lisää. Tämän johdosta suurempi osa voimista siirtyi emäputkeen, joka johti suurempiin jännityksiin.

5.4 Runkogeometria 4

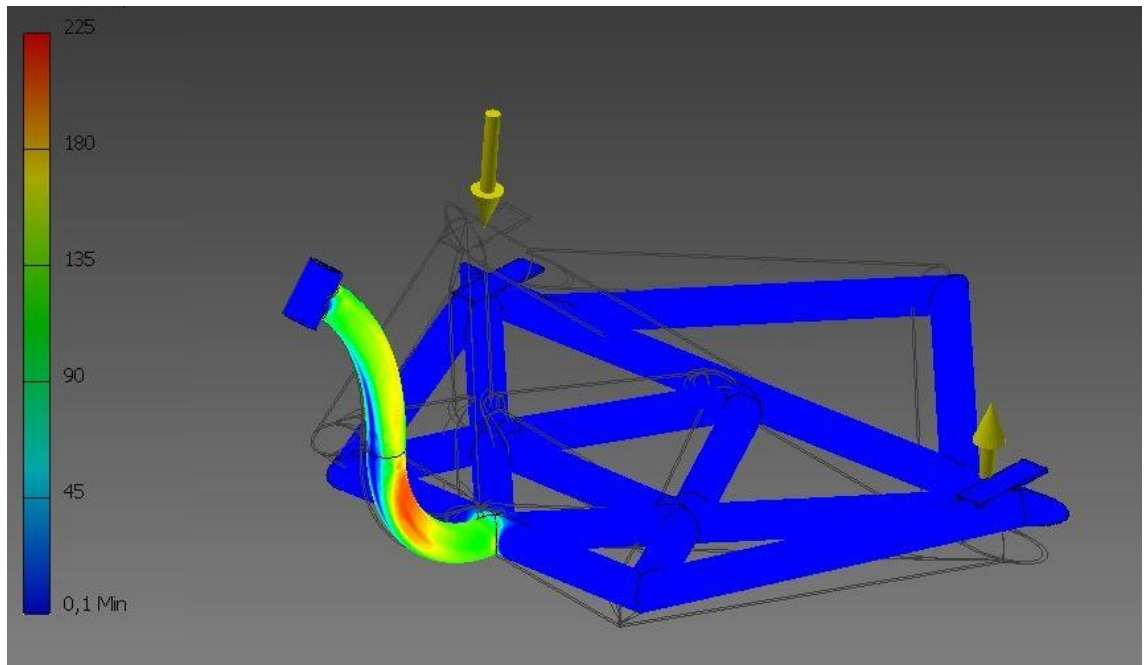
Neljännän runkogeometrian ajatuksena oli sama kuin toisenkin, jakaa jännityksiä lisäämällä toinen emäputki (Kuva 6.). Koska toisen rungon kohdalla jännitykset kasautuivat emäputkien alle, päätettiin tähän runkoon yhdistää emäputket aikaisemmin. Lisäämällä toinen pitkä emäputki, taka-akselilta tulevat jännitykset jakautuivat hieman paremmin molempiin putkiin. Jännitykset kerääntyivät tässä geometriassa emäputkien yhdyspisteeseen, ohjauslaakerin lähelle.



KUVA 6. Runkogeometria 4 jännityssimulaatio

5.5 Runkogeometria 5

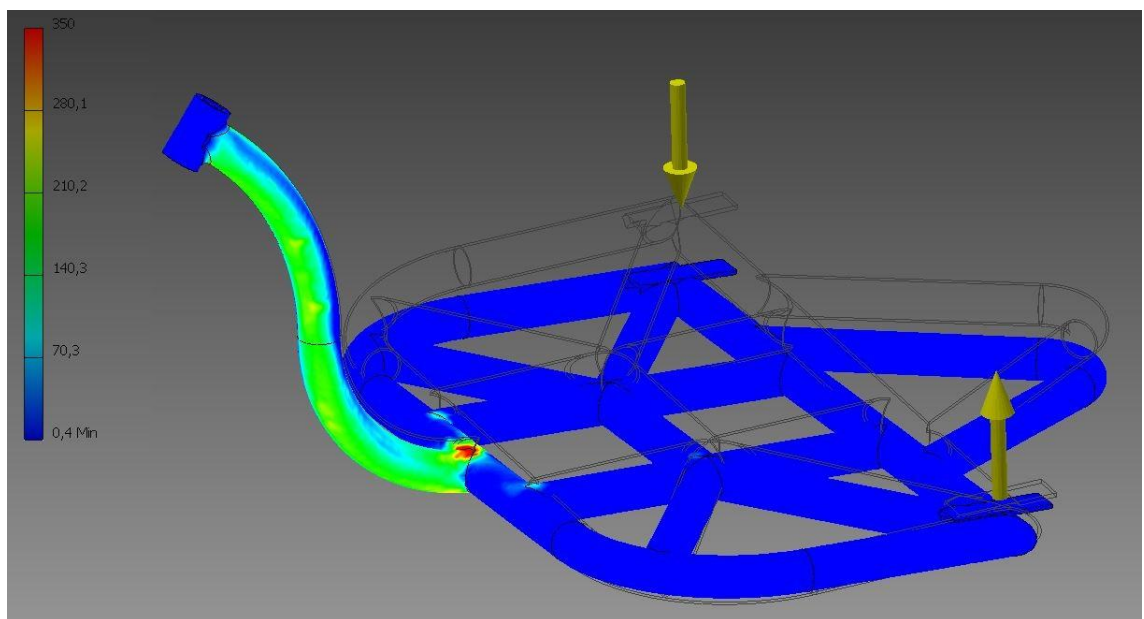
Seuraavaan runkogeometriaan lisättiin edelleen kolmiointia (Kuva 7.). Vaikka kolmiointin lisäämisen vaikutukset rungossa oleviin jännityksiin alkoivat selvitä kolmannessa simulaatiossa, päätettiin selvittää karrikoituuko kolmiointin vaikutukset entisestään. Emäputken alaosaan yhdistyvät etummaisets runkoputket liittyivät emäputkeen 90 asteen kulmassa, joka aiheutti simulaatiossa selvinneen jännityskeskittymän emäputken alaosaan. Syyksi tähän oletetaan runkoputkien kohtisuuraa liitosta, sekä entisestään jäykempää runkoa. Aiemmillä geometrioilla voimat ovat siirtyneet emäputkeen loivassa kulmassa.



KUVA 7. Runkogeometria 5 jännityssimulaatio

5.6 Runkogeometria 6

Kolmioinnin jälkeen päätettiin kokeilla H-profiilista runkoa (Kuva 8.) pohjautuen 5:teen runkogeometriaan. Tarkoituksena oli vähentää kolmioinnilla liiallista jäykkyyttä, keventää runkorakennetta sekä pyöristää rungon ulkolinjoja.

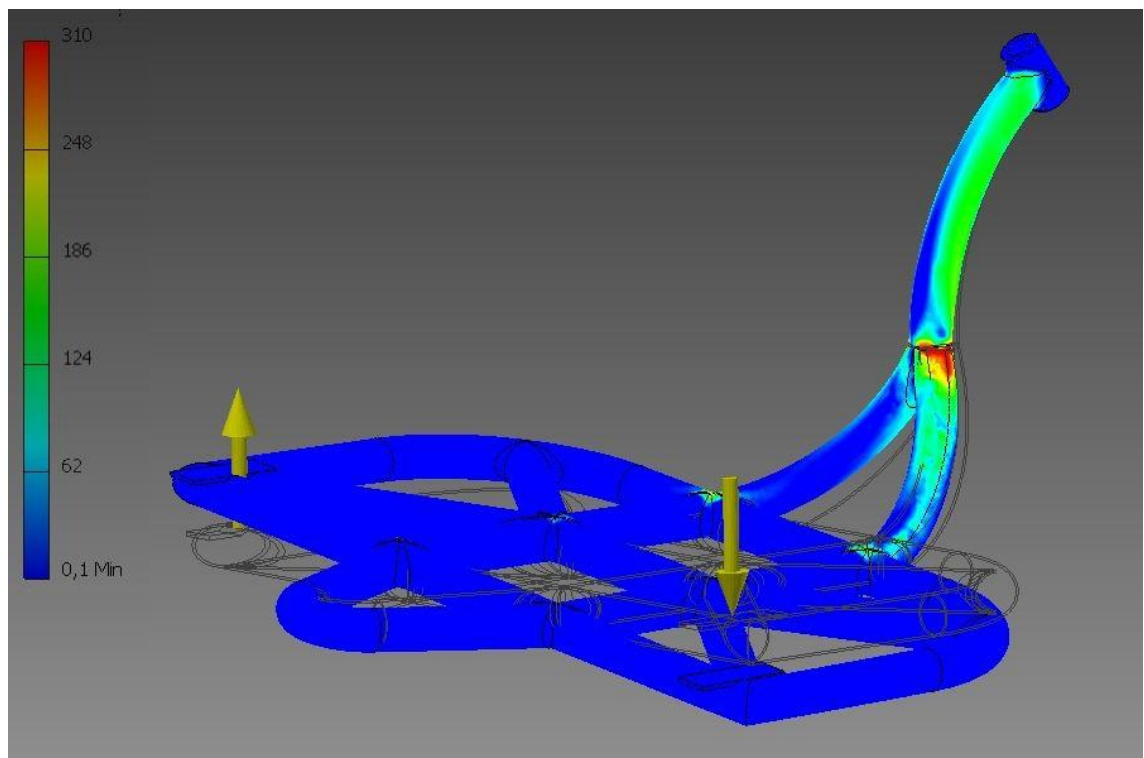


KUVA 8. Runkogeometria 6 jännityssimulaatio

Simulaatiossa havaittiin paljon samoja piirteitä jännitysten jakautumisella kuin edellisen runkogeometrian kanssa. Runko itsessään oli jäykkä, mutta emäputken alaosaan kohdistuoraan kiinnittyvät runkoputket eivät jakaneet jännitystä emäputkeen, vaan jännityksestä tuli jälleen pistemäinen emäputken alaosaan. Emäputken alaosassa on nähtävissä suurempi jännityskeskittymä, mutta myös emäputkessa koko pituudella on nähtävissä jännitystä. Simulaatiossa havaittu pistejännitys ei ole käytännöllisessä paikassa, koska hitsausauman peittäessä runko katkeaisi välittömästi yhden emäputken takia.

5.7 Runkogeometria 7

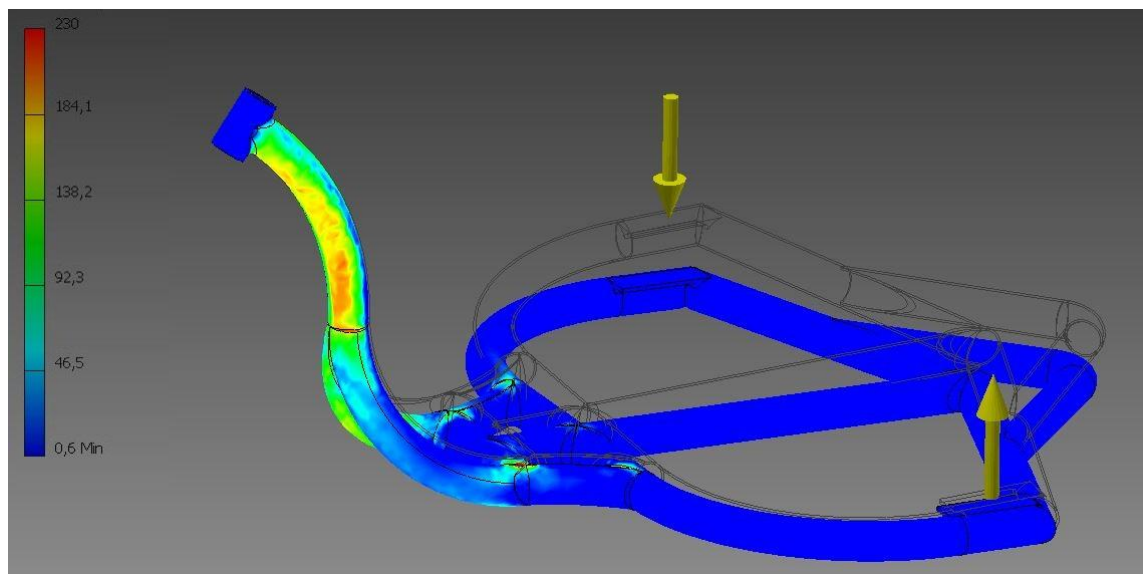
Tähän mennessä tehdyistä simulaatioista oli havaittu emäputken kahdentamisen vaikutukset jännitysten jakautumisessa. Tässä geometriassa emäputken kahdentamisella yritettiin poistaa pistejännitys rungon etuosassa (Kuva 9.). Kuten simulaatituloksesta näkee, emäputken kahdentaminen siirsi halutusti pistejännityksen pois rungon etuosasta. Voitiin myös todeta, että suurimmat jännitykset sijaitsevat lähes poikkeuksetta emäputkessa. Tässä tapauksessa jännitykset siirtyivät rungon etuosasta emäputkea ylöspäin putkien liitoskohtaan.



KUVA 9. Runkogeometria 7 jännityssimulaatio

5.8 Runkogeometria 8

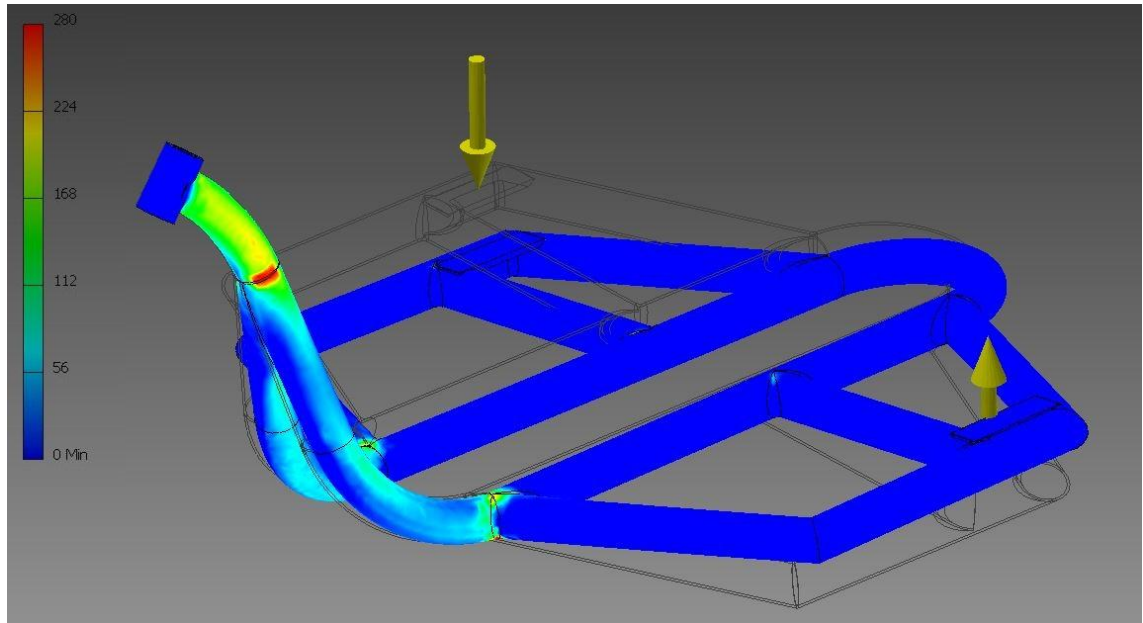
Simulointien edetessä oli huomattu, että rungon tasaisella osuudella ei ollut suurta merkitystä jännitysten kestävyuden kanssa, joten se oli optimaalinen paikka keventää runkogeometriaa. Vastaavasti rungon etuosan, sekä emäputken alaosan kestävyuden kanssa oli ongelmia. Tähän runkogeometriaan yhdistettiin kevyt tasorakenne, mutta geometriassa keskityttiin emäputken jännityksiin (Kuva 10.). Rungon etuosan putket taitettiin mutkalle, jotta kulmikkailta liitoksilta vältyttiin. Emäputken alaosa toteutettiin kahdella putkella pistejännitysten välttämiseksi, mutta yläosa yhdellä putkella yksinkertaisemman toteutuksen vuoksi. Simulaatiossa selvisi kuinka jännitykset jakautuvat emäputken yläosaa tasaisesti ilman, että rungon tasorakenteeseen syntyy merkittäviä pistejännityksiä. Vaikka tasorakenne toteutettiin vain 3:lla pitkittäisellä putkella, sinne ei syntynyt merkittäviä jännityksiä.



KUVA 10. Runkogeometria 8 jännityssimulaatio

5.9 Runkogeometria 9

Seuraavaan runkogeometriaan käytettiin pohjana edellistä, hyvin kevyttä tasorakennetta. Tasorakenne jaettiin kahteen puoliskoon, joihin toteutettiin H-profiiligeometria (Kuva 11.). Emäputkien alaosa pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman loivassa kulmassa tasorakenteeseen pistejännitysten poistamiseksi.

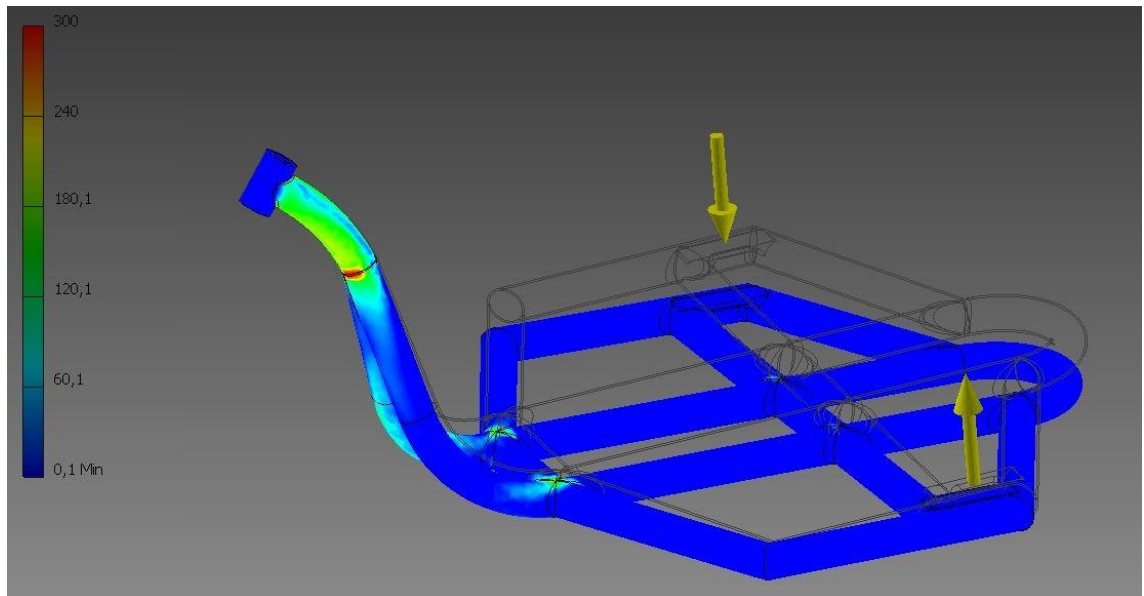


KUVA 11. Runkogeometria 9 jännityssimulaatio

Tässä simulaatiossa nähtiin, kuinka jännitykset jakautuvat tasaisesti emäputkiin. Kuitenkin emäputkien liitoksessa nähdään pistemäinen jännitys. Tasorakenteessa ei ole havaittavia jännityspisteitä.

5.10 Runkogeometria 10

Viimeiseen runkogeometriaan käytettiin pohjana edellistä geometriaa, mutta rungon keskiosaan lisättiin 2 kappaletta yhdysputkia (Kuva 12.). Näiden tarkoituksena oli tasoittaa jännityksiä eri puoliskojen välillä, sekä vähentää suuria jännityksiä emäputkissa. H-profiili ei ole yhtä tehokas kestämään jännitystä kuin kolmiointi, mutta triken runkojen kohdalla tasorakenteen jännityksen eivät olleet ongelma. Edelliseen runkoon verrattuna emäputkien alaosassa esiintyy vähemmän jännitystä, mutta vastaavasti ylemmässä liitoskohdassa on edelleen pistejännitys. Mitään merkittäviä parannuksia ei näillä yhdysputkilla saavutettu simulaation mukaan. Oli mahdollista että niiden olemassaolon saattaisi huomata ajotilanteessa.



KUVA 12. Runkogeometria 10 jännityssimulaatio

5.11 Yhteenveto

Rungon tasorakenteella ei vaikuttanut olevan merkittävää vaikutusta jännitysten suhteen. Oleellista oli, kuinka tasorakenne liitettiin emäputkeen, ja kuinka monta emäputkea rungon etuosassa oli. Yhdellä emäputkella jännitykset jakautuivat tasaisemmin putken koko matkalle, mutta jännitykset olivat suurempia kuin kahdella emäputkella simuloituissa. Valmistusteknisesti olisi helpompaa valmistaa runko vain yhdellä emäputkella. Rungon tasorakenne oli simuloinnista saatujen tietojen mukaan parasta yksinkertaistaa niin paljon kuin mahdollista.

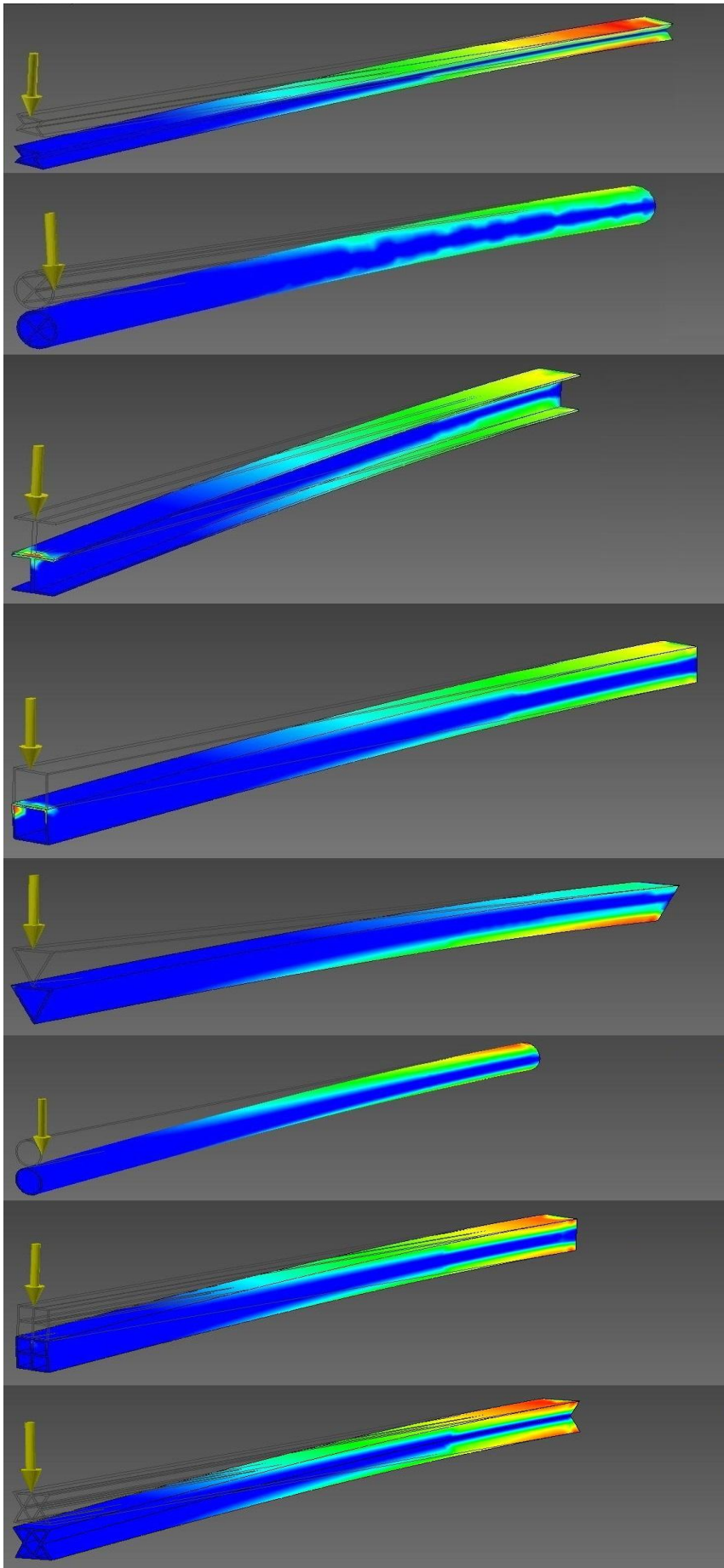
6 VAIHTOEHTOINEN RUNKOMATERIAALI

6.1 Materiaali ja sen ominaisuudet

Vaihtoehtoiseksi runkomateriaaliksi valittiin 3D-tulostemuovi PLA. Suurin syy tähän oli materiaalin vähäinen käyttö yleisillä markkinoilla, sekä käytettävän geometrian vapaus. PLA on uusiutuvista raaka-aineista valmistettu biohajoava termoplastinen polyesteri. Käytettäessä 3D-tulostinta rungon valmistuksessa, runkoputkien profiili oli täysin vapaa. Suurimpana erona tulostemuovin ja rakenneteräksen välillä oli myötyölujuus. Polarputki Oy:n saumattomalle teräsputkelle ilmoitettiin myötyölujuudeksi 345 MPa, kun vastaavasti 3D-tulostemuoville ilmoitetaan 22 MPa. Kuitenkaan ilmoitettu myötyölujuus ei ole tarkka, koska 3D-tulosteet tehdään pursottamalla muovia kerroksittain, josta seuraa ominaisuutena kerrosten välinen irtoaminen toisistaan, kun riittäviä voimia kohdistetaan kappaleeseen. Tulostussuunnalla voidaan myös vaikuttaa kerroskestävyyteen. Tässä vaiheessa käytimme arvoa 22 MPa raja-arvona, mutta todellinen kestävyys selviäisi vasta tulostettua runkoa testaamalla. (www.3d-tulostus.fi)

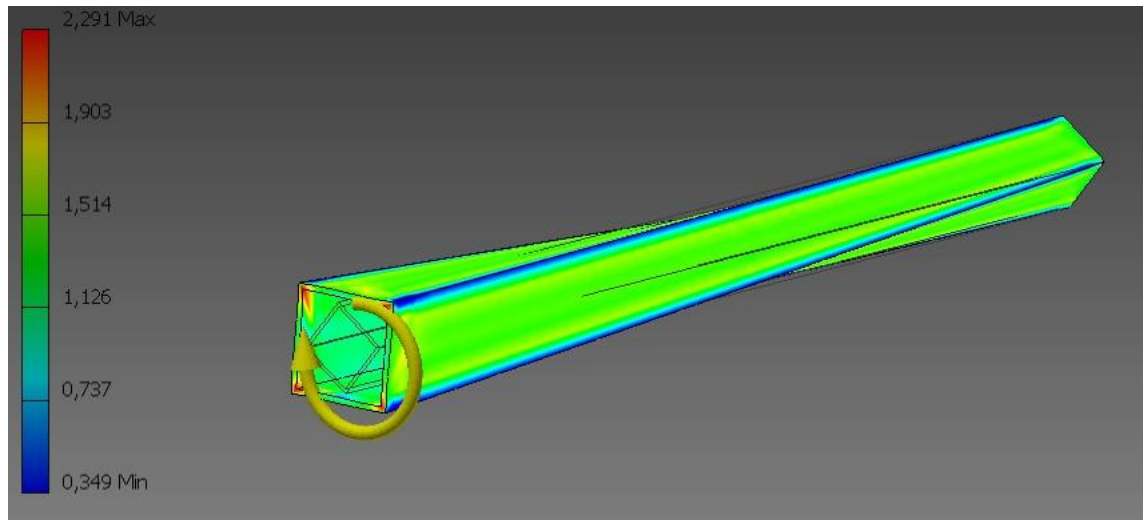
6.2 Erilaiset profiilit

Tulostettavaa runkogeometriaa suunnitellessa simuloitiin ensin erilaisia profiileita, joilla selvitettiin jännitysten jakautumista profiilissa (Kuva 13.). Terävät kulmat profiilissa keräävät herkästi jännityksiä, kun vastaavasti pyöreät muodot jakavat jännitykset pintaansa. Tulostettavien profiileiden simulointi suoritettiin niin, että toinen pääty profiilista ankkuroitiin kiinteästi, ja toiseen päähän asetettiin 10 newtonin suuruinen, alaspäin painava voima. Kaikkien profiilien maksimi leveys ja korkeus olivat 48 mm sekä seinämävahvuus 2,6 mm. Simulointien mukaan kaikkien profiilien jännitykset pysyivät 3,3 ja 1,3 MPa:n välillä, jolloin prosentuaalinen ero oli melko suuri. Parhaiten pystysuuntaista taivutusta kestivät I-palkki-, neliö- sekä muunneltu neliöprofiili. Tässä simulaatiossa ei huomioitu kiertojäykkyyttä profiileilla.

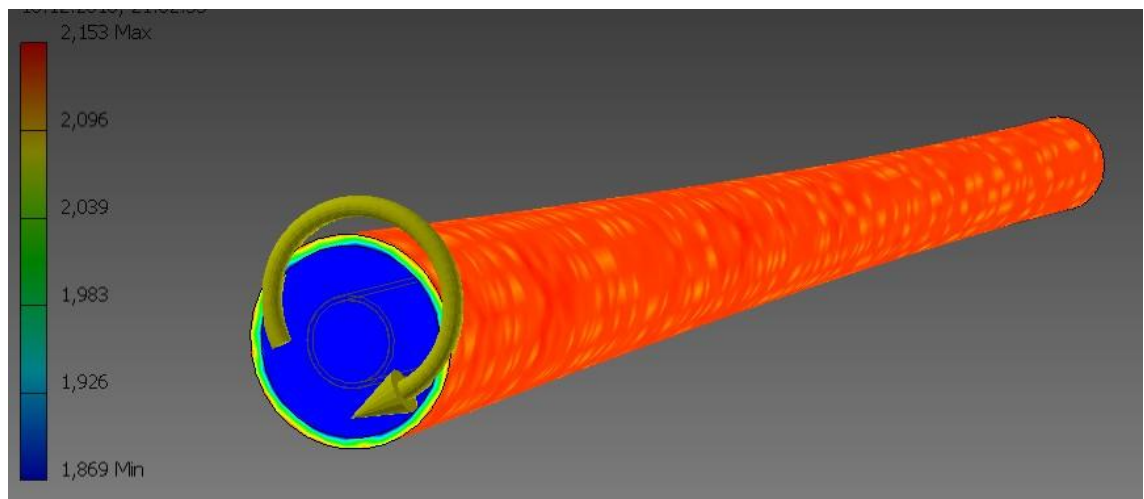


KUVA 13. Tulostettavien profiilien simuloituja muodonmuutoksia

Simuloiduista profiileista valittiin perinteiset putki- sekä neliöprofiilit. Valinta perustui profiilin massaan sekä hyvään myötölujuuteen. Molempia profiileja simuloitiin vielä 10 Nm suuruiselle profiilia kiertävällä voimalla, jolloin saatiin selville momenttivoiman jakautuminen profiileissa. Simulaatiossa selvisi, että neliöprofiilissa jännityshuiput tulevat neliön sisänurkkiin viivamaisesti pituussuunnassa (Kuva 14.), kun putkiprofiilissa jännitykset jakautuvat tasaisesti ulkokehälle (Kuva 15.).



KUVA 14. Neliöprofiilin momenttisimulointi

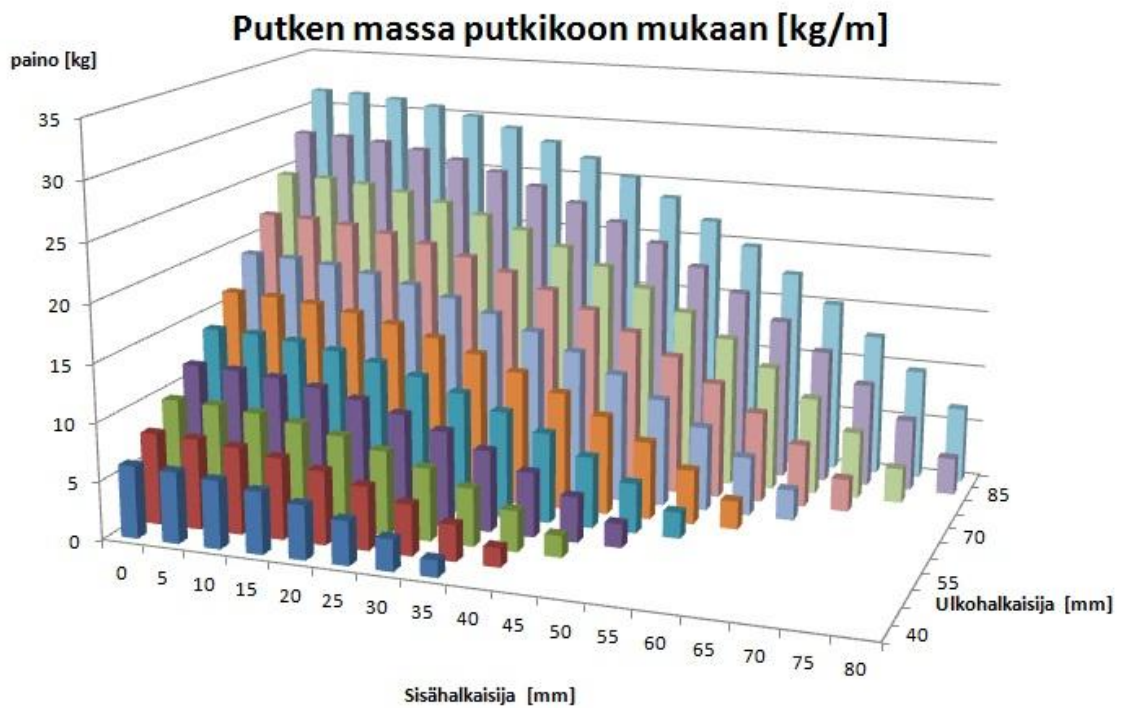


KUVA 15. Putkiprofiilin momenttisimulaatio

6.3 Tulostettavan profiilin koko

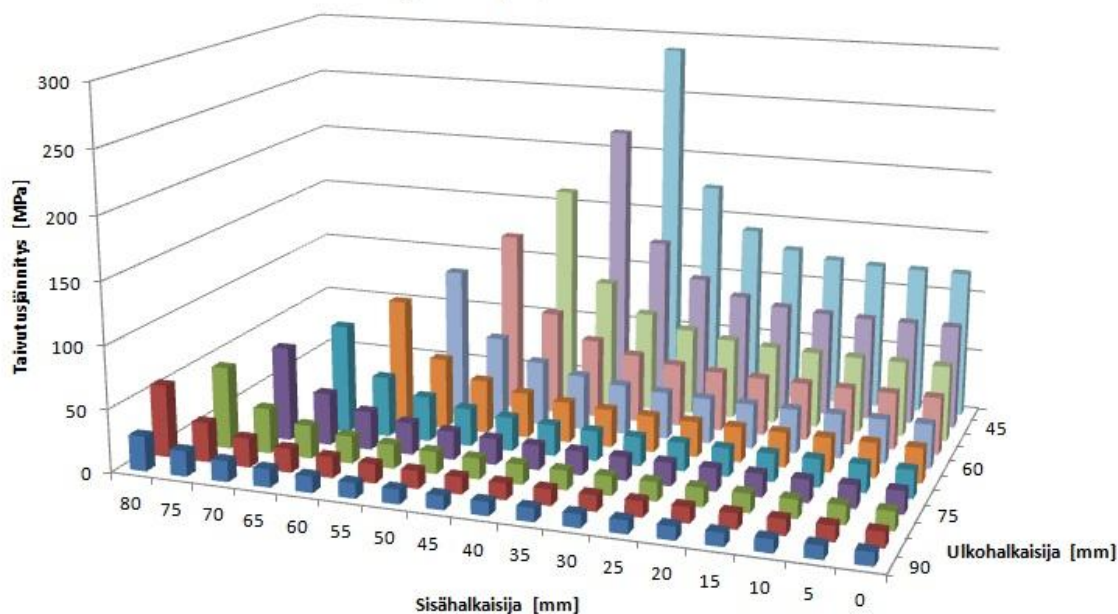
Koska tulostettava runko ei samankokoisena tulisi kestämaan yhtä hyvin kuin teräksinen, oli profiilien äärimittoja muutettava. Putkiprofiilille laskettiin massa kilogrammaa metriä kohden, sekä taivutusjännitys (Kaava 5.). Tuloksista tehdyistä kuvaajista huomattiin, että kuvaajat ovat kaksoiskaarevia muotoja. Kun profiilin myötölujuus kasvoi, kasvoi myös putken massa (Kuva 16.).

$$\tau_{\max.} := \frac{M}{\frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{16 \cdot D}} \quad (5.)$$



KUVA 16. Tulostetun profiilin äärimittojen vaikutus painoon

Taivutusjännitys putkikoon mukaan

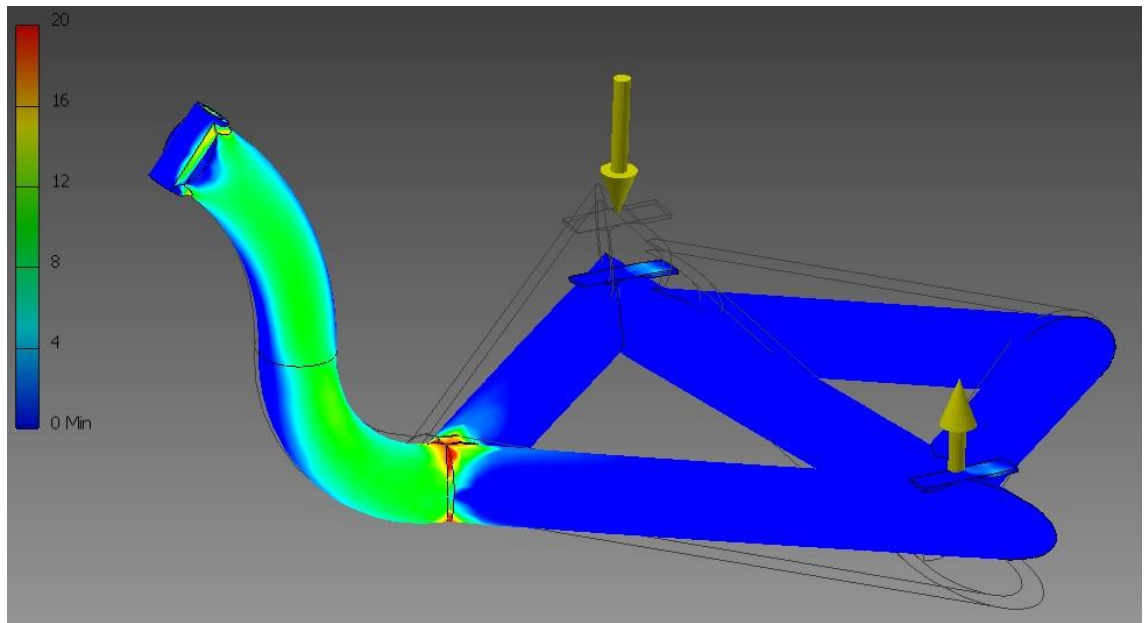


KUVA 17. Tulostetun putken taivutusjännitys äärimittojen mukaan

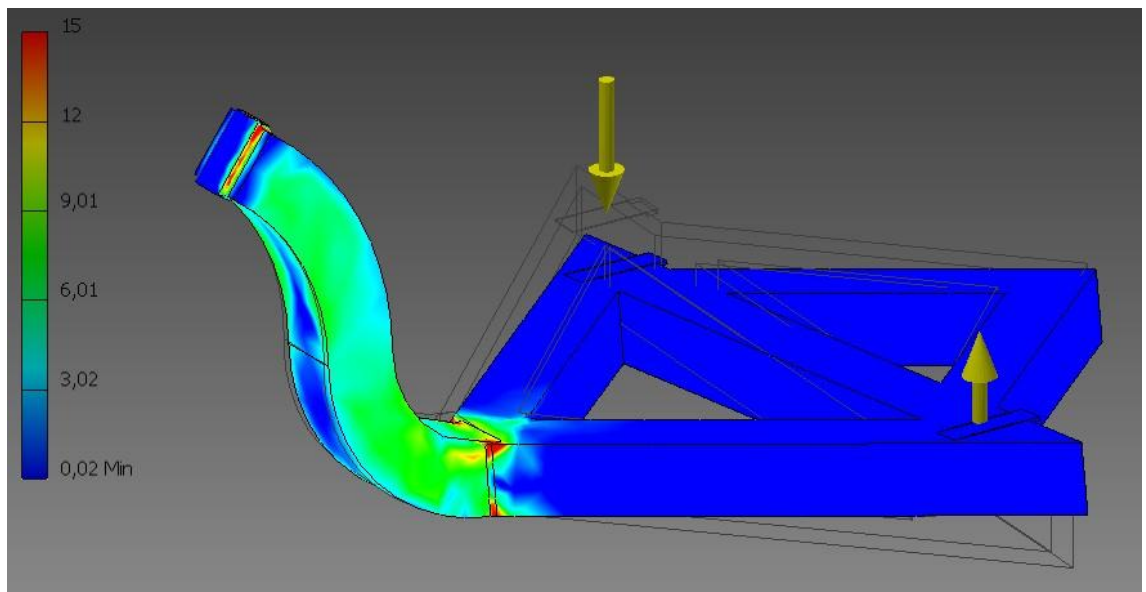
Kuvista selvisi, että mitä pienempi ulkohalkaisija putkella olisi, sitä huonommin se kestäisi kuormitusta (Kuva 17.). Vastaavasti sisähalkaisijalla ei ollut niin merkittävää vaikutusta taivutusjännitykseen. Näiden kahden taulukon avulla voitiin hahmottaa äärimitat, joilla saatiin teoreettisesti tarpeeksi jäykkä runkoprofiili, mutta painoa ei kertyisi kohtuuttomasti. Valittiin 90mm ulkohalkaisijalla sekä 65mm sisähalkaisijalla oleva putki-profiili, jossa yhdistyi taivutusjännitys sekä keveys.

6.4 Tulostettavan rungon staattinen simulaatio

3D –tulostettavaan runkomalliin kohdistettiin samat voimat simulaatiossa kuin teräksiseenkin runkoon, näin simulaatiotulokset olivat vertailukelpoisia keskenään. Vaikka profiilin koko sekä materiaali muutettiin, simulaatioista näkyi, että jännitykset olivat samoissa paikoissa kuin teräsrungolla. Kuten aiemmista simuloinneista oli selvinnyt, putkiprofiililla jännitykset keskittyivät tasaisesti ulkokehälle (Kuva 18.), kuin neliöpal-kissa jännitykset vastaavasti keskittyivät nurkkiin (Kuva 19.). Käytön kannalta olisi edullisempaa, jos jännityksen jakautuisivat isommalle alueelle tasaisemmin, kuin piste-mäisesti.



KUVA 18. Tulostetun putkirungon jännityssimulaatio



KUVA 19. Tulostetun palkkirungon jännityssimulaatio

6.5 Yhteenveto

Vaikka tulostetulle PLA -muoville ilmoitettiin 22 MPa myötölujuudeksi, vaikuttaa siihen moni asia. 3D-tulosteita tehdessä merkittävimpiä lujuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat tulosteen kerrospaksuus, tulostusalustan lämpötila sekä tulostussuuttimen lämpötila. Jos kerrospaksuus pystytään pitämään pienenä, kymmenesosa millimetrin tasolla, voidaan kappaletta kuormittaa huomattavasti enemmän verrattuna kaksinkertaiseen kerrospaksuuteen verrattuna. Tulostusalustan lämpötila vaikuttaa lähinnä alimpien kerrosten tarttuvuuteen, ja lämpötilalla varmistetaan että tuloste pysyy vaakatasossa eikä alkäpristymään. Suuttimen lämpötilalla vaikutetaan kokonaisvaltaisesti materiaalin tulosuvuuteen sekä kaikkien kerrosten keskinäiseen tarttuvuuteen. Kun suuttimen lämpötila on oikea, kerrokset tarttuvat toisiinsa hyvin.

Molemmat tulostettavat profiilit muistuttivat toisiaan simulaatioissa. Neliöpalkkirungossa näkyi selkeästi kuinka jännitykset kulkevat profiilin reunoja pitkin, jonne syntyi pistejännityksiä. Putkiprofiilissa jännitykset jakautuivat laajemmalle alueelle, jolloin pistejännityksiä ei syntynyt niin herkästi. Neliöprofiililla toteutetun rungon massa oli 18,0 kg ja putkiprofiililla toteutetun 14,3 kg. Molemmat rungot olisivat simulaation mukaan käyttökelpoisia, jos niiden ominaisten pistejännitysten poistamiseen käytettäisiin enemmän aikaa.

7 POHDINTA

Tulostettava runko kestäisi simulaatioiden mukaan samat voimat kuin teräksinenkin runko, mutta tulostettavilla kappaleilla on käytännön kannalta monia muita ongelmia kuin jännitykset. Tämän kokoisen kappaleen kestävyyttä lämmönvaihtelun tai värinän suhteen ei ole tutkittu. Miten esimerkiksi tulostetut moottorin kannakkeet kestäisivät käytössä? Muovilla on ominaisuutena kuivua kuumassa ja haurastua värinässä. Molemmat olosuhteet kohdistuvat triken runkoon normaalissa ajotilanteessa, joten tulostetun rungon kestävyys olisi hieman kyseenalainen pitemmässä käytössä. Runkoon kohdistuu myös monenlaisia voimia ajon aikana, mitä ei ohjelmalla pystytty simuloimaan. Triken rungon kokoisen kappaleen tulostaminen yksiosaisena on myös suuri haaste.

Teräksisen rungon valmistus on helpompaa ja huomattavasti halvempaa kuin tulostettavan. Tulostettava runko vaatisi ideaalitulanteessa 25 kpl 750 g tulostemuovikeloja, joilla hinta on 32€ kappale. Tästä syntyisi kokonaishinta 768 € pelkälle tulostemateriaalille. Teräsputkea runkoon olisi varattava noin 10 m, ja putkimateriaalin hinta olisi 78,30 € / 6m. Tällöin teräsrungon putkimateriaalille tulisi hintaa 156,60 €. Massan puolesta teräksinen sekä tulostettu olisivat suunnilleen yhtä raskaat.

Lopputuloksena tulostettu runko olisi tehtävissä ja mielenkiintoinen mahdollisuus, mutta hinta ja luotettavuus eivät vielä ole sillä tasolla että kyseinen kappale kannattaisi valmistaa tuohon käyttötarkoitukseen. 3D-tulostus kehittyy kuitenkin koko ajan, joten myöhemmin kyseinen tulostettava runko olisi tehtävissä luotettavasti.

LÄHTEET

Drift Trike. Wikipedia. Luettu 14.12.2016

https://en.wikipedia.org/wiki/Drift_trike

What is Drifting. DriftWorks. Luettu 14.12.2016

<http://www.driftworks.com/blog/drifting/>

Predator engine. Harbour Freight. Luettu 14.12.2016

<http://www.harborfreight.com/engines-generators/gas-engines/65-hp-212cc-ohv-horizontal-shaft-gas-engine-epa-69730.html>

What is a drift trike and drift triking. DriftTrikeMag. Luettu 14.12.2016

<http://driftrikemag.com/news/what-drift-trike-and-drift-triking>

Big Wheel Drift Trikes. SFD Industries. Luettu 14.12.2016

<http://www.sfdindustries.com/products/Big-Wheels/>

Drift Trike parts & accesories. FlatOutDriftTrikes. Luettu 14.12.2016

<http://www.flatoutdriftrikes.com/parts-accessories/>

Ohjeellisia kitkakertoimia. Taulukot.com. Luettu 14.12.2016

http://www.taulukot.com/fysiikka/mekaniikka_termodynamiikka/

Foale T., Motorcycle handling and chassis design, 2nd edition, Tony Foale 2006

3D-tulostus.fi. Tulostusmateriaalien ominaisuudet. Luettu 14.12.2016

http://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20131018-11092-264846-1/Categories/Tulostusmateriaalit

Polarputki Oy. Putkiprofiilit. Luettu 14.12.2016

http://cdn.primeweb.fi/www.polarputki.fi/Ainesputket_ja_saumattomat_9-2016.pdf