



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Ville Asikainen

# Polkupyörän rungon suunnittelu ja simulointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

27.3.2020

|  |   |
|--|---|
| Tekijä<br>Otsikko  | Ville Asikainen<br>Polkupyörän rungon suunnittelu ja simulointi |
| Sivumäärä<br>Aika  | 44 sivua<br>27.3.2020   |
| Tutkinto   | Insinööri (AMK)   |
| Tutkinto-ohjelma   | Ajoneuvotekniikka   |
| Ammatillinen pääaine   | Ajoneuvosuunnittelu   |
| Ohjaajat   | Lehtori Pasi Oikarinen  |
| <p>Tässä insinööriyössä tutkittiin maantiepolkupyörän rungon suunnitteluprosessia sekä standardin ISO 4210 mukaisten lujuuksien simulointia tietokoneavusteisesti SolidWorks-ohjelmistolla. Työn tavoitteena oli selvittää rungon geometrisien mittojen vaikutus ottaen huomioon kuljettajan koon sekä ohjausgeometrian vaikutus ajotuntumaan.</p> <p>Työssä tutkittiin, pystytäänkö standardissa määrättyjä testejä simuloimaan staattisesti. Rungolle simuloitiin myös staattisessa tilassa kuljettajan aiheuttamat voimat. Työssä myös tutkittiin pienemmän runkokoon vaikutusta lujuustarkasteluihin ja rungon massaan.</p> <p>Simulaation perusteella runko kestää kuljettajasta johtuvaa staattista rasiutusta. Standardin mukaisten testien simulointia ei pystytty suorittamaan niille annettujen määräysten mukaisesti ohjelmiston puuttuvan lisäosan takia. Rasiutustestit suoritettiin staattisessa tilassa.</p> <p>Työn lopuksi laadittiin työkuvat, joiden pohjalta runko valmistetaan ammattilaisen toimesta. Myös runkoon mallinnettiin osat, jotta nähtäisiin, miltä valmis pyörä näyttää.</p> |   |
| Avainsanat   | polkupyörä, runko, suunnittelu, simulaatio, maantiepyörä        |

|  |   |
|--|---|
| Author<br>Title  | Ville Asikainen<br>Designing and Structural Simulation of a Bicycle Frame |
| Number of Pages<br>Date  | 44 pages<br>27 March 2020   |
| Degree   | Bachelor of Engineering   |
| Degree Programme   | Automotive Engineering  |
| Professional Major   | Automotive Design Engineering   |
| Instructors  | Pasi Oikarinen, Lectuer   |
| <p>This Bachelor´s thesis deals with the design process of a road racing bicycle frame and describes the simulation process of the strength tests following the ISO 4210 standard using SolidWorks program. The objective of the thesis was to find out how the geometrical dimensions and measurements affect the riding experience of a bicycle rider taking the size of the rider and the steering geometry into consideration.</p> <p>The work started by finding out if it was possible to carry out static tests by simulation required by the standards. First the effects of the bicycle frame geometry and the driver´s body dimensions on the bicycle handling and frame size were studied. Secondly frame geometry was designed and modeled with the SolidWorks CAD software using the frame parts ordered from the supplier.</p> <p>Basic static simulation was carried out to determine the effect of the forces caused by the weight of the rider. Tests following the ISO 4210 standard were simulated after the frame was designed. After the simulations a smaller size frame was designed and it was compared with the bigger frame by means of structural strength simulation. Finally, the blueprints for manufacturing the bicycle frame were produced and the bike parts were modelled to the frame to confirm that everything fits properly.</p> <p>The simulations showed that the frame is durable enough to withstand forces caused by the rider's weight. The simulating tests specified in the ISO 4210 standard indicate that stress and drop tests were impossible to replicate because of the lack of software add-ins. For product development it would be crucial to manufacture the bike frame and install the bicycle parts and conduct a test ride. Only by riding the bicycle it would be possible to verify how handling of the bicycle feels.</p> |   |
| Keywords   | bicycle, frame, design, simulation, road bike                             |

## Sisällys

### Lyhenteet ja käsitteet

|       |                                      |    |
|-------|--------------------------------------|----|
| 1     | Johdanto                             | 1  |
| 1.1   | Projektin taustat                    | 1  |
| 1.2   | Tavoitteet                           | 1  |
| 2     | Rungon geometria                     | 2  |
| 2.1   | Rungon komponentit                   | 3  |
| 2.2   | Geometrian vaikutus suunnittelussa   | 4  |
| 2.3   | Ohjausgeometria                      | 7  |
| 3     | Materiaali                           | 10 |
| 3.1   | Kustannukset                         | 10 |
| 3.2   | Rungon keveys                        | 11 |
| 3.3   | Murtolujuus ja myötöraja             | 12 |
| 3.4   | Elastisuus                           | 13 |
| 4     | Simulointi                           | 15 |
| 4.1   | Siirtymä                             | 15 |
| 4.2   | Von Mises                            | 15 |
| 4.3   | Varmuuskerroin                       | 16 |
| 5     | Standardi ISO 4210                   | 17 |
| 5.1   | Yleiset turvallisuusmääritelmät      | 18 |
| 5.2   | Standardin mukaiset testit rungolle  | 18 |
| 5.2.1 | Testi 1, testihaarukan simulointi    | 19 |
| 5.2.2 | Testi 2, painon pudotus etuakselille | 20 |
| 5.2.3 | Testi 3, rasiustesti                 | 22 |
| 6     | CAD-ohjelmisto                       | 23 |
| 7     | Suunnittelu                          | 23 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 7.1 | Rungon mitoitus                               | 24 |
| 7.2 | Runkogeometria                                | 24 |
| 7.3 | Rungon komponentit                            | 26 |
| 7.4 | CAD-malli                                     | 27 |
|     | 7.4.1 Staattinen simulointi                   | 29 |
|     | 7.4.2 Standardin mukaisten testien simulointi | 33 |
|     | 7.4.3 Työkuvat                                | 37 |
| 7.5 | Vertailu pienempään runkokokoon               | 37 |
| 8   | Johtopäätökset                                | 40 |
| 9   | Yhteenveto ja pohdinta                        | 41 |
|     | Lähteet                                       | 43 |

## Lyhenteet ja käsitteet

DT Down tube. Alaputki, joka yhdistyy emäputkeen ja kampilaakerin laakeripesään.

HT Head tube. Emäputki, johon etuhaarukka kiinnitetään.

TT Top tube. Vaakaputki joka kiinnittyy satulaputkeen ja emäputkeen.

CS Chain stay. Takahaarukan alemmat putket.

SS Seat stay. Vinoputket, jotka yhdistyvät takahaarukan kiinnikkeisiin sekä satulaputkeen.

BB Bottom bracket sleeve. Kampilaakerin laakeripesä.

### Renderöinti

Kuvan luominen mallista tietokoneohjelman avulla.

BOM Bill of Material. Osaluettelo.

CAD Computer-aided design. Tietokone avusteinen suunnittelu.

### Touring-pyörä

Matka-ajoon tarkoitettu polkupyörä, jossa yleensä kuljetetaan kuormaa.

### Cyclo-cross

Pyöräkilpailu muoto, jossa ajetaan hiekalla, poluilla ja maastossa.

# 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä käsitellään maantiepölkupyörän suunnittelua ja lujuussimulointia. Simuloinnilla tutkitaan ölkupyörän rungön kestävyyttä staattisessa tilassa sekä standardin ISO 4210 mukaisten kestävyystestien toteuttamista tietokoneavusteisella simulaatio-ohjelmistolla.

## 1.1 Projektin taustat

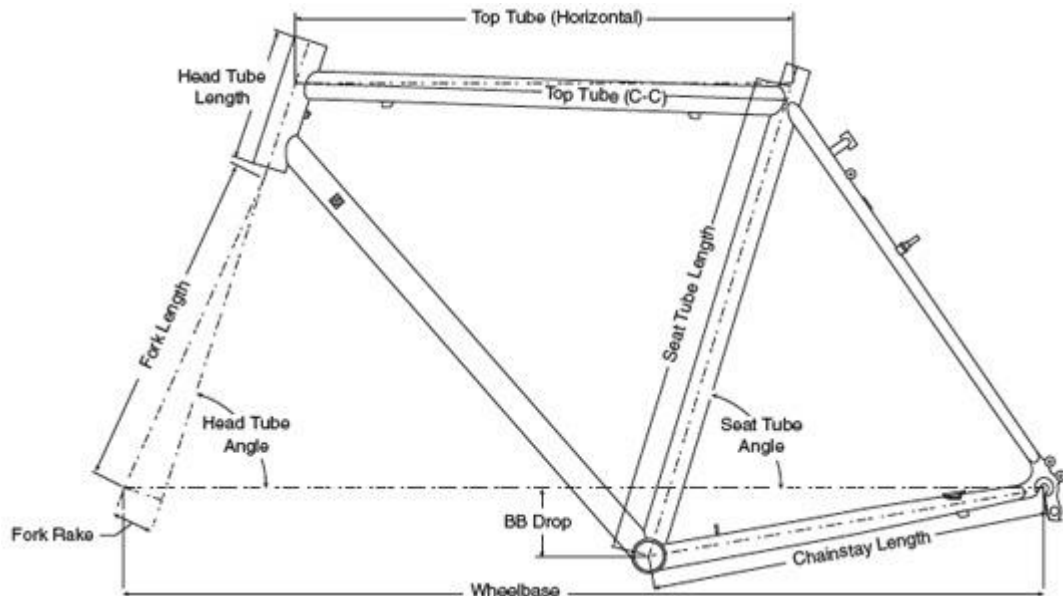
Projektii toteutetaan osana Metropolia-ammattikorkeakoulun ajoneuvotekniikan insinööriopintoja. Projektin idea syntyi mielenkiinnosta ölkupyörrien suunnitteluprosessiin.

## 1.2 Tavoitteet

Projektin tavoitteena on suunnitella 179 cm pitkälle ja 90 kg painavalle henkilölle maantiepölkupyörän runko. Rungön suunnittelun lopputuotteena syntyvät työkuvat, joista öyränrunko valmistetaan ammattilaisen toimesta. Rungön valmistus on rajattu pois tästä insinööriyöstä. Rungolle suoritetaan staattinen lujuussimulointi sekä standardin ISO 4210 mukaisten kestävyystestien simulointi. Simulointien tarkoituksena on varmistaa rungön kestävyys ajotilanteissa ja tutkia, minkälaisen testausprosessin kaupallisesti valmistettu ölkupyöränrunko käy läpi.

## 2 Rungon geometria

Polkupyörän rungon geometrialla tarkoitetaan rungon putkien keskinäisiä kulmia ja mittoja ja näiden vaikutusta pyörän kokoon, ohjattavuuteen ja painopisteeseen. Kuvassa 1 on esitetty runkogeometria tärkeimmät kulmat ja mitat.



Kuva 1. Rungon geometriset mitat ja kulmat (1).

Eri polkupyörätyypeillä on erilaiset geometriat. Esimerkiksi touring-pyörässä on pidempi akseliväli ja loivempi ohjainputken kulma verrattuna maantiepyörään. Tämä vakauttaa pyörän ohjausta ja tekee ajoasennosta rennomman pitkille ajomatkoille. Keskiön mitta akselilinjasta vaikuttaa pyörän ja ajajan massakeskipisteeseen. Kevyeen maastoajoon tarkoitetuissa cyclo-cross-pyörissä on keskiö lähempänä akselilinjaa kuin maantiepyörissä. Tällä ratkaisulla saadaan tilaa kampien ja epätasaisen maaston väliin.

Satulaputken kulma vaikuttaa ajajan istuma-asentoon ja sijaintiin polkimista. Kun kuljettaja on melkein suoraan polkimien yläpuolella, on tehontuotto suurempaa. (2, s. 51.)

Taulukkoon 1 on kerätty kolmen erityyppisen polkupyörän runkogeometrian mittoja ja kulmia vertailua varten.



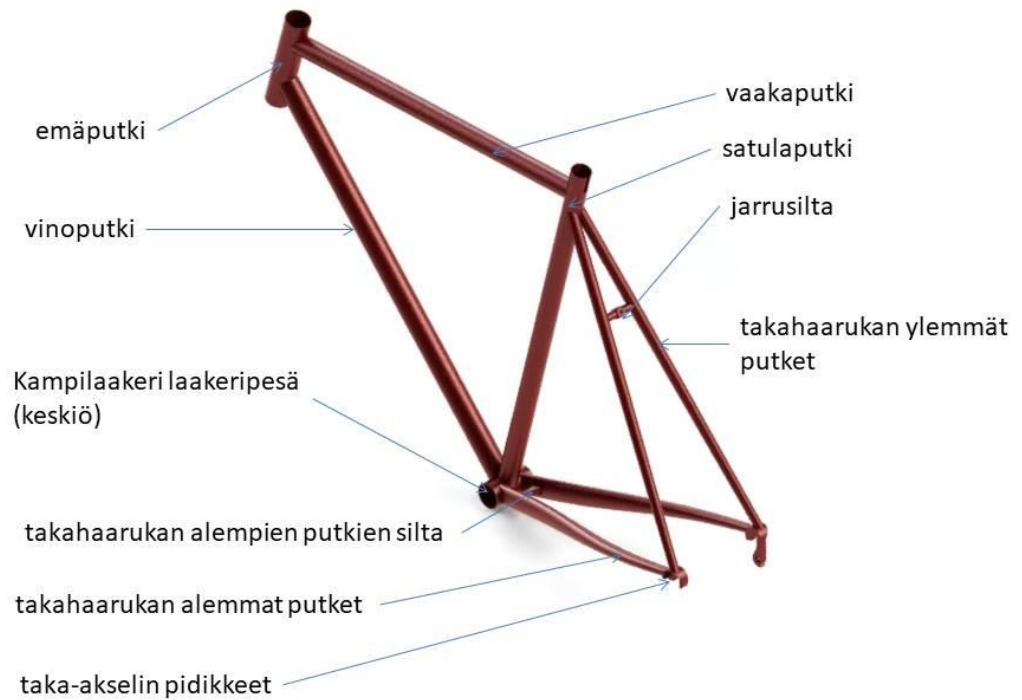
Taulukko 1. Geometriamittojen vertailua (1).

|                                   | Maantiepyörä | Cyclo-cross-pyörä | Touring-pyörä |
|-----------------------------------|--------------|-------------------|---------------|
| Emäputken kulma                   | 73 -74 °     | 72 -73 °          | 71 -72 °      |
| Etuhaarukan akselin poikkeama     | 40 -45 mm    | 45 mm             | 45 -52 mm     |
| Etujättö                          | 50 -60 mm    | 55 -65 mm         | 55 -70 mm     |
| Takahaarukan alemman putken mitta | 405 -415 mm  | 420 -435 mm       | 445 -470 mm   |
| Akseliväli                        | 996 mm       | 1018 mm           | 1050 -1070 mm |
| Satulaputken kulma akselilinjasta | 73 °         | 73 °              | 71 -73 °      |

## 2.1 Rungon komponentit

Polkupyörän runko koostuu tyypillisesti kahdeksasta putkesta, kampiakselin laakeripesästä sekä taka-akselin pidikkeistä. Rungossa on jarrusilta, johon vanteen sivupinnasta jarruttava jarrulänki asennetaan. Jarrusilta tukee ylempiä takahaarukan vinoputkia poikittaissuunnassa, minkä takia levyjarrullisissakin rungoissa on usein jarrusilta. Samantyyppinen silta löytyy myös alempien takahaarukan putkien välistä, läheltä keskiölaakeripesää. Tämän tarkoitus on myös tukea putkia poikittaissuunnassa.

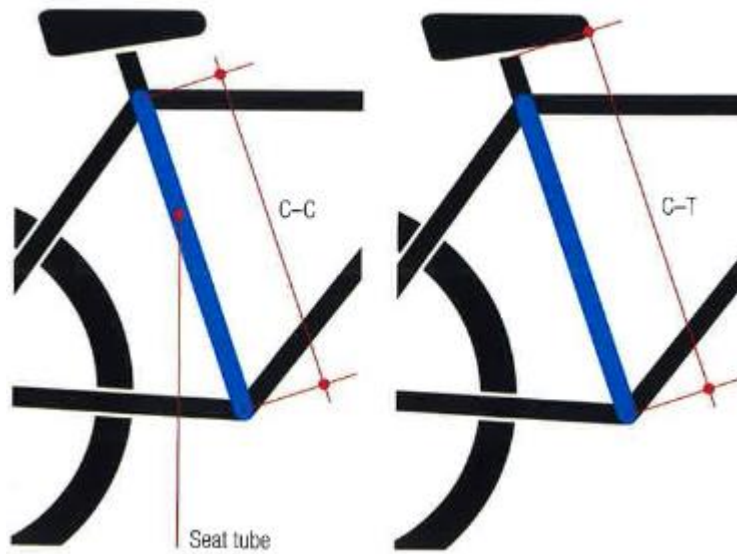
Emäputkeen asennetaan ohjainlaakeri sekä etuhaarukka. Keskiölaakeripesään tulevan laakerin tarkoitus on mahdollistaa kampien sulava pyörimisliike, mahdollisimman pienellä kitkalla. Kuvassa 2 on esitelty rungon komponentit.



Kuva 2. Rungon komponentit

## 2.2 Geometrian vaikutus suunnittelussa

Rungon geometria vaikuttaa polkupyörän kokoon merkittävästi. Tyypillisesti rungon koko ilmoitetaan numeroina; tosin tämä on valmistajakohtaista. Esimerkiksi rungon koko 55 tarkoittaa satulaputken mittaä keskiöstä satulaputken päähän tai vaihtoehtoisesti keskiöstä satulaputken ja vaakaputken risteyskohtaan. Mitat ovat nähtävissä kuvassa 3. Luku 55 kerrotaan kymmenellä ja saadaan mitta millimetreinä eli 550 mm.



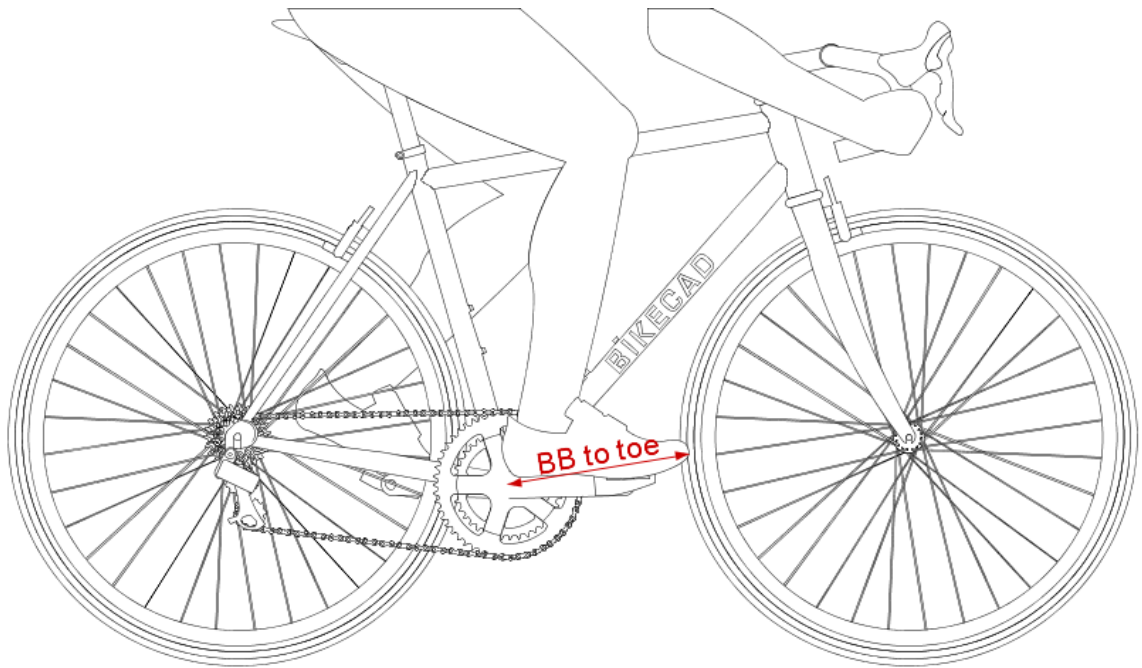
Kuva 3. Satulaputken mitoitus (2, s. 52).

Satulaputken mittaan vaikuttaa kuljettajan haaravälistä jalkapohjaan otettu mitta sekä kokonaispituus.

Vaakaputken mittaan vaikuttaa ajajan käden mitta sekä mitta haaravälistä rintalastaan. Mitä ulottuvampi kuljettaja on, sitä pidempi vaakaputki on. Arvioidessa vaakaputken mittaa voidaan käyttää edellä mainitut mitat kertoa luvulla 0,51. (2, s. 52.)

Takahaarukan alempien putkien pituus vaikuttaa polkupyörän akseliväliin. Leveitä tai kuroituja renkaita käytettäessä takahaarukan alempia putkia pidentämällä saadaan renkaalle lisää pyörimistilaa.

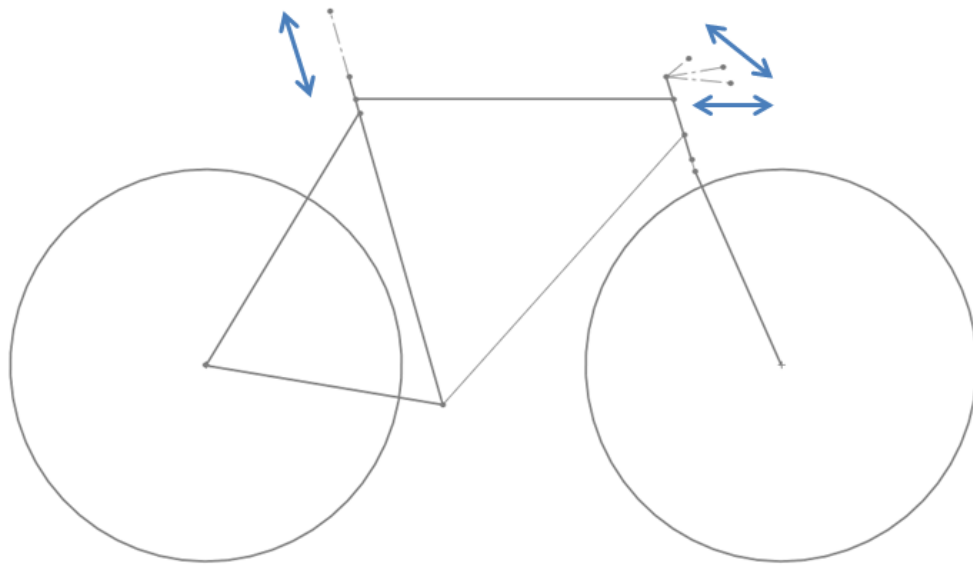
Akselivälin pituus vaikuttaa pyörän ketteryuteen. Mitä pidempi väli, sen vakaampi on pyörä ajaa. Ratapyörissä akseliväli on tyypillisesti lyhyt ja renkaiden kosketuspinnat lähellä satula- ja vinoputkea. Lyhyellä akselivälillä pyörään tulee helposti päällekkäisyyttä varpaiden ja eturenkaan kesken. Päällekkäisyyttä havainnollistetaan kuvassa 4.



Kuva 4. Renkaan ja varpaiden päällekkäisyys (3).

Normaalissa ajossa päällekkäisyys ei ole ongelma, kun pyörää ohjataan kallistamalla. Hyvin hiljaisessa vauhdissa kääntyessä, varpaat voivat ottaa renkaaseen kiinni ja aiheuttaa kaatumisen tai vaaratilanteen.

Kuljettajan sijaintia korkeussuunnassa voidaan säätää asettamalla satulan putki halutulle korkeudelle. Tosin liian isoa runkoa ei voida kompensoida, jos satula on lähes rungon putkessa kiinni. Samoin ohjaintangon asemaa voidaan säätää ohjaustangon kannattimia vaihtamalla. Markkinoilla on saatavilla monella eri mitalla ja kulmalla olevia ohjainkannattimia. Tyypillisesti maantiepyörässä käytetään 100 mm pitkä ohjaustangon kannatinta. Kulmalla saadaan säädettyä ohjaustangon sijaintia vertikaalisesti. Kuvassa 5 on havainnollistettu sinisillä nuolilla, miten satulan ja ohjaustangon paikkaan voi vaikuttaa säätämällä mittaa tai vaihtamalla komponentteja.



Kuva 5. Ohjaintangon ja satulaputken vaikutus ajoasentoon

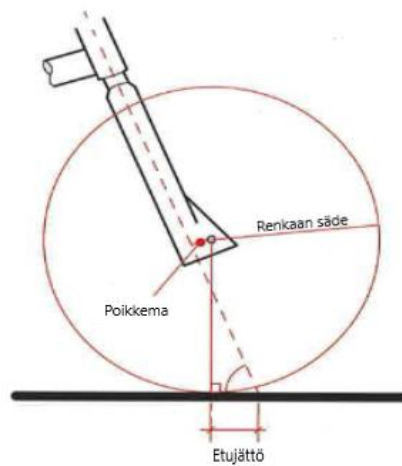
### 2.3 Ohjausgeometria

Ohjausgeometrialla tarkoitetaan rungon emäputken kulman ja etuhaarukan akselikiinnityspisteen poikkeaman välisiä suhteita.

Emäputken kulman, renkaan säteen ja akselikiinnityspisteen poikkeamasta lasketaan renkaan ja tienpinnan kosketuspisteeseen syntyvä etujättö, mikä on nähtävissä kuvasta 6.

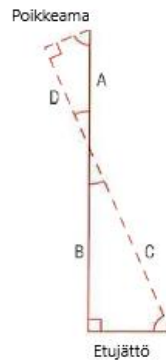
Etujättö vaikuttaa pyörän ohjausominaisuuksiin merkittävästi. Maantiepyörissä etujättö on tyypillisesti pienempi kuin esimerkiksi touring-polkupyörissä eli matkapyörissä. Pienempi etujättö tekee ohjauksesta herkemmän ja vastaa ohjausliikkeeseen nopeammin kuin pidemmällä etujätöllä olevan polkupyörä. Suurentamalla poikkeamaa saadaan ohjaus suoristumaan paremmin pyörän ollessa vauhdissa. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjaintangon kääntäminen on raskaampaa. Tätä kutsutaan caster-efektiksi.

Nykyään polkupyörän rungon suunnittelijat käyttävät n. 45 mm:n poikkeamaa etuhaaru-koissa. (2, s. 50.)



Kuva 6. Ohjausgeometria mittoja (2, s. 50).

Etujättö voidaan laskea käyttämällä alla olevia kaavoja. Kuvasta 7 on nähtävissä kaavoissa käytettävät kulmat ja mitat.



Kuva 7. Kaavoissa käytettävät mitat ja kulmat (2, s. 50).

$$\cos a = \frac{\text{poikkeama}}{A}$$

$$A = \frac{\text{poikkeama}}{\cos a}$$

$$A + B = \text{renkaan säde}$$

$$B = \text{renkaan säde} - \frac{\text{poikkeama}}{\cos a}$$

$$\tan a = \frac{B}{\text{poikkeama}}$$

$$\tan a = \frac{\text{renkaan säde} \frac{\text{poikkeama}}{\cos a}}{\text{poikkeama}}$$

$$\text{etujättö} = \frac{\text{renkaan säde} - \frac{\text{poikkeama}}{\cos a}}{\tan a}$$

### 3 Materiaali

Runkoa suunniteltaessa, materiaalivalinnalla on vaikutusta pyörän ajo-ominaisuuksiin.

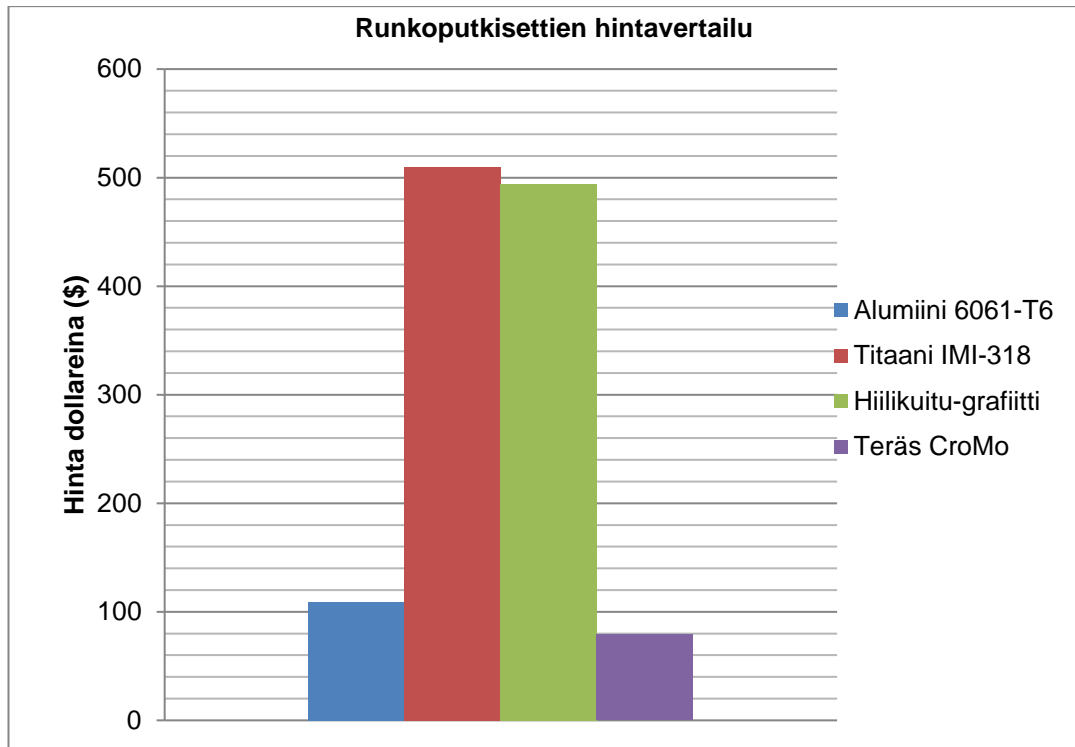
Yleisimmät käytössä olevat materiaalit ovat teräs, alumiini, titaani ja hiilikuitu. Markkinoilla on saatavilla erikoisempiakin materiaalivaihtoehtoja, kuten puu tai bambu. Valittaessa materiaalia täytyy ottaa huomioon materiaalin kestävyys, jäykkyys, työstettävyys sekä kustannukset. Usein runkomateriaalin valinta on kompromissi näiden asioiden välillä.

Yleisin ja vanhin materiaali polkupyörän rungoissa on teräs. Teräs laadut ovat ensimmäisistä polkupyörän rungoista kehittyneet huomattavasti. Teräsmateriaalit ovat nykyään mekaanisilta ominaisuuksiltaan huomattavasti kestävämmät kuin ensimmäisissä polkupyörän rungoissa. Myös paino on kevyempi. 1800-luvun loppupuolella pyörän kokonaispaino oli tyypillisesti noin 35 kg, kun taas nykyaikana teräsrunkoisten pyörien paino on noin 10 kg. (4.)

#### 3.1 Kustannukset

Kustannuksia arvioidessa täytyy ottaa huomioon materiaalien hinnan lisäksi valmistusprosessin kustannukset. Tietämättä valmistusprosessiin käytettävää aikaa tai materiaalikustannuksia, vertaillaan kuvassa 8 eri runkomateriaalien runkoputkisettien hintaa. Putkisettiin kuuluu satulaputki, vaakaputki, vinoputki, emäputki, takahaarukan ylemmät ja alemmat putket. (5.)





Kuva 8. Materiaalien hintavertailu (5).

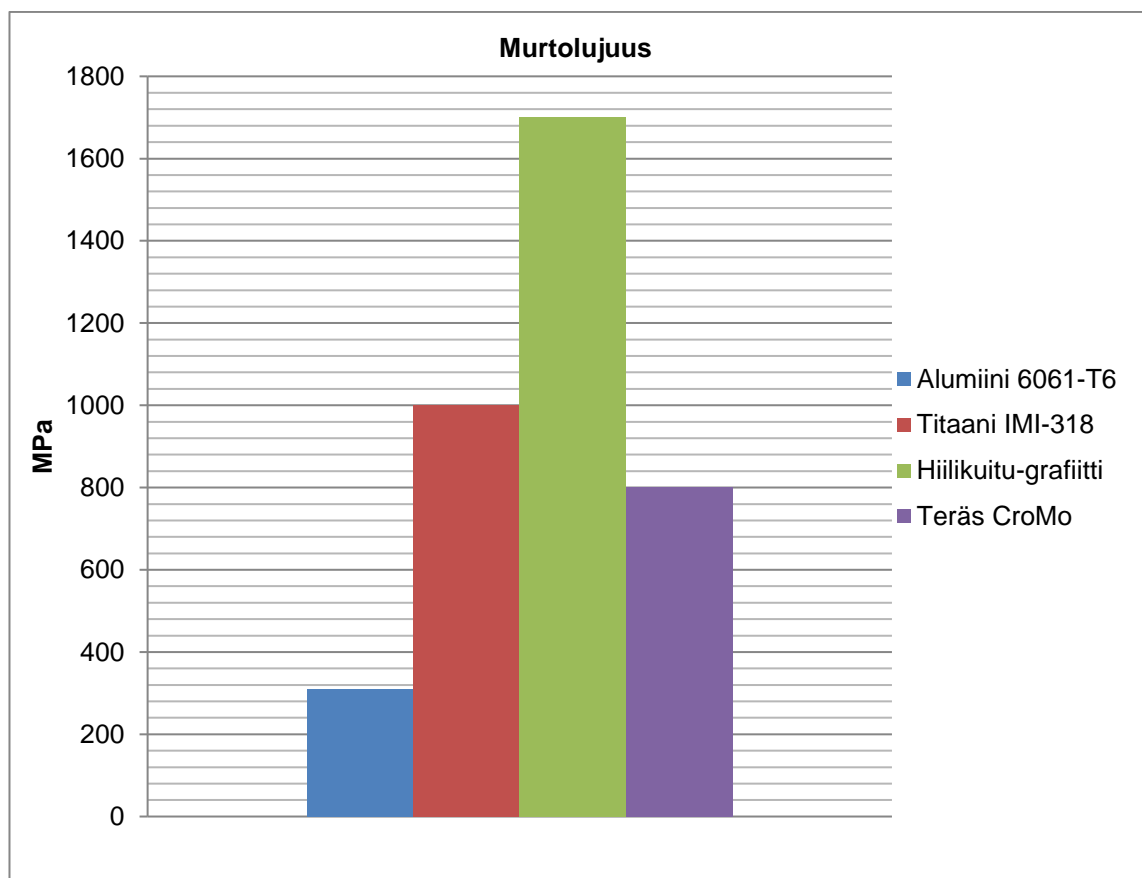
### 3.2 Rungon keveys

Materiaalia valittaessa on otettava huomioon materiaalin keveys. On suositeltavaa tehdä runko kevyestä materiaalista ottaen huomioon sen kestävyys. Hiilikuitu on materiaaleista selkeästi kevyin ja kestävin. Nykyaikana alumiini-, teräs- ja titaanirunko pystytään valmistamaan lähes samanpainoisiksi muokkaamalla putkien halkaisijaa ja muotoa. Vaikka hiilikuitu on kevein materiaaleista, on se myös kallista ja lähes mahdotonta korjata vaurion tapahtuessa.

### 3.3 Murtolujuus ja myötöraja

Myötöraja on materiaalin raja, kun se tietyssä kuormassa alkaa menettää muotonsa eli venymään. Tämän rajan ylittyttyä kappale ei enää palaa takaisin alkuperäiseen muotoonsa.

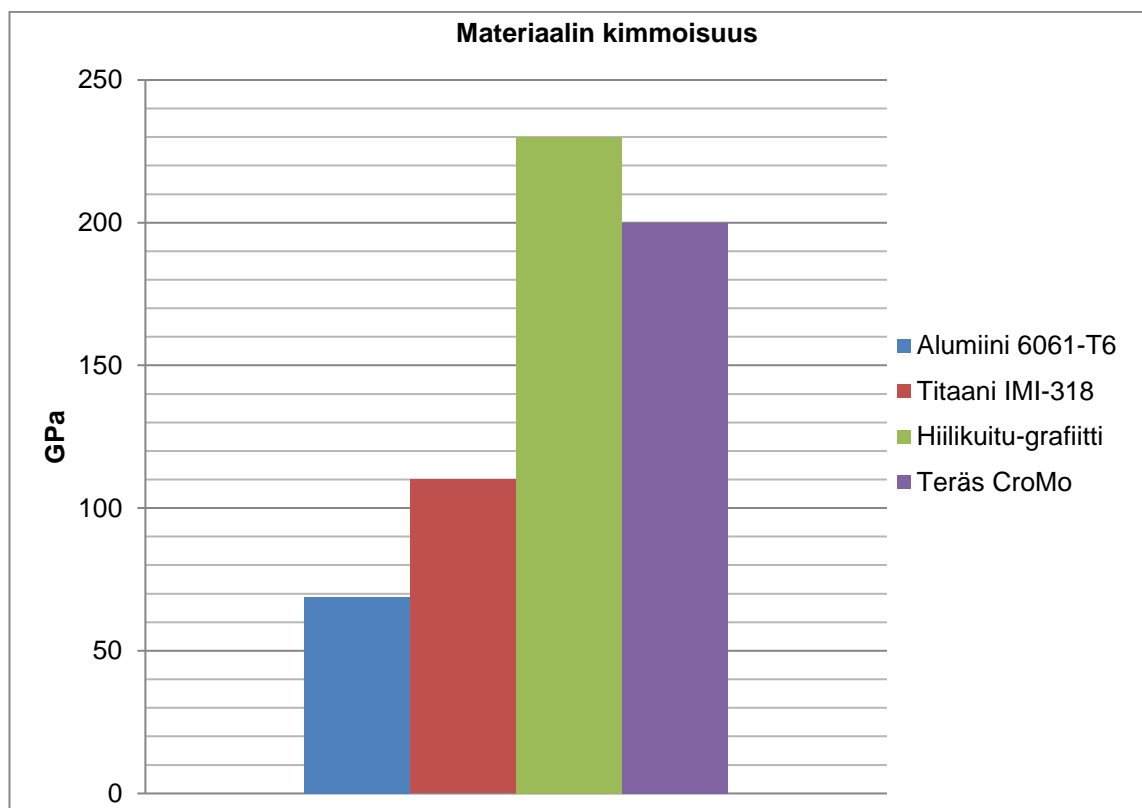
Murtolujuudella tarkoitetaan materiaalin murtumista tietyssä jännityksessä. Murtolujuus ilmoitetaan usein pascal-yksikkönä eli paineen mittayksikkönä. Mitä suurempi murtolujuus, sitä suurempi voima tarvitaan rikkomaan materiaali. (6, s. 8.) Kuvassa 9 on vertailtu tyypillisten runkomateriaalien murtolujuusarvoja.



Kuva 9. Materiaalien murtolujuusvertailu (7, s. 370–371).

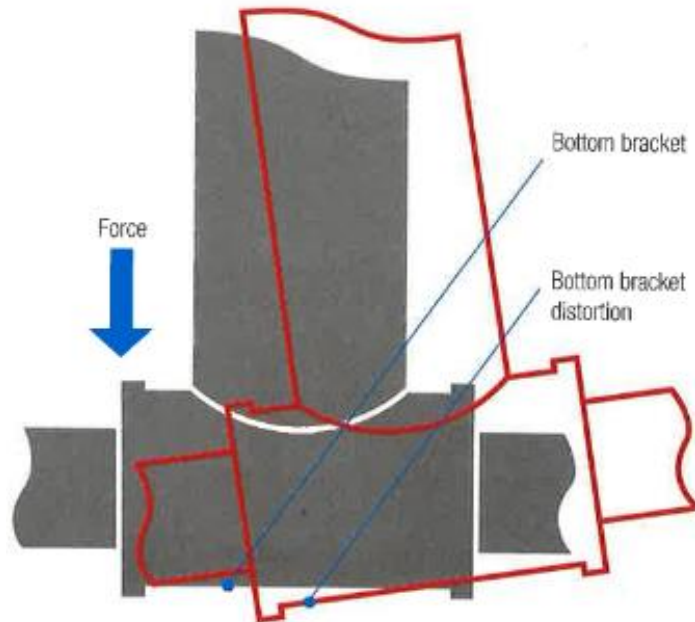
### 3.4 Elastisuus

Kimmokertoimella tarkoitetaan materiaalin jousto-ominaisuuksia, kun kappale on puristuksessa tai vedossa. Jos kappale palaa vedon tai puristuksen jälkeen takaisin alkuperäiseen muotoon, on kappale täysin kimmoisa. (6, s. 9.) Valittaessa materiaalia rungon suunnittelussa, kimmokertoimella voidaan vertailla materiaalin joustavuutta. Eri materiaaleilla on erilaiset kimmoisuus ominaisuudet. Kuvassa 10 tarkastellaan tyypillisten runkomateriaalien kimmoisuuden eroja, mistä on havaittavissa rungoissa käytettävän hiilikuitu-grafiitin suurin jäykkyys. Kimmoisuuden mittayksikkönä normaalisti käytetään paineen pascalyksikköä.



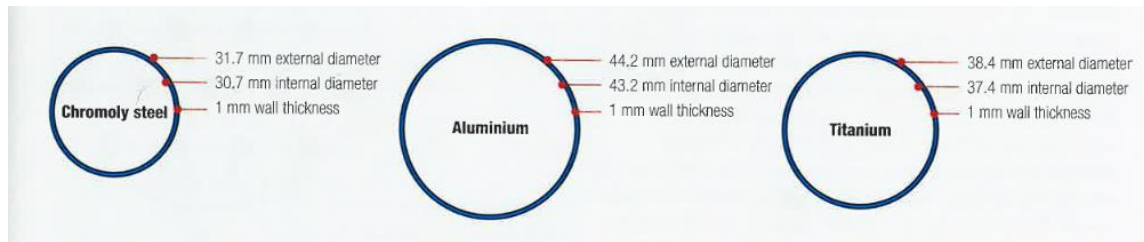
Kuva 10. Materiaalien elastisuus vertailu (7, s. 370–371).

Hieman joustavan rungon vääntyminen polkaisuhetkellä siirtää keskiölaakeripesää hieman keskilinjasta sivuun. Polkaisu toisella polkimella vääntää runkoa toiseen suuntaan. Tutkimusten mukaan tämä tuottaa niin sanotun jousi efektin ja energiaa ei pitäisi hukkaa vääntymiseen juuri lainkaan. (2, s. 54.) Kuvassa 11 näkyy rungon vääntymä polkaisuhetkellä.



Kuva 11. Rungon keskiön vääntymä (2, s. 54).

Elastisuuden kompensointiin eri materiaalien välillä pitää runkoputkien dimensioita muuttaa. Kun halutaan alumiinirungon jäykkyyden olevan sama kuin teräs rungossa, täytyy alumiiniputken ulkohalkaisijaa kasvattaa noin 30 % teräsputkeen nähden. Näin saadaan saman seinämävahvuuden omaavista putkista yhtä jäykkiä. (2, s. 78–79.) Kuvassa 12 on nähtävissä titaanin, teräksen ja alumiinin runkoputken halkaisijan vertailu.



Kuva 12. Runkoputkien halkaisijan vertailu (2, s. 79).

## 4 Simulointi

Kappaleelle tehtävässä simuloinnissa, määrätään sille ulkoisia voimia sekä vääntöä. Simuloinnin tarkoituksena on tarkastella kappaleen kestävyyttä ennalta määrättyissä kuormituksissa. Simuloinnista saatavilla tuloksilla voidaan todentaa suunnitellun kappaleen kestävyys.

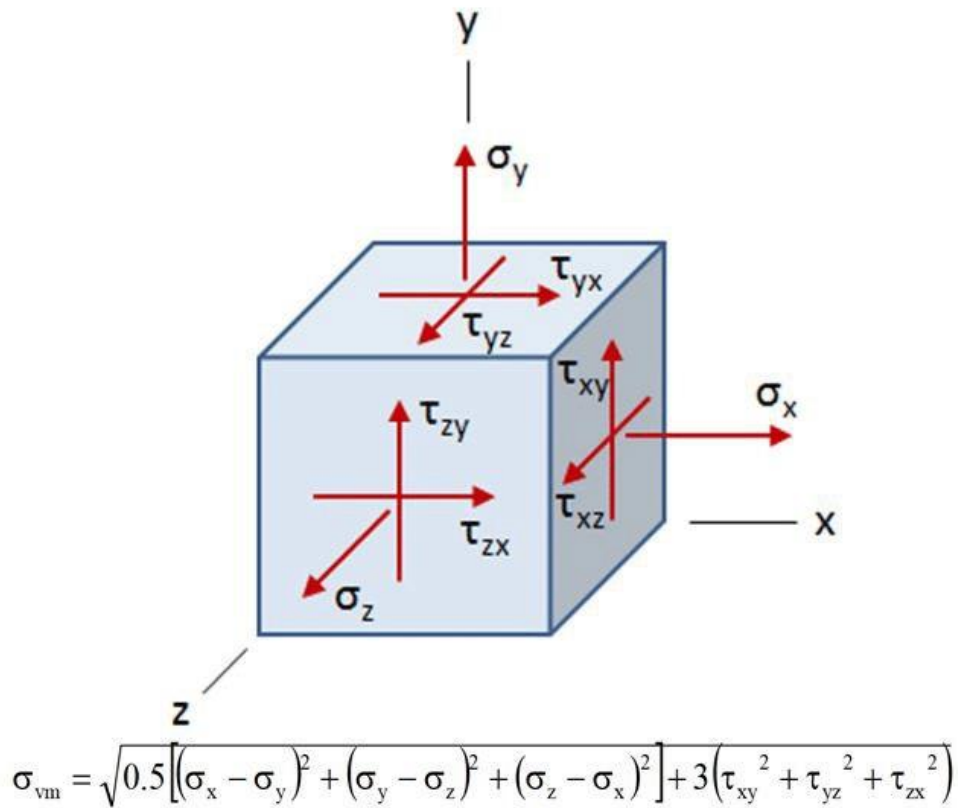
### 4.1 Siirtymä

Siirtymä mittaa kappaleen tietyssä kohdassa tapahtuvaa siirtymää x, y ja z -akselin suhteen silloin, kun kappaleeseen on kohdistettu voimia. Suuri siirtymä voi tarkoittaa sitä, että kappale on ylittänyt myötörajan ja on lähellä murtorajaa.

### 4.2 Von Mises

Von Misesin yhdistyneet jännitykset ottavat laskennassa huomioon kaikki kappaleeseen kohdistuvat jännitykset. Jos Von Misesin jännityksien laskennallinen arvo ylittää tai on

yhtä suuri kuin materiaalin myötöraja, antaa materiaali periksi. (8.) Kuvassa 13 on esitetty kappaleen osan yhdistetyt jännitykset ja niiden vaikutussuunnat.



Kuva 13. Von Mises -teorian jännitykset ja niiden vaikutussuunnat (9).

#### 4.3 Varmuuskerroin

Varmuuskerroin on suunnittelussa ja simuloinneissa käytettävä luku, joka kertoo, missä suhteessa myötöraja on annettuihin voimiin. Jos varmuuskerroin on 1, kappale kestää vain annetut voimat. Kaava, joka määrittää varmuuskertoimen, on

$$\text{varmuuskerroin} = \frac{\text{myötöraja}}{\text{annettujen voimien vaikutus}}$$

## 5 Standardi ISO 4210

Polkupyörän suunnittelussa ja valmistuksessa käytettävä kansainvälinen standardi on ISO 4210 (12, s. 1). Standardi määrittelee polkupyörän turvallisuuteen ja suorituskykyyn liittyviä arvoja.

ISO 4210 -standardi ei koske erikoisvalmisteisia polkupyöriä kuten BMX-, tandem- ja stunt-pyöriä (12, s. 1).

Standardi ISO 4210 ”Polkupyörien turvallisuusvaatimukset” on jaoteltu osiin seuraavasti:

- osa 1, termit ja määritelmät
- osa 2, vaatimukset kaupunki-, trekking-, nuoriso-, maasto-, ja kilpapyörille
- osa 3, tyypilliset testausmenetelmät
- osa 4, jarrujen testausmenetelmät
- osa 5, ohjauksen testausmenetelmät
- osa 6, rungon ja etuhaarukan testausmenetelmät
- osa 7, renkaiden ja vanteiden testausmenetelmät
- osa 8, polkimien ja ajojärjestelmän testausmenetelmät
- osa 9, satulan ja satulaputken testausmenetelmät. (13, s. 6–7.)

## 5.1 Yleiset turvallisuusmääritelmät

Polkupyörän turvallisuusmääritelmät, jotka ovat keskeisiä polkupyörän rungolle liittyvät materiaalin myrkyllisyyteen, teräviin reunoihin sekä materiaalin murtolujuuteen. Muut standardin osista käsittelevät pyörän komponentteihin, kuten jarruihin, pulttiliitoksiin sekä ohjainkannattimeen liittyviä turvallisuusmääräyksiä.

Polkupyörän komponenttien myrkyllisyyteen liittyvät vaatimukset löytyvät kohdemaan lapsille tarkoitettujen tuotteiden määräyksistä.

Terävät reunat, jotka ovat kosketuksissa polkupyörän kuljettajan kehoon normaalissa ajossa, pitää pyöristää tai muuten käsitellä haavojen ja muiden vammojen ehkäisemiseksi. (13, s. 7.)

## 5.2 Standardin mukaiset testit rungolle

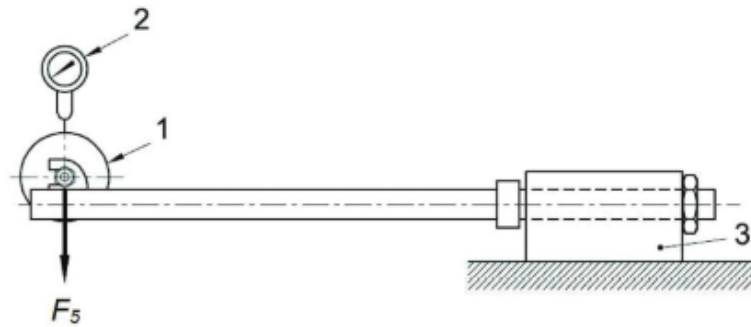
Polkupyörän rungon kestävyysliittyvät testausmenetelmät löytyvät standardin osasta 6, rungon ja etuhaarukan testausmenetelmät (14).

Testien jälkeen rungossa ei saa olla näkyviä murtumia eikä muodonmuutos saa ylittää standardissa eri pyörätyypeille annettuja arvoja (13, s. 18).



### 5.2.1 Testi 1, testihaarukan simulointi

Standardin mukaisia testejä varten tarvitaan etuhaarukka tai etuhaarukkaa vastaava osa, jonka mitat mukailevat suunniteltua etuhaarukkaa. Testissä tehdään staattinen simulaatio ja mitataan etuakselin paikan siirtymää. (14, s. 14–15.) Etuhaarukka kiinnitetään kuvan 14 mukaisella tavalla ja mitataan akselinkiinnityskohdan siirtymää.



#### Key

- 1 loading attachment swivel on axle
- 2 deflection measuring device
- 3 rigid mount incorporating head bearings

Kuva 14. Etuhaarukan testaus järjestely (14, s. 15).

Taulukossa 2 on määritelty tarvittava voima newtonmetreinä.

Taulukko 2. Etuhaarukan voimat testauksessa (14, s. 15).

| Bicycle type | City and trekking bicycles | Young adult bicycles | Mountain bicycles | Racing bicycles |
|--------------|----------------------------|----------------------|-------------------|-----------------|
| Force, $F_5$ | 1 000                      | 1 000                | 1 500             | 1 200           |

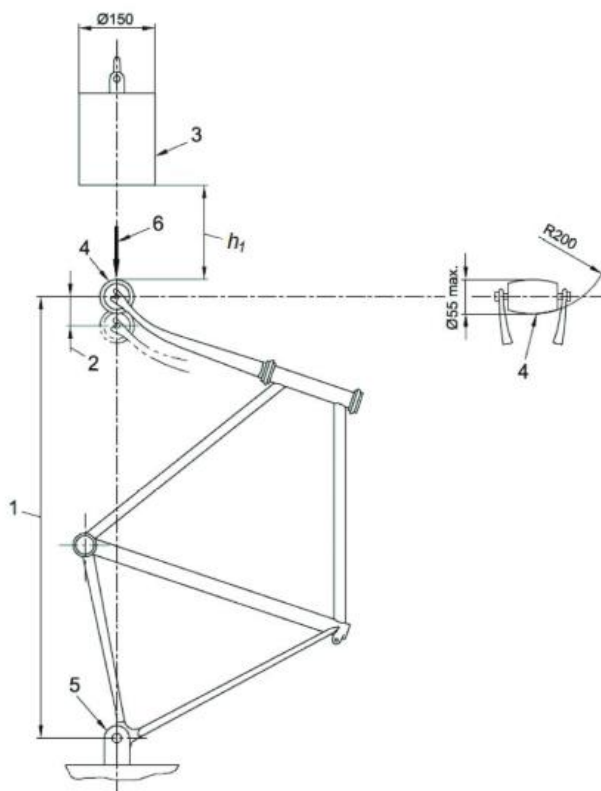
Simuloinnin jälkeen lasketaan siirtymäsuhde standardissa määrätyn laskukaavan mukaan (14, s. 22):

$$\text{siirtymäsuhde} = \frac{1417 * 10000 * \text{siirtymä}}{\text{haarukan pituus}^3}$$

Mitatut mitat annetaan millimetreinä. Laskukaavan tulos ei saa ylittää lukua 1.

### 5.2.2 Testi 2, painon pudotus etuakselille

Rungon ja haarukan pysyvää muodonmuutosta testataan pudottamalla 22,5 kg:n paino etuhaarukan akseliin asennettuun, vanteen puolaa jäljittelevään aihioon, jonka mitat ja paino ovat määriteltä kuvassa 15. (14, s. 6–7.) Paino pudotetaan taulukon 2 määrittelemältä korkeudelta etuhaarukan puolaan nähden. Tämä testi simuloidaan käyttämällä kilpapyörän arvoa, jossa pudotusmatka on 212 mm, runko kiinnitetään takahaarukasta (taulukko 3). Akseliväli mitataan ennen ja jälkeen testauksen. Akselivälin lyhentymä ei saa ylittää taulukossa 4, sarakkeessa racing bicycles olevaa arvoa 15 mm. (13, s. 18.)



Kuva 15. Testausjärjestely (14, s. 7).

Taulukko 3. Painon pudotusmatka (14, s. 7).

| Bicycle type       | City and trekking bicycles | Young adult bicycles | Mountain bicycles | Racing bicycles |
|--------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|-----------------|
| Drop height, $h_1$ | 180                        | 180                  | 360               | 212             |

Taulukko 4. Akselin siirtymä (13. s, 18).

| Bicycle type          | City and trekking bicycles | Young adult bicycles | Mountain bicycles | Racing bicycles |
|-----------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|-----------------|
| Permanent deformation | 10                         | 10                   | 10                | 15              |

### 5.2.3 Testi 3, rasiustesti

Testissä simuloidaan etuhaarukan akselin kiinnityskohtaan akselivälin suuntaisesti voimia edestakaisin. Runko kiinnitetään taka-akselista kiinni, siten että rungon pyörimistä akselin ympäri ei ole rajoitettu. Etuhaarukka kiinnitetään uraan missä se pääsee liikkumaan edestakaisin. (14, s. 12.) Testausjärjestely on nähtävissä kuvassa 16.



Kuva 16. Testausjärjestely (14, s. 12).

Taulukossa 5 on määritelty eri polkupyörätyypille käytettävät voimat ja testisyklien määrä.

Taulukko 5. Voimat ja syklien määrä (14, s. 12).

| Bicycle type               | City and trekking bicycles | Young adult bicycles | Mountain bicycles | Racing bicycles |
|----------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|-----------------|
| Forward force, $F_2$<br>N  | 450                        | 450                  | 1 200             | 600             |
| Rearward force, $F_3$<br>N | 450                        | 450                  | 600               | 600             |
| Test cycles, $C_1$         | 100 000                    | 100 000              | 50 000            | 100 000         |

Testaussykliin taajuus ei saa ylittää arvoa 10 Hz. Tuhannen syklin jälkeen voidaan tarkistaa liitoselementtien, kuten ruuvien ja muttereiden, kiristysmomentti. (14, s. 12.)

## 6 CAD-ohjelmisto

Projekti suoritettiin käyttäen SolidWorks-CAD-ohjelmistoa. SolidWorks on Dassault systemesin kehittämä 3D-mallinnus- ja simulaatio-ohjelmisto. Dassault systemes on kehittänyt CAD-ohjelmistoja vuodesta 1981 asti. Vuonna 1997 yritys lanseerasi SolidWorks -ohjelmiston lisäksi muille suunnitteluohjelmistoille.

CAD-ohjelmistoja eli tietokoneavusteisia suunnitteluohjelmistoja käytetään laajalti eri aloilla suunnittelun työkaluna. Ohjelmistolla voidaan suunnitella komponentteja tai kokonaisuuksia, joiden tulokset nähdään 3-ulotteisesti tietokoneen näytöltä.

SolidWorksin simulaatiolisäosalla voidaan tarkastella kappaleiden tai kokonaisuuksien kestävyyttä simuloimalla voimia haluttuihin kohtiin komponenteissa. Simuloinnin tulokset tarkastelevat muodonmuutosta, stressiä ja rasitusta eli Von Misesin yhdistettyjä jännityksiä. (15.)

## 7 Suunnittelu

Runkoa suunniteltaessa, määriteltiin polkupyörän rengaskoko, voimalinja sekä etuhäärukan geometria. Runkoon suunniteltiin mahtumaan maantiepyörissä perinteinen vanne ja rengaskoko 622-32. Tässä mitta 622 tarkoittaa renkaan sisämittaa ja 32 renkaan leveysmittaa. Molemmat mitat perustuvat ISO-standardin merkintätapaan ja on ilmoitettu millimetreinä. (16.)

Voimalinjaksi valikoitui 1 x 10, eli edessä on 1 ratas ja takana 10-rattainen rataspakka. Taka-akselin leveys 135 mm valikoitui saatavilla olevien komponenttien takia. 135 mm:n akseliväliä käytetään niin maantie-, cyclo-cross- kuin maastopyörissä.

Jarruiksi valikoitiin perinteiset vannejarrut, joissa jarrupalat hidastavat pyörän vauhtia painautumalla vanteen reunaa vasten.

## 7.1 Rungon mitoitus

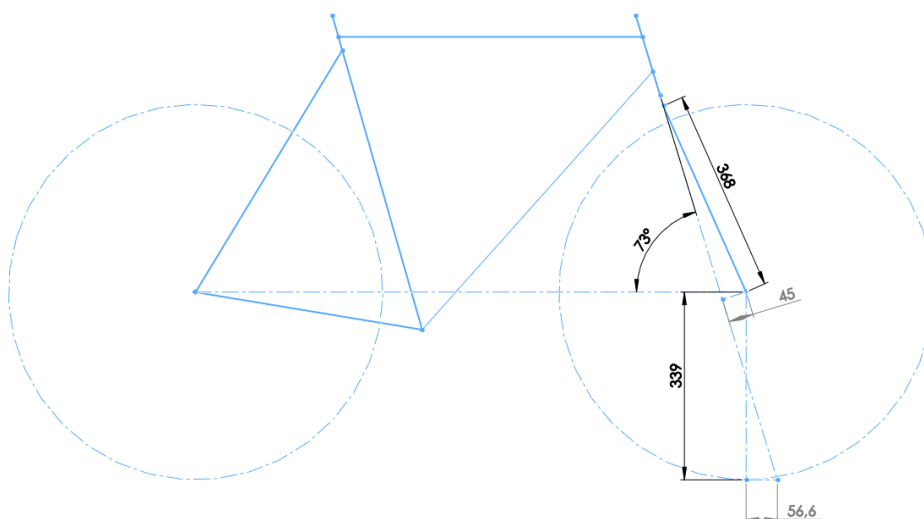
Rungon kokoa suunniteltaessa mitattiin kohde henkilön pituus. Pituuden lisäksi mitattiin myös mitta jalkapohjasta haaraväliin. Näiden mittojen perusteella pystyttiin arvioimaan rungon sopiva koko kuljettajalle tarkastelemalla kokotaulukkoa (2, s. 53). Taulukosta saatiin pyörän kooksi 55.

Tutkimalla eri valmistajien runkogeometrioita ja pyörän kokoon liittyviä tietoja, saatiin määriteltyä vaakaputken ja satulaputken mitta käyttäen apuna kuljettajan mittoja.

## 7.2 Runkogeometria

Rungon ohjausgeometria suunniteltiin etuhaarukalle, jonka dimensiot olivat jo tiedossa. Etuhaarukan akselista kruunuun mitta on 368 mm ja poikkeama ohjainkulman linjasta 45 mm.

Ohjainkulman määrittämisen ja renkaan ulkohalkaisijan mitan selvittämisen jälkeen voitiin todentaa etujättö. (2, s. 50). Etujättö ja ohjausgeometriset mitat on nähtävissä kuvasta 17.



Kuva 17. Ohjausgeometrian mitat.

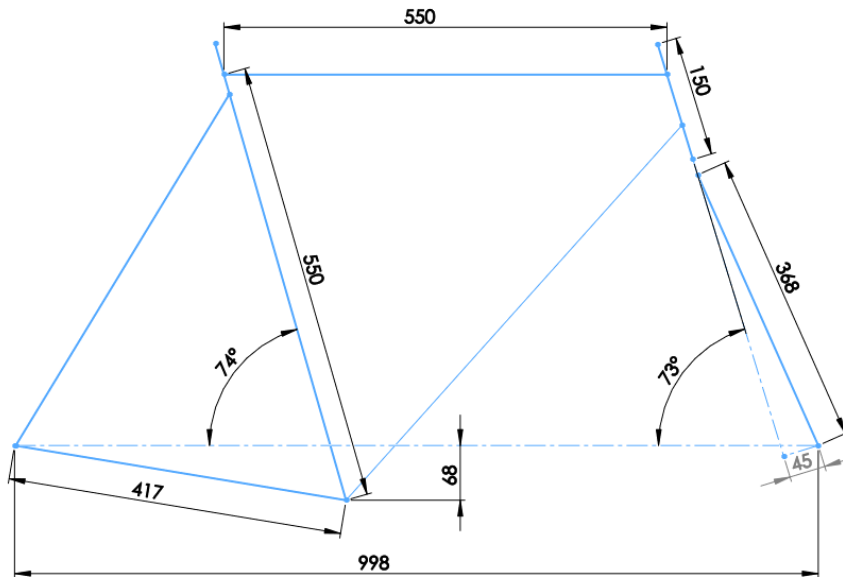
Etujätön mitaksi saatiin 56,6 mm, joka on hyvin tyypillinen arvo maantiepyörissä.

Alemman takahaarukan putken mitaksi määriteltiin 417 mm, jotta hieman kuvioidullakin renkaalla olisi paremmin tilaa pyöriä sen hankaamatta satulaputkeen.

Satulaputken mitta saatiin kokotaulukkoa tutkimalla. Mitta keskiöstä vaakaputken keskilinjaan määriteltiin 550 mm:iin. Vaakaputken pituuteen vaikutti myös kuljettajan omat mieltymykset eri polkupyöräkokojen ajokokemuksista. Vaakaputken mitta vaikuttaa myös akselivälin mittaan yhdessä ohjaukskulman kanssa.

Akseliväli 998 mm on maantiepyörässä usein käytetty mitta.

Satulaputken astekulma oli kompromissi polkutehon ja rennomman ajoasennon kesken. Emäputken pituus suunniteltiin nousemaan hieman yli vaakaputkesta, jottei tarvitsisi käyttää väliholkkeja ohjainkannatinta asentaessa. Suunnitellut geometriset mitat ovat nähtävissä kuvassa 18.



Kuva 18. Runkogeometria.

### 7.3 Rungon komponentit

Rungon komponenteiksi valikoitui Columbus Zona -sarjan putket. Columbus on italialainen, pitkän linjan polkupyörän runkoputkien valmistaja. Putket valmistetaan kylmävetämällä ja ovat saumatonta putkea. Zona-putket ovat patentoitua Nivacrom-terässeosta, mikä on jalostettua 25CrMo4-terässeosta. Jalostamalla on saatu parannettua putkien mekaanisia ominaisuuksia. Vertailun vuoksi perinteinen 25CrMo4-teräksen murtolujuus on noin 750 MPa ja Nivacrom-teräksen noin 1000 MPa. (10.)

Vaakaputki, satulaputki sekä vinoputki ovat kaksoisohennettua putkea. Tämä tarkoittaa sitä, että putket ovat päistä paksummat kuin keskeltä. Kuvassa 19 on nähtävissä läpileikkaus kaksoisohennetusta putkesta.



Kuva 19. Kaksoisohennetun putken läpileikkaus (10).

Kaksoisohennetun putken päädyt, joihin suurin rasitus kohdistuu, ovat vahvemmat kuin keskiosa. Keskiosaa ohentamalla on saatu putkista entistä kevyemmät. Vaaka- ja vinoputken päädyt ovat seinämävahvuudeltaan 0,8 mm ja keskiosa 0,5 mm.

Putket tilattiin Iso-Britanniasta Ceeway Ltd:ltä, joka on polkupyörän runkokomponenttien vähittäiskauppias (17). Runkoputkien lisäksi tilattiin myös samalta toimittajalta jarrusilta vannejarruja varten, alempien takahaarukan putkien välinen silta, keskiö sekä takahaarukan akselikiinnikkeet. Osalista on nähtävissä taulukossa 6.



Taulukko 6. BOM

|                 |                  |                     |                                   |                           |                       |             |             |
|-----------------|------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------|-------------|
| 13              | ZON615560        | Columbus            | Seat stay                         | Columbus 1.7218 (25CrMo4) | Ø16 / 12,5 mm tapered | 0.1         | 1           |
| 12              | ZON615560        | Columbus            | Seat stay                         | Columbus 1.7218 (25CrMo4) | Ø16 / 12,5 mm tapered | 0.1         | 1           |
| 11              | ZON114OV4 25.133 | Columbus            | Chain stay                        | Columbus 1.7218 (25CrMo4) | Ø29.9/16 mm 'S' Bend  | 0.1         | 1           |
| 10              | Art. 189         | Silva               | Brake bridge                      | 1.7218 (25CrMo4)          | 80 mm                 | 0.0         | 1           |
| 9               | ZON113635        | Columbus            | Seat tube                         | Columbus 1.7218 (25CrMo4) | Ø28,6x0,8 L=590       | 0.3         | 1           |
| 8               | CYRK18180        | Columbus            | Head tube                         | Columbus 1.7218 (25CrMo4) | Ø36x1,1 L=150         | 0.1         | 1           |
| 7               | ZONM12650        | Columbus            | Down tube                         | Columbus 1.7218 (25CrMo4) | Ø31,7x0,8 L=590       | 0.4         | 1           |
| 6               | ZONM11600        | Columbus            | Top Tube                          | 1.7218 (25CrMo4)          | Ø28,6x0,8 L=600       | 0.3         | 1           |
| 5               | Art. 250         | Silva               | Chain stay bridge                 | 1.4307 (X2CrNi18-9)       | 29 x 11,5 mm          | 0.0         | 1           |
| 4               | ZON114OV4 25.133 | Columbus            | Chain stay                        | Columbus 1.7218 (25CrMo4) | Ø29.9/16 mm 'S' Bend  | 0.1         | 1           |
| 3               | 597N             | Ceeway              | Bottom bracket sleeve, BSA thread | 1.4307 (X2CrNi18-9)       | 38.1 x 68.5 mm        | 0.1         | 1           |
| 2               | Breezer          | Ceeway              | Dropout                           | 1.4307 (X2CrNi18-9)       | Variable angle        | 0.0         | 1           |
| 1               | Breezer          | Ceeway              | Dropout, drive side               | 1.4307 (X2CrNi18-9)       | Variable angle        | 0.1         | 1           |
| <b>ITEM NO.</b> | <b>PART NO.</b>  | <b>MANUFACTURER</b> | <b>DESCRIPTION</b>                | <b>MATERIAL</b>           | <b>DIMENSIONS</b>     | <b>MASS</b> | <b>QTY.</b> |

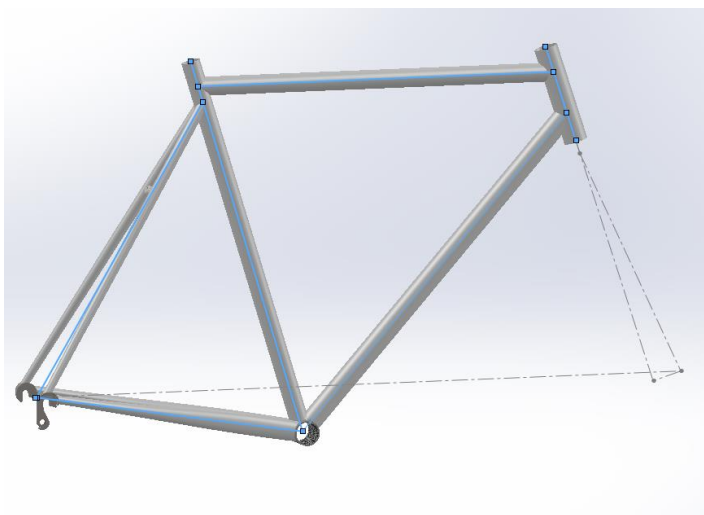
#### 7.4 CAD-malli

Tilatut osat mallinnettiin SolidWorks-ohjelmistolla komponentti kerrallaan. Kuvassa 20 on ylempänä kuva tilatusta jarrusillasta ja alempana mallinnettu komponentti.



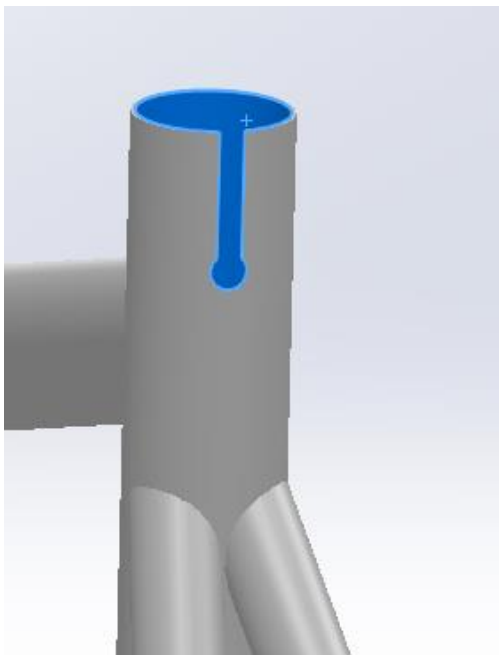
Kuva 20. Jarrusilta.

Komponenttien mallinnuksen jälkeen koottiin komponentit geometriapiirrosta hyväksi käyttäen. Kuvassa 21 näkyy geometriaviivat, joiden ympärille runko mallinnettiin.



Kuva 21. Mallinnettu runko geometriaviivoilla.

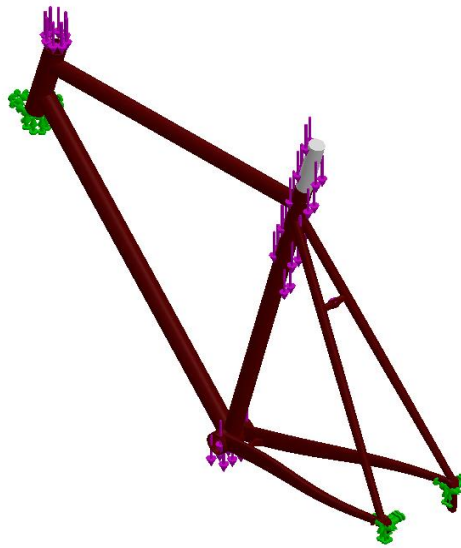
Satulaputkeen suunniteltiin ura satulapannan kiristystä varten, jota kuva 22 havainnollistaa.



Kuva 22. Ura satulapannan kiristystä varten.

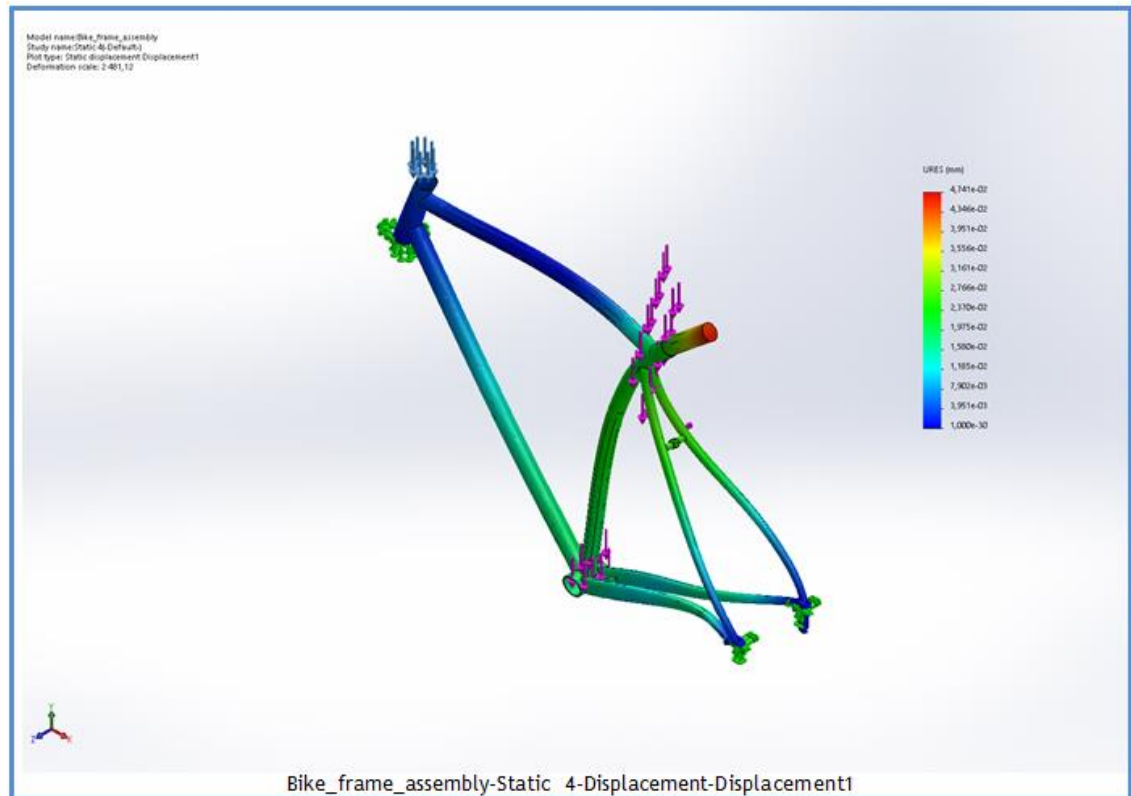
#### 7.4.1 Staattinen simulointi

Staattisessa simulaatiossa tarkasteltiin voimia, kun 90 kg painava henkilö istuu pyörän satulassa. Tyypillisessä ajoasennossa paino jakautuu 45 % satulalle, 35 % ohjaustangolle ja 20 % polkimille (2, s. 41). Voimat laskettiin muuttamalla massa voimaksi ja tämän jälkeen jakamalla ne prosentiosuuksien mukaan eri rungon kohtiin. Emäputken laakerin alapinta sekä taka-akselin kiinnityspisteet määriteltiin kiinteäksi tueksi. Simulaatiota varten mallinnettiin satulaputki ja ohjainlaakeria mukaileva kappale. Tämä mahdollisti realistisemman voimajakautuksen rungon komponentteihin. Voimat, jotka on merkitty punaisilla nuolilla, ja kiinteät tuet, jotka näkyvät vihreällä, on esitetty kuvassa 23.



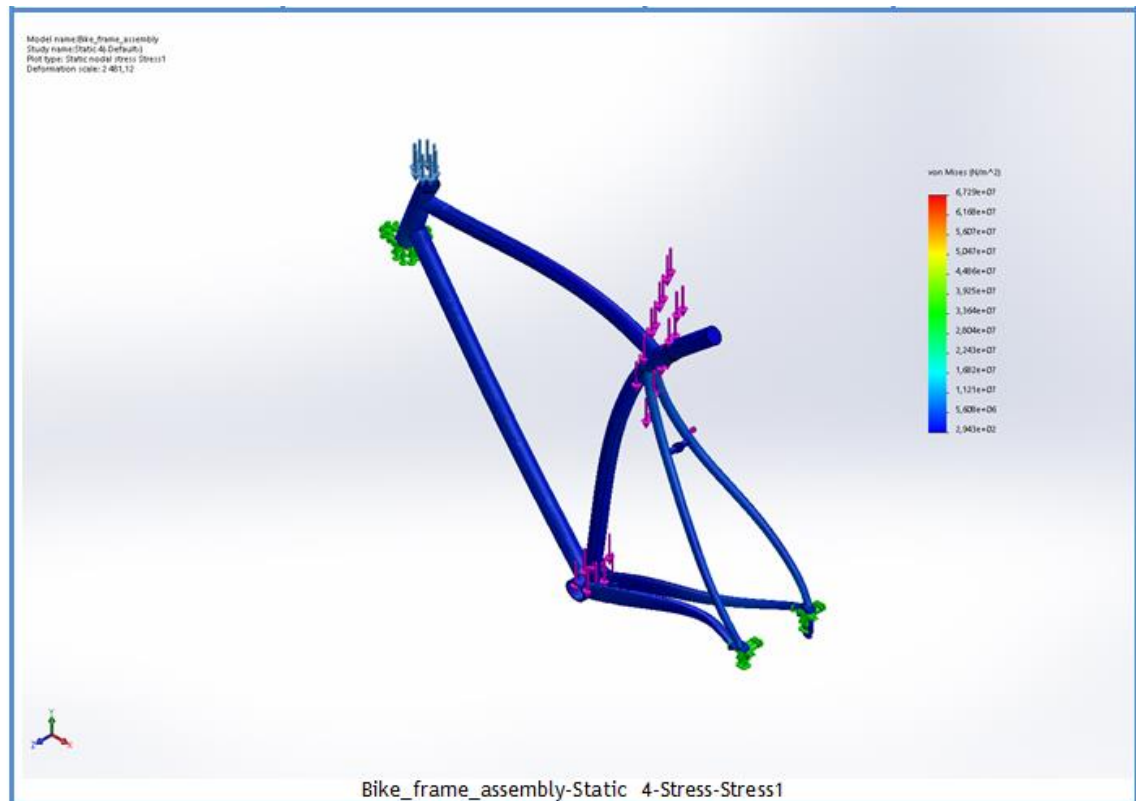
Kuva 23. Tuet ja voimat.

Siirtymää tarkasteltaessa, huomattiin rungon hyvin pieni muutos. Satulaputken päässä, missä suurin voima on, havaittiin suurin muutos. Muutos oli vain 0,047 mm. Kuvasta 24 on pääteltävissä, ettei runko jousta staattisessa tilassa lähes ollenkaan. Tuloksissa on siirtymää liioiteltu, jotta nähtäisiin paremmin, mihin siirtymä vaikuttaa.



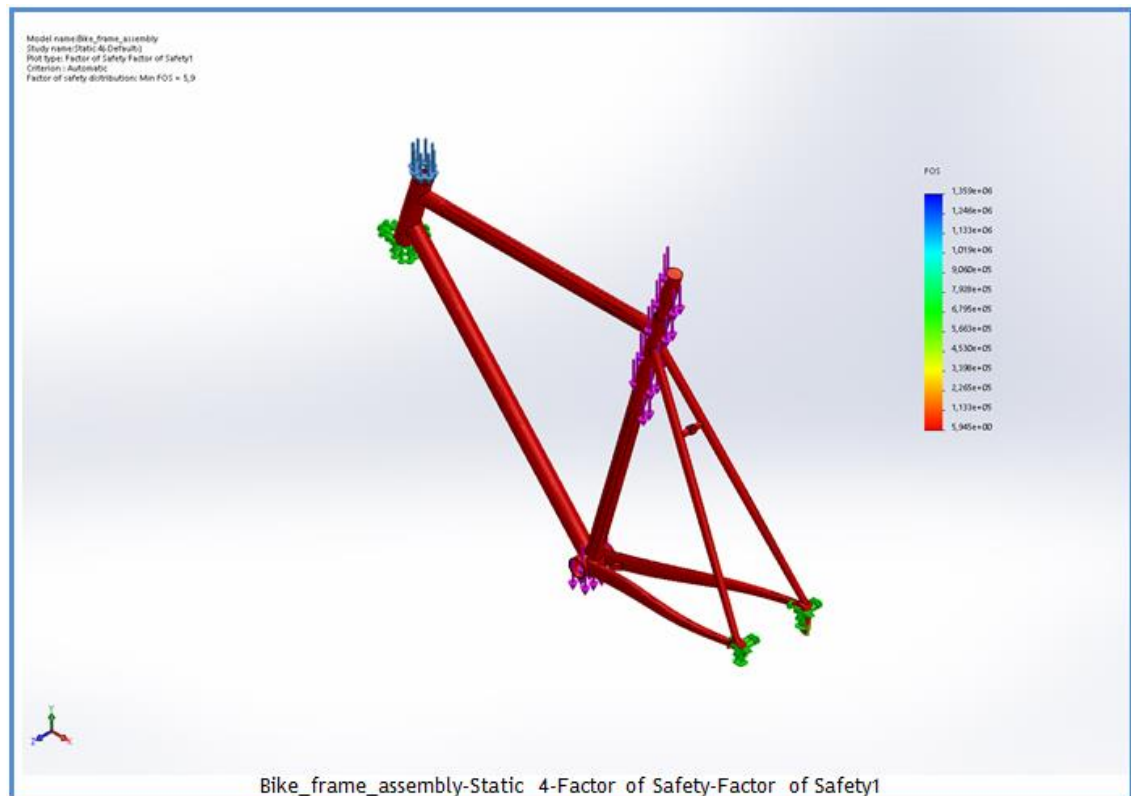
Kuva 24. Siirtymä.

Von Misesin yhdistettyjä jännityksiä vertailemalla materiaalin myötörajaan, voidaan huomata sen ylittyvän keskiön ja takahaarukan liitoskohdasta. Jos ohjelmisto käsitelisi myös hitsausaumoja, olisi tämä arvo huomattavasti pienempi ja kestäisi voimat. Suurin osa runkoa jää alle 30 MPa:n, mikä on reilusti alle putkien myötörajan, joka on Columbus-putkissa 900 MPa. Kuvassa 25 on esitettyä Von Misesin yhdistetyt jännitykset ja niiden jakauma rungolle.



Kuva 25. Von Misesin yhdistyneet jännitykset.

Varmuuslukua tarkasteltaessa jakauma rungossa oli hyvin tasainen. Varmuusluku 5,9 on melko korkea suunnittelun kannalta, mikä tarkoittaa, että runko kestää 5,9 kertaa suurempia voimia rikkoutumatta. Suunnittelun kannalta voitaisiin keventää materiaalia, mikä ei valmiista komponenteista ole mahdollista ilman uudelleen suunnittelemista. Varmuusluvun jakauma on nähtävissä kuvasta 26.



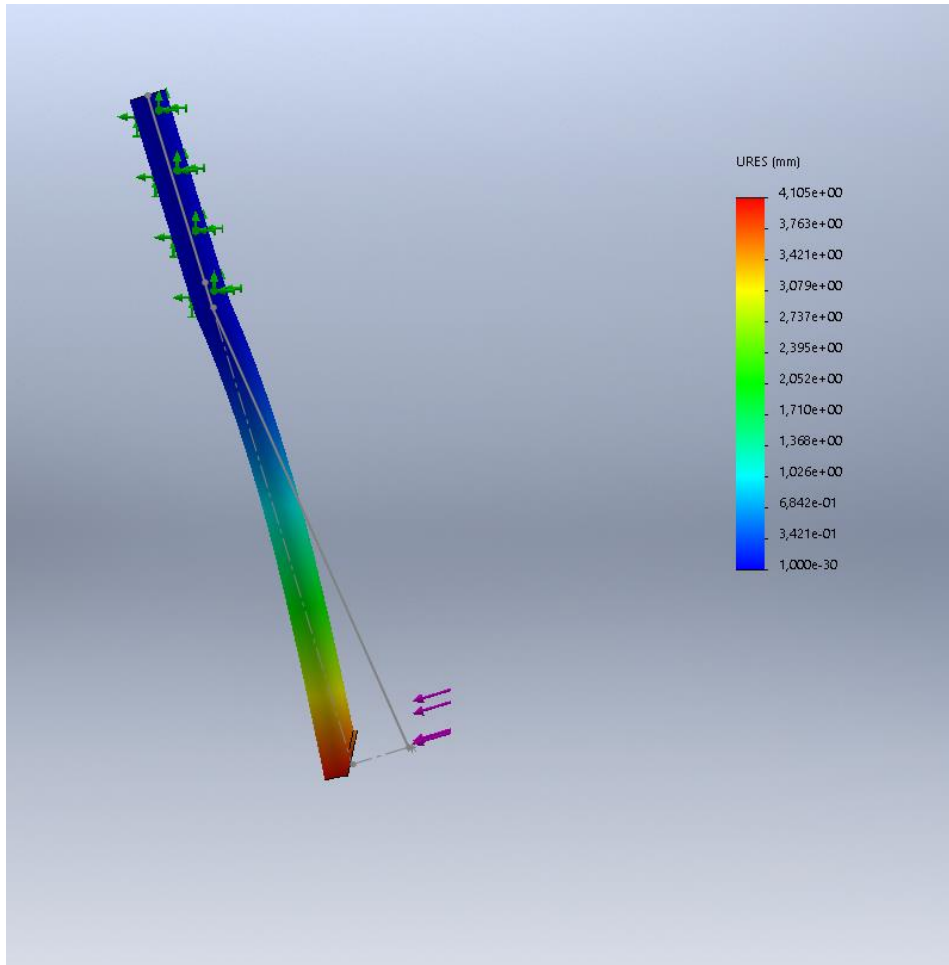
Kuva 26. Varmuusluku

#### 7.4.2 Standardin mukaisten testien simulointi

Testien simulointeja toteutettiin staattisella simulaatiolla. Tämä johtui siitä, ettei käytettävissä olleessa SolidWorks-ohjelmistossa ollut tarvittavaa simulaatiolisenssiä rasiutus tai pudotustestien toteuttamiseen. Voimia jouduttiin arvioimaan niissä testeissä, mitkä eivät olleet valmiiksi tarkoitettu staattisen voiman testaamiseen.

##### Testi 1, testihaarukan simulointi

Testihaarukka suunniteltiin yksinkertaiseksi putkeksi, missä voima 1200 N pystytettiin lisäämään akselinkiinnityspisteen kohtaan, johon myös virtuaalisensori lisättiin. Sensorin avulla voitiin tarkastella tietyssä kohdassa komponenttia tapahtuva siirtymä. Kuvassa 27 on nähtävissä simulaation tulokset siirtymää tarkasteltaessa.



Kuva 27. Testihaarukan simulaatio.

Simulaatioon lisätty virtuaalisensori antoi tulokseksi siirtymän 3,732 mm. Tämän tuloksen mukaan laskettuna siirtymäsuhteeksi saatiin 0,906, joka ei ylitä raja-arvoa 1. Etuhaarukka täyttää sille standardissa määrätty arvot ja voidaan täten käyttää rungon simulaatioissa.

$$\frac{1417 * 10000 * 3,732}{387,9^3} = 0,906$$

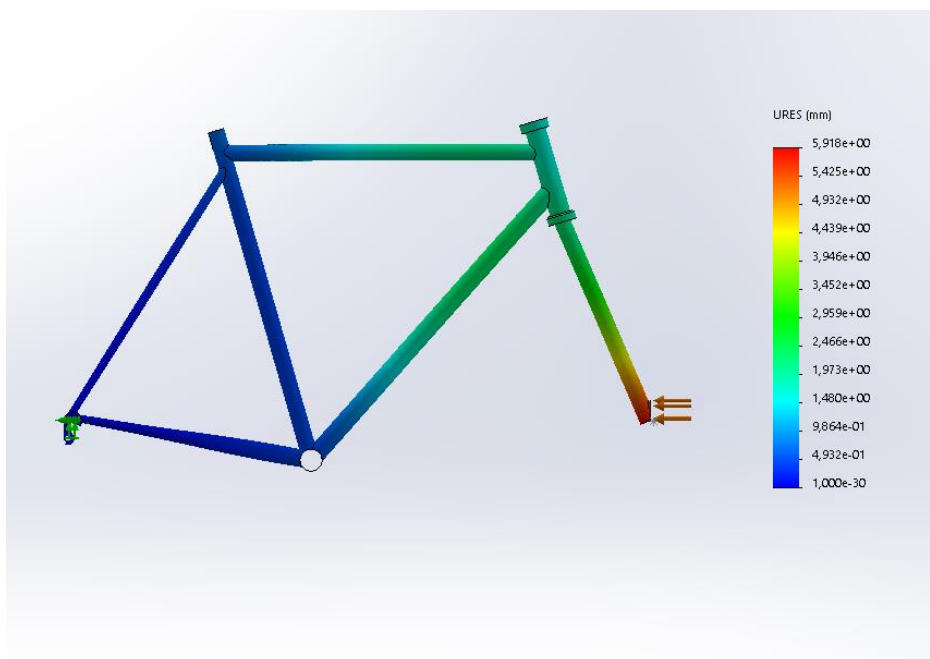


## Testi 2

Testiä 2 simuloimassa voima määriteltiin laskemalla kappaleen loppunopeus iskun hetkellä ja arvioimalla painon pituus. Tämän jälkeen voima laskettiin impulssina. Työnä laskemalla ei voitu arvioida painon liikematkaa iskun jälkeen, joten tarvittava voima laskettiin impulssina käyttämällä laskuria (18).

Tässäkin täytyi arvioida isku-aikaa pudotettavan painon mahdollisista dimensioista. Laskennan tuloksena saatiin voimaksi 463 N.

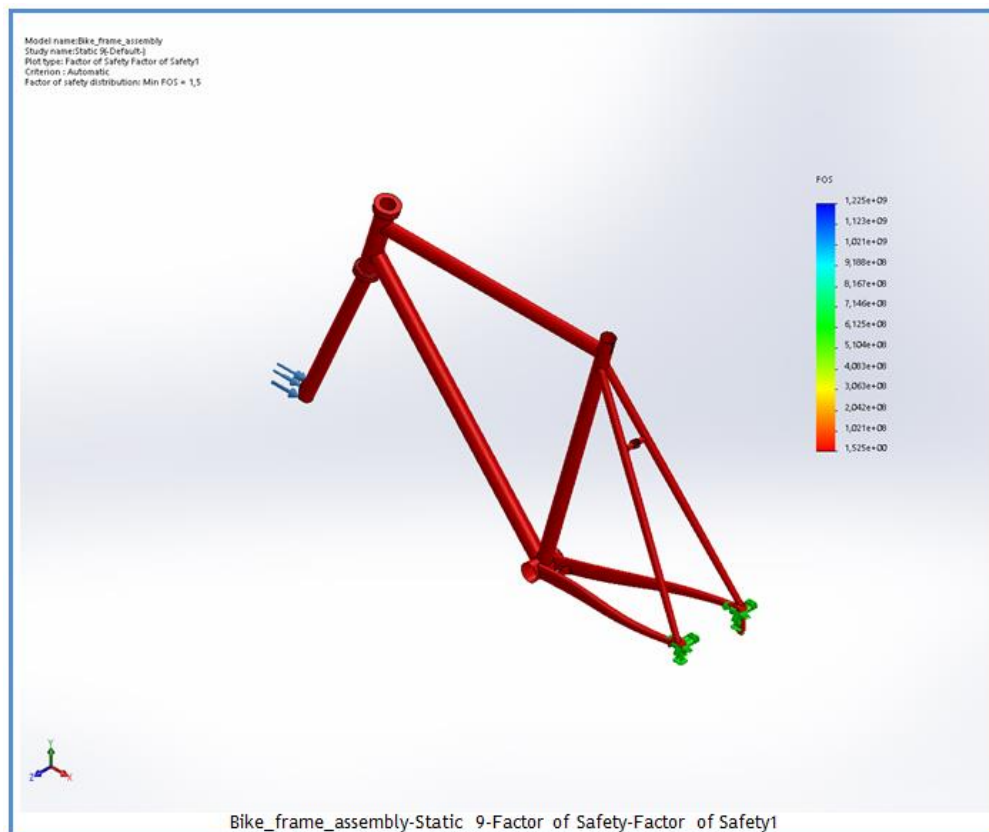
Simuloinnissa voima lisättiin etuakselin kohdalle suuntana taka-akselin kiinnityspiste. Kuvasta 28 on nähtävissä rungossa vaikuttava siirtymä. Virtuaalisensorin mittaama siirtymä x-akselin suunnassa oli vain 5,837 mm, joka pysyy standardissa annetussa 15 mm:n raja-arvossa.



Kuva 28. Simulaation tulos.

### Testi 3

Testissä 3 simuloitiin annettuja voimia staattisesti. Voima 600 N kohdistettiin testi 2:n mukaisesti etuhaarukan akselin kiinnityspisteeseen. Ensin voiman suunta oli akselilinjan myötäisesti taka-askelia kohti. Simulaation tuloksena tarkasteltiin varmuuslukua, koska rasiusta ei voitu tarkastella. Varmuuskerroin 1,5 kertoo rungon kestävän sille määritellyä voimaa. Kuvassa 29 on nähtävissä simulaation tulokset.

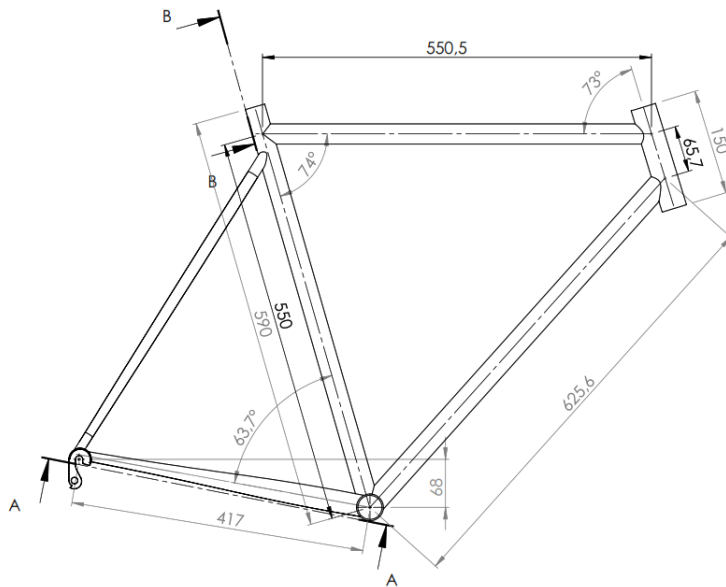


Kuva 29. Testin 3 tulos

Tämän jälkeen sama voima kohdistettiin samaan pisteeseen vaihtamalla voiman suuntaa päinvastaiseen suuntaan. Varmuuskerrointa tarkasteltaessa tulokset olivat lähes identtiset antaen varmuuskertoimeksi myös 1,5. Tuloksista voi päätellä rungon kestävän testissä annettuja staattisia voimia, koska ne eivät ylitä myötörajaa.

### 7.4.3 Työkuvat

Suunnittelun lopputuotteena tehtiin työkuvat rungon valmistusta varten. Työkuviin merkittiin osalistan lisäksi rungon sekä takahaarukan geometriset mitat. Kuvassa 30, on nähtävissä rungon geometrinen työkuva sivulta kuvattuna.

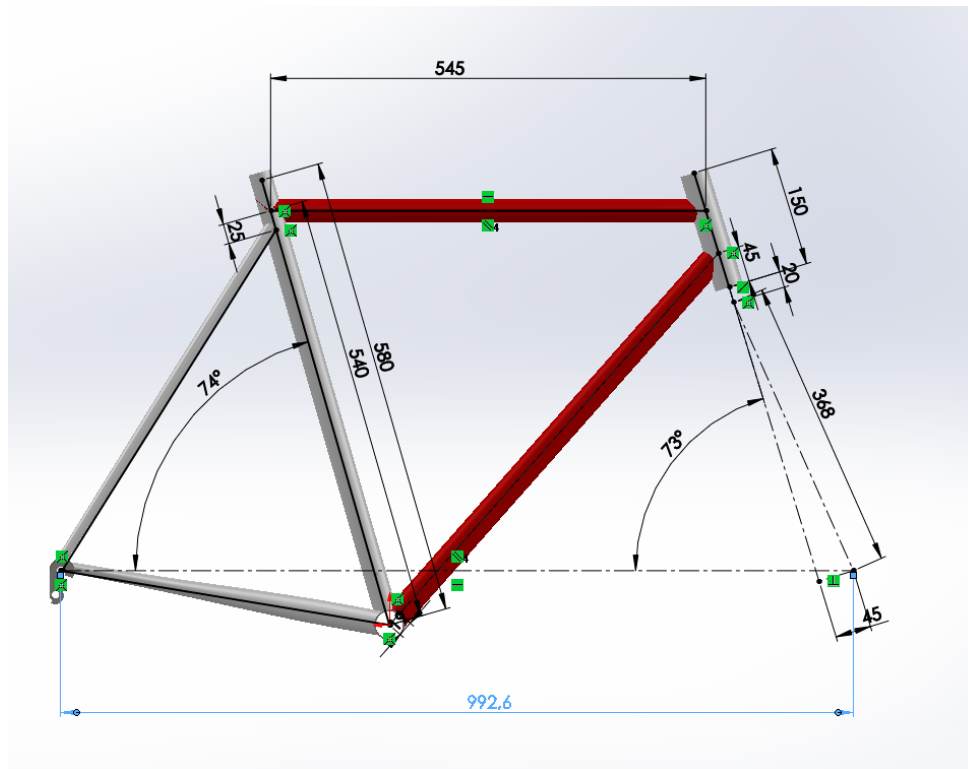


Kuva 30. Sivukuvanto työkuvasta

### 7.5 Vertailu pienempään runkokokoon

Rungon suunnittelun jälkeen pohdittiin rungon mitoituksen muutosten vaikutusta lujuuteen. Kokoa pienempi runko, jossa satulaputkea, vaakaputkea ja vinoputkea lyhennettiin vastaamaan koon 54 runkoa, vertailtiin lujuussimuloinnin sekä painonsäästön kautta.

Satulaputken pituus lyheni 10 mm, vaakaputken 5 mm ja vinoputki vain 3 mm. Kuvasta 31 on nähtävissä rungon geometriset muutokset.



Kuva 31. Pienemmän rungon geometria

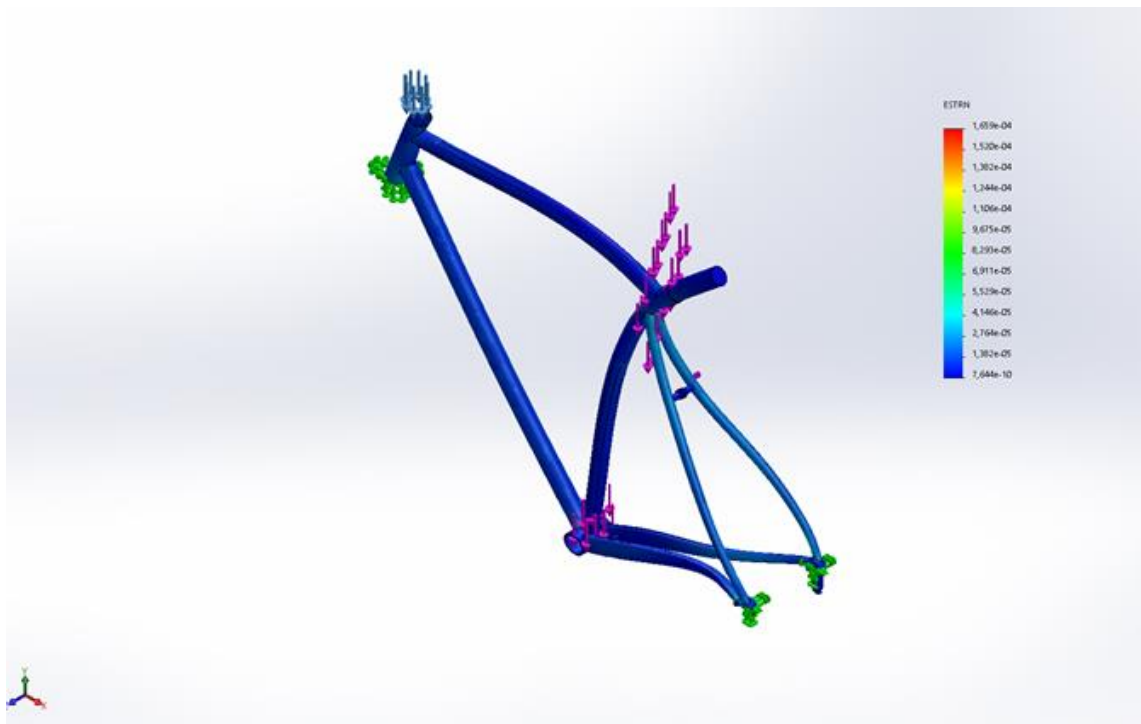
Rungon painoon koon pienentäminen ei vaikuttanut merkittävästi. Painoero runkojen välillä oli alle 10 g johtuen hyvin pienistä muutoksista runkoputkien pituudessa.

Materiaalin vaihdon kannalta tuotekehityksessä, olisi suunnitella rungon komponentit kokonaan uudelleen. Alumiinissa käytetään halkaisijaltaan suurempia putkia, jotta saavutettaisiin samankaltainen jäykkyys kuin teräsrungossa.

Hiilikuiturunkojen muotoilu ja liitoskohdat ovat myös huomattavasti erilaisia ainevahvuuden sekä muotojen kannalta teräkseen verrattuna.

Pienemmässä rungossa ei massakeskipisteen muutokseen ollut juurikaan vaikutusta, kun kuljettajan ajoasento säilyy samana pidentämällä ohjainkannatinta sekä satulan kiinnitysputkea. Kuljettajan massa muodostaa suurimman osan massakeskipisteen sijainnista.

Rungolle suoritettiin luvun 7.4.1 mukainen staattinen simulaatio. Simulaatiossa tarkasteltiin isomman ja pienemmän rungon eroja lujuuden kannalta. Kuvasta 32 on nähtävissä Von Misesin yhdistetyt jännitykset.



Kuva 32. Pienemmän rungon Von Mises -jännitykset

Simuloinnin tuloksia tarkasteltaessa ei eroa isompaan runkoon ollut käytetyssä mittakaavassa.

## 8 Johtopäätökset

Suunniteltu runko kestää staattista rasiusta tehtyjen simulaatioiden perusteella. Ajotilanteessa hallitsevat dynaamiset voimat ovat kuitenkin suuremmat kuin staattisessa tilassa. Dynaamisten voimien todentamiseen olisi tarvittu toisenlainen ohjelmisto.

Standardin mukaisten testien toteuttaminen staattisena simulaationa ei vastaa todellisia testejä. Rasiustesteissä tarkasteltava materiaalin väsyminen on mahdoton havaita staattisessa simulaatiossa, ellei se ylitä materiaalille annettuja murtolujuusarvoja. Silloin voidaan todeta suoraan rungon kestämyys myös rasiustesteissä.

Pudotustestin voiman laskeminen annetuilla tiedoilla osoittautui hankalaksi. Testissä mitattu pysyvä muodonmuutos on mahdotonta todentaa ilman vaadittavia ohjelmiston lisäosia.

Pienempään runkokokoon tehty vertailu osoitti, ettei pienillä muutoksilla ollut juuri vaikutusta. Kun koko muuttuu merkittävästi, simulaation tuloksissakin näkyisi huomattavaa muutosta. Todella pienessä rungossa voimien vaikutuspisteiden välimatkat lyhentyisivät ja täten lujuus parantuisi. Todella isokokoisessa rungossa, tilanne olisi päinvastainen.

Runkoon mallinnettiin komponentit, kuten vanteet ja jarrut, jotta nähtäisiin komponenttien sopivuus. Mallinnuksen perusteella renkaat mahtuvat pyörimään hankaamatta rungon putkiin. Samalla pystyttiin hahmottamaan, miltä valmis pyörä näyttäisi. Kuvassa 33 näkyy pyörä osineen.



Kuva 33. Renderöity kuva valmiista pyörästä.

## 9 Yhteenveto ja pohdinta

Työssä tarkasteltiin polkupyörän rungon suunnitteluprosessia sekä standardin ISO 4210 mukaisten kestävyystestien simulointia. Maantiepyörän runko suunniteltiin 179 cm pitkälle kuljettajalle. Kuljettajan vartalon mittoja käytettiin rungon kokoa suunniteltaessa.

Pyörän runko mallinnettiin SolidWorks-ohjelmistolla runkoputkista ja komponenteista, jotka tilattiin Iso-Britanniasta alan erikoisliikkeestä. Mallinnuksen jälkeen simuloitiin staattisessa tilassa standardissa ISO 4210 määritellyt kestävyystestit.

Kokoa pienempi runko suunniteltiin lujuus- ja massaertailua varten. Vertailussa todettiin, ettei pienellä runko koon vaihtelulla ole juuri lainkaan vaikutusta rungon painoon tai kestävyteen.

Suunnitteluprojektin lopuksi piirrettiin työkuvat valmistusta varten. Pyörän runko on tarkoitus valmistaa ammattilaisen toimesta.

Polkupyörän rungon suunnittelu prosessissa onnistuttiin tuottamaan rungon valmistukseen tarvittavat dokumentit.

Polkupyörän rungon suunnittelussa olisi hyvä päästä testaamaan valmista tuotetta. Prototyypin testaus olisi tuotesuunnitteluprosessin ja tuotekehityksen kannalta tärkeää. Polkupyörän ajotuntumaan liittyy kuitenkin tuntumaperustaisia asioita. Testauksessa pääsisi kokemaan miltä materiaali tuntuu jostaessa.

Myös ohjauksen tuntuma olisi hyvä kokea ajotilanteessa. Tämän pohjalta voitaisiin suunnitella mahdollisesti jyrkempää, tai loivempaa, emäputken kulmaa.

Standardien mukaisten testien simuloinnilla saataisiin varmistettua jo ennen valmistusta rungon kestävyys, siten ei tarvitsisi valmistetun rungon testien jälkeen palata takaisin suunnitteluun.

Parhaimman tuloksen pyörän koon kannalta saataisiin tekemällä bike fit eli pyörän rungon mitoitus kuljettajan mittojen perusteella. Mitoituksen hinta ja saatavuus olivat teki-  
jöitä, joiden vuoksi sitä ei tehty tämän suunnittelutyön alussa.



## Lähteet

- 1 Understanding Bicycle Geometry. Verkkoaineisto. Cycling About. <<https://www.cyclingabout.com/understanding-bicycle-frame-geometry/>>. Luettu 30.1.2020.
- 2 Glaskin, Max. 2013. Cycling science. East Sussex: Ivy Press.
- 3 Toe overlap. Verkkoaineisto. BikeCAD. <<https://www.bikecad.ca/taxonomy/term/95/bikecadpro>>. Luettu 5.2.2020.
- 4 Frames & Materials. Verkkoaineisto. Exploratorium. <<https://www.exploratorium.edu/cycling/frames1.html>>. Luettu 16.1.2020.
- 5 Nova cycles supply. Verkkoaineisto. <<https://www.cycle-frames.com/>>. Luettu 3.2.2020.
- 6 Pennala Erkki. 1972. Lujuusopin perusteet. Otaniemi. Teknillisen Korkeakoulun Ylioppilaskunta
- 7 Wilson, David Gordon. 2004. Bicycle science. London: MIT press.
- 8 What is von Mises Stress?. Verkkoaineisto. Simscale. <<https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/fea/what-is-von-mises-stress.html>>. Luettu 10.2.2020.
- 9 Verkkoaineisto. ResearchGate. <[https://www.researchgate.net/figure/Von-Mises-stress-equation-expressed-by-the-six-stress-components\\_fig3\\_332729828](https://www.researchgate.net/figure/Von-Mises-stress-equation-expressed-by-the-six-stress-components_fig3_332729828)>. Luettu 11.2.2020.
- 10 Products. Verkkoaineisto. <[https://www.columbustubi.com/eng/4\\_4\\_1.htm](https://www.columbustubi.com/eng/4_4_1.htm)>. Luettu 13.2.2020.
- 11 Bike building supplies. Verkkoaineisto. Ceeway. <<https://www.framebuilding.com/>>. Luettu 2.2.2020.

- 12 SFS-EN ISO 4210-1. Cycles. Safety requirements for bicycles. 2015. Terms and definitions. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 13 SFS-EN ISO 4210-2. Cycles. Safety requirements for bicycles. 2014. Requirements for city and trekking, young adult, mountain and racing bicycles. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 14 SFS-EN ISO 4210-6. Cycles. Safety requirements for bicycles. 2015. Frame and fork test methods. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto
- 15 History, from Digital Mock-up to 3DEXPERIENCE. Verkkoaineisto. Dassault Systemes. <<https://www.3ds.com/about-3ds/history/>>. Luettu 15.2.2020.
- 16 Wheel sizes. Verkkoaineisto. Bike calc. <[https://www.bikecalc.com/wheel\\_size\\_math](https://www.bikecalc.com/wheel_size_math)>. Luettu 1.2.2020.
- 17 Bike building supplies. Verkkoaineisto. Ceeway. <<https://www.framebuilding.com/>>. Luettu 2.2.2020.
- 18 Impulse of force. Verkkoaineisto. HyperPhysics. <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/impulse.html#c2b>>. Luettu 18.1.2020.

