



Sani Leinonen

Kallistussylinterien testilaitteen konseptin suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

27.2.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Sani Leinonen
Otsikko: Kallistussyinterien testilaitteen konseptin suunnittelu
Sivumäärä: 41 sivua
Aika: 27.2.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine: Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat: Pääsuunnittelija Samuli Ståhlstedt, Mitsubishi Logisnext,
Lehtori, Janne Nuotio, Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinöörityön aiheena oli kallistussyinterien testilaitteen konseptin suunnittelu Logisnextin tuoteperheen vastapainokoneille. Työ käsittelee pääasiallisesti testilaitteen konseptisuunnittelua ja haluttujen ominaisuuksien toteuttamista laitteen suunnittelussa. Työssä käsitellään lujuusoppia ja testilaitteen suunnittelun eri vaiheita.

Testilaitteen tarkoitus on selvittää sylinterin mekaaninen kestävyys ja mahdollisia vikaantumismuotoja. Laite mahdollistaisi testin teettämisen Logisnextin omissa tiloissa. Laiteella voidaan myös testata pääosin kahta yleisintä mallia, EdiaEM ja EdiaEX, mutta myös isompia malleja, kuten EdiaXL.

Suunnittelussa on huomioitu käytännöllisyys, kestävyys ja soveltuvuus tulevaisuuden uusille trukkimalleille. Laite on kompaktin kokoinen ja siirrettävä, ja osat ovat helposti vaihdettavissa. Konseptisuunnittelussa valmistui kaksi prototyyppiä, mutta toisesta prototyypistä kehittyi lopputuote tälle työlle. Rakenteesta tuli yhtenäinen ja vahva konsepti Logisnextille.

Avainsanat: konseptin suunnittelu, kallistussyinteri, prototyyppi,
lujuusoppi

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Sani Leinonen
Title: Tilt cylinders tester concept design
Number of Pages: 41 pages
Date: 27 February 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Design Engineering
Supervisors: Samuli Ståhlstedt, Lead engineer, Mitsubishi Logisnext,
Janne Nuotio, Senior Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences

The topic of this Bachelor's thesis is to make a concept design of an endurance tester that is used to counterbalance trucks tilt cylinders. The work is done for the customer Logisnext. The work mainly deals with the conceptual design of the test device and the implementation of the desired features in the design of the device. The work also discusses strength theory and the different stages of the design of the test fixture.

The purpose of the test rig is to determine the mechanical strength of the cylinder and possible failure modes. The device would allow the test to be carried out at Logisnext's own facilities. The device can also be used to test mainly the two most common models EdiaEM and EdiaEX, but also larger models such as EdiaXL.

The design has considered practicality, durability and suitability for the new forklift models of the future. The machine is compact, portable and the parts are easily interchangeable. The concept design resulted in two prototypes, but the second prototype evolved into the final product for this work. The design became a coherent and strong concept for Logisnext.

Keywords: Concept design, tilt cylinder, prototype, strength theory

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	2
2	Mitsubishi Logisnext Europe	2
3	Tuotesuunnittelu ja -kehitys	4
4	Voimien vaikutus testilaitteeseen	7
4.1	Lujuusopin terminologia	7
4.2	Liikeradat ja kuormitukset	12
5	Kallistussylinterien testilaitteen konseptin suunnittelu	15
5.1	Testin rakenne ja ideat	18
5.2	Ensimmäiset ideat rungosta	20
5.2.1	Kiinnitysten mitoitus	20
5.2.2	Sylinterin korvakkeet ja maston kiinnike	23
5.3	Rungon kehitetyt prototyypit	27
5.3.1	Rungon ensimmäinen valmis prototyyppi	27
5.3.2	Rungon toinen prototyyppi	28
5.3.3	Osiin tehtyjä muutoksia	33
6	Kehittäminen ja lopputulos	35
7	Yhteenveto	40
	Lähteet	41

1 Johdanto

Kallistussylinteri on trukin mastoa eteenpäin ja taaksepäin kallistava sylinteri. Sylinteri mahdollistaa raskaiden tavaroiden/esineiden liikuttamista vakaasti. Kuljetettavaa tavaraa voidaan myös kallistaa, mikäli kyseinen tavara on epätasapainossa tai pinta on hankala kuljettaa vaakasuorassa. Tällaisissa kallistuksen liikeradoissa tapahtuu hydraulista voimansiirtoa.

Insinööriyön toimeksiantajana toimi Logisnext Europe. Tässä insinööriyössä on tarkoituksena kehittää uusi testilaitte kallistussylinterien kestävyuden tutkimiseen Logisnextin tiloissa sekä selvittää erilaisia rasituksia. Laitteen haluttuihin ominaisuuksiin kuului, että testilaitte on mahdollista siirtää trukilla ja pystyttäisiin testaamaan eri sylinterikokoja sekä olisi mahdollisimman realistinen testi sylintereille. Konseptin suunnittelussa otetaan huomioon eri suunnittelumenetelmiä ja lujuusoppia. Testilaitteen osia suunniteltiin Solidworksillä ja simulointiin samalla ohjelmalla.

2 Mitsubishi Logisnext Europe

Mitsubishi Logisnext Europe eli MLE on nykyinen nimi entiselle Roclalle, joka alkujaan perustettiin vuonna 1942 nimellä Rautatyö oy. Ennen trukkeja Rautatyö oy:ssä valmistettiin kamiinoja ja putkisänkyjä, kunnes 1983 Roclan nimen alla aloitettiin automaatioliiketoiminta. Liikeidea siis laajeni nosto- ja siirtolaittevalmistukseen.

Rautatyö oy muuttui vuonna 1979 Rocla oy:ksi ja nosto- ja siirtolaittevalmistus oli Roclan tavaramerkki. Ensimmäiset vihivaunujärjestelmät Rocla kehitti 1983.

Japanilainen Mitsubishi Heavy Industries -yhtiö teki vuonna 2008 julkisen ostotarjouksen Roclan osakkeista ja sai vuonna 2009 omistukseensa koko osakekannan ja Rocla poistui pörssistä.

Nykyään MLE on trukkeja valmistava globaali yhtiö, ja esimerkiksi Logisnext Europeen kuuluu Suomen lisäksi Ruotsi, Alankomaat ja Espanja. Suomessa kehitetään ja valmistetaan sähköisiä varastotrukkeja, vastapainotrukkeja ja automaattitrukkijärjestelmiä.

Tässä opinnäytetyössä puhutaan sähkökäyttöisistä vastapainotrukeista nimeltään EdiaEM 16-20 ja EdiaEX 25-35. Numero kertoo kyseisen mallin kapasiteetin ja pienemmän luokan EdiaEM 16-20:n (kuva 1) kapasiteetit ovat 1,6, 1,8 ja 2,0 tonnia.



Kuva 1. Pienempi malli EdiaEM 16.

Isomman mallin EdiaEX 25-35:n kapasiteetit ovat 2,5, 3,0 ja 3,5 tonnia (kuva 2). Näitä kahta mallia on helpompi puhutella nimillä EdiaEM ja EdiaEX.



Kuva 2. Isompi malli EdiaEX, joka on 3,5 tonnin vastapainotrukki.

Näiden kahden mallin kallistussylinterien erona on kallistussylinterien välinen etäisyys, korkeus maasta ja sylinterin koko. Kallistuskulmien sallittu etukallistuskulma on EdiaEX:ssä enintään 6 astetta ja EdiaEM:ssä 5 astetta. Taaksepäin maksimissaan sallittu kallistuskulma EdiaEX:ssä on 8 astetta ja EdiaEM:ssä se on 7,5 astetta. Sallitut kallistuskulmat määräytyvät trukin painosta, mastosta ja työstä, johon trukkia ollaan käyttämässä.

3 Tuotesuunnittelu ja -kehitys

Tuotesuunnittelulla ja -kehityksellä tarkoitetaan uuden tuotteen luontia tai parantelua olemassa olevasta tuotteesta. Kyseessä on siis prosessi konseptista markkinoille menevästä tuotteesta. Prosessiin sisältyy vaiheita, kuten idean suunnittelu, prototyypin rakentaminen, testaus, valmistus sekä markkinoille saattaminen. Työssäni testilaitteita valmistetaan kuitenkin yksi eikä useampia, joten markkinoille saattaminen jää pois. Tarkoitus on käyttää tuotetta vain yrityksen sisäisiin testeihin.

Ensisijaisena tavoitteena on luoda tuote eli testilaitte, joka vastaa asiakkaan tarpeita ja jossa otetaan huomioon haluttuja ominaisuuksia kuten toiminnallisuus, monipuolisuus, kustannukset ja valmistettavuus.

Stage-Gatemallin tuotesuunnittelun ja -kehityksen prosessi aloitetaan seuraavia vaiheita seuraten:

1. Idean tuottaminen tai idean suunnittelu. Tämä on alkuvaihe, jossa ideoidaan konseptia ja kartoitetaan eri ideoita tuotteesta. Ideointi perustuu asiakkaan tarpeisiin.
2. Konseptien kehittäminen ja niiden seulonta. Ideat ovat tässä vaiheessa kehittyneet konsepteiksi. Konseptit arvioidaan ja lupaavimmat valitaan ehdotuksiksi.
3. Toteutettavuus. Arvioidaan tuotteen toteutettavuutta, kuten esimerkiksi toimivuutta halutussa tilassa, tarpeiden toteutumista konsepteissa, kustannusten minimointia ja ratkaisujen onnistumista.
4. Suunnittelu ja kehittäminen. Tässä vaiheessa prosessia tehdään tuotteen yksityiskohtainen suunnittelu, kuten prototyyppien luominen, testien tekeminen ja suunnittelun kehittäminen. Suunnittelun yksityiskohtaisia ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi toiminnallisuus ja monipuolisuus.
5. Prototyyppien testaus ja parantaminen. Prototyyppijä testataan ja etsitään mahdollisia parannuskohteita. Tämä prosessi parantaa tuotesuunnittelua, jotta tuote vastaa tarpeita ja laatustandardeja.
6. Toteutus. Suunnittelu on viimeistely ja tuote siirretään valmistus-toteutusvaiheeseen. Siihen sisältyy materiaalin hankinta ja valmistus.
7. Arviointi. Viimeisessä vaiheessa tarkastellaan lopputulosta ja sitä, onko tuote toteuttanut kaikki tarpeet.

Tällaista tuotekehitystaprosessia kutsutaan myös lyhenteellä PDP, mikä tulee englannin kielestä Product design process. (1, s. 3; 2, s. 47.)

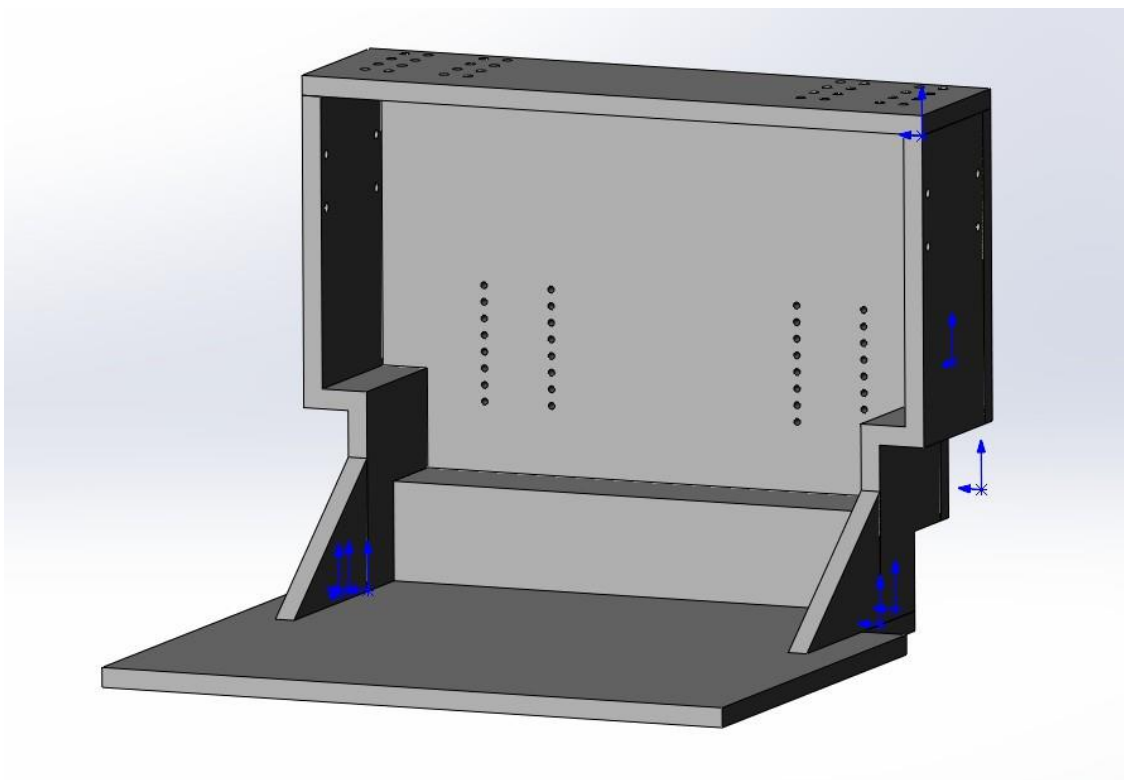
Tuotekehitysprosessille on eri malleja, ja yleisimpiä niistä on Ulrich-Eppingerin malli. Edellä esiteltiin Stage-Gate-malli, joka toimii vesiputousmallin mukaan, eli ensimmäisestä vaiheesta siirrytään toiseen ja nämä vaiheet tukevat toisiaan. Tämä portista toiseen kulkeminen on nykypäivänä suosittu malli, mutta Ulrich-Eppinger -malli on edelleen yleisesti käytössä. Tässä mallissa edetään vaiheittain eteenpäin, toisin sanoen kyseessä on peräkkäismalli, jossa voidaan palata takaisen edelliseen vaiheeseen.

Ulrich-Eppinger -mallin vaiheet lyhyesti ja tiiviisti:

1. Määritetään tuoteohjelma. Ensimmäisessä vaiheessa asetetaan tavoitteet, reunaehdot ja varmistetaan, onko tuotekehitysprojekti samalla linjalla tuotestrategian kanssa.
2. Konseptointisuunnittelu. Tässä vaiheessa määritetään tuotteen tarpeet, kuten tuoteominaisuudet, ja kilpailijat arvioidaan eli benchmarkataan. Tämän jälkeen ideoidaan ja luodaan luonnoksia tuotteesta. Tarpeen vaatiessa ratkaisu voidaan jakaa osaongelmiin, jotta jokainen ongelma voidaan ratkaista yksitellen.
3. Systemisuunnittelu. Tämä on edellisen vaiheen jatkokehitystä, mutta tuoterakenteeseen ja modulointiin kiinnitetään vahvemmin huomiota.
4. Detalji-suunnittelu eli yksityiskohtien suunnittelu. Tuote saa lopullisen muotonsa sekä materiaali ja valmistusvaiheet määritetään.
5. Testausvaihe. Tuote testataan ja varmistetaan sen olevan suunnitellun mukainen ja valmistuksen riittävän edullinen kustannuksiltaan.
6. Tuotteen julkaiseminen ja valmistuksen käynnistäminen. Viimeisessä vaiheessa tuotetaan ensisarja eli koesarja. (2, s. 47–49.)

4 Voimien vaikutus testilaitteeseen

Rungon suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon eri voimien vaikutukset rungon kestävyys. Kuvassa 3 runko on suunniteltu eri osista ja ne on hitsattu toisiinsa kiinni. Kaikki osat tukevat toisiaan, mutta runkoon vaikuttavat rasitusvoimat on otettava huomioon.



Kuva 3. Ensimmäisen prototyypin ontto runko.

Asioita mitä on otettava huomioon, ovat rasitukset kuorman vaikutuksesta kappaleeseen, varmuusluvut, ruuviliitokset ja erilaiset jännitykset.

4.1 Lujuusopin terminologia

Lujuusopissa tarkastellaan kuormituksen vaikutusta kappaleeseen. Kuormituksen laskemiseksi tarvitaan kahta asiaa, kuten mekaniikan perusyhtälöitä ja materiaalitietoja. Tilaaja eli asiakas on määrittänyt tuotteen materiaaliksi S355-teräksen, koska materiaalia on heti saatavilla ja sen

hitsattavuus on hyvä. Lujuusopissa tarkastellaan kuormituksia ja jännityksiä. Kappaleet kohdistavat toisiinsa voimia ja momenteja, jotka pitävät osat koossa. Osien sisälle syntyviä momenteja ja voimia kutsutaan rasituksiksi. Laskennoissa osille on annettava varmuusluku, jotta kestävyys on riittävä. [4, s. 7.]

Varmuusluku ja ruuviliitos

Testilaitteen suunnittelussa on tavoitteena saada aikaan rakenne, joka kestää siihen kohdistuvat kuormitukset. Lähtökohdaksi ei voida ottaa kriittistä kuormitusta eli rakenteen suurinta kestävä kuormitusta tai kriittistä jännitystä, koska epävarmuustekijöitä on paljon. Oikeana mittana voidaan määrittää varmuusluku, joka ilmoittaa varmuuden kertoimen sallittuun arvoon verrattuna. Varmuusluku saadaan laskettua sallittavalla suurimmalla kuormalla ja jännityksellä:

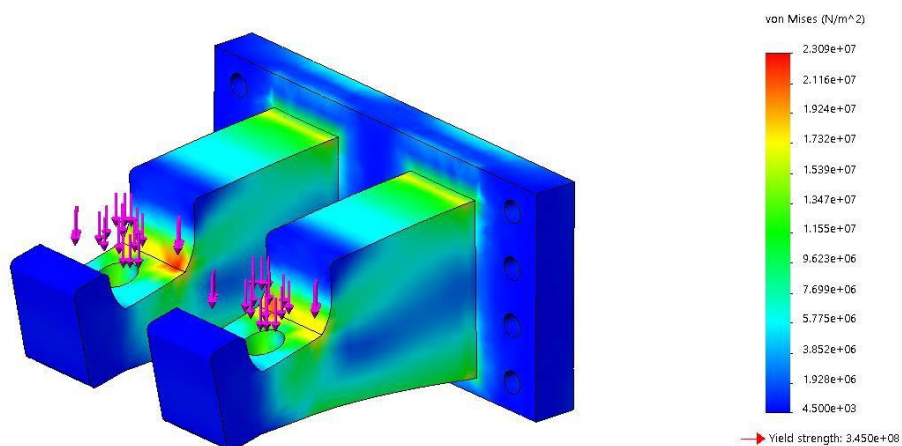
$$n = \frac{F_{kr}}{F_{sall}} \quad (1)$$

$$n = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{sall}} \quad (2)$$

- n on varmuusluku
- F_{kr} on kriittinen kuormitus
- F_{sall} on suurin sallittu kuormitus
- σ_{kr} on kriittinen jännitys
- σ_{sall} on suurin sallittu jännitys

Testilaitteen suurin sallittu kuorma on lähtökohtaisesti EdiaEX:n sallima nostokyky 3500 kg, mutta isommat mallit, joita halutaan tulevaisuudessa myös

testata, ovat suurempia kuormituksia kestävämpiä, esimerkiksi 3500 kg:sta ylöspäin. Kiinnikkeille on tehty myös FEM-simulointi, jotta saadaan selville osan mahdolliset heikoimmat kohdat. Kolminkertaisella voimalla tehty simulointi näyttää myös, kuinka kestäväksi osa on luotu, sillä punaisia tai mustia alueita ei pääosin ole kuvassa 5.



Kuva 5. Kolminkertainen voima alakiinnikkeessä. Kuvasta näkee missä suurimmat rasitukset näkyvät.

Osan varret on tehty paksuiksi, koska tarkoituksena oli tehdä tarpeeksi tukeva osa M17-ruuveille. Materiaalina tilaajan päätöksestä käytetään S355.

Materiaalin S355 myötölujuus on 345 MPa. [8.]

$$\sigma_{sall} = \frac{Re}{n} \quad (3)$$

$$\sigma_{sall} = \frac{345\text{MPa}}{3} = 115\text{MPa}$$

$$n = \frac{Re}{\sigma_{sall}} \quad (4)$$

$$n = \frac{345\text{MPa}}{115\text{MPa}} = 3$$

Näin voidaan todeta varmuusluvun olevan suurempi kuin vaadittu, eli kiinnike on riittävän kestävä.

Suurimmat sallitut kuormat ja jännitykset ovat siis riippuvaisia jatkosuunnittelusta. Tilaaja on määrittänyt tuotteelle varmuusluvuksi 3 ($n = 3$) eli tuotteen on kestävä kolminkertainen voima, koska tuotteella halutaan simuloida EdiaEX:tä isompiakin malleja. Tästä voidaan laskea tuotteen kriittinen kuormitus.

Laitteessa on paljon ruuveja eri kiinnikkeissä, ja onkin huomioitava esikiristys, jotta voidaan välttyä esimerkiksi leikkausvoimilta. Korvakkeet on suunniteltu riittävän paksuiksi kestääkseen taipumat ja rasitukset, sillä pelkästään materiaalin paksuudella ja muotoilulla voidaan vaikuttamaan tuotteen kestävyteen. Korvakkeiden muoto on jäljitelty olemassa olevista rungon rakenteen korvakkeista. Ruuvikiinnitteisten korvakkeiden jokaiseen ruuviin kohdistuu yhtä suuri voima kuten sylinterin rungon korvakkeissa, koska ne ovat suunniteltu symmetrisiksi ja mitoitettu samoin etäisyyksin.

Leikkausjännitys on yksi yleisin ruuviliitoksiin negatiivisesti vaikuttava voima. Tuotteeseen on määritetty paljon ruuveja, ja siksi on hyvä laskea niihin vaikuttavia leikkausjännityksiä.

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

- τ on leikkausjännitys
- Q on leikkausvoima
- A on poikkileikkauksen pinta-ala

Jännitys ei todellisuudessa jakaannu tasaisesti, vaan lopputuloksena saadaankin keskimääräinen leikkausjännitys [4, s. 12].

Maston alakiinnikkeen ruuveille on hyvä laskea leikkausjännitys, koska osa kannattelee mastoa ja lisättäviä painoja.

Maston alakiinnityksen ruuvien leikkausjännityksen lasketaan seuraavasti:

$$F = m \cdot g = 3500kg \cdot 9,81m^2 = 34335N \quad (6)$$

- F on voima
- m on massa
- g on putoamiskihti

$$F_{max} = F \cdot n = 34335N \cdot 3 = 103005N \quad (7)$$

- F_{max} on maston alakiinnikkeen kohtaama kokonaisvoima

Kokonaisvoiman avulla voidaan laskea ruuvien leikkausvoima. Kiinnikkeessä käytetään M14-ruuveja ja yhden ruuvien poikkileikkauksen pinta-ala on 115 mm^2 . Yhdessä kiinnikkeessä on 8 ruuvia, joten yhteensä koko laitteessa on 16 kappaletta M14-ruuveja.

$$F = \frac{F_{max}}{a} = \frac{103005N}{16} = 6437N \quad (8)$$

- F_{kok} on yhden ruuvien kokonaisvoima
- a on ruuvien kappalemäärä

Leikkausvoima kappaleessa on painovoiman suuntainen joten leikkausvoima Q on sama kuin kokonaisvoima 6437 N .

$$\tau = \frac{Q}{A} = \frac{6437N}{115\text{mm}^2} = 56\text{MPa}$$

Yhden ruuvien leikkausjännitys maston alakiinnikkeessä on 56 Mpa . Tulokselle voidaan laskea varmuusluku ja verrata vaadittuun varmuuslukuun 3 . Ruuvien

lujuusluokanmerkinnöissä (esim. 8.8) ensimmäinen numero kerrottuna sadalla on vetomurtolujuus eli 800 N/mm^2 . Toisen numeron avulla saadaan vetomyötölujuus:

$$R_e = 800 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8 = 640 \text{ N/mm}^2$$

Teräksisen M14-ruuvien lujuusluokan 8.8 myötölujuus on 640 N/mm^2 [6, s. 2].

Kestävyyttä voidaan arvioida sallitun leikkausmyötölujuuden avulla. Se on noin 80 % materiaalin sallitusta myötölujuudesta R_{esal} eli 0,8 [7, s. 18]. Oletetaan tähän prototyyppiin sallituksi myötölujuudeksi myötöraja:

$$R_{ml} = 0,8 \cdot R_{esal} \quad (9)$$

- R_{ml} on leikkausmyötölujuus

$$R_{ml} = 0,8 \cdot 640 \text{ N/mm}^2 = 512 \text{ MPa}$$

Ruuvien leikkausmyötölujuus on 512 MPa ja alakiinnikkeen ruuveilla leikkausjännitys on 56 MPa, joten varmuusluku on noin 9.

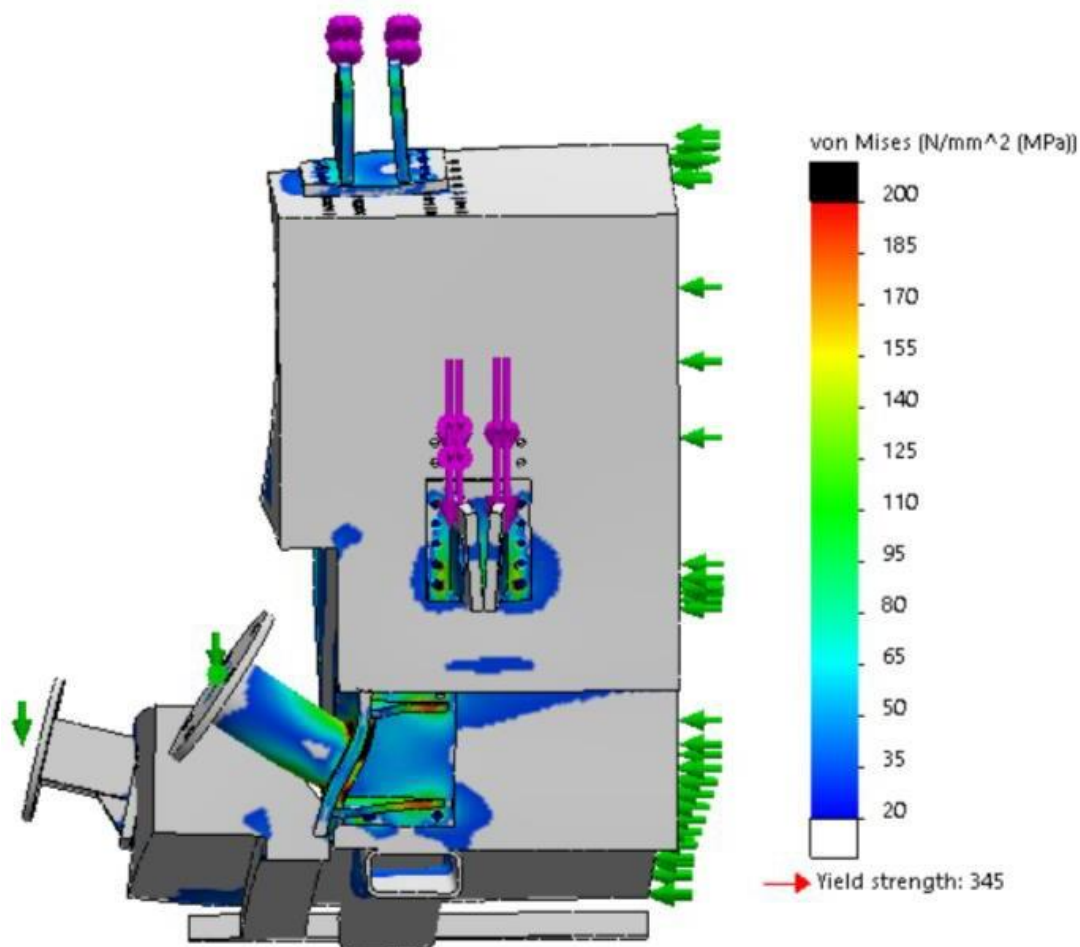
4.2 Liikeradat ja kuormitukset

Kuormitukset ovat yksi yleisistä ongelmista lujuuslaskennassa, sillä kuormituksia on monenlaisia ja ne vaikuttavat rakenteiden kestävyteen ja taipumiin (Kuva 6.) Rakenteiden on oltava kestäviä ollakseen varmakäyttöisiä ja budjettiin sopivia eikä niiden tule olla liian raskaita. Joissain tapauksissa raskaiden liikkuvien laitteiden dynaamiset hitausvoimat voivat olla suuret ja aiheuttavat epävarmuutta kestävydessä.

Staattiset voimat eroavat dynaamisista voimista kuormituksissa esimerkiksi staattisissa rakenteen osat ovat tasapainossa ulkoisten kuormien ansiosta, mikä tarkoittaa sitä, että kappale pysyy paikallaan tai kulkee vakionopeudella.

Dynaamisessa kuormituksessa taas kuormitus vaihtelee ajan mukaan. Yleisimpiä dynaamisten kuormitusten aiheuttajia ovat pyörivät osat. [5, s. 20.]

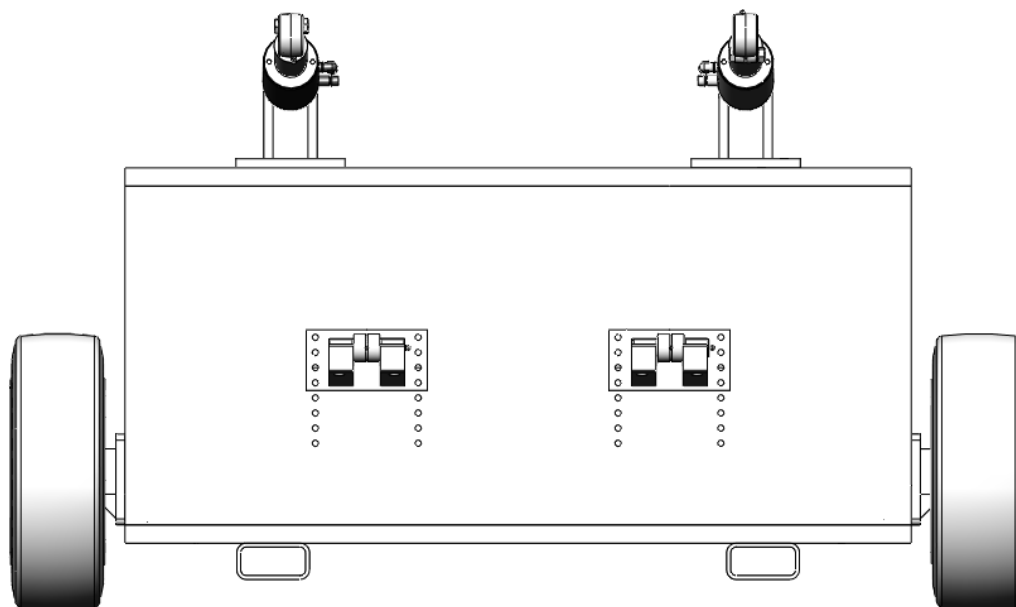
Peruskuormituksia on viidenlaista: veto, puristus, taivutus, leikkaus ja vääntö. Jos kuormitus vaihtelee, on kyseessä dynaaminen kuormitus jolloin kappale on alttiimpi vaurioitumaan.



Kuva 6. FEM-kuva ensimmäisestä valmiista protomallista.

Ensimmäinen valmis protomallin runko oli tukeva ja simuloinnissa runko kesti hyvin kolminkertaisen voiman. Runko näytti pysyvää muodonmuutosta heikoimmissa osissa kuten kuvan 6 maston alakiinnikkeessä ja eturenkaan kiinnikkeessä. Kiinnityksiä oli paranneltava vahvemiksi (kuva 26 ja kuva 27), vaihtamalla sylinterin muotoiset varret neliönmuotoisiksi ja lisäämällä

vahvikkeita. Uudemmassa prototyypissä (kuva 7) on otettu huomioon ensimmäisen prototyypin heikkoudet kuten esimerkiksi maston alakiinnikkeet ja hankala rungon muoto.

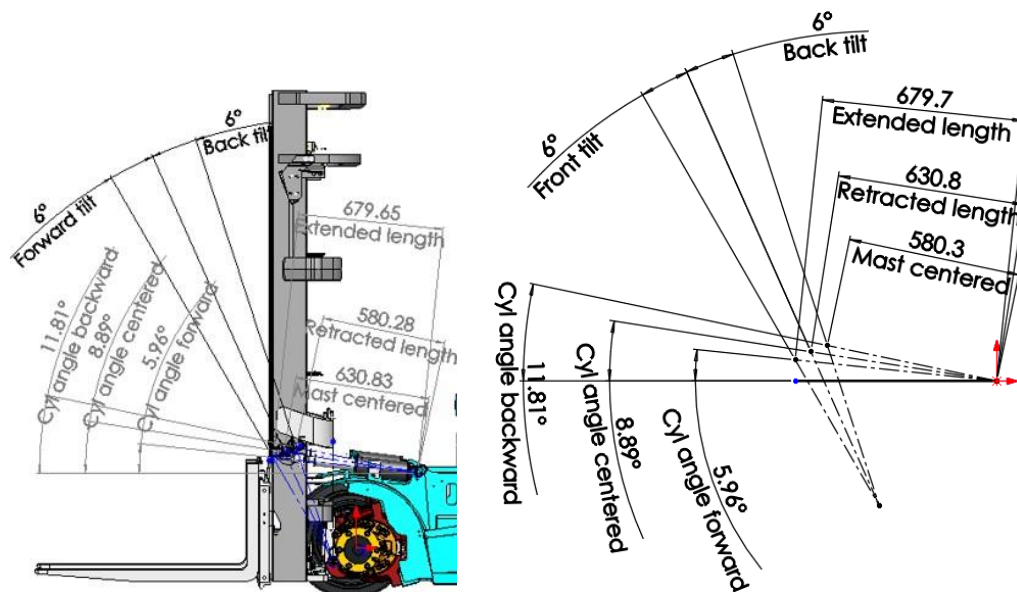


Kuva 7. Toinen prototyyppi. Runko on symmetrinen ja yksinkertainen.

Ensimmäisen prototyypin (kuva 3) runko oli paikoittain lisätukikulmia ja tukikolmioita vailla. Esimerkiksi kuvassa 6 sisäänpäin kääntyvät osat ovat olleet rungon rakennetta heikentäviä ja altistavat taipumalle ja sen takia kestävyys kärsi. Toisessa prototyypissä (kuva 7) runko on suorakulmio ja kestävyydeltänsä suunniteltu mahdollisimman yhtenäiseksi.

Liikerata

Liikerata on EdiaEX-tuotteessa eteenpäin kallistuva kulma on noin 6 astetta ja taaksepäin kulma on maksimissaan 8 astetta (kuva 8). Liikerata pysyy samansuuntaisena, mutta haarukoilla olevan painon ylittäessä kuorman kantorajan on liikerataa rajoitettava.



Kuva 8. EdiaEX- ja protomallien liikerata.

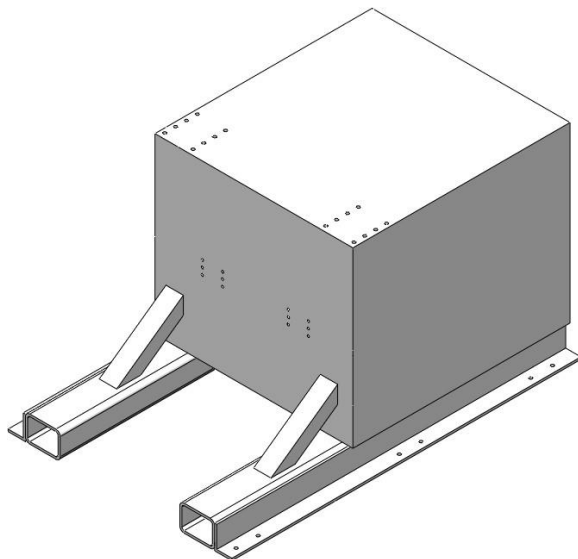
Testitilanteessa on otettava huomioon trukin suurin sallittu kantokyky eli kapasiteetti. Myöskään sylinterit eivät kestä liian suuria voimia, mikäli painon mitoittaa haarukoilla olevan liian suureksi.

5 Kallistussylinterien testilaitteen konseptin suunnittelu

Tuotekehitysprosessin ensimmäisessä vaiheessa konseptoinnissa oli ideoitu testilaitte kallistussylinterille, joka olisi mahdollisimman monipuolinen ja turvallinen ja jonka kustannukset olisivat mahdollisimman alhaiset.

Monipuolisuus tarkoittaa tässä laitteessa sitä, että tuotteella voitaisiin myös testata isompien kokoluokkien kallistussylintereitä. Asiakkaan vaatimuksia tuotteelle olivat liikutettavuus, monipuolisuus, turvallisuus ja alhaiset kustannukset. Stage-Gate-mallissa vaiheessa 1 eli ideoinnissa konsepteja kehittyi kaksi, kuten neliönmuotoinen runko ruuvikiinnityksellä (kuva 9) ja neliönmuotoinen runko rengaskiinnityksellä. Kummatkin konseptit syntyivät samasta luonnoksesta (kuva 12) ja kehittyivät siitä kahdeksi erilaiseksi runkorakenteeksi.

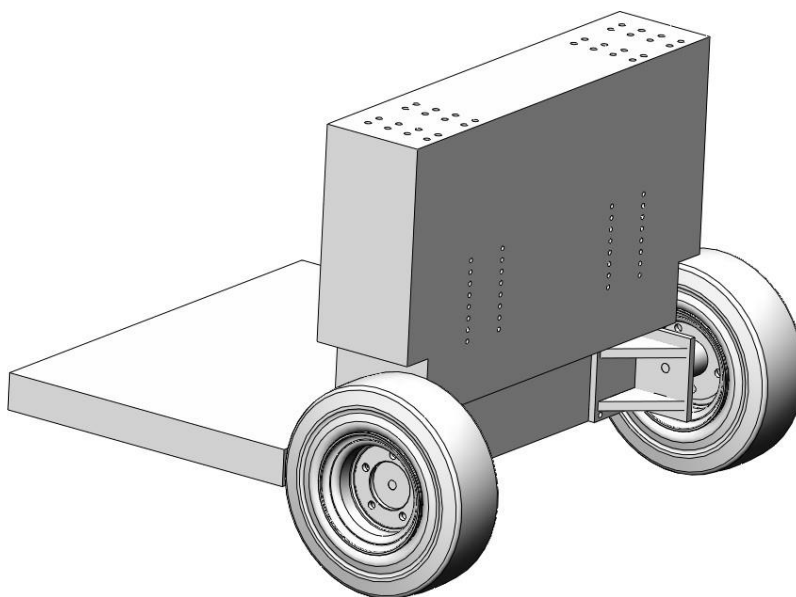
Seulonnessa päädyttiin rengaskiinnitykseen realistisen jouston takia, mutta runkoa kehitettiin useampaan otteeseen. Runkoon haluttiin pinottavat painot, joten muoto muuttui tuotteessa vielä paljon.



Kuva 9. Ensimmäinen hahmotelman idea, jossa oli neliönmallinen runko sylinterien ja maston korvakkeiden kiinnityspaikkojen kanssa.

Ensimmäiselle hahmotelmalle (kuva 9) on tehty alusta kahdesta 1607 mm pitkästä palkista ja kahdesta L-mallisesta teräslevystä. Rungon ja alustan palkkien välillä on tukipalkit pitämässä asetelmaa kasassa ja tukemassa alustaa. Hahmotelma oli suunniteltu maahan kiinnitettäväksi. Ensimmäinen hahmotelma ei päätynyt sellaisenaan prototyyppeihin, mutta mitat ja ideat saivat alkunsa hahmotelmasta.

Ruuvikiinnitys maahan vaihtui rengaskiinnitykseen (kuva 10), koska kallistussylinterit joutuvat liian kovaan rasitukseen eikä testitilanne vastaa oikeaa sylinterin käyttöä vastapainokoneissa. Tilaajan yksiä vaatimuksia tuotteelle oli liikutettavuus ja maahan kiinnittäminen olisi ollut hankalampi siirtää että myös säilöä.



Kuva 10. Toinen konsepti-idea rengaskiinnityksellä, jossa rungon takaosaan on ideoitu painoille taso.

Konseptin rungon takaosaa muotoiltiin painoille sopivaksi ja renkaat lisättiin ensimmäiseksi etupäähän. Tässä vaiheessa kehitystä ideana oli kehittää takaosalle jonkinlainen jousitus takarenkaiden sijaan. Idea todettiin, että olisi se ollut hankala ja epäkäytännöllinen ratkaisu.

Konseptin suunnittelun vaiheessa kolme, (toteutettavuus) tuote kehittyi jatkuvasti ja uusia ideoita tuotteen rungolle tuli lisää. Toteutettavuus tuotteelle on hyvä, sillä tuote täyttäisi kaikki tarpeet ja tuote sopisi simulointitiloihin ongelmitta, sillä rajoitteita ei ole ja mittauslaitteita on käytettävissä laitteelle.

Testilaitteen osien suunnittelu vaihe ja testin rakenne

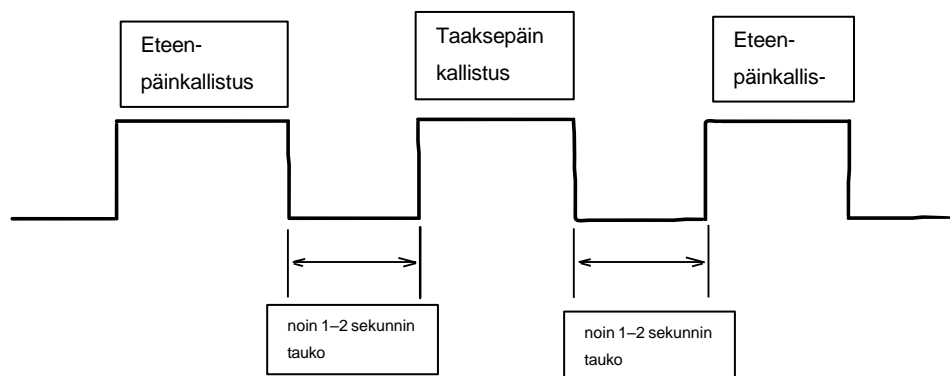
Testilaitteen suunnittelu eli Stage-Gaten 4. vaihe lähti liikkeelle tarpeiden ja toiveiden kartoittamisella. Tuotteesta haluttiin monitoiminen laite eri kokoisille kallistussylintereille sekä turvallinen ja trukilla siirrettävä testilaite. Toiveina oli mahdollisimman alhainen kustannus ja mahdollisuus testata sillä tulevaisuuden

isompia malleja. Testilaitteen osien on oltava mahdollisimman kestäviä ja vaihdettavissa sopivampiin osiin, mikäli alkuperäinen osa ei kata haluttuja ominaisuuksia.

Osien suunnittelussa on käytetty enimmäkseen Stage-Gate-mallia, mutta joidenkin osien suhteen on käytetty brainstorm-ideointia. Brainstorm-ideointi tarkoittaa ideointimenetelmää, jossa yritetään keksiä mahdollisimman paljon ideoita tuotteesta. Tarkoitus on, että ideat olisivat mahdollisimman luovia eivätkä liikaa mietittyjä ideointivaiheessa.

5.1 Testin rakenne ja ideat

Testin tarkoitus on tehdä tietty määrä syklejä sekä antaa parempi käsitys sylinterin mahdollisesta eliniästä. Testissä sylintereitä kallistetaan eteenpäin asetettuun kulmaan, pidetään 1–2 sekuntia paikoillaan ja kallistetaan taaksepäin, jolloin yksi sykli on valmis (Kuva 11.) Sylinterien liike on rauhallinen eikä nykivä tai kiihtyvä.



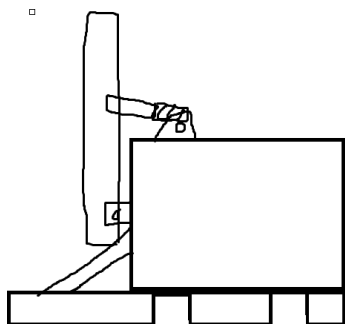
Kuva 11. Testisyklin rakenne.

Testiä varten sylinterin kiinnitettävien osien on oltava jatkuvaa ja tasaista rasiutusta kestäviä. On otettava myös huomioon osien ja rungon suunnittelussa mahdollinen taipuma, jotta tuote kestää pitkäkestoisiakin syklejä. Valmistuksessa

oli suunniteltu käytettävän yksinkertaisia ja turvallisia rakenteita ja suunnittelussa helposti asennettavia ja vaihdettavia osia.

Ideointi tuotteesta tapahtui luonnostelemalla, kuten piirtämällä vihkoon mahdollisia vaihtoehtoja rungon muodosta ja luonnoksia kiinnityksistä. Luonnostelu kehittyi 3D-mallintamiseen Solidworksillä. Siitä kehittyi useita eri variaatioita tuotteelle ja joillekin osille.

Luonnostelun alkuvaiheessa tutkin, mikä olisi hyvä sylinterin testaustapa ja löysin kaksi tapaa testata sylinterin elinikää. Vastaavia sylintereitä on testattu vaakatasoisella laitteella, jossa sylinteri on vaakatasossa ja laite työntää sylinteriä vasten antaen pientä vastusta. Tällaisen laitteen käyttö on huonompi valinta testilaitteeksi, koska testaustilanne ei ole realistinen. Tällöin sylinteri ei esimerkiksi pääse realistiseen liikkeeseen, kuten esimerkiksi kokemaan renkaiden joustoja tai oikeaa liikerataa maston kanssa. Ratkaisu olisi myös liian rankka sylintereille, joten testin luotettavuus ei olisi loppujen lopuksi täysin niin luotettava, mikäli sylinteri joutuu kokemaan normaalia suurempia voimia vääränlaisessa testitilanteessa. Päädyin mahdollisimman aitoon testilaitteeseen. Ensimmäinen luonnos (kuva 12) sisälsi rungon, pohjan, rungon tuennan, maston, maston ala- ja ylikiinnikkeen sekä hahmotuksen sylinteristä.



Kuva 12. Ensimmäinen piirretty luonnos.

Tuote kehittyi Solidworksillä ja runko pysyi luonnoksen mukaisena, kunnes saatiin idea laitteen painon säätelyyn. Luonnoksista kehittyi prototyypppejä, ja niiden luomiseen koin parhaaksi tavaksi itselleni tehdä ensin hahmotelma

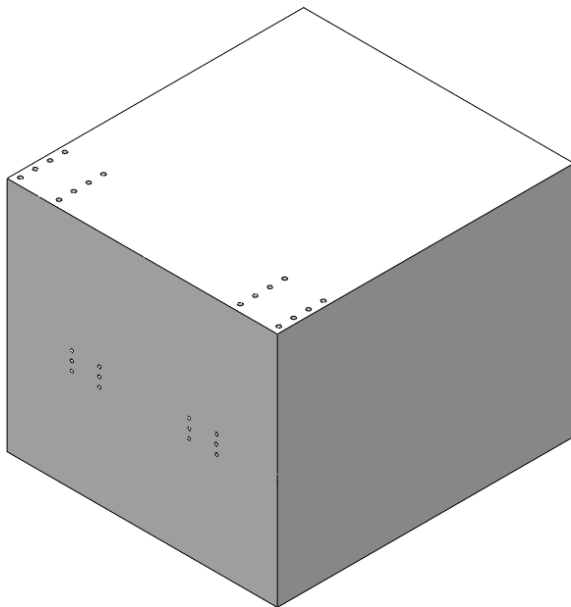
rungosta, johon on kerätty vaadittuja ominaisuuksia, ja kehittää mallia lisää Solidworksillä.

5.2 Ensimmäiset ideat rungosta

Ensimmäinen luonnos Solidworksillä oli yksinkertainen hahmotelma päärakenteesta (kuva 13). Ensimmäinen hahmotelman rungon leveys oli määritelty isomman mallin eli EdiaEX:n mukaan sylinterien sisäpuolenpintojen etäisyydestä, koska koko vastaisi todellisen koneen kokoa ja olisi tarpeeksi tukeva.

5.2.1 Kiinnitysten mitoitus

Ensimmäisen luonnoksen mitat ovat syntyneet EdiaEX:n mukaan.

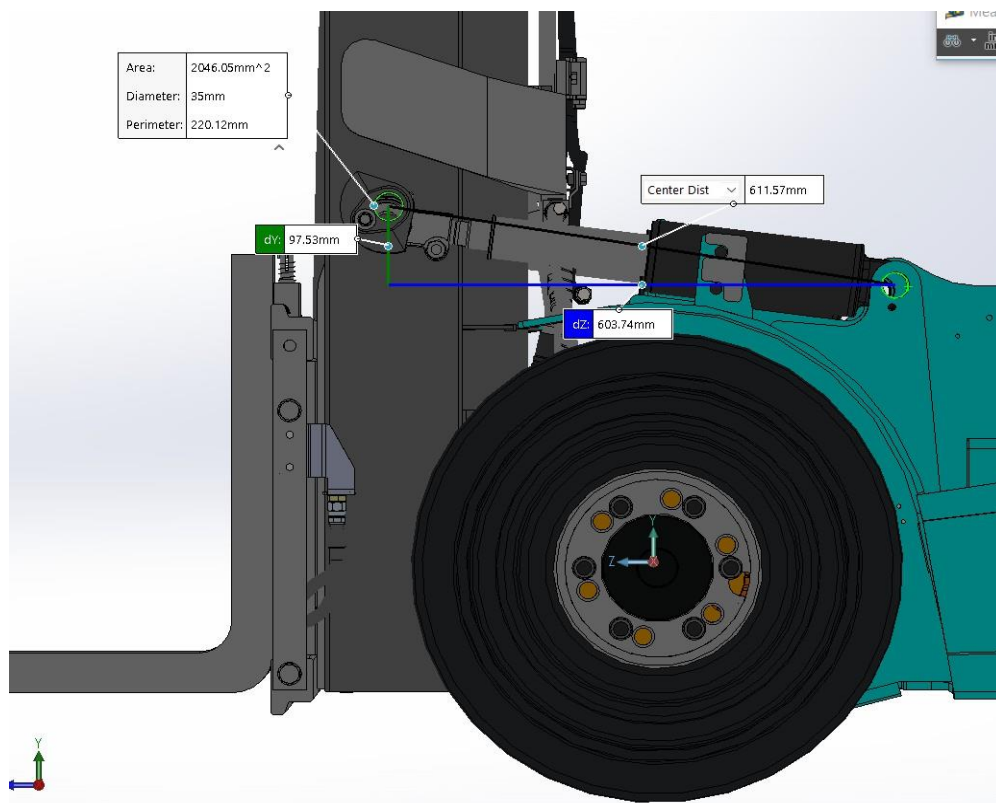


Kuva 13. Ensimmäinen hahmotelma rungosta Solidworksillä.

Runkoon oli hahmoteltu EdiaEX:n kallistussylinterin paikoitus ja ruuveille vastaavat reiät. Ajatuksena oli rakentaa runko, johon kiinnittää korvakkeita ja siirtää niitä sopiville etäisyyksille riippuen trukkimallin sylinterin koosta. Painon

säädettävyydeksi ensimmäisenä ideana oli umpinainen runko maahan kiinnityksellä, joka olisi tarpeeksi painava kaikille malleille.

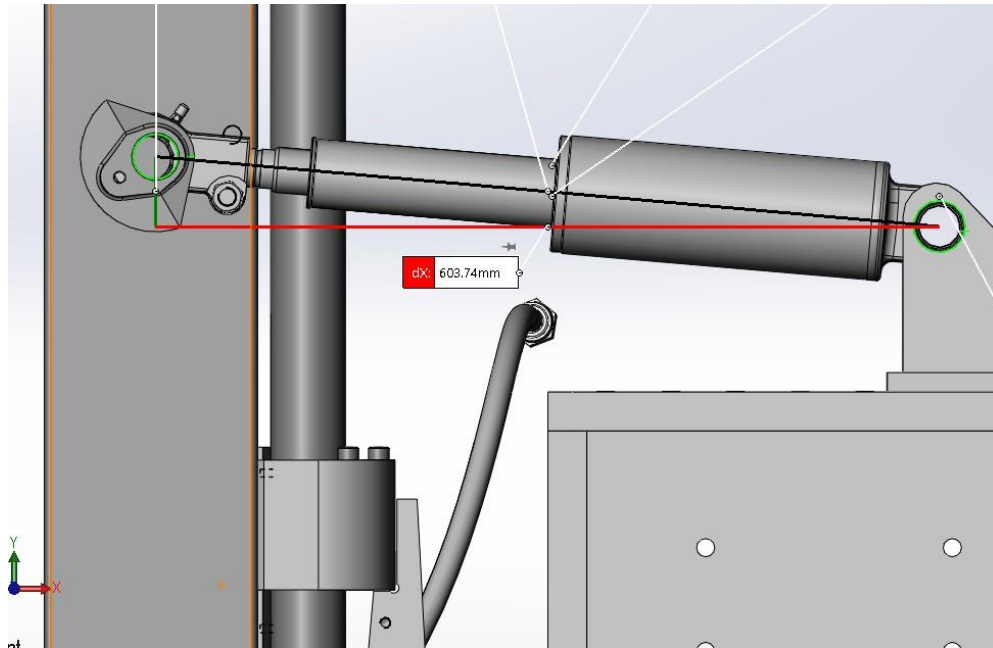
Ensimmäisessä hahmotelmassa runkoon oli suunniteltu vain EdiaEX:n mallin mitat (kuva 14) ja myöhemmissä vaiheissa kehitystä EdiaEM:n mallin mitat on otettu rungossa huomioon (kuva 15). Prototyypin tarkoituksena oli antaa ymmärrys siitä, millainen sylinterin ja maston kiinnitys olisi.



Kuva 14. EdiaEX:n sylinterin kiinnitykset.

Maston ja rungon kiinnitysten etäisyys on noin 604 mm (kuva 14). Samat mitat on toteutettu prototyypissä ja testilaitteen sylinterin kiinnikkeet on tehty alkuperäisten laitteiden etäisyyksien mukaan.

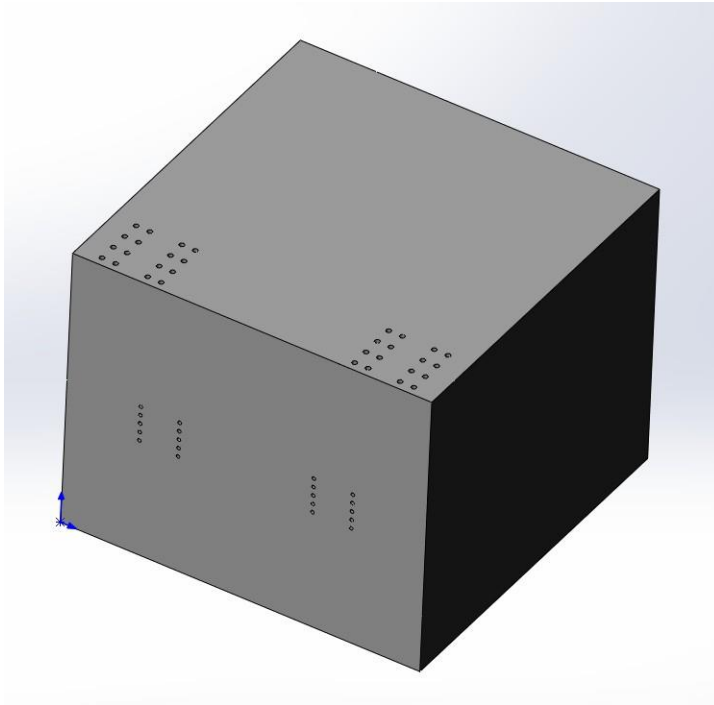
Näiden kahden EdiaEM- ja EdiaEX:n mallin välillä on mitattu sylinterien kiinnityksien etäisyydet, jotta laitteeseen saadaan luotua oikeaan kohtaan kiinnityspaikat.



Kuva 15. Prototyypin sylinterin etäisyys mastosta.

Prototyypin sylinteri etäisyys on sama kuin oikeassa vastapainomallissa EdiaEX:ssä (Kuva 15.) Kuvassa näkyy myös kiinnike asetettuna oikealle paikalleen EdiaEX:n sylinterin kanssa. Korvakkeiden ja maston kiinnikkeet ovat suunniteltu ruuveilla kiinnitettäviksi. Ruuvikiinnityksellä osat saa vaihdettua ja määritettyä kiinnikkeen paikan tarkkaan. Ruuvien kooksi on valittu M14- ja M10-pultteja. Yleisin M14 on tarpeeksi vahva pitämään korvakkeita paikoillaan sekä pitämään maston kiinni rungossa.

Hahmotelman kehittyessä (kuva 16) luotiin pienemmän EdiaEM-mallin sylinterin paikoitus ja maston kiinnityksen paikoitus. Runko ei ollut vielä kehittynyt ensimmäisessä hahmotelmassa vaan oli edelleen rajoitettu EdiaEX-mallin mittoihin. Tuotteen eli koko rungon kiinnityksiksi on ideoitu eri vaihtoehtoja, esimerkiksi maahankiinnitys ilman joustoa, osittainen jousto ja täysi rengaskiinnitys.

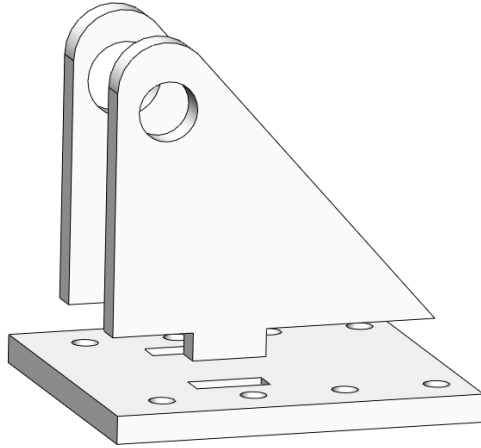


Kuva 16. Ensimmäisen hahmotelman kehittyminen kahdelle eri koolle.

Prototyypille on suunniteltu käytettäväksi testimastoja ja joissain tapauksissa voidaan myös käyttää oikeaa vastapainokoneen mastoa. Testimastot ovat hyvä valinta testiin, sillä niitä on saatavilla heti ja niitä on kahdenlaisia mitoiltaan EdiaEM:n ja EdiaEX:n vastaavia.

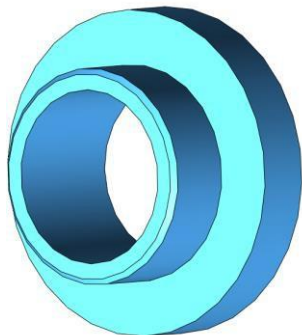
5.2.2 Sylinterin korvakkeet ja maston kiinnike

Korvakkeet on suunniteltu monikäyttöisiksi, sillä vastaavia korvakkeita voidaan käyttää kummallakin EdiaEM- ja EdiaEX-mallilla ja isommillakin malleilla tulevaisuudessa. Muoto on kolmionmallinen ja nämä korvakkeet ovat suunniteltu helpoksi hitsata kiinni alustaan. (Kuva 17.) Alustaan on tehty kaksi reikää molemmille korvakkeille korvakkeiden asennuksen helpottamiseksi oikeaan kohtaan. Näin osat pysyvät oikeassa kohdassa. Maston alakiinnikkeille on tehty sama ratkaisu. (kuva 20.)



Kuva 17. Monitoiminen sylinterin korvake, joka on käytettävissä useammille malleille.

Korvake kiinnitetään rungon päälle ja asennetaan M14-pulteilla. Kiinnitettäessä sylinteriä korvakkeen isompaan aukkoon täytyy hitsata holkki paikoilleen, jotta sylinteri pysyy paikoillaan eikä välystä jää väliin. Holkkia (kuva 18) on käytetty jo valmiiksi vastapainojen rungoissa, jotta sylinteri ei liiku sivuttaissuunnassa. (kuva 12.) Korvakkeet on suunniteltu niin, että holkit sopivat korvakkeen toiseen puoliskoon.

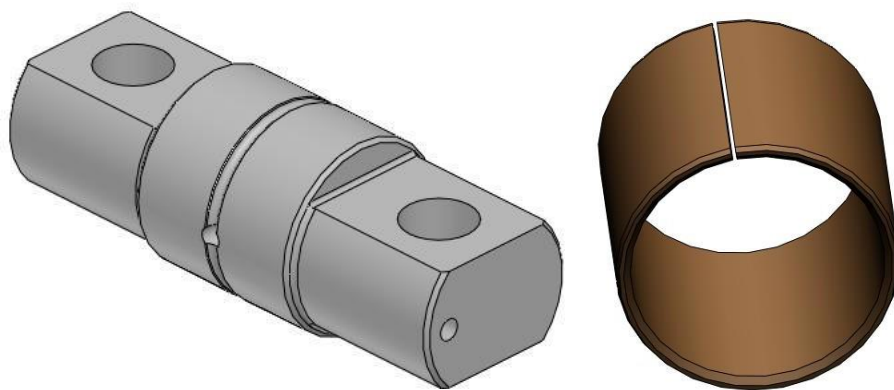


Kuva 18. Sylinterin korvakkeen sisäpuolella oleva holkki.

Mastonkiinnitystä varten rungon etupuolen alaosaan suunniteltiin oma kiinnike pitämään mastoa paikoillaan. Alaosan kiinnitystä suunniteltaessa syntyi idea vastapainotrukeista, mutta kiinnitystä yksinkertaistettiin. Kiinnike on kuin

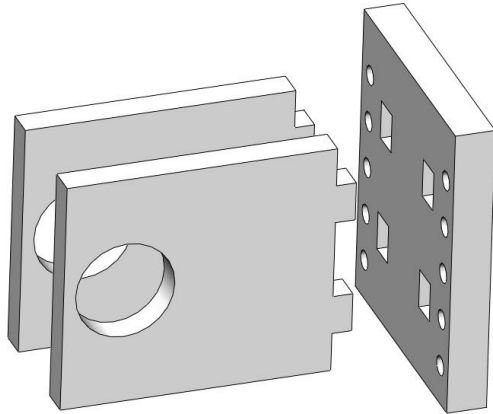
alkuperäinen osa, mutta ilman akselistoa. Vastapainokoneissa on pyörien akselisto, jonka yhteydessä on mastonkiinnike.

Mastonkiinnityksessä käytetään vastapainotrukeissa olevia osia, kuten alakiinnikkeen akselia (kuva 19) eli kappaletta, joka lukitsee maston kiinni kiinnikkeeseen sekä kannattelee mastoa. Kaksi muuta osaa ovat liukulaakeri, joka on akselin ja kiinnikkeen välissä suojaamassa kiinnikkeen pintaa, ja pultti, joka estää akselia liikkumasta ulos kiinnikkeestä.



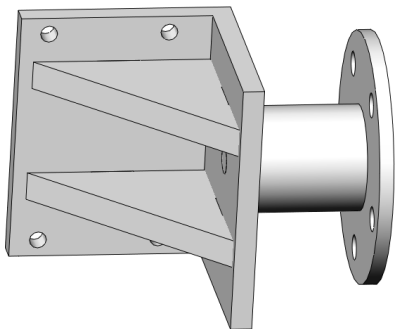
Kuva 19. Vastapainotrukin alakiinnikkeen akseli, joka lukitsee maston kiinni, sekä liukulaakeri vähentämässä maston kiinnikkeen ja akselin kitkaa.

Seuraavassa kuvassa on selkeytetty kuva maston alaosan kiinnikkeen asennuksesta (kuva 20). Rungon etusivua vasten oleva alusta on erillinen levy, jossa on aukot kahdelle laipalle. Malli on myös vahvempi kappale kuin ilman asennusaukkoja ja apukorvakkeita.



Kuva 20. Asennuskuva alakiinnikkeestä.

Isompia malleja varten voidaan valmistaa lisäkappale alakiinnikkeen ja rungon väliin tuomaan etäisyyttä sylinterin ja maston välille. Kuvassa 21 on alkuperäinen etuosan rengaskiinnike.



Kuva 21. Alkuperäinen etupään rengaskiinnike sylinterinmuotoisella varrella.

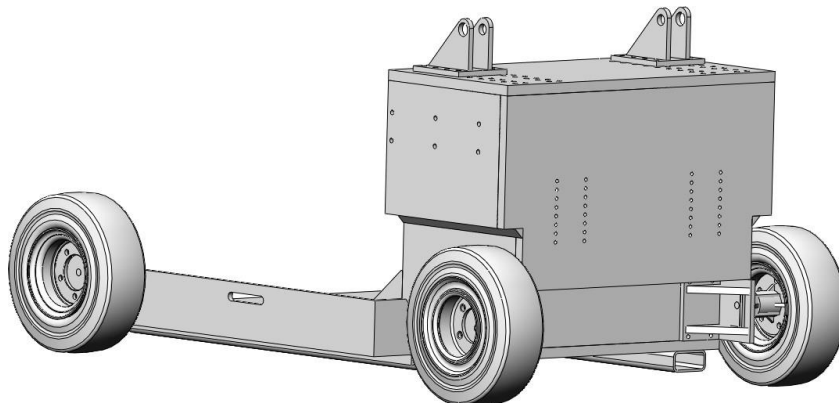
Sylinterimäinen rengaskiinnike oli ensimmäinen prototyyppi, kunnes 5. vaiheessa prototyyppien parannuksissa huomattiin FEM-kuvissa sylinterimuodon olevan heikko, ja myöhemmin rengaskiinnike vaihtui kokonaan toiseen varsimalliin. Takaosan rengaskiinnike oli kehitetty suorakulmion muotoiseksi, mutta alusta on vaihdettu vain suoraksi seinämäksi.

5.3 Rungon kehitetyt prototyypit

Runko sai uusia kehittyneitä prototyyppejä, kuten onton rakenteen ja yhtenäisen muodon. Runkoprototyyppejä syntyi kaksi erilaista, ja niiden kehittymistä tarkastellaan tässä luvussa.

5.3.1 Rungon ensimmäinen valmis prototyyppi

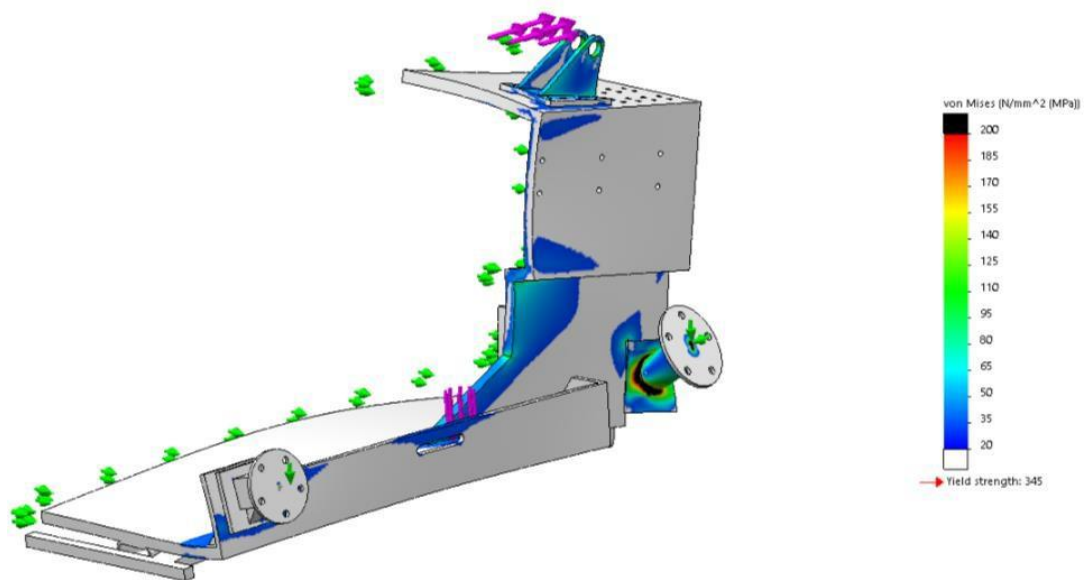
Ensimmäisen prototyypin muoto sai alkunsa renkaiden paikoituksesta sekä EdiaEX-tuotteen leveydestä. Eturenkaiden paikoitus on sisäänpäin kääntyvä, koska ajatuksena oli rakentaa mahdollisimman kompakti tuote ja etupään leveydestä pystyttiin tällä keinolla karsimaan. (Kuva 22.)



Kuva 22. Ensimmäinen valmis runko, johon on sijoitettu kaikki kiinnikkeet ja renkaat.

Prototyyppi, josta tuli ensimmäinen ehdotus valmiista tuotteesta, oli moniosainen ja kompakti malli. Tuotteessa oli monia erilaisia asetuksia eri etäisyyksille ja leveyksille sekä eri korvakkeille ja kiinnikkeille. Tuotteen takaosalle, johon lisätään testipainot, oli lisätty reunoille aukko painojen sidontaa varten. Pohjaan oli lisätty kaksi isoa suorakulmaista teräspalkkia tukemaan pohjaa taipumalta.

Prototyypin runkoa päästiin testaamaan FEM:llä eli simuloimaan sen kestävyyttä (kuva 23). Heikoimmat kohdat olivat renkaiden kannattimet ja rungon sisäänpäin kääntyvä kulma. Yksi huomioon otettava ominaisuus taipumista oli myös rungon ja takaosan yhdistymä. Etu- ja takapään yhdistymä kaipasi vielä lisätukea, sillä kohtien leveydet eroavat toisistaan.

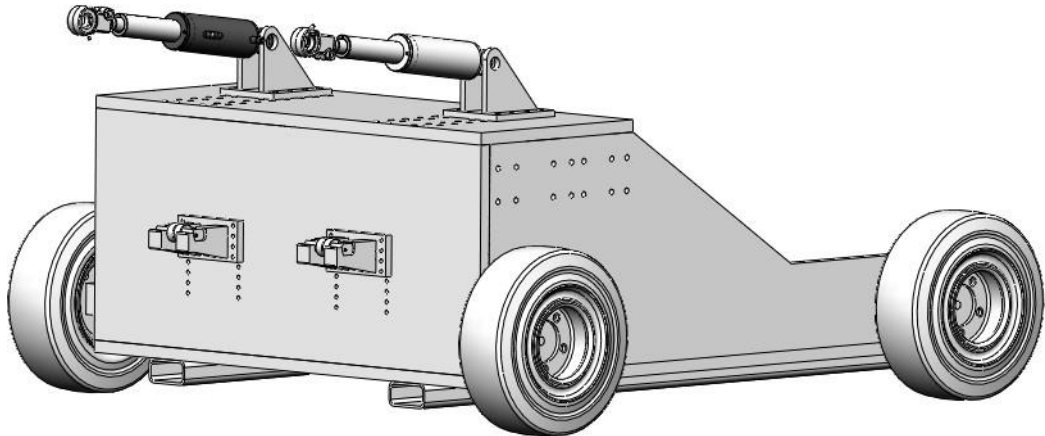


Kuva 23. Ensimmäisen ehdotuksen FEM-kuva taipumista esimerkiksi etupään rengaskiinnike sekä etu- ja takapään yhdistymässä.

Ensimmäinen ehdotus vaati parannuksia, ja ajatus oli tehdä yksinkertaisempi runko, joka olisi valmistettu suorakulmaiseksi eikä sisältäisi niin paljon eri muotoja ja vahvikkeita.

5.3.2 Rungon toinen prototyyppi

Toisessa prototyypissä oli ideana isommat mitat, jotta rakenne säilyisi erittäin kestäväenä sekä tuotteen elinikä kasvaisi (kuva 24). Yhtenäinen rungon muoto ei vaatisi monia erilaisia yksittäisiä osia, jolloin valmistaminen olisi helpompaa sekä tukiosien määrä vähenisi huomattavasti.

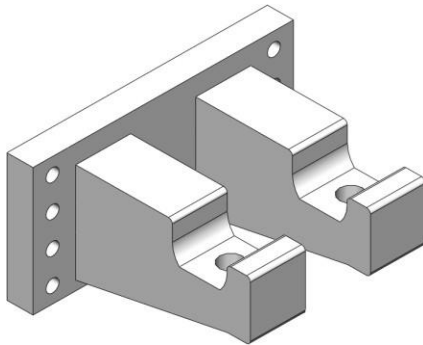


Kuva 24. Toinen ehdotus eli valmis 2. prototyyppi.

Asioita, joita uudemmassa mallissa säilytettiin, olivat takapyörän kiinnikkeet, sylinterin korvakkeet, säätö mahdollisuudet eri rei'ille ja tukirakenteet pohjassa. Mitat muuttuivat laitteiden välillä; esimerkiksi pituus 2. prototyypissä säilyi samana, mutta etuosan leveys kasvoi 300 mm. Nämä muutokset 2. prototyypissä ovat kuitenkin olleet vain hyväksi, sillä rakenne muuttui yksinkertaisemmaksi rakentaa. Suurin muutos osissa on tapahtunut maston alakiinnityksessä sekä renkaiden kiinnityksissä, sillä rengaskiinnityksinä on päätetty käyttää takaosan kiinnikkeitä etu- sekä takaosassa. Maston korvakkeet ovat pysyneet samoissa mitoissa.

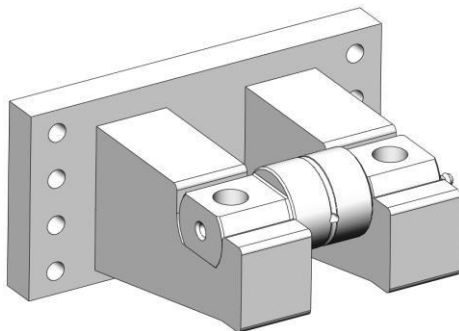
Uudemmassa protomallissa tuotteen vasen ja oikea sivu ovat täysimittaisia, sekä niiden välillä on yläosassa pala, joka yhdistää ja tukee osia. Sivuisissa on myös säilytetty levikkeen paikat, mikäli sylinterin korvakkeet tarvitsevat lisää

leveyttä ja korkeutta. Maston alakiinnittimet (Kuva 20) on vaihdettu kehittyneeseen prototyyppiin. (Kuva 25.)



Kuva 25. Toinen prototyyppi maston alakiinnikkeestä.

Maston alakiinnike on mastoa kannatteleva koukkumainen kiinnike. Tässä kiinnikkeessä on reiät akselin pulteille, jotta maston alaosa pysyisi kiinni rungossa. (Kuva 26.)



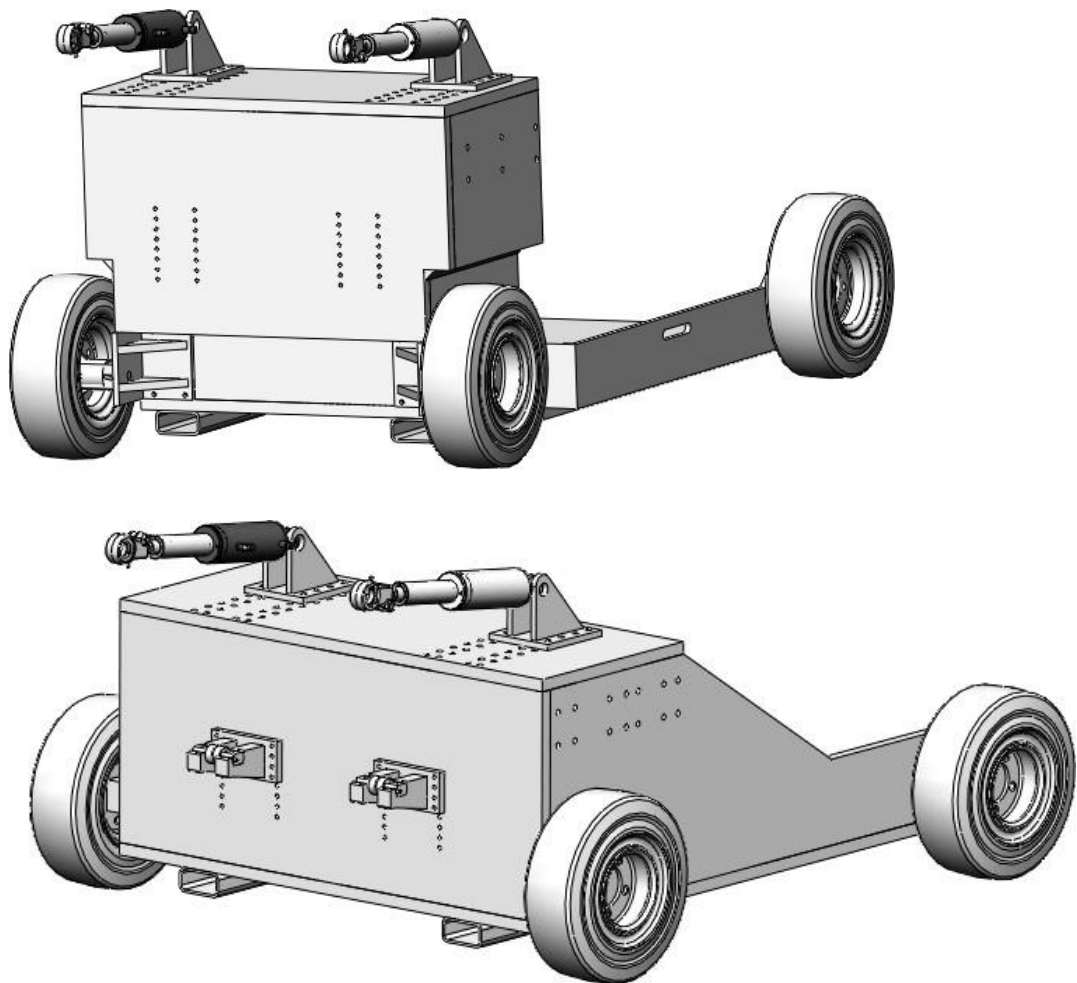
Kuva 26. Maston kiinnitys akseli paikoillaan kiinnikkeessä.

Kiinnitys akseliin lisätään prikka ja M17-pultti, joka lävistää kierteellisen kiinnikkeen pohjan.

Alakiinnikkeen varret ovat 40 mm paksut, kun taas ensimmäisen prototyypin varret ovat (Kuva 20) reippaasti kapeammat. Uudempi prototyyppi onkin huomattavasti varmempi ja kestävämpi paksumman rakenteen ansiosta.

Simuloinnissa näkyy pieni punainen piste vasemmanpuolen taieessa, mutta kolminkertaisella voimalla simuloinnin tulos on hyvä.

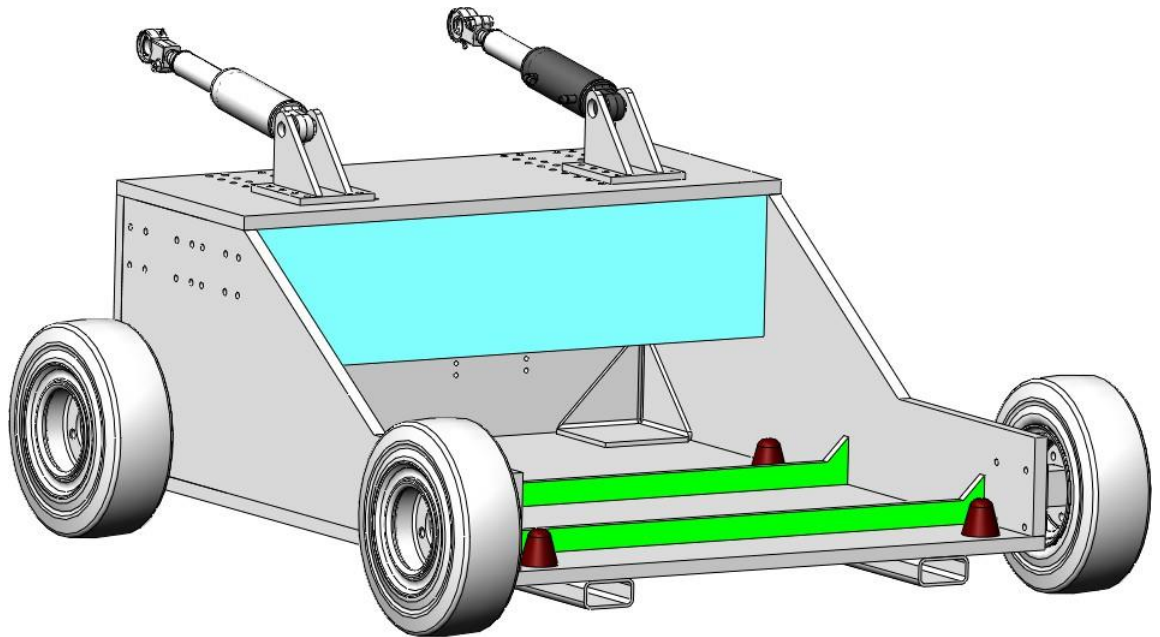
Tässä toisessa rungon prototyypissä on erilainen takaosa verrattuna ensimmäiseen prototyyppiin. Prototyyppiä verratessa eroja on huomattavasti. Ulkonäöllisesti 2. prototyyppi näyttää tukevammalta ja onkin leveämpi etuosasta. Eturenkaiden paikat ovat 2. prototyypissä siirtyneet täysin sivuille samaan leveyteen kuin takarenkaatkin. (Kuva 27.)



Kuva 27. Ylemmässä kuvassa 1. prototyyppi ja alemmassa 2. prototyyppi.

Uudemmassa prototyypissä on testipainojen jaloille paikat ja tuet. Tuet ovat sivulta sivulle pitkät seinämät, jotka tukevat sivuja taivuttavilta voimilta. Tuet

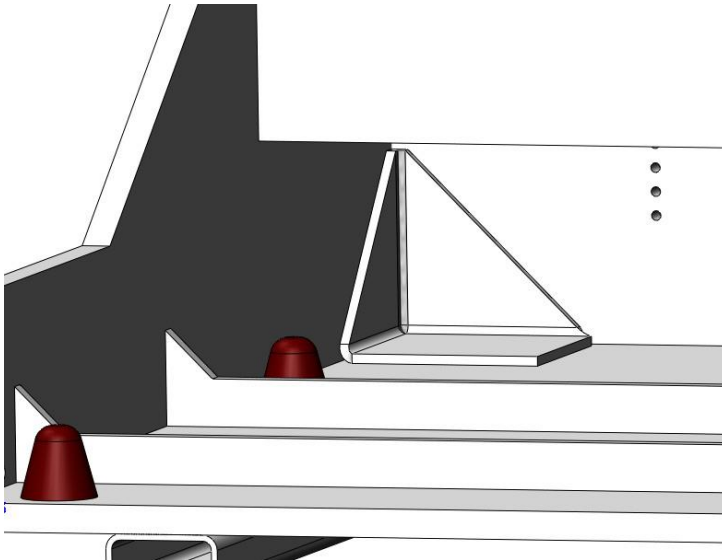
eivät ole muodoltaan täysin suorakulmion muotoiset vaan ovat reunoista korkeammat koskettaen sivuja. (Kuva 28.) Päädyttiin ratkaisuun, koska painojen siirtäminen on helpompaa, kun pystyy osittain näkemään kartioiden paikat sekä tuntemaan ensin kartiot kuin seinämät. Seinämät eivät myöskään vaurioidu niin paljon, kun tuenseinämät ovat kartioita matalampia.



Kuva 28. Runko sisätuilla (vihreät) ja kartion muotoiset (punaiset) paikat ontoille testipainojen jaloille. Turkoosiksi värjätty osa on rungon seinämien ylätuki.

Testilaitteen pohjalle on lisätty testipainojen jaloille kartion malliset paikat, jotta testipainot pysyvät paikoillaan. Kartion päälle tulee sylinterin muotoinen ontto testipainon jalka, jolloin painoja voi pinota päällekkäin.

Rungon etuosassa (Kuva 28) on seinämä yläreunassa, jonka tarkoitus on tukea runkoa vääntövoimilta sylinterien liikkeessä eteenpäin ja takaisin. Tukiseinämä on noin 3 mm sisäänpäin reunasta. Leveän rakennelman takia etuosan sisäpuolen kulmat on tuettu isoilla kulmatuilla. (Kuva 29.)



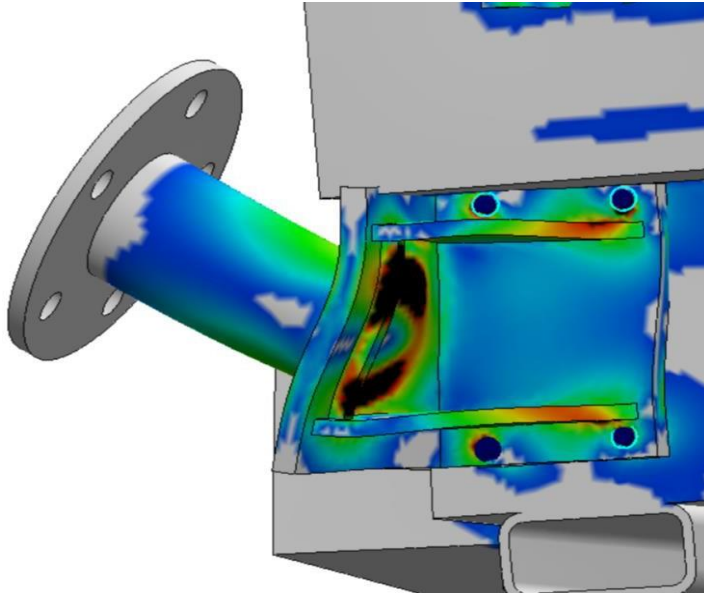
Kuva 29. Lähikuvakulma seinämistä ja kulmatuesta.

Tässä 2. prototyypissä on säilytetty takarenkaiden tuet (kuva 31). Tukien kestävyys oli ennestään hyvä, ja niitä voidaan käyttää myös muihin rengasmalleihin. Yksittäiset kiinnikkeet ovat parempi vaihtoehto kuin yksi yhtenäinen renkaiden kiinnitin, sillä rikkoutuessa voi helposti vaihtaa osat yksitellen sekä se on nopeampi vaihtoehto.

5.3.3 Osiin tehtyjä muutoksia

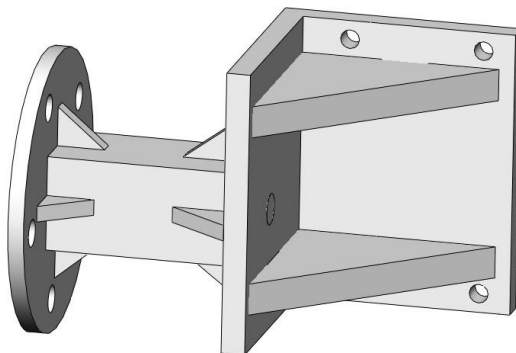
Uudemman prototyypin rungon ollessa suunniteltu ja maston alakiinnikkeiden sekä sylinterin korvakkeiden ollessa myös valmiita päästiin kehittämään rengaskiinnityksiä ja muita osia.

Eturenkaan kiinnitin (kuva 15) oli yksi uudelleen kehitettävä osa, sillä FEM-simuloinnissa eturenkaan kiinnitin (kuva 30) oli heikoin osa koko kokonaisuudessa. Sylinterin muotoinen varsi antaa periksi voimille, ja osa oli suunniteltu ensin ilman tarvittavia tukia.



Kuva 30. Alkuperäisen kannakkeen testi.

Alkuperäisessä kannakkeessa oli pyöreä varsi eikä tukikolmioita ollut. Kuvasta 30 näkee, kuinka punaista ja lähes mustaa väriä on sijoittunut sylinterin muotoisen varren pohjaan. Myös tukikolmiot koko kiinnittimessä ovat liian ohuet. Osaa kehitettiin vahvemaksi esimerkiksi tukikolmioin ja varsi vaihdettiin kokonaan sylinterinmuodosta suorakulmionmuotoiseen malliin sekä paksumpiin tukikolmioihin. (Kuva 31.)



Kuva 31. Kehittyneempi malli eli prototyyppi ensimmäisestä mallista.

Rengaskiinnikettä saatiin vahvistettua tarpeeksi, mutta uudemman rungon kehittyessä kyseiset tuet eivät sopineet.

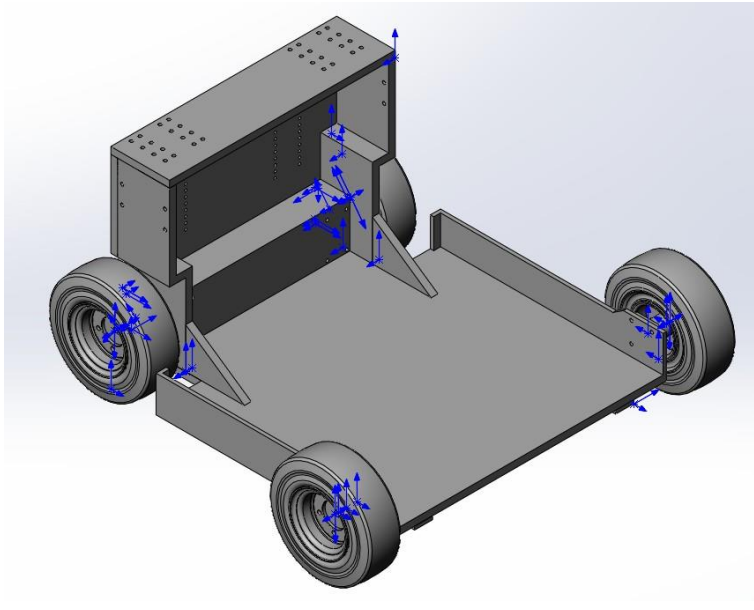
6 Kehittäminen ja lopputulos

Tuotteen kehitys lähti liikkeelle osien suunnittelulla ja rungon luomisella. Runko kehittyi ensin ontoksi malliksi [Kuva 3], ja pääosat alkoivat kehittymään ensimmäisestä luomisesta tai viimeistään FEM-simuloinnin jälkeen. Ensimmäinen rungon prototyyppi valmistui, ja kaikki osat olivat valmiita, kunnes kehittyi idea toisesta rungosta eli saavutettiin suunnittelun 5. vaihe eli prototyypin testaus ja parannustoimet. Konseptointisuunnittelun tarkoituksena suunniteltiin toinen vaihtoehto eli 2. ehdotus, jotta Logisnextillä on mahdollisuus valita tuote, joka täyttää yrityksen mielestä vaaditut tarpeet. Tämä 2. ehdotus sai suorakulmaisen pohjan ja vähemmän tukikulmia tai tukikolmiota rakenteeseensa. Tämä 2. prototyyppi on rakenteensa ansiosta kestävämpi ja eliniältään oletettavasti pidempi kuin 1. prototyyppi. Kumpikin prototyyppi täyttää esitetyt tarpeet ja toiveet, mutta 2. prototyyppi täyttää paremmin toiveet kestävydestä ja budjetista.

Ensimmäinen prototyypin vertaaminen 2. prototyyppiin

Ensimmäisen prototyypin rungon rakenne syntyi monista eri paloista. Simuloinnissakin rakenne todistettiin tarpeeksi kestäväksi (kuva 23), koska varmuusluku ylittyi. Oli ajateltu, että rungon rakenne tulisi olemaan mahdollisimman vahva mutta tiivis ja että kaikki kappaleet tukisivat toisiaan.

Rungon pohjan suunnittelun ideana oli lisätä jonkinlaiset reunat painoille, jotta testipainot pysyisivät paikoillaan eivätkä mahdollisen kaatumisen tapahtuessa vaarantaisi ympäristöä. Kulmatuet lisättäisiin myös rungon ja alustan välille, sillä alusta ei tule kestäämään taivuttaviavoimia ilman tarpeellisia tukia. (Kuva 32.)

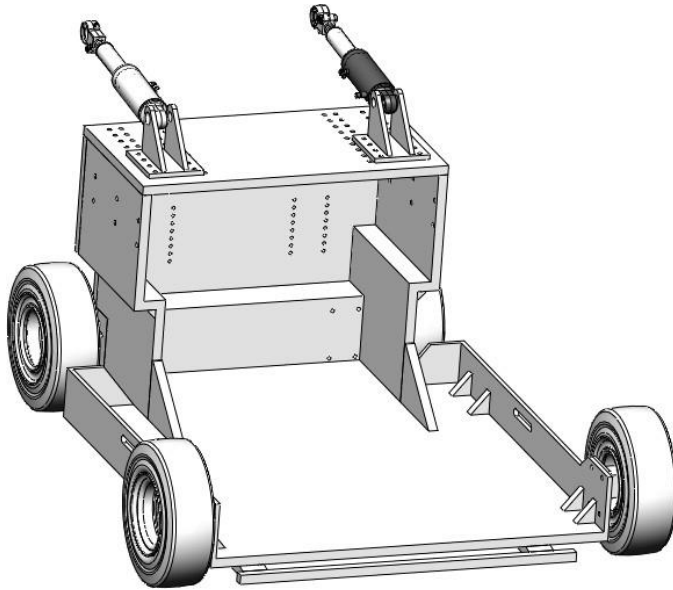


Kuva 32. Ensimmäisen runkoprototyypin ensivaihe ilman pohjatukia.

Lattian yhteyteen on muotoiltu reunat 180 mm:n korkeuteen, jotta takaosan renkaan kiinnittimet saadaan samaan korkeuteen kuin etuosassa. Painojen mahdollisesti aiheuttama taipuma takaosassa on otettu huomioon kolmiotuilla ja pohjassa tukipalkeilla. Laitteen takaosaan kehittyi idea lisätä tukitanko, joka parantaisi turvallisuutta esimerkiksi laitteen liikkeen rajoittamiseen tai painojen tuentaan. Tukitanko antaisi myös mahdollisuuden varmistaa testipainojen kiinnitys. (Kuva 34.)

Renkaiden kiinnitysten suunnittelussa päädyttiin valitsemaan 3500 kg:n EdiaEX:n eturenkaat etu- ja takaosaan. Renkaiden pulttijako on sama kuin muissa rengasmalleissa, ja kiinnittimen pulttijako on sama.

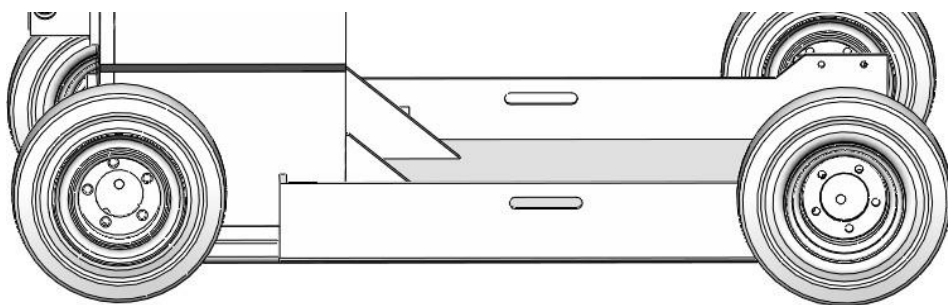
Ensimmäisen prototyypin mittoja kehitettiin isommiksi rakenteen etuosassa ja tukien kokoa sekä määrää lisättiin sekä sivuille että pohjaan, jotta rakenne saavuttaa tarvittavan kestävyuden. (Kuva 33.)



Kuva 33. Ensimmäisen rungon prototyypin lopullinen muoto.

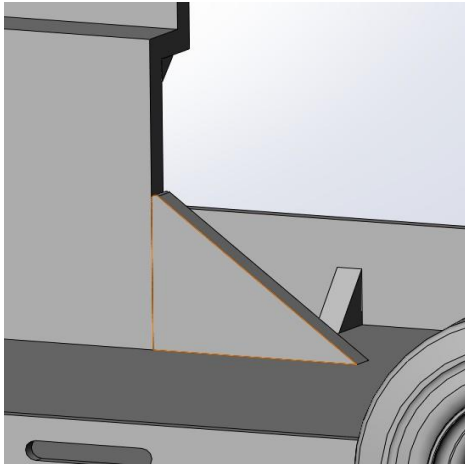
Ensimmäisen prototyypin valmis runko sai etuosan kannen mitoiksi 521 mm pituus ja 1000 mm leveys.

Kuvassa 33 näkyy tukikolmioiden paikat ja tukitangon paikoitus takaosan perässä. Tangon kiinnitys on lattian pohjassa. Testilaitteen reunoille lisättiin aukot testipainojen kiinnityksen varmistamiseksi (kuva 34).



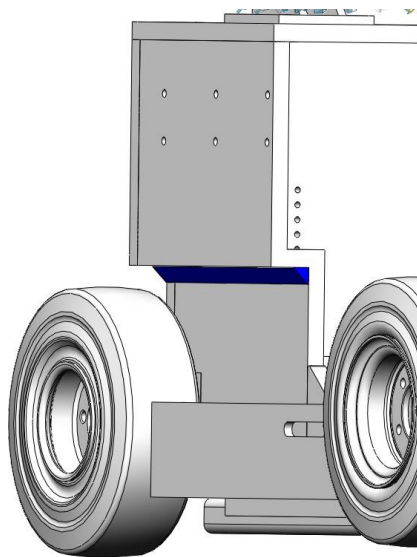
Kuva 34. Sivuaukot testipainojen kiinnitysten varmistamiseksi.

Sivuaukot ovat vaihtoehtoinen ratkaisu rungon painojen kiinnittämiseen esimerkiksi hihnoilla. Rungon tuentaa vahvistettiin isommilla tukikolmioilla. (Kuva 35.)



Kuva 35. Rungon ja lattian välinen tukikolmio, jonka kokoa piti suurentaa mutta ottaa myös huomioon testipainojen mitat.

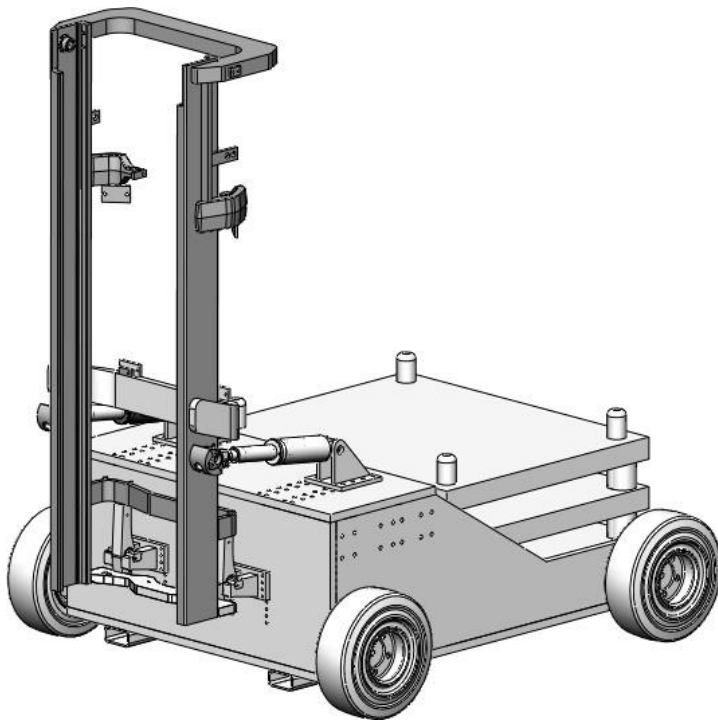
Tukikolmion korkeutta suurennettiin 20 mm ja pituutta lyhennettiin 10 mm. Vaihtoehtona on myös valmistaa täysin yhtenäinen sivu ilman erillistä kolmion palaa rungon ja pohjan välissä. Runkoa vahvistettiin myös tukilistalla. (Kuva 36.)



Kuva 36. Sininen tukilista, joka tukee etuosan kapeampaa kohtaa.

Simulointikuvissa näkyi, kuinka etuosan sivuilla kapea kohta oli heikompi kuin muut liitokset, joten siihen päätettiin lisätä tukilista. Tasakolmion muotoinen lista tukee alarakennetta taipumilta.

Ensimmäisessä rungon prototyypissä oli monia kehityskohteita, joista ensimmäinen oli rungon muoto. Runko oli hankalan muotoinen ja rakenne epävarma. Tämän takia rungon 2. prototyyppiä päätettiin kehittää eli parannella. Tästä prototyypistä päätettiin poistaa tukitanko, kapeampi etuosa ja sivuaukot. Osat päätettiin poistaa, koska tukitanko koettiin ylimääräiseksi osaksi, sillä testipainojen kiinnitys on määritelty jo tarpeeksi. Etuosa muutettiin yhtä leveäksi kuin takaosakin, koska valmistaminen on helpompaa ja runko on vahvempi. Prototyypistä tulee vakaampi, mikäli akselileveyttä tuodaan lisää. Sivuuaukot uudemmassa prototyypissä muuttuivat turhiksi, sillä testipainojen omat paikat eli kartiot pohjassa varmistavat, että painot pysyvät omilla paikoillaan. (Kuva 38.)



Kuva 38. Uuden rungon lopputulos, testipainojen ja maston kera.

Tästä 2. prototyypistä tuli selkeämpi ja varmempi tuote, koska kaikki 1. prototyypin epävarmuudet on parannettu 2. prototyypissä. Prototyyppiä verratessa voidaan sanoa, että 1. prototyyppi sopii pienempien tuotemallien testaukseen ja 2. prototyyppi sopii juuri toivottuihin tarpeisiin, eli myös isompiin malleihin ja raskaampaan käyttöön.

7 Yhteenveto

Tässä työssä kallistussylinterien testilaitteen konseptin suunnittelussa luotiin ensin luonnostelma, joka kehittyi kahdeksi prototyypiksi. Toinen prototyyppi on ensimmäisen prototyypin paranneltu versio. Runko sai kiinnikkeiden mittasuhteet ja ideat ensimmäiseltä prototyypiltä, mutta etuosan leveyttä lisättiin. (Kuva 38.) Lopputuloksena saatiin käytännöllinen ja vahva malli.

Kallistussylinterin testilaitteen konseptin suunnittelussa huomasin, kuinka ensimmäinen prototyyppi syntyi osa osalta, mutta lopputulosta katsellessa olivat ratkaisut ja päätökset vielä vailla loppusilausta ja -harkintaa. Asioita harkitessani päätin muuttaa rungon rakennetta kuitenkin yksinkertaisemmaksi ja huomasinkin päätökseni olleen oikea. Nyt uudempi prototyyppi, joka on enemmänkin ensimmäisen prototyypin kehittynyt 2. versio, on kestävämpi ja toimivampi tuote.

Insinööriyössä kaikki esitetyt tarpeet ja toiveet toteutuivat. Konsepti kehittyi loppuun asti, ja pystyin vertailemaan kumpaakin prototyyppiä ja arvioimaan lopulliseksi tuotteeksi uudemman prototyypin.

Logisnext on ollut koko projektin aikana tukenani ja antanut minulle avoimet kädet suunnittelussa. Olen myös päässyt toteuttamaan omia ideoitani, kehittymään ja esittämään eri näkemyksiä laitteen rakenteesta esimerkiksi osien suunnittelussa ja renkaiden käytöstä. Uskon, että keksimäni lisät ovat hyödyksi moneen asiaan ja parantavat laitteen turvallisuutta. Näistä yksi asia on vahva runko, joka antaa laitteelle mahdollisimman pitkän eliniän, ja konseptin pieni koko helpottaa säilytystä.

Lähteet

- 1 Vinicius, Marcus; Pessoa, Luis & Trabasso, Gonzaga. 2017. The Lean Product Design Development Journey. Switzerland: Springer International Publishing AG.
- 2 Hietikko, Esa. 2021. Tuotekehitystoiminta. 4., painos. Books on Demand.
- 3 Häti-Korkeila, Marjatta & Kähönen, Hannu. 1985. Tuotesuunnittelun perusteita. Helsinki: WSOY.
- 4 Karhunen, Jouko; Lassila, Veikko; Pyy, Seppo; Ranta, Aarno; Räsänen, Satu; Saikkonen, Matti & Suosara, Eero. 1992. Lujusoppi. 11., muuttumaton painos. Helsinki: Otatieto ja Gaudeamus.
- 5 Hietikko, Esa. 2021. Palkki: Lujuslaskennan perusteet. 4., painos. Books on Demand.
- 6 Ruuvien tekniset mitat. 2021. Verkkoaineisto. Etra. <https://www.etra.fi/media/mageworx/downloads/attachment/file/e/t/etra_ruuvien-tekniset-mitat_taulukot_2021_muokattu.pdf>. Luettu 26.2.2024.
- 7 Airila, Mauri; Ekman, Kalevi; Hautala, Pekka; Martikka, Heikki; Miettinen, Juha; Rinkinen, Jari & Salonen, Pekka. 2010. Koneenosien suunnittelu. 5. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.
- 8 SSAB Multisteel tuotteiden mekaaniset ominaisuudet. Verkkoaineisto. SSAB. <<https://www.ssab.com/fi-fi/brandit-ja-tuotteet/ssab-multisteel/tuotevalikoima/ssab-multisteel-snl>>. Luettu 26.2.2024.