

**Jussi Pöyhönen**

**KOLMIULOTTEINEN TILAMALLINNUS TEOLLISESSA  
YMPÄRISTÖSSÄ**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU  
Tuotantotalous  
17.2.2014**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Yksikkö</b> Ylivieska	<b>Aika</b> Helmikuu 2014	<b>Tekijä/tekijät</b> Jussi Pöyhönen
<b>Koulutusohjelma</b> Tuotantotalous		
<b>Työn nimi</b> KOLMIULOTTEINEN TILAMALLINNUKSEN TEOLLISESSA YMPÄRISTÖSSÄ		
<b>Työn ohjaaja</b> Sakari Pieskä, Jari Kaarela		<b>Sivumäärä</b> 34 + 7
<b>Työelämäohjaaja</b> Esko Kinnunen		
<p>Opinnäytetön toimeksiantajana toimi Bet-Ker Oy. Työn tavoitteena oli luoda uudet tukirakenteet ja uusi layout lisäainesiiloille. Työssä hyödynnettiin SolidWorks 3D-mallinnus ohjelmistoa. Tietoperusta rakentuu käytännön toimenpiteisiin ja karkeisiin lujuusmallinnuksiin. Opinnäytetyön rakenne on ongelmaratkaisukeskeinen ja sisältää alussa teoria-aineiston uusien innovaatioiden luomiselle, sekä yleisesti yritysten tuotesuunnitteluun ja prosessinkehittämiseen liittyvää materiaalia. Työ etenee vaihe vaiheelta suunnitteluprosessin mukaisesti siten, että alussa käsitellään tarkemmin ongelman määrittelyä ja päättyy lopputuloksen tekemiseen. Työn lopputuloksena saatiin uudet mallinnukset tukirakenteille ja layoutille teknisten piirustusten kera.</p>		

**Asiasanat**

Tukirakenteet, layout, pohjapiirros, suunnittelu, mallintaminen

ABSTRACT

<b>Yksikkö</b> Ylivieska	<b>Date</b> February 2014	<b>Author/s</b> Jussi Pöyhönen
<b>Degree programme</b> industrial management		
<b>Name of thesis</b> THREE-DIMENSIONAL MODELING IN AN INDUSTRIAL ENVIRONMENT		
<b>Instructor</b> Sakari Pieskä, Jari Kaarela		<b>Pages</b> 34 + 7
<b>Supervisor</b> Esko Kinnunen		
<p>This thesis was made for Bet-Ker Oy. The goal of the thesis was to create new supporting structures and a new layout for additive containers. The work was done using SolidWorks 3D modeling program. The theoretical framework of the thesis work consists of practical solutions and rough compressive strength calculations. The structure of the thesis is problem based and at the beginning consists of theoretical material on new innovation creation, company product development in general and process development associated material. The work proceeds phase by phase following the design process so that at the beginning there is a higher emphasis on outlining the problems and the thesis ends in the final analysis and discussion. The completed work consisted of new drawings of the new structures and a layout with technical drawings.</p>		

**Key words**

Layout, supporting structures, design, modeling

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

<b>2D-mallinnus</b>	Tilan tai kappaleen hahmottaminen kahdessa ulottuvuudessa.
<b>3D-mallinnus</b>	Tilan tai kappaleen hahmottaminen kolmessa ulottuvuudessa.
<b>Adaptiivinen suunnittelu</b>	Tuote tai idea muunnetaan toimimaan toisessa ympäristössä
<b>Heksagoni</b>	Kuusikulmio, jossa kulmien välinen summa on 720 astetta.
<b>Heuristinen piste</b>	Jännitteestä muodostunut kaksisuuntainen tiedon kanava.
<b>Inkrementaalinen</b>	Vähittäin tapahtuva kehitys, muutos tai muu vastaava.
<b>Laserkeilain</b>	Laite, jolla voidaan mitata kappaleiden sijainti toisiinsa nähden kolmiulotteisella tasolla valon avulla.
<b>Layout</b>	Laitteiston sijainti tuotantolaitoksen sisällä.
<b>Nurjahdusmalli</b>	Kappaleen rakenteellisen kestävyysvarmistaminen.
<b>Oktagoni</b>	Kahdeksankulmio, jossa kulmien välinen summa on 1080 astetta.
<b>Originaali suunnittelu</b>	Uuden alkuperäisen idean suunnittelu, mullistava idea
<b>URES</b>	Kuormavaikutuksen aiheuttama siirtymä
<b>Variantti suunnittelu</b>	Muunnetaan tuotetta tai ideaa hieman, esimerkiksi mitoituksia

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 INNOVAATIO SUUNNITTELUPROSESSISSA</b>	<b>4</b>
2.1 Tuotesuunnittelu	4
2.2 Tuotekehitys ja innovaatio	5
2.3 Intuitiivinen suunnitteluprosessi	6
<b>3 SUUNNITTELUPROSESSIN ALOITTAMINEN</b>	<b>8</b>
3.1 Nykyisen tilanteen mallintaminen	9
3.2 Nykyiset tukirakenteet	11
<b>4 SUUNNITTELUPROSESSIN ALOITTAMINEN</b>	<b>15</b>
4.1 Alkuperäisen rakenteen soveltaminen	16
4.2 Täysin poikkeavan mallin luominen	17
4.3 Maltillisen poikkeavan mallin luominen	18
<b>5 VAIHTOEHTOISTEN MALLIEN VALITSEMINEN JA KEHITTÄMINEN</b>	<b>20</b>
5.1 Raakaversion muotoilu	21
5.2 Raakaversion ja nykyisten tukirakenteiden suhteellinen vertailu	22
5.3 Uuden tukirakenteen vaihtoehdon luominen raakaversiosta	24
<b>6 UUSI LAYOUT</b>	<b>27</b>
6.1 Uusi mallinnus pohjapiirroksesta	29
6.2 Tilan optimointi rullaradalla	30
<b>7 POHDINTA</b>	<b>32</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>34</b>
<b>LIITTEET</b>	
LIITE 1 Kävelytasanteen mitat	
LIITE 2 Punnitusaseman sijainti	
LIITE 3 Rullarata	
LIITE 4 Lisäainesilojen sijoittelu	
LIITE 5 Uusi tukirakenne	
<b>KUVIOT</b>	
KUVIO 1. Limittään asettuvat siilot	10
KUVIO 2. Lisäainesiilot sijaitsevat samalla korkeudella	10
KUVIO 3. Limittään asettuvat tukirakenteet	11
KUVIO 4. Umpinmaiselle tukirakenteelle ominaiset myötörajat	13
KUVIO 5. Umpinmaisesta rakenteesta siirtymä	14
KUVIO 6. Vanhaa mallia mukaileva tukirakenne	17
KUVIO 7. Kulmaan asetettava tukirakenne	18
KUVIO 8. Heksagoninen tukirakenne	19
KUVIO 9. Oktagoninen rakenne	22

KUVIO 10. SolidWorksillä simuloidut nurjahdusmallit umpinaisille kappaleille	23
KUVIO 11. SolidWorksillä simuloidut stressitestikuvat	24
KUVIO 12. Umpinaisen ja onton kappaleen vertailu	25
KUVIO 13. Tukirakenteen ensimmäiset murtumakohdat	26
KUVIO 14. 15 siilon teoreettinen malli	27
KUVIO 15. Isometrinen kuva 12-siilon rakenteesta	29
KUVIO 16. Isometrinen kuva 13-siilon rakenteesta	30
KUVIO 17. Rullarata konsepti	31

## 1 JOHDANTO

Ylivieskassa sijaitseva vuonna 1977 perustettu Bet-Ker OY valmistaa tulenkestäviä rakenneosia ja massoja. Nykyisin massalaitoksen teolliset prosessit ovat tietokoneohjattuja ja kapasiteetti ylittää 40000 t vuodessa. Massat pakataan valmistuksen jälkeen piensäkkeihin, suursäkkeihin tai toimitetaan siiloautoilla. Tehtaalla valmistetaan asiakkaiden tarpeiden mukaisesti erilaisia valettuja rakenneosia, jotka tarvittaessa voidaan polttaa tai kuivata. Valmistettavien rakenneosien koot vaihtelevat 1 - 5000 kg:n välillä. Bet-Ker OY:n tärkeimpiä asiakkaita ovat suomalaiset teräksenvalmistajat. Toiseksi suurimpana asiakasryhmänä on valimoteollisuus. Lisäksi yritys tekee takkasydämiä ja kiukaiden keraamisia osia.

Bet-Ker OY:n toimeksiannosta lähdettiin hakemaan uutta konseptia lisäänesiilojen sijoitteluun rakennemassojen valmistusta varten tarkoitettussa automatisoidussa tuotantohallissa. Lähtökohtaisesti työssä käsitellään lisäänesiilojen tukirakenteiden kaventamista, rakenteiden uudelleensijoittelua, hallin kävelytasanteen toiminnallisuutta kokonaisuudessa ja muita oheispohdintoja liittyen esimerkiksi tilan tehokkaampaan käyttöön kokonaisuudessaan. Työssä ei oteta kantaa ratkaisujen toiminnallisuuteen käytännössä, vaan tarkoituksena on hahmottaa vaihtoehtoisia konsepteja, joiden pohjalta voidaan tehdä tarkempia päätöksiä mahdollisten pohjapiirroksien muutosten yhteydessä.

Työn aiheena toimi alunperin välivarastotilan luominen kävelytasanteen alapuolelle vasempaan ja oikeaan reunaan, lisäänesiilojen viereen. Tällöin suursäkkejä ei enää tarvitsisi tuoda ulkoa joka kerta halliin käytettäväksi erikseen. Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa huomattiin palaverien yhteydessä, että ongelma laajenisi kattamaan myös lisäänesiilojen tilan optimointia tukirakenteita muokkaamalla. Tällöin oli pakko ottaa käsittelyyn määritellyn tilan kokonaisvaltainen hyödyntäminen tehokkaammin nykyisessä prosessinomaisessa ympäristössä.

Tilanteen hahmottuessa selkeämmäksi, huomattiin, että samassa yhteydessä jouduttaisiin puuttumaan siilojen tukirakenneratkaisuihin. Tilankäytön todellinen optimointi olisi mahdollista vain luomalla uudet mallit lisäänesiilojen tukirakenteisiin.

Yksi päämääräisistä raja-arvoista oli säilyttää muutokset nykyisen hallin pohjapiirroksen kävelytasanteen sisällä, jossa sijaitsevat lisäainesiilot, liikkuva punnitusasema, tukirakenteet sekä sillojen ruuvikuljettimet.

Mallinnus toteutetaan SolidWorksillä. Saatua pohjaa hyödynnettiin myöhemmin uuden mallin sijoittelussa ja tarkistelussa. Lisäksi asetetaan parametriarvot mallinnuksen tarkkuudelle, sillä spesifinen konsepti nykyisistä layouteista, tukirakenteista ja lisäainesiiloista ei sinänsä tuo lisäarvoa asiakasyritykselle.

3D-mallinnukseen päädyttiin työkaluna juuri siitä syystä, että rakenteet toimivat tälläkin hetkellä kahdessa eri tasossa ja kolmessa eri ulottuvuudessa. Tämän vuoksi layoutin mallintamisessa yleisesti hyödynnetyt 2D-ohjelmat, kuten esimerkiksi AutoCad, hylättiin. Toisena vaihtoehtona olisi ollut laserkeilamen hyödyntäminen pohjapiirroksien luomisessa, mutta yhteisessä palaverissa todettiin tämän vaihtoehdon olevan liian työläs ja aikaa vievää prosessi tähän työnantoon nähden.

Poikkeuksellisen haasteen työhön loi dokumentaation puute, sillä alustavissa tarkistuksissa huomattiin, että Bet-Ker Oy:n omat piirustukset eivät olleet ajan tasalla. Piirustuksissa oli havaittavissa, että siiloilla olisi pitänyt olla ylimääräinen kansiosio, tätä ei missään vaiheessa otettu käyttöön muuta kuin paperilla. Lisäksi pohjapiirustuksiin oli merkitty vaihteleva määrä lisäainesiiloja, mutta ainoastaan enimmiltään kymmenen siiloa. Tämä oli ongelmallista, sillä lisäainesiilojen todellinen kokonaislukumäärä oli kaksitoista.

Puutteellisten dokumentaatioiden vuoksi suoritettiin palaverien yhteydessä useampi mittauskerta Bet-Ker Oy:n tiloissa. Ensimmäisellä mittauskerralla tarkasteltiin siilojen tukirakenteita. Mittaukset suoritettiin hyödyntämällä yksinkertaisesti mittanauhaa ja lasermittaa. Mittausten lopputuloksena voitiin havaita, että siilojen tukirakenteet eivät olleet yhtenäisiä. Kävelytasanteen tukijalkojen sijainti ja tasanteen etäisyydet hallin seinään selvitettiin toisella mittauskerralla. Lisäksi arvioitiin mahdollista nostovaraa lisäainesäiliöille, jos tilanne tulisi niin vaatimaan. Siilojen leveys tarkistettiin erikseen muutaman lisäainesäiliön kohdalla kolmannella mittauskerralla. Tässä yhteydessä kyettiin havaitsemaan, että siilot eivät olleet ainoastaan erityyppisiä mutta näiden ympärysmittat poikkesivat huomattavasti toisistaan. Vaihte-



levuus riippui ajasta, jolloin nämä oli lisätty prosessin osaksi. Rakenteet olivat siis toisin sanoen epäsymmetrisiä, toisistaan poikkeavia ja lisäainesiilot eivät olleet kaikki samaa sarjatuotantoa.

## 2 INNOVAATIO SUUNNITTELUPROSESSISSA

Uuden tuotteen kehitysprosessi on kokonainen aktiivisten toimintojen summa, joka vaaditaan uuden konseptin luomiseen. Nämä toiminnot sisältävät muun muassa uuden tuotteen visioinnin, yritystoiminnan analysoinnin, teknisen suunnittelutoiminnan, tuotanto suunnitelmien kehittämisen ja uuden tuotteen esittelyn. (Otto & Wood 2001, 5-6.)

Tarkoituksenmukainen ja systemaattinen innovaatio, alkaa uusien mahdollisuuksien analysoinnista. Asiayhteydestä riippuen lähteillä on eri merkitys eri ajankohtina. Alueellisella sijainnilla ei esimerkiksi ole suurta merkitystä sellaisessa yritystoiminnassa, joka pohjautuu teollisiin prosesseihin. Toimivat innovaatiot alkavat aina pienestä eivätkä yritä saavuttaa mitään erityistä tarkoitusta. Todellisuudessa kukaan ei voi ennustaa sitä, tuleeko innovaatio toimimaan erinomaisesti. (Drucker 1998.)

### 2.1 Tuotesuunnittelu

Suunnittelutoiminnot voidaan jakaa usealla eri tavalla. Yksi lähestymistapa on luokitella kehitysprojekti vaadittavien poikkeamien määrän mukaan. Tällöin työ voidaan jaotella originaaliseksi, adaptiiviseksi tai variantiksi suunnitteluksi. (Otto & Wood 2001, 5-6.)

Originaalissa eli alkuperäisessä suunnittelussa on kyse markkinat mullistavasta tuotteesta. Tällöin vanhat infrastruktuurit joudutaan käytännössä kokonaan korvaamaan uudella mallilla. (Otto & Wood 2001, 5-6.)

Adaptiivisessa mallissa tunnettu järjestelmä tai tuote muotoillaan soveltumaan hieman erilaisessa ympäristössä tai erilaisessa järjestelmässä. Tämän tyyliässä järjestelmässä ei vaadita suuria radikaaleja muutoksia olemassa olevaan tuotteeseen tai rakenteeseen, vaan muutokset ovat inkrementaalisia. (Otto & Wood 2001, 5-6.)

Variantissa suunnittelussa muutokset toteutetaan äärimmäisen maltillisesti. Tällöin pyritään säilyttämään tuotteen toiminta tismalleen samanlaisena, mutta keskitytään luomaan nykyiseen järjestelmään soveltuvampi malli muuttamalla esimerkiksi mitoituksia. (Otto & Wood 2001, 5-6.)

Uudelleensuunnittelulla tarkoitetaan kaikkia suunniteltavissa olevia muutoksia tuotteeseen, ei vain tiettyä mallintamistapaa. Termillä viitataan siihen, että suunniteltava tuote on jo ollut olemassa. Voidaankin väittää, että kaikki tehtävä suunnittelu on uudelleensuunnittelua. (Otto & Wood 2001, 5-6.)

Jokaisella yrityksellä on oma pakosta muodostunut tuotekehitystoimintansa. Ei ole olemassa yksittäistä parasta tuotekehitysmenetelmää johtuen eri käyttökohteiden, tuotteiden ja tarpeiden luomasta laajasta spektristä. (Otto & Wood 2001, 5-6.)

## **2.2 Tuotekehitys ja innovaatio**

Tuotekehitys rakentuu kolmeen pääasialliseen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa pohditaan, mitä toimintoja vaaditaan uuden kehitysprojektin laukaisemiseen. Toisessa vaiheessa hahmotellaan tuotteen raakamallinnus. Viimeisessä vaiheessa implementoidaan tuotteen konsepti ja varmistetaan tämän toimivuus kaikissa oletetuissa olosuhteissa. (Otto & Wood 2001, 5-6.)

Tekninen suunnittelu alkaa aina asiakkaan esittämästä tarpeesta tai suunnitteluosaston kehittämästä innovatiivisesta ideasta, joka johtaa inkrementaaliseen kehitykseen täysin uuden tuotteen saralla. Tällöin on tärkeää muistaa, että asiakkaan tarvekartoitus on toteutettava ilman tarkkoja spesifikaatioita, varsinainen tuotteen tarkka määrittely voidaan aloittaa vasta kun konsepti on valittu ja todettu teknisesti mahdolliseksi sekä taloudellisesti kannattavaksi. (Benhabib 2003, 22.)

Tuotesuunnittelu pilkotaan melkein aina pienempiin vaiheisiin, joiden tarkoituksena on helpommin käsittää kaikki tuotteeseen liittyvät ongelma kohdat erikseen. Lopullisena tavoitteena on saavuttaa kaikki tuotteelle halutut piirteet, mutta alusta-

vasti suunnittelulla lähdetään aina havittelemaan sellaisia ensisijaisia piirteitä, jotka ovat ehdottoman kriittisiä tuotteen toiminnalle. (Otto & Wood 2001, 5-6.)

Konseptien luominen kulkee neljävaiheisen polun läpi, jossa ensin haetaan asiakkaan ensisijaiset tarpeet ja spesifikaatiot. Toisessa vaiheessa hajautetaan tuotteen funktionaaliset piirteet. Kolmannessa vaiheessa etsitään ratkaisua tuotteen rakenteelle ja erotelluille funktionaalisille piirteille. Lopuksi eri ratkaisuvaihtoehdot alifunktioille kerätään yhteen ja luodaan variantteja konsepteja. (Otto & Wood 2001, 5-6.)

Suunnitteluprosessissa tulee ottaa huomioon kolme pääasiallista tekijää; ulkomuoto, inhimillinen tekijä sekä huollettavuus. Neljäs yhtä tärkeä tekijä on valmistuskulujen minimoiminen hyödyntämällä asianmukaisia materiaaleja sekä helppoa asennettavuutta. (Benhabib 2003, 22.)

Kirjallisuuden perusteella huomataan, että lähestymistapoja tuotekehitykseen on useita, jotka ovat pääpiirteiltään samanlaisia näkökantoja. Tietyt olennaiset piirteet ovat samoja tuotteesta riippumatta. Näitä tuotekehityksen polkuja voidaan pitää tietynlaisina yleispätevinä ohjenuorina tuotekehitystä lähestyttäessä.

### **2.3 Intuitiivinen suunnitteluprosessi**

Vaihtoehtoisesti suunnitteluprosessi voi olla intuitiivista. Tällöin hyödynnetään opitun tiedon ja alitajuntaisen luomisprosessin muodostamia heuristisia pisteitä oivalluksen muodostamisen apuna. Heuristiset pisteet muodostuvat silloin kun suunnittelija kerää tietoa satunnaisesti yksittäisestä asiaan liittyvästä kohdasta. Tästä muodostuva tarvejännite kääntää tietoalkiot alitajuisesta prosessista omaan suuntaansa ja yhteys asioiden välillä alkaa muodostua, tällöin jännite purkautuu ja tapahtuu oivallus. Tietoalkiot ovat olemassa jo alitajunnassamme ja useimmat luovat tehtävät voidaan suorittaa näiden varassa. Menetelmä poikkeaa perinteisesti käytetyistä siinä, että tavoitteena ei ole suunnitteluprosessin alussa eritellä tarkasti kaikkia tuotteeseen liittyviä spesifikaatioita. (Tuomaala 1995, 5.)

Tuomaala tarkoittaa tässä tapauksessa oivaltamista, joka muodostuu, kun henkilö kykenee yhdistämään kaksi toisistaan suhteellisen poikkeavaa asiaa, luoden jotain uutta ja innovatiivista. Vaatimuksena tälle oivallukselle on edeltävä tieto, joka on kerätty esimerkiksi kokemuksen tai opiskelun yhteydessä. Tässä suhteessa siis kun puhutaan intuitiosta, edellytyksenä on vankka tietopohja, joka voi sisältää systemaattisesti sisäistettyä informaatiota. Tämä tarkoittaa sitä, että funktionaalisessa suunnittelussa tieto kerätään suunnitteluprosessin alkuvaiheessa, ja tiedonkeruuta jatketaan koko prosessin loppuun asti. Intuitiivisessa suunnitteluprosessissa tieto on kerätty ennen prosessin alkua, tieto on aina ollut olemassa mutta nyt informaatio pitäisi saada vain ulos. Toisaalta intuitiivinen suunnittelu ei voi pelkästään pohjautua aavistusten ja olettamusten varaan, joten tiedonkeruulta luovassa suunnittelussakaan ei voi välttyä prosessin edetessä.

Valtaosa yrityksissä tapahtuvista innovaatioista ja muutoksista on inkrementaalisia. Vähittäin tapahtuvalla muutoksella saadaan ulos mahdollisimman paljon arvoa olemassa olevasta tuotteesta tai prosessista, muuttamatta radikaalisti olemassa olevaa tilannetta rajuilla investoinneilla. Arviolta 80 % yritysten tuotekehitykseen suunnatuista varoista mennee inkrementaalsiin hankkeisiin. (Davila, Epstein, & Shelton 2012, 22.)

Lähtökohtaisesti kaikilla yrityksillä on toiminnassaan ruohonjuuritason tuotekehitystä. Yksittäiset työntekijät käyttävät työvälineitä poikkeavalla tavalla ja työ suoritetaan poikkeavassa järjestyksessä tai muuta vastaavaa. Nämä marginaalisen pienet tuotekehityksen askeleet usein unohdetaan ja muuttuvat hiljaiseksi tiedoksi yrityksen sisällä, tästä huolimatta näitäkin inkrementaalisia muutoksia voidaan katsoa osana tuotekehitystä tuotannosuunnittelun näkökannalta.

Rutiininomainen muotoilu voidaan määrittää sellaiseksi suunnittelumalliksi, joka ei poikkea aiemmista malleista sisällöllisellä tavalla. Esimerkiksi rakenteellisessa mallintamisessa kahdet eri suunnittelijat päätyvät hyvin helposti erilaisiin ratkaisukeinoinkin todennäköisesti samankaltaiseen lopputulokseen. Tällöin suurin osa yritysten tekemästä ja teettämästä suunnittelutoiminnasta voidaan ajatella paitsi inkrementaalisenä, myös rutiininomaisena toimintana. (Gero & Maher 1993, 4.)

### 3 SUUNNITTELUPROSESSIN ALOITTAMINEN

Työ eteni käymällä aktiivista vuoropuhelua työntilaaajan kanssa. Viikoittaisten palaverien tarkoituksena oli lisäksi vaihtaa ideoita ja ajatuksia etenemistavasta, tuotteesta ja mallinnuksesta. Varsinaiset lopputulokset suunnitteluprosessin eri vaiheissa olivat useamman kehityskierroksen takana. Ohjaus toisin sanoen toteutettiin yhteistyössä työntilaaajan kanssa ja siten lopputuote on sen omien toiveiden mukaan mallinnettu. Käyttökohteen spesifisyyden vuoksi on syytä huomioida, että tuotteen mallit ovat funktionaalisia, vaikkakin luomisprosessi on osittain toteutettu intuitiota hyödyntäen.

Funktionaalisen suunnitteluprosessin mukaisesti luotiin alustavat parametriarvot, joiden mukaan suunnitteluprosessin tulee edetä, nämä rajoitteet eivät alussa olleet tarkkoja laskennallisia vakioita, vaan yksinkertaisesti prosessin yleisluonteelliseen määrittelyyn liittyviä olennaisia seikkoja. Tässä yhteydessä pohdiskeltiin toisin sanoen siilojen sijaintia nykyisessä pohjapiirroksessa ja siitä kuinka laajoja muutoksia nykyisen kaltaiseen layoutiin olaan halukkaita tekemään. Samassa yhteydessä todettakoon, että siilot sijaitsevat nykyisessä mallissa punnitusasemaan nähden ringissä keskimäärin 3000 mm:n säteellä. Vaihtoehtoisena ajatuksena oli siilojen riviin asentaminen.

Geometrisesti ongelmaksi muodostui se, että ruuvikuljettimet menisivät tällöin mahdollisesti limittäin, joten siiloja tulisi nostaa 133 mm pykälittäin. Lisäksi, jokaiselle siilolle tulisi tehdä omat identtiset tukirakenteet, jotta ruuvikuljetin saadaan asennettua punnitusasemalle. Ruuvikuljettimet toimivat optimaalisesti 45 asteen kulmassa, josta jouduttaisiin luopumaan asennettavuuden vuoksi, tällöin myös olisi pitänyt pohtia uusien tehokkaampien moottorien hankintaa. Lisäksi joidenkin lisäainesiilojen ruuvikuljettimen pituutta olisi jouduttu muuttamaan.

Ongelmaa laajensi vielä sekin seikka, että tilan käyttö oli rajoitettu kävelytasanteen pohja- alalle. Lisäainesiilojen riviin asentaminen vaatisi hallin toiselta laidalta käyttöönsä koko tilan, joka on varattu suolasäkkien varastointia varten. Liian monien tilankäyttöllisten ja geometrinen ongelmien vuoksi ideasta luovuttiin. Lisäksi re-

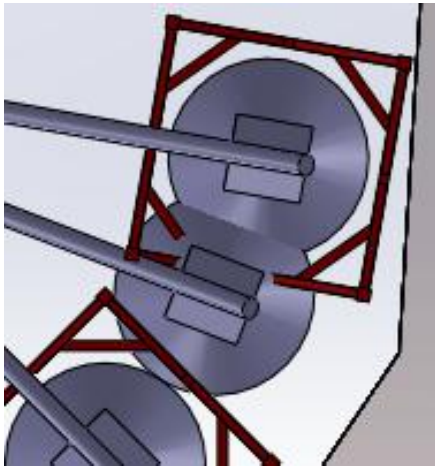
surssien puutteesta ja työn rajaamisen vuoksi oli paljon mielekkäämpää olla laajentamatta aihetta kattamaan koko prosessin täydellistä uudelleen mallintamista.

### **3.1 Nykyisen tilanteen mallintaminen**

Aloitusseminaarissa keskusteltiin laserkeilaimen käytöstä tilan mallinnuksen työkaluna. Laitteen käyttäminen mallinnuksen työkaluna koettiin liian työlääksi työnantoon nähden, joten lopputuloksena päädyttiin hyödyntämään tietokoneohjattua 3D-mallinnusta. Haasteena nykyisen tilanteen mallintamiselle oli puutteellinen dokumentaatio. Saavutettu lopputulos kuvasi karkeasti siilojen sijainnin puutteistansa huolimatta.

Nykyisen tilanteen kartoittamisessa hyödynnettiin arkistoista löytyviä dokumentaatioita ja pohjapiirustuksia. Näiden teknisten- piirustusten avulla kyettiin määrittämään karkeasti siilojen ja tukirakenteiden sijainnin suhteessa hallin pohja-alaan. Piirustuksissa oli selkeitä puutteita, sillä lisäainesiloja oli lisätty muutama kappale sitten edellisen dokumentaatio päivityksen. Tästä syystä jouduttiin toteuttamaan lisämittauksia karkean tilamallinnuksen tarkentamiseksi.

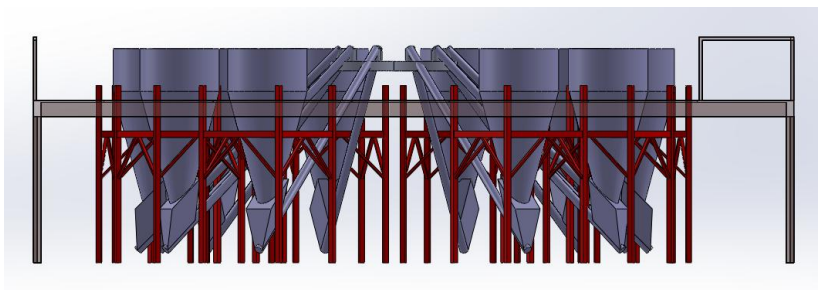
Mallissa muutamat siilot menevät limittäin, kuten voidaan havaita kuviosta 1. Tämä johtuu siitä, että pohjapiirustuksessa ei ollut mallinnettu kuin kymmenen siiloa. Kaksi ylimääräistä siiloa on lisätty sen jälkeen kun dokumentaatiota on päivitetty edellisen kerran.



KUVIO 1. Limittäin asettuvat siilot

Mallinnuksessa rajattiin joitain prosessin kannalta olennaisia rakenteita pois, sillä ne eivät suoraan funktionaalisesti vaikuta uuden pohjapiirustuksen mallintamiseen. Toisaalta punnitusasemat on kuvattu mallissa kahtena lieriömäisenä kappaleena.

Liikkuvan punnitusaseman rakenteita ei ole mallinnettu 3D-piirustuksissa, vaikka se onkin hyvin dominoiva osa koko pohjapiirustusta sekä korvaamaton osa prosessia. Punnitusasemat toimivat tuttavallisemmin ”koirahäkin” sijasta ankkurina mallille. Lisäainesiilot eivät ole todellisuudessa identtisiä mitoiltaan. Tämä ongelma oli mahdollista ohittaa luomalla säiliötä muistuttava kappale, joka käyttää halkaisijanaan ja korkeutenaan samoja mittoja kuin lisäainesiilo keskimäärin, kuten kuviossa 2. Tarkka siilojen kuvaaminen ei olisi tuonut työlle lisäarvoa.

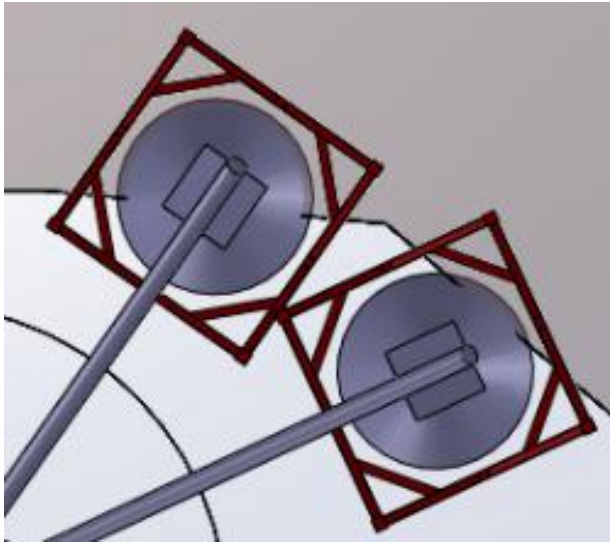


KUVIO 2. Lisäainesiilot sijaitsevat samalla korkeudella

Säiliöt on asennettu todellisuudessa eri korkeuksille, mallissa kaikki siilot lepäävät samassa tasossa. Suursäkkejä nostetaan nosturilla hallin lattiatasolta kävelytasan-



teen yli, josta näiden sisältö tyhjennetään lisäainesiiioihin. Tämän toimenpiteen välttämättömyys luo parametriarvot tilankäytölle korkeussuunnassa. Tukirakenteet vaihtelivat rajusti eri säiliöillä. Kuviossa 3 siilojen sijainnit ja tukirakenteet on mallinnettu annettujen dokumentaatioiden pohjalta, tästä huolimatta huomataan, että osa rakenteista asettuu limittäin jos malli luodaan annettujen lähtötietojen pohjalta. Joissain tapauksissa rakenteista oli poistettu palkkeja, jotta ruuvikuljettimen asentaminen punnitusasemaan olisi ollut mahdollista.



KUVIO 3. Limittäin asettuvat tukirakenteet

Tukirakenteiden mitat eivät olleet identtisiä, joten neliöpalkkien pituudet vaihtelivat jonkin verran. Tästä syystä mallinnuksessa voidaan huomata rakenteiden asettuvan joissain tilanteissa limittäin. Tämä ei suoranaisesti aiheuta ongelmia, sillä todellisuudessa rakenteet likenevät toisiaan paikoittain erittäin paljon.

### 3.2 Nykyiset tukirakenteet

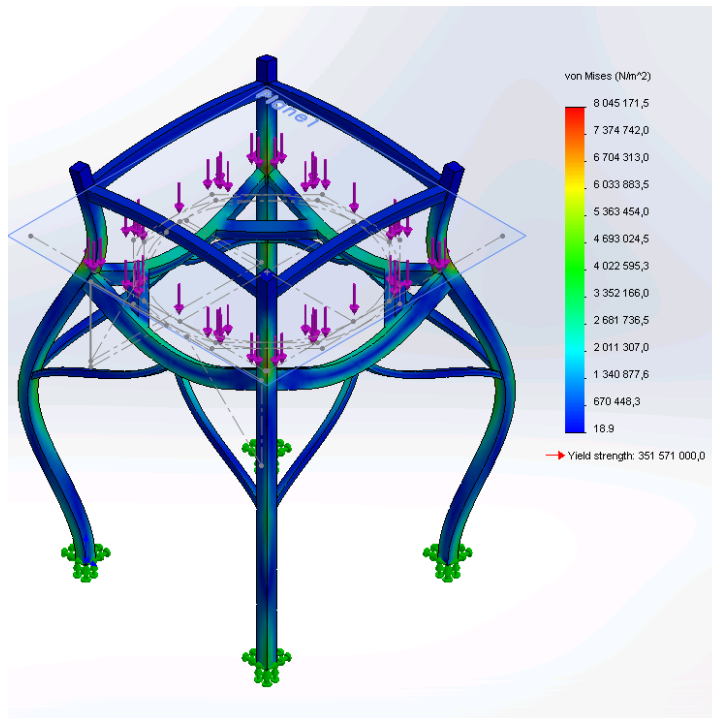
Kokonaisvaltaista tila-analyysia, ja eritoten optimointia, olisi ollut mahdoton tehdä ilman lisäainesiiilojen tukirakenteiden tarkistelua. Nykyiset tukirakenteet ovat liiankin jämät käyttötarkoitukseen nähden ja syövät siten tilaa niin pohja, kuin korkeussuunnassa enemmän kuin on tarpeen. Kevyempien rakenteiden suunnittelu ja implementointi tuovat tilakäytännöllisesti sellaisenaan jo lisäarvoa, riippumatta siitä, muutetaanko siilojen fyysistä sijaintia pohjapiirustuksessa laisinkaan.

Yhteneväisyysongelmien vuoksi oli välttämätöntä oikoa tässäkin tapauksessa. Rakenteiden täsmällinen mallintaminen ei olisi tuonut työlle suurtakaan lisäarvoa, joten keskivertomittoja hyödyntämällä voitiin jatkossa mallintaa tukikehikkoa. Tämmäkään kompromissiratkaisu ei ollut riittävä, vaan oli hyvin oleellista rajata työtä lisää jättämällä rakenteesta mallintamatta joitain ylimääräisiä palkkirakenteita, jotka eivät ole toiminnallisesti, tai rakenteellisesti ratkaisevia.

Todellisia lisäainesiiilojen tukirakenteita on paikan päällä muokattu asennusvaiheessa. Rakenteet eivät siis ole toisiinsa nähden identtisiä. Joissain tapauksissa tähän tilanteeseen on päädytty, kun on huomattu tarpeelliseksi leikata osa palkkirakenteista ruuvikuljettimen, prosessin- tai jonkin muun huolto- ja ylläpitotoiminnon tieltä.

Kaksi siiloa on lisätty jälkikäteen paikan päällä, nämä siilot on käytännössä hitsattu kiinni läheisyydessä oleviin tukirakenteisiin neliöpalkeilla. Työn lopputuloksena on osa tavoitteena saada kaikille lisäainesäiliöille omat tukirakenteet. Jälkeenpäin lisätyille siiloille ei ole luotu teknistä dokumentaatiota, tai näitä dokumentteja ei ainakaan ollut arkistossa sillä hetkellä saatavilla.

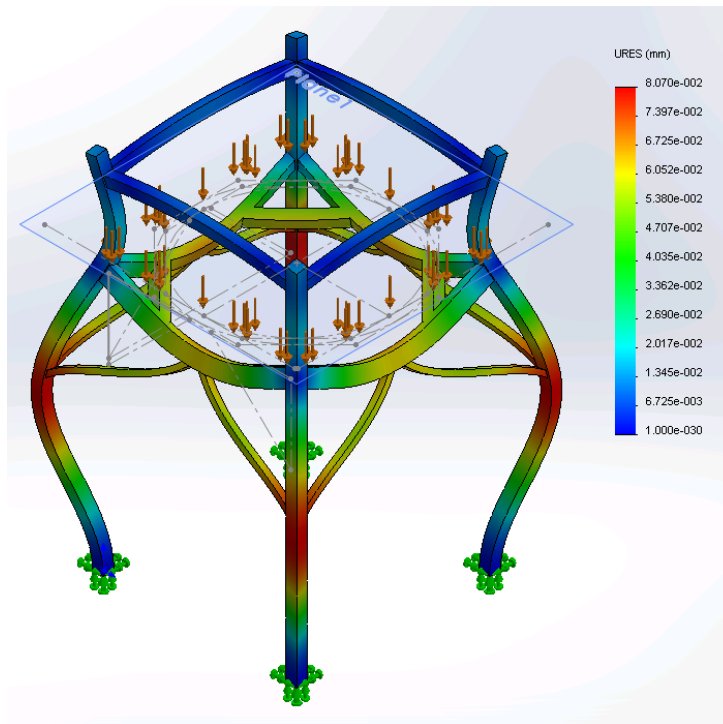
Vanhojen rakenteiden lujuustarkastelu on jouduttu toteuttamaan suhteellisesti, sillä rakenneteräspalkkien seinämävahvuuksia on vaikea arvioida ulkopuolelta käsin tarkisteltuna. Toteutus on käsitelty vertailemalla vanhoja rakenteita umpinaisina neliöpalkkirakenteina uusien tukirakennemallien umpinaisiin versioihin, näin on mahdollista tehdä suhteellisia havaintoja ja konkreettisia johtopäätöksiä, joiden pohjalta viedä suunnittelua haluttuun suuntaan. Kuvioista 4 nähdään, että umpinaisen nykyisen tukirakenteen myötörajat ovat äärimmäisen suuret. Toki tässä suhteessa täytyy ymmärtää, että umpinaiset jalakset kestävät huomattavasti suuremman kuorman kuin ontot, joten suorina oletuksina ei lujuusanalyysistä tässä vaiheessa vielä voida tehdä.



KUVIO 4. Umpinaiselle tukirakenteelle ominaiset myötörajat

Kuvassa nähdään nykyisen rakenteen nurjahdusmalli, josta voidaan huomata myötörajan olevan likipitään sama kuin S335 rakenneteräksellä. Mallinnuksessa hyödynnettiin SolidWorksin kirjastosta löytyvää materiaalia, joka on amerikkalaiselta standardiltaan AISI 1020, ominaisuudet vastaavat Suomessa ja Euroopassa yleisesti käytettävissä olevia rakenneteräksiä.

Kuvan mallissa kappale on umpinainen, joten arvot eivät ole täysin paikkaansa pitäviä. Todellisuudessa teräspalkeilla on omat seinämävahvuutensa, ja tämä vaikuttaa eritoten jalaksien puristuksessa. Toisaalta tällä seikalla ei ole mitään merkitystä, sillä mallin tarkoitus on luoda vertailukelpoinen myötörajamallinnus uudelle kappaleelle. Tällöin on mahdollista verrata suhteellisesti näiden kahden rakenteen ominaisuuksia toisiinsa. Kuviossa 5 on havainnollistettu tukirakenteen nurjahdusmallinnus. Kuvasta huomataan, että suurin siirtymä rakenteessa 20 kN kuormalla kohdistuu jalasten puoliväliin.



KUVIO 5. Umpinaisen rakenteen siirtymä

Lujuusmallinnuksessa on hyödynnetty 20 kN:n jatkuvaa voimaa oktagoniselle väli-  
tasanteelle juuri siitä syystä, että lisäainesilot on kiinnitetty muutamalla sivupellillä  
pulttien avustuksella tasoon kiinni, jotka aiheuttavat täytettynä noin kahdentuhan-  
nen kilon rasittavan painon tukirakenteelle. Äärimmäisen jäykkä tuenta on jalkojen  
pohjassa, joka edustaa hallin lattiatasoa.

Kummastakin kuviosta on mahdollista huomata, että ylemmät neljä jäykistävää  
palkkia eivät toteuta minkäänlaista tehtävää, ne ovat siis rakenteellisesti täysin  
turhia.

#### 4 SUUNNITTELUPROSESSIN ALOITTAMINEN

Uuden layoutin suunnittelu on mahdollista aloittaa, kun nykyiset raja-arvot on selvitetty ja rajoitteet tutkittu. Tällöin on mahdollista toteuttaa tarkempi tarvekartoitus ja eri konsepteja voidaan sovittaa nykyiseen tilaan, sekä vertailla ratkaisuja toisiinsa. Raja-arvot toimeksiannolle selvitettiin palaverien yhteydessä, tutkimalla nykyistä tilaratkaisua paikan päällä. Tällöin huomattiin, että suurimmat rajoittavat tekijät olivat, kävelytasanteen jalakset, tasanteen korkeus, tukirakenteiden sijoittelu kävelytasanteen rajaamalle pohja-alalle. Suursäkkien nostamisessa käytetyn nosturin sijainti, ruuvikuljettimille asetettu kiinteä 45° kulma, hallin oikealla laidalla sijaitsevat suolasäkit, koirahäkki, punnitusasema sekä kävelytasanteen portaikko.

Uuden layoutin suunnittelu toteutettiin työntilaaajan tarpeesta luoda välivarastotilaa suursäkeille. Muutamien palaverien ja keskustelujen jälkeen saavuttiin lopputulokseen, jonka tarkoituksena olisi luoda kokonaisvaltainen analyysi tilankäytön optimoinnista. Tarkoituksena oli myös yhden uuden lisäainesiilon mallintaminen järjestelmään sekä tutkia mahdollisuutta useammankin säiliön lisäämiseen. Saatujen tietojen perusteella kyettiin luomaan eritelmä funktionaalista suunnittelua varten. Konseptien mallintamista varten otettiin kantaa seikkoihin, jotka ovat lopullisen tuotoksen kannalta olennaisia.

Bet-Ker Oy:n tapauksessa olennaiset tekijät konseptien luomisessa olivat; siilojen sijoittelu, tilansäästö, huollettavuus, materiaali ja hinta. Sijoittelua vaikeutti tukirakenteiden kömpelyys, joten olennaista oli myös uusien tukirakenteellisten vaihtoehtojen luominen.

Palaverissa päädyttiin seuraavanlaisiin parametriarvoihin. Lisäainesiilojen moottorit on asennettava tukirakenteisiin sellaiseen kulmaan, että jalakset eivät estä moottorien purkamista huollon aikana. Lisäksi asennuksessa on otettava huomioon, että työmiehen tulee mahdollisimman pienellä vaivalla päästä suorittamaan huoltotoimenpiteitä ihmiselle sopivassa ympäristössä.

Tukirakenteissa käytettävän materiaalin pitää olla yleisesti saatavana olevaa rakenneterästä, joka sopii lujuusominaisuuksiltaan käyttötarkoitukseen. Lisäksi rakenteen muotoilun on oltava rationaalista. On pyrittävä hyödyntämään nelikulmionmuotoisia, onttoja, standardisoituja palkkirakenteita, jotka on helppo asentaa paikoillensa. Tällöin materiaali- ja henkilöstökulut pysyvät suhteellisen pieninä. Rakenteen on kestävä täynnä olevan lisäainesilon muodostama kuorma.

Luomisprosessin yhteydessä haettiin myös tilankäytöllistä hyötyä tukirakenteiden jalaksien vähentämisestä. Muunnettavissa oleva alue rajattiin kävelytasanteen pohja-alalle, joka rajoitti huomattavasti muokattavissa olevaa pinta-alaa. Lavojen varastointiin ei voida nykyiseltään hyödyntää kävelytasanteen oikeanpuolista laitaa, sillä kyseiselle alueelle pääsy on vaikeaa, säilytyksessä olevien suolasäkkien vuoksi.

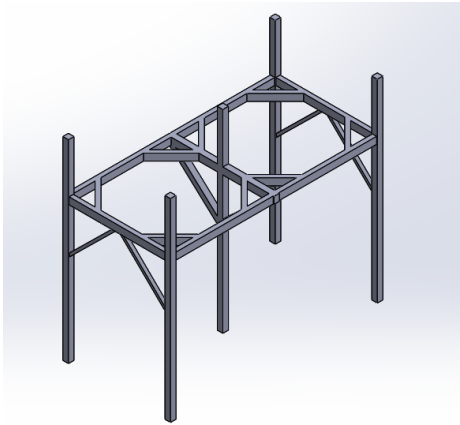
#### **4.1 Alkuperäisen rakenteen soveltaminen**

Muunnelma alkuperäisestä rakenteesta on yleensä kaikista helpoin toteuttaa, sillä se myötäilee aina vallalla olevaa asiantilaa. Valtaosa yrityksistä toimii pienten, ruohonjuuritasolta lähtevien muutosten varassa, joten luonnollisesti lähtökohtana oli mallintaa ensin nykyistä tilaa myötäilevä ratkaisumalli.

Inkrementaalisen toteutuksen etuna on muihin vaihtoehtoihin nähden selkeästi parempi mahdollisuus hyödyntää nykyisten tukirakenteiden materiaaleja pohjana muutosprosessille. Lisäksi rakenteiden toiminnallisuudesta ja kestävydestä on helpompaa tehdä arvioita, kun ratkaisun muutokset eivät ole suuria. Tällöin voidaan olettaa myös, että rakenteiden lujuusominaisuudet pysyvät jotakuinkin samoina.

Inkrementaalisisessa mallissa itsessään kaksi siiloa lepää yhteisellä tukirakenteella. Yhdellä siilolla on nykyisissä rakenteissa neljä jalasta, uudessa ratkaisussa kahdella paritetulla säiliöllä olisi sama määrä jalkoja kuin yhdellä nykyisessä rakenteessa.

Ongelmaksi ratkaisussa muodostuu se, että tämänkaltaista siilojen paritusta ei kaikkien säiliöiden kohdalla voida mielekkäällä tavalla toteuttaa. Lisäainesiilot ja ruuvikuljettimet on mahdollisesti vaikea asettaa järkevään kulmaan niin, että tilankäyttö saadaan tehokkaasti optimoitua. Kuviossa 6 nähdään, kuinka hyödyntämällä vanhaa konseptia, saadaan uusia ratkaisuvaihtoehtoja.



KUVIO 6. Vanhaa mallia mukaileva tukirakenne

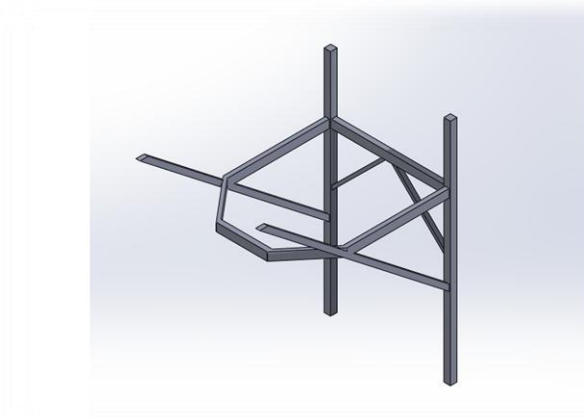
#### 4.2 Täysin poikkeavan mallin luominen

Luovan prosessin tarkoituksena on lähtökohtaisesti luoda sellainen konsepti, joka poikkeaisi nykyisestä ratkaisusta mahdollisimman paljon. Osaltansa tällaisen vaihtoehdon mallintaminen avartaa katsantokantaa ja mahdollistaa ajatuksen lennon paremmin. Poikkeavassa rakenteessa jalaksien määrä on minimoitu ja radikaalin mallin etuina voidaankin pitää tehokasta tilansäästöä, sillä siilo lepää kahdella jalalla.

Rakenteen tulisi käyttöönoton yhteydessä tukeutua kävelytasanteeseen, joka olisi käytännössä ongelmallista. Tällöin saatu tilahyöty olisi kuvitteellinen koska tasanetta pitäisi jäykistää pohjasta käsin. Tukirakenne söisi tilaa enemmän kolmannessa ulottuvuudessa ja hankaloittaisi moottoreille tehtäviä jaksottaisia huoltotöitä.

Radikaalin mallin lujuusanalyysi SolidWorksillä tuotti epäluotettavia tuloksia. Malli muistutti hyperjäykkää kappaletta, joka ei joustanut edes kymmenkertaisilla voimil-

la suhteessa sovittuihin parametriarvoihin eli 2000 kg:n kuorman kohdalla. Kuvios-  
ta 7 huomataan tämän poikkeaman johtuvan siitä, että rakenne olisi käytössä tuet-  
tuna pohjasta ja 45 asteen kulmassa tasanteesta tai taaempien siilojen kohdalla  
hallin seinustasta. Lisäksi rakenne olisi suhteellisen monimutkainen toteuttaa, sillä  
ylhäältä kulmassa tuetut jalakset jäykistäisivät samalla myös vaipparakennetta,  
jonka päälle siilo kiinnitettäisiin.



KUVIO 7. Kulmaan asetettava tukirakenne

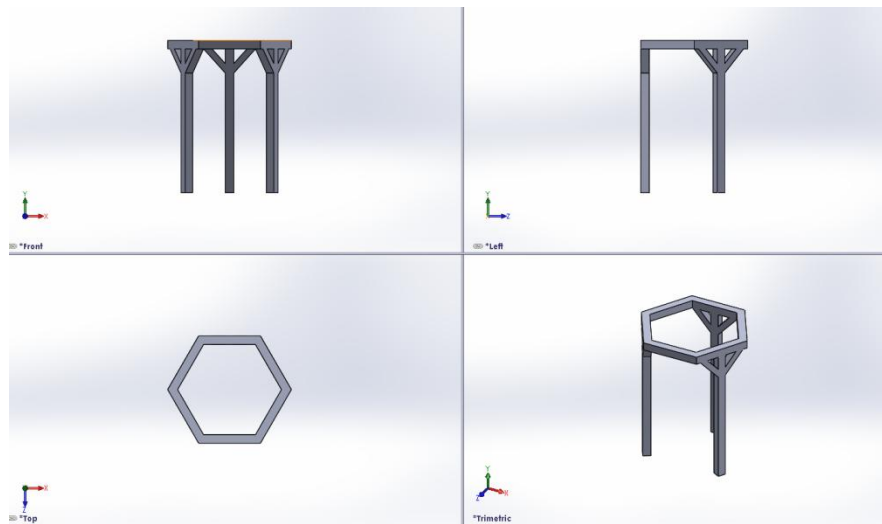
### 4.3 Maltillisen poikkeavan mallin luominen

Inkrementaalisen mallin idean lähtökohtana oli keventää rakennetta poistamalla nykyisestä tuennasta turhat ontot palkkirakenteet. Tämä saavutetaan poistamalla ulkoiset jäykistävät palkit ja tuomalla esiin rakenteen vaippa, johon siilo on kiinnitetty hitsatuilla laipoilla sekä pulteilla.

Kuviosta 8 huomataan, että vaipan rakenne on mallissa muutettu oktagonista heksagoniksi ja jalakset sijoitetaan heksagoniseen rakenteeseen ulkoreunojen sijasta, jolloin malli syö vähemmän pohja- alaa. Samalla vaippamaista rakennetta ympäröivät palkit on poistettu tarkoituksettomina. Alkuperäisessä raakaversiossa jalasten määrää on vähennetty neljästä kolmeen, sillä rakenne pysyy tällöinkin vakaina kun jalasten välinen kulma on asetettu 120 asteen.



Rakenteen hunajakennomainen rakenne mahdollistaa teoriassa sillojen sijoittelun äärimmäisen lähelle toisiaan. Todellisuudessa ruuvikuljettimen moottori olisi joidenkin sillojen kohdalla liian lähellä jalaksia, jolloin huolettavuus saattaisi kärsiä huomattavasti. Toisaalta huoltojaksot eivät ole niin tiheitä, että tuotanto kärsisi hieman hankaloituneesta huollosta.



KUVIO 8. Heksagoninen tukirakenne

Raakaversiossa mallille ominainen oktagoninen vaippa on vaihdettu heksagoniseksi. Jalaksien määrää on vähennetty yhdellä ja tuotu likemmäksi keskustaa.

## 5 VAIHTOEHTOISTEN MALLIEN VALITSEMINEN JA KEHITTÄMINEN

Bet-Ker Oy:n kanssa käydyissä palavereissa päädyttiin lopputulokseen, jossa hyödynnetään inkrementaalista mallia. Rakenteen eduiksi katsottiin muotoilun yksinkertaisuus, pienempi koko, sekä mallin joustavuus sijoittelun näkökulmasta.

Radikaalimalli koettiin liian haastavaksi, sillä palkkirakenteita olisi pitänyt asentaa kävelytasanteen pohjalle. Konsepti kärsi siis ennen kaikkea monimutkaisesta rakenteesta, haastavasta asennuksesta käyttöönoton yhteydessä, sekä jäykkyydestä. Vaihtoehtoisesti harkintaan jäi raakamallin muotoilu soveltuvammaksi niin, että tätä olisi voinut käyttää takimmaisimmissa lisäainesiloissa, jolloin tuenta kulmajalaksille voitaisiin ottaa suoraan hallin seinästä.

Vanhoista rakenteista haluttiin luopua kokonaan, ja pelkästään jalkojen vähentäminen tavoitteena koettiin epätarkoituksenmukaisena, joten kaikista maltillisinta ratkaisua ei haluttu toteuttaa. Seuraavassa työvaiheessa raakaversiota työstettiin entisestään paremmin vastaamaan todellista tarvetta.

Palaverin yhteydessä käytiin läpi valitun rakenteen heikkouksia ja muotoiltiin maltillisesta mallista uudet konseptit, joiden pohjalta rakennettiin lopullinen hahmotelma uusista tukirakenteista. Heksagoninen rakenne kolmen jalan kanssa koettiin ongelmallisena huollettavuuden näkökulmasta. Lisäksi rakenteeseen ei ollut mahdollista asentaa jäykistäviä poikkipalkkeja, joten rakenne olisi voinut osoittautua oletettua heikommaksi. Tähän todellisuudessa olisi voitu ratkaisuksi käyttää paksumpia rakenneteräspalkkeja jalaksissa ja vaipparakenteissa, jolloin lappeellaan olevat rakennepalkit eivät käyttäisi muita kehittyneempiä vaihtoehtoja enemmän tilaa.

Hunajakennomainen rakenne tuki kolmatta vaihtoehtoa, sillä siilot olisi tällöin helppo asentaa rinnakkain monella eri tavalla. Lisäksi tämän kaltainen rakenne on osoittautunut tehokkaaksi monessa muussakin käyttökohteessa, mukaan lukien luonnollisissa ympäristöissä. Näiden johtopäätösten lomassa päädyttiin oktagonii-

seen vaipparakenteeseen, jossa tuenta on toteutettu neljällä jalaksella. Tällöin on mahdollista asettaa kahden jalaksen väliin jäykistävät poikki-palkit.

Vaihtoehtoisesti palaverissa pohdittiin kolmen jalan korvaamista heksagonisessa rakenteessa kahdella vastakkaisella jalaksella. Tällöin ruuvikuljettimen moottorin huollettavuus pysyisi hyvänä sijoittelusta huolimatta. Ongelmaksi olisi muodostunut rakenteen stabiilius, sillä jos kuorma ei jakaantuisi tasan kummallekin sivustalle, olisi mahdollista, että lisäainesiilon epäsymmetrinen muoto, ja sitä kautta massan epätasainen jakaantuminen siilossa, kaataisi koko rakenteen.

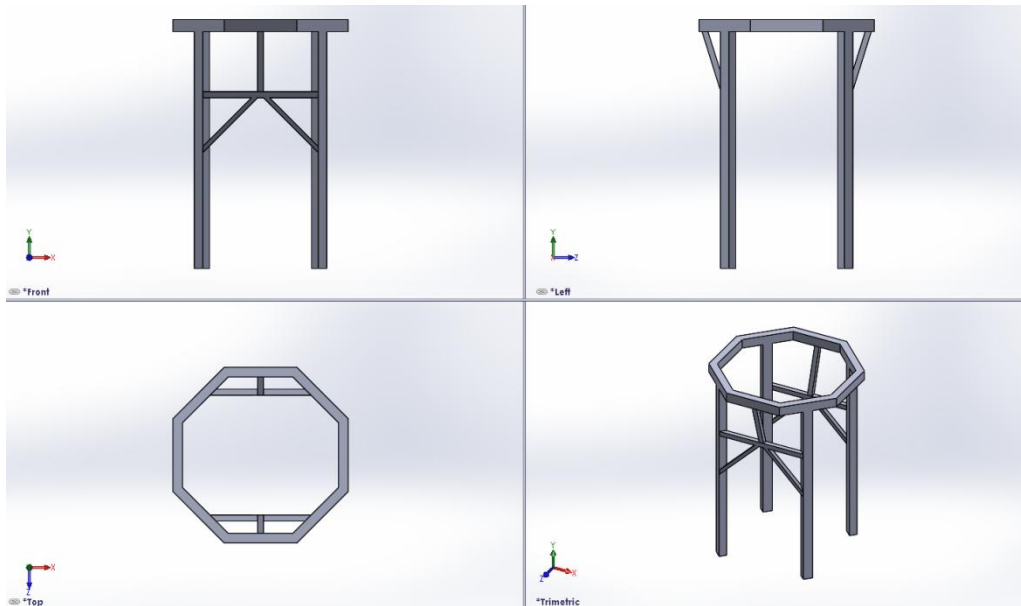
### **5.1 Raakaversioiden muotoilu**

Kuusikulmioisen konseptin pohjalta luotiin oktagoninen malli, johon oli mahdollista lisätä jäykistävät poikkipalkit. Rakenteessa poikkipalkki on sisempänä kuin vaipan reuna, sillä jalakset sijaitsevat keskellä oktagonin ulkoreunaa. Tämä tarkoittaa sitä, että palkin on oltava riittävän alhaalla, ettei lisäainesiilon reuna mene limittäin tämän kanssa, lähellä maantasoa sijaitseva jäykistävä poikkipalkki ei kykene tekemään rakenteesta jähmeämpää.

Poikkipalkkiin joudutaan leikkaamaan vaikeasti toteutettava viiste, jotta tämä on mahdollista hitsata kiinni jalakseen, siksi joudutaan rakenteeseen asentamaan vielä pystysuuntainen rakennepalkki jäykistämään tuentaa paremmin.

Vertikaali-rakennepalkki asennetaan poikkipalkista oktagonin ulkoreunaan, jolloin on mahdollista, että lisäainesiilo asettuu limittäin pystysuuntaisen jäykistepalkin kanssa. Tämä ongelma on ohitettavissa kun asetetaan poikkipalkki riittävän alas, jolloin pystypalkin kulma pienenee. Kuviosta 9 huomataan mallissa selkeä heikkous, joka tulee ottaa huomioon, sillä pelkkä yksittäinen pystysuora jäykistepalkki voi olla liian heiveröinen ottaakseen vastaan osan 2 kN:n voimasta. Tämän vuoksi on rakenteen sivustalle asennettava kaksi 45 asteen olevaa vinoa palkkia, jotka ohjaavat kuorman voimavaikutuksen tehokkaasti jalkoihin. Lisäksi yksittäinen pystysuorapalkki kohdistaisi kuorman voimavaikutuksen suoraan poikkipalkille, joka voisi mahdollisesti taipua vaikutuksen alla. Jäykistävät palkkirakenteet voidaan

asentaa vain sivuille, sillä muuten ne olisivat ruuvikuljettimen tiellä, tai vastaavasti hankaloittaisivat moottoreihin tehtäviä huoltoja.



KUVIO 9. Oktagoninen rakenne

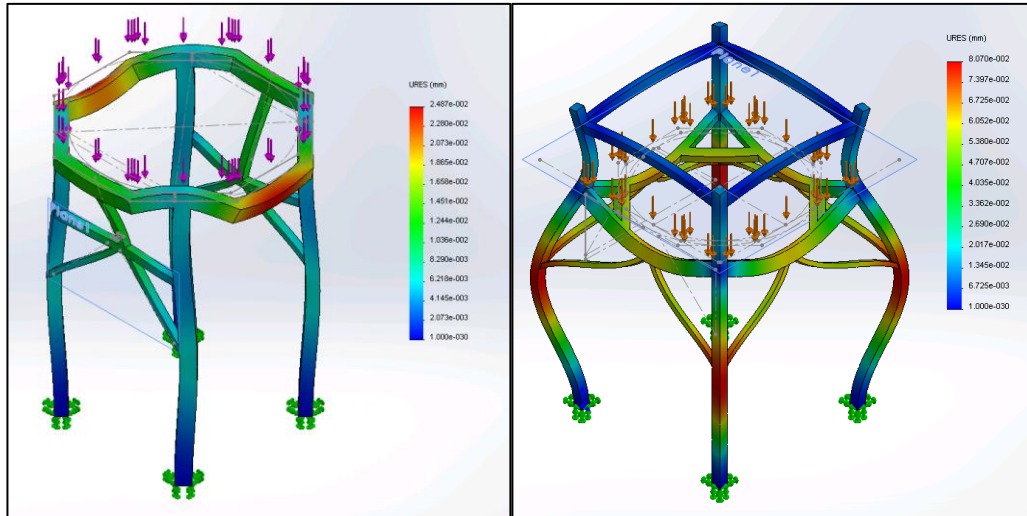
Kahdeksankulmioisessa tukirakenteessa jokainen oktagonin palkki hitsataan kiinni, lisäksi lisäainesiiilon kiinnityslaput on asennettava siten, että laput asemoituvat jalaksien päälle. Tällöin vältetään ylimääräisen kuorman muodostuminen jäykistäville tukirakenteille.

Tukirakenteista luotiin kahdet eri versiot, joista toinen on umpinainen ja toinen on ontto. Nykyisissä tukirakenteissa olevien palkkien seinämävahvuuksia ei ole kirjattu mihinkään ylös, samaten mittaaminenkin olisi vaatinut rakenteiden leikkaamista, joten umpinaisten kappaleiden luominen antaa pohjaa suhteelliselle vertailulle uusien ja vanhojen tukirakenteiden suhteen.

## 5.2 Raakaversion ja nykyisten tukirakenteiden suhteellinen vertailu

Nurjahdusmalleista ja kuviosta 10 huomataan, että uudet tukirakenteet kestävät karkeasti kolmasosan siitä maksimikuormasta, jonka vanhat rakenteet kestävät. URES- kuviosta nähdään, että suurin siirtymä uudelle tukirakenteelle kohdistuu

vaipparakenteen laitoihin. Tästä huolimatta, varmuuskerroin umpinaiselle kappaleelle 20 kN kuormalla on 104 uudelle tukirakenteelle ja 44 vanhalle tukirakenteelle.

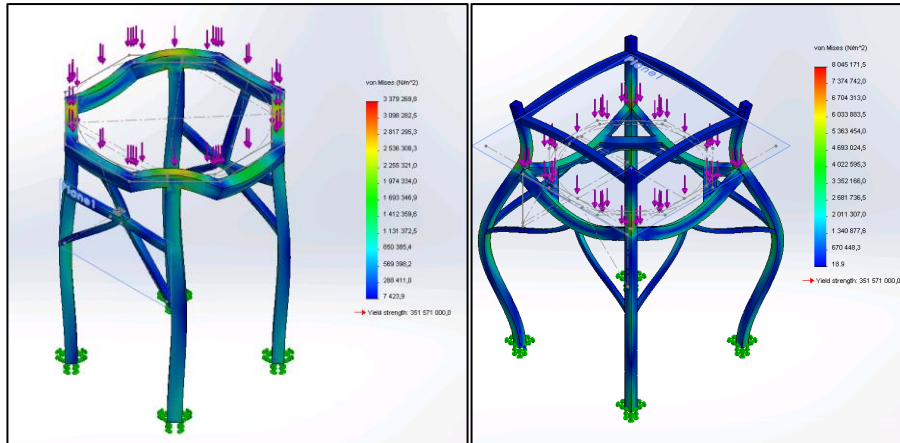


KUVIO 10. SolidWorksillä simuloidut nurjahdusmallit umpinaisille kappaleille

Kuviosta 10 huomataan karkeasti, että vanha tukirakenne kestää n. 3,2 kertaisesti suuremman kuorman suhteessa uuteen tukirakenteeseen

Nykyisessä kehikossa on siis rakenteellisia heikkouksia, vaikka kokonaiskuva saattaakin näyttää vankalta, on se silti suhteessa alivertainen kevyempiin rakenteisiin verrattuna. Vanhassa mallissa ensimmäinen pettävä piste sijaitsee jalaksien ja kehon liitännäkohdassa. Tämä murtuu huomattavasti aikaisemmassa vaiheessa kuin uusissa tukirakenne malleissa, vaikka vanhat rakenteet kestävätkin nimellisesti suuremman kuorman, ei sillä ole merkitystä nurjahduksen sattuessa.

Suhteellisessa vertailussa on siis havaittavissa, että uudet tukirakenteet kestävät suuremman kuorman ennen ensimmäistä murtumaa ja ovat lisäksi kevyemmät verrattuna nykyisiin tukirakenteisiin. Kuviossa 11 nähdään, että suurin kuorma kohdistuu uudessa tukirakenteessa jalaksien kiinnityskohdassa vaipparakenteeseen.



KUVIO 11. SolidWorksillä simuloidut stressitestikuvat

Kuviosta 11 nähdään AISI 1020 materiaalin myötörajat, jotka ovat verraten samaa luokkaa kuin S335 rakenneteräksellä.

Solidworkissä ei löydy suoraan materiaaleja, jotka vastaavat Suomessa yleisesti käytettyjä, vanhentuneita rakenneterässtandardeja kuten S335 ja S235. AISI 1020 materiaalin myötörajasta huomataan että amerikkalainen terässtandardi vastaa hyvin S335 rakenneterästä. Uusia tukirakenteita luodessa, tehtiin myös useampi vedos version vaihtoehtoisista konsepteista, sama pätee myös valittuun oktagoniseen malliin.

Suhteellinen malli luotiin siitä syystä, että saataisiin vertailukelpoisia tuloksia uuden ja vanhan tukirakenteen välillä, lisäksi luotiin ontto rakenne valitusta kahdeksankulmioisesta mallista, jotta saavutettaisiin realistisempia tuloksia vertailun lisäksi. Koverretussa mallissa on käytetty palkkimaisia rakenteita, jotka on mahdollista hankkia kaikilta normaaleilta tukkureilta.

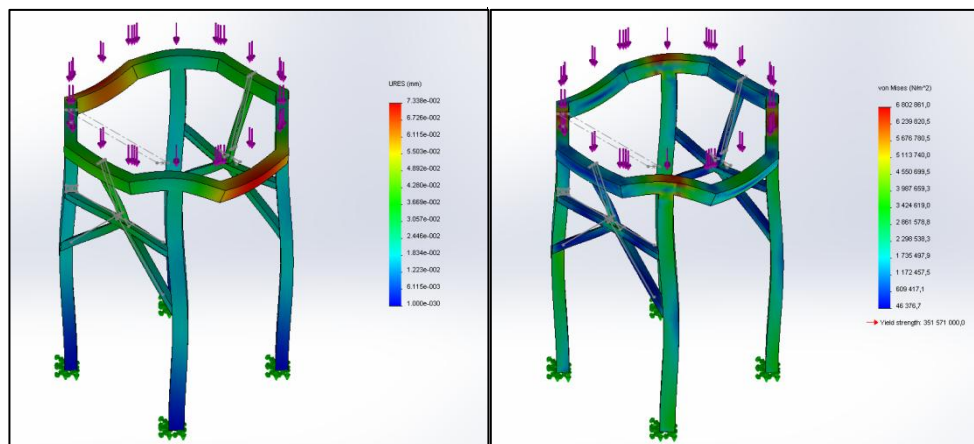
### 5.3 Uuden tukiranne vaihtoehdon luominen raakaversiosta

Jalaksissa ja kahdeksankulmioisessa vaipparakenteessa on käytetty 6 mm seinävahvuuden omaavia 80 x 100 mm palkkirakenteita. Jäykistävä poikkirakenne sekä kaksi kulmassa olevaa kuormansiirtopalkkia ovat mitoiltaan 50 x 50 x 5 mm. Kulmassa oleva pystypalkki, joka siirtää kuorman vaipparakenteesta poikittaiselle

palkkirakenteelle, omaa 40 x 40 x 5 mm mitat. Tarkemmat mitoitukset näkyvät liitteestä 5.

Lujuusmallinnusta suoritettaessa huomataan, että ontto rakenne kestää suuremman kokonaiskuorman kuin umpinainen rakenne. Tämä poikkeama selittyy osaltansa siten, että onttopalkkirakenne kestää suhteellisen hyvin lappeelle muodostuvaa kuormaa. Toisaalta on mahdollista kuviosta huomata, että ontto palkkirakenne kestää heikommin pystysuoraa puristusta kuin umpinainen rakenne. Tämä selittää osaltansa mallinnuksesta muodostuvan näennäisharhan.

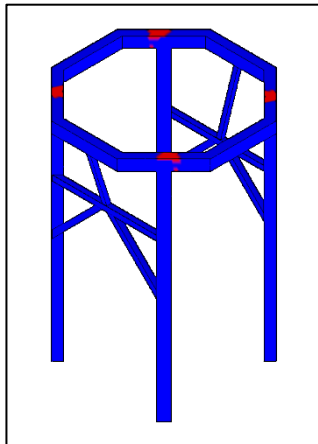
Mallin heikoin kohta ei sijainnut jalaksissa missään vaiheessa, joten tämä ei osoitautu ongelmaksi, vaikka jalakset kestävätkin selkeästi vähemmän kuormaa kuin umpinaisessa mallissa. Kuviossa 12 havaitaan, että ontossa rakenteessa säilyvät samat ominaisuudet kuin umpinaisessa. Suurin siirtymä URES- analyysissä löydetään vaipparakenteen reunasta, kun taas suurin kuorma kohdistuu jalasten ja vaipan liitänäköhtaan. Kuviossa 12 näkyy, että lujuusmallinnus antaa yllättäviä arvoja kun verrataan umpinaista ja onttoa kappaletta.



KUVIO 12. Umpinaisen ja ontton kappaleen vertailu

Onton tukirakenteen varmuuskerroin 20 kN:n voimalle on 51, joten se on puolet pienempi kuin umpinaisessa kappaleessa. Tästä voidaan tehdä karkea oletus, että nykyisen tukirakenteen varmuuskerroin on suurin piirtein 22 paikkeilla. Kuviossa

13 on asetettu SolidWorks näyttämään, missä kohti varmuuskerroin on pienempi kuin 60. Näin on mahdollista nähdä ensimmäiset murtumakohdat selkeämmin.



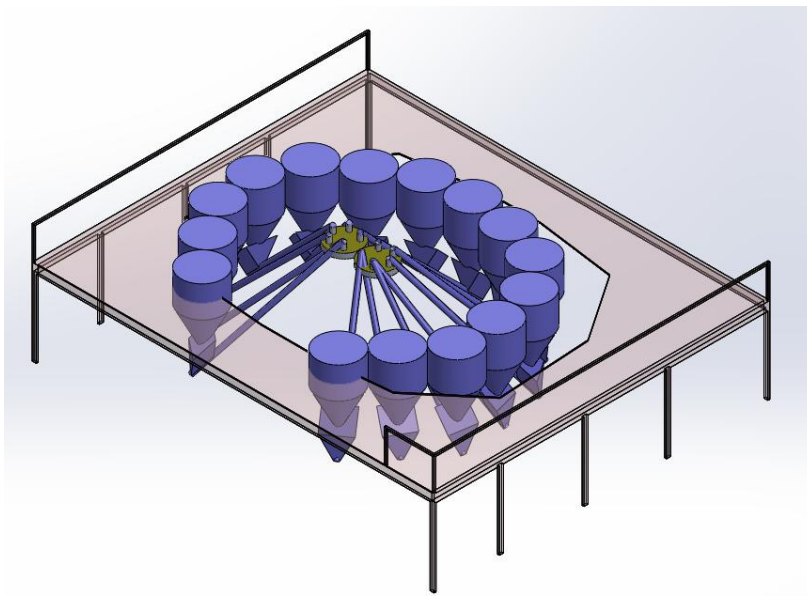
KUVIO 13. Tukirakenteen ensimmäiset murtumakohdat

Varmuuskerroin on uudessa tukirakenne-konseptissa karkeasti kaksinkertainen vanhaan nähden, vaikka alustavasti palaverissa oli osittain tarkoitus keventää tukirakenteita ja pienentää siten varmuuskerrointa. Näistä tavoitteista tukirakenteiden pienentäminen saavutettaisiin näillä muutoksilla. Toisaalta tulee huomioida, että SolidWorksin antamat tulokset ovat suuntaa antavia parhaimmillansakin, joten reipas varmuuskerroin 3D-mallinnuksessa ei välttämättä ole haitaksi.



## 6 UUSI LAYOUT

Uuden pohjapiirustuksen luominen aloitettiin mallintamalla aluksi teoreettinen pohja, josta voidaan hahmottaa, kuinka monta lisäainesiiloa on mahdollista asettaa nykyisiin punnitusasemiin, sillä lähtökohtaisella oletuksella, että minkään kaltaisia tukirakenteita ei tarvita. Kuvio 14 havainnollistaa teoreettisessa mallissa olevat siilot asetettuna tangenttiin toisiinsa nähden. Lisäainesiiloille ei ole mallinnettu tuentaa havainnollistuksen vuoksi.



KUVIO 14. Viidentoista siilon teoreettinen malli

Teoreettisen mallin pohjalta voidaan asettaa tavoitteita sille, kuinka monta lisäainesiiloa on mahdollista lisätä nykyiseen rakenteeseen, muuttamatta radikaalisti koko hallin pohja-alaa. Tämän kaltaisen tilaratkaisun mallintaminen asettaa ylärajat parametriarvoille, jolloin on huomattavasti konkreettisempaa hahmottaa nykyisten ja uusien konseptien lisäarvoa.

Uusien kevyempien tukirakennekonseptien jälkeen tuodaan mallit nykyiseen layoutiin, jonka pohjalta voidaan arvioida saadaanko uudesta rakenteesta hyötyä pohjapiirustuksessa. Käytännössä tässä vaiheessa hyödynnetään alkuperäisessä

layoutissa mallinnettuja osia, kuten kävelytasannetta, lisääainesiiloa sekä punnitusasemaa, jonka sijainti on havaittavissa liitteestä 2.

Uutta pohjapiirustusta varten joudutaan luomaan myös karkea malli koirahäkistä, eli liikkuvan punnitusaseman turvarakenteesta. Tällöin on mahdollista ankkuroida siilot mahdollisimman lähelle todellisuutta vastaavaa paikkaa, mihin nämä käytännössäkin sijoittuisivat. Lisääainesilojen ja tukirakenteiden sijainti ei ole lukittu mihinkään uudessa pohjapiirroksessa, joten tukikehikkoa ja punnitusasemaa on hyödynnettävä ankkurina parempien koordinaattitietojen puuttuessa.

Uudessa pohjapiirustuksessa ilmenivät samat ongelmat kuin nykyistä rakennetta kuvaavassa layoutissa, siilot menevät paikoin limittäin kävelytasanteen kanssa ja ruuvikuljettimet asettuivat päällekkäin.

Uudessa pohjapiirustuksessa tavoitteena on asettaa siilot mahdollisimman lähelle toisiaan yhdistäen osittain tukirakenteita keskenänsä. Tällöin saadaan maksimaalinen tilahyöty aikaisempaa kevyemmillä rakenteilla. Etuna tämänkaltaisessa uudessa layoutissa on se, että nyt lisääainesiiloilla on kaikilla omat tukirakenteensa. Tämä helpottaa uuden layoutin tarkkaa mallintamista ja mahdollisia tulevaisuudessa tehtäviä jatkokehitystoimenpiteitä.

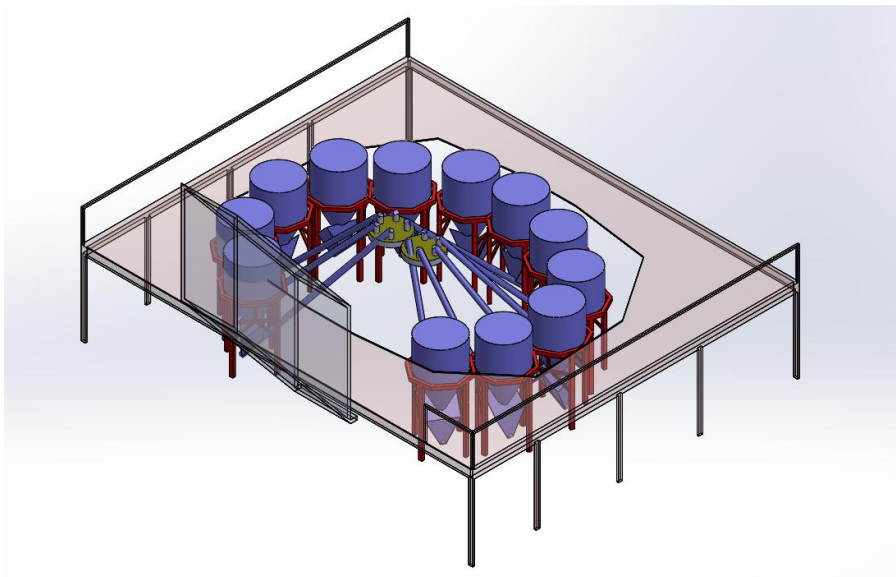
Uuden mallin rakentamisessa kappaleet kelluivat aluksi ilman ankkureita. Optimaalisimman asemoinnin löytäminen täytyi toteuttaa noudattamalla SolidWorksillä paritustoimintoa ja asettamalla tukirakenteet tangenttiin toistensa suhteen. Tämä tarkoittaa sitä että tukirakenteiden reunat sivuavat toisiaan useammassa pisteessä ja ovat käytännössä yhteneväiset.

SolidWorks kohdistaa kappaleita sisäänrakennetuin oletusarvoin, joka taas aiheuttaa sen, että kappaleet saattavat pyörähtää luonnottomiin asentoihin pieniäkin muutoksia tehtäessä. Kolmiulotteisessa mallissa, lisääainesilon ruuvikuljetin menee ainakin yhdessä kohtaa tukirakenteen läpi, kaikki muutosyritykset johtavat layoutin pyörähtämiseen ja virheellisten mittatietojen antamiseen.

Tässä vaiheessa työtä SolidWorksin pahimmat puutteet tulivat ilmiselviksi. Nopeiden vedosten luominen on selkeästi tälle ohjelmistolle vieras toiminto, kappaleita ei ole mahdollista liikuttaa täydellisen vapaasti, kun käyttäjä on asettanut yhden tai useamman ankkurin, vaan toimii tietyin oletusparametrein. Tällöin SolidWorks antaa ei toivottavia lopputuloksia.

### 6.1 Uusi mallinnus pohjapiirroksesta

Uudessa layoutissa mitoitus on toteutettu mallintamalla lisääainesilojen ruuvikuljettimien väliset suhteelliset kulmat, jotka näkyvät liitteessä 4. Kuviossa 15 tasanteen mitat on mallinnettu ja aukko luotu rakenteen keskelle. Kävelytasanteen aukon mitat on nähtävissä liitteessä 1.

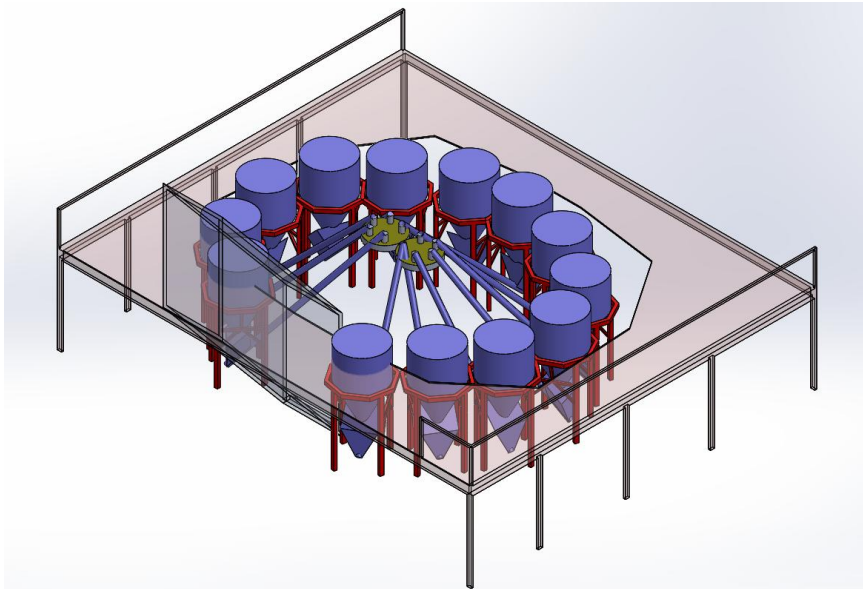


KUVIO 15. Isometrinen kuva 12-siilon rakenteesta

Uusista tukirakenteista huomataan, että tilaa saadaan säästettyä juuri ja juuri yhden uuden lisääainesilojen verran. Lähtökohtaisesti siloja on nykyisessä rakenteessa 12 ja teoreettinen yläraja on 15. Näillä tilansäästö- toimenpiteillä saavutetaan yhden lisääainesilon lisäys.

Käytännössä mallinnuksesta kuviossa 16 kuitenkin huomataan, että lisääainesilojen määrää lisättäessä yli viidentoista kappaleen, tulee koko prosessin pohjara-

kenne tällöin luoda kokonaan uusiksi. Lisäksi ongelma on, että jokaisen lisäainesii-  
lon lisäys nykyisen kaltaiseen järjestelmään tulee vaatimaan huomattavia inves-  
tointeja eksponentiaalisesti kasvavassa määrin jokaisen lisätyn siilon kohdalla.  
Tämä tarkoittaa myös sitä, että kokonaisuudessaan rakenteet on jokaisen lisättä-  
vän siilon kohdalla mietittävä uudestaan.



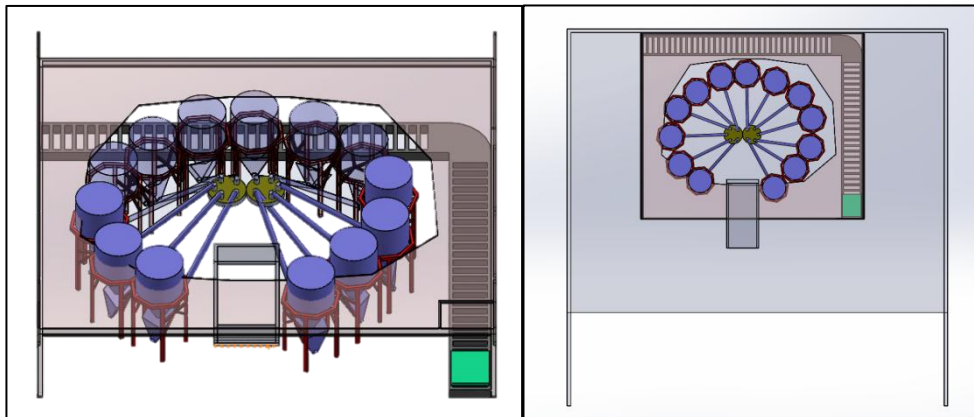
KUVIO 16. Isometrinen kuva 13-siilon rakenteesta

## 6.2 Tilan optimointi rullaradalla

Käytännössä nykyistä tilaa on hankala käyttää tehokkaammin ja laajempien toi-  
menpiteiden pohtiminen vaatii todennäköisesti koko hallin pinta-alan uudelleenjär-  
jestelyjä. Toisaalta hyvä optimoinnin vaihtoehto olisi muuttaa varastojärjestelmää  
dynaamisemmaksi hyödyntämällä paremmin nykyistä ”rompevarastoa” kävely-  
tasanteen seinustalla, keksimällä tälle ylimääräiselle tilalle järkevämpi käyttötarkoi-  
tus.

Mahdollisesti voitaisiin asettaa L-muotoinen rullarata kulkemaan tasanteen alla,  
johon voisi säilöä suolasäkkejä. Tämä optimoisi tilaa tehokkaammin kuin nykyinen  
ratkaisu, jossa vanhat moottorin osat ja muut huoltojätteet on kerätty hallin taka-  
osaan keräämään pölyä.

Kun rullarata asetetaan lievään laskevaan kulmaan, voidaan asettaa suolasäkit kulkemaan painovoiman avulla lähtöpisteestä pysäyttimelle, josta trukilla voidaan noukkia säkkejä aina tarpeen vaatiessa. Rullarata olisi mahdollista implementoida myös nykyiseen pohjapiirrokkseen, joten ratkaisu ei vaatisi suuria rakenteellisia uudelleenjärjestelyitä, ainoastaan jätteiden purkamisen ja radan asennustyöt. Kuvista 17 huomataan, että aivan ongelmaton ratkaisu rullaradan lisäys ei olisi, sillä kriittisimmäksi heikkoudeksi muodostuisi taaimmaisten siilojen kohdalla huonontunut huollettavuus. Huoltotyöt jouduttaisiin toteuttamaan jatkossa ahtaammassa ympäristössä. Kuvassa vihertäväksi värjätty nelikulmio kuvastaa mitoitukseltaan eurolavaa.



KUVIO 17. Rullaratakonsepti

Vaihtoehtoisesti on mahdollista, että lavojen siirtymä rullaradalla toteutetaan moottoriavusteisesti, jolloin varmistetaan se, että suolasäkit eivät jumiudu liikkeen aikana. Ratkaisu olisi huomattavasti kustannustehokkaampi kuin täysi uudelleenremontointi. Rullaradan konseptimalli on nähtävissä liitteessä 3.

## 7 POHDINTA

Nykyisen kaltaisen järjestelmän optimointi ei välttämättä ole paras mahdollinen vaihtoehto, todelliset hyödylliset muutokset vaatisivat täysin uuden rakenteellisen konseptin mallintamisen, jossa muutetaan täydellisesti koko hallin layout sekä valmistusprosessi.

Teoreettinen malli ei jätä tulkinnan varaa, se osoittaa että saavuttamaton maksimaalinen sillojen lukumäärä on 15 kappaletta eli kolme enemmän kuin nykyisessä rakenteessa. Ainoa vaihtoehto saada enemmän lisäainesiloja ympyrämäiseen rakenteeseen on vaihtaa nykyiset silot pienempiin samalla kun kevennetään tukirakenteita. Toisaalta tulisi myös harkita joidenkin kemiallisten komponenttien kohdalla kokonaisuudessaan silloista luopuminen ja pohtia vaihtoehtoista ratkaisua aineen syöttämiselle ja annostelulle järjestelmään.

Rakenteiden supistaminen, kaventaminen ja sellainen sijoittelu, joka takaa huollettavuuden lisäainesiloille, tulee maksamaan jokaisen silon lisäyksen kohdalla eksponentiaalisesti enemmän kuin edellinen. Tämä tosiasia tulee ottaa huomioon sen todellisuuden kanssa, että pohjapiirokseen on mahdollista tällaisenaan enään lisätä kolme siloa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että pienetkin muutokset tulevat maksamaan suhteessa suurempia määriä rahaa, jos ei materiaalihankinnoissa niin ainakin työkustannuksissa ja tuotannon olessa alasajettuna. Tässä tilanteessa olisikin huomattavasti kannattavampaa toimia inkrementaalisesti kunnes yrityksen strategia on selkeytynyt operatiivisen toiminnan kohdalla.

Pienemmät muutokset taas vaatisivat jäməköitä otteita työnjohdon tasolta, joiden tavoitteena taas olisi muuttaa tiettyjä vahvasti pesiytyneitä toimintamalleja, kuten jätteen kerääminen hallin seinustalle. Tälle tilalle voidaan kehittää järkevämpääkin käyttöä, kuten rullarata konsepti osoittaa.

Nykyiseltään ei ole mielekästä toteuttaa suuria muutoksia rakenteeseen ja selvitystyö osoittaa, että todelliset ongelmakohdat sijaitsevat muualla kuin

pohjapiiroksessa. Opinnäyteyön lopputuloksena saavutetaan selkeytyneempi kuvaus todellisista muutoskohteista, jotka ovat selkeästi välittömäpiä ja vaativat vähemmän kustannuksia. Toisaalta työ osoittaa myös tarvetta tehdä laajoja prosessia koskevia muutoksia haluttaessa laajentaa toimintaa nykyisissä tilarakenteellisissa puitteissa. Tämänkaltaisen työn suorittaminen jo pelkästään esiselvityksen tasolla tulee vaatimaan selkeästi enemmän hyödynnettäviä resursseja henkilöstön ja tiedon puitteissa.

## LÄHTEET

Benhabib. B. 2003. Manufacturing Design, Production, Automation, and Integration. Danvers: CRC Press.

Betker 2013. Tulenkestäviä tuotteita vuosikymmenten kokemuksella. Luettu 29.10.2013. <http://www.betker.fi/>

Davila. T. Epstein M.J & Shelton R.D. 2012. Making Innovation Work. Updated edition. New Jersey. FT Press.

Drucker. P. 1998, Marras- Joulukuu. The Discipline of Innovation. Harvard Business Review.

Gero. J.S & Maher, M.L 1993. Modeling creativity and knowledge-based creative design. New Jersey. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

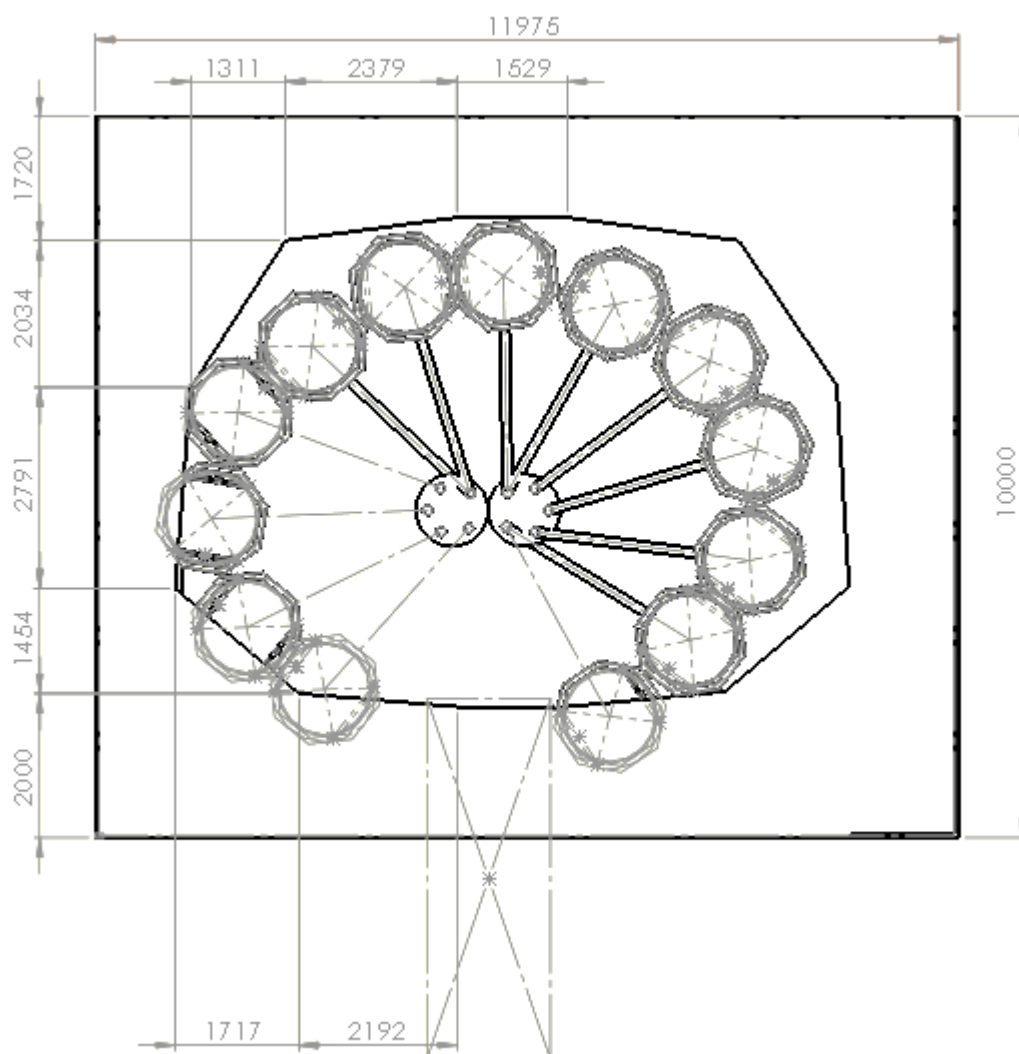
Otto. K & Wood. K 2001. Product Design Techniques in reverse engineering and new product development, New Jersey: Prentice Hall.

Tuomaala. J. 1995. Luova koneensuunnittelu, Jyväskylä. Tammertekniikka.

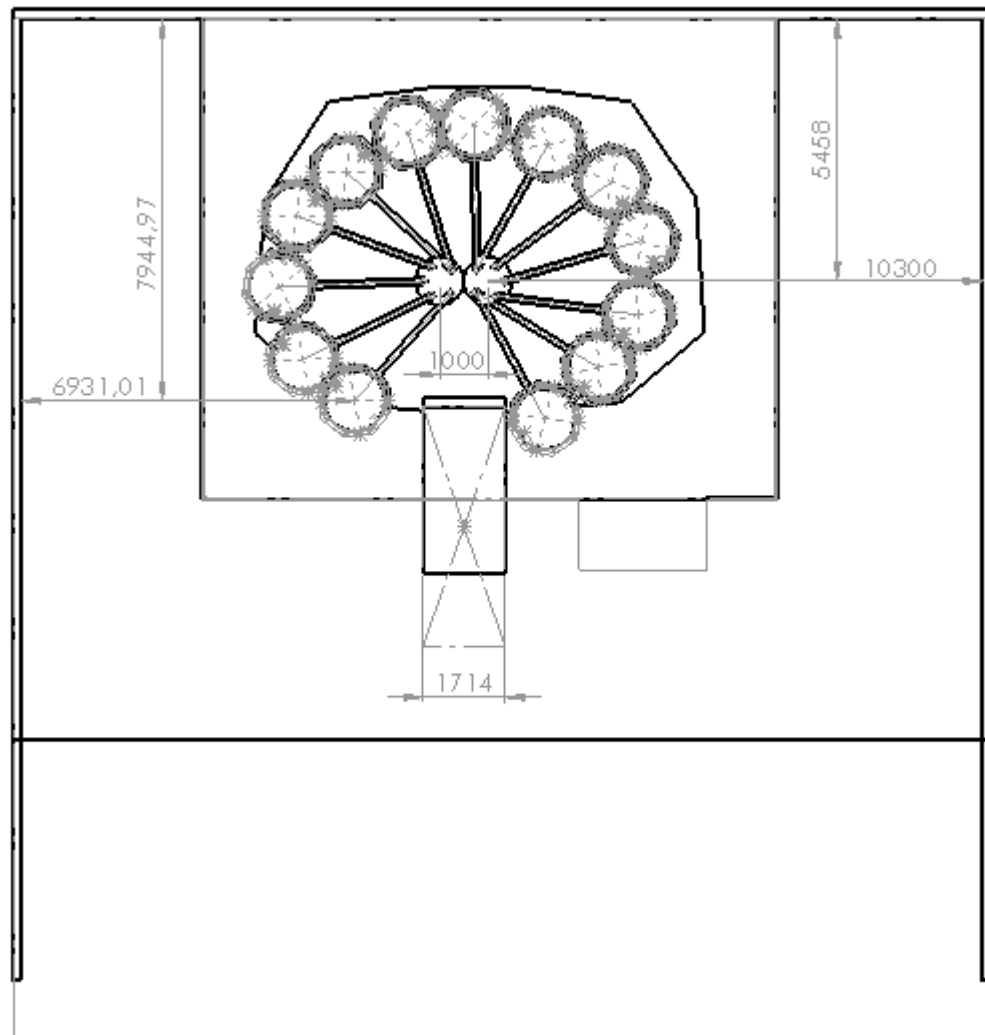
Öhrnberg. J. Kauppalehti 2013. Ylivieskalainen Bet-Ker tekee tulenkestävää bisnestä. Luettu 29.10.2013. [www.kauppalehti.fi/omayritys/ylivieskalainen+bet-ker+tekee+tulenkestavaa+bisnesta/20110888749](http://www.kauppalehti.fi/omayritys/ylivieskalainen+bet-ker+tekee+tulenkestavaa+bisnesta/20110888749)



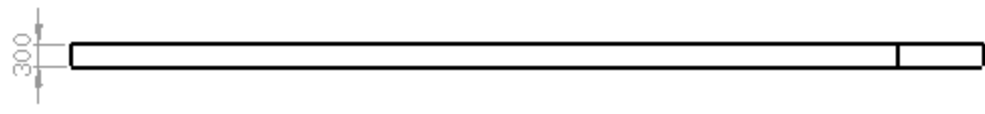
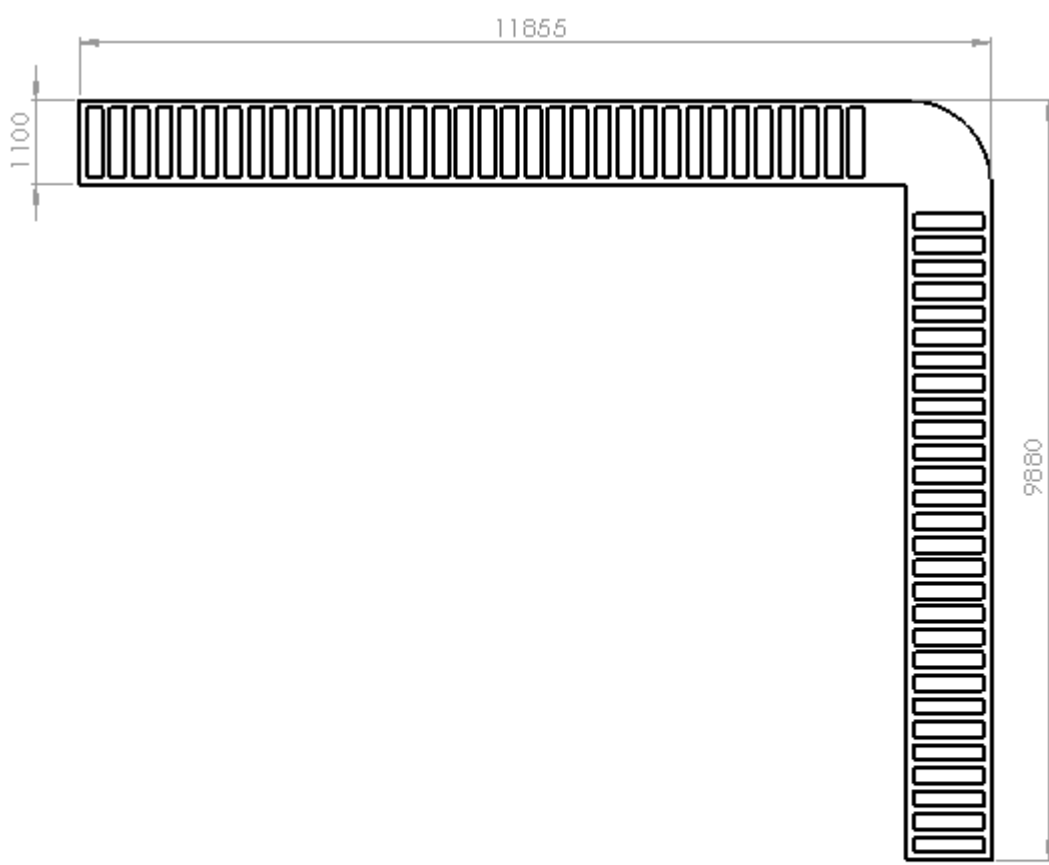
## Kävelytasanteen mitat



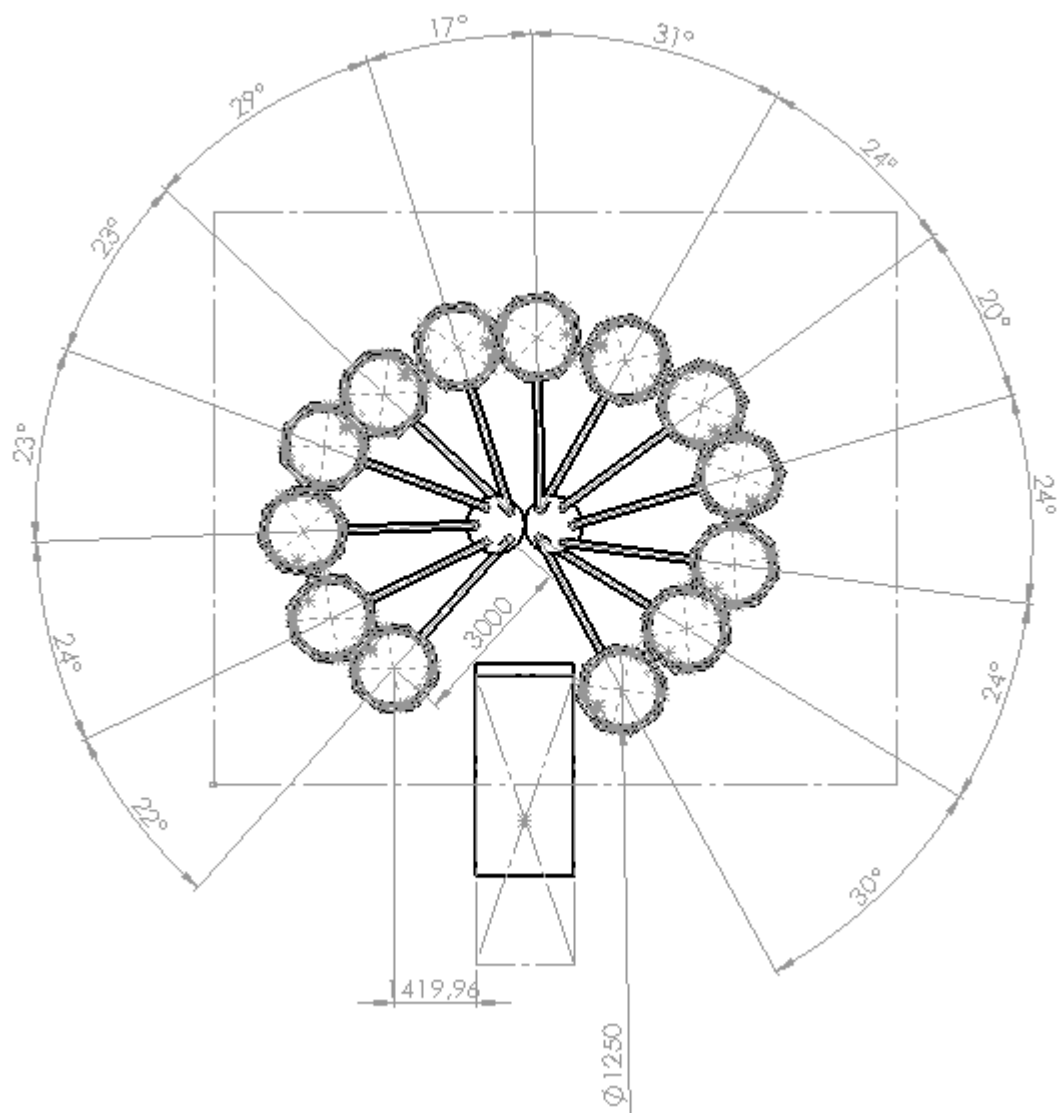
Punnitusaseman sijainti



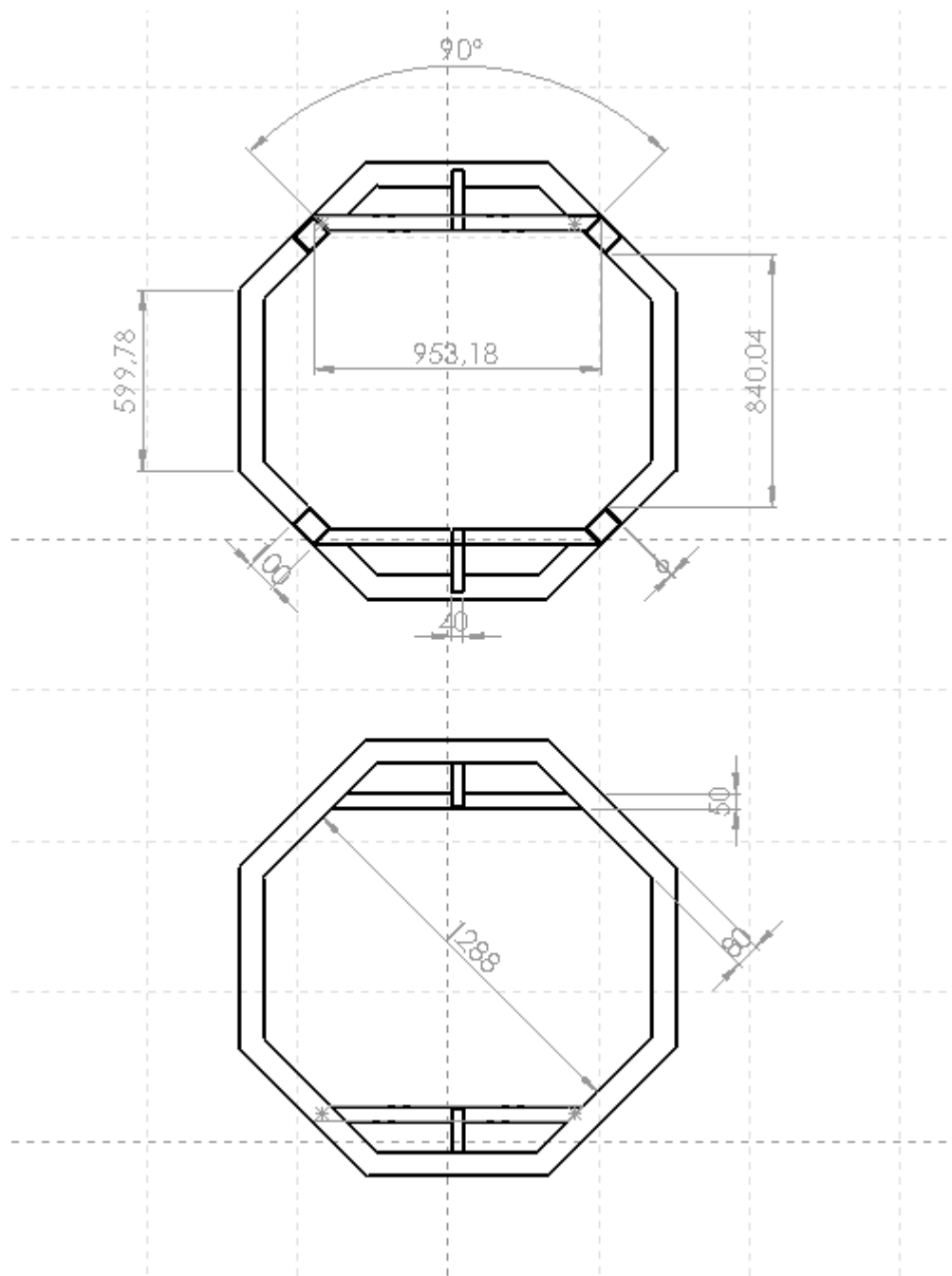
Rullarata



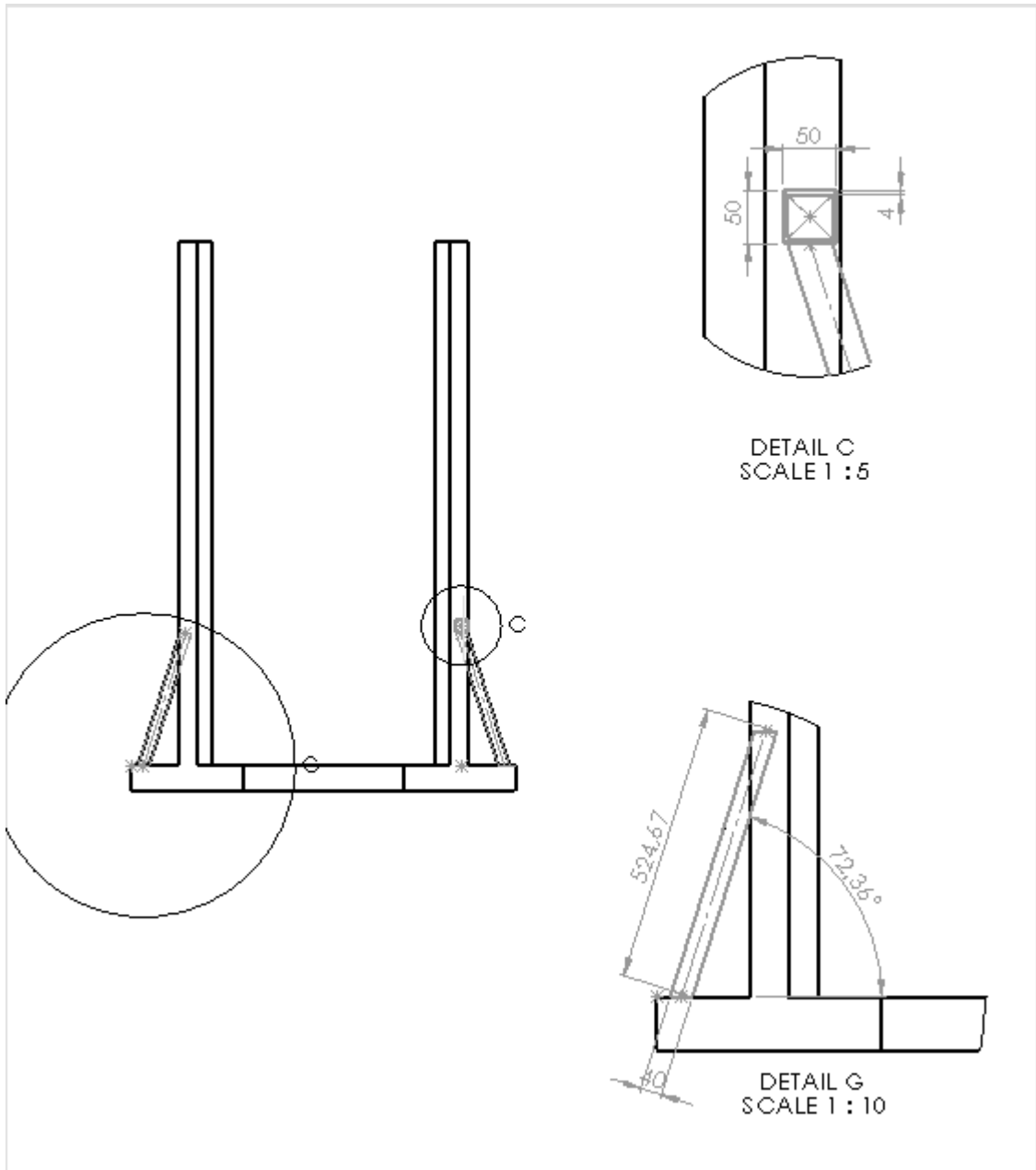
Lisäainesilojen sijoittelu



## Uusi tukirakenne



## Uusi tukirakenne



## Uusi tukirakenne

