

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

2019

Jere Johansson

LASTILUUKUN LASKENTAPROSESSI JA LASKENTAMALLIN MÄÄRITYS

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

2019 | 46 sivua

Tekijä Jere Johansson

LASTILUUKUN LASKENTAPROSESSI JA LASKENTAMALLIN MÄÄRITYS

Opinnäytetyö tehdään MacGregor Finland Oy:lle, joka kuuluu Cargotec-konserniin. Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja rakentaa konfiguroitava 3d-malli irtolastilaivan lastiluukkujen lujuuslaskentaan. Lastiluukun lujuuslaskentamallin suunnittelu ja toteutus kuvataan tässä opinnäytetyössä.

Uuden lujuuslaskentamallin suunnittelemisen aloitettiin keräämällä vanhaa dataa aikaisemmasta lujuuslaskentamallista sekä määrittämällä uudet parametrit uudelle lujuuslaskentamallille. Uudet parametrit perustuivat aikaisemman lujuuslaskentamallin käyttäjäkokemuksiin.

Lujuuslaskentamalli on 3d-pintamalli, joka mallinnettiin SolidWorksin 3D CAD-ohjelmistolla. Mallia ohjataan Tacton-konfiguraattorilla, jolla malli päivitetään haluttuun konfiguraatioon. Konfiguraattori luotiin Tacton Design Automation -ohjelmistolla.

ASIASANAT:

Lujuuslaskentamalli, Pintamalli, Konfiguraattori, Lastiluukku

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and production engineering

2019 | 46 pages

Author Jere Johansson

DESIGNING A STRENGTH CALCULATION MODEL FOR HATCH COVERS

The thesis was commissioned by MacGregor Finland Oy, which is part of Cargotec Group. The purpose of this thesis was to design a new strength calculation model for hatch covers. This new strength calculation model will be used in designing hatch covers for bulk cargo and general cargo vessels. The process of designing a strength calculation model is described in this thesis.

Designing the new strength calculation model began by collecting old data from a previous strength calculation model. The new strength calculation model has upgraded parameters which are based on the user experience of the previous strength calculation model.

The strength calculation model is a 3D surface model created with SolidWorks 3D-CAD software. The strength calculation model also has its own configuration interface. The configurator was created with Tacton Design Automation software.

KEYWORDS:

Strength calculation model, Surface modelling, Configurator, Hatch cover

SISÄLTÖ

SANASTO

1 JOHDANTO	1
2 KÄYTÖSSÄ OLEVAN LUJUUSLASKENTAMALLIN MÄÄRITTÄMINEN	3
2.1 Nykyinen irtolastiluukun lujuuslaskentamalli	3
2.2 Lujuuslaskentamallin perusrakenne	3
2.3 Vanhan lujuuslaskennan 3d-malli	7
2.4 Tacton Automation Design -konfiguraattorin vaikutus	8
3 PINTAMALLINNUKSEN PERUSTEET	9
3.1 SolidWorks 3D-CAD -ohjelmisto	9
3.2 Top-down -mallinnustekniikka	9
3.3 Tacton Design Automation -konfiguraattori	11
4 LUJUUSLASKENTAMALLIN SUUNNITTELU	13
4.1 Vanhan lujuuslaskentamallin epäkohdat	13
4.2 Uuden lujuuslaskentamallin vaatimukset ja käyttötarkoitus	13
4.3 Lujuuslaskentamallin muodon määrittäviä tekijöitä	14
4.4 Lujuuslaskentamallin skeletonin ja 3d-mallin pääpiirteet	16
4.5 Tacton -käyttöliittymän suunnittelemisen	16
5 LUJUUSLASKENTAMALLIN SKELETONIN MALLINTAMINEN	18
5.1 Lujuuslaskentamallin toteuttaminen	18
5.2 Skeletonin mallintaminen	18
6 3D-PINTAMALLINNUS	26
6.1 Pitkittäisuumien mallintaminen	26
6.2 Poikittaisuumien mallintaminen	28
6.3 Kansilevyn jäykisteet	29
6.4 Tyypillisen pohjalevyn jäykisteet	30
6.5 Painolastiluukun pohjanlevyn jäykisteet	31
6.6 Kansilevyn ja pohjalevyn mallinnus	32
6.7 Muiden lisärakenteiden mallintaminen	33

7 TACTON -KONFIGURAATTORIN RAKENTAMINEN	34
7.1 Konfiguraattorin rakenne	34
7.2 Skeletonin ohjaus	36
7.3 3d-mallin ohjaus	36
7.4 Käyttöliittymän käyttö ja prosessivaiheet	37
7.4.1 Käyttöliittymän ensimmäinen vaihe	37
7.4.2 Käyttöliittymän toinen ja kolmas vaihe	40
8 PÄÄTELMÄ LUJUUSLASKENTAMALLIN PROSESSIN KUVAAMISESTA	42
8.1 Mallintamisen ongelmakohtia	42
8.2 Lujuuslaskentamallin päivitys nopeuden testaaminen	43
8.3 Testaamisen lopputulos	44
9 YHTEENVETO	45
LÄHTEET	46

KUVAT

Kuva 1. Bulk folding -lastilaivan lastiluukut.	1
Kuva 2. General cargo -laiva folding -lastiluukuilla.	2
Kuva 3. Nykyinen lujuuslaskentamallin.	4
Kuva 4. Lastiluukkujen järjestys laivassa.	5
Kuva 5. Vanhan lujuuslaskentamallin teräsrakenteita.	7
Kuva 6. Esimerkki skeleton-osasta.	9
Kuva 7. Skeleton-osalle on tehtyjä konfiguraatioita.	10
Kuva 8. Skeleton-kokoonpanon rakennepuu.	11
Kuva 9. Tactonin konfiguraattorin säännöstöön perustuva prosessikaavio.	17
Kuva 10. Poikkileikkaus lastiluukusta.	19
Kuva 11. Lujuuslaskentamallin MVP:n ja CL:n suuntaiset poikkileikkaukset.	20
Kuva 12. Kaikkien poikittaisuumien tasot, kuva on ruuma-aukon suuntainen.	21
Kuva 13. Pitkittäisien uumien paikoitus lastiluukussa.	22
Kuva 14. Tyypillisen lastiluukun pohjalevyn jäykiste.	23
Kuva 15. Paneeli yhden pohjalevyn rakenne.	24
Kuva 16. Reunarauta on jaettu neljään osaan johtuen kolmesta poikittaisuumasta.	27
Kuva 17. Lastiluukun ja ruuman aukon peittävä GAP-levy.	28
Kuva 18. Tyypilliset pohjalevyn jäykisteet.	30
Kuva 19. Painolastiluukun pohjalevyn jäykisteet.	31
Kuva 20. P1- & P2-kansi- ja pohjalevykentät.	32

Kuva 21. Hold down.	33
Kuva 22. Tacton Design Automation Studion rakennepuu ja sen osat.	35
Kuva 23. Tacton Design Automation Studiossa 3d-pintamallin piirteiden kartoitus.	37
Kuva 24. Käyttöliittymän ensimmäisen vaiheen ulkoasu.	38
Kuva 25. Lastiluukun päämittojen määrittäminen käyttöliittymässä.	39
Kuva 26. Lastiluukun teräsrakenteiden valinta ja paikoitus käyttöliittymässä.	40
Kuva 27. Käyttöliittymän toinen vaihe.	41

TAULUKOT

Taulukko 1. Vanhan lastiluukun teräsrakenteet ja niiden lyhenteet.	6
Taulukko 2. Tyypilliseen irtolastiluukuun tarvittavat lähtöparametrit.	15
Taulukko 3. Lujuslasketamallin konfiguroinnin läpimenoaikoja.	43

SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys
2d	Kaksiulotteinen
3d	Kolmiulotteinen
Attribuutti	Määrite tai käsite
Bulk folding	Irtolastilaivan lastiluukku tyyppi
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu
CL	Lastiluukun pitkittäinen keskilinja
GAP	Reunaraudan ja karvelin pinnan välinen etäisyys
General cargo	Yleinen rahti
Hold down	Painolastiruuman lastiluukun kiinnike
Kartoitus	Tacton Design Automation Studiossa määritetään piirre tai joku muu objekti vastaamaan attribuuttia ohjelmassa
Karveli	Laivassa olevat lastiluukun pedin teräsrakenteet
Konfiguraattori	Konfiguroinnin säännöstö
Konfigurointi	Prosessi, jossa käyttäjä määrittää konfiguraattoriin halutut parametrit.
MVP	Poikittainen keskilinja
P1	Paneeli yksi
P2	Paneeli kaksi
Pad	Z-suuntaisen voiman tukipiste
Parametri	Arvo
RORO	Roll-On-Roll-Off
Sektor	Pala isommasta kokonaisuudesta
Skeleton	Luurankomalli
Split	SolidWorks 3D-CAD ohjelmistossa oleva jakotoiminto
Top-down	Mallinnus tapa
Uuma	Pystysuuntainen teräslevy

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on kehittää MacGregor Finland Oy:n lujuuslaskennan työkaluja. Työnä suunnitellaan ja mallinnetaan uusi lujuuslaskentamalli, jota tultaisiin käyttämään irtolaiva- ja yleislastilaivan lastiluukun laskentaan. Opinnäytetyö sisältää neljä vaihetta, jotka ovat työn suunnittelu, 3d-pintamallinnus, lujuuslaskentamallin konfiguraattorin luominen sekä mallin toimivuuden määrittäminen. Työ tehdään sen takia, että MacGregor Finland Oy on todennut, että vanhan lujuuslaskentamallin käyttäminen on ollut hidasta ja vaativaa.

Irtolaiva- ja yleislastilaivan lastiluukusta on olemassa entuudestaan lujuuslaskentamalli. Lujuuslaskentamalli on integroituna irtolaiva- ja yleislastilaivan pääsuunnittelumalliin. Lujuuslaskentamalli perustuu bulk folding -lastiluukun teräsrakenteeseen. Bulk folding -irtolaiva on esitetty kuvassa 1, ja kuvassa 2 on esitetty general cargo -laiva eli yleislastilaiva. Uusi lujuuslaskentamalli toimisi itsenäisenä mallina, joka olisi tulevaisuudessa muokattavampi malli kuin edeltäjänsä. Samalla uuteen lujuuslaskentamalliin tuotaisiin uusia ominaisuuksia, joilla päästäisiin nopeampiin lujuuslaskentasuorituksiin ja tarkemmin räätälöityihin teräsrakennusratkaisuihin.



Kuva 1. Bulk folding -lastilaivan lastiluukut.



Kuva 2. General cargo -laiva folding -lastiluukuilla.

Lujuuslaskentamallin rakenne spesifioidaan siten, että lujuuslaskentamalli tulee soveltu-
maan kahden erityyppisen rahtilaivan lastiluukkujen lujuuslaskentaan. Lujuuslaskenta-
mallia pitää pystyä käyttämään yleisen rahtilaivan rahtiluukkujen ja irtolastiluukkujen las-
kennassa. Lujuuslaskentamallin kehitystyötä tullaan myös jatkamaan opinnäytetyön jäl-
keenkin.

MacGregor Group AB kuuluu Cargotec Oyj konserniin ja työllistää 1879 henkilöä 32
maassa (Cargotec 2018). MacGregor Finland Oy toimii Suomessa ja yrityksen päätoi-
misto sijaitsee Kaarinassa. MacGregor Finland Oy työllistää 127 henkilöä (Suomen asia-
kastieto Oy 2019). MacGregorin tuotteita tapaa laivoissa, offshoressa ja satamissa. Mac-
Gregorin tuoteperheeseen kuuluvat seuraavat tuotteet: lastiluukut, lastin kiinnitysjärjes-
telmät, RORO-järjestelmät, nosturit, peräsinkoneistot sekä laivavinsit. MacGregor
Group AB:n liikevaihto oli 538 miljoonaa euroa vuonna 2018 (MacGregor 2018).

2 KÄYTÖSSÄ OLEVAN LUJUUSLASKENTAMALLIN MÄÄRITTÄMINEN

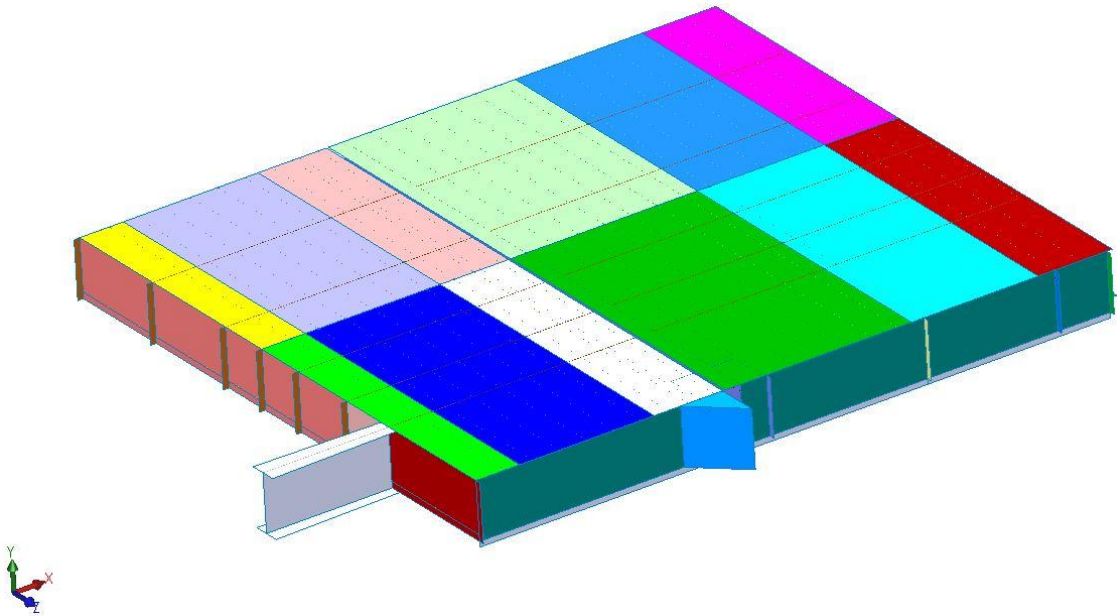
2.1 Nykyinen irtolastiluukun lujuuslaskentamalli

Käytössä oleva lujuuslaskentamalli on integroituna irtolastiluukun pääsuunnittelumalliin. Tämä integrointi mahdollistaa päämallin ja lujuuslaskentamallin yhtäaikaisen konfiguroinnin samanaikaisesti. Päämallia konfiguroidessa lujuuslaskentamallin parametrit muuttuvat samassa suhteessa. Tämän molempien mallien yhtäaikaisen konfiguraation päivittämisen mahdollistaa skeleton -mallinnustekniikka. Toisaalta tämä myös tarkoittaa sitä, että vanhaa lujuuslaskentamallia ei pystynyt käyttämään yksinään. Lastiluukun päämalli oli konfiguroitava riittävän pitkälle, että lujuuslaskentamalli päivittyi riittäviin parametreihin. Tämän jälkeen lujuuslaskentamalli voitiin tallentaa omaksi tiedostokseen, jonka jälkeen pintamalli voitiin jakaa lujuuslaskijoille käyttöön. Päämallin konfiguroinnista vastaa Tacton Design Automaatio -konfiguraattorilla luotu käyttöliittymä, jossa käyttäjä itse voi määrittää mallin parametrejä.

Muita puutteita vanhassa lujuuslaskentamallissa oli liian vähäinen pohja- ja kansilevyn jäykistäjien määrä (Keskustelu Sampsa Kalinen 2017). Lujuuslaskija ei pystynyt optimoimaan lujuuslaskentamallin teräsrakennetta siten, että saavutettaisiin mahdollisimman kevyin rakenne, jolloin teräsrungon paino olisi mahdollisimman vähäinen. Vanhassa lujuuslaskentamallissa ei pystytty muuttamaan pohja- ja kansilevyn jäykistäjien palkki-välejä, jolloin levykentän lommahdus määritti pohja- ja kansilevyn paksuuden. Parhaisiin laskennallisiin arvoihin pääsemiseksi lujuuslaskijoiden olisi pitänyt itse muokata teräsrakenteiden positioita, mikä oli lujuuslaskijoiden mielestä haastavaa.

2.2 Lujuuslaskentamallin perusrakenne

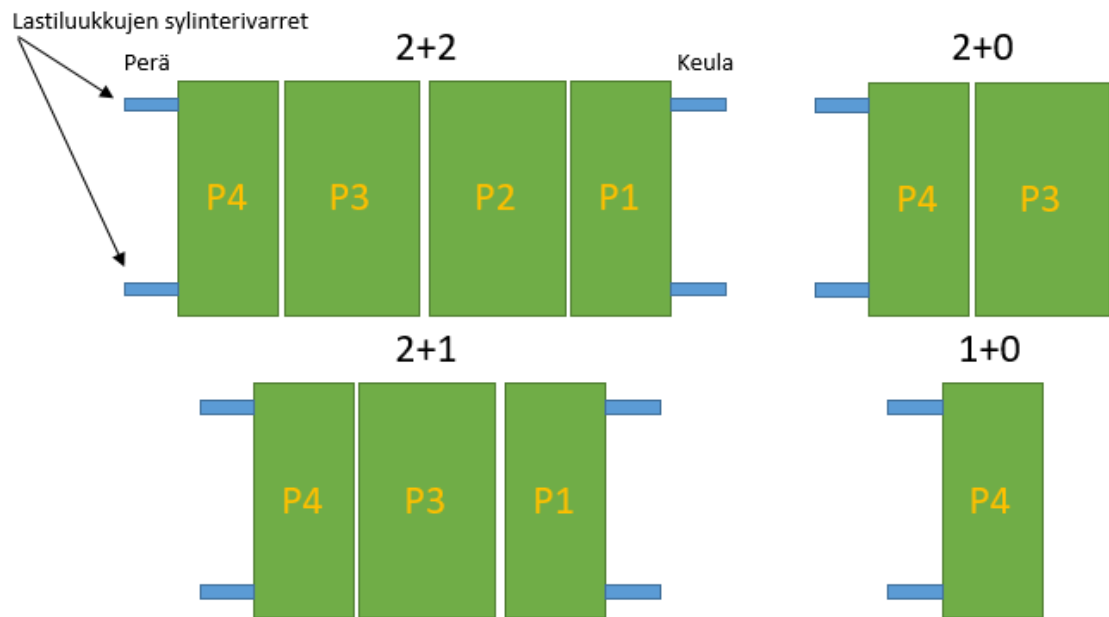
Lujuuslaskentamalli on mallinnettu SolidWorks CAD-ohjelmistolla. Lujuuslaskentamalli on pintamalli. Pintamallin teräslevykillä ei ole paksuutta, joten malli on alun perin painoton. Paksuudet pintamallin teräslevyille määritetään vasta lujuuslaskentaohjelmassa, jossa jokaiselle teräslevylle määritetään oma paksuus, jolla lujuuslaskenta suoritetaan. Lujuuslaskennassa ei tarvita koko mallia vaan puolikas 3d-malli riittää, koska paneelit ovat symmetriset, kuten kuva 3 osoittaa.



Kuva 3. Nykyinen lujuuslaskentamallin.

Tyypillisen lastiluukun lujuuslaskennassa ei vaadita kokonaista lujuuslaskentamallia. Täten lujuuslaskennassa riittää, että tutkitaan vain puolikkaaseen paneelin kohdistuvia voimia. Tämä tyypillinen voima on sääkuorma, joka kohdistuu tasaisesti lastiluukun kansi-levyyn. Painolastiruuman lastiluukun laskennassa tarvitaan kokonainen 3d-malli, koska ruumaan kohdistuva hydrostaattinen paine on epäsymmetrinen kolmiokuorma. 3d-mallista saadaan kokonainen luukku-malli, kun sen toisen puolen rakenteet peilataan myös toiselle puolelle. Kuvassa 3 olevat värilliset alueet esittävät levykenttien kokoja lastiluukussa ja levykentät vastaavat teräslevyjä lastiluukussa. Levykenttien pinta-ala on yhtenevä päämallin kanssa. Pintamallilla ei ole omaa skeletonia, vaan sen rakenne päivittyy samalla kuin päämallin rakenne päivittyy. Päämalli ja lujuuslaskentamalli käyttävät siis samaa skeletonia.

Irtolastilaivassa yleisesti laivasta riippuen lastiluukkujen järjestely voi olla esimerkiksi 2+2, 2+1, 2+0 tai 1+0. Kuvassa 4 on esitetty lastiluukkujen järjestys perästä keulaan päin. Paneelit voidaan nimetä paneeli yksi, paneeli kaksi, paneeli kolme ja paneeli neljä. Symmetriasääntö on voimassa myös lastiluukun pituussuuntaisesti, jolloin lujuuslaskentamallissa ei vaadita kuin kaksi paneelia maksimissaan. Tässä mallissa on mallinnettu paneeli neljä ja paneeli kolme.



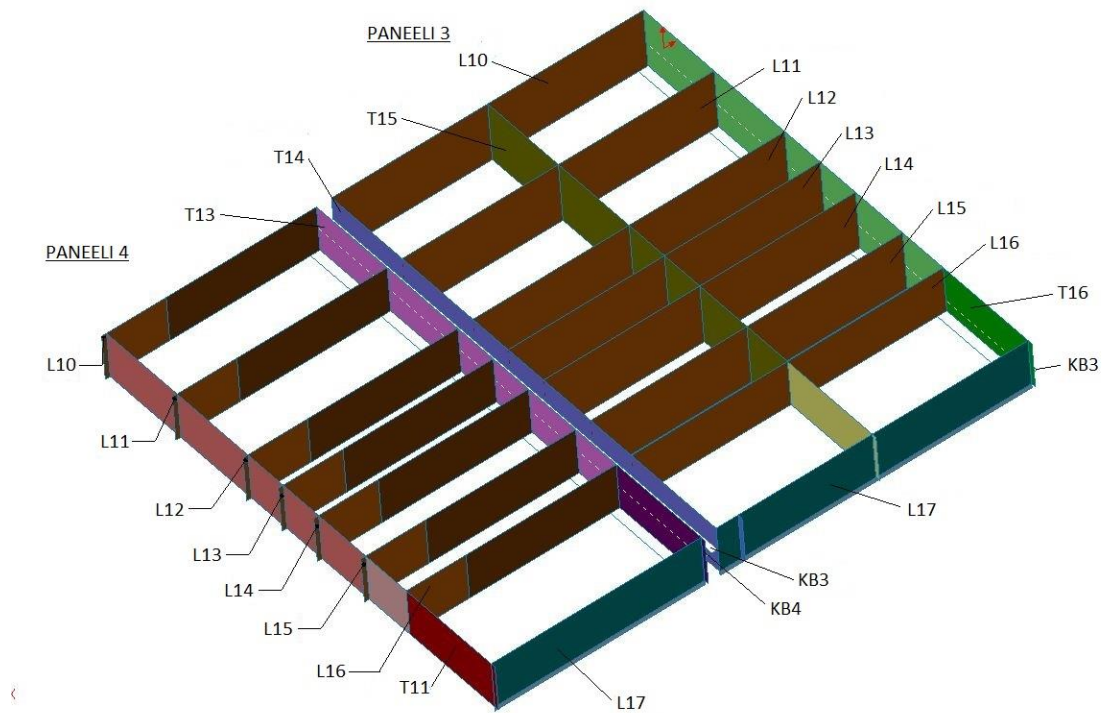
Kuva 4. Lastiluukkujen järjestys laivassa.

Pintamallin pintojen muodot ovat tuotu "convert entities"-komennolla luurankomallista. Näin ollen pintamalli elää luurankomallin muuttuessa. Tällöin itse pintamallin luonnoksia ei tarvitse mitoittaa.

Lujuuslaskentamallin täytyy pitää sisällään kaikki tarvittavat teräsrakenteet, jotta lujuuslaskentaa voidaan suorittaa. Irtolastilaivan lastiluukun määrittämiseen tarvitaan siis kaikki seuraavat teräsrakenteet, jotka on esitetty taulukko 1 ja merkitty kuvaan 5.

Taulukko 1. Vanhan lastiluukun teräsrakenteet ja niiden lyhenteet.

Irtolastilaivan lastiluukun lujuuslaskentamallin teräsrakenteet			
Panel 4	Lyhenne	Panel 3	Lyhenne
Pitkittäisuuma	L16	Pitkittäisuuma	L16
Pitkittäisuuma	L15	Pitkittäisuuma	L15
Pitkittäisuuma	L14	Pitkittäisuuma	L14
Pitkittäisuuma	L13	Pitkittäisuuma	L13
Pitkittäisuuma	L12	Pitkittäisuuma	L12
Pitkittäisuuma	L11	Pitkittäisuuma	L11
Pitkittäisuuma	L10	Pitkittäisuuma	L10
Reunarauta	L17	Reunarauta	L17
Päätyuuma	T11	Saranauuma	T14
Saranauuma	T13	Poikittäisuuma	T15
Päätysaranan varsi	HINGE	Liitosuuma	T16
Tiivisterauta	KB4	Tiivisterauta	KB3
Tyypillinen pohjan jäykiste	T-STIFF	Tyypillinen pohjan jäykiste	T-STIFF
Painolasti pohjan jäykiste	B-STIFF	Painolasti pohjan jäykiste	B-STIFF
Kansilevyn jäykiste	T-STIFF	Kansilevyn jäykiste	T-STIFF
Pohjalevy	BP4	Pohjalevy	BP3
Kansilevy	TP	Kansilevy	TP



Kuva 5. Vanhan lujuuslaskentamallin teräsrakenteita.

2.3 Vanhan lujuuslaskennan 3d-malli

Top-down -mallinnustekniikassa luodaan yksi pääosa, jonka ympärille rakennetaan koko kokoonpano. Tätä osaa kutsutaan skeletoniksi tai luurangoksi. Skeleton pitää sisällään mallin koordinaatiston, kaikki tarvittavat luonnokset, muiden osien kiinnityspisteet sekä tasot. Skeletonissa on kaikki tarvittava rakenteellinen tieto, mitä komponentit kokoonpanossa tarvitsevat.

Skeleton -mallinnustekniikka on yleisesti käytössä kaikissa MacGregorin Finland Oy:n 3d-malleissa, joten uudessa lujuuslaskentamallissa tullaan hyödyntämään myös luuranko-mallinnustekniikka. Lastiluukku tuotteena soveltuu erinomaisesti luuranko-mallinnustekniikalle, koska mallin tarvitsee elää projekti kohtaisesti. Esimerkiksi ruuman aukon koko muuttuu aina projektikohtaisesti tai lastiluukun korkeus täytyy olla muutettavissa.

Luurankomallinnuksen hyöty on se, että kokoonpanon pääosan ympärille rakennetaan koko muu kokoonpano. Näin tehtäessä kaikki tarvittava tieto voidaan sijoittaa yhteen osaan, jolloin 3d-mallin ylläpito yksinkertaistuu.

2.4 Tacton Automation Design -konfiguraattorin vaikutus

Irtolastiluukkumallia ohjataan Tacton Design Automation -konfiguraattorilla. Tacton Design Automation on lisäosa SolidWorksiin. Tacton Design Automation auttaa automatisoimaan suunnittelua ja säästää suuria määriä suunnittelu tunteja. Tactonin avulla voidaan automaattisesti räätälöidä 3d CAD-malleja ja 2d piirustuksia (Tacton 2018). Tacton konfiguraattorilla voidaan ohjata esimerkiksi mittojen pituuksia, osien ja kokoonpanojen näkyvyyttä, piirustuksen kuvantojen paikkaa, piirustuksien kuvantojen näkyvyyttä. Tactoniin voidaan luoda säännöstöjä, joiden mukaan Tacton osaa ohjaa piirteitä päälle ja pois näkyvistä.

Irtolastiluukussa skeleton-osaa ja 3d-malli osaa ohjataan Tacton Design Automation -konfiguraattorilla. Skeletonin parametrit koostuvat mitoista, kun taas 3d-malli piirteistä. 3d-CAD-mallissa taas ohjataan pintamallin pintojen näkyvyyttä päälle ja pois.

3 PINTAMALLINNUKSEN PERUSTEET

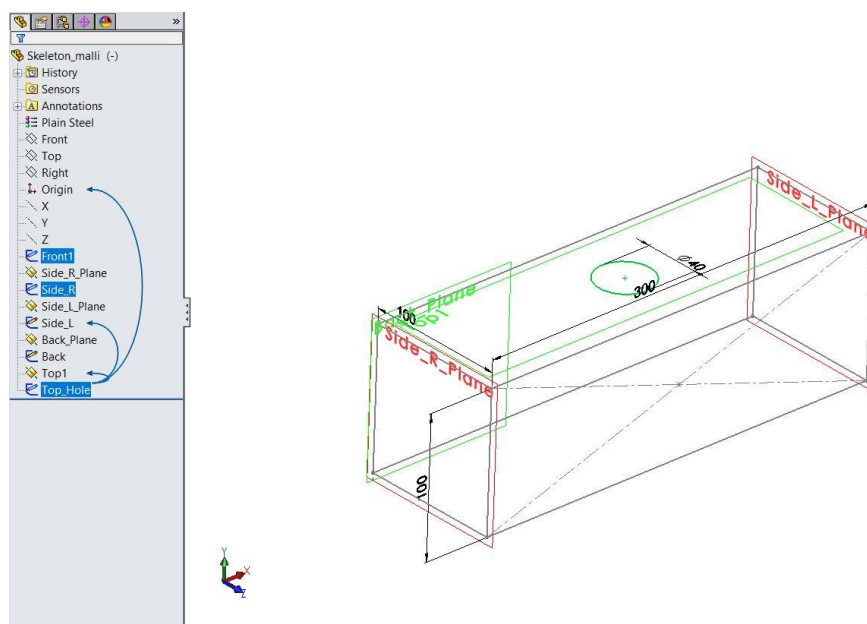
3.1 SolidWorks 3D-CAD -ohjelmisto

SolidWorks 3D-CAD -ohjelmiston tuottaa Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (SolidWorks 2019). Yhtiö tarjoaa 3d-työkaluja insinööreille ja suunnittelijoille. Opinnäytetyötä tehtäessä SolidWorks Online Help -dokumentaatio avusti opinnäytetyön lujuuslaskentamallin rakentamisessa (SolidWorks Online Help 2019). Kaikki opinnäytetyössä käytetyt SolidWorks 3D-CAD -ohjelmiston toiminnot ja top-down -mallinnustapa on kuvattu ohjelmiston avustussivustolla.

3.2 Top-down -mallinnustekniikka

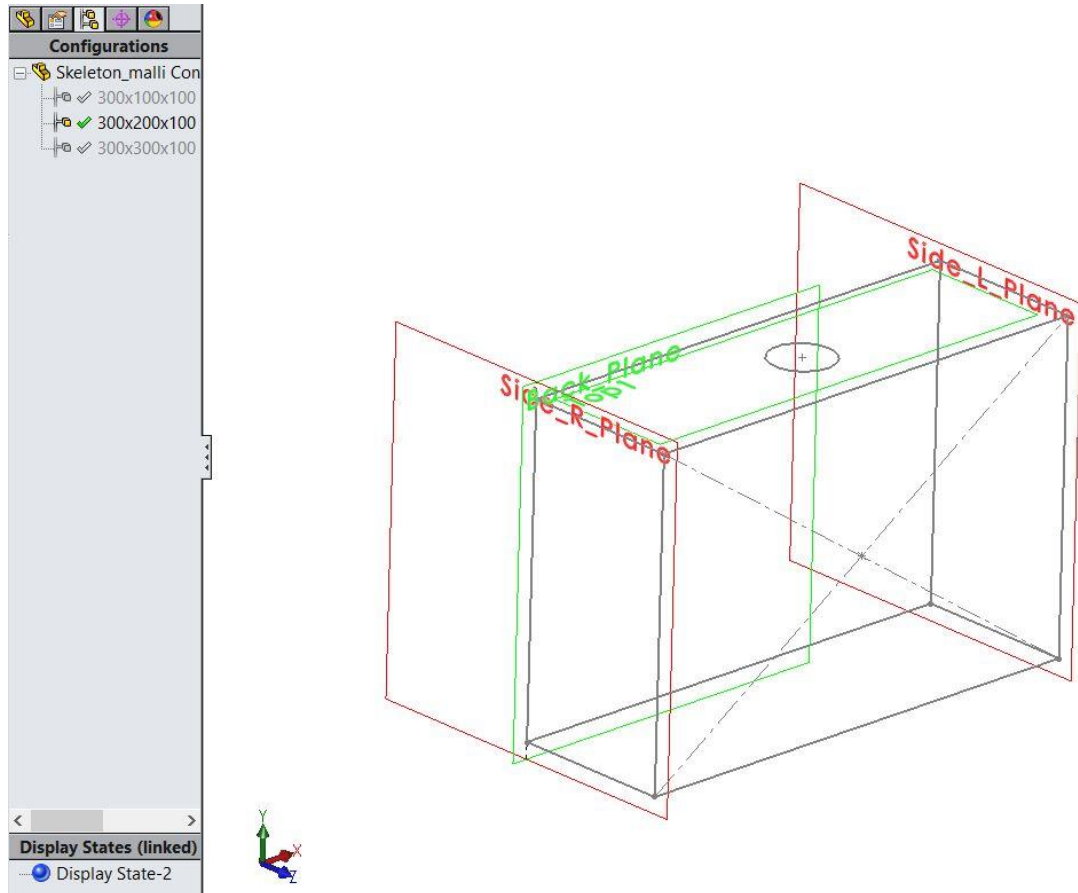
Top-down -koonpanon mallinnustavassa yksi tai useampi kappaleessa vaikuttava piirre määrittää kokoonpanossa jotain toista osaa. Näitä voi olla esimerkiksi luonnos tai toisen osan geometria (Top-Down Design 2019).

Kuvassa 6 on esimerkki top-down -mallinnustavasta. Skeleton-osaan on sisällytetty kaikki tarvittava tieto 3d-mallista 2d-luonnoksina. Mittoja muokkaamalla saamme muutettua osan kokoa ilman, että jokaista osaa tarvitsisi erikseen käydä muokkaamassa.

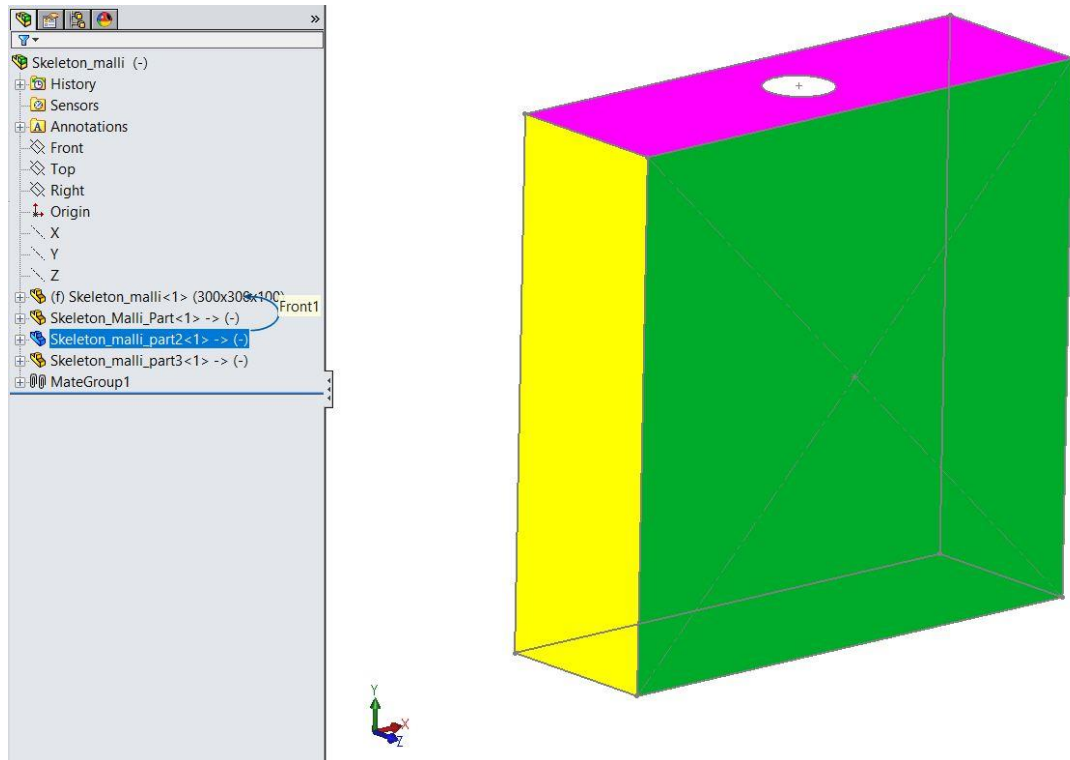


Kuva 6. Esimerkki skeleton-osasta.

Skeleton-komponentissa on luonnosteltu kaikki tarvittava tieto komponenttien muodosta. Käytännössä skeleton on 3d-malli, joka on tuotettu 2d-luonnoksilla. Skeleton -mallinnus-tekniikka on oivallinen, jos samasta kappaleesta tarvitaan monia eri koko konfiguraatioita. Kaikki tarvittavat koot voidaan tehdä itse skeleton-osaan konfiguraatioina kuvan 6 osoittamalla tavalla. Myös kuvassa 7 osoitetaan, miten mallin muoto on muuttunut.



Kuva 7. Skeleton-osalle on tehtyjä konfiguraatioita.



Kuva 8. Skeleton-kokoonpanon rakennepuu.

Kuvassa 8 osoitetaan skeleton-kokoonpanon rakennepuu. Skeleton-kokoonpanossa ylimpänä on skeleton-osa, josta kaikki muut alemmat osat hakevat tarvittavat tasot ja luonnoksensa. Jos skeleton-osan konfiguraatiota vaihdettaisiin, kokoonpanon muut osat seuraisivat skeleton-osan mitoituksen muutosta ilman, että muita osia tarvitsisi päivittää.

3.3 Tacton Design Automation -konfiguraattori

Tacton Systems AB tuottaa Tacton Design Automation –ohjelmistot. Tacton Design Automation on ohjelmistopaketti, joka on täysin optimoitu SolidWorks 3D-CAD järjestelmään. Tacton Design Automation mahdollistaa täysin automaattisesti räätälöityjä 3D-CAD mallien ja 2D-piirustuksien luomisen. Tacton Design Automation pitää sisällään ohjelmistot: Studio, Engineer ja Batch (Tacton Design Automation for SolidWorks 2019). Tacton Design Automation -ohjelmistoiden tarkoituksena on säästää suunnittelutunteja ja tehostaa myyntiä.

Tässä opinnäytetyössä hyödynnetään Tacton Design Automation -ohjelmistoja. Tacton Design Automation Engineer -ohjelmistoa käytetään CAD-mallin konfiguraation päivittämiseen, ja itse konfiguraattori luodaan Tacton Design Automation Studiolla. Studio on

oma erillinen ohjelmansa, joka on tarkoitettu konfiguraattorin rakentamiseen. Engineer ohjelmalla pystytään päivittämään SolidWorksissä CAD-mallia. Molemmat ohjelmistot toimivat myös apuohjelmina SolidWorksissä.

Konfiguraattorin luomisessa käytetään avuksi Tacton Design Automation Studion ohjelman sisäistä aputoimintoa, joka pitää sisällään TCstudio reference manual 4.7 ja Modeling Reference Manual 4.7 (Tacton Configuration Studio 4.7.3).

4 LUJUUSLASKENTAMALLIN SUUNNITTELU

4.1 Vanhan lujuuslaskentamallin epäkohdat

Aiemmin käytössä ollut integroitu lujuuslaskentamalli oli riittävä lujuuslaskentaan ja lujuuslaskentamallilla päästiin riittävän hyviin tuloksiin. Käyttökokemusten kertyessä laskentamallissa huomattiin, että lujuuslaskentamalli, joka perustuu täysin päämallin suunnittelurakenteeseen ei välttämättä ole paras mahdollinen laskentamalli lujuuslaskentaan. Lujuuslaskennan aikana mallin optimoiminen laskentaan oli hankalaa ja työlästä. Lujuuslaskijat toivoivat, että malli olisi helpompi käyttää ja käyttöliittymä olisi ulkonäöltään nykyistä selvempi.

4.2 Uuden lujuuslaskentamallin vaatimukset ja käyttötarkoitus

Uutta lujuuslaskentamallia lähdettiin määrittelemään siten, että sen täytyy olla yhteensopiva vanhan irtolastiluukun kokoonpanon kanssa, eli mallien pitää pystyä keskustelemaan keskenään, mutta uudesta lujuuslaskentamallista tehdään täysin suunnittelumallista riippumaton. Malli ei siis tarvitse alkuperäistä irtolastiluukun päämallia toimiakseen. Vanhat puutteet alkuperäisestä laskentamallista paikataan, eli pitkittäisuumien ja poikittaisuumien manuaalinen paikoitusmahdollisuus sekä pohja- ja kansijäykisteitä lisätään. Muuten kaikki samat ominaisuudet, jotka olivat vanhassa laskentamallissa, tulevat uuteen laskentamalliin. Uutena ominaisuuksina malliin lisätään alas laskettava pohjalevyn rakenne. Alas laskettava pohjarakenne tulee paneeli neljään ja esitetty kuvissa 19 ja 20. Paneelissa pohjalevy voidaan siis laskea alemmas karvelin tasosta.

Lujuuslaskijoiden toivomus oli, että mallia voitaisiin mahdollisesti käyttää myös yleisen lastin rahtilaivojen lastiluukkujen laskennassa. MacGregor Finland Oy:llä ei ole SolidWorksilla tehtyä 3d-mallia yleisen lastin rahtilaivojen lastiluukun lujuuslaskentaan. Asiaa lähdettiin pohtimaan, olisiko mahdollista yhdistää yleinen lasti ja irtolastiluukun lujuuslaskentamallit yhdeksi malliksi. Keskusteluissa tultiin siihen ratkaisuun, että konfiguroitavaa lujuuslaskentamallia voitaisiin käyttää molempien laivatyyppien lastiluukkujen lujuuslaskennassa. Yleisen rahtin lastiluukun teräsrakenne ei eroa irtolastilaivan lastiluukusta niin paljoa, että projektia ei kannattaisi yrittää. Yleisen lastin rahtilaivan lastiluukun

kuissa on monimutkaisempi teräsrakenne. Tästä johtuen mahdollisten teräsrakennevariaatioiden määrä on huomattavasti suurempi. Suurimpana erona on lastiluukkurakenteessa poikittaisuumien suurempi määrä molemmissa luukuissa. Yleisesti irtolastilaivan lastiluukussa paneeli kahdessa ja paneeli kolmessa on yksi poikittaisuuma lastiluukun keskellä. Yleisen rahtilaivan lastiluukuissa niitä voi olla kolme kappaletta jokaisessa lastiluukussa. Paneeli kahteen haluttiin myös alas laskettava pohjalevyrakenne.

Lujuuslaskentamallista toivottiin myös piirustusta, josta selviäisi nopeasti tärkeimmät lastiluukun mitat. Piirustus toimisi myös havainnollistavana apuna lujuuslaskentamallin käytössä.

4.3 Lujuuslaskentamallin muodon määrittäviä tekijöitä

Mallin yhteensopivuuden takaamiseksi irtolasti lastiluukun päämallin kanssa pitää kerätä kaikki irtolastiluukun päämallista tarpeelliset parametrit, jolla mallia ohjataan. Kaikkien näiden parametrien pitää olla yhtenevät, jotta lujuuslaskennasta saadut arvot voidaan viedä takaisin irtolastiluukun päämalliin.

Taulukossa 2 on tyyppillisen lastiluukun muotoon vaikuttavia parametreja ja arviot näiden arvoista. Lujuuslaskentamalliin vaikuttavia parametriarvoja on yhteensä 30 kappaletta. Näiden parametrien perusteella määritellään lujuuslaskentamallin geometria.

Taulukko 2. Tyypilliseen irtolastiluukuun tarvittavat lähtöparametrit.

Parametrejä:	Tarkennus:	Arvo (mm):
Ruuman aukon leveys (B)		11000 - 28000
Ruuman aukon pituus (L)		8500 - 30000
Lastiluukun korkeus	Kansilevystä karvelin tasoon	700 - 1200
Paneeli GAP	Karvelin pinnasta reunaraudan alapintaan	10 - 30
Lastiluukun pohjalevyn korkeus karvelista		50 - 250
Reunaraudan leveys luukun pohjantassosta	Paneelin pohjalevyn alainen reunarautaosa	50 - 200
Kansilevyn ylitys päätyuumasta	P1	15 - 100
Kansilevyn ylitys reunaraudasta	P1 & P2	15 - 100
Kansilevyn ylitys saranauumasta	P2	50 - 250
Oletusarvo kansilevyn paksuudelle		8 - 40
Oletusarvo reunaraudan paksuudelle		10 - 20
Oletusarvo päätyuuman paksuudelle		8 - 50
Oletusarvo pohjalevyn paksuudelle		5 - 20
Tiivisteraudan etäisyys kansilevystä, kohdassa reunarauta	P1 saranauuma	400 - 900
Tiivisteraudan etäisyys kansilevystä, kohdassa CL	P1 saranauuma	60 - 200
Tiivisteraudan etäisyys kansilevystä, kohdassa reunarauta	P2 saranauuma	400 - 900
Tiivisteraudan etäisyys kansilevystä, kohdassa CL	P2 saranauuma	60 - 200
Tiivisteraudan etäisyys kansilevystä, kohdassa reunarauta	P2 saranauuma	400 - 900
Tiivisteraudan etäisyys kansilevystä, kohdassa CL	P2 saranauuma	60 - 200
Päätyuuma	P1 poikittaisten uumien nolлатaso	0
Saranauuma	P1 poikittainen uuma	1000 - 8000
Saranauumien keskiö	P1 & P2	1500 - 9500
Saranauuma	P2 poikittainen uuma	2000 - 10000
Liitosuuma	P2 poikittainen uuma	3000 - 14800
Liitosuumien keskiö	P2 & P3	3200 - 15000
L16 Pitkittäinen uuma	Etäisyys reunaraudasta	500 - 2000
Päätysaranan varren pituus	P1	500 - 2500
L11 Pitkittäisuuma	P1 & P2, Etäisyys paneelien CL:stä	100 - 2500
Kansilevyn jäykisteiden paikoitus	P1 & P2, Välimatka edellisestä jäykisteestä seuraavaan jäykisteeseen	200 - 500
Päätysaranan varren jäykisteiden paikoitus	P1, L16 pitkittäisuuman molemmin puolin	100 - 400

4.4 Lujuuslaskentamallin skeletonin ja 3d-mallin pääpiirteet

Lujuuslaskentamallille mallinnetaan oma skeleton-osa. Skeletoniin luodaan kaikki tarvittavat luonnokset levykentille, joita 3d-pintamallin mallintamisessa tullaan hyödyntämään. Kaikki tarvittavat parametrit sijoitetaan skeleton-osaan, jota ohjataan Tacton konfiguraattorilla.

Jotta lujuuslaskentamalli toimii oikein lujuuslaskentaohjelmassa, täytyy jokaisen piirteellä oma kappaleensa eli pintansa. Myös nämä levykenttien pinnat täytyy mallintaa siten, että ne eivät saa mennä toisten levykenttien läpi. Kahden uuman kohdatessa toisensa täytyy niiden risteämiskohta tulla saumakohta. Saumakohtien jälkeen uuma jatkuu uutena pintapiirteinä aina seuraavaan uumaan asti.

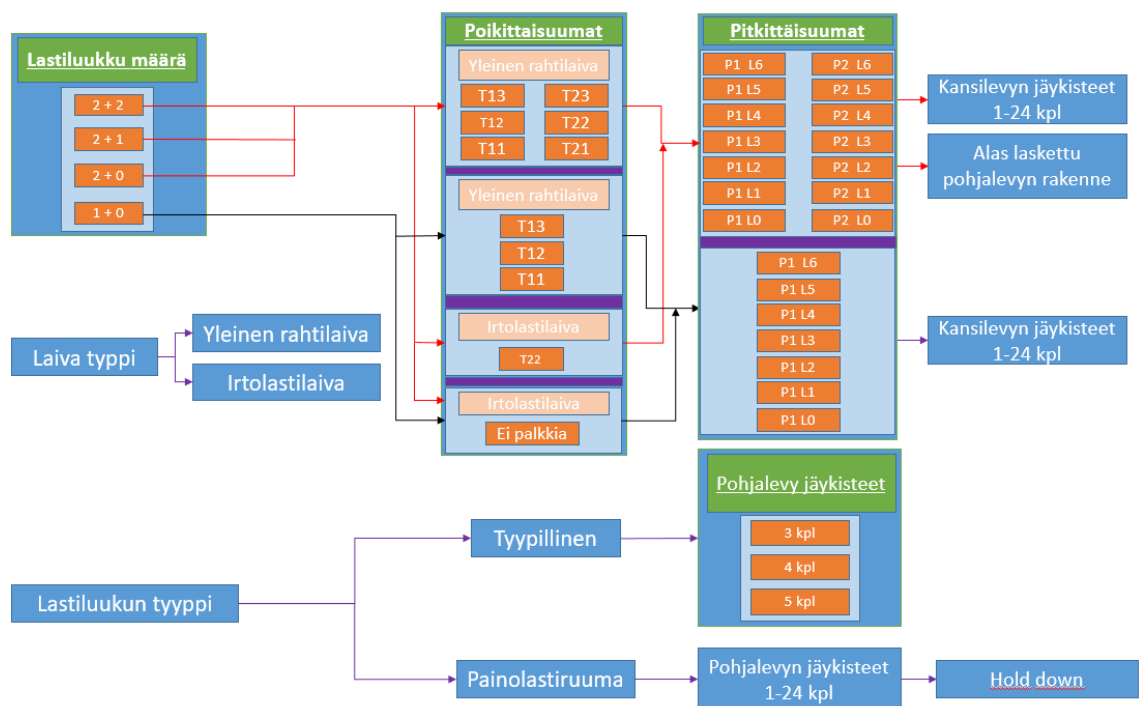
4.5 Tacton -käyttöliittymän suunnittelu

Tacton on avoin konfiguraattori, jolla voi konfiguroida käytännössä mitä vain. Se soveltuu esimerkiksi myynnin konfiguraattoriksi tai 3d CAD-mallin konfigurointiin. 3d CAD-mallin konfigurointi voi koskea esimerkiksi 3d-mallien osien tai kokoonpanojen häivytyksestä tai uudelleen aktivointia, kokoonpanojen tai osien konfiguraation muuttumista, osien mitoituksen ohjausta, osien tai kokoonpanojen piirteiden ohjausta sekä piirustuksien kuvantojen ohjauksen hallintaa.

Vanha lujuuslaskentamalli on ollut integroituna päämalliin, jolloin lujuuslaskentamallilla ei ole ollut tarvetta omaan konfiguraattoriinsa, vaan päämallin konfiguraattorilla päivittämällä lujuuslaskentamalli on päivittynyt samalla. Uusi lujuuslaskentamalli tulee tarvitsemaan oman konfiguraattorinsa, jotta mallia pystytään päivittämään haluttuihin konfiguraatioihin.

Tämä tarkoittaa sitä, että uuden lujuuslaskentamallin konfiguraattori pitää sisältää kaikki tarvittava tieto lastiluukun määrittämisestä varten kuten päämallissakin. Lujuuslaskentamallin konfiguraattori ei saa olla riippuvainen mistään muusta mallista. Kaikki tarvittava laskenta pitää löytyä uudesta konfiguraattorista itsestään. Lujuuslaskentamallille luodaan myös oma käyttöliittymä Tacton Design Automation -konfiguraattorilla. Lisäksi kaikki parametrit käyttöliittymässä on ryhmitelty yleisen rahtilaivan tai irtolastilaivan lastiluukkujen spesifikaatioiden mukaisiksi. Lastiluukkujen rakenteen tässä opinnäytetyössä määrää MacGregor Finland Oy.

Lujuuslaskijoiden toivomuksina oli selkeä graafinen käyttöliittymä konfiguraattorille sekä käyttöliittymässä itsessään vaivaton lastiluukun parametrien muutosten tekeminen. Lisä toivomuksena oli mittapiirustus lastiluukun rakenteesta konfiguroinnin jälkeen, joka esittäisi esimerkiksi jäykisteidenjaon, pitkittäis- ja poikittaisuumien paikat, sekä ruuman päämitat. Tämä mahdollistaisi nopean lastiluukun mitoituksen tarkistamisen ennen varsinaisen laskennan aloittamista. Konfiguraattorin rakenteen hahmottamiseksi luotiin lastiluukun rakenteesta prosessikaavio. Prosessikaavio on esitetty kuvassa 9. Prosessikaavio osoittaa, että millä tavalla konfiguraatio valinnat vaikuttavat lastiluukun teräsrakenteeseen. Prosessikaaviota käytettiin apuna konfiguraattorin luomisessa.



Kuva 9. Tactonin konfiguraattorin säännösten perustuva prosessikaavio.

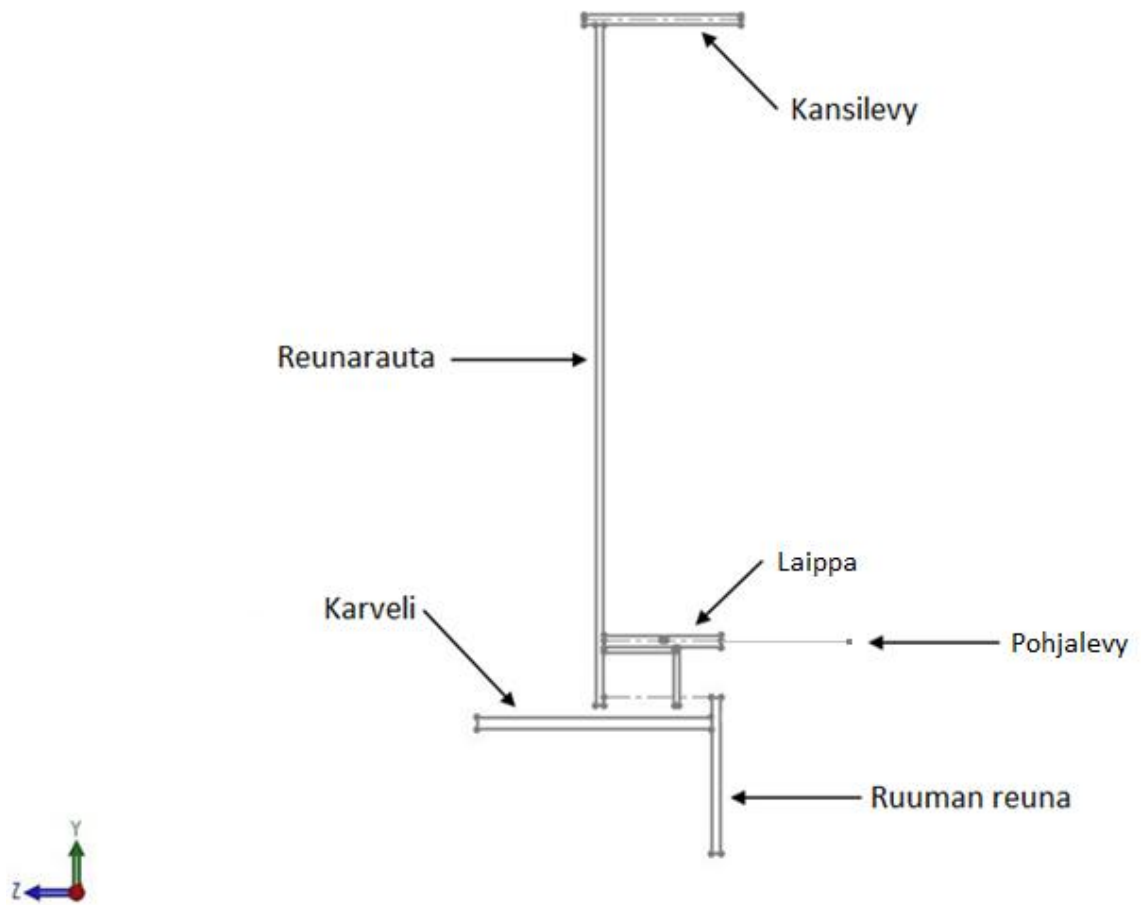
5 LUJUUSLASKENTAMALLIN SKELETONIN MALLINTAMINEN

5.1 Lujuuslaskentamallin toteuttaminen

Työn tekeminen aloitettiin lujuuslaskentamallin skeletonin mallintamisella. Lujuuslaskentamalliin päätettiin mallintaa paneeli yksi ja paneeli kaksi, koska paneelit yksi ja neljä ovat symmetriset keskenään ja paneelit kaksi ja kolme ovat symmetriset keskenään. Paneelien järjestys on esitetty kuvassa 4. Skeletonin rakentaminen lähti liikkeelle ruuman aukon mallintamisesta. Tämän jälkeen paikoitettiin paneelien reunaraudat ja poikittais- ja pitkittäisuumat, sekä luotiin uumien levykenttäluonnokset. Tämän jälkeen luotiin irtolastiluukun lujuuslaskenta kokoonpano, johon skeleton tuotiin ylimmäiseksi osaksi. Tätä seurasi 3d-pintamalliosan luominen ja ensimmäisten piirrepintojen luominen. Tacton konfiguraattoria alettiin luomaan vähän jälkeen 3d-mallin aloituksesta. Konfiguraattoriin luotiin ensimmäisten pintojen ohjaus. Mallin rakentaminen kävi vuorotellen uusien pintojen mallintamisella ja niiden säännösten luomisella konfiguraattoriin työn valmistamiseen asti.

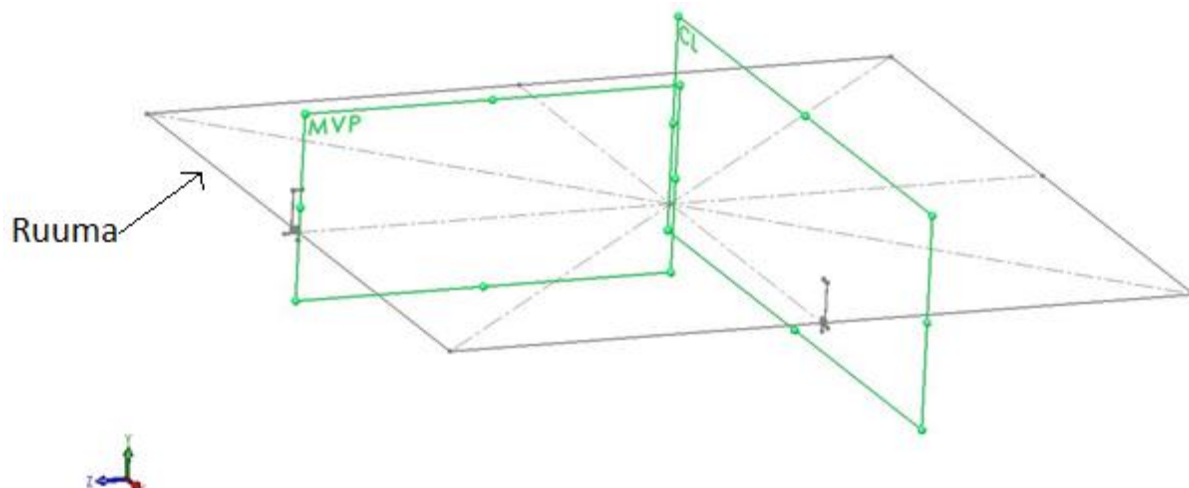
5.2 Skeletonin mallintaminen

Skeletonin mallintaminen alkoi ruuman aukon määrityksellä. Ruuman aukon koon määrittää L- ja B-mitat. L-mitta tarkoittaa ruuman pituutta ja B-mitta aukon leveyttä. Seuraavaksi mallinnettiin paneelien ulkomuoto, jotka sisältävät tiedon paneelin korkeudesta, paneeli GAP:stä, paneelin pohjan korkeudesta suhteessa karveliin, reunarautojen paikat sekä alas lasketun pohjan ohjauksen. Edellä mainitut lastiluukun määrittävät tekijät mallinnettiin kahdeksi eri luonnokseksi, jotka kuvastavat lastiluukun poikkileikkauksia erisuunnista. Pitkittäisen poikkileikkauksen paikka on lastiluukun keskellä CL:ssä, ja poikittaisen paikka on MVP:ssä. Poikkileikkaukset ovat muodoiltaan identtiset. Poikittainen poikkileikkaus mitoitettiin, ja pitkittäisen poikkileikkauksen viivojen pituudet määritettiin yhtä suuriksi, koska lastiluukkujen ulkomitat ovat symmetriset. Kuvassa 10 on osoitettu poikittaisen poikkileikkauksen ulkomuoto, ja kuvassa 11 on kuvattu, miten molemmat poikkileikkaukset muodostavat lujuuslaskentamallin skeletonin rungon.



Kuva 10. Poikkileikkaus lastiluukusta.

Kuvassa 10 poikkileikkaus lastiluukusta. Poikkileikkaus on MVP:n suuntainen ja kuvan luonnokset ovat nimetty.

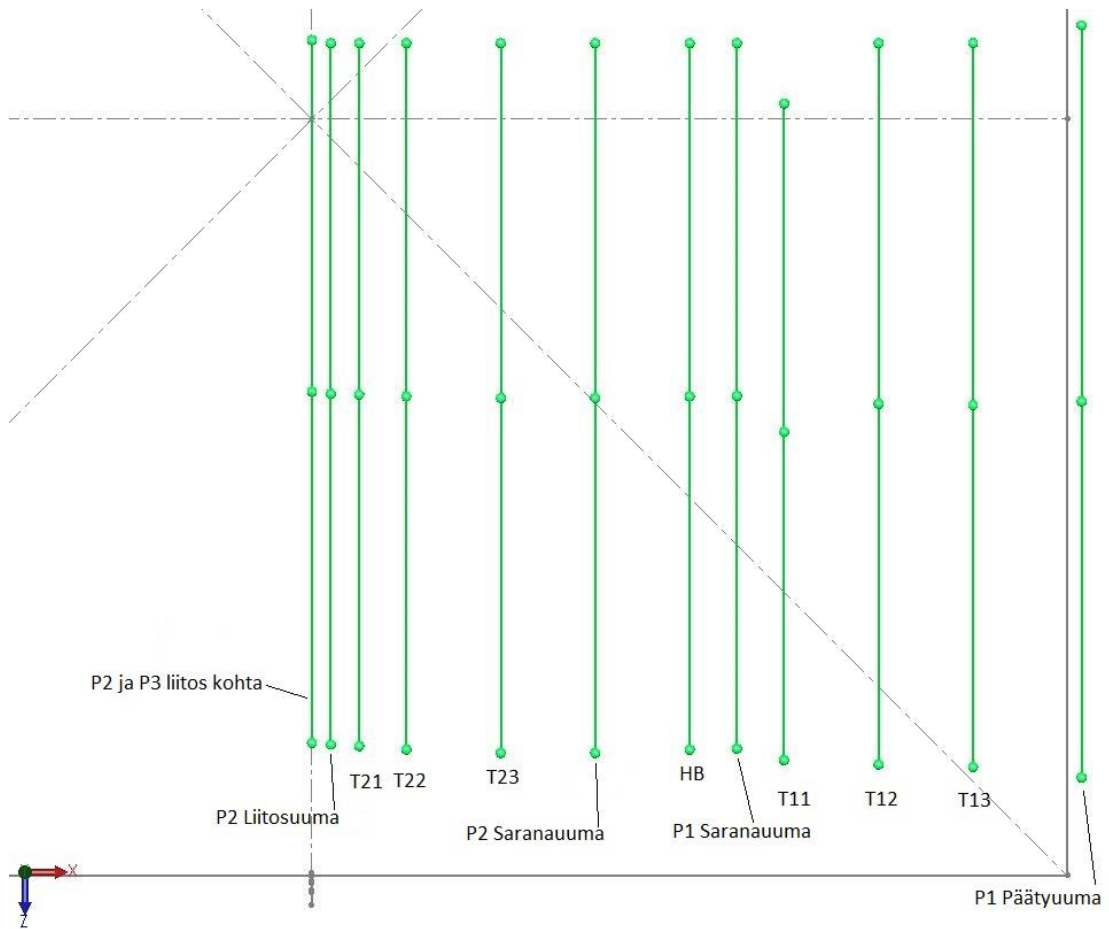


Kuva 11. Lujuuslaskentamallin MVP:n ja CL:n suuntaiset poikkileikkaukset.

Kuvassa 11 myös havainnollistetaan, miten poikkileikkaukset sijoittuvat ruuman aukolle. Kuvassa neliömäinen luonnos muodostaa ruuma-aukon, jolle poikkileikkaukset on sijoitettu. Kuva 10 osoittaa, miten poikkileikkaus ylittää ruuman aukon.

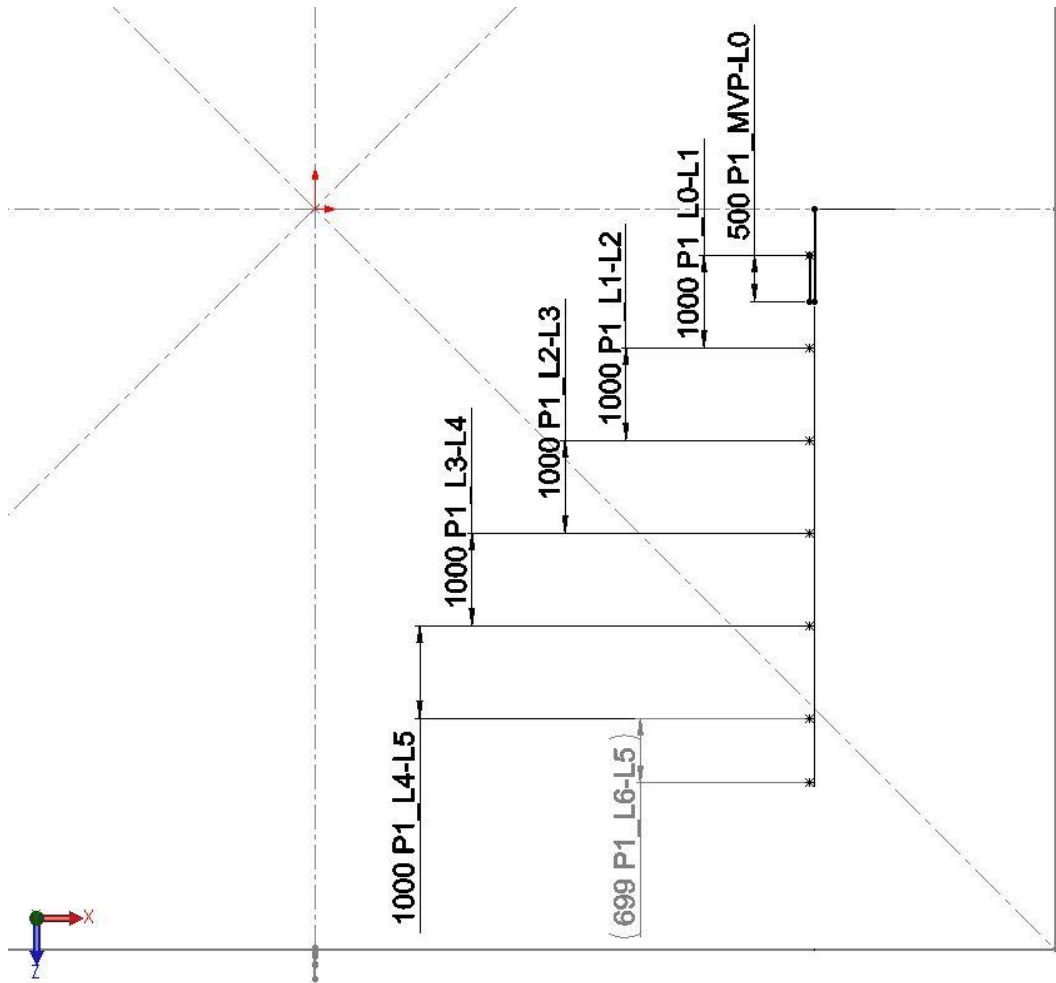
Poikkileikkausten luonnokset määrittävät skeletonissa päätylevyn, reunaraudan, kansilevyn ja liitosuuman paikan. Näin mallintaen skeletoniin tulevat määräävät tasot elävät ruuman aukon muuttuessa. Muut tasot sekä mitat, jotka mitoitetaan poikkileikkauksista, seuraavat myös siis ruuman aukon kokoa. Ruuman aukon koon päivittäminen oikean kokoiseksi onkin konfiguroinnin ensimmäinen vaihe. Poikkileikkaukset on mitoitettu vakioimitalla ruuma aukon reunasta.

Mallin rakentamista jatkettiin tärkeimpien tasojen lisäämisellä. Ennen tasojen lisäämistä päätettiin, että tässä skeleton-mallissa ohjataan kaikkien poikittaistasojen paikat päätylevystä. Päätylevy on poikittaissuuntainen uuma paneeli yhdessä. Tämä selkeyttää mallin rakentamista jatkossa ja helpottaa Tacton käyttöliittymän rakentamista. Malliin lisättiin seuraavat poikittaissuuntaiset tasot: T11, T12, T13, T21, T22, T23, P1 päätyuuma, P1 saranauuma, P2 saranauuma, saranan keskitaso (HJ), P2 liitosuuma ja P2 ja P3 liitos kohta. Kuvassa 12 on havainnollistettu poikittaisientasojen oikea järjestys lujuuslaskentamallissa. Paneeli yksi alkaa P1 päätyuumasta päättyen P1 saranauumaan ja paneeli kaksi alkaa P2 saranauumasta päättyen P2 liitosuumaan. Päämallissa paneelit yksi ja kaksi on yhdistettynä toisiinsa saranalla ja tätä saranan keskikohtaa kuvaa HB.



Kuva 12. Kaikkien poikittaisuumien tasot, kuva on ruuma-aukon suuntainen.

Molemmille paneeleille tehtiin oma pitkittäisuumien paikoitusta ohjaava luonnos, koska paneelien pitkittäisuumien symmetria ei välttämättä ole yhtenevä. Pitkittäisuumien luonnos on esitetty kuvassa 13. Tällöin kummankin paneelin pitkittäiset uumat voidaan ohjata eri paikkoihin. Nämä luonnokset ovat yhteneviä irtolastiluukun päämallin kanssa. Luonnos sisältää joukon pisteitä, jotka määrittävät pitkittäisuumien tasojen paikat. Eli pitkittäisuumien tasot määräytyvät viivoille annettujen pituuksien mukaan. Mitoitus suoritettiin seuraavasti: $L0 \rightarrow L1 \rightarrow L2 \rightarrow L3 \rightarrow L4 \rightarrow L5$. L0 mitoitus eroaa muista pitkittäisuumista sen verran, että normaalissa tilanteessa L0 paikka on CL:ssä, mutta joissain lastiluukku tapauksissa L0 taso pitää pystyä poikkeuttamaan CL:stä pois, joten poikkeuttaminen toteutettiin ohjatulla viivaluonnoksella, jonka mitta-arvoa ohjataan käyttöliittymässä. Pitkittäisuumien tasot määritettiin pisteisiin kiinni ja yhdensuuntaiseksi CL:n kanssa.



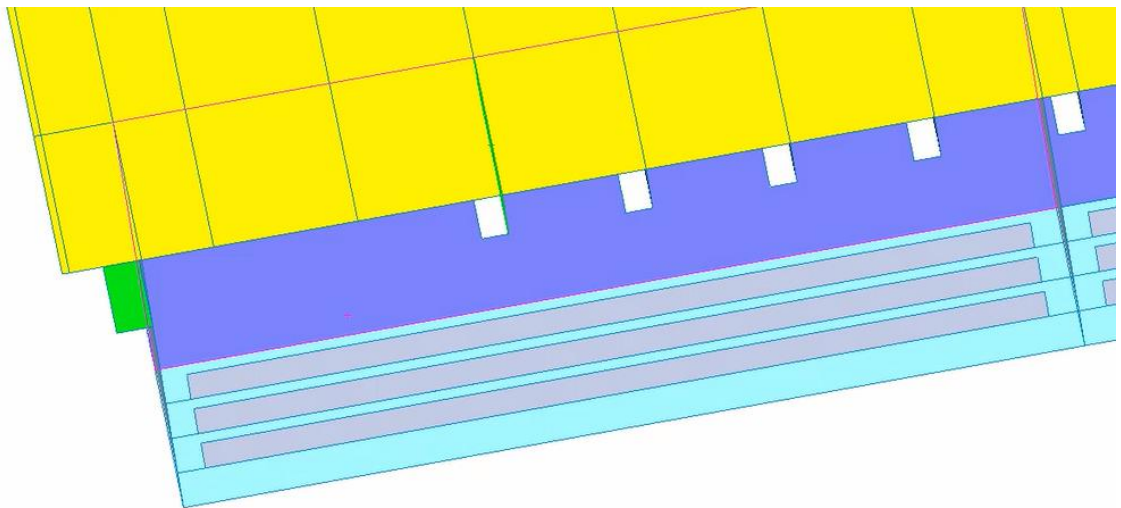
Kuva 13. Pitkittäisien uumien paikoitus lastiluukussa.

Kuvassa 13 osoitetaan myös L6 pitkittäisuumat, mutta sitä ei ohjata tässä luonnoksessa, vaan L6 ohjaus tapahtuu lastiluukun reunaraudasta omalla mitalla. Tämä perustuu siihen, että irtolastiluukun päämallin skeletonissa L6 uuman ohjaus oli suoritettu samalla tavalla.

Paneeli kahden poikittaisuuman mallinnettiin omaksi luonnokseksi. Paneeli kahdessa olevan alas lasketun pohja rakenteen ohjaus tehtiin poikittaissuuntaiseen poikkileikkaukseen muuttuvalla viivalla. Viivan pituuden määrittäminen laskee paneeli kahden pohjalevyn tasoa. Alas lasketussa rakenteessa pitää pystyä määrittämään myös alkavan laskukohtan paikka ja laskukohtan päätyminen. Mitoitus lasku- ja tasoittumiskohdille tehtiin paneeli kahden liitosuuman levykenttä luonnokseen.

Kansilevyn jäykisteiden paikat luonnosteltiin seuraavasti. Molemmissa paneeleissa jäykisteiden luonnostasoksi on valittu L0 pitkittäisuuman taso. Jäykisteiden paikat määrittävät pisteet, jotka on mitoitettu aina edellisestä pisteestä. Jäykisteen muoto luonnosteltiin mitoituspisteisiin, koska jäykisteen L-profiilia pitää pystyä ohjaamaan. Jäykisteen L-profiili koostuu siis korkeudesta ja leveydestä. Molempiin paneeleihin luonnosteltiin yhteensä 24 kappaletta kansijäykisteitä.

Lastiluukun tyypistä riippuen pohjalevyn jäykisteitä on kahdenlaisia. Tyypillisessä lastiluukussa jäykisteet ovat latta-profiileja, jotka kulkevat pitkittäissuuntaisesti lastiluukussa. Tyypillisen pohjalevyn jäykisteen mallinnustapa eroaa muista teräsrakenteista. Kuvassa 14 on havainnollistettu tyypillisen jäykisteen latta-profiili. Jäykisteet eivät risteä poikittaisuumien kanssa vaan päättyvät aina ennen seuraavaa poikittaisuunaa, sekä jatkuvat vasta poikittaisuuman jälkeen. Tyypillisen lastiluukun jäykisteet tulevat aina pitkittäisuumien väliin, ja niiden määrä vaihtelee kolmesta kappaleesta viiteen kappaleeseen.

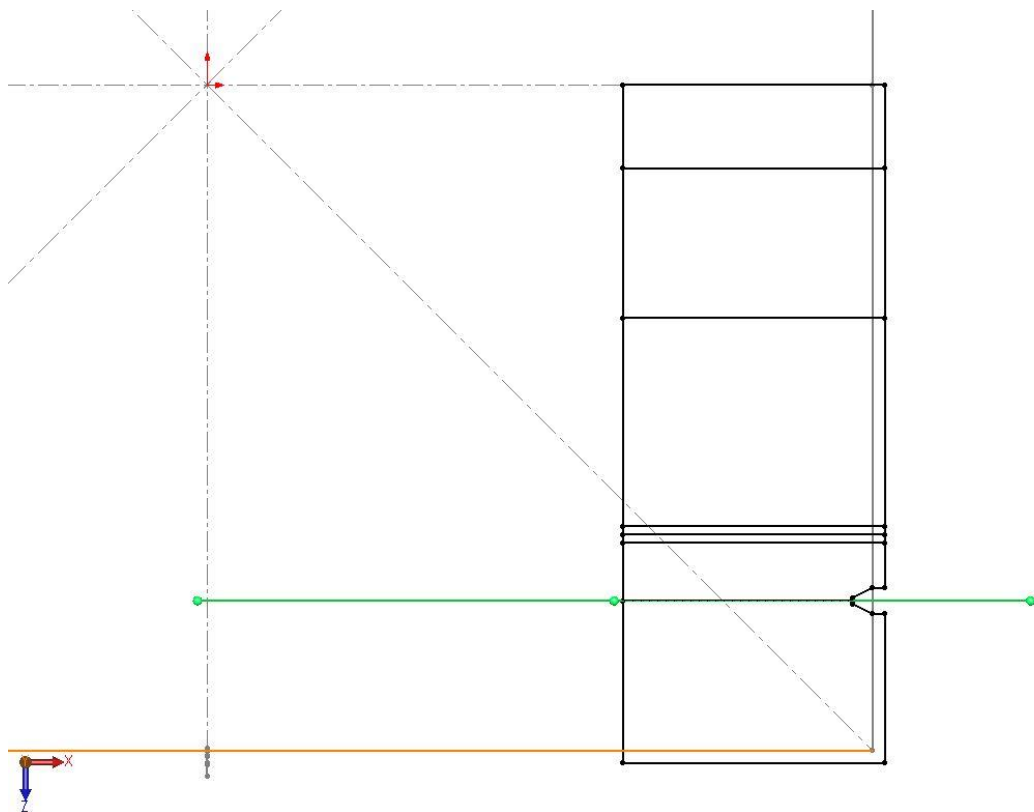


Kuva 14. Tyypillisen lastiluukun pohjalevyn jäykiste.

Painolastiruumien lastiluukuissa pohjanlevy jäykisteet ovat samansuuntaiset ja muotoiset kuin kansilevyn jäykisteet, mutta erona tyypillisiin jäykisteisiin on se, että jäykisteet risteävät pitkittäisuumien kanssa. Painolastiruumien lastiluukun pohjalevyn jäykisteitä voi olla maksimissaan 24 kappaletta molemmissa lastiluukuissa, ja ne ovat aina mitoitettu edellisestä palkista. Molemmissa lastiluukuissa pohjalevyn jäykisteet seuraavat lastiluukun pohjan muotoa.

Kansilevyn rakenne määräytyy molemmissa paneeleissa paneelin koon mukaisesti. Kansilevyn rakenteessa on otettu huomioon pitkittäiset uumat, koska ne jakavat kokonaisen kansilevykentän pienempiin alueisiin. Tämä johtuu siitä, että pitkittäiset uumat risteävät kansilevyn kanssa. Molemmilla paneeleilla on omat rakenteensa, koska paneelien pitkittäisien uumien lukumäärä voi olla eri tai uumien mitoitus ei ole symmetrinen. Pitkittäisien uumien, poikittaisten uumien ja kansilevyn jäykisteiden lukumäärä lastiluuksissa vaikuttavat lopulta siihen, että moneenko osaan kokonainen kansilevy pitää pilkkoa 3d-mallissa, joten jo kansilevyn rakenteessa on otettu huomioon pitkittäisien uumien risteämiskohdat, jotka jakavat kokonaisen kansilevyn pienempiin levykenttiin.

Paneeli kahdessa pohjalevyn rakenne on sama kuin kansilevyn rakenne. Paneeli yhdellä on oma pohjalevy rakenne. Tämä johtuu siitä, että päätysaranan varsi pitää pystyä vahvistamaan eripaksuisilla pohjalevyillä. Kuvassa 15 on kuvattu paneeli yhden pohjalevyn rakenne. Pohjalevyn rakenteesta puuttuva palanen luonnostellaan omaksi rakenteeksi.



Kuva 15. Paneeli yhden pohjalevyn rakenne.

Kuvassa 15 on nähtävillä, miten pitkittäissuuntaiset uumat jakavat pohjalevyn. Viivat siis kertovat pohjalevyn piirteiden saumakohtista ja päätysaranan varren paikan. Vihreä viiva kuvassa osoittaa L6 pitkittäisen uuman paikan. Hydraulinen sylinteri, jolla lastiluukku aukaistaan, tulee samaan linjaan L6 pitkittäisuuman kanssa. Hydraulisynterityön aiheuttamasta voimasta johtuen päätysaranan varren alainen pohjalevy pitää pysyä vahvistamaan paksummilla levyillä, joten vahvistuspalalle on tehty oma luonnos.

Irtolastiluukun kyljissä olevilla padeilla johdetaan z-suuntaiset voimat lastiluukusta laivanrakenteisiin. Paneelien z-suuntaiset tuet ovat jokaisen poikittaisen uuman päässä ja paneeli yhdessä pitkittäisiumien päissä päätylevyissä. Tukien määrä perustuu lastiluukussa oleviin pitkittäisiin ja poikittaisien uumien määrää. Tuelle mallinnetaan suunnikkaan muotoinen levy luonnos.

Hold downia käytetään silloin, kun on kyse irtolastilaivan painolastiluukuista. Lujuuslaskenta mallissa hold down on mahdollista tulla ainoastaan paneeli yhteen. Hold downin mahdolliset paikka ovat P1 saranauumassa, T11, T12 tai T13 poikittaisen uuman päässä reunaraudassa. Hold downia paikoitetaan yleisesti aina paneeli yhden poikittaiseen saranauumaan.

Tiivisterautoja on paneeli yhdessä yksi ja paneeli kahdessa kaksi. Paneeli yhdessä tiivisterauta sijaitsee saranauumassa ja paneeli kahdessa tiivisterauta sijaitsee saranauumassa sekä liitosuumassa. Tiivisteraudan pituus määräytyy lastiluukun leveyden mukaan ja raudan leveys on aina vakio. Normaali tilanteessa tiivisterauta on yhden asteen kulmassa, joten tiivisteraudan luonnoksen molemmat päädyt ovat mitoitettu kansilevystä, jolloin tiivisteraudan kulmaa pystytään ohjaamaan. Tiivisterauta on korkeimmallaan paneelien CL:ssä ja matalimmallaan reunaraudassa. Kuvassa 5 on merkitty tiivisterautojen paikat KB3 ja KB4.

6 3D-PINTAMALLINNUS

Lujuuslaskentamalli mallinnetaan pintamallityökaluja hyödyntäen, että "split"-toimintoa käyttäen. Malli mallinnetaan pintamallina, koska lujuuslaskentamallissa levyillä ei saa olla lähtöpaksuutta, vaan vaadittaville levyille pitää pystyä määrittämään myöhemmin lujuuslaskentatyökalussa levykenttien paksuudet. Kaikkien pintalevyjen muodot tuotiin kopiona skeleton-osasta "convert entities"-toiminnolla, jolloin päämallin skeletonia päivittämällä 3d-pintamallin levy luonnokset seuraa sen isäntäluonnosta pitäen saman geometrian.

Mallissa tulee olemaan tuhansia piirteitä, joten ylläpidon ja Tacton ohjauksen kannalta on tärkeää, että jokainen piirre nimetään. Myös saman ryhmän piirteet on syytä ryhmitellä keskenään kansioihin. Näin tehtynä piirrepuun ulkoasu pysyy ymmärrettävänä ja selkeänä käyttäjälle.

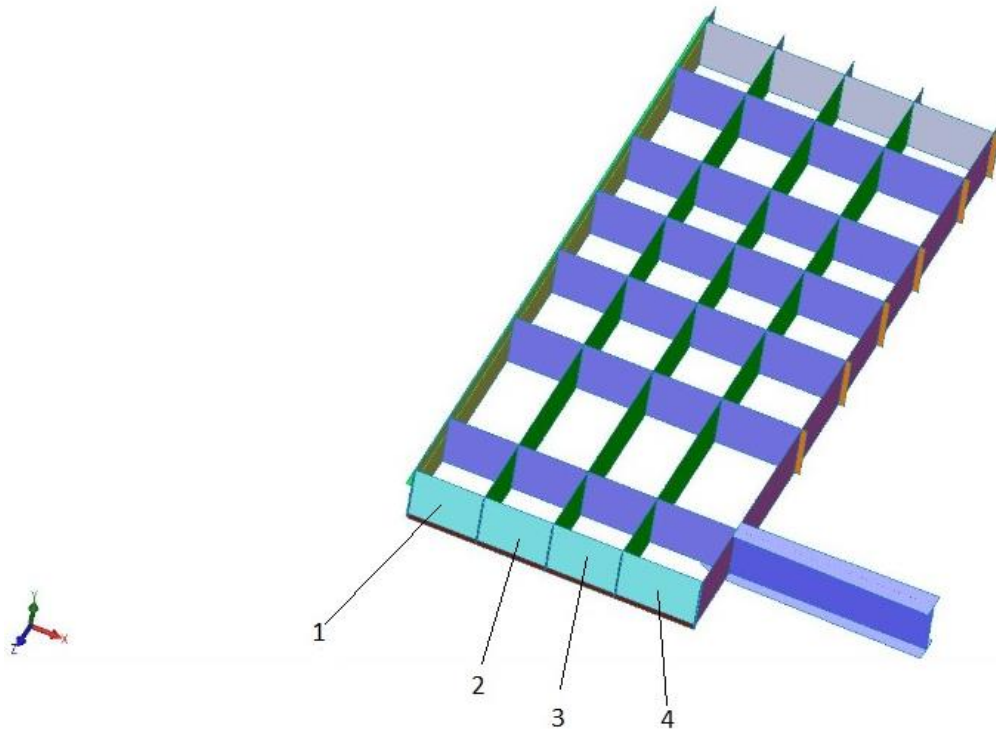
SolidWorksissa käytettiin seuraavia työkaluja 3d pintamallin mallintamista varten. Pintapiirteet mallinnettiin pintapursottamalla tai pintatasoina. Pintapiirteitä tarvitsee mahdollisesti jatko muokata trimmaustyökalulla sekä jakamaan moniin pienempiin pintakenttiin "split" toiminnolla. Huomioitavaa splitin käytössä on se, että toiminnon toimiakseen oikein split tarvitsee kaikki luonnos tasot samaan osaan, jossa itse jaettava pintapiirre on, joten 3d-pintamalliin on tuotava kaikki tarvittavat referenssi tasot skeletonista.

6.1 Pitkittäisuumien mallintaminen

Mallinnus aloitettiin reunarautoista. Paneelin mallinnustasoksi valittiin paneelin reunataso, joka määräytyy pitkittäispoikkileikkauksen mukaan skeletonista. Tehdään luonnos valitulle tasolle ja valitaan reunarautojen luonnos skeletonista ja "convert entities"-toiminnolla tuodaan valmis reunapaneelin luonnos 3d-malli osaan ja tämän jälkeen luodaan pintapiirre luonnokselle.

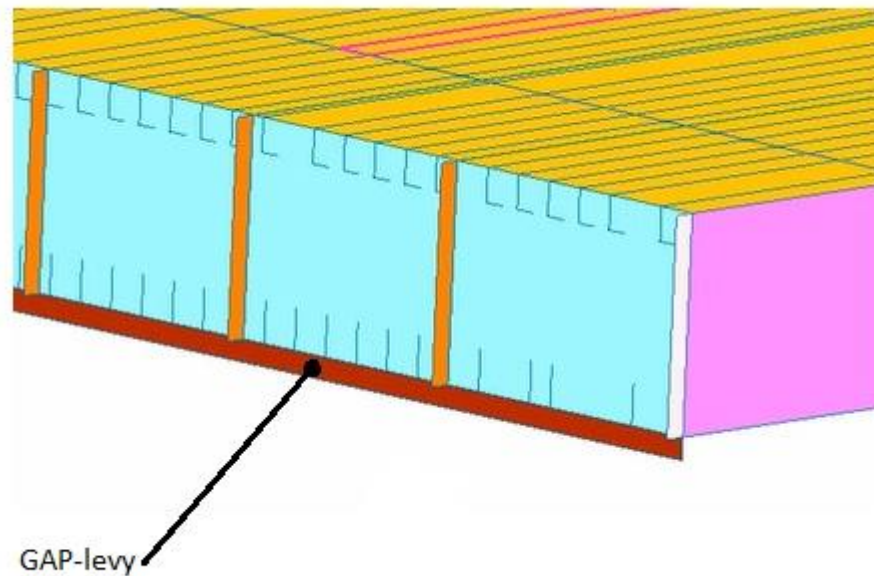
Pintapiirre prosessi toistetaan uudelleen, mutta muutetaan kopioitua sketsiä siten, että otetaan huomioon kaikki poikittaisuumat. Esimerkiksi poikittaisuuman ja reunaraudan kohdatessa poikittaisuuma ei saa päätyä suoraan reunaraudan pintaan, vaan törmäyskohtaan, johon poikittainen uuma päättyy reunaraudassa, täytyy tulla saumakohta. Reu-

naraudan yhdestä kokonaisesta pintapiirteestä tulee kaksi pintapiirrettä. Tilanteen havainnollistaa kuva 16, jossa reunarauta on jaettu neljään osaan ja osat ovat numeroita yhdestä neljään.



Kuva 16. Reunarauta on jaettu neljään osaan johtuen kolmesta poikittaisuudesta.

Yhteensä näitä erilaisia variaatioita saadaan aikaiseksi kymmenen kappaletta, jota vastaa kymmentä reunarautapiirrettä. Variaatiot syntyvät siitä, kun lastiluukun poikittaisien uumien määrää vaihdetaan. Reunaraudan GAP-levy, joka mallinnetaan ainoastaan yhtenä pintana, on esitetty kuvassa 17. Tämä perustuu siihen, että siihen ei tule ainuttakaan muun levyn törmäyskohtaa.



Kuva 17. Lastiluukun ja ruuman aukon peittävä GAP-levy.

Kaikki pitkittäisuumat mallinnettiin samalla periaatteella. Näitä pitkittäisuumia olivat L6, L5, L4, L3, L2, L1 ja L0. Jokaisella pitkittäisuumalle tulee kymmenen pintaelementtiä, joita Tacton ohjaa päälle tai pois riippuen konfiguraatiosta, johon lastiluukku ajetaan.

6.2 Poikittaisuumien mallintaminen

Poikittaisuumat mallinnettiin käyttäen samaa mallinnustekniikkaa kuin pitkittäisuumien mallintamisessa. Poikittaisuumia ovat siis paneeli yhden päätyuuma, T13, T12, T11, P1 saranauuma, P2 saranauuma, T23, T22, T21 ja P2 liitosuuma.

Yhdelle poikittaisuumalle pintalevyjä kertyi 14 kappaletta. Suurempi levymäärä johtuu siitä, että poikittaisuumat mallinnettiin ensin, jolloin niiden aktivoitu määrä määrittää tarvittavan poikittaisuumien levymäärät. Parhaimmillaan poikittaisuuma on jaettuna kahdeksaan osaan, joka tarkoittaa sitä, että kaikki kuusi pitkittäisuumaa ovat mallissa käytössä. Vähimmäismääränä poikittaisuuma on jaettuna kahteen levyyn, koska L6, L1 ja L0 pitkittäisuumat tulevat aina lastiluukuun. L0 normaalitilanteessa on CL:n kanssa yhtenevä, joten se ei vaikuta tässä tilanteessa poikittaisuumien piirteiden jakamiseen.

6.3 Kansilevyn jäykisteet

Paneeli yhden että paneeli kahden kansilevyn jäykisteet ovat identtiset keskenään. Kansilevyn jäykisteen muoto muistuttaa L-profiilia, ja jäykisteet kulkevat poikittaissuuntaisesti. Pintamallin lähtötasoksi on valittu L0-taso. Skeletonista tuodaan jäykisteen L1 muoto convert entities-toiminnolla ja pursotetaan pintamallina L6 pitkittäisuuman tasoon. Sama prosessi toistetaan kaikkiin 24:n jäykisteeseen molemmissa paneeleissa. L0 poikkeutus tilanteissa L0:sta CL on tehty oma pintapiirre jäykisteille ja myös L6:sta reunarautaan. Asian ratkaistu siksi näin, koska L6 uuma on aina lastiluukussa, joten L6 ja reunaraudan väliin tulee aina jäykisteet. L0:sta CL:n ainoastaan silloin kuin L0 on poikkeutettuna.

Kansilevyn jäykisteiden mallinnus on samanlainen kuin poikittaisuumien. Jäykisteet eivät saa mennä muista rakenteista läpi, vaan jäykisteiden pitää katketa kohdatessaan toisen rakenteen. Täten piirremäärä olisi todella suuri, joten säästääksemme 3d-pintamallin tiedostokoossa, kun käyttää split-toimintoa. Myös työmäärä on vähäisempi käyttöliittymää luodessa. Tarvittavat variaatiot jäykisteille tehdään split-toiminnolla, jolloin tarvittavien split piirteiden määrä on puolet vähäisempi kuin, jos jokaiselle variaatiolle tehtäisiin oma pintapiirre.

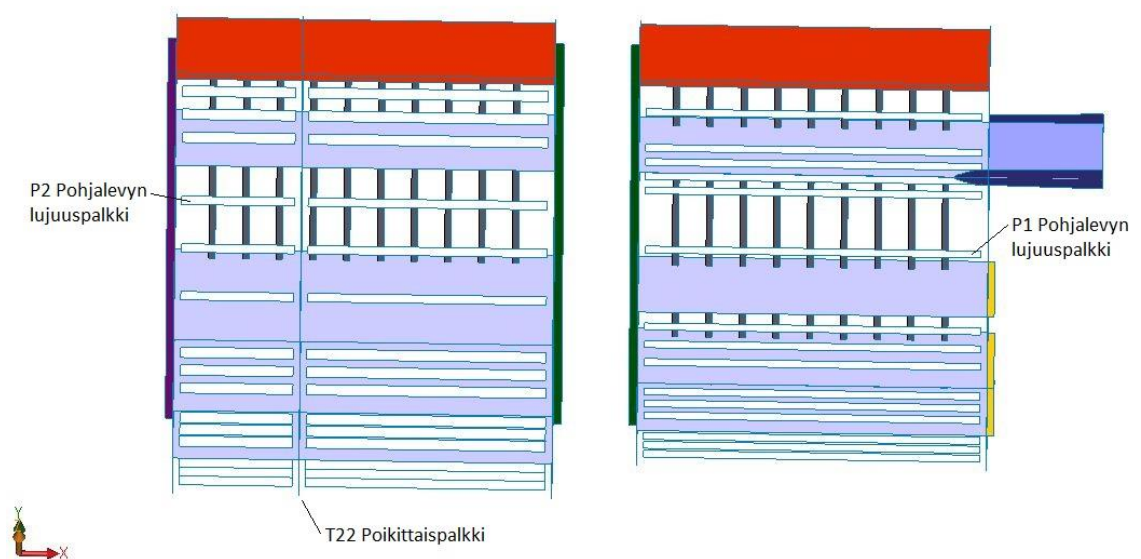
Splitin eli jakamistoiminnolla pystytään katkaisemaan jäykisteen pintamalli olemassa olevien tasojen avulla. Voimme käyttää hyväksi jo olemassa olevia määritettyjä paikkataseja, jotka löytyvät skeletonista. Näitä tasoja ovat L5, L4, L3, L2 ja L1 pitkittäisuumien tasot. Ilman split-toimintoa tarvittava pintamallimäärä kattamaan kaikki variaatiot olisi kymmenen pintamallia L1 jäykisteestä. Split-toiminnolla voimme pudottaa tarvitseman piirre määrän viiteen. Tämä myös helpottaa Tactonin luomisessa, sekä pienentää mahdollisten mallinnusvirheiden määrää.

L6:sta reunarautaan pursotettiin oma pintamalli, koska L6 pitkittäisuumma kuuluu lastiluukun vakioteräsrakenteeseen, jolloin se tulee aina lastiluukkuun. Myös L0:n jäykisteille mallinnettiin oma pintamalli, koska useimmissa tilanteissa L0 taso on CL:n kanssa yhtenevä, joten piirre on yleisesti häivytettynä.

6.4 Tyypillisen pohjalevyn jäykisteet

Tyypilliset pohjalevyn jäykisteet mallinnetaan latta-profiilina, ja ne tulevat lastiluukkuihin pitkittäissuuntaisina. Tyypillisen pohjalevyn jäykisteitä ei mallinneta poikittaisuumiin kiinni asti. Tyypillisen pohjalevyn jäykisteiden piirteiden aloitustasot ja päättymistasot ovat poikkeutettu poikittaisuumien tasosta, joka on esitetty kuvassa 18. Pitkittäisuumien määrä lastiluukussa määrittää pohjalevyn jäykistemäärän. Jokaiseen pitkittäisuuman väliin käyttäjä voi määrätä joko kolme, neljä tai viisi kappaletta tasaisella jaolla olevaa jäykistettä. Jäykisteiden pituuden taas määrittää poikittaisuumien määrä ja poikittaisuumien etäisyys toisistaan.

Tyypillisen pohjalevyn jäykisteiden paikoitus ja mitoitus tapahtuu skeletonissa. Skeletonista tuodaan convert entities-toiminnolla jäykisteen muoto aloitustasolle ja taso pintamalli pursotetaan sen pituustasolle, jonka määrää poikittaisuumien paikka. Jäykisteille tehdään kaikki tarvittavat pintamallivariaatiot, ja niitä on yhteensä 330 kappaletta. Tyypilliset pohjalevyn jäykisteet on esitetty kuvassa 18.

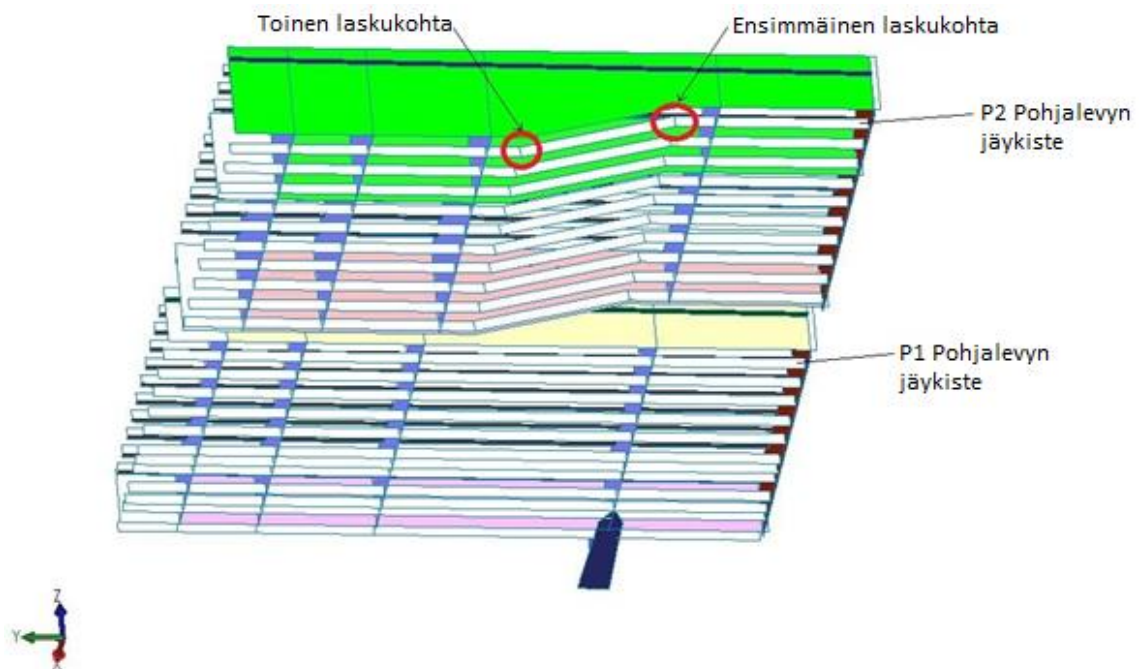


Kuva 18. Tyypilliset pohjalevyn jäykisteet.

6.5 Painolastiluukun pohjalevyn jäykisteet

Painolastitilanteessa lastiluukun pohjalevyn jäykisteet ovat poikittaissuuntaiset kuten kansilevyn jäykisteet, ja niitä on maksimissaan 24 kappaletta kummassakin paneelissa. Jäykisteet on mallinnettu samanlaisesti kuin kansilevyn jäykisteet. Jäykisteille on oma pintamalli L0 → L6 ja tämä pintamalli on pilkottu pitkittäisuumien mukaan käyttäen split-toimintoa.

P1- ja P2 pohjalevyn erona jäykisteissä on, että paneeli kahden painolastiruuman pohjanlevyn jäykisteille on tehty myös toinen viiden splitin ryhmä, jota käytetään alas lasketussa pohjalevy rakenteessa. Kuvassa 19 on osoitettu P2 pohjalevyn jäykisteet painolastiruumassa, jossa on alas laskettu pohjalevy rakenne. Pohjalevyn jäykisteet seuraavat pohjanlevyn muotoa alas lasketussa rakenteessa, jolloin alas lasketun pohjalevyn laskukohdista tarvitaan ylimääräiset leikkaukset pohjalevyn jäykisteisiin, koska jäykisteiden laskukohdat pitää jakaa kahteen yhtä suureen kulmaan.

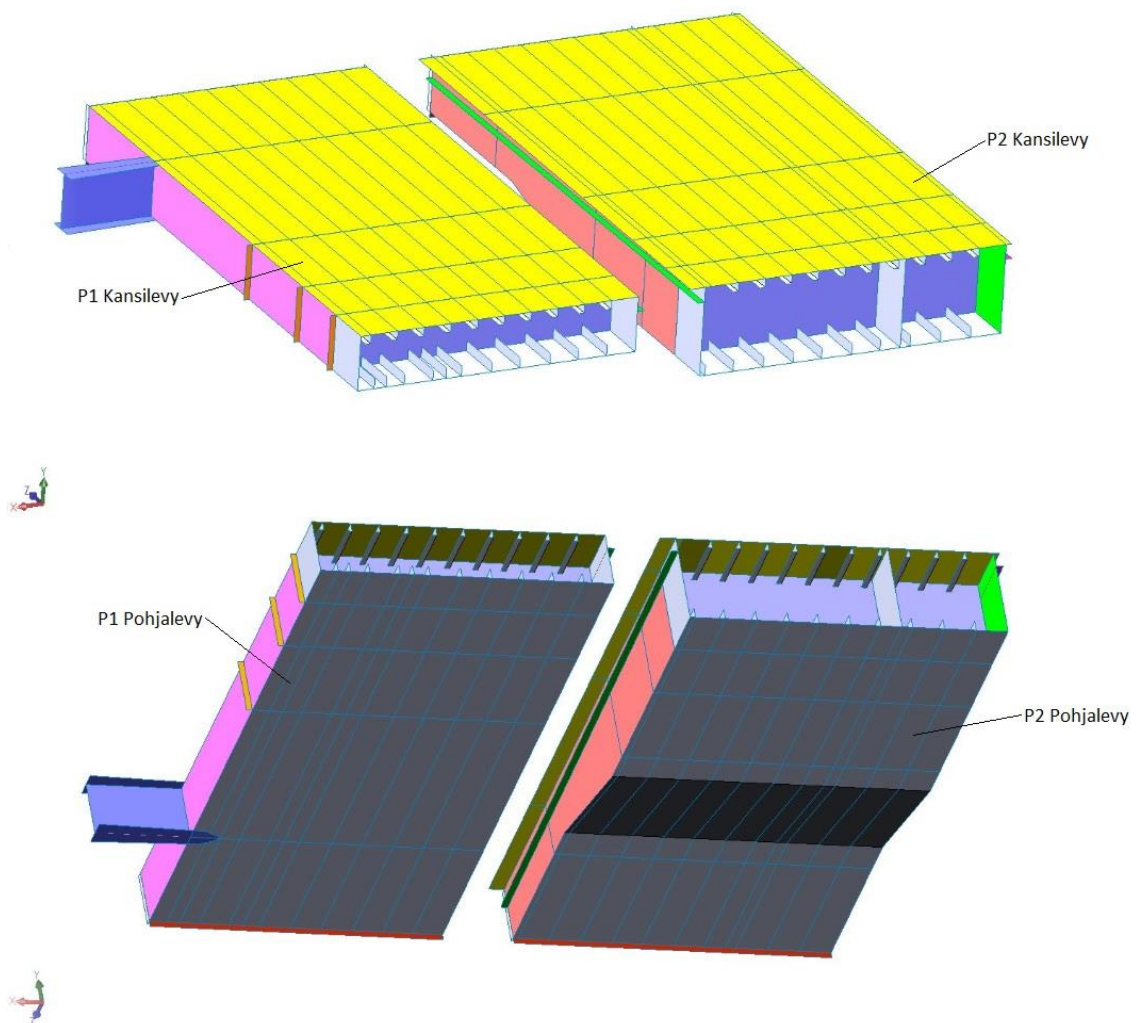


Kuva 19. Painolastiluukun pohjalevyn jäykisteet.

6.6 Kansilevyn ja pohjalevyn mallinnus

Kansilevy on jaettu pitkittäisuumien mukaan sektoreihin skeletonissa, ja jokaisesta sektorista on tehty oma pintapiirre. Jokainen kansilevyn pintapiirre on splitattu kaikilla kansilevyn jäykisteillä ja kaikilla paneeli kohtaisilla poikittaisuuman tasoilla. Splittauksessa on kaikki mahdolliset uuma variaatiot huomioon.

Pohjalevy mallinnettiin kansilevyn mukaisesti. Pohjalevy jaettiin sektoreihin pitkittäisuumien mukaan ja split-piirteet luotiin, joko tyypillisen tai painolastiruuman lastiluukun jäykiste tasojen mukaan. Painolastiruuman lastiluukun tapauksessa splittaus prosessi on sama kuin kansilevyssä. Tyypillisessä lastiluukussa splitin piirteet tehtiin tyypillisen pohjalevyn jäykiste tasojen mukaan. Kuvassa 20 on esitelty kansilevyn ja pohjalevyn levykentät.

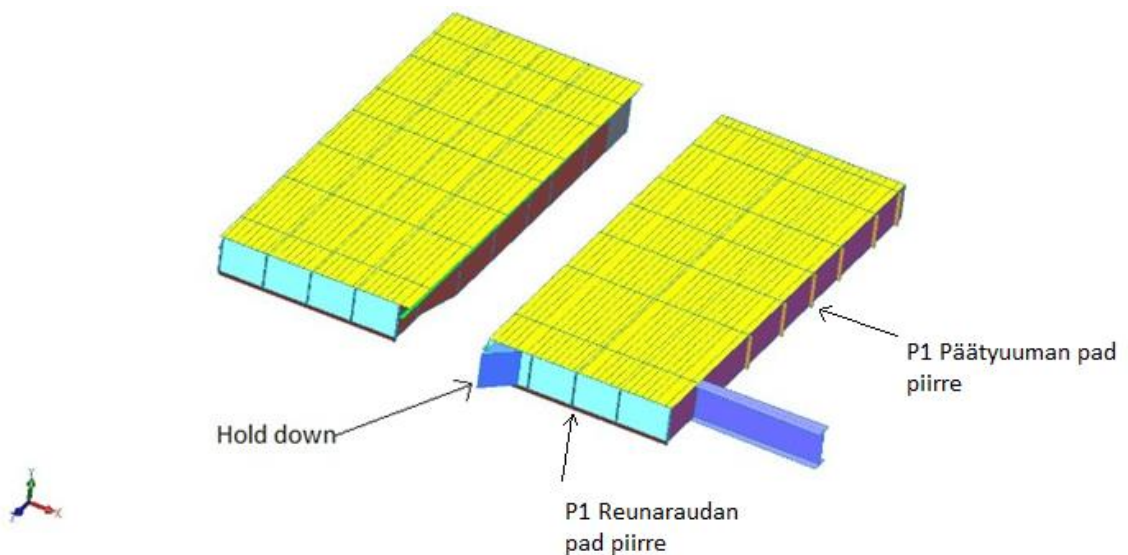


Kuva 20. P1- & P2-kansi- ja pohjalevykentät.

6.7 Muiden lisärakenteiden mallintaminen

Padien tukirakenteet mallinnetaan pintapiirteinä, joiden paikat ovat aina pitkittäisuumien ja poikittaisuumien päädyissä. Tukirakenteen koko on ennalta määritetty, ja tukirakenteiden määrään vaikuttaa pitkittäisuumien tai poikittaisuumien määrä lastiluukussa. Tukirakenteiden paikat mallissa on reunaraudassa ja paneeli yhden päätylevyssä. Kuva 21 havainnollistaa tukirakenteen pintamallin päätyuomassa ja reunaumassa, kuinka tukirakenteiden piirteet seuraavat pitkittäisiä uumia paneeli yhdessä.

Hold down tukirakenne mallinnettiin monena pintana, joista muodostuu laatikkomainen rakenne. Hold downilla on ennalta määritetty koko ja paikka skeletonissa. Hold down on osoitettu kuvassa 21.



Kuva 21. Hold down.

Tiivisterautoja 3d-malliin tulee yhteensä kolme kappaletta. Molemmissa paneeleissa tiivisterauta on saranauumassa kiinni ja paneeli kahdessa myös päätysaranassa. Tiivisterauta mallinnetaan suunnikkaan muotoisena pintamallina. Tiivisteraudat on esitetty kuvassa 5.

7 TACTON -KONFIGURAATTORIN RAKENTAMINEN

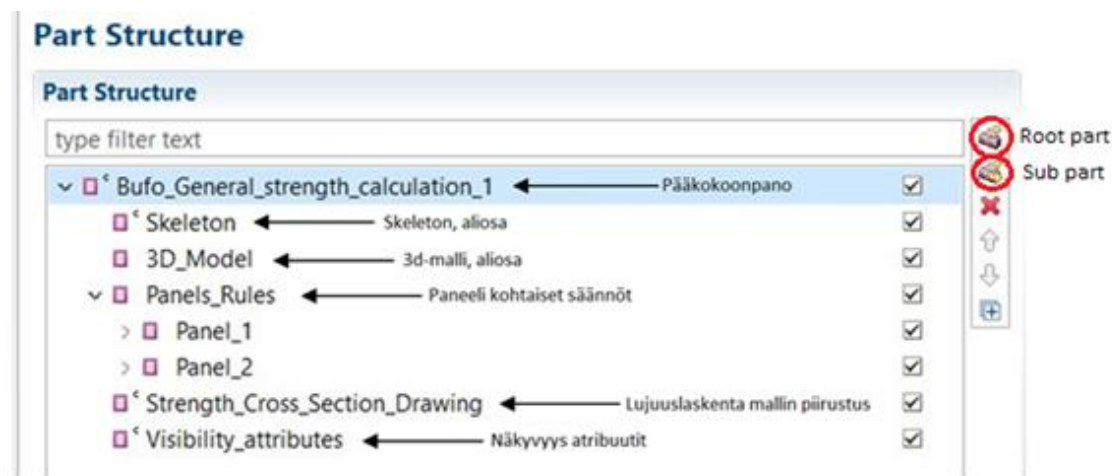
Konfiguraattoria ryhdyttiin suunnittelemaan sen jälkeen, kun 3d pintamallissa oli mallinnettuna kaikki pitkittäisuumien ja poikittaisuumien variaatiot. Konfiguraattoriin luotiin ensiksi kokoonpanon rakenne. Rakenne sisälsi skeleton-osan ja 3d-malli osan. Tämän jälkeen aloitettiin luomaan paneeli yhdelle omaa säännöstöä, joka ohjaa 3d-mallin piirteitä päälle ja pois. Tactonissa skeleton-osaan kartoitettiin kaikki tähän asti luodut tärkeät mitat, ja näille muokattavissa oleville mitoille luodaan graafinen käyttöliittymä. Käyttöliittymä toimii Tacton Design Engineer -työkalulla SolidWorksissa, jossa käyttäjä pystyy syöttämään mitta-arvoja ja valitsemaan halutut ominaisuudet.

Tarkoituksena oli luoda ohjaussäännöstö ensin paneeli yhdelle ja sen jälkeen säännöt voisi kopioida suoraan paneeli kahdelle, koska paneelien ohjaussäännöt ovat melkein samanlaiset, koska paneelien teräsrakenne on samanlainen. Tietenkin jotkut paneeli kahteen vaikuttavat lisätoiminnot vaativat lisäohjausta. Lujuuslaskentamalli ja mallin konfiguraatio ohjausta pystyttiin tekemään yhtäaikaaisesti, mikä oli hyvä asia Tacton Design Automation Studion ohjelman oppimisen kannalta. Itselläni ei ollut aikaisempaa käyttökokemusta Tacton Design Automation Studiosta.

7.1 Konfiguraattorin rakenne

Konfiguraattorin rakenne tulee perustumaan pääkokoonpanon ympärille. Konfiguraattori linkitetään pääkokoonpanoon tiedostoon sisälle, jolloin konfiguraattori kulkee päämallin mukana. Konfiguraattori rakennetaan Tacton Design Automation Studiolla ja lujuuslaskentamallin konfiguraattoria käytetään SolidWorksissä Tacton Design Automation Engineer -työkalulla. Nämä molemmat Tactonin työkalut ovat SolidWorksiin "add-ins"-toimintoja eli apuohjelmia.

Konfiguraattorin suunnittelu perustuu pitkälti SolidWorksin rakennepuun rakenteeseen, mikä on esitetty kuvassa 22. Konfiguraattorin oma rakennepuu tulee jäljittelemään samaa rakennetta. Tactonista pitää löytyä kaikki samat kokoonpanot ja niiden alikokoonpanot, joita halutaan ohjata.



Kuva 22. Tacton Design Automation Studion rakennepuu ja sen osat.

Tactonin rakennepuun luominen aloitetaan lisäämällä "root part" eli pääosa, joka vastaa ylintä pääkokoontapanoa CAD-mallissa. Tähän pääkokoontapanoon tuodaan kaikki tarvittavat alikokoontapanot ja niiden aliosat. Lujuuslaskentamallissa on vain kaksi osaa: skeleton ja pintamalli. Nämä molemmat osat lisätään päämallin alle aliosina eli "sub part", jotka ovat esitetty kuvassa 22.

Tässä konfiguraattorissa ei ohjata itse aliosia, vaan tarkoituksena on ohjata aliosien sisältämiä piirteitä ja mittoja. Lastiluokun paneeleiden ohjaussäännöstellö luodaan omat aliosat, ja nämä aliosat sisältää P1- ja P2-piirteiden ohjauksen.

P1- ja P2-ohjaussäännöt ovat suurimmaksi osaksi identtiset, mutta molemmat paneelit tarvitsevat oman ohjauksen, jotta paneelit toimivat itsenäisesti. Molemmissa paneeleissa on siis rakennettu oma ohjaus jokaiselle piirryhmälle. Ohjauksessa olevat ryhmät on nimetty, joko "P1" tai "P2", jolloin niiden laskenta ei sekoitu keskenään. Näitä rakenteellisia ryhmiä ovat pitkittäisuumat, poikittaisuumat, pohjalevyn jäykisteet, kansilevyn jäykisteet, kansilevy, pohjalevy, z-suuntaiset tuet ja tiivisteraudat. Yksilöityjä ohjauksia paneeli yhdessä on hold downin tukirakenne. Paneeli kahdessa omana ominaisuutenaan on alas laskettu pohjalevyn rakenne.

Lisäksi lujuuslaskentapiirustus on omana aliosanaan rakennepuussa. Tässä tapauksessa piirustuksessa ei tule olemaan mitään laskentaa vaan pelkästään päälle pois toiminto. Piirustuksen kuvannot on kartoitettu käyttöliittymään, ja Tacton ohjaa kuvantojen paikkaa piirustussapluunassa. Piirustuskuvantojen ohjauksella varmistetaan, että kuvannot ovat aina oikeissa paikoissaan sapluunassa riippuen siitä kuinka itse päämallin

koko muuttuisi. Ilman ohjausta kuvannot siirtyisivät mallin koon muuttuessa sitä seura-

ten.

Näkyvyys aliosa pitää sisällään joukon ohjattuja attribuutteja, joita käytetään visuaalisen käyttöliittymän ulkoasun sulavoittamiseksi. Näitä valintoja ohjaavat käyttäjän valinnat. Tämän aliosan attribuutit toimivat spesifisissä konfiguraatio valinnoissa näkyvyyskytkiminä osalle graafisen käyttöliittymän valintavalikoista. Käytännössä, jos attribuutilla on arvo "ei", niin tietty valintataulukko ei näy käyttäjälle, jos attribuutti saa arvon "kyllä" niin valintamahdollisuus tulee näkyviin käyttäjälle ja käyttäjä voi täten valita ominaisuuden käyttöönsä. Piilottamalla turhat valinnat käyttöliittymästä käyttöliittymän graafinen ulkoasu on huomattavasti selvempi käyttäjälle.

7.2 Skeletonin ohjaus

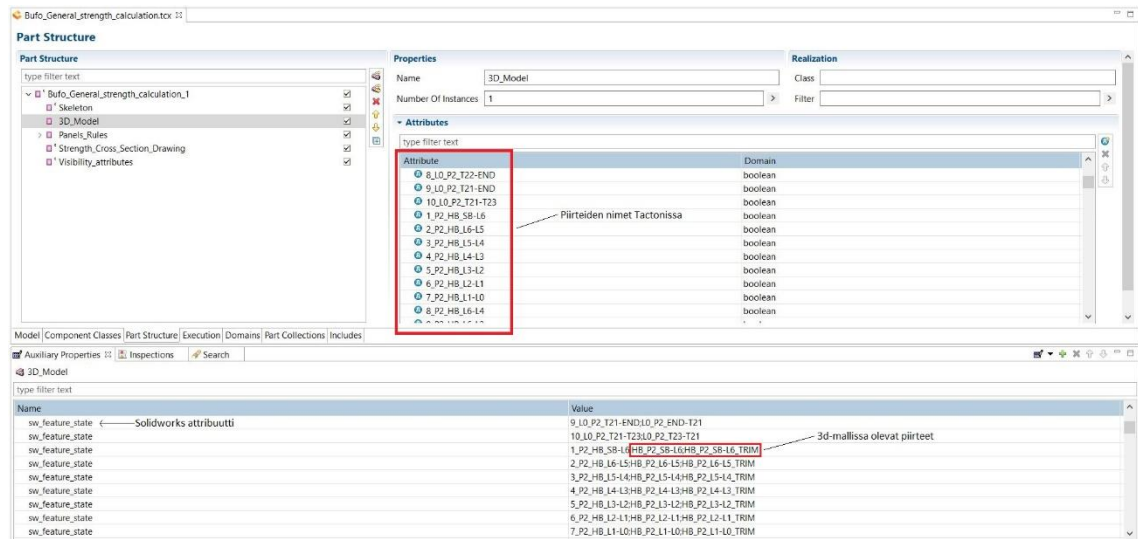
Skeleton-aliasaan on kartoitettu kaikki skeletonin mitat, joita pitää pystyä ohjaamaan, jotta lastiluukku saadaan konfiguroitua oikean kokoiseksi. Näitä mittoja ovat edellä mainitut pitkittäisien ja poikittaisten uumien paikat, jäykisteiden mitoitus, lastiluukun korkeuden määrittäminen, alas lasketun pohjan laskujen paikoitukset, ruuman aukon koko, sekä muita mittoja, joita on mainittu taulukossa 2.

Skeleton-osaan on tehty muutamia sääntöjä, jotka ylläpitävät skeletonin rakenteen oikeanlaisena pysymistä. Esimerkiksi sääntönä voisi olla, että paneeli yhden pitkittäisuumaa L4 etäisyys CL:stä ei voi olla koskaan vähempää kuin L3 etäisyys ja enempää kuin L5 etäisyys, jos näin pääsisi käymään, niin skeletonin luonnokset menisivät ristiin toistensa kanssa. Täten malli ei päivittyisi oikein.

7.3 3d-mallin ohjaus

3d-pintamalli on kartoitettu kiinni "3d_model" osaan konfiguraattorissa. Tämä osa sisältää attribuuttitietona kaikki levykentät mitä 3d-pintamallissa on. Paneeleihin kohdistuvien sääntöjen perusteella levykentän attribuutti aktivoituu tai ei. Attribuutti voi olla Tactonissa kyllä tai ei, joka vastaa yhtä tai nollaa ohjelmointikielessä. Joillakin attribuuteilla voi olla monta piirrettä ohjattavanaan. Näitä ovat esimerkiksi kansilevyn jäykisteet, jotka tarvitsevat myös oikean split piirteen toimiakseen oikein. Nämä piirteet eivät voi olla päällä ilman toista. Tällöin yhden levyn ohjauksella voidaan ohjata kahta piirrettä. Attribuutin ja

piirteiden kartoitus tehdään Tactonissa apuominaisuudet kenttään. Apuominaisuus kenttää kirjoitetaan "sw_feature_state" ja attribuutin nimi, kaksoispiste ja piirteiden nimi pinta-mallissa. Pintapiirteiden kartoitus Tacton Design Automation Studioissa on esitetty kuvassa 23.



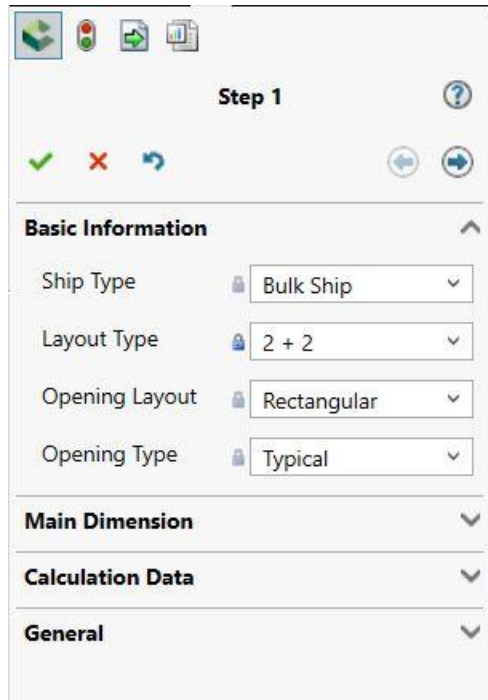
Kuva 23. Tacton Design Automation Studioissa 3d-pintamallin piirteiden kartoitus.

7.4 Käyttöliittymän käyttö ja prosessivaiheet

Käyttöliittymä rakennetaan prosessikaavion suunnitelman pohjalta. Käyttöliittymän rakenne pitää luoda järjevästi, jotta lastiluukun rakenne on lastiluukun määritysten mukainen. Esimerkiksi kansilevyjen pintalevyjä ei voi määrätä ennen kuin tiedetään, että montako pitkittäis- ja poikittaisuuma lastiluukun rakenne tulee pitämään sisällään. Tärkeää on siis, että lujuuslaskentamallin skeletonin mitoitus määritetään ensin ja tämän jälkeen määritetään tarvittavat uumavaliinnat.

7.4.1 Käyttöliittymän ensimmäinen vaihe

Mallin konfiguraation päivittäminen on määritetty kolmeen eri päivytysvaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa määritetään kaikki tarvittavat lastiluukun tiedot ja mitat. Ensimmäinen vaihe on ainoa, jossa käyttäjän tarvitsee määrittää arvoja tai lastiluukun rakenteita. Valintojen jälkeen käyttäjä päivittää mallin. Mallin päivityksen jälkeen 3d-mallin rakenne on päivittynyt haluttuun konfiguraatioon.



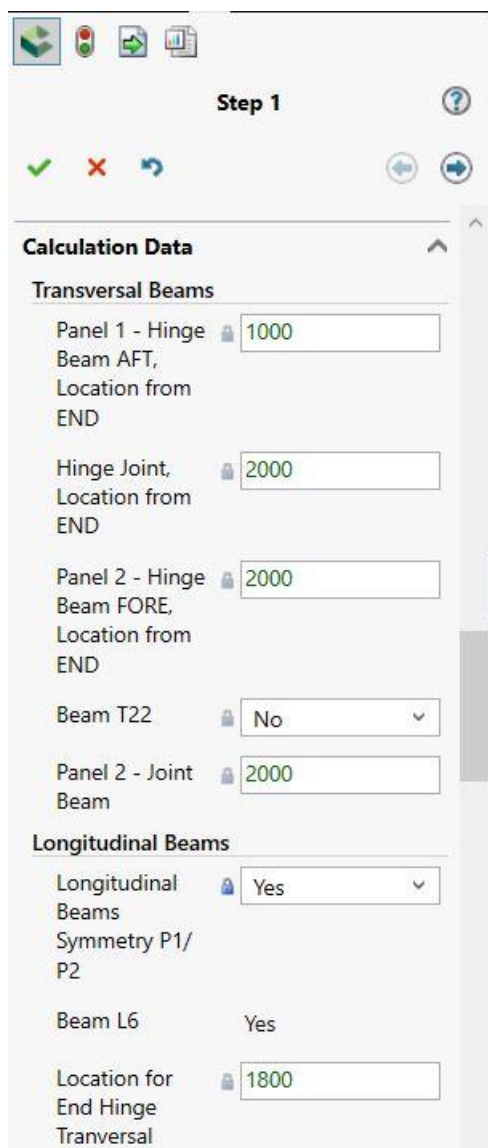
Kuva 24. Käyttöliittymän ensimmäisen vaiheen ulkoasu.

Ensimmäisessä vaiheessa olevat arvot on jaettu neljään eri pääryhmään: perustietoihin, päämittoihin, lujuuslaskentadataan ja yleiseen tietoon. Perustiedot pitävät sisällään laivatyyppin, lastiluukkujen määrän, rahtiluukkujen muodon ja lastiluukun tyyppin. Päämittoihin on kerätty kaikki arvot mitä tarvitaan lastiluukun määrittämiseen. Näitä mittoja on esimerkiksi ruuma-aukon koko, lastiluukun korkeus, luukun reunan ylitys ja niin edelleen. Lujuuslaskentadataan määritetään lastiluukun teräsrakenteiden tarve ja niiden paikoitus. Lastiluukun teräsrakenteita ovat siis pitkittäisuumat, poikittäisuumat, reunaraudat, jäykisteiden määrä ja koko sekä myös lasketun pohjan rakennevalinta. Lujuuslaskentadatan selkeyden vuoksi eri teräsrakenteet ja niiden valinta ominaisuudet on ryhmitelty omiksi kokonaisuuksiksi. Yleisessä tiedossa on alas lasketun luukun rakenteen määrittäykset sekä hold downin paikan määrittäminen. Käyttöliittymän rakenteen havainnollistavat kuvat 24, 25, 26 ja 27.

Main Dimension

Update Cross Section Drawing	<input type="checkbox"/> No
Opening Dimension B	<input type="text" value="16000"/>
Opening Dimension L	<input type="text" value="16000"/>
Panel Height	<input type="text" value="900"/>
Panel GAP	<input type="text" value="15"/>
Flange Level From COA	<input type="text" value="90"/>
Side Plate Overhang	<input type="text" value="150"/>
Top Plate Overhang Side Plate	<input type="text" value="15"/>
End Plate Overhang	<input type="text" value="150"/>
Top Plate Overhang End Plate	<input type="text" value="15"/>
Top Plate - Hinge Beam Panel 2	<input type="text" value="220"/>

Kuva 25. Lastiluukun päämittojen määrittäminen käyttöliittymässä.

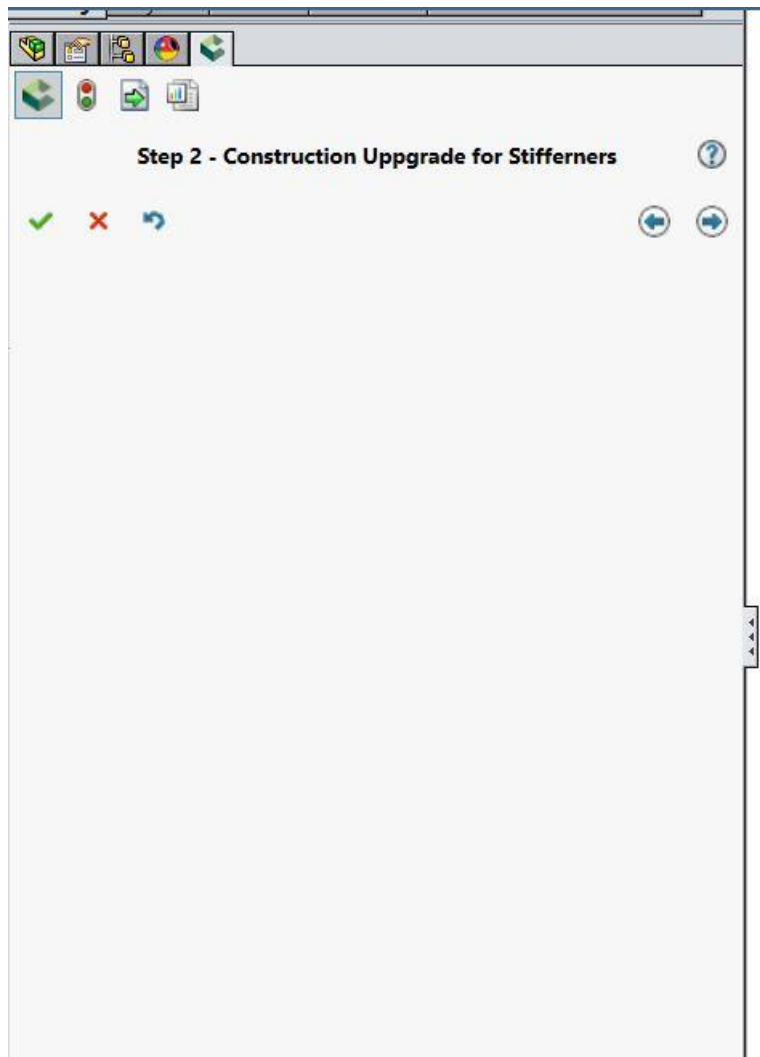


Kuva 26. Lastiluukun teräsrakenteiden valinta ja paikoitus käyttöliittymässä.

7.4.2 Käyttöliittymän toinen ja kolmas vaihe

Toisessa vaiheessa päivitetään kannen- ja pohjalevyn jäykisteet. Jäykisteiden paikat sekä koko määritetään jo ensimmäisessä vaiheessa, mutta käyttöliittymän käytännöllisyyden sekä laskentanopeuden takia jäykisteiden visuaalinen ulkonäkö määritetään vasta toisen vaiheen mallin päivityksessä. Piirteiden eriaikainen päivittäminen on myös tekninen valinta. Kun käyttäjän tarvitsee muuttaa aloitusarvoja ensimmäisessä vaiheesta, hänen ei tarvitse generoida kaikkia vaiheita uudestaan vaan palata yhden vaiheen takaisinpäin. Uudelleen generoinnin aika on siis pienempi verrattuna siihen, että se päivittäisi aina koko mallin uudestaan yhden mitan muutoksen jälkeen.

Kolmannessa vaiheessa päivitetään pohja- ja kansilevyt, koska pohja- ja kansilevyn rakenteeseen vaikuttavat kaikkien aikaisempien vaiheiden valinnat.



Kuva 27. Käyttöliittymän toinen vaihe.

Käyttöliittymän toisen ja kolmannen vaiheen näkymät ovat identtiset. Kuva 27 osoittaa, että käyttäjän ei tarvitse tehdä enempää määrittäksiä, vaan jatkaa lujuuslaskentamallin päivittämistä.

8 PÄÄTELMÄ LUJUUSLASKENTAMALLIN PROSESSIN KUVAAMISESTA

Ensiksi mallinnettiin riittävästi itse päämallia, jotta konfiguraattorin luomiseen tulisi rutii-
nia, koska aikaisempaa käyttökokemusta ohjelmasta ei ollut. Lujuuslaskentamallin ja
konfiguraattorin toimivuutta pystyttiin testaamaan kokoaikaisesti, jolloin ohjaussäännök-
sien toimivuutta pystyttiin testaamaan ja mahdolliset virheet pystyttiin korjaamaan heti.

8.1 Mallintamisen ongelmakohtia

Yleisiä ongelmia, joita lujuuslaskentamallia tehtäessä olivat 3d-mallin uudelleen-
generointi virheet ja Tactonin vähäisestä käyttökokemuksesta johtuneet virheet. Tac-
tonin ohjelmointikieli on yksikertainen, mutta sovelluksen haittapuolena on se, että Tac-
ton yrittää ratkaista laskentaongelmat nopeasti, ja tällöin Tacton hyväksyy ensimmäisen
oikean vaihtoehdon, jonka ohjelma pystyy todentaa sääntöjen mukaiseksi, vaikka kysy-
mykseen olisi muitakin oikeita ja tarkoituksellisimpia ratkaisuja.

SolidWorksia käytettäessä haasteena on ollut luonnoksien mittojen suunnanmuutos ja
tasojen suunnanmuuttuminen. Mittojen suunnanmuutoksella tarkoitan ongelmaa, kun
mitta ajetaan arvosta nolnaan ja sen jälkeen takaisin arvoonsa. Tässä usein tapahtuu
mitan suunnan muuttuminen. Tämä ilmenee esimerkiksi tilanteessa, kun viivan mitta olisi
vaikka 50 ja mitta ajetaan nolaksi ja takaisin 50, mutta SolidWorks kääntääkin viivan
vastakkaiseen suuntaan, koska SolidWorks ei tiedä enää mitan alkuperäistä vektori-
suuntaa ja tällöin syntyy uudelleengenerointi virheitä. Toinen SolidWorks ongelma on
tasojen mitoituksen muuttuminen negatiiviseksi. Tämä aiheutuu, kun ajetaan tason paik-
kamitta toisen määrätyn tason yli. Rakennepuussa alkuperäisen tason jälkeen luotu taso
hävittää referenssi viittauksensa alkuperäiseen tasoon, joka aiheuttaa uudelleen-
generointi virheitä.

8.2 Lujuuslaskentamallin päivitys nopeuden testaaminen

Mallin käyttötehokkuutta voidaan mitata mallin päivitykseen kuluneella ajalla. Käyttöajalla tarkoitetaan sitä aikaa, joka käyttäjältä menee mallin päivittämiseen. Mallin konfiguraation päivittämiseen käytetyn ajan voi suhteuttaa 3d-mallissa oleviin piirremääriin sekä skeletonin mittojen päivitykseen. Mallin päivitysaika koostuu siis työmäärästä, jonka SolidWorks täytyy tehdä, jotta päästää haluttuun konfiguraatioon.

Mallin toiminnollisuuden määrittämiseksi ajetaan joukko testejä, joissa mallia ajetaan eri konfiguraatioihin ja työnkesto kelloitetaan. Läpimenoajat jaetaan kahteen ryhmään irtolasti sekä yleiseen lastiluukun lujuuslaskentamalli. Työvaiheiden kestot on osoitettu minuuttikohtaisesti taulukossa 3.

Taulukko 3. Lujuuslaskentamallin konfiguroinnin läpimenoaikoja.

	Vaihe 1 (min)	Vaihe 2 (min)	Vaihe 3 (min)
Irtolasti	2,5	4	1,5
	9,5	8,5	6
	10	10	3,5
Keskiarvo:	7,3	7,5	3,7

Yleinen rahti	20	45	4
	6	15	7,5
	30	60	15
Keskiarvo:	18,7	40,0	8,8

Kuten taulukko 3 osoittaa niin irtolastilaivan lastiluukku on nopeammin konfiguroitavissa, koska siinä on huomattavasti vähemmän rakenteita käytössä. Yleisen rahdin lastiluukussa on huomattavasti enemmän rakenteita, jolloin konfigurointi prosessiin menee huomattavasti enemmän aikaa. Näihin täytyy toki ottaa vielä huomioon 3d-mallin avaaminen SolidWorksissä, jossa kestää 2,5 minuuttia. Laskentamallin konfigurointiin kuluu 21 - 70 minuuttia kokonaisuudessa.

Ensimmäisen päivitysvaiheen jälkeen 3d-mallin ulkonäkö vastaa kuvaa 16. 3d-mallin poikittais- ja pitkittäisuumat ovat päivittyneet oikeisiin konfiguraatioihin. Toisen vaiheen jälkeen 3d-mallin ulkoasu vastaa kuvaa 18 tai 19. 3d-malliin on päivitetty jäykisteiden piirteet pohja- ja kansilevyille. Kolmannen päivitysvaiheen jälkeen 3d-mallin ulkoasu vastaa kuvaa 20, jossa on päivitettynä kansi- ja pohjalevyn pintapiirteet.

8.3 Testaamisen lopputulos

Mallin konfigurointiajoista voidaankin päätellä, että prosessin kesto riippuu siitä, että mihin konfiguraatioon mallia konfiguroidaan. Irtolastilaivan lastiluukun lujuuslaskentamallin voidaan määrittää nopeasti, mutta yleisen rahtilaivan lastiluukun lujuuslaskentamallissa voi kestää suhteellisen kauan. Tämä aikaero johtuu piirteiden määrästä itse mallissa. Konfiguraattori ohjaa SolidWorksia, joko häivyttämään tai aktivoimaan piirteitä 3d-mallissa. Prosessia voidaankin siis nopeuttaa siten, että malli konfiguroidaan valmiiksi mahdollisimman käyttäjäystävälliseen konfiguraatioon, jossa yleisimmät piirteet ovatkin jo aktiivisena. Tällöin konfiguraattorin ei tarvitsi ohjata SolidWorksia aktivoimaan ja häivyttämään aina yleisimpiä pintapiirteitä. Myös malli voitaisiin kopioida kahdeksi, jolloin toinen 3d-malli ajettaisiin irtolastilaiva konfiguraatioon ja toinen yleisen rahtilaivan konfiguraatioon, mikä nopeuttaa konfigurointiprosessia entisestään.

9 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli luoda uusi lujuuslaskentamalli MacGregor Finland Oy:n lujuuslaskennan tarpeisiin ja kuvata tämän lujuuslaskentamallin suunnitteluprosessi. Lujuuslaskentamallin piti soveltua kahden erityyppin rahtilaivan bulk folding -lastiluukkujen lujuuslaskentaan sekä toimia täysin itsenäisenä lujuuslaskentamallina. Tässä työssä onnistuttiin, ja uusi lujuuslaskentamalli täyttää vaaditut tavoitteet.

Työ koostui neljästä työvaiheesta, jotka olivat työn suunnitteleminen, 3d-pintamallin mallintaminen, lujuuslaskentamallin konfiguraattorin luominen ja lujuuslaskentamallin toimivuuden määrittäminen. Lujuuslaskentamalli mallinnettiin käyttäen SolidWorks 3D-CAD -ohjelmistoa ja konfiguraattori luotiin Tacton Design Automation -ohjelmistoilla.

Uusi lujuuslaskentamalli tullaan ottamaan ensiksi testikäyttöön MacGregor Finland Oy:ssä, ja lujuuslaskentamallin kehitystä tullaan jatkamaan. Lujuuslaskentamalli ei ole täysin valmis, vaan se on pääperusteet täyttävä paketti, johon voidaan vielä tuoda lisää ominaisuuksia ja uusia parannuksia. Työn lähtökohtana olikin alun perin luoda uuden tyyppin lujuuslaskentamalli, jolla voitaisiin testata erilaisia lujuuslaskentaskenaarioita. Myös lujuuslaskentamalli on itsessään lisätyökalu jo olemassa oleville lujuuslaskentatyökaluille, joten mallin käyttötarkoitus on monipuolinen, ja sen etuna on, että lujuuslaskentamalli on täysin itsenäisesti konfiguroitavissa.

Tällä hetkellä teollisuuden digitalisoituminen on voimakkaassa kasvussa ja konfiguraattorin tuomista hyödyistä yritykselle voi olla suuri apu. Konfiguraattori on toimiva aputyökalu suunnittelun tai myynnin avuksi, koska se vähentää työhön kuluvaan aikaan, jolloin yrityksen tuotteiden tai palveluiden kilpailukyky markkinoilla voi parantua.

LÄHTEET

Kuva 1. Bulk folding -lastilaivan lastiluukut, Maritime directory, MacGregor cranes and hatch covers for Samho bulker series 12.04.2010, Viitattu 27.02.2019, <http://maritimedirectory.com/mt/newsread.asp?l=e&ID=646>

Kuva 2. General cargo -laiva folding -lastiluukuilla, MacGregor Group AB, Viitattu 27.1.2019, <https://www.macgregor.com/Products-solutions/products/hatch-covers/folding-hatch-covers/>

Cargotec 2018, Cargotec OYJ, Viitattu 2.2.2019, <https://www.cargotec.com/fi/macgregor/>

Suomen asiakastieto Oy 2019, Suomen asiakastieto Oy, Viitattu 18.3.2019, <https://www.asiakastieto.fi/yrietykset/fi/macgregor-finland-oy/25573104/yleiskuva>

MacGregor 2018, MacGregor Group AB, Viitattu 4.11.2018, <https://www.macgregor.com/about-us/>

Keskustelut kollegan kanssa, MacGregor Finland Oy, Viitattu 23.10.2018, Sampsa Kallinen

Tacton 2018, Tacton Systems AB, Viitattu 5.11.2018, <https://www.tacton.com/tacton-design-automation-solidworks/>

SolidWorks 2019, Dassault Systèmes, Viitattu 10.1.2019, http://www.solidworks.fi/sw/6453_SVF_HTML.htm

SolidWorks Online Help 2019, Dassault Systèmes, Viitattu 10.1.2019, http://help.solidworks.com/2017/english/SolidWorks/sldworks/c_introduction_toplevel_topic.htm

Top-down Design 2019, Dassault Systèmes, Viitattu 10.1.2019, http://help.solidworks.com/2017/english/solidworks/sldworks/c_top-down_design_overview.htm

Tacton Design Automation for SolidWorks 2019, Tacton Systems AB, Viitattu 10.1.2019, <https://www.tacton.com/tacton-design-automation-solidworks/>

Tacton Configuration Studio 4.7.3, Tacton Systems AB, Viitattu 10.1.2019, Tacton Configuration Studio 4.7.