

Hannes Impola

Hoitotasojen ja portaiden parametristen mallien kehittäminen

Opinnäytetyö

Energiatekniikka

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	insinööri AMK
Tekijä/Tekijät	Hannes Impola
Työn nimi	Hoitotasojen ja portaiden parametristen mallien kehittäminen
Toimeksiantaja	Enmac Oy
Vuosi	toukokuu 2021
Sivut	49 sivua, liitteitä 1 sivua
Työn ohjaaja(t)	Kalle Tarhonen, Tuomo Kanerva

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä teollisuudessa käytettävien hoitotasojen ja portaiden parametrisoituun mallintamiseen. Tarkoituksena oli myös kehittää toimivat ja helppokäyttöiset parametrimallit hoitotasolle, portaille ja hoitotason tukitolpille. Mallit sisältävät myös suojakaiteet edellä mainituille rakenteille. Työn toimeksiantajana toimi Enmac Oy, joka toimittaa asiakkaille räätälöityjä suunnittelupalveluita.

Työn teoriaosuudessa paneudutaan hoitotasojen, portaita ja suojakaiteita ohjaaviin kriteereihin. Rakenteelliset päämitat ohjautuvat SFS EN-ISO 14122 -standardisarjan mukaisesti. Standardit ohjaavat kyseisten rakenteiden suunnittelua, jotta niiden käyttö olisi turvallista. Standardi asettaa rakenteille myös tietyt minimilujuusvaatimukset. Parametrisoitujen mallien tulisi toimia siten, että ne täyttävät standardeissa asetetut reunaehdot kyseisille rakenteille.

Teoriaosuuden jälkeen käydään läpi yleiset perustoiminnot 3D-mallintamisesta ja parametrisoidun mallintamisen tekniikoita. Työ sisältää eri vaihtoehtojen tarkastelun parametrisoituun mallintamiseen, käyttötarkoitukseen valikoituneen menetelmän esittelyn ja perustelut sen käyttöön. Tämän työn mallit toteutettiin Solidworks-suunnitteluohjelmalla Equations-työkaluja hyödyntäen.

Työn tuloksina saatiin aikaan parametrisoidut hoitotaso-, porras-, tukitolppa- ja kaidemallit, joiden päätarkoitus on nopeuttaa suunnittelun läpimenoaikaa ja nopeuttaa esisuunnittelua esimerkiksi tarjousvaiheessa. Työssä onnistuttiin hyvin, sillä kaikki mallit saatiin valmiiksi aikataulussa. Mallit saatiin myös koe-käytettyä oikeassa toimitusprojektissa, ja malleista saatu palaute oli hyvää. Työn puitteissa luotiin myös mallipiirustukset ja ohjemateriaali. Työssä käydään läpi luotujen mallien perustoiminnot, muttei paneuduta niiden yksityiskohtaiseen luomiseen tai toteutusratkaisuihin.

Parametrisoitu mallintaminen näkyy tulevaisuudessa insinööritoimistojen suunnitteluprojektien kehitystyössä ja toistuvien rakenteiden suunnittelun tehostamisessa. Työ antoi yrityksen sisällä hyvän etenemispohjan parametrisen mallinnuksen kehittämisessä eri rakenteisiin, ja aihe tulee olemaan pinnalla yrityksen sisäisesti tulevaisuudessakin.

Asiasanat: Parametriset mallit, Solidworks, hoitotasot

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Hannes Impola
Thesis title	Developing a parametric model for service platform design
Commissioned by	Enmac Oy
Time	May 2021
Pages	49 pages, 1 pages of appendices
Supervisor	Kalle Tarhonen, Tuomo Kanerva

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to examine parametric modelling of industrial service platforms and stairs. The purpose was also to develop functional and useful parametrical models for service platforms, stairs, and supporting posts. Models also include safety handrails in these structures.

The theory part of the thesis went through the criteria which controls service platforms, stairs, and handrails.

After the theory part went through a practical part which contained commonly used functions during 3D-modelling, and parametric modelling. The thesis included consideration of different options for parametric modelling. Also, selected methods of parametric modelling for this thesis were presented and reasoned. Parametric models of this thesis were made with Soliworks software, using Equations-toolboxes.

The result of the thesis was parametric models of service platforms, stairs, supporting posts, and handrails. The main purpose of these models is to intensify the design time and quicken pre-design processes. The thesis succeeded well because all models got ready in time. Models also got trial runs in a delivery project and the feedback was good. The thesis also included model drawings in the structures and instruction material for the use of models. The thesis included the basic operation of the models, but it didn't go into details with creating these models or in the detailed solutions.

This thesis gave a good base to continue to develop parametric modelling with different structures in the company. The same subject will be relevant in the company's development work in the future.

Keywords: Parametric models, Solidworks, Service Platforms

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KONEIDEN KIINTEIDEN KULKUTEIDEN TEORIAA JA SUUNNITTELUKRITEERIT	7
2.1	Hoitotasoja rajoittavat mitat	9
2.2	Kaiteet	11
2.3	Portaat.....	13
3	PARAMETRISTEN MALLIEN TEKNIKOITA.....	15
3.1	Mallinnustekniikka ja kokoonpanot	15
3.2	Tekniikoita	16
3.3	Vaihtoehtoisia menetelmiä.....	18
3.4	Käyttötarkoitukseen valikoitunut menetelmä.....	19
4	PARAMETRISEN MALLIN KEHITTÄMINEN.....	22
4.1	Mallin kehittäminen	22
4.2	Vaatimukset.....	24
4.3	Mallien valmistus	26
4.4	Lopulliset mallit	35
4.5	Lujuusopillinen mitoitus.....	38
5	OHJEET JA MALLIPIIRUSTUKSET	39
5.1	Ohjeet.....	39
5.2	Mallipiirustukset	41
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	45
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET	
	Liite 1. Vaatimuslista	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään teollisuudessa käytettävien hoitotasojen, portaiden ja suojakaiteiden mallintamisen parametrisointia. Työn toimeksiantajana toimi Enmac Oy, joka toimittaa asiakkaalle räätälöityjä koneita, laitteita ja suunnittelupalveluita. Yritys on erikoistunut robottisolujen, tuotantolaitteiden, nostoapuvälineiden ja turvarakenteiden suunnitteluun ja toimitukseen. Idea työlle on lähtenyt yrityksen sisäisesti kehityshankkeena, jolla voitaisiin tehostaa suunnittelua. Parametrisoitu malli kehitetään Solidworks-ohjelmaan, joka on yrityksen sisäisesti eniten käytetty 3D-mallinnusohjelma.

Turvarakenteet, kuten hoitotasot, suojakaiteet ja portaat, ovat sallittujen mittojensa osalta suurelta osin standardoituja. Tämä pitää sisällään, että kohteen rakenteiden on täytettävä standardien asettamat reunaehdot konstruktiosta riippumatta. Reunaehdot pitävät sisällään mm. minimi- ja maksimimittoja, jotka on luotu suunnittelukriteereiksi etenkin turvallisuus huomioiden.

Työssä käydään läpi kriteerit, joita standardit määräävät turvarakenteiden suunnitteluun. Sen lisäksi perehdytään parametrisoitujen mallien toteutustekniikoihin ja käydään läpi itse mallin luominen. Tässä työssä parametrisoitu mallintaminen rajataan hoitotasoihin, portaisiin ja suojakaiteisiin. Tavoitteena on saavuttaa toimiva ratkaisu, jota toimeksiantajayritys pystyy hyödyntämään edellä mainittujen tuotteiden suunnittelussa, tehostaen toistuvaa suunnittelutyötä. Jotta mallin edut suunnittelutyössä olisivat hyödynnettävissä, on sille tehtävä myös selkeä kirjallinen ohjepaketti kuvakaappauksin, jotta yrityksen muut työntekijät pystyvät hyödyntämään mallia tehokkaasti ja mahdollisimman pienellä koulutuksella.

Mallinnuksen parametrisointi mahdollistaa myös rakennemateriaalien ja –konstruktioiden vakioimisen yrityksen sisäisesti. Tämä yhdentäisi yrityksen tuottamien rakenteiden linjausta, jotta tasot noudattelisivat samaa suunnittelumallia nopeuttaen mm. lujuslaskentaa. Tähän asti rakenteet ovat olleet tilanteesta ja suunnittelijasta riippuen yksilöllisiä. Myös valmistusprosessin kulkua ja kus-

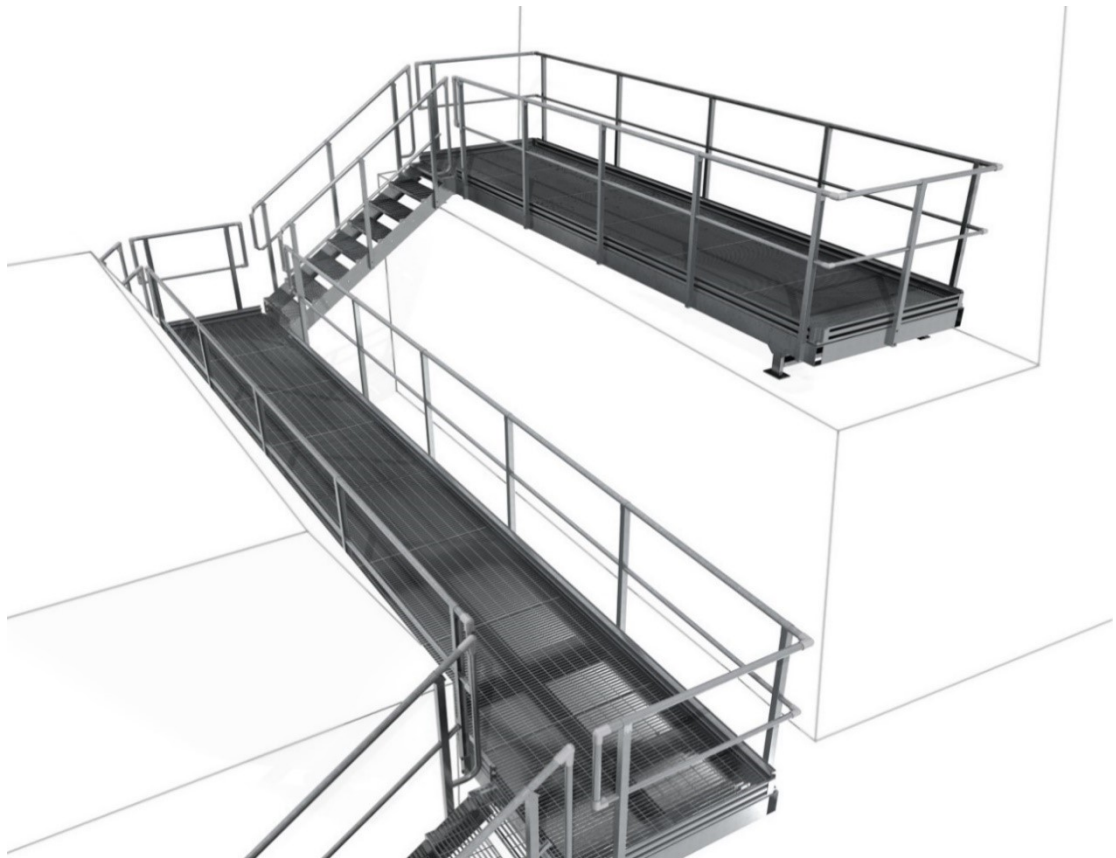
tannuksia on mahdollisuus priorisoida, kun rakenteet voidaan toteuttaa vakio-profiileilla vähentäen erilaisten rakennemateriaalien määrää valmistusvaiheessa.

Aihe oli erittäin mielenkiintoinen opinnäytetyöaiheeksi, sillä tässä työssä sain syventää reilusti 3D-mallinnusosaamistani. Työkokemukseeni kuuluu yksi kesätyö samaisessa yrityksessä suunnittelijaharjoittelijana, joten Solidworks-ohjelman perustoiminnot olivat jo tulleet tutuksi. Työn mielenkiintoisuutta lisää luonnollisesti se, että työstä on selkeää hyötyä yrityksen toiminnalle tavantomaisessa toimitusprojektissa, jossa asiakas tilaa edellä mainittuja turvarakenteita. Sain toteuttaa malliin liittyvän suunnittelutyön Enmac Oy:n toimipisteessä, jolloin myös ongelmakohtissa apua oli nopeasti saatavissa.

Työ tehdään tuotekehitysprojektina, johon hyödynnetään yrityksen sisäistä porttimallia. Porttimallin päätarkoituksena on vaiheistaa projektin kulkua ja pitää työn eri osapuolet tietoisena projektin etenemisestä. Tuotekehitysprojektin omaisesti työlle luotiin myös vaatimuslista, joka on esitelty liitteessä 1. Vaatimuslista jäsenteleé työn tavoitteet projektin alkuvaiheessa. Työssä hyödynnetään myös luovan koneensuunnittelun ohjemenetelmiä, joihin on paneuduttu teoksessa Creative Engineering Design. Kirja käsittelee luovaa ongelmanratkaisua koneensuunnittelussa ja kertoo sen eri menetelmistä. Luova ongelmanratkaisu on prosessi, johon ei tietoisesti voi täysin vaikuttaa. Tarkoituksena on tutkia ongelmaa eri näkökulmista ja luoda havaintoja ongelmaan liittyen ja sen ympäriltä. Lopulta sopivassa mielentilassa alitajunta saattaa antaa täysin yllättäen ratkaisevan idean ongelmanratkaisuun ja projektissa päästään eteenpäin. Tämän kaltaiset yllättävät ideat eivät pääse syntymään liiallisen kiireen, stressin tai muuten kireän tai liian arvostelevan tunnelman keskellä. (Tuomaala 1999.)

2 KONEIDEN KIINTEIDEN KULKUTEIDEN TEORIAA JA SUUNNITTELUKRITEERIT

Työssä käsiteltävät parametrimallit rajautuvat edellä mainitun mukaisesti hoitotasoihin, portaisiin ja kaiteisiin. Hoitotasoja voidaan kutsua myös kiinteiksi kulkuteiksi, sillä ne on tarkoitus kiinnittää kohteeseen pysyvästi. Työssä ei siis käsitellä siirreltäviä, konekäyttöisiä tai säädettäviä kulku- ja työtasoja. Kaikkea koneenrakennusta käsittelee Konedirektiivi 2006/42/EY, jonka mukaan kaikkien koneiden tulee olla EU:n asettamien vaatimusten mukaisia (Tukes 2016). Konedirektiiviä sovelletaan myös koneiden hoitotasoihin, eli toisin sanoen koneiden kiinteisiin kulkuteihin. (Kuva 1.)



Kuva 1. Koneen kiinteä kulkutie eli hoitotaso. (Rtaso s.a.)

Koneiden kiinteitä kulkuteitä ohjaa yksityiskohtaisemmin Euroopassa hyväksytty standardi *SFS-EN ISO 14122: 2016 Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet*. Standardi määrittää koneiden ja laitteiden ympärille rakennettavien kulkuteiden reunaehdot, joita on noudatettava suunniteltaessa ja valmistettaessa kyseisiä rakenteita. Sen tarkoituksena on taata turvallinen pääsy koneen lähelle ja työskentely sen ympäristössä, kun sinne ei maanpinnalta tai tasolta ole muuten pääsyä. (SFS-EN ISO 14122-2 2016.)

Monissa tapauksissa kiinteät kulkutiet on rakennettava koneen tai laitteen ympärille sellaisiin paikkoihin, joissa ne ovat välttämättömiä koneen käytön, kunnossapidon, puhdistuksen yms. kannalta. Ne mahdollistavat tärkeiden komponenttien lähelle pääsemisen. Niitä voivat olla esimerkiksi tarkistusluukut, sähkökeskukset tai ohjainyksiköt, joita ei muuten voida sijoitella alkuperäiselle lattiatasolle. Hoitotaso voi toimia myös kulkutienä esimerkiksi koneen ylitse, mikäli sen kiertäminen olisi muutoin hankalaa tai jopa mahdotonta. Teollisuudessa myös esimerkiksi savukaasukanavat ja täyttö- ja tyhjennysluukut sijaitsevat usein prosessille luonteenomaisesti korkealla, joten niiden luokse täytyy usein suunnitella jonkinlainen kulkutie.

Kiinteät kulkutiet on lähtökohtaisesti suunniteltava aina siten, että niillä työskentely on turvallista eivätkä ne aiheuta ylimääräisiä riskejä. Tämä pitää sisälleen sen, että työskenneltäessä tai kuljettaessa korkealla on henkilön putoaminen aina estetty. Putoamisen estäminen tapahtuu ensisijaisesti kaidejohteilla, joiden tulee olla riittävän korkeat, eikä niissä tai niiden välillä saa olla liian suuria aukkoja. Suojakaiteet on myös suunniteltava siten, että niiden käyttö olisi vaistomaista. Mikäli kohteen ominaispiirteistä johtuen kaiderakenteella putoamisriskiä ei voida täysin poistaa, on kohteessa käytettävä henkilökohtaisia putoamissuojaimia, esim. valjaita.

Myös kompastumis- ja liukastumisriski on poistettava tai minimoitava kulkutietä suunniteltaessa. Kompastumisriskiä voidaan minimoida mahdollisimman yhtenäisellä lattiarakenteella, jossa ei ole liian suuria aukkoja tai muita kompastumista edistäviä esteitä. Mikäli kohteen ominaispiirteistä johtuen kompastumisvaaran poistaminen on mahdotonta esimerkiksi tason läpi kulkevan putken takia, on kompastumisriski minimoitava merkitsemällä putki huomiovä-

reillä. Lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi pehmustetta, jotta putken yli päästään kulkemaan mahdollisimman turvallisesti. Myös aukkoja on vältettävä, mikäli se vain on tilanteesta riippuen mahdollista. Liukastuminen tulee estää liukastumista ehkäisevällä pinnalla tai materiaalilla, ja mahdollisuuksien mukaan on estettävä liukastumista aiheuttavien aineiden tai materiaalien joutuminen kulkuteille. (SFS-EN ISO 14122-2 2016.)

Kulkuteitä suunniteltaessa on myös otettava huomioon kerrostyöskentely. Tasolta ei saa pudota esineitä tason alla kulkevien henkilöiden päälle. Standardi SFS-EN ISO 14122-2 määrittelee tason aukkokoot pallon muotoisen kappaleen halkaisijana. Yleisesti 35 mm halkaisijaltaan oleva kuula ei saa pudota vapaasti tason lävitse, mutta jos taso sijaitsee henkilöiden työpaikkojen yläpuolella, halkaisija pienenee 20 mm:iin. (SFS-EN ISO 14122-2 2016.) Näiden ehtojen osalta onkin yleistä, että tasopintoina käytetään ritiläratkaisuja. Ritilät toimivat mainiosti liukastumisen ehkäisyinä. Ritilän alle on myös mahdollista asentaa suojalevy, mikäli halutaan, etteivät edellä mainittuja pienemmätkään partikkelit pääse putoamaan esimerkiksi mahdolliseen tason alapuoliseen prosessialtaaseen.

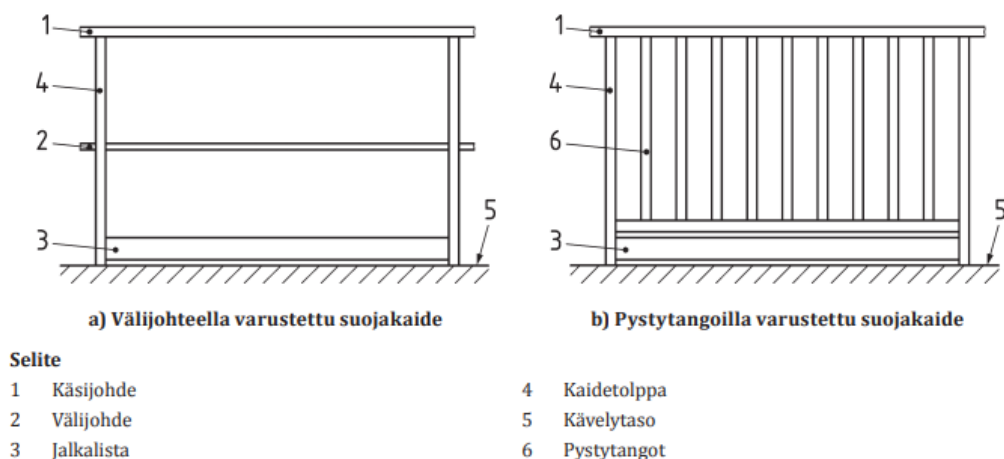
Kulkuteissa on huomioitava myös koneesta tai laitteesta aiheutuvat riskitekijät, kuten esimerkiksi pyörivät osat, melu, kuumuus, säteily ja jännitteelliset osat. Standardi ISO 13857 määrittelee vaaditut turvaetäisyydet edellä mainittuihin riskitekijöihin. Mikäli turvaetäisyyttä tasolta riskitekijään ei pystytä toteuttamaan, on käytettävä esimerkiksi ISO 14120:n mukaisia suojuksia. (SFS-EN ISO 14122-2 2016.) Kulkutiestä ja sen käyttämisestä ei täten saa aiheutua vaaraa sen käyttäjälle, eikä se saa heikentää sen läheisyydessä olevien laitteiden tai laitoksen toimintaa ja turvallisuutta.

2.1 Hoitotasojen rajoittavat mitat

Hoitotasojen mittoja rajaavat reunaehdot esitetään standardissa SFS-EN ISO 14122-2 (Kuva 2). Tasolla olevan vapaan korkeuden h tulee olla vähintään 2100 mm. Mikäli tähän mittaan ei päästä esteen vuoksi, on vähimmäisraja vapaalle korkeudelle 1900 mm. Tällöin alhaisemmasta kulkukorkeudesta on varoitettava ja esteisiin asetettava pehmusteet. Vapaan leveyden w tulee olla vä-

2.2 Kaiteet

Suojakaiteet ovat rakenteita, joiden tarkoituksena on estää henkilön putoaminen tasolta alas. Taso on varustettava suojakaiteella, kun vapaan putoamisen mahdollisuus on 500 mm. Kaiteet sisältävät käsijohteen, jonka on oltava samansuuntainen tason pinnan kanssa. Käyttäjän on tarkoituksenmukaista ottaa käsijohteesta vaistomaisesti kiinni kulkiessaan tai käyttäessään kulkutasoa. Lisäsuojana toimii välijohde, joka on käsijohteen kanssa samansuuntaisesti kulkeva vaakapalkki. Välijohteella estetään putoaminen käsijohteen ja lattiatason välistä. Suojakaiteet ovat pystyssä kaidetolpilla. Kaidetolppiin kiinnitetään myös jalkalista, jonka tarkoituksena on estää esineiden putoaminen alas tason reunoilta. (SFS-EN ISO 14122-3 2016.) Kaiteiden osien termit esiteltä kuvassa 3.

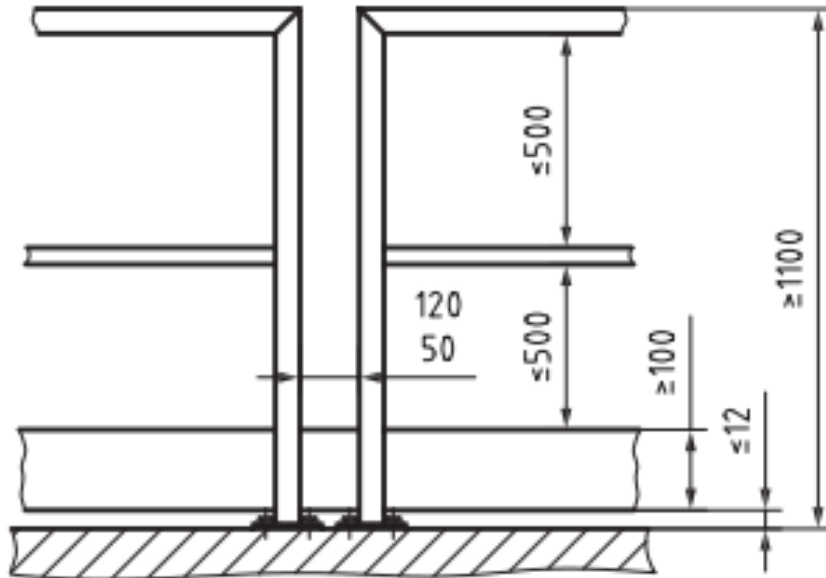


Kuva 3. Kaiteiden osat. (SFS-EN ISO 14122-3 2016)

Suojakaiteiden korkeuden tulee olla vähintään 1100 mm tason pinnasta. Välijohteen ja käsijohteen välinen vapaa aukko ei saa ylittää arvoa 500 mm. Sama koskee myös välijohteen ja jalkalistan etäisyyteen. Näin ollen välijohde on hyvä asentaa korkeussuunnassa keskelle pystysuuntaisia kaidetolppia.

Jos käytetään useita peräkkäisiä suojakaiteita, niiden välisen vapaan aukon on oltava 50–120 mm (Kuva 4). Kyseinen rakenne estää putoamisvaaran ja minimoi myös väliinpuristumis- ja takertumisvaaraa. Sama pätee, mikäli kai-

detta seuraa seinä, koneenosa tai muu yhtä hyvin putoamista ehkäisevä rakenne. Myöskään tapauksessa, jossa vaakasuuntainen välijohte korvataan pystysuuntaisilla tolppilla, ei niiden välinen vaakasuuntainen aukko saa ylittää 180 mm:ä. Muutoin pystysuuntaisten kaidetolppien välinen maksimietäisyys on 1500 mm. (SFS-EN ISO 14122-3 2016.)



Kuva 4. Kaiteita rajoittavat mitat. (SFS-EN ISO 14122-3 2016)

Nämä reunaehdot huomioiden on mahdollisuuksien mukaan suunniteltava kaiteet vaakasuuntaisella välijohteella, joka sallii huomattavasti pidemmän pystysuuntaisten tolppien välin. Tämä vähentää tarvittavan palkkimateriaalin määrää, mikä minimoi materiaali- ja valmistuskustannuksia.

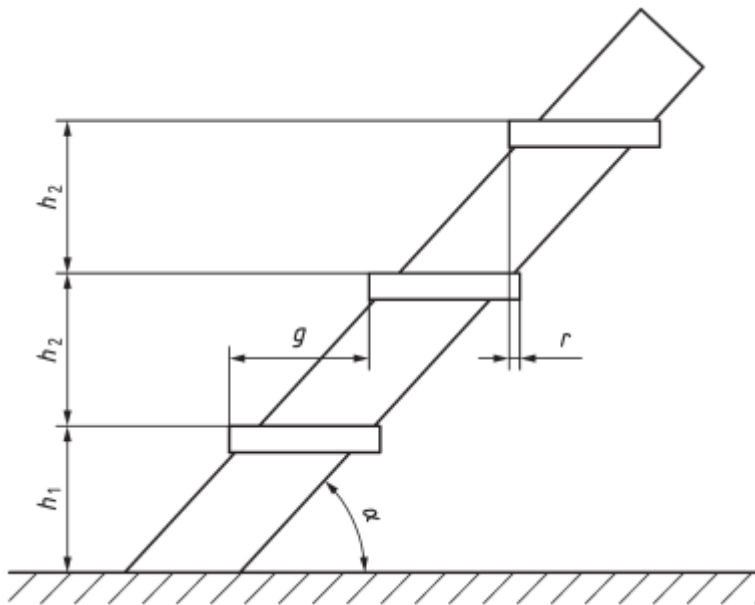
Mikäli kaiteen lävitse menee kulkutie, on vapaa pääsy kulkutiestä estettävä tarkoituksenmukaisella portilla. Myös kaiteiden rakennetta suunniteltaessa on huomioitava, ettei kaiteen profiili tai muoto aiheuta lisäriskejä esimerkiksi henkilöiden vaatteiden takertumisen johdosta. Myös kiinnitettävissä ja irrotettavissa kaiderakenteissa on huomioitava tahattoman avautumisen ja irrottamisen ehkäisy.

Portaiden suojakaiteita koskevat samankaltaiset mittaehdot kuin aiemmin mainitut. Portaatin on varustettava suojakaiteilla, kun niillä noustaan yli 500 mm. Samoin mitat käsijohteille ja välijohteille ovat verrattavissa hoitotasoihin kohdistuviin raja-arvoihin. Portaiden suojakaiteiden on myös edettävä portaiden

nousulinjan mukaisesti. Suojakaiteiden on sijoitettava portaissa molemmilla puolilla ja niiden on ensisijaisesti oltava yhtenäiset. Mikäli portaat sijaitsevat välitörmässä seinän tai muun putoamisen estävän rakenteen vieressä, voidaan suojakaiteet jättää pois. Tällöinkin erillinen käsijohde on silti asennettava.

2.3 Portaat

Portailla ja porrastikkailla tarkoitetaan rakennetta, jota käytetään mahdollistamaan kävellen tapahtuvan kulkemiseen tasolle eri korkeuksissa. Rakenne sisältää lineaarisesti nousevia tasoja, eli askelmia. Lähtökohtaisesti askelmien välisen nousun h ja etenemän g on oltava samansuuruinen eri askelmien välillä. Jos tämä on mahdotonta, voidaan ensimmäisen askelman nousua pienentää 15 % muiden askelmien välisestä noususta. (SFS-EN ISO 14122-3 2016.) Edellä mainitut suureet esitelty kuvassa 5.



Kuva 5. Portaita koskevat käsitteet. (SFS-EN ISO 14122-3 2016)

Nousevat kulkutiet voidaan jakaa niiden kulman mukaan neljään eri kategoriaan:

- | | |
|-----------------|--|
| - tikkaat | nousukulma välillä $75^\circ - 90^\circ$ |
| - porrastikkaat | nousukulma välillä $45^\circ - 75^\circ$ |
| - portaat | nousukulma välillä $30^\circ - 45^\circ$ |
| - luiska | nousukulma välillä $>1^\circ - 30^\circ$ |

Parametristen mallien listaan tässä työssä kuuluvat vain portaat, joten porrastikkaiden ja tikkaiden käsittely rajautuu tässä vaiheessa pois. Portaita suunniteltaessa on otettava huomioon niiden kokonaisuus, kokonaiset etenemä ja niistä muodostuva nousukulma. Nousukulma määrää pääsääntöisen ohjearvon askelmien välisille nousuille turvallisuus ja käyttömukavuus huomioon ottaen. Portaiden nousukulman kasvaessa myös askelmakorkeus kasvaa. Askelmakorkeuden on täytettävä kuvan 6 yhtälö, jossa g on askelmakohtainen etenemä ja h on askelmakohtainen nousu.

$$600 \leq g + 2h \leq 660 \text{ (mitat millimetrejä)}$$

Kuva 6. Askelmakorkeuden etenemää ja nousua ohjaava yhtälö. (SFS-EN ISO 14122-3 2016)

Askelmakohtaisen etenemän tulee portaissa olla 210–310 mm. Askelmien välissä on oltava myös vähintään 10 mm:n limitys, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että alemman askelman pääty on hieman ylemmän askelman etureunan alla. Limitystä ei lasketa askelmakohtaiseen etenemään, mikä tarkoittaa sitä, että 10 mm:n limityksellä 210 mm:n etenemään vaaditaan vähintään 220 mm pitkä porraskaskelma. Portaiden vapaan leveyden tulee olla pääsääntöisesti vähintään 800 mm. Mikäli ympäristö ei mahdollista 800 mm:n leveyttä ja mikäli portaiden käyttö on satunnaista, voidaan vapaa leveys pienentää 600 mm:iin. Mikäli taas portaita suunnitellaan useiden ihmisten käytettäväksi samanaikaisesti, tulee vapaan leveyden tällöin olla 1000 mm. Yhtäjaksoinen nousukorkeus saa olla enintään 4000 mm, ja jos portaikko koostuu useammasta nousujaksosta, saa yhtäjaksoinen nousukorkeus olla enintään 3000 mm. Tämä tarkoittaa sitä, että edellä mainittua korkeammat porraskorkeudet on toteutettava välitasanteilla. Välitasanteen on oltava vähintään portaan leveyden suuruinen, muttei kuitenkaan alle 800 mm. (SFS-EN ISO 14122-3 2016.)

Parametrimallissa keskitytään ensisijaisesti portaisiin, sillä ne ovat hoitotason kulkutienä ensisijainen ratkaisu, kun kyseessä on henkilöiden kulkeminen tasolle. Kuitenkaan aina ei ole mahdollista tilanpuutteen tai muun ahtauden vuoksi rakentaa tasolle portaita, joten ratkaisuna päädytään silloin ensisijaisesti porrastikkaisiin ja vasta viimeisenä ratkaisuna kiinteisiin tikkaisiin. Tikkailla kiipeäminen on aina näistä vaihtoehdoista riskialtointa.

Portaiden parametrillisissa tähdätään siihen, että käyttäjä asettaa malliin ai-noastaan portailla saavutettavan kokonaisuuden ja kokonaisuuden, ja näillä tiedoilla malli päivittää runkorakenteen ja kaiteet annettuihin dimensioihin sekä asettaa malliin oikean määrän askelmia sopivalla jaksotuksella kiinnitysreikineen. Tarvittaessa käyttäjä vaihtaa porrasaskelman pituutta vaihtamalla askelman konfiguraatioita, jotka on luotu saatavilla olevien standardimitaisten askelmien mukaisesti. Tällä ratkaisulla voidaan varmistua riittävästä askelmien välisestä limityksestä.

3 PARAMETRISTEN MALLIEN TEKNIKOITA

3.1 Mallinnustekniikka ja kokoonpanot

3D-mallintaminen aloitetaan lähes poikkeuksetta luomalla viivaluonnos eli Sketch, johon hahmotellaan halutulla tavalla, miten malli halutaan visualisoida. Se voi olla esimerkiksi ääriiviakokonaisuus, joiden avulla syntynyttä piirrettä pursotetaan haluttuihin suuntiin. Näin luodaan halutunlainen tilavuus, joka muodostaa kappaleen mallin. Pursottamiseen on erilaisia tekniikoita, jolla halutunlainen rakenne saadaan luotua. Rakenne voidaan myös pursottaa esimerkiksi pyöräyttämällä se keskiakselinsa ympäri, jolloin muodostuu pyörähdyssymmetrinen kappale. Myös halutunlainen geometria voidaan vetää annettujen suuntaviivojen ja apugeometrioiden mukaiseksi. Käytännön esimerkkinä voidaan pyörähdyssymmetrisiin ja vedettäviin malleihin mainita sorvattavat osat. Viivaluonnos voi olla myös hahmotelma runkorakenteesta (skeleton-malli), jonka mukaan malliin asetetaan runkorakenne ohjelman mallikirjastosta saatavista rakenneprofiilimateriaaleista. Kyseiset hoitotaso- ja porrasrungot ovat juuri tämäntyyppisiä skeletonmalleja.

Pursotuksella, vedolla, tai pyöräytyksellä luotuun kappaleeseen voidaan tehdä erilaisia piirteitä (Features), joita voivat olla erilaiset leikkaukset, syvennykset, pyöritykset ym. Nämä ovat tavanomaisia valmistusteknisiä yksityiskohtia, joita voidaan luoda esimerkiksi koneistamalla kappaletta. Lisäksi esimerkiksi reikiin voidaan lisätä kierrepiirteitä, jotta valmistuskuviin ilmestyy halutunlainen kierre, joka halutaan kappaleeseen valmistaa. Osista luodaan seuraavaksi kokoonpanoja, joissa eri kappaleet liitetään ohjelmassa toisiinsa halutun valmistus- tai kokoonpanotekniikan saattelemana.

Kokoonpanoilla tarkoitetaan mallinnusteknisesti nimensä mukaisesti kokonaisuutta, joka kootaan erilaisista osista. Osat ja kokoonpanot on mallinnettava siten, että niistä voidaan luoda osakohtaiset valmistuspiirustukset, eli toisin sanoen ne voidaan valmistaa. Kokoonpanosta luodaan oma kokoonpanokuva, jossa havainnollistetaan osien kiinnittäminen toisiinsa ja ilmoitetaan kiinnityksessä käytettävät kiinnityselimet.

Kun erilaisia kokoonpanoja kiinnitetään toisiinsa, luodaan uusi nk. pääkokoonpano, ja edellä mainitut rakenteet ovat nyt kyseisen kokoonpanon alikokoonpanoja. Myös esimerkiksi hoitotason kokoonpanossa kaiteet ovat sen alikokoonpanoja.

Portaat mallinnetaan siten, että runkorakenne on oma osansa, ja siitä voidaan luoda piirustukset osien katkaisua ja hitsausliitoksia varten. Tätä kokonaisuutta kutsutaan hitsauskokoonpanoksi. Hitsauskokoonpano sisältää katkaisulistan, joka ilmaisee, minkälaisia ja -mittaisia osia hitsataan toisiinsa. Hitsauskokoonpanossa esitetään myös mahdollisten kiinnitysreikien sijainnit ja koot, jotta ne voidaan porata tai esimerkiksi poltto- tai laserleikata valmiiksi. Hitsauskokoonpano sisältää myös rakenteeseen hitsattaville osille dxf-tiedostot, joiden avulla esimerkiksi kiinnityslevyt voidaan leikata haluttuihin mittoihin.

Esimerkiksi porraskokoonpano vaatii näin ollen vähintään kolme piirustusta: runkorakenteen hitsauskokoonpanokuvan, kaiteiden hitsauskokoonpanokuvan ja pääkokoonpanokuvan, jossa kaiteet ja porraskaskelmat kiinnitetään runkorakenteeseen.

3.2 Tekniikoita

Parametriseen mallintamiseen on monia erilaisia tekniikoita ja sitä varten on luotu myös erillisiä ohjelmavälineitä. Jokainen parametrillinen malli on todennäköisesti yksilöllinen rakenteensa monimutkaisuuden takia, mutta niillä on kuitenkin sama tarkoitus ja periaate: nopeuttaa toistuvien osien ja kokoonpanojen suunnittelua ohjaamalla rakenteen muotoa ja mittoja parametrisesti. Parametrillinen malli luodaan asettamalla suunniteltavalle rakenteelle tai kokoonpanolle tietynlaisia ehtoja. Näitä ehtoja ovat yleisimmin:

- Mittaehdot, kun pituus on x , leveys on x
- Lujuusehdot, kun pituus on x , tukipalkkien määrä on x
- Jaotteluehdot, kun tukipalkkien määrä on x , niiden etäisyys on x
- Suppress-ehdot, kun pituus on alle x , piilota x määrä tukipalkkeja tai kun pituus on x , näytä x määrä kiinnitysreikiä

Ehtojen tarkoitus on tehdä luodusta mallista helposti muokattava, jotta kyseistä ratkaisua voidaan hyödyntää mittoja muuttamalla muissakin kohteissa ja tilanteissa. Mittoja muuttamalla myös esimerkiksi tuennat ja jäykistykset päivittyvät vastaamaan rakennetta, eikä niitä tarvitse mallintaa erikseen. Myös kiinnityspisteet asettuvat mallin päivittyessä vastaamaan rakennetta. Jos esimerkiksi taso on niin pitkä, että suojakaiteeseen tulee kahden sijasta kolme pystyputkea, on keskimmäisen putken kiinnityspiste riippuvainen tason mitasta.

Ehdot luodaan pääsääntöisesti luomalla erilaisia IF-ehtoja mallille, jotka vastaavat Excelin JOS-funktiota. Ehto toimii siten, että rakenteelle annetaan määräävä mitta, jota seuraa käsky, mitä se ohjaa. Jos ehto ei täyty, annetaan käsky, mitä silloin tehdään. Esimerkiksi, jos palkin mitta on yli 1500 mm, anna tukipalkkien määräksi 1, muuten 0. Näitä JOS-ehtoja voidaan sisällyttää peräkkäin, jotta erilaisia ja -muotoisia rakenteita voidaan hallita yhdellä funktiolla ja sisällyttää niihin eri käskyjä. Mittaehdot voivat käytännössä olla myös esimerkiksi "tukipalkkien väli on rakenteen pituus jaettuna kolmella".

Ehtoja voidaan luoda Solidworks-ohjelmassa Equations-työkalulla, joka vastaa hyvin paljon Excel-pohjaista funktioiden luomista (Dassault Systems 2019a). Tämä helpottaa logiikan ymmärtämistä, koska Excel on nykyään laajalti käytetty ohjelma. Solidworksin Equations-työkaluissa on kuitenkin vähemmän erilaisia käytettäviä funktioita kuin Excelissä, mutta peruskomennot mallin ohjaimiseen löytyy. Tärkeimpänä lienee juuri edellä mainittu IF-ehto, joka on parametrin mallintamisen kannalta tässä tapauksessa tärkeimpiä ehtoja. Myös Autodesk Inventor -ohjelmalla on luotavissa Excel-pohjaisia ehtoja mallinnukseen.

Edellä mainittuihin mallinnusohjelmiin on myös mahdollista tuoda ulkoisista Excel-tiedostoista informaatiota mittojen parametrisointiin. Solidworksin oma Design Table -työkalu avaa ohjelmaan integroidun Excel-ohjelman, ja siihen on mahdollista syöttää halutut mitat ylimmälle vaakariville. Pystyriville luodaan nk. konfiguraatiot, joita halutaan luoda, ja halutut mitat syötetään alkuperäisten mittojen alle taulukkosoluihin. Kun halutut konfiguraatiot ja mitat on syötetty taulukkoon, suljetaan taulukko ja päivitetään malli, jolloin luodut konfiguraatiot päivittyvät konfiguraatiolistaan. (Dassault Systems 2019b.) Tämä on hyvä ja nopea tapa luoda esimerkiksi standardoituja kirjasto-osia, joiden mitat syötetään ulkoisesta taulukosta, kuten esim. ruuvit, putkikannakkeet yms.

3.3 Vaihtoehtoisia menetelmiä

Parametrisoidun mallinnuksen avuksi on myös kehitetty kaupallisia ohjelmia, jotka ovat usein Excel-pohjaisia. Näihin ohjelmiin on myös usein integroituna makroja, jotka voivat esimerkiksi päivittää työpiirustukset ja muut dokumentit vastaamaan muuttuvaa mallia. Tämä ehkäisee usein mallia muutettaessa tapahtuvaa piirustuksen "räjähtämistä", jossa mitat ilmestyvät vääriin paikkoihin ja piilotettujen yksityiskohtien mitat ja reikien keskipisteet jäävät leijumaan piirustukseen. Kaupalliset ohjelmat ovat nimensä mukaisesti maksullisia, ja niiden hankinnassa on tarkasteltava investointia suhteessa siitä saatavaan hyötyyn. Kuten missä tahansa ohjelmassa, saavutetaan näissäkin hyöty ja tehokkuus sillä, että käyttäjät osaavat tehokkaasti hyödyntää ohjelmaa tarkoituksenmukaisesti. Osaaminen saavutetaan koulutautumisen avulla, mikä lisää hankinnan kustannuksia. Kaupallisia ohjelmia on myös saatavilla räätälöitynä asiakkaan tarpeiden mukaisiksi, jotta ohjelmasta olisi mahdollisimman paljon hyötyä asiakkaan yksilöllisissä tarpeissa. Tietyt ohjelmat vaativat asiakasta hankkimaan useita lisenssejä käyttöä varten. Kustannukset ovat tuhansien eurojen suuruusluokassa. (Kimpanpää & Tinnilä 2018.) Kustannukset oletettavasti kasvavat räätälöityihin ohjelmiin mentäessä.

Muutamia aiheeseen liittyviä ohjelmia tarkasteltiin pintapuolisesti työhön liittyen. Näistä mainittakoon AutomateWorks, DriveWorks, Tacton ja SolidSteel parametric. Kaikki ohjelmat ovat maksullisia, mutta niistä on saatavilla kokeiluversiot, joilla asiakas voi tarkastella tarveensa ohjelmille (Kimpanpää & Tinnilä 2018). Parhaiten tähän työhön soveltuisi SolidSteel parametric, jonka

avulla luodaan juuri portaita, hoitotasoja ja teräsrakenteita. Ohjelmassa olisivat myös erilaiset rakenneprofiilit ja liitostyytit käyttäjän muokattavissa. (Dassault Systems 2019c.) Ohjelmien etuna ovat laaja muokattavuus erilaisia käyttötilanteita varten. Niiden maksullisuus ja hintataso kuitenkin olivat suurin syy, jonka takia tarkempaa tutkimista ei tämän työn osalta suoritettu.

Solidworks tarjoaa tavalliseen ohjelmalienssiin sisältyvän DriveWorks-lisäosan. Sen avulla käyttäjä voi luoda räätälöityjä ohjausparametreja erilaisiin malleihin. DriveWorksistä on olemassa eritasoisia versioita. Ilmaisversio kuuluu tavallisen ohjelmalienssin hintaan. Maksullisilla lisäosilla voi ohjausten muokkausta viedä pidemmälle. Luonnollisesti ohjelman hallintaan vaaditaan ohjelmointiosaamista, joten tämän työn osalta kyseinen vaihtoehto jätettiin myös tutkimatta. Sen sijaan ohjelmaa voidaan opetella hyödyntämään tulevaisuudessa kehitystyöprojektina.

3.4 Käyttötarkoitukseen valikoitunut menetelmä

Solidworks Equations -työkalulla tehty parametrisoitu malli on kustannustehokkain ja yksinkertaisin vaihtoehto ongelman ratkaisuun tässä mittakaavassa. Excel-pohjaisuus luo helppokäyttöisyyttä, koska varsinaista ohjelmointiosaamista ei vaadita, mikä helpottaa tulevaisuudessa tehtäviä muutoksia. Myös tilanteessa, jossa ehdot eivät jostain syystä toimisi, olisi edistyneiden Solidworks-käyttäjien mahdollista muokata niitä tarvittaessa. Myöskään ylimääräistä rahaa ei tarvitsisi investoida käyttöliittymiin eikä niiden ylläpitoon. Myös kaikilla yrityksen Solidworks-käyttäjillä on mahdollisuus tehdä muokkauksia malliin, kun he käyttävät sitä omassa projektissaan. Tämä vähentää pullonkaulaefektiä, mikäli vastaavasta kaupallisesta mallinnuslisäosasta hankittaisiin vain muutama lisenssi niiden hintatason vuoksi.

Solidworks Equations -työkalu antaa mahdollisuuden viedä ohjaavat ehdot erilliseen tiedostoon tai tuoda ne erillisestä tiedostosta. Tämä onnistuu Equations-työkalurivin Import- ja Export-toiminnoilla. Solidworks Equations -käyttöliittymä esitelty kuvassa 7. Kuitenkaan Solidworksin Equations ei tue Excelin tiedostomuotoa ehtojen poisviemiseen, mikä oli hieman yllättävää. Tämä olisi ollut hyödyllinen lisäkeino luoda ehtoja ensin Solidworksin sisällä, ja monimut-

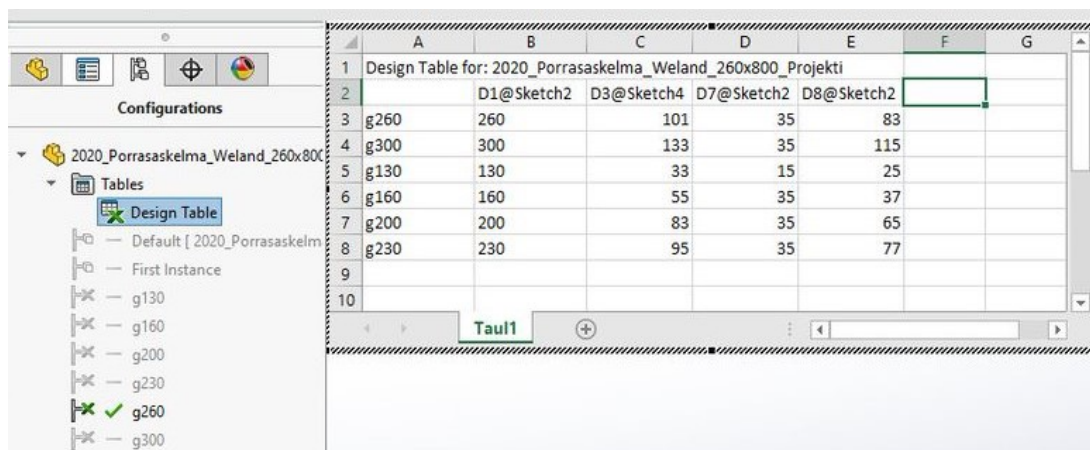
kaisempia kaavoja olisi ollut mahdollista muokata Excelissä. Excelissä olisi ollut mahdollisuus luoda myös funktioiden ohjaamisesta visuaalisesti helpompaa käyttäjälle erilaisia ohjetekstejä ja mittoja ilmoittavien solujen ansiosta. Excelissä olisi myös ollut helppoa lisätä esimerkiksi värejä mittasoluihin sellaisissa tapauksissa, joissa mitat menevät jossain tilanteessa esimerkiksi standardeista ohjautuvien reunaehtojen ulkopuolelle. Ainoa vaihtoehto Export-komennolle on tehdä funktioista tekstitiedosto, jolla ne voi viedä koodina esimerkiksi muihin malleihin. Tämä toiminto ei kuitenkaan tuottanut halutunlaista lopputulosta mallien ohjaamiseen.

Equations, Global Variables, and Dimensions

Name	Value / Equation	Evaluates to	Comments
Global Variables			
"Esimerkki1"	= "D2@Sketch1"	39.82mm	
"Esimerkki2"	= "D3@Sketch1"	60.58mm	
"Esimerkkimuuttuja"	= 3	3	
<i>Add global variable</i>			
Features			
<i>Add feature suppression</i>			
Equations			
"D4@Sketch1"	= IIF ("D2@Sketch1" > 100, 50	20mm	
"D1@Sketch1"	= "Esimerkkimuuttuja" * 2	6mm	
<i>Add equation</i>			

Kuva 7. Solidworks Equations -työkalupalkki.

Excel-pohjainen ohjaus rajoittuu tässä tapauksessa lähinnä Design Table -työkalulla tehtävään konfiguraatioiden luomiseen, joka on omiaan erilaisten kirjasto-osien luomisessa (Kuva 8). Kyseiseen malliin Design Table -työkalut eivät olleet kuitenkaan optimaalisia.



The screenshot shows the SolidWorks Design Table interface. On the left, the 'Configurations' tree is visible, showing a project named '2020_Porraskelma_Weland_260x800' with a 'Design Table' configuration selected. The main area displays a table with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G
1	Design Table for: 2020_Porraskelma_Weland_260x800_Projekti						
2		D1@Sketch2	D3@Sketch4	D7@Sketch2	D8@Sketch2		
3	g260	260	101	35	83		
4	g300	300	133	35	115		
5	g130	130	33	15	25		
6	g160	160	55	35	37		
7	g200	200	83	35	65		
8	g230	230	95	35	77		
9							
10							

Kuva 8. Design Table -työkalupalkki.

Solidworks Equations -työkalut mahdollistavat hyvin varsinkin yksinkertaisten mallien parametrisoinnin, jolloin mittatietoja muuttamalla malli päivittää yksinkertaiset rakenteet kätevästi. Parametrimalleja on yritetty yrityksen sisällä kehittää jo aiemmin kyseisille rakenteille, mutta niiden käytettävyys ja muokattavuus on jäänyt liian alhaiselle tasolle. Näin ollen itse parametrimallin hyödyt ovat jääneet suunnittelutyössä vähäisiksi. Heti alussa mallin ideoinnissa lähdettiin liikkeelle siitä, että mallien tulee olla helposti käytettävissä ja käyttäjän tulee hyvin ymmärtää, miten niitä muokataan. Tämä pitää sisällään sen, että muokattavat mittaehdot ovat selkeästi näkyvillä, jotta käyttäjä havaitsee ne helposti ja osaa käyttää niitä vaistomaisesti. Lisäksi parametrimalleja ideoidessa ryhdyttiin toteuttamaan mallia siten, ettei käyttäjän tarvitsisi avata Equations-työkaluja, vaan kaikki muutokset tehtäisiin ohjaavaan Sketchiin. Tämä olisi tottuneelle Solidworks-käyttäjälle luontainen tapa lähteä muokkaamaan mallia, mikäli Equations-työkalut olisivat vieraampia.

Solidworks Equations -työkalu pitää sisällään rajallisemman määrän funktioita parametrisoinnin luomiseen, mutta tärkeimmät työkalut siitä löytyvät. Lisäksi mallinnusvaiheessa itse Sketcheihin lisätään tarpeen vaatiessa mahdollisimman paljon toimivia nk. relaatioita, joiden mukaan eri viivat käyttäytyvät tietyllä tavalla. Esimerkkinä relaatiosta mainittakoon, että jos esimerkiksi suorakulmion pinta-alaa kasvatetaan, pysyy sen keskipiste aina origossa. Tämä relaatio mahdollistaa suorakulmiosta luotavan osan muutoksen joustavasti, jos esimerkiksi origoon on kiinnitetty kiinnityspalkki toiseen suuntaan, jonka on aina oltava suorakulmion keskellä.

Lisäksi itse Equations-työkalupalkista löytyvät aiemmin jo mainitut IF-ehdot, jotka lienevät tärkeimpiä kyseisenlaisessa parametrisoinnissa. IF-ehdon loogikka on esitelty tarkemmin sivulla 18. Lisäksi hyödyllisiä funktiota ehtojen luomiseen ovat INT- ja ROUND-ehdot. Ne muokkaavat ulostuloarvon aina kokonaisluvuksi ilman yksiköitä, joten ne ovat hyödyllisiä laskettaessa esimerkiksi tukitolppien määrää, kun muuttujana on pituus millimetreinä. Eroina INT- ja ROUND-ehdoilla on pyöristyssuunta. INT-ehto pyöristää ulostuloarvon aina pienempään tasalukuun, kun taas ROUND-ehto pyöristää lukeman tunnettujen pyöristyssääntöjen mukaisesti joko ylös- tai alaspäin. Lisäksi Solidworks Equations sisältää tyypilliset matemaattiset funktiot kulmien astelukujen ja niiden kerrointen laskentaan, neliöjuuri- ja logaritmfunktiot, sekä kaikki tavanomaiset matemaattiset laskut: yhteen-, vähennys-, kerto- ja jakolaskut. (Dassault Systems 2019a.)

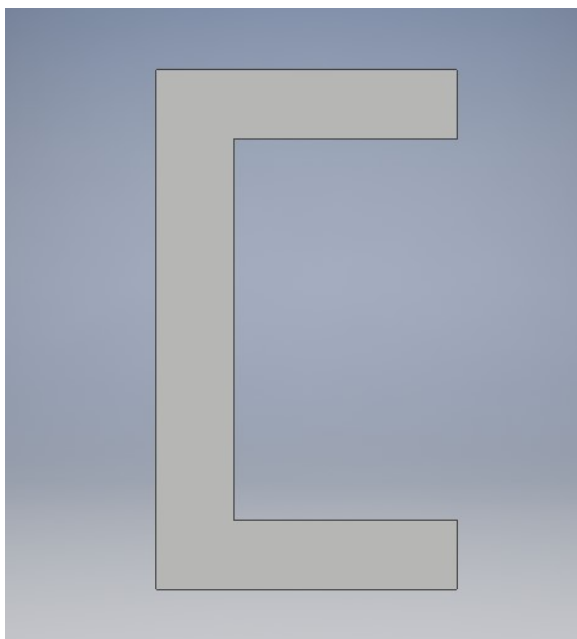
4 PARAMETRISEN MALLIN KEHITTÄMINEN

4.1 Mallin kehittäminen

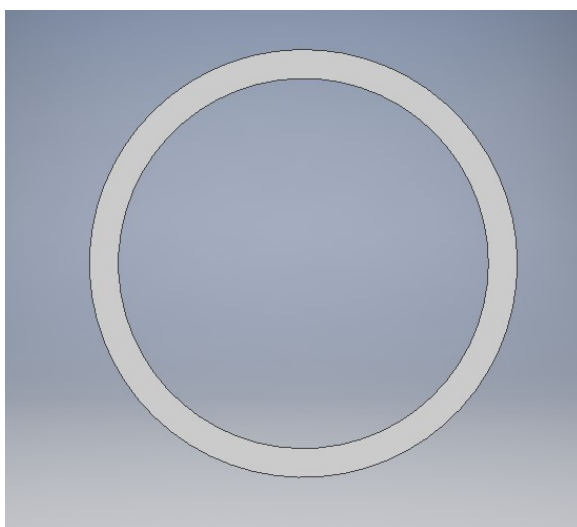
Mallin kehittämisessä hyödynnettiin luovan koneensuunnittelun menetelmiä. Tärkeimpänä suuntaviivana oli kerätä lähtötietoja parametristen mallien rakenteista ja hahmotella parametrisoinnin ohjausta Solidworks-ohjelmalla. Kyseistä opettelua päästiin tekemään aluksi rauhalliseen tahtiin ilman suurempaa painetta, mikä mahdollisti vapaan ajatusten virtauksen ja nopeutti uuden oppimista. Tämä mielentila mahdollistaa myös ideoiden syntymisen alitajuisesti ajasta ja paikasta riippumatta. (Tuomaala 1999.) Ideointiin ja tekniikoiden kehittämiseen hyödynnettiin myös haastatteluja kokeneemmilta suunnittelijoilta. Rakenteet ja profiilit valittiin teräsrakennestandardien mukaisesti, ja yleisessä suunnittelussa hyödynnettiin yleisiä koneensuunnitteluohjeita.

Mallin rakennuksen osalta päädyttiin jo projektin aloituspalaverissa siihen, että vakioidaan rakenteessa käytettävät teräsrakenneprofiilit. Tämä reunaehto loi itse mallin rakenteelle helpottavan tekijän, sillä rakennemateriaalin muutosta ei tällöin tarvitsisi ottaa huomioon mittoja ja Sketchiä aseteltaessa. Solidworksin osalta myöskään jäykiste- ja tukipalkkien määrän laskentaan ei pystynyt käyttämään ehtoja rakenneprofiilipuusta, joten mitoitusta ei olisi ollut edes mahdollista automatisoida halutulla tavalla seuraamaan valittua rakenneprofiilia pelkällä Equations-työkalulla.

Rakenneprofiilien osalta lähdettiin siitä, että hoitotasojen rungot rakennetaan UPE 160 -teräspalkista (Kuva 9). Tämä on modulaarinen palkkiprofiilimuoto, koska tasainen selkäpinta mahdollistaa mm. portaiden kiinnittämisen tasoon helposti. Kyseinen profiili on myös valmistettavuuden ja hitsattavuuden kannalta hyvä ratkaisu. Kaideputkiprofiiliksi vakioitiin halkaisijaltaan 42,4 mm:n putki 2,6 mm:n seinämävahvuudella, joka on yrityksen toimittamissa tuotteissa ja teollisuudessa yleisesti käytetty kaiderakenneprofiili (Kuva 10).



Kuva 9. UPE-teräspalkkiprofiilin poikkileikkaus.



Kuva 10. Poikkileikkaus kaideputkiprofiilista.

Kaiderakenteissa lähdettiin siitä, että niihin tulevat kulmat toteutetaan viiste-tyillä suorakulmilla. Tämä toimii alustavana linjauksena yrityksen toimittamissa kaiderakenteissa suunnittelun, valmistuksen ja asennusten vakioinnissa. Myös porrarakenteissa runkorakenteen materiaalina hyödynnetään samaa UPE 160 -profiilia kuin hoitotasorungossa, ja kaiteet rakennetaan samaisesta kai-deputkiprofiilista kuin hoitotasoissa.

Rakenteiden päämuotoja lähdettiin hahmottelemaan ja samalla kokeilemaan eri ehtojen ja funktioiden toimivuutta. Equations-funktiot ovat verrattavissa Excelissä käytettäviin funktioihin. Tällöin niiden logiikka oli nopeasti omaksutta-vissa, ja apu funktioiden toimintaan löytyy nopealla tiedonhaulla Excel-tukisi-vustoilta. Tässä vaiheessa oli myös hyvä lähteä hahmottelemaan rakenteiden päämittoja, jotta standardien asettamat reunaehdot saadaan täytettyä ja nii-den käytännöt tulevat tutuiksi.

4.2 Vaatimukset

Malli tulisi rakentaa siten, että tarvittavien valmistuspiirustusten tekeminen mallin avulla olisi mahdollisimman mutkatonta. Tämä saavutetaan siten, että tarvittavista kokoonpanoista, hitsauskokoonpanoista ja erillisistä osista pystytään luomaan omat valmistus- ja kokoonpanokuvat. Kuitenkin lopulliset tuot-teet, joita 3D-mallinnusohjelmilla pääsääntöisesti halutaan tuottaa, ovat juuri valmistuskuvat valmistettavalle kappaleelle. Hienosta mallista ei ole hyötyä, jos valmistavalle taholle ei saada siitä tarvittavia piirustuksia valmistusta var-ten luotua. Valmistavalla taholla tarkoitetaan esimerkiksi konepajaa. Malli tulisi siis rakentaa nämä piirustukset silmällä pitäen, eli kokoonpano tulee rakentaa edellä mainituista osista.

Ajatuksena heräsikin mallintaa esimerkiksi kaiteet samaan Sketchiin hoitota-sorungon kanssa, mutta tästä ideasta oli luovuttava hyvin alkuvaiheessa juuri valmistuskuvien luomisen vaikeuden takia. Idea jalostuikin hyödyntämällä pa-rametrisointia kokoonpanotasolla. Näin kaiteet voidaan tuoda hoitotason ko-koonpanoon ja asettaa niiden mittojen ohjaus kokoonpanotasolta. Näin koko mallia ei tarvitse ohjata kuin kahdella mitalla, pituus L ja leveys W. Tämä rat-kaisu säilyttää mahdollisuuden luoda osista helposti omat valmistuskuvansa.

Valmistuksen lisäksi myös rakenteiden asennukset ja kappaleiden työstöt olivat myös yksi tärkeä kriteeri malleja luotaessa. Mallien rakenteet oli muotoiltava valmistuksen kannalta mahdollisimman edullisiksi. Edullisuuden tavoittelussa kappaleiden tulee olla mahdollisimman yksinkertaisen muotoisia ja symmetrisiä. Myös erilaisten rakenneprofiilien määrä on minimoitava. (Piironen 2013.) Ensimmäisenä reunaehtona lähdettiin liikkeelle siitä, ettei hoitotason hitsatun kokoonpanon maksimileveys ylittäisi 2,5 metriä eikä pituus 6 metriä kuljetuksen helpottamisen johdosta. Kyseinen lukema perustuu lavettimittoihin. Asennuksen helpottamiseksi kehiteltiin myös ratkaisua, jossa portaat on mahdollista koota paikan päällä. Kyseinen ratkaisu olisi erittäin hyödyllinen ahtaissa paikoissa, joihin portaiden vieminen on vaikeaa kokonaisuutena, sekä paikoissa, joissa tulitöiden tekeminen on kielletty tai aiheuttaa lisääntyneen riskin.

Toinen asennusta, kuljetusta ja modulaarisuutta edistävä tekijä, jota lähdettiin tavoittelemaan, oli se, että monimutkaiset tasot voitaisiin kasata osista. Tämä tarkoittaa sitä, että kun tarvitaan monimutkainen, esimerkiksi L- tai Z-muotoinen taso, voitaisiin se tehdä liittämällä suorakulmion muotoisia runkoja toisiinsa. Itse mallin ei näin ollen tarvitsisi taipua erilaisiin muotoihin, mikä saattaisikin pelkillä Solidworks Equations -työkaluilla olla mahdoton tai äärettömän haasteellinen tehtävä. Tarvittaessa hoitotason mittoja seuraavat valmiit kaidemallit poistetaan mallista ja malliin tuodaan kyseiseen ratkaisuun soveltuva kaidemalli. Muokattava kaidemallikin kuuluu parametrinen mallien osiin, mutta käyttäjä voi itse määrittellä sen mitat tilanteeseen sopiviksi.

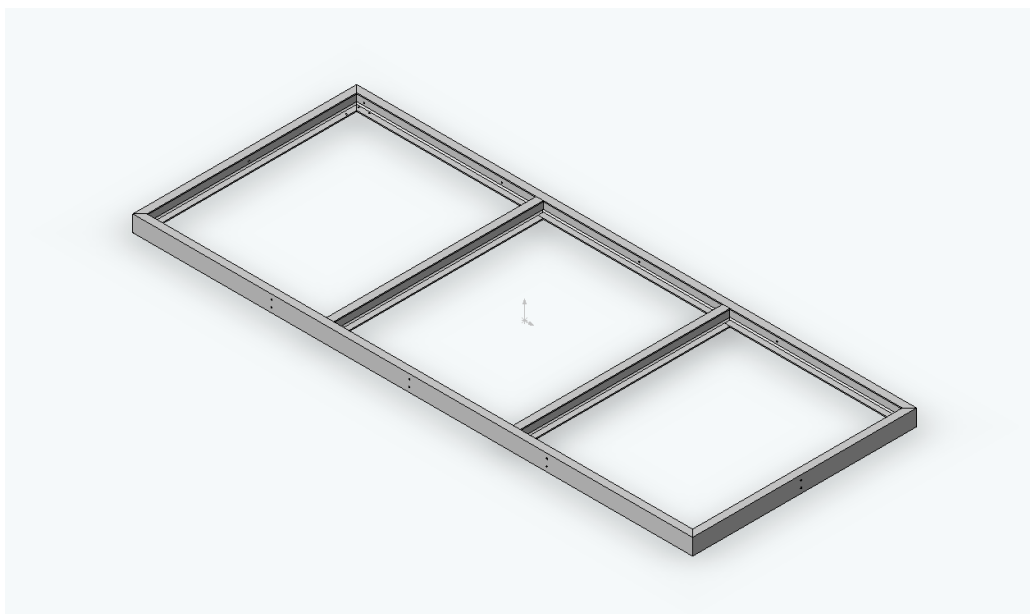
Asennettavuus myös portaiden osalta oli huomioitava esimerkiksi siten, että porraskokoonpanon oli oltava helposti liitettävissä hoitotasorakenteeseen. Porraskokoonpanon rakennettaisiin samaisesta palkkiprofiilista kuin itse hoitotasorunko, jotta ne olisi helppo liittää toisiinsa profiilien selkäpinnat vastakkain. Kiinnitys voitaisiin toteuttaa pääsääntöisesti myös ruuviliitoksilla, mutta hitsaaminenkin on täysin mahdollista niin haluttaessa. Myös kiinnittyminen lattiapintaan olisi huomioitava. Lähtökohdaksi otettiin, että portaat asennetaan kiinteästi betonilattiaan joko kiila-ankkureilla ja pulttiliitoksella tai vastaavalla kierretankoratkaisulla. Optiolistalle lisättiin myös portaiden kiinnittymisen mahdollistaminen hoitotasolta ylöspäin esimerkiksi porrashuoneita suunniteltaessa tai kun porraskorkeus on niin korkea, ettei sitä voi toteuttaa yhtäjaksoisilla portailla.

Standardi SFS-EN ISO 14122-3 määrittelee yhtäjaksoisen porrashousun 4000 mm:iin. Mikäli nousuja on useita, on suurin sallittu yhtäjaksoinen nousu 3000 mm, ja porrashousujen välille on asetettava välitasanteet eli lepotasot (SFS-EN ISO 14122-3 2016).

4.3 Mallien valmistus

Hoitotaso

Malli aloitettiin luomalla hoitotasorunko edellä mainituilla UPE 160 -profiilipalkilla konstruoituna. Hoitotasorunko esitelty kuvassa 11. Mallin runkorakenne on suorakulmion muotoinen, ja sen päämittoina toimivat pituus L ja leveys W. Kyseiset mitat toimivat rungon mittojen ohjauksessa, ja ne ohjaavat myös kaidteiden mittoja kokoonpanotasolla. Pituuden kasvaessa tiettyyn mittaan lisäytyy runkoon poikittainen jäykiste. Maksimimitat pituudelle mallissa on 6000 mm ja leveydelle 2500 mm. Malli toki venyy mihin mittaan hyvänsä, mutta sen rakennetta ei ole parametrisoitu kyseisiä raja-arvoja pidemmälle. Raja-arvot mainitaan ohjemateriaalissa. Jos tarvitaan tätä pidempiä tasoja, on tasomalleja yhdisteltävä toisiinsa.



Kuva 11. Hoitotason runkorakenne.

Ongelmia mallin hahmottelussa muodostui kaidetolppien kiinnitysreikien kanssa. Niiden jaottelun sovittaminen pystyputkien määrän muutosten kanssa

onnistuu suppress-ehdoilla. Suppress on mallinnusohjelmassa käytettävä toiminto, jolle ei ole täysin kuvaavaa suomennosta. Sillä tarkoitetaan osien poistamista mallista, ilman että niitä täysin poistetaan, mutta se on voimakkaampaa kuin pelkkä piilotus. Ongelma muodostuu siinä vaiheessa, että kun joltain sivulta poistetaan kaide, niin ylimääräisten reikien suppressointi ei onnistu manuaalisesti, kun reikien ohjaus on toteutettu automaattisesti. Ongelma ratkaistiin jättämällä kaiteiden kiinnitysreikien mallinnus mallin käyttäjälle.

Kaiteet

Kaideputkien rakenne on hyvin yksinkertainen, joskin runkorakenne vaatii hieman enemmän kaavojen kehittelyä. Runkorakenne on toteutettu niin, että kaiteiden pituudet määräytyvät hoitotason mittojen mukaisesti. Näin ollen käyttäjä ei muokkaa kaiteita juuri lainkaan. Kaiteiden korkeus sen sijaan on avoin mitta, tosin sekin on oletusarvoisesti asetettu täyttämään standardien asettamat aukko vaatimukset, jotka käyttäjän on huomioitava, mikäli haluaa ryhtyä kaiteita muokkaamaan. Kaiderakenne esitelty kuvassa 12.



Kuva 12. Kaiteiden runkorakenne.

Kaiderunkoon on myös Equations-työkalupalkin kaavoilla toteutettu kaidekoonpanon pystysuuntaisten tukiputkien jaksotus. Ohjaavat dimensiot pohjautuvat kaiteita ohjaavaan standardiin SFS-EN ISO 14122-3, joka määrittelee suurimmaksi vaakasuuntaiseksi aukoksi 1500 mm. Tämä huomioiden on kaiderungon päivitettävä pituudesta riippuen malliin tietty määrä pystyputkia, joiden vaakasuuntainen etäisyys ei ylitä 1500 mm:ä. Mallin kehittelyn alkuvaiheessa kyseinen pystyputkien jaksotus oli ensimmäinen ongelmia aiheuttava tekijä. Jaksotuksen ohjauksessa onnistuttiin kuitenkin pienehköllä vaivalla. Myös kaidemallit on konstruoitu 6000 mm:n maksimipituudelle.

Lisäksi parametrimallien kansioon oli lisättävä myös muokattava kaidemalli, jonka pituuden käyttäjä voisi itse määritellä. Tämä on tärkeä osa mallien käyttämistä varten, jotta hoitotasoon ylipäätään voidaan luoda kulkuaukkoja. Erillinen muokattava kaidemalli esiteltynä kuvassa 13.



Kuva 13. Muokattava kaidemalli.

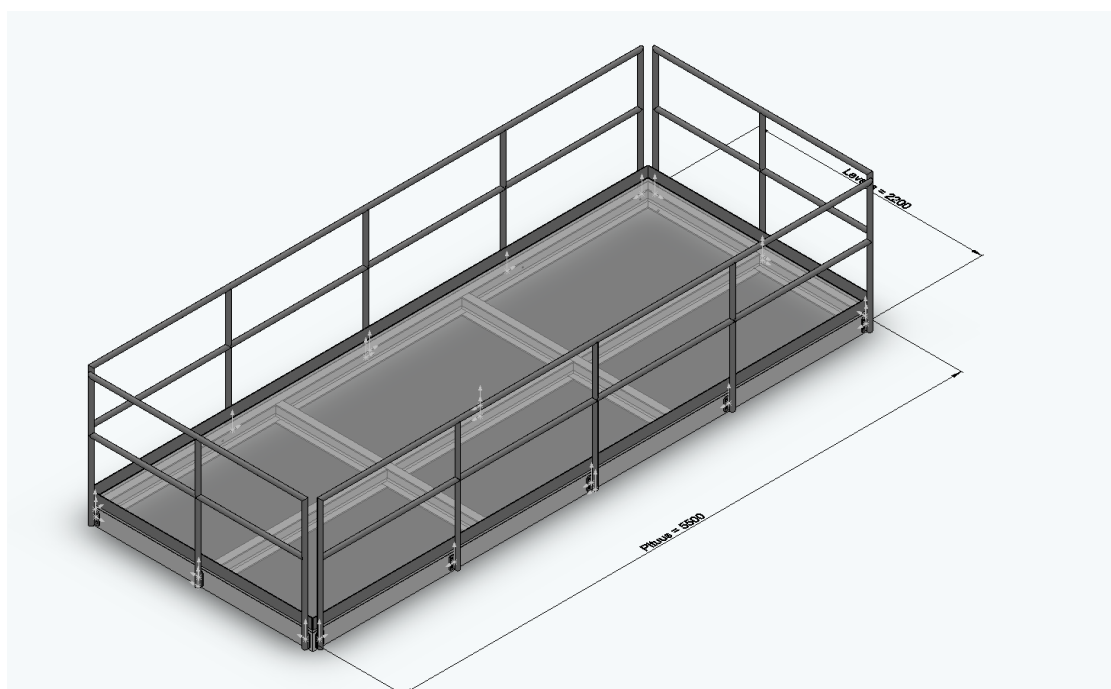
Kaiteiden osalta käyttäjä joutuu lisäämään niihin tarvittaessa nk. sinkkireiät. Sinkkireiät ovat rakenteessa niiden pintakäsittelyprosessia varten, joka rakeneterästä käytettäessä on useasti kuumasinkitys. Kuumasinkityksessä osa

upotetaan sulaan sinkkikylpyyn, ja sinkki galvanoitujen rakenteiden pinnan suojaamiseksi korroosiolta. Hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi on umpinaiset rakenteet rei'itettävä sopivasti, jottei rakenteeseen jää taskuja ja sinkki virtaa galvanoinnin aikana vapaasti. (Teräsrakenneyhdistys 2013.)

Hoitotasokokoonpano

Hoitotasorunko ohjaa kokoonpanotasolla kaidemittoja. Hoitotason kokoonpanoon asennetaan myös ritilätaso, joka toimii lattiapintana tasolla. Ritilää ei lähdetty yksityiskohtaisesti mallintamaan, vaan sille tehtiin visuaalinen malli, joka antaa käyttäjälle oikeat mitat ritilälle. Visuaalisen mallin toinen tarkoitus on antaa suuntaa antava ritilämassa, jotta se on helppo huomioda hoitotason kokonaisuudessa. Ritilätaso on mallinnettu pursotettuna teräskotelona, jonka päämitat seuraavat luonnollisesti hoitotasorungon mittoja.

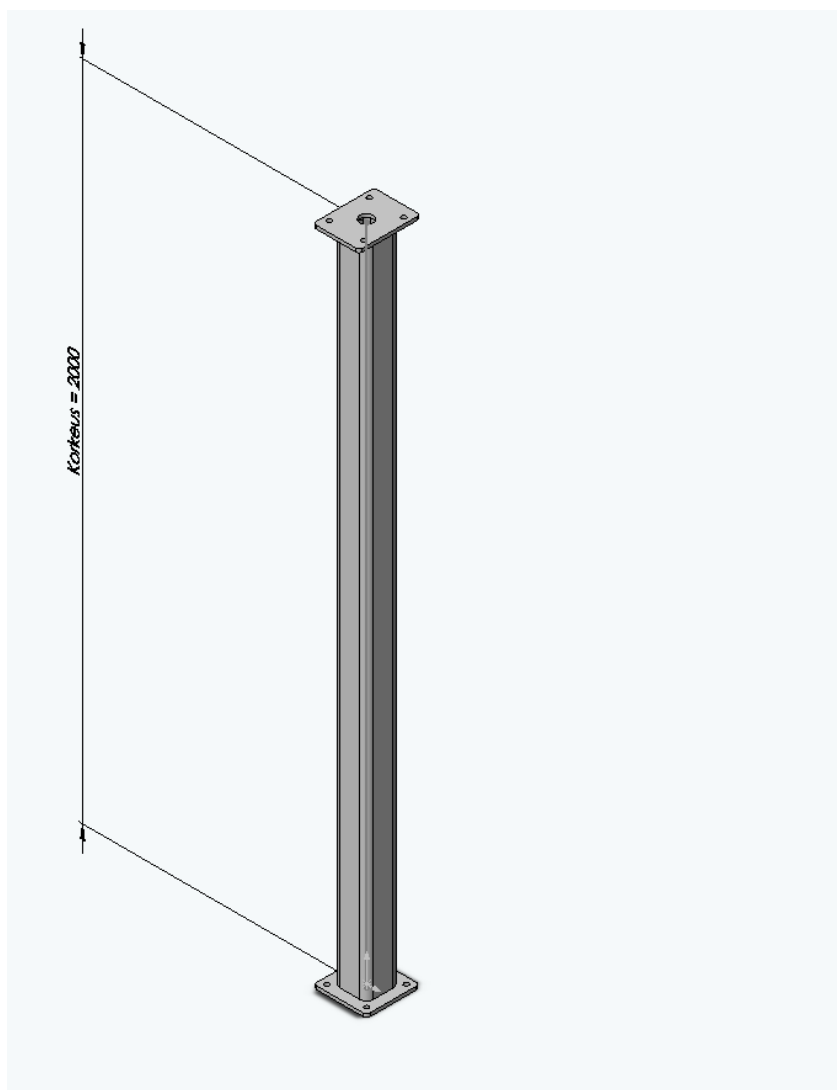
Runko, hoitotaso ja kaiteet muodostavat hoitotasokokoonpanon, jota voidaan ohjata parametrisesti. Kokoonpano on esitelty kuvassa 14. Tilanteesta ja käyttökohteesta riippuen voidaan mallista poistaa kaiteita mahdollisia kulkuaukkoja varten suppress-komennolla. Vapaaseen aukkoon käyttäjä ottaa kansiosta tarvittaessa muokattavan kaidemallin.



Kuva 14. Hoitotasokokoonpano.

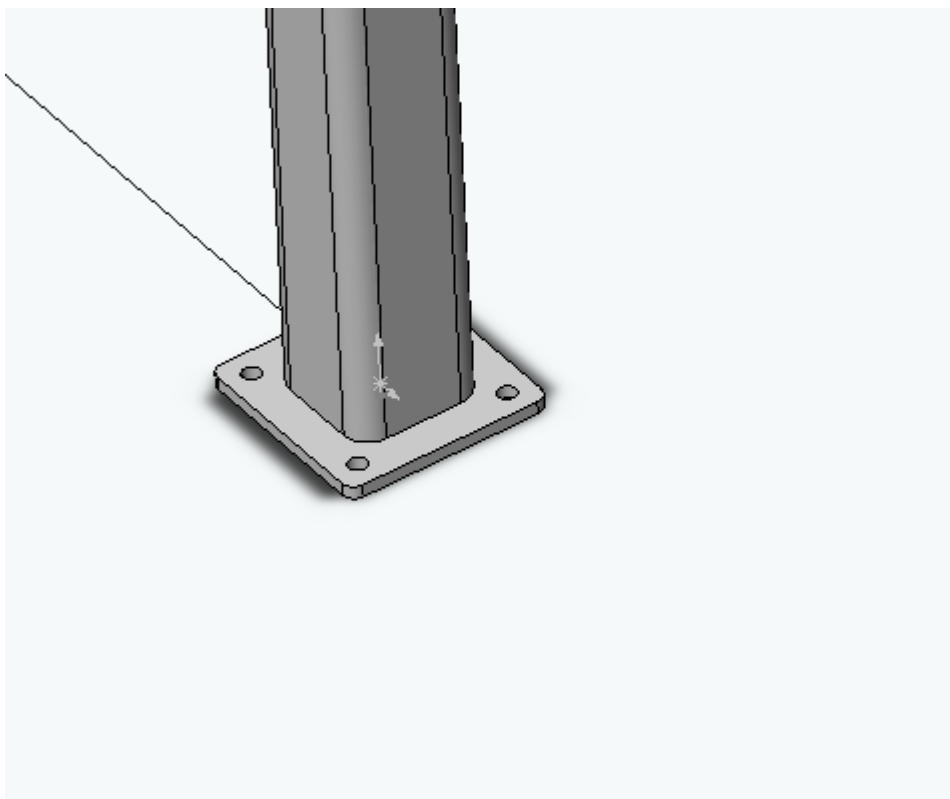
Tukitolpat

Hoitotason tuentaa varten mallinnettiin tukitolppamalli, jolla hoitotaso voidaan tukea ja nostaa haluttuun korkeuteen (Kuva 15). Ratkaisuna päädyttiin käyttämään RHS 100x100x5 -palkkia, joka on yleisissä tapauksissa luja rakenne hoitotason tuentaan. Tässä osassa palkkiprofiilin muuttaminen on kaikkein helpointa, mikäli esimerkiksi tilanpuutteen tai lujuusominaisuuksien takia tarvitaan erilaista palkkiprofiilia.



Kuva 15. Tukitolppamalli.

Palkkiin hitsataan molempiin päihin 10 mm:n levyistä laput, joilla palkki kiinnitetään alhaalta lattiatasoon ja ylhäältä hoitotason runkorakenteeseen (Kuva 16). Lappuihin mallinnettiin kiinnitysreiät, joilla tolppa saadaan alhaalta pultattua lattiaan esimerkiksi kiila-ankkureilla. Myös palkin yläpäässä on kiinnityslevy, jolla tolppa voidaan kiinnittää hoitotasoon.

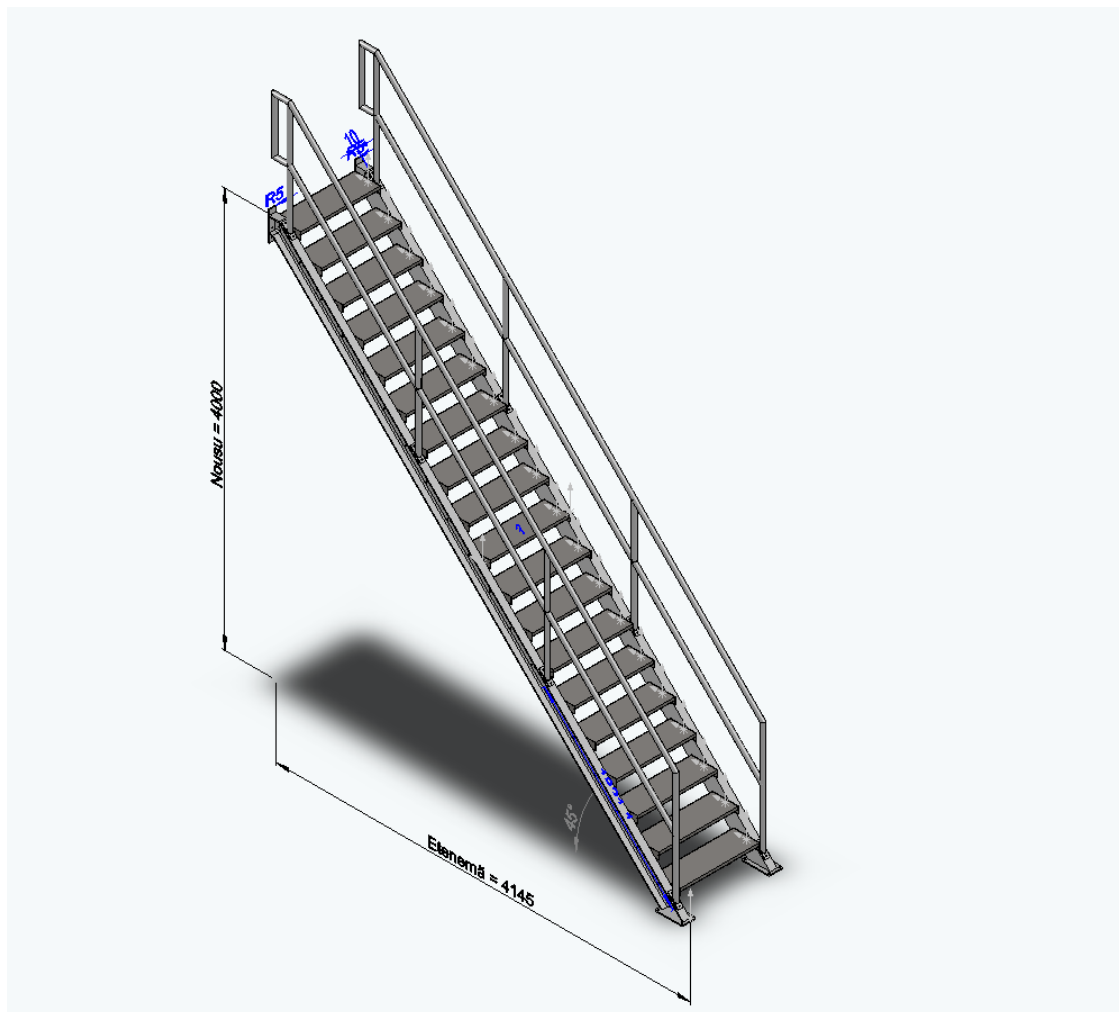


Kuva 16. Tukitolpan pohjalappu

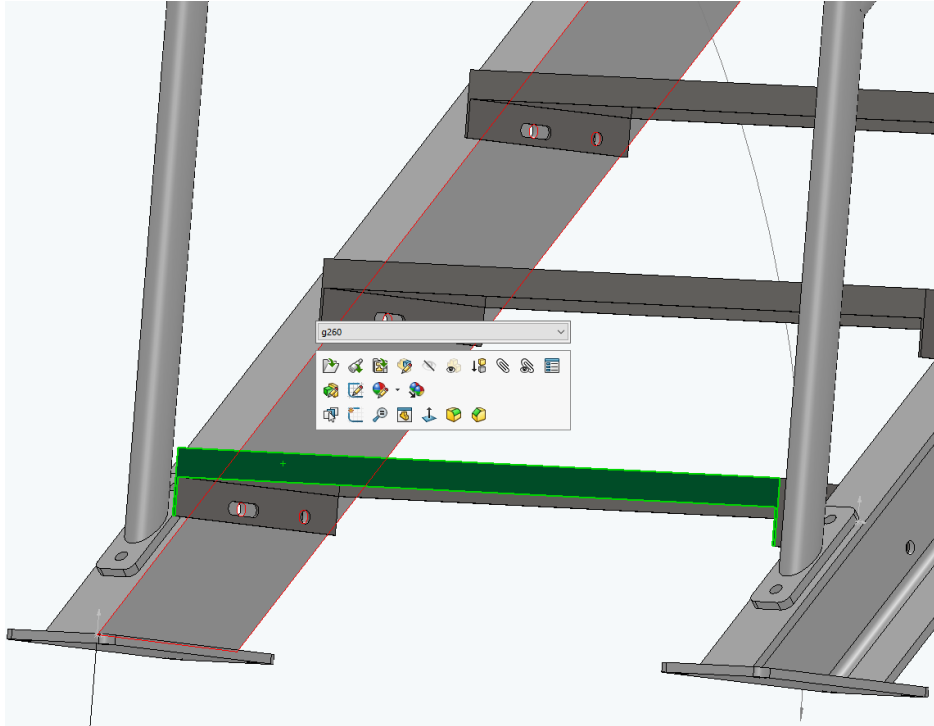
Portaat

Portaat suunniteltiin siten, että porraskokoonpanon runko toimii samalla tavalla porraskokoonpanoa ohjaavana komponenttina kuin hoitotasorunkokin. Porraskokoonpano ja hoitotasokokoonpano ovat luonnollisesti toisistaan riippumattomia kokoonpanoja, jossa toisen muokkaus ei vaikuta toiseen. Kokoonpanot voidaan tietenkin yhdistää, jolloin porraskokoonpanosta ja hoitotasokokoonpanosta muodostuu alikokoonpanoja. Porraskokoonpano esiteltynä kuvassa 17.

Portaita luotaessa haluttu lopputulos oli samantyylinen kuin hoitotasossa: yhtä selkeää ja yksinkertaista käyttää, mahdollisimman vähän opettelua vaativa malli. Näiden ehtojen täyttäminen tuotti tähänastisista malleista eniten haastetta, mutta siinä onnistuttiin. Porraskokoonpanoon asetetaan mitat etenemä L ja nousu H, loppu tapahtuu automatisoidusti. Etenemä ja nousu muodostavat portaiden nousukulman, jonka perusteella kaava määrittelee halutun nousun askelmien välille. Tämän jälkeen jaotellaan askelmat sopivasti porraskokoonpanoon. Kiinnitysreiät, porraskaiteet ym. päivittyvät kaikki ilman lisätyötä suunnittelijalta. Mikäli porraskokoonpanon rajoitusta halutaan muuttaa, voidaan porraskokoonpanon etenemää muuttaa vaihtamalla askelman konfiguraatiota. Konfiguraatiot on luotu tyypillisimpien porraskokoonpanojen valmistavien yritysten mittataulukoiden mukaisesti. Porraskokoonpanon mitat seuraavat tukkutavarana saatavien askelmien mittoja (Kuva 18).



Kuva 17. Porraskokoonpano.



Kuva 18. Porrasaskelma.

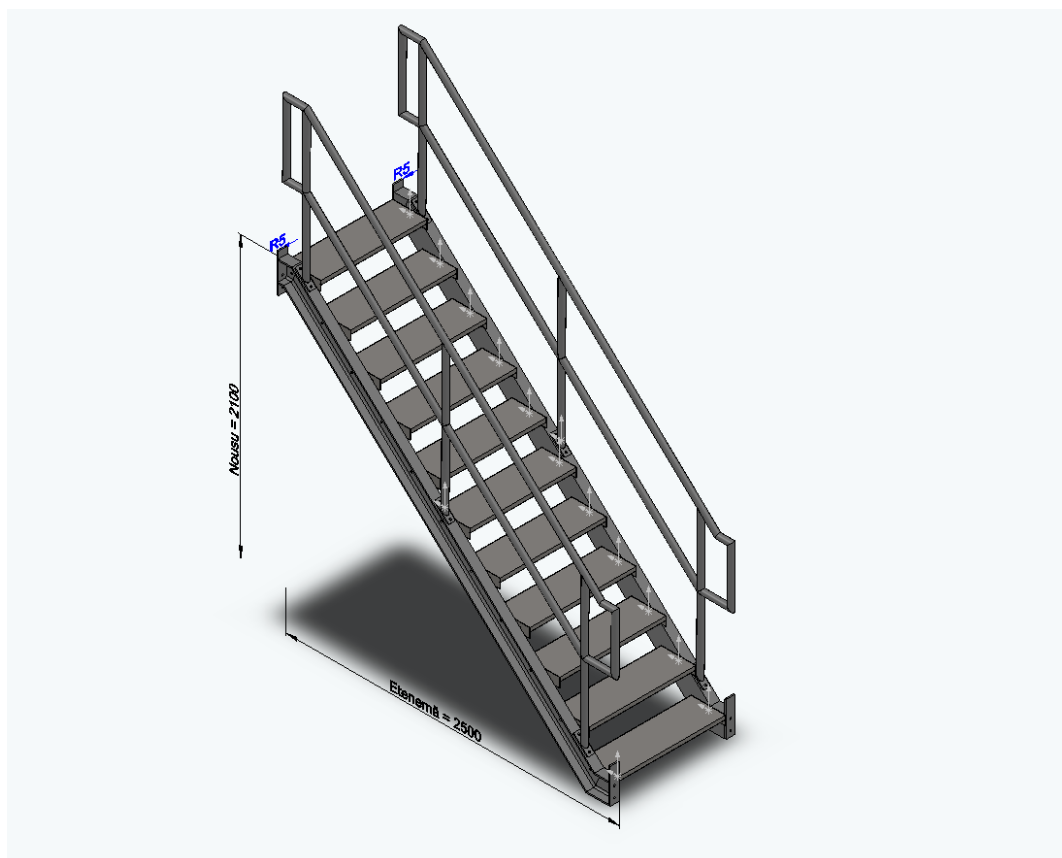
Portaidenkaan kiinnittyminen hoitotasoon ei ole täysin vakioitavissa, joten mallin käyttäjä toteuttaa niidenkin kiinnitysreiät. Portaat suunniteltiin siten, että ne tulevat aina samalla tavalla kiinni hoitotason palkkiprofiilin selkäpintaa vasten. Suunnittelun haasteellisin ehtojen luonti kohdattiin juuri tässä vaiheessa porrasaskelmien jaottelun kanssa. Täytyi luoda ehto, joka jaottelee oikean määrän porrasaskelmia runkoa vasten siten, että porrasaskelmien välinen nousu pysyy sallittujen raja-arvojen sisällä. Ehdon tulee huomioida koko porrasjaksoson kokonaisetnemä, kokonaisnousu ja nousukulma. Askelmien välinen nousu ja jaksotus muodostuu näihin verrannollisena.

Ajatuksena oli automatisoida porraskokoonpanoon myös tarvittavien kiinnityselimien lisäys askelmille. Tämä nopeuttaisi mallien käsittelyä, kun käyttäjän ei tarvitsisi erikseen hakea niitä malliin. Kiinnityseliminä toimivat tässä tapauksessa pultit, aluslevyt ja mutterit. Ne ovat useissa mallinnusohjelmissa nk. kirjastokomponentteja, eli ne voidaan tuoda kokoonpanoon mallikirjastosta. Myös piirustusten luominen nopeutuisi, sillä malli sisältäisi oikean määrän kiinnityselimiä. Määrät ja koot ilmestyisivät osaluetteloihin automaattisesti.

Valitettavasti ohjelman ominaisuudet loppuivat tässä vaiheessa. Kiinnityselimiä oli helppo tuoda mallikirjastosta ja asettaa niiden sijainnit ohjautumaan samoilla parametreilla, joilla esimerkiksi askelmien kiinnitysreiät paikoittuvat. Mallista tuli kuitenkin tässä vaiheessa niin raskas, että sen käsittely hidastui huomattavasti. Tämän lisäksi kokoonpanon päämittoja muutettaessa uusiin reikiin ei päivittynyt uusia kiinnityselimiä, vaikka parametrit säilyivät muuttumattomina. Tähän ongelmaan ei tässä vaiheessa sen tarkemmin pureuduttu, vaan kiinnityselimien lisääminen päätettiin jättää mallin käyttäjän tehtäväksi. Niiden lisääminen ei onneksi ole paljoa aikaa vievä tekijä mallien käytössä, varsinkin kun kaikki muu mallinnustyö hoituu nyt automatisoidusti.

Portaiden kiinnitysreiät hoitotason runkoon jäävät myös mallin käyttäjän tehtäväksi. Esimerkkiprojekteissa kaikki hoitotaso- ja porraskokoonpanot ovat olleet niin yksilöllisiä, ettei yhtä toimivaa mallia ole järkevää lukita. Sen sijaan, kun jätetään hieman automatisointia mallista pois ja viimeistelyt manuaalisiksi, voidaan kyseisten parametrimallien käyttöaluetta viedä mahdollisimman moneen erilaiseen ratkaisuun, käyttökohteeseen ja projektiin. Tämänkaltaisen modulaarisuus oli malleja luotaessa tärkeämpi ominaisuus kuin yhdenlainen toimiva rakenne, joka ei ole muokattavissa monipuolisesti.

Portaista mallinnettiin myös versio, jossa portaat voidaan kiinnittää alaosaan hoitotasoon (Kuva 19). Tätä mallia on helppo hyödyntää mm. porrashuoneiden tapauksissa tai muutoin, kun hoitotasolta pitää nousta vielä seuraavalle tasolle. Mallinnus onnistui hyödyntämällä lattiaan kiinnitettävän porraskokoonpanon mallia ja tekemällä muutoksia rungon Sketchiin. Suurin ero syntyy alaosaan, kun runkopalkkirakennetta jatketaan vinosta runkopalkista lyhyeen vaakapalkkiin, josta runko voidaan kiinnittää tasoon.



Kuva 19. Tasojen välille asennettava porraskokoonpano

Myös askelmien ohjausta oli hieman muutettava parametreista, sillä ensimmäisen askelman on tasoon kiinnitettävissä portaissa oltava samalla korkeustasolla ritilätason kanssa, josta portaat lähtevät nousemaan. Askelmaohjaus tehtiin muuten samoilla reunaehdoilla kuin lattiaan kiinnitettävässä mallissa, mutta ensimmäinen askelma on eri korkeudella.

4.4 Lopulliset mallit

Lopullisina malleina saatiin aikaiseksi hoitotasomallit, kaidemallit, tukitolppamallit ja kaksi erilaista porraskokoonpanomallia, jotka on esitelty ylempänä. Nämä mallit olivat työn aloituspalaverissa tavoitteina opinnäytetyölle ja ne saatiin rakennettua niillä reunaehdoilla, joilla ne haluttiin saada toimiviksi työn tilaajayrityksen puolesta. Tulevaisuus näyttää kuitenkin mallien todellisen potentiaalin.

Mallien toimivuuden ja työn onnistumisen kannalta oli tärkeää, että malleja päästäisiin kokeilemaan käytännössä oikeassa toimitusprojektissa. Ensimmäinen mahdollisuus koekäyttää malleja valitettavasti kaatui, mutta niitä päästiin

kokeilemaan toisessa projektissa. Koekäyttötapaus oli siitä erinomainen, että siihen tarvittiin käytännössä kaikkia työn malleja, eli tasoja, molempia eri portaita ja kaiteita. Koekäyttö oli myös siitä oivallinen, että siinä esiteltiin asiakkaalle mahdollisia ratkaisuja kulkutieksi, eikä mallien tarvinnut olla vielä lopullisesti valmiita. Ajoitus oli täten mallien viimeistelyn kannalta erinomainen.

Projektin aikana yrityksen sisällä otettiin käyttöön Solidworks-ohjelmasta uudempi versio. Yllättävänä käänteenä koekäytössä huomattiin, etteivät vanhalla versiolla luodut mallit toimineet suoraan uudemmassa versiossa. Malli ei uudella ohjelmalla avautuessaan löytänyt Equationsin mittaparametreja, vaan malli täytyi ”opettaa” löytämään muuttujat uudella versiolla uudelleen. Onneksi kuitenkin vaiva versionvaihdoksesta oli pieni, joskin se oli yllättävä, koska versiot ovat muuten todella samankaltaisia. Koekäyttö suoritettiin siten, että mallit avattiin ja muokattiin vanhalla versiolla, ja vasta sen jälkeen ne tuotiin uuteen versioon.

Koekäyttö antoi arvokasta palautetta, koska opinnäytetyön täysin ulkopuolinen henkilö pääsi käyttämään malleja, joten siinä koeteltiin toden teolla mallien helppokäyttöisyyttä ja niiden käytön omaksumista. Myöskin tässä tapauksessa oli mahdollisuus kokeilla rakenteiden sopivuutta ja löytää kehityskohteita, joita ennakolta odotettiin. Kehitettävää löytyikin useasta kohdasta, esimerkiksi portaiden ja tason kaiteiden välisistä aukoista. Tämä oli arvokasta palautetta mallien viimeistelyä varten. Muutoin kokonaisuus oli varsin onnistunut, sillä pääsuunnittelija, joka malleja hyödynsi, omaksui käytön nopeasti eikä kokenut niissä turhaa monimutkaisuutta. Oli erittäin positiivinen asia työn kannalta, että käytettävyyks oli jo tässä vaiheessa hyvällä tasolla ja aikaa voitiin priorisoida viimeistelevään kehitystyöhön. Koekäytössä myös tuli kokeilluksi mallien runkojen muokkaaminen ”Cut”-toiminnolla. Mallit taipuivat runkopalkin leikkaamiseen yllättävän hyvin. Voidaan todeta, että mallit toimivat halutun modulaarisesti, kunhan itse rungon Sketchiin ei tehdä suuria muutoksia.

Viimeistelevässä kehitystyössä korjattiin koekäytössä huomattavat puutteet ja virheet, joita osien sovittamisen kanssa ilmeni. Viat korjaantuivat kuitenkin muutamilla mittojen korjauksilla ja pienillä muutoksilla runko-osien ohjaukseen. Muutamien yksityiskohtien viimeistely vei yllättävän paljon aikaa, mutta se olisi pitänyt tehdä joka tapauksessa. Tämä onkin luonnollinen työvaihe miltei missä tahansa suunnitteluprojektissa.

Ohjemateriaaleissa käyttäjää ohjeistetaan ottamaan mallit kopioina oman projektin kansioon ja nimeämään ne projektikohtaisesti. Kyseistä menetelmää kutsutaan Solidworksissa "Pack And Go" -menetelmäksi. Tässä vaarana kuitenkin on se, että käyttäjä vahingossa jättää alkuperäisen tiedoston auki ja alkaa muokkaamaan sitä projektinsa mukaisesti. Tämä vahingon mahdollisuus haluttiin estää ja se onnistui suhteellisen helposti asettamalla mallit tiedostonhallinnassa "Vain Luku" -tilaan. Tämä tarkoittaa sitä, että mallit voidaan avata ja niistä voidaan ottaa kopio, jota käyttäjä pääsee muokkaamaan. Alkuperäistä mallitiedostoa ei kuitenkaan näin ollen pääse vahingossa vaurioittamaan.

Jatkokehityksenä mallien osalta voisi lähteä selvittämään erilaisten ohjelmoitavien lisäosien tuomia mahdollisuuksia. Solidworksin oma DriveWorks-ohjelma toimii parametrimallien luomisessa, mutta siihen täytyisi perehtyä ajan kanssa enemmän. Myös kaupallisten ohjelmien hyödyllisyyden tarkastelu voisi olla tarpeellista, varsinkin jos parametrisoitua mallintamista aiotaan viedä muihinkin yrityksen tuotteisiin. Tarkastelu vaatii kuitenkin aikaa ja paneutumista eri ominaisuuksiin, joten ne rajattiin tämän työn laajuudessa pois.

Parametrimallien suurimpia ongelmia lienevät tilanteet, kun mallia tai osaa mallista halutaan muokata uudella piirteellä, jota ei saada paikoitettua parametrimallin omien ehtojen takia. Näihin ongelmakohtiin täytyy pureutua kunnon niiden ilmetessä ja yrittää löytää toimivia ratkaisuja. Siinä vaiheessa on mahdolliset ratkaisut lisättävä myös ohjemateriaaleihin.

4.5 Lujuusopillinen mitoitus

Ritilätaso

Ritilätason mitoituksessa on huomioitava neliökuorma, jolle taso mitoitetaan. Neliökuorma ohjaa ritiläprofiilissa olevien kantoterästen tukijänneväliä. Ritiläprofiilin kantoteräokset ovat pystyssä olevia lattatangon muotoisia profiileja, jotka lähtökohtaisesti asetetaan poikittain hoitotason suuntaisesti. Riippuen kuormituksesta ja hoitotason leveydestä asetetaan tarvittava määrä pitkittäistukia hoitotason suuntaisesti, jotta kantavat rakenteet kestävät suunnittelu-kuorman.

Standardi SFS-EN ISO 14122-2 määrittelee, että hoito- ja kulkutasot on suunniteltava siten, että vähimmäiskuormitus, jolla hoitotasoa kuormitetaan, on 2 kN/m². Rakenteen on myös kestettävä 1,5 kN/m²:n pistekuorma jakautuneena 200x200 mm:n suuruiselle alueelle. (SFS-EN ISO 14122-2 2016.) Kyseinen hoitotasomalli luotiin oletusarvoisesti kantamaan vähintään 5 kN/m²:n kuorma, joka ylittää standardin antaman minimikuormituksen reilusti. Tarvittaessa käyttökohteesta riippuen voidaan neliökuormitusta nostaa mallin parametreista, ja malli mitoittaa kuormituksen mukaan soveltuvan tukipalkkien jännevälin.

Mallin parametreihin on siis asetettava neliökuormituksen arvo, jonka mukaan malli laskee tarvittavien jännevälin ja tätä kautta pitkittäistukien määrän. Jos jako ei mene leveyden kanssa tasan, tapahtuu silloin pyöritys tukipalkkien jakoväliin. Tässä tapauksessa käyttäjän on huomioitava kyseinen pyöritys ja tarvittaessa lisättävä tai vähennettävä tukipalkkien määrää manuaalisesti. Tämäkin toteutetaan Equations-työkalupalkissa parametreilla, ja sen toteutus opastetaan ohjemateriaaleissa yksityiskohtaisesti.

Muut lujuusopilliset mitoitukset rajattiin tämän työn puitteissa pois, ja laskevat rakenteiden maksimi- ja minimikuormituksista eri käyttöolosuhteissa- ja koroissa tullaan tekemään lähitulevaisuudessa lisää. Lujuuslaskennan kautta saatavat rakenteiden reunaehdot nopeuttavat osaltaan suunnittelutyön läpimenoaikaa huomattavasti.

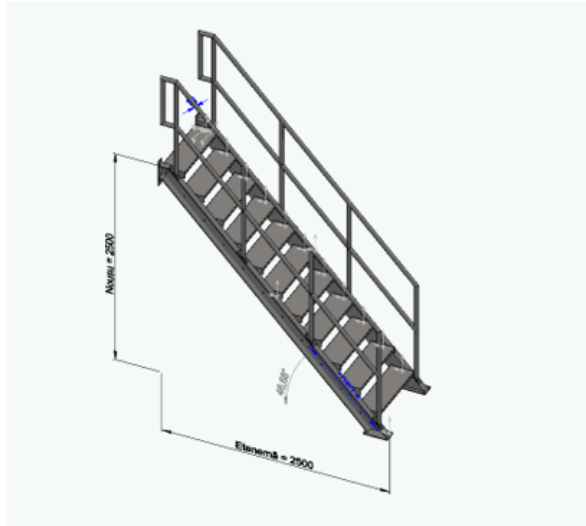
5 OHJEET JA MALLIPIIRUSTUKSET

5.1 Ohjeet

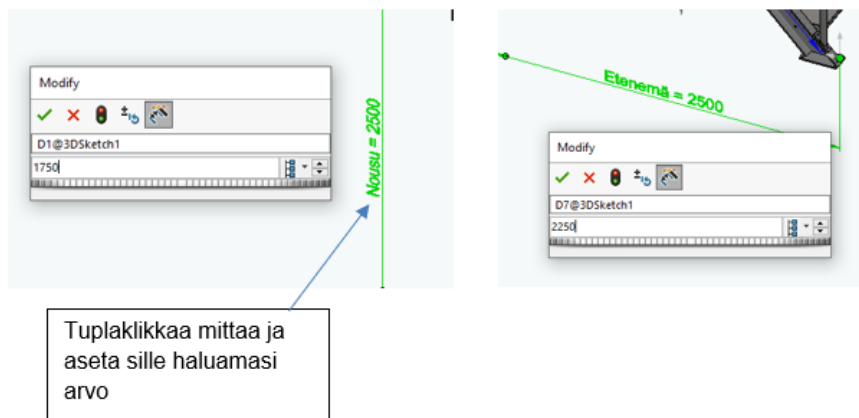
Mallien käytön helpottamiseksi luotiin tekstipohjainen ohjemateriaali, jota on helpotettu kuvallisilla esimerkeillä. Ohjeita luodessa tärkein lähtökohta oli luoda niistä sellaiset, että niiden avulla mallien peruskäyttö onnistuu ongelmitta. Tämän takia lähtökohtana oli tehdä mahdollisimman selkeät ja helppolukuiset ohjeet, joissa teksti on mahdollisimman vähäistä ja kuvien avulla havainnollistetaan mallien käyttöä.

Perusohjeiden lisäksi olisi mahdollisuus kehittää toiseen tiedostoon syvällisemmät ohjeet, joiden avulla käyttäjä voi muokata mallien rakennetta tarvittaessa enemmän. Näiden ohjeiden sisältöön tarvitaan myös käytännön kokemusta valmiiden mallien ja piirustusten käytöstä, jotta oikeita ongelmakohtia voidaan jatkossa purkaa niiden ilmentyessä. Tämän takia lisäohjeiden tekeminen päätettiin jättää myöhempään ajankohtaan, jotta niiden sisällöstä saataisiin mahdollisimman hyödylliset.

Perusohjeet sisältävät hoitotason käyttöohjeen ja portaiden käyttöohjeen erikseen (Kuva 20). Tämä selkeyttää muokattavan mallin käyttöä ohjeiden avulla. Ohjeet sisältävät ainoastaan opastuksen tiedostojen kopioimisprosessin haluttuun projektiin ja mittojen asettamisen. Hoitotaso-ohjeessa havainnollistetaan myös tukitolppien lisääminen malliin. Porrasohjeessa opastetaan myös portaiden kiinnittäminen hoitotasoon. Ohjeet opastavat kiinnitysreikien luomisen ja paikoittamisen kokoonpanotasolla, mikä ei välttämättä ole kaikilla suunnittelijoilla ensisijainen toimintatapa. Ohjeisiin myös kirjattiin, minkä mittaisia ja kokoisia kiinnityselimiä eri osien kiinnitykseen tarvitaan (Kuva 21).



Arvoja muutetaan tuplaklikkaamalla mitta, ja asettamalla sille haluttu arvo. Arvojen asettamisen jälkeen pitää **Rebuild** -nappia painaa **kahdesti**, jotta kaiteetkin päivittyvät.



Kuva 20. Ohjemateriaali mallien käytöstä.

Perusohje Hoitotaso, Tolpat & Portaat

6.4.2021

Askelmien kiinnitysruuvit	M12x30	DIN 933
Aluslevyt	M12	DIN 125
Mutterit	M12	DIN 934
Kaiteiden kiinnitysruuvit	M12x40	DIN 933
Aluslevyt	M12	DIN 125
Mutterit	M12	DIN 934

Kuva 21. Ohjemateriaali kiinnityselimille.

5.2 Mallipiirustukset

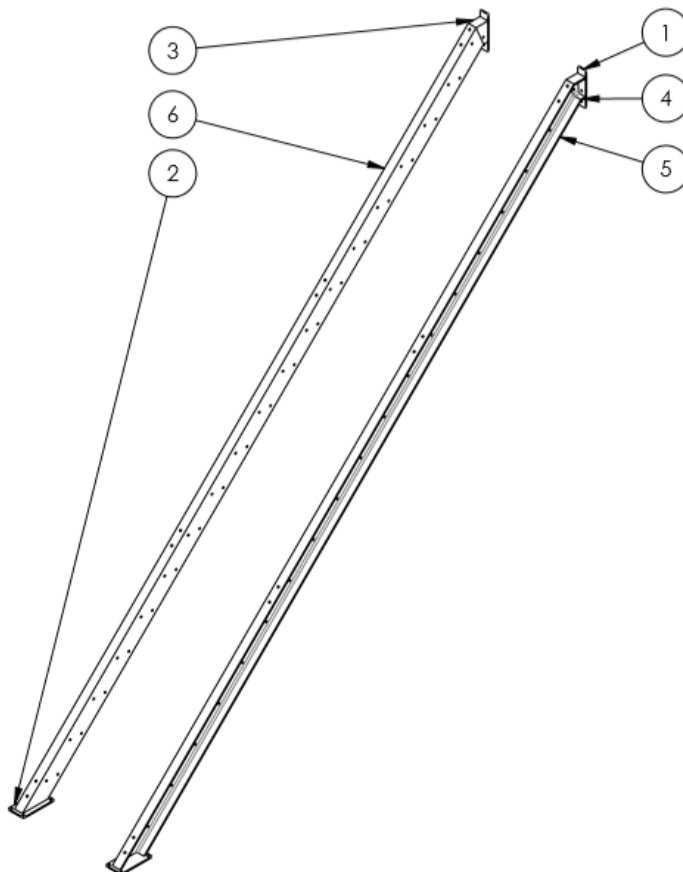
Rakenteista luotiin myös mallipiirustukset tulevia valmistuspiirustuksia varten. Piirustuksissa noudatetaan yleisiä koneenpiirtämisen ohjeita. Piirustukset luodaan aina valmistus ja asennus huomioiden. Kyseisistä malleista luodaan osapiirustuksia, polttoleiketiedostoja ja kokoonpanopiirustuksia. Osat valmistetaan osapiirustusten mukaisesti, ja osat kiinnitetään toisiinsa kokoonpanopiirustuksen mukaisesti. Kokoonpanopiirustuksessa osat mahdollisuuksien mukaan luetellaan osaluetteloon kokoamisjärjestyksessä. Osapiirustusten tulee myös olla mahdollisimman yksinkertaisia ja yksiselitteisiä. (Pere 1973.) Kokoonpanoja voidaan kiinnittää toisiinsa asennuspiirustuksessa tai asennusohjeessa, mutta niitä tämä työ ei käsittele.

Piirustus sisältää aina tarvittavan määrän projektioita valmistettavasta kappaleesta. Projektiot ovat 2D-kuvantoja kappaleesta esimerkiksi edestä, päältä ja sivulta. Projektioihin lisätään mitat osan valmistamista varten. Mittoja täytyy olla riittävästi, muttei liikaa, jotta piirustus pysyy luettavana. Piirustus sisältää myös osasta riippuen osaluettelon, joka kertoo lukijalle, mistä materiaalista, profiilista tai osista kyseinen kappale valmistetaan. Piirustus sisältää myös osien liitoksiin vaadittavat kiinnityselimet tai hitsausseamat.

Mallipiirustusten tarkoitus on nopeuttaa valmistuskuvien luomista halutulle osalle. Piirustus voidaan kopioida haluttuun projektiin aivan kuten itse mallinnettava rakennekin. Piirustus joudutaan kuitenkin päivittämään ja sovittamaan uudelleen, mikäli osalle tehdään mittamuutoksia. Piirustukset sisältävät valmiit tarvittavat projektiot osista, jottei piirustusta tarvitse luoda tyhjästä. Lisäksi pdf-muotoinen mallipiirustus toimii pohjana uusille piirustuksille.

Portaiden mallipiirustukset

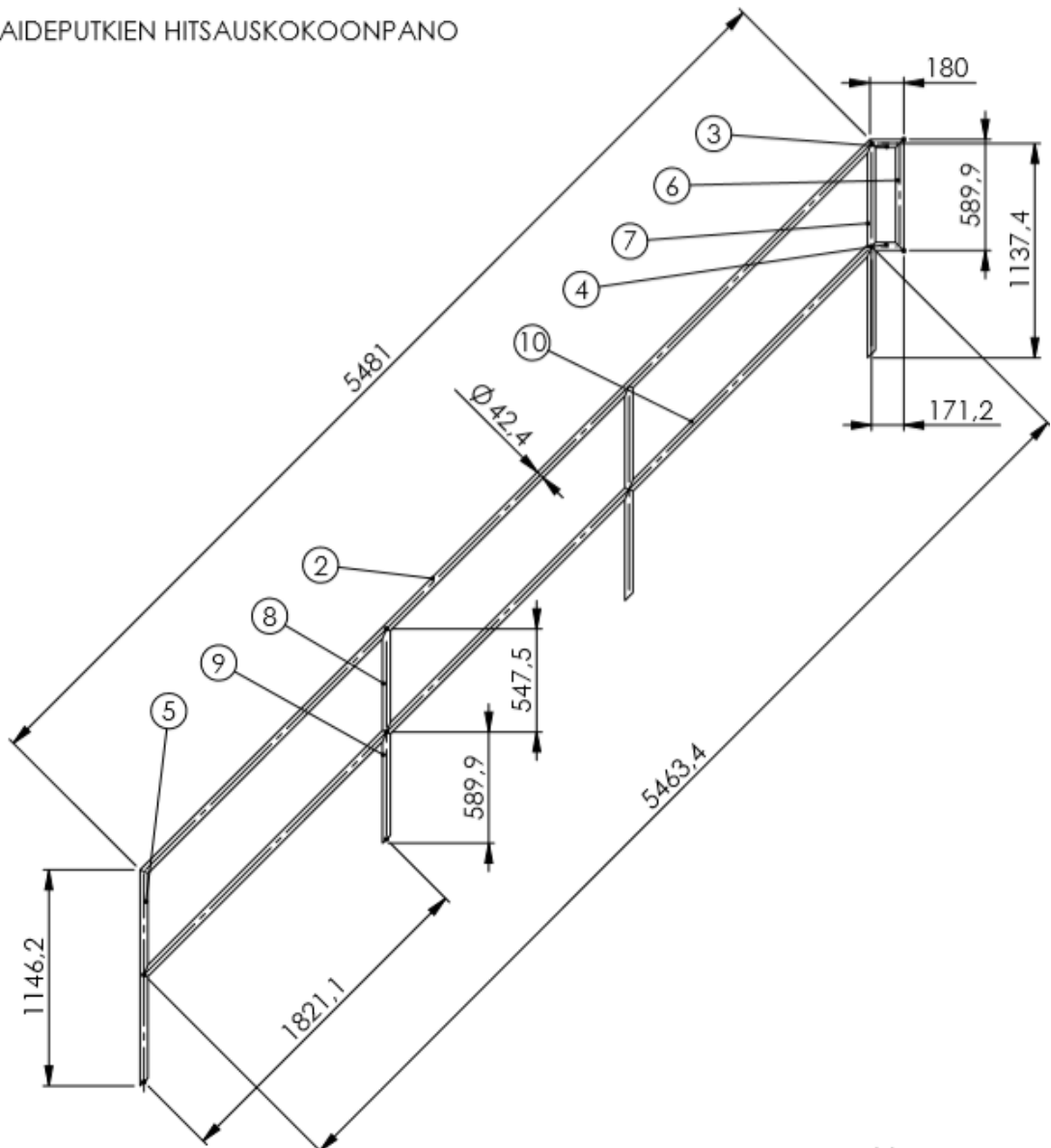
Porraskokoonpano vaatii minimissään kolme erilaista piirustusta. Näitä ovat porraskokoonpanon osapiirustus (Kuva 22), kaiteiden osapiirustus ja porraskokoonpanopiirustus. Tässä tapauksessa portaiden rungon piirustukseen yhdistettiin eri osien katkaisuun tarvittavat tiedot sekä osien hitsausliitoksiin tarvittavat tiedot. Lisäksi leikattavista osista luodaan dxf-tiedostot, joiden avulla ne voidaan leikata annettuihin mittoihin. Tässä tapauksessa kyseisiä osia ovat rungon kiinnityslaput.



Kuva 22. Osa porraskokoonpanon piirustuksesta.

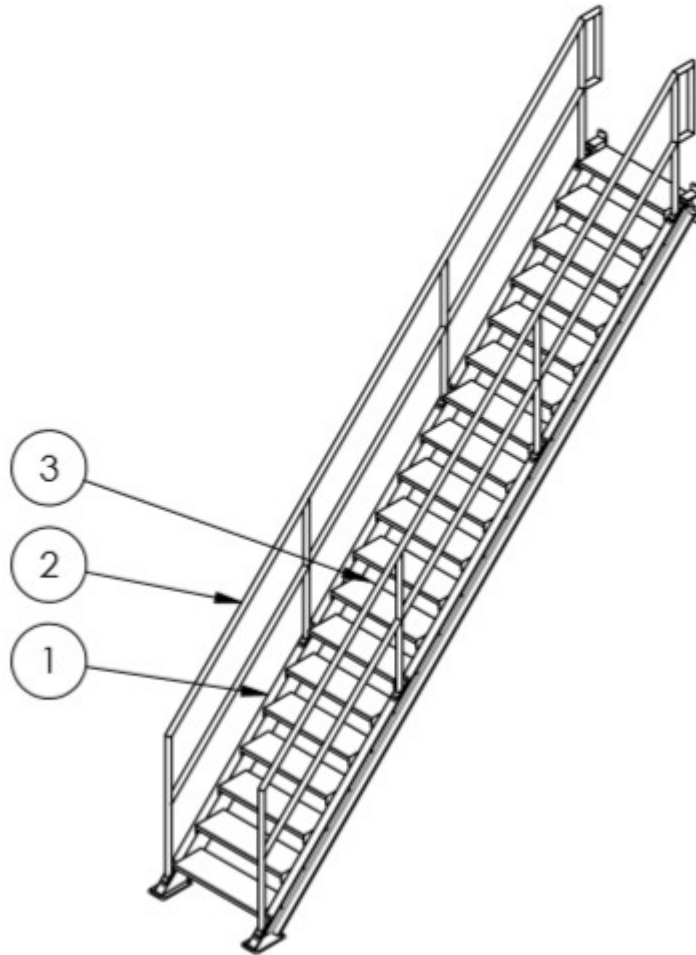
Porraskaidepiirustuksessa esitetään kaiteiden päämitat, hitsausliitokset ja osien mitat ja niiden sijoittelu (Kuva 23). Myös kaiteiden kiinnityslapuista luotiin dxf-tiedosto, jonka avulla osat voidaan leikata mittojen mukaisesti.

KAIDEPUTKIEN HITSAUSKOKKONPANO



Kuva 23. Kaideputkien hitsauskokoonpano.

Kokoonpanokuvassa, joka on osin esiteltynä kuvassa 24, esitetään porraskokoonpano, joka sisältää edellä mainitut rungon, kaiteet, ja lisäksi porraskelmat. Askelmat ostetaan erikseen osatoimittajilta, joten niitä ei erikseen mitoiteta valmistusta varten. Käyttäjä asettelee osaluetteloon mitat, joiden avulla voidaan tilata oikeankokoiset askelmat. Kokoonpanokuvassa ilmaistaan myös kiinnityselimet, jotka tässä tapauksessa ovat M12-kokoisia kuusioruuveja, aluslevyjä ja muttereita. Käyttäjän on päivitettävä kiinnityselimien määrä manuaalisesti, sillä malliin ei automaattisesti päivity oikeaa määrää kiinnityselimiä.



Kuva 24. Osa porraskokoonpanokuvasta.

Myös hoitotasorungosta, hoitotason kaiteista ja hoitotasokoonpanosta luotiin vastaavat piirustukset. Mallipiirustuksissa ei luonnollisestikaan ole valmiita mittoja kiinnitysrei'ille, jotka mallin käyttäjä luo tapauskohtaisesti. Käyttäjän on mitoitettava myös muut projektikohtaiset yksityiskohdat.

Vastaavat mallipiirustukset luotiin myös hoitotason tukitolppamallille sekä tasojen välille kiinnitettävälle porrarakenteille. Piirustukset noudattavat samaa linjausta, eli pääprojektiot ja -mitat päivittyvät mallin mukaan, mutta hienosäädöt on tehtävä käsin. Tätä parempaa lopputulosta ei odotettukaan, sillä piirustukset ns. räjähtävät useasti mittamuutoksia tehtäessä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli luoda hoitotasoille, kaiteille ja niihin liitettäville portaille parametriset mallit, joiden tarkoituksena oli lyhentää kyseisten rakenteiden suunnittelun läpimenoaikaa. Työ onnistui hyvin, sillä mallit saatiin rakennettua ja niiden toimivuuden testaus toi positiivista palautetta. Suunnittelu-aikaa säästetään karkeasti arvioiden puolel toteutettaessa kyseisiä rakenteita. Lisäsäästöjä voidaan saavuttaa, kun vakiorakenteiden reunaehdot saadaan lujuslaskettua tarkemmin. Tällöin tietyt ratkaisut voidaan toimittaa ilman erillistä laskentaa. Projekti onnistui myös aikataulun puitteissa hyvin. Tästä on hyvä lähteä jatkamaan parametriseen mallinnuksen kehitystä ja uusien tekniikoiden oppimista.

Työ herätti ajatuksia suunnittelutöiden automatisoinnista, kirjasto-osien luomisesta ja erilaisten apuohjelmien hyödyntämisestä suunnitteluohjelmien tukena. Luulen, että suunnittelun automatisoituminen toistuvien kokoonpanojen kohdalla yleistyy tulevaisuudessa jatkuvasti. Tämä luo jatkuvan paineen yrityksille kilpailukyvyn ylläpitämiseen työmarkkinoilla. Vastaavasti se lisää tarvetta suunnittelijoiden laajentuneeseen osaamisalueeseen, kun suunnittelutyö on paljolti tietokoneavustettua. Mitä syvemmälle suunnittelutyössä mennään tietokoneavusteisuuden maailmassa, sitä enemmän se vaatii suunnittelijalta osaamista. Todennäköisesti se näkyy myös tulevaisuudessa koulutusohjelmien sisällöissä.

Toisaalta tämä työ oli osuva esimerkki siitä, että työnteko opitaan töissä ja sen tekemiseen tarvittavat perustiedot ja -taidot opitaan koulussa. Oma suunnittelu- ja mallinnusosaamiseni kasvoi valtavasti tämän työn sekä sitä edeltävän kesätyön osalta. Perusteet ohjelmien käytölle ja kappaleiden mallintamiselle oli kuitenkin opittu koulussa. Työ toi myös esiin sen, että relevantti osaaminen ja kilpailukyvyn ylläpito vaatii niin yrityksiltä kuin työntekijöiltäkin jatkuvaa kehittymistä ja uusien menetelmien nopeaa omaksumista. Perusteet ja tavantomaiset fysikaaliset lainalaisuudet eivät kuitenkaan ole muuttumassa miksiäkään, joten niiden painotusta ei osaamisessa voi väheksyä.

Lähtötietoja työn tekemiseen löytyi melko niukasti. Aihetta sivuten on tehty kourallinen opinnäytetöitä, joiden avulla pääsee perehtymään erilaisten ratkaisujen parametrisointiin. Myös YouTube-videot ja keskustelufoorumit toimivat erinomaisena lähtökohtana erilaisten funktioiden luomiseen mallinnusvaiheessa sekä yleiseen näppäilytekniikkaan Solidworksissa. Osasyynä lähtötietojen niukkuuteen on luultavasti se, että parametrisoitu malli luo yrityksille kilpailuedun, eikä tietoa haluta näin ollen jakaa julkisesti. Aiheesta järjestetään lähinnä maksullisia koulutuksia.

Projekti toteutettiin noudattaen yrityksen sisäistä kehitystyöprojektin porttimalliohjetta. Porttimallin ideana on, että projektissa edetään johdonmukaisesti vaiheesta seuraavaan. Ensimmäisessä vaiheessa kerätään lähtötietoja ja tutkitaan erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Seuraavaksi lähtötietojen perusteella lähdetään havainnollistamaan erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja suunnitteluongelmalle. Tätä vaihetta voidaan kutsua myös konseptisuunnitteluksi. Kun konseptivaihe on valmis, päätetään, mihin ratkaisuihin halutaan lopullisesti päätyä ja mitä mahdollisesti konsepteista vielä puuttuu tai mitä halutaan vielä kehittää. Tämä on aikaa vievä prosessi, sillä erilaisia yksityiskohtia, jotka lopputulokseen vaikuttavat, ilmenee helposti todella paljon. Tämän projektin aikana pidettiin jatkuvasti kirjaa siitä, missä vaiheessa suunnittelutyö ja eri yksityiskohdat etenevät.

Konseptivaiheen jälkeen tuotetaan lopullinen suunnitelma lähtötiedoissa pohdittuun suunnitteluongelmaan, joka tässä tapauksessa sisältää parametriset mallit, niiden käyttöohjeet ja mallipiirustukset. Tässä vaiheessa on tarkoituksenmukaista, että idea ja suuntaviivat ratkaisulle ovat jo kehittyneet. Suunnittelutyö on käytännössä seuraavaksi vain yksityiskohtien parantelua, joita esimerkiksi koekäyttäjien tai muiden muuttujien osalta joudutaan parantelemaan. Kun tämä vaihe on valmis, voidaan suunnitteluaineisto hyväksyttää tilaajalla, ja projekti on tältä osin valmis suunnittelun osalta.

Creative Engineering Design avasi hyvin luovan työn etenemisprosesseja, jotka tässä tapauksessa osuvat luonnollisesti koneensuunnitteluun. Kirjan alkuosa avasi käytännön esimerkein myös erittäin hyvin alitajunnan ja tietoisien mielen välisiä yhteyksiä ja sitä, miten ne toimivat luovassa ongelmanratkaisussa. Nykyään työelämä vaatii jatkuvaa kehittymistä kiristyvän kilpailun takia, ja luovien ratkaisujen kehittäminen oman toiminnan tehostamiseksi voi luoda yritykselle kilpailuedun.

Hyvä kehityskohde parametrisoidun mallintamisen osalta olisi opetella DriveWorks-ohjelman käyttöä. Siinä olisi mahdollisuus lisätä mallien helppokäyttöisyyttä ja monimuotoisuutta entisestään. Lisäksi ohjelmalla olisi mahdollisuus parametrisoida muitakin komponentteja. DriveWorksin hyödyllisyys nähtäneen tulevaisuudessa. Ohjelman hallitseminen vaatii toisaalta oletettavasti paljon aikaa ja kehitystyötä, joten sen tarpeita täytyisi tapauskohtaisesti kartoittaa tarkemmin.

Työn haastavuus ja työn määrä osattiin ennakoida hyvin ja osakokoonpanojen luonti priorisoida. Kun malleja päästään enemmän hyödyntämään, löytyy niistä varmasti vielä yksityiskohtia, joita täytyy kehittää. Parametrimallien suurimpia ongelmia tulevaisuudessa lienevät ne tilanteet, joissa mallia tai sen osaa halutaan muokata uudella piirteellä, jota ei saada paikoitettua parametrimallin omien ehtojen takia. Näihin ongelmakohtiin täytyy pureutua kunnolla niiden ilmetessä ja yrittää löytää toimivia ratkaisuja. Siinä vaiheessa mahdolliset ratkaisut on lisättävä myös ohjemateriaaleihin.

LÄHTEET

Dassault Systems. 2019a. Equations. Solidworks Fundamentals. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://help.solidworks.com/2019/english/SolidWorks/sldworks/hidd_equation_manager.htm?verRedirect=1 [viitattu 12.2.2021].

Dassault Systems. 2019b. Design Table Configurations. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://help.solidworks.com/2019/English/SolidWorks/sldworks/c_Design_Table_Configurations.htm?verRedirect=1 [viitattu 13.2.2021].

Dassault Systems. 2019c. Solid Steel Parametric. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.solidworks.com/media/structural-steel-design-solidworks-solidsteel-parametric-prod> [viitattu 1.3.2021].

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY

Kimpanpää, M. & Tinnilä, T. 2018. Suunnittelun automatisointi. Case: Teknoware Oy. Lahden ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Mekatroniikka. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804285826> [viitattu 28.3.2021].

Pere, A. 1973. Koneenpiirustus 2. Helsinki: Offsetpiste Ky

Piironen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettävyyteen. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu Julkaisutoimikunta.

Rtaso s.a. Hoitotasot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://r-taso.fi/tuotteet/hoitotasot/> [viitattu 8.5.2021]

SFS-EN ISO 14122-1. 2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 1: Pääsytien valinta ja yleiset vaatimukset.

SFS-EN ISO 14122-2. 2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutasot.

SFS-EN ISO 14122-3. 2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet.
Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet.

Tuomaala, J. 1991. Creative Engineering Design. Oulu: Department of Mechanical Engineering, University of Oulu.

Teräsrakenneyhdistys. 2013. Rakenteiden muotoilu kuumasinkityksen kannalta. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/219/c42170b/TRY_Rakenteiden_muotoilu_kuumasinkityksen_kannalta_150413_rev_1.pdf [viitattu 30.3.2021].

Muutos PVM	V / T	VAATIMUS
		Geometria
13.1.2021	V	Standardien mukaisia mittoja seuraava malli
13.1.2021	V	Käyttöohjeet
13.1.2021	V	Mallipiirustukset yleisohjeiseen (sinkkireiät, -lovet, käyrät)
13.1.2021	V	Standardiritilöiden kiinnittämisen mahdollisuus
13.1.2021	T	Tukitolppien lisäys
13.1.2021	T	Konejalkojen konfigurointi portaisiin
13.1.2021	T	Tukitolppien kiinnitys parametroitu
		Voimat
13.1.2021	T	Worst Case Scenario -tyyppinen lujuusmitoitus
		Aine
13.1.2021		Valmistusmateriaali muokattavissa
		Turvallisuus
13.1.2021	V	Standardien vaatimalla tasolla
		Valmistus
13.1.2021	T	Suunnittelu- ja valmistuskustannuksien minimoiminen mallin avulla
		Tarkastus
13.1.2021	V	Mallipiirustusten tarkastus, Mallien hyväksyntä
		Kuljetus
13.1.2021	T	Mahdollisuus kasata tuotteet osina (max leveys 2,5m hoitotasolle)
		Käyttö
13.1.2021	V	Hyvä käytettävyys lyhyen koulutuksen avulla
13.1.2021	V	Hyvä muokattavuus ohjeiden avulla
13.1.2021	V	Selkeä parametointi muuttujille
13.1.2021	V	Lisätietokenttiin standardien luomat raja-arvot
13.1.2021	T	Mahdollisuus jatkojalostukseen muita osia / lujuusteknisiä tarkasteluja varten
		Toimitusaika
13.1.2021	V	Työ valmis huhtikuun loppuun mennessä

