LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Kone
BK10A0402 Kandidaatintyö

Modulaarisen sisäseikkailupuiston suunnittelu

Design of modular indoor adventure park

Lappeenrannassa 1.4.2018
Kalle Lipiäinen
Tarkastaja TkT Kimmo Kerkkänen
Ohjaaja TkT Kimmo Kerkkänen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Kalle Lipiäinen

Modulaarisen sisäseikkailupuiston suunnittelu

Kandidaatintyö

2018

32 sivua, 11 kuvaa, 2 taulukkoa

Tarkastaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Ohjaaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: sisäseikkailupuisto, tuotekehitys

Tässä kandidaatintyössä suunniteltiin sisäseikkailupuiston rakenne. Työn tarjoaja oli Park Expert Finland Oy. Rakenne koostuu lähtöalustasta, pelastustiestä ja seikkailuelementeistä. Lähtöalustan suunnittelussa noudatettiin järjestelmällisen tuotekehityksen periaatteita. Suunnittelussa edettiin yksinkertaisesta rakenteesta yksityiskohtiin ja rakennetta päädyttiin vahvistamaan lujuustarkastelun jälkeen suuremmilla RHS-profiileilla vastaamaan vaadittua kestävyyttä. Suunniteltu seikkailupuisto on massakustomoitavissa asiakkaan toiveiden mukaan värien ja grafiikoiden avulla.

Lähtöalustan suunnittelussa päädyttiin kolmesta moduulista koostuvaan rakenteeseen. Rakenteessa on kolme kerrosta, johon kiinnitetään vaijereita. Rakenteen ylä- ja alaosiin kiinnitetään elementtivaijereita. Varmistusvaijeri kiinnitetään yläelementtivaijerin kanssa samaan moduuliin omaan kiinnitysjärjestelmäänsä. Vaijerien kiinnitys oli suunnittelussa tärkeintä. Vaijerit päädyttiin kiinnittämään nostokorvakkeilla, jotta vaijereita voidaan kuormittaa eri suuntiin ja vaijeri pysyy aina suorana kuormitukseen nähden. Lopullisella rakenteessa elementtivaijereiden kiinnitys vaati suuremman määrän materiaalia, kuin varmistusvaijereiden kiinnitys samalle kuormitukselle suunniteltuna.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Kalle Lipiäinen

Design of modular indoor adventure park

Bachelor's thesis

2018

32 pages, 11 figures, 2 tables

Examiner: D. Sc. (Tech.) Kimmo Kerkkänen

Supervisor: D. Sc. (Tech.) Kimmo Kerkkänen

Keywords: indoor adventure park, product development

The layout and structure of indoor adventure park was designed in this Bachelor's thesis. The work was done for Park Expert Finland Oy. The structure of adventure park consisted of platform, rescue bridge and adventure elements. Systematic design process was followed in design of platform. The design progress started with basic structure of the platform and was iterative. After details and the FE-analysis the basic structure was made stronger with stronger RHS-profiles. Mass customization can be applied to platform to fulfill customer requirements about colors and graphics.

The structure of the platform consist of three modules and there is three levels for cable attachments. Element wires are attached to high and low. Lifeline is attached to same module than upper element wire to its own attaching system. The lifeline design was the most critical detail in product development. With same force element wire attachments needed more material than lifeline in finalized structure.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ **1**
ABSTRACT **2**
SISÄLLYSLUETTELO **3**
SYMBOLILUETTELO **4**
1 JOHDANTO **5**
2 KIRJALLISUUSKATSAUS **7**
2.1 Järjestelmällinen tuotesuunnittelu 7
2.2 Modulaarinen tuotesarja 9
2.3 Seikkailupuiston turvallisuus 10
2.4 Vaijerivoiman laskeminen 10
2.5 Tutkimusmenetelmät 12
3 TUTKIMUSTULOKSET **13**
3.1 Lähtöalustan suunnittelu 13
3.1.1 Ideamatriisi lähtöalustalle 14
3.1.2 Ensimmäinen kokonaisratkaisu 16
3.1.3 Lopullinen kokonaisratkaisu 18
3.1.4 Valmistus- ja asennusystävällisyys 21
3.1.5 Lähtöalustan ja seikkailupuiston massakustomointi 21
3.2 Ristikon keskiosan tukirakenne 22
3.3 Lähtöalustan lujuustarkastelu 23
3.4 Seikkailupuiston muoto 24
3.5 Seikkailupuiston 3D-mallinnus 26
4 TULOSTEN POHDINTA **27**
4.1 Suunnittelutyön onnistuminen 27
4.2 3D-suunnittelu 27
4.3 Valmistusystävällisyys 28
4.4 Turvallisuus 29
4.5 Modulaarisuus 29
5 YHTEENVETO **31**
LÄHTEET **32**

SYMBOLILUETTELO

f	Sag-arvo [m]
Fz	Vaijerivoima [N]
l	Jänneväli [m]
p	Käyttäjäkuorma [N]
q	Vaijerin paino [N/m]

FEM	Finite element method, elementtimenetelmä
RAL	Eurooppalainen väristandardi maaleille ja pinnoitteille.
RHS	Rectangular hollow sections, poikkileikaukseltaan suorakaiteinen putki
WLL	Work Load Limit, suurin sallittu käyttökuormitus
Sag-arvo	Vaijerin taipuminen oman massansa vaikutuksesta

1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan modulaarisen sisäseikkailupuiston rakennetta. Työ on tehty Park Expert Finland Oy -yritykselle. Park Expert myy kiipeilyvarusteita, suunnittelee seikkailupuistoja ja tarjoaa konsultointipalveluita erityisesti kiipeilyyn liittyvissä turvallisuuskysymyksissä.

Sisäseikkailupuiston tarkoituksena on hyödyntää kattoristikoihin jäävä hukkatila. Sisäseikkailupuistosta suunnitellaan täydellinen 3D-malli, jonka pohjalta puisto voidaan rakentaa. Seikkailupuisto suunnitellaan asennettavaksi teräsristikoihin.

Tutkimus on rajattu lähtöalustojen ja seikkailupuiston rakenteen suunnitteluun. Tutkimuksen alkaessa oli tiedossa kattorakenteiden kuormankantokyky. Lähtöalustojen suunnittelussa noudatetaan järjestelmällisen tuotekehityksen periaatetta. Seikkailupuisto mallinnetaan niin, että puiston rakennusvaiheessa ei tarvitse enää ratkaista ongelmia. Tutkimuksessa keskitytään mekaniikka- ja layout-suunnitteluun. Tarkat lujuuslaskelmat jätetään pois tästä tutkimuksesta. Työn tavoitteena on suunnitella seikkailupuistokokonaisuus ja siihen liittyvät komponentit.

Tässä kandidaatintyössä tutkimuskysymyksiä ovat:

1) Miten vaijerivoimat johdetaan katon teräsrakenteisiin mahdollisimman kevyillä rakenteilla?
2) Voidaanko suunnitelmista muodostaa tuoteperhe, joka on asennettavissa laajasti olemassa oleviin teräsrakenteisiin?
3) Miten 3D-suunnittelua voidaan hyödyntää tuotekehitysprojektissa?

Kuvassa 1 on esitetty lopullinen suunniteltu tuote kustomoituna yrityksen logoilla. Yrityksen logot ovat paikoissa, joita asiakas voi käyttää tuotebrändäyksessä tilattuaan tuotteen. Suunnitteluprosessissa ja tuotteiden toimittajien valitsemisessa otettiin huomioon massakustomoinnin mahdollisuus, helppous ja laatu.

Kuva 1. Suunniteltu tuote Park Expert Finland Oy:n logoilla kustomoituna.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

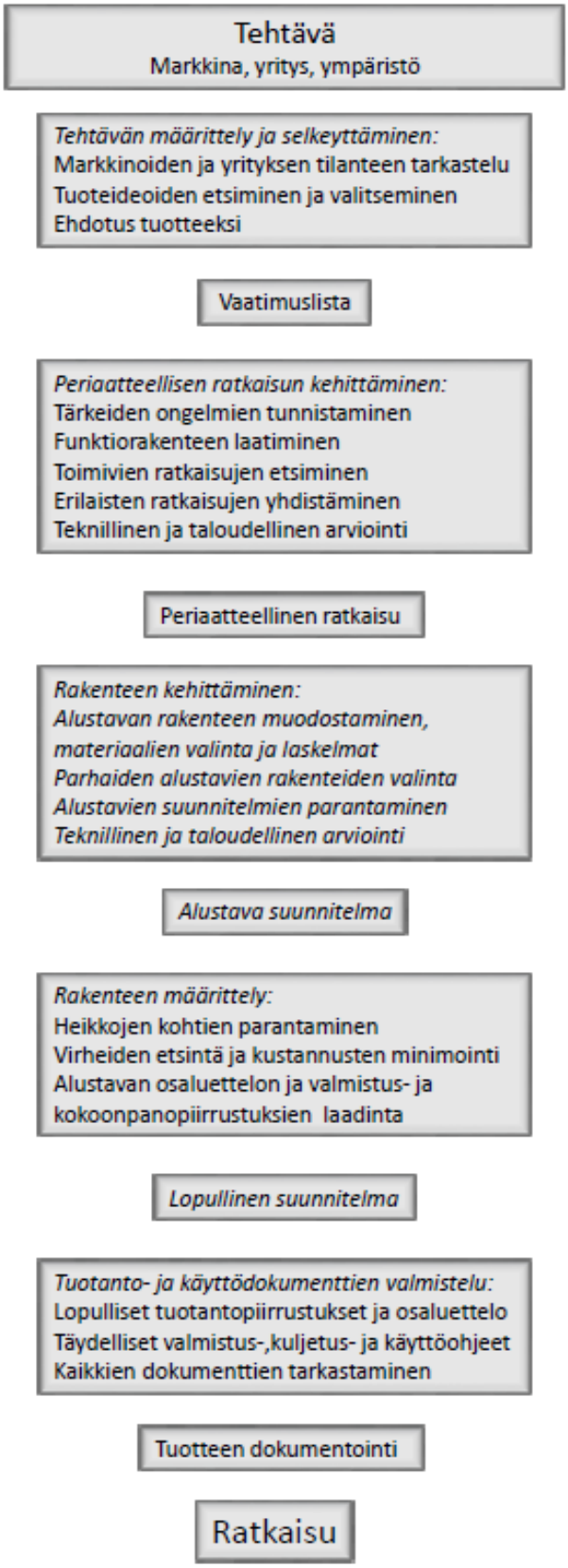
Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan järjestelmällisen tuotesuunnittelun periaatteita ja seikkailupuiston turvallisuutta. Seikkailupuistoihin liittyy paljon vaatimuksia, jotka on otettava huomioon suunnittelutyössä. Kirjallisuuskatsauksessa pyritään selvittämään rakenteisiin kohdistuvat kuormitukset, joiden pohjalta lujuuslaskelmat tehdään.

2.1 Järjestelmällinen tuotesuunnittelu

Järjestelmällinen tuotesuunnittelu on kehitetty helpottamaan insinöörien työtä. Suunnitteluprosessissa halutaan maksimoida ideoiden määrä. Tuotekehityksessä täytyy käyttää luovuutta, vaikka itse suunnitteluprosessi on vakioitu. (Pahl et al. 2007. s. 9)

Järjestelmällisessä tuotesuunnittelussa suunnitteluprosessi jaetaan osiin kokonaisuuden hallitsemiseksi. Tuotekehitysprosessi alkaa tuoteidean arvioinnista. Järjestelmällisessä tuotekehityksessä laaditaan vaatimuslista, toimintorakenne ja ideamatriisi suunniteltavalle tuotteelle. Ideamatriisissa esitetyt mahdolliset toteutustavat pisteytetään teknisesti ja taloudellisesti. Parhaiden osaratkaisuiden perusteella suunnitellaan kokonainen tuote.

Tuotesuunnittelu on iteratiivinen prosessi. Jokaisen suunnitteluvaiheen jälkeen arvioidaan tuloksia ja palataan tarvittaessa aiempiin tuloksiin. Ensimmäisen suunnitelman jälkeen arvioidaan ja parannetaan kokonaisratkaisua. Suunnittelutyötä jatketaan, kunnes kokonaisratkaisuun ollaan tyytyväisiä. Lopullisen kokonaisratkaisun suunnittelun jälkeen laaditaan osaluettelo ja valmistuspiirustukset. Suunnittelutyön aikana ja sen jälkeen dokumentoidaan suunnitteluprosessi. Järjestelmällisen tuotesuunnittelun tarkoituksena on huomioida kaikki vaatimukset ja mahdollisuudet suunnittelutyössä. Kuvassa 2 on esitetty järjestelmällisen tuotekehityksen periaate. (Pahl et al. 2007. s. 130)



Kuva 2. Tuotekehitysprosessi. (Mukaillen Pahl et al. 2007 s. 130)

2.2 Modulaarinen tuotesarja

Moduloinnilla tarkoitetaan tuotteen jakamista itsenäisiin osiin, joilla on rajapinnat liittymistä varten. Moduloinnilla on monia hyötyjä sekä tuotteen valmistajalle että asiakkaalle. Modulaarisen tuotteen kehityksessä voidaan hyödyntää rinnakkaista suunnittelua, joka nopeuttaa tuotekehitystä. Moduuleilla tulisi olla samankaltaiset toiminnot, jotta ne eivät olisi riippuvaisia toisistaan. Erikseen suunniteltavien osien suunnittelu ja toimitus nopeutuvat, kun valmiit moduulit eivät kuormita suunnittelijoita. (Österholm & Tuokko, 2001. s. 8)

Modulaarisuuden hyötyjä tuotteen valmistajalle ovat suunnittelun osuuden väheneminen asiakkaan tilatessa tuotteen ja helpompi kustannuslaskenta tarjouspyyntöjä varten. Tuotteen nopeampi markkinoille saanti parantaa valmistajan kilpailukykyä kilpailijoita vastaan (Österholm & Tuokko, 2001. s. 6). Valmistaja hyötyy samanlaisuudesta myös tuotteen asennuksessa, sillä jokainen tuotemoduuli voidaan asentaa samalla tavalla, eikä vaihtoehtoisia tapoja tarvitse kehittää. Moduuleita voidaan käyttää myös rinnakkain yhtä tarkoitusta varten suunniteltujen kokoonpanojen kanssa. Modulaaristen tuotteiden toimitusaika on nopeampi, mikä hyödyttää asiakasta. Modulaarisessa tuotteessa varaosia tai lisämoduuleja on helpompi saada, koska samassa valmistuserässä voidaan tilata tuotteita eri asiakkaille. (Pahl et al. 2007. s. 508-510)

Modulaarisuuden haittoja ovat suunnittelun mahdollinen monimutkaistuminen ja kustomointimahdollisuuksien rajaaminen. Tuotemoduulille on myös asetettava rajat kuormituksille. Asiakas ei välttämättä tarvitse tuotteen koko kapasiteettia, ja tällöin modulaarisessa tuotteessa on enemmän materiaalia, kuin tiettyä kuormaa varten suunnitellussa tuotteessa. (Pahl et al. 2007. s. 508-510)

Modulaariseen tuotteeseen voidaan soveltaa massaräätälöintiä. Massaräätälöinti tarkoittaa, että asiakas saa toivomansa tuotteen, mutta tuotteessa on hyödynnetty massatuotannon etuja. Massaräätälöintiä voidaan tehdä eri vaiheissa tuotteen suunnittelua tai valmistusta, mutta yleensä kannattavinta on pitää tuote samanlaisena mahdollisimman pitkälle. Esimerkiksi tuotteen maalaus asiakkaan toivomalla värillä lisää tuotteen myyntiä.

2.3 Seikkailupuiston turvallisuus

Seikkailupuistoja koskevat vaatimukset esitetään standardissa SFS EN 15567-1 ja 2. Kaikkien seikkailupuiston rakenteiden tulee kestää 6 kN tai 3 kN pystysuuntainen kuormitus ilman plastisia muodonmuutoksia riippuen putoamiskertoimesta. SFS-EN 15567-1 -standardin mukaan keinotekoisten tukirakennelmien laskelmat on tehtävä asianmukaisen eurokoodin mukaisesti. Vaijerien murtolujuuden laskennassa tulee standardin SFS-EN 15567-1 mukaan käyttää varmuuslukua 3.

Seikkailupuistoissa käytetään pääasiassa kahdentyyppisiä varmistuslaitteita. Ensimmäisissä käyttäjä on jatkuvasti kiinnitettynä varmistusvaijeriin ja toisissa käyttäjällä on kaksi kiinnitystä, joita voi avata yksi kerrallaan ja kiinnittyä seuraavaan varmistusvaijeriin. Suunniteltavassa sisäseikkailupuistossa käytetään Edelrid Smart Belay -varmistusjärjestelmää. Järjestelmä yhdistää kaksi vaijeriin kiinnitystä vaijerilla niin, että käyttäjä ei voi avata molempia samanaikaisesti. Järjestelmässä käytetään yleisimmin 10 mm tai 12 mm vaijereita.

Seikkailupuiston suunnittelussa on otettava huomioon, ettei käyttäjä pysyy aina kiinnitettynä. Tämä tarkoittaa, ettei rakenteissa saa olla osia joiden halkaisija on alle 20 mm ja jotka ovat avoimia. Käyttäjällä ei saa olla mahdollisuutta poistaa varmistuslaitetta avoimen vaijerin päästä. Käyttäjä ei myöskään saa takertua rakenteisiin.

Varmistusvaijerien kiinnitykseen on olemassa useita erilaisia kaupallisia ratkaisuja. ZAZA2 PLS3 on levy, jolla voidaan asentaa varmistusvaijeri kiinni puihin tai rakenteisiin. Valmistaja on ilmoittanut tuotteen WLL (Work Load Limit) arvoksi 10 kN. PLS5-levyä käytetään vaijeriliukuihin. PLS5-levylle valmistaja on ilmoittanut 25 kN WLL-arvon. Erilaisia kiinnityksiä käytetään WLL-arvon mukaan. Levyjä käytetään vastaavilla radoilla kuin tutkimuksessa suunnitellaan. Pisin mahdollinen varmistusväli PLS3-levyllä on 16 m tai 30 m riippuen käytetyistä vaijerilukoista. (Zaza2 2016 s. 3-4)

2.4 Vaijerivoiman laskeminen

Vaijerivoima lasketaan EN 15567 -standardin mukaan. Vaijerivoima on tärkein seikkailupuiston suunnitteluun vaikuttava voima. Vaijerivoiman suuruuteen vaikuttavat parametrit standardinmukaisessa laskennassa ovat vaijerin jänneväli ja -paino,

käyttäjäkuorma ja sag-arvo. Junttilan (2016) mukaan ”sag-arvo tarkoittaa kuinka paljon vaijeri on taivuksissa oman massansa vuoksi. 1 % taipuma tarkoittaisi sitä, että 30 metrin pituisen köysiradan vaijeri on keskeltä 30 cm alempana kuin missä kulkee teoreettinen suora linja vaijerin kiinnityskohtien välillä.” Tyypillinen sag-arvo vaijerille seikkailupuistossa on 3-5 % ja vaijeriliu’ussa suurempi (Hinkkanen, 2017). Vaijerivoiman suunta on vaijerin suuntainen. Pienellä sag-arvolla vaijerivoima on lähes vaakasuuntainen. Sag-arvon pienentäminen suurentaa vaijerin esikiristysvoimaa merkittävästi.

$$Fz = \sqrt{\left(\frac{\frac{(q\times l^2)}{8}+\frac{(p\times l)}{4}}{f}\right)^2 + \left(\frac{(q\times l)}{2}+\frac{p}{2}\right)^2} \qquad (1)$$

p	käyttäjäkuorma	[N]
q	vaijerin paino	[N/m]
f	sag-arvo	[m]
l	jänneväli	[m]
Fz	vaijerivoima	[N]

Vaijerivoima saadaan yhtälöllä (1)

$$Fz = \sqrt{\left(\frac{\frac{\left(18\frac{N}{m}\times(15\ m)^2\right)}{8}+\frac{(6000\ N\times 15\ m)}{4}}{0.75\ m}\right)^2 + \left(\frac{\left(18\frac{N}{m}\times 15m\right)}{2}+\frac{6000\ N}{2}\right)^2} = 30\ \text{kN}$$

Varmuuskerroin 3 huomioiden vaijerivoimana käytetään 90 kN. Seikkailupuistostandardi antaa mahdollisuuden käyttää käyttäjäkuormana myös 3000 N tiettyjen ehtojen täyttyessä. Rakenne mitoitetaan kuitenkin turvalliselle puolelle. 6000 N kuormaa käytettäessä rakennetta voidaan käyttää vaijeriliu’un tukipisteenä. Luonnonpuihin rakennettavilla radoilla käytetään vahvempia levyjä vaijeriliu’uksi suunniteltuilla radoilla. Modulaarisessa tuotteessa on yleensä enemmän materiaalia, kuin yhtä tarkoitusta varten suunnitellussa tuotteessa (Pahl et al. 2007. s. 509). Suunnitelukuormitus kannattaa valita suurimman vaaditun kuormituksen mukaan, sillä modulaarisen tuotteen hyödyt ovat materiaalin säästämistä suurempia.

2.5 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa suunnitellaan modulaarisen sisäseikkailupuiston rakenne. Tutkimuksessa käytetään järjestelmällisen tuotesuunnittelun menetelmää. Menetelmän ovat kehittäneet Pahl & Beitz. Suunnitteluprosessin kulku on kuvattu kirjassa Engineering Design - A Systematic Approach. Tutkimuksessa tehdään 3D-malli koko seikkailupuistosta sisältäen kaikki hallin kattorakenteet. Tutkimuksen tärkeimpiä kohtia ovat seikkailuelementtien ja varmistusvaijerin kiinnitykset.

Tutkimuksessa tehdään myös lujuustarkastelu tuotteelle. Tutkimuksessa oli käytettävissä valokuvia kohteen rakennustyömaalta ja 3D-malli suunnitelluista teräsrakenteista. Työssä tehtiin yhteistyötä kattorakenteiden suunnittelijan kanssa kattorakenteiden lujuustarkastelussa. Lopullinen seikkailupuiston rakenteiden suunnittelu tapahtui Creo Center Oy:n toimesta. Tässä työssä ei esitetä valmistuspiirustuksia seikkailupuiston lähtöalustalle, jotta tuote ei ole helposti kopioitavissa.

Tutkimuksessa käytettiin Trimble SketchUp Pro 2018 -suunnitteluohjelmaa. Ohjelman etuja ovat helppokäyttöisyys ja nopeus. SketchUp Pro -ohjelmalla on tehty 3D- mallit järjestelmällisen suunnittelun ensimmäiseen kokonaisratkaisuun asti. SketchUp perustuu pintamallien luomiseen. Lopullista 3D-mallia käsiteltiin Dassault Systemesin Solidworks-ohjelmistolla. Tässä työssä lujuustarkasteluun käytettiin Siemensin Femap 11.4 -ohjelmistoa Nx Nastran -ratkaisijalla. Tässä työssä lujuustarkastelu tehtiin käyttäen palkkielementtejä ja lineaarista analyysiä. Tutkimuksessa tarvittavat mitat teräsristikoista saatiin Tekla BIMsight -ohjelmasta, jolla käsiteltiin rakennuksen 3D-mallia.

3 TUTKIMUSTULOKSET

Sisäseikkailupuiston tärkeimpiä komponentteja ovat lähtöalustat, seikkailuelementit ja varmistusvaijerit. Tutkimuksessa käytetään vaijerivoimana 90 kN kirjallisuuskatsauksen ja varmistusjärjestelmän käyttöohjeiden perusteella. Ratojen muoto suunnitellaan niin, että yhden varmistuslinjan pituus on enintään 15 m. Elementtien maksimikuormaksi määriteltiin 150 kg yhdelle elementtivaijerille. Myös elementtivaijerien laskennassa käytettiin 90 kN kuormitusta. Seikkailupuistossa yhdellä varmistuslinjalla saa olla vain yksi käyttäjä kerrallaan. Maksimikuormitus kohdistuu kerrallaan vain varmistus- tai elementtivaijeriin.

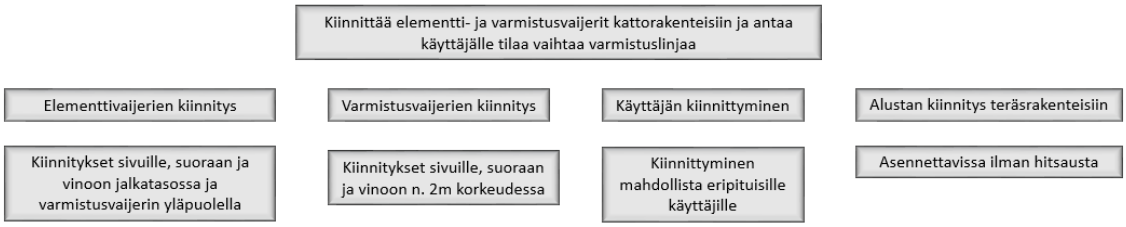
3.1 Lähtöalustan suunnittelu

Järjestelmällinen tuotesuunnittelu aloitetaan suunnittelutyön määrittelemisellä. Ensimmäinen vaihe on muodostaa vaatimuslista asiakkaan toiveista. Taulukossa 1 on listattu suunnittelun vaatimukset ja toiveet ja taulukkoa on päivitetty suunnittelun kuluessa vastaamaan todellista tilannetta.

Taulukko 1. Vaatimuslista.

	Ominaisuus	V/T
Käyttöolot	Kiinnitys sisähallin katon teräsrakenteisiin	V
	Kiinnitys säädettävissä erilaisiin kattorakenteisiin	T
Geometria	Korkeus 2.5-3m	V
	Leveys 1.5-2.5m	V
	Paino alle 300kg	V
	Paino alle 150kg	T
Voimat	Seikkailupuistostandardin mukainen kestävyys	V
Materiaalit	Materiaalit kulutuskestäviä	V
	Materiaalit pinnoitettava RAL-väreillä	T
Turvallisuus	Ei teräviä reunoja	V
	Varmistuslaitetta ei ole mahdollista kiinnittää väärin	V
Valmistus	Kuljetus osissa	T
	Kootaan asennuskohteessa	T
Huolto	Kuluvien osien vaihto	V
	Varmistusjärjestelmän vaihto	T

Suunnittelutyön alussa määritetään toimintorakenne. Toimintorakenne määrittelee mitä suunniteltavalta tuotteelta vaaditaan. Toimintorakenne ei määrittele miten ominaisuudet toteutetaan. Kuvassa 3 on esitetty toimintorakenne.



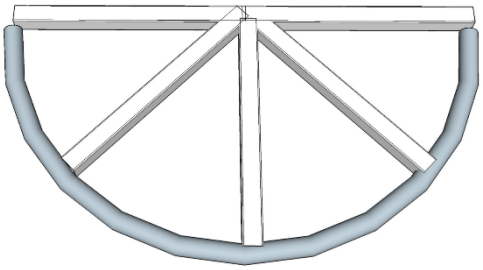
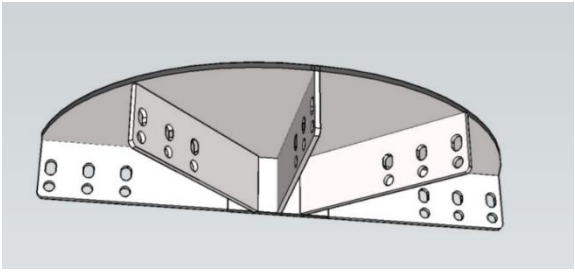
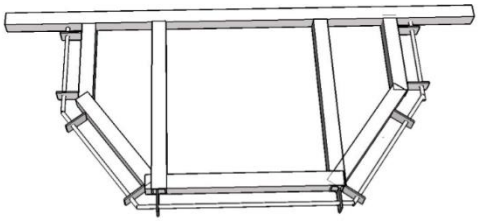
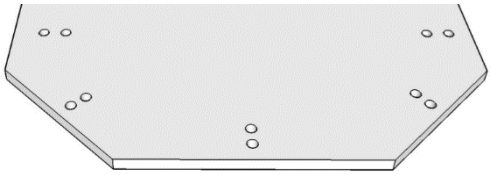
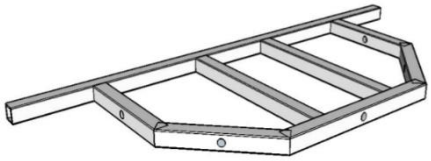
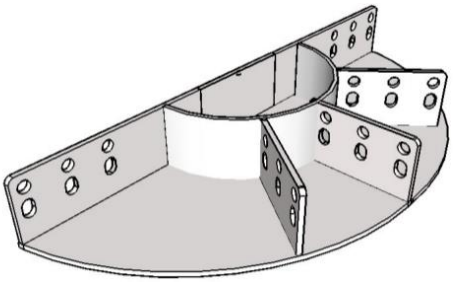
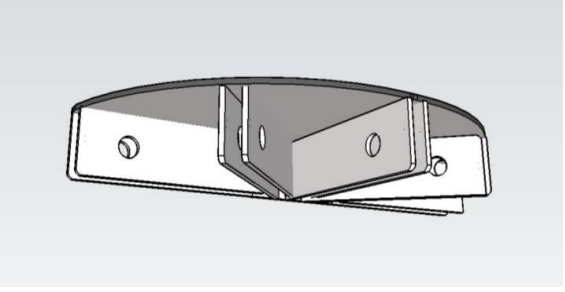
Kuva 3. Toimintorakenne lähtöalustalle

3.1.1 Ideamatriisi lähtöalustalle

Ideamatriisi laadittiin vaijerien kiinnitykselle. Vaijerien kiinnitys on rakenteen tärkein tehtävä. Rakenne on suunniteltava vaijerien kiinnityksen ympärille. Rakenteen ulkonäköön tulee kiinnittää huomiota. Ulkonäön tulee olla tyylikäs ja antaa turvallinen vaikutelma. Ideamatriisi on esitetty taulukossa 2. Ideamatriisin ratkaisut ovat erilaisia, mutta rakenteessa ne asemoitaisiin samoin.

Ideamatriisin toimintoja voidaan valita pisteyttämällä ratkaisut tai arvioimalla ratkaisujen toimivuutta. Pisteyttäminen teknillistaloudellisin perustein on hyvä tapa rakenteen kehittämisessä, jos toimintoja voidaan toteuttaa erilaisin ratkaisuin. Ratkaisut voidaan valita myös poissulkemalla toimimattomat ratkaisut. Ideamatriisiin on kerätty ratkaisuja vain varmistus- ja elementtivaijerien kiinnittämistä varten, koska ne ovat tuotteen toiminnan kannalta tärkeimmät suunniteltavat yksityiskohdat. Tavallisesti ideamatriisiin kerätään ideoita tuotteen kaikille toiminnoille.

Taulukko 2. Ideamatriisi.

	Elementtivaijeri	Varmistusvaijeri
1	 Sakaramuoto, vaijerit kiinnitetään pyörötankoon	 Levyyn taivutetaan ja hitsataan pystysuuntaiset levyt joihin vaijerit kiinnitetään vaijerilukoilla suoraan
2	 8-kulmio, johon lisätty pyörätanko vaijerikiinnityksille	 Tasainen levy, johon asennetaan nivelletyt nostokorvakkeet vaijerien kiinnityksille.
3	 8-kulmio, johon asennetaan nivelletyt nostokorvakkeet, joihin vaijerit kiinnitetään.	 Kuten vaihtoehto 1, mutta hitsattu puolikaari valmistuksen helpottamiseksi.
4	Poikkituilla vahvistettu 8-kulmio lujuuden lisäämiseksi. Muutoin kuten vaihtoehto 3.	 Rinnakkaiset pystylevyt joiden väliin vaijeri kiinnitetään työntämällä akseli reikien läpi.

Ideamatriisiin kerätyistä osatoiminnoista pudotetaan ensin pois ne, jotka eivät täytä vaatimuksia. Jäljelle jääneet mahdollisuudet arvioidaan teknisten ominaisuuksien ja hinnan mukaan. Varmistusvaijerin kiinnityksessä vaatimukset ratkaisivat valinnan. Vain levy nostokorvakkeilla pystyy kiinnittämään vaijerin satunnaiseen suuntaan puolikaaren muodossa. Valinnaisuus varmistusjärjestelmän suhteen oli tärkeä vaatimus ja levyratkaisu toteuttaa sen. Vaijerivoima on lähes vaakasuora voima, joten levyn pystysuuntainen taipuminen ei muodostu ongelmaksi. Vaijerivoiman kulma on suurimmillaan noin 5 % vaakatasosta.

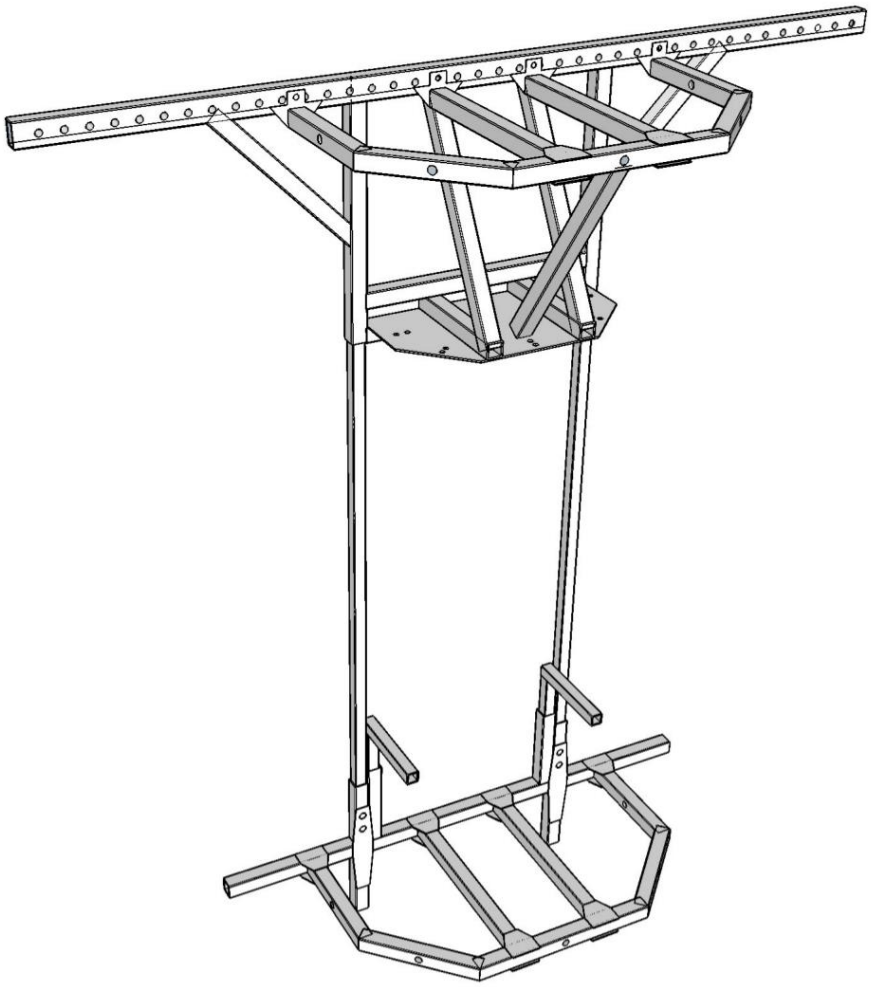
Elementtivaijerien kiinnityksessä hylättiin sakaramuoto, koska sen valmistaminen on vaikeampaa kuin 8-kulmaisen muodon. Pyörötanko ja korvakkeet toteuttavat molemmat vaaditut ominaisuudet. Vinosti kiinnitettävien vaijerien kulma vaihtelee, joten vinoihin kiinnityksiin valittiin nivelletyt nostokorvakkeet. Nivelen ansiosta vaijeri pysyy kuormitustilanteessa aina suorana. Tarkempi elementtivaijerien kiinnitysmuodon arviointi täytyy tehdä lujuustarkastelun jälkeen. Valitulta ratkaisulta vaaditaan standardin mukainen kestävyys. Ideamatriisin perusteella valitaan kahdeksankulmainen muoto, johon lisätään tarvittaessa tukia.

Elementtivaijereita tarvitaan elementistä riippuen yksi tai kaksi. Esimerkiksi erilaiset sillat vaativat kaksi kiinnitystä. Pyörötangon ongelma on kuluminen. Vaijerien kiinnitykset liukuvat pyörötangon pinnalla. Pyörötangon tulisi kulumisen takia olla ruostumatonta terästä. Rakenteeseen valitaan nostokorvake parhaan toiminnallisuuden ja yhteneväisyyden takia. Korvakkeet asennetaan ruuvikiinnityksillä. Sivukiinnityksiin tehdään kolme reikää korvakkeille, jolloin elementti voidaan kiinnittää aina keskelle yhdellä tai kahdella vaijerilla. Elementtivaijerien kiinnityksissä painotettiin modulaarisuutta. Lähtöalusta asennussuunta voi olla niin, että elementtivaijerien kiinnityssuunnat ovatkin suunniteltujen asennussuuntien välissä.

3.1.2 Ensimmäinen kokonaisratkaisu

Vaatimusten ja ideamatriisin perusteella laadittiin ensimmäinen kokonaisratkaisu. Ensimmäinen kokonaisratkaisu lähtöalustan teräsrungolle on esitetty kuvassa 4. Kokonaisratkaisu koostuu kahdesta puolikkaasta, joita voi käyttää myös yksittäin. Mitoituksessa ei huomioida levyrakenteita. Levyrakenteet vaikuttavat toiminnallisuuteen ja

ulkonäköön. Kokonaisratkaisu on jaettu kahteen moduuliin ja välirunkoon. Moduulit ovat alaelementtivaijerien kiinnitykselle ja yläelementti- ja varmistusvaijerin kiinnitykselle. Moduuleja voidaan käyttää myös yksittäisinä komponentteina ja ylämoduulin korkeutta voidaan säätää.



Kuva 4. Lähtöalustan rungon ensimmäinen kokonaisratkaisu.

Lähtöalustan materiaaleiksi valittiin massiivilaminaatti tai pinnoitettu koivuvaneri ja S355-teräs. Lähtöalusta on itsessään rakenneputkea. Rakenne kannattelee vaijereista tulevat kuormitukset. Käyttäjä seisoo alatasolla. Alataso mitoitetaan niin, että sillä voi olla samanaikaisesti kaksi käyttäjää. Tason materiaaliksi valittiin 8 mm paksuinen massiivilaminaatti tai vastaavasti 21 mm paksu pinnoitettu koivuvaneri.

Ylätasolla ei ole vaatimuksia kuormituksen keston suhteen. Ylätaso tehdään yksinkertaisuuden vuoksi samasta materiaalista, kuin alataso. Ylätaso voitaisi tehdä ohutlevystä kustannusten ja painon säästämiseksi. Ohutlevyjä on saatavissa valmiiksi pinnoitettuna, mutta tällöin muovaaminen on haastavaa, koska halutaan kaareva muoto. Ohutlevyn käyttö myös keventää rakennetta huomattavasti. Kaarevan muodon tapauksessa olisi helpointa tehdä muoto useammasta osasta, liittää ne toisiinsa hitsaamalla ja pintakäsitellä hitsaamisen jälkeen.

3.1.3 Lopullinen kokonaisratkaisu

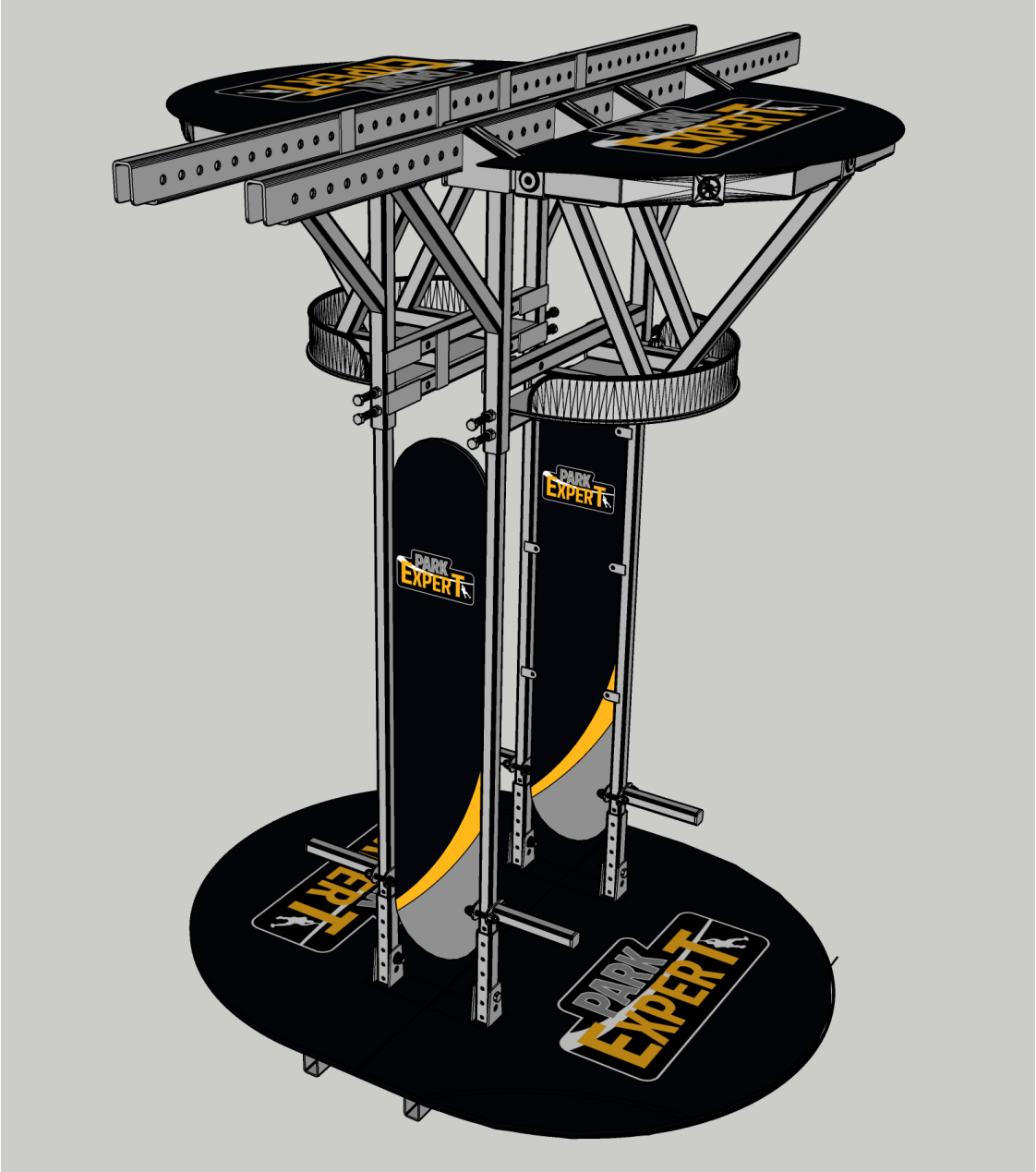
Järjestelmällisessä tuotekehityksessä ensimmäistä kokonaisratkaisua arvioidaan teknillisin ja taloudellisin perustein. Lähtöalustan FE-analyysin jälkeen rakennetta päädyttiin vahvistamaan. Lopullinen lähtöalustan teräsrakenne on esitetty kuvassa 5. Vahvistetun rakenteen perusmuoto pysyi samanlaisena, jolloin seikkailupuiston layout-suunnitelmaa ei tarvinnut muuttaa.

Lopullisissa kokonaisratkaisuissa kaikkiin mahdollisiin kiinnityspisteisiin on asennettu nostokorvake. Todellisessa käyttötilanteessa nostokorvakkeet asennetaan vain tarvittaviin kiinnityspisteisiin. Varmistusvaijerin kiinnityslevyä muutettiin lopulliseen kokonaisratkaisuun. Varmistusvaijerit on suunniteltu tilattavaksi määrämittaisena puristusholkkiliitoksin. Certex:n (2018) mukaan teräsköysiraksin pituus vaihtelee seuraavasti ”puristusholkilla varustetun raksin mitattu pituus saa poiketa nimellispituudesta korkeintaan 2 kertaa köyden halkaisijan verran, tai 1 % nimellispituudesta, riippuen siitä kumpi on suurempi.” Kolmeen riviin rei’itetty varmistusvaijerin levy mahdollistaa vaijerin kireyden säätämisen määrämittaisella vaijerilla. Määrämittaisen vaijerin toimitusaika on vain 2−3 päivää, kun tiedetään vaijerien määrä ja voidaan valmistaa vaijerin toinen pää valmiiksi etukäteen. Vaijereiden pituutta on lyhyen toimitusajan ansiosta mahdollista mitata kohteessa asennustyön edetessä.

Rakenteen vahvistaminen kasvatti rakenteen painoa. Rakenteen kokonaispaino ja eri moduulien painot on esitetty taulukossa 2 ilman kiinnitysosia. Rakenteen teräsrunko ilman levyosia painoi 237 kg. Levy- ja kiinnitysosien kanssa lähtöalustapari painaa 540 kg.

Kuvassa 6 on esitetty lähtöalustan 3D-malli suunnitellussa kokoonpanossa käyttötilanteessa. Käyttötilanteessa rakenteeseen asennetaan levyt ylä- ja alatasoille sekä lähtöalustojen sivuun. Käyttötilanteessa teräsristikko kulkee lähtöalustaparin keskellä ja pari kiinnitetään ruuviliitoksin ristikkoon.

Kuva 5. Lopullinen ratkaisu lähtöalustan teräsrungolle. (Creocenter 2018)



Kuva 6. Lähtöalustapari väritettynä Park Expert -tunnuksilla.

Taulukko 2. Rakenteen paino.

Moduuli	Paino [kg]
Lähtöalusta yhteensä	237,3
Ylämoduuli	139,5
Alamoduuli	67,1
Korkeussäätö moduuli	30,7

3.1.4 Valmistus- ja asennusystävällisyys

Lähtöalustan suunnittelussa kiinnitettiin huomiota valmistus- ja asennusystävällisyyteen. Tuotteen suunnittelussa on käytetty perusmateriaalina S355 -rakenneterästä standardiprofiileina. Liitokset tuotteessa tapahtuvat hitsaamalla ja ruuviliitoksilla. Tuotteessa on termisesti leikattavia osia, mutta niillä ei ole kriittisiä tarkkuusvaatimuksia.

Tuote voidaan koota kolmessa osassa. Osien paino on kohtuullinen kahdelle asentajalle. Painavin osa painaa 140 kg. Asentaminen tapahtuu ruuviliitoksilla. Asentamiseen käytettävä aika voi olla 1 h kahta lähtöalustan puolikasta kohti vastakkain asennettuna. Asentamiseen käytettävä aika pyrittiin minimoimaan suunnittelussa, jotta seikkailupuiston rakentaminen olisi mahdollisimman nopeaa. Sisähalliin tarkoitetussa seikkailupuistossa rakentaminen tapahtuu vaihe kerrallaan työturvallisuuden ja ahtaiden tilojen vuoksi. Rakenteiden asentamiseen tarvittavan nosturin on pystyttävä liikkumaan hallissa, joten viivytys lähtöalustojen asentamisessa voi viivyttää seuraavia työvaiheita.

3.1.5 Lähtöalustan ja seikkailupuiston massakustomointi

Lähtöalustan teräsrunko on suunniteltu moduuliksi, jota ei tarvitse muuttaa eri kohteisiin asennettaessa. Lähtöalustaan on kuitenkin suunniteltu mahdollisuuksia massakustomoinnille, jotta tuotteen kiinnostavuus paranisi valmistuskustannuksien pysyessä maltillisina.

Lähtöalustan teräsrakenne voidaan maalata RAL-värikartan mukaisilla sävyillä. Varmistusvaijerien kiinnityslevyyn suunniteltiin myös puolikaaren muotoinen levy, johon voidaan merkitä logoja ja ratakarttoja. Lähtöalustan levymäiset osat ovat laminaattia tai pinnoitettua koivuvaneria. Massiivilaminaattia voidaan koneistaa haluttuihin muotoihin ja siihen voidaan tehdä kierteitä. Laminaattiin voidaan myös koneistaa asiakkaan toivoma grafiikka. Laminaattia on saatavilla useissa eri väreissä, mutta koneistettu grafiikka on aina mustaa. Pinnoitettua koivuvaneria on saatavilla samoissa väreissä kuin laminaatti, mutta siihen voidaan maalata värillisiä kuvioita kustomointia varten.

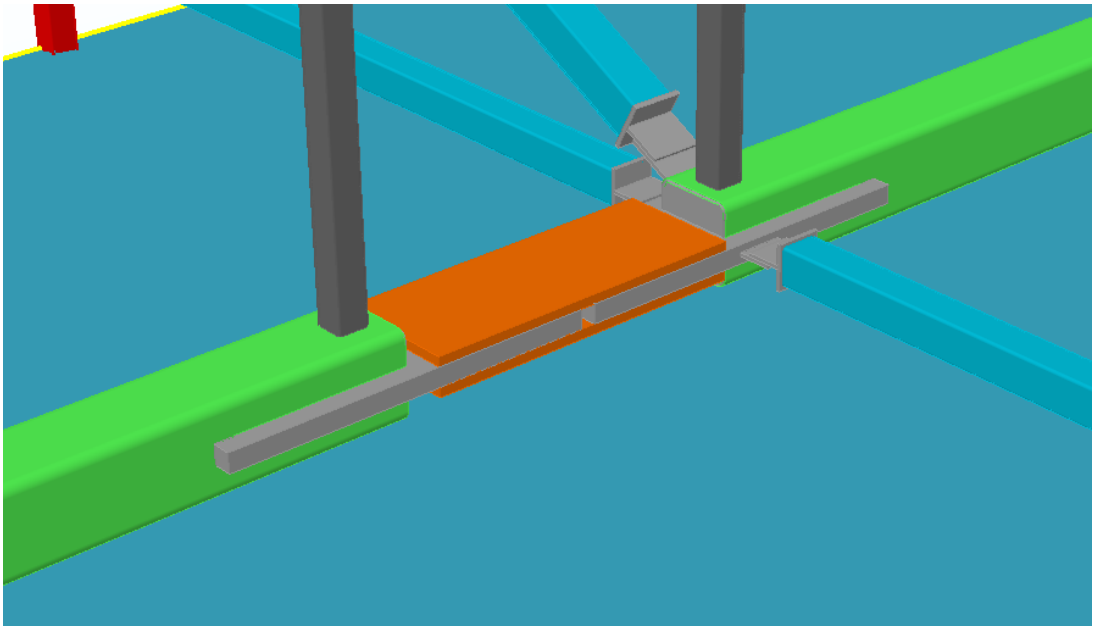
Seikkailupuistossa kustomointimahdollisuuksia on ratojen muodoissa ja pituuksissa. Ratojen muotojen muokkaaminen onnistuu helposti, kunhan niiden pituus ei kasva yli

viidentoista metrin. Radoille asennettavien seikkailuelementtien värit ovat muokattavissa. Seikkailuelementtejä voi myös yhdistellä. Samalla radalla voi olla erilaisia esteitä tai otteita kiinnipitämistä varten. Elementtivaijerien määrä kannattaa kuitenkin aina minimoida, koska jokainen vaijeri lisää kustannuksia ja risteävät vaijerit voivat aiheuttaa ongelmia.

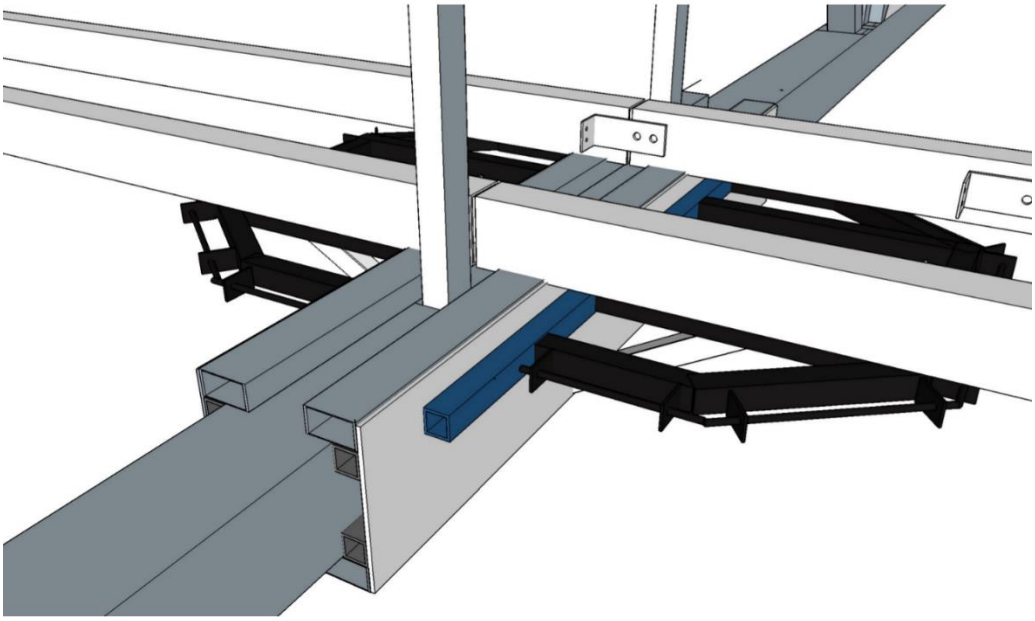
3.2 Ristikon keskiosan tukirakenne

Kattoristikot valmistetaan suuren kokonsa vuoksi kahtena puolikkaana, jotka liitetään toisiinsa ruuviryhmäliitoksilla. Keskiosaan ei voida kiinnittää lähtöalustaa samalla tavalla kuin puhtaaseen alapaarteeseen. Kuvassa 7 on esitetty todellinen alapaarteen liitos. Seikkailurata voitaisi suunnitella niin, ettei keskikohtaan tarvittaisi elementtivaijereita alatasolle. Alatason elementtivaijerien puuttuminen kuitenkin rajoittaisi liikaa ratojen muotoa, joten suunniteltiin tukirakenne, joka voitaisi kiinnittää alapaarteen liitoskohtaan.

Kuvassa 8 on esitetty ratkaisu keskiosan alavaijereiden kiinnitykselle. Rakenteeseen on kiinnitettävä myös kävelysilta poistumiselle. Rakenne koostuu kahdesta samanlaisesta puolikkaasta, jotka kiinnitetään alapaarteen ympärille puristusliitoksilla. Kuvan 8 ratkaisussa käytetään samanlaista rakennetta elementtivaijerin kiinnitykselle kuin lähtöalustassa. Kävelysillan tukirakenteena käytetään suorakaideputkia, joiden päälle kiinnitetään laudoitus.



Kuva 7. Ristikon liitoskohta alapaarteessa 3D-mallinnettuna



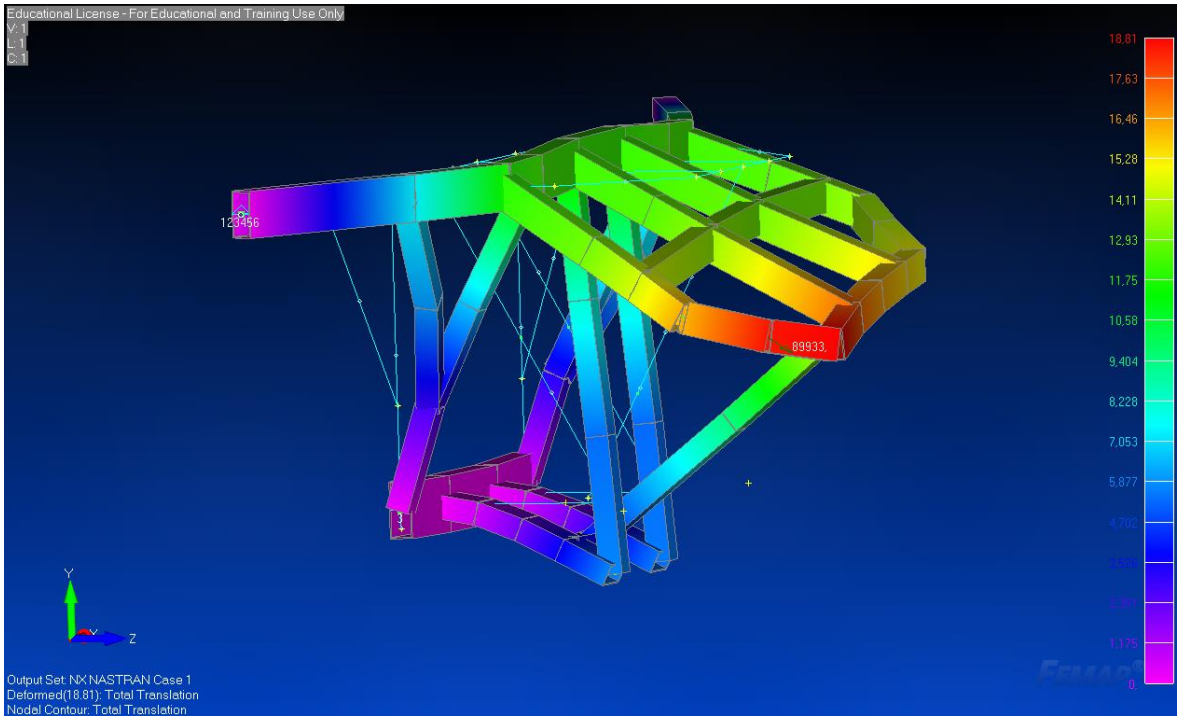
Kuva 8. Keskikohdan liitoksen ympärille suunniteltu tukirakenne.

3.3 Lähtöalustan lujuustarkastelu

Kuvassa 9 on lähtöalustan FE-analyysi ylämoduulista, kun elementtivaijerilla on 90 kN kuormitus. FE-analyysi on tehty käyttäen palkkielementtejä. Varmistusvaijerin kiinnityslevy on mallissa korvattu lisäämällä leveyttä rakenneputkiin, jotka on hitsattu levyn päälle. Reunaehdot asetettiin poistamaan kaikki kuusi vapausastetta rakenteen yläosan vaakaputken päistä ja varmistusvaijerin kiinnityslevyn kohdalta vaakaputken päistä. Kuormitus on asetettu x-, y- ja z-vektoreina 45 asteen kulmaan kattoristikosta. Voima on 62 kN x- ja z-akseleilla sekä 20 kN y-akselilla. Kuormitustilanteena vektoreina asetettu voima on rakenteelle raskaampi kuin todellisessa käyttötilanteessa rakenteeseen kohdistuva voima todellista suuremman voiman pystykomponentin takia. Näin asetetulla voimalla suurin taipuma on 19 mm.

Asettamalla vastaava voima varmistusvaijerin kiinnityspisteeseen ovat siirtymät huomattavasti pienempiä kuin elementtivaijerin tapauksessa. Varmistusvaijerin tarkempi lujuustarkastelu vaatii laattaelementtien käyttöä koko mallissa tai laatta- ja palkkielementtien yhdistämistä. Varsinaisen lujuustarkastelu rakenteelle on tehnyt ulkopuolinen insinööritoimisto eurokoodien mukaisesti. Insinööritoimisto on myös tehnyt valmistuspiirustukset ja hitsausohjeet rakenteelle. Hitsauksessa noudatetaan EN 1090 EXC3 -standardia.

Hitsien mitoitus voidaan tehdä tasalujaksi ympäröivän rakenteen kanssa tai mitoittaa kuormituksen mukaan. Kaksipuoleisen pienahitsin tasaluja mitoitus noudattaa hitsin a-mitan ja materiaalipaksuuden suhdetta. S355-teräkselle suhde on vetokuormitettuna 0.55. Voimaliitoksissa pienin käytettävä hitsin a-mitta on 3 mm. Hitsit, jotka voidaan mitoittaa tasalujiksi 3 mm tai 4 mm a-mitalla, mitoitetaan tasalujiksi. Suuremmilla a-mitoilla MAG-prosessin lämmöntuonti ei ole riittävää yhden hitsauspalon käyttämiseksi. Hitsit, joita ei voida mitoittaa yhdellä palolla tasalujiksi, mitoitetaan tarkemmin voiman mukaan. Tasalujaan mitoitukseen voidaan päästä lisäämällä kiinnityslevy RHS-putkien liitoksien kohdalle.



Kuva 9. Lähtöalustan ylämoduulin lujuustarkastelu.

3.4 Seikkailupuiston muoto

Sisäseikkailupuisto asennetaan hallin kattorakenteisiin. Tässä työssä keskitytään teräsristikoihin, joiden läpi on mahdollista kulkea. Sisäseikkailupuiston voisi asentaa myös puurakenteisiin, mutta se vaikuttaisi paljon ratojen muotoon.

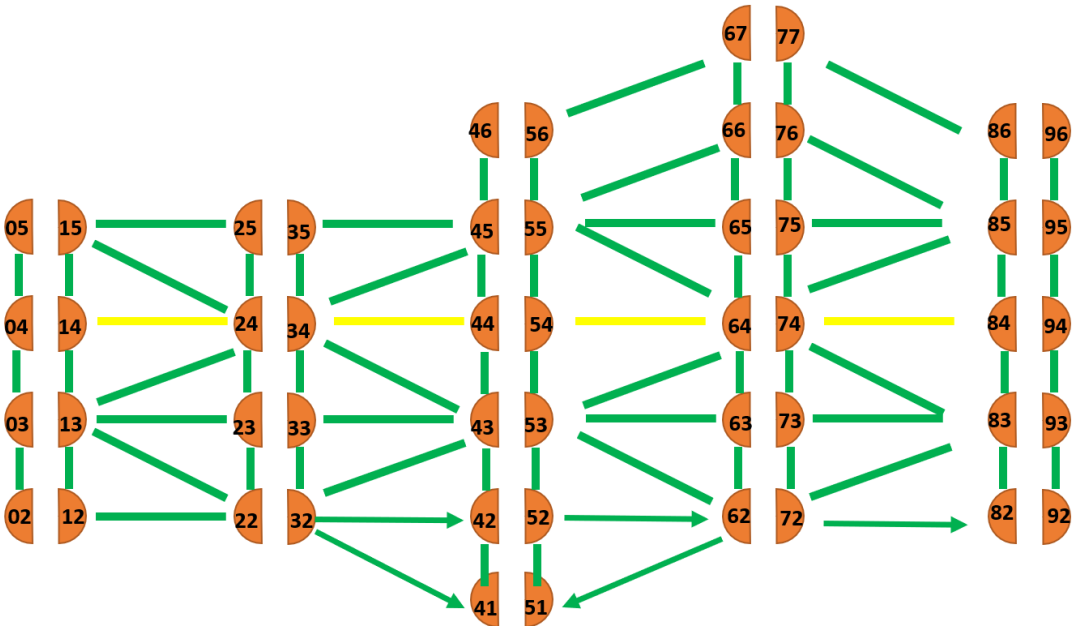
Ristikoiden väli hallissa, johon tämä seikkailupuisto suunniteltiin, on 7850 mm ja ristikoiden leveys 40 m. Kattoristikon yläpaarre on normaalissa käyttötilanteessa puristus- ja alapaarre vetokuormituksella. Yläpaarretta pitää tukea nurjahdusta estävillä sauvoilla. Alapaarre ei

tarvitse tukia, koska siihen kohdistuu vetokuormitus. Lähtöalustat sijoitettiin niihin kolmioihin, joissa ei ole nurjahdusta estävää sauvaa, jotta ratoja voi hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti.

Periaatteet muodon suunnittelussa:

- Ratojen määrä maksimoidaan
- Lähtöalustojen määrä minimoidaan
- Vinoja ratoja tehdään mahdollisimman paljon, kuitenkin niin, etteivät ne risteä
- Poistumistiet oltava turvallisia ja riittäviä

Kuvassa 10 on esitetty suunnitellun seikkailupuiston ratakartta. Kuvassa seikkailuradat on merkitty vihreällä, poistumistie keltaisella ja lähtöalustat oranssilla värillä. Seikkailuradat on numeroitu yksikäsitteisesti lähtöalustojen numeroiden mukaan. Ratojen numerointi nopeuttaa seikkailupuiston rakentamista, kun tarvikkeet voidaan viedä omille paikoilleen. Turvallisuutta lisätään paikantamalla käyttäjät yksiselitteisesti pelastamista varten. Sallittujen kuormitusten vuoksi yhteen ristikkoon asennetaan korkeintaan 12 lähtöalustaa.

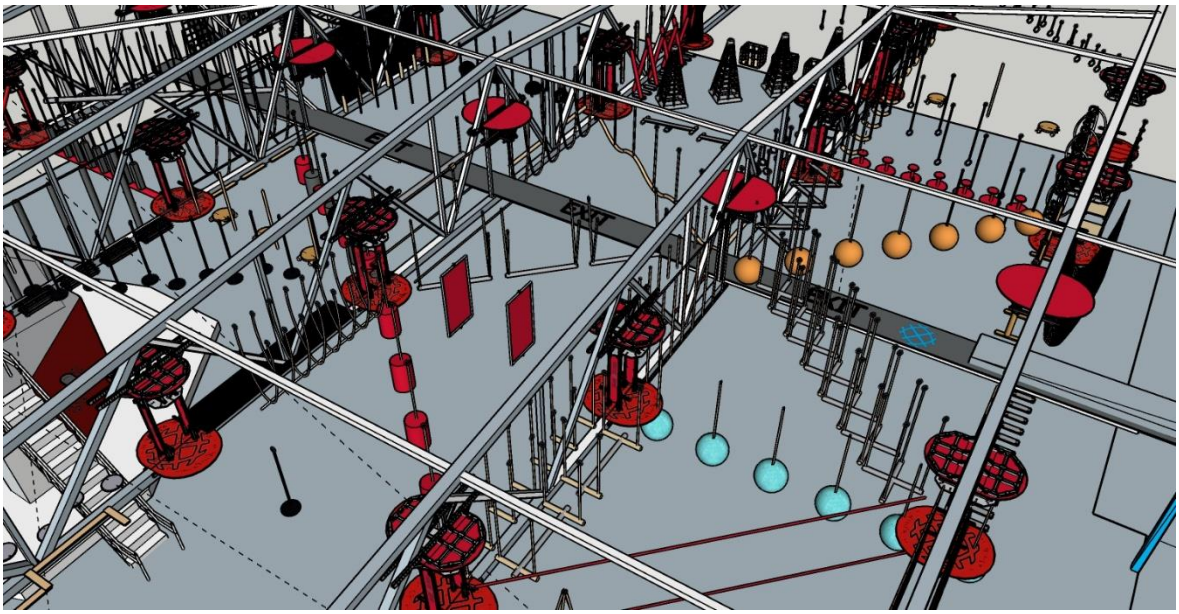


Kuva 10. Suunnitellun seikkailupuiston numeroitu ratakartta.

3.5 Seikkailupuiston 3D-mallinnus

Seikkailupuistosta tehtiin täydellinen 3D-malli, jotta mahdolliset ongelmakohdat voitaisi huomata ennen rakennusvaihetta. Halliin suunniteltiin ilmastointi, joka ei häiritse seikkailuratojen käyttämistä. Osa seikkailuelementeistä suunniteltiin tilattavaksi kaupalliselta valmistajalta ja osa suunniteltiin itse. Itse suunniteltuihin elementteihin tilataan valmiiksi leikatut ja pinnoitetut levyt. Kaikki elementit 3D-mallinnettiin ja asetettiin paikoilleen seikkailupuiston 3D-malliin. 3D-suunnittelun jälkeen tehtiin osaluettelo kaikista tilattavista elementeistä. Osaluetteloon lisättiin sarakkeet elementtien painolle ja asemoinnille.

Seikkailupuistoon suunniteltiin myös kiipeilyseinä ja alue seinäkiipeilyyn ilman varmistuslaitteita. Seikkailupuistoon suunniteltiin myös kaksi pidempää vaijeriliukua. Kaikki merkittävät komponentit siirrettiin samaan 3D-malliin, jotta voitaisi varmistua komponenttien toimivan oikein ja riittävillä turva-alueilla. Seikkailupuiston mallista tehtiin myös videoita, joilla toimintaa voitiin esitellä. Suunniteltu seikkailupuisto on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Seikkailupuiston 3D-mallinnusta.

4 TULOSTEN POHDINTA

Suunnittelutyössä tavoitteena oli luoda uudenlainen konsepti, joka olisi hyödynnettävissä pienin muutoksin erilaisiin sisähalleihin. Seikkailupuistoja on rakennettu aikaisemminkin sisätiloihin, mutta niiden rakenteet muistuttavat ulkona olevien puistojen rakennetta ja ulkoasua. Suunnittelutyö kesti alkuperäistä aikataulua kauemmin, mutta onnistui odotuksia paremmin. Seikkailupuisto ja modulaarinen lähtöalusta saivat suunnittelun edetessä ominaisuuksia, joita ei suunnittelun alkuvaiheessa tavoiteltu.

4.1 Suunnittelutyön onnistuminen

Järjestelmällisen tuotekehityksen periaatteella suunniteltu seikkailupuiston lähtöalusta onnistui hyvin. Lähtöalusta täyttää kaikki sille asetetut vaatimukset. Lähtöalustaan voidaan kiinnittää varmistusvaijereita ja seikkailuelementtejä viiteen eri suuntaan puolikaaren muodossa. Lähtöalusta on myös korkeussäädettävä ja mukautuu erilaisiin kattorakenteisiin. Lähtöalustan suunnittelu mahdollistaa myös vaijeriliu'ut ja liukuvat elementit. Liukuva elementti voidaan kiinnittää lähtöpäässä elementtivaijerin kiinnitykseen ja tulopäässä varmistusvaijerin kiinnitykseen, jolloin kiinnityspisteiden välille muodostuu 60 cm säätövara.

Kuormitusten suuruusluokka on tärkeä tiedostaa jatkuvasti suunnittelussa, sillä kattoristikoille annettuja kuormitusarvoja ei saanut ylittää. Lähtöalustasta tuli painavampi, kuin alun perin suunniteltiin. Lähtöalustan paino ei kuitenkaan muodostunut ongelmaksi, sillä kattorakenteille sallitut kuormat olivat suurempia kuin alkuperäisestä kasvaneet rasitukset. Seikkailuelementit suunniteltiin osittain itse, jotta elementtien väri voitiin määrittää RAL-värikartasta. Omien seikkailuelementtien optimointi olisi hyvä jatkokehityskohde sisäseikkailupuistolle.

4.2 3D-suunnittelu

Tietokonemallinnus auttoi havaitsemaan ja ratkaisemaan ongelmia ennen rakennusvaihetta. Trimble SketchUp -mallinnusohjelma toimi hyvin seikkailupuiston mallinnuksessa ja tuotekehityksessä ideointivaiheessa. Ohjelmasta puuttuu mahdollisuus määrittää materiaalit malleille ja laskea automaattisesti paino halutuille komponenteille. Alustavia kuormituksia rakenteille jouduttiin laskemaan käsin. FE-analyysi tehtiin ensin palkkimallilla, jossa rakenneputkien dimensioiden muokkaaminen on helppoa. Suunnittelussa lujuustarkastelu

kannattaa pitää mukana suunnittelutyön alkuvaiheista asti, jotta rakenteen muutokset säilyvät mahdollisimman pieninä suunnittelutyön edetessä. SketchUp-ohjelmistossa on mahdollista käyttää valmiita värikarttoja tai määrittää värit itse RGB-arvoina punaisen, vihreän ja sinisen värisiä valoja sekoittamalla.

Tuotekehityksessä oli haastavaa yhdistää eri suunnittelijoiden käyttämät ohjelmistot ja tiedostomuodot. Luonnokset lähtöalustasta tehtiin Trimble SketchUp -ohjelmistolla ja suunnittelua jatkettiin Solidworks-ohjelmistolla. Suunniteltu teräsrunko täytyi kuitenkin saada takaisin SketchUp-muotoon, jotta väritystä ja levyosien muotoa voitiin suunnitella. Solidworks-ohjelmalla voi tallentaa 3D-malleja STEP-muotoon. Tutkimuksessa käytettiin FreeCAD-ohjelmaa muuttamaan STEP-muoto Collada-muotoon, jota voi käsitellä SketchUp-ohjelmistolla. Työn alussa valmiita 3D-malleja ei ollut saatavilla, joten ristikoita mallinnettiin itse rakennepiirustusten perusteella. Seuraavissa kohteissa voitaisi pyytää 3D-malli hallista sopivassa muodossa suunnittelemisen nopeuttamiseksi ja paremman lopputuloksen ja luotettavuuden saavuttamiseksi.

Seikkailupuiston 3D-mallinnus auttoi viemään suunnittelutyötä eteenpäin. Mallin avulla tilan riittävyys voitiin varmistaa ja suunnitelman ongelmakohtiin puuttua ajoissa. Yhtenäinen 3D-malli myös kiinnitti rinnakkaiset suunnitelmat yhteen ja erikseen suunnitellut komponentit lisättiin malliin heti niiden valmistuttua. 3D-mallista voitiin helposti luoda osaluettelo valmistettaville ja tilattaville komponenteille ja arvioida kustannuksia päivittämällä osaluetteloa.

4.3 Valmistusystävällisyys

Rakennetta suunniteltaessa pyrittiin valmistus ystävällisyyteen. Kaikki liitokset voitiin tehdä ruuviliitoksin tai hitsaamalla 3 mm tai 4 mm a-mitalla yhdellä palolla. Suunnittelun yksinkertaisuuden ja standardimateriaalien tuotteen valmistaminen onnistuu lähes kaikilla konepajoilla. Varmistusvaijerin kiinnityslevy muutettiin vielä suunnittelun lopuksi pyöreäksi esteettisyyden takia. Valmistettaessa pyöreä levy laserilla varustetulla levytyökeskuksella tuotteen kustannukset eivät nousseet. Tuotteen valmistuskustannukset olivat kohtuulliset.

4.4 Turvallisuus

Seikkailupuistoissa turvallisuus on tärkeintä. Tässä elementtivaijerien kuormituksena käytettiin samaa kuormitusta kuin varmistusvaijerissa, jotta käyttäjän virheellinen toiminta ei missään tilanteissa voi aiheuttaa riskiä turvallisuudelle. Lähtöalustan rakenteelle tehtiin FE-analyysi insinööritoimiston tekemänä ja rakenne mitoitettiin voimassaolevien turvallisuusstandardien mukaan. Rakenteelle tehtiin myös rinnakkainen FE-analyysi tässä kandidaatintyössä. Rakenteen valmistuksen yhteyteen suunniteltiin myös laadunvalvonta turvallisuuden parantamiseksi. Modulaarinen rakenne voidaan testata ylikuormittamalla moduuleja. Modulaarisen rakenteen testaaminen on helpompaa kuin erillisesti suunniteltujen rakenteiden.

Seikkailupuiston suunnittelussa otettiin huomioon pelastustiet ja elementit suunniteltiin niin, että puiston jokaisesta pisteestä on helppo palata puiston läpi kulkevalle pelastustielle. Kaikki rakenteet ja elementit suunniteltiin niin, ettei käyttäjien ole mahdollista vaarantaa turvallisuutta virheellisellä toiminnalla.

4.5 Modulaarisuus

Suunnittelussa pyrittiin modulaarisiin komponentteihin, vaikka ensimmäinen suunnitelma tehtiin tiettyä kohdetta varten. Suunnittelutyö onnistui hyvin ja vaikuttaa, että suunniteltuja ratkaisuja voidaan ainakin pienin muutoksin käyttää seuraavissa kohteissa. Modulaarisen tuotteen tarjoaminen seuraaviin kohteisiin on helpompaa, koska tarjous voidaan muodostaa tarvittavien moduulien määrän mukaan.

Moduuleissa on säätömahdollisuus erilaisille kattoristikoille. Moduuli liittyy ala- ja yläpaarteeseen kattoristikossa ja paarteiden välisiin tukisauvoihin. Suunnitellun kohteen ristikoissa oli 250 mm RHS-putki yläpaarteena ja 220 mm RHS-putki alapaarteena. Tukisauvat olivat 200 mm, 180 mm ja 160 mm RHS-putkia. Moduuli suunniteltiin, niin että sen kiinnitys on säädettävissä ristikon paarteiden ja tukisauvojen koon mukaan. Moduulien tuotanto on suunniteltu niin, että valmistaja toimittaa ensin yhden moduulin testausta varten ja toimittaa loput tilatuista moduuleista testien onnistumisen jälkeen.

Lähtöalustan teräsrunkoa on mahdollista käyttää useissa kohteissa samanlaisena. Lähtöalustan levyosat on kuitenkin helppo kustomoida asiakkaan toivomusten mukaan.

Levyosat voidaan tilata pinnoitetusta koivuvanerista tai laminaattilevystä. Molemmat vaihtoehdot ovat saatavissa sadoissa eri väreissä ja niihin on mahdollista tehdä asiakkaan toivoma kuviointi. Laminaattiin kuviointi tehdään koneistamalla, jolloin jäljelle jää värikäs pinta ja musta kaiverrus. Koivuvaneri kuvioidaan pinnoitusvaiheessa ja kuvioinnissa on mahdollista käyttää värejä. Sisälle asennettaessa kumpikin materiaali ovat käyttökelpoisia, mutta ulkona voidaan käyttää vain laminaattia sen kosteudensieto-ominaisuuksien ansiosta. Pinnoitettu vaneri on hieman halvempaa kuin laminaatti, johon on koneistettu kuviointi.

Sisäseikkailupuiston rakentaminen on helpompaa, jos suunnittelu aloitetaan yhdessä hallin suunnittelemisen kanssa. Tässä työssä suunniteltiin ilmastointi niin, ettei se häiritse seikkailuratojen asettelua. Valmiissa hallissa kaikki olemassa olevat tekijät täytyy ottaa huomioon. Lähtöalustan suunnittelua voidaan jatkaa sovittamalla se ulkokäyttöön ja tolpparakenteisiin. Lähtöalustan rakennetta ei tarvitse muuttaa, mutta kiinnitystavat täytyy suunnitella uudelleen.

5 YHTEENVETO

Tässä työssä suunniteltiin sisäseikkailupuiston modulaarinen rakenne. Työn alussa oli tiedossa paikka, johon seikkailupuisto rakennettaisi ja lujuustekniset rajoitukset seikkailupuiston aiheuttamille voimille. Seikkailupuisto koostui lähtöalustasta, pelastustiestä ja seikkailuelementeistä. Lähtöalustan suunnittelussa noudatettiin järjestelmällisen tuotekehityksen periaatteita. Rakenteet suunniteltiin niin, että materiaalivalinnoilla ja kuvioinneilla on helppo kustomoida seikkailupuisto asiakkaan toiveiden mukaisesti.

3D-mallintamista sovellettiin tuoteidean esittelyyn, tuotekehitykseen, tuotteet värimaailman luomiseen ja eri komponenttien yhteensopivuuden tarkastamiseen. 3D-mallinnuksella voitiin välttää virheitä ja hallita kokonaisuuden suunnittelua. 3D-malleista luotiin myös videoita, joilla suunnitelmaa oli helpompi esitellä.

Työssä kehitettiin toimiva konsepti sisäseikkailupuistoa varten ja malli lähtöalustalle, jonka pohjalta lähtöalustalle tehtiin lujuustarkastelu ja valmistuspiirustukset. Tässä työssä ei esitetä valmistuspiirustuksia. Jatkokehityksenä lähtöalustamoduulia voitaisi muokata sopivaksi ulkokäyttöön ja asennettavaksi pyöreisiin tolppiin kattoristikoiden sijasta.

LÄHTEET

Certex. 2018. Teräsköysiraksi - tekninen määritelmä [verkkodokumentti] [Viitattu 13.3.2018] Saatavissa: http://www.certex.fi/fi/tuotteet/tekninen-osa/teraskoydet--tekninen-osa/teraskoysiraksi--tekninen-maaritelma__n44760

Creo Center Oy. 2018. Insinööritoimisto, Elannontie 3, 01510 Vantaa.

Hinkkanen, J. 2017. Toimitusjohtaja, Park Expert Finland Oy. Haastattelu 20.11.2017 Haastattelijana Kalle Lipiäinen.

Junttila, E. 2016. Safe to Play. Rovaniemi: Safe to Play Oy. ISBN 978-952-68601-0-7. 313 s.

Pahl, Beizt, Feldhusen and Grete. Engineering design - A Systematic Approach. 3rd English edition, Springer 2007. 617 s. ISBN 978-1-84628-318-5

SFS EN 15567-1. Urheilu- ja vapaa-ajan välineet. Seikkailuradat. Osa 1: Rakennetta ja turvallisuutta koskevat vaatimukset. Julkaistu 09.02.2016. 67 s.

SFS EN 15567-2. Urheilu- ja vapaa-ajan välineet. Seikkailuradat. Osa 2: Käyttöä koskevat vaatimukset. Julkaistu 09.02.2016. 34 s.

Zaza2. 2016. Zaza safety system for adventure park. [tuote-esite] [Viitattu 20.10.2017] Saatavissa: https://www.kong.it/media/Component/CatalogProduct/p712-zaza2pls3/attachments/KONG_COUDOUPRO_2016.pdf

Österholm, J. & Tuokko, R. 2001. Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin. Helsinki: Metsäteollisuuden Kustannus Oy. 64 s. ISBN 951-817-773-2