



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**Jere Uusitalo**

---

## **Lintutornin rakentaminen ja 3D-mallinnus**

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Jere Uusitalo

Työn nimi: Lintutornin rakentaminen ja 3D-mallinnus

Ohjaaja: Marita Viljanmaa

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 41

Liitteiden lukumäärä: 4

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli perehtyä lintutornin rakentamisessa huomioon otaviin määräyksiin sekä rakentamisen yleisiin edellytyksiin. Opinnäytetyössä käsitellään muun muassa Suomessa olevia erilaisia tornityyppejä ja niiden rakennustapoja. Työssä käsitellään lintutornin rakennuspaikan valintaa, perustamistapaa, rakennustapaa, siinä tarvittavia erilaisia rakennusmateriaaleja ja apuvälineitä, sääolosuhteiden vaikutusta rakennusprojektiin sekä rakentamisen jälkeen tapahtuvia jälkitoimenpiteitä.

Opinnäytetyössä käsitellään myös 3D-mallintamista koskevia erilaisia ohjelmia, niiden piirteitä ja ominaisuuksia, mallinnuksessa ilmenneitä ongelmatilanteita sekä niihin ratkaisuja. VR-teknologiaa käsitellään sen rakennusprojekteissa käytön lisääntymisen ja sen tuomien hyötyjen näkökulmasta.

<sup>1</sup> Asiasanat: lintutorni, mallintaminen, rakennusmateriaali, pilari, kaiteet

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author/s: Jere Uusitalo

Title of thesis: Construction of a bird observation tower and 3D-modeling

Supervisor(s): Marita Viljanmaa

Year: \_\_\_\_\_ Number of pages: 41      Number of appendices: 4

---

The subject of the thesis was to study certain stipulations and requirements when building a bird observation tower. The thesis covered three tower types commonly used in Finland and how they are different from one another. It covered information about where a bird observation tower should be built, how to do it, all the different materials used in it, tools and vehicles needed, effects of weather conditions and the procedures taking place after finishing the construction.

The thesis also covered different 3D-modeling programs, their features and capabilities, problems when making a model with this type of wooden construction and the solutions. VR-technology was also featured on how much the use of it had increased in the field of construction and its benefits to a project from the point of view of the customer and business.

<sup>1</sup> Keywords: a bird observation tower, modeling, construction material, pillar, railing

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Tornin taustatietoa.....	8
1.2 Yleistä asiaa torneista .....	9
2 RAKENTAMISEN YLEISET EDELLYTYKSET .....	11
2.1 Lintutornin rakennuspaikka .....	11
2.2 Lintutornin perustamistavan valinta .....	12
2.3 Lintutornin rakennustavan valinta.....	12
2.4 Käytettävät rakennusmateriaalit .....	13
3 LINTUTORNIN VAAKAAN RAKENTAMINEN .....	15
3.1 Tornin rungon kokoaminen.....	15
3.2 Alimman kerroksen rakentaminen .....	16
3.3 Tornin ankkurointi kallioon.....	17
3.4 Tornin nosto .....	20
3.4.1 Nostokalusto .....	20
3.4.2 Nostotapa.....	21
4 LINTUTORNIN RAKENTAMISMÄÄRÄYKSET .....	23
4.1 Yleinen turvallisuus .....	23
4.2 Tornin tuulikuorma.....	23
4.3 Kaiteet .....	26
4.4 Askelmat .....	29
4.5 Tasanteet .....	29
5 TORNIN KÄYTTÖÖNOTTO .....	31
6 3D-MALLINTAMINEN.....	32

6.1	Soveltuvat mallinnusohjelmat.....	32
6.2	Mallintamisessa huomioon otavat asiat.....	33
6.3	Mallintamisessa ilmenneet ongelmat sekä niiden ratkaisut.....	33
6.3.1	Pääpilarien kaltevuus.....	33
6.3.2	Tekstuurit ja komponentit.....	34
7	VR-TEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄMINEN.....	36
8	YHTEENVETO.....	38
	LÄHTEET.....	39
	LIITTEET.....	41

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Torni rakenteilla vaakatasoon.....	13
Kuva 2. Kuparilevy pilariliitosten päällä.....	14
Kuva 3. Tornin pilarit tuettuna trukkilavoilla.....	16
Kuva 4. Tornin jalvoja nostellaan paikoilleen. ....	18
Kuva 5. 300 tn nosturi saapui työmaalle. ....	21
Kuva 6. Torni nostettuna paikoilleen kallion päällä. ....	22
Kuvio 1. Tornin sekä Mäyräkallion luontokeskuksen sijainti.....	8
Kuvio 2. Mäyräkallion luontokeskuksen logo. ....	9
Kuvio 3. Lava. ....	17
Kuvio 4 Tuulen nopeuspaineen funktiot.....	25
Kuvio 5. Ylätasanne 3D-mallissa ylhäältä päin katsottuna.....	28
Kuvio 6. Tasanne alaviistosta päin katsottuna. ....	29
Kuvio 7. Portaat sai helposti luotua ohjelmassa valmiina olleella työkalulla.....	33
Kuvio 8. Pääpilareiden kaltevuus havaittavissa. ....	34
Taulukko 1. Hilti HIT-HY 200 injektio-laastin tekniset tiedot. ....	20
Taulukko 2. Maastoluokat. ....	24
Taulukko 3. Tuulen nopeuspaine. ....	24

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>RT-kortti</b>	Rakennustieto-kortti. Ohjeita hyvään rakennustapaan.
<b>VR</b>	Virtual Reality. Virtuaalinen todellisuus.
<b>AR</b>	Augmented Reality. Lisätty todellisuus.
<b>Painekyllästys</b>	Käsittely, jolla saadaan puutavara suojattua lahoamiselta, homehtumiselta ja tuholaishyönteisiltä. Painekyllästetystä puusta käytetään myös nimitystä kestopuu.
<b>3D-malli</b>	Jostakin rakennelmasta tai esineestä tietokoneella luotu virtuaalinen kolmiulotteinen malli.
<b>CE-merkintä</b>	Tuotteen valmistaja osoittaa, että tuote täyttää sitä koskevat EU:n direktiivien vaatimukset.
<b>Maastoluokka</b>	Rakennus luokitellaan sijainnissaan maastoluokkaan 0...IV riippuen siitä, millainen ympäristö on: onko se avoimella meren rannalla vai tiheän metsän suojissa.
<b>Sähköinen pari</b>	Sähköpari. Kahden eri metallin kontaktista aiheutuva galvaaninen korroosio.

# 1 JOHDANTO

Lintutornin rakennuttaminen on aikaa ja rahaa vievä prosessi. Kun torni rakennetaan huolellisesti tarkoitukseen sopivista rakennusmateriaaleista, on siitä iloa vuosikymmeniksi. Useiden vuosikymmenien käyttö edellyttää säännöllistä huoltoa ja ylläpitoa.

## 1.1 Tornin taustatietoa

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Pirkanmaalle, Sastamalan Ekojärven kylälle rakennettavaa lintutornia. Kuviossa 1 näkyy Mäyräkalliolle johtava tie. Toistaiseksi se kulkee talon tontin läpi, mutta tekeillä on tontin ohitustie. Sen alkupäähän on myös suunnitteilla parkkipaikka, koska tornin alueella voidaan järjestää isompia tapahtumia eikä siellä ole riittävästi parkkitilaa. Opinnäytetyön ohjaajana toimi koulutuspäällikkö Marita Viljanmaa. 3D-visualisoinnissa on tarjonnut apuaan laboratorioinsinööri Tapio Hellman. Tornin rakennuttajana ja työmaan vastaavana työnjohtajana toimi diplomi-insinööri Jorma Tuomisto. Tornin rakensi Jouko Alhainen, jolla on vankka kokemus jopa satojen tornien rakentamisesta ja suunnittelusta. Tietoa saatiin haastatteleamalla Jorma Tuomistoa ja Jouko Alhaista. Rakentamisen aikana vallitsi aluksi Koronapandemia ja sittemmin Venäjän aggressio Ukrainassa. Niiden seurauksena monen rakennustarvikkeen, erityisesti puutavaran, hinta ehti moninkertaistua. Valtaosa tornin materiaaleista ehdittiin kuitenkin onneksi hankkia ennen hintojen nousua.



Kuvio 1. Tornin sekä Mäyräkallion luontokeskuksen sijainti (Maanmittauslaitos, i.a.).





*Mäyräkallion*  
LUONTOKESKUS

Kuvio 2. Mäyräkallion luontokeskuksen logo.

## 1.2 Yleistä asiaa torneista

Lintutornia rakennettaessa täytyy huomioida monia seikkoja. Itse rakennelmana lintutori on melko harvinainen, joten määräysten sekä ohjeiden kanssa täytyy olla tarkkana selatessaan RT-kortistoa. Itse lintutoriin liittyvät ohjeet pitää monesti osata poimia ns. rivien välistä, mikä hankaloittaa suunnittelua.

Lintutornia ei pidä sekoittaa näkötorniin. Lintutorneissa ylin tasanne on useimmiten täysin avoin, jotta myös tornin ylitse lentäviä lintuja voidaan tarkkailla. Tarkkailulle toivottu näköala tasanteelta on yhdestä metristä noin kahteensataan metriin, mikä on huomattavasti vähemmän kuin näkötorneissa tavoiteltu näköala. Avoimen ylätasanteen vuoksi lintutornia voi käyttää myös jossain määrin tähtien tarkkailuun (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 22.4.2022).

Näkötorneissa taas useimmiten on ylimmän tasanteen päällä katto, sillä ne on suunniteltu ympäröivien maisemien tarkkailuun. Näkyvyys on yleensä tuhannesta metristä jopa kymmeneen tuhanteen metriin. Lintutornit rakennetaan yleensä aina painekyllästetystä puusta, mutta näkötorneja rakennetaan myös metallista sekä betonista. Lintutornin rakentajan Alhaisen mukaan (2021) Metallisella rakenteella on tapana ns. "soida tuulessa", mikä taas vaikeuttaa lintujen tarkkailua.

Suomessa on olemassa myös kolmas tornityyppi, kolmiomittaustorni. Mittauksien alkuperäinen tavoite oli selvittää maapallon täsmällinen muoto ja mitat (Maanmittauslaitos, i.a.). Tekniikka oli käytössä 1980-luvulle asti, kunnes nykyaikaisemmat satelliittipohjaiset mittaukset syrjäyttivät sen. Torniin tulevan puutavaran käytössä suosittiin tornin rakennuspai- kasta ja sen ympäristöstä löytyvää materiaalia, joten tornin rakennuspaikkaan vaikutti pitkälti puun saatavuus lähistöltä. Rakennusvaiheessa puut ensin kaadettiin, sitten kuorittiin ja annettiin kuivua. Tämän jälkeen puusta rakennettiin kolmioita, jotka erilaisilla maastoon

rakennettavilla vinssisysteemeillä saatiin vedettyä pystyyn. Torniin ei myöskään rakennettu portaita, vaan sinne kuljettiin tikapuita pitkin. Kyllästämättömän puun käytön vuoksi kolmiomittaustornien elinkaari jäi melko lyhyeksi. Sodan aikana niitä saatettiin käyttää vihollisen lentohyökkäysten tarkkailuun. Myöhemmin niitä käytettiin myös kesäisin metsäpalojen tähystykseen.

## 2 RAKENTAMISEN YLEISET EDELLYTYKSET

Lintutornia rakennettaessa on otettava huomioon monia asioita, kuten tornin sijainti, perustamis- ja rakennustapa sekä käytettävät materiaalit. Tornin rakentamisessa edellä mainitut seikat ovat kriittisessä roolissa rakentamisen onnistumisen kannalta.

### 2.1 Lintutornin rakennuspaikka

Dipl. ins. Tuomiston (2021) mukaan lintutornin rakennuspaikan valinnassa on syytä pitää mielessä monia asioita. Lintutornille otollinen paikka on rauhallinen, melko tasainen alue luonnossa, jossa riittää hyviä paikkoja soidinmenoihin ja pesimiseen linnuille. Monet lintulajit suosivat peltoisia metsäalueita, joissa on paljon metsän ja pellon liitoksesta aiheutuvaa reunavaikutusta, jota tässä kohteessa on runsaasti. Kun nuo ehdot täyttyvät, on melko todennäköistä, että kulkutietä kyseiselle alueelle ei ole ja jos on, niin se ei välttämättä ole raskaalle kalustolle eikä jatkuvalla liikenteelle suunniteltu.

Mikäli tornin rakennusalue on jokin ilman tieyhteyksiä oleva syrjäinen korpi, niin rakennusvaiheessa kulkeminen saattaa muuttua hyvinkin hankalaksi. Talvisissa olosuhteissa moottorikelkkaa tai mönkijää voidaan hyödyntää hyvin (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 22.3.2022). Tontilla ei ollut verkkovirtaa, joten työ toteutettiin lähes kokonaan akkukäyttöisillä työkaluilla. Henkilönostimessa oli kuitenkin kiinteä aggregaatti.

Lintutornin korkeutta suunniteltaessa on syytä ottaa huomioon ympäröivän kasvillisuuden ja puuston korkeus. Ylimmän tasanteen tulisi olla hieman ympäröivän kasvuston yläpuolella, mikä mahdollistaisi esteettömän näkymän ympäristöön sekä antaisi puustolle riittävästi kasvuvaraa. Mikäli on käytössä drone-lennokki, saadaan halutulta korkeudelta otettua helposti kuvia näyttäen jo näkymän tornin huipulta ennen kuin rakentamista on edes aloitettu. Tässä kohteessa päädyttiin noin 25 m lavakorkeuteen kallion pinnasta mitattuna. Täten turvattiin näkymä läheisille teerien, kurkien ja joutsenien soidinpaikoille sekä keväisille lokiin vierailuille pellonmuokkauksilla (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 28.3.2022).

## 2.2 Lintutornin perustamistavan valinta

Perustamistapaa valittaessa on kaksi vaihtoehtoa: perinteinen maaperään perustaminen tai sitten kallioperäiseen alustaan ankkurointi. Tässä kohteessa oli tornilla kaksi mahdollista pystytyspaikkaa, joista kallio oli huomattavasti järkevämpi ratkaisu. Toinen harkittava pystytysalue oli kivikkoinen, metsän peitossa ja pellon vieressä oleva alue, johon perustamiskustannukset olisivat olleet huomattavasti suuremmat. Alueen raivaamiseen ja tasoittamiseen olisi kulunut paljon aikaa ja rahaa, kun jokaiselle tornin jalalle olisi pitänyt valaa oma perustuksensa (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 28.3.2022). Mahdollisessa betonivalussa olisi pitänyt käyttää suojahuokoistettua betonia betonin rapautumisen estämiseksi, kuten maastoon valettavien sähköpylväiden perustuksissakin on tapana tehdä.

Alueella olevaan toiseen mahdolliseen sijaintiin verrattuna kallion päälle pystyttäminen osoittautui taloudellisesti paljon järkevämmäksi vaihtoehdoksi. Kallio myös toi tornille useita metrejä lisää korkeutta. Kallioon ankkurointi mahdollistaa nopean ja tukevan liitoksen tornin jalkojen ja kallion välille. Kallion tulee olla kutakuinkin ehjää. Kallioon ankkuroitaessa on syytä pitää mielessä ankkurointimateriaalin lämpölaajenemiskerroin, ettei kallioon synny lohkeiluvaaraa. Rosteriteräkset eivät sovellu tähän tarkoitukseen. Oikeampi valinta on sinkitty teräs (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 28.3.2022).

## 2.3 Lintutornin rakennustavan valinta

Lintutornin rakentaminen voidaan toteuttaa joko pystyyn rakentaen tai vaakaan rakentaen ja lopuksi paikalleen nostaen. Pystyyn rakentaminen on hyvä tapa matalien tornien rakentamisessa, mutta korkeiden tornien kanssa se on vaikeaa ja riskialtista (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 17.3.2022). Tornin jalat joudutaan tukemaan pystyyn, ja talvissa tai sateisissa olosuhteissa puisista rakenteista voi tulla hetkessä hengenvaarallisen liukkaita. Suurimman työturvallisuusriskin muodostavat mahdollisesti putoavat työkalut sekä muut rakentamisessa tarvittavat materiaalit. Maasta käsin työskentelevän avustavan työmiehen työ voi siis olla korkeissa rakennelmissa vaarallista.

Mikäli rakennustapana käytetään maassa rakennettu ja paikalleen nostettu -menetelmää (kuva 1), täytyy teiden kunto varmistaa, ja tarvittaessa niitä tulee vahvistaa, jotta voidaan varmistua niiden kantavuudesta, kun nostokaluston saapuminen on ajankohtaista (J.

Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 4.4.2022). Tornin koon kasvaessa kasvaa myös tarvittavan nosturin koko, jonka kuormitus maaperälle on suuri. Tornin noston ajoittuessa talveen voidaan maan jäätymisestä johtuvaa kovettumista käyttää hyödyksi. Useimmat suuret nosturit vaativat tien leveydeksi vähintään kolme metriä sekä riittävästi kääntymisvaraa mutkissa ja käännoksissä.

2



Kuva 1. Torni rakenteilla vaakatasoon (Tuomisto, 2021).

## 2.4 Käytettävät rakennusmateriaalit

Lintutornit rakennetaan yleensä painekyllästetystä puusta. Pääpilareina toimineet isot CE-merkityt puut tulivat Versowoodilta. Paineekyllästetty puu kestää sääolosuhteita huomattavasti paremmin kuin normaali sahatavara. Ennen painekyllästettyä puuta oli käytössä mm. lehtikuusta, mutta siitäkin vain sydänosa kestää pitkään lahoamatta. Luonnonvarakeskuksen tuottaman tutkimuksen mukaan, oli lehtikuusi sitten siperialaista tai suomalaista, on pintapuu yhtä herkkä lahoamiselle kuin tavallinen mäntykin (Häyrynen, 2021). Kokonaispyöreät puut eivät siis menesty tässä tarkoituksessa.

Koska tornin pääpilareiden halkaisija muuttuu ylöspäin mentäessä, on kiinnikkeissä järkevämpää käyttää kierretankoja pulttien sijasta. Kierrepultit voidaan katkaista tarvittavaan mittaan paikan päällä, eikä tarvitse alkaa suunnitteluvaiheessa miettiä, minkä mittaisia pultteja tarvitaan missäkin rakenteessa. Kiinnikkeissä on syytä käyttää haponkestävää

terästä niiden säilyvyyden takaamiseksi. Kallioon tuleviin ankkuriteräksiin on syytä valita ihan perinteistä terästä sinkkipäälystettynä sen sopivan lämpölaajenemiskertoinen vuoksi (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 28.3.2022).

Koska painekyllästetty puu on aluksi lähtökohtaisesti märkää ja työn edetessä se kuivuu kutistuu, on varauduttava kiristämään kiinnityksissä käytettyjen kierretankojen mutteita moneen otteeseen työn aikana ja lopuksi rakenteen valmistuttua seuraavana kesänä rakenteiden ollessa kuivimmillaan (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 7.4.2022).

Tästä voi aiheutua tekijöille melkoinen kiipeilytekninen haaste, sillä pääsy moniin osiin pylväiden liitoksissa on hankalaa. Tämän vuoksi tornin pilareiden liitoskohdassa on käytetty pultteja, jotka on suojattu säältä kiertämällä kuparilevy pilarin ympäri (Kuva 2). Kupari ja sen peittämät pultit pitää eristää toisistaan, jottei synny sähköparia.



Kuva 2. Kuparilevy pilariliitosten päällä (Tuomisto, 2021).



### 3 LINTUTORNIN VAAKAAN RAKENTAMINEN

Kun näin korkeaa tornia rakennetaan, on päädytty tornin vaakaan rakentamiseen maassa käytännöllisistä ja ennen muuta turvallisuussyistä. Rakenteet ovat näin helpompia tukea sekä paljon turvallisempia työstää. Tontilla on syytä olla paljon tilaa puutavaran varastoimisen ja sen käsittelyyn vaativan kaluston varalta.

#### 3.1 Tornin rungon kokoaminen

Kun tornin rakentaminen vaakatasoon maassa aloitetaan, ensimmäisenä suunnitellaan tornin korkeiden pääpilarien tuenta paikoilleen. Tässä projektissa tuenta tehtiin ja todettiin hyväksi trukkilavoilla (kuva 3) (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 11.3.2022). Niitä on helppo siirrellä myös käsin, ja lisäksi ne luovat hyvin tukevan ja vakaan alustan pilareille. Trukkilavat tulee kiinnittää toisiinsa tilapäisesti ruuvaamalla tai muulla sopivalla keinolla niiden erilleen liukumisen estämiseksi. Pilarit ovat itsessään hyvin painavia, joten niiden käsittelyyn ja paikalleen nostamiseen tarvitaan jo muutakin kuin lihasvoimaa. Kun rakennuspaikalle on varattu riittävästi tilaa, saadaan sinne tuotua myös nostokalustoa riittävän helposti. Talvisten rakennusolosuhteitten takia oli rakennuspaikkana sijaitsevan pellon pinta jäässä ja paikalle saatiin tuotua tukkiauto, jolla pilarit saatiin nostettua trukkilavojen päälle oikeille paikoilleen.

Pilareiden levätessä oikeilla paikoillaan trukkilavojen päällä voitiin aloittaa tornin muiden osien rakentaminen. Aluksi rakennettiin tornin neljälle sivulle ristikkorakenteet, jotka pitivät tornia koossa (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 11.3.2022). Apuna käytettiin muun muassa nostokoria, jolta työskentely sujui turvallisesti. Sitten olivat vuorossa tasan- teet ja portaat. Tornin ylöspäin kapeneva muoto asettaa työlle monenlaisia mittateknisiä haasteita. Tornin runko ja välitasanteet voivat pienentyä ylöspäin mentäessä, mutta portaiden leveys tulee olla koko matkalla vakio.



Kuva 3. Tornin pilarit tuettuna trukkilavoilla (Tuomisto, 2021).

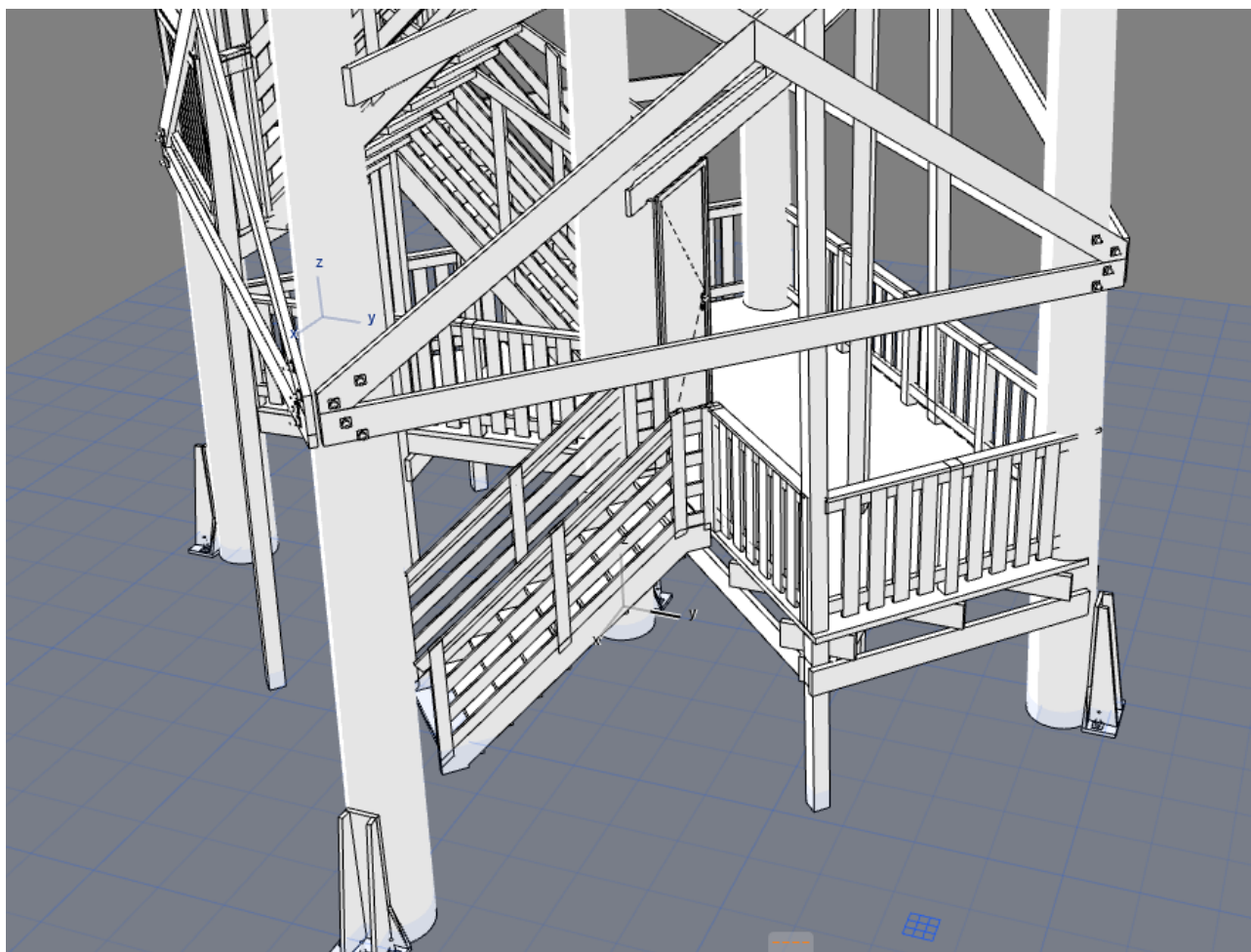
### 3.2 Alimman kerroksen rakentaminen

Tornin aivan kaikkia rakenteita portaista tasanteisiin ei pystytä täysin valmistamaan loppuun asti tornin ollessa vielä maata vasten. Myös portaita ja välitasanteita tukevat piirut tuetaan alapäästään kallioon tavanomaisempien pilarikenkien avulla. Nämä puuttuvat rakenteet rakennetaan jälkikäteen tornin ollessa pystyssä (J. Alhainen, henkilökohtainen tiedonanto, 22.5.2022). Tornin alin kerros on myös syytä rakentaa vasta sitten, kun torni on nostettu paikoilleen. Tämä helpottaa huomattavasti viimeisen portaikon sekä muiden siihen liittyvien rakenteiden sovittamista epätasaiseen kallion pintaan. Etukäteen tämän työn tekeminen olisi vaikeaa ja mittavirheiden mahdollisuus olisi huomattava. Järkevintä siis on sovittaa se jälkikäteen hyvin kallioon istuvaksi.

Kyseinen toteutustapa mahdollisti myös täydennyksen suunnitelmiin tornin ollessa jo paikoilleen nostettuna. Tornin alimpaan kerrokseen päätettiin rakentaa lava (kuvio 3), johon voidaan sijoittaa vaikka pari kahvipöytää, tai sitä voidaan käyttää myös



esiintymistarkoituksiin kallion alapuolelle sijoittuvan yleisön suhteen. Paikalla voidaan toteuttaa myös monenlaisia yleisötapahtumia kuten musiikkiesityksiä tai kesäteatteria (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 1.4.2022). Tornin alimman kerroksen portaikon vielä puuttuessa on lavamaisen rakenteen sekä ympäröivien kaiteiden lisäys paljon mutkattomampaa kuin siinä tilanteessa, jossa portaat olisivat jo alkuperäisten suunnitelmien mukaan paikoillaan.



Kuvio 3. Lava.

### 3.3 Tornin ankkurointi kallioon

Torni kiinnitettiin kallioon isoilla teräksisillä jaloilla, jotka oli jo etukäteen ankkuroitu kallioon kiinni. Jalat ovat tavanomaista terästä, joka on pohjamaalattu polttomaalaamalla sinkki-maalilla ja pintamaalilla (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 28.3.2022). Jalkojen suuren koon takia niiden käsin siirtely ja nostelu oli miltei mahdotonta, joten apuvälineenä käytettiin tässä projektissa autokorjaamoista tuttua moottorinostinta (kuva 4).



Kuva 4. Tornin jalkoja nostellaan paikoilleen (Tuomisto, 2021).

Ankkuroinnin mitoituksessa käsitellään kolmea eri mitoitustapausta:

- kierretangon ja kemiallisen injektiolaastin välinen tartunta
- kemiallisen injektiolaastin ja kallion välinen tartunta
- kallion kartioleikkausmurtuma.

Kalliojuotoksen pituus  $L$  lasketaan seuraavalla kaavalla (Ahomies, 2015, s. 28)

$$L = \frac{P}{(\tau_d * \pi * d)} \quad (1)$$

Missä

$P$  = vetovoima [N]

$\tau_d$  = injektiolaastin ja kallion välinen tartuntalujuus [1,0 N/mm<sup>2</sup>]

$d$  = porareiän halkaisija [mm]

Tornin jalkoihin tulee jokaiseen kolme ankkuripulttia, joiden halkaisija on 30 mm. Jokaisen poratun reiän halkaisijan on oltava vähintään 35 mm (Hilti, 2020 s. 13). Tässä kohtaa valitsimme 50 mm reiän. Opinnäytetyön kohdassa 4.2 laskettu kuorma jalalle on n. 240 kN, josta seuraa jokaiselle pultille n. 80 kN vetovoima. Ahomiehen (2014, s. 39) mukaan kalliojuotosten irti leikkautumisessa käytetään Suomessa ohjeena 1,0 MPa (1,0 N/mm<sup>2</sup>) mitoituslujuutta.

Juotospituus  $L$  saadaan laskemalla ensin ulkopinta-ala seuraavalla kaavalla.

$$\pi * d * L = \pi * 50\text{mm} * L \quad (2)$$

Missä

$d$  = poratun reiän halkaisija [mm]

Yhdistämällä kaavat (1) ja (2) saadaan yhtälö, jolla voidaan ratkaista  $L$ .

$$t_d = \frac{P}{\pi * d * L}$$

$$1,0 \frac{N}{\text{mm}^2} = \frac{80\,000\text{N}}{(157,1\text{ mm} * L)}$$

$$L = \frac{80\,000\text{ N}}{\left(157,1\text{ mm} * 1,0 \frac{N}{\text{mm}^2}\right)} = 509,2\text{mm}$$

Näin ollen juotospituuden oltava vähintään 510 mm.

Kierretangon ja kemiallisen injektiolaastin välinen ankkurointisyvyys M30 pultille voidaan katsoa alla olevasta taulukosta 1, jolloin arvoksi saadaan 270 mm.

Taulukko 1. Hilti HIT-HY 200 injektiolaastin tekniset tiedot. (Hilti, 2020. s. 2)

Ankkurin koko	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Ankkurointisyvyys (mm)	80	90	110	125	170	210	240	270
Alusmateriaalin paksuus (mm)	110	120	140	161	214	266	300	340

Ankkuritankoja myydään 2 metrin pituisina, joten niistä saatiin kätevästi metrin pituisia katkaisemalla ne keskeltä poikki. Käytettävissä oleva pora ulottui 800 mm syvyyteen ilman jatkokappaleita, joten valittiin upotussyvyudeksi 800 mm. Tämä tietenkin edellyttää kyseisellä paikalla ehjää kalliota, jonka eheyttä voidaan arvioida poran tuottaman purun värin perusteella. Ehjä kallio tuottaa siniharmaata ja rikkonainen kallio tuottaa ruskeahkoa purua (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 28.3.2022).

### 3.4 Tornin nosto

Tornin rakenteiden ollessa tehtynä siihen asti, mikä sen vaakatasossa ollessa on järkevää, oli tornin noston aika. Tornin suuren koon vuoksi ovat myös nostureiden koot merkittäviä. Tornimaisen rakenteen nostossa on hyvä olla kaksi nosturia nostamassa tornia taivutusjännävälän pienentämiseksi. Tornin rakenteita ei ole suunniteltu kestämään niin suurta taivutusjännitystä, joka siihen aiheutuisi yhdellä nosturilla nostettaessa. Talvisissa olosuhteissa vaurioiden estämiseksi on myös syytä noston tapahtuessa tarkastella, mikäli torni on mahdollisesti jäänyt lujasti tukirakenteisiin tai maahan kiinni (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 28.3.2022).

#### 3.4.1 Nostokalusto

Tämän lintutornin nostoon oli varattu yksi 300 tn nosturi (kuva 5) sekä yksi pienempi, 80 tn nosturi. 300 tn nosturi on hyvin suuri, ja sen käyttämiseen vaaditaan myös muutakin kalustoa. Nosturiin tulevia vastapainoja liikuteltiin useilla kuorma-autoilla. Koko nostokaluston määrä on huomattava, ja tämän vuoksi edellytetään hyväkuntoista kulkutietä ja vapaata tilaa tornin ympärille. (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 28.3.2022).





Kuva 5. 300 tn nosturi saapui työmaalle (Tuomisto, 2022).

Vastaavanlaisissa nostoissa on yleensä parempi käyttää nostoliinoja, mutta tässä nostossa oli käytettävissä vain nostoketjut. Ketjujen ja liinojen eroavaisuutena on nostotilanteessa se, että liinoilla nostettaessa rakenne lopulta hakeutuisi luotisuoraan helpottaen tornissa olevien pilareiden sovittamista kallioon asennettuihin jalkoihin huomattavasti. Mutta koska nostotilanteessa käytettiin ketjua liinojen sijasta, ei torni lopulta roikkunut suuremman nosturin varassa täysin luotisuorassa, mikä aiheutti ongelmia. Torni jouduttiin aluksi kiinnittämään tilapäisesti hieman vinoon, minkä jälkeen se oikaistiin käsin tunkkaamalla (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 11.4.2022).

### 3.4.2 Nostotapa

Tornin nosto tapahtui siten, että suurempi, 300 tn nosturi nosti tornin yläosasta ottaen kiinni neljän pilarin päästä. Pienempi 80 tn nosturi kiinnitettiin toisen kerroksen kohtaan avuksi lyhentämään jänneväliä ja pienentämään taivutusjännitystä. Torni nostettiin ilmaan näillä kahdella nosturilla, käännettiin ilmassa pystyyn ja lopuksi isompi nosturi nosti sen paikoilleen kallion päälle (kuva 6).



Kuva 6. Torni nostettuna paikoilleen kallion päällä (Tuomisto, 2022).

## 4 LINTUTORNIN RAKENTAMISMÄÄRÄYKSET

Tornin käyttöturvallisuuden ja rakenteiden kestävyuden takaamiseksi on tornin rakenteet mitoitettava niille tuleville kuormille. Koska torni tullaan avaamaan myös yleisölle, voi rakenteille tuleva hyötykuorma kasvaa merkittävästi, mikäli ylätasanteelle saapuu monta ihmistä lintuja tarkkailemaan tai vaihtoehtoisesti tornille saapuu luokallinen oppilaita.

### 4.1 Yleinen turvallisuus

Lintutornin lopullinen paikka on noin neljä metriä korkean kallion päällä, johon kuljetaan maastossa olevaa polkua sekä puusta rakennettua kaaren muotoista luiskaa pitkin. Alueella siis vallitsee sekä putoamis- että liukastumisvaara. Talvella kuurainen puupinta on hyvin liukas. Kesäaikaan liukastumisriski pienenee huomattavasti, mutta ei katoa kokonaan.

Liukastumista voidaan polulla talvisin estää hiekoituksella, ja puiseen luiskaan on syytä asentaa liukastumista estäviä pieniä listoja esim. puusta tai metallista. Kallion reunalle putoamisen estämiseksi voidaan asentaa esimerkiksi verkkoaita muutamalla varoituskyltillä ilmoittaen putoamisvaarasta (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 4.4.2022). Erityisesti putoamisvaarassa ovat innokkaat lapset, joten aidan pitää olla tarpeeksi vahvaa estääkseen heidän putoamisensa.

Talviaikaan korkeat rakennukset muodostavat aina riskin putoavasta lumesta ja jäästä. Mikäli tornia käytetään talvella, talvikunnossapito on näiden riskien minimoimiseksi oltava hoidettuna. Näin korkeasta rakennelmasta putoava lumi ja jää ovat erittäin vaarallisia. Lintutorni on mitoitettu myrskytuulelle 21 m/s, joten mikäli tuo raja ylitetään, on tornille pääsy kiellettävä.

### 4.2 Tornin tuulikuorma

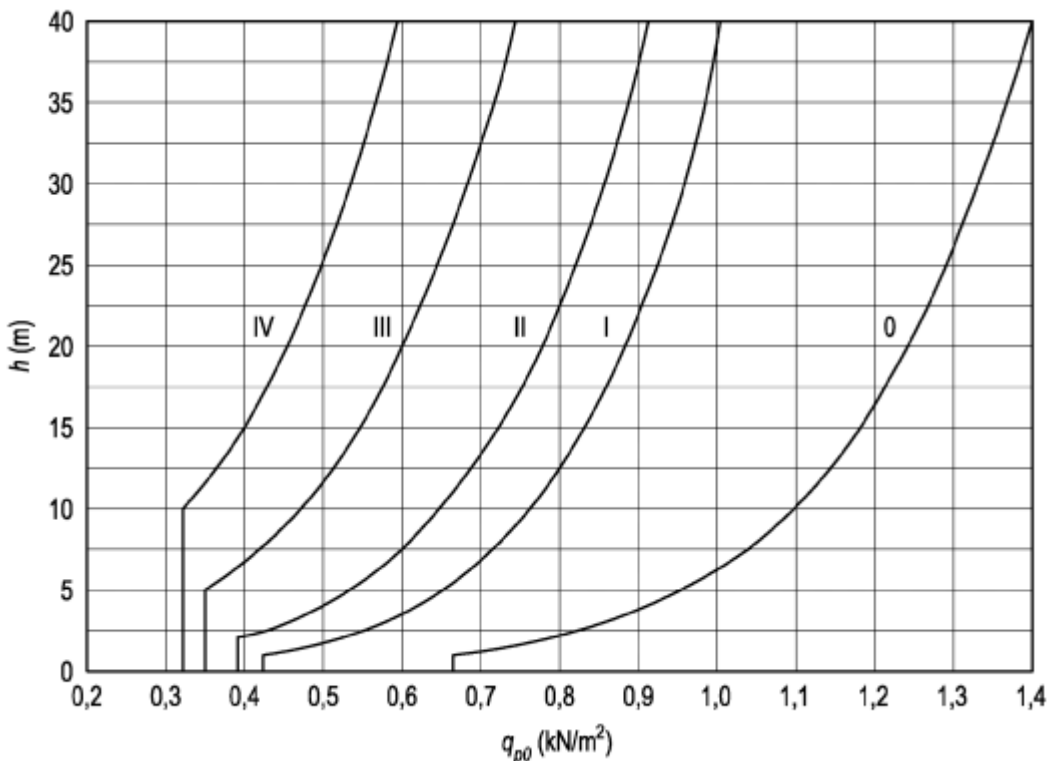
Tornin maastoluokaksi valitaan alla olevasta taulukosta 2 rakennuksen maastoluokka II. Tämän avulla voidaan aloittaa rakenteen mitoitus tuulikuormalle.

Taulukko 2. Maastoluokat.

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus.
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

Seuraavaksi kartoitetaan torniin kohdistuva tuulen nopeuspaine. Tornin korkeus arvioidaan yläkanttiin summaamalla tornin (27,5 m) ja kallion (5,0 m) korkeus. Mitoituksessa käytettävä korkeus on tällöin 32,5 m. Alla olevasta taulukosta katsotaan näillä perustiedoilla vastaava tuulen nopeuspaineen arvo  $q_{p0} = 0,8688 \frac{kN}{m^2}$

Taulukko 3. Tuulen nopeuspaine (Puuinfo, 2020, s.13).



Nopeuspaineen voi myös laskea alla olevan kuvion 4 mukaisesti korkeuden ( $z$ ) avulla.



$$q_{p0}(z) = \left\{ \begin{array}{l} 0,00893 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\max(1, z)}{0,003} \right) \right]^2 + 0,0625 \cdot \ln \left( \frac{\max(1, z)}{0,003} \right) \quad \text{maastoluokassa 0} \\ 0,00794 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\max(1, z)}{0,01} \right) \right]^2 + 0,0556 \cdot \ln \left( \frac{\max(1, z)}{0,01} \right) \quad \text{maastoluokassa I} \\ 0,00995 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\max(2, z)}{0,05} \right) \right]^2 + 0,0697 \cdot \ln \left( \frac{\max(2, z)}{0,05} \right) \quad \text{maastoluokassa II} \\ 0,01279 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\max(5, z)}{0,3} \right) \right]^2 + 0,0895 \cdot \ln \left( \frac{\max(5, z)}{0,3} \right) \quad \text{maastoluokassa III} \\ 0,01513 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\max(10, z)}{1,0} \right) \right]^2 + 0,1059 \cdot \ln \left( \frac{\max(10, z)}{1,0} \right) \quad \text{maastoluokassa IV} \end{array} \right.$$

Kuvio 4. Tuulen nopeuspaineen funktiot (RIL-201-1-2017, 2017, s. 188).

Tornissa tuulen tarttumapinta-alaksi on suunnitelmista mittaamalla saatu vain noin 30 % verrattuna umpiseinään, joten tuulipinta-alan laskemisessa voidaan käyttää kerrointa 0,30.

Tornin tuulipinta-ala ( $m^2$ ) lasketaan kaavalla:

$$m^2 = h * a * 0,3 = 27,5 \text{ m} * 6,8 \text{ m} * 0,3 = 56,1 m^2 \quad (3)$$

Missä

$h$  = tornin korkeus [m]

$a$  = tornin leveyden keskiarvo [m]

Tuulimomentti lasketaan seuraavalla kaavalla (Puuinfo, 2020, s.13)

$$C_f * h/2 * 56,1 \text{ m}^2 * q_{p0} = 1072,3 \text{ kNm} \quad (4)$$

Missä

$C_f$  = tuulikuorman voimakertoimen (1,6) arvioituna yläkanttiin.

$h$  = rakennelman korkeus. Tällä saadaan tuulivoiman resultantin etäisyys kalliosta.

$q_{p0}$  = tuulen nopeuspaine.

Pulttien vetovoima rakennelman juuressa saadaan laskutoimituksella

$$\frac{1072,3 \text{ kNm}}{3,9 \text{ m}} = 274,9 \text{ kN}$$

Tornin omapaino arvioituna on 180 kN, joka jakautuu viidelle jalalle (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 11.4.2022). Tällöin yhdelle jalalle tuleva kuorma on 36 kN. Tällä on pienentävä vaikutus pultteihin kohdistuvaa vetovoimaa vastaan. Täten pulttien vetovoiman uudeksi arvoksi saadaan 238,9 kN. Laskennassa käsitellään kahta halkaisijaltaan 30 mm pulttia, joiden yhteenlasketuksi pinta-alaksi saadaan 1414 mm<sup>2</sup>. Pulttien jännitys saadaan jakamalla pultteihin kohdistuva 238,9 kN vetovoima pulttien pinta-alalla 1414 mm<sup>2</sup>. Täten jännitykseksi saadaan arvo 169,0 N/mm<sup>2</sup>.

Käytettävien pulttien lujuusluokka on 5.6, joten niiden myötölujuus on 300 N/mm<sup>2</sup>. Teräksen osavarmuuskertoimena käytetään tässä tilanteessa kerrointa 1,25 (Ikonen, 2019, s. 6). Täten laskukaavalla (5) saadaan tulokseksi

$$\frac{f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,25} = 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > 169,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (5)$$

Missä

$f_y$  = materiaalin myötölujuus [N/mm<sup>2</sup>]

$\gamma_{m0}$  = osavarmuuskerroin

Yhtälön toteutuessa pultit ovat riittävän vahvoja.

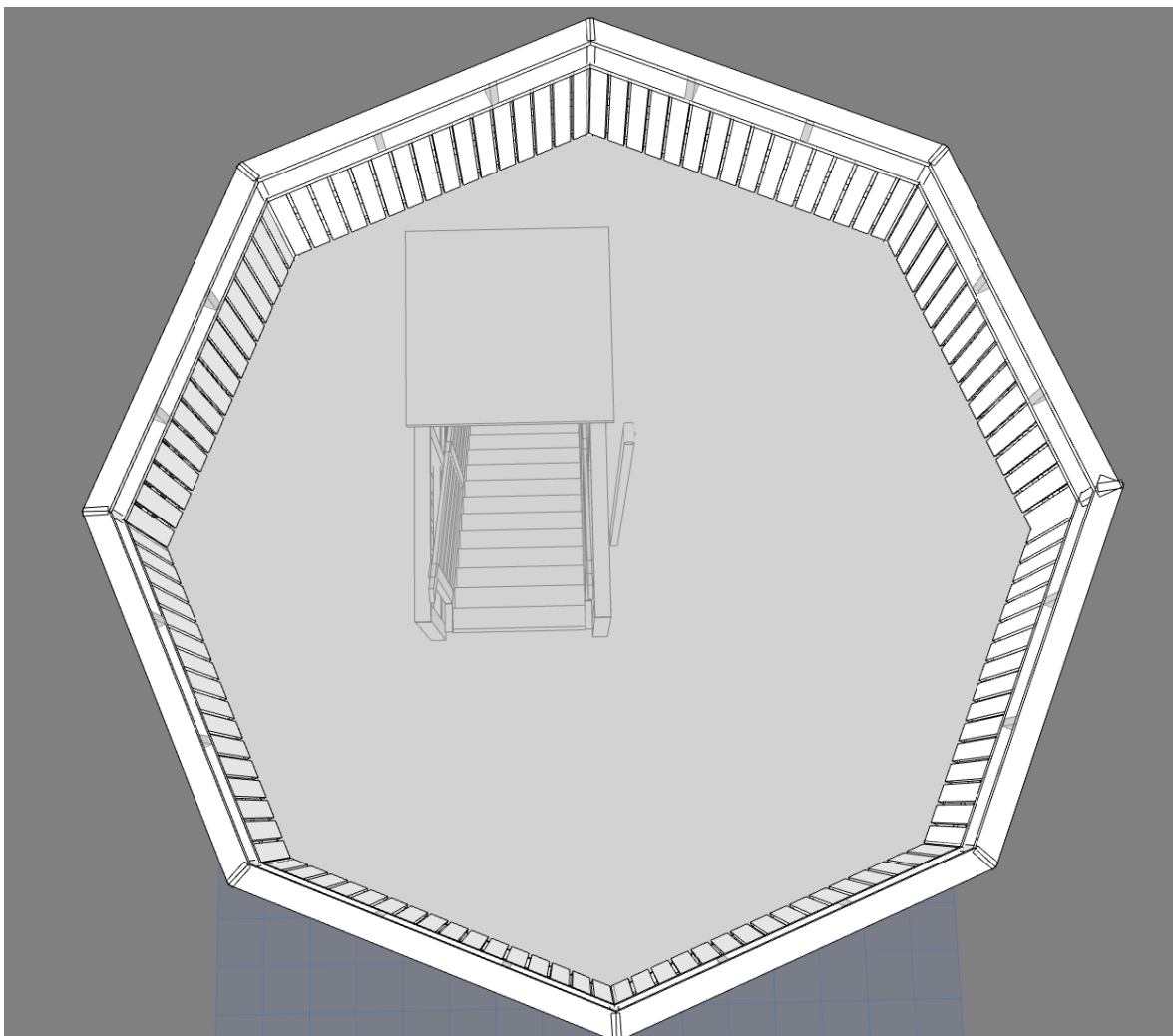
### 4.3 Kaiteet

Rakennustiedon (2021, s. 3) kaiteiden ja käsijohteiden ohjeen mukaan kaiteen minimikorkeus tulee olla 1,2 m, kun putoamiskorkeus ylittää 6 m. Tässä kyseisen tornin korkeus on yli 20 m, joten kaidekorkeus on koko rakennelmassa 1,2 m. Kun mitataan kaiteen

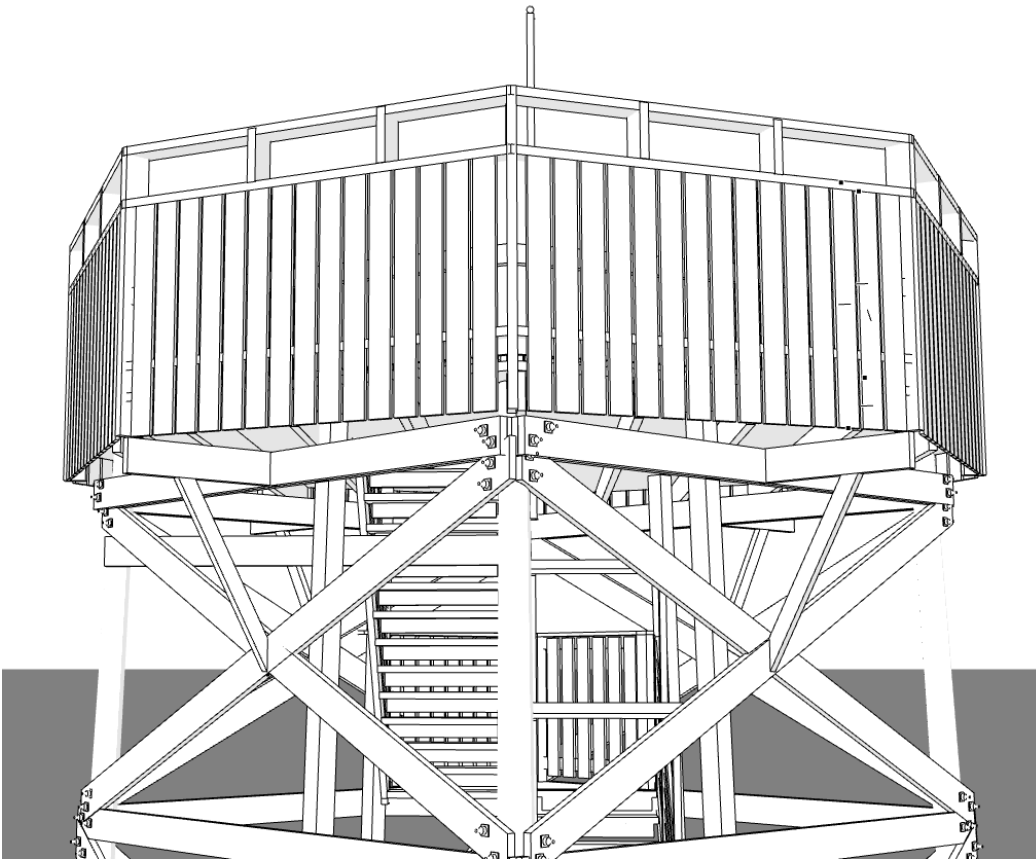
korkeutta, otetaan mitta tasanteilla pystysuoraan kohdasta, jossa on mahdollista seistä. Portaissa mitta otetaan askelman etureunasta pystysuoraan.

Kaiteisiin kohdistuu käytössä vaakakuorma, joten ne on suunniteltava ja mitoitettava niin, että ne kestävät käyttötarkoituksen mukaiset kuormat koko rakenteen käyttöiän ajan (Rakennustieto, 2021, s. 3). Mitoituksessa käytetään ympäristöministeriön asetusta 4/16 apuna.

Pahin tilanne rakennelmassa olevalla kaiteella on ylimmällä tasanteella (kuviot 5 ja 6), mihin ihmiset voivat kokoontua nojaamaan sitä vasten. Tähän valitaan ympäristöministeriön asetusta 4/16 apuna käyttäen luokaksi C1, jonka viivakuorman mitoitussarvo  $q_k = 1,0 \frac{kN}{m}$ . Kaiteen päätytolppien välinen etäisyys on 2300 mm ja sen korkeus on 1400 mm. Ylätasanteen mutterinmuotoinen ulkoreunan kaide vahvistetaan tolppien kohdilta vanneteräksellä 30 mm x 2,0 mm, jolloin kaidarakenteesta muodostuu rengasmaisen rakenne ja tolpat saavat lisätukea myös vastakkaiselta puolelta.



Kuvio 5. Ylätasanne 3D-mallissa ylhäältä päin katsottuna.



Kuvio 6. Tasanne alaviistosta päin katsottuna.

#### 4.4 Askelmat

Mihin tahansa rakennelmaan tulevien portaiden tulee olla turvalliset sekä tarkoitukseen soveltuvat (Rakennustieto, 2019, s. 2). Portaissa täytyy pystyä siirtämään liikuntakyvytön henkilö pois paareilla. Tästä johtuen kulkuväylän leveys tulee olla vähintään 900 mm. Askelmien väliin ei saa jäädä yli 100 mm aukkoa, jolla estetään esim. pikkulapsia laittamasta päätään sinne. Testaamisessa hyvänä apuvälineenä toimii 100 mm puusta valmistettu kuutio.

#### 4.5 Tasanteet

Ylimmän tasanteen tulee kestää vierailijoiden aiheuttamat kuorman ruuhkaisimpinakin hetkinä. Ylimmän tasanteen pinta-ala saadaan piirustuksista laskemalla noin 22,5 m<sup>2</sup>, ja sitä

on tukemassa 48x198 painekyllästetyt lankut 600 mm jaolla. Nämä lepäävät reunoilla rinnakkain olevien ja toisiinsa kiinnitettyjen 48x198 lankkujen varassa. Asettamalla hyötykuormaksi 2 kN/m<sup>2</sup> ollaan varmemmalla puolella mitoituksessa (J. Tuomisto, henkilökohtainen tiedonanto, 18.4.2022). Rakenteiden omapainona voidaan pitää puurakenteelle tyyppillistä 0,5 kN/m<sup>2</sup>. Rakennelma on ulkona säälle alttiina, joten käyttöluokaksi valikoituu 3.

Jakamalla koko ylätasanne neljään osaan voidaan ajatella jokaisen 2x48x198 tukipuun kannattelevan omaa, noin kuuden neliön aluettaan. Tukipuiden päällä lepäävät yksittäiset 48x198 lankut luovat hyötykuormasta johtuen 2,4 kN pistekuorman 850 mm välein alemmille tukipuille. Laskelmat ovat toteutettu Finnwood 2.4 -laskentaohjelmistolla, ja siitä saadut raportit ovat lopussa liitteinä sivut yksi (liite 1), kaksi (liite 2), kolme (liite 3) ja neljä (liite 4). Laskelmista on jätetty pois vielä lisävarmuutta tuovat keskimmäisen pilarin luoma tukivoima sekä reunoilla viistossa olevat puut, jotka tukeutuvat ristisiteiden keskelle. Näin laskelmien kanssa ollaan selvästi varmemmalla puolella, sillä todellisuudessa reunoilla oleville tukipuille ei kohdistu näin suuria voimia.

Liitteessä kolme mitoitusohjelma kertoo kokonaiskäyttöasteeksi 75,8 %, mikäli tornissa on yhtä aikaa vierailemassa kuusi kappaletta lähes 200-kiloista ihmistä jokaisella neljällä reunalla. Täten voidaan todeta, että tornin tasanne kestää esimerkiksi 30 normaalipainoisen henkilön samanaikaisen vierailun.

## 5 TORNIN KÄYTTÖÖNOTTO

Ennen kuin torni voidaan avata vierailijoille, on rakennustarkastajan tehtävä siihen käyttöönottotarkastus eli loppukatselmus (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 153 §). Tornissa olevat kantavat ruuviliitokset ovat kiristettävä puun kuivumisesta johtuvan kutistumisen takia, mieluummin kesän kuivimpaan aikaan. Alueelle on asennettava maksimihenkilömäärästä kertovat kyltit selkeästi näkyville. Myös muut turvallisuuteen, tornin käyttöön tai yleisiin ohjeisiin liittyvät kyltit ja opasteet, esimerkiksi talvikunnossapidosta, on asennettava paikoilleen.

## 6 3D-MALLINTAMINEN

Lintutornin mallintaminen tapahtui ArchiCAD-ohjelmalla jo olemassa olevien suunnitelmien, piirustusten sekä henkilökohtaisesti otettujen kuvien perusteella. Ohjelma on hyvin selkeä sekä käyttäjäystävällinen varsinkin niille, jotka ovat jo aikaisemmin tulleet käyttäneeksi esimerkiksi AutoCAD-ohjelmistoa.

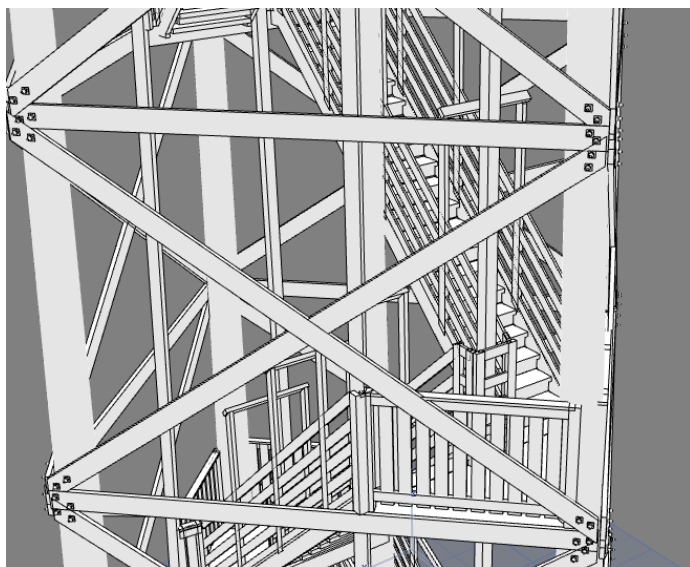
### 6.1 Soveltuvat mallinnusohjelmat

Ennen mallinnustyötä on syytä harkita, mitä ohjelmaa tulee koko projektin ajan käyttämään. Tässä mallinnusprojektissa olivat eniten esillä Tekla Structures sekä ArchiCAD. Myös ohjelmasta nimeltä Sketch Up oli jonkin verran puhetta, mutta kyseinen ohjelma oli enemmänkin arkkitehdeille suunnattu hahmotteluohjelmisto, jonka rinnalla ArchiCAD vaikutti enemmän tähän projektiin soveltuvalta.

Tekla Structures -ohjelmistossa on monia hyviä piirteitä, kuten esimerkiksi painopisteen helppo selvittäminen myös hyvinkin monimutkaisesta rakennelmasta. Kyseistä ohjelmistoa käyttäessä käyttäjä huomaa sen olevan enemmänkin teräksisten rakenteiden suunnitteluun sekä mallintamiseen tarkoitettu ohjelmisto. Erilaisia teräslitoksia löytyy useita satoja, ja lisää saa ladattua heidän sivuiltaan, mikäli ei juuri omaan tarpeeseen löydy heti sopivaa. Puusta valmistettuun rakennelmaan, kuten esim. tässä opinnäytetyössä käsiteltävään lintutorniin, tämä ohjelma jäi tarjonnaltaan hieman vähäiseksi.

ArchiCADin valinta tähän projektiin on osoittautunut hyväksi valinnaksi. Ohjelmasta löytyy helposti muokattavissa olevia erilaisia kaiteita, portaita (kuvio 7), pilareita, tasanteita sekä monia muita rakenteita, joita mallinnettavassa lintutornissa tarvitaan.





Kuvio 7. Portaat sai helposti luotua ohjelmassa valmiina olleella työkalulla.

## 6.2 Mallintamisessa huomioitavat asiat

Mallinnuksen onnistumisen kannalta olemassa olevat selkeät kuvat mittoineen helpottavat asiaa paljon. Kuvien läpikäyminen kaikessa rauhassa ennen mallintamisprojektin aloitusta auttaa myös välttämään monia virheitä heti alkumetreillä. Mikäli kohde on jo rakennettu, paikan päällä käyminen on erittäin hyvä tapa auttaa hahmottamaan kokonaisuutta.

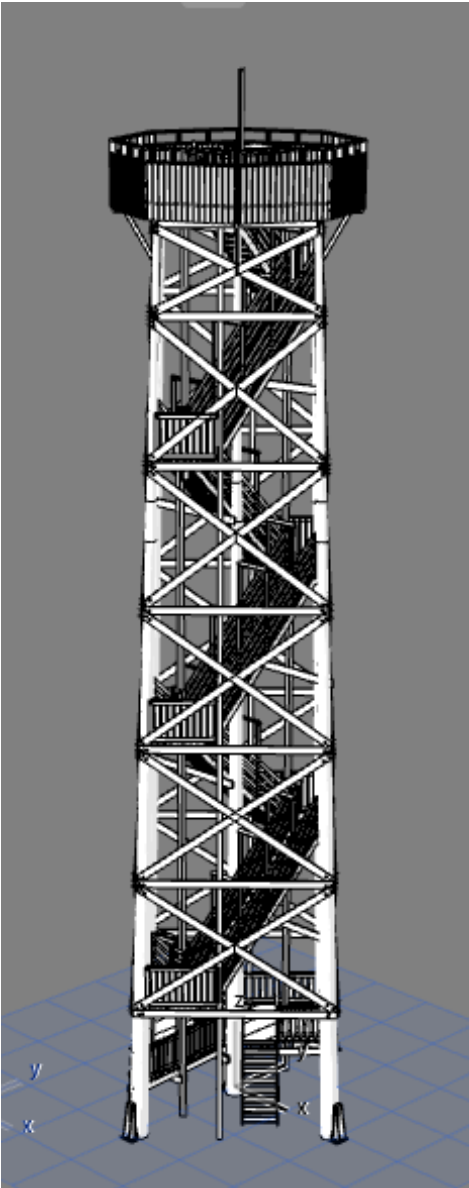
## 6.3 Mallintamisessa ilmenneet ongelmat sekä niiden ratkaisut

Kyseisen lintutornin mallintamisessa ilmeni monenlaisia ongelmia mallinnusprosessin aikana. Moni ongelma juonsi juurensa rakennelmasta jo olemassa oleviin kuviin, joissa ei ollut kaikkia oleellisia tietoja tai mittoja annettu.

### 6.3.1 Pääpilarien kaltevuus

Mallinnus aloitettiin siten, että laitettiin kaikki viisi suurta puupilaria pystyyn, joista uloimmat neljä eivät ole pystysuoria (kuvio 8). Torni on suunniteltu niin, että sen yläpää on kapeampi kuin alapää. Tornin jalkojen yläosan keskikohtaa ei ollut kuviin merkitty, mutta niiden sijainnit näkyivät tasanteesta piirretyssä pohjakuvassa. Ongelman ratkaisuksi muodostui

tolppien mallintaminen paikoilleen niin tarkasti kuin oli annettujen kuvien perusteella mahdollista. Lopputulosta verrattiin kuvaan, ja etäisyydet olivat silmämääräisesti samat.



Kuvio 8. Pääpilareiden kaltevuus havaittavissa.

### 6.3.2 Tekstuurit ja komponentit

Arkkitehdeille suunnitellussa ohjelmassa on huomattava määrä erilaisia yleisempiä rakenteiden pintamateriaalivaihtoehtoja, mutta koska puinen pinta on melko harvinainen, on se myös huomattavissa ohjelman tarjoamissa vaihtoehtoissa. Onneksi GRAPHISOFT-sivuston kirjastossa löytyy monenlaisia erilaisia tekstuureita ja komponentteja ilmaiseksi. Sama ongelma on myös huomattavissa pienemmissä rakenteissa, kuten esimerkiksi pulteissa.

Ohjelmasta ei itsessään löydy teräksiselle pultille minkäänlaista mallia, sillä eivät ne yleensä ole arkkitehtien työssä kovin oleellisessa osassa. Se ratkaistiin tekemällä pilarityökaluilla pulttiliitoksen näköinen objekti ja värjäämällä se oikean väriseksi.

## 7 VR-TEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄMINEN

VR-teknologia on yleistynyt huimasti viime vuosien aikana, ja se on vahvasti läsnä myös 3D-mallintamisen yhteydessä. Kun rakennelmasta on olemassa 3D-malli, sen esitteleminen on helppoa siten, että rakennusalalla työskentelemätön katsoja ymmärtää, mistä ja kuinka suuresta rakennelmasta on kyse. Kun on saatavilla malli, joka on luonnollisessa mittakaavassa, on paljon helpompaa havaita rakennelmassa olevat mahdolliset viat tai puutteet.

VR-teknologian käyttö on jo nykyään vahvasti läsnä rakentamisessa. Sen avulla voidaan helpottaa ja edesauttaa monia alan toimintoja sekä toimintamalleja. Kuten Thomson (2020) blogissaan toteaa, VR-teknologialla on ihan todellisia hyötyjä tarjota kaikkiin rakentamisen vaiheisiin ja osiin.

Thomson (2020) listaa blogissaan viisi erilaista hyvää puolta VR-teknologiasta:

1. VR-teknologia vähentää tarvetta työmaakäynneille. Se mahdollistaa kenen tahansa käynnin etänä virtuaalisesti kohteessa ilman, että tarvitsee sinne fyysisesti matkustaa, joskus jopa hyvinkin pitkän matkan.
2. Virheet voidaan korjata ennen kuin ne ilmenevät työmaalla. Kohdetta voidaan tutkia VR-lasit päässä läpikotaisin ennen rakentamisen aloittamista, jolloin mahdolliset virheet voidaan korjata pikimmiten ilman suuria kustannuksia. AR-lasit työmaalla voivat auttaa myös ihan perinteisiä kirvesmiehiä, sillä laittamalla lasit päähän ja katselemalla kohdetta, niiden avulla voidaan saada kuva tekijän silmiin siitä, miltä lopputuloksen pitäisi visuaalisesti näyttää.
3. Teknologia parantaa asiakaskokemusta. Mikäli asiakkaalle tarjotaan mahdollisuus nähdä tuleva rakennelma jo valmiina virtuaalisessa todellisuudessa, se luo varmasti positiivisen kokemuksen. Se myös helpottaa rakennuttajan ja asiakkaan välistä kommunikointia siten, että väärinkäsitykset lopputuloksesta vähenevät huomattavasti.
4. Työntekijöille voidaan antaa sopivaa koulutusta turvallisemmin. Työmaalla käytettäviin laitteisiin voidaan antaa koulutusta turvallisessa ympäristössä ilman vaaraa. Yhdenkin tapaturman estäminen työmaalla maksaa usein jo itsensä takaisin.

5. Helppo muokattavuus, sillä rakentamisessa käytettävät mallit ja objektit voidaan ladata pilveen, jossa kuka tahansa voi niitä muokata siten, että päivittynyt versio on myös saatavilla kaikille. Täten säästytään ylimääräiseltä sähköpostien lähettämiseltä ja päivittyneiden mallien perään kyselemiseltä.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä lintutornin rakentamiseen ja siinä huomioitaviin asioihin, 3D-mallintamiseen sekä VR-tekniikan hyödyntämiseen rakennusprojektissa. Kirjoitusprosessin aikana itselleni tuli paljon enemmän tietoa lintutorneista sekä puusta valmistetuista rakennelmista kokonaisuudessaan. Vaikka minulla ei ollut yhtään kokemusta ArchiCADista ennen tämän opinnäytetyön aloitusta, sen itsenäinen opiskelu oli kohtuullisen helppoa ja olen itse tyytyväinen aikaansaamaani 3D-malliin ja uskon, että ArchiCAD oli tähän se oikea valinta. VR-tekniikan yleistyminen onkin ihan perusteltua jo sen tuomien hyötyjen takia. Monet mutkat voidaan suoristaa, kun on hyvä malli ja VR-lasit käytössä.

Kokonaisuudessaan projekti oli mielestäni mielenkiintoinen, ja sitä jaksoi tehdä eteenpäin aina kun siltä tuntui. Tornilla tapahtuneet vierailut toivat myös lisää konkretiaa itse kirjoitus- ja mallinnusvaiheeseen. Työmaavierailut lisäsivät mielenkiintoa, vaikka sinne olikin yli 200 kilometriä matkaa suuntaansa.

## LÄHTEET

- Ahomies, M. (2015). *Kallioon injektoitu ja ankkuroitu porapaalu* [Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto]. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22889/Ahomies.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Alhainen, J. (lintutornin rakentaja). (18.2.2022). *Lintutornin rakentamisesta yleistä asiaa*. [asiantuntijahaastattelu].
- Hilti. (2020). *Tekninen tietolomake betoniin tarkoitetulle HIT-HY-200 injektiomassalle*. [https://www.hilti.fi/medias/sys\\_master/documents/hd4/he6/9662548082718/Technical-data-sheet-for-Hilti-HIT-HY-200-injectable-mortar-in-concrete-Technical-information-ASSET-DOC-8258686.pdf](https://www.hilti.fi/medias/sys_master/documents/hd4/he6/9662548082718/Technical-data-sheet-for-Hilti-HIT-HY-200-injectable-mortar-in-concrete-Technical-information-ASSET-DOC-8258686.pdf)
- Häyrynen, M. (2021). Lahonkesto puntarissa. *Metsälehti*. <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/tutkimus-lahonkesto-puntarissa/>
- Ikonen, T. (2019). *Teräskannakejärjestelmän kantavuusmitoitus muuratulle rakenteelle* [AMK-opinnäytetyö, Metropolian ammattikorkeakoulu]. Theseus. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/163631/ikonen\\_Tapio.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/163631/ikonen_Tapio.pdf?sequence=2)
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.
- Maanmittauslaitos (MML). (i.a.) *Kolmiomittaustekniikka*. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tietoa-maanmittauslaitoksesta/teemat/struven-ketju/kolmiomittaustekniikka>
- Maanmittauslaitos. (i. a.) *Avoimien aineistojen tiedostopalvelu: Tuomisto, maastokartta*. <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>
- Puuinfo. (22.7.2020). *Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje*. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje/>
- Rakennustieto. (2016). 4/16 Ympäristöministeriön asetus rakenteiden tilavuuspainoa, omaa painoa ja rakennusten hyötykuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-1. (RT RakMK-21714).
- Rakennustieto. (2019). *Portaat ja luiskat* (RT 103327).
- Rakennustieto. (2021). *Kaiteet ja käsijohteet* (RT 103344).
- Suomen rakennusinsinöörien liitto (RIL). (2017) *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat* (RIL 201-1-2017).

Thomson, C. (5.5.2020). 5 benefits of embracing VR in the construction industry.  
<https://info.vercator.com/blog/embracing-vr-in-the-construction-industry>

Tuomisto, J. (2021). *Kuparilevy pilariliitosten päällä* [valokuva].

Tuomisto, J. (2021). *Torni rakenteilla vaakatasoon* [valokuva].

Tuomisto, J. (2021). *Tornin jalvoja nostellaan paikoilleen* [valokuva].

Tuomisto, J. (2021). *Tornin pilarit tuettuna trukkilavoilla* [valokuva].

Tuomisto, J. (2022). *300 tn nosturi saapui työmaalle* [valokuva].

Tuomisto, J. (2022). *Torni nostettuna paikoilleen kallion päällä* [valokuva].

Tuomisto, J. (dipl. ins., SeAMK). (1.7.2021-23.4.2022). *Lintutornin rakentamisesta, sijainnista, olemassa olevista ja tulevaisuuden suunnitelmista Mäyräkallion luontokeskuksella*. [asiantuntijahaastattelu].



## LIITTEET

Liite 1. Finnwood-mitoitus tasanne 2x48x198 s. 1

Liite 2. Finnwood-mitoitus tasanne 2x48x198 s. 2

Liite 3. Finnwood-mitoitus tasanne 2x48x198 s. 3

Liite 4. Finnwood-mitoitus tasanne 2x48x198 s. 4

## Liite 1. Finnwood-mitoitus tasanne 2x48x198 s1.

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

21.4.2022

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakennesalle. Laskelmissa esitetty rakennesosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

RIL 205-1-2017 (30.12.2021)

Rakennemitoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta



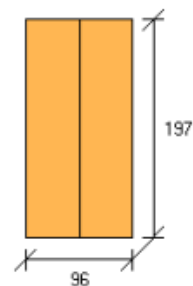
PROJEKTITIEDOT:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

C:\Users\Jere\OneDrive - Epedu O365\Työpöytä\2.4 tasanne lasku.s01

RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Lattiapalkki/laatta  
 Materiaali: C24  
 Poikkileikkaus: 2x48x197  
 (B=96 mm, H=197 mm, A=18912 mm<sup>2</sup>, I<sub>y</sub>=61162984 mm<sup>4</sup>, W<sub>y</sub>=620944 mm<sup>3</sup>)  
 Käyttöluokka: 3 (edellyttää suojakäsittelyä)  
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)  
 Jako/kuormituslev.: 400 mm (pintakuormille)



Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:

Jänneväli 1: 1500.0

Jänneväli 2: 2500.0

Yhteensä: 4000.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	45	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	1500	45	Liukutuki (Z)
3:	4000	45	Liukutuki (Z)

f <sub>m,k</sub> (M <sub>y</sub> ):	24.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>m,k</sub> (M <sub>z</sub> ):	26.24 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,0,k</sub> :	21.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,90,k</sub> :	2.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t,0,k</sub> :	14.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t,90,k</sub> :	0.40 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>v,k</sub> (V <sub>z</sub> ):	4.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>v,k</sub> (V <sub>y</sub> ):	4.00 N/mm <sup>2</sup>
E <sub>,mean</sub> :	11000 N/mm <sup>2</sup>
G <sub>,mean</sub> :	690 N/mm <sup>2</sup>
E 0.05:	7400 N/mm <sup>2</sup>
G 0.05:	460 N/mm <sup>2</sup>

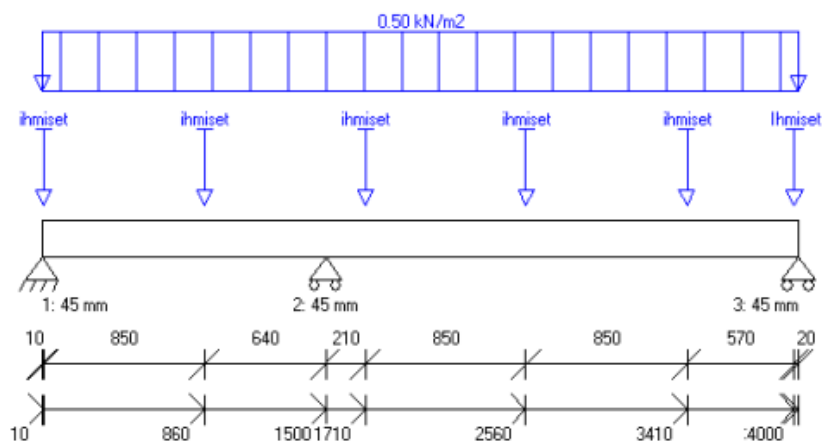
## Liite 2. Finnwood-mitoitus tasanne 2x48x198 s2.

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

21.4.2022

Tilavuuspaino:	5.00 kN/m <sup>3</sup> (omapainon laskentaa varten)
km-kerroin:	0.70
kcr-kerroin:	1.00
<hr/>	
Osavarmuusluku:	1.30
<hr/>	
Aikaluokka:	kmod:
Pysyvä:	0.500
Pitkäaikainen:	0.550
Keskipitkä:	0.650
Lyhytaikainen:	0.700
Hetkellinen:	0.900
<hr/>	
kdef:	2.000

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakennesosan paino: QZ = 0.095 kN/m x = 0 - 4000 mm

Pintakuorma: 1: QZ = 0.500 kN/m<sup>2</sup> x = 0 - 4000 mm

Hyötykuorma (Hyötykuorma A, Keskipitkä, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1: FZ = 2.40 kN x = 10.0 mm (ihmiset)

Pistekuorma: 2: FZ = 2.40 kN x = 860.0 mm (ihmiset)

## Liite 3. Finnwood-mitoitus tasanne 2x48x198 s3.

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

21.4.2022

Pistekuorma: 3:	FZ = 2.40 kN	x = 1710.0 mm	(ihmiset)
Pistekuorma: 4:	FZ = 2.40 kN	x = 2560.0 mm	(ihmiset)
Pistekuorma: 5:	FZ = 2.40 kN	x = 3410.0 mm	(ihmiset)
Pistekuorma: 6:	FZ = 2.40 kN	x = 3980.0 mm	(ihmiset)

**KUORMITUSYHDISTELMÄT:**

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)  
1.00\*1.35\*Omapaino

Yhdistelmä 2 (MRT, Keskipitkä)  
1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 3 (MRT, Keskipitkä)  
0.90\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 5 (MRT, Keskipitkä)  
1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*0.70\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 9 (MRT, Pysyvä)  
1.00\*1.15\*Omapaino

Yhdistelmä 10 (MRT, Pysyvä)  
0.90\*Omapaino

Yhdistelmä 13 (KRT)  
1.00\*Omapaino

Yhdistelmä 14 (KRT)  
1.00\*Omapaino + 1.00\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 16 (KRT)  
1.00\*Omapaino + 1.00\*0.70\*Hyötykuorma

**MITOITUS:**

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017  
Kokonaiskäyttöaste: 75.8 %

**MITOITUSPARAMETRIT:**

Taipumaraja Winst: L/400  
 Taipumaraja Wnet,fin: L/300  
 Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00  
 Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00  
 Nurjahdus z-suuntaan: Lc = 1.00\*L  
 Nurjahdus y-suuntaan: Lc = 1.00\*L

## Liite 4. Finnwood-mitoitus tasanne 2x48x198 s4.

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

21.4.2022

Kiepahdus taivutuksesta  $M_y$  (y-askelin suhteen):Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella:  $Lk1 = 300.00$  mmKiepahdustukiväli rakenteen alapuolella:  $Lk2 =$  Päätukien välimatka $Lef1 = Lk1$  ja  $Lef2 = Lk2$  (Esim. kuormitus neutraaliakselilla/kiepahdustukien kautta)HUOM!  $Lk1$ :ta käytetään, kun  $M_y > 0$  ja  $Lk2$ :ta, kun  $M_y < 0$ 

## VÄRÄHTELYN LASKENTA-ASETUKSET:

Huoneen suurin mitta  $L$  [m]: 6.0Lattiarakenteen leveys  $B$  [m]: 5.0

Väli pohjan tuentatapa: 2 reunaa tuettu

Ulokkeen lyhennys [mm]: 0.0

Poikittaisjäykisteet: Ei jäykisteitä

Yläpuolinen lattialevy / rakenne: Ei huomioida

Liittorakenteen vaikutus: Ei liittovaikutusta

Kelluva rakenne / poikittaiskoolaus+levytys: Ei kelluvaa rakennetta

Alapuoliset poikittaiskoolaukset: Ei alapuolista poikittaiskoolautusta

Pinta-alayksikön massa [kg/m<sup>2</sup>]: 104

HUOM! Lattiapalkin jatkuvuus on huomioitu laskelmissa käyttämällä ekvivalenteja jännevälejä seuraavasti:

Reunajännevälit 0.90xL

## MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	7.77 kN	25.22 kN	30.8 %	1500 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus ( $M_y$ ):	2.74 kNm	6.36 kNm	43.2 %	1500 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
(ilman kiepahdusta):	2.74 kNm	7.45 kNm	36.8 %	1500 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 1:	4.97 kN	11.25 kN	44.2 %	0 mm	Yhdistelmä 2/3, Keskipitkä
Tukipaine kerroin = 2.08					
Tukipaine, tuki 2:	11.94 kN	15.75 kN	75.8 %	1500 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipaine kerroin = 2.92					
Tukipaine, tuki 3:	7.63 kN	11.25 kN	67.9 %	4000 mm	Yhdistelmä 2/4, Keskipitkä
Tukipaine kerroin = 2.08					
jänneväli 1, $W_z, inst$ :	-0.3 mm	3.8 mm	7.8 %	900 mm	Yhdistelmä 14/3
jänneväli 1, $W_z, net, fin$ :	-0.5 mm	5.0 mm	9.4 %	900 mm	Yhdistelmä 14/3
jänneväli 2, $W_z, inst$ :	1.8 mm	6.2 mm	28.3 %	2800 mm	Yhdistelmä 14/3
jänneväli 2, $W_z, net, fin$ :	3.0 mm	8.3 mm	36.5 %	2800 mm	Yhdistelmä 14/3
Taipuma $U$ :	0.4 mm	0.5 mm	70.6%		(Värähtelytarkastelu)
Taajuus $f_1$ :	32.0 Hz	9.0 Hz	28.2%		(Värähtelytarkastelu)

## ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 2/1 (Keskipitkä):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 1.50\*Hyötykuorma, jänneväli 2

Yhdistelmä 2/3 (Keskipitkä):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Hyötykuorma, jänneväli 1

Yhdistelmä 2/4 (Keskipitkä):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Hyötykuorma, jänneväli 2

Yhdistelmä 14/3 :