



# **Puukuitupakkaustehtaan modulaarisen konseptin kehittäminen**

Inka Åkerlund

Opinnäytetyö

Toukokuu 2022

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

**Åkerlund, Inka**

## **Puukuitupakkaustehtaan modulaarisen konseptin kehittäminen**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Toukokuu 2022**, 49+6 sivua.

Tekniikan ja liikenteen ala. Rakennus ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

### **Tiivistelmä**

Toimeksiantaja kehittää uutta kuitupakkausteknologiaa, jotta muovi voidaan korvata ekologisella ja puukuitupohjaisella vaihtoehdolla. Puukuitupakkausteknologiaa kehitetään edelleen ja toimintaa pilotoidaan koe-laitoksella. Toimeksiantajalta löytyy entuudestaan modulaarinen kone ja vakioidut komponentit. Tuotanto-rakennus ja kaikki oheisjärjestelmät eivät kuulu tällä hetkellä toimeksiantajan toimituslaajuuteen, mikä ei ole optimaalista. Toimituslaajuuden kasvattamisella vastattaisiin paremmin kysyntään, koska se helpottaa huomattavasti ostoprosessia.

Työtä lähdettiin toteuttamaan rakennussuunnittelun näkökulmasta ja tavoitteena oli tehdä alustava suunnitelma tehdasrakennuksesta tuotanto layoutin kautta. Työssä etsittiin soveltuvinta vaihtoehtoa teollisuus-rakennuksen toteutukselle, jotta siinä toteutuu modulaarisuuden, laajennettavuuden, muuntojoustavuuden ja tuotantoprosessin asettamat lähtökohdat. Rakennuksen ja sen rakenneratkaisuiden osalta selvitettiin siihen kohdistuvat määräykset, ohjeistukset, vaatimukset ja rajoitukset. Aineistoa kerättiin teemahaastatteluiden avulla, joista saatiin hyvin informaatiota tutkittavasta aiheesta tarjoten samalla uusia näkökulmia.

Opinnäytetyö vastaa työn kannalta merkittäviin kysymyksiin. Työn tuloksena saatiin tuotanto layouteja, joissa on huomioitu modulaarisuuden näkökulmat. Tuotanto layoutissa huomioitiin puukuitumuottikoneiden ja muiden tarvittavien laitteiden kuten säiliöiden, pulppereiden ja kuiduttimien vaatimat lyhyet läpime-noajat, huoltotoimenpiteiden tarvitsema tila ja virtaviivaisuus. Lopputulemana tuotantolaitokselle ei ole olemassa pelkästään yhtä optimaalista vaihtoehtoa, koska kohteiden luonne vaihtelee tilaajan, ulkomaiden olosuhteiden ja maakohtaisen lainsäädännön pohjalta. Työssä annetaan ehdotuksia rakennuskokonaisuu-delle ja millaisiin moduuleihin se voidaan jakaa. Kohteelle löydettiin soveltuvin rakennejärjestelmä, joka mahdollistaa pitkät jännevälit ja suuren avoimen tilan.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Moduulirakentaminen, elementtirakentaminen, teollisuusrakentaminen, laajennettavuus, muuntojoustavuus.

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Liitteet 3, 4, 5 ja 6 ovat salassa pidettäviä ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena Julki-suuslain 621/1999 24§, kohta 17 ja 20, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapidon aika kymmenen (10) vuotta, Salassapito päättyy 15/5/2032

**Åkerlund, Inka**

**Developing fiber mill modular concept**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2022, 49+6 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Construction and Civil Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

Commissioner is developing new fiber package technology. Company is aiming to replace plastic with ecological and wood-based material option. Fiber technology is still in progress, and they are piloting the production in test plant. Commissioner already has modular machine and standard components. Scope does not take place in delivering the production plant or all the ancillary systems which is not optimal. Increasing the scope company could supply better in the market by making the buying process easier for the customers.

The study focuses on designing the building without dimensioning its structures. Research complies with the legislation of Finland. Aim of the study is to find the most applicable way to build production plant and it is considering basis of modularity, extensibility, transformation flexibility and production process. The study finds out which specifications, indications, limitations and requirements construction and its structures are directed.

The study is carried out by two different kind of interviews. Results of the interviews gave more information about the plant building implementations and experiential views from the test plant. Answers helped creating the most applicable building.

Study answers most relevant research questions. Conclusion of the study production layouts has been made from modular point of view. Production layouts are low-resolution 2D layouts of the building and its processes. Production layouts pays attention to fiber mold machines and other relevant equipment's such as bale pulpers, tanks, refiners, de-flakers demand on the welfare measures, short lead times being as much streamlined as possible. Based on the comparative study, there is not only one optimal option. Spaces are separated into different kind of modules and there are multiple variations for the wholeness. Work gives suggestions have the building can be made from the modules and how the plant can be extended.

### **Keywords/tags (subjects)**

Plant construction, prefab building, modularity, extensibility, transformation flexibility

### **Miscellaneous (Confidential information)**

Appendixes 3, 4, 5 and 6 are confidential and they have been removed from the public thesis. Grounds for secrecy: Act on the openness of Government activities 621/1999, Section 24, 17 and 20: business or professional secret. Period of secrecy is ten (10) years, and it comes to an end 15/5/2032.

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto.....</b>	<b>6</b>
1.1	Toteutus ja rajaus .....	7
<b>2</b>	<b>Moduulirakentaminen .....</b>	<b>9</b>
2.1	Laajennettavuus .....	10
2.2	Muuntojoustavuus.....	12
2.3	Purettavuus.....	13
<b>3</b>	<b>Tilavaatimukset .....</b>	<b>14</b>
3.1	Tuotantotilan toiminnot .....	14
3.2	Paloturvallisuus.....	15
3.3	Äänieristystä vaativat tilat .....	20
3.4	Kemikaalien varastointi .....	21
<b>4</b>	<b>Rakennejärjestelmät.....</b>	<b>21</b>
4.1	Runkojärjestelmät.....	25
4.2	Kustannustekijät .....	30
<b>5</b>	<b>Haastattelut.....</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Konsepti .....</b>	<b>34</b>
6.1	Layout .....	34
6.2	Toimitussisältö .....	36
6.3	Logistiikka .....	37
6.4	SWOT-Analyysi.....	38
<b>7</b>	<b>Johtopäätökset .....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Pohdinta .....</b>	<b>43</b>
	<b>Lähteet.....</b>	<b>46</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>49</b>
	Liite 1. Teemahaastattelurunko.....	49
	Liite 2. Teemahaastattelurunko.....	50
	Liite 3. Layout.....	51
	Liite 4. Layout laajennuksen osalta .....	52
	Liite 5. Konelinjastot 2D.....	53
	Liite 6. Konelinjastot 3D.....	54

## Kuviot

Kuvio 1	Modulaarisuuden jakaminen.....	9
---------	--------------------------------	---

Kuvio 2 Kaksilaivainen halli (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 5).....	11
Kuvio 3 Kolmilaivainen halli (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 5).....	12
Kuvio 4 Pilareiden sijoittaminen moduuliverkkoon (Pilareiden sijoitus 2020) .....	22
Kuvio 5 Jänneväli teräsrakenteessa (What is a Clear Span Steel Building? 2014) .....	24
Kuvio 6 Vapaan jännevälin mitat (How wide is a clear span metal building?, 2014) .....	25
Kuvio 7 Yksilaivainen rankarakenteinen halli (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 6) .....	26
Kuvio 8 Kaksilaivainen rankarakenteinen halli (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 6) .....	26
Kuvio 9 NR-ristikoilla toteutettu rankarakenteisen hallin laajentaminen (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 9) .....	27
Kuvio 10 Mastopilarilla jäykistetty halli harja/mahapalkin avulla (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 2).....	29
Kuvio 11 Mastopilari + bumerangi/pulpettipalkki (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 3)...	29
Kuvio 12 Kehärakenteisen hallin laajentaminen (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 7) .....	30
Kuvio 13 Moduulit .....	34
Kuvio 16 Toimitussisältö .....	37
Kuvio 17 SWOT-Analyysi.....	39

## Taulukot

Taulukko 1 P2- ja P3-luokan rakennuksen sallitut henkilömäärät (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017).....	16
Taulukko 2 Palonkehitykseen perustuva mitoitus kantavissa rakenteissa (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017).....	17
Taulukko 3 Käyttötarkoituksen mukaisen palo-osastoinnin enimmäisala (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017).....	18
Taulukko 4 Luokkavaatimukset osastoivissa rakennusosissa (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017).....	19

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toimeksianto saatiin prosessiteollisuuden laitevalmistajalta. Toimeksiannon antanut yritys kehittää uutta puukuitupakkaus-tuotantolinjojen teknologiaa. Tavoitteena on korvata muovi ekologisella ja puukuitupohjaisella vaihtoehdolla muun muassa ruokapakkausteollisuudessa. Uuden teknologian avulla hyödynnetään kiinteämmin suurempaa automaatioastetta ja toteutetaan vakioituja ratkaisuja. Puukuitupakkaus-teknologia on edelleen kehitysasteella ja sitä varten on rakennettu koelaitos. Koelaitoksen tarkoi-tuksena on pilotoida puukuitupakkauksen valmistusta pienemmässä mittakaavassa, jotta saadaan selville, soveltuuko tuote markkinoille. Työssä tutkitaan modulaarisuuden tuomia mahdollisuuksia teollisuusrakentamisessa. Teknologia on tarkoitus kehittää mahdollisimman vakioidulle tuotealus-talle. Teollisuusrakentamisessa lähtökohtaisesti tuotantoprosessi määrää rakennuksen koon, muo-don ja sisätilatarpeet.

Työ toteutetaan yhteistyössä konetekniikan opiskelijan kanssa, josta molemmat toteuttavat omat opinnäytetyöraportit. Työn yhteisenä osuutena yhteensovitetään kone- ja rakennustekniikan ko-konaisuuksia muodostamalla tuotanto layouteja. Tuotanto layoutilla tarkoitetaan tuotantotilan järjestelyä, eli miten laitteistot, työskentelypaikat, varastointitilat, kulkureitit sekä muu oleellinen on aseteltu tehdasrakennukseen.

Rakennustekniikan opinnäytetyön tavoitteena on toteuttaa alustava selvitystyö moduulipohjaista suunnittelua hyödyntävästä rakennuksesta, joka huomioi integraalisesti puukuitupakkaustuotan-tolinjat ja niiden oheisjärjestelmät sekä mahdolliset myöhemmät laajennukset. Toimeksiantaja kertoo verkkosivuillaan tavoitteekseen tulla asiakkaiden palvelussa maailman parhaaksi työskente-lemällä asiakkaiden lähellä ja sitoutumalla päivittäin asiakkaan menestyksen edistämiseen. Jotta toimeksiantaja voisi tulevaisuudessa olla maailman paras asiakkaiden palvelemisessa, selvitetään toimittaako toimeksiantaja tulevaisuudessa automaation ja teknologian lisäksi myös ympäröivän rakennuksen. Työssä pyritään löytämään tuotanto layouttien avulla konseptille soveltuvin raken-nus. Nelikenttämenetelmän eli SWOT-analyysin avulla selvitetään konseptin vahvuudet, heikkou-det, mahdollisuudet ja uhat.

Työn keskeisin tutkimuskysymys on, onko toimeksiantajan järkevää toimittaa asiakkailleen jatkos-akin pelkät koneet vai pitäisikö koneiden lisäksi toimittaa ympäröivä rakennus? Työssä etsitään

alustavaa arviota kysymyksen vastaukselle. Taustalla oleva iso tutkimuskysymys jaettiin pienempiin kysymyksiin. Näiden kysymysten kautta selvitettiin, millainen on soveltuvin rakennus tälle konseptille.

- Miten tilantarvetta saadaan helpoiten lisättyä?
- Miten teollisuusrakennus tulee toteuttaa?
- Mitä täytyy huomioida ja minkälaisia vaatimuksia kohdistuu teollisuusrakentamiseen?
- Minkälaisiin moduuleihin eli tilakokonaisuuksiin rakennus kannattaa jakaa?

## 1.1 Toteutus ja rajaus

Työtä lähdettiin toteuttamaan laadullisella eli kvalitatiivisella otteella. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tutkimusongelmaa pyritään ratkaisemaan ymmärtämällä ilmiötä työn kohteena olevien henkilöiden näkökannasta (Juuti & Puusa 2020, 11). Laadullisessa tutkimuksessa sovelletaan hermeneutiikan teoriaa tulkinnasta, aiheesta kirjoitetaan jo aiemmin tutkitun aineiston pohjalta. Aiheeseen pyritään luomaan uusia näkökulmia. (Juuti & Puusa 2020, 14.) Kun kyseessä on alustava selvitystyö, niin kvalitatiivinen tutkimus sopii hyvin, koska aiheesta ei ole vielä paljon tietoa.

Laadullisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelminä käytettiin olemassa olevana aineistona eli sekundääriaineistona erilaisia dokumentteja, kuten kuvia, tallenteita ja verkkosivuja. Tutkimusongelmaa varten kerättyä primääriaineistona käytettiin havainnointia sekä puolistrukturoitua teemahaastattelua, jota lähestyttiin kokemusperäisellä etnografisella näkemyksellä. Havainnoinnin kohteena oli koelaitos. Puolistrukturoidussa teemahaastattelussa kysymykset laaditaan etukäteen, jotka esitetään haastateltaville suhteellisen samassa muodossa. Kysymyksiin ei ollut tarkoitus saada suoria vastauksia, vaan enemmän johdatella aiheeseen käymällä avointa keskustelua. (Kananen 2015, 76.) Haastattelut toteutettiin haastateltavien työaikana ja haastattelut veivät aikaa noin yhden tunnin. Ensimmäisen kysymysrunгон haastattelu toteutettiin ryhmähaastatteluna ja toinen kysymysrunko yksilöhaastatteluna.

Tutkimusongelmien pohjalta laadittiin kaksi erilaista kyselyrunkoa (liite 1 ja liite 2). Haastatteluilla lähdettiin selvittämään erilaisia asioita riippuen haastateltavan koulutuksesta. Ensimmäinen teemahaastattelu suoritettiin koelaitoksen vierailun yhteydessä. Haastattelu suoritettiin yhteistyössä

konetekniikan opiskelijan kanssa. Haastattelijoiden lisäksi haastatteluun osallistui 3 henkilöä, joiden koulutus on automaatio- ja paperitekniikan puolella. Toisen kyselyrunгон kysymykset esitettiin rakennuspuolen henkilöille. Haastateltaville lähetettiin etukäteen sähköpostilla kysymykset tustumista varten. Tavoitteena oli esittää kysymykset selkeinä ja yksinkertaisina.

Tuotanto layoutissa pyritään mahdollistamaan materiaalivirran tehokkuus, jotta raaka-aineet eivät kulje pitkiä matkoja eivätkä edestakaisin. Tuotannon layout voidaan jakaa funktionaaliseen eli prosessilähtöiseen layoutiin, solulayoutiin, tuotelähtöiseen layoutiin, tuotantolinjaan ja virtautettuun layoutiin. Työtä toteutettiin tuotelähtöisellä layoutilla, missä suunnittelu tapahtuu päätuotteiden valmistusjärjestystä noudattaen sekä tuotantolinjan mukaisesti, missä pakkohtainen linja tuottaa samankaltaisia tuotteita suurella volyymilla. (Tuotannon layout n.d.)

Aineistoa lähdettiin analysoimaan sisällönanalyysimenetelmällä, joka on yksi perusanalyysimenetelmistä kvalitatiivisessa tutkimuksessa. Tuomi ja Sarajärvi (2002, 105) mukaan aineistoa eritellään sisällönanalyysissä etsien siitä yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia. Aineistoa tiivistetään samaan aikaan. Sisällönanalyysi on diskurssianalyysin tapaan tekstianalyysiä, jossa tutkittu aineisto on tekstimuotoisena olemassa jo entuudestaan. Aineistona voidaan käyttää haastattelua, nauhoitettua puhetta ja kirjoitettua tekstiä. Tavoitteena on luoda selkeä sanallinen kuvaelma tutkittavasta ilmiöstä.

Alustava selvitystyö rajautuu Ympäristöministeriön asetuksiin ja ohjeisiin. Työssä ei ole huomioitu ulkomaille rakentamisen vaatimuksia, koska jokaisella maalla on oma lainsäädäntönsä. Toimeksiantajan liiketoiminnan ulottuessa yli 30 maahan, työn tarkastelualue laajenisi huomattavasti. Suomen ulkopuolelle rakennettaessa tarkasteluun täytyisi lisätä esimerkiksi seismiset alueet sekä erilaiset sääolosuhteet kuten hurrikaanit ja muut hirmumyrskyt. Suomessa rakennukset täytyy mitoittaa lumikuormille, mikä ei ole puolestaan tarpeellista jossain muussa maassa.

Työtä lähestytään rakennussuunnittelun näkökulmasta, eikä tässä syvennyttä mitoituksen periaatteisiin laskemalla rakennukselle kuormia ja rasituksia. Kuormien ja rasitusten mitoittamisen edellytyksenä tiedossa tulisi olla rakennuksen tarkka sijainti. Lumi- ja tuulikuormat vaihtelevat Suomesakin alueittain. Työn tuloksena syntyy tilakokonaisuuksia, joiden kautta asiakas pystyy muodostamaan rakennuskokonaisuuden. Tilakokonaisuuksille ei ole olemassa valmiiksi määrättyä

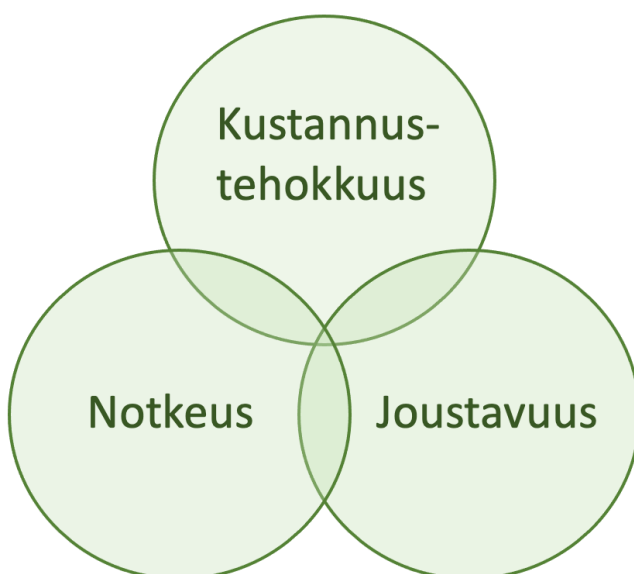


sijaintia, joten senkään vuoksi mitoittaminen ei ole tässä mahdollista. Työ sisältää vähän taloudellista tarkastelua, mutta tässä ei lasketa konkreettisia kustannusarvioita konseptille. Työssä selostetaan mitkä asiat vaikuttavat kustannuksiin.

## 2 Moduulirakentaminen

Modulaarisuuden suunnittelu tulisi aloittaa aina asiakkaasta. Moduuliratkaisua mietittäessä täytyy pohtia, mitä lisäarvoa se tuo asiakkaalle. Pyritään löytämään mahdollisimman joustava vaihtoehto, joka vastaa monen asiakkaan tarpeisiin. Modulaarisuuden perimmäisenä ajatuksena on luoda joustavia moduuleita, joista pystytään luomaan useita erilaisia kokoonpanoja. Modulaarisuudessa halutaan suunnitella konfigurointia, kierrätettävyyttä ja uudelleen käyttöä sekä varautumista tulevaisuuden kehitykseen. Erilaiset moduulivariaatiot pidetään minimissä, jotta niitä on helppo kehittää ja hallita. Kustannustehokkuus lisääntyy, kun ei ole liikaa erilaisia vaihtoehtoja. Vähäisten moduulivaihtoehtojen lisäksi moduulit halutaan suunnitella uudelleen hyödynnettäväksi.

Taloudellisesta näkökulmasta moduulientuotannossa pitäisi mahdollistaa niiden kierrättäminen ja uusiokäyttö. Notkeus puolestaan mahdollistaa teknologian kehittymisen, jotta pystytään vastaamaan nykyajan ja tulevaisuuden tarpeisiin. Suunnittelussa huomioidaan itse moduulin lisäksi sen liittymäkohdat toiseen moduuliin. Moduulien avulla vähennetään tilauskohtaista suunnittelua ja moduulit pyritään tekemään sopivaksi mihin tahansa kohteeseen. (Martin n.d.; Strömberg n.d.)



Kuvio 1 Modulaarisuuden jakaminen

Moduulirakentamista hyödynnetään silloin kun pitkällä aika välillä rakennuksen käyttötarvetta ei osata täysin arvioida tai kun tilan tarve on vaihtelevaa. Moduulirakentamisella voidaan tarkoittaa elementtirakentamista. Tässä työssä moduulilla tarkoitetaan tilakokonaisuutta. Elementit voivat olla valmiita tilaelementtejä tai yksittäisiä esimerkiksi seinä- tai kattoelementtejä. Tilaelementti tarkoittaa rakennusta, joka kootaan tehtaalla valmiiksi erillisistä tilayksiköistä. Tilaelementti koostuu yleensä alapohjasta, yläpohjasta ja seinistä. (Runkojärjestelmät 2020.)

Moduulit suunnitellaan joustaviksi. Perinteinen rakentaminen voi viedä useita kuukausia ja moduulirakentamisen kautta rakentamiseen kuluva aika saadaan supistettua murto-osaan. Moduulirakentaminen säästää aikaa ja lisää rakennuksen laatua. (When to consider modular building systems n.d.) Moduulirakentaminen tekee työskentelystä turvallisempaa, koska yksittäiset elementit ja tilaelementit valmistetaan kuivissa sisätiloissa, jolloin lämpötila on optimaalinen eikä sääolosuhteet vaikeuta työskentelyä. (Tilat ja talot syntyvät nyt turvallisesti tehtaassa – elementtirakentaminen yleistyy vauhdilla 2021) Moduulirakentaminen on ympäristöystävällisempää ja säästää ympäristön lisäksi materiaalien määrää. Virheiden määrä pienenee ja työturvallisuus kasvaa moduulijattelun ansiosta. Tehtaalla valmistettujen moduulien hyötynä on, etteivät rakenteet altistu ulkoilman säärasituksille ja -olosuhteille. Kosteus ei pääse sisätiloissa vaikuttamaan rakenteisiin, kun verrataan perinteiseen työmaalla rakentamiseen. Olosuhteet ei kuitenkaan aina toteudu käytännössä, koska esimerkiksi betonielementtejä varastoidaan toisinaan ulkona.

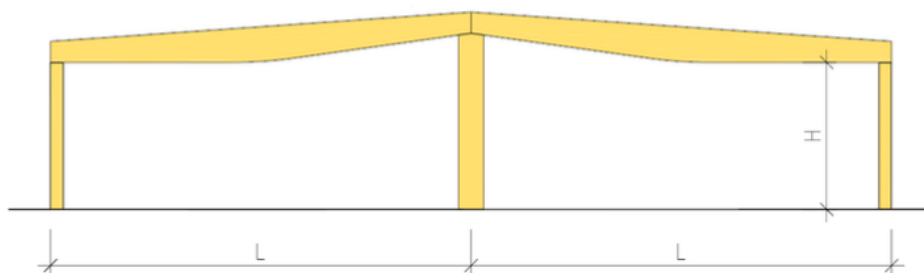
Tehtaalla elementtiin asennetaan valmiiksi kalusteet, ikkunat ja LVIS-varustus sekä pinnat viimeistellään valmiiksi. Tilaelementin kantavan rakenteen toteutustapaan löytyy useita eri vaihtoehtoja, esimerkiksi kehärakenne, pilari-palkkiteknikka tai laattamaiset suurelementit. Laattamaiset suurelementit ovat joko massiivipuulevyä tai rankarakenteisia. (Runkojärjestelmät 2020.) Työmaalla hoidettavaksi jää enää tilaelementtien kytkennät, putkitukset ja aluekaapeloinnit.

## 2.1 Laajennettavuus

Laajennettavuus on merkittävä huomioitava asia tässä selvitystyössä. Rakennuksen laajennettavuus määritellään ominaisuudeksi, joka mahdollistaa uusien tilojen merkittävän kasvattamisen, lisäämisen tai huomattavan parantamisen suorituskyvyssä. Laajennettavuus tarjoaa mahdollisuuden kasvattaa tilaa horisontaalisessa tai vertikaalisessa suunnassa. Jos laajentaminen tapahtuisi

vertikaali eli pystysuunnassa, tulisi ottaa huomioon kantavien rakenteiden kapasiteetti sekä perustusten suunnittelu. Horisontaalisessa eli vaakasuuntaisessa laajentamisessa täytyy huomioida seinien purettavuus joko kokonaan tai osittain. (Ala-Kotila & Häkkinen 2019, 12.) Horisontaalisessa laajentamisessa yksilaivainen rakennus voitaisiin muuttaa kaksilaivaiseksi. Kuviossa 2 on esitetty kaksilaivainen rakennus, joka koostuu kahdesta hallista ja joiden välissä kulkee pilarilinja. Kolmilaisessa hallissa puolestaan keskellä kulkee kaksi pilarilinjaa kuvion 3 mukaisesti.

Laajennettavuuden näkökulmasta rakennus tulisi asemoida tontille niin, että tarvittavien tilojen laajentaminen on myöhemmin mahdollista. Horisontaalisessa suunnassa tapahtuva laajentaminen on siinä mielessä järkevin vaihtoehto, koska tehdasrakennus sisältää painavia koneita ja se vaatii paljon, niin rakennukselta kuin sen suunnittelulta. Rakenteiden pitää pystyä kantamaan merkittävää kuormaa, mikä näkyy kustannusten kasvamisena. Kaksi tai useampi kerroksisessa rakennuksessa tulisi huomioida myös kuljetuskaluston esimerkiksi trukkien siirtäminen toiseen kerrokseen. Vertikaalisuuntaista laajentamista voidaan pitää vaihtoehtona, koska tontilla ei ole loputtomasti tilaa ja ylöspäin on mahdollista laajentaa. Laajentamiseen voidaan varautua esimerkiksi tekemällä leveämmät anturat. Anturoiden koon suurentaminen ei ole aina vaihtoehto, koska perustamistapa määräytyy maaperän kantavuuden ja siihen kohdistuvan kuorman perusteella. Paalujen varaan perustetaan yleensä silloin, kun maaperän kantavakerros on yli viiden metrin syvyydessä (Paaluperustukset n.d.).



#### **MASTOPILARIT + MAHAPALKIT**

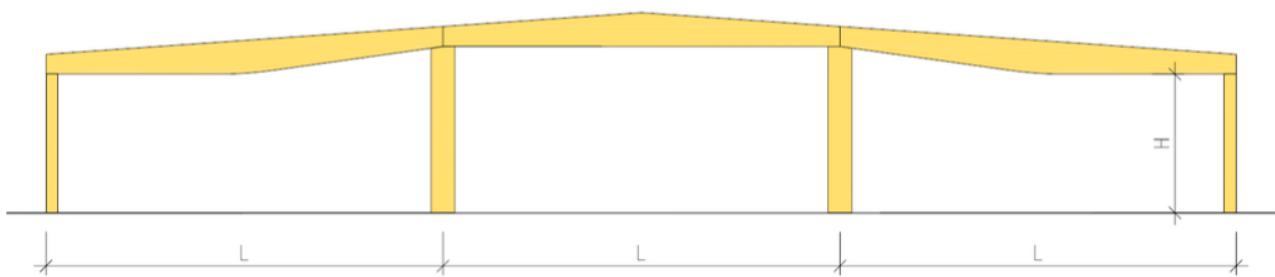
##### **Suositusmitat**

L = 16...24 m

H = max 6 m

Kehäjako 4,8...18 m

Kuvio 2 Kaksilaivainen halli (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 5)



**MASTOPILARIT + MAHAPALKIT + HARJAPALKKI**

**Suositusmitat**

L = 16...24 m

H = max 6 m

Kehäjako 4,8...18 m

Kuvio 3 Kolmilaivainen halli (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 5)

## 2.2 Muuntojoustavuus

Muuntojoustavuus käsitteenä tarkoittaa yleensä rakennuksen tai tilan käyttötarkoituksen muuttamista esimerkiksi toimistorakennuksesta asuinrakennukseksi. Muuntojoustavuuden strategiat voidaan myös jakaa Celluccin mukaan kooltaan muutettavan tilan joustavuuteen, muuttumattoman tilan tilalliseen joustavuuteen, helppoon ylläpidettävyyteen, tekniseen joustavuuteen asentamisessa ja rakenteisiin liittyvään tekniseen joustavuuteen. Tarpio (2015, 17) jakaa muuntojoustavuuden käsitteen muunneltavuuteen ja monikäyttöisyyteen. Muunneltavuus tarkoittaa kohteen muuttamista rakennusteknisin muutoksin, kun taas monikäyttöisyys on tilan mukautumista uusiin tarpeisiin ilman rakennusteknisiä muutoksia.

Muuntojoustavuus on otettava heti alusta asti huomioon suunnittelussa, koska mahdolliseen muuntojoustoon vaikuttaa rakennuksen perusrakenne, vapausasteet sisätilojen asettelemisessa, talotekniikan sijoitus, tilankäytön tehokkuus, rakennuksen asemointi, tilojen koko ja rakenne, tilojen monikäyttöisyyden mahdollistaminen sekä niiden määrän ja koon määrittäminen uudelleen. Suunnittelutyössä korostuu pohjaratkaisut, kulkuyhteydet, rakentamisen ja purkamisen keinot, materiaalien liitokset, talotekniikan sijoitus sekä kantavat ja ei-kantavat rakennetyypit. (Ala-Kotila & Häkkinen 2019, 13.)

Rakennuksen ja sen osien joustavuudessa tulee huomioida muun muassa ikkunoiden sijoittaminen ja äänieristystasot. Rakennusteknisten asioiden lisäksi täytyy huomioida muun muassa jäähdytys-, ilmastointi-, lämmitys-, viemäri- ja vesi-, turva-, automaatio- ja ohjausjärjestelmät, sähköasennukset sekä varusteet. Rakennusvaiheessa muuntojoustavuuden kustannukset voivat mahdollisesti olla vain murto-osan muutosvaiheen kustannuksista. Rakenneteknisin keinoin pystytään vaikuttamaan hyvin rakennuksen muuntojoustavuuteen. Kantavia pystyrakenteita eli pilareita ja seiniä tulisi sijoittaa mahdollisuuksien mukaan harvakseltaan, jotta kustannukset ovat edulliset muuntojoustavuuden kannalta. Vaakarakenteita ajatellen on suositeltavaa ennakoida paremman ääneneristävyyden ja palonkestävyyden tarvetta sekä kantokyvyn kasvattamista. Rakenteiden ylläpitäminen ei ole tehokasta kestävä kehityksen ympäristö- ja talousnäkökulmaa tarkasteltaessa. Tämän vuoksi suunnittelijalta vaaditaan paljon muuntojoustavuuden ennakkoinnin suhteen. (Muuntojoustavuus n.d.)

Kantavien väliseinien puuttumisen ansiosta teräsrunkoinen rakennus on muunneltavissa suunnittelu-, rakentamis- ja käyttövaiheiden aikana. Rakennuskomponenttien kuten ikkunoiden, ovien ja muiden rakennusosien suunnittelulle, sijoittamiselle ja asentamiselle ei synny rajoituksia. Putkivedot ja muut asennukset eivät vie ylimääräistä tilaa, kun ne tehdään pilareiden uumien ja kannattimien läpi. (Koski 2010, 121.) Terästä käytettäessä laajentaminen on vähäkustanteista ja suhteellisen helppoa pituus-, korkeus- ja leveyssuunnassa (Koski 2010, 121).

## 2.3 Purettavuus

Rakenteiden purettavuudesta ISO/DIS 20887 luokittelee periaatteet purkamisen turvallisuuteen, järjestelmien ja komponenttien helppoon saatavuuteen, osien standardinmukaisuuteen, yksikeräisyyteen ja riippumattomuuteen sekä turhien pinnoitteiden ja pintakäsittelyiden välttämiseen. Eurooppalaisen *Buildings as material banks* (BAMB) – hankkeen keskeisenä ajatuksena on kierrätyksen suunnittelu. Jos purkamisen yhteydessä syntyy jätettä, se luokitellaan suunnitteluvirheeksi. Suunnittelun strategiana mahdollistetaan osien täydellinen tai osittainen purkaminen ilman vaurioita. Purettavuuden kannalta tärkeää on osien saavutettavuus. Helppo saavutettavuus tarkoittaa BAMB – hankkeen mukaan korjattavien tai vaihdettavien osien tavoittamista niin, että ympäröiviin tai läheisiin rakenteisiin syntyy mahdollisimman vähän vaikutusta. (Ala-Kotila & Häkkinen 2019, 14.) Tuotantorakennus sisältää isoja koneita, joten pääsyreitien suunnittelussa täytyy ottaa huomioon komponentin vaihtoon ja korjaamiseen sekä vaadittavien laitteiden ja työkalujen tarvitsema

työtila. Esimerkiksi betonielementtirakenteiden suhteen, ne pystytään purkamaan ja siirtämään täysin ehjänä uuteen paikkaan, jos ne on koottu hitsaus- tai pulttiliitoksin (Betoni rakenteita voidaan kierrättää 2020). Suunnittelu vaiheessa pitäisi olla tiedossa myöhemmin purettava ja laajennettava seinä, jotta sen kohdalle ei sijoiteta tekniikkaa kuten kaapeleita ja putkistoja.

### **3 Tilavaatimukset**

Tehdasrakennuksen tiloille syntyy erilaisia käyttövaatimuksia, kuten toimisto- ja valvontatilojen äänieristysvaatimukset. Tiloja suunniteltaessa tulee huomioida, mitä rajoitteita syntyy erilaisista toiminnoista. Kokonaistilankäyttöä lähdettiin suunnittelemaan valmiiksi annettujen neliöarvioiden mukaan.

#### **3.1 Tuotantotilan toiminnot**

Puukuitumuottikoneen myöhemmän laajentamisen vuoksi rakennuksessa pitää myöskin huomioida tilavaraukset. Koneen ympärille täytyy jättää riittävästi tilaa huoltotoimenpiteille ja muotin vaihdolle. Koneet toimitetaan konepareina, koska toinen on niin sanotusti vasenkätinen ja toinen oikeakätinen. Koneparia kohden tarvitaan kolme vaahtosäiliötä. Tilan tehokkaan hyödyntämisen vuoksi vaahtosäiliöt on hyvä asemoida koneparin väliin. Ruuvipuristimia tarvitaan myös kolme ja ne on mahdollista sijoittaa vaahtosäiliöiden päälle. Hallin koko on sen verran suuri, joten mahdolliset pilarit kannattaa rakentaa vaahtosäiliöiden väliin, jotta ne olisivat mahdollisimman vähän tiellä koneen huoltotoimenpiteitä tehdessä.

Onnettomuuskuormat tarkoittavat törmäyksestä ja räjähdyksistä aiheutuvaa kuormaa. Rakennuksessa käytetään trukkia, pumppukärryä ja mobiilinostinta. Kuljetuskaluston myötä tulee huomioida alapohjaan kohdistuvat kuormat. Seinät ja pilarit täytyy mitoittaa onnettomuuskuormien varalta, jos esimerkiksi trukilla törmätään vahingossa seinään. Materiaalien kautta voidaan vaikuttaa jossain määrin rakenteiden kestävyyskykyyn.

Rakenneosia ja kokonaisuutta mitoittaessa ja suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon nosturiratojen aiheuttamat dynaamiset kuormitukset. Nosturiratojen tuenta tapahtuu betonikonsolien varassa. (Teollisuus- ja varastorakennukset 2020.) Siltanosturi lisää rakentamisen kustannuksia ja se

edellyttää entistä kantavampia rakenteita. Siltanosturi vie katon rajassa tilaa tekniikalta kuten sähkökaapeleilta ja putkistolta. Siltanosturin asentaminen jälkikäteen ei ole järkevää eikä kustannustehokasta. Siltanosturin takia rakennuksen korkeutta pitäisi kasvattaa, joka vaikuttaa suoraan kustannuksiin. Modulaarisen ajattelun kannalta se ei ole kannattavaa. Moduuleita pitäisi mitoittaa vaihtoehdolle, jossa ei ole siltanosturia ja puolestaan vaihtoehdolle, jossa on siltanosturi. Joku asiakas voi haluta siltanosturin, kun joku toinen taas ei koe sille tarvetta. Konseptin kannalta on helpompi, kun asiakkaalle ei tarjota siltanosturia.

Tehdasrakennukseen tarvitaan lastauslaituri, jonka sijainti on merkittävä tekijä toiminnan tehokkuuden ja varaston toimivuuden kannalta. Lastauslaiturin sijaintiin vaikuttaa sekä rakennuksen että tontin muoto ja koko. Vaihtoehtoja on useita maantiekalustolle tarkoitetuissa lastauslaitureissa. Laituripaikat voivat olla joko suoria tai viistoja. Ajoneuvot ovat laiturilla vierekkäin ja niiden perä on laituria vasten suorissa laituripaikoissa. Ajoneuvojen paikat ovat puolestaan viistossa vinoissa laituripaikoissa. Sahanterälaituria käytetään vinoissa laituripaikoissa, joka on suoriin laituripaikkoihin verrattuna säästää tehokkaammin tilaa. Pakkauksen käsittely on kampalaitureissa mahdollista sekä sivulta, että perästä syvien ajoneuvopaikkojen vuoksi, jolloin laituri ulottuu myös ajoneuvon sivulle. Erillisten lastauslaitureiden sijaan suosittu vaihtoehto on hoitaa lastinkäsittely sisätiloissa käyttäen tiiviitä oviaukkoja. Tässä tapauksessa ajoneuvon lastitila on samassa korossa varaston lattiapinnan kanssa. Maantiekaluston sijaan voidaan käyttää myös rautatievaunuille tarkoitettuja lastauslaitureita. Tällöin lastauslaituri voi olla joko ulkona tai sisätiloissa, sisätilojen etuna lasti on suojassa sääolosuhteilta. (Lastauslaiturit n.d.)

### **3.2 Paloturvallisuus**

Rakennusten välinen etäisyyden on oltava 8 metriä. Jos etäisyys ei toteudu palon leviämisen rajoittamisesta täytyy huolehtia rakenteellisin keinoin. Palomuuria on käytettävä, jos toinen rakennus on niin lähellä, että palon leviäminen on todennäköistä. Rakennuksessa täytyy olla mahdollisimman pieni todennäköisyys palon syttymiselle. Tulipalo ja savu eivät saa aiheuttaa leviämisen vaaraa teknisten asennusten myötä. Tulen syttymisen mahdollisuudet on myös minimoitava. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017.)

Paloluokat jaetaan P0, P1, P2 ja P3. Palon leviäminen on estettävä palomuurilla, jos rakennuksen eri osat eivät kuulu samaan paloluokkaan. Tuotanto- ja varastotilojen toiminnot luokitellaan kahden palovaarallisuusluokkaan, luokan 1 toimintoihin, joiden palovaara on vähäistä tai kohtuullista sekä luokan 2 toimintoihin, joiden palovaara on huomattava tai suuri tai kohteessa voi ilmetä räjähdysvaara. Tuotanto- ja varastotilojen palokuorman määrittäminen tapahtuu kohdekohtaisesti. P3 luokan kohteessa rakennus saa olla pääosin enintään yksikerroksinen, toiseen kerrokseen saa sijoittaa toimintaan liittyviä tiloja enintään 200 m<sup>2</sup> osastoituna ja 50 m<sup>2</sup> osastoimatta. Rakennuksen korkeus saa olla enintään 9 metriä ja kerrosalalle ei ole annettu rajoituksia. P2 luokassa yksi kerroksisten rakennusten ja palovaarallisuusluokan 2 tuotanto- ja varastorakennuksia koskee muuten samat määräykset kuin P3 luokassa, mutta korkeudelle ei ole asetettu rajoituksia. P2- ja P3-paloluokan henkilömäärälle annetut rajoitukset on esitetty alla olevassa taulukossa. P3 luokan rakennuksen henkilömäärä on rajattu 50 rakennuksen ollessa kaksikerroksinen. Rakennuksessa saa olla 100 henkilöä, jos rakennus on varustettu sprinklerillä eli automaattisella sammutuskalustolla. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017.)

Rakennuksen paloluokka	P2	P3			
			yli 2 kerrosta *	1	2
Kerroksia	1	2			
<b>Käyttötarkoitus</b>					
Asunnot, henkilöitä	ei rajoitusta	ei rajoitusta	1 000	250 (500 *)	150 (250 *)
Majoitustilat, majoituspaikkoja	150 (300 *)	50 (100 *)	500	50 (100 *)	10
Hoitolaitokset, hoitopaikkoja	100 (200 *)	25 (50 *)	150	10 (25 *)	ei sallittu
Kokoonntumis- ja liiketilat, henkilöitä	ei rajoitusta	250 (500 *)	1 000	500 (1 000 *)	50
Työpaikkatilat, henkilöitä	ei rajoitusta	ei rajoitusta	1 000	250 (500 *)	150
Tuotanto- ja varastotilat, henkilöitä	ei rajoitusta	50 (100 *)	ei sallittu	ei rajoitusta	ei sallittu

Taulukko 1 P2- ja P3-luokan rakennuksen sallitut henkilömäärät (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017)



P0-paloluokkaan kuuluvan rakennuksen tai suunnitelmaan perustuvan lupahakemuksen henkilömäärää ja palokuormaa koskevat tiedot on ilmoitettava rakennuslupapäätöksessä, jos henkilömäärä on tavanomaista vähäisempi tai palokuorma on epätavallisen vähäinen rakennuksen koon nähden. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017.)

Sortumavaaraa ei saa aiheutua määrättyyn aikaan palon alkamisesta rakennuksessa tai sen osissa. Rakennuksen ja sen osien on palokuorman palamisen ja jäähtymisen ajan kestettävä ilman sortumista, mikäli se on tarpeellista vahinkojen suuruuden ja henkilöturvallisuuden vuoksi. Mitoituksen perustuessa luokitukseen, rakenteiden luokkavaatimuksissa R tarkoittaa kantavuutta, I eristävyyttä, E tiiviyyttä ja numero perässä kuvaa aikaa minuutteina. Yksikerroksinen tuotanto- ja varastorakennus P1-paloluokassa palokuorman ollessa yli 1200 MJ/m<sup>2</sup> vaatimus on R60. P2-paloluokassa vaatimus on myös R60 kun, palokuorma on joko 600-1200MJ/m<sup>2</sup> tai alle 600MJ/m<sup>2</sup>. Vaatimus on R30 tai R15, A2, jos tuotanto- ja varastorakennus on varustettu automaattisella sammutuskalustolla. A2 kantavien rakenteiden on oltava A2-s1, d0-luokkaa. Kantavien rakenteiden mitoituksen perustuessa oletettuun palonkehitykseen, käytetään alla olevaa taulukkoa. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017.)

Rakennus	Rajoitukset	Olellaisten kantavien rakenteiden kestävyys palossa	Mitoituspalokuormantiheys MJ/m <sup>2</sup>
1-kerroksinen, yleensä	Korkeus enintään 9 m	30 minuuttia ilman jäähtymisvaihetta	$Q_{fi,k}$
1-kerroksinen, yleensä	Korkeus yli 9 m	60 minuuttia ilman jäähtymisvaihetta	$Q_{fi,k}$
1-kerroksinen, – majoitustila– hoitolaitos– kokoontumis- ja liiketila	Yli 50 paikkaaYli 25 paikkaaYli 250 henkilöä	60 minuuttia ilman jäähtymisvaihetta	$Q_{fi,k}$
2-kerroksinen, yleensä	Korkeus enintään 9 m	30 minuuttia ilman jäähtymisvaihetta	$Q_{fi,k}$ , vähintään 600 MJ/m <sup>2</sup>
2-kerroksinen, yleensä	Korkeus yli 9 m	60 minuuttia ilman jäähtymisvaihetta	$Q_{fi,k}$ , vähintään 600 MJ/m <sup>2</sup>

Taulukko 2 Palonkehitykseen perustuva mitoitus kantavissa rakenteissa (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017)

Jos rakennuksen pinta-ala, kerrosluku tai korkeus sitä edellyttää, niin se on jaettava palo-osastoihin. Palo-osastoinnin avulla estetään tulipalon ja savun leviäminen, mahdollistetaan turvallinen poistuminen sekä helpotetaan pelastus- ja sammutushenkilöstön toimia. Palo-osaston kokoa rajoitetaan pinta-alaosastoinnissa siten, ettei palo aiheuta merkittäviä vahinkoja. Kuviossa \* tarkoittaa, että rakennus on varustettu tarkoituksen mukaisella automaattisella sammutuskalustolla.<sup>1)</sup> kuvaa rakennusta, joka on varustettu tarkoituksenmukaisella automaattisella sammutuskalustolla.<sup>5)</sup> tarkoitetaan tehokkaan sammutustyön aloittamista tarpeeksi varhaisessa vaiheessa sekä tilan varustamista paloilmoittimella, joka on kytketty hätäkeskukseen. Tässä tapauksessa palo-osaston pinta-alaa voidaan suurentaa enintään puolella. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017.)

Tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 1	P1	P2 yli 2 krs. <sup>1)</sup>	P2 1–2 krs.	P3
– 1-kerroksinen, yleensä	6 000 <sup>5)</sup> (60 000 *)	ei mahd.	4 000 <sup>5)</sup> (36 000 *)	2 000 (12 000 *)
lämmöneristämätön rakennus	12 000 (60 000 *)	ei mahd.	12 000 (36 000 *)	12 000
kasvihuone	24 000 <sup>5)</sup>	ei mahd.	24 000 <sup>5)</sup>	24 000 <sup>5)</sup>
– 2-kerroksinen	4 000 <sup>5)</sup> (24 000 *)	ei mahd.	2 000 <sup>5)</sup> (12 000 *)	ei sallittu
– yli 2-kerroksinen	3 000 (9 000 *)	ei sallittu	ei mahd.	ei mahd.
<b>Tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 2</b>				
– 1-kerroksinen	2 000 <sup>5)</sup> (12 000 *)	ei mahd.	1 000 <sup>5)</sup> (6 000 *)	2 000 *
– yli 1-kerroksinen	1 000 (6 000 *)	ei sallittu	ei sallittu	ei sallittu

Taulukko 3 Käyttötarkoituksen mukaisen palo-osastoinnin enimmäisala (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017)

Alla olevan taulukon luokkavaatimuksia sovelletaan osastoivissa rakennusosissa. Rakennusosa, joka täyttää kokonaan tai osittain vaatimukset pelkästään tiiviiden E osalta voidaan myös hyväksyä osastoivaksi rakennusosaksi. Siinä tapauksessa henkilöille ei voi aiheutua vaaraa rakennuksesta poistuttaessa eikä palo saa levitä vaaditun ajan kuluessa toiseen palo-osastoon. Palo ei saa levitä

osasto toiseen määrättyä aikana, joten rakennusosan sekä sen laitteiden ja varusteiden täytyy estää palon leviäminen. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017.)

	Rakennuksen paloluokka ja kerrosluku sekä palokuormaryhmä MJ/m <sup>2</sup>					
	P1	P2 yli 2 kerrosta	P2 1–2 kerrosta	P3		
	yli 1 200	600– 1 200	alle 600	–	–	–
<b>Kerrokset, yleensä</b>	EI 120 <sup>1)</sup> (EI 60 *)	EI 90 <sup>1)</sup> (EI 60 *)	EI 60 <sup>1)</sup>	EI 60 <sup>2)</sup>	EI 30	EI 30
– yli 56 metriä korkea rakennus	EI 90, A2 *	EI 60, A2 *	EI 60, A2 *	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.
– yläpohja, jos osastoivuusvaatimus	EI 60	EI 60	EI 60	EI 60 <sup>2)</sup>	EI 30	EI 30
– tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 1, pinta-alaosastointi	EI-M 90, A1(EI-M 60, A1 *)	EI-M 90, A1(EI-M 60, A1 *)	EI-M 90, A1(EI-M 60, A1 *)	ei mahd.	EI-M 90, A1(EI- M 60, A1 *)	EI-M 90, A1(EI- M 60, A1*)
– tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 2, pinta-alaosastointi	EI-M 120, A1(EI- M 60, A1 *)	EI-M 120, A1(EI-M 60, A1 *)	EI-M 120, A1(EI-M 60, A1 *)	ei mahd.	EI-M 120, A1(EI- M 60, A1 *)	EI-M 60, A1 *

Taulukko 4 Luokkavaatimukset osastoivissa rakennusosissa (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017)

Mahdollisten läpivientien kuten johtojen, putkien ja kuljetinlaitteistojen kulkiessa osastosta toiseen, ne eivät saa heikentää osastoivuutta. Ilmanvaihtojärjestelmä ei saa aiheuttaa vaaraa tulipalon ja savun leviämisen suhteen. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017.)

Tuotanto- ja varastotilat	Pinta	P1	P2	P3
– palovaarallisuusluokka 1	seinät	D-s2, d2	D-s2, d2 <sup>4)</sup>	D-s2, d2
	katot	D-s2, d2	B-s1, d0	D-s2, d2
	lattia	D <sub>FL</sub> -s1	D <sub>FL</sub> -s1	–
– palovaarallisuusluokka 2	seinät ja katot	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
	lattiat	A2 <sub>FL</sub> -s1	A2 <sub>FL</sub> -s1	A2 <sub>FL</sub> -s1

Taulukko 5 Luokkavaatimukset sisäpuolen pinnoissa (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017)

### 3.3 Äänieristystä vaativat tilat

Äänieristystä vaativia tiloja ovat valvomo, toimisto, neuvotteluhuone, laboratorio ja sosiaalitilat. Äänieristetyt tilat pystytään hyvin toteuttamaan modulaarisella ajattelulla elementeistä kasaa-malla. Tilojen äänieristystä rakentaessa tulee huomioida seinien, lattian, katon ja läpivientien ää-nieristys. Villa on useimmiten käytetty äänieristysmateriaali. Villa ei vielä yksin riitä torjumaan ääntä, vaan molemmin puolin laitetaan esimerkiksi kipsi- tai teräslevyt. Tehokas äänieristys saa-daan hyödyntämällä samaa rakenneratkaisua koko tilassa. Muutaman millin kokoinen rako voi vai-kuttaa äänieristävytyteen heikentävästi jopa yli kymmenellä desibelillä, joten läpivienteihin ja sau-mauksiin tulee kiinnittää erityistä tarkkuutta. Meluloukkuja tai melukoteloita pitää käyttää läpivienneissä. (Äänieristetty valvomo suojaa työntekijöitä ja lisää viihtyvyyttä 2019.) Käyttötär-peen muuttuessa modulaarisesti toteutetut valvomot voidaan siirtää, laajentaa ja pienentää vai-vatta. Pulpperit voi olla hyvä sijoittaa melun vuoksi omaan tilaan ympäröimällä ne äänieristyssei-nillä. Pulpperilla tarkoitetaan säiliötä, johon voidaan syöttää esimerkiksi sellupaaleja. Säiliöön lisätään vettä, jolloin pulpperin siipipyörä sekoittaa tuotteista massaa. Koko rakennuksen äänieris-tys tulee toteuttaa niin, että tuotantoprosessin melu ei kantaudu rakennuksesta ympäristöön.

### 3.4 Kemikaalien varastointi

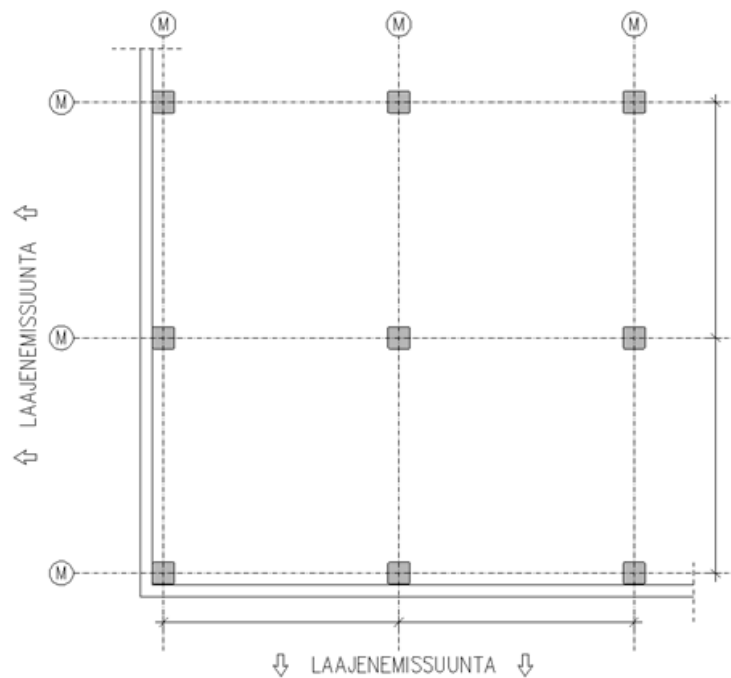
Kemikaalivarastoinnin säädösten noudattamisesta vastuussa on tuotantolaitos. Jos kemikaalien vaaroja ei voi poistaa kokonaan, täytyy varautua mahdollisiin onnettomuuksiin. Kemikaalivarasto pitää sijoittaa alueelle, joka on suunniteltu teollisuus- ja varastotoimintaan. Seveso-direktiivin mukaan kemikaalivarasto sijoitetaan erilleen varsinaisesta tuotantolaitoksesta. Kemikaalivaraston tulee olla riittävän kaukana ja miettiä sen sijoittamista myöskin tehtaan myöhempien laajennusten näkökulmasta, jotta riittävä etäisyys säilyy. (Tuotantolaitosten sijoittaminen 2015.)

Rakennus ja rakenteet täytyy suunnitella ja toteuttaa niin, että räjähdys, tulipalo tai kemikaalipäästö ei aiheuta merkittävää vaaraa rakennuksessa oleville sekä sen seuraukset rajataan vähäisiksi. Tilat, joissa varastoidaan, valmistetaan tai käsitellään vaarallisia kemikaaleja, varustetaan merkinnöillä, joita onnettomuustilanne edellyttää. Rakennuksen suunnittelussa on otettava huomioon turvallinen poistuminen vaaratilanteissa. (Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 2020, 4.) Räjähdykseen voidaan varautua suunnittelemalla rakenteet siten, että ne räjähtävä oikeaan suuntaan. Törmäysten ja räjähdysten aiheuttamia iskuja betonirakenne vaimentaa hyvin. Maanpäälliset väestönsuojat rakennetaan aina betonista. Rakennukselle ei ole aiheutunut sortumia räjähdysten sattuessa betonirunkoisissa rakennuksissa. (Betonin lujuus n.d.)

## 4 Rakennejärjestelmät

### Mittajärjestelmä

Rungon moduuliverkkoon nähden pilarit sijoitetaan tavallisesti keskeisesti. Tässä tapauksessa moduuliruudukon kokoon ei vaikuta rakennuksen mahdollinen laajentaminen. Rakennuksen reunapilarit, jotka ovat moduuliverkon reunoissa on mahdollista sijoittaa moduulilinjojen viereen. Rakennuksen reunapilareiden sijoittamisessa on mahdollisuus laittaa ne moduulilinjojen viereen. Silloin esimerkiksi ulkoseinäliitoksiin ei synny vaikutusta muuttuvista pilaridimensioista. Elementtisuunnittelun ja -valmistuksen helpottamiseksi suurissa rakennuskohteissa kannattaa turvautua yleisiin mittajärjestelmiin. Elementtien tuotannon nopeuttamiseksi ja edullisemman hinnan vuoksi standardimoduulimitoituksen avulla voidaan mahdollistaa vakioraudoitteiden ja muottikaluston käyttö. Koneiden ja laitteiden vaatima tila sekä käyttötarkoitus vaikuttavat korkeuden määrittämiseen teollisuus- ja varastorakennuksissa. (Teollisuus- ja varastorakennukset 2020.)



Kuvio 4 Pilareiden sijoittaminen moduuliverkkoon (Pilareiden sijoitus 2020)

### Pysty- ja vaakarakenteet

Pilarirunko on usein rakennuksen kantava pystyrakenne. Pilarien koko määritetään pilareiden mukaan, joille tulee eniten kuormaa. Poikkileikkaukseltaan pilarit ovat joko suorakaiteen tai neliön muotoisia. Pilareiden tulee yleensä kestää muun muassa rakenteiden vinoudesta ja tuulesta aiheutuvia vaakakuormia, joten ne toimivat myös jäykistävänä rakenteena. Pilariverkko on harva vaakarakenteiden pitkän jännevälin takia ja julkisivuelementtien tuentaan tarvitaan usein lisäpilareita ulkoseinälinjoilla. (Teollisuus- ja varastorakennukset 2020.)

Pilareiden päähän tuetaan usein yläpohjan palkit ja tukipintojen riittävyys on tarkistettava valittaessa pilareiden mittoja suurien tukireaktioiden takia. Yläpohjan kuormat ovat usein pienempiä kuin välipohjan kuormat, ja yläpohjaan verrattuna palkkikorkeus on rajallinen. Lisäpilareille on usein tarvetta välitason kannatusta varten. Konsolien avulla välitason palkit tuetaan lisäpilareiden kylkeen tai päihin ja myös yläpohjaa tukeviin pilareihin. Konsolit ovat joko piilokonsoleita, jotka on piilotettu betonivaluun tai betonikonsolit voivat olla myös näkyviä. (Teollisuus- ja varastorakennukset 2020.)

## Perustukset

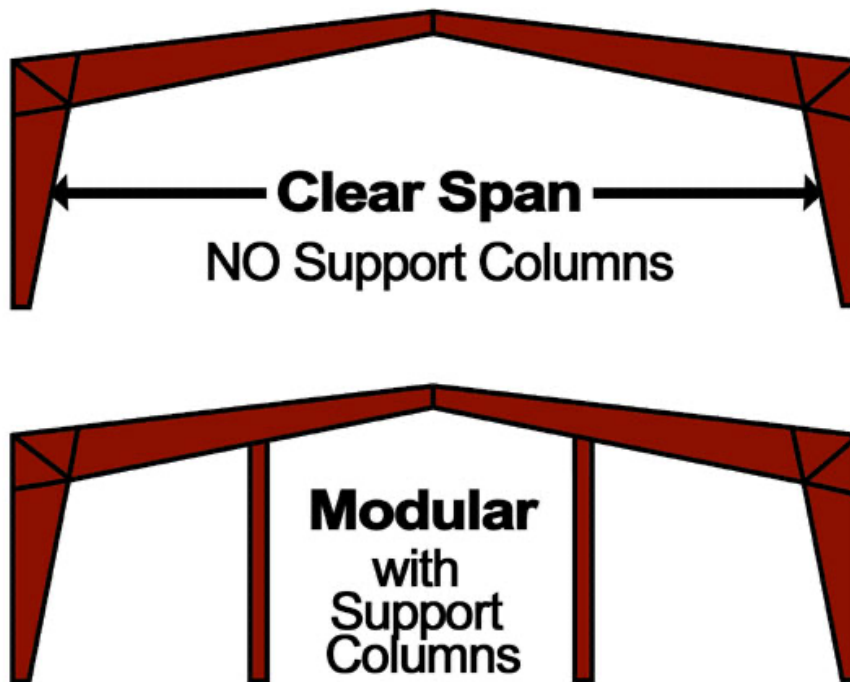
Perustuksena käytetään usein paikallavalurakenteita, jotka rakennetaan paalujen tai kantavan maapohjan varaan. Rakennuksen julkisivut tuetaan pilarianturoihin tai pilareihin koska ne eivät useinkaan ole kantavia rakenteita. Maapohjan kantavuus ja rakennukselle kohdistuvat kuormitukset määrittelevät perustusten tyypin ja koon. (Teollisuus- ja varastorakennukset 2020) Muihin materiaaleihin verrattuna teräs on kevyt, omaa hyvät lujuusominaisuudet ja runkona mittasuhteiltaan pieni, joka vaikuttaa perustuskustannuksiin edullisesti. Esimerkiksi paaluille perustettaessa päästään merkittäviin kustannussäästöihin teräksen keveyden ansiosta. (Teräs materiaalina n.d.)

Betoni ei värähtelee paljoa sen massiivisuuden ja jäykkyyden ansiosta. Koneperustuksissa betonia käytetään tärinän vaimentimena. Rakenteiden suunnittelun tarkoituksena on, että raudoitus ottaa vetojännitykset ja betonille menee puristusjännitykset. Materiaalien käyttöä voidaan vähentää korkealujuusbetonilla, jonka puristuslujuus on 60–100 MPa. Betonin normaali puristuslujuus on 30–80 MPa. Kustannuksia pystytään vähentämään 25 % kaksinkertaistamalla pilarin lujuus. Korkealujuusbetonin käyttäminen on myös edullista ajatellen ympäristövaikutuksia. Rakenteelle syntyvästä kokonaiskuormasta betonirakenteen omapaino muodostaa usein suuren osan siitä. Betoniset rakenteet kestävät usein ylikuormaa, koska niiden oman painon varmuuskertoimeen sisältyy reserviä. Varmuusreserviä ei usein ole kevyempien rakenteiden oman painon kertoimessa. Ylikuormitus tapauksissa betonilla on hyvä kyky sietää vaurioita. (Betonin lujuus n.d.)

## Jännevälit

Jännevälillä tarkoitetaan rakennuksen rungon leveyttä. Rakennuksia voidaan toteuttaa vapaalla jännevälillä, eli rakennuksessa ei ole pilareita keskellä kannattamassa kuormia ja vaikeuttamassa tilassa liikkumista. Kuviossa 5 on esitetty vapaan jännevälin ja pilarillinen rakenne. Vapaan jännevälin teräsrakenteet sopivat hyvin myös isoihin varastointitiloihin. Teräs mahdollistaa suuremmat jännevälit kuin esimerkiksi puurakenteet. (What is a Clear Span Steel Building? 2014.) Terästä käytetään yleensä yksikerroksissa teollisuusrakennuksissa ja varastoissa, joissa kuormituksen suurin osuus tulee rungosta (Koski 2010, 121). Teräs on yleisin vaihtoehto, kun tarvitaan suurta avointa tilaa ilman, että pilarit ovat häiritsevästi tiellä (Rakentaminen teräksestä n.d.). Teräsrakenne mahdollistaa pitkät jännevälit, muunneltavuuden, suuren mittatarkkuuden, yksinkertaisen ja nopean

asennustyön työmaalla sekä korkean esivalmistusasteen. Betonilla saavutetaan myös pitkiä jännevälejä. Kokonaisrakennusaika on huomattavasti lyhyempi kuitenkin teräsrakentamisessa verrattuna betonirakentamiseen, eikä rungon pystyttäminen vaadi erityisiä sääolosuhteita. Teräs on hyvin kierrätettävissä oleva materiaali, nykyään iso osa terästuotteista on valmistettu kierrätetystä teräksestä. (Koski 2010, 121; Teräsrakenteiden suunnittelu 2010, 5.)



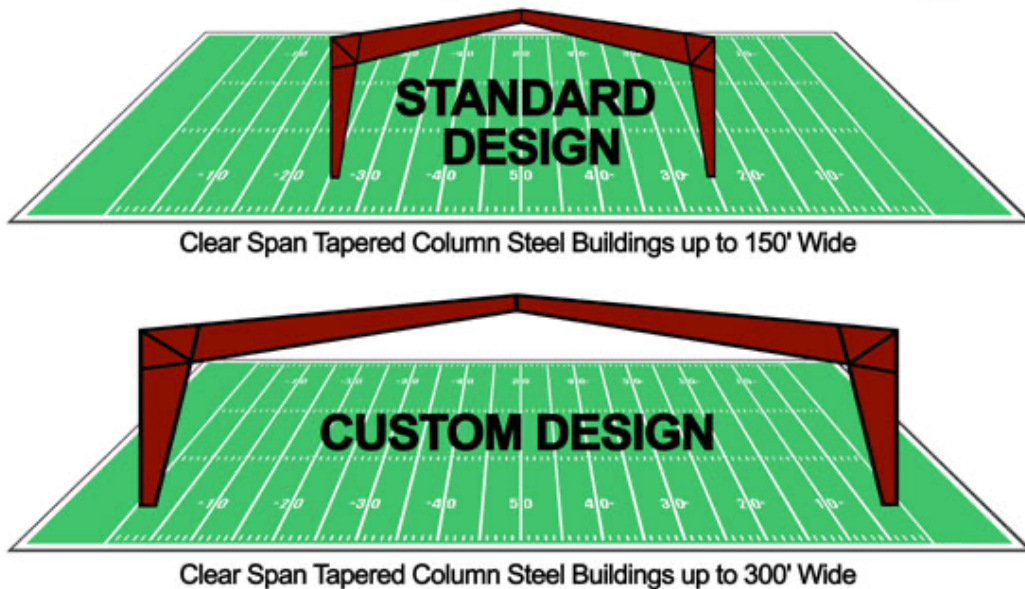
Kuvio 5 Jänneväli teräsrakenteessa (What is a Clear Span Steel Building? 2014)

Pitkä jänneväli on suhteellinen käsite ja teräsrakenteiden yhteydessä voidaan puhua  $\geq 60$  metristä. Pitkän jännevälin ristikot joudutaan usein kokoamaan vasta rakennuspaikalla esivalmistetuista osista. Pitkän jännevälin rakennukset ovat monesti urheiluareenoita. Pitkiä jännevälejä voidaan toteuttaa esimerkiksi taso- tai avaruusristikkona sekä kaarevana tai suorana ristikkona. (Kukkonen, Pekola, Mela 2021.) Erityistä huomiota tulee kiinnittää yleensä merkittävistä hyötykuormavaatimuksista ja pitkistä jänneväleistä johtuen suurten kuormakeskittymien siirtämiseen perustuksiin asti kantavilta rakenteilta. Rakennedimensiota mitoitettaessa ja määritettäessä tämä asettaa erityisvaatimuksia valitulle runkojärjestelmälle. (Teollisuus- ja varastorakennukset 2020.) Pilarirunkoisissa halleissa jänneväli voi olla jopa 50 metriä. Rakennus voidaan toteuttaa monilaivaisena, jos tilankäyttö sallii keskeisesti asemoidut pilaririvit. (Suurten jännevälien rakenteet 2020.) How wide is a clear span metal building? (2014) blogikirjoituksen mukaan vapaa jänneväli voidaan toteuttaa



teräsrakenteissa kuvion 6 mukaisesti. Kuviossa 150' tarkoittaa noin 45 metriä ja 300' on noin 91 metriä.

## RHINO Clear Span Metal Buildings



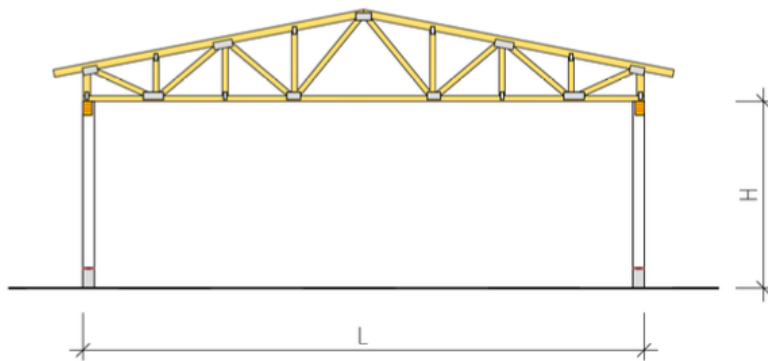
Kuvio 6 Vapaan jännevälän mitat (How wide is a clear span metal building?, 2014)

### 4.1 Runkojärjestelmät

Kantava runko on usein teollisuus- ja varastorakennuksissa pilari-palkkirunko. Yleensä rakennukset ovat yksikerroksisia halleja, joiden toimisto- ja aputilat on voitu sijoittaa useampikerroksisesti. Hallin koosta ja vapaasta jännevälistä riippuu pilarilinjojen lukumäärä. Tuotantotoiminnan vaatimusten mukaan suunnitellaan teollisuusrakennuksen rakennusrunko. Pystyrakenteita on usein vähän ja vaakarakenteiden jännevälit ovat pitkiä muuntojoustavuuden ja tuotannon vaatimusten vuoksi. Toimistorakennuksiin verrattuna vaakarakenteiden rakennekorkeudet ovat korkeampia. Vaakarakenteiden pitkällä jännevälillä ja rakenteiden riittävällä kantavuudella voidaan valmistautua mahdollisiin myöhempisiin muutoksiin. Rakentamalla laajennuksen perustukset ennakkoon ja laajennusosan vaakarakenteiden mitoitus tuettavaksi vanhan osan runkoon on laajennusosan toteuttaminen helpompaa verrattuna siihen, että laajennukseen ei ole millään tavalla varauduttu. Laajennuksen yhteydessä toisinaan voidaan myös ulkorakenne suunnitella helposti purettavaksi ja siirrettäväksi seuraavaan paikkaan. (Teollisuus- ja varastorakennukset 2020.)

## Levyjäykistys

Rankarakenteisen hallin kokonaisjäykistäminen hoidetaan levyjäykistyksellä. Rankarakenteinen halli sopii paremmin pienemmän kokoluokan halliin. Mastopilarijäykistysten käyttäminen on suositeltavaa, kun on tarvetta laajemmalle rungolle. (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 9.)



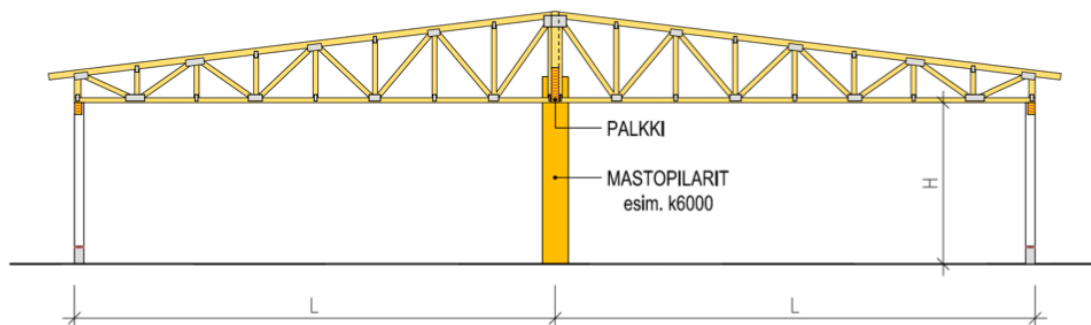
### **KANTAVAT RANKASEINÄT + NR-HARJARISTIKOT**

#### **Suositusmitat**

L = max 20 m

H = max 6 m

Kuvio 7 Yksilaivainen rankarakenteinen halli (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 6)



### **KANTAVAT RANKASEINÄT + PILARI-PALKKI-LINJA + NR-PULPETTIRISTIKOT**

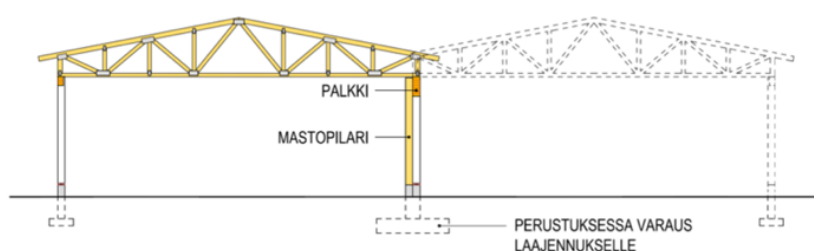
#### **Suositusmitat**

L = max 20 m

H = max 6 m

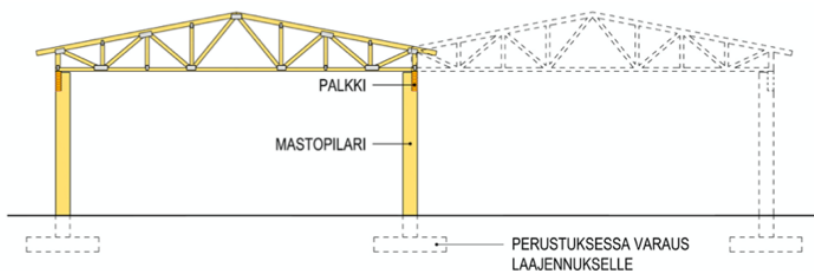
Kuvio 8 Kaksilaivainen rankarakenteinen halli (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 6)

Laajentamisen suhteen puurunkoinen levyjäykistetty kantavaseinäinen halli vaatii usein parempaa ja tarkempaa varautumista. Tämä perustuu levyjäykistetyin rakenteen jäykistyskapasiteetin rajallisuuteen. Jäykistäviä seiniä saatetaan poistaa rakennusta laajennettaessa, jolloin paikalleen jääneet jäykistävät rakenteet voivat ylikuormittua. Kun suunnitellaan laajennuksen varauksia, niin rankarakenteisessa hallissa täytyy ottaa huomioon, että jäykistäville rakenteille saadaan siirrettyä luotettavasti kaikki kuormat. (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 9.) Rankarakenteinen halli toimisi tässä tapauksessa varastointihallina valmiiksi tehdyille tuotteille, raaka-aine- ja muottivarastoinnille.



**ESIMERKKI 1**

Laajennukseen on varauduttu tekemällä toiseen seinään mastopilaripalkki-linja, joka toimii jäykistävänä rakenteena myös laajennetussa hallissa. Tällä tavalla uusi ja vanha halli saadaan yhdistettyä helposti yhdeksi tilaksi. Mastopilaripalkki-linjan kohdalla on ei-kantavat ulkoseinäelementit.



**ESIMERKKI 2**

Mastojäykisteisen hallin laajentaminen pituus- ja leveyssuunnassa on suhteellisen helppoa. Leveyssuunnan laajennukseen on varauduttu keskipilarin ja sen perustuksen mitoituksessa.

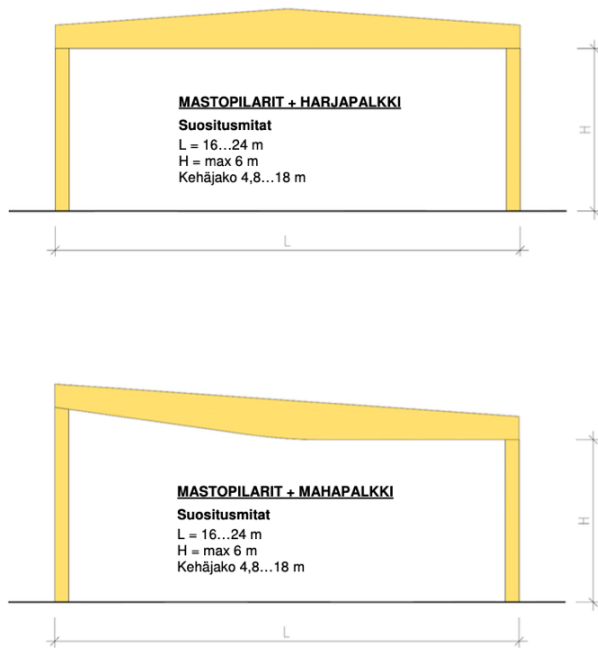
Kuvio 9 NR-ristikoilla toteutettu rankarakenteisen hallin laajentaminen (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 9)

## Mastopilarijäykistys

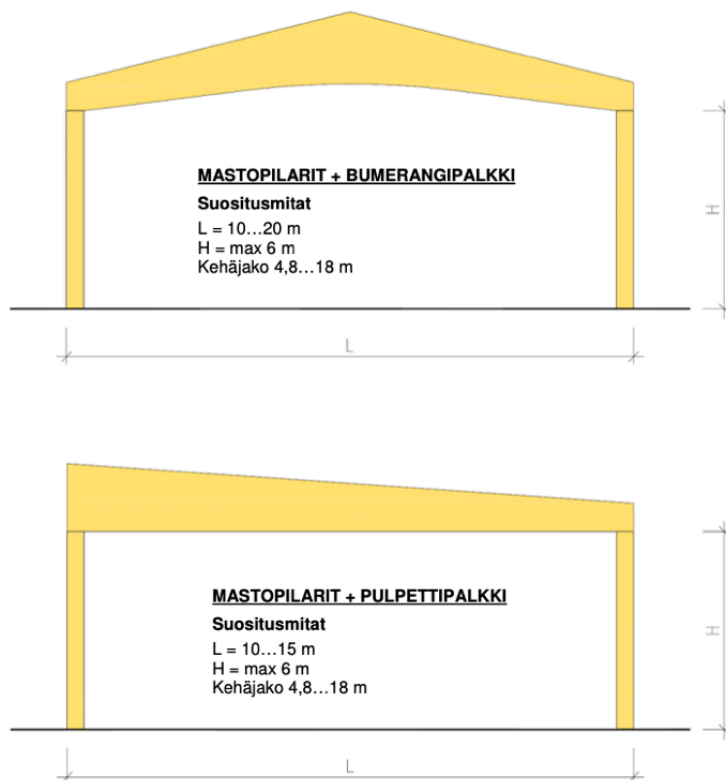
Muuntojoustavuuden näkökulmasta mastopilarijäykisteinen halli on hyvä vaihtoehto. Jäykistykseen ollessa osana jäykistysjärjestelmää kehärakenteisen hallin laajentaminen leveys- ja pituussuunnassa on vaivatonta (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 7). Mastopilarijäykistykseen ansiosta saadaan yhtenäistä esteetöntä lattiatilaa eikä sauva- ja/tai levyjäykisteille ole seinillä tarvetta.

Teollisuus- ja varastorakennusten rungonjäykistys hoidetaan usein teräsbetonisilla mastopilareilla. Jäykistysristikoita on mahdollista käyttää pilareiden sijaan. (Teollisuus- ja varastorakennukset 2020.) Leveyssuuntainen rungon kokonaisjäykistys hoidetaan mastopilareilla, mikä mahdollistaa hallin suuren pituusmitan, isot oviaukot, korkeamman sisäkorkeuden, muuntojoustavuuden, laajennusmahdollisuuden sekä mahdollisuuden siltanosturin asentamiselle. (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 2.) Mastopilarijäykistystä voidaan käyttää 1–3 kerroksissa suhteellisen matalissa rakennuksissa. Korkeuden rajana voidaan pitää 12 metriä, jonka ylittyessä siirtymien hallinta on hankalampaa sekä pilarien vaatimat poikkileikkausmitat eivät ole enää taloudellisia. Hallin korkeus on konelinjaston kohdalla noin 7 metriä. Mastopilarijäykistykseen huonoja puolia ovat anturoiden suurempi koko, betonisten pilareiden suurempi raudoitemäärä, vino- ja seinäjäykistettyihin verrattuna pilarikoko on myös suurempi. (Jäykistysjärjestelmät 2020.) Seinämastojäykistystä on mahdollista käyttää betoniseinäisissä rakennuksissa. Vaakarakenteiden peruseriaate on mitoittaa ne toimimaan levynä ja siirtää rasitukset sitä kautta rakennuksen muille pilareille. Julkisivurakenteet välittävät mastopilarijäykisteisessä rakennuksessa tuulikuormat pilareille, joilta rasitukset siirtyvät palkeille ja yläpohjalle. (Teollisuus- ja varastorakennukset 2020.)

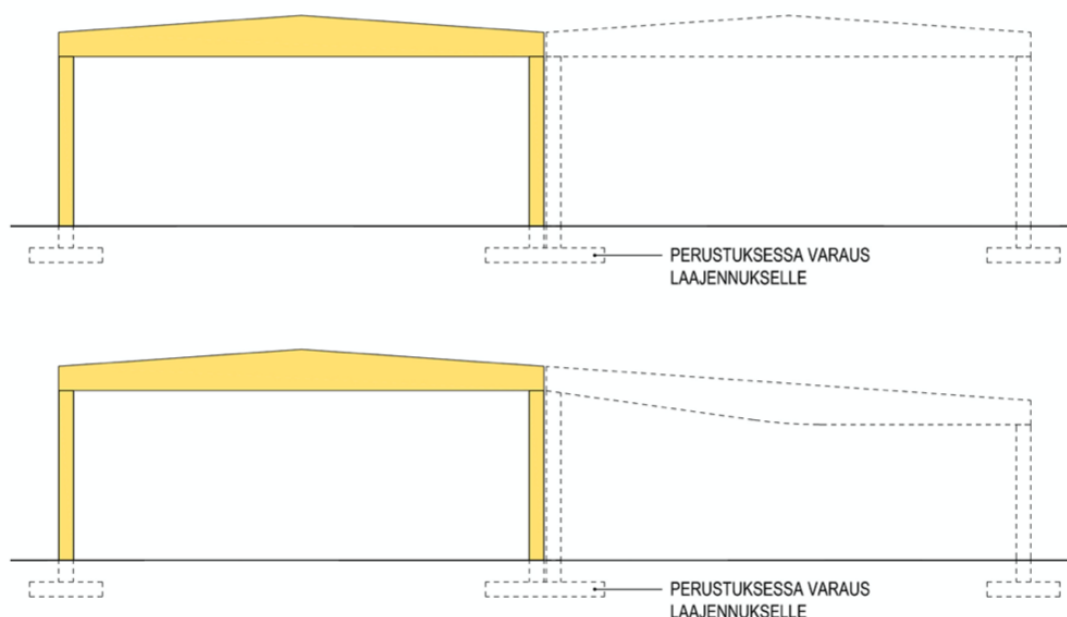
Puurakenteissa mastopilari yhdistettynä harjapalkkiin, mahapalkkiin, bumerangipalkkiin tai pulpettipalkkiin mahdollistaa suurimman mahdollisen kehäjaon. Kehäjako on mastopilari + palkki yhdistelmälle 4,8–18 metriä, kun taas kolminivelkehällä päästään 4,8–8 metriin. (Runkotyypit 2014, 2–3.)



Kuvio 10 Mastopilarilla jäykistetty halli harja/mahapalkin avulla (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 2)



Kuvio 11 Mastopilari + bumerangi/pulpettipalkki (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 3)



Kuvio 12 Kehärakenteisen hallin laajentaminen (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 7)

## 4.2 Kustannustekijät

Hallirakennuksen rungon kustannuksiin vaikuttaa monenlaiset tekijät. Rungon kustannuksiin voidaan vaikuttaa rakennesuunnittelulla. Rakennesuunnittelussa kustannuksiin vaikuttaa erityisesti jäykistystapa, jännevälit, jäykistävien rakenteiden sijoitus, pääkannattimen tyyppi, kantavien rakenteiden paloteknisten vaatimusten toteuttaminen, voimaliitosten toteutustapa sekä teräsosien palosuojauksesta. (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyypit 2014, 1.) Ennen töiden aloittamista asiantuntijan pitää tehdä maaperän pohjatutkimus, jonka avulla selvitetään perustamistapa ja kustannukset.

Kustannusrakennetta ei voida tarkastella pelkästään yksittäisen rakenneosan suhteen, vaan aina tulisi tarkastella rakennetta kokonaisuutena. Kallis yksittäinen rakennusosa voi toisinaan tuoda säästöä tutkittaessa rakennetekonaisuutta. Sama toimii myös toisinpäin eli edullisempia yksittäisiä rakennusosia käytettäessä voi syntyäkin kalliimpi rakennetekonaisuus. Rakennetekonaisuuden hinnan riippuvuussuhteesta esimerkkinä jännevälit. Lyhyen jännevälän pääkannatin on pitkään jännevälän pääkannattimeen verrattuna edullisempi, mutta pystyrakenteiden kuten pilareiden ja perustusten määrä lisääntyy lyhyen jännevälän pääkannattimessa ja on sitä kautta kallis kokonaisuus. Erityisen leveiden katto ja seinäelementtien valmistus on edullisempaa kuin useamman kapeam-

man elementin. Erityisen leveiden elementtien logistiikka täytyy järjestää mahdollisesti erikoiskuljetuksena, jolloin siitä tulee kalliimpi kokonaisuus, koska elementtien käsittely hidastuu ja kuljetuksen hinta nousee. (HalliPES 1.0 Osa 3: Runkotyytit 2014, 1.)

## 5 Haastattelut

Haastattelu toteutettiin kahdella erilaisella kysymyspohjalla. Haastattelujen avulla pyrittiin löytämään eri alojen asiantuntijoiden näkemyksiä aiheeseen. Ensimmäinen haastattelu toteutettiin ryhmähaastatteluna, jonka tarkoituksena oli kartoittaa koelaitoksen käyttäjäkokemuksia, kuinka pilottilaitos on toiminut ja mitä tulee huomioida varsinaisessa tehtaassa sekä miten tilat skaalautuvat. Ensimmäisessä haastattelussa haluttiin selvittää asiakaslähtöisesti käyttökokemuksia prosessiteknikan näkökulmasta. Toisen kysymysrunгон haastattelut suoritettiin rakennusteknisistä lähtökohdista kahtena yksilöhaastatteluna. Tavoitteena oli selvittää kustannustehokkain ja kestävin tapa toteuttaa tuotantorakennus, huomioiden tämänhetkinen maailmantilanne ja tulevaisuuden näkymät.

### Koelaitoksen käyttökokemukset

Ensimmäisen haastattelun kysymysten vastauksista kävi ilmi, että koelaitoksen tila on liian pieni ja ahdas. Koelaitoksen pinta-ala on arviolta 860 neliömetriä. Varsinaisessa tuotantolaitoksessa täytyy paremmin huomioida trukkien ja muun kaluston vaatima tila ja niiden kääntymissäteet. Pilottilaitoksella huoltotilat oli rakennettu erikseen. Huoltotilat kuten sähkö ja ilmanvaihto on hyvä sijoittaa rakennuksen sisälle, koska niiden rakentaminen erikseen on kallista. Valmistuotevarasto ja huoltovarasto voivat olla erillisinä rakennuksina. Kemikaalivarasto täytyy sijoittaa ulos erillisenä rakennuksena turvallisuussyiden vuoksi. Mahdolliset kaasuvaarat on hyvä huomioida suojahuoneella. Suojahuoneella voidaan suojautua joko tuotantolaitoksen vahingoilta tai teollisuusympäristössä sattuvilta tapaturmilta.

Haastateltavat korostivat erityisesti huoltotilojen huomioimista. Muoteilla tulee olla riittävästi pesu- ja vaihtotilaa, joka voi sijaita samassa tilassa muottivaraston kanssa, kunhan toiminnoille varataan riittävästi tilaa. Tulevan tehtaan on suositeltavaa olla valmiissa teollisuusympäristössä, jotta siinä voidaan hyödyntää esimerkiksi jo olemassa olevia putkilinjoja. Kustannukset kallistuvat, jos täytyy tehdä kokonaan uudet putkilinjat tehdasrakennukseen.

Koelaitoksella valvomo, toimisto, laboratorio ja sosiaalilat ovat kaikki samassa tilassa. Laboratorion, toimiston ja valvomon on kuitenkin hyvä olla erillisinä tiloina rauhallisen työympäristön turvaamisen vuoksi. Kokouksetilat ovat yleensä tehdasrakennuksessa välttämättömät, kun ajatellaan yrityksen brändiä ja vierailijoita.

Tulevassa tehdasrakennuksessa käytetään kuljetuskalustona todennäköisesti mobiilinostinta, truckia ja pumppukärryä. Rakennukseen on toiveissa siltanosturi, mutta sille on oikeastaan tarvetta vain koneiden kasaamisvaiheessa. Koneiden kasaaminen onnistuu hyvin myös mobiilinostimella, jolloin kustannuksetkin ovat huomattavasti pienemmät.

## **Tehdasrakennus**

Toisen kysymysrungon avulla selvitettiin kustannustehokkainta ja järkevintä tapaa toteuttaa tehdasrakennus. Kysymykset esitettiin kahdelle haastateltavalle eri aikaan. Ensimmäisen haastattelun vastauksista kävi ilmi, että moduulirakentaminen sopii erittäin hyvin teolliseen rakentamiseen. Moduulirakentamisen ansiosta työmaa etenee vauhdikkaasti. Sandwich-elementeistä rakentaminen on sekä kestävin että edullisin ratkaisu ja niitä käytetään paljon seinäelementeissä. Sandwich-elementtinä voidaan laittaa esimerkiksi kahden pellin väliin villa. Eristevaihtoehtoina voidaan käyttää myös villan lisäksi polystyreeni- tai polyuretaanieristettä. Perinteisen seinäelementin korkeus on 120 cm. Seinäelementin pituus on mahdollista toteuttaa 8–10 metriä pitkänä. Kevytelelementti vaatii erillisen rungon, jonka peruspituus 6 metriä. Huolto-ovien valintaan pitäisi kiinnittää huomiota, jotta törmäyksen sattuessa ovet kestäisivät iskuja eikä niitä tarvitsisi uusia usein. Betonia käytetään rakennuksen perustuksissa ja lattioissa, eikä siihen ole oikeastaan parempaa korvaavaa materiaalia olemassa.

Toisen haastateltavan vastauksista ilmeni samankaltaisuuksia ensimmäisen haastateltavan vastausten kesken. Kollektiivisia näkökulmia olivat elementtirakentamisen yleisyys ja sandwich-elementtien käyttö seinissä. Elementtirakentamista hyödynnetään paljon teollisuuden rakentamisessa ja sitä pitäisi lisätä. Kun elementit rakennetaan sisätiloissa, niin siellä on tavallista paremmat sääolosuhteet, eikä tarvitse huolehtia pakkasesta ja jäädä. Elementtejä saadaan tuotettua nopeammin ja turvallisemmin elementtitehtaalla. Työmaalla nostokalusto on monesti liian kaukana tai väärässä paikassa. Perinteisiä elementtejä ovat pilarit, palkit, ontelolaatat ja kuorilaatat.



Tilaelementteinä voidaan toteuttaa pienempiä tiloja kuten pukuhuoneet. Keskustelun aikana selvisi, että sähkötilat on mahdollista saada valmiina tilaelementtinä. Tilaelementtiin saadaan asennettua tehtaalla valmiiksi esimerkiksi muuntajat, pääkeskukset, taajuusmuuntajat, jakokeskukset ja alakeskukset. Huomionarvoista on, että sähkötilaa ei toteuta yhtenä tilana. Sähkötila jaetaan kahteen moduuliin, joissa on omanaan talotekniikka ja prosessitekniikka. Sama koskee myös IV-konehuonetta. Aputilat voi olla kannattavaa sijoittaa rakennuksen katolle. Keskustelun myötä haasteeksi nousi varastotilojen laajentaminen älykkäästi.

Koelaitoksella melua aiheuttavat laitteet eli pulpperi ja tyhjiöpumppu on sijoitettu omaan tilaan, mutta keskustelun aikana kommentti, onko kannattavampaa suojata ihminen melulta vai kone melulta. Äänieristysseinät lisäävät rakentamisen kustannuksia, joten vaihtoehtoisena ratkaisuna keskitytään enemmän valvomon, toimiston ja muiden vastaavien tilojen huolelliseen äänieristämiseen. Pilottilaitokselle massasäiliöt ovat sijoitettuna puoliksi sisälle ja puoliksi ulos, joka on optimaalisin vaihtoehto. Säiliöt on joka tapauksessa eristettävä, jotta lämpötila pysyy tasaisena säiliön sisällä. Tilan säästämisen vuoksi ne on hyvä sijoittaa puoliksi sisä- ja ulkotiloihin.

Materiaalien suhteen molemmissa haastatteluissa kustannustehokkaimmaksi ja kestävimmäksi seinä rakenteeksi nousi sandwich-elementti seinä eli kahden peltilevyn väliin laitetaan eristevillaa. Puu sopisi materiaalina teollisuuden rakentamiseen, mutta keskeisenä huolena on sen palotekniset ominaisuudet. Palonormisto rajoittaa puun käyttöä ja muille materiaaleilla on palon suhteen paremmat ominaisuudet. Esimerkiksi liimapuupalkit pitäisi verhoilla kipsillä. Mahdollisesta palotilanteesta täytyisi teettää palosimulaatio, jotta voidaan todeta, että rakenne menee P0-luokkaan. Palosimulaatio on kallis toimenpide, joka on hinta-arvioltaan noin 20 000 €. Haastattelujen vastauksista kävi myös ilmi, että runko on suositeltavaa toteuttaa mastojäykisteisenä, jossa käytettäisiin betonia ja terästä.

Haastatteluiden tuloksena saatiin kattavasti lisää informaatiota aiheesta. Laajentamisen näkökulmasta nousi esiin rakennusaikainen ennakointi tekemällä jo valmiiksi leveämmät anturat pilareille, johon asennetaan valmiiksi esimerkiksi peruspultit. Rakennus täytyy asemoida tontille niin, että laajentaminen on myöhemmin mahdollista. Myöhemmin purettavalle ja laajennettavalle seinälle ei sijoiteta tekniikkaa kuten pääsähkökeskuksia.

Molemmat haastateltavat kertoivat, että maailmantilanne on vaikuttanut heikentävästi materiaalien saatavuuteen. Harjaterästä on tällä hetkellä huonosti saatavilla. Jos jotain materiaalia ei löydy, sille pyritään löytämään kompensaatiota. Rakennusmateriaaleille pyritään löytämään uusia toimittajia. Materiaalien kuten ruostumattoman teräksen ja nikkelin hinta on tällä hetkellä erittäin korkea.

## 6 Konsepti

### 6.1 Layout

Tuotannon layoutin suunnittelussa huomioidaan rakennustekniikan ja konetekniikan asettamat vaatimukset ja rajoitukset. Layouteja ei esitetä tässä työversiossa. Layoutin suunnittelu aloitettiin luomalla ensin suurempi kokonaisuus, joka jaettiin sen jälkeen pienempiin osiin eli moduuleihin. Moduulilla ei tarkoiteta tässä kohtaa tilaelementtiä, vaan tilakokonaisuutta. Moduulien luomisessa pyritään tuomaan asiakkaan näkökulma esiin. Layouteissa esitetään ehdotuksia rakennuskokonaisuudella, jossa on huomioitu kaikki tilat ja laajentamisen mahdollisuus. Kuviossa 13 esimerkkejä moduuleista ja niiden kokoarvioista.



Kuvio 13 Moduulit

Moduulien lisäksi työssä ehdotettiin kokonaisuutta rakennukselle. Layoutissa rakennuksen kone-linjasto, raaka-ainevarasto, valmistuotevarasto, massa- ja raaka-aineosasto on sijoitettu yhdelle seinustalle. Huoltotilat, muottivarasto, toimisto, laboratorio ja sosiaalitilat löytyvät toiselta seinus-talta. Tilojen sijoittaminen mahdollistaa konelinjaston sekä raaka-ainevaraston ja valmistuoteva-raston myöhemmän laajentamisen. Tarkoituksena ei ollut miettiä vaan valmiita moduuleita vaan myös, miten ne toimivat kokonaisuuden kannalta.

Tavoitteena on tarjota toimeksiantajan asiakkaille kuitumuottikoneiden lisäksi, rakennus moduu-lien muodossa, jotta asiakas voi valita omaan kohteeseensa tarvitsemansa moduulit, jotka soveltu-vat käyttökohteeseen parhaiten. Rakennustekninen puoli ei ole yhtä joustava modulaarisessa ajat-telussa kuin konetekninen puoli. Konetta on suhteellisen helppo jatkaa, kun vaan tilaa riittää, mutta rakennuksen laajentaminen ei tapahdu yksinkertaisesti. Yllä olevan rakennuskokonaisuuden tilamoduulit voidaan sijoitella myös toisella tavalla. Moduulit voidaan jakaa konelinjastoon, varas-tointiin, sosiaalitiloihin ja huoltotiloihin. Moduuleita ei voi asemoida miten tahansa, mutta ne tar-joavat joustavuutta. Laajennettavuuden näkökulmasta myöhemmin purettavalle seinälle ei sijoi-teta tekniikkaa kuten putkistoja ja sähköhylyjä. Purettava seinä ei rakenteellisesti välttämättä eroa muista seinistä, vaan kaikki seinät toteutetaan niin, että laajentaminen on jokaisella seinus-talla mahdollista.

Massa- ja raaka-aineosasto on yhtenä moduulina. Moduulissa ei esitetä muun muassa pulpperin, materiaalisäiliöiden, jauhimen ja kuiduttimen järjestystä sen tarkemmin, niille on varattu niiden vaatima tila. Moduulin on kuitenkin sijaittava konelinjaston läheisyydessä, jotta voidaan mahdollis-taa suoraviivainen materiaalivirtaus. Kemikaalivarasto on oma moduulinsa, jota ei sijoiteta tuo-tantorakennukseen. Kemikaalivarasto on turvallisuussyistä omana rakennuksenaan varsinaisen tehtaan läheisyydessä.

## **Konelinjasto**

Yhtenä moduulina pidetään yhtä koneparia. Moduulina voidaan ajatella konelinjaa, jos löytyy vaki-oitu koneiden määrä. Koneiden optimaaliseen lukumäärään vaikuttaa muun muassa käytetty raaka-aine, tuotteen neliöpaino ja minkälaista tuotetta halutaan valmistaa. Tuotanto layoutissa

tarkastellaan neljää koneparia eli kahdeksaa konetta. Konelinjastomoduulin vaatima tila on kahdeksalle koneelle noin 100 x 40 metriä eli 4000 m<sup>2</sup>. Näin isoa tilaa ei ole rakennusteknisesti ja logistiikan kannalta mahdollista eikä järkevää toteuttaa valmiina tilaelementtinä. Koneparimoduuliin voi sisältyä kahden kuitumuottikoneen lisäksi kolme vaahtosäiliötä ja ruuvikuljetin, koska tämänhetkisten päätelmien mukaan ne olisi hyvä sijoittaa koneparin väliin.

Konelinjasto kannattaa laajentaa samalla konemäärällä, mikä se on ollut alun perinkin. Rakennusta laajennetaan konelinjaston verran, koska konetekniikan näkökulmasta ei ole tuotannollisesti tehokasta laajentaa vain esimerkiksi yhden koneparin verran. Konelinjojen molempiin päihin on sijoitettu raaka-ainevarasto ja valmistuotevarasto, joten yksittäisten koneparien lisääminen olemassa olevan konelinjan viereen ei ole kannattavaa. Konepareja lisätessä myös joko raaka-ainevarastoa tai valmistuotevarastoa täytyy siirtää. Lisättäessä uutta konelinjaa järkevin vaihtoehto on sijoittaa ne niin, että konelinjojen muodostuspäädyt ovat vastakkain. Viimeistelypäädyssä on liukuhihnakuljetin, joka vie tuotteen valmistuotevarastoon. Konelinjoilla on omat tuotteiden liukuhihnakuljettimet, mutta yhteinen huoltokäytävä. Valvomo on tässä sijoitettuna huoltokäytävän päähän, jotta sieltä nähdään molempien konelinjastojen tilavalot. Kuitumuottikoneiden huoltotoimenpiteet nopeutuvat ja helpottuvat kun konelinjastot käyttävät yhteistä huoltokäytävää sekä niitä pystyy valvomaan paremmin.

Koneparimoduuliin kuitenkin muodostuu toteutuksen kannalta haasteita. Jos koneparimoduulia ajateltaisiin yhtenä hallina, neljä koneparimoduulia muodostaisi tuolloin nelilaivaisen rakennuksen. Kokonaisuuteen muodostuu tässä tapauksessa paljon pilareita eikä tilankäyttö ole optimaalista. Konelinjasto voidaan toteuttaa yhtenä hallina, mutta se edellyttää tapauskohtaista mitoittamista.

## 6.2 Toimitussisältö

Toimitussisältöä rakentaessa tulee miettiä, mitä tarjottavaan konseptiin sisältyy ja mitkä ovat asiakkaan vastuut ja valmistelevat pohjatyöt. Kuviossa 16 on esitetty ehdotus toimitussisällölle konseptin ja asiakkaan osalta. Vaadittavia suunnitelmia on paljon muitakin, kuten LVIS-suunnitelmat. Toimitussisältö on suuntaa antava arvio. Toimitussisällön hintaan vaikuttaa muun muassa rakennuksen sijainti. Kustannusten kannalta voi olla järkevämpää, että asiakas itse järjestää elementtien asennuksen sen sijaan, että se kuuluisi konseptiin.

**Konseptiin sisältyy:**

- Koneet ja muu oleellinen laitteisto
- Rakennuksen elementit ja elementtien asennus
- Rahti
- Rakennuslupapiirustukset
- Rakennesuunnitelmat
- Energiatodistus

**Asiakkaan vastuut:**

- Työmaan valmistelevat työt
  - Maatyöt, perustukset, salaojitukset, liittymät, maaperän tiivistys ja pohjatutkimus
- Vakuutukset
- Työmaa aikaisen veden ja sähkön kulutuskustannukset
- Työmaa aikainen jätehuolto
- Tontin hankkiminen

Kuvio 14 Toimitussisältö

### 6.3 Logistiikka

Logistiikkaa suunniteltaessa tulee miettiä rakenneosien asennusjärjestys, jotta kaikki saapuu oikeaan aikaan oikeassa järjestyksessä työmaalle sujuvuuden ja ajan säästämisen vuoksi. Varsinkin jos rakennus toimitetaan elementteinä, huolellisesti suunnitellulla logistiikalla on iso merkitys. Kuljetuksen kannalta on myös parempi, että moduulit ovat mahdollisimman kevyitä, jotta logistiikka kulkee kevyesti, ympäristöystävällisesti ja kustannustehokkaasti. Logistiikka asettaa rajoituksia elementtien koolle. Tilaelementtien yleisimmät maksimitat ovat 12 x 4,2 x 3,2 metriä. Suuremmatkin tilaelementit ovat mahdollisia, mutta moduulijärjestelmän ja elementtien mitoitus suunniteltaessa on huomioitava enimmäismittojen ja painon rajoitukset elementtien nostossa ja kuljetuksessa. (Runkojärjestelmät 2020)

Maantiekuljetuksessa tavara saadaan siirrettyä suoraan valmistuspaikalta asennuspaikalle ilman odotusaikoja ja siirtokuormauksia hyödyntäen vain yhtä kuljetusmenetelmää. Muut kuljetusmuodot huomioiden maantiekuljetuksessa ei synny juurikaan tarvetta välivarastoinnille. Maantiekuljetuksessa yleisin ajoneuvo on puoliperävaunullinen kuorma-auto. Jos teräsrakenteet ylittävät sallitut mitat ja painot käytetään erikoiskuljetusta. Erikoiskuljetus vaatii erikseen luvan, jonka edellytyksenä on sopivan kuljetuskaluston ja -reitin käyttäminen sekä tarpeellisuuden todentaminen. (Koski 2010, 125)

Rautatiekuljetuksen etuna on sen halvemmat kustannukset maantiekuljetukseen verrattuna. Rautatiekuljetus on kuitenkin hitaampi vaihtoehto. Hitaus johtuu välikuormauksista ja -varastoinneista sekä harvasta rautatieverkosta. Rautatiekuljetus ei myöskään ole joka paikassa vaihtoehto, joten on oleellista huomioida, onko kyseinen kuljetustapa käytettävissä. Yleensä päädytään sekakuljetukseen rautatiekuljetusta käytettäessä. (Koski 2010, 125)

Maantie- ja rautatiekuljetuksen lisäksi on myös mahdollisena vaihtoehtona vesitiekuljetus. Vesitiekuljetusta käytetään laivakuljetuksena vientitoimituksissa sekä sekakuljetuksena auto- ja junalautoilla tai ponttonikuljetuksena. Normaaleihin maantie- ja rautatiekuljetuksiin verrattuna auto- ja junalauttakuljetukset ovat mitoiltaan rajoitetumpia, minkä takia erikoiskuljetukset voivat olla suhteellisesti kalliimpia. Tarkoitukseen soveltuvaa ponttonikalustoa käytetään raskaissa erikoiskuljetuksissa. Lisäksi täytyy selvittää hinaajatarve, kuormaus- ja purkaumahdollisuudet, käytettävät väylät, kuljetuksen merikelpoisuus ja jääolosuhteet. (Koski 2010, 125–126.) Vesitiekuljetus voi olla varteenotettava vaihtoehto ulkomaille rakennusta toimittaessa, mutta kotimaan kuljetuksissa se ei ole varteenotettava vaihtoehto.

## 6.4 SWOT-Analyysi

Nelikenttämenetelmän eli SWOT-Analyysin kautta mietittiin konseptin vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia. Kohdat esitetty lyhyesti alla olevassa taulukossa. Heikkouksien kohdalla maantieteellisen sijainnin epävarmuudella tarkoitetaan esimerkiksi alueita, joissa on tsunamin, maanjäristyksen tai hurrikaanin vaara. Maaperän vaihtelevuudella puolestaan maaperän kantaavuutta ja sen kautta valittu perustamistapa. Lainsäädäntöä voidaan pitää sekä mahdollisuutena, että uhkana, koska joidenkin maiden lainsäädäntö on tiukempaa, kun taas, mitä se voi olla jossain muualla.

<b>Vahvuudet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Laajentaminen vertikaalisessa ja horisontaalisessa suunnassa</li> <li>- Muuntojoustavuus</li> <li>- Monistettavuus</li> <li>- Elementtirakentaminen turvallisempaa ja kustannukset pysyvät paremmin hallinnassa</li> </ul>	<b>Heikkoudet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rakennuksen suuri koko</li> <li>- Maantieteellisen sijainnin epävarmuus</li> <li>- Maaperän vaihtelevuus</li> <li>- Rakennuksen laajentaminen ei ole yhtä joustavaa kuin koneiden laajentaminen</li> <li>- Konemoduulin toteuttaminen</li> </ul>
<b>Mahdollisuudet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lainsäädäntö</li> <li>- Sääolosuhteet</li> <li>- Huoltotilat kuten sähköhuone ja IV-konehuone voidaan sijoittaa rakennuksen katolle</li> </ul>	<b>Uhat</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pilareiden sijoitus ja niiden määrä konelinjaston kohdalla</li> <li>- Valvomon riittävä näkyvyys huoltokäytävän päässä</li> <li>- Laajennettavuuden monistaminen</li> <li>- Lainsäädäntö</li> <li>- Sääolosuhteet</li> </ul>

Kuvio 15 SWOT-Analyysi

## 7 Johtopäätökset

### Konsepti

Tutkimuksen tuloksena selvisi, että rakennukselle ei ole pelkästään yhtä ainutta optimaalista vaihtoehtoa. Tonttia ei lähtökohtaisesti suunnitella rakennukselle vaan rakennus tontille. Tontin muoto ja koko vaikuttavat tehdasrakennuksen asemointiin, sen kokoon ja tilojen sijoitteluun sekä sen laajenemismahdollisuuksiin. Ahtaammalla tontilla hyvä vaihtoehto on laajentaa ylöspäin ja sijoittaa uusi konelinja toiseen kerrokseen. Jos tontilla on enemmän tilaa, niin siinä tapauksessa uuden konelinjan lisääminen olemassa olevan viereen on hyvä vaihtoehto. Kaksikerroksinen rakennus saattaa lisätä pilarien määrää suuremman kuorman vuoksi. Rakennus täytyy suunnitella niin, että sen laajentaminen on mahdollista sekä vertikaalisessa että horisontaalisessa suunnassa. Useampi kuin yksikerroksisen rakennuksen haasteena on kuljetuskaluston siirtäminen seuraaviin kerroksiin. Kuljetuslaitteistolle pitäisi olla hissi, joka pystyy kuljettamaan ne kerroksesta toiseen. Vaihtoehtoisesti jokaisessa kerroksessa on oma kuljetuskalustonsa, mikä ei puolestaan ole edullista kustannustennäkökulmasta.

Yhtenä haasteena voidaan pitää pilareiden sijoittamista tehdasrakennukseen. Tehdasrakennuksen on oltava mahdollisimman avoin, jotta huoltotoimenpiteisiin jää riittävästi tilaa sekä hallin sisällä mahtuu liikkumaan erilaisilla kulkuvälineillä kuten trukilla ja pumppukärryllä. Lopputulemana pilarit on hyvä sijoittaa vaahtosäiliöiden yhteyteen, mikäli mahdollista, jotta ne ovat mahdollisimman vähän tiellä ja koneiden huoltotoimenpiteisiin jää mahdollisimman paljon tilaa. Pilareiden todellinen koko saadaan selville vasta rakenteiden mitoittamisvaiheessa. Laajennettaessa konelinjastojen väliin jää pilarilinja. Tilankäytön tehokkuuden kannalta pilarit pitäisi saada pois käytävältä, mutta se ei ole välttämättä mahdollista.

Rakennus jaetaan toimintojen perusteella moduuleihin. Yksi konepari on yksi moduuli. Moduuleita voi lisätä asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Jos asiakas tarvitsee 8 konetta, valitaan neljä moduulia. Konelinjastolle ei ole optimaalista kuitumuottikoneiden määrää, koska koneiden määrään vaikuttaa esimerkiksi valmistettava tuote, käytetty raaka-aine. Koneparimoduulin suhteen moduulien hinnat eivät pysy vakiona. Yhdessä moduulissa kaikki seinät ovat paikallaan, kun taas kahdessa moduulissa, niiden välistä puuttuu yksi seinä. Konemoduulille kohdistuu muutenkin merkittäviä haasteita sen toteutuksen suhteen. Tehdasrakennuksen muut kokonaisuudet on vielä mahdollista toteuttaa moduuleina, mutta koneparimoduulia on hankalaa suunnitella järkeväksi kokonaisuudeksi. Koneparimoduuli voidaan tarjota yhtenä hallina, mutta se ei ole järkevä vaihtoehto tilankäytön ja toiminnan kannalta. Asiakkaan halutessa kolme konemoduulia rakennus toteutettaisiin kolmilaivaisena, jolloin rakennukseen syntyy niin sanotusti turhia pilareita. Kolme koneparia voitaisiin toteuttaa yhtenä hallina, mutta jokainen konemoduuleista syntyvä erilainen kokonaisuus täytyy mitoittaa erikseen.

Rakennusta laajennettaessa järkevin tapa on laajentaa alkuperäisen konelinjaston verran, koska tuotantotehokkuus ei kasva laajentamalla vain yksittäisten koneparien verran. Yhtä konelinjastoa voidaan ajatella yksilaivaisena rakennuksena ja kun rakennusta laajennetaan uudella konelinjalla, saadaan kaksilaivainen rakennus. Jos kaksi konelinjastoa sijoitetaan niin, että molemmilla on oma liukuhihna kuljetin ja yhteinen huoltokäytävä, niin valvomo sijoitetaan käytävän jompaankumpaan päähän. Valvomosta on tarkoitus nähdä koneiden tilavalot. Valvomo on suositeltavaa sijoittaa mahdollisimman lähelle toimistoa, jotta välimatkat eivät kasva liian suuriksi. Tässä tapauksessa käytävän keskelle tulee pilarilinja ja koneiden huoltoa varten päähän on varattava 4–5 metriä tilaa, jolloin käytävä on noin 8–10 metriä leveä.



Pilareiden sijoittamiselle ehdotettiin vaihtoehtoista ratkaisua, missä pilarit puuttuvat huoltokäytävältä on aseteltu toiselle puolelle vaahtosäiliöitä. Pilareiden sijainnit ovat paremmalla paikalla käytännön toiminnan kannalta, koska huoltokäytävän keskelle ei kulje pilarilinjaa, joka on huoltotoimenpiteiden tiellä. Pilareiden sijoittaminen vastaavalla tavalla ei todennäköisesti ole mahdollista. Kahden konelinjaston välissä on alun perin ollut ulkoseinä ennen toista konelinjastoa. Pilarit ja seinät ovat yleensä kantavia pystyrakenteita, mutta näiden lisäksi palkit ja laatat voivat olla kantavia vaakarakenteita. Pilareiden ja seinien paikkaa muuttamalla täytyy samalla huomioida myös palkit. Kantavien rakenteiden siirtäminen ei ole aina mahdollista tai kustannusten kannalta edullista. Lähelläkohtaisesti pilareita ei pureta, koska niihin vaikuttaa suuret voimat.

Muita moduuleita ovat sosiaalitilat, toimisto, laboratorio, massa ja raaka-aine osasto sekä huoltotilat. Moduulien avulla pystytään paremmin vastaamaan asiakkaan tarpeeseen. Asiakkaalla ei välttämättä ole tarvetta koko rakennukselle vaan tarpeen mukaan valitaan omaan kohteeseen eri tilaosat. Huolto-ovien ja ikkunoiden määrä mietitään tapauskohtaisesti.

## **Rakennusjärjestelmä**

Tilantarpeen lisääntymiseen pystytään helpoiten varautumalla ja suunnittelemalla hyvin etukäteen. Rakenteiden tulee olla helposti purettavia. Toimintoja suunniteltaessa ei sijoiteta mitään ylimääräistä tulevaisuudessa purettavalle osalle. Tässä tapauksessa seinälle ei asenneta sähkökaapeleita tai muuta tekniikkaa, jotta sitä ei tarvitse myöhemmin siirtää. Rakennus asemoidaan tontille niin, että laajentamiselle jää riittävästi tilaa tontilla. Suunnittelussa täytyy huomioida, että rakennukset vastaavat niille annettuja määräyksiä esimerkiksi ääneneristävyyden ja onnettomuuskuormien kestämisen suhteen.

Teollisuusrakennus tulee sisältämään suuria 25 metriä pitkiä puukuitupakkauskoneita, joten mastopilarijäykisteinen teollisuushalli sopii parhaiten tähän käyttötarkoitukseen. Mastopilarijäykistys vastaa hyvin rakennuksen asettamia ehtoja. Mastopilarijäykisteinen halli mahdollistaa muuntojoustavuuden näkökulmasta rakennuksen leveys- ja pituussuuntaisen laajentamisen. Sen etuna esimerkiksi siltanosturin ja suurten oviaukkojen asentaminen on mahdollista. Rakennukselle saadaan korkeampi sisäkorkeus ja suurempi pituusmitta mastojäykistykseen ansiosta. Huonoja puolia

mastopilarijäykistyksessä ovat anturoiden suurempi koko, suurempi raudoitemäärä betonisissa pilareissa sekä suurempi pilarikoko verrattuna vino- ja seinäjäykistettyihin. Täytyy huomioida, että siltanosturia ei ole järkevää enää jälkeenpäin lisätä rakennukseen. Myöhemmin tehtävä asennus lisää kustannuksia ja rakenteiden kokoa.

Puurakenteisessa hallissa mastopilariyhdistelmä joko harjapalkin tai mahapalkin kanssa antaa rakennukselle pisimmän leveysmitan, jonka suositus on 16–24 metriä. Lisäksi rakennuksen korkeudelle oli asetettu enimmäismitaksi 6 metriä, kun taas tämän kohteen korkeus pitäisi olla noin 7 metriä. Rakennuksen leveys koneiden kohdalla olisi noin 40 metriä, kun siihen sisällytetään koneiden vaatima huoltotila.

Teollisuus- ja varastorakennusten perustukset toteutetaan yleensä paaluilla tai pilarianturoilla. Perustamistapa riippuu pohjatutkimuksen tuloksista. Betonirakenteet sopivat betonin ominaisuuksien vuoksi hyvin tehdasrakennukseen, joka sisältää painavia koneita. Betoni kestää hyvin kuormaa ja värähtelyä.

Haastatteluiden pohjalta voidaan todeta, että seinät ovat järkevintä toteuttaa sandwich-elementeillä. Teollisuus- ja varastorakentamisessa sandwich-elementit toteutetaan usein teräsbetonisena ratkaisuna, Äänekosken koelaitoksella sandwich-elementtinä oli kahden pellin välissä villa. Teema-haastatteluissa nousi eniten esille pelti-villa-pelti tyyppinen ratkaisu sandwich-elementeissä. Siltanosturia ei pidetty tulosten perusteella välttämättömänä, joten sille ei ole annettu tässä työssä juurikaan painoarvoa. Lähdetään oletuksella, että sitä ei tule tulevaan tehdasrakennukseen.

## **Lopputulema**

Työn merkittävin kysymys on, onko yrityksen kannattavaa toimittaa koneiden ja oheistoimintojen lisäksi niitä ympäröivä rakennus, vai pitäisikö tulevaisuudessakin toimittaa pelkät koneet? Vastauksena yrityksen ei ole kannattavaa toimittaa rakennusta moduulien muodossa. Modulaarisuus perustuu moduulien joustavuuteen. Erilaisten moduulivariaatioiden määrää on rajoitettava niiden hallitsemisen ja kehittämisen vuoksi. Konemoduuliin käytännön toteutus työllistää merkittävästi enemmän, kuin muiden tilamoduulien toteutus. Konemoduuli on siinä kohtaa kannattava ja toteutettavissa oleva vaihtoehto, kun konemäärälle on olemassa pelkästään yksi hyvä vaihtoehto.

## 8 Pohdinta

Opinnäytetyössä tutkittiin puukuitupakkaustehtaan toteutusta rakennussuunnittelun näkökulmasta. Tämän selvitystyön keskeisenä tavoitteena oli selvittää, onko yrityksen kannattavaa toimittaa koneiden lisäksi teollisuusrakennus ja mikä on soveltuvin tapa toteuttaa modulaarisuutta hyödyntävä tehdas. Tehdasrakennuksen eri toiminnot jaettiin moduuleihin eli tilakokonaisuuksiin.

Työssä oltiin uudenlaisen konseptin äärellä. Moduulirakentamista käytetään paljon esimerkiksi asunto-, sairaala- ja koulurakentamisessa. Asuntorakentamisen puolella kerrostalo on huomattavasti yksinkertaisempaa koota tilaelementeistä, joita pystytään yhdistelemään joustavasti. Tehdasrakennus on suurimmaksi osaksi avaraa, isoa tilaa, jota on haastavaa lähteä pilkkomaan moduuleiksi. Kokonaisuus ei saa kärsiä jaottelun myötä. Teollisuusrakentamisen puolella moduulirakentaminen näkyy oikeastaan aika paljon esimerkiksi seinäelementtien muodossa. Tilaelementteinä voidaan kuitenkin toteuttaa esimerkiksi valvomotilat, jonka paikkaa voidaan tarvittaessa muuttaa tai tilaa laajentaa myöhemmin suuremmaksi. Moduuliajattelua sai aika paljon soveltaa tähän konseptiin soveltuvaksi. Työtä oli mielenkiintoista tehdä monialaisena yhteistyönä, asioita piti ajatella monista eri lähtökohdista, eikä pelkästään oman alan näkökulmasta.

Jos rakennus toteutettaisiin, se rakennettaisiin teräs ja betonirakenteina, koska niillä on puuhun verrattuna paremmat ominaisuudet. Teräs- ja betonirakenteet pystytään pitkien jännevälien suhteen toteuttamaan edullisemmin puurakenteisiin verrattuna. Palotilanteessa puu palaa, mutta teräs ja betoni ei. Pitkän jännevälin rakenteet ovat järkevin toteuttaa teräsrakenteisena, koska teräs on materiaalina kevyempi kuin betoni ja näin ollen helpompi ja edullisempi logistiikan suhteen. Työn aineistona käytetään tietoperustassa ja sen kuvituksessa paljon puurakentamisen esimerkkejä. Työstä löytyy vähän teräs- tai betonirakenteisiin liittyvää aineistoa, koska työtä varten ei oikeastaan löytynyt relevanttia kuvitusta. Tehdasrakennuksen osat ovat suuria, jotka vaativat pitkiä jännevälejä. Pitkän jännevälin teräsristikoista löytyy hyvin vähän julkaistua tietoa suomen kielellä. Pitkän jännevälin rakennukset ovat myös yleensä urheiluareenoita, joissa ei toimi samat lainalaisuudet kuin teollisuus- ja varastorakentamisessa.

Teemahaastatteluiden perusteella saatiin laadullisen tutkimuksen tuloksena selville kokemusperäisiä näkökulmia. Vastauksien perusteella ilmeni, mihin asioihin täytyy kiinnittää huomiota. Haastatteluista sai hyvin uusia ideoita ja näkökulmia puukuitupakkaustehtaan toteuttamiseen. Haastatteluissa oli yhtäläisyyksiä vastauksien kesken, minkä perusteella niitä voidaan pitää luotettavana.

### **Jatkokehitysehdotuksia**

Jos konemäärälle löytyy optimaalinen luku, niin sen jälkeen rakennuskonseptia on järkevää jaloittaa eteenpäin. Työ on toteutettu Ympäristöministeriön määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Rakennus voi sijoittua ulkomaille esimerkiksi maanjäristysalueelle, jolloin täytyy kiinnittää huomiota myöskin ulkomaiden lainsäädäntöön sekä sen tuomiin rajoituksiin ja vaatimuksiin. Yrityksellä on toimintaa yli 30 maassa, joten selvittämistyötä on sen suhteen paljon. Rakennuksen suunnittelussa keskityttiin rakennussuunnitteluun. Rakennuksen tarkastelua pitäisi jatkaa rakennesuunnittelun, talotekniikkasuunnittelun ja taloudellisesta näkökulmasta. Taloutta käsiteltiin tässä työssä vähän, joten jatkoselvityksessä voisi ottaa selvää tilaosien kustannuksista. Esimerkiksi kuinka paljon kustannukset kasvavat, jos konelinjastohallissa on 8 koneen sijasta 12 konetta. Ilmanvaihto on merkityksellinen osa teollisuusrakennuksen kosteudenhallintaa. Kosteudenhallintaa ei ole käsitelty tässä työssä. Jossain vaiheessa vielä laaja-alaisempaa yhteistyötä, rakennus- ja konetekniikan lisäksi esimerkiksi talotekniikan näkemyksiä.

Alla vielä listattuna ehdotuksia jatkotoimenpiteille:

- Rakennuksen 3D-mallintaminen
- Rakennejärjestelmien yhteensovittamista
- Rakenteiden mitoittaminen
  - Konehallin mitoittaminen, jotta saadaan parempia arvioita pilareiden määrälle, sijainnille ja niiden koolle
  - Moduulien tarkempi mitoittaminen
- Kustannusarviot ja kustannusvertailua
  - Mitä toimitussisältöön kannattaa sisällyttää
  - Mitkä ovat moduulien kustannukset

## Tulosten luotettavuuden ja eettisyyden tarkastelu

Tietoperustan luotettavuuteen vaikuttaa teräs- ja betonirakenteiden esimerkkien vähäisyys suomenkielisissä julkaisuissa. Työn esimerkkeinä käytetään paljon puurakenteita eikä niitä voida suoraan soveltaa esimerkiksi teräs- ja betonirakenteisiin. Tietoa on pyritty yhdistelemään useista eri lähteistä.

Teemahaastattelujen tuloksia voidaan pitää luotettavina perustuen haastateltavien vastausten yhdenmukaisuuteen. Samankaltaiset vastaukset olivat toisistaan riippumattomia. Kollektiivisuutta oli havaittavissa etenkin sandwich-elementtien käytöstä. Ensimmäisen kysymysrunгон ryhmähaastattelun luotettavuutta paransi, että se toteutettiin yhteistyössä konetekniikan opiskelijan kanssa. Molemmat tekivät omat muistiinpanot, joita pystyttiin vertailemaan keskenään. Toisen yksilöhaastattelun haastatteluista sai nauhoittaa, mikä parantaa sen tulosten luotettavuutta. Aiheeseen pystyttiin palaamaan jälkeinpäin eikä vastaukset olleet pelkästään litteroitujen muistiinpanojen ja muistin varassa.

Tulosten avulla pyrittiin luomaan ja kehittämään uudenlaista konseptia, samalla oppien uutta soveltamalla modulaarista ajattelua teollisuusrakentamisessa. Tietoa on tullut työn kautta monialaisesti lisää. Työssä on ilmoitettu kaikki siinä käytetyt lähteet. Työn tekemisen tavoitteena oli kehittää ja kasvattaa omaa sekä toimeksiantajan asiantuntemusta tämän aihepiirin suhteen. Toiminnassa sovellettiin kestävän kehityksen periaatteita. Haasteita on pyritty ratkaisemaan yhteistyössä konetekniikan opiskelijan kanssa ja lopputuloksena saatiin yhdistelmä rakennus- ja konetekniikan näkemyksiä.

## Lähteet

Ala-Kotila, P & Häkkinen, T. 2019. Monikäyttöisyys ja muunneltavuus kestävässä rakentamisessa. Viitattu 20.3.2022 <https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2019/T363.pdf>

Betoni rakenteita voidaan kierrättää. 2020. Elementtisuunnittelun verkkosivut. Viitattu 29.4.2022. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/ymparistoominaisuudet/purettavuus-ja-uusiokaytto>

Betonin lujuus. N.d. Betonin verkkosivut. Viitattu 12.4.2022. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/betonin-lujuus/>

Hallipes 1.0 Osa 3: Runkotyytit. 2014. Puuinfo.fi verkkosivu. Viitattu 19.4.2022.

How wide is a clear span metal building? 2014. Rhino steel building systems blogikirjoitus. Viitattu 11.5.2022. <https://www.rhinobldg.com/how-wide-is-a-clear-span-metal-building/>

Juuti, P & Puusa, A. 2020. Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 19.4.2022.

Jäykistysjärjestelmät. 2020. Elementtisuunnittelu.fi verkkosivu. Viitattu 26.4.2022. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat>

Kananen, J. 2015. Näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 18.4.2022.

Koski, H. 2010. Ratu KI-6020 Rakentamisen tuotantotekniikka. Rakennustuotannon oppikirjasarja. Rakennustieto. Viitattu 23.3.2022. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

Kukkonen, J, Pekola, K & Mela, K. 2021. Pitkän jännevälän teräsristikot. PowerPoint-esitys. [https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/1076/d48a675/kukkonen\\_pitkan\\_jennvalin\\_terasristikot.pdf](https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/1076/d48a675/kukkonen_pitkan_jennvalin_terasristikot.pdf)

Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta. 2020. RT 103257\_L. Suomen säädöskokoelma 390/2005. Rakennustieto. Viitattu 27.4.2022. <https://janet.finna.fi/> RT-kortisto.

Lastauslaiturit. N.d. Logistiikan maailma verkkosivut. Viitattu 26.4.2022. <https://www.logistiikan-maailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotilojen-suunnittelu/lastauslaiturit/>

Martin, T. N.d. All you need to know about modularization. Modular Management blogikirjoitus. Viitattu 29.4.2022. <https://www.modularmanagement.com/blog/all-you-need-to-know-about-modularization>

Muuntojoustavuus. N.d. Betonin verkkosivut. Viitattu 22.4.2022. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/muuntojoustavuus/>

OC-10 Äänieristysseinät. N.d. OC-System verkkosivut. Viitattu 20.4.2022. <https://www.oc-system.fi/tuoteryhmat/oc-10-aanieristysseinat/>

Paaluperustukset. N.d. Betonin verkkosivut. Viitattu 30.4.2022. <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/perustukset/paaluperustukset/>

Pilareiden sijoitus. 2020. Elementtisuunnittelu-verkkosivut. Viitattu 14.4.2022. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/pilarit/pilareiden-sijoitus>

Puukerrostalon runkojärjestelmät. 2020. Puuinfo-verkkosivut. Viitattu 19.4.2022. <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/puukerrostalon-runkojarjestelmat/>

Puurakentamisen keskeiset erot muuhun rakentamiseen verrattuna. 2022. Puuinfo verkkosivut. Viitattu 27.4.2022. <https://puuinfo.fi/puurakentamisen-keskeiset-erot-muuhun-rakentamiseen-verrattuna/>

Rakentaminen teräksestä. N.d. Teräsrakenneyhdistyksen verkkosivut. Viitattu 23.3.2022. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/rakentaminen-teraksesta/>

Strömberg, O. N.d. Boost the modular system with configuration design. Modular Management blogikirjoitus. Viitattu 11.5.2022. <https://www.modularmanagement.com/blog/boost-the-modular-system-with-configuration-design>

Suurten jänneväljen rakenteet. 2020. Puuinfo verkkosivut. Viitattu 27.4.2022. <https://puuinfo.fi/rakenteet/suurten-jannevalien-rakenteet/suuri-jannevali/>

Tarpio, J. 2015. Joustavan asunnon tilalliset logiikat. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 30.4.2022. [https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/115316/Jyrki\\_Tarpio\\_Joustavan\\_asunnon\\_tilalliset\\_logiikat.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/115316/Jyrki_Tarpio_Joustavan_asunnon_tilalliset_logiikat.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Teollisuus- ja varastorakennukset. 2020. Elementtisuunnittelu-verkkosivut. Viitattu 14.4.2022. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/teollisuus-ja-varastorakennukset>

Teräs materiaalina. N.d. Teräsrakenneyhdistyksen verkkosivut. Viitattu 1.4.2022. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/teras-materiaalina/>

Tilat ja talot syntyvät nyt turvallisesti tehtaassa – elementtirakentaminen yleistyy vauhdilla. 2021. Sikla artikkeli. Viitattu 12.5.2022. <https://sikla.fi/tilat-ja-talot-syntyvat-nyt-turvallisesti-tehtaassa/>

Toimitussisältö. N.d. Finnlamelli-verkkosivut. Viitattu 10.3.2022. <https://www.finnlamelli.fi/wp-content/uploads/2021/12/muuttovalmis-toimitussisalto-11-2021.pdf>.

Tuomi, J & Sarajärvi, A. 2018. Laadullinen tutkimus ja sisällön analyysi. Helsinki. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Viitattu 19.4.2022.

Tuotannon layout. N.d. Logistiikan maailma-verkkosivut. Viitattu 23.4.2022. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotannon-layout/>

Tuotantolaitosten sijoittaminen. 2015. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesin opas. Viitattu 18.4.2022. <https://tukes.fi/documents/5470659/6406815/Tuotantolaitosten+sijoittaminen/ab664564-66f7-49b7-96bb-316dfefe4517/Tuotantolaitosten+sijoittaminen.pdf/Tuotantolaitosten+sijoittaminen.pdf?version=1.0&t=1516707669000>

What is a Clear Span Steel Building? 2014. Rhino steel building systems verkkosivu. Viitattu 11.5.2022. <https://www.rhinobldg.com/what-is-a-clear-span-steel-building/>

When to consider modular building systems. N.d. Panel built blogikirjoitus. Viitattu 11.5.2022. <https://www.panelbuilt.com/blog/industrial-modular-buildings>

Äänieristetty valvomo suojaa työntekijöitä ja lisää viihtyvyyttä. 2019. OC-System verkkosivut. Viitattu 3.4.2022. <https://www.oc-system.fi/artikkelit/aanieristetty-valvomo-suojaa-tyontekijoita-ja-lisaa-viihtyvyytta/>



## Liitteet

### Liite 1. Teemahaastattelurunko

1. Mitä erityisvaatimuksia tiloille on ollut?
2. Mitä kehitysehdotuksia ja parannuksia tulisi olla seuraavalle rakennuksella?
  - Esim. tilojen sijoittelun ja suunnittelun suhteen
  - käytetyt rakennusmateriaalit
3. Mitä kalustoa tehtaassa käytetään
4. Mitä muuta huomioitavaa

## Liite 2. Teemahaastattelurunko

1. Sopiiko moduulirakentaminen teolliseen ympäristöön ja jos sopii niin kuinka hyvin?
2. Mitkä rakennuksen osat toteutetaan 2D-moduulina ja mitkä 3D-moduulina
3. Sopiiko puu rakennusmateriaalina tuotantorakennukseen, vai onko käytettävä terästä ja betonia?
4. Miten tiloja kannattaa sijoittaa?
5. Miten maailmantilanne on vaikuttanut esimerkiksi materiaaliratkaisuihin?
6. Tulevaisuuden näkymät teollisessa suunnittelussa
7. Muuta, mitä pitäisi huomioida?

**Liite 3. Layout**

**Liite 4. Layout laajennuksen osalta**

**Liite 5. Konelinjastot 2D**

**Liite 6. Konelinjastot 3D**