



CLT-raakaelementtitehtaan materiaali- virrat

Klaus Isopahkala

Opinnäytetyö, AMK

Marraskuu 2021

Logistiikka

Logistiikan insinööri, AMK

Isopahkala Klaus

CLT-raakaelementtitehtaan materiaalivirrat

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Marraskuu 2021, 51 sivua

Tekniikan ala, Logistiikan tutkinto-ohjelma, Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: Suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Tutkimuksen tehtävänanto saatiin Saarijärven kaupungin elinkeinotoimelta. Tavoitteena oli kartoittaa mahdollisesti perustettavan CLT-elementtitehtaan materiaalivirtojen logistisia kustannuksia tuotannossa tarvittavien pääraaka-aineiden osalta. Tehtävänä oli saavuttaa kattava tietopohja kustannuksista, jotka liittyvät pääraaka-aineiden kuljettamiseen koko toiminnan logistisen ketjun osalta.

Tutkimus toteutettiin analysoimalla jo olemassa olevaa tutkimusaineistoa ja kartoittamalla logistisen ketjun mahdollisia toimijoita käyttäen suunniteltua tehtaan sijaintia ja volyymeja rajaavina tekijöinä. Aineistoina käytettiin erilaisia tieteellisiä artikkeleita ja tutkimuksia, joissa käsiteltiin tieteellisesti ja validisti tutkimukseen liittyviä asiakokonaisuuksia. Lisäksi tutkimuksen tekemisen pohjana käytettiin muita alaan liittyviä lehtiartikkeleita ja tapaustutkimuksia, joista saatiin olennaista lisätietoa tutkimuksen saattamiseksi tarkempaan asiakokonaisuuteen. Tutkimuksen rajaavina kysymyksiä käytettiin kuljetusten toiminnallisia vaatimuksia ja tavaralogistiikan toiminnan edellytyksiä. Lisäksi tutkimuksen laajuutta pyrittiin rajaamaan esimääritellyillä tiedoilla tehtaan valmistuskapasiteetista ja sijaintipaikkakunnasta.

Tuloksena saatiin kustannusrakennemalli tulevien ja lähtevien materiaalien kustannuksista. Laskelmissa elementin valmistuspaksuudeksi oli määriteltä 400 mm ja korkeudeksi 3000 mm sekä leveydeksi 12000 mm. Tulokset soveltuvat pääasiassa ko. materiaalien kustannuslaskentamalliin, mutta sen avulla toki voidaan laskea myös muun kokoisen materiaalin kuljetuskustannukset. Tulosten laajempi yleistettävyyys ei ollut toimeksiannon tavoitteena.

Johtopäätöksenä voidaan todeta tutkimuksen toteuttavan annettua tehtävänantoa. Toimeksiantajan käytettävissä on toimeksiannon mukaiset tulokset, joiden voidaan olettaa tukevan CLT-elementtitehtaan sijainnin ja perustamisen jatkosuunnittelun edellytyksiä.

Avainsanat (asiasanat)

CLT-elementti, kuljetuskustannukset, Saarijärvi

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Ei sisällä

Isopahkala Klaus

CLT raw material element factory material flows

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, November 2021, 51 pages

Technology, Bachelor of engineering, logistics, final Thesis, university of applied sciences

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The assignment for the study was obtained from the Director of Economic Development of Saarijärvi. The aim was to investigate the logistical costs of material flows for a potential CLT element plant in terms of the main raw materials needed for production. The task was to obtain a comprehensive information base on the costs associated with transporting the main raw materials for the entire logistics chain of operations.

The study was carried out by analyzing existing research data and identifying potential actors in the logistics chain using the planned plant location and volumes as limiting factors. Various scientific articles and studies were used as materials, which dealt scientifically and validly with research-related issues. In addition, other articles in the field and case studies related to the field were used as a basis for conducting the study, which provided essential additional information to bring the study into a more detailed context. The limiting questions of the study were the operational requirements of transport and the operating conditions of freight logistics. In addition, the scope of the study was limited by pre-defined data on the plant's production capacity and location.

The resulting cost structure model for the cost of incoming and outgoing materials. In the calculations, the fabrication of the element was set to a thickness of 400 mm and a height of 3000 mm and a width of 12,000 mm. The results are mainly suitable for materials costing model, but it can also be used to calculate the cost of transporting other sizes of material. Wider generalizability of results was not the goal of the assignment.

In conclusion, it can be stated that the research was supporting the given task. The results available to the commissioner are those that can be expected to support the conditions for further planning of the location and establishment of the CLT element plant.

Keywords/tags (subjects)

CLT element, transportation costs, Saarijärvi

Miscellaneous (Confidential information)

Does not contain

Sisältö

1	Johdanto	9
1.1	CLT-elementtien valmistuksen prosessikuvaus	9
1.2	Tuotantomallit.....	12
1.3	CLT-Raakaelementtitehtaan konekanta.....	12
1.4	CLT-materiaalin historia ja käyttötarkoitukset	13
1.4.1	CLT-materiaalin historiaa.....	13
1.4.2	Käyttökohteet	14
1.5	Elementtien rakentamisen menetelmät	14
1.6	Puurakentamisen viennin tilanne	14
1.7	Kotimaan puurakentamisen markkinatilanne.....	17
2	Tutkimuksen aiheenvalinta ja rajaukset	20
3	Tutkimusmenetelmät ja tiedonkerääminen.....	20
3.1	Tutkimusstrategia.....	21
3.2	Tutkimusmenetelmät.....	21
4	Katsaus CLT-elementtirakentamisen ympäristöllisiin vaikutuksiin	21
4.1	Rakentamisen hyödyt.....	22
4.2	Välilliset vaikutukset.....	23
5	Materiaalilogistiikka	23
5.1	Saapuvien materiaalien hallinta.....	23
5.1.1	Materiaalien kuljettamiseen tehtaalle käytettävä kalusto	24
5.1.2	Varastointi.....	25
5.1.3	Varastointimenetelmät.....	26
5.1.4	EOQ laskentamalli.....	27
5.1.5	Pientavaravaraston suunnittelu	28
5.2	Lähtevät materiaalit	28
5.2.1	Valmistuotevarasto.....	28
5.2.2	Lähtevien materiaalien kuljettamiseen käytettävä kalusto	29
5.2.3	Sivuvirrat.....	29
6	Tehtaan sijoittuminen ja kuljetusreitit	30
6.1	Sijoituspaikkakunta	30
6.2	Raaka-aineiden kuljetusreitit tehtaan sijaintipaikkakunnalle.....	30
6.3	Valmiiden tuotteiden kuljetusreitit tehtaalta asiakkaille	31

7	Tutkimuksellisen lähestymistavan määrittelyminen	31
7.1	Aineistonkeräämisen menetelmät ja aineistomateriaalit.....	31
8	Tuotannon suunnittelun perusteita.....	31
8.1.1	Konekanta	32
8.2	Elementtien materiaalikustannukset.....	33
9	Tulevat ja lähtevät materiaalivirrat	33
9.1.1	Puunhankintavaihtoehdot	34
9.1.2	Valmiit elementit	36
9.1.3	Sivuvirtojen hyödyntäminen.....	37
9.2	Materiaalikategoriat ja nimikkeet.....	37
9.3	Varastointi.....	38
9.3.1	Laskennallinen ratkaisu varastointitarpeesta.....	38
10	Tutkimuksen laskelmat ja tulokset	40
10.1	Laskennalliset materiaolimäärät	40
10.2	Kuljetuskustannukset	41
10.3	Kuljetus tehtaalta asiakkaille.....	43
11	Yhteenveto ja pohdinta	47
11.1	Tutkimuksen hyödyt toimeksiantajalle	47
11.2	Tutkimuksen vaikutukset sidosryhmälle	48
	Lähteet	49

Kuviot

Kuvio 1. CLT-levyn valmistusprosessi havainnekuva.	10
Kuvio 2. Asennusta vaille valmis runkoelementti.	11
Kuvio 3. Vuoden 2019 vienti Suomesta puutalojen osalta euromääräisesti mitattuna.	15
Kuvio 4. Puurakentamisen tarvikkeiden tuonti Suomeen vuosina 2004–2019.	16
Kuvio 5. Asuinkerrostalojen uusien asuntojen määrä vuosina 2010–2018.	17
Kuvio 6. Puurunkoiset julkiset palvelurakennukset.	18
Kuvio 7. Asunnot kerrostaloissa, puurunkoisten markkinaosuus.	19
Kuvio 8. HCT - yhdistelmiä	24
Kuvio 9. Puoli- ja täysperävaunuyhdistelmät	25
Kuvio 10. Lautojen varastointi välirimoituksella.	26
Kuvio 11. Varastonkapasiteetti vaihtelut.	27
Kuvio 12. Avoperävaunu.	29
Kuvio 13. Mahdollinen CLT-elementtitehtaan layout.	33
Kuvio 14. Saarijärven kaupungin sijainti Suomen kartalla.	44

Taulukot

Taulukko 1. Vuosittainen sahatavaran tuotanto kapasiteetti.	35
Taulukko 2. Valmiiden CLT-elementtien teoreettiset käyttösijainnit.	37
Taulukko 3. Optimaalisen tilauseräkoon laskeminen	39
Taulukko 4. Tehtaan laskennallinen elementin valmistuskapasiteetti.	41
Taulukko 5. CLT-elementtitehtaan vuosittainen kokonaiskapasiteetti yhdeltä sahalta hankittuna.	42
Taulukko 6. Lähellä tehdasta sijaitsevilta sahoilta volyymien suhteessa.	43
Taulukko 7. Kuljetuskustannukset valmiiden elementtien osalta maantieverkostolla, ulkomaille vientiin.	46
Taulukko 8. Kuljetuskustannukset valmiiden elementtien osalta maantieverkostolla, kotimaa.	46

Sanasto

Määritelmä:	Selite:
CLT	Cross Laminated Timber, Massiivipuu elementti
ABC – Analyysi	Varastoitavien tuotteiden luokitteluun käytettävä menetelmä
Kuivaketju	Tuotteiden koko prosessin aikainen säilyttäminen kosteudelta suojassa.
Runkoelementti	CNC-koneistettu raakaelementti, jossa on esimerkiksi ovi ja ikkuna aukot.
Raakaelementti	Yhtenäinen elementti, jossa ei ole koneistettuja kohtia
PFEC	Metsäsertifikaatti, kertoo metsien kestäväkehityksen mukaisesta hoidosta
HCT	High Capacity Transport, pitkä ajoneuvoyhdistelmä
Prosessi	Sarja toimenpiteitä
Lamelli	Levy/Liuska
CNC-kone	Numeerisella ohjauksella toimiva työstölaite

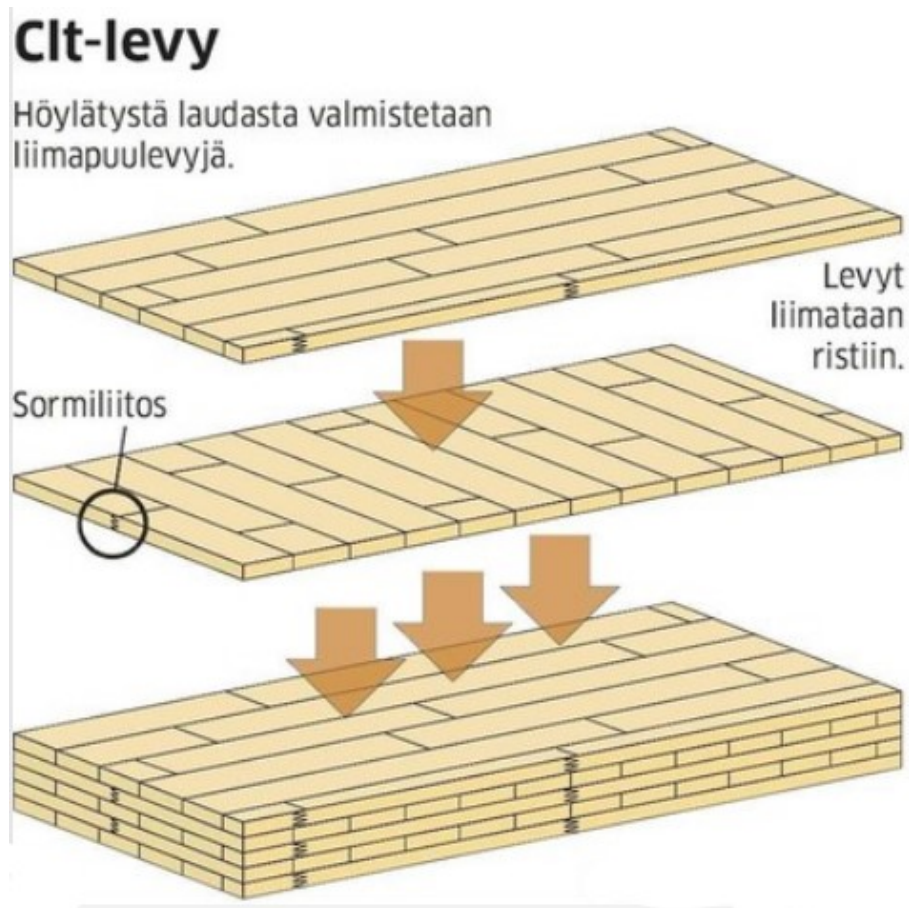
Elementti	Kiinteä esivalmisteinen rakenne
EOQ	Economic Order Quantity, tilauseräköön laskemiseen käytettävä menetelmä.
VMI	Toimittajan hallinnoima varasto
MRO	Maintenance, Repair & Overhaul, Huoltotyökaluja
Stabiili	Vakaa tai pysyvä
Projekti	Kertaluonteinen hanke

1 Johdanto

1.1 CLT-elementtien valmistuksen prosessikuvaus

CLT-elementtien valmistuksen aloitus tapahtuu pääraaka-aineen hankkimisesta, joka on tässä tapauksessa metsästä kaadettava ja kerättävä puuaines. Useimmiten elementtejä rakennettaessa raaka-aineena on kuusi, jota käytetään etenkin sisemmissä lamellikerroksissa. Puuaineena kuusi omaa hyvän muodossa pysyvyyden, mutta toisaalta kuusesta erittyy pihkaa enemmän kuin männystä. Mäntyä käytetään raakamateriaalina etenkin pintakerroksissa, sillä pihkaa ei erity niin paljon rakenteesta ulos. Raaka-aine kuljetetaan metsästä maantieverkostolla kuorma-autoilla tai rai-deliikenteessä tavarajunilla sahalle, jossa tukkipuusta sahataan ja höylätään CLT-raakaelementti tehtaalle tarvittavaa raakalautaa, näiden lautojen tulee olla PFEC-hyväksytyjä, jotta ne voidaan hyväksyä teolliseen rakentamiseen raaka-aineeksi. (CLT-raakalevyn valmistus. 4.4.2014.)

Mikäli sahalla oleva konekanta antaa mahdollisuuden tehdä sormiliitokset, voidaan tehdä sormiliitosjatko lautoihin, jotka tulevat horisontaaliseen suuntaan elementtiin liimattavaksi. Sormiliitosjatko täytyy tehdä joko sahalla tai CLT-raakaelementtejä valmistavalla tehtaalla, jotta saadaan riittävään pituista materiaalia raakaelementin valmistukseen. Tämä vaihe tehdään usein horisontaaliseen suuntaan lamelleiksi liimattaville laudoituksille. (CLT-raakalevyn valmistus. 4.4.2014.)



Kuvio 1. CLT-levyn valmistusprosessi havainnekuva.

Prosessissa edettäessä laudat liimataan lamelleiksi. Liimauksessa käytetään yleensä ympäristöystävällisiä polyuretaaniliimoja. Yksi tällainen liima on Henkelin valmistama Loctite Purbond. Tämä liima ei sisällä kovetin aineita, vaan reagoi puussa sekä ilmassa luonnollisesti olevan kosteuden kanssa. Liimaus voidaan tehdä syrjäliimaamalla tai laudat voidaan liimata ristikkäin kerroksittain ilman syrjäliimausta. Mikäli syrjäliimaus tehdään, vaatii yhden CLT-raakaelementin valmistus enemmän liimaa kuin elementiksi liimaus ilman syrjäliimaustekniikkaa. Syrjäliimaamaton raakalevy kestää enemmän kosteusvaihteluita kuin syrjäliimattu, sillä syrjäliimaamaton pääsee elämään kerroksessaan eli lamellissa paremmin. Liimaustavoilla ei ole juurikaan merkitystä raakaelementin kestävyteen. Puristettaessa lamelleja yhteen, joihin on levitetty liimakerros, saadaan tuotoksena CLT-raakaelementti. Raakaelementin paksuus voi vaihdella 60 mm jopa 500 millimetriin. Yleisimmillään valmiiden CLT-elementtien paksuudet vaihtelevat yleensä tuotannoissa 60 millimetristä 400 millimetriin. Normaalilla lamellien yhteen liittämällä. (CLT-raakalevyn valmistus. 4.4.2014; Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen. 2021.)

Raakaelementti siirretään jatkojalostukseen, jossa elementti hiotaan ja sahataan lappeet tasalle muun elementinrungon kanssa. Hionta on parempi tapa käsitellä näkyvä pinta kuin höylääminen sillä höyläämisessä ei saada niin tasalaatuista jälkeä kuin hiomalla. Seuraavassa prosessin vaiheessa voidaan käsitellä, mikäli tarpeellista, raakaelementtiä CNC-koneistuksella suunnitellun 3D-mallinmukaisesti ja tämän jalostuksen jälkeen saadaan runkoelementti. Mikäli jatkojalostusta CNC-koneella ei tarvita, voidaan CLT-raakalevy toimittaa asiakkaalle sellaisenaan. (CLT-raakalevyn valmistus. 4.4.2014.)

Elementin jalostaminen on usein tarpeellista. Jalostuksella saadaan tuotteelle suurempi markkina-arvo. Prosessin seuraavassa vaiheessa siirretään raakaelementti pakkaukseen ja siitä jälleen eteenpäin lämpimään valmistuotevarastoon, jossa raaka-/runkoelementit kasataan päällekkäin. Väli-puut ovat kuitenkin elementtien välissä, jotta ilma pääsee kiertämään elementtien väleissä. Tämän jälkeen valmiit tuotteet lähtevät kuljetukseen asiakkaalle. Koko raakaelementtitehtaassa tehtävän jalostusprosessin jälkeen saadaan valmiita tai puolivalmiita CLT-raaka-/runkoelementtejä, jotka kuljetetaan kosteudelta suojattuna ja kuivassa tilassa rakennuspaikalle asennettavaksi tai vaihtoehtona on kuljettaa CLT-raaka-/runkoelementti jatkojalostukseen tilaelementtitehtaalle. (CLT-raakalevyn valmistus. 4.4.2014.)



Kuvio 2. Asennusta vaille valmis runkoelementti.

Kuivaketjun säilyminen on ensiarvoisen tärkeää koko CLT-raakaelementin tuotantoprosessin ajan. Myös kuljetuksen ja asennuksen aikana tulee pyrkiä varmistamaan kuivaketjun pysyminen. Kuivasäilytyksen ja kuivassa tilassa tehtävän kuljettamisen ajattelutavalla voidaan estää mahdollisten kosteusvaurioiden synty. CLT-elementeissä kosteusvaurioiden riski on pieni, sillä elementti ei voi kastua kuin pintakerroksista, vaikka saisikin jostain syystä kosteutta prosessin aikana. Uudelleen

kuivaaminen on kuitenkin huomattavasti nopeampi prosessi. Lisäksi CLT-elementti kuivaa usein nopeasti, ja täten ei synny pysyviä kosteusvaurioita. (CLT-raakalevyn valmistus. 4.4.2014.)

CLT-elementtitehtaassa on ensiarvoisen tärkeää olla huolellisesti suunniteltu ja tarkasti toteutettu laadunseurantajärjestelmä, jotta toiminnanohjaus pystyy seuraamaan mahdollisia laatu-
poikkeamia tuotannon eri prosessien vaiheissa. Laadun seuraamiseen ei kuitenkaan ole kannattavaa perustaa liian kankeaa ja monimutkaista järjestelmää. Laatujärjestelmän olisi hyvä noudattaa ISO 9001:2015 standardin vaatimuksia, kun mahdollisesti tulevaisuudessa määritellään CLT – elementteille sertifikaatti. Tällöin alustavat järjestelmän laatumäärittelyt olisivat jo olemassa. (CLT-raakalevyn valmistus. 4.4.2014.)

1.2 Tuotantomallit

Projektituotannossa on mahdollista olla useita eri variaatioita tuotettavassa tuotteessa, ja jokainen projekti vaatii oman tuotannon suunnittelunsa. Projektituotanto mahdollistaa useiden erilaisten tuotteiden valmistuksen samoilla tuotannon työpisteillä. Projektituotannossa ei kuitenkaan ole valmistettavia tuotteita kovin monta samanlaista kappaletta. (Tuotantotyyppit. N.d.)

Prosessituotanto taas pyrkii noudattamaan samaa prosessia mahdollisimman pitkään ja tällöin saadaan sujuva, kustannustehokas ja hyvin aikataulutettu tuotanto, jossa tuotteet etenevät prosessin aikana niille määritellyissä aikasykleissä tuotantopisteeltä toiselle. Prosessituotannossa tuotevolyymit ovat tyypillisesti suuria, mutta tuotevariaatioita on taas huomattavasti vähemmän kuin projektinomaisessa tuotantomuodossa. (Tuotantotyyppit. N.d.)

1.3 CLT-Raakaelementtitehtaan konekanta

CLT-raakaelementtitehtaan konekanta on riippuvainen siitä missä valmistusasteessa saapuvat materiaalit ovat. Jos raakalauta ostetaan valmiiksi sormiliitosjatkettuna, ei ole tarpeellista hankkia sormiliitoksen tekevää konetta tehtaalle. Jos taas raakalauta ei ole sormiliitosjatkettua, tarvitaan sen tekemiseen tarvittava konekanta. Sormiliitosjatkosten tekeminen tehtaalla tarkoittaa esimääritellyn tarvittavan tuotantotilan sisälämpötilan hallintaa siinä tehtaassa, jossa laudat sormilii-

tos jatketaan. Yleensä raakalautoja joudutaan sormiliitosjatkamaan, jotta saavutetaan riittävä pituus horisontaalisesti. Elementin pidemmän eli horisontaalisen sivun pituuden saavuttamiseksi, yleensä sormiliitosta ei tarvita vertikaaliseen suuntaan, vaan laudat on sahattu sahalla valmiiksi n. kolmen metrin mittaan. CLT-tehtaan tavoitteena on saavuttaa laadullisesti hyvä ja korkea esivalmistusaste, jotta asiakkaiden tai jatkojalostusta tekevien toimijoiden on helpompaa käsitellä ja jalostaa tuotetta. (CLT-raakalevyn valmistus. 4.4.2014.)

Konekantaan siis usein kuuluu CLT-elementtitehtaalla alkuvaiheessa sormiliituskone, jolla jatketaan vaakasuuntaisesti ladontaan menevät laudat. Tämän jälkeen tuotantoprosessin seuraavassa vaiheessa koneena on kuivaaja, jolla kuivataan sisälamellit oikeaan 9-13 % kosteuspitoisuuteen. Kuivauksen jälkeen lamellit siirtyvät esimerkiksi rullakuljetinta pitkin kerroksittain lamellipuristimen ladelmatasolle liimanlevityskoneen kautta, jossa lamellit liimataan ja puristetaan CLT-raakalevyksi. Puristimen ladelmaan siirtoa varten tarvitaan soveltuva nostin, esimerkiksi alipainenostin, jotta kerrokset saadaan sovitettua oikein muottiin. Puristimesta CLT-levy siirtyy sahaan, jossa lappeet sahataan tasalle. Tämän jälkeen kappaleet siirretään esimerkiksi rullakuljettimia pitkin hiomakoneelle, jonka leveyden tulee olla 3,2 metriä. Hiontavaiheen jälkeen, mikäli on nähty tarpeelliseksi olla, tehtaassa vielä CNC-työstökone, jolla saadaan työstettyä raakaelementtiin ikkunoiden ja ovien paikat. Viimeisimpänä koneena linjan lopussa tulee olla pakkaus-kone, jossa pakataan valmiit tuotteet lähetystä odottamaan. Tässä vaiheessa tyypillisesti annetaan pakkauksille oikea lähetystunnus, jotta tuote menee oikealle asiakkaalle. (CLT-raakalevyn valmistus. 4.4.2014.)

1.4 CLT-materiaalin historia ja käyttötarkoitukset

1.4.1 CLT-materiaalin historiaa

CLT-materiaali kehitettiin 1990-luvun alussa Itävallassa ja elementit otettiin käyttöön samalla vuosikymmenellä, ensin Itävallassa ja melkein samanaikaisesti myös saksalaiset alkoivat valmistaa ja käyttää CLT:tä rakentamisessa. Tultaessa 2000-luvun alkupuoliskolle myös muualla Euroopassa aloitettiin CLT:n teollinen valmistus. Myös Pohjois-Amerikassa aloitettiin CLT:stä valmistettujen materiaalien käyttäminen rakentamisessa. Suomessa CLT-elementit ovat verrattain uusi rakennustekninen suunta. Suomessa toimii nyt 2020-luvun alussa kolme CLT-levyjä valmistavaa yritystä, lisäksi Storå Enso tuo CLT-levyjä Suomeen ja välittää niitä eteenpäin Suomen markkinoilla. (E. Karacabeyli, B. Douglas. 2013; Monikerroslevy (CLT). 2020.)

1.4.2 Käyttökohteet

CLT-elementtejä käytetään rakentamisessa monella eri osa-alueella. Elementeistä voidaan rakentaa muun muassa kerrostaloja, omakotitaloja, liiketiloja, urheiluhalleja ja teollisuuslaitoksia. Se on varteenotettava ja ekologinen vaihtoehto rakentamisessa tulevaisuudessa. CLT-rakentaminen soveltuu myös hyvin käytettäväksi muiden rakennustapojen kanssa, ja eri rakennustyylien yhdistäminen rakentamisessa tulee olemaan tulevaisuudessa toimiva ratkaisu. CLT-levyjä käytetään muun muassa betonivalujen kanssa liittorakenteena. Tässä käyttötarkoituksessa monikerroslevy toimii rakenteessa palosuojana. (Monikerroslevy (CLT). 2020.)

1.5 Elementtien rakentamisen menetelmät

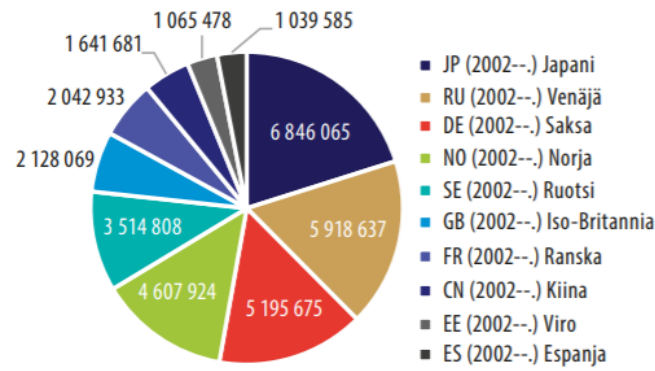
Elementtirakentaminen on helpompaa ja nopeampaa varsinaisella työmaalla kuin kohteen paikan päällä rakentaminen. Lisäksi elementti rakentamisessa mahdollisten kosteusvaurioriskien osuus jää pienemmäksi, koska elementit pidetään suojattuina koko prosessin ajan aina asennusvaiheeseen asti. Elementit rakennetaan tehtaalla asennusvalmiiksi ja asetetaan paikoilleen varsinaisella kohdetyömaalla. Vielä paikalleen asentamisen jälkeen on tarpeellista tehdä suojaus, mikäli kattoa tai muuta vastaavanlaista suojaa ei ole saatavilla nopeasti elementtien päälle. (Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. 2020. s. 11–13)

Elementtirakentamisessa pyritään saattamaan tuotteet mahdollisimman pitkään esivalmistusasteeseen, jotta varsinaisella asennuspaikalla tehtävän työn osuus jää mahdollisimman vähäiseksi. Kuten todettu, elementtirakentaminen soveltuu mm. kerrostalo-, rivitalo- ja omakotitalorakentamiseen, sillä valmiiden elementtien siirtäminen ja asentaminen on kustannustehokasta oikeanlaisella kalustolla, eikä tehtävään vaadita pienillä rakennustyömailla kovin suurta kalustoa. (Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. 2020. s. 11–13)

1.6 Puurakentamisen viennin tilanne

Puusta rakennettuja tilaelementtejä viedään Suomesta myös ulkomaille, mutta vienti on laskenut miltei 80 % vuoden 2007 finanssikriisin jälkeen. Potentiaalia on kuitenkin ulkomaiden markkinoilla, mutta on kuitenkin tärkeää tietää ja tuntea ulkomaisten markkinoiden tarpeet. Etenkin Japaniin

viennin osuus puutalojen osalta on ollut hyvässä kasvussa viime vuosina, ollen ja oli ennen maailmanlaajuisen pandemian aikaa puutalojen viennin osalta suurin ostaja 6 846 065 euron osuudella. (Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. 2020. s. 24–26)

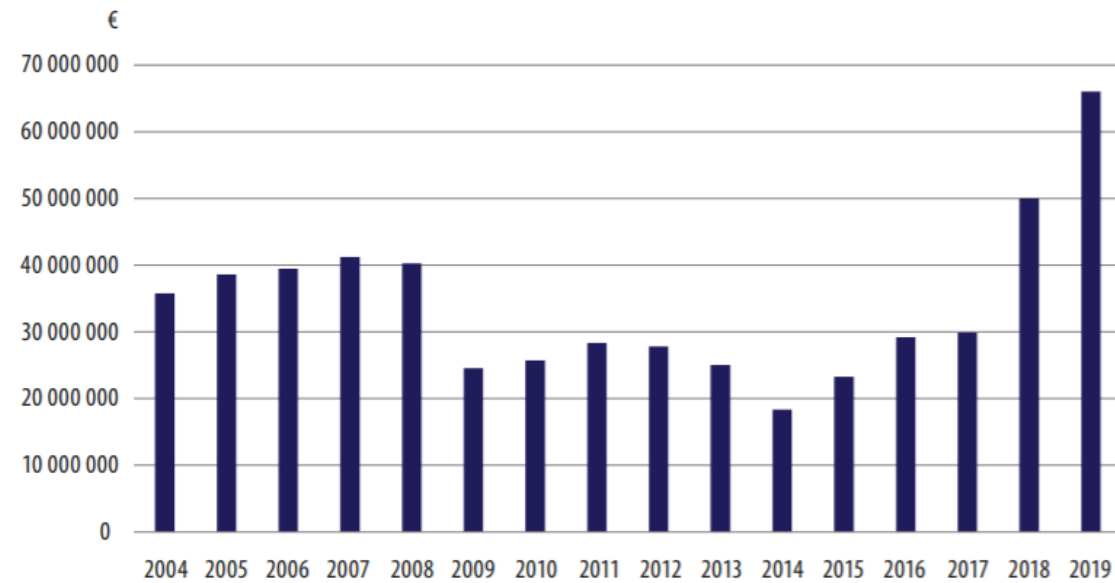


Lähde: Tulli.

Kuvio 3. Vuoden 2019 vienti Suomesta puutalojen osalta euromääräisesti mitattuna.

CLT-elementtien osalta ei ole saatavilla yksityiskohtaisempaa tilastotietoa vientimääristä, mutta tällä hetkellä elementtivalmistajien mukaan vienti näiden tuotteiden osalta on vähäistä. Vienti elementeissä keskittyy pääsääntöisesti tällä hetkellä Norjaan ja Ruotsiin. (Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. 2020. s. 24–26)

Suomeen tuotiin vuonna 2019 vastaavasti puisia elementtejä ja puutaloja n. 70 miljoonan euron edestä. Onkin todettavissa, että puurakentamisen kasvua Suomessa ja muissa Pohjoismaissa on tapahtumassa ekologisen rakentamisen ja yhteiskunnallisen ajattelutavan muutoksen myötä. Tuonti on kasvanut vuodesta 2018 vuoteen 2019 n. 32 prosenttisyksikköä Suomeen tuotujen puurakentamisen materiaalien osalta. (Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. 2020. s. 27)

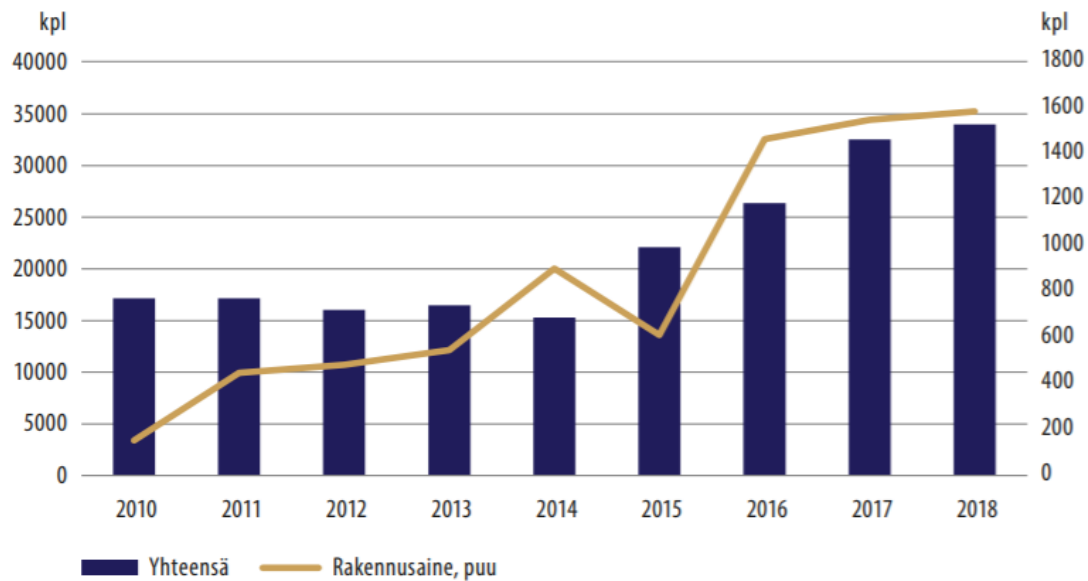


Lähde: Tulli.

Kuvio 4. Puurakentamisen tarvikkeiden tuonti Suomeen vuosina 2004–2019.

Suomessa puusta rakennetaan etenkin pientaloja, ja näiden pientalojen rakennusmateriaalina on 90 %:sti puu. Kuitenkin 2000-luvun alusta omakotitalojen rakentaminen on vähentynyt alle puoleen, ja kerrostalojen rakentaminen on lisääntynyt huomattavasti. Koska pientalojen uudisrakentaminen on vähentynyt merkittävästi, puuta käytetään rakentamiseen kyseisellä rakennussektorilla vähemmän kuin aikaisemmin. Kerrostalorakentamisessa on potentiaalista kasvumaaperää puurakentamisella, vaikka useat toimijat suosivat edelleen betonia rakentamisessa sen helppouden ja standardisoitujen rakennusratkaisujen vuoksi. (Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. 2020. s.12)

Myös poliittisella toiminnalla on vaikutusta rakentamisessa käytettäviin ratkaisuihin, sillä poliittiset päätökset ohjaavat julkishallinnollisia rakennusratkaisuja. Kuvio 5 havainnollistaa puurakentamisen osuutta asuinkerrostalojen rakentamisesta vuosina 2010–2018. Taulukosta voidaan havaita selkeästi, että puurakentamisen osuus valmistuneissa asuinhuoneistoissa on kaksinkertaistunut vuodesta 2015 vuoteen 2016 ja tämän jälkeen puurakentamisen osuus on jatkanut vähäisempää kasvua. Puurakentamisen osuus on kasvanut uusien rakennusmenetelmien kehittyessä ja ilmastoystävällisen imagon ansiosta. (Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. 2020. s. 18–22)



Lähde: Tilastokeskus, rakennettu ympäristö.

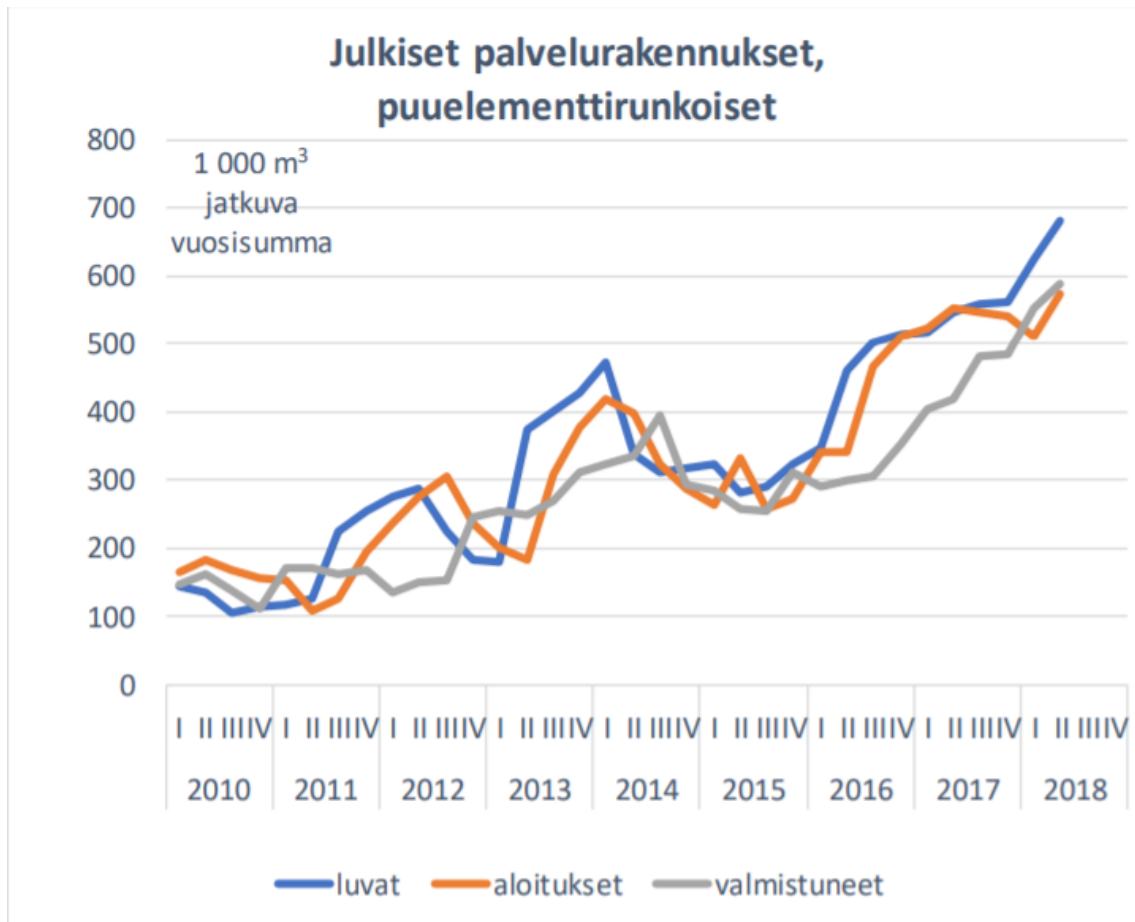
Kuvio 5. Asuinkerrostalojen uusien asuntojen määrä vuosina 2010–2018.

1.7 Kotimaan puurakentamisen markkinatilanne

Vuonna 2020 Suomessa oli suunnitteilla n. 8500 asuinhuoneiston edestä puukerrostaloja, yhteensä suunnitteilla tai rakenteilla olevien puuvalmisteisten kerrostalojen kokonaismäärä oli vuonna 2020 73 puukerrostaloa. Näistä varmasti toteutuvia hankkeita oli 24 ja todennäköisiä 36. Vuonna 2019 suunnitteilla oli 63 puukerrostaloa, joista toteutuvia 18 kerrostaloa (näissä kerrostaloissa on huomioitu ainoastaan vähintään kolmikerroksiset rakennukset). Vuoden 2019 suunniteltujen puukerrostalojen asuinhuoneistojen lukumäärä oli yhteensä n. 7500 asuinhuoneistoa. Vastaavasti vuonna 2018 suunnitteilla oli 51 puukerrostaloa. Näistä luvuista voidaan havaita selkeää kasvua puurakentamisessa kerrostalorakentamisessa. Mikäli kaikki varmat ja todennäköiset puukerrostalo hankkeet toteutuvat, Suomeen on valmistumassa kaikkiaan n. 8300 uutta asuinhuoneistoa lähitulevaisuudessa, joiden pääraaka-aineena rakentamisessa on käytetty puuta. (Suomalainen puukerrostalohankekanta. 2020.)

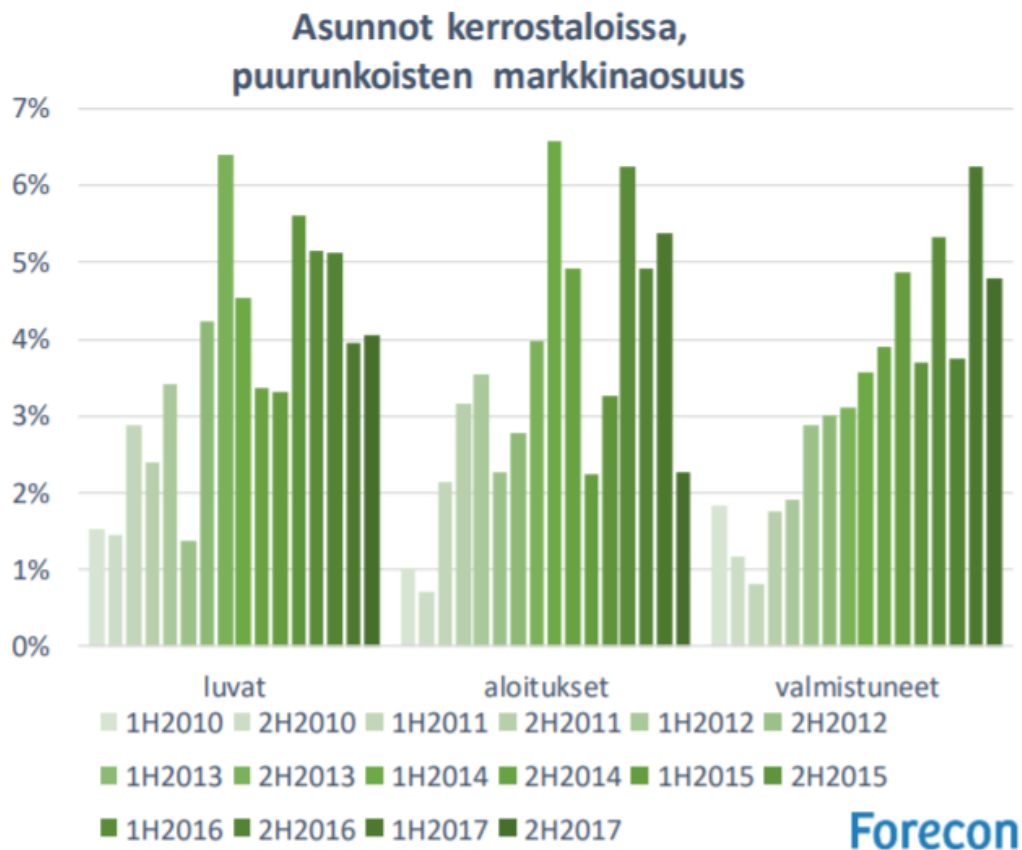
Puurakentamisen suosiota lisää markkinoilla valtionohjausohjelma, jossa valtio tukee kuntien uudisrakentamista puurakentamisen osalta tukemalla avustuksilla. Lisäksi kuntien päättäjille pyritään lisäämään tietoisuutta puurakentamisesta. Suomen valtio on esitellyt puurakentamisen ohjelman, jossa on viisi toimenpidekohtaa, joilla pyritään ohjaamaan julkisen sektorin päätöksiä suosimaan

puurakentamista sen ekologisemman vaihtoehdon vuoksi. Kuviossa 6 näkyy julkisen sektorin palvelurakennusten puurakennushankkeiden kehitystilasto vuosien 2010–2018 välisenä aikana. Tilastosta on nähtävissä yleinen julkisen sektorin rakennushankkeisen suuntaus kohti puurakennus painotteisempaa linjaa. (Puurakentamisen ohjelma. N.d.)



Kuvio 6. Puurunkoiset julkiset palvelurakennukset.

Valtionohjauksesta huolimatta puurakenteisten huoneistojen osuus kaikesta rakentamisesta on suhteellisen vähäistä. Tämä tarkoittaa, että kasvuvaraa on huomattavasti puurakentamisessa, kun saadaan eri tasoille rakentamisessa lisää tietoisuutta puurakentamisesta. Yleisten standardien ja menetelmien kehittyminen massiivipuorakentamisessa ja puurakentamisessa yleensäkin lisää puurakentamisen tehokkuutta ja madaltaa rakennuskustannuksia lähelle betonirakentamisen hintatasoa. Kuvio 7 voidaan havainnoida prosentuaalinen puurakentamisen osuudesta kaikessa kerrostalo rakentamisessa vuosina 2010–2017. (Puurakentamisen ohjelma. N.d.)



Kuvio 7. Asunnot kerrostaloissa, puurunkoisten markkinaosuus.

Puukerrostaloja rakentuu valtionneuvoston selvityksen mukaan eniten Uudenmaan ja Pirkanmaan alueille, selvitys on julkaistu 12/2020. Selvityksen perusteella puisia kerrostaloja, joiden kerroskorkeus on yli 3 kerrosta, rakentuu Pirkanmaan ja Uudenmaan alueille 64 prosenttisesti kaikista toteutuvista hankkeista. Uudellemaalle rakentuu 45 % hankkeista ja Pirkanmaalle 19 % hankkeista. Pirkanmaalle on suunnitteilla, mutta ei varmuudella rakentumassa, seitsemän puukerrostaloa. Muualle Suomeen rakentuvista hankkeista painopisteet jakautuvat huomattavasti tasaisemmin. Varmasti tai mahdollisesti rakentuvia puukerrostaloja on suunnitteilla kaikkien muiden maakuntien alueille lukuun ottamatta Lappia, Etelä-Karjalaa, Päijät-Hämettä ja Ahvenanmaata. (Suomalainen puukerrostalohankekanta. 2020.)

2 Tutkimuksen aiheenvalinta ja rajaukset

Tämän tutkimuksen aiheena on CLT-raakaelementtitehtaan saapuvien ja lähtevien materiaalivirtojen kartoittaminen. Aiheen valintaan vaikutti työn haastavuuden lisäksi tarjottu mahdollisuus tehdä tutkimus aiheesta, jota en ole aikaisemmin päässyt tutkimaan eikä minulla ollut oikeastaan lainkaan etukäteistietoa CLT:stä rakennusmateriaalina. Toimeksiantajana tässä projektissa toimii Saarijärven kaupunki, ja osa informaatiosta on saatu toimeksiantajalta tapaamisten ja etäpalaverien yhteydessä.

Tutkimus keskittyy CLT-elementtitehtaan saapuvien materiaalivirtojen analysointiin kartoittamiseen tehtaaseen, jonka suunniteltu kapasiteettitarve on 50 000 kuutiometriä. Tämän pohjalta tehdään teoreettiset laskelmat ja kartoitetaan raakaelementtitehtaalle tarvittavat logistiset kustannukset saapuvia ja lähteviä materiaaleja varten. Lisäksi kartoitetaan potentiaalisimmat toimittajat raakamateriaalien osalta. Painopiste on Saarijärven talousalueen lähialueella sijaitsevilla mahdollisilla toimittajilla. CLT-elementtitehtaan oletettu sijainti on suunnitellusti Saarijärven kaupungin alueella.

Tutkimuksessa esitetään tarvittava tietopohja logistisesta tarpeesta materiaalivirran suunnittelusta ja kartoitetaan tuotannossa tarvittavat materiaalit sekä logistiikan kustannuspohja. Lisäksi käsitellään varastointiin liittyviä kysymyksiä, jotka koskevat pientavaroiden varastointia, välivarastojen tarpeellisuutta ja valmistuotevaraston käyttöä valmiiden tilaelementtien suojaamiseen liittyen. Opinnäytetyössä sivutaan hieman vallitsevaa markkinatilannetta puurakentamisen osalta Suomessa ja vientiä Suomesta maailmalle.

3 Tutkimusmenetelmät ja tiedonkerääminen

Tutkimusmenetelmiä on useita erilaisia ja ei ole yhtä ainoata oikeaa tapaa kerätä aineistoa tutkimuksia varten. Tyypillisesti tutkimuksen tekijällä on jokin erityinen tapa kerätä tietoa valmiista aineistoista. Monet tutkimussuunnat menevät osin limittäin, ja tästä syystä tutkimuksissa ei valita vain yhtä lähestymissuuntaa vaan käytetään useampia erilaisia tutkimusmenetelmiä tutkielman tulosten kirjaamiseksi. Kolmena yleisimpänä tutkimusstrategiana pidetään kokeellista, tapaus- ja Survey-tutkimusta. (Hirsjärvi, Sajavaara & Remes 1997, 134–135)

3.1 Tutkimusstrategia

Kokeellisessa tutkimusstrategiassa käsitellään yhden muuttujan vaikutusta toiseen muuttujaan, ja menetelmässä mitataan eri olosuhteissa tapahtuvia muutoksia, ja testataan hypoteeseja tutkittavaan muuttujaan. Tapaustutkimus metodissa käsitellään muuttujan informaatiota ja siihen liittyvän viitekehyksen tapauksia. Käyttämällä jo kerättyä aineistoa, ja pyritään havainnoimaan uusia tapauksia aiheeseen liittyen. Survey-tutkimusmallissa kerätään strategisesti tietyiltä ihmisryhmiltä aineistoa, jokaiselta ryhmältä personoiduilla kysymyksillä. (Hirsjärvi, Sajavaara & Remes 1997, 134–135)

3.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmistä merkityksellisimpiä ovat laadullinen ja määrällinen, eli kvantitatiivinen ja kvalitatiivinen. Nämä menetelmät luovat tutkimuksellisen pohjan tälle tutkimukselle. Yhdessä kvantitatiivinen ja kvalitatiivinen tutkimus ovat miltei erottamattomat, vaikka usein ajatellaan näiden kahden olevan toistensa vastakohtia. Laadullinen ja määrällinen tutkimusmenetelmä täydentää toisiaan, kun niitä käytetään tutkimuksellisesti oikeassa laajuudessa. Kyseisiä tutkimusmenetelmiä ei voida selkeästi erottaa toisistaan vaan nämä tutkimussuunnat kulkevat osittaisessa symbioosissa keskenään. (Hirsjärvi, Sajavaara & Remes 1997, 135–139)

4 Katsaus CLT-elementtirakentamisen ympäristöllisiin vaikutuksiin

Ympäristöllisesti CLT-elementtirakentaminen on kestävä kehityksen kannalta hyvä vaihtoehto, sillä puu sitoo hiiltä, ja puusta rakentaminen ei aiheuta juurikaan ympäristöllistä haittaa. CLT-elementtien pääraaka-aine, siis puu, sitoo kasvuprosessissaan hiilidioksidia ilmasta. Yhdessä kuutiometrissä puuta on sitoutuneena noin 750 kg hiilidioksidia. Tämä hiilidioksidi säilyy sitoutuneena vielä hakkuiden ja puun jatkojalostuksen aikana. CLT:stä rakennettu rakennus on laskennallisesti eräänlainen hiilivarasto, jonka sitoma hiilidioksidi säilyy poissa ilmakehästä vuosikymmenien tai jopa vuosisatojen ajan. (Lahtela. Viljakainen. 2019 s.14–15; Hiilensidonta. N.d.)

4.1 Rakentamisen hyödyt

Puurakentaminen on tällä hetkellä vielä kalliimpaa kuin esimerkiksi betonirakentaminen, mutta vastaavasti puurakenteisten asuntojen ympäristölliset vaikutukset ovat positiivisemmat ympäristön näkökulmasta. Puukerrostalon neliöhinta oli eräässä kohteessa 3376 € ja vastaavan samanlaisen betonikerrostalon neliöhinta oli 3123 €, joten kerrostalo neliötä kohden hintaeroa tuli siis 253 euroa. CLT-elementti rakenteisten puukerrostalojen neliöhinnat vaihtelevat 3200 € - 3500 € välillä. (Rönkkö. 2020 s. 9; M. Kortelainen. 2020.)

Teollinen rakentaminen ja korkea esivalmiusaste rakennetuissa elementeissä on mahdollistanut turvallisemman työskentelyn ja kustannustehokkaamman rakentamisen. Tehdasoloissa voidaan mahdollistaa hyvä logistinen prosessi, joka on järjestelmällistä ja hyvin aikataulutettua. Laadullisesti teollinen rakentaminen on kehittänyt huomattavasti prosessissa saatujen valmiiden tuotteiden parempaa laatua. Paremman laadun saamiseksi laadunseurantajärjestelmät ovat yleensä kehittyneet uudelle ja tehokkaammalle tasolle. (Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. 2020. s. 11–13)

CLT-elementeistä rakennettaessa variaatioiden mahdollisuus on todella laaja, ja moduulit voidaan myöhemmin purkaa ja kuljettaa jonnekin muualle rakennettavaksi jälleen uudelleen. CLT-rakentamisessa on paljon myös muita etuja, jos verrataan CLT-elementti rakentamista muihin rakennustyyliihin. CLT-elementeistä rakennettaessa seinien ja kantavien rakenteiden massat ovat huomattavasti pienemmät kuin vastaavasti betonielementeistä rakennettaessa. Toisaalta kun verrataan perinteiseen puuelementtiin, CLT:stä valmistetussa elementissä mahdollinen kosteusvaurio on helposti havaittavissa elementin pintakerroksessa. Vastaavasti puuelementissä kosteusvaurio saattaa olla pitkään piilossa rakenteissa ja ilmaantua vasta myöhäisessä vaiheessa homeen muodostuttua rakenteisiin. (Miettinen. 2021.)

Koska CLT-elementissä moduulin seinärakenteessa on vain kahta tai maksimissaan kolmea raakaainetta, on mahdollisen rakentamisessa aiheutuneen rakennusvirheen mahdollisuus huomattavasti pienempi kuin perinteisessä teollisen puurakentamisen moduulin seinärakenteessa. Massiivi puilla on luuloista huolimatta hyvällä tasolla oleva palonkestävyys, sillä CLT-elementti on pintakäsittely palonsuoja-aineilla. Lisäksi teollisen puurakentamisen CLT-elementtituotannossa tuotetun

moduulin tai elementin dokumentointi suunnittelusta, kokoonpanosta, asennuksesta ja käyttöohjeista on huomattavasti helpompaa kuin perinteisessä talon rakennuspaikalla tehtävässä rakentamisessa. (Miettinen. 2021.)

Puurakenteisten ja muilla rakennustavoilla tehtyjen rakennusten ympäristöllisistä vaikutuksista on nykypäivänä saatavilla hyvin tutkimusaineistoa. Aiheesta kiinnostunut lukija saa lisätietoja esimerkiksi seuraavista lähteistä: Mikko Viljakaisen ja Tero Lahtelan tutkimus ”Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu, 2019” ja rakennusliike Reposen 2020 vuonna toimittama tapaustutkimus ”Puu- ja betonirunkoisen kerrostalon vertailun tutkimusohjelman tulokset”.

4.2 Välilliset vaikutukset

Välillisiä vaikutuksia tehtaan toiminnasta ovat muun muassa sivuvirtojen hyödyntäminen lähiseudun teollisuudessa. Tätä kautta voidaan parantaa ympäristötehokkuutta ja saada sivutuloja päätuotteiden lisäksi. Tehtaasta koituu myös välillisiä vaikutuksia seudullisesti; se tuottaa tehtaan sijaintipaikkakunnalle verotuloja sekä työpaikkoja niin suoraan, kuin välillisesti muun muassa palveluiden ja kuljetusten kautta. Lisäksi tehtaalla on vaikutusta infrastruktuurin kehittymiseen, sillä valmiit tuotteet vaativat kuljettamiseen isoa kuljetuskalustoa, sekä tästä syystä infrastruktuurin täytyy olla riittävällä tasolla. (Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen. 2021)

5 Materiaalilogistiikka

5.1 Saapuvien materiaalien hallinta

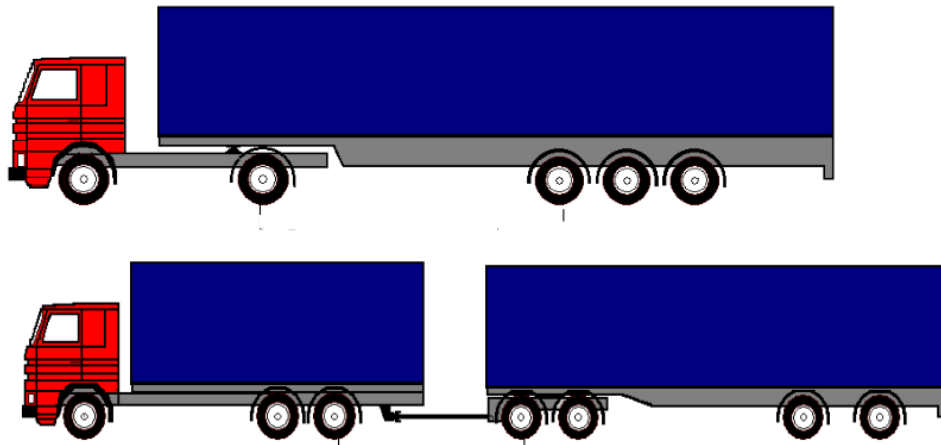
Saapuvia materiaaleja hallitaan tyypillisesti käyttämällä apuna materiaalinohjaukseen soveltuvia tietojärjestelmiä, jotka seuraavat saapuneen materiaalin liikkeitä koko tuotantoprosessin läpi aina vastaanotto vaiheesta lähetykseen. Tuote kirjataan järjestelmään, kun se saapuu vastaanottoon. Tuote tulee paikoittaa uudelleen materiaalivirran seurantajärjestelmässä aina, kun tuote vaihtaa paikkaansa prosessissa. Uudelleen paikoittaminen on tärkeää, jotta järjestelmä pysyy ajan tasalla prosessissa tapahtuvista muutoksista ja tuotannonohjaus on ajantasaisista, sekä tuotannosuunnittelu ja työnjohto pystyy tekemään tarvittavia muutoksia, mikäli tarvetta tällaiseen ilmenee. (Tuotantotyytit. N.d.)

5.1.1 Materiaalien kuljettamiseen tehtaalle käytettävä kalusto

Materiaalien kuljettamiseen voidaan käyttää kappaletavara-autoja, jotka suojaavat kuljetettavia raaka-aineita sateelta ja muilta ilmastollisilta vaihteluilta. Kuljetuskaluston on mahdollista olla joko lämmitetyllä tai kylmällä varastotilalla. Kappaletavara-auto koostuu vetoajoneuvosta ja trailerista tai mahdollisesti vetoautosta, jossa on katettu tavaratila ja perävaunu. Kuljetuskalusto koostuu puoli- ja täysperävaunullisista yhdistelmistä tai nykyisen lainsäädännön mahdollistamista HCT-yhdistelmistä. HCT-yhdistelmiä on useampaa erilaista mallia. Kuviossa 3 havainnollistetaan tielikenteessä käytössä olevia HCT-yhdistelmiä. Kuviossa 4 havainnollistetaan perinteisempien kuljetuskalustojen malleja. (P. Murto. 2018.)



Kuvio 8. HCT - yhdistelmiä



Kuvio 9. Puoli- ja täysperävaunuyhdistelmät

5.1.2 Varastointi

Varastointia suunniteltaessa on otettava huomioon varastossa säilytettävien materiaalien vaatimat olosuhteet ja varastointia vaativien materiaalien tavaravolyymit, sekä etäisyys tuotantoon varastosta. Etäisyys ei saisi olla kovin pitkä ja raaka-aine materiaalien tulee olla helposti saatavilla koko tuotantoprosessin aikana eri tuotantopisteille. Raaka-aine- ja komponenttivaraston on hyvä sijaita suhteellisen lähellä sitä paikkaa, missä näitä materiaaleja tullaan tarvitsemaan tuotannon sujuvuutta silmällä pitäen. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotannon ja varastosta haettavien tuotteiden sekä komponenttien keräily toimenpiteeseen kuluva työaika ei kasva kohtuuttoman suureksi. Varaston suunnittelussa tulee määritellä tarvittava varaston koko laskennallisilla menetelmillä. (Varaston käyttötarpeen vaikutus suunnitteluun. N.d.)

Varaston kokoa laskettaessa määritteenä tilan tarpeelle voidaan käyttää menetelmänä tapaa, jossa ensin lasketaan varastointia tarvitsevan nimikkeen, varasto- tai kuljetusyksikön vaatima tilantarve, ja tilantarve kerrotaan varastointia tarvitsevien nimikkeiden tai lavojen kappalemäärällä. Varaston kokonaiskapasiteetin tarve saadaan yleisesti lisäämällä varastoitavan tavaran vaatimaan pinta-alaan kymmen prosenttia, ja tästä saadaan varaston kokonaisuudessaan tarvitsema pinta-ala. Tämä varastonpinta-alan laskukaava soveltuu käytettäväksi useissa vaihtoehdoissa, mutta silloin kun varastossa varastoidaan kappaleita, jotka ovat kokoluokaltaan suurempia tai muuten

muodoltaan sellaisia, että tarvittava käsittelyn vaatima tila on suurempi kuin laskennallinen 10 % varastonpinta-alasta. (Varaston käyttötärpeen vaikutus suunnitteluun. N.d.)

5.1.3 Varastointimenetelmät

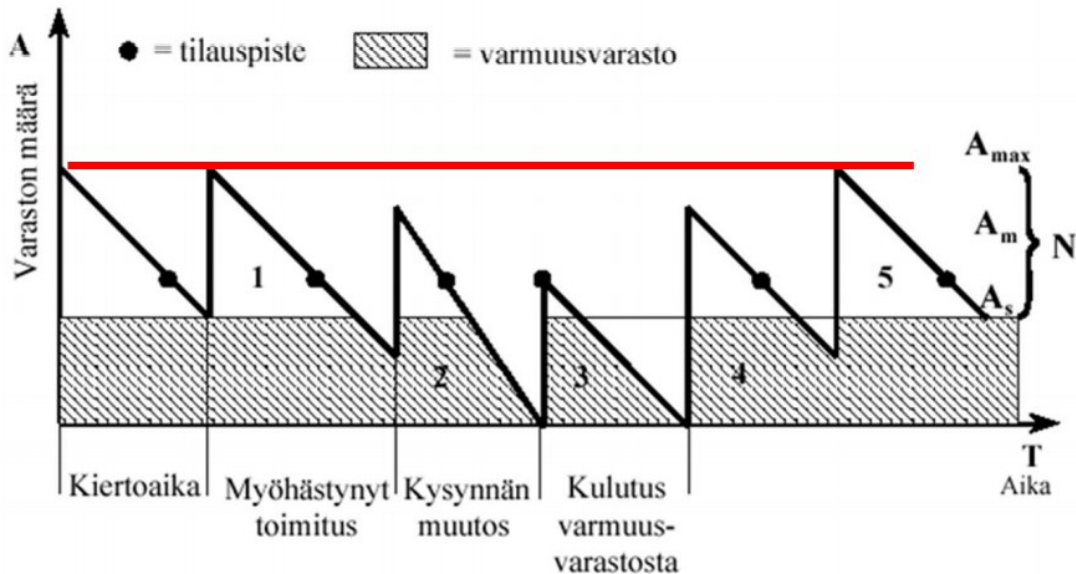
Tehtaan tuotannossa tarvitaan varastointimahdollisuutta tuotantoon tuleville komponenteille ja raaka-aineille ja mahdolliselle keskeneräiselle tuotannolle eli KET:lle. Usein vastaanotossa välivaraston tarve on suuri, sillä vastaanoton tulee ottaa kaikki tehtaalle tulevat materiaalit vastaan ja jakaa ne siitä käyttökohteisiin ennalta määriteltyihin paikkoihin. Materiaalivaraston tulee olla soveltuvan kokoinen ja hyvin jaoteltu, jotta materiaaleilla on riittävästi tilaa varastoinnissa ja keräilytuotannon tarpeisiin on mahdollisimman kustannustehokasta ja sujuvaa. Varastoinnissa tulee ottaa huomioon mahdollisen varmuusvaraston määrä ja tilauserät, jotka yhdessä määrittävät maksimivaraston tilantarvekapasiteetin. Varmuusvarasto ei ole tarpeellinen, jos tiedetään varmuudella myynnin ja hankintaan kuluvan ajan olevan vakioita. Varmuusvarastossa säilytettävien materiaalien määrä ei kuitenkaan kannata olla tarpeettoman suuri, sillä vuotuiset varastointikustannuksen kasvavat sitä mukaan, kun varastossa säilytettävän tavaran määrä kasvaa. (Varaston käyttötärpeen vaikutus suunnitteluun. N.d.)



Kuvio 10. Lautojen varastointi välirimoituksella

Varmuusvaraston olemassaolo on usein tuotantoyritykselle tärkeää, sillä ongelmatilanteen tapahtuessa varasto ei heti pääse loppumaan ja tuotanto pystyy toimimaan. Ilman varmuusvarastoa voi olla tilanne se, että tuotanto pysähtyy ja toimitukset tehtaalta eteenpäin viivästyvät ja siten palveluaste heikkenee. Kun palveluaste pysyy hyvällä tasolla, yrityksen toimitusvarmuus voi tukea sen

kumppanien käsitystä, että yritys on luotettava ja pystyy pitämään lupaamansa toimitusaikataulut. (P. Holappa. 2007. s. 4)



Kuvio 11. Varastonkapasiteetti vaihtelut

Tilauseräkoot määräytyvät ennustetun kysynnän ja varmuusvarastonkapasiteetti tilanteen mukaan. Tilaukset pyritään tekemään aina hyvissä ajoin ennen kuin varastonkapasiteetti lähestyy varmuusvaraston kapasiteettia. Kuviossa 11 havainnollistetaan varaston maksimikapasiteettia, materiaalien määrää varastossa ja tilauserien vaiheita, sekä tuodaan esille varmuusvaraston tarpeellisuutta, jotta yritys pystyy vastaamaan kysynnänvaihteluihin. Tämä ei ole tarpeellista, jos kysyntä on suhteellisen tasaista, mikä harvoin liiketoiminnassa kuitenkaan toteutuu. Taulukossa näkyvistä termeistä A_m tarkoittaa varaston maksimimäärää, N merkitsee tilattavaa tai valmistettava täydennyserää, ja A_s tarkoittaa varmuusvaraston määritelty maksimimäärää.

5.1.4 EOQ laskentamalli

Tilauserän koko voidaan määritellä optimaaliseksi käyttämällä yhdysvaltalaisen Ford W. Harrisin 1913 vuonna esittelemää matemaattista kaavaa Economic Order Quantity eli supistetumasti ilmaistuna EOQ. Sen avulla voidaan määritellä kustannuksilta optimaalisin tilauserä koko ja johtaa tilauserien lukumäärän vuoden aikana. EOQ toimii parhaiten nimikkeillä, jotka ovat säännöllisesti tuotantoon hankittavia.

EOQ kirjoitetaan kaavana muotoon $Q = \sqrt{\frac{2KD}{H}}$, missä Q on optimaalinen tilauserä, K on kiinteät kustannukset tilaus yksikköä kohden, D on vuotuinen kysyntämäärä ja H tarkoittaa varastoinnin kustannuksia vuodessa yhtä tilattavaa yksikköä kohden. (Andriolo, Battini, Grubbström, Persona & Sgarbossa. 2014.)

EOQ on käyttökelpoinen, kun tiedetään tuotantoon tulevien tuotteiden kokonaisvuosikulutus. Tällöin voidaan laskea kyseisellä kaavalla vuoden hankintaerille tilauserä koko. EOQ ei ota huomioon myynnin mahdollisia kausivaihteluita ja tuotannon läpimenoaikojen vaihtelua. (Andriolo ym. 2014.)

5.1.5 Pientavaravaran suunnittelu

Pienten kokoonpano-osien kuten ruuvien, aluslaattojen, naulojen ja muiden vastaavien tuotteiden kohdalla yksi hyvä vaihtoehto on VMI menetelmä, joka tarkoittaa Vendor Managed Inventory eli vapaasti suomennettuna toimittajan hallinnoimaa varastoa. Varastossa olevat osat ovat yleensä jo tehtaan omistuksessa, mutta toimittaja hallinnoi varastoa ja toimittaa tarvittaessa aina täydennykset. Pientavaroiden toimituspiste määräytyy osanimikkeelle asetetun hälytysrajan mukaisesti. VMI varastoissa pidetään usein myös MRO-tuotteita, jotka ovat kunnossapidon, huollon ja korjauksen osia/työkaluja. (Varastonohjauksen ulkoistaminen. N.d.)

5.2 Lähtevät materiaalit

5.2.1 Valmistuotevarasto

Valmistuotevaraston suunnitteluun ja toteutukseen vaikuttavat varastoon tuotannosta saapuvien tuotteiden koko ja lähtevien tuotteiden eräkoot, sekä tuotteiden tarvitsemat olosuhdevaatimukset. Lisäksi valmistuotevarastoa suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon sijainti tuotantolaitoksessa. Mikäli kyseessä on linjatuoantoa käyttävä tuotantolaitos, valmistuotevaraston optimaalinen paikka on tuotannon loppupäässä, jotta materiaalivirta on sujuvaa. Valmistuotevarasto mahdollistaa suurempien lähetyserien toimittamisen kerralla. Mikäli kuljetettavat valmiit tuotteet vaativat erikoiskuljetusta, on kustannustehokkaampaa lähettää valmistetut tuotteet suurempina kokonaisuuksina asiakkaalle. (Varaston käyttötärpeen vaikutus suunnitteluun. N.d)

5.2.2 Lähtevien materiaalien kuljettamiseen käytettävä kalusto

Lähtevien materiaalien kuljetukseen käytettävä kuljetuskalusto on ilman päällysrakennetta, kuten kuvioissa 7 esitetään. Eroavuutena kuitenkin se, että CLT-elementtien lähtevät kuljetukset joudutaan suorittamaan erikoiskuljetuksena. Kuljetusta ei voida toteuttaa tieliikennelaissa annettujen suurimpien ajoneuvon sallittujen mittojen rajoissa. Kuljetettavat elementit ovat siinä mielessä haasteellisia, että vaikka lastaus suoritettaisiin vaakatasossa niin ylitystä tapahtuisi leveydessä, tai jos kuljetettavat elementit olisi lastattu pystysuoraan niin kappaleet ylittäisivät suurimman sallitun korkeuden. Kuljetettaessa massallisesti raskaita kappaleita täytyy muistaa, että vaikka tilaavuus antaisi mahdollisuuden lastata määrällisesti paljon kappaleita kyytiin. Täytyy kuitenkin huomioida, ettei kuljetuskaluston suurimmat sallitut rakenteelliset massat kuorman kanssa ylitä sallittuja laillisia rajoja. (P. Murto. 2018; Tieliikennelaki. 2018, 157 a §)



Kuvio 12. Avoperävaunu.

5.2.3 Sivuvirrat

Sivuvirtojen hyödyntäminen energian tuotannossa pienten puisten jätteiden osalta on mahdollista, ja isompia elementeistä irti leikattavia kappaleita voidaan mahdollisuuksien rajoissa hyödyntää muissa käyttökohteissa. Koneistusvaiheessa ylimääräiseksi jääviä ovien ja ikkunoiden kohdalta leikattuja elementin kappaleita voidaan myydä niin yksityisille toimijoille kuin yrityksillekin. Pienemmät kappaleet ja sahajätteet soveltuvat hyvin energiateollisuuden tarpeisiin ja ne voidaan valmistaa muun muassa pelleteiksi, josta ne siirtyvät poltettavaksi energiaksi polttolaitoksissa. Näiden sivuvirtojen hyödyntäminen mahdollistaa tehtaalle lisätuloja. Näin voidaan myös korostaa ja

tehostaa ympäristöystävällisen rakennustavan merkitystä, sillä CLT-levyn valmistuksessa ei juuri-kaan tule sivuvirtoja, jotka olisivat suoraan pois heitettyä hukkatavaraa. (CLT:n hiilivarastot ja hiilijalanjälki. 2021)

6 Tehtaan sijoittuminen ja kuljetusreitit

6.1 Sijoituspaikkakunta

Tehtaan oletettuna sijoituspaikkakuntana tässä tapauksessa on Saarijärven kaupungin alue ja siellä kaavoitettu tehtaalle sopiva paikka. Saarijärven kaupunki sijaitsee 70 kilometrin päässä Jyväskylästä, joka on Keski-Suomen suurin kaupunki. Saarijärven kaupunki on Keski-Suomen maakunnan pohjoisessa osassa sijaitseva seutukeskus, jonka keskustaajama on rakentunut kolmen järven keskelle. Kaupungissa sijaitsee myös Jyväskylän ammattikorkeakoulun biotalousinstituutin kampus, joka on keskittynyt opetuksessa biotalousalaan. (Kuntainfo. N.d.)

Lisäksi kaupungissa on ammatillista koulutusta järjestävä oppilaitos, Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopisto, jossa on maa- ja metsätalous alaan liittyviä tutkintolinjoja. Muutamina esimerkkitutkintoina mainittakoon talonrakentaja, maa- ja metsätalous yrittäjä koulutukset. Talonrakennus puolella POKE:lla on haluttu panostaa jo muutama vuosi sitten CLT-elementeistä rakentamiseen, sillä rakennustapa eroaa kuitenkin huomattavasti niin sanotuista perinteisistä rakennustavoista. (Kuntainfo. N.d.)

6.2 Raaka-aineiden kuljetusreitit tehtaan sijaintipaikkakunnalle

Saarijärvelle tulevat tärkeimmät tieverkot ovat valtatie 13 ja seututiet 633 ja 648. Valtatie 13 kulkee Saarijärven kaupungin lävitse aina Kokkolaan Keski-Pohjanmaan rannikolle, jossa sijaitsee lähin merisatama. Tien toinen ääriraja on Äänekosken kaupungissa ja siellä valtatie 13 liittyy valtatiehen 4. Seutukunta tie 633 vie Ähtäriin suuntaan Saarijärveltä ja tie 648 vie Kannonkosken kunnan suuntaan. (Tienumerointi ja tienumerokartat. N.d.)

Saarijärvelle tulee myös rautatie. Se ei ole henkilöliikennekäytössä, mutta tavaraliikennettä kyseisellä rautatiellä kyllä kulkee päivittäin n. 2–6 junaa. Saarijärven rautatie on peruskorjattu Jyväskylään asti ja uusi peruskorjaus on vireillä Haapajärvi – Saarijärvi osuudelle. (A. Savela, 2019; Rataverkon peruskorjaukset ja turvalaitteiden uusiminen. 24.4.2020.)

6.3 Valmiiden tuotteiden kuljetusreitit tehtaalta asiakkaille

Valmiita tuotteita voidaan kuljettaa tehtaalta asiakkaille käyttäen maantieverkostoa hyödyksi, tai etenkin Uudellemaalle kuljetettaessa voidaan myös harkita käytettävän rautatieverkostoa ja siten kuljetusvaihtoehtona tavarajunia valmiiden kappaleiden perille viemiseen. Rautatie on hyvä vaihtoehto etenkin, kun kuljetetaan valmiita elementtejä satamiin vientitoimituksiin. Saarijärveltä, eli suunniteltavan CLT-elementtitehtaan sijaintipaikkakunnalta, on rautatieyhteys Uudellemaalle ja Pirkanmaalle, joissa on todennäköisesti eniten rakennettavia kohteita tutkimusten perusteella lähitulevaisuudessa. (Rataverkon kartat. 2021.)

7 Tutkimuksellisen lähestymistavan määritteleminen

Tutkimuksessa käytettäviä tutkimusmenetelmiä ovat kvantitatiivinen ja kvalitatiivinen. Suomen kielellä kvalitatiivista tutkimusmenetelmää sanotaan laadulliseksi tutkimukseksi ja kvantitatiivinen tutkimus tarkoittaa määrällistä tutkimussuuntausta. (Hirsjärvi, Sajavaara & Remes 1997, 179–182)

7.1 Aineistonkeräämisen menetelmät ja aineistomateriaalit

Aineiston kerääminen suoritetaan tutkimukseen pääsääntöisesti dokumentaarisista lähteistä ja mahdollisuuksien mukaan pyritään hyödyntämään saatavilla olevia tilastollisia lähteitä. Lisäksi aineistoa pyritään saamaan kirjallisesti toimijoita, jotka ovat sidoksissa aiheeseen joko suoraan tai välillisesti.

Aineistoa kerätään tieteellisistä julkaisuista, aikaisemmin julkaistuista tutkimuksista, alalla toimivien sidosryhmien verkkojulkaisuista, joiden tietoja pyritään tarkastelemaan kriittisesti ja todentamaan tietojen oikeellisuutta vertaamalla verkkojulkaisuja ja dokumentteja toisiin samankaltaisiin julkaisuihin. Aineistoa kerätään myös julkishallinnollisista lähteistä, sekä aikaisemmista opinnäytetöistä.

8 Tuotannon suunnittelun perusteita

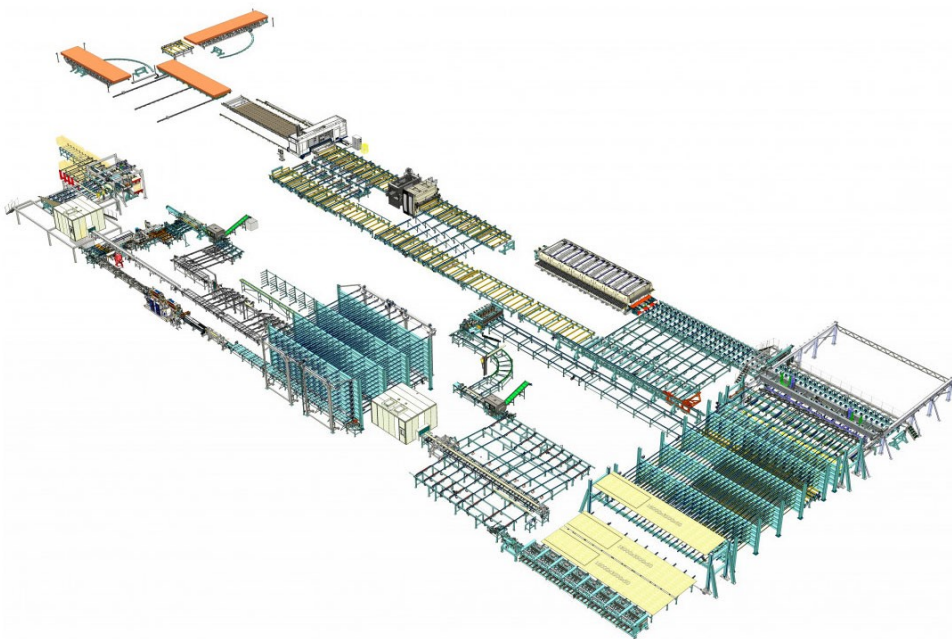
CLT-elementtitehtaan materiaalivirtoja mietittäessä tulee ottaa olennaisesti huomioon tuotannon konekanta, varastointitarve ja tuotantomenetelmät, nämä kaikki tuovat oman osansa tuotannon suunnitteluun ja logistisiin ratkaisuihin. Huomioimalla mahdollisimman hyvin koneiden ja varastojen erityispiirteet voidaan suunnitella tuotanto toimivaksi ja kehittää optimaaliset toimintatavat.

Tuotantoa suunnitellessa tulisi ottaa huomioon, mahdollinen tarve kasvattaa tuotantoa tulevaisuudessa. Tehtaassa olisi alkuun yksi tuotantolinjasto, jonka niin sanottu monistaminen olisi tarpeen vaatiessa mahdollista. Tehtaan määritellyn kapasiteetin saavuttamiseksi tuotannon tulisi toimia kahdessa vuorossa.

8.1.1 Konekanta

CLT-elementtitehtaan toiminnan kannalta siinä tarvitaan konekanta, joilla valmistetaan CLT-levyjä/elementtejä. Mahdollisimman pitkälle kehitetty tuotanto pystyy valmistamaan pitkälle ja-
lostettuja elementtejä. Sormiliitoskone saatetaan tarvita, sillä jo valmiiksi sormijatkettua raakalautaa on hankala saada markkinoilta ja myös niiden kuljettaminen on hankalaa.

Tehtaassa tarvitaan kuumaliimoituskoneita, jotka tekevät syrjäliimaukset ja lamelliimoitukset elementeissä. Tehtaan konekantaan kuuluu myös puristimet, joissa elementti alkaa saamaan lopullista muotoaan. Hiomakoneet pitkittäis- ja poikittaissuuntiin ovat tärkeitä pintakäsittelyn osalta. CNC-kone on tarpeellinen ikkuna ja ovi reikien tekemiseen elementtiin. Koko prosessin aikana materiaalien liikutteluun käytetään alipainenostimia ja rulla- tai ketjukuljettimia. Lisäksi prosessin aikana on useammassa kohdassa laatua seuraavia sensoreita, jotka hälyttävät, mikäli laadussa ilmenee poikkeamia. Alla näkyvässä kuviossa havainnollistava layout mahdolliseksi tehtaan pohjapiirroksiksi.



Kuvio 13. Mahdollinen CLT-elementtitehtaan layout.

8.2 Elementtien materiaalikustannukset

Elementtien materiaalikustannukset muodostuvat suurimmilta osin koneiden kustannuksista, kuljetuskustannuksista, tehtaan lämmityksestä, henkilöstökuluista ja raaka-aineista, joista pääraaka-aineita ovat sahattu raakalauta ja liimat. Näiden lisäksi jatkojalostusvaiheessa käytettävien CNC- ja hiomakoneen kuluviin osien laskennalliset materiaalikustannukset vaikuttavat tuotteiden valmistuskustannukseen.

Materiaalien kuljetukset etenkin pääraaka-aineissa ovat olennainen osa kustannusrakennetta, ja siksi on tärkeää pyrkiä minimoimaan näistä kuljetuksista muodostuvat kustannukset. Raaka-aineiden toimittajien sijainti tehtaasta on hyvä saada mahdollisimman läheiseksi, jotta voidaan hallita kuljetusmatkaa ja täten myös kustannuksia. Lisäksi ympäristölliset näkökulmat on syytä ottaa huomioon, kuljetuksien suunnittelussa. Näihin voidaan vaikuttaa käyttämällä lähiseudun sahoja merkittävimminä toimittajina. Yhden elementin valmistuksen kokonaishinta voidaan selvittää vähentämällä kuljetuskustannukset, jos kysytään jo olemassa olevalta elementin valmistajalta elementin hintaa perille toimitettuna.

9 Tulevat ja lähtevät materiaalivirrat

CLT- raaka- ja runkoelementtejä valmistavaan tehtaaseen tulee pääsääntöisesti raakalautaa, jolla on lujuusluokitus C24 kolmessa eri laatuasteessa. Laatuluokkina käytetään yleisesti A, B ja C luokituksia. Näiden luokitusten eroavaisuuksina on se, minkä laatuista pinta on raakalaudassa. Vähän oksaista laatua voidaan käyttää ulkopinnoilla, jolloin se on A-laatuinen. Mahdollisesti voidaan käyttää myös B-laatuista, joka vaatii ylimääräistä käsittelyä laadun takaamiseksi. C-laatusella pinnalla tulevat raakalaudat soveltuvat elementin sisempiin lamelleihin. Materiaalien vastaanotossa tulee käyttää pääraaka-aineiden osalta tuotannon vaatimaa kolmeen luokitukseen perustuvaa varastoon jakoa, jossa sahalta tulleet raakalaudat ohjataan varastoon luokittain A, B ja C.

Mikäli tuotannon aikana joudutaan mahdollisesti tekemään normaalista työjärjestyksestä poikkeavia toimenpiteitä, työnjohdon on kirjattava muutokset prosessissa järjestelmään, jotta työvaiheiden seurattavuus valmistuvalla tuotteella ei heikkene prosessin aikana.

Pääraaka-aineen, eli puun lisäksi tuotannossa tarvitaan muita materiaaleja, joista tärkeimpänä lamellien yhteen liittämiseksi käytettävät liimat. Muista tarpeellisista materiaaleista huolehtimisesta suositellaan käyttämään ulkopuolista toimijaa. Näiden materiaalien toimitukset kannattaa toteuttaa VMI-menetelmällä¹, jotta tehtaalla voidaan keskittyä tuotteiden valmistukseen. VMI-varastossa voi olla esimerkiksi elementtien hiomiseen tarvittavia hiomanauhoja, sahanteriä ja CNC-työstökoneen teriä.

Todennäköisesti tulevat tuotteet kuljetetaan pääsääntöisesti maantieverkostolla kuorma-auto yhdistelmillä, myös raidekuljetus on mahdollinen esimerkiksi Haapajärvellä sijaitsevalta tehtaalta. Kuljetusten tekemiseen käytettävä kalusto on riippuvainen siitä, miten kuljetusten kilpailutus on tehty, ja mahdollisia kuljetusyhdistelmä variaatioita on useita kokonaisuuksia. Raideliikenteen osalta kuljetuskustannusten laskeminen on rajattu pois tästä tutkimuksesta lähinnä käytettävän tutkimusdatan niukkuuden vuoksi siltä osin.

9.1.1 Puunhankintavaihtoehdot

Sahattua ja höylättyä puutavaraa valmistaa suunniteltavan raaka- ja runkoelementtitehtaan sijaintipaikan Saarijärven lähistöllä n. 100 km säteellä viisi sahatavaran tuotantolaitosta ja isommalla säteellä (n. 150 km) sijaitsee yhteensä kahdeksan riittävän isovolyymista sahatavaraa tuottavaa tuotantolaitosta. Neljästä lähimpänä olevasta laitoksesta sormijatkettua sahatavaraa valmistaa

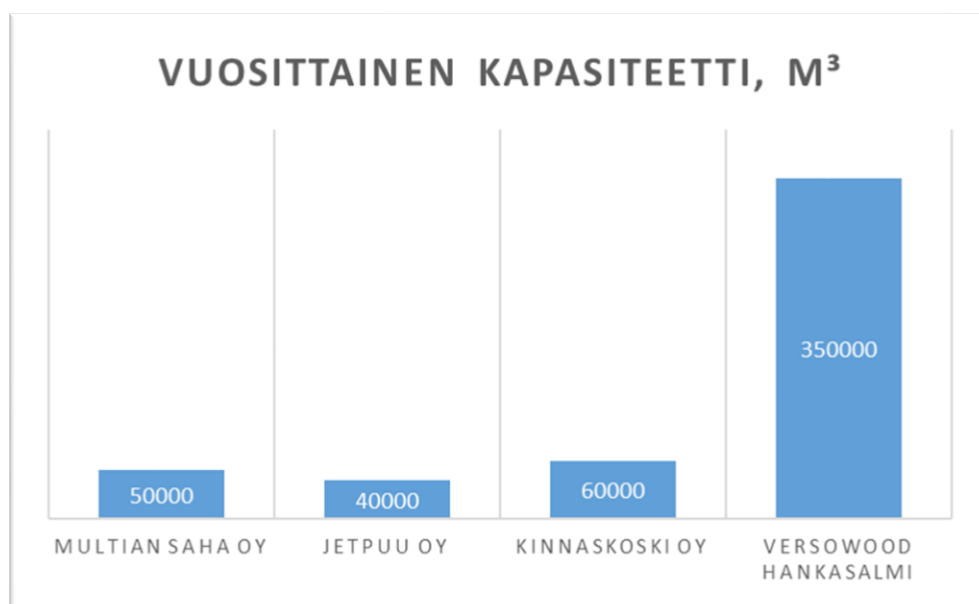
¹ VMI tulee sanoista Vendor-managed inventory. Se tarkoittaa vapaasti muotoiltuna toimittajan hallinnoimaa tai ylläpitämää varastoa.

kaksi sahatavaran tuotantolaitosta, eli Versowoodin Hankasalmen yksikkö ja JetPuu Oy:n saha Perhossa. Kolme muuta alle sadan kilometrin päässä CLT- raakaelementtitehtaasta sijaitsevaa sahaa ovat Multian Saha Oy, ER-saha Oy ja Kinnaskoski Oy.

Muita kohtuullisen lähellä sijaitsevia sahatavaran tuotantolaitoksia, jotka ovat noin 100–150 km päässä teoreettisesta Saarijärvellä sijaitsevasta CLT-elementtitehtaasta ovat Lapuan Saha Oy, Luopajarven saha Oy ja Metsä Fibre Oy:n Vilppulan tuotantolaitos.

Näiden viiden lähimpänä Saarijärveä sijaitsevan tehtaan sahatavaran vuotuiset tuotantomäärät esitetään ER-sahaa lukuun ottamatta seuraavassa taulukossa. Sahatavaran tuotantomäärät pohjautuvat kyseisten yritysten verkkosivuilta löytyvien tuotannon vuosittaisten kapasiteettien mukaan. Ainoastaan ER-sahalta ei ollut saatavilla vuosittaisen kapasiteetin kokonaismäärää.

Taulukko 1. Vuosittainen sahatavaran tuotanto kapasiteetti.



Useampi raaka-ainetoimittaja mahdollistaa raaka-ainekustannusten kilpailutuksen ja parantaa tehtaan toimitusvarmuutta valmistuvissa elementeissä. Mitä enemmän on toimittajia, sitä riskittömämpi materiaalien saatavuus on.

9.1.2 Valmiit elementit

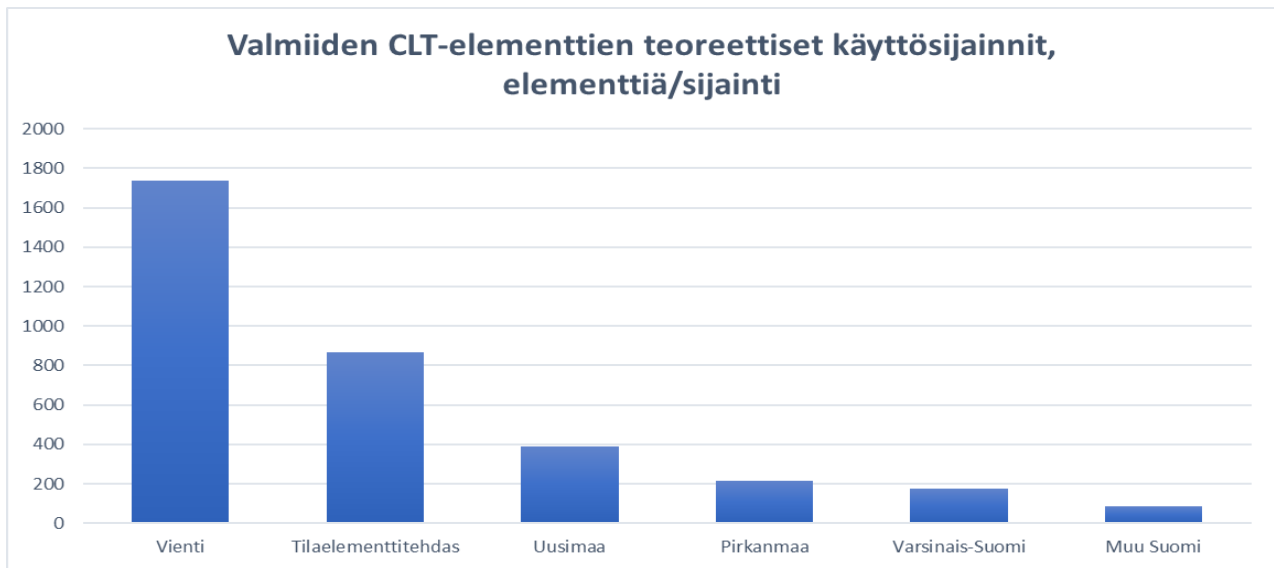
Tuotannosta valmistuneet raakalevyt kuljetetaan tehtaalta joko jatkojalostukseen tai tilaelementtitehtaalle. Mikäli elementti on riittävässä valmistusasteessa asennettavaksi rakennukseen jo tehtaalta lähtiessä eikä jatkojalostus ole tarpeellista, kuljetetaan runkoelementti suoraan rakennuspaikalle asennettavaksi.

Suurimpien kotimaan rakentamisen markkina-alueiden sijoituessa Uudenmaan, Varsinais-Suomen ja Pirkanmaan alueille, tulee valmiiden tuotteiden kuljetusreitit määräytymään niiden alueiden pohjalta. Lisäksi puolivalmisteita tultaneen toimittamaan tehtaalta jatkojalostukseen, tilaelementtitehtaalle ja muille alan toimijoille kysynnän mukaan. Tehtaalta lähtevät valmiiksi jalostetut elementit kuljetetaan suurilta osin maanteitä pitkin asiakkaille, tosin ei ole poissuljettua kuljettaa osaa valmiista tuotteista rautatieverkostolla asiakkaille.

Valmiiden tuotteiden toimitukset jakautunevat prosentuaalisesti jo suunnitteilla olevien puurakenteisten kerros- ja rivitalojen rakentumispaikkojen perusteella ja vientiin menevien elementtien osalta satamiin. Puolivalmiita raakaelementtejä toimitettaneen jatkojalostukseen tilaelementtitehtaille. Suunnittelun toimeksiannon määrittelyn mukaan puolivalmiste-elementtejä tulee olemaan vähintään 25 % kuitenkin enintään 50 % elementtitehtaan vuotuisesta tuotantokapasiteetista. Kahdenkymmenenviiden prosentin kapasiteettitarve koko CLT-elementtitehtaan tuotannosta vastaa kutakuinkin saman kokoluokan tilaelementtitehtaan teoreettista CLT-elementtilevyjen tarvetta vuodessa.

Valmiista elementeistä 50 % suuntautunee suoraan vientiin, joka tapahtunee Rauman-, Kotka-Haminan- ja Helsingin vuosaarensataman kautta. Vientiin mennee valmiita elementtejä teoreettisesti 1736 kappaletta vuodessa. Kotimaan markkinoille jäänee valmiita elementtejä teoreettisesti saman verran 1736, joista 50 % eli 868 kappaletta mennee tilaelementtitehtaalle Saarijärvelle. Loput 868 valmista CLT-elementtiä mennevät joko suoraan rakennuksille tai muille toimijoille jatkojalostukseen. Viimeisen 25 % osuuden CLT-elementtitehtaan tuotantomäärästä jakautunee maantieteellisesti todennäköisten rakennuspaikkojen mukaan, seuraavasti 45 % Uudellemaalle, Pirkanmaalle 25 %, Varsinais-suomeen 20 % ja muualle Suomeen kymmenen prosenttia.

Taulukko 2. Valmiiden CLT-elementtien teoreettiset käyttösijainnit.



9.1.3 Sivuvirtojen hyödyntäminen

Tuotannosta tulevia sivuvirtoja voidaan hyödyntää muussa puuteollisessa tuotannossa, kuten kalusteiden ja portaiden valmistuksessa. Saarijärven alueella toimii esimerkiksi Saarijärven Mittakaluste, joka voisi olla potentiaalinen käyttäjä isommalle puujätteelle, jota tehtaasta tuotannon sivutuotteena tulee. Lisäksi tuotannosta tuleva puupöly ja muu pienempi puujäte voidaan hyödyntää polttamalla lämmöksi ja energiaksi.

9.2 Materiaalikategoriat ja nimikkeet

Materiaalit on syytä kategoroida omiin osioihinsa, jotta tilauserät voidaan optimoida esim. EOQ:n avulla ja että materiaalien käsittely ja seuranta on selkeämpää. Materiaalien kategorioinnissa on tärkeää huomioida missä vaiheessa elementinjalostusta materiaalin käyttö on oleellista ja minkälaisesta materiaalista on kyse.

Pääraaka-aineiden osalta nimikkeistön luomisessa tulisi huomioida raaka-aineiden pintalaatujen erot. Esimerkiksi sormijatkamattoman mäntylaudan ulkopinnan ollessa A laatua, voidaan nimike muotoilla vaikkapa seuraavaan tyyliin MJ – A, sormijatkettavaksi menevän raakalaudan nimike voisi olla MS – A. Näissä esimerkki nimikkeissä M = mänty, J = jatkamaton, S = sormijatkettava ja A = ulkopinnan laatuluokka. Tuotannossa olevat asiakastilaukset on syytä kirjata tehtaan toiminnanohjausjärjestelmään esimerkiksi projektinumerolla tai projektinimellä, joka viittaa asiakkaaseen ja

toimitusosoitteeseen. Valmiit CLT-levyt tulee merkitä pakkausvaiheessa toimitusosoitteella ja asiakkaan tunnuksella.

9.3 Varastointi

Varastoinnissa tulee huomioida tulevien materiaalien vaatimat olosuhteet, jotta saapuneet materiaalit eivät vahingoitu varastoinnin aikana. Saapuva sahatavara on säilytettävä lämpimässä ja kuivassa tilassa, etenkin silloin kun saapunut sahatavara on saavuttanut jo oikean kosteuspitoisuuden toimittajalla. Pääraaka-aineiden varastoinnissa tulee huomioida myös varaston järjestelyssä seuraavat asiat: mitä raaka-aineita käytetään eniten, missä tuotannon vaiheessa tarvitaan materiaalia, kuinka saadaan tehokkaaksi raaka-ainevarastosta tehtävä keräily.

Varastoinnissa on huolehdittava riittävä varmuusvarastokapasiteetti, joka pystyy vastaamaan mahdollisiin tuotannon ja kysynnän vaihteluihin toimitusvarmuuden takaamiseksi ja kustannusten hallinnan kannalta. Myös keskeneräiselle tuotannolle tulisi olla varastointimahdollisuus, jotta tuotantoprosessin aikana voidaan elementtejä siirtää hetkeksi sivuun mahdollisten laatupoikkeamien tai muiden syiden vuoksi. Valmistuotevaraston kokoa pystytään pienentämään suunnitellusta esimerkiksi viikontuotantoa vastaavasta kapasiteetista, jos valmiit tuotteet pyritään toimittamaan heti valmistuttuaan asiakkaille.

9.3.1 Laskennallinen ratkaisu varastointitarpeesta

Materiaalin tilauseriksi esitetään tässä malli, joka pohjautuu tuotannon tarpeeseen ja varaston kapasiteettiin. Esimerkkien tilauseräkoot on laskettu käyttäen EOQ:n kaavaa ja työn toimeksiannon mukaista myyntiennustetta, joka on 50 000 kuutiometriä valmiita raaka- ja runkoelementtejä. Tällöin yhteensä tuotannon tarvitsema raakalautamäärä on vähintään 2 514 368 höylättyä lautaa vuodessa. Osa näistä raakalautoista joudutaan muuntamaan 12 m pituuteen sormiliitoksella. Kokonaismäärästä 718 391 kappaletta lautoja ovat 6 m mittaisia, 200 mm leveitä ja 40 mm paksuja, nämä joudutaan ajamaan sormijatkoskoneen kautta ennen tuotantoa. Loput 1 795 977 kappaletta ovat 3 metrin pituisia, 200 mm leveitä ja 40 mm paksuja raakalautoja.

Taulukko 3. Optimaalisen tilauseräkoon laskeminen

Optimaalisen tilauseräkoon laskeminen	
Tuotannon tarvitsema kokonaismäärä vuodessa	2514368 kappaletta
3 metriä pitkä lautaa tarvitaan vuodessa	1795977 kappaletta
12 metriä pitkä lautaa tarvitaan vuodessa	359195 kappaletta
Optimaalisen tilauserän koko on	
6 metrin lautaa	761 kappaletta
3 metrin lautaa	1203 kappaletta

Yllä olevassa taulukossa on ratkaisu EOQ- laskelman perusteella tehdyille optimaaliselle tilauseräkoolle, ja samalla on kyetty määrittämään varaston tarvittava varastointikapasiteetti. Optimaalisen tilauserän laskemisessa on käytetty laskennallisia arvoja kiinteistä kustannuksista (K), vuosittaisesta määrästä (D) ja materiaalien käsittelykustannuksista (H). Näitä arvoja hyödyntämällä

kaavassa $Q = \sqrt{\frac{2KD}{H}}$ optimaalinen tilauserä (Q) on laskettu taulukossa 3 esitytetysti. Lasketuissa arvoissa on käytetty höylätyn sahatavaran markkinahinnan mukaista kustannusta ja kysyntänä (menekki) on käytetty elementtien yhteen laskettua vuotuista raakalautamäärää.

Optimaalisen tilauseränkoko on yhteensä 1964 kappaletta raakalautaa, joista 1203 kappaletta 3 metriä pitkiä lautoja, ja 761 kappaletta n. 6 metriä pitkiä lautoja. Elementtiin on järkevintä valmistaa enemmän vertikaaliseen suuntaan tulevia lamelleja, kuin horisontaaliseen suuntaan. Tällä voidaan vähentää sormiliitoksen tarvetta tuotannon alkupäästä. (Sinänsä sormijatkoskone on todella tärkeässä asemassa tehtaan läpimenoaikojen kannalta.) Varastossa tulee olla 1,5 kertaisesti tilaa varastoitaville raaka-aineille, jotta voidaan varastoida aina tuleva tilauserä ja varmuusvarasto. Varmuusvaraston koko on 0,5 kertainen optimaalisesta tilauserästä tässä laskelmassa.

10 Tutkimuksen laskelmat ja tulokset

Kuten todettu, laskelmien pohjana toimii toimeksiantajalta saadun tuotannon kokonaiskapasiteetti, joka on 50 000 kuutiometriä yhdeltä CLT-elementtitehtaan linjalta. Elementtitehtaan tuotantolinjan on tarkoitus olla sellainen, että tarvittaessa tulevaisuudessa toisen tuotantolinjan lisääminen tehtaaseen on mahdollista, jotta voidaan vastata mahdolliseen markkinoilla tapahtuvaan kysynnän kasvuun.

10.1 Laskennalliset materiaalmäärät

Lasketaan tarvittavat pääraaka-aineen määrät, kun valmistetaan esimääritelty kuutiomäärä vuodessa käyttämällä viittä paksuutta. Nämä elementtipaksuudet ovat pystyrakenteellisten elementtien osalta 100 mm, 200 mm ja 140 mm. Vaakarakenteellisten eli kattorakenteissa käytettävien elementtien osalta oletusarvoisesti 320 mm ja 400 mm. Kokonaismäärällisesti elementtien valmistukseen tarvitaan 2 514 368 kappaletta raakalautaa, joiden pituudet ovat 3–6 metriä ja leveys on tässä laskelmassa vakio 200 millimetriä.

Laskennallisesti maksimipaksuudella 400 mm valmistettaessa saadaan tehtaan vuosittaiseksi tuotannoksi 3472 elementtiä vuodessa, 50 000 kuutiometrin vuosituotannolla. Tästä saadaan päivittäiseksi tuotantomääräksi 13,7 raaka-/runkoelementtiä. Lasketaan maksimipaksuudella ja keskimääräisellä paksuudella vuodessa tehtaan tuottavien elementtien määrä, ja lasketaan päivittäinen tuotantomäärä jakamalla vuoden tuotantomäärä 253 työpäivällä.

Taulukko 4. Tehtaan laskennallinen elementin valmistuskapasiteetti

Tehtaan laskennallinen elementin valmistus kapasiteetti	
Suurimmalla mahdollisella valmistus paksuudella (400mm)	
3472,2	vuodessa
13,7	päivässä
1,7	tunnissa
Keskimääräisellä paksuudella (232mm)	
5986,6	vuodessa
23,7	päivässä
3,0	tunnissa

Mikäli tehtaan elementin valmistuksen kokonaiskapasiteettia laskettaessa huomioidaan myös muita elementti paksuuksia, ja lasketaan tuotannon volyyymi käyttämällä keskimääräistä elementti-paksuutta 232 mm. Voidaan huomata, että päivittäin valmistuva elementti määrä kasvaa 13,7 elementistä 23,7 elementtiin päivässä. Elementtien määrän kasvu ei vaikuta tehtaan kokonaiskapasiteettiin vaan tämä kapasiteetti pysyy vakiona esimääritetyssä 50 000 kuutiometrissä.

10.2 Kuljetuskustannukset

Kuljetusten kustannukset määräytyvät sen pohjalta kuinka paljon kuljetettavaa materiaalia on ja mikä on kuljetettava matka materiaalien toimituspaikasta määränpäähän. Raaka-aineiden kuljetuksessa kustannuksen mittarina toimii rahdituspaino, jossa materiaalin massan tai tilavuuden perusteella saatava laskennallinen rahdituspaino määrittelee kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset. Kuljetuskustannukset ilmaistaan kustannusmäärä euroissa/kilometri tai kustannus/elementti. Rahdin todellisen massan tulee olla selvillä, jotta yhdistelmän kokonaismassa ja akselimassat eivät ylitä sallittuja painorajoja. Lisäksi rahdituspainojen kanssa tulee olla tarkkana, jotta ei tule ongelmia kuljetusten suunnittelussa.

Valmiiden tuotteiden kuljetuskustannukset määräytyvät laskennallisen tilavuuden, massan ja kuljetettavan kappaleen kokonaisuudessa vaatiman kuljetuspinta-alan perusteella. Valmiit runko- ja raakaelementit lastataan kuljetusyksikköön vaakatasoon.

Raaka-aineiden kuljetuksen kokonaiskustannus, kuljetuksessa sahalta CLT-elementti tehtaalle on seuraavissa taulukoissa ilmaistuna elementti ja vuosituotanto kohtaisesti. Taulukossa 5 ilmaistaan kuljetuskustannukset vuodessa, jos kokonaistuotanto kapasiteetin tarvitsema raaka-aine määrä on hankittu kokonaisuudessaan yhdeltä toimittajalta. Vertailussa ovat potentiaalisimmat toimittajat, jotka pystyvät tuottamaan kokokapasiteetin verran. Potentiaalisimpien toimittajien määrittelyssä pyritään mahdollisen CLT-elementtitehtaan sijainti paikkakunta huomioimaan. Laskelmat eivät kuitenkaan sisällä arvonlisäveroa ja tulokset ovat laskettu teoreettisilla arvoilla, jotka ovat olleet osittain esimääriteltyjä.

Taulukko 5. CLT-elementtitehtaan vuosittainen kokonaiskapasiteetti yhdeltä sahalta hankittuna.

CLT-elementtitehtaan vuosittainen kokonaiskapasiteetti yhdeltä sahalta hankittuna			
Sahatavaran toimittaja	Etäisyys, Km	Kuljetuskustannus/ 50 000 m ³	yhden elementin materiaalien kuljetuskustannus
Hankasalmi, Versowood	103	558 329 €	161 €
Viitasaari, ER-saha	62	336 081 €	97 €
Mänttä-Vilppula, Metsä Fibre Oy	105	569 170 €	164 €
Lasketut kuljetuskustannus hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa			

Taulukoissa 5 ja 6 esitetään yhden 400 mm paksun 12000 mm leveän ja 3000 mm korkean elementin materiaali-kohtaiset kuljetuskustannukset, ja koko vuoden tuotantomäärän materiaalien kuljetuskustannukset, kun käytetään edellä mainittua elementin kokoa. Kyseessä on maksimaalinen elementtikoko, jolla saadaan ylärajoilla olevat kuljetuskustannus hinnat. Pienempien elementtien kuljettamisessa elementti kohtainen hinta tulee todennäköisesti olemaan matalampi kuin taulukoissa 5, 6, 7 ja 8 esitetyt kuljetuskustannukset.

Taulukoissa 5, 6, 7 ja 8 ei huomioida muita kuluja kuin rahdituksesta aiheutuvat kulut. Muita kuluja rahdituksen lisäksi, aiheuttavat mahdolliset muut kustannukset, joita rahdin käsittelyyn voi liittyä. Tällaisia ovat esimerkiksi odotusajat, asiakirjat, henkilöstökulut, rahdin käsittely ja polttoaineliset.

Lähellä tehdasta sijaitsevista sahoista hankittaessa kustannusrakenne muodostuu seuraavassa taulukossa 6. Jokaisesta tehtaasta hankittava määrä raakalautaa on arvioitu hypoteettisesti sahan vuosittaisen tuotantomäärän perusteella, ja laskettu kuutiometrin kilometrikohtaisen rahtihinnan perusteella. Kuljetuskustannuksessa ei ole kuitenkaan huomioitu käsittely kustannuksia.

Taulukko 6. Lähellä tehdasta sijaitsevilta sahoilta volyymien suhteessa.

Lähellä tehdasta sijaitsevilta sahoilta, sahojen tuotanto volyymien suhteessa				
Sahatavaran toimittaja	Hankittava määrä, m ³	Etäisyys, Km	Kuljetuskustannus/vuosi	yhden elementin materiaalien kuljetuskustannus
Multia, Multian Saha Oy	10 000	53	57 459,1 €	82,7 €
Viitasaari, ER-saha	15 000	62	100 824,4 €	96,8 €
Mänttä-Vilppula, Kinnaskoski Oy	10 000	105	113 834,0 €	163,9 €
Hankasalmi, Versowood	15 000	103	167 498,6 €	160,8 €
Lasketut kuljetuskustannus hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa				

Laskelmasta voidaan havaita, että kuljettaminen on huomattavasti edullisempaa kuljettaa lyhyemmän etäisyyden päästä. Näin ollen on kannattavampaa hankkia mahdollisuuksien mukaan lähempänä CLT-tehdasta sijaitsevilta sahoilta raaka-aineita niin paljon kuin sitä on saatavilla.

10.3 Kuljetus tehtaalta asiakkaille

Valmiiden tuotteiden kuljettamiseen tehtaalta asiakkaille tulee käyttää lämpösuojattuja kuormatiloja, sillä valmiiden tuotteiden lämpö ja kosteus eivät saa vaihdella suuresti, jotta laatu pysyy hyvänä koko prosessin läpi. Kuljettaminen tehtaalta asiakkaille voi tapahtua maantieverkostoa pitkin tai raideverkostolla, onhan tässä työssä toimeksiannon mukaisesti tehtaan suunniteltu sijainti Saarijärvellä. Saarijärven kaupungin sijainti ja etäisyydet muutamiin paikkakuntiin havainnollistetaan alla näkyvässä kuviossa 14. Tehtaan sijainnin mukaisesti molemmat kuljetusreitit ovat mahdollisia. Raakaelementit tulevat suurilta osin kulkeutumaan jatkojalostukseen, mutta runkoelementit kuljetaan tehtaalta mahdollisesti suoraan asiakkaille valmiiksi asennettavaksi.



Kuvio 14. Saarijärven kaupungin sijainti Suomen kartalla.

Kuljetukseen käytettävänä kalustona tulee maanteillä olla ajoneuvoyhdistelmä, joka täyttää tieliikenteessä Suomen tieliikennelain mukaiset säädökset. Tällainen mahdollinen kuljetukseen käytettävä yhdistelmä voi olla kuormatilallinen lämpöeristetty kappaletavaran kuljettamiseen tarkoitettu ajoneuvoyhdistelmä, missä sisällä on varusteena A-pukki, jonka sivuille tuetaan kuljetettavat elementit. Elementtejä ei voida kuljettaa pystysuorassa tavallisessa kuormatilassa, sillä yhdistelmän kuormatilan sisäkorkeus ei riitä pystysuorassa olevan elementtilevyn kuljettamiseen. Lisäksi haitaksi tulee yhdistelmän kokonaiskorkeuden ylittyminen ja hyötysuhde heikkenee sillä A-pukin vuoksi lastissa, olisi paljon tyhjää tilaa. Täten yhdistelmän kokonaiskorkeus ylittää tieliikennelaissa määritellyn normaalin yhdistelmän suurimman sallitun korkeuden 4,4 m ja yhdistelmästä tulee erikoiskuljetus. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2013.)

Valmiita elementtejä on mahdollista kuljettaa vaakatasossa lastattuna avoperävaunuun puoliperävaunuyhdistelmässä, tällöin elementteihin täytyy ennen lastausta laittaa lämpötilanvaihteluilta ja kosteudelta suojaavat ekologiset pakkausmateriaalit, sekä elementtien välissä on oltava rimoitus laadun pysyvyyden varmistukseksi. Konttikuljetus ei myöskään ole vaihtoehto, sillä ei ole saatavilla sopivan kokoisia standardikoon kontteja, joihin tehtaalta valmistuvat elementit tulisivat mahtumaan. Vientiin lähtevien elementtien kuljettamiseen on käytettävä laivakuljetuksissa, muita mahdollisuuksia kuin kontteja.

Lähtevien materiaalien osalta laskelmat on suoritettu vaakatasoon lastattujen elementtien pohjalta, sillä kuljetus vaihtoehdoista vaakatasossa kuljetus on tieliikenteen kannalta paras mahdollinen ratkaisu. Muissa tapauksissa, joko sopivien kuormatilojen löydettävyyden tai mahdollisten kuljettavien kappalemäärien pieni määrä erikoisimmissa kuljetusvaihtoehdoissa nostaa kuljetusten kokonaiskustannuksia huomattavasti. Kuljetuskustannuksissa päästään teoreettisesti todennäköisimpään vaihtoehtoon, kun optimoidaan massan ja tilavuuden suhde kuljetuksessa tieliikennelain antamien normien mukaiseksi.

Tehtaalta lähteväksi puoliperävaunuyhdistelmien kokonaismääräksi saadaan 723 kpl. Lasketaan maksimaalisella paksuudella valmistetuiden elementtien perusteella, tällöin kuljettavat elementit ovat valmistettu 400 mm vahvoiksi. Elementtien vaatiman tilavuuden perusteella saadaan tulos 599 perävaunullista, mutta tätä laskelmaa ei voida käyttää.

Mikäli lastattaisiin keskimäärin 5,89 elementtiä, jotka olisivat maksimaalisen kokoisia eli 400 mm paksuja 300 mm leveitä ja 12000 mm pitkiä. Kuorman kokonaismassaksi tulisi n. 55 000 kilogrammaa, jolloin tieliikenteessä sallitut ajoneuvoyhdistelmän suurimmat rakenteelliset massat ylittyisivät reilusti, jotenka täytyy optimoida lastattavien elementtien suurin mahdollinen määrä.

Itse rahdin massa ei vielä ylitä suurinta sallittua massaa, mutta koko yhdistelmän massa ajoneuvoinen nousee huomattavasti yli sallittujen painorajojen. Optimoinnin vaikutuksesta päästään lopputulokseen missä 5 maksimaalisen kokoista elementtiä voidaan lastata kuormaan, jotta kuorman massa pysyy yhdistelmän massan kanssa sallittujen painorajojen sisäpuolella.

Kuljetus on kuitenkin ylileveä tieliikenteessä sallittuihin normaaleihin mittoihin nähden, mutta vapaiden mittarajojen sisällä oleva erikoiskuljetus ei vaadi saattoautoa eikä erillistä ELY-keskuksen lupaa. Sallitun leveyden ylityksen huomioimiseksi riittää asianmukaiset huomiovalot ja lisäkilvet kiinnitettynä ajoneuvon yhdistelmän molempiin päihin. Lisäkilvissä mainitaan leveyden ylittyminen. Valojen ja lisäkilvien tehtävä on kertoa muulle liikenteelle kuorman leveydestä. (Milloin erikoiskuljetuslupaa ei tarvita EU- tai ETA-valtiossa rekisteröidylle ajoneuvolle. 2013.)

CLT-elementtien toimituksesta asiakkaille esitetään laskelmat kahdessa alla olevassa taulukossa. Yhden elementin kilometrimääräinen kustannus on laskennallisesti noin 1,5 € ja tämän pohjalta on

voitu laskea kokonaiskustannukset taulukoihin 7 ja 8. Laskelmien pohjalla on käytetty yhden kuution kokoisen puukappaleen kokonaismassaa, joka on n. 468 kg, kun puunkosteusprosentti on 10. Elementin kilometrimääräinen kustannus on saatu, kun on laskettu yhden 400 mm paksun, 3000 mm leveän ja 12000 mm pitkän elementin tilavuus. Tämä tilavuus on sitten kerrottu, yhden puukuution kuljetuskustannuksella n. 0,10 € kilometriä kohden.

Taulukko 7. Kuljetuskustannukset valmiiden elementtien osalta maantieverkostolla, ulkomaille vientiin.

Kuljetuskustannukset valmiiden elementtien osalta maantieverkostolla, ulkomaille vientiin						
Elementti paksuus 400mm						
Satama	Kuljetuskustannus /elementti	Elementti-määrä	Kokonaiskustannus/ kaikki elementit	Yhden perävaunullisen kuljetuskustannus	Tarvittavien puoliperävaunujen määrä	Etäisyys elementti tehtaalta
Vuosaari	494,11 €	521	257 430,99 €	2 371,73 €	109	328 km
Kotka-Hamina	482,06 €	521	251 071,84 €	2 313,88 €	109	320 km
Rauma	473,02 €	694	328 275,43 €	2 270,49 €	145	314 km
Yhteensä		1736	836 778,26 €		362	
Lasketut kuljetuskustannus hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa						

Taulukko 8. Kuljetuskustannukset valmiiden elementtien osalta maantieverkostolla, kotimaa.

Kuljetuskustannukset valmiiden elementtien osalta maantieverkostolla, kotimaa						
Elementti paksuus 400mm						
Toimituspaikka	Kuljetuskustannus /elementti	Elementti-määrä	Kokonaiskustannus/ kaikki elementit	Yhden perävaunullisen kuljetuskustannus	Tarvittavien puoliperävaunujen määrä	Etäisyys elementti tehtaalta
Tilaelementtitehdas Saarijärvi	27,116 €	868	23 537,985 €	130,16 €	181	18 km
Uusimaa, Helsinki	503,148 €	391	196 542,177 €	2 415,11 €	81	334 km
Pirkanmaa, Tampere	293,754 €	217	63 748,710 €	1 410,02 €	45	195 km
Varsinais-Suomi, Turku	521,225 €	174	90 490,477 €	2 501,88 €	36	346 km
Yhteensä		1649	374 319,349 €		344	
Lasketut kuljetuskustannus hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa						

Taulukoissa 7 ja 8 on ilmaistu laskennallisessa muodossa valmiiden 400 mm paksujen CLT-elementtien kuljetuskustannuksia, kun näitä elementtejä kuljetetaan asiakkaille maantieverkostoa pitkin puoliperävaunuihin lastattuina. Laskelmat on tehty siten, että ajoneuvoyhdistelmä on vetoauto ja puoliperävaunu, jossa ei ole päällysrakennetta, vaan kyseessä on avoinperävaunu. Kuljetuskustannuksia on kuitenkin mahdollista madaltaa, jos käytetään esimerkiksi HCT-yhdistelmää. HCT-yhdistelmään mahtuu kaksi puoliperävaunua, jolloin vetoautoja tarvitaan vähemmän.

Taulukoissa esitetyt etäisyydet ovat suuntaa antavia, sillä tarkkaa elementtitehtaan mahdollista sijaintia ei ole tiedossa. Näin ollen ei voida antaa tarkkoja toimitusmatkoja kaikkiin teoreettisiin toimitus osoitteisiin. Lasketuista kuljetuskustannuksista voidaan kuitenkin tarkastella suuntaa antavasti kuljettamisesta aiheutuvia kustannuksia.

11 Yhteenveto ja pohdinta

Loppuyhteenvetona voidaan todeta, että tutkittavassa aiheessa on vielä tarvetta uusille tutkimuksille. Tässä tutkimuksessa pyrittiin löytämään logististen kustannusten näkökulmasta pääsääntöisesti kuljetuskustannusten kokonaiskustannus sekä tulevien, että lähtevien materiaalien osalta elementtikohtaisesti. Tutkimuksessa saadut tulokset palvelevat toimeksiantajan käyttötarkoitusta ja antavat käsityksen CLT-elementtien valmistuksen logistisista kuluista. Voidaan sanoa, että logistiikan oikea aikainen ajoitus mahdollistaa kustannustehokkuutta muuallakin kuin kuljetuksissa. Esimerkiksi varastoinnissa, työvaiheissa ja talonrakennuspaikoilla. Kun logistiikka toimii niin missään vaiheessa ei tule suurempia ongelmia elementtien toimitusten kanssa.

Tutkimus oli itsessään mielenkiintoinen tehdä, ja aiheen vähäisen tutkimisen vuoksi oli erittäin haastavaa löytää tutkittua tietoa, johon olisi voinut verrata saatuja tuloksia. Projekti onnistui omasta näkökulmastani ja tärkeintä, että toimeksiantaja sai tarvitsemaansa tietoa kuljettamiseen liittyvistä kysymyksistä. Tutkimus toteutettiin mielestäni sellaisena kuin rajaukset ja toimeksianto ohjasivat. Tutkimuksen tulokset ja ratkaisut tehtiin ajantasaisia tietoja hyödyntäen.

Lopuksi haluaisin kiittää kaikkia tutkimusprojektissa mukana olleita tuesta ja neuvoista sekä ohjauksesta tutkimuksen erivaiheissa. Tämän tutkimuksen tekeminen oli opettava kokemus, ja tästä on hyvä ammentaa oppia tulevaisuuden haasteissa. Omalta osaltani voin sanoa tutkimuksen olleen haastava, mutta vaikeuksista huolimatta tutkimuksen tekeminen on ollut hyvä oppimisprosessi.

11.1 Tutkimuksen hyödyt toimeksiantajalle

Tutkimuksen hyötyinä toimeksiantajalle voidaan nähdä saatu ajantasainen tieto maantiekuljetusten kustannuksista. Toimeksiantaja pystyy tutkimuksessa saatuja tuloksia hyödyntämään markki-

noidessaan mahdollisille elementtitehtaaseen sijoittaville toimijoille CLT-elementtitehtaan potentiaalista paikka Saarijärven kaupungin alueelta. Lisäksi toimeksiantaja saa tutkimuksesta sellaista tietoa logistiikasta liittyen CLT-elementtien valmistukseen, mitä voidaan hyödyntää markkinoinnissa.

11.2 Tutkimuksen vaikutukset sidosryhmälle

Tutkimuksen vaikutuksia sidosryhmille on haasteellista arvioida. On todennäköistä, että teollisenpuurakentamisen parissa vaikuttavat toimijat voivat hyödyntää tutkimuksen tuloksia. Tutkimuksen tulokset auttavat varmasti myös sidosryhmäläisiä hahmottamaan kuljetusten vaikuttavuuden ja logistiikan toimivuuden merkityksen teollisessa puurakentamisessa, etenkin massiivipuu-elementtien osalla. Tutkimus täydentää tietoutta omalla osallaan tämän kasvavan puurakentamisen alan osalta.

Lähteet

Lähdeluettelo

Ammattiopisto LAPPIA. 2014. CLT-raakalevyn valmistus. DIGIPOLIS. Viitattu

<https://docplayer.fi/8022349-Clt-raakalevyn-valmistus.html>

Syrjäliimaamaton CLT - paras Suomen olosuhteisiin. 2020. Oy CrossLam Kuhmo Ltd. Viitattu

19.4.2021. <https://www.crosslam.fi/uutiset/uutiset/syrjaliimaamaton-clt-paras-suomen-olosuhteisiin.html>

Kuntainfo. N.d. Saarijärven kaupunki. Viitattu 12.7.2021. <https://www.saarijarvi.fi/kuntainfo>

Tienumerointi ja tienumerokartat. N.d. Keski-Suomi (pdf, 46Mt). Väylävirasto. Viitattu 26.4.2021

<https://vayla.fi/vaylista/aineistot/kartat/tiekartat>

Rataverkon peruskorjaukset ja turvalaitteiden uusiminen. 2020. Väylävirasto. Viitattu 27.4.2021.

<https://vayla.fi/documents/25230764/0/Rataverkon+peruskorjaukset/9de31cc1-614b-45f2-bccf-577ae830c944>

Rataverkon kartat. 2021. Valtion rataverkko 1.1.2021. Väylävirasto. Viitattu 27.4.2021

https://vayla.fi/documents/25230764/47264414/Rataverkko_01012021.pdf/2d56780c-9d86-8695-02b5-37031b9e69d8/Rataverkko_01012021.pdf/Rataverkko_01012021.pdf?t=1608032206939

Antti Savela. 2019. Uudesta ideasta Keski-Suomen radan pelastus? – Muurasjärvellä kokeillaan modernit raskaat veturit kestäväää raskasta kiskoaa – Jos kokeilu onnistuu, rata voidaan ehkä pelastaa. Artikkelii. KPK Yhtiöt Oyj. Viitattu 27.4 <https://www.keskipohjanmaa.fi/uutinen/581214>

S. Hirsjärvi. P. Remes. & P. Sajavaara. 1997. Tutki ja Kirjoita. 21. Painos. Tammi.

Petri Holappa. 2007. Tilauksen koon optimointi EOQ-mallin avulla huomioiden myös paljousalennukset ja tilarajoitteet. Teknillinen Korkeakoulu. Viitattu 14.4.2021 http://sal-server.org.aalto.fi/vanhat_sivut/Opinnot/Mat-2.4108/pdf-files/ehol07.pdf

Varastonohjauksen ulkoistaminen. N.d. Logistiikanmaailma Viitattu 15.4 <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastonohjaus/varastonohjauksen-ulkoistaminen/>

Varaston käyttötarpeen vaikutus suunnitteluun. N.d. Logistiikanmaailma. Viitattu 15.4 <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotilojen-suunnittelu/kayttotarpeen-vaikutus/>

Milloin erikoiskuljetuslupaa ei tarvita EU- tai ETA-valtiossa rekisteröidylle ajoneuvolle. 2013. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Viitattu 10.9.2021 https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/124964/erikoiskuljetukset_vapaat_mittarajat_2013.pdf/912a7160-72bb-44d0-86d2-6d6fdb038d8a

E. Karacabeyli, B. Douglas. 2013. CLT handbook cross-laminated timber. U.S. EDITION. Viitattu 23.2.2021 https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2013/fpl_2013_gagnon001.pdf

Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. 2020. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu. Viitattu 5.4.2021 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162338/TEM_2020_16.pdf?sequence=1

Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen. 2021. CLT Finland. Viitattu 15.5.2021 <https://hoisko.fi/2021/01/18/liima-tekee-cltsta-vahvan-kauniin-ja-tiiviin-rakenteen/>

CLT:n hiilivarastot ja hiilijalanjälki. 2021. CLT Finland. Viitattu 14.5.2021 <https://hoisko.fi/laatu-ja-ymparisto/ymparisto/>

Monikerroslevy (CLT). 2020. Puuinfo. Viitattu 20.2.2021 <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööriuotteet/monikerroslevy-clt/>

Hiilensidonta. N.d. UPM. Viitattu 23.3.2021 <https://www.upmmetsa.fi/tietoa-ja-tapahtumia/tietoartikkelit/hiilensidonta/>

O. Miettinen. 2021. CLT-massiivipuuelementti rakentamisen edut. Viitattu 12.5.2021

Urbaania kerrostalorakentamista. 2018. StoraEnso. Viitattu 7.5.2021. <https://slideplayer.fi/slide/14086893/>

Puurakentamisen ohjelma. N.d. Ympäristöministeriö. Viitattu 29.5.2021 <https://ym.fi/puurakentaminen>

Suomalainen puukerrostalohankekanta. 2020. Ympäristöministeriö. Viitattu 2.6.2021 https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/c6a6a9dc-0592-494e-82cd-00ec8d20065e/71325117-ea83-4874-8334-88e8d873526c/RAPORTTI_20201110095201.pdf

Tuotantotyypit. N.d. Logistiikan maailma. Viitattu 26.7.2021 <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotantotyypit/>

T. Lahtela, M. Viljakainen. 2019. Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu. Viitattu 12.8.2021 <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/RAKENTAMISEN-HIILIJALANJ%3%84LKIVERTAILUN-LOPPURAPORTTI.pdf>

A. Andriolo, D. Battini, R. W. Grubbström, A. Persona, F. Sgarbossa. 2014. A century of evolution from Harris's basic lot size model: Survey and research agenda. Linköping Institute of Technology. Viitattu 7.4.2021 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527314000152?via%3Dihub>

M. Kortelainen. 2020. Puu menestyi, kun puu- ja betonikerrostaloja vertailtiin – tosin kustannustiedot jätettiin kertomatta. Artikkel. Viitattu 12.9.2021 <https://www.rakennuslehti.fi/2020/05/puu-menestyi-kun-puu-ja-betonikerrostaloja-vertailtiin-tosin-kustannustiedot-jatettiin-kertomatta/>

M. Rönkkö. 2020. Rakentamisen vähähiiliset energiaratkaisut. KAMK University of applied sciences. Viitattu 9.9.2019 <https://www.kamk.fi/loader.aspx?id=0949a88e-ef8c-41b6-a44f-0baae60749f9>

P. Murto. 2018. Tulevaisuuden mitat ja massat & ajankohtaista lainsäädännöstä. Viitattu 14.8.2021 https://www.skal.fi/sites/default/files/sisaltosivujen_tiedostot/murto_adr_seminaari_2018.pdf

P. Heino. S. Leroux. J. Suikki. N.d. Puurakentamisen tilanne Suomessa. Viitattu 26.7.2021 https://smy.fi/wp-content/uploads/2019/05/PMA46_Petri-Heino_Puurakentamisen-tulevaisuus-ja-haasteet.pdf

Tieliikennelaki. 2018. Finlex. Viitattu 14.8.2021 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180729#L5P157a>