



Karelia-ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, insinööri (AMK)

Runkorakenteiden vertailu halli- rakentamisessa

Joona Kupari

Opinnäytetyö, Kesäkuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2022
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä(t)
Joonas Kupari

Nimeke
Runkorakenteiden vertailu hallirakentamisessa

Toimeksiantaja
Master Kodit Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan yleisimpiä suomalaisessa hallirakentamisessa käytettäviä runkomateriaaleja ja runkoratkaisuja sekä kustannuksia ja aikataulua materiaalien välillä. Työn tarkoituksena on tutkia ja ymmärtää hallirakentamisessa käytettäviä runkomateriaaleja sekä niiden hyötyjä ja eroja. Työ tehdään toimeksiantona Master Kodit Oy:lle

Opinnäytetyössä selvitettiin ja vertailtiin kuvitteellisen teollisuushallin runkotyön aikataulu ja materiaalien kustannuslaskenta valmiista elementeistä. Vertailtavat runkomateriaalit ovat liimapuu, betoni ja teräs.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin suuntaa antavia tuloksia siitä, miten runkorakenteiden materiaalin valinta vaikuttaa runkorakenteen kustannuksiin ja runkotyön aikataulutukseen. Tuloksia voidaan hyödyntää alustavan hankesuunnittelun kustannusarvioissa, joka auttaa tavoitearvion muodostamista rakennushankkeen myöhemmässä vaiheessa.

Kieli
suomi

Sivuja 30

Asiasanat
runko, halli, teollisuushalli, kustannus, aikataulu, liimapuu, teräs, betoni



THESIS
March 2022
Degree Programme in Civil Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Joonas Kupari

Title
Comparison of Frame Structures in Hall Construction

Commissioned by
Master Kodit Oy

Abstract

This thesis examines the most common frame structure materials and frame structure solutions in Finnish hall building, as well as the costs and schedule between the used materials. The purpose of this work was to study and understand the most common frame structure materials in hall building and their benefits and differences. The work was carried out as an assignment for Master Kodit Oy.

In the thesis, the time schedule and the cost calculation comparison was made for the imaginary industrial hall frame structure. The compared frame structure materials were glulam, concrete and steel.

As a result of the thesis, indicative results were obtained on how the choice of the material of the frame structures affects the costs of the frame structure and the scheduling of the frame work. The results can be used in cost estimates for preliminary project planning, which will help to form a target estimate at a later stage of the construction project.

Language
Finnish

Pages 30

Keywords
frame, hall, industrial hall, cost calculation, time schedule, glulam, steel, concrete

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyön tavoite	2
3	Hallien runkorakenteet ja materiaalit.....	3
3.1	Puurunko	4
3.1.1	HalliPES 1.0.....	7
3.2	Betonirunko.....	8
3.2.1	Runko-BES.....	10
3.3	Teräsrunko.....	10
4	Palomääräykset	12
5	Runkovaiheen aikataulu- ja kustannuslaskenta	14
6	Tulokset laskentakohteessa.....	15
6.1	Laskentakohde	15
6.2	Aikatauluvertailu	17
6.2.1	Liimapuurungon asennusaikataulu	18
6.2.2	Betonirungon asennusaikataulu.....	18
6.2.3	Teräsrungon asennusaikataulu.....	19
6.2.4	Yhteenveto.....	20
6.3	Aikatauluun vaikuttavat tekijät.....	20
6.4	Kustannusvertailu	21
6.4.1	Liimapuurungon kustannukset	22
6.4.2	Betonirungon kustannukset	22
6.4.3	Teräsrungon kustannukset	23
6.4.4	Yhteenveto.....	23
6.5	Kustannuksiin vaikuttavat tekijät	24
7	Johtopäätökset ja pohdinta	25
7.1	Johtopäätökset	25
7.2	Pohdinta	27
	Lähteet.....	29

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan yleisimpiä suomalaisessa hallirakentamisessa käytettäviä runkomateriaaleja ja runkoratkaisuja sekä kustannuksia ja aikataulua materiaalien välillä. Hallirakennus on laaja käsite, joka tässä opinnäytetyössä tarkoittaa teollisuuden rakennusta, jonka käyttötarkoitus on materiaalien ja tarvikkeiden muuttaminen uusiksi tuotteiksi. Teollisuuden rakennuksia ovat teollisuuden tuotantorakennukset sekä teollisuus- ja pienteollisuustalot. Lisäksi hallirakennukseksi tässä opinnäytetyössä lasketaan kokoontumisrakennuksista urheilu- ja liikuntarakennukset. (Tilastokeskus 2018.)

Työn tarkoituksena on tutkia ja ymmärtää hallirakentamisessa käytettäviä runkomateriaaleja sekä niiden hyötyjä ja eroja. Työ tehdään toimeksiantona Master Kodit Oy:lle. Yritys käyttää kohteiden suunnittelussa aliurakointia. Idea työhön syntyi erään hankkeen aikana, jolloin kohteena oli noin 2400m² kokoinen liikuntahalli. Hallin runkomateriaalina käytettiin liimapuuta, johon päädyttiin hankkeen kiireellisyyden vuoksi. Suunnittelu-aikaa oli vähän, eikä muita vaihtoehtoja ehditty tutkia.

Aiheen tutkiminen on tärkeää, koska rakennushankkeiden runkotyövaihe on merkittävä kustannustekijä rakennushankkeessa. Heräsi kysymys, olisiko edellä mainittu liikuntahalli ollut mahdollista toteuttaa edullisemmin ja sitä kautta tarkastelukohteeksi valikoitui rakennuksen runko. Toimeksiantaja voi käyttää opinnäytetyön sisältöä apuna seuraavien kohteiden alustavassa suunnittelussa. Opinnäytetyön aiheesta on tehty useita opinnäytetöitä, mutta ne painottuvat selkeästi rakennesuunnittelun näkökulmaan tai toimeksiantona yritysten omille työmaille. Opinnäytetyössä tutkitaan kuvitteellisen teollisuushallin runkokustannuksia ja aikataulua. Tämän opinnäytetyön laskentamallina toimiva hallirakennus on muodostettu edellä mainitun liikuntahallin pohjaratkaisun mukaan. Liikuntahallin suunnitelmista on saatu liimapuurakenteiden koot. Muiden materiaalien rakenteiden koot ovat arvioitu Master Kodit Oy:n toteuttamista rakennuskohteista.

Hallien runkomateriaalit koostuvat yleensä puusta, teräsbetonista tai teräksestä. Teollisuus- ja toimitilahallien runkoratkaisun toteutukseen on olemassa lukuisia

ratkaisuja yksimateriaalisista rungoista yhdistelmärunkoihin. Rakennuksen rungolla tarkoitetaan rakennuksen tukirakennetta, jonka tarkoituksena on ottaa vastaan siihen kohdistuvat kuormitukset ja siirtää ne hallitusti perustusten kautta kantavalle maapohjalle. Hallilla tarkoitetaan suurta yleensä katettua tilaa, jota voidaan käyttää esimerkiksi eri teollisuudenalojen tai ihmisten tarpeisiin.

2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, mitkä asiat vaikuttavat runkorakenteiden kustannuksiin ja aikatauluun. Opinnäytetyön tulosten on tarkoitus toimia työkaluna seuraavien rakennuskohteiden alustavan hankesuunnittelun kustannusten arvioinnissa ja runkomateriaalin valinnassa. Työssä käydään läpi yksittäisestä materiaalista koostuvia yleisimpiä rakenneratkaisuja, jotka ovat liimapuu, teräs ja teräsbetoni. Opinnäytetyössä ei tutkittu hybridirunkoja, koska niiden toteuttaminen suunnittelun näkökulmasta on merkittävästi työläämpää kuin yksimateriaalisten runkojen. Hybridirungolla tarkoitetaan kahdesta tai useammasta materiaalista koostuvia yhdistelmärunkoja.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kuvitteellista pilari-palkkirunkoista hallia ja rakenneosat on valittu ilman rakennesuunnittelua, joten todellisuudessa vastaavankokoisen hallin rakenneosat voivat poiketa merkittävästi työssä käytettävistä rakenneosista. Työn sisältöä ei tule käyttää rakennesuunnittelussa. Rakenteiden koot ovat arvioitu Master Kodit Oy:n toteuttamista rakennuskohteista. Työssä ei tutkittu käytettävän runkoratkaisun mahdollisesti vaatimia rakenteiden jäykistyksiä tai alapohjan ja sen alapuolelle tulevia rakenteita. Kustannuslaskenta tehdään pelkästään runkomateriaalien osalta, eikä siinä ole huomioitu asennus- ja työkustannuksia, koska asennus ja työkustannusten vertailu olisi järkevämpää tehdä tarjouskyselyllä saatavien tarjousten perusteella.

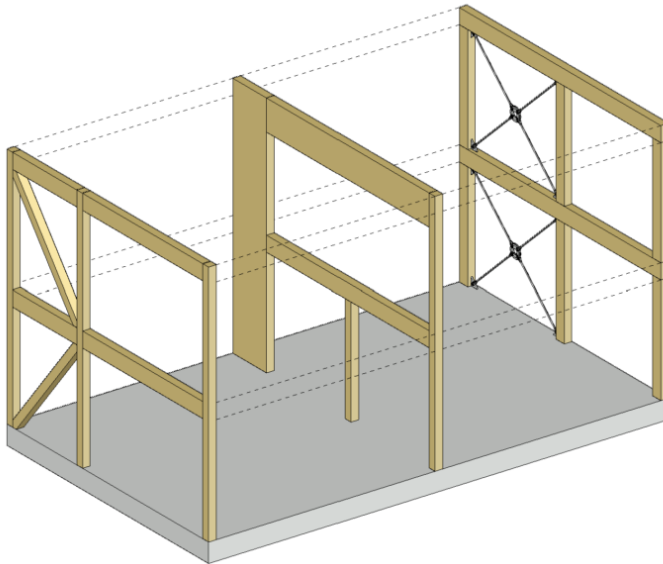
Runkovaihtoehtojen tutkimiseen käytettiin Puuinfon, Betoniteollisuuden ja Elementtisuunnittelun julkaisemia tutkimuksia ja uutisia sekä Karelia Ammattikorkeakoulun kirjastosta löytyvää kirjallisuutta. Aikataulun tutkimiseen käytettiin Ratu Aikataulukirjaa 2016, Ratu Rakennustöiden menekit 2020-kirjaa ja yksityiskohtaisempia Ratu-ohjekortteja. Kustannusten laskennassa käytettiin apuna

Haahtela yhtiöiden Kustannustieto TAKU®-ohjelman ja ROK2022 Rakennusosien kustannuksia 2022-kirjan ja Rakennushankkeen kustannushallinta -kirjan antamia tietoja. Laskenta suoritettiin Excelissä edellä mainituista lähteistä saatujen tietojen perusteella. Saatuja tuloksia on arvioitu opinnäytetyön tietoperustan ja toimeksiantajalta saadun kokemustiedon kautta.

3 Hallien runkorakenteet ja materiaalit

Hallin rakenne riippuu sen käyttötarkoituksesta eli siitä, onko kyseessä teollisuuden halli vai toimisto-, liike- tai urheilurakennus. Hallin suunnittelussa tulisi huomioida myöhemmässä vaiheessa mahdollinen laajennuksen tarve tai käyttötarpeen muutos. (Puuinfo 2020d.) Tässä osiossa käsitellään hallien yleisimpiä rakennetyyppejä. Halleille tyypillistä ovat suuret pituudet ja vapaakorkeudet, jotka on mahdollista toteuttaa kaikilla aiemmin mainituilla materiaaleilla.

Tyypillinen hallirakenne koostuu pilareiden varaan asennettavista vapaasti tuetuista palkeista. Tällaista runkojärjestelmää kutsutaan pilari-palkkirungoksi (kuva 1). Pilari-palkkijärjestelmän etuja ovat asennusnopeus ja tilantarpeiden muutosjoustavuus, koska ulkoseinät eivät ole kantavia rakenteita. Heikkoutena järjestelmässä on, että rakenteet vaativat erillisen jäykistyksen suunnittelun. Seinät ja katto toimivat yleensä rakenteen jäykistäjinä. (Elementtisuunnittelu 2020.) Teollisuushalleissa käytettävät siltanosturit vaativat oman suunnittelunsa rakenteiden jäykistyksestä. Rakennetta voidaan jäykistää esimerkiksi diagonaalisilla jäykisteillä (kuva 1). (Puuinfo 2020d.) Teollisuushalleille tyypillistä ovat suuret vapaakorkeudet, muuntojoustavuus ja pituus (Elementtisuunnittelu 2020).



Kuva 1. Tyypillisiä pilari-palkkirunkoratkaisuja ja diagonaalisia jäykistäjiä. (Kuva: Puuinfo 2020.)

3.1 Puurunko

Puu on anisotrooppinen rakennusaine eli sen lujuusominaisuudet riippuvat siihen kohdistuvan kuorman suunnasta. Puulajien ominaisuudet vaihtelevat niiden erilaisuuksien takia ja niiden lujuusominaisuuksia on vaikea määritellä tarkasti. Rakentamisessa puutavaralta vaaditaan kuitenkin seuraavia ominaisuuksia: kimmoisuus, puristuslujuus, taivutuslujuus, leikkauslujuus ja kulutuksen kestävyys. (Siikanen 2016, 45-46.)

Puun palotekniset ominaisuudet rajoittavat sen käyttöä eri rakenteissa, koska puu pehmenee lämmitettäessä. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää esimerkiksi massiivipuun taivuttamisessa. Puun palaessa pinnan hiiltynyt kerros hidastaa sisäosien lämpenemistä. Kantavien rakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa on tärkeää tuntea käytettävän puumateriaalin palamisnopeus, joka on esimerkiksi massiivipuulla 0,8 mm/min. (Siikanen 2016, 48.)

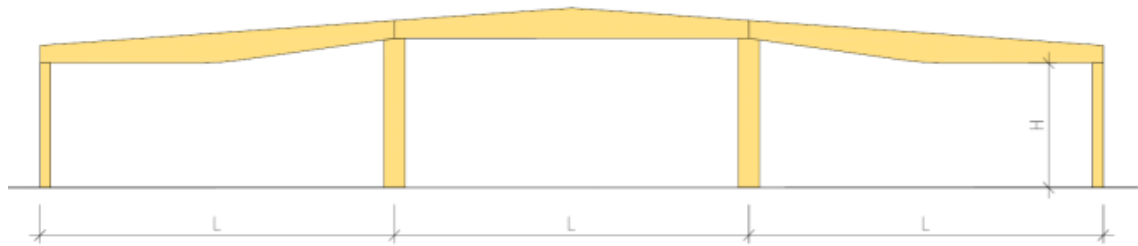
Hallien puurakenteissa vaihtoehtona on yleensä liimapuu. Liimapuu on lamelloista valmistettu tuote. Sen rakenne koostuu vähintään kahdesta ja enintään 45 mm paksuisesta lamellista, jotka on yhdistetty liimaamalla. Se on verrattavan kevyttä muihin materiaaleihin verrattuna, vain 430-450 kilogrammaa per

kuutiometri ja tiheytensä vuoksi hyvä materiaali suurten jännevälien rakennusten rakentamisessa. (Puuinfo 2020b.) Liimapuussa käytetään yleensä lujuusluokkaa GL30. Hyväksytystä tuotteesta voidaan käyttää myös nimitystä L-puu. Liimapuu sisältää yleensä 98 % kuusta, mutta mäntyä voidaan käyttää myös ulkonäöllisistä syistä tai jos liimapuuta halutaan kyllästä. L-puun lujuus on myös 20 % suurempi kuin samankokoisessa sahatavarassa. Lamellien liimauksessa käytettäviä liimoja vaihtamalla saadaan L-puu soveltuvaksi sisä- sekä ulkotiloihin. Liimapuun palamisnopeus on noin 0,7 mm/min. (Siikanen 2016, 108-109.)

Puurunkoisen hallin kustannustekijät riippuvat monesta asiasta. Kustannustekijöiden suurin vaikutus on suunnittelijoiden tekemillä ratkaisuilla ja suunnittelunohjauksella, koska suunnittelussa tulee tarkastella koko rakennekokonaisuutta eikä vain yhtä osaa. Esimerkiksi lyhyt pääkannatin on halvempi kuin pitkä pääkannatin, mutta seurauksena pystyrakenteiden, eli perustusten ja pilareiden, määrä lisääntyy. Tämä nostaa kustannuksia merkittävästi. (Puuinfo 2020d.) Tilastokeskuksen mukaan viiden vuoden keskiarvo vuosina 2016-2020 puun käytössä tuotantorakennuksien runkorakenteena on ollut 27% (Tilastokeskus 2021).

Pilareiden päälle asennettu liimapuupalkki voi olla rakenteeltaan tasainen, jos kyseessä on lyhyen jännevälän rakennus. Suurilla jänneväleillä palkin rakennetta voidaan muuttaa voimasuureiden mukaan esimerkiksi harjapalkiksi tai maha-palkiksi. Suoran palkin suositeltu jänneväli on noin 20 metriä ja harja-, maha-palkissa jopa 30 metriä. Suuremmissa jänneväleissä palkin sijasta voidaan käyttää ristikkorakennetta. (Puuinfo 2020d.)

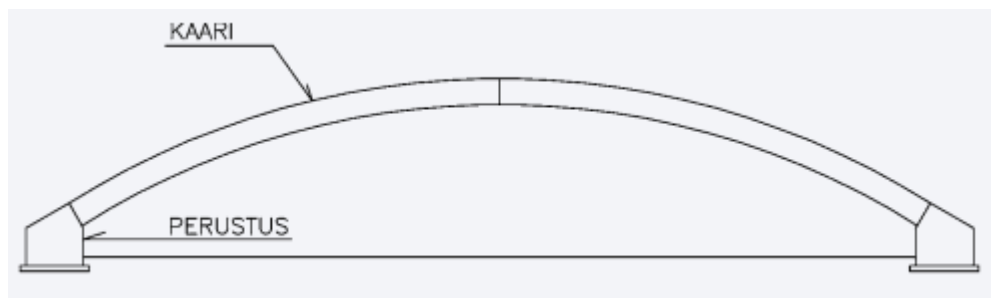
Yleisin hallin rakennetyyppi on pilarirunko, joka koostuu pilareiden varaan asennettavista palkki-, ristikko- tai vetotankokannattajista. Rakenne on normaalisti vähintään yhteen suuntaa mastojäykistetty. Kattokannattajien valinta riippuu täysin halutusta jännevälstä. Jännevälit voivat olla jopa 50 metriä, mikäli rakennuksen keskelle on mahdollista sijoittaa pilaririvejä ja rakennuksesta voidaan tehdä monilaivainen (kuva 2). (Puuinfo 2020d.)



MASTOPILARIT + MAHAPALKIT + HARJAPALKKI

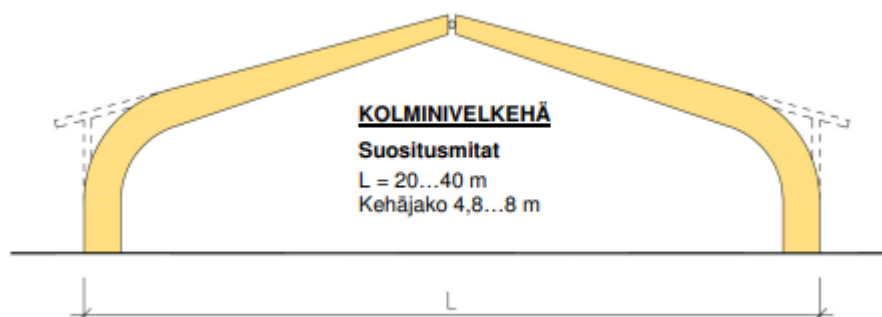
Kuva 2. Esimerkki kolmilaivaisesta liimapuurungosta. (Kuva: Puuinfo 2020.)

Kaarirunko on kaarimainen rakenne (kuva 3), joka rakenteena mahdollistaa jopa 100 metrin jännevälin. Kaarirunko tukeutuu suoraan perustuksiin, jotka on tuettu vaakasuunnassa toisiinsa tai tuenta on tehty peruskallioon tai vinopaaluilla. Kaarirakenne on mahdollista toteuttaa liimapuusta tai ristikkona. (Puuinfo 2020d.)



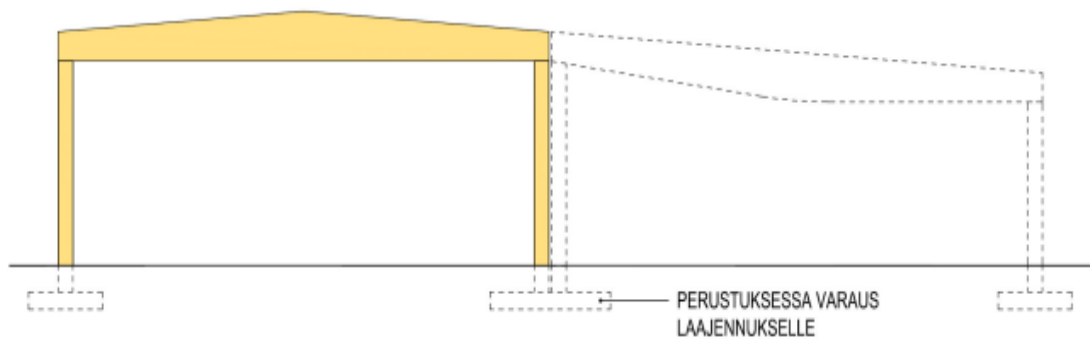
Kuva 3. Kaarirunkoisen hallin poikkileikkaus (Kuva: Puuinfo 2020.)

Kehärunko on jäykkänurkkainen rakenne (kuva 4), jonka johdosta perustuksiin kohdistuu vaakavoimia rakenteeseen aiheutuvasta pystykuormasta. Kuten kaarirungossa, vaakavoimat otetaan vastaan tukemalla perustukset toisiinsa vetotangoilla tai tuetaan ne peruskallioon tai vinopaaluilla. (Puuinfo 2020d.)



Kuva 4. Massiivipuinen kolminivelkehä. (Kuva: Puuinfo 2020.)

Liimapuu mahdollistaa rakennuksen suuren pituuden ja sisäkorkeuden sekä suuret oviaukot ja muuntojoustavuuden. Liimapuu mahdollistaa teollisuushalleihin siltanosturin asennusmahdollisuuden suurten äärimittojen vuoksi. Kehärakenteisten hallien etu on laajennusten helpolla toteutuksella, koska rakenteen jäykistys on suurena osana rakenteen kantavuutta. Hallien suunnittelussa tulisi varautua mahdollisiin laajentamistarpeisiin ja käyttötarkoituksen muutokseen. (Puuinfo 2020d.) Alla olevassa kuvassa vasemmalla mastopilarit ja harjapalkki ja oikealla hahmotus mahdollisesta laajennuksesta mastopilareilla ja mahapalkeilla (kuva 5).



Kuva 5. Esimerkkirunkotyyppi, jota on helppo laajentaa niin pituus kuin leveys-suunnassa. (Kuva: Puuinfo 2020.)

3.1.1 HalliPES 1.0

HalliPES 1.0 on Finnish Wood Research Oy:n ja sen yhteistyökumppanien kanssa laadittu avoin puuelementtistandardi, jonka tarkoitus on vakioida erilliskorkeiden hallien ja kantavaseinäisten rankarakenteisten hallien liitoksia ja elementtityötä (Puuinfo 2020a). Sisältöön kuuluu rakennetyyppien ja liittymädetaljen esimerkkejä ja periaatteita. Periaatteellisuuden vuoksi yritykset voivat kehittää itselleen yksityiskohtaisia rakenneratkaisuja. Koska kyseessä on avoin järjestelmä, tulee kantavien rakenteiden, liitoskohtien sekä palo-, ääni ja kosteustekniset seikat tehdä aina kohteen vaatimalla tavalla eurokoodien mukaan.

Puurakenteiden suunnittelussa käytetään EN 1995 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu standardia (Puuinfo 2020a.)

3.2 Betonirunko

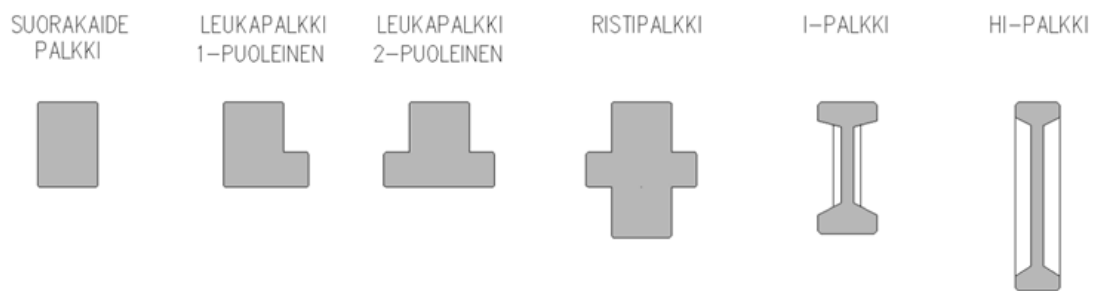
Betoni on eniten käytetty rakennusmateriaali Suomessa ja sen käyttö on suosittua monipuolisuutensa ja edullisuuden takia. Betonipilareiden kantokyky on suuri ja betonirakenteet mahdollistavat jopa 50 metrin jännevälit. Betonin puristuslujuus on erinomainen ja se on helposti säädeltävissä veden ja sementin suhdetta muuttamalla. Vetorasitukseen vaikutetaan betoniin lisättävien raudoitteiden avulla. Rakennusmateriaalina betoni vaimentaa värähtelyä ja eristää ääntä sekä on täysin palamaton materiaali eli se ei lisää rakennuksen palokuormaa. (Betoniteollisuus ry 2022.) Tilastokeskuksen mukaan viiden vuoden keskiarvo vuosina 2016-2020 betonin käytöstä tuotantorakennuksien runkorakenteena on ollut 33 % (Tilastokeskus 2021).

Betonirunko koostuu puurungon tapaan pilareiden päälle asennettavista suorista betonipalkeista tai HI-palkeista (kuva 6), joka muistuttaa muodoltaan harjapalkkia. Elementtipalkit voivat rakenteeltaan olla normaaleja teräsbetonipalkkeja tai jännitettyjä jännebetonipalkkeja. Palkkityyppejä on useita erilaisia kuten suorakaide-, leuka-, risti-, ja HI- tai I-palkki. (Elementtisuunnittelu 2020b.)



Kuva 6. HUS Logistiikkakeskus, Vantaa 2014. HI-palkki ja kuorilaatat. (Kuva: Pielisen Betoni Oy 2014.)

Teräsbetonisia palkkeja käytetään silloin kun palkin jännevälit tai kuormitukset ovat teräsbetonipalkkien kuormitusalueella. Jännebetonisia palkkeja on syytä käyttää, kun jännevälit ja kuormitukset ovat jännebetonin kuormitusalueella. Palkkien valintaan vaikuttaa suuresti jännevälit ja kuormitukset sekä käyttökohte. Suorakaide-, risti-, ja leukapalkkien käyttökohte on yleensä ylä- ja alapohjissa. I tai Hi-palkit toimivat paremmin kattokannattajina. (Elementtisuunnittelu 2020b.)



Kuva 7. Yleisimpiä betonipalkkien poikkileikkauksia (Kuva: Elementtisuunnittelu 2020b.)

Elementtipilareiden poikkileikkaus on yleensä suorakaiteen muotoinen (kuva 5) tai joissakin tapauksissa myös pyöreä. Suositeltu paksuus on minimissään noin 280 mm. Pienempiä kokoja käytetään yleensä vain pienemmissä rakennuskohdeissa kuten omakotitaloissa. (Elementtisuunnittelu 2020a.)



Kuva 8. Tyypillinen betonipilari, jossa palkkikenkä ja ulokkeet. (Kuva: Elementtisuunnittelu 2020.)

3.2.1 Runko-BES

Runko-BES on pilari-palkkirungolle koottu mittajärjestelmä, joka sisältää liitosdetaljeja ja mitta- ja tyyppisuosituksia. Vuosina 1968-1970 asuinrakentamista varten kehitettiin Suomessa avoin BES- järjestelmä, joka perustui kantaviin päätyseiniin ja väliseiniin sekä ei-kantaviin ulkoseiniin. 80-luvulla elementtijärjestelmät kehittyivät toimitila- ja teollisuusrakentamisen puolelle, jolloin kehitettiin Runko-BES aineisto. Betonirakenteiden suunnittelussa käytetään EN 1992 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu standardia. (Elementtisuunnittelu 2020c.)

3.3 Teräsrunko

Teräksen etuja ovat korkeat lujuusarvot sekä lähes sama lujuus puristuksessa ja vedossa. Teräksen muodonmuutokset ovat pienemmät puuhun ja betoniin

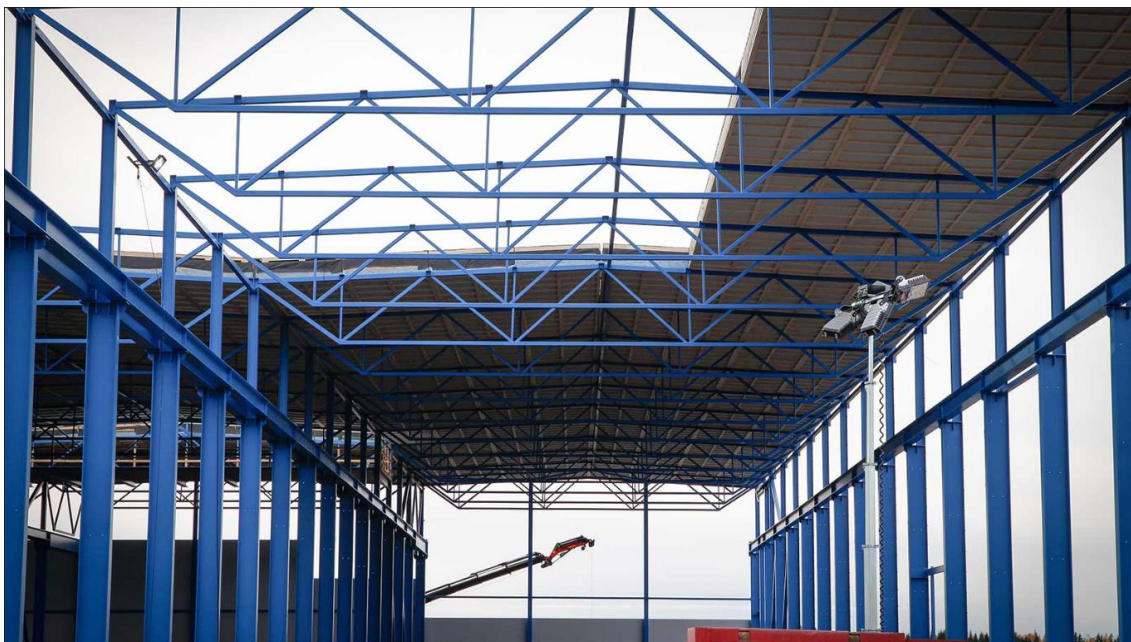
verrattuna. Teräs on myös palamatonta ainetta, jolloin se ei lisää rakennukseen kohdistuvaa palokuormaa. Käytön kannalta tulee huomioida teräksen ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa. (Siikanen 2001, 182.)

Teräksen käyttöä rakentamisessa rajaa korroosioalttius, palotekninen suojaus, rakenteen taipumus menettää stabiiliutensa, kunnossapitokustannukset, värähtely ominaisuudet ja väsymismurtumat. Korroosiota voidaan torjua seostamalla terästä kromilla tai nikkelillä, että siitä saadaan ruostumatonta useimmissa olosuhteissa. Yleisintä on kuitenkin pinnoittaa teräs orgaanisilla tai epäorgaanisilla aineilla, joita ovat muun muassa emali, maalit, bitumituotteet ja muovit. (Siikanen 2001, 182.)

Pinnoittamalla parannetaan myös teräksen paloteknisiä ominaisuuksia. Vaikka teräs ei lisää rakennukseen kohdistuvaa palokuormaa, stabiiliusmuutokset alkavat jo pienissä lämpötiloissa. Mikäli lämpötilat nousevat 600-800 celsius asteeseen, rakenne menettää kantokykynsä. (Siikanen 2001, 183.)

Teräshalleissa suuri osa kokonaiskustannuksista muodostuu työkustannuksista. Säästö materiaaleissa tuo yleensä enemmän työstettävyyttä, joka johtaa kustannusten nousuun. Hallien valmistuksessa on hyvä suosia yksinkertaisia rakennustapoja, jos halutaan välttyä turhilta kustannuksilta. (Hämeen ammattikorkeakoulu 2008, 52.) Tilastokeskuksen mukaan viiden vuoden keskiarvo vuosina 2016-2020 teräksen käytöstä tuotantorakennuksien runkorakenteena on ollut 40% (Tilastokeskus 2021).

Teräsrunko on varsin kevyt ja pieni esimerkiksi betoniin verrattuna. Teräksen tiheys on noin 7850 kilogrammaa per kuutiometri mutta materiaalin lujuudesta johtuen rakenteet ovat verrattain pieniä esimerkiksi liimapuuhun ja betoniin verrattuna (kuva 9). Teräksiset rakenteet ja sen osat voidaan valmistaa konepajalla valmiiksi, joka nopeuttaa asennusta työmaalla. Kuten myös muissa materiaaleissa teräsrungon etuja ovat lisärakentamisen helppous ja muuntojoustavuus. (Teräsrakenneyhdistys 2020.)



Kuva 9. Tyypillinen teräshallin runkorakenne. (Trutec Oy 2022.)

Oikein rakennettuna teräsrunгон huolto on helppoa ja edullista, joka vaikuttaa teräsrakenteiden elinkaarikustannuksiin. Teräs on ekologinen materiaali, sillä se on täysin kierrätettävissä ja kestävä. (Lundell Oy 2022.) Teräsrakenteiden suunnitteluun ei ole käytössä avointa mittajärjestelmää. Teräsrakenteiden suunnittelussa käytetään EN 1993 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu -standardia.

4 Palomääräykset

Rakennusten paloluokka määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Paloluokan määrittäminen tehdään suunnittelun alussa, koska paloluokka määrittää minkälaisia paloturvallisuuteen vaikuttavia ratkaisuja rakennettavaan kohteeseen vaaditaan. (RT 103131, 2019, 3.)

Rakennusten paloturvallisuuteen on kaksi vaihtoehtoista menettelytapaa, jotka ympäristöministeriön asetus sallii. Ensimmäinen on luokka- ja lukuarvoihin perustuva mitoitus eli niin sanottu taulukkomitointi ja toinen on oletettuun palonkehitykseen perustuva toiminnallinen palomitoitus. Mitoituksen perusteella rakennukset jaetaan neljään eri paloluokkaan, joita ovat P0, P1, P2, P3. (Puuinfo 2020c.)

Rakennuksen eri osiot voivat olla eri paloluokkaa, jos tulipalon leviäminen osiosta toiseen on estetty osastoinnilla. Yleisimmin käytössä ovat P1-, P2- ja P3-paloluokat. P0-paloluokkaa käytetään silloin kun rakennus on suunniteltu kokonaan tai osittain oletettuun palonkehitykseen perustuen eli kyse on toiminnallisesta palomitoituksesta. Siinä tutkitaan todennäköisimmin esiintyvät palotilan- teet suunniteltavassa kohteessa. (RT 103131, 2019, 2.)

P0-paloluokkaan kuuluvan rakennuksen suunnittelu vaatii aina erityissuunnitelua ja asiantuntevaa paloteknistä suunnittelijaa (RT 103131, 2019, 2). Toiminnallista palomitoitusta P0 voidaan käyttää, vaikka kohde olisi mahdollista suunnitella taulukkomitoituksella. Tätä on hyvä täsmentää ilmoittamalla vastaavaa taulukkomitoituksella saatua arvoa esimerkiksi P0(P2). (Puuinfo 2020c.)

P1-paloluokassa on yleensä yli 2-kerroksisia isoja rakennuksia. 1-2 kerroksiset kohteet sijoitetaan P1-paloluokkaan silloin kun kohteen henkilö-, tai kokorajoitusten puitteissa ei päästä alempaan paloluokkaan. P1-paloluokassa ei ole henkilömäärää, kerrosalaa tai korkeutta rajoittavia tekijöitä, mutta korkeus ja käyttötarkoitus lisäävät rakennuksen paloteknisiä vaatimuksia riskialttiudesta riippuen. (RT 103131, 2019, 2.)

P2-paloluokan rakennukset ovat yleensä enintään 2 kerroksisia, joiden maksimi korkeus on enintään 9 metriä. Jos rakennus pystytään varustamaan automaattisella sammutusjärjestelmällä voi rakennus olla jopa 8 kerroksinen ja 28 metriä korkea. (Rakennustieto 2019.) Tuotanto- ja varastotiloihin ei P2-paloluokassa ole henkilömäärää rajoittavia tekijöitä 1 kerroksisissa rakennuksissa (Ympäristöministeriö 2017).

P3-paloluokkaan kuuluvat useimmiten pienet rakennukset, jonka kerrosluku on 1-2. Tähän luokkaan voidaan luokitella myös suuret tuotanto ja varastorakennukset. Koko ja henkilömäärät on rajoitettu käyttötarkoituksen mukaan. (RT 103131, 2019, 2.)

Hallirakennuksia voidaan luokitella RT 103131 kortin mukaan tuotanto- tai varastorakennuksiksi tai kokoontumis- ja liikerakennuksiksi ja ne voidaan määrittää jokaiseen paloluokkaan riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta. RT

103131 kortissa on kaavio, jossa on kuvattu edellytykset paloluokan valitsemiseen. (RT 103131, 2019, 5.)

5 Runkovaiheen aikataulu- ja kustannuslaskenta

Tässä opinnäytetyössä runkovaiheen aikataululaskenta perustuu Rakennustiedon julkaisemiin teoksiin, joita ovat Ratu Aikataulukirja 2016, Ratu Rakennustöiden menekit 2020 sekä Ratun materiaalikohtaiset kortit, Ratu 0435 Puuelementtirakentaminen, Ratu 0409 Teräsrunkotyö Menekit ja menetelmät ja Ratu 0391 Pilari- ja palkkielementtityö. Kustannuslaskennan teoria on Ratu Rakennushankkeen kustannushallinta -kirjasta.

Tuotannosuunnittelun keskeisin asia on ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Ne luovat perustan muun suunnittelun onnistumiselle ja tuo esille hankkeen epäkohdat ja suunnitelmista poikkeamiset. Aikataulu on rakennushankkeen läpiviennin malli. Aikataulua suunniteltaessa pyritään löytämään realistinen toteutusmalli työn suorittamiseksi olemassa olevien tietojen perusteella. Rakennushankkeen aikataulun suunnittelu käsittelee työmaan toimintojen suunnittelun, suunnitelmien valmistumisen, hankinnat ja rakennuksen käyttöönoton. Pää toteuttaja laatii yleisaikataulun, jonka rakennuttaja hyväksyy ja se on yleisten sopimusehtojen mukainen urakkasopimuksen työkalu. (Ratu KI-6028, 2016, 18.)

Aikataulun ja tavoitteiden suunnitteluun tarvitaan tietoja työsaavutuksista, menkeistä, kapasiteeteista ja työryhmän koosta. Aikataulun suunnittelua varten tietoja on käytettävissä muun muassa tavoitearviosta, tiedostoista ja kokemusten perusteella. Ratu Aikataulukirja 2016 antaa realistisia lähtötietoja aikataulujen perustaksi. (Ratu KI-6028, 2016, 19.)

Aikatauluja on erilaisia ja niitä käytetään rakennushankkeen eri vaiheissa. Yleisaikataulu kuvaa koko hankkeen suunniteltua kulkua. Yleisaikataululla on kolme tarkkuudeltaan ja käyttötarkoitukseltaan eroavaa muotoa, joita ovat alustava yleisaikataulu, sopimusyleisaikataulu ja työaikataulu. Rakentamisvaihe aikataulu tehdään rakennushankkeen tietylle rakennusvaiheelle ja on tarkempi kuin yleisaikataulu. Jos yleisaikataulu laaditaan rakentamisaikataulun pohjalta, on

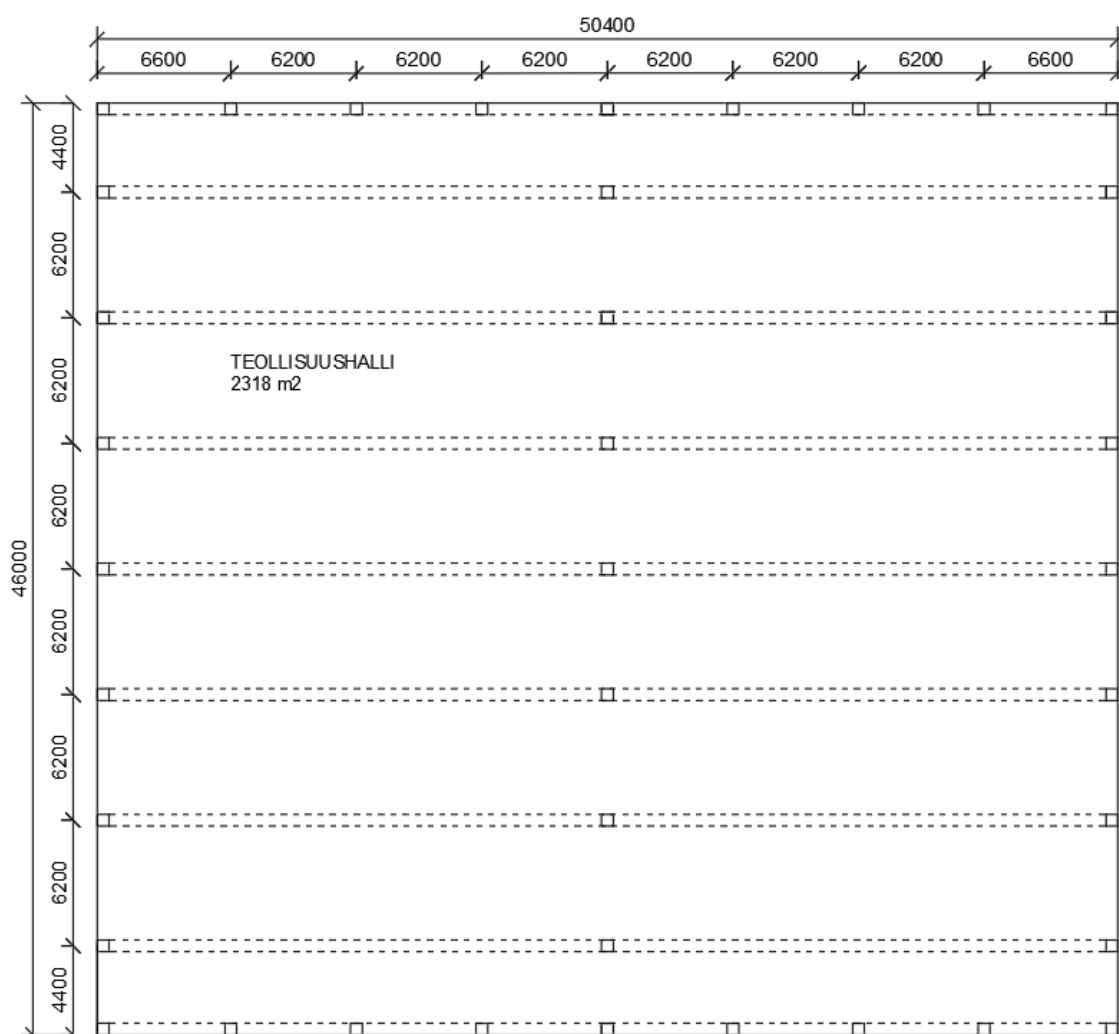
kyseessä käännetty rakentamisvaihe aikataulu. Rakentamisvaihe aikataulu tehdään eri rakentamisvaiheille tai 2-6 kuukauden ajalle. (Ratu KI-6028, 2016, 30-31.) Viikkoaikataulu laaditaan 1-3 viikoksi eteenpäin. Sen tarkoitus on varmistaa lyhyellä aikavälillä työn toteutuminen sekä resurssien tehokas käyttö ja riittävyys. (Ratu KI-6028, 2016, 34.)

Rakennushankkeen kustannukset toteutuvat suurilta osin vasta rakennusvaiheessa, mutta kustannuksille on asetettu tavoitteita jo tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheessa. Rakennushankkeen alussa kustannusten lähtötiedot ovat vain suuntaa antavia ja niitä tarkennetaan koko hankkeen ajan. (Ratu KI-6033, 2018, 6.) Kustannuslaskentaan käytetään pääasiallisesti neljää eri menettelyä. Nämä ovat projektien vertaamiseen perustuvat viitekohde- ja tilastomenettelyt, laajuuteen perustuva arviointi esimerkiksi tilapohjaisiin menetelmin, rakennus- ja tuoteosien hintoihin perustuva laskenta ja suorite- ja panostason laskenta. (Ratu KI-6033, 2018, 36.) Tässä työssä kustannuslaskenta perustuu rakennus- ja tuoteosien hintoihin perustuvaan laskentaan eli rakennusosa- ja tuoteosalaskentaan. Rakennusosalaskentaa käytetään kustannusarvioiden laadintaan suunnitteluvaiheessa, tarjouslaskennassa tai hankinnan vertailulaskelmissa. (Ratu KI-6033, 2018, 42.)

6 Tulokset laskentakohteessa

6.1 Laskentakohde

Aikataulu- ja kustannusvertailussa on käytetty kuvitteellista teollisuushallia, jonka päämitat ovat 50400 x 46000 mm (kuva 10). Hallin koko vastaa johdannossa mainittua liikuntahallia. Vaakasuuntaisten palkkien pituus on 25200 mm. Pilareiden korkeus on 9 metriä. Teollisuushallin keskilinjalla kulkee myös pilari-rivi, jotta 50 metrin runkosyvyys on mahdollista toteuttaa. Pilareiden kokonaisuus on 39 kappaletta. Palkkeja on yhteensä 18 kappaletta. Rungon pystytyksessä työryhmän koko on 2 rakennusammattimiestä. Rakennusosien koot materiaaleittain ovat arvioitu Master Kodit Oy:n toteuttamista rakennuskohteista (taulukko 1).



Kuva 10. Teollisuushallin pohjapiirustus.

Runkomateriaali	Pilarit	Kattokannattajat
		Liimapuupalkki
Liimapuurunko	190x720x9000	215x1480/1900x25000
	480x540x9000	
		Kattoristikko
Teräsrunko		
S355J2	RHS 250x150x10x9000	RHS 200x200x6x50000
		RHS 160x160x6x16380
		RHS 150x150x6x36435
		HI-palkki
Betonirunko	480x580x9000	HI-1800 B480 L25000

Taulukko 1. Materiaalitalukko.

Hallin reunoilla sijaitsevien liimapuupilareiden koko on 190x720x9000 ja keskilinjan pilarit 480x540x9000. Laskettavia pilareita on yhteensä 39 kappaletta. Liimapuupalkkeina käytetään mahapalkkeja 215x1480/1900x25000 ja niitä on 18

kappaletta. Rungon dimensiot on saatu johdannossa mainitun liikuntahallin rakennesuunnitelmista.

Betonirungossa käytettyjen betonipilareiden mitat on otettu toimeksiantajan toteuttamasta rakennuskohteesta. Betonipilarien koko 480x580x9000. Palkkeina käytetään jännebetonista valmistettuja HI-palkkeja, jotta jänneväli on mahdollista toteuttaa. HI-palkin koko on arvioitu BES 2010 Runkorakenteiden valinta ja kantokykykäyrästä, joka on elementtisuunnittelun julkaisema teos rakenteiden optimointia varten. Kantokykytaulukosta valitaan HI1800. (Elementtisuunnittelu 2010.) HI-palkin hinta on arvioitu rakenteen mittojen mukaan käytettävästä betonimäärästä. HI-palkin hinnan arviointiin on käytetty jännebetonin hintaa, joka on saatu Haahtelan TAKU® ohjelmasta. Betonisten runko-osien kappalemäärät ovat samat kuin liimapuurungossa.

Teräsrunгон kustannukset on laskettu Haahtelan TAKU® ohjelman ilmoittaman teräksen kilohinnan mukaan. Teräsrunгон kattokannattajina käytetään teräsristikkoa. Ristikon mitat on valittu toimeksiantajan toteuttamasta rakennuskohteesta. Teräspilareina käytetään 250x150x10x9000 RHS putkipalkkeja. Teräsosien kappalemäärät ovat samat kuin edellä mainituissa materiaaleissa.

6.2 Aikatauluvertailu

Aikataululaskennassa on käytetty T3-tehollista työaika. T3-ajat ovat tavoitteellisia työmenekkejä ja ne eivät sisällä yli tunnin mittaisia keskeytyksiä tai häiriöitä. Laskennassa käytetyt menekkitiedot on ilmoitettu lyhenteillä tth/kpl ja tth, jotka tarkoittavat työntekijätuntia kappaletta kohti ja työntekijätuntia. Työmenekki [tth/yks] on arvioitu aineistoissa valmiiksi materiaaliakohtaisesti. Laskennan tulokset on ilmoitettu lyhenteellä tv, joka tarkoittaa työvuoroa. Normaalin työvuoron kesto on 8 tuntia. Käytettyjen työvuorojen [tv] kesto saadaan kaavasta Kokonaistyömenekki [tth]/(Työryhmä x 8[h/tv]). Kokonaistyömenekki [tth] saadaan kaavasta Määrä[yks] x Työmenekki[tth/yks]. (Ratu KI-6028, 2016, 8.)

Aikataulussa on huomioitu vain asennuksen aikaiset työvaiheet, jotka ovat mitaus, asennus, kiinnitys, jäykistys ja lopettavat työt eli siivous ja suojaus. Aikatauluvertailussa ei ole huomioitu tavaran vastaanottoa tai varastointia.

Laskennassa on käytetty T3 tehollista työaika. Laskennassa on käytetty korttien antamaa nopeinta liitostapaa pilareiden ja palkkien liitoksissa. Laskennassa käytettävien pilareiden ja palkkien mitat käydään läpi 6.1 Laskentakohde -osiossa.

6.2.1 Liimapuurungon asennusaikataulu

Liimapuurungon pystykseen laskettu tehollinen T3-työaika on laskettu Ratu 0435 Puuelementtirakentaminen- kortin työmenekkiarvoilla, koska ne eivät eronneet merkittävästi Aikataulukirja 2016 tai Rakennustöidenmenekit 2020 antamista arvoista (taulukko 2). Juotostyön menekkiä ei näissä korteissa ole. Arvona käytetään betonipilareiden asennuksesta löytyvää juotosbetonoinnin arvoa 0,4 tth/kpl. Laskennassa on oletettu, että pilareiden juuret valetaan ja pilarin ja palkin välinen liitos tehdään ruuvikiinnityksellä.

Liimapuurungon asennus	57	kpl		
Pilarit	39	kpl		
Palkit	18	kpl		
Koron mittaus	0,04	tth/kpl	1,56	tth
Pilarin nosto ja asennus	0,55	tth/kpl	21,45	tth
Palkin nosto ja asennus	0,9	tth/kpl	16,2	tth
Suojaus ja siivous	0,01	tth/kpl	0,57	tth
Juotosbetonointi	0,4	tth/kpl	15,6	tth
tth yhteensä			55,38	tth
h 2+0 työryhmällä			27,69	h
Työvuorot 2+0 työryhmällä			3,46	tv

Taulukko 2. Puurungon asennuksen työmenekit.

6.2.2 Betonirungon asennusaikataulu

Betonirungon pystytykseen laskettu tehollinen T3-työaika on laskettu Ratu 0391 Pileri- ja palkkielementtityö -kortin sekä Aikataulukirja 2016:n työmenekkiarvoilla. Rakennustöiden menekit 2020 ei kerro palkkiasennuksen menekkiä, eivätkä pilariasennuksen menekit ole niin yksityiskohtaisia kuin edellä mainittujen korttien työmenekkiarvot (taulukko 3). Pilareiden juuret juotetaan betonoimalla. Pilareiden ja palkkien väliset liitokset ovat tappiliitoksia ja ne juotetaan

betonoimalla kortin antamalla arvolla 0.3 tth/kpl. Vaihtoehtoisia kiinnitystapoja ovat pulttiliitos tai hitsausliitos.

Betonirungon asennus	57	kpl		
Pilarit	39	kpl		
Palkit	18	kpl		
Koron mittaus	0,12	tth/kpl	4,68	tth
Pilarin nosto ja asennus	0,65	tth/kpl	25,35	tth
Palkin nosto ja asennus	0,9	tth/kpl	16,2	tth
Suojaus ja siivous	0,01	tth/kpl	0,57	tth
Pilareiden juotosbetonointi	0,4	tth/kpl	15,6	tth
Palkkien juotosbetonointi	0,3	tth/kpl	5,4	tth
tth yhteensä			67,8	tth
h 2+0 työryhmällä			33,9	h
Työvuorot 2+0 työryhmällä			4,24	tv

Taulukko 3. Betonirungon asennuksen työmenekit.

6.2.3 Teräsrungon asennusaikataulu

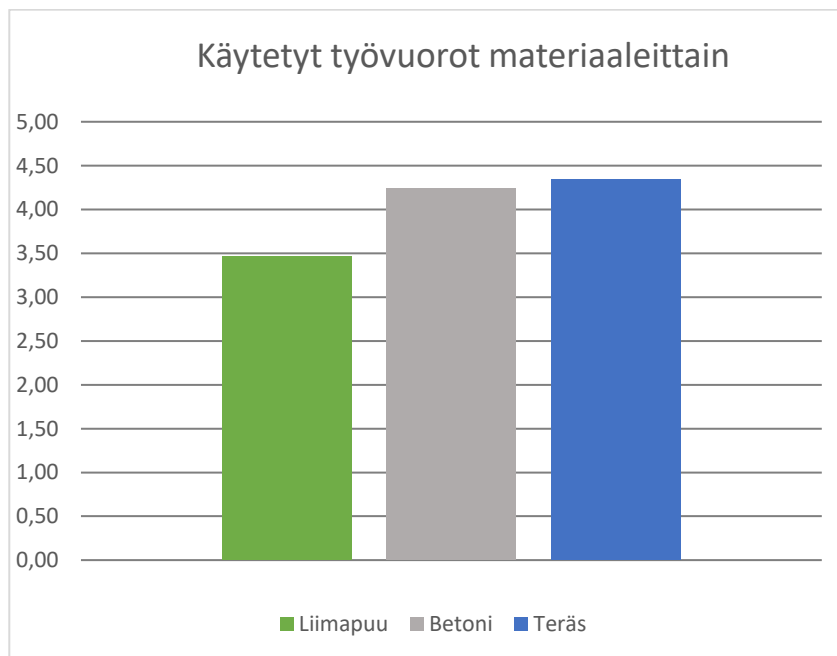
Teräsrungon pystytykseen laskettu tehollinen T3-työaika on laskettu Ratu 0409 Teräsrunkotyö Menekit ja menetelmät- kortin sekä Aikataulukirja 2016 työmenekkiarvoilla, koska ne ovat yksityiskohtaisempia kuin Rakennustöiden menekit 2020 kirjan työmenekit (taulukko 4). Pilarin juuret juotetaan betonoimalla. Pilareiden ja palkkien väliset liitokset ovat pulttiliitoksia. Vaihtoehtoisena liitostapana on hitsausliitos.

Teräsrungon asennus	57	kpl		
Pilarit	39	kpl		
Palkit	18	kpl		
Pilarin koron mittaus	0,12	tth/kpl	4,68	tth
Palkin koron mittaus	0,09	tth/kpl	1,62	tth
Pilarin nosto ja asennus	0,65	tth/kpl	25,35	tth
Palkin nosto ja asennus	1,2	tth/kpl	21,6	tth
Suojaus ja siivous	0,01	tth/kpl	0,57	tth
Pilareiden juotosbetonointi	0,4	tth/kpl	15,6	tth
tth yhteensä			69,42	tth
h 2+0 työryhmällä			34,71	h
Työvuorot 2+0 työryhmällä			4,34	tv

Taulukko 4. Teräsrungon asennuksen työmenekit.

6.2.4 Yhteenveto

Laskennan perusteella on liimapuurunko tässä laskentakohteessa on noin 20% nopeampi verrattuna lähes yhtä nopeisiin teräs- ja betonirunkoihin (kaavio 1). Betonirungon asennuksessa on pilarin ja palkin liitoskohdalle määritetty juotos-työn työmenekki, joka on 0.3 tth/kpl. Se lisää betonirungon pystytykseen käytettävää työaika. Muissa materiaaleissa liitoskohtien asennus sisältyy palkkiasennuksen työmenekkiin. Teräsrungossa on laskettu lisäksi työmenekki palkin koron mittaukselle, joka on 0.09 tth/kpl. Muissa materiaaleissa koron mittauksen työmenekki huomioidaan vain pilarin asennuksessa. Liimapuurunkon pystytyksen työmenekissä on vähemmän työvaiheita kuin betoni- ja teräsrungon pystytyksessä.



Kaavio 1. Rungon pystytyksen nopeus työvuoroina materiaaleittain.

6.3 Aikatauluun vaikuttavat tekijät

Alustava yleisaikataulu voidaan laatia materiaaleista saatavien menekkitietojen perusteella. Aikataulun tarkkuuteen vaikuttaa myös aikataulun laatijan kokemus aikatauluttamisesta. Yleisaikataululla saadaan arvio työvaiheen kestosta. Runkovaiheen kestoon vaikuttavia merkittäviä tekijöitä ovat esimerkiksi huonot sääolot, laitteiston hajoaminen ja tuotannolliset häiriöt. (Ratu 7031 2012.)

Aikatauluun vaikuttaa myös suoritemäärän laajuus. Työmenekkejä ja työsaavutuksia arvioitaessa on otettava huomioon erilaisia tekijöitä, joita ovat muun muassa työryhmä, sen koko, kokemus ja ammattitaito, rakennettavan kohteen laajuus ja haastavuus sekä rakenneratkaisut ja rakennustekniikka, koneiden ja kaluston valinta ja niiden kunto sekä ulkoiset olosuhteet. (Ratu KI-6028, 2016, 26.) Aikataulussa tulisi lisäksi huomioida logistiset asiat kuten materiaalien varastoinnit ja nostoetäisyydet. Nämä tulee huomioida työmaan suunnitteluvaiheessa ja työmaasuunnitelmassa.

Tässä laskentakohteessa vaikuttavimpia tekijöitä rungon pystytyksen aikataulussa ovat käytettyjen Ratun korttien ilmoittamat materiaalien erot. Betonirungon asennuksessa on pilarin ja palkin liitoskohdalle määritetty juotostyön työmenekki, joka on 0.3 tth/kpl. Se lisää betonirungon pystytykseen käytettävää työaikaa. Muissa materiaaleissa liitoskohtien asennus sisältyy palkkiasennuksen työmenekkiin. Teräsrungeissa on laskettu lisäksi työmenekki palkin koron mittaukselle, joka on 0.09 tth/kpl. Muissa materiaaleissa koron mittauksen työmenekki huomioidaan vain pilarin asennuksessa. Liimapuurungon pystytyksen työmenekkeissä on vähemmän työvaiheita kuin betoni- ja teräsrungeissa.

Ratun kortit eivät kerro yksityiskohtaisesti mistä työmenekkiarvojen sisältö koostuu. Liimapuun liitoskohdissa käytetään ruuviliitosta, kun teräs- ja betonirakenteissa liitoskohdat vaativat joko hitsausta tai pulttikiinnitystä. Hitsausliitos on Ratu -korttien mukaan hitain liitostapa. Laskennan perusteella suurin ero on palkkien nostoilla ja asennuksilla, jossa teräspalkkien asennus on hitain.

6.4 Kustannusvertailu

Kustannuslaskenta on laskettu pelkästään rungon materiaalien osalta eikä siinä ole huomioitu asennustyöstä aiheutuvia kustannuksia, eikä liitoksissa käytettyjä ruuveja, pultteja ja pilarikenkiä. Materiaalien hinnat ovat Haahtelan Kustannustieto TAKU® -ohjelmasta ja ROK2022 Rakennusosien kustannuksia kirjasta. Kustannuksiin vaikuttavat myös elementtitehtaiden omat hinnastot. Kustannustieto TAKU® ohjelman hintaindeksinä on käytetty Haahtelan tarjoushintaindeksiä 1/2022 ajankohdalle, joka on 99,0 % Joensuun alueella.

Kustannuslaskennassa on käytetty Haahtelan Kustannustieto TAKU® ohjelman ilmoittamia materiaalihintoja €/yksikkö. Liimapuun hinta on ilmoitettu €/m³, betonin hinta on €/bm³ ja teräksen hinta on €/kg.

6.4.1 Liimapuurungon kustannukset

Liimapuurungon kustannukset on laskettu liimapuun kuutiometrihinnan mukaan (taulukko 5). Liimapuurungossa käytettyjen runkorakenteiden dimensiot on saatu johdannossa mainitusta liikuntahallista.

Liimapuurunko	Kpl	m3/kpl	m3 yht	€/m3	€
Pilarit					
190x720x9000	30	1,2	36,9	1157	42 735 €
480x540x9000	9	2,3	21,0	1157	24 291 €
Palkit					
215x1480/1900x25000	18	9,1	163,5	1157	189 178 €
Yhteensä	57	12,6	221,4		256 205 €

Taulukko 5. Liimapuurungon materiaalikustannukset.

Liimapuurungon materiaalin hintana käytettiin TAKU® Kustannustieto-ohjelman antamaa 1157 €/m³ hintaa, koska ROK2022 Rakennusosien kustannuksia kirjasta saadut kuutios hinnat olivat pienille rakenneosille, eikä niitä voitu hyödyntää näin suurille liimapuurakenteille. Liimapuun kustannuksiin vaikuttavat pilareiden ja palkkien pituus, koko ja määrä (Rakennusosien kustannuksia, 2022, 111).

6.4.2 Betonirungon kustannukset

Betonirungon kustannukset on laskettu Haahtelan TAKU® -ohjelman ilmoittaman bm³ hinnan mukaan (taulukko 6). Rungon lähtötiedot on kerrottu 6.1 laskentakohteen esittelyssä.

Betonirunko	Kpl	bm3/kpl	bm3 yht	€/bm3	€
Pilarit	39				
480x580x9000		2,5	97,7	805	78 663 €
Palkit	18				
Jännebetoni HI1800*480 L25000		10,9	196,9	1006	198 102 €
Yhteensä	57				276 765 €

Taulukko 6. Betonirungon materiaalikustannukset

Betonipilari-elementin hinta Haahtelan TAKU® -ohjelmasta saaduilla arvoilla on 805 €/bm³ ja jännebetonipalkin 1006 €/bm³.

6.4.3 Teräsrungon kustannukset

Teräsosien hinnat Haahtelan TAKU® -ohjelmasta saaduilla arvoilla vaihtelevat teräksen profiilin metripainon mukaan (taulukko 7). Profiilien painot on varmistettu eri teräsosien valmistajilta. Teräksen hinta painavimmissa profiileissa on suurempi kuin pienemmissä profiileissa. Ristikön hinta on suuntaa antava, koska se ei sisällä ristikön valmistamisesta koituvia kustannuksia.

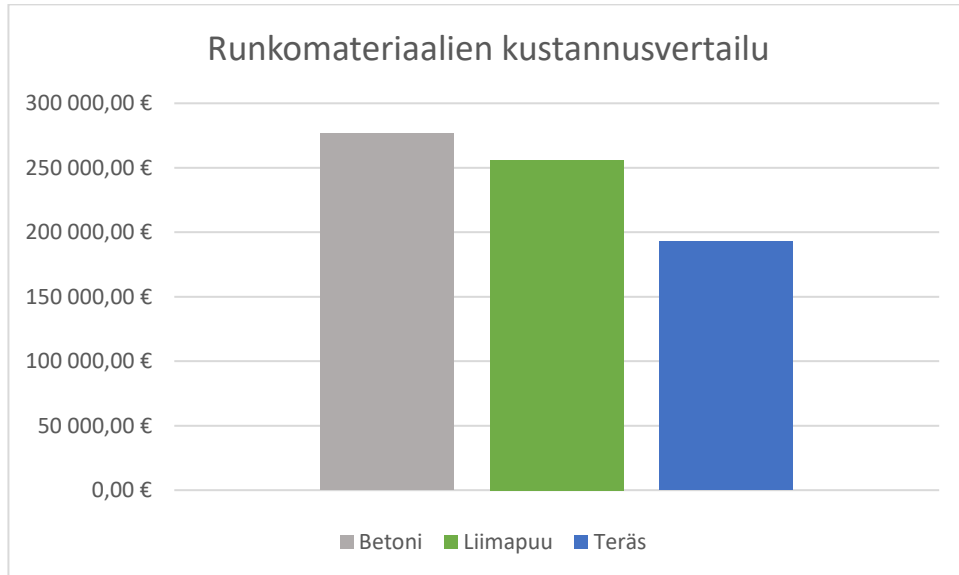
Teräsrunko	Kpl	m	kg/jm	€/kg	€
Pilarit	39				
RHS 250x150x10x9000		351	57,0	2,7	54 019 €
Ristikko	18				
RHS 200x200x6x50000		900	35,8	2,4	77 328 €
RHS 160x160x6x16380		294,84	28,3	2,4	20 026 €
RHS 150x150x6x36435		655,83	26,4	2,4	41 553 €
Yhteensä	57				192 926 €

Taulukko 7. Teräsrungon materiaalikustannukset.

6.4.4 Yhteenveto

Laskentataulukkoista (taulukko 5-7) nähdään, että suurin materiaalikustannus on rakennuksen kattokannattajilla. Kattokannattajien kustannusta voidaan pitää suuntaa antavana vain materiaalien osalta, koska tässä laskennassa ei ole huomioitu elementtitehtaiden tai konepajojen omia hinnastoja. Kustannusvertailusta

nähdään, että betoni on vertailussa materiaaleista kallein ja teräs halvin (kaavio 2).



Kaavio 2. Runkomateriaalien kustannusvertailu.

6.5 Kustannuksiin vaikuttavat tekijät

Hallirakennusten runkovaiheen kustannukset riippuvat monista tekijöistä, jossa rakennesuunnittelu on merkittävässä osassa. Runkokustannuksiin oleellisesti vaikuttavia tekijöitä rakennesuunnittelun näkökulmasta ovat esimerkiksi rakennuksen ja rakenteiden jäykistystapa, niiden sijoitus, rakenteiden jännevälit, kannattimien tyypit, palotekniset vaatimukset ja niiden toteutus sekä voimaliitosten toteutus ja mahdollisten liitososien suojaustapa, mikäli suojauksille on tarvetta. (Puuinfo 2020d.)

Tässä opinnäytetyössä käytetyn kuvitteellisen teollisuushallin palkkien ja ristikoiden jännevälit ovat pitkiä ja pilarit korkeita. Pituuden ja korkeuden kasvaessa käytettävien rakenneosien mitat kasvavat ja materiaalimeneikki lisääntyy, joka kasvattaa kustannuksia.

Rakennushankkeen kustannuksia pohdittaessa on tarkasteltava koko rakennkokonaisuutta. Yhden komponentin tuoma säästö voi lisätä merkittävästi kustannuksia kokonaisuutta tarkasteltaessa, esimerkiksi pitkät NR-ristikot ovat edullisempia kuin vastaavan jännevälin liimapuupalkki, mutta pitkän jännevälin

NR-ristikon jäykistysrakenteet ovat järeitä ja vaativat paljon työtä, joka puolestaan johtaa kustannusten nousuun. (Puuinfo 2020d.)

7 Johtopäätökset ja pohdinta

7.1 Johtopäätökset

Tässä työssä päädyttiin vertailulaskelmien tekemiseen laskentakohteeseen, joka muodostettiin tämän työn laskentavertailuja varten. Mikäli kyseessä olisi ollut todellinen kohde ja sen suunnittelu, niin kustannusvertailu olisi kannattanut tehdä tarjouspyyntöjen perusteella. Saatujen tarjousten perusteella olisi voitu vertailla kustannusten muodostumista tarkemmin. Opinnäytetyössä tehty materiaali-kohtainen kustannusarvio auttaa suuntaa antavasti alustavan hankesuunnittelun kustannusten arvioinnissa. Alustavassa hankesuunnittelussa kustannuksista tehdään kustannusarvio, joka hankkeen myöhemmässä vaiheessa ja-lostetaan tavoitearvioksi. Suuntaa antavassa kustannusvertailussa pystytään rajaamaan ulos jonkun työssä käsiteltävän materiaalin tarjouskyselyt. Kustannusten arvioiminen ilman rakennekuvia on karkeaa arviointia kustannusten muodostumisesta. Todellisuudessa kustannuksissa voi olla suuria eroja materiaalien toimittajista riippuen. Tuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää edellä mainitulla tavalla.

ROK2022 Rakennusosien kustannuksia- kirja ei tue opinnäytetyössä tehtyjä laskelmia, koska kirjassa käsiteltävät rakennusosat painottuvat pientaloissa käytettäviin materiaaleihin ja mittoihin. Kustannustieto TAKU®- ohjelma on hyvä työkalu kustannusten laskennassa, mutta ohjelman käyttäminen kuvitteellisessa kohteessa osoittautui hankalaksi. Kohteen laskentaan olisi tarvittu valmiit rakennepiirustukset jokaisesta runkotyypistä.

Opinnäytetyössä laskentakohteeseen tehdyn esimerkkilaskelman perusteella liimapuurunko olisi runkovaiheen aikataulun osalta nopein vaihtoehto. Vertailun perusteella betoni- ja teräsrungon asennusnopeudet ovat teoriassa lähes yhtä nopeat. Nopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa suoritemäärä, työryhmän koko, kokemus ja ammattitaito sekä rakennettavan kohteen koko,

rakenneratkaisut, olosuhteet ja käytettävän kaluston kunto ja kapasiteetti (Ratu KI-6028, 26, 2016.)

Opinnäytetyön laskelmissa on käytetty vertailtavuuden vuoksi kaikissa runko-materiaaleissa samaa työryhmän kokoa. Ratu -korttien työmenekit perustuvat niissä ilmoitettuihin työryhmien kokoihin. Työmenekien soveltaminen muihin työryhmäkokoihin voi vaikuttaa tuloksien tarkkuuteen, joka on syytä huomioida rakennushankkeen aikana tehtävissä tarkemmissa laskelmissa.

Liimapuun työstettävyys on materiaaleista helpoin ja liitokset yksinkertaisia, monesti ruuviliitoksia tai läpipulttauksia. Se todennäköisesti vaikuttaa siihen miksi liimapuurungon pystytys on aikatauluvertailussa nopein. Liimapuurungon käytöllä nopea pystytys mahdollistaisi seuraavien työvaiheiden nopean aloituksen. Nopeudella välttäisiin pitkiltä säävarauksilta ja säästettäisiin nostokaluston kustannuksissa, jos käytössä on esimerkiksi mobiilinosturi.

Betonin työstettävyys on haastavinta, koska betonia työstäessä tulee huomioida rakenteen sisältämien raudoitteiden sekä niiden suojaetäisyyksien säilyminen. Betonin työstössä vapautuu hienoa rakennepölyä, jolta tulee suojautua vaadittavilla suojaimilla. Pölynhallintasuunnitelman noudattamiseksi työstettävä alue joudutaan osastoimaan muista rakennuksen osista. Betonirungon asennuksessa on pilarin ja palkin liitoskohdalle määritetty juotostyön työmenekki, joka on 0.3 tth/kpl. Se lisää betonirungon pystytykseen käytettävää työaika. Muissa materiaaleissa liitoskohtien asennus sisältyy palkkiasennuksen työmenekkiin. Teräsrungossa on laskettu työmenekit palkin ja pilarin koron mittaukselle. Muissa materiaaleissa koron mittauksen työmenekki huomioidaan vain pilarin pystytyksessä.

Teräksen työstämisessä sen lämpötilat nousevat korkeiksi. Teräksen muodonmuutokset alkavat pienissä lämpötiloissa. Teräksen työstämisessä tulee huomioida esimerkiksi Ratu 0409 Teräsrunkotyö Menekit ja menetelmät- kortin ilmoittamia ohjeita. Teräsrungossa käytettävät rakenneosat ovat muihin materiaaleihin verrattuna pienempiä. Se helpottaa materiaalin varastointia ja käsittelyä, mutta heikkoutena voidaan pitää liitoskohtien vaatimaa mittatarkkuutta. Liitoskohtien mittatarkkuus on todennäköisesti teräspilarin ja palkin liitoskohdan asennusta hidastava tekijä, joka selittää teräspalkkiasennuksen hitauden muihin

materiaaleihin verrattuna. Teräsrunгон kustannuksissa olisi voitu huomioida teräksen mahdollinen palosuojauksen tarve, joka olisi pienentänyt laskennassa saatua materiaalien hintaeroa.

Betoni osoittautui työssä tehdyssä kustannuslaskelmassa kalleimmaksi vaihtoehdoksi ja teräs edullisimmaksi. Suurin kustannusero on jännebetonipalkin ja teräsristikon välillä. Teräsristikossa ei ole huomioitu ristikon valmistuksen aiheuttamia kustannuksia. Teräsbetonin hinta on osittain riippuvainen teräksen hinnasta, teräsbetonissa käytettävien raudotteiden vuoksi. Elementtitehtaiden omat hinnastot ja materiaalien saatavuus vaikuttavat myös kustannuksiin. Vuosien 2021 ja 2022 aikana rakennusmateriaalien hinnat ovat nousseet merkittävästi. Tilastokeskuksen mukaan huhtikuussa 2022 rakennuskustannukset ovat nousseet 9.4 % vuodentakaisesta ja tarvikepanosten kustannukset ovat nousseet 15.2 % (Tilastokeskus 2022.)

7.2 Pohdinta

Tilastoihin perustuvaa materiaalien kustannuslaskentaa tässä opinnäytetyössä ei voi pitää luotettavana kuin tulosten laskentahetkellä. Materiaalien suuret hinnannuutokset ja vallitseva maailmantilanne vaikuttavat materiaalien kustannuksiin merkittävästi. Opinnäytetyössä ei tarkasteltu kuin runkomateriaalien runkovaiheen kustannuksia. Jatkokehitystä ajatellen opinnäytetyössä voisi tarkastella myös käyttökustannuksista koituvia kustannuksia ja esimerkiksi rungon huoltamisesta tai käyttötarpeen muutoksesta koituvia kustannuksia. Käyttötarkoituksen muutos voi esimerkiksi vaatia rakenteiden vahvistamista. Onko rakenteiden vahvistaminen kaikilla materiaaleilla mahdollista tai kannattavaa. Opinnäytetyöhön olisi voitu ottaa tarkasteltavaksi myös työkustannukset ja tutkia niiden vaikutusta lopullisiin kustannuksiin.

Aikataulun ja kustannusten arviointi aikaisessa vaiheessa rakennusprojektia vaikuttaa laskentojen menettelyyn ja saataviin lähtötietoihin, jonka johdosta voidaan olettaa, että lopputulokset ovat epätarkempia. Alustavia ja suuntaa antavia arvioita on syytä tehdä silloin, jos rakennusprojektin aloitus on kiireellinen eikä suunnitelmia ole käytettävissä. Menetelmät, joilla arvioita tehdään, tulisi arvioida tapauskohtaisesti. Kokemusperäistä arviointia tällaisissa tapauksissa tulisi

käyttää mahdollisimman paljon hyödyksi. Tämän opinnäytetyön luotettavuuden arviointi tulisi tehdä esimerkiksi vertaamalla saatuja tuloksia laskentamallia vastaavissa hallirakennuksissa toteutuneisiin runkovaiheen kustannuksiin ja aikatauluihin.

Aikatauluvertailua voidaan tässä opinnäytetyössä pitää realistisena, koska saatavat menekkitiedot ovat ajankohtaisia ja luotettavista lähteistä. Aikatauluun vaikuttavia tekijöitä on useita ja kaikkia aikatauluun vaikuttavia tekijöitä ei tässä opinnäytetyössä tarkasteltu. Jatkokehitystä ajatellen aikatauluvertailussa tulisi huomioida työmenekkitietoja syvällisemmin. Esimerkiksi TL3-lisäaikakertoimen lisääminen aikataululaskentaan. TL3-lisäaikakertoimella saadaan T4-kokonaisaikoja, jota käytetään yleisaikataulua laadittaessa. T3-tehollista työaikaa voidaan käyttää rakentamisvaihe aikataulujen, viikkoaikataulujen ja tehtäväsuunnitelmien kestojen laskennassa. (Ratu KI-6028, 8, 2016.)

Nostokaluston valinnalla on merkittävä vaikutus, kun kyseessä on pitkien jänneväliden rakennuksia. Valinnalla vaikutetaan työn nopeuteen ja logistisiin asioihin ja sitä kautta myös kustannuksiin. Kokemus on merkittävässä osassa työvaiheiden aikataulun ja kustannusten suunnittelua. Työn suorittamiseen tulisi löytää realistinen toteutusmalli tietojen ja kokemusten perusteella.

Asennussuunnittelussa tulee huomioida rakenteen väliaikainen jäykistäminen ja tukeminen. Esimerkiksi massiivisten palkkirakenteiden pinta-alat ovat suuria ja jäykistämättömässä rakenteessa tuuli on merkittävä riski runkorakenteen rakennusaikaiselle kestävyydelle ja työturvallisuudelle, jos runkoa ei tueta ennen jäykistävien rakenteiden asennusta. Jäykistäviä rakenteita on esimerkiksi väliaikaiset diagonaalituet.

Opinnäytetyö oli minulle opettavainen ja huomattavasti työläämpi mitä olin ennen aloitusta ajatellut. Tästä johtuen työn aloitus viivästy, mikä vaikutti merkittävästi opinnäytetyön sisältöön. Olen lopputulokseen kuitenkin tyytyväinen.

Lähteet

- Betoni. 2022. Paloturvallisuus ja palovahingot. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/turvallisuus/paloturvallisuus-palovahingot/>. 14.5.2022.
- Elementtisuunnittelu 2020a. Pilarit. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/pilarit>. 14.5.2022.
- Elementtisuunnittelu 2020b. Palkit. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/palkit>. 14.5.2022.
- Elementtisuunnittelu 2020c. Elementtirakentamisen historia. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>. 14.5.2022.
- Elementtisuunnittelu. 2010. Runkorakenteiden valinta ja kantokykykäyrästä. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/ajankoh-taista/2010/12/01/bes2010-seminaarien-esitelmat>. 27.5.2022.
- Hämeen ammattikorkeakoulu. 2008. Teräsrakentaminen. Hämeenlinna. Hämeen ammattikorkeakoulu ja kirjoittajat.
- Lundell Oy. 2022. Miksi Teräs?. <https://www.aulislundell.fi/naytasivu/Miksi+teras/17/379>. 14.5.2022.
- Pielisen Betoni Oy. 2014. Referenssit. https://www.pielisenbetoni.fi/wp-content/uploads/2017/10/AGA_1079_kattoasennus_HUS_logis-tiikka_1404-kopio.jpg?gid=11. 10.5.2022.
- Puuinfo 2020a. HalliPES1.0. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/halli-pes/>. 14.5.2022.
- Puuinfo 2020b. Liimapuu. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/liimapuu-glt/>. 14.5.2022.
- Puuinfo 2020c. Paloturvallisuus. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/maaraykset/paloturvallisuus/>. 14.5.2022.
- Puuinfo 2020d. Rungon toimintaperiaate. <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/rungon-toimintaperiaate/>. 14.5.2022.
- Ratu KI-6028. 2016. Aikataulukirja 2016. Rakennustieto.
- Ratu KI-6033. 2018. Rakennushankkeen kustannushallinta. Rakennustieto.
- Ratu 7031. 2012. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Rakennustieto.
- Ratu 0435. 2014. Puuelementtirakentaminen, pilarit ja palkit. Menekit ja menetelmät. Rakennustieto.
- Ratu 0391. 2012. Pilari- ja palkkielementtityö. Menekit ja menetelmät. Rakennustieto.
- Ratu 0409. 2013. Teräsrunkotyö. Menekit ja menetelmät. Rakennustieto.
- Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017.
- ROK2022. 2022. Rakennusosien kustannuksia. Rakennustieto.
- RT 103131. 2019. Rakennuksen paloluokan määrittäminen ja keskeiset palotekniset vaatimukset. Rakennustieto.
- Siikanen, U. 2001. Rakennusaineoppi. Helsinki: Rakennustieto.
- Siikanen, U. 2016. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto.
- Tilastokeskus. 2022. Rakennuskustannukset nousivat huhtikuussa 9,4 % vuodentakaisesta. <https://www.stat.fi/julkaisu/ckg290yko0gf00163xhf0n3cq>. 20.5.2022.
- Tilastokeskus. 2021. Rakentamisen trendit ja muutokset huomioidaan rakennuskustannus-indeksiin uudistamisessa. <https://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2021/rakentamisen-trendit-ja-muutokset-huomioidaan->

[rakennuskustannusindeksin-uudistamisessa/?listing=simple.](#)
20.5.2022.

Teräsrakenneyhdistys. 2022. Rakentaminen teräksestä. <https://www.terasra-kenneyhdistys.fi/fin/teras/rakentaminen-teraksesta/>. 15.5.2022

Trutec Oy. 2022. Teräsrungot ja teräsrakenteet, kuvagalleria. <https://www.trutecoy.fi/terasrakenteet>. 29.5.2022.