

# **Teräsrunkojen korvaaminen puurungoilla hallihankkeissa**

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)  
Syksy 2024  
Teemu Kuikkanen

Rakennustekniikan insinööri

Tekijä Teemu Kuikkanen

Työn nimi Teräsrunkojen korvaaminen puurungoilla hallihankkeissa

Ohjaaja Jarno Pölönen

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Tämän opinnäytetyön taustalla on P2V Rakennus Oy:n tarjottavana olevat hallimaiset rakennukset, joihin haluttiin hakea kustannustehokkaita runkoratkaisuja ja näin tehostaa toimintaa ja parantaa kilpailukykyä. Tutkimustyön lähtökohtana oli teräsrunkojen korvaaminen puurungoilla takavuosisista muuttuneen markkinatilanteen vuoksi.

Tavoitteena oli teoriapohjaan, nelikenttäanalyysiin ja kustannuslaskelmiin perustuen tutkia voidaanko teräsrungot korvaamalla puurungoilla saada parannettua kustannustehokkuutta ja kilpailukykyä. Tavoitteena oli myös tuottaa lähtötietoihin pohjautuva tarkastuslista, jolla varmistetaan, että vertailussa ja laskelmissa on huomioitu kustannuksiin vaikuttavat tekijät.

Opinnäytetyön tavoite täyttyi ja vertailun lopputulos oli selvä. Lähtötietoihin perustuvat vaateet täyttävät puurungot osoittautuivat jopa 30 prosenttia kustannustehokkaimmiksi kuin vastaaviin lähtötietoihin suunnitellut teräsrungot.

Tutkimustyön tuotokset tehtiin hyödynnettäväksi KVR-urakoihin, hankekehityshankkeisiin sekä kilpailu-urakoihin, joissa vaihtoehtotarjouksen antaminen on mahdollista.

Opinnäytetyöprosessin myötä avartui paremmin myös ekologinen näkökulma ja perehdyttiin molempien runkomateriaalien hyviin ja huonoihin puoliin paremmin myös kestävän kehityksen kannalta.

Avainsanat Halli, liimapuu, puurakenteet, runkorakenteet, teräsrakenteet

Sivut 27 sivua ja liitteitä 4 sivua

Construction and Civil Engineering, Bachelor of Engineering	Abstract
Author Teemu Kuikkanen	Year 2024
Subject The Replacement of Steel Frames with Wooden Frames in Hall Projects	
Supervisor Jarno Pölönen	

---

The background of this thesis is shaped by hall-like buildings that P2V Rakennus Oy has on offer, for which they wanted to search cost-effective frame solutions and thus make their business more efficient and improve their competitiveness. The basis of the research was the replacement of steel frames with wooden frames due to the changed market situation compared to previous years.

The main goal was based on the theory base, four-field analysis and cost calculations to investigate whether steel frames can be replaced with wooden frames to improve cost efficiency and competitiveness. The goal was also to produce a checklist based on the initial data, which would ensure that the factors affecting the costs are taken into account in the comparison and calculations.

The goal of the thesis was fulfilled, and the result of the comparison was clear. The wooden frames that meet requirements based on initial data proved to be up to 30 percent more cost-effective than the steel frames designed for the corresponding initial data.

The results of the research were used for turnkey contracts, project development projects and competitive contracts where it is possible to submit an alternative offer.

The ecological point of view also expanded during the process of this thesis, and I familiarized myself with the advantages and disadvantages of both frame materials in terms of sustainable development.

Keywords Hall, glulam wood, wooden structures, frame structures, steel structures  
Pages 27 pages and appendices 4 pages

# Sisällys

Käsitteet.....	0
1 Johdanto.....	1
2 Runkorakenteet hallihankkeessa .....	2
2.1 Rakennuksen käyttötarkoituksen vaikutukset.....	2
2.2 Kuormat .....	3
2.3 Teräsrunko.....	4
2.3.1 Rakenneteräs .....	5
2.3.2 Liitokset ja jäykistys .....	5
2.3.3 Pintakäsittely .....	6
2.3.4 Palosuojaus.....	7
2.4 Liimapuurunko .....	8
2.4.1 Liimapuu.....	9
2.4.2 Liitokset.....	10
2.4.3 Jäykistys.....	12
2.4.4 Pintakäsittely .....	12
2.4.5 Palosuojaus.....	13
2.5 Rankarunko .....	14
2.5.1 Sahatavara .....	15
2.5.2 Liitokset ja jäykistys .....	15
2.5.3 Palosuojaus ja pintakäsittely.....	16
3 Ekologisuus .....	16
3.1 Puutuotteet .....	16
3.2 Teräs .....	17
4 Esimerkkikohteiden runkovertailut.....	18
4.1 Runkovertailun tarkastuslista .....	18
4.2 Kohteiden lähtötiedot ja vaatimukset.....	18
4.3 Runkorakenteiden kustannusvertailu .....	19
4.4 Valittujen rakenteiden analysointi.....	21
4.5 Eettisyys ja kestävä kehitys .....	24
5 Pohdinta ja johtopäätökset.....	24
Lähteet .....	26

## Liitteet

Liite 1	Runkovertailun tarkastuslista
Liite 2	Esimerkkikohteen 2 runkolaskelmat ja liimapuurunkokaavio

## Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Rakennusterästuotteet.....	4
Kuva 2. Pilarin alapää .....	6
Kuva 3. Esimerkki pilarin ja palkin liitoksesta. ....	6
Kuva 4. Palosuojausmenetelmiä. ....	8
Kuva 5. Mastopilarit + harjapalkki. ....	9
Kuva 6. Liimapuu. ....	9
Kuva 7. Liimapuun poikkileikkauksia .....	10
Kuva 8. Puurakenneruuviliitoksia. ....	11
Kuva 9. Esimerkki liimapuupilarin liitoksesta perustukseen. ....	11
Kuva 10. Mastopilarijäykistys. ....	12
Kuva 11. Liimapuun hilttyminen. ....	13
Kuva 12. Kantavat rankaseinät ja NR-ristikot. ....	14
Kuva 13. Puuseinäelementtien työlaskelma.....	20
Kuva 14. Esimerkkikohteiden kustannusvertailu .....	21
Kuva 15. Valittujen rakenteiden nelikenttäanalyysi.....	22

Kuva 16. Esimerkkikohteiden runkojen kokonaispainot.....	23
Kuva 17. Esimerkkikohteen 2 teräs- ja liimapuupilarit .....	23

# Käsitteet

Ekologisuus ja sen kestävä kehitys:

Tässä työssä käsitteellä tarkoitetaan ympäristön vähäistä energian ja resurssien kulutusta, luonnon monimuotoisuuden säilyttämistä sekä näiden kestävä toteuttaminen rakennusmateriaalien valinnalla

Hiiltyminen:	Puun palaessa sen pintaan muodostuva hiilikerros
Jänneväli:	Kantavien rakennetukien väli
Kerrosala:	Rakennuksen pääasiallisen käyttötarkoituksen mukaiset kerrosten pinta-alat
Korroosio:	Teräksen hapettuminen ympäristön vaikutuksesta. Syöpyminen, ruostuminen
Lamelli:	Liimapuun valmistuksessa käytettävä enintään 45 mm paksu lujuusluokiteltu sahatavara
Liimapuu:	Lamelleista liimaamalla valmistettu puutavaratuote
Mastopilari:	Pilari, joka toimii sekä kantavana että jäykistävänä
Nurjahdus:	Rakenteen suuri poikittaisliike kuormituksen suuntaan nähden
Palosuojaus:	Rakenneosien suojaamista palolta erilaisin menetelmin, esitetty tarkemmin työssä
Puuseinäelementti:	Yleisesti tehtaalla valmistettu toivotulla valmiusasteella oleva asennusvalmis puurunkoinen seinä
Rankarakenne:	Runkorakenne, jossa runkotolppia yleisesti 600 mm välillä
Rakenneteräs:	Rautaseos, jossa alle 2,2 % hiiltä
Teräs:	Rautaseos, jossa alle 1,7 % hiiltä

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön tutkimusongelmana ja tutkimustyön lähtökohtana ovat hallimaisissa rakennuksissa teräsrunkojen korvaaminen puurungoilla takavuosista muuttuneen markkinatilanteen vuoksi. Tutkimustyötä ja runkorakenteiden vertailua teräs- ja puurunkojen välillä tehdään teorian ja kustannuslaskelmien avulla. Rungon valinta ja runko-osien ratkaisut perustuvat rakennuksen lähtötietoihin ja niiden tuomiin vaatimuksiin. Näihin myös kustannuslaskelmat pohjautuvat. Rungon ratkaisut vaikuttavat myös muihin rakennuksen osiin, kuten esimerkiksi perustuksiin, mutta tämä opinnäytetyö on rajattu pääasiassa vain runkoihin.

Tarve opinnäytetyölle ilmeni, kun toimeksiantajalla, P2V rakennus Oy:llä on tarjottavana erimuotoisina urakoina erilaisia rakennushankkeita, joissa hallimaisten rakennuksien runkoratkaisuja halutaan tarkastella kustannustehokkuuden ja kilpailukyvyn parantamiseksi. Lähtökohtana puurunkojen valitseminen teräsrunkojen sijaan.

Opinnäytetyön tavoitteena on teoriapohjan, nelikenttäanalyysin ja kustannuslaskelmien avulla hakea kilpailukykyisiä runkoratkaisuja puurungoista sekä tehostaa yrityksen toimintaa hallimaisten rakennuksien parissa. Tavoitteena on myös tehdä runkovertailun tarkastuslista, jolla varmistetaan, että vertailussa ja laskelmissa on huomioitu kustannuksiin vaikuttavat tekijät. Tutkimustyön tuotoksia on tarkoitus hyödyntää KVR-urakoissa, hankekehityshankkeissa tai kilpailu-urakoissa, joissa vaihtoehtotarjous on mahdollinen.

Nykypäivänä tilanteet maailmassa vaihtelevat jatkuvasti ja tämä näkyy rakennusalalla esimerkiksi materiaalien saatavuudessa ja niiden hinnoissa. Myös ekologista näkökulmaa rakentamisessa vaaditaan entistä enemmän. Näin ollen laajempaa rakenteiden vertailua on tehtävä jatkuvasti, jotta kilpailukyky säilyy ja paranee.



## 2 Runkorakenteet hallihankkeessa

Hallirakennuksen runkoa suunniteltaessa tärkeimpiä vaikuttajia ovat rakennuksen tyyppi eli käyttötarkoitus, millaisia ihmismääriä rakennusta käyttää ja minkä kokoinen rakennuksen tarvitsee olla. Lisäksi suunnittelussa olisi hyvä huomioida, jos mahdollisesti myöhemmin on tarvetta rakennusta laajentaa tai tehdä käyttötarkoitukseen muutoksia.

Runkorakenteet sekä puu- että teräsrungoissa ovat yleensä jäykistettyjä pilari-palkki-rakenteita tai pilari-palkki-ristikko -rakenteita. Puusta tehdään myös rankarakenteisia kantavia seiniä. Tärkeintä on löytää kustannustehokkain runkotyyppi, joka soveltuu käyttötarkoitukseen. (Puuinfo, 2024)

### 2.1 Rakennuksen käyttötarkoituksen vaikutukset

Rakennuksen käyttötarkoitus itsessään, henkilömäärät sekä käyttötarkoituksen muodostama rakennuksen koko, ovat määrittäviä tekijöitä, joilla rakennuksen paloluokka määräytyy. Käyttötarkoituksen mukaan määräytyy myös palokuormaluokka sekä erilaisia palosuojausvaatimuksia. (Laki rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017)

Ympäristöministeriön rakennusmääräyskokoelmassa rakennukset jaetaan taulukkomitoituksen mukaan kolmeen paloluokkaan P1, P2 ja P3. P1-luokka on vaativin, jossa kantavien rakenteiden oletetaan pääsääntöisesti kestävän palotilanteessa sortumatta. Käyttötarkoituksen eli rakennuksessa tapahtuvan toiminnan mukainen luokittelu määrää monta kerrosta rakennuksessa enintään saa olla, kuinka korkea rakennus saa olla sekä kuinka paljon rakennuksessa saa enintään olla kerrosalaa, jotta paloluokittelun rajoitukset eivät ylitä. Jos nämä rajoitukset ylittyvät, joudutaan mahdollisesti siirtymään vaativampaan paloluokkaan. (Laki rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 § 8)

Laki 848/2017 asettaa P2-paloluokkien rakennuksien käyttötarkoitusta ja kokoa koskevia rajoituksia. Hallimaisissa rakennuksissa yleensä käsitellään yksi- tai osittain kaksikerroksisia tuotanto- tai varastotiloja. Maksimissaan kaksikerroksisen rakennuksen korkeus on rajattu yhdeksään metriin nurkkapisteiden keskiarvosta laskien. Pääosin yksikerroksiseen rakennukseen, voidaan toiseen kerrokseen sijoittaa enintään 200 m<sup>2</sup> osastoitua tai 50 m<sup>2</sup> osastoimatonta toimintaan liittyvää tilaa. Kerrosalaa ei ole rajoitettu. (Laki rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 § 8)

P3-paloluokkien rakennuksien käyttötarkoitusta ja kokoa koskevilla rajoituksilla on yleinen rajoitus yhdeksän metrin korkeudesta, mikä on sama kuin P2-luokan rakennuksessa, mutta kerrosalaa on rajoitettu. Tuotanto- tai varastorakennuksena korkeus saa olla pääosin yksikerroksisena jopa 14 metriä, kun toiseen kerrokseen sijoitetaan enintään 200 m<sup>2</sup> osastoitua tai 50 m<sup>2</sup> osastoimatonta toimintaan liittyvää tilaa. (Laki rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 § 8)

Jos edellä mainituista syistä paloluokka muuttuu, kantavien rakenteiden luokkavaatimukset muuttuvat ja tällä voi olla merkittäviä kustannusvaikutuksia. Paloluokan lisäksi palokuormaryhmien välillä P1-luokassa, kantavuusvaatimukset muuttuvat käyttötarkoituksen, kerroslukumäärän ja rakennuksen korkeuden mukaan. Näillä on taas osaltaan suurta vaikutusta rungon mitoittamiseen, mahdollisiin palosuojauxiin ja näin ollen kustannuksiin. P3-luokassa kantaville rakenteille ei yleisesti aseteta vaatimuksia palonkestävyyden suhteen, pois lukien erilliset palo-osastoinnit. (Laki rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 § 9)

Paloluokkien ja palokuormaryhmien vaatimuksien kustannusvaikutukset, opinnäytetyössä käsiteltävissä hallinnallisissa hankkeissa, ovat syy, miksi yleensä pyritään suunnittelemaan rakennukset siten, että ne menisivät paloluokkiin P3 tai P2. Pääosin yksikerroksissa tuotanto- ja varastorakennuksissa ei siis P3-luokassa kantaville rakenteille ei yleisesti aseteta vaatimuksia palonkestävyyden suhteen, pois lukien erilliset palo-osastoinnit. P2-luokassa vaatimus kantaville rakenteille on R30 ja P1-luokassa R60, R90 tai jopa R120 tilan palokuormaryhmän mukaan. (Laki rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 § 9)

## 2.2 Kuormat

Runkoon ja sen mitoittamiseen vaikuttavat myös siihen kohdistuvat kuormat, jotka luokitellaan ja määräytyvät Eurokoodin SFS-EN 1991 mukaan. Lumi- ja tuulikuormat vaihtelevat alueellisesti, jotka ovat runkoon kohdistuvia kiinteitä kuormia. Vesikattorakenteista runkoon kohdistuvat kattorakenteiden omapaino, kattopinnan alapintaan tehtävät kiinnitykset eli ripustuskuormat sekä kattopinnan yläpuolelle mahdollisesti tulevat lisärakenteet tai esimerkiksi aurinkopaneelit. Näiden lisäksi myös rungon omapaino on merkittävä tekijä, johon tulee huomioida mahdolliset runkoon liittyvät välipohja- ja seinärakenteet.

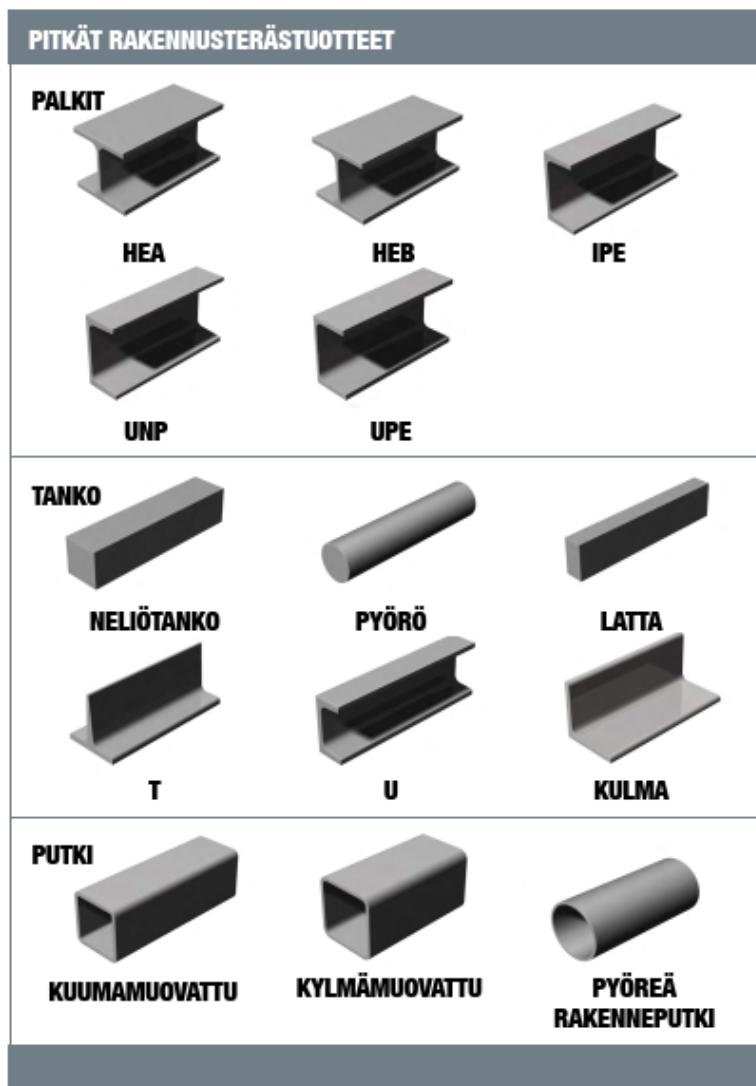
Rakennesuunnittelija huomioi edellä mainitut lähtötiedot, jotka muodostuvat rakennuksen käyttötarkoituksen, käytön ja Eurokoodin mukaan. (Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014 § 5)

## 2.3 Teräsrunko

Teräksen korkeat lujuusarvot johtavat siihen, että erilaisilla rakenneosilla voidaan tehdä pitkiäkin jännevälejä sekä esimerkiksi liimapuisiin runkoihin verrattuna, teräsrunko on pienikokoisempi ja kevyempi. (TKK Arkkitehtiosasto, Rakennusoppi, 2007, s.28 ja s.64)

Kylmä- tai kuumamuovattuja profiileja eri käyttötarkoituksiin on useita. Kuvassa 1 on esitetty tyypillisiä rakennusterästuotteita, joita yleensä käytetään pitkinä tuotteina kantavissa rakenteissa palkkeina. Tuotteita käytetään myös pilareina, ristikkorakenteina sekä jäykisteinä. (BE Group, 2022, s.5)

Kuva 1. Rakennusterästuotteet (BE Group, 2022, s.5).



### 2.3.1 Rakenneteräs

Teräs on raudasta jatkojalostettu palamaton tuote, jonka etuina ovat korkeat lujuusarvot sekä puristuksessa että vedossa. Teräksellä on normaalioloissa pienet muodonmuutokset.

(Siikanen, 2001, ss. 182–183) Seosta muuttamalla voidaan vaikuttaa materiaalin

ominaisuuksiin, kuten sitkeys, lujuus, muovattavuus, leikattavuus sekä hitsattavuus.

Rakenneteräksen seokseen hiiltä lisäämällä saadaan lisää lujuutta. Esimerkiksi alumiini ja titaani ovat muita tärkeitä seosaineita. Teräksen parhaimpia ominaisuuksia on kestävyys, teräs ei esimerkiksi lahoa kuten puu tai rapaudu betoni (BE Group, 2022, ss.6–9)

Profiilit valmistetaan nykyään tarkkojen sääntöjen mukaisesti eli ovat täysin standardoituja.

Rakenneputkia käytetään yleensä hitsattavissa rakenteissa ja paljon pilareina. Profiilin

muodostetaan joko kylmä- tai kuumamuovattuina, jolloin niissä on hieman eri ominaisuudet.

Kuumamuovatut ovat tasalaatuisempia ja kestävämpiä, mutta kylmämuovatut ovat

edullisempia. Profiileissa käytettävät teräslaadut ovat tarkoin standardoituja Euroopassa (BE Group, 2022, ss.11–13).

Rauta, joka on seostettu erityisesti kromilla, molybdeenillä ja nikkelillä, koostuu

ruostumatonta terästä. Ruostumaton teräs on seosaineidensa vuoksi selvästi kalliimpaa kuin

rakenneteräkset yleensä, mutta kun vaaditaan korkeaa korroosionkestävyyttä tai

hygieniavaativuutta, voi ruostumattoman teräksen käyttö olla rakenneteräksenäkin

edullisempaa kuin korroosionestokäsittely. Vaikka ruostumaton teräs on rakenneteräksenä

harvinaisempaa, liitoslevy- ja kiinniketuotteina sitä kuitenkin käytetään paljon jokapäiväisessä rakentamisessa. (BE Group, 2022, s.23)

### 2.3.2 Liitokset ja jäykistys

Eri profiileista valmistetut rakenneosat liitetään toisiinsa joko hitsaamalla tai ruuviliitoksin

esimerkiksi tarvittavien teräslevytuotteiden avulla. Molempiin liitostapoihin on olemassa myös

omat standardit, joita tulee noudattaa. Suunnittelija määrittää liitostavan huomioiden

taloudellisuuden, rakentamisen sujuvuuden ja lopputuloksen tarvittavan ulkonäön. (BE

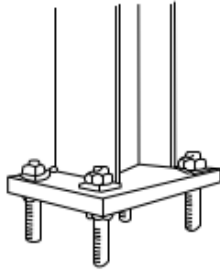
Group, 2022, ss.27–28)

Kuvassa 2 esitetään yleinen tapa, jossa H-profiilia käytetään pilarina ja se liitetään

perustuksiin pilariin hitsatun pohjalevyn ja perustuksiin valettujen peruspulttien avulla.

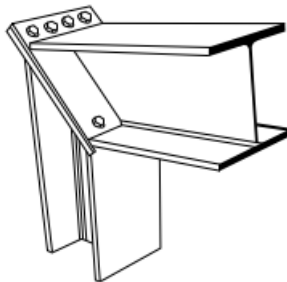
Peruspulttien korkotarkastuksen ja kiristyksen jälkeen liitos valetaan juotosbetonilla rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaan, joka jäykistää liitoksen.

Kuva 2. Pilarin alapää. (BE Group, 2022, s.20)



Kuvassa 3 on esitettyä esimerkki liitoksesta, jossa H-profiilia käytetään sekä pilarina että palkkina. Profiileihin on hitsattu teräslevyt, joilla osat liitetty toisiinsa pulttiliitoksin.

Kuva 3. Esimerkki pilarin ja palkin liitoksesta. (BE Group, 2022, s.20)



Runko tulee jäykistää sekä pysty- että vaakakuormia varten. Rungon osat ja liitokset mitoitetaan riittävän jäykiksi, huomioiden rungon kokonaisjäykistys. Yksi tapa jäykistää teräsrunkoinen hallirakennus on viedä tuulikuormat katon ristikkorakenteiden kautta pystyrungon vinojäykisteille ja sieltä perustuksille. Yleisesti käytetäänkin masto-, kehä- sekä ristikkojäykisteitä. (TKK Arkkitehtiosasto, Rakennusoppi, 2007, s. 60)

### 2.3.3 Pintakäsittely

Myös korroosio eli ruostuminen on huomioitava suunnittelussa. Korroosiota on eri muotoja ja sitä aiheuttaa tavallisesti kosteus ja vesi sekä kemialliset ja sähkökemialliset tekijät. Yleinen tapa ehkäistä korroosiota on pinnoitukset eli sinkitys tai maalaus. Ennen pinnoitusta materiaali puhdistetaan sinkopuhaltamalla standardin mukaiseen puhtausasteeseen, jonka

jälkeen se pinnoitetaan rasisitusluokan, halutun kestoiän ja ulkonäön perusteella sopivalla tuotteella ja paksuudella (BE Group, 2022, ss.44–45).

Jos korroosiota aiheuttavien tekijöiden pääsyä rakenteisiin ei voida estää, voidaan käyttää materiaalia, johon on lisätty korroosiota ehkäisevää seosainetta eli ruostumatonta terästä. (Siikanen, 2001, s. 182)

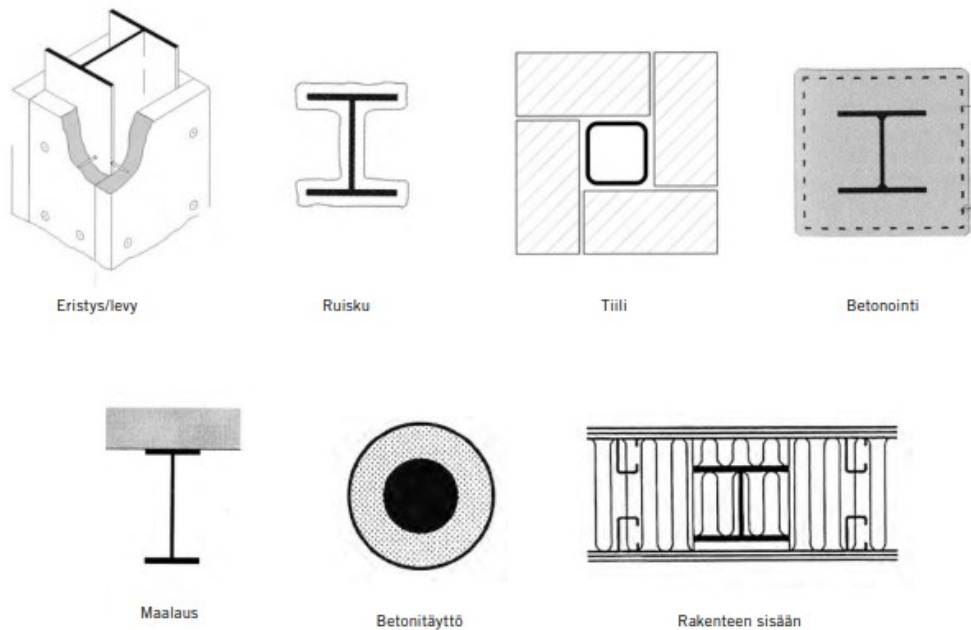
Suojaamaton teräs syöpyy ulkona jopa 0,2 mm vuodessa. Nopeuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Ruosteen tilavuus on suurempi kuin syrjäytetyn teräksen, joten korrosio voi myös rikkoa rakenteita. (TKK Arkkitehtiosasto, Rakennusoppi, 2007, s. 31)

#### **2.3.4 Palosuojaus**

Vaikka teräksellä materiaalina on paljon etuja, on sillä myös huonoja puolia. Teräs on palamatonta materiaalia, mutta sen ominaisuuden muuttuvat ja heikkenevät nopeasti esimerkiksi palotilanteissa. Lämpötilan noustessa teräs pehmenee ja menettää kantokykynsä. Näin ollen palotekninen suojaus teräsosille on huomioitava. Rakenteet voidaan jättää myös suojaamatta, tällöin ne ylimitoitetaan paloluokan mukaan riittäväksi (Siikanen, 2001, ss. 182–183).

Luvussa 2.1 esitettyjen paloluokkavaatimusten aiheuttamat palosuojaukset kantaville teräsrakenteille voidaan tehdä kuvassa 4 esitetyillä tavoilla. Rakenteet voidaan verhoilla esimerkiksi kipsilevyillä, mineraalivilloin, tiilillä, betonoimalla rakenne, rappaamalla tai palosuojamaalauksella. Palosuojamaalit paisuvat tulipalossa jopa 50-kertaisiksi ja suojaavat rakennetta. Putkimaisen rakenneosan voi täyttää betonilla tai vedellä. Myös seosaineilla voidaan valmistaa paloa kestävämpiä teräksiä. Rakenteen voi myös ylimitoittaa palovaatimusten mukaan paloteknisen mitoituksen avulla, jolla voidaan selvittää suojaamattoman rakenteen kantokyky. (BE Group, 2022, s.30)

Kuva 4. Palosuojausmenetelmiä (TKK Arkkitehtiosasto, Rakennusoppi, 2007, s. 31).



## 2.4 Liimapuurunko

Puu materiaalina poikkeaa muista suuresti, koska se on elävä luonnonmateriaali, jossa tapahtuu suurta kosteuselämistä, on altis lahoamaan ja on palonarkaa. Lisäksi puulajien ominaisuudet vaihtelevat ja lujuusominaisuuksien tarkka määrittäminen on vaikeaa. Nämä seikat saattavat rajoittaa puun käyttöä, mutta toisaalta puulla on ominaisuuksia, joita muilla materiaaleilla ei ole ja siitä työstetään lukemattomia erilaisia tuotteita eri tarkoituksiin. Esimerkiksi liimapuu on lujuusarvoiltaan parempaa kuin teräs. (Puuinfo, 2020a)

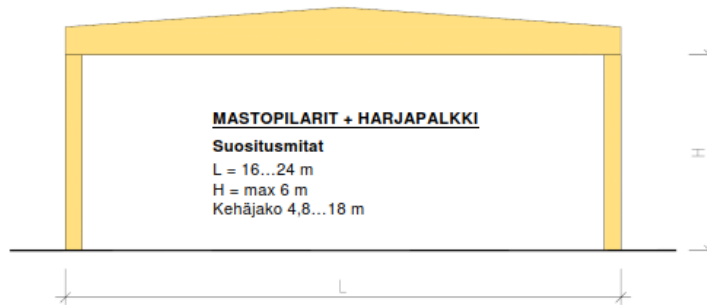
Puuinfo.fi:stä löytyvä HalliPES 2,0 on avoin puuelementtistandardi, joka on erinomainen työkalu puurunkoisen hallin ratkaisuja selvittävälle. Siinä on vakioitu sekä erilliskorkeiden että rankarakenteisten hallien rungon elementointia ja voimaliitoksia. (Puuinfo, 2024)

Tuotteet puurunkoihin mitoitetaan tarkasti ja tilataan työstettynä tehtailta yleensä täysin valmiiksi. Näin työmaalla asentaminen on sujuvaa. Joskin puu on materiaalina helppo työstää työmaallakin tarpeen mukaan, peruskäsityökaluilla. (Versowood, n.d.)

Tyypillisiä erilliskorkeiden rakenteita ovat liimapuupilari-palkki-rakenteet, joita katon mallin mukaan voidaan tehdä harja- tai mahapalkein. Näitä yhdistelemällä ja hallin keskilinjalle

lisätyillä pilareilla voidaan tehdä laajamittaisiakin rakennuksia. Pitkien, jopa 40 metrin jännevälien avoimia halleja on mahdollista toteuttaa erilaisilla kolminivelkehillä, joita käytetään esimerkiksi urheiluhalleissa. Lyhyillä alle 20 metrin jänneväleillä voidaan tehdä myös mastopilari-palkki + NR-ristikkorakenne. Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen erillisrunko, jossa mastopilarit ja näiden päälle tulevat harjapalkit.

Kuva 5. Mastopilarit + harjapalkki. (Puuinfo, 2024)



#### 2.4.1 Liimapuu

Liimapuu onkin yleinen puurakenteisen hallin vaihtoehto, jolla mahdollistetaan yli 30 m jännevälit. Liimapuu valmistetaan liimaamalla vähintään kahdesta maksimissaan 45 mm paksuista lamelleista. Liimapuusta voidaan tehdä monen muotoisia esimerkiksi kannatinpalkkeja, sahaamalla valmis suorakaiteen muotoinen palkki haluttuun muotoon. (Puuinfo, 2020b)

Liimapuulla on huomattavasti paremmat lujuusominaisuudet kuin sahatavaralla. Kuvassa 6 esitettynä erikokoisia liimapuupalkkeja. (Versowood, n.d.)

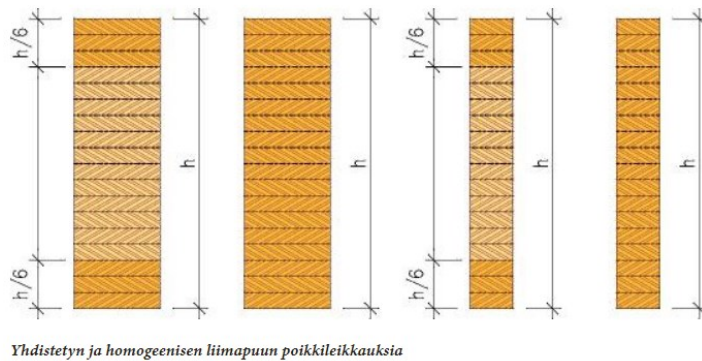
Kuva 6. Liimapuu (Versowood, n.d.).





Lujuuslajittelusta sahatavarasta yhteen liimatut kerrokset parantavat tuotteen kokonaislujuutta. Samalla myös eläminen pienenee selvästi. Kuvassa 7 on esitetty liimapuun poikkileikkauksia, joista selviää, että liimapuu voidaan valmistaa saman tai eri lujuusluokkien lamelleista. Jos käytetään eri lujuusluokkien lamelleita, ulkoreunoille tulee lujemmat lamellit, koska niihin kohdistuu suurempia jännityksiä. (Versowood, n.d.)

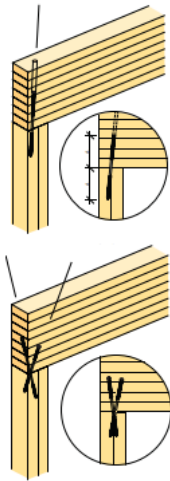
Kuva 7. Liimapuun poikkileikkauksia (Puuinfo, 2020b).



## 2.4.2 Liitokset

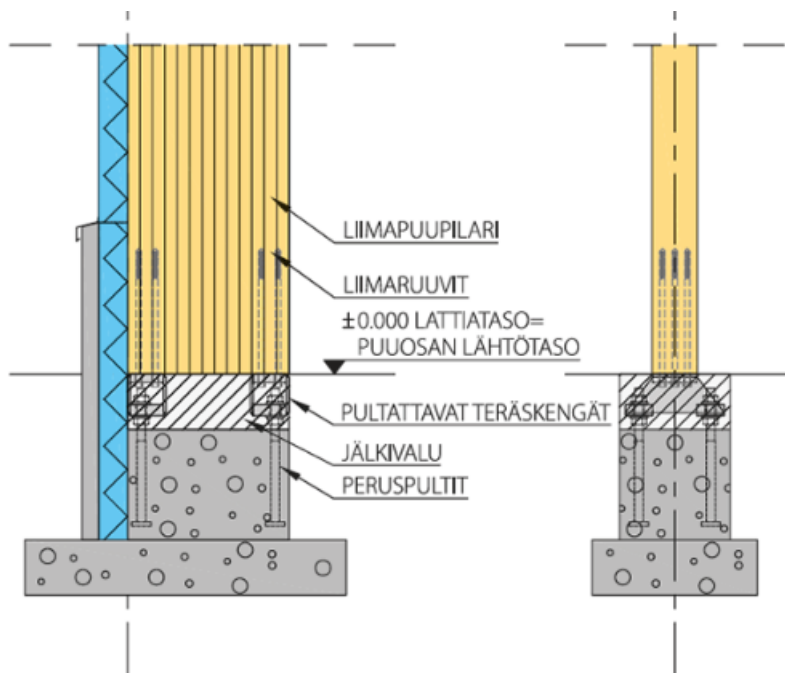
Liimapuurungon liitoksissa kiinnikkeiden pitää vastata rakenteen ilmasto- ja paloluokkaa. Piilokiinnikkeillä, esimerkiksi tappivaarnoilla saadaan ulkonäköä ja parempi palonkestävyys, mutta on kustannustehokkaampaa käyttää puurakenneruuveilla tehtyjä liitoksia, joita esitetty kuvassa 8. Muita tapoja tehdä pilari-palkki-liitoksia ovat naulauslevyt, lattaraudat, puuklossit, upotukset, erilaiset tehdasvalmisteiset liitoskappaleet sekä vetotangot. (Puuinfo, 2020a s.62–65)

Kuva 8. Puurakenneruuviliitoksia (Puuinfo, 2020a s.63).



Pilareiden alapään liitokset perustuksiin ottavat vastaan kaikki rakennukseen kohdistuvat voimat. Etenkin pilareihin kohdistuvien momenttien vuoksi liitokset ovat melko massiivia. Pilarien alapäää kiinnitetään perustuksiin yleisesti tehtaalla pilariin asennettujen pilarikenkien ja perustuksiin valettujen peruspulttien avulla, josta esimerkki kuvassa 9 (Versowood, n.d). Peruspulttien korkotarkastuksen ja kiristyksen jälkeen liitos valetaan juotosbetonilla rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaan, joka jäykistää liitoksen.

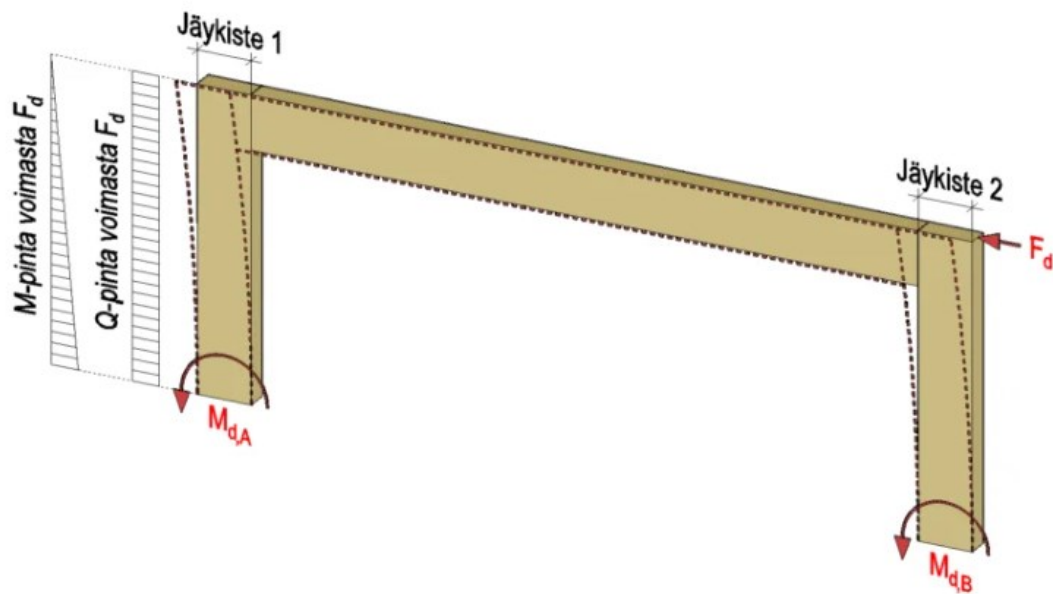
Kuva 9. Esimerkki liimapuupilarin liitoksesta perustukseen (Versowood, n.d).



### 2.4.3 Jäykistys

Laajassa rungossa käytetään useasti mastopilarijäykistystä, jossa keskeisessä osassa ovatkin edellisessä luvussa mainitut pilareiden alapään liitokset. Mastopilarijäykistyksessä pilareiden yläpään kohdistuvat vaakavoimat aiheuttavat sen, että pilareiden koko kasvaa melko suuriksi. Kuvassa 10 on esitetty mastopilarijäykistystä ja pilarin yläpään kohdistuvien vaakavoimien vaikutusta. (Puuinfo, 2020d)

Kuva 10. Mastopilarijäykistys. (Puuinfo, 2020d)



Diagonaali- eli vinojäykisteitä käyttämällä voidaan vaikuttaa pilareiden kokoon.

Diagonaalijäykisteillä viedään samaan tapaan pilarien yläpäihin kohdistuvia vaakavoimia perustuksille ankkuroimalla jäykisteet pilarin alapuolella oleviin rakenteisiin. (Puuinfo, 2020d)

### 2.4.4 Pintakäsittely

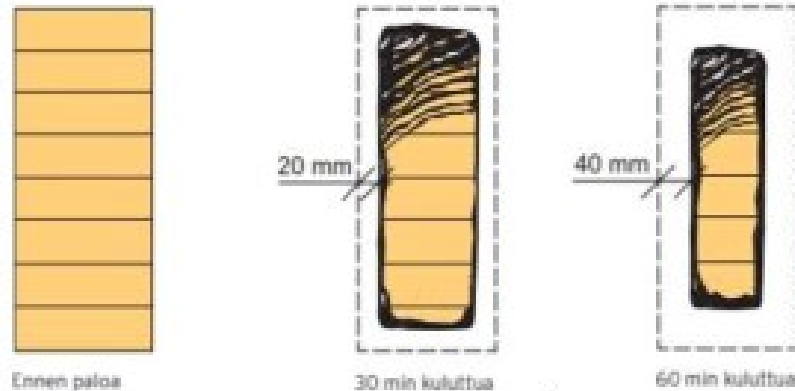
Rakennuksien liimapuuosat tulee suojata kosteudelta ja UV-valolta pintakäsittelyillä, joko kalvoa muodostavilla tai muodostamattomilla aineilla, kuten kuullotteilla, peittomaaleilla, lakoilla tai öljyillä, käyttötarkoituksen mukaan. Kuitenkin on huomioitava, että liian paksu kalvo voi aiheuttaa puulle lahovaurion riskin. Kuivissa sisätiloissakin liimapuun väri ajan saatossa muuttuu ja pintakäsittelyä tarvitaan, jos halutaan säilyttää puun oma väri. (Puuinfo, 2020a s. 75–76)

### 2.4.5 Palosuojaus

Liimapuu hiiltyy (kuva 11) pinnasta palotilanteessa ja tämä suojaa sisempää rakennetta. Liimapuu säilyttääkin kestävyytensä palossa paremmin kuin esimerkiksi suojaamaton teräs rakenne. Syttyessä puu hiiltyy materiaalista liittyen 0,7–0,8 mm minuutissa. Rakenteet joko suojataan palotilanteita varten esimerkiksi kipsi-, villa-, puulevyin tai palosuojamaalalla. Rakenteet voidaan jättää myös suojaamatta, tällöin rakenteet mitoitetaan massiivisemmaksi kestävänsä hiiltymisen. R30-paloluokassa ei yleensä ylimateitusta tarvita, mutta jo R60-paloluokassa jonkin asteinen ylimateitus tulee kyseeseen. Toisaalta hiiltymisen hidastaa ydinpuun palamista ja näin liimapuu säilyttää lujutensa pidempään. (Puuinfo, 2020a s.70)

Luvussa 2.1 esitettyjen paloluokkavaatimusten aiheuttamat kustannusvaikutukset tulevat vaativimmasta palosuojauksesta tai runkorakenteiden ylimateituksesta. Myös liitoksissa on huomioitava palosuojaus tai -mitoitus.

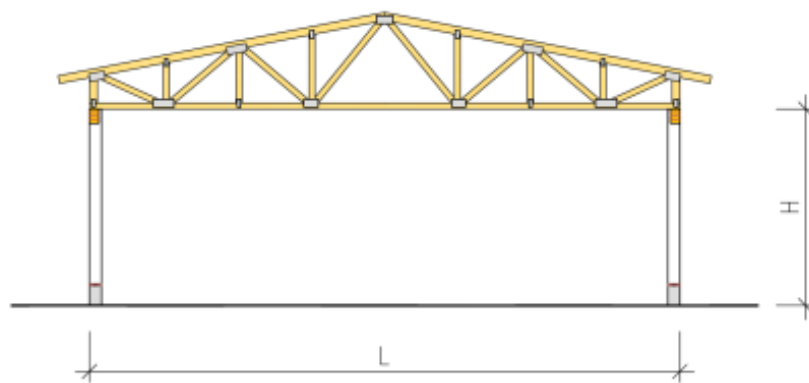
Kuva 11. Liimapuun hiiltymisen (Puuinfo, 2020a s.70).



## 2.5 Rankarunko

Puurunkoinen hallirakennus voidaan tehdä myös rankarakenteisina, kun jänneväli ei ole liian suuri. Kuvassa 12 on esitetty leikkaus sokkelin päältä lähtevästä puurankarungosta ja yläjuoksun päälle asennettavasta NR-ristikosta. Kuvassa esitetty myös yleisesti yläjuoksun alle asennettavasta rungolle tulevaa kuormaa jakavasta pinninkipuusta.

Kuva 12. Kantavat rankaseinät ja NR-ristikot (Puuinfo, 2024).



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

#### **Suositusmitat**

L = max 20 m

H = max 6 m

Yleisesti käytetään tehdasvalmisteisia rankarakenteisia puuseinäelementtejä, joissa tehtaalla asennetaan valmiiksi toivotut rakennekerrokset. Runko voidaan kuitenkin rakentaa myös rakennuskohteessa ns. pitkästä puutavarasta. Esimerkkikohteessa 1 käytettiin puuseinäelementtejä, jossa ulkopinnassa tuulensuojalevy ja julkisivun koolaukset olivat valmiina tehtaalla asennettuna. Myös sisäpinnassa oli tehtaalla valmiiksi asennettuna kipsilevytykset, mutta niistä pyydettiin jättämään reunoista ja alaosasta levytykset pois höyrynsulun limitystä varten.

### 2.5.1 Sahatavara

Rakennesahatavaran raaka-aineena käytetään yleisesti mäntyä tai kuusta. Puun tiheys ja lujuus kasvavat sen mukaan, kuinka lähellä sydänpuuta ollaan. Lujuuteen vaikuttaa oleellisesti myös kuormitussuunta puun syihin nähden. Tiheyttä mitattaessa huomioidaan aina myös mittaustilanteen kosteusolosuhteet. Sahatavaralla on kosteusteknisiä ominaisuuksia, jotka ilmenevät eri kosteusolosuhteissa ja tiheyksissä. Puu voi liian kuivana kutistua, halkeilla tai esimerkiksi kuperoitua ja vastaavasti liian kosteana turvota tai joutua alttiiksi lahottajasienillä tai homeelle. Näin ollen esimerkiksi puun varastointiin ja rakenteiden suojaamiseen on kiinnitettävä huomiota. (Puuinfo, 2023b s. 8–11)

Runkorakenteiden materiaalina käytetään yleensä mitallistettua eli kaikilta sivuilta karkeasti höylättyä sekä lujuusluokiteltua sahatavaraa. Yleisin lujuusluokka on C24. Kantaville rakenteille tarkoitettuja vakiotuotteita valmistetaan aina kokoon 48x223mm saakka ja yleisesti pituudet vaihtelevat 300 mm välein 5,4 metriin saakka. Jatkettuna rakennesahatavaraa on saatavilla aina yli 12-metriseksi (Puuinfo, 2020b).

### 2.5.2 Liitokset ja jäykistys

Rankarakenteet liitetään yleisesti toisiinsa naulaamalla, ruuvaamalla, kulmaraudoilla ja/tai naulauslevyillä. Liitoksissa käytetään olosuhteisiin sopivia ja mitoitettuja liitososia ja kiinnikkeitä.

Rankarunkoisten rakenneosien liittymissä on eri tavalla huomioitavaa kuin esimerkiksi aiemmin käsitellyissä teräs- ja liimapuuliittymissä. Rungon osien liittymissä on samalla huomioitava lämpö- ja kosteustekniset asiat, kuten lämmöneristeet ja höyrynsulut. Lisäksi on huomioitava tarvittavat ääni- ja palotekniset suojaukset ja tiivistykset. Esimerkkidetalleja on olemassa lukuisia, mutta jokainen rakenne on tarkasteltava tapauskohtaisesti. (Puuinfo, 2020c)

Hallimaisten rankarunkoisten rakennuksien jäykistäminen tarkastellaan aina tapauskohtaisesti riippuen rakennuksen muodon ja tulevien väliseinien mukaan. Yleisesti jäykistykseen riittää esimerkiksi seinän sisäpinnassa käytettävä kipsilevytys sekä tuulensuojalevytys. Jäykistystä mitoittaessa voi etenkin päätyseinillä tulla tilanne, jossa edellä mainitut levytykset eivät riitä. Tällöin jäykistykseen käytetään esimerkiksi Habito- tai LVL-levyjä. Levyjäykistykseen mitoitusohjelmaan voi käyttää esimerkiksi Puuinfo.fi -sivulta löytyvää Excel-pohjaista Eurokoodiin pohjautuvaa mitoitusohjelmaa. (Puuinfo, 2020d)

### 2.5.3 Palosuojaus ja pintakäsittely

Sahatavara hiiltäytyy syttyessään kuten aiemmin esitetty liimapuukin, mutta hieman nopeammin eli noin 0,8 mm minuutissa. Rankarunkoisessa rakenteessa rakenneosat ovat kuitenkin niin paljon pienempiä liimapuiset runko-osat, että rungon palomitoituksessa ja -suojauksessa on aina huomioitava eristys ja levytykset. Puuinfo.fi -sivustolta löytyy palomitoitukseen Eurokoodin mukainen Excel-mitoituslaskuri, jossa voit valita palovaateen, halutun rakenteen ja näille tarvittavan villoituksen sekä levytyksen, jotta palomitoitus täyttyy. (Puuinfo, 2023b)

Rankarunkoiset kantavat rakenteet rakennuksissa eivät yleensä varsinaista pintakäsittelyä tarvitse, koska jäävät levytysten ja sisään. Kuitenkin esimerkiksi autotalleissa tai katoksissa rankarakenteet näkyviin jäävät tulee olosuhteiden sekä visuaalisten toiveiden mukaisesti pintakäsitellä esimerkiksi homesuojaksi.

## 3 Ekologisuus

Ekologisuus on rakentamisessa laaja käsite, joka muodostuu useasta eri osasta. Ympäristö- ja kustannusvaikutukset tulisi huomioida koko rakennuksen elinkaaren ajalta.

Kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti rakennukset tulisi suunnitella mahdollisimman kestäviksi ja pitkäikäisiksi, helposti huollettaviksi ja muunneltaviksi, huomioida materiaali- ja energiatehokkuus sekä vähähiilisyys ja muistaa turvallisuus, terveellisyys ja viihtyvyys.

Nykypäivänä materiaalien kierrätykseen ja uudelleenkäyttöön panostetaan ja keskitytään entistä selvästi enemmän ja näihin kuuluu tulevaisuudessa ottaa kantaa jo rakennuslupavaiheessa 1.1.2025 voimaan astuvan, uuden rakentamislain mukaisesti.

### 3.1 Puutuotteet

Puu on materiaalina ainoa täysin uusiutuva. Suomessa kasvaa korkealaatuista puuta, jota kuitenkin kasvaa enemmän kuin sitä käytetään. Puun ja puutavaran käytön toinen iso ekologinen seikka on hiilinielu. Puu sitoo itseensä hiilidioksidia eli poistaa sitä ilmasta ja näin mukana torjumassa ilmastonmuutosta. Puutuotteita valmistettaessa kuluu vähemmän

energiaa, kuin muiden rakennusmateriaalien kohdalla. Energiaa säästyy myös puutuotteiden keveyden takia esimerkiksi kuljetuskustannuksissa. Valmistuksesta ei juurikaan synny jätettä, koska tuotteet ovat helppo työstää määrämittaan ja ylijäämä voidaan valmistaa sivutuotteiksi. Puutuotteiden kierrätys ei aiheuta ympäristöhaittoja. (Versowood, n.d.)

Puuraaka-aine tuotetaan kestävästi siten, että puunkorjuu ja metsänhoito ovat täyttäneet sekä kestävän hoidon, että käytön vaatimukset laajemmin mitä laissa on säädetty. Yksi keino toteuttaa näitä vaatimuksia käytännössä, on sertifioida metsät. Tämän avulla todistetaan puuraaka-aineen alkuperä ja se antaa luotettavaa lisätietoa ostajille, esimerkiksi liimapuutoimittajille, jotka usein edellyttävät sertifikaatin olemassaoloa. Tämän lisäksi sertifiointi varmistaa metsätalouden ekologisen ja taloudellisen kestävyys. Vastaavia sertifiointijärjestelmiä on maailmassa useita kymmeniä, mutta näitä ei kuitenkaan ole laissa vaadittu käytettäväksi. Suomessa kuitenkin metsäteollisuusyritykset käyttävät vain laillisesti hankittua puuta ja se on kestävän metsien käytön periaate. (Puuinfo, 2023a)

### **3.2 Teräs**

Teräs on ekologisuuden ja kestävän kehityksen kannalta valmistusvaiheessa puuta kuormittavampaa. Rautamalmin pelkistysvaiheessa syntyy enemmän hiilidioksidia kuin rautaa, mikä on osaltaan vauhdittamassa ilmastomuutosta. Valmiina tuotteina teräs on ekologisesti ja etenkin kestävän kehityksen kannalta hyvä vaihtoehto, koska se on helposti kierrätettävää. Valmistus on teräksen epäekologisin vaihe, joka kuormittaa paljon ympäristöä eri tavoin. Tähän on maailman terästuotannossa kuitenkin panostettu ja koko ajan kehitetään kestäviä muutoksia asian parantamiseksi. Esimerkiksi kierrätystä on pyritty kehittämään, on kehitetty vahvempia teräslaatuja, pyritty vähentämään tuotannon hiilidioksidipäästöjä sekä on tehty muutoksia rautamalmin pelkistysvaiheessa. (BE Group, 2022 ss. 39-41)

Teräs on kestävä ja säilyttää hyvin ominaisuutensa eli on pitkäikäinen rakennusmateriaali. Teräs on myös helposti kierrätettävää, joten uutta materiaalia ei tarvitse louhia uusia tuotteita varten eli vähentää rakentamisen ympäristökuormitusta. Teräs on myös esimerkiksi betoniin verrattuna kevyttä materiaalia, ja puuhun verrattuna rakennekoot ovat pieniä. Näin myös terästuotteiden kuljettamiseen kuluu verrattaen vähän energiaa ja tulee vähemmän päästöjä. (TKK Arkkitehtiosasto, Rakennusoppi, 2007 s.33)



## 4 Esimerkkikohteiden runkovertailut

Runko on aina yksi hankkeen merkittävä kustannustekijä ja sen valintaan suurimpina vaikuttavina tekijöinä ovat luvussa 2.1 esitetyt tekijät, niiden tuomat vaatimukset ja tätä kautta rakennuksen koko ja paloluokka sekä rungon mitoitus. Tämän jälkeen päästään vertailemaan kustannuksia, jotka ovat ratkaisevassa roolissa rungon valintaa tehtäessä. Myös tilaajien tai käyttäjien vaatimukset, ekologisuus ja muut yksittäiset seikat voivat olla vaikuttavina tekijöinä.

Esimerkkikohteita opinnäytetyössä on neljä. Kaikissa kohteissa runkoja vertailtiin teräksen ja puun välillä.

### 4.1 Runkovertailun tarkastuslista

Opinnäytetyön yhtenä tuotoksena on liitteenä 1 esitetty runkovertailun tarkastuslista, jonka avulla varmistutaan, että tarvittavat lähtötiedot ja muuttujat on huomioitu vertailua tehtäessä. Tarkastuslistalla huomioidaan rakennuksen koon sekä käyttötarkoituksen tuomat vaateet niin laeista ja asetuksista kuin tilaajalta.

Tarkastuslista pääkohdat:

- rakennuksen mitat: pinta-ala, korkeus ja kerrosluku
- paloluokat, -kuormat ja -osastoinnit
- kuormat
- liitokset
- pintakäsittely
- suunnittelu
- kustannukset

### 4.2 Kohteiden lähtötiedot ja vaatimukset

Esimerkkikohde 1 on yksikerroksinen paloluokka 3:een kuuluva uudisrakennus, tuotanto- ja varastotila, joka on miehittämätön normaalikäytön aikana. Kerrosala noin 500 kem<sup>2</sup>, sisäkorkeus noin 4,2 m. Rakennuksen keskellä kulkee yksi kantava väliseinälinja, jolloin pisin jänneväli on noin 12 metriä. Kohde oli tarjottavana teräsrunkoisena, mutta siihen oli mahdollisuus jättää vaihtoehtotarjous.

Esimerkkikohde 2 on yksikerroksinen paloluokka 3:een kuuluva hallirakennuksen laajennus, joka toimii tuotanto- ja varastotilana. Kerrosala noin 600 kem<sup>2</sup>, sisäkorkeusvaade 6000 mm ja jänneväli noin 20 m. Kohde rakennesuunnittelun osalta KVR-hanke.

Esimerkkikohde 3 on yksikerroksinen paloluokka 3:een kuuluva ajoneuvohalli. Kerrosala noin 450 kem<sup>2</sup>, sisäkorkeusvaade 5000 mm ja jänneväli noin 15 m. Kohde arkkitehti- ja rakennesuunnittelun osalta KVR-hanke.

Esimerkkikohde 4 on osittain kaksikerroksinen paloluokka 2:een kuuluva tuotanto- ja varastotila, jonka toisessa kerroksessa on toimistotiloja ja IV-konehuone. Kerrosala yhteensä noin 1750 kem<sup>2</sup>. Halliosa on jaettu kahteen osaan, joista toisen vapaa sisäkorkeusvaade on 6500 mm ja toisen noin 8000 mm. Jänneväli noin 25 m. Kohde arkkitehti- ja rakennesuunnittelun osalta KVR-hanke.

### 4.3 Runkorakenteiden kustannusvertailu

Esimerkkikohteessa 1 edellä esitettyjen tietojen perusteella verrattiin laskentakuvien teräsrunkoa ja rankarunkoisina puuseinäelementteinä rakennettavaa runkoa. Muiden kohteiden osalta tässä opinnäytetyössä ei muiden rakennusosien vertailua tehdä, mutta tässä rungon mahdollinen muutos vaikutti merkittävästi ulkoseiniin ja niiden pinnat sekä tietenkin rungon vaatimiin perustuksiin.

Harkittujen rakenneratkaisujen perusteella vertailu tehtiin alla olevien vaihtoehtojen välillä:

- Alkuperäisen tarjouspyynnön mukainen tarjous:
- pilarianturat
- sokkelielementit
- teräsrunko
- pelti-villa-pelti-elementit
  
- Vaihtoehtotarjous:
- jatkuvat anturat
- valusokkeli
- kantavat puuseinäelementit
- julkisivupelti

Katto- ja muut rakenteet molemmissa lähes samat.

Teräsrunkoa ja PVP-elementtejä alihankintana asennettuina verrattiin siis kantaviin puuseinäelementteihin, jotka oli tarkoitus asentaa yrityksen omilla työntekijöillä sekä julkisivupelteihin asennettuna.

Näin ollen puuseinäelementeistä saatuihin ennakkotarjouksiin oli laskettava työ. Kuvassa 13 laskelma, joka perustuu Ratu KI-6035, Rakennustöiden menekit 2020-kirjaan (Ratu KI-6035, 2019, s 94).

Kuva 13. Puuseinäelementtien työlskelma. (Ratu KI-6035, 2019, s.94).

Puuseinäelementit				
US	10	kpl		465 m <sup>2</sup>
VS	8	kpl		
KE ja PE	16	kpl		
Kuormat	2	kpl		
Alaohjauspuu	100	jm		
elementtejä yht	34	kpl = kerroin 1,0		
		tth/kpl	tth	
Vastaanotto ja var.		0,01	0,02	
Alustan mittaus		0,04	1	
Nosturin valmistelu		1	2	
(ei siirtoja)				
Alaohjauspuu (jm)		0,075	7,5	
US asennus, yli 5,4m		1,15	11,5	
VS asennus, 3,3m		0,7	5,6	
KE ja PE asennus		0,9	14,4	
Loppputyöt		0,01	0,34	
			42,36	tth yhteensä
		Tunnit työryhmällä 2+0	21,18	h
		Työvuorot työryhmällä 2+0	2,6475	tv

Oma työ lasketaan sosiaalikuluineen ja lisätään nosturikulut, saadaan rungon ja sen mukaisen julkisivun kustannukset karkeasti verrattua. Peltitöitä ei tässä työssä huomioida.

Vertailun tuloksena vaihtoehtotarjouksen rakenteet olivat halvemmat.

Alkuperäiseen tarjoukseen pilarianturat ja sokkelielementtien asennus oli laskettu omana työnä, mutta tässä työssä keskityttiin runkoon, joten näiden laskenta jäi laskentapäällikön harteille. Näitä sekä sokkelielementtien hintaa verrattiin alihankintana tehtäviin jatkuvaan anturaan ja valusokkeliin.

Esimerkkikohteen kokonaisvertailun tuloksena vaihtoehtoinen runko oli halvempi noin 30 % ja myös vaihtoehtotarjous jätettiin. Tällä voitettiin tarjouskilpailu ja vaihtoehtoisella kantavalla rankarunkoisella ulkoseinärakenteella kohde toteutettiin.

Esimerkkikohdetta 2 on vertailtu opinnäytetyön liitteessä 2. Liitteessä on eritelty esimerkkikohteen 2 teräsrungon osat sekä liimapuurungon osat ja esitetty niiden perusteella runkojen kokonaiskustannukset. Hinnat perustuvat rakennushetken markkinahintoihin. Molempien runkovaihtoehtojen asennukset ovat esitetty Rakennustöiden menekit 2020-kirjan perusteella. Liitteessä on esitettynä myös kohteen liimapuurunkokaavio.

Kuvassa 14 on esitetty esimerkkikohteiden kustannusvertailussa runkojen asennetut hinnat. Pelkkien runkojen vertailusta voidaan todeta, että puurungot tulivat kaikissa esimerkkikohteissa yli 30 % teräsrunkoja halvemmiksi. Kohde 1 toteutettiin puurankarunkoisena ja kohteet 2-4 toteutettiin liimapuurunkoisina, mastopilarein ja palkein. Tässä vertailussa ei ole huomioitu runkojen vaikutuksia muihin rakenneosiin.

Kuva 14. Esimerkkikohteiden kustannusvertailu

	Teräsrunko	Puurunko	Ero %
Esimerkkikohde 1	54 000,00 €	36 000,00 €	33,33
Esimerkkikohde 2	78 000,00 €	55 000,00 €	29,49
Esimerkkikohde 3	100 000,00 €	60 000,00 €	40,00
Esimerkkikohde 4	240 000,00 €	150 000,00 €	37,50

#### 4.4 Valittujen rakenteiden analysointi

Valittuja rakenteita eli liimapuurunkoja analysoitiin kuvassa 15 olevan nelikenttäanalyysin avulla. Vahvuuksia ja mahdollisuuksia on huomattavasti enemmän kuin heikkouksia ja uhkia. Yritystoiminnan kannalta tietenkin tärkein vahvuus on kustannustehokkuus. Ympäristön kannalta ehdottomasti ekologisuus ja puumateriaalit parantavat myös sisäilman laatua.

Kuva 15. Valittujen rakenteiden nelikenttäanalyysi

Vahvuudet (sisäiset)	Heikkoudet (sisäiset)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puurunkoiset rakenteet kustannustehokkaampia</li> <li>• Asennus ei ole riippuvainen säästä</li> <li>• Puurunkojen työstäminen työmaalla helpompaa</li> <li>• Puurakenteet ovat ekologinen vaihtoehto</li> <li>• Puumateriaalit parantavat sisäilman laatua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liimapuurakenteet ovat kooltaan isompia kuin teräsrakenteet, joten vievät enemmän tilaa</li> </ul>
Mahdollisuudet (ulkoiset)	Uhat (ulkoiset)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yleensä käytetään lähes 100 % suomalaista puuta</li> <li>• Vastaavanlaisia vertailuja on tarvetta tehdä tulevaisuudessakin ja näistä on saatu niihin runsaasti oppia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liimapuurakenteiden suuri koko saattaa tilojen käyttötarkoituksen mukaan luoda mahdollisia hukkaneliöitä tai jopa kasvattaa rakennuksen kokoa.</li> </ul>

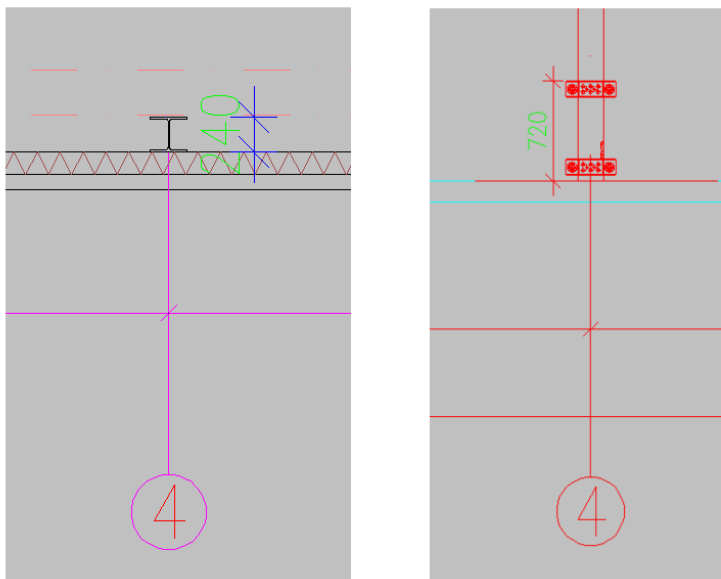
Aiemmassa kappaleessa esiteltiin liimapuu- ja teräsrunkojen vertailujen tuloksia. Sen lisäksi, että liimapuurungot itsessään ovat halvempia, jokaisessa kohteessa liimapuurunko oli myös kokonaispainoltaan kevyempi kuin teräsrunko, joka tietenkin tuo säästöjä myös perustuskustannuksissa. Todettakoon kuitenkin, että pienemmissä halleissa ero oli suhteellisen pieni. Esimerkkikohteessa 1 teräsrunko oli hieman kevyempi, mutta jos kokonaisuuteen lasketaan myös julkisivu mukaan, rankarunkoinen vaihtoehto jäi sielläkin kokonaisuutena kevyemmäksi. Kuvassa 16 esitetty esimerkkikohteiden runkojen kokonaispainoja noin lukuina.

Kuva 16. Esimerkkikohteiden runkojen kokonaispainot

		teräs kg	puu kg
<b>Esimerkkikohde 1</b>	Rankarunko	10500	11550
<b>Esimerkkikohde 2</b>	Liimapuurunko	22000	19000
<b>Esimerkkikohde 3</b>	Liimapuurunko	20000	16000
<b>Esimerkkikohde 4</b>	Liimapuurunko	80000	50000

Liimapuurunkojen mahdollisena heikkoutena ja uhkana voidaan pitää teräsrunkoihin verrattuna niiden kokoa. Kuvassa 17 esitettynä esimerkkikohteesta 2 linjalta 4 alkuperäinen teräsrungon HEA240 pilari ja vertailussa ollut sekä lopulta toteutettu 720 mm liimapuumastopilari. Ero siis 480 mm ja kun tämä kokoero lisätään myös hallin toiselta sivulta, yhteensä hallin vapaasta sisätilasta voi hävitä jopa yhden metrin verran. Tilan todellinen pieneneminen tai mahdollinen haitta tietenkin riippuu käyttötarkoituksesta, mutta esimerkiksi tässä kohteessa asia lopulta koettiin pienenä haittatekijänä, joskaan ei isona ongelmana.

Kuva 17. Esimerkkikohteen 2 teräs- ja liimapuupilarit



Esimerkkikohteessa 3, joka toimii ajoneuvosuojana, oli sisäkorkeusvaateen lisäksi myös vaatimus sisätilojen sivuttaissuuntaisen vapaantilan suhteen. Kookkaat mastopilarit olivat aiheuttanut sen, että rakennuksen kokonaismittoja olisi jouduttu alkuperäisestä hieman kasvattamaan.

## 4.5 Eettisyys ja kestävä kehitys

Rakentaminen on nykypäivänä todella kilpailtu ala, joten valitettavasti raha ja aikataulut ovat hyvin usein ratkaisevat tekijät runkorakenteiden, kuten muidenkin materiaalien valinnassa. Esimerkiksi juuri terästä tuodaan paljon Suomeen rakennusmateriaaliksi ulkomailta. Näiden tuotteiden alkuperästä ja tuottajien toiminnan eettisyydestä kestävästä kehityksestä ei laajasta sertifiointista huolimatta aina voida mennä takuuseen. Ostajalla on aina iso vastuu, jotta rakentamisessa voidaan noudattaa näitä arvoja.

Tämän opinnäytetyön tuloksista voidaan todeta tässä maailman tilassa, että puurunko on kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin teräsrunko. Samalla valinta osui näissä hankkeissa kotimaisiin, ekologisiin sekä kestävästä kehityksen periaatteiden mukaisiin tuotteisiin ja rakentamiseen.

## 5 Pohdinta ja johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli teoriapohjaan, nelikenttäanalyysiin ja kustannuslaskelmiin perustuen tutkia voidaanko hallimaisissa rakennuksissa teräsrungot korvaamalla puurungoilla saada parannettua kustannustehokkuutta ja kilpailukykyä. Tavoitteena oli myös tehdä runkovertailun tarkastuslista, jolla varmistetaan, että vertailussa ja laskelmissa on huomioitu kustannuksiin vaikuttavat tekijät. Lähtötietoihin perustuva tarkastuslista varmistaa myös, että runkorakenteissa on huomioitu lähtötietojen tuomat vaateet.

Opinnäytetyön lähtökohtana oli tehdä tutkimustyö eli teoriaan perehtyminen, kustannuslaskelmat, analyysit sekä tarkastuslista, sillä ajatuksella, että tuotoksia voidaan käyttää KVR-urakoissa, hankekehityshankkeissa tai kilpailu-urakoissa, joissa vaihtoehtotarjous on mahdollinen.

Tutkimustyön tulokset olivat selvät. Puurungot olivat kustannuksiltaan selkeästi, jopa 30 prosenttia teräsrunkoja edullisempia. Myös muiden kuin kustannuksien osalta, nelikenttäanalyysin avulla voitiin todeta, että puurunko on parempi vaihtoehto, esimerkiksi ekologisuutensa ja kotimaisuutensa vuoksi.

Pääpaino tulevaisuudessa tulee varmasti olemaan liimapuurunkojen parissa, mutta työssä haluttiin pitää mukana myös yksi puurankarunkoinen rakennus, jotta tätäkin tietoa voidaan tarvittaessa myöhemmin hyödyntää. Tämä opinnäytetyö rajattiin runkoihin, mutta tulevaisuudessa laskelmia, vaikutuksia ja tarkastuslistaa voi soveltaa myös muihin rakenneosiin.



## Lähteet

BE Group. (2022). *Teräsrakentajan käsikirja*.

<https://www.begroup.fi/storage/7EF75A7A4EA29AA7D0F72AFD18F5AEB64D50AC1D467245AA3743D2EE231BD83D/45b00a98a33c412ea9c0fd9b9ad1aa88/pdf/media/7c3bc409efb843b786ba8f29bcf394e6/tera%CC%88srakentajan-ka%CC%88sikirja-2022-web.pdf>

Laki rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017.

<https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170848>

Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140477>

Puuinfo. (4.6.2024). *HalliPES 2.0*. [HalliPES 2.0 - Puuinfo](#)

Puuinfo. (2020a). *Liimapuukäsikirja osa 1*. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-1.pdf>

Puuinfo. (10.7.2020d). *Pilari-palkkirakenteet* <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/rakennuksen-jaykistys/>

Puuinfo. (23.6.2020b). *Puutieto/insinööripuutuotteet/liimapuu*. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööripuutuotteet/liimapuu-glt/>

Puuinfo. (15.6.2023a). *Puutieto/Suomen metsät*. <https://puuinfo.fi/puutieto/suomen-metsat-2/metsien-sertifiointi/>

Puuinfo. (2023b). *Puutieto/Puutavaraopas*. <https://puuinfo.fi/puutieto/puutavaraopaat/puutavaraopas-sahatavara-ja-puutuotteet/>

Puuinfo. (11.6.2020c). *Rankarakenteet*. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/>

Ratu KI-6035 (2019). *Rakennustöiden menekit 2020*. Rakennustieto Oy.

Siikanen, U. (2001). *Rakennusaineoppi*. Rakennustieto.

TKK Arkkitehtiosasto, Rakennusoppi. (2007). *Teräs. Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle.*  
[https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras\\_web.pdf](https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf)

Versowood. (n.d). *Liimapuuesite.* Haettu 17.2.2024 osoitteesta  
<https://www.versowood.fi/fi/tuotteet/esitteet-ja-tuotekortit>

## Runkovertailun tarkastuslista

### Rakennuksen mitat ja pinta-ala:

- ☐ Onko rakennuksen vapaan sisämitan vaateet huomioitu?
- ☐ Saako rakennuksessa olla tarvittaessa pilareita keskellä vapaata tilaa?
- ☐ Onko mastopilareiden koko ja vaikutukset tilaan huomioitu?
- ☐ Onko tontin puolesta rakennuksen mitat ok? Huom. rakennusoikeus ja etäisyydet rajoihin.

### Rakennuksen korkeus ja kerrosluku:

- ☐ Onko rakennuksella vapaan sisäkorkeuden vaateita eri tiloissa?
- ☐ Tuleeko rakennukseen välipohjia?
- ☐ Onko talotekniikka ja mahdolliset sisänosturit huomioitu?

### Rakennuksen paloluokka ja -osastot:

- ☐ Onko rakennuksen kerrosluku, korkeus ja pinta-ala huomioitu?
- ☐ Onko rakennuksen eri tilojen käyttötarkoitukset huomioitu?
- ☐ Mitä rakennuksen eri osissa säilytetään? Huomioi palokuormiin.
- ☐ Onko edellä mainituilla asioilla vaikutusta paloluokkaan ja palo-osastointeihin -> kantavuusvaateisiin?

### Rakennuksen runkoon liittyvät kuormat:

- ☐ Kattorakenteiden omapainot
- ☐ Tuleeko vesikattorakenteiden päälle erillISRakenteita tai esim. aurinkopaneeleita?
- ☐ Kuinka paljon kattorakenteisiin tulee ripustuksia?
- ☐ Tuleeko runkoon liittyviä välipohja- tai seinäRakenteita ?
- ☐ Tuleeko ulkoseinälle erillISRakenteita, jotka tulee huomioida runkoon?
- ☐ Runkorakenteiden omapainot

### Rungon liitokset ja jäykistys:

- ☐ Onko rungön liitoksien urakkarajat huomioitu? Kenelle kuuluu eri liitososat ja kiinnikkeet.
- ☐ Tarvitaanko liitoksissa hitsauksia tai muuta erikoisosaamista?
- ☐ Rungon kokonaisjäykistys huomioitu?

### Rungon pintakäsittely:

- ☐ Vaaditaanko runko-osiin maalausta?
- ☐ Vaaditaanko runko-osiin palo- tai kosteussuojauksia?

### Suunnittelu:

- ☐ Sisältyykö rungön tai runko-osien suunnittelu urakkaan vai kuuluuko tilaajalle?
- ☐ Onko suunnittelija saanut kaikki tarvittavat lähtötiedot?
- ☐ Onko suunnittelmat tarkastettu (kun valmiit)?

### Kustannukset:

- ☐ Kustannusvertailu tehty -> **TULOS:** \_\_\_\_\_

## Teräsrunko, esimerkkikohde 2

	Rakenneosa	Määrä	Koko	Paino/yksikkö	Kokonaispaino	Asennus (Ratu 0409) (sis. mittaus, asennus, kiinnitys pulteilla)	
Pilarit	HEA240	6 kpl	7 m	60,3 kg/m	2532,6 kg	0,77 tth/kpl	4,62 tth
Pilarit	HEA240	3 kpl	7,5 m	60,3 kg/m	1356,75 kg	0,77 tth/kpl	2,31 tth
Pilarit	HEA240	6 kpl	8 m	60,3 kg/m	2894,4 kg	0,77 tth/kpl	4,62 tth
vinoside	RHS120x120x5	4 kpl	7,5 m	17,6 kg/m	528 kg	1,2 tth/kpl	4,8 tth
vaakaside	RHS120x120x5	15 kpl	6 m	17,6 kg/m	1584 kg	1,2 tth/kpl	18 tth
seinäside	RHS120x120x5	3 kpl	9,1 m	17,6 kg/m	480,48 kg	1,2 tth/kpl	3,6 tth
seinäside	RHS120x120x5	3 kpl	9,9 m	17,6 kg/m	522,72 kg	1,2 tth/kpl	3,6 tth
Ovikehys	RHS200x100x5	3 kpl	6 m	22,3 kg/m	401,4 kg	0,77 tth/kpl	2,31 tth
Ovikehys	RHS100x100x5	6 kpl	2,4 m	14,4 kg/m	207,36 kg	0,9 tth/kpl	5,4 tth
<b>Ristikot</b>		6 kpl	19,6 m			1,29 tth/kpl	7,74 tth
alapaarre	RHS140x140x6	6 kpl	19,6 m	24,5 kg/m	2881,2 kg		
yläpäärre	RHS140x140x8	12 kpl	10 m	31,4 kg/m	3768 kg	Vastaanotto	
diagonaali	RHS100x100x5	72 kpl	2 m	14,4 kg/m	2073,6 kg	0,05 tth/kpl	3,4 tth
<b>Tartunnat</b>						Juotosbetonoinnit	
pohjalevyt	20x500x500	18 kpl	0,005 m3	7850 kg/m3	706,5 kg	0,04 tth/kpl	0,72 tth
tartuntalevyt	10x150x300	73 kpl	0,00054 m3	7850 kg/m3	309,447 kg		
tartuntalevyt	12x150x150	10 kpl	0,00027 m3	7850 kg/m3	21,195 kg	Lopputyöt	
tartuntalevyt	12x200x200	10 kpl	0,00048 m3	7850 kg/m3	37,68 kg	0,01 tth/kpl	0,68 tth
						yht:	61,8 tth
<b>Kiinnikkeet</b>						Ryhmällä 2+0	30,9 tth
pultit, mutterit ja aluslevyt					300 kg	Ryhmällä 2+0	3,8625 tv
							60,00 € /h
Konepajasuunnittelu		0,3 /kg	7 108,84 €				
Materiaalit		1,00 € /kg	23 696,13 €				
Työstö + maalaus		1,60 € /kg	37 913,81 €				
Asennus		0,43 € /kg	8 883,75 €				
yht:			77 602,53 €				
		<b>YHT:</b>	<b>77 602,53 €</b>				
					<b>teräsosat yht: 20605,332 kg</b>	<b>Asennustyöt yht: 3 708,00 €</b>	
						<b>Nosturi 130,00 € /h</b>	
						<b>4 017,00 €</b>	

## Liimapuurunko, esimerkkikohde 2

Rakenneosa		Määrä		Koko		m3		Asennus (Rakennustöiden menekit 2020) (sis. Mittaus, nosto, asennus, ruuviliitos)	
Pilarit	190x720 GL30c	6	kpl	6,85	m	5,62	m3	0,59 tth/kpl	3,54 tth
Pilarit	190x720 GL30c	6	kpl	6,72	m	5,52	m3	0,59 tth/kpl	3,54 tth
Pilarit	190x630 GL30c	3	kpl	7,8	m	2,80	m3	0,59 tth/kpl	1,77 tth
klossit	140x140 GL30c	2	kpl	7	m	0,27	m3	0,59 tth/kpl	1,18 tth
hankolaudat	90x225 GL30c	24	kpl	1,4	m	0,68	m3	tehtaalla	
palkit	190x1260-1506 GL30c	4	kpl	19,7	m	20,96	m3	0,94 tth/kpl	3,76 tth
palkit	215x1260-1506 GL30c	1	kpl	19,7	m	5,93	m3	0,94 tth/kpl	0,94 tth
palkit	190x360 GL30c	1	kpl	19,7	m	1,35	m3	0,94 tth/kpl	0,94 tth

<b>Puuosat yht:</b>		<b>43,13</b>	<b>m3</b>	kuorman vastaanotto	4 tth
---------------------	--	--------------	-----------	---------------------	-------

Rakenneosa		Määrä	Paino/yksikkö	Kokonaispaino	
teräskengät		30 kpl	17,4 kg	522 kg	tehtaalla
osa1	PL10-100x350				
osa2	PL35-100x190				
osa3	PL45-100x100				
Tukipaineosa	PL15-180x200	10 kpl	4,2 kg	42 kg	tehtaalla
Liimatangot	M20x400	40 kpl	0,79 kg	31,6 kg	tehtaalla

Ruuvit	R6x160	816 kpl		yht:	19,67 tth
liimaus		47 kpl		Ryhmällä 2+0	9,835 tth
lakkaus	1 kerta	47 kpl		Ryhmällä 2+0	1,229375 tv
epoksisively pilareiden alaosiin H=100		17 kpl		alle 25 elementtiä -> kerroin 1,2	1,47525 tv
					50,00 € /h

**Asennustyöt yht: 1 180,20 €**

Suunnittelu	100,00 € /m3	4 960,18 €
Materiaalit	700,00 € /m3	34 721,27 €
Työstö	180,00 € /m3	8 928,33 €
Asennus		2 827,56 €
yht:		51 437,34 €

**Nosturi 130,00 € /h**  
**1 278,55 €**

**YHT: 51 437,34 €**

