Tampereen ammattikorkeakoulu

Toimitilarakennuksen runkora-kenteiden edullisuusvertailu

Erno Eloranta

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2019

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennustuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennustuotanto

ELORANTA; ERNO:
Toimitilarakennuksen runkorakenteiden edullisuusvertailu

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Joulukuu 2019

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan betonin ja teräksen ominaisuuksia sekä edullisuutta runkoratkaisuissa. Tavoitteena oli löytää edullisin vaihtoehto rakennuksen rungolle.

Työ on tehty yritykselle, joka haluaa tarjota asiakkaille kustannustehokkaita, edullisia ja turvallisia toimitilarakennuksia. Työ sisältää luottamuksellista materiaalia.

Opinnäytetyössä tutustutaan eri runkoratkaisuihin, materiaaleihin ja niiden ominaisuuksiin. Rungoista lasketaan hinta sekä vertaillaan niitä eri ominaisuuksiin, näin saadaan edullisuusarvo. Edullisuusvertailussa tuodaan rakenteiden eroja esille. Edullisuusvertailun tulokset esitetään yhteenvedossa.

Tuloksista voidaan päätellä, että rakenteen edullisuus ei ole täysin sidonnainen rakenteen hintaan vaan myös rakennusyhtiön arvoihin. Yritystä suositellaan ottamaan vaihtoehdoiksi useampi tutkimuksessa verrattu vaihtoehto. Jatkossa edullisuusvertailua voisi käyttää laajemmin eri julkisivuvaihtoehtoihin.

Avainsanat: runkorakenne, betoni, teräs, edullisuusvertailu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction
Construction Production

ELORANTA, ERNO:
Feasibility Comparison of Frame Structures in Commercial Premises

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 8 pages
December 2019

This thesis includes a comparison between features and affordability of concrete and steel frame structure options. The aim was to find the most affordable solution to the frame structure of a commercial premise.

This thesis was written for a company that wants to offer cost-efficient, affordable and safe commercial premises to the customers. Thesis contains confidential material.

A number of different frame structure solutions, materials and their features are examined. The prices of different frame structures are calculated, and they are compared with different features. This is how the feasibility rate is calculated. The feasibility comparison covers the differences of the frame structures. The results are presented in the summary.

The conclusion of the study was that the affordability of a structure is not completely bound to the structure price but also to the values of the company. In the future, It is recommended that the company takes into consideration the options that were compared in this thesis. The feasibility comparison can also be applied to different facade options.

Key words: frame structure, concrete, steel, feasibility comparison

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 6
1.1 Tausta 6
1.2 Tavoite 6
1.3 Rajaukset 6
1.4 Menetelmät 7
2 Menetelmät 8
2.1 Kirjallisuustutkimus 8
2.2 Haastattelututkimus 9
2.3 Edullisuusvertailu 9
3 RUNKOMATERIAALIEN OMINAISUUDET 11
3.1 Mistä toimitilojen rungot tehdään 11
3.1.1 Ympäristövaikutukset ja ekologisuus 12
3.1.2 Betoni materiaalina 13
3.1.3 Teräs 18
3.2 Runkovaihtoehdot 20
3.2.1 Teräsbetoni elementtirunko 21
3.2.2 Pilarilaatta-betonirunko 22
3.2.3 Teräsrunko 23
3.3 Rakenneosat 24
3.3.1 Pilarit 24
3.3.2 Palkit 25
3.3.3 Laatat 28
3.3.4 Julkisivu 32
3.4 Palo-, ääni- ja lämmöneristys 34
3.4.1 Äänieristäminen 34
3.4.2 Paloeristäminen 35
3.4.3 Lämmöneristäminen 35
3.5 Elinkaari 36
4 Kustannukset 37
4.1 Kustannuslaskenta 37
4.2 Kustannukset ja laatu 39
4.3 Edullisuusvertailu 40
4.3.1 Julkisivu 41
4.3.2 Runko 42
4.3.3 Välipohjat 43
5 Yhteenveto 44

5.1 Jatkotutkimusehdotukset 44
5.2 Pohdinta 45
5.2.1 Validiteetti 45
5.2.2 Reliabiliteetti 45
LÄHTEET 46
LIITTEET 49
Liite 1. Seinien eristysominaisuudet 49
Liite 2. Aikataulu 51
Liite 3. Edullisuusvertailu 54

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Yritys haluaa antaa asiakkailleen mahdollisimman edullisesti laadukkaat toimitilat. Toimitiloja halutaan rakentaa asiakkaan ja käyttäjän arvopohjalta. Ihmiset arvostavat työpaikoilla hiljaisuutta ja viihtyvyyttä.
Se haluaa ottaa huomioon materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt. Yritys pyrkii mahdollisimman pienin päästöihin säilyttämään rakentamisen mahdollisimman edullisena. Tämän opinnäytetyön avulla yritys haluaa kartoittaa rakentamisen eri mahdollisuuksia joka näkökulmasta.
Yrityksen rakentamisosaaminen keskittyy teräsrakentamiseen. Siksi opinnäytetyössä tarkastellaan juuri betonin ja teräksen ominaisuuksia.

1.2 Tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää toimitilarakennuksen betoni- ja teräsrunkoratkaisujen edut sekä haasteet. Yritys haluaa laajentaa omaa osaamistaan ja tietämystään eri runkovaihtoehdoista sekä materiaaleista. Tavoitteena on myös laajentaa omaa tietämystä erityisesti betonirakenteiden osalta.

1.3 Rajaukset

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan teräs- ja betonirunkoja ja niiden ominaisuuksia toimitilarakentamisen näkökulmasta. Muut materiaalit ja rakennukset on rajattu vertailusta. Vertailussa keskitytään enemmän rakentamiseen ja käyttöön kuin suunnitteluun, sitä kokonaan unohtamatta.
Sandwich-paneelien CO2-päästöt puuttuvat edullisuusvertailusta, koska tarpeeksi tarkkaa lähdettä ei löytynyt. Päästöjä kuitenkin arvioidaan ja ne otetaan lukuun tuloksia analysoidessa.

1.4 Menetelmät

Kirjallisuustutkimuksella tutkin rakenteiden hintoja toteutuneista kohteista saatujen tarjousten perusteella. Käytän tutkimuksessa apuna rakentamisen RT- ja Ratu-kortistoa sekä useaa muuta valmistajan tai tutkijan luotettavaa lähdettä.

Haastattelututkimuksen tavoitteena oli saada itse suunnittelijalta ja rakennevalmistajalta tietoja hinnoista sekä yleisimmin käytettävistä runkojärjestelmistä. Haastattelut ajoitettiin todellisen rakennuksen suunnittelun yhteyteen. Palaverissa kysyttiin valmiiksi tehtyjä kysymyksiä sekä kirjoitettiin muistiinpanoja.

Edullisuusvertailussa rakenteiden hintojen sekä ominaisuuksien perusteella laskettiin kullekin edullisuusarvo.

2 Menetelmät

2.1 Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuustutkimuksen tavoitteena on löytää työn aiheesta erilaista tietoa, jota voidaan jakaa raportissa ja soveltaa laskelmissa. On mahdollista, että tutkimustyön ongelmaa on jo jossain muualla käsitelty ja ratkottu. Kun kirjallinen tutkimus tehdään ennen empiiristä tutkimusta, tutkija pystyy suunnittelemaan tehokkaimman mahdollisen metodin selvitykselle. Jossain tapauksissa saattaa kuitenkin olla niin että omat tutkimukset ovat herättäneet kysymyksiä, minkä perusteella voidaan tehdä kirjallista tutkimusta. (Routio Pentti, Tiedon hakeminen teksteistä)

Lähteet

Kirjallisuuden lähteitä ovat muun muassa kirjat, tilastot ja yksityiset asiakirjat, joita voidaan etsiä internetistä ja kirjastoista. Kun haluttu teos on löytynyt, siitä on kirjattava ylös tekijä, pääsanat ja vuosiluku. (Routio Pentti, Tiedonhakeminen teksteistä)

Saatujen tietojen arvioiminen

Kirjallisten aineistojen löydyttyä on arvioitava niiden käyttökelpoisuutta. Minkä kriteerin mukaan kommentointi tehdään, riippuu siitä mihin työn tuloksia on tarkoitus käyttää. Esimerkiksi tiedon ajankohtaisuus on tärkeä tekijä. (Routio Pentti)

2.2 Haastattelututkimus

Haastattelu on yksi käytetyimmistä tiedonkeruutavoista. Haastattelututkimuksessa haastateltavien kanssa keskustellaan tutkimusaiheesta ja kerätään tieto suoraan ihmisiltä itseltään. Tutkimushaastattelun tavoite on täyttää tutkimustehtävä. Haastattelu toimii siis aineistonkeruumenetelmänä ja sen tuloksia voidaan analysoida ja tulkita. (Saaranen-Kauppinen, Puusniekka, KvaliMOTV.)

Haastattelussa on aina otettava huomioon haastattelijan ja haastateltavan persoona ja virhetiedon mahdollisuus. Haastattelussa nähdään aina subjektiivinen näkemys asioista, eikä kaikkea tietoa ole edes mahdollista saada haastattelun keinoin. Haastattelijan tehtävä on kuvata mahdollisimman selkeästi ja realistisesti haastateltavan ajatuksia ja kokemuksia. (Saaranen-Kauppinen, Puusniekka, KvaliMOTV; Oppariapu)

Haastattelututkimuksessa haasteena on sen vaatima aika. Täytyy laatia haastattelurunko, löytää haastateltavat ja yhteinen aika, koostaa kerätty tieto ja vielä analysoida ja tulkita sitä. Haastattelua voidaan käyttää aiheeseen syventävänä, kvalitatiivisena tiedonkeruumenetelmänä muiden rinnalla. Henkilökohtaiset ja sähköpostihaastattelut ovat sopivia asiantuntijahaastatteluille. Sähköposti mahdollistaa haastattelun olinpaikasta riippumatta ja kysymyksiin on enemmän aikaa vastata. Ryhmähaastattelulla taas voidaan kerätä sellaista tietoa, jota ei yksilöhaastattelussa tulisi esille. (Oppariapu; Verne.)

2.3 Edullisuusvertailu

Edullisuusvertailussa eri vaihtoehtojen ominaisuuksia verrataan hintaan. Vertailulla selvitetään, mikä vaihtoehto olisi kaikista edullisin hintaansa nähden.
Edullisuusvertailua tehdään oleellisena osana kustannuslaskentaa. Edullisuusvertailussa otetaan yleensä huomioon lähtötiedoista hinta, käyttökustannukset, käyttöaika, jäännösarvot, mahdolliset tuotot ja kustannussäästöt sekä korko sijoitetulle pääomalle. (Kuntaliitto.fi.)

Eri rakentamistekniikoita vertaillessa tulisi ottaa huomioon laatu, rakenteiden kestävyys ja käyttö. Myös käyttöiän vaikutusta elinkaarikustannuksiin on hyvä tarkastella. (Elementtisuunnittelu.fi, Valmisosarakentaminen.)

Vertailemalla edullisuutta pelkkien kustannusten sijaan, saadaan parempi kuva kannattavuudesta ja eduista.
Edullisuusvertailun yksi mahdollinen heikkous on, jos siitä jää uupumaan tekijöitä, jotka vaikuttavat lopputulokseen merkittävästi. Kaikkia tekijöitä ei myöskään aina voida arvioida yksiselitteisesti.

3 RUNKOMATERIAALIEN OMINAISUUDET

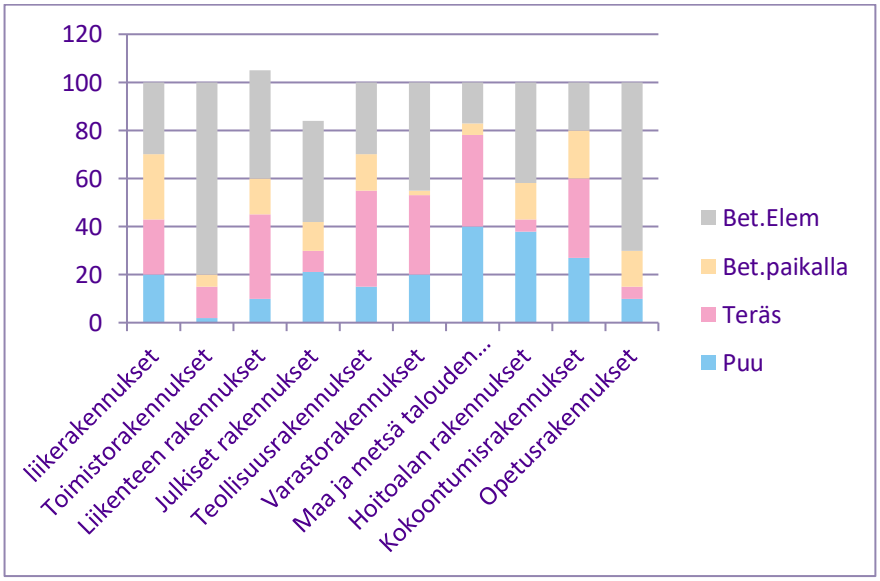
Luvussa käsitellään kahta runkomateriaalia, betonia ja terästä ja niiden ominaisuuksia. Taulukossa 1. on esitetty eräitä materiaalien ominaisuuksia.

	Betoni	**Teräs**
Lämmönjohtavuus	0,4 -1,7 W/mK	45 W/mK
Tiheys	2,3 (kg/dm^3)	7,8 (kg/dm^3)
Valmistukseen energiaa	1390kWh / 1000kg	20 000kWh / 1000kg
Kierrätettävyys	80%	100%
Kosteuden kesto	Kestää vettä	Ruostuu vedessä ilman pintakäsittelyä
Äänen nopeus	3200-3700 m/s	5100 m/s
Ominaislämpökapasiteetti	0,75 (kJ / kg K)	0,45 (kJ / kg K)

Taulukko 1. Betonin (Aalto, Betonin rakenne ja ominaisuudet 2015) ja teräksen (Väisänen, Teräs 2007; Total Materia) ominaisuuksista.

3.1 Mistä toimitilojen rungot tehdään

Kaikesta toimitilojen uudisrakentamisesta betoni on runkojen osalta selvä markkinajohtaja. Kaaviosta 1 voidaan todeta, että betonirakenteiden osuus on noin 50 prosenttia, teräsrungot noin 15 prosenttia ja puu 30 prosenttia. Betonielementtirunko on uusissa toimitilarakennuksissa selvästi useimmin valittu runkovaihtoehto. Betonilla on monissa rakennustyypeissä 60-70 prosentin osuus. Puurunkoiset toimitilat ovat selkeässä nousussa. (Tilastokeskus; Laitinen 2017)



Kaavio 1. Toimitilarakennusten runko materiaalit 2000- luvulla (Tilastokeskus; Laitinen 2017).

3.1.1 Ympäristövaikutukset ja ekologisuus

Kappaleessa on kerrottu betonin ja teräksen vaikutuksia ympäristölle.

Betonin ympäristövaikutukset

Betoni valmistetaan sementistä, jonka valmistus kuluttaa paljon energiaa. Sen valmistus aiheuttaa noin 5% koko maailman hiilidioksidipäästöistä. Osuus Suomen hiilidioksidipäästöistä on noin 1%. (Betonirakenteen ekotehokkuus, Betoni.fi 2019)

Sementin pääraaka-aine on kalkkikivi, joka murskataan ja kuumennetaan uunissa noin 1400 asteessa. Uunista ulos tuleva massa on sementtiklinkkeriä, josta saadaan valmistettua sementtiä. Sementin valmistusprosessi kuljetuksineen kuluttaa energiaa jopa 5000 MJ / 1000kg. Hiilidioksidipäästöjä siitä tulee noin 750 kg/t. Tästä osa kompensoituu pitkällä aikavälillä, kun betoni karbonatisoituu hiilidioksidin kanssa. Betonin valmistuksessa pystytään käyttämään raaka-aineina muun teollisuuden jätteitä kuten lentotuhkaa, silikaa ja masuunikuonaa. (Betoni.fi 2019)

Koko rakennuksen elinkaaren aikana betoni on erittäin ekologinen vaihtoehto rakennusmateriaaliksi. Se on ihmisten terveydelle ja ympäristölle edullinen vaihtoehto. Siitä ei irtoa ilmaa, vettä ja ihmistä haittaavia aineita. Tulipalon sattuessakaan se ei aiheuta vaarallisia kaasuja. (Betonirakenteen ekotehokkuus, Betoni.fi 2019)

Betoni voidaan kierrättää elinkaaren lopussa takaisin valmistukseen tai esimerkiksi tien pohjarakenteiksi. (Betonirakenteen ekotehokkuus, Betoni.fi 2019)

Teräksen ympäristövaikutukset

Terästä valmistetaan noin 1000milj.t vuodessa, joista noin puolet on kierrätetystä teräksestä. Teräksen valmistukseen kuluu energiaa 20 000kWh / 1000kg.

Kierrätetystä teräksestä valmistetun materiaalin päästöt ovat noin 1/3 uusioteräksen päästöistä. Terästä voidaan kierrättää loputtomasti sulattamalla ja muovaamalla uudestaan. Suomessa noin 90% käytetystä teräksestä saadaan kierrätettyä. Teräs on rakennuksen käyttöaikana ympäristöystävällinen materiaali. Siitä ei irtoa ihmisille tai luonnolle haitallisia aineita. (Päivi Väisänen, Teräs 2007)

3.1.2 Betoni materiaalina

Betoni on eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. Sen osuus Suomessa kaikkien rakennuksien runkorakenteena on noin 40%. Noin puolet käytetystä betonista käytetään betonielementteihin. Massiivisia käyttökohteita betonille ovat mm. runkorakenteet, tukimuurit, sillat, tunnelit ja laiturit. (Betoniteollisuus ry)

Betonin hyödyt

Betoni materiaalina on erittäin kova rakenne, joka ottaa vastaan suuria puristusvoimia. Vastaanottamaan vetorasitusta betoniin lisätään harjateräsraudoitus tai erilaisia kuituja. (Betoniteollisuus ry)

Jäykkyytensä ansiosta betoni eristää ääntä todella hyvin. Betonin huokoisuus vaikeuttaa värähtelyn etenemistä ja massiivisuus äänen kulkeutumista. Betonin ominaisuuksia käytetään hyväksi esimerkiksi valettaessa alustoja raskaille koneille tai tehtäessä teollisuuteen lattioita. Betonia käytetään runsaasti myös arkkitehtuurissa. Betonin ulkomuoto on hyvin muokattavissa ennen valamista ja kovettumista erilaisilla valumuoteilla. Vielä kovettumisen jälkeen betonia on mahdollista viimeistellä hiomalla tai hiekkapuhaltamalla. (Betoniteollisuus ry)

Betoni on todella turvallinen materiaali. Lujuutensa lisäksi se on myös palonkestävä, jolloin se toimii hyvin myös paloa rajaavissa seinissä tai lattioissa. Betoni kestää myös vettä hyvin eikä siitä irtoa haitallisia aineita ilmaan tai veteen. Esimerkiksi suuret vesijohdot tai kaivot on tehty betonista. (Betoniteollisuus ry

Betonin kosteuden kesto

Betoni sopii hyvin ulkopuolisiin rakenteisiin sen hyvän kosteuden kestävyyden takia. Sitä käytetään mm. vedenpuhdistamoissa, vesijohdoissa, viemäreissä, pumppaamoissa ja altaissa. (Betoniteollisuus ry)

Kaikki rakennusmateriaalit kuin myös betoni tulee pitää sisätiloissa kuivana. Ajan myötä kaikkien materiaalien päälle kertyy orgaanisia epäpuhtauksia, jotka mahdollistavat kosteissa olosuhteissa homesienen kasvun. (Betoniteollisuus ry)

Karbonatisoituminen on betonille vaaraksi. Vesi ja pakkanen pääsee haperruttamaan betonia, jolloin siihen voi ilmestyä halkeamia sekä kulumista. (Betoniteollisuus ry)

Betonin käyttöikä

Kestävän kehityksen, ympäristötietoisuuden ja taloudellisten näkökohtien takia rakennukset tulisi suunnitella mahdollisimman pitkäikäisiksi. Kaupunkeihin ei synny arvokasta kulttuuriympäristöä, jos rakennukset uusitaan 50 vuoden välein. (Jouni Punkki, Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2016)

Tavanomaisen betonirakenteen käyttöiäksi suunnitellaan yleensä 50-vuotta, näitä ovat muun muassa asuinrakennukset. Arvokkaita julkisia rakennuksia suunnitellaan usein 100 vuoden käyttöiälle. Kirkkoja sekä muita pitkäikäisiä rakennelmia 200 tai jopa 1000 vuoden käyttöiälle. Betonirakenne on kuivissa sisätiloissa käytännössä ikuinen, sillä ei ole sisätiloissa mitään mikä sitä voisi kuluttaa. (Jouni Punkki, Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2016)

Betonin ikään vaikuttaa moni asia, lujuusluokan määrittelee suunnittelija kullekin rakenteelle. Lujuus merkitään C25/30, ensimmäinen luku on betonikartion puristuslujuus ja jälkimmäinen kuution. Lujuuteen vaikuttaa suuresti myös vesi-sideaine-suhde, mitä vähemmän vettä ja enemmän sementtiä sekä sideaineita betonista tulee lujempaa. Betonin käyttöikää ja kestävyyttä saadaan lisättyä myös erilaisilla lisäaineilla, kuiduilla, raudoitteilla ja betonipeitteen paksuudella. (Jouni Punkki, Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2016

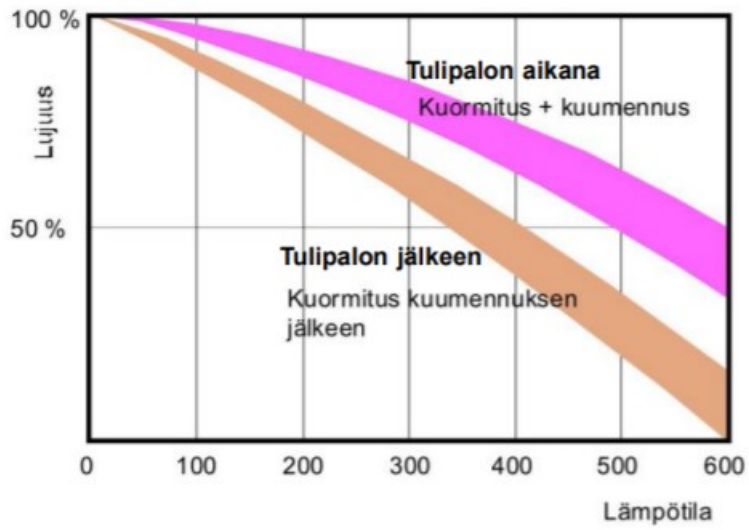
Betonin palonkesto

Betoni on paloluokaltaan parasta A1- luokkaa. Rakennuksen palomitoituksessa betonipeitteen paksuus mitoitetaan käyttötarkoituksen mukaisesti. Betoni kestää palotilanteessa 60% sen murtolujuudesta jopa 500 asteen lämpötilassa. Kaaviossa 2 on kerrottu betonin kesto palotilanteessa. Taulukossa 2 voidaan todeta, että palonkesto kasvaa massaa lisättäessä. Normaalilla ontelolaatalla päästään paloluokkaan REI60, lisäämällä esimerkiksi palosuojaus levyjä päästään suuriinkin palonkestoihin. Kaaviossa on esitetty betonin lujuutta palotilanteessa. Rakenteen varmuuskertoimen on oltava tarpeeksi suuri, jotta rakennus kestää myös palon jälkeen. Maailmassa ei juurikaan ole betonisia rakennuksia, jotka olisivat sortuneet tulipalon seurauksena. (Betoniteollisuus Ry 2019)

Umpilaatan palonkesto mm

Palonkesto min	30	60	90	120	180	240
Paksuus mm	60	80	100	120	150	175

Taulukko 2. Palonkesto (RT 82-10814).



Kaavio 2. Betonin lujuus palon aikana. (Betonin rakenne ja ominaisuudet Aalto 2015)

Talvibetonointi

Alle viiden asteen lämpötilassa betonoinnissa on käytettävä talvibetonointimenetelmiä. Betonin kovettuminen pysähtyy alle -5 asteen lämpötilassa käytännössä kokonaan. Viileissä olosuhteissa betoni voidaan tilata Rapid-lisäaineella, joka nopeuttaa betonin kovettumista alkuvaiheessa. Useat toimittajat voivat myös lämmittää massan valmiiksi, jolloin se on alusta alkaen optimaalisessa lämpötilassa. Betoni tulee pitää lämpöisenä peittämällä näkyviin jäävät osat lämpöä ja tuulta eristävällä peitteellä. Massaan voidaan asentaa myös lämpöä ylläpitäviä kaapeleita tai se voidaan esimerkiksi holvivaluissa huputtaa kokonaan ja lämmittää puhaltimilla koko telttaa. Taulukossa 3. on esitetty eri lämmitysvaihtoehtojen energiankulutus betonin kovettumiseen. (Rudus, Talvibetonointi 2013.) (Ratu C8-0377)

Menetelmä	Energian kulutus kWh/bm³	Betonin kovettumisaika vrk
Lankalämmitys	60...100	1...3
Muottilämmitys	50...100	1...3
Infrapunalämmitys	90...180	1...3
Kuumailmalämmitys	150...500	2...5
Kuumabetoni	150...500	0,75...2

Taulukko 3. Talvibetonoinnin energian kulutus.

Talvella suoritettavat valut vaativat huolellista suunnittelua ja osaamista. Betonin toimittaja osaa yleensä kertoa tarpeellisista suojauksista tai lämmitystarpeellisuudesta. Ennen valua on varmistettava, että sekä muotti ja alusta ovat sulat jäästä ja lumesta. Tarvittaessa ne voidaan sulattaa kuumalla höyryllä tai routamatoilla. Betonin on saavutettava 5 Mpa lujuus, ennen kuin se voi jäätyä. Jos jäätyminen tapahtuu ennen kriittistä lujuutta, betoni jää huokoiseksi, eikä se saavuta ikinä lopullista lujuutta. (Rudus, Talvibetonointi 2013.) (Ratu C8-0377)

Betonin jälkihoito

Valettua betonia on jälkihoidettava halkeilun ja vaurioiden ehkäisemiseksi. Sopivaa kosteutta ja lämpötilaa pidetään, jotta estetään liian nopea kuivuminen. Kosteutta ylläpidetään kastelemalla pinta ja peittämällä se muovilla sekä suodatinkankaalla. Muovi estää kosteuden haihtumisen ilmaan liian nopeasti. Betonipinnan peittäminen on tehtävä mahdollisimman pian valamisen jälkeen, jotta halkeilu saadaan minimoitua. Toinen tapa jälkihoidolle on jälkihoitoaine, joka ruiskutetaan betonin pinnalle valamisen yhteydessä. Betoni tulee suojata myös haitoilta kuten tuuli ja vesisade. Tuuli kuivattaa betonin pintaa, jolloin siihen voi ilmestyä kutistumishalkeilua. Näille paras suojauskeino on muovilla peittely. Mitä pidempään jälkihoitoa jatkaa niin sitä paremmat edellytykset rakenteella on säilyä ehjänä. Jälkihoitoa tulee kuitenkin jatkaa vähintään viikko. (Betoni.com) Suosituslämpötila optimaaliselle kuivumiselle on noin +20 astetta. Lämpötilan laskiessa betonin kuivuminen hidastuu. (Kestävä kivitalo, Betonin jälkihoito)

Betonirakenteen liian nopea päällystäminen johtaa usein kosteusongelmiin. Kosteus ja terveyshaitoilta vältytään, kun rakentamisen aikana maltetaan odottaa tarpeeksi pitkään betonin kuivumista. Betonirakenteiden kuivumista tulee seurata porareikämittauksilla.

3.1.3 Teräs

Teräs on tärkein käyttömetalli maailmassa. Teräslajeja on viimeisen 20 vuoden aikana kehitetty useita tuhansia.

Teräksen edut

Teräs on kevyttä verrattuna sen lujuuteen. Lujuus – painosuhde on erittäin hyvä. Sitä on helppo käsitellä ja liittää yhteen esim. hitsaamalla tai pulttiliitoksin. Teräkseen voidaan valmistuksen jälkeen tehdä helposti suurempiakin muutoksia leikkaamalla ja hitsaamalla. Terästä voidaan valmistaa erilaisilla ominaisuuksilla esim. ruostumattomana teräksenä. Teräs on palamaton materiaali, joka voi kuitenkin sulaa. Kulutuksen ja korroosion kestävyys on todella hyvä. (Teräsrakenneyhdistys, Teräs materiaalina)

Teräksen kosteuden kesto

Tavanomaisissa teräksissä korroosion kesto on heikkoa, ulos jäänyt teräs saa hyvinkin nopeasti karkean ruostepinnan, joka kuluttaa terästä ja aiheuttaa materiaalikatoa. Suojaamattomassa teräksessä ruostuminen etenee 0,5-2 mm vuodessa.

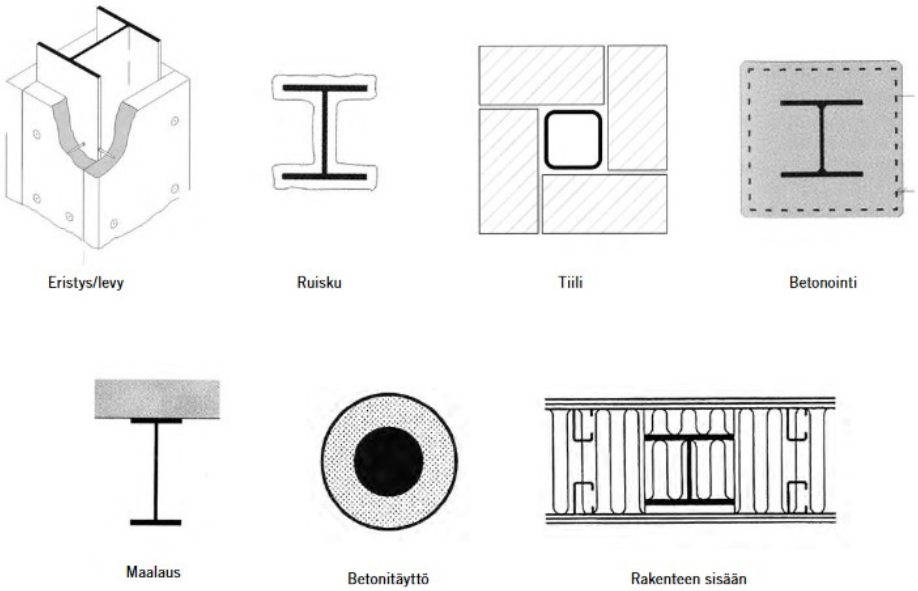
Säänkestäviä teräksiä on muun muassa corten-teräs, joka on kuparin, kromin, nikkelin ja fosforin seos. Ulkoilmassa sen pintaan muodostuu nopeasti tiivis oksidikerros, joka estää korroosion tunkeutumista syvemmälle. Oksidikerros muodostaa teräksen pintaan ruosteen kaltaisen ruskean värin, jota käytetään useasti sellaisenaan rakennusten julkisivuissa. (SIT 22-610045 Teräs)

Muun muassa Ruukki valmistaa teräksiä rauta-kromi-nikkeli-hiili -yhdistelmällä, jolloin teräksestä saadaan korroosion kestävää. Sen tärkeimmät ominaisuudet ovat korroosion kestävyys, esteettisyys, palonkestävyys, alhaiset elinkaarikustannukset, täydellinen kierrätettävyys, hygieenisyys, erinomainen lujuus ja paino suhde. (Total materia, Teräksen ominaisuudet 2019)

Vaihtoehtona korroosiosuojalle on myös teräksen pinnoitus. Pinnoitus teräksen pintaan on hyvä tehdä jo tehtaalla palkin tai pilarin valmistuksen loppuvaiheessa. Maalilla pinnoitettuun pilariin korroosio ei pääse tunkeutumaan.

Teräksen palonkesto

Teräs on erittäin altis lämpötilan muutoksille suuren, lämpötilan nousu aiheuttaa teräksessä nopeasti venymistä. Jos teräs altistuu pitkiä aikoja yli 400 asteen lämpötilalle, sen lujuus heikkenee. Yli 600 asteen lämpötila on kriittinen lämpötila, jossa rakenne voi sortua. Teräksen kuumetessa yli 600 asteiseksi sen tilavuus laajenee eikä palaudu enää takaisin, tästä johtuen tulipalojen jälkeen rakenteet on tutkittava tarkasti. Sulamislämpötila on noin 1500 astetta. Teräksen lämmönjohtavuus on 20-50 W/(k m). (Päivi Väisänen, Teräs 2007)



Kuva 1. Palonsuojaus vaihtoehdot (Päivi Väisänen, Teräs 2007)

Teräsrakenteen pinta on suojattava tulelta paloa hidastavilla materiaaleilla tai vaihtoehtoisesti pilarit voidaan betonoida sisältä, jolloin myös niiden puristuslujuus kasvaa. Palonsuojamaalaus on yleinen tapa suojata teräsrakenteita. Tapana se on kallis ja aikaa vievä sekä se on erittäin altis kolhuille. Kuvassa 1 on esitetty palonsuojauksen eri vaihtoehtoja. (Päivi Väisänen, Teräs 2007)

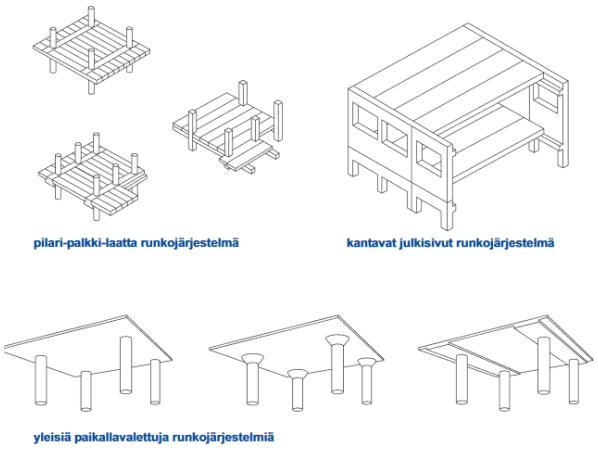
3.2 Runkovaihtoehdot

Suomen ympäristöministeriö on rakennuslaissa antanut määräykset ja ohjeet rakenteiden varmuuksiin, kuormituksiin, meluntorjuntaan ääneneristävyyteen ja paloturvallisuuteen. Seuraavat runkoratkaisut soveltavat Suomen rakentamismääräyksissä säädettyjä määräyksiä.

Yleistä

Rakennuksien rungot sisältävät vaaka- ja pystyrakenteita, joiden tehtävänä on kohdistaa kuormat perustuksille ja maaperään. Suurimpia kuormia on rakenteiden omat painot, hyötykuormat sekä tuuli- ja lumikuormat. Runko tulee olla jäykistetty mahdollisien liikkumisien varalle. Jäykistys voidaan toteuttaa diagonaaleilla tai esimerkiksi hissikuilulla.

Toimitiloissa tyypillisesti käytettäviä runkoratkaisuja ovat, pilaripalkkijärjestelmä, kantava julkisivu- tai pilarilaattajärjestelmä (esitetty kuvassa 2). Näistä paikallavalettava pilarilaattajärjestelmä on suosiossa suuren pilarivälin, ääneneristävyyden ja siistin lopputuloksen ansiosta. Runkojärjestelmän ja käytettävän materiaalin valintaan vaikuttaa tilaratkaisut, tilojen muuntojoustavuus, kerroskorkeus, rakentamisaikataulu rungon haluttu käyttöikä, kulutuksen kesto, muunneltavuus, palonkesto, ääneneristävyys, talotekniikan yhdistäminen, ulkonäkö, ja koko elinkaaren kustannukset. Yleensä valintaan vaikuttaa suuresti vain tietämys rakenteista ja rakentamisen aikana syntyvät kustannukset. (RT 95-10719 Toimistotilat tekninen suunnittelu)



Kuva 2. Yleisimmät runkojärjestelmät (RT 95-10719 Toimitilat)

3.2.1 Teräsbetoni elementtirunko

Betonielementtirakentaminen on Suomessa 60-luvulta lähtien ollut nopeasti kasvava ja kehittyvä rakennustapa sen helppouden ja nopeuden takia. Elementtitehtaita on tullut ympäri Suomen suurimpien kasvukeskittymien laidoille, joista kuljettaminen työmaalle onnistuu nopeasti. Elementit valmistetaan tuotantolaitoksessa kuivissa ja lämpöisissä olosuhteissa, jossa niiden lujuus ja laatu saadaan varmistettua työmaata varmemmin. Elementit voidaan lähettää työmaalle halutussa järjestyksessä, jolloin ne saadaan nostettua suoraan kuljetusauton kyydistä paikoilleen ilman välivarastointia. (Betoniteollisuus Ry)

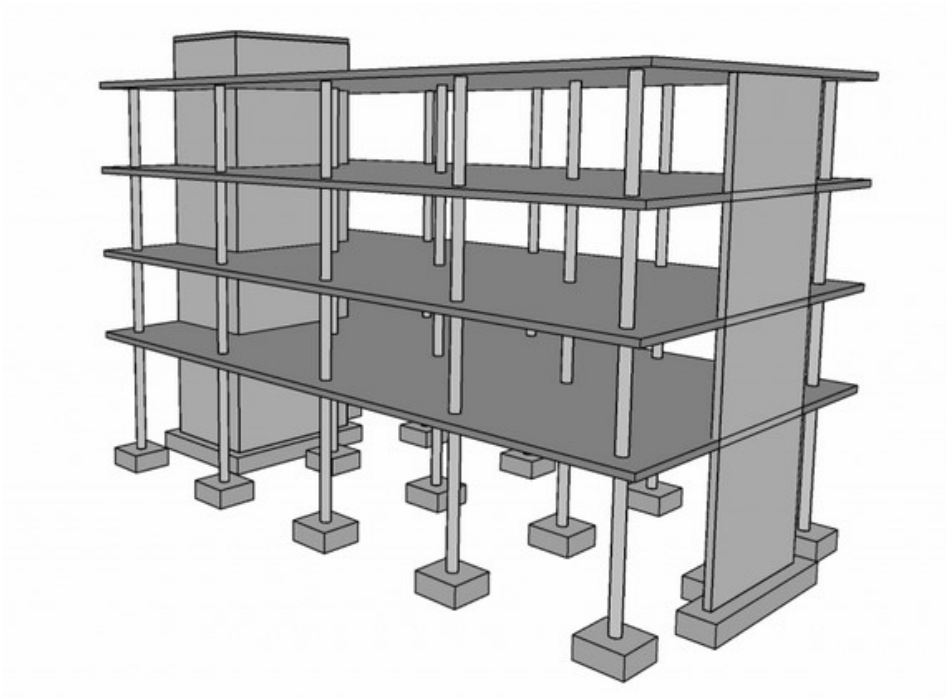
Kuva 3. Pilaripalkki-runkojärjestelmä (Erno Eloranta)

Betonielementtejä on nykypäivänä saatavilla todella monipuolisesti, erilaisia pintoja, viimeisteltyjä pintoja, pienempiä ja suurempia arkkitehtuurisesti siistejä elementtejä. Niillä voidaan valmistaa rakennuksen koko runko. Suomessa yleisimmin käytetty runkojärjestelmä toimistorakennuksissa on betoninen pilaripalkkijärjestelmä (kuva 3), jossa vaakarakenteena on leukapalkkeja sekä ontelo- tai kuorilaattoja. Järjestelmässä runko pyritään tekemään mahdollisimman muuntojoustavaksi pitkillä jänneväleillä. Rungossa pitää olla riittävä määrä jäy-

kistäviä rakenteita esim. hissikuiluja, jotta ei tarvittaisi kalliita ankkurointiratkaisuita. Pilari -palkki järjestelmässä kantavina osina on pilarit, joihin tukeutuvat palkit ja seinäelementit. Välipohjan vaakarakenteet muodostuvat kuori tai ontelolaatoista. (Elementtisuunnittelu.fi) (RT 82-10821, Betonielementtirunkorakenteet)

3.2.2 Pilarilaatta-betonirunko

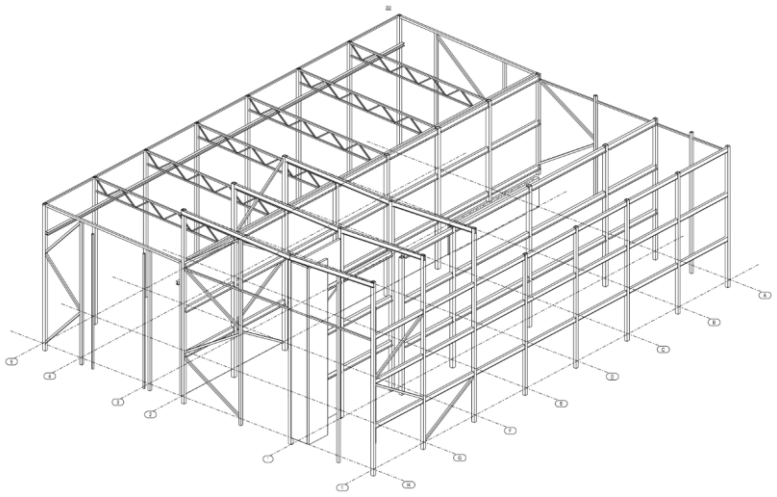
Rakenne poikkeaa muista tuotantotekniikkansa ja teknisten ominaisuuksien takia. Paikalla valetut rakenneosat sopivat hyvin korkeiden rakennusten massiivisiin runkorakenteisiin. Paikalla valettavan rakenteen jatkuvuus helpottaa rakenteessa esiintyvien voimien hallintaa. Runko jäykistetään kantavilla seinillä, hissikuiluilla tai paikalla valettavilla laatoilla. Lopputuloksena on runko missä on tasainen laatta sekä pilareita tasaisin välimatkoin (Kuva 4). Runkorakenne antaa joustavuutta avaralla tilalla. Tapa on paljon aikaa vievä suuren muotitustyön takia. Kerrokset ovat usein kopioita toisistaan, joten samoja muotteja voidaan käyttää aina seuraavassa kerroksessa kustannusten pienentämiseksi. (RT 82-10814 Paikallavaletut betonirunkorakenteet)



Kuva 4. Pilarilaattajärjestelmä (RT 82-10814)

3.2.3 Teräsrunko

Teräsrungon kantavina osina voidaan käyttää teräsrunkoisia seiniä tai pilareita. Yleisin valinta on betonoitu liittopilari tai täysin teräksinen pilari. Pilarit betonoidaan palonkeston saavuttamiseksi. Pilarin yleisin profiili on pyöreä tai neliskulmainen putkipilari. Yleinen rungon vaakarakenne on teräksisen WQ – profiilipalkin ja ontelolaatan yhdistelmä, jossa ontelolaatasto tukeutuu palkin leuan päälle. Teräsrungon jäykistämisessä käytetään yleisesti teräksisiä diagonaalitankoja tai ristikoita, joilla voimia ohjataan esimerkiksi hissikuilun massiivisiin betonirakenteisiin. (RT 82-10765 Toimistorakennusten teräsrakenteet)



Kuva 5. Teräsrunko. Pilari ja WQ-palkki järjestelmä. (Meijou 2019)

Teräsrungon (kuva 5) osat valmistetaan tuotantolaitoksessa, mistä ne lähetetään työmaalle usein maalattuina ja asennusvalmiina. Asennus työmaalla on nopeaa korkean esivalmistuksen ja pulttiliitoksin tapahtuvan asennuksen johdosta. Teräksen keveys ja lujuus helpottaa suuresti elementtien asennusta. (RT 82-10765 Toimistorakennusten teräsrakenteet)

Komponenttirakenteet mahdollistavat rakennus- ja käyttövaiheessa kevyiden rakenteiden muuntelun. Teräsrakenteiden paino ja dimensiot ovat pieniä, joka helpottaa asennusta ja säästää rakennuksen pinta-alaa. Työmaalla tapahtuva välivarastointi vaatii kohtuullisesti tilaa myös asennusvaiheessa. Teräsrakentaminen on myös kuiva rakennustapa, joka ei työmaaolosuhteissa vaadi suojausta tai kuivatusta. Vuodenajat eivät rajoita asennuksia. (Teräsrakenneyhdistys 2019)

3.3 Rakenneosat

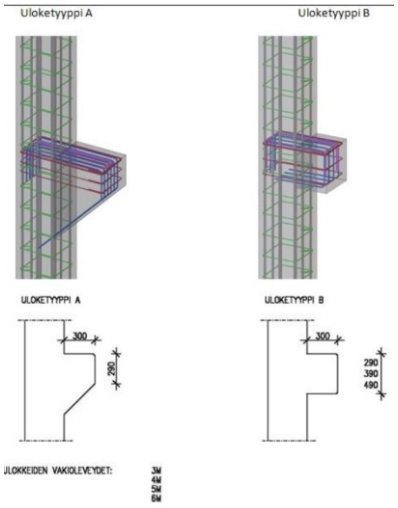
3.3.1 Pilarit

Pilarit ovat rakennuksen osia, jotka kohdistavat voimia vaakasuuntaisilta rakenteilta anturoille. Niitä voi olla monen pituisia ja mallisia. Teräsbetonielementti pilarit ovat pyöreitä tai neliskanttisia yleensä vähintään 280mm paksuja. Tätä pienempiä käytetään vain kevyissä rakenteissa esimerkiksi omakotitaloissa. Yleisimmät teräspilarit ovat neliskanttisia tai pyöreitä. Yleensä ne betonoidaan palonkeston ja lujuuden parantamiseksi tiloissa missä tarvitaan parempaa kantavuutta tai palonkestoa.

Pilarit nostetaan rekasta maahan ja maasta paikoilleen kolmen henkilön työryhmissä. Perustuksissa sijaitsevat pultit asennetaan ensin oikeaan korkoon. Betonipilarit pysyvät yleensä pystyssä ilman erillistä tukea palkkien asennukseen asti. Pilareihin voidaan kuitenkin kiinnittää elementtitukia, joilla varmistetaan paikalla pysyvyys. Pilareiden alapää juotetaan pultteihin ja anturaan juotosvalulla, joka ehkäisee myös pultin korroosiota. Juotosvalu yleensä c40/50. Samaa tapaa käytetään teräs sekä betonipilareissa. (Betoniteollisuus Ry)

Betoniset ulokkeet

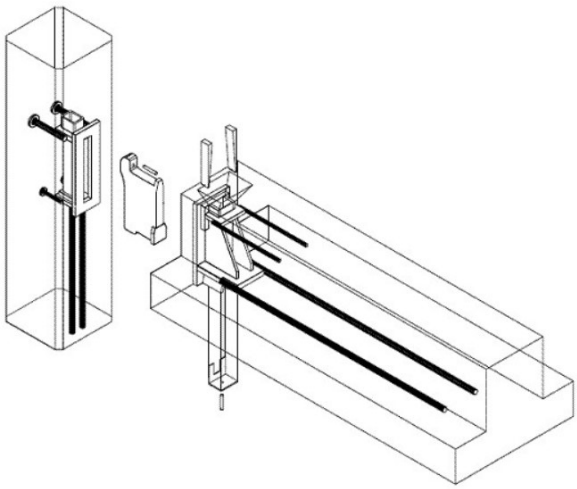
Kuvassa 6. on esitetty kaksi uloketyyppiä. Uloketyyppi A soveltuu kohteisiin missä uloke voi jäädä näkyviin. Uloketyyppi B:tä käytetään kohteissa, joissa ei haluta, että uloke jää näkyviin, tyyppi on myös hieman kalliimpi. Ulokkeiden tehtävä on johdattaa vaakarakenteilta voimat pilarille.



Kuva 6. Betoniulokkeiden vakiomitat (Elementtisuunnittelu.fi)

Teräksiset ulokkeet

Betonielementtipilareissa käytetään teräksisiä piiloulokkeita, jos laatoista ja palkeista halutaan mahdollisimmat ohuet. Hyötynä on myös se, että pilarimuotteja ei tarvitse rikkoa valuvaiheessa. Teräksinen uloke kiinnitetään vasta kun muotti on purettu. Kuvassa. on esitetty Anstarin piilokonsoli. (Elementtisuunnittelu)



Kuva 7. Piilokonsoli, AEP-konsoli (Anstar)

3.3.2 Palkit

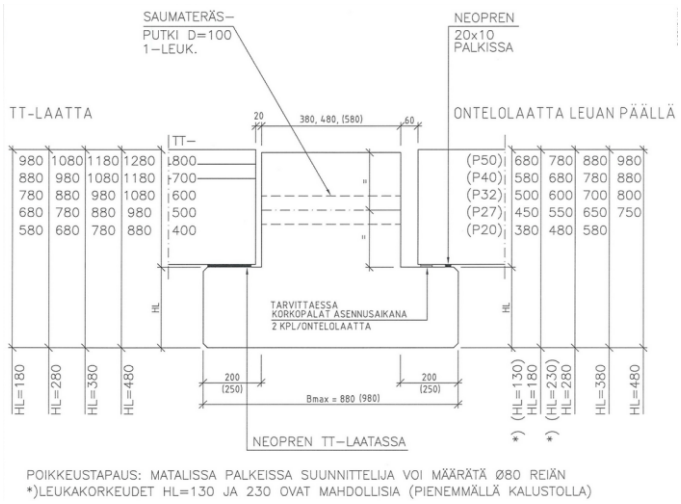
Palkin tehtävät rakenteissa on kannatella siihen tukeutuvia rakenteita kuten välipohjan laatasto, yläpohja, katto sekä ovet ja ikkunat.

Esimerkiksi valitaan leukapalkki. Kaikki palkit ovat asennustavaltaan lähes samanlaisia. Kun pilarit ovat asennettu oikeaan korkoon, niin palkit voidaan vain laskea paikoilleen pilareissa oleville konsoleille. Palkit kiinnitetään pilariin pulttiliitoksella. Asennus tapahtuu nostoketjuilla suoraan rekan kyydistä.

Useimmat palkit vaativat asennuksen aikaisen tuennan vääntörasituksen takia. Vääntötuenta on asetettava palkin tukien viereen, jotta se vastaisi lopullista tuentaa. Elementtisuunnittelijan on mainittava suunnitelmissa tuentapaikat ja tukivoimat. Tiedon on kulkeuduttava rakennesuunnittelijalle sekä asennussuunnitelmaan, jonka kautta työmaalle asennusjohtajalle. (Betoniteollisuus Ry)

Leukapalkit

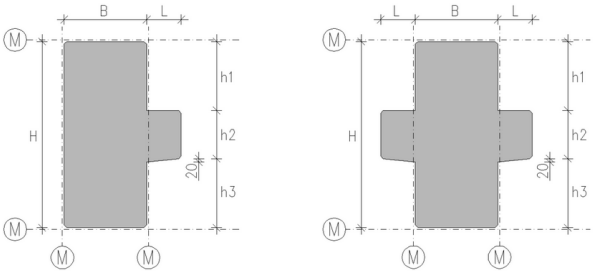
Leukapalkkeja käytetään kannattelemaan ontelolaattoja tai muita laattoja. Leukapalkille suositellaan perusmittoja, jotka riippuvat palkin yhteydessä käytettävän laatan paksuudesta ja painosta. Leukapalkki voidaan tehdä jännitettynä tai teräsbetonipalkkina. Jännitetyn rakenteen etuna on suurempi kantavuus kevyemmälle rakenteelle. (Betoniteollisuus Ry)



Kuva 8. Leukapalkin mittasuositukset (parma)

Ristipalkki

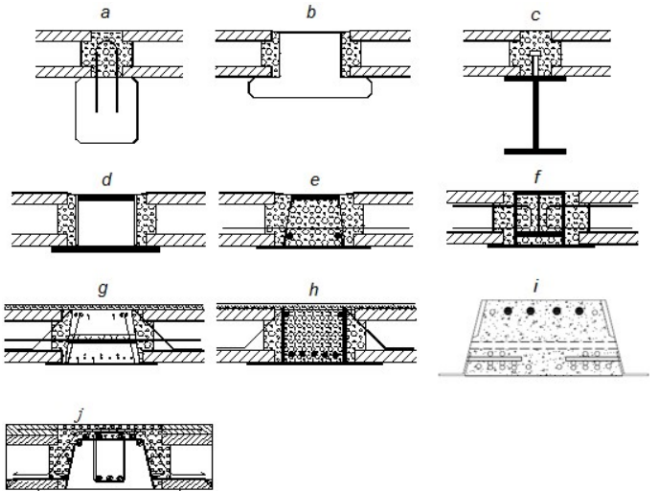
Palkkityyppiä käytetään, jos leuan korkeudeksi tulee palkkikorkeuden takia yli 580mm. Palkin pohjan leveytenä käytetään yleensä moduulimittoja 380 ja 480mm. Suositukset korkeudelle ovat 10,12,14 ja 16M. Leuan korkeus 180mm tai 280mm. Leuan leveys 200-250mm. Mitat lasketaan kuitenkin eri kohteisiin erikseen.



Kuva 9. Ristipalkki (Betoniteollisuus Ry)

Matalapalkki

Matalapalkki on nimensä mukaan hyvin matala, laatastoon upotettu palkki, jota jää hyvin vähän näkyviin. Palkki ja ontelolaatta toimivat yhdessä liittorakenteena. Yhteistoiminnasta aiheutuu ontelolaatan pystykannaksiin rasitusta, joka heikentää laatan leikkauskestävyyttä. Nämä rasitukset on otettava huomioon jo ontelolaattoja suunniteltaessa. Palkkiin tuetun ontelolaatan yhteistoiminta otetaan huomioon betoninormin nro 18 mukaan.



Kuva 10. Eri palkkityyppejä (Betoniteollisuus Ry)

a Betonipalkki, jonka päällä laatta
b Betonileukapalkki, leukapalkki, jossa uuma vaarnattu
c Teräspalkki, jonka päällä laatta
d WQ-palkki, sileäuumainen teräspalkki
e Deltapalkki, Patentoitu vinouumapalkki
f Mek-palkki, Patentoitu teräspalkki
g LBL ja LB-palkki, Patentoitu jännitetty liittopalkki
h Kvatropalkki, patentoitu teräsliittopalkki
i BM-palkki, Jännitetty teräsleukainen betonipalkki
j A-palkki, Patentoitu vinouumainen teräsliittopalkki

Kaikki palkit ovat asennustavaltaan lähes samanlaisia. Kun pilarit ovat asennettu oikeaan korkoon, niin palkit voidaan vain laskea paikoilleen pilareissa oleville konsoleille. Palkit kiinnitetään pilariin pulttiliitoksella tai konsoliin upottamalla. Asennus tapahtuu nostoketjuilla suoraan rekan kyydistä.

Useimmat palkit vaativat asennuksen aikaisen tuennan vääntörasituksen takia. Esimerkiksi teräspalkit. Vääntötuenta on asetettava palkin tukien viereen, jotta se vastaisi lopullista tuentaa. Elementtisuunnittelijan on mainittava suunnitelmissa tuentapaikat ja tukivoimat. Tiedon on kulkeuduttava rakennesuunnittelijalle sekä asennussuunnitelmaan, jonka kautta työmaalle asennusjohtajalle. (Betoniteollisuus Ry)

3.3.3 Laatat

Paikallavalettava välipohja

Paikallavalettavassa välipohjassa on etuina monimuotoisuuden mahdollisuudet verrattuna elementtirakentamiseen. Rakenne on yleensä ohuempi kuin elementtirakenne eikä tarvitse pilareihin erillisiä kannatus konsoleita. Paikallavaluna voidaan tehdä noin 8x8m alueita, joissa laatta tukeutuu jokaisella reunalla pilariin tai kantavaan seinään. Rakenne on ontelolaatastoon verrattuna parempi koska siihen voidaan tehdä aukkoja joustavammin. Laatta on myös massiivisempi kuin ontelolaatta, jolloin sen palonkesto, lämmönvaraus ja ääneneristävyys ovat paremmat. (RT 83-10902 Välipohjarakenteita)

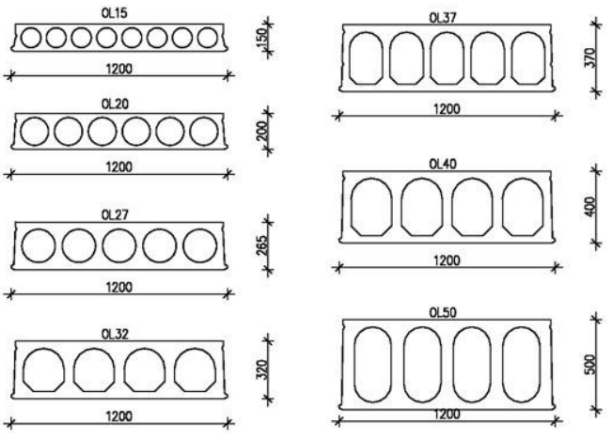
Paikalla valettavan holvin pitkäkestoisimpia työvaiheita on muottityöt. Muottijärjestelmä on valittava oikein, jotta se ei hidasta työn toteutusta ja lisää kustannuksia. Muottia valittaessa on huomioitava kalustolla tehtävien valukertojen määrä, laajuus sekä pinnalle asetetut laatuvaatimukset. Muottien on oltava tiiviit ja huolellisesti rakennettu, jottei pinnasta tule epätasaista valumien tai porrastusten takia. (RT 83-10902 Välipohjarakenteita)

Vaakatasossa olevia rakenteita on jälkihoidettava, ettei rakenne kuivu liian nopeasti. Betonin pinnalla on hyvä pitää muovia noin 1-2 viikkoa jotta estetään liian nopea kuivuminen. Noin kahden viikon päästä betonin pinnasta oleva liima hiotaan pois. Hiomisella nopeutetaan betonin lopullista kuivumista. (RT 83-10902 Välipohjarakenteita)

Paikalla valetun betonilaatan palonkesto riippuu betonin paksuudesta, suojabetonin paksuudesta ja raudoituksen määrästä. Rakennesuunnittelija suunnittelee laatan rakennusmääräysten mukaisesti (Liite 1). (RT 83-10902 Välipohjarakenteita; Ratu 0398)

Ontelolaatat

Ontelolaatta on Suomessa yleisimmin käytetty välipohjaratkaisu asuinrakennuksissa. Ontelolaatan paino on noin puolet massiivisen rakenteen painosta. Tästä johtuen myös palon ja ääneneristys on noin puolet. Esijännitettyjen raudoitusten ansiosta myös raudoituksen määrä on saatu vähennettyä puoleen. Onteloiden tehokas tuotanto tehtaan tuotantolinjalla yhdistettynä nopeaan asentamiseen työmaalla tuovat kustannustehokkuutta rakentamiseen. Ontelolaattojen vakioleveys on 1200mm ja paksuudet 150-500mm. Laatoilla on mahdollista päästä jopa 20m jänneväliin asti. (Betoniteollisuus Ry)



Kuva 11. Ontelolaattojen vakiomitat (Betoniteollisuus Ry)

Ontelolaatan yleisin palonkesto on REI60. Laatat voidaan erikseen suunnitella palolaatoiksi, jolloin niiden palonkesto on REI 90 tai 120. Pidempiin aikoihin vaaditaan ontelon alle lisättäviä paloeristeitä. Ontelolaatan ääneneristävyys (Liite 1) on kohtalaisen hyvä. Äänen kulkeutumista estetään pintavalun paksuuden lisäämisellä tai askelääniä eristävällä Step-eristeellä, joka sijoitetaan pintavalun alle. (Liite 1) (RT 83-10902 Välipohjarakenteita)

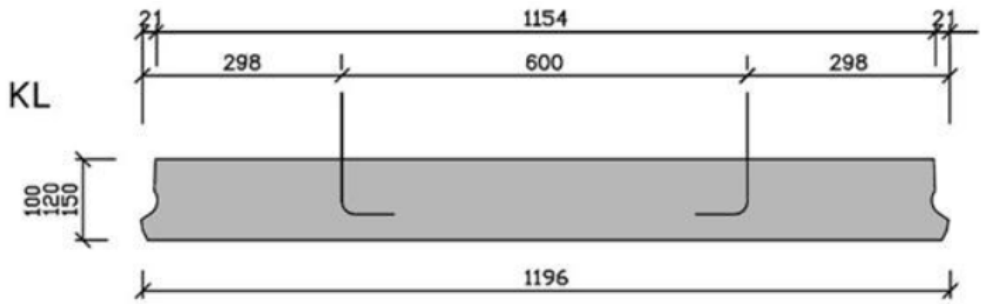
Ontelolaatasto on kustannustehokas vaihtoehto kun:

- Reikien määrä pysyy pienenä
- Laatat voidaan toimittaa moduulimittaisina
- Käytetään kohtuudessa olevia jännevälejä
- Hormit ja märkätilat sijoitetaan järkevästi

Ontelolaattojen asennus on yksi vaarallisimmista elementtiasennuksista. Nostoissa käytetään nostorakseja, jotka kiristyvät reunoissa oleviin koloihin. Lisä varmistuksena elementin putoamisen ehkäisemiseksi laatan alta vedetään ketjut, jotka poistetaan vasta asennus kohteen yläpuolella. Ontelolaatat nostetaan suoraan auton kyydistä lopulliseen sijoituskohteeseen. Palkkien päällä kohdissa joihin ontelolaatta tukeutuu, on yleensä tiiviste mikä estää laatan kosketuksen betonia vasten. Laatoilla on oltava päissä tukipintaa 60mm. Jos laattaan halutaan tehdä reikiä tai muita muutoksia, on oltava aina suunnittelijaan yhteydessä. (RT 83-10902 Välipohjarakenteita)

Kuorilaatta

Kuorilaatta on laattaelementti, jota käytetään yleisimmin asuinrakennusten, teollisuusrakennusten ja pysäköintirakennusten välipohjissa. Laatan päälle valettava 100-200mm pintavalu, johon voidaan upottaa viemäröinnit, sähköputkitukset ja muut talotekniikat. Pintavalulla laatastosta tehdään liittorakenne. Laatan vakiomitat ovat leveys 1200mm ja laatan paksuus 100,120 ja 150mm. Maksimi pituus kuorilaatalle on 10m. Laatan minimi leveys on 400mm. (Betoniteollisuus Ry)



Kuva 12. Kuorilaatan leikkauskuva (Betoniteollisuus Ry)

Normaali kuorilaatta täyttää vähintään REI60 palonkestoajan. Jos kuorilaattaan tehdään reikiä, niin palonkesto on tarkistettava. Palonkestoaikaa saadaan kasvatettua eristämällä laatan alapinta tai kasvattamalla laatan paksuutta ja lisäämällä raudoituksen määrää. Äänieristämiseen vaikuttaa lähinnä laatan paksuus. Jos paksuutta ei haluta lisätä, niin eristävyyttä saadaan lisäämällä alapintaan tai pintavalun alle eristelevy. (Liite 1) (Betoniteollisuus Ry)

Kuorilaatta asennetaan yleensä suoraan rekan kyydistä nostoketjuilla paikoilleen. Elementit asennetaan kantavan rakenteen päälle vähintään 10mm paksujen asennuspalojen tai neopreenin varaan. Asennuspaloja oltava vähintään 600mm välein nurkissa ja keskellä. Laatat on tuettava siihen asti, kunnes päälle valettava betoni on saavuttanut loppulujuudesta 70%. Jos laattaa rasittaa seuraavan kerroksen tuet, kaikkia tukia ei saa poistaa. Tuennan avulla varmistetaan riittävä kantokyky sekä estetään taipuma, kiertyminen ja hammastus. Ohjeet oikeaan tuentaan on kysyttävä elementtisuunnittelijalta. Kuorilaatan tukipinta on 60mm ja asennustoleranssi +-20mm. (Betoniteollisuus Ry)
)(Ratu 0390)

3.3.4 Julkisivu

Sandwich-teräspaneeli

Sandwich-paneelit ovat nopea asenteisia ja edullisia julkisivuelementtejä rakennuksiin, jotka eivät vaadi hyvää ääneneristävyyttä tai pitkää käyttöikää. Paneeleita käytetään useimmiten toimitila tai varastorakennuksissa. Paneelin ulkopinnassa on PVDF-pinnoite joka rasitusta, UV-säteilyä ja veden imeytymistä. Elementin eriste on vesitiivistä niin ettei se pääse kostumaan. Paneelien käyttöikä on jopa 50 vuotta, kunhan niitä pidetään kunnossa puhdistamalla sekä käyttöiän pidentämiseksi maalaamalla. Elementtien käyttöikää ei ole vielä täysin päästy testaamaan niiden nuoren ikänsä takia. Elementti on helposti muokattavissa työmaalla leikkaamalla esimerkiksi puukkosahalla. Elementit kiinnitetään betoni- tai teräspilareihin läpi porattavalla ruuvilla. Elementin huonoina puolina on helposti naarmuuntuminen. (Ruukki)

Kuva 13. Julkisivupaneelin asennus (Ruukki)

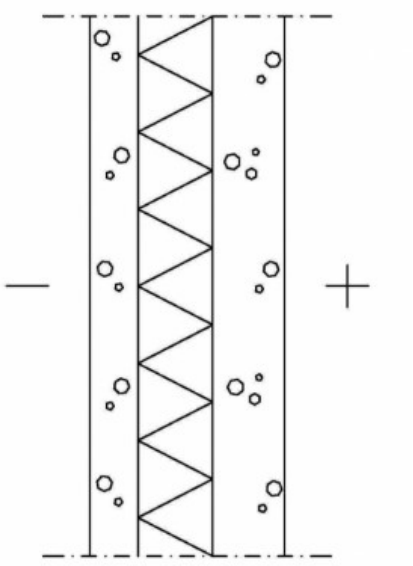
Paneeleista kertyvä jätemäärä työmaalla on todella vähäinen. Kaikki pakkausmateriaali voidaan kierrättää. Paneeleista rakentamisen vaiheessa syntyvästä metallijätteestä voidaan kierrättää keskimäärin noin 95%. Puhtaasta kivi tai lasivillasta voidaan kierrättää lähes 100%. Ruukin teräspaneeli on ekologinen sen kevyen rakenteen vuoksi. Sitä saadaan tuotua työmaalle useita satoja neliöitä yhdessä kuormassa. (Ruukki)

Elementin palon ja lämmöneristyskykyä saadaan pidennettyä lisäämällä villan sekä teräksen paksuutta (Liite 1; Ruukki).

Terässandwicheja käytetään todella paljon toimitilarakennuksissa, joten voi sanoa, että imagolta ne ovat nykypäivänä hyviä.

Betonisandwich

Sandwich-elementti on massiivinen julkisivuelementti (Kuva 14.) jolla on hyvät äänen- ja lämmöneristys ominaisuudet (Liite 1). Elementin massiivisuus parantaa Terma-projektin mukaan energiankulutusta kevyisiin rakenteisiin verrattuna noin 4 - 7% lämmityskaudella ja 42 - 52% jäähdytyskaudella (Betoniteollisuus Ry).



Kuva 14. Betonisandwich-ulkoseinä

Julkisivuelementin käyttöikä voi olla jopa satoja vuosia. Joskin elementti vaatii ulkopinnan huoltamista ja säännöllistä saneerausta esimerkiksi rappaamalla. Elementti pysyy yleensä kunnossa pelkästään saumojen kittauksen uusimisella noin 20 vuoden välein. Suomen olosuhteissa vesi ja pakkanen pääsee haperruttamaan betonipintaa niin että se on pinnoitettava uudestaan. (Arto Suikka, BTJ Päivityskurssi 2010)

Rakenteen purku vaiheessa siitä erotellaan villa, betoni ja teräksen, jotka kuljetetaan jatkokäsittelyyn. Rakenteesta saadaan kierrätettyä noin 80%. Betoniele-

mentti on teräspaneelia massiivisempi. Kuljetuksia tarvitaan huomattavasti enemmän kuin teräselementillä. (Betoniteollisuus Ry)

Betonisandwich elementtejä on käytetty 70- luvulta lähtien todella paljon ja käytetään edelleen. Elementti on yleisin elementti asuinrakentamisessa. (Betoniteollisuus Ry)

3.4 Palo-, ääni- ja lämmöneristys

3.4.1 Äänieristäminen

Rakenteiden ääniteknisistä ominaisuuksista (Liite 1) on rakentamisessa tullut hyvin tärkeä huomioon otettava seikka. Jo tilojen sijoittelua suunniteltaessa on tärkeä ottaa huomioon tilan melun lähteen voimakkuus. Toiminnoiltaan samankaltaiset tilat, kuten saniteettitilat suositellaan sijoitettavaksi vierekkäin tai päällekkäin ääniongelmien minimoimiseksi. Ääneneristävyydessä rakenteen tiiveydellä on suuri merkitys, pienikin rako rakennusosien välisissä saumoissa heikentää eristävyyttä huomattavasti. Äänen sivutie siirtymän vaikutusta voidaan pienentää tekemällä rakenteet riittävän massiivisiksi tai kaksinkertaisiksi. Tarvittaessa käytetään rakenteen katkaisua niin että rakenne ei ole yhtenäinen. Rakenteen massiivisuutta lisäämällä saadaan parannettua ääniteknisiä ominaisuuksia. Esimerkiksi saman paksuinen ontelolaatta kuin massiivilaatta eroavat massaltaan onteloiden reikien takia, joten massiivilaatta on ilmanäänen eristävyydeltään parempi (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018; RT 82 -10814.)

Rakentamismääräyskokoelmassa on määrätty rakennuksiin sovellettavaa äänen eristävyyttä sekä rakenteiden palonkeston aikoja (Liite 1). Äänen eristävyys ja palonkesto määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen ja ihmisten määrän mukaan (RT 82 -10814.)

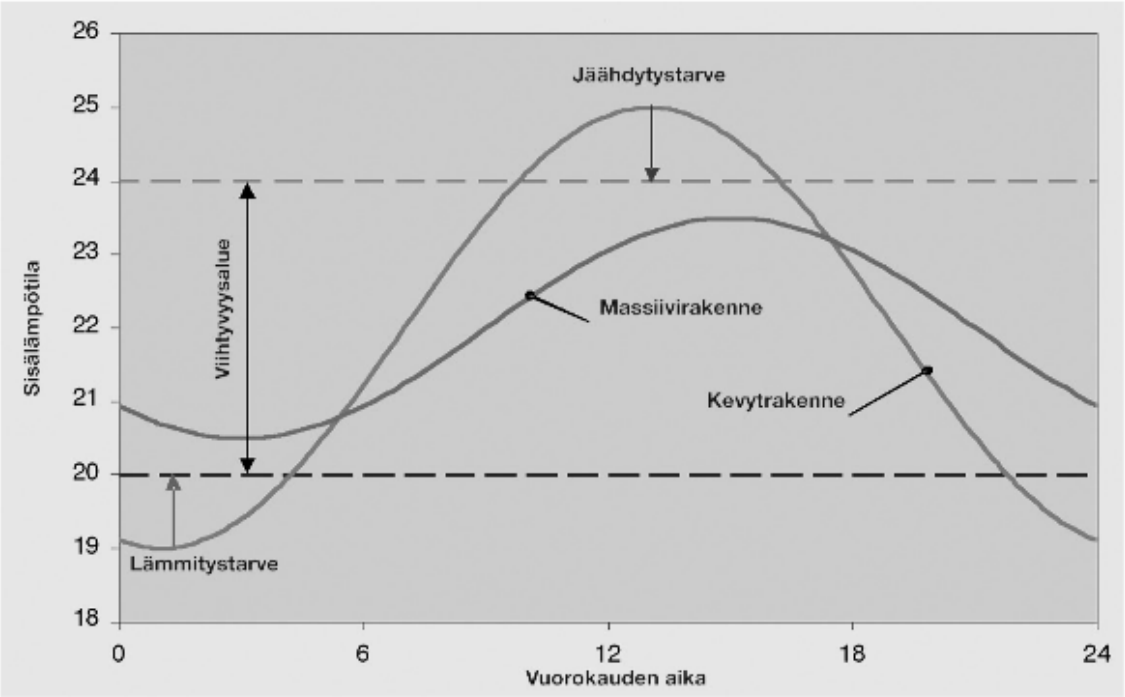
3.4.2 Paloeristäminen

Paloeristävyys (Liite 1) poikkeuksellisia kuormia vastaan on tärkeä henkilöturvallisuuteen liittyvä asia. Palomääräyksistä annetaan ohjeet rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisesti Ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelmassa. Suunnittelijan tulee valita runkorakenteet niin että rakennuksesta on tulipalon sattuessa turvallista poistua rakenteiden sortumatta. (Ympäristöministeriö.)

3.4.3 Lämmöneristäminen

Rakennusten eristäminen on tärkeää energiatehokkuuden kannalta. Rakentamismääräyksissä on annettu ohjeet rakenteiden lämmönjohtumiselle. Yleensä kaikki julkisivurakenteet suunnitellaan ilmatiiviiksi ja vähintään U-arvolle W / m2K 0,17 (Liite 1).

Rakenteiden massiivisuus vaikuttaa energiankulutukseen hyvinkin paljon. Massiivisuudesta hyödytään silloin kun lämmitysjärjestelmä reagoi hitaasti lämpötilan muutoksiin. Massiiviset rakenteet mahdollistavat esimerkiksi aurinkoenergian hyödyntämisen. Esimerkiksi kesäisin jäähdytystä ei välttämättä tarvita juuri ollenkaan. Säästetään investoinneissa sekä energian käytössä. Kaaviossa 4 näkyy että massiivirakenteen jäähdytys tarve on kevytrakennetta huomattavasti tasaisempi. (Punkki Rakentamisen ekologisuus)



Kaavio 3. Massiivinen betonirakenne tasaa sisälämpötiloja (Rakennustieto)

Julkisivurakenteita vertaillessa huomaamme, että betoni sandwich elementti on paremmin lämpöä eristävä kuin pelti sandwich elementti. Ruukin 230mm elementti saa U-arvoksi 0,17 W/m^{2}K ja betoni sandwich 70+240+80mm 0,1447 W/m^{2}K. Betoninen ulkokuori saa paremmat arvot massiivisuutensa ansiosta ja 10mm enemmän villaa sisältävänä (Liite 1).

3.5 Elinkaari

Rakennuksen elinkaaresta halutaan yleensä mahdollisimman pitkä mahdollisimman pienin kustannuksin. Tarkoittaa siis sitä, että rakenteiden kestävyys on mahdollisimman hyvä. Elinkaaren muodostumiseen vaikuttaa raaka-aineiden laatu, materiaalien varastointi ja käytön aikainen huolto. (Rakennusteollisuus, Rakennuksen elinkaari)

Rakennuksen elinkaari on huomattavasti pidempi kuin rakentamisvaihe. Tarkastellessa elinkaaren aikaista energian käyttöä voidaan havaita, että rakentamisen aikainen energian kulutus on noin 10% ja käyttövaiheen aikana noin 90%. Tämä suhde riippuu tarkastelujakson pituudesta. (Rakennusteollisuus, Rakennuksen elinkaari)

4 Kustannukset

Rakenteiden kustannukset jakautuvat rakennus-, ylläpito- ja purkuvaiheeseen. Yleensä yksityisissä hankkeissa ei mietitä kustannuksia purkuvaiheeseen tai rakennuksen elinkaaren loppuun asti, vaikka se olisi suotavaa. Rungon kustannusosuus koko rakennuksesta on noin 15 – 20%. Runko on koko rakennuksen tärkein osuus, jonka ominaisuudet heijastavat koko muuhun rakentamiseen, joten siitä en lähtisi tinkimään. Betonin ja teräksen hintaan vaikuttaa saatavuus, aikataulu, maailmanmarkkinoiden hinta ja sen hetkinen rakentamisen tilanne. (Kestävä kivitalo) (Tapio Voutilainen, Lujabetoni 5/2018)

4.1 Kustannuslaskenta

Liitteessä 3 on laskettu yhteen rakentamisvaiheessa syntyvät kustannukset teräsrungon osalta. Rungon laskelmissa on otettu huomioon pelkät kuiva-asennukset. Olemme saaneet rungon osalta kilomäärään perustuvan hinnan 3,51€/kg, joka sisältää asennuksen, materiaalit sekä palosuojaukset. Kattopinta-alaltaan rakennus on 7400m^2 ja kokonaiskerrosalalta noin 8400m^2. Rakennuksessa on 1000m^2 ontelokenttää, jotka tukeutuvat teräs rakenteisiin wq-palkkeihin. Toimisto alaa noin 2000m^2, jossa teräksiset pilarit betonoidaan. Laskimme että työn kokonaiskesto on 970tth, josta tahdistavan rungon osuus 397tth kahden henkilön työryhmällä se on noin 5 viikkoa. Tähän lisätään vielä kattopellin asennus ja muut tahdistamattomat työt. Työn kustannusarvio on noin 80 780e / alv0%. Rungon kokonaiskustannus on 889 500€ joten voidaan laskea, että hinta ilman töitä rahteineen olisi 810 000€ alv0%. Kokonaishintaan on lisättävä myös toimisto osuuden rungon betonointi noin 5000€. Teräsrungon osalta kustannuksia voi nostaa myös pilareiden kolhiintuminen, jolloin ne joudutaan maalaamaan. Tästä koituu helposti usean tuhannen euron lasku.

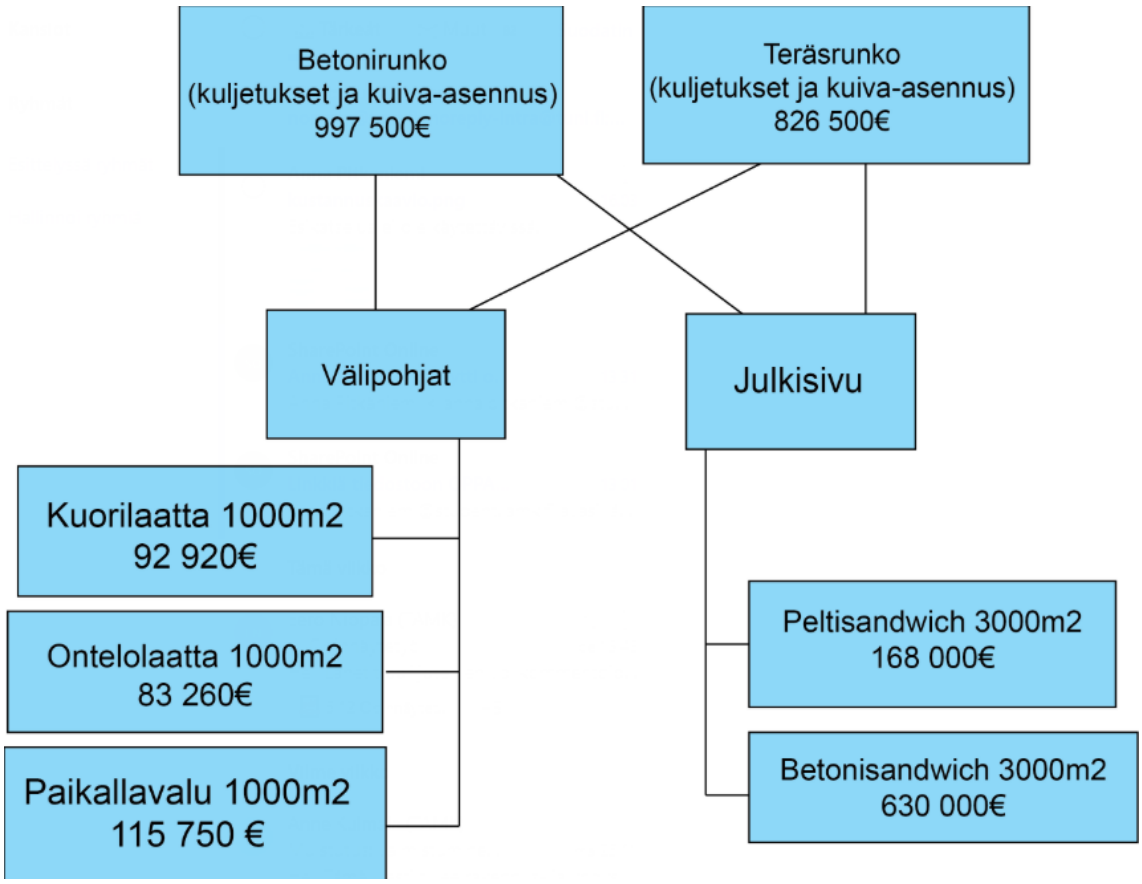
Liitteessä 2 on laskettu myös saman kokoisen mutta betonirakenteisen rungon kustannukset materiaaleineen ja asennuksineen. Hinta (Liite 3) saatiin isommasta rakennuksesta mutta se on suhteutettu kokoon nähden saman kokoiseksi kuin teräsrakenteinen. Rungon tahdistavaksi aikatauluksi lasketaan 282tth, joka on 2 + 0 työryhmällä 17,625 työpäivää. Karkeasti voidaan arvioida, että

asennuksiin menee 4 työviikkoa. Kokonaisaikataulu on 425tth, jolloin voidaan laskea työryhmän kokonaiskustannuksiksi 425 x 40€ = 17 000€, Summaan lisätään urakoitsijan kate 20% = 20 400€. Lisäkustannuksia tulee myös nostimista, tarvikkeista, polttoaineista ja nosturista. Betonielementit vaativat yleensä hieman raskaamman nostimen kuin teräselementit, jolloin nosturin kustannukset ovat hieman korkeammat. Työn kokonaiskustannuksiksi saadaan 54 600€ (alv0%) joka vähennetään kokonaishinnasta, niin saadaan materiaalien hinnaksi 995 400€ (alv0%).

Betonirakenteen hintaa kasvattaa muun muassa rahtikustannukset. Yksi auto tuo keskimäärin 20 000 kiloa kerrallaan. Jos rakennuksen massa on 2 736 000kg, niin kuormia syntyy 136kpl. Yhden kuorman hinta on noin 400€ x 136kpl = 54 600€. Teräsrakenteiden kuljetukseen tarvitaan autoja noin 1 / 3 tästä määrästä, joten voidaan laskea 54 600€ / 3 = 18 200€. Kuljetuksille kustannuseroa tulee 36 400€.

Lasketaan usean vaihtoehdon kulut, kun välipohjarakennetta on 1000 m^2 ja julkisivua 3000 m^2. Julkisivujen neliö hinnat on annettu liitteessä 3. Hinnat on saatu tarjousten perusteella valmiiksi asennettuna, listoitettuna ja saumattuna. Betonisen sandwich rakenteen hinta on 210 €/m^2 joten 3000 m^2 x 210 € = 630 000 euroa. Peltielementin hinta on asennettuna 56 €/m^2, joten saadaan 3000 m^2 x 56 € = 168 000 euroa.

Välipohjissa eri vaihtoehdot ovat paikallavalu, kuorilaatta ja ontelolaatta. Urakkaan kuuluu ontelolaatta asennettuna 52,5 €/m^2 x kate 1,2 = 63 €/m^2. Tähän on lisättävä raudoituksen ja pintavalun osuus 30,75 €/m^2 (Liite 3). Vähennetään urakkasummasta ontelolaatan osuus 1000 m^2 x 63€ = 63 000€ niin voidaan verrata eri välipohja ratkaisuja kokonaishintaan omakustanteisena (Liite 3).



Kaavio 4. Runkorakenteiden kustannus kaavio

Rakentamisen aikana esimerkiksi paikallavalettavista rakenteista syntyy talviaikana huomattavaa kustannusten lisäystä. Laskelmissa Betonirakenteesta tulee kustannushyötyjä elinkaaren aikana pitkäikäisyydestä ja hyvästä lämmönvarautumisesta. Teräsrakenteen kustannushyödyt syntyvät siroista rakenteista, joita saadaan tuotua työmaalle useampia kappaleita enemmän kerrallaan kuin betonisia.

4.2 Kustannukset ja laatu

Vertailtaessa kustannuksia ei voi tarkastella vain investointeja, myös kaikki elinkaaren aikana kertyvät kustannukset on otettava huomioon. Rakennuksen energiankulutus ja ylläpito on otettava huomioon käyttöajalla, joka on yleensä yli 50 vuotta tai jopa 200 vuotta. Rakenteiden ominaisuuksien parantaminen kasvattaa yleensä kustannuksia sekä päästöjä valmistuksessa, mutta talon elinkaaren kustannukset pienentyvät huomattavasti. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta)

Rakentaminen tulisi tehdä säästäen resursseja. Tutkimusten mukaan kolmannes rakentamisen resurssien käytöstä johtuu huonosta rakennusprosessista. Rakentaminen tulisi tehdä mahdollisimman teollisesti, jolloin kukin työvaihe on tarkkaan suunniteltu. Teollinen rakentaminen vaatii hyvää projektinhallintaa, yhteistyötä, tehokasta informaation käyttöä sekä logistiikan ja hankintojen huippuunsa viemistä. Suurien hankintojen hyödyt, arvot, ominaisuudet ja tuotot tulee pisteyttää sekä verrata tuleviin kustannuksiin. Eri vaihtoehdoilla verrataan kustannuksia, etuja, haittoja ja muita laadullisia asioita. (Betoniteollisuus Ry)

Rakennushankkeen rakennus ajalla on suora vaikutus kustannuksiin. Lyhyempi rakennusaika pienentää rakentamisen aikana syntyviä ylläpitokustannuksia. Rakennuksen aikaisemmalla valmistumisella saadaan yrityksen kassaan nopeammin varoja vuokra tai myyntituloilla. Aikataulu on kuitenkin pidettävä maltillisena, jotta vältytään turhilta rakennusvirheiltä ja rakentaminen on laadukasta. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta)

Elementtien valmistus kokoonpanolinjalla on kustannustehokkaampaa kuin paikalla rakentaminen koska se vaatii vähemmän työvoimaa sekä aikaa. Betonielementit valmistetaan usein standardimitoilla, jolloin niiden valmistus massatuotantona on helppoa. Standardoinnin ansiosta elementeille on olemassa kiinteä tarkka hinnoittelu, jonka avulla saa helposti laskettua kustannukset. (Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta)

4.3 Edullisuusvertailu

Edullisuusvertailussa verrataan rakenteiden ominaisuuksia verrattuna hintaan. Ominaisuudet pisteytetään yrityksen painoarvon mukaan sekä todellisten ominaisuuksien mukaan. Nämä luvut kerrottuna yhteen saadaan luku, jolla saadaan rakenteen kustannuksiin perustuva pistemäärä pistettä / euro. Pistemäärältään suurin on edullisin. Edullisuusvertailun arvosanat ominaisuuksille on annettu asteikolla 1-5. Arvosanat on saatu suhteuttamalla betoni- ja teräsrakenteiden ominaisuudet toisiinsa kirjallisuudessa esitettyjen tietojen perusteella. (Liite 3)

4.3.1 Julkisivu

Luvussa 3 kerrotaan että kosteusominaisuuksiltaan teräs- ja betonisandwich eroavat siten että teräksen pinnoitus estää veden suoran kosketuksen niin että se ei pääse vaurioitumaan. Betonielementissä karbonatisoituminen haperruttaa pintaa, jolloin se voi päästä vaurioitumaan. Teräselementti on kosteudenkestoltaan hieman betonia parempi. Esimerkiksi teräksen pinnoitteen naarmuuntuessa se lähtee nopeasti ruostumaan. Julkisivut saneerataan ulkoilman rasituksen takia useasti. Tässä suosisin betoni-villa-rakenteista julkisivua, joka kestää ajan rasitusta ja kolhuja.

Betonielementti on paloturvallinen ja hyvin ääntä eristävä massiivisuutensa ansiosta. Massiivinen rakenne lisää myös energiatehokkuutta varaamalla lämpöä rakenteeseen. Ratkaisu on huomattavasti kalliimpi kuin pelti-villa-elementti, joten käyttäisin sitä vain asuinrakentamisessa tai pitkäikäisiksi tarkoitetuissa vaativissa rakenteissa. Tosin kestävä julkisivu, alhaiset vuosikustannukset sekä muunneltavuus lisäävät rakennuksen jälleenmyyntiarvoa. Toimitilarakennuksen voi saada tyylikkääksi myös halvemmalla peltielementillä, joka on tiiviydeltä ja lämmöneristävyysominaisuuksiltaan samalla tasolla. Peltielementtejä on todella nopea asentaa sekä muokata työkohteessa halutun kokoisiksi minkä takia rakenteeseen on helppo lisätä esimerkiksi ikkunoita. Miinuksena elementissä on sen helposti vaurioituminen, naarmuuntuessa sitä ei saa enää entisöityä, kun taas betoniseinän saa paikattua. Peltielementti on mielestäni edullisin vaihtoehto toimitila tai varastorakennuksiin, joissa ei vaadita hyvää äänieristystä, energiatehokkuutta ja pitkää elinkaarta.

Julkisivussa edullisimmaksi vaihtoehdoksi tuli teräs-sandwich. Luvut olivat teräselementille 6,75 ja betonisandwichille 2,05 joten ero on huomattava. Teräspaneeli on nopeampi asentaa kuin betoninen. Betonielementti on huomattavasti kalliimpi, mikä vaikuttaa selvästi edullisuusarvoon.

Edullisuusvertailussa teräsvillapaneeli oli selvästi kustannustehokkain yrityksen käyttökohteisiin. Toimitilakohteet ovat usein lyhytikäisiä ja suunnitellaan noin 50 vuodeksi. Paneelista voidaan kierrättää lähes 100% elinkaaren lopussa, joka

tekee siitä tehokkaan ratkaisun. Se on myös hyvin tiivis ja energiatehokas ratkaisu, joka on myös ulkonäöllisesti siisti.

Voidaan arvioida, että elementti on päästöiltään kevyempi kuin betonielementti. Teräsrakenteessa on sama määrä villaa ja vain noin 5mm paksu teräskuori. Betonielementissä betonia on moninkertainen määrä teräkseen nähden. Betonielementit vaativat myös suuremman määrän kuljetuksia massiivisuuden vuoksi, jolloin päästöjä syntyy enemmän.

4.3.2 Runko

Kustannukset osiossa on mainittu, että teräs- ja betonirakenne on kustannuksiltaan lähes samalla tasolla. Hinnan määrää yleensä sen hetkinen saatavuus ja maailman markkinoiden hinnan vaihtelut. Rungossa halvin ratkaisu laskennan ja tarjousten perusteella on teräsrakenne (Liite 3). Luvussa 3 mainitaan että teräsrakenteita on helppo käsitellä ja muokata myös valmistamisen jälkeen. Taulukossa 1 on mainittu, että materiaalin huonoina puolina on huono palonkesto, lämmönvaraus ja äänenjohtuminen. Esimerkiksi New Yorkissa romahtanut World Trade Center oli teräsrakenteinen rakennus, joka sortui tulipalon takia. Rakennuksen teräksiset kantavat rakenteet viruivat tulen lämmöstä ja antoivat periksi.
Teräksiset rakenteet on palosuojamaalattava eikä sillä siltikään päästä samoihin palonkestoihin kuin betonilla. Useimmissa tapauksissa pilarit betonoidaan palonkeston lisäämiseksi. Betonointi on aikaa vievä toimenpide, jota ei voi tehdä talviolosuhteissa.

Rakennuksen rungossa molemmat vaihtoehdot ovat kuivissa sisätiloissa hyvin aikaa kestäviä, kun eivät joudu alttiiksi kosteudelle. Kuitenkin betonin jatkuva altistus kosteudelle ja pakkaselle pienentää elinkaarta. Teräspilarit voidaan toimittaa valmiiksi maalattuina. Usein työmaaolosuhteissa pilareiden maalipinta naarmuuntuu tai likaantuu, jolloin ne joudutaan maalaamaan uudestaan eikä niistä tule ikinä yhtä hyvää. Betonirakenteiset pilarit ovat teräsrakennetta huo-

mattavasti parempia massiivisuuden, palonkeston ja eristävyyden takia. Betonirakenne on myös helppohoitoisempi kuin teräs, sitä voidaan paikata laastilla ja maalaaminen sekä pinnan hiominen on helpompaa. Betonielementtirakenteet ovat ajallisesti nopeampi asentaa kuin teräs (Liite 2). Jos rakenteita tehdään paikalla valamalla, niin aikataulu venyy huomattavasti, niin kuin voi nähdä ontelolaatan ja paikalla valetun laatan aikataulusta (Liite 2). Teräsrakenne on betonirakennetta sirompi, jolloin rakennukseen jää enemmän käyttöpinta-alaa. Betonielementtirakenteet taas ovat massiivisia rakenteita, jotka voivat viedä varsinkin talotekniikalta käyttöalaa.

Rungon osalta edullisin vaihtoehto on teräsrakenteinen runko. Liitteessä 3 lasketun edullisuusvertailun tulosten perusteella teräsrakenne saa pisteitä 0,00049 ja betonirakenne 0,000481. Rakenteet ovat näin lähes yhden vertaisia. Luku muuttuu toiseen suuntaan riippuen mitä ominaisuuksia yritys haluaa painottaa. Teräsrakenne oli huomattavasti halvempi mutta betonirakenteen massiivisuus ja paloturvallisuus tuovat sille etuja tässä vertailussa.

4.3.3 Välipohjat

Välipohjassa halvin vaihtoehto on ontelolaatta. Se on ajallisesti työmaalla vähiten aikaa vievä ja kustannuksilta halvin rakenne. Ratkaisusta hieman kalliimpi vaihtoehto on kuorilaatta, jonka etuina on ontelolaattaa parempi ääneneristävyys sekä talotekniikan sijoittaminen laatan päälle valettavaan valuun. Tätä tapaa suositaan Ruotsissa asuinrakentamisessa sen helppouden ja laadun takia. Kallein vaihtoehto on paikallavalu, tällä tavalla saadaan ääniteknisesti laadukas rakenne, jota suositaan suurissa tiloissa, parkkihalleissa tai korkeassa rakentamisessa. Kustannuksia tavassa lisää muotitus ja mahdolliset talvella tapahtuvat betonoinnit.

Välipohjien edullisuus jakautui ontelolaatta 3,84, paikallavalu 3,52 ja kuorilaatta 4,06. Ontelolaatta on vaihtoehdoista selvästi halvin ja vähiten aikaa vievä mutta häviää vertailussa muun muassa ääniteknisissä ominaisuuksissa, palonkestossa ja massiivisuudessa. Kuorilaatta on edullisin vaihtoehto tasapainoisella pisteytyksellään.

5 Yhteenveto

Rungon kustannusosuus koko rakennuksesta on noin 15 – 20%, joka on melko pieni osuus koko rakentamisesta. Runko on koko rakennuksen tärkein osuus, jonka ominaisuudet heijastavat koko muuhun rakentamiseen, joten siitä en lähtisi tinkimään. (Rungon valinta, Kestävä kivitalo)

Rakennuksen runkovaihtoehdot luvussa on kerrottu, että valintaan vaikuttaa todella moni asia, rungon haluttu käyttöikä, kulutuksen kesto, muunneltavuus, palonkesto, ääneneristävyys, talotekniikan yhdistäminen, ulkonäkö, ja koko elinkaaren kustannukset. Runko ja rungon osat tulee valita haluttujen ominaisuuksien mukaan.

Edullisin julkisivurakenne toimitilarakennukseen on sandwich-paneeli sen kevyen rakenteen ja helpon käsittelyn takia. Rakenne on lyhytikäisempi kuin betonielementti, mutta lähes täysin kierrätettävä. Se on myös kustannustehokkaampi.

Kuorilaatta on edullisin rakenne hyvillä ääniteknisillä ominaisuuksilla ja massiivisella rakenteellaan. Se on kustannuksiltaan vain hieman ontelolaattaa kalliimpi mutta etuina on muun muassa talotekniikan upottaminen pintavaluun. Paikallavalettu laatta oli kustannuksiltaan ja edullisuudeltaan heikoin.

5.1 Jatkotutkimusehdotukset

Tutkisin jatkossa enemmän betonin ominaisuuksia ja sitä, miten paikallavalu rakentamisesta voisi saada vielä kustannustehokkaampaa. Toisin tutkimukseen julkisivuista myös kevyemmän rapattavan elementin sekä tiilijulkisivun.

5.2 Pohdinta

5.2.1 Validiteetti

Opinnäytetyössä on mielestäni käytetty oikeita menetelmiä. Kirjallisuustutkimuksella ja haastatteluilla saatiin materiaalien ominaisuuksia ja käyttöä kartoitettua vertailua varten.
Lisämenetelminä olisi voinut käyttää omaa käytännön tutkimusta.
Selkeämmin asiaa olisi voinut lähestyä tekemällä jokaisesta tarkasteltavasta materiaalista tai ominaisuudesta oman taulukkonsa, joita vertailemalla ominaisuuserot olisivat erottuneet.

5.2.2 Reliabiliteetti

Kirjallisuustutkimuksessa ja haastattelussa on mielestäni käytetty tarpeeksi luotettavia lähteitä. Haastatteluja olisi voinut olla enemmän, jotta olisi saatu monen suunnittelijan ja asiantuntijan näkemys aiheeseen.
Edullisuusvertailussa sandwich-paneeleiden materiaalipäästöt jäivät uupumaan, mutta asiaa lähestyttiin tiedossa olevien faktojen avulla ja arvioitiin päästöihin vaikuttavia seikkoja. On mahdollista, että arviossa on jäänyt huomioimatta tulokseen vaikuttavia asioita.
Edullisuusvertailun painoarvot myös vaihtelevat rakennuskohtaisesti, joten tulosta ei voida pitää yleispätevänä. Tutkimusta on sovellettava käyttökohteen mukaan.

Saman 5.2 luvun toiseen alakohtaan kirjoitat raporttisi reliabiliteetista eli oletko käyttänyt virheettömästi valitsemaasi menetelmää.
Nyt olet vihjannut jo luvussa 1.4 jotakin tämän luvun 5.2 kuuluvassa asiassa.
(onko lähtötiedot oikein tai mikä on tulos, jos edellisuusvertailun tekeekin toinen henkilö)

LÄHTEET

Aalto yliopisto, Betonin rakenne ja ominaisuudet 2015 Viitattu: 12/2019

Betoniteollisuus ry, betoni rakennusmateriaalina. https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/valmisosien-kaytto/ Viitattu: 3/2019

Betoniteollisuus ry, tietoa betonista. https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/ Viitattu: 5/2019

Kivitalo betonirakenteet. https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/pilarilaatta-rakenteena-mitoitus-raudoitusohjeita/ Viitattu: 3/2019

Rt-kortti paikallavaletut betonirunkorakenteet. https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/resource/juha/content/5619#page=1 Viitattu: 3/2019

https://www.kivitalo.fi/wp-content/uploads/2017/09/Tuomas_Toriseva_diplomity%C3%B6.pdf Viitattu: 3/2019

Elementtisuunnittelu.fi,Ulokkeet.

http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/pilarit/ulokkeet.

Viitattu:5/2019.

Elementtisuunnittelu.fi, Valmisosarakentaminen

https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen Viitattu: 12/2019

Kuntaliitto.fi, Edullisuusvertailut

https://www.kuntaliitto.fi/talous/kustannuslaskenta/edullisuusvertailut

Viitattu 12/2019

Laitinen Tuomas 2017. Forecon Oy.https://www.forecon.fi/tehdaanko-rakennukset-betonista-puusta-vai-teraksesta/ Viitattu: 5/2019

Leppänen & Pynnönen 1990 Viitattu: 9/2019

Meijou Oy arkistot. Viitattu: 11/2019

Oppariapu-blogi, Haastattelut
https://oppariapu.wordpress.com/menetelmat/haastattelut/ Viitattu 12/2019

Punkki Jouni, Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2016. Viitattu 10/2019

Punkki Jouni, Parma Betonila Oy, Rakentamisen ekologisuus Viitattu: 12/2019

Rakennusbetoni, akustiikkasuunnittelu.
https://www.rakennusbetoni.fi/application/files/9714/9880/5724/Helimaki_4905-23b_AKO-akustiikkasuunnitteluohje.pdf Viitattu: 6/2019

Rakennustieto Betonirakenteiden Suunnittelu..
https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010302.pdf Viitattu: 8/2019

Ratu 0390 Kuorilaattaelementti Viitattu: 6/2019

Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta. Viitattu: 11/2019

Ratu C8-0377 Talvityöt ja –kustannukset. Viitattu: 11/2019

Routio Pentti, 2007, Tiedon hakeminen teksteistä
http://www2.uiah.fi/projekti/metodi/040.htm, Viitattu: 12/2019

RT 82-10814 Paikallavaletut betonirunkorakenteet Viitattu: 11/2019

RT 82-10821 Betonielementtirunkorakenteet Viitattu: 8/2019

RT 95-10719 Toimistotilat tekninen suunnittelu. Viitattu: 11/2019

RT 82-10765 Toimistorakennusten teräsrakenteet Viitattu: 5/2019

Saaranen-Kauppinen Anita & Puusniekka Anna. 2006. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto [verkkojulkaisu]. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/ (Viitattu 8.12.2019.)

Sahlstedt Satu, Koskenvesa Anssi, Lindberg Rita, Kivimäki Christian, Palolahti Tuomas, Lahtinen Matti. Rudus Talvibetonointi 2013. Viitattu: 10/2019

SIT 22-610045 Teräs Viitattu: 11/2019

Suikka Arto, DI, Lemetyinen Jari, VMT. Betonirakenteiden ympäristöominaisuuksista. BTJ Päivityskurssi.
https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120503.pdf Viitattu: 3/2019

Suikka Arto, BTJ Päivityskurssi. Betonisandwich elementit 2010. Viitattu: 10/2019

Teräsrakenneyhdistys, Teräs materiaalina.
http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/terasrakenneteollisuus/teras-materiaalina/
Viitattu: 9/2019

The Engineerin toolbox

https://www.engineeringtoolbox.com/sound-speed-solids-d_713.html Viitattu: 12/2019

Total material.
https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=SteelProperties&LN=FI Viitattu: 10/2019

Verne Liikenteen tutkimuskeskus
https://www.tut.fi/verne/tutkimusmenetelmat/kysely-ja-haastattelumenetelmat/
Viitattu: 12/2019

Väisänen Päivi, Teräs Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle 2007, Viitattu: 10/2019

Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018) Viitattu: 10/2019

Ympäristöministeriö, Rakentamismääräyskokoelma paloturvallisuus 2019, Viitattu: 2019

LIITTEET

Liite 1. Seinien eristysominaisuudet

1(1)

Sandwich panel SPA E ulkoseinään

	U-Arvo(W/m2K)	*Äänen eristävyys*	*Paloreaktio*	*P-Kesto*
230	*0,17*	*31*	*A2-s1, d0*	*EI 120*
200	*0,2*	*31*	*A2-s1, d0*	*EI 120*
175	*0,22*	*31*	*A2-s1, d0*	*EI 120*
150	*0,26*	*30*	*A2-s1, d0*	*EI 120*
125	*0,32*	*30*	*A2-s1, d0*	*EI 120*
100	*0,41*	*29*	*A2-s1, d0*	*EI 90*

Sandwich panelit (Ruukki)

Kerros	Paksuus mm	λ_U W/mK	R m^2K/W
Ulkopuolen pintavastus			0,04
Ulkokuori betonia	70	2	0,035
Mineraalivilla	240	0,036	6,667
Sisäkuori betonia	80	2	0,040
Sisäpuolen pintavastus			0,13
Kokonaislämmönvastus R (Km^2/W)			6,912
Lämmönläpäisykerroin U = 1/R (W/m^2K)			**0,1447**

VTT tutkimusraportti VTT-R-07901-11

Betoni sandwich elementin ääneneristävyys

Betonisisäkuori	**Eriste**	**Rappaus/ ulkokuori**	**Rw (dB)**	**Rw,Ctr - liikennemelu (dB)**
80 mm 150 mm	240 mm villaa	70 mm	54 60	50 56
150 mm	240 mm FAL1 240 mm FAS4	10 mm 25 mm	53 58	47 53
150 mm	240 mm EPS	10 mm 25 mm	52 54	44 45
Ikkuna MSE	Karmileveys 170 mm 210 mm		46 47	40 42

BTJ Arto Suikka 2010

Liite 2. Aikataulu

Teräsrunko	Työmenekki tahdistava tth/kpl	Työmenekki kokonais tth/kpl	Suoritemäärä kpl	tahdistava 2+0 tth	Kokonais 2+1 tth
Tavaran vastaanotto	0,05		320	16	
Pilari asennus	1,67	1.82	91	151,9	165
Palkki asennus	1,19	1,34	39	46,41	52,26
Ristikko asennus	1,29	1,44	49	63,21	70,56
Siteet	0,5	0,65	142	71	92,3
Ontelolaatta 1,2x7,2	0,4	0,6	122	48,8	73,2
Vesikattopelti	0,05	0,07	7400m2	370	518
Pilareiden betonointi	3		20		60
			Yhteensä	**766,7**	**970**

(Aikataulukija2013)

Betonirunko	Työmenekki tahdistava tth/kpl	työmenekki kokonais kpl		tahdistava tth	Kokonais tth
Tavaran vastaanotto	0,15		134	20	20
Pilari asennus	0,77	1,32	90	69	118
Palkki asennus	0,65	1,1	44	28	48
HI palkki	1,2	1,65	32	38	53
TT laatta	0,45	0,75	178	80	133
Ontelolaatta 1,2x7,2	0,4	0,6	122	49	73
			Yhteensä	**284**	**445**

(Aikataulukirja 2013)

Sandwich paneeli	Työmenekki tth/kpl	Suoritemäärä 720m2	Yht: m2
Mittaus, asennus, tilkitseminen, listoitus	Kokonais 0,20	1,2x6m x 100kpl	**20**
Tilkitseminen, listoitus	Tahdistava 0,18	1,2x6m x 100kpl	**18**

(Aikataulukirja 2013)

Betoni sandwich elementti	Työmenekki tth/kpl	Suoritemäärä 720m2	Yht: tth
Mittaus, Asennus, tilkitseminen, kittaus, tukeminen	Kokonais 2,54	3 x 3m x 80kpl	**203,2**
Mittaus,TukeminenAsennus	Tahdistava 1,7	3 x 3m x 80kpl	**136**

(Aikataulukirja 2013)

Laatat

Ontelolaatta	Työmenekki tth/kpl	Suoritemäärä 100m2	Yht: tth
Asennus	Kokonais 0,6	1,2 7,2m x 12kpl	7,2
	Tahdistava 0,4	1,2 7,2m x 12kpl	4,8
Lattiatasoitetyö ja hierto	Kokonais 0,07	100m2	7
	tahdistava 0,06	100m2	6
Kokonais			**14,2**
Tahdistava			**10,8**

(Aikataulukirja 2013)

Kuorilaatta	Työmenekki tth/kpl	Suoritemäärä 100m2	Yht: tth
Asennus	Kokonais 0,48	1,2 x 7,2m x 12kpl	7,2
	Tahdistava 0,32	1,2 x 7,2m x 12kpl	4,8
Raudoitus ja betonointi	Kokonais 1,62	1,2 x 7,2m x 12kpl	19,44
	Tahdistava 1,02	1,2 x 7,2m x 12kpl	12,24
Kokonais			**26.64**
Tahdista			**17,04**

(Aikataulukirja 2013)

Paikallavalu-laatta	Työmenekki tth/kpl	Suoritemäärä 100m2	Yht: tth
Muotitus	Kokonais 0,55	100m2	7,2
	Tahdistava 0,2		4,8
Raudoitus	Kokonais 9,65	3500kg	34,125
	tahdistava 8,00	3500kg	28
Betonointi	Kokonais 0,2	30m3	6
	Tahdistava 0,15	30m3	4,5
Kokonais			**47,325**

Liite 3. Edullisuusvertailu

Välipohjien materiaalikustannukset

	Kuorilaatta m2 100 + 170mm	Ontelolaatta m2 265 + 60mm	Paikallavalu m2 260mm
Elementit	42e	50e	
Betoni	25,5e	15,33e	39e
Raudoitus	7,8e	4,24e	19,5
Muotit + vuokra			12e + 7,35e
Yhteensä	**75,3**	**69,57e**	**77,85e**

Välipohjien työt

	Kuorilaatta m2 / työmenekki	Ontelolaatta m2	Paikallavalu m2
Elementit	1,5e	2,5e	
Valutyöt	10e	7,35e	12e
Raudoitus	6,12e	3,84e	8,3e
Muottien purku ja kasaus			17,6e
Yhteensä	**17,62e**	**13,69e**	**37,9e**

Rungot

14 m korkea runko asennuksineen.

Teräs	7400m2	251 000 kg	889 500 e
Betoni	7400 m2	2 736 000 kg	1 050 000 e

Teräsrungon painossa ei ole otettu huomioon mahdollisia betonointeja. Kummassakaan ei myöskään huomioida sokkeleiden painoja sekä hintaa eikä onteloiden painoa.

Betonirungon asennuksen arvioidut kustannukset

			yht
Työryhmä 2 + 1	425tth	40e / h	17 000e
2 kpl nostimia	4viikkoa	1500e /kk	3000e
pientarvikkeet, työka-lut		1000e	1000e
Polttoaineet		500e	500e
Nosturi	4 viikkoa	6000e/ vko	24 000e
yht			45 500e
		Kate	x 1,2 = **54 600e**

Teräsrakenteen asennuksen arvioidut kustannukset

Teräsrunko työkustannus			
Työryhmä 2 + 1	970tth	40e / h	38 800e
2kpl nostimia	6 viikkoa	1500e / kk	4500e
Tarvikkeet		2000e	2000e
Nosturi	5 viikkoa	4400e/vko	22000e
yhteensä			67 300e
		Kate	x 1,2 = **80 760e**

20 pilarin betonointi			
Työryhmä 2 + 1	48tth	40e /h	1920e
Betoni	20m3	150e/m3	3000e

3(4)

Paroc Asennus ja materiaali / m2
[luottamuksellinen]

Betoni sandwich

70 + 240 + 80mm Elementin hinnaksi on saatu tarjouksen perusteella 210e/m2 asennettuna ja saumattuna.

Ominaisuus		**Sandwich paneeli 230mm**		**Betoni sandwich 80 + 240 + 70mm**	
	Painoarvo	**Arvosana**	**Arvopisteet**	**Arvosana**	**Arvopisteet**
Kosteuden sietokyky	**10**	5	50	5	50
Lämmöneristävyys	**13**	4	52	5	65
Lämmönvarauskyky	**10**	2	20	5	50
Elinkaari	**9**	4	36	5	45
Sisäilman puhtaus	**9**	5	45	5	45
Kierrätettävyys	**7**	5	35	3	21
Äänen eristävyys	**14**	3	42	5	70
Huollettavuus	**14**	2	28	5	70
Muunneltavuus	**14**	5	70	1	14
Yhteensä	**100**		**378**		**430**

	Hinta /m2	Pisteet	Piste / euro
Teräs sandwich paneeli	56e	378	6,75
Betoni kuori elementti	210e	430	2,05

4(4)

Ominaisuus		Teräsrunko		Betonirunko	
	Painoarvo	Arvosana	Arvopisteet	Arvosana	Arvopisteet
Lämmönvarauskyky	6	1	6	5	30
Elinkaari ja kunnossapito	10	5	50	5	50
Kierrätettävyys	7	5	35	4	28
Imago	15	4	60	5	75
Palonsietokyky	14	5	70	5	70
Tilojen muuntojoustavuus	13	5	65	4	52

Äänen eristävyys	13	3	39	5	65
Rakentamisen aika	14	4	56	5	70
Ympäristön kuormitus	8	3	24	5	40
Yhteensä	**100**		**405**		**480**

	Hinta	Pisteet	Piste / euro
Teräsrunko	826 500 e	405	0,00049
Betonirunko	997 599 e	480	0,000481

Ominaisuus		Ontelolaatta		Paikallavalu		Kuorilaatta	
	Painoarvo	Arvosana	Arvopisteet	Arvosana	Arvopisteet	Arvosana	Arvopisteet
Ääneneristävyys	20	3	60	5	100	5	100
Rakentamisen kesto	20	5	100	1	20	3	60
Lämmönvarauskyky	7	4	28	5	35	5	35
Palonsietokyky	7	3	21	5	35	4	28
Ympäristön kuormitus	12	5	60	4	48	3	36
Imago	17	2	34	5	85	4	68
Hyöty ala	17	1	17	5	85	3	51
Yhteensä	**100**		**320**		**408**		**378**

	Eurot	Pisteet	piste / euro
Ontelolaatta	83,26e	320	3,84
Paikallavalu	115,75e	408	3,52
Kuorilaatta	92,92e	378	4,06