

Petri Hiljanen

HALLIN ULKOSEINIEN VERTAILU

Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Pori
Rakennustekniikan koulutusohjelma
2010

HALLIN ULKOSEINIEN VERTAILU

Hiljanen, Petri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2010
Ohjaaja: Laurikainen, Markku
Sivumäärä: 50
Liitteitä: 17

Asiasanat: lämmöneristys, elinkaariarviointi, kustannuslaskenta, aikataulut

Tämän opinnäytetyön aiheena oli hallin ulkoseinien vertailu. Käsiteltiin kahta erilaista ulkoseinärakennetta hallirakennukseen, paroc-elementtiä ja puurunkoa. Puurungon tekeminen on työlästä isoon hallirakennukseen, joten otettiin vertailuun valmis elementti.

Työssä käsiteltiin vuoden 2010 lämmöneristysvaatimuksia seinärakenteille ja myös vuoden 2012 muuttuvat vaatimukset otettiin huomioon. Näin saatiin seinärakenteiden paksuudet, 150mm ja 200mm. Hallirakentamista käsiteltiin yleisesti ja mitä vaihtoehtoja on olemassa runkorakenteiksi. Runkorakenteeksi valittiin teräsrunko. Työ sisältää paroc-elementin ja puurungon tekniset ominaisuudet, kiinnityksen ja asennuksen.

Elinkaaritaloudessa käsiteltiin mitä ympäristövaikutuksia seinärakenteilla on niiden koko elinkaarenaikana. Laskettiin myös elinkaarikustannukset seinärakenteille. Paroc-elementin ympäristövaikutukset jäivät sen hyvän kierrätysuunnittelun takia pienemmiksi. Työssä laskettiin kustannukset ja aikataulut puurungoille ja paroc-elementeille. Tutkittiin myös hallin koon vaikutusta kustannuksiin ja aikaan. Lisäksi käsiteltiin erilaisia työmenetelmiä ja niiden eroja puurungon ja paroc-elementin välillä.

Tuloksena saatiin tietoja seinärakenteista ja niiden eroista. 150mm paroc-elementin kustannukset olivat 32525,50 € ja 150mm puurungon kustannukset olivat 32095,10 €. Elementtiseinä valmistui 22 tv nopeammin. 200mm paroc-elementin kustannukset olivat 37738,50 € ja 200mm puurungon kustannukset 35401 €. Elementtiseinä valmistui 23,5 tv nopeammin. Tämän vuoksi kiireellä paroc-elementti on parempi kuin puurunko. Hallin koon muuttuessa suuremmaksi paroc-elementin nopeuden merkitys vain kasvoi. Jos hallirakennuksen ulkoseinä haluttaisiin tehdä puurunkoisena, tulisi työvoimaa lisätä, että pysyttäisiin paroc-elementin aikataulussa.

COMPARISON OF HALL ENCLOSURE WALLS

Hiljanen, Petri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

March 2010

Laurikainen, Markku

Number of pages: 50

Appendices: 17

Key words: thermal insulation, life cycle analysis, cost accounting, timetables

The subject of this thesis was the comparison of hall enclosure walls. Two different enclosure wall structures for a hall building, a paroc element and a timber frame were dealt with. Constructing a timber frame for a large hall building is labour-consuming so a ready element was taken into comparison.

This thesis deals with thermal insulation requirements of wall structures in 2010, but the changing requirements of 2012 are also considered. Thus, wall structure thicknesses, 150mm and 200mm were achieved. Hall construction in general and alternatives for frame structures were also studied. A steel frame was chosen for the frame structure. The thesis includes the technical features, fastening and installation of timber frame and paroc element.

The life cycle economy deals with the environmental effects of structures during their life cycle. Life cycle costs of the wall structures were also calculated. The environmental effects of paroc element remained low because of its good recycling planning. In this thesis costs and timetables were calculated for the timber frame and the paroc elements. The effect of changing the size of the hall on costs and time was also researched. Besides, different working methods and their differences between timber frame and paroc element were handled.

As a result, information was received of wall structures and their differences. The costs for a 150mm paroc element were 32525,50 € and the costs for a 150mm timber were 32095,10 €. The element wall was completed 22 work shifts quicker. The costs for a 200mm paroc element were 37738,50 € and the costs for a 200mm timber frame were 35401 €. The element wall was completed 23,5 work shifts quicker. Because of this, in a hurry a paroc element is better than a timber frame. When the hall size was increased, the importance of the speed of paroc element also grew. If the aim is to make the enclosure walls timber-framed, manpower should be added, to stay in the timetable of paroc element.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tavoite	6
2	LÄMMÖNERISTYSVAATIMUKSET.....	7
2.1	Rakennusten lämmöneristys määräykset 2010.....	7
2.1.1	Rakennuksen vaipan lämmöneristys	8
2.1.2	Rakennuksen vaipanosien lämmönläpäisykertoimet	9
2.1.3	Muuttuvat lämmönläpäisykertoimet	9
2.2	Lämmöneristys ohjeet 2003.....	10
2.2.1	Lämmönläpäisykertoimen määrittäminen	10
2.2.2	Lämmöneristysten suunnittelu ja eristäminen.....	11
2.3	Rakennuksen energiatehokkuus.....	11
2.3.1	Energiatehokkuusvaatimukset.....	12
2.4	Vuoden 2010 ja 2012 vaatimukset täyttävät ulkoseinärakenteet.....	12
3	HALLIRAKENTAMINEN.....	13
3.1	Erilaiset hallirakennukset ja niiden käyttötarkoitukset.....	14
3.2	Erilaiset runkorakenteet	15
3.2.1	Puurakenteet	15
3.2.2	Teräsrakenteet	16
3.3	Varistorakennusten paloturvallisuus	17
3.4	Teräshalli runkorakenteeksi.....	18
4	PAROC-ELEMENTIT.....	19
4.1	Paroc-elementit	20
4.1.1	Tekniset ominaisuudet.....	20
4.1.2	Mitoitus	21
4.1.3	Kiinnitys ja asennus	21
4.1.4	Kunnossapito.....	22
5	PUURUNKO.....	23
5.1	Tekniset ominaisuudet	23
5.2	Kiinnitys ja asennus	24
6	ELINKAARITALOUS	25
6.1	Elinkaariajattelu	25
6.1.1	Teknistaloudellisen elinkaaren pituuteen vaikuttamien	26
6.2	Elinkaaren luonnontalous	27
6.3	Elinkaariarviointi (LCA).....	28
6.3.1	Paroc-elementin elinkaariarviointi	29

6.3.2	Puurungon elinkaariarviointi.....	30
6.3.3	Yhteenveto	31
6.4	Elinkaarikustannus (LCC)	33
6.4.1	Paroc-elementin ja puurungon elinkaarilaskentaa.....	33
7	KUSTANNUSLASKENTA JA AIKATAULUT	35
7.1	Ratu-tiedosto.....	35
7.1.1	Käsitteet.....	35
7.1.2	Laskenta	36
7.2	Kustannukset ja aikataulut	37
7.3	Hallin koon vaikutus kustannuksiin ja aikaan	40
8	TYÖMENETELMÄT	42
8.1	Puurunkoisen ulkoseinän työmenetelmä	42
8.2	Paroc-elementin työmenetelmä.....	43
8.3	Työmenetelmien vertailu	44
8.4	Puurungon ja paroc-elementtien asennusvaiheen erot.....	44
9	YHTEENVETO	46
	LÄHTEET.....	49
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Idea opinnäytetyöhön tulee rakenteilla olevasta hallirakennuksesta. Halli on noin 600m² teräsrunkoinen varastorakennus, jossa on 150mm puurunko. Isoon halliin puurunkoisen julkisivun tekeminen on työlästä ja vie paljon aikaa, joten työssä vertaillaan paroc-elementin ja puurungon toimivuutta hallirakennuksessa. Hallirakennuksen paloluokaksi määriteltiin 3, koska korkeus ei ylitä 14m.

Paroc-elementit ovat olleet koko ajan esillä markkinoilla ja siksi ne kannattaa ottaa vertailuun puurungon kanssa. Työssä käydään läpi lämmöneristysvaatimukset, tutkitaan seinärakenteiden teknisiä ominaisuuksia ja hallirakentamista yleensä. Otetaan selvää rakenteiden energiataloudesta ja lasketaan elinkaarikustannus. Suoritetaan seinärakenteiden kustannuslaskenta ja tehdään aikataulut paroc-elementtien asennuksesta ja puurungon rakentamisesta. Käydään läpi paroc-elementin ja puurungon työmenetelmät.

1.1 Tavoite

Saada selkeitä tuloksia, kumpaa rakennetta kannattaa käyttää hallin ulkoseinässä vai onko sillä mitään merkitystä. Kannattaako aina tehdä paroc-elementeillä, vaikuttaako hallin koko valintaan jotenkin. Lisäksi tavoitteena saada tarkat tiedot ulkoseinien investointikustannuksista ja kuinka paljon aikaa kuluu niiden tekoon. Tavoitteina käsitellä työvälineitä ja työkoneita sekä työmenetelmiä, mitä kumpikin ulkoseinä vaatii. Työn lopputuloksena on selkeä ja laaja kokonaisuus paroc-elementeistä ja puurungosta, ja niiden valinnasta hallirakennukseen.

2 LÄMMÖNERISTYSVAATIMUKSET

Lämmöneristysvaatimukset muuttuvat tiukemmiksi vuosi vuodelta, tässä käsitellään vuoden 2010 vaatimuksia. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 2010.) Otetaan huomioon myös vuoden 2012 muuttuvat vaatimukset, jotka tulevat olemaan tiukkoja. Lämmöneristysvaatimusten muuttuminen tulee vaikuttamaan rakentamiseen merkittävästi koko ajan, kun seinän paksuudet kasvavat. Vaikutus näkyy myös hallirakentamisessa, kun kustannukset kasvavat, uudet ratkaisut ovat tervetulleita.

2.1 Rakennusten lämmöneristys määräykset 2010

Määräykset koskevat uusia rakennuksia, joissa käytetään energiaa lämmitykseen ja sen lisäksi mahdollisesti jäähdytykseen tarkoituksenmukaisen sisälämpötilan saavuttamiseksi. Määräyksissä on jaettu rakennuksen tilat lämpötilojen mukaan.

1. Erityisen lämmin tila: tila, jossa lämpötila on ajoittain tai koko ajan korkeampi kuin normaalin lämpimäntilan. Tällainen tila voi esimerkiksi olla löylyhuone.
2. Lämmin tila: tila, jossa huonelämpötilaksi valitaan oleskelu- tai muista syistä $+17^{\circ}\text{C}$ tai sitä korkeampi lämpötila.
3. Puolilämmin tila: tila, joka ei ole tarkoitettu jatkuvaan oleskeluun pelkästään sisävaatetusta käyttäen. Tilan lämpötilana pidetään vähintään $+5^{\circ}\text{C}$ mutta alle $+17^{\circ}\text{C}$.
4. Jäähdytettävä kylmä tila: tila, jossa jäähdytys- ja mahdollisen lämmitysjärjestelmän avulla ympärivuotisesti ylläpidetään alle 17°C lämpötilaa. Esimerkiksi kellari- ja varastotilat.
5. Lämmittämätön tila: tila, jota ei ole tarkoitettu jatkuvaan oleskeluun ja jota ei ole lämmitetty. Lämmöneristysvaatimukset eivät koske lämmittämätöntä tilaa. Esimerkiksi lasitetut parvekkeet ja autotallit.

Rakennusosien, jotka erottavat puolilämpimän tai lämpimän tilan ulkoilmasta, lämmittämättömästä tilasta tai toisistaan tulee olla kosteus- ja lämpötekniisiltä ominaisuuksiltaan sellaisia, että sisäilmasto-olot saavutetaan energiatehokkaasti. Tilojen välisten rakenteiden sekä rakennuksen vaipan tulee olla niin ilmanpitäviä että vuoto-kohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakenteille tai käyttäjille ja ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Rakennuksen vaipalla

tarkoitetaan tässä niitä rakennusosia, jotka erottavat erityisen lämpimän, lämpimän, puolilämpimän tai jäädytettävän kylmän tilan ulkoilmasta, maaperästä tai lämmitettävyydestä tilasta. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitoksiin ja läpivienteihin sekä huolellisuuteen rakennustyössä. (Suomen rakentamismääräyskoelma C3 2010.) Kosteusteknisiä ominaisuuksia käsitellään myöhemmin runkorakenteissa.

Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku. Ilmansululla tarkoitetaan ainekerrosta, jonka tehtävä pääasiassa on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi puolelta toiselle. Ikkunoiden ja ovien liitokset tulee olla ilmanpitäviä. Karmien ja puitteiden tiivistämiseen käytetään sellaisia tarvikkeita, että ne kestävät käytössä esiintyvät rasitukset vaurioitumatta eivätkä aiheuta ympäröiville rakenteille vaurioitumisen vaaraa.

2.1.1 Rakennuksen vaipan lämmöneristys

Rakennuksen vaipan lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin kohdan 2.1.2 mukaisilla vertailuarvoilla laskettu rakennuksen vaipan lämpöhäviö. Tästä voidaan kuitenkin poiketa. Rakennuksen vaipan lämpöhäviö voi olla 30 prosenttia suurempi, jos lämpöhäviön ylitys tasataan pienentämällä rakennuksen ilmanvaihdon tai vuotoilman lämpöhäviötä. Rakennuksen lämmöneristysten suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota rakennusosien oikeaan kosteus- ja lämpötekniiseen toimintaan. Erityisesti silloin, kun lämpimän, erityisen lämpimän, jäädytettävän kylmän tilan tai puolilämpimän tilan lämmönläpäisykertoimenä käytetään vertailuarvoja pienempiä arvoja. Routavaurioita vältettäessä alapohjan lämmöneristys pitää suunnitella yhdessä routaeristuksen ja mahdollisesti rakennuksen vaippaan kuulumattoman perusmuurin lämmöneristuksen kanssa toimivaksi kokonaisuudeksi. (Suomen rakentamismääräyskoelma C3 2010.)

2.1.2 Rakennuksen vaipan osien lämmönläpäisykertoimet

Erityisen lämpimän, lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan rakennusosien lämmönläpäisykertoimet U:

seinä	0,17 W/m ² K
yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09 W/m ² K
ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17 W/m ² K
maata vastaan oleva rakennusosa	0,16 W/m ² K
ikkuna, kattoikkuna, ovi	1,0 W/m ² K

Puolilämpimän tilan rakennusosien lämmönläpäisykertoimet U:

seinä	0,26 W/m ² K
yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,14 W/m ² K
ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,26 W/m ² K
maata vastaan oleva rakennusosa	0,24 W/m ² K
ikkuna, kattoikkuna, ovi	1,4 W/m ² K

Rakennusosan pienen osan lämmönläpäisykerroin saa olla suurempi mitä edellä mainittiin, mikäli tämä on tarpeellista lujuus- tai muista erityisistä syistä. Jos rakennusosan pienen osan lämmönläpäisykertoimesta poiketaan, rakenteeseen ei saa tiivistyä kosteutta. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 2010.)

2.1.3 Muuttuvat lämmönläpäisykertoimet

Lämmöneristysvaatimukset muuttuvat koko ajan ja näin ollen yritetään saada mahdollisimman energiapihejä rakennuksia ns. passiivi taloja. Seuraavan kerran ympäristöministeriön uudet vaatimukset astuvat voimaan vuonna 2012. Lämmönläpäisykertoimia pienennetään entisestään noin 20 prosenttia. Tämä ei ole vielä asetus vaan arvioitu prosenttimäärä. Tässä työssä käytetään 20 prosentin vähennystä lämmönläpäisykertoimiin laskettaessa vuoden 2012 määräysten mukaista ulkoseinärakennetta.

2.2 Lämmöneristys ohjeet 2003

Ohjeissa määritetään lämmönläpäisykerroin (U) sekä suunnitellaan lämmöneristystä ja sen toteutusta. Ohjeet koskevat hyvän rakennustavan mukaisia käytännön rakenteita, joissa esiintyvien vähäisten virheiden vaikutus otetaan huomioon lämmönläpäisykerroimen laskennassa. Nämä ohjeet eivät koske rakennukseen kohdistuvan auringon säteilyn tai muiden lämpökuormien vaikutusten laskentaa, eivätkä lämmöneristysten kautta ohjattavan ilmavirtauksen vaikutusten laskentaa.

2.2.1 Lämmönläpäisykerroimen määrittäminen

Tässä esitetään yksi tapa laskea lämmönläpäisykerroin, muitakin tapoja voidaan hyväksyä, jos ne on yhtä tarkkoja kuin tässä esitetty. Lämmönjohtavuuden (λ_n) suunnitteluarvot tarvitsevat olla CE merkittyyä rakennusaineille, tai muulla hyväksyttävällä tavalla määritettyjä. Jos lämmönjohtavuus lukuja on monia samalla aineella valitaan se tapauskohtaisesti. Lämmönläpäisykerroimen (U) kaava:

$$U = 1 / R_T$$

R_T rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön.

Kun rakennusosa on epätasa-aineinen niin, että siinä on pintojen suuntaisia ainekerroksia, joissa on rinnakkain lämmönvastukseltaan erilaisia osa-alueita, lasketaan ainekerroksen j lämmönvastus R_j kaavalla.

$$1 / R_j = f_a / R_{aj} + f_b / R_{bj} + \dots + f_n / R_{nj}$$

- f_a, f_b, \dots, f_n epätasa-aineisessa ainekerroksessa j olevan tasa-aineisen osa-alueen a, b, \dots, n suhteellinen osuus ainekerroksen kokonaispinta-alasta
- $R_{aj}, R_{bj}, \dots, R_{nj}$ epätasa-aineisessa kerroksessa j olevan tasa-aineisen osa-alueen a, b, \dots, n lämmönvastus, jossa $R_{aj} = d_j / \lambda_{aj}, R_{jb} = d_j / \lambda_{bj}, \dots, R_{jn} = d_j / \lambda_{nj}$
- d_j ainekerroksen paksuus
- $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ainekerroksen 1, 2, \dots, n lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, esim. normaalin lämmönjohtavuus

Kokonaislämmönvastus R_T lasketaan kaavalla.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots R_n + \Sigma R + R_{se}$$

- ΣR tasa-aineisten ainekerrosten, ilmakehrosten, ohuiden ainekerrosten ja maan lämmönvastusten summa
- $R_{si} + R_{se}$ sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa

(Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 2003.)

2.2.2 Lämmöneristyksen suunnittelu ja eristäminen

Eristeet tarvitsevat olla asetettujen vaatimusten mukaisia ja niiden on säilytettävä ominaisuutensa koko käyttöiän ajan. Rakennusvaiheessa eristeisiin kohdistuu kuormituksia, tämä on otettava huomioon eristeen valinnassa ja suojaamisessa. Rakenteiden eristetilojen suunnittelussa pyritään ratkaisuihin, joissa eristäminen voidaan suorittaa valitulle eristeelle soveltuvien työmenetelmin. Eristeet suojataan kastumiselta ja vaurioilta. Eristyksen saumat limitetään aina, jos eristystä on useamassa kerroksessa. Eristystyö tulisi suorittaa niin, että lämmöneristystä suojaavat rakenteet ovat valmiina tai ne tehdään pian eristämisen jälkeen.

Ulkoseinien tuulensuojan yläreuna viedään usein yläpohjan lämmöneristyksen yläpinnan yläpuolelle suojaamaan reunapintoja. Jos ilmavirtaus haittaa lämmöneristyksen toimintaa tai eriste liikkuu tuulen vaikutuksesta, on räystääreunoille hyvä asentaa tuulensuojakaistat tai tuuliohjaimet. Rakenteessa tarvitaan vähintään yksi ilmansulkuna toimiva kerros ilmavuodon estämiseksi rakenteen läpi. Tämä on yleensä lämmöneristyksen lämpimällä puolella. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 2003.)

2.3 Rakennuksen energiatehokkuus

Käsitellään rakentamismääräyskokoelman D3:n määräyksiä ja ohjeita. Nämä koskevat uusia rakennuksia, joissa käytetään energiaa tarkoituksenmukaisen huonelämpötilan, sisäilman laadun, valaistuksen, lämpimän käyttöveden tai muiden energiapalveluiden tuottamiseen. Nämä määräykset eivät koske tuotantorakennusta, jossa tuotantoprosessi tuottaa niin paljon lämpöenergiaa, että muuta lämmitysenergiaa ei tarvita,

loma-asuntoja tai väestösuojia, kasvihuonetta tai muita rakennuksia, joiden käyttö tarkoitukseensa vaikeutuisi. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 2010.)

2.3.1 Energiatehokkuusvaatimukset

Kiinteät laitteet suunnitellaan ja rakennetaan rakennukseen siten, että tarpeetonta energiankäyttöä ja energiahäviötä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Rakennuksen suunnittelussa pyritään välttämään tarpeettoman suurta vaippapinta-alaa. Tilojen suunnittelussa tarvitsee huomioida eri ilmansuunnat, että tilojen käyttötapa ja sisäiset lämpökuormat tulevat mietityksi. Ikkunat suunnitellaan siten, että auringon lämpösäteilyä ja luonnonvaloa voidaan hyödyttää tehokkaasti. Rakennuksen vaipan, ilmanvaihdon ja vuotoilman lämpöhäviötä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Lämmitysjärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että rakennuksessa voidaan saavuttaa käyttötarkoituksen edellyttämät lämpöolot energiatehokkaasti. Lämmitysjärjestelmä on varustettava säätölaitteilla. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 2010.)

2.4 Vuoden 2010 ja 2012 vaatimukset täyttävät ulkoseinärakenteet

Työssäni vertailen kahta erityyppistä ulkoseinärakennetta. Toinen on paroc-elementti, joka tuodaan tehtaalta valmiina rakennustyömaalle ja toinen puurunko, joka tehdään paikalla rakennustyömaalla. Ulkoseinärakenteet suunnitellaan hallirakennukseen, joka on puolilämmintila. Vuoden 2010 lämmönläpäisykertoimen (U) vaatimus puolilämpimän tilan seinäksi on $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$. Olen valinnut laskelmien perusteella ulkoseinärakenteeksi 150mm puurungon ja 150mm paroc-elementin. Nämä täyttävät vaatimuksen, molempien seinärakenteiden lämmönläpäisykerroin on $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Vuoden 2012 lämmönläpäisykertoimen arvioitiin pienenevän noin 20 % eli lämmönläpäisykertoimen vaatimus olisi seinärakenteessa $0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$. Laskelmien perusteella valitsin vuoden 2012 määräykset täyttävät ulkoseinärakenteet, 200mm puurungon ja 200mm paroc-elementin. Näiden lämmönläpäisykerroin on $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Paroc-elementtien lämmönläpäisykerroimet on saatu paroc:n suunnitteluohjeesta. (Pa-

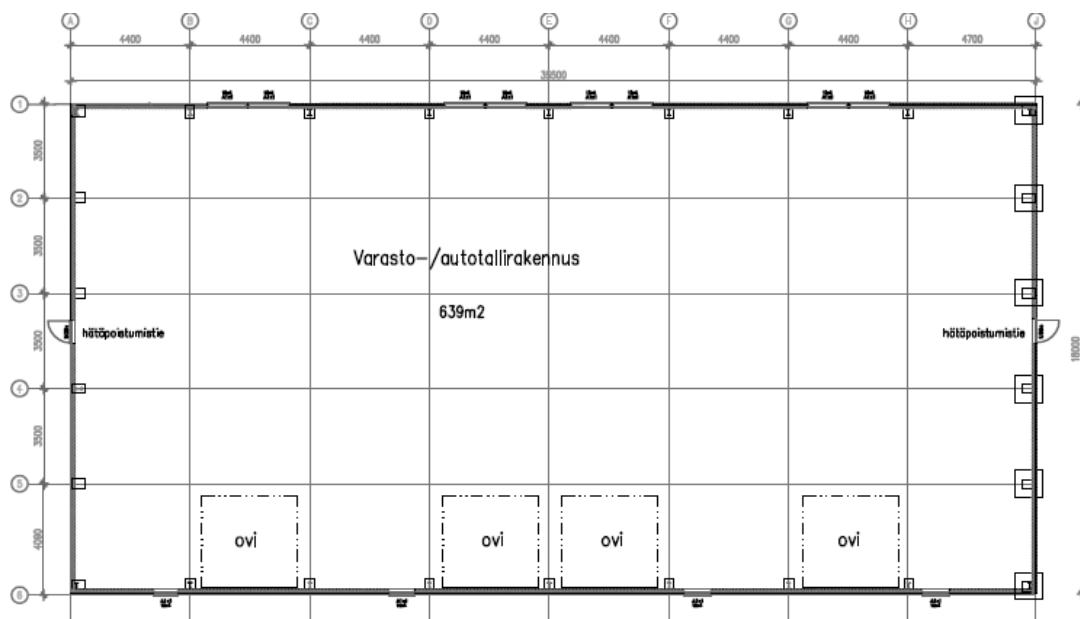
roc:n www-sivut 2009.) Puurunkoseinän lämmönläpäisykertoimet on laskettu C4 ohjeiden mukaisesti. (Liite 1 ja 2)

3 HALLIRAKENTAMINEN

Hallirakentaminen on erittäin yleistä. Rakennettuja kuutiometrejä syntyy enemmän kuin asuntorakentamisessa. Hallihankkeet ovat tavallisesti myös mittavia. Erilaisia halleja on valtavasti. Hallimaiset rakennukset voidaan jakaa pääryhmiin käyttötarkoituksen, pohjanmuodon tai poikkileikkauksen mukaan. Lisäksi halleja voidaan jaotella valitun rakenneratkaisun mukaan. Työssä vertaillaan kahta erikokoista hallirakennusta, pienempää ja suurempaa, jotta saadaan eroja paroc-elementin ja puurungon valintaa ajatellen.

Pienemmän hallin mitat: pitkän sivun pituus on 35500mm ja sen seinäkorkeus on 4300mm, päädyn pituus on 18000mm ja päätykorkeus on 6000mm. Seinäpinta-alaksi tulee 521,3m². Pohjapiirros liite 3. Isomman hallin mitat: pitkän sivun pituus 70000mm ja sen seinäkorkeus 5300mm, päädyn pituus on 30000mm ja päätykorkeus on 7000mm. Seinäpinta-alaksi isompaan halliin tulee 1162m². Pienemmän hallin käyttötarkoitus voisi olla varasto-/kuorma-autohalli. Kun taas isomman hallin käyttötarkoitus voisi olla teollisuushalli tai liikuntahalli.

Kuvassa 1 näkyy pienemmän hallirakennuksen pohjapiirros.



Kuva 1. Pohjapiirros hallirakennus.

3.1 Erilaiset hallirakennukset ja niiden käyttötarkoitus

Käyttötarkoituksen valinta on rakennushankkeeseen ryhtyvän ensimmäinen ja tärkein valinta. Käyttötarkoituksen mukaan hallimaiset rakennukset voidaan jakaa esimerkiksi seuraavasti:

- monitoimihallit
- liikunta- ja palloiluhallit
- uimahallit
- jäähallit
- teollisuuden ja varastoinnin hallit
- maatalouden rakennukset
- liikerakennukset
- julkiset rakennukset
- muut rakennukset ja rakenteet

Hallin käyttötarkoitus määrää huomattavan osan rakennustekniikalle asetettavista vaatimuksista. Huomioon otettavia valintatilanteita rakenteiden ja teknisten järjestelmien välillä syntyy mm. seuraavien oleellisten tekijöiden perusteella

- monikäyttötila - erityiskäyttötila

- työtila - varastotila
- lämpöeristetty – ei lämpöeristetty
- henkilökäytössä – ei henkilökäytössä
- suuri henkilökuorma – pieni henkilökuorma
- säädeltävä sisäilmasto – ei säätötarvetta
- kevyt liikenne – raskas liikenne

(Thermowood:n www-sivut 2009.)

Käyttötarkoitus vaikuttaa erityisesti poistumisteihin, palosuojauksiin ja ilmanvaihtoon. Käyttötarkoituksen ennakoitavissa olevaan muutokseen on tärkeää varautua jo suunnitteluvaiheessa, sillä muuttuneisiin vaatimuksiin vastaaminen myöhemmin on melko kallista tai jopa mahdotonta. Hankesuunnitteluvaiheessa täsmennetään tarpeita. Sen perusteella tiedetään erityyppisten tilojen tarve eli tarvittavat pinta-alat ja huonekorkeudet sekä tilojen toiminnalliset ja tekniset vaatimukset. Näiden tietojen perusteella voidaan käynnistää kohteen suunnittelu ja vertailla eri hallitoimittajien tarjontaa ja päätellä, millainen hallitoimitus tulisi kysymykseen.

Erityisesti varasto-, teollisuus- ja maatalousrakentamisessa on aiheellista varautua laajentamiseen, mikä tulee ottaa huomioon paitsi tontin käytön suunnittelussa, myös rakennussuunnittelussa. Liitokset ja moduulijako voidaan suunnitella siten, että osat voidaan irrottaa ja koota uudelleen osana laajempaa kokonaisuutta. Halli rakennetaan joskus vain tietyksi ajaksi, esimerkiksi 10 vuodeksi. Tällöin on tärkeää ottaa suunnittelussa huomioon, että halli puretaan jo 10 vuoden kuluttua. (Thermowood:n www-sivut 2009.)

3.2 Erilaiset runkorakenteet

3.2.1 Puurakenteet

Puurakenteet ovat kilpailukykyinen vaihtoehto hallirakentamiseen. Puu on monipuolinen, joustava materiaali ja tarjoaa hallirakentamisessa vaihtoehtoja erilaisiin tarpeisiin. Puuta käytetään vaatimustasoltaan vaatimattomista varastorakennuksista aina

julkiseen rakentamiseen, joka voi olla erittäin vaativaakin. Puu on ympäristöystävällinen ja uusiutuva materiaali. Se ei tuota haitallisia kaasuja ilmakehään. Puu on kustannustehokas raaka-aine ja sillä saadaan aikaan myös paloturvallisia ja kestäviä ratkaisuja, myös elinkaariedullisia ratkaisuja. Puulla on teollista tuotetarjontaa ja osaminen on viety pitkälle hallirakentamisessa. Suuriakin rakennuksia on tehty ja tehdään puusta, esimerkiksi liikuntahalleja, monitoimihalleja, joissa voi saavuttaa jopa 150m jännevälin. (Männistö & Takala 2005, 5.)

Puulla voidaan tehdä erilaisia rakenneratkaisuja. Esimerkiksi ristikkorakenteita, pilari-palkkijärjestelmiä, jotka voidaan varustaa vetotangolla. Puurakenteista tulee usein helposti suuria ja tilaa vieviä. Puurakenteiden yksi ongelma tulee vastaan liitosten kanssa. Naulaliitoksissa nauvoja tulee aivan likaa liitokseen ja niitä on vaikeaa saada mahtumaan suunnitelman mukainen määrä. Puurakenteissa joudutaan joissakin tapauksissa turvautumaan terästankoihin, jotta päästään yksinkertaisempiin rakenneratkaisuihin.

3.2.2 Teräsrakenteet

Teräsrunkorakenteet ovat yleisiä hallirakentamisessa. Teräksen käyttömahdollisuudet ovat valtavat. Näin ollen terästä käytetään lähes joka puolella, esimerkiksi lentoterminaaleissa, teollisuushalleissa ja pilvenpiirtäjissä. Teräsrakenteita suunniteltaessa tarvitsee ottaa huomioon käytettävät aineet, tarvikkeet ja liitostavat. Teräsrakenteiden liitokset tehdään useimmiten pulttiliitoksilla tai hitsaamalla. Teräs on erittäin raskas materiaali ja sen valmistukseen kuluu paljon energiaa, joten elinkaareltaan teräs ei ole edullinen. Teräksellä rakenneratkaisuja on valtavasti. Yleisimpiä rakenneratkaisuja on pilari-palkkijärjestelmä, erilaiset teräskaaret ja ristikot. Puuta ja terästä voi myös yhdistää tarvittaessa. Teräksen muokkaaminen työmaalla ei ole helppoa, jos verrataan vaikka puuhun. Joten siihen tarvitaan järeämpiä työkaluja. Teräs on myös tarvittaessa valettava esimerkiksi betonin sisään paloturvallisuuden takia.

Betonirakenteisia runkoratkaisuja näkee harvemmin pienemmissä hallirakennuksissa. Suuret teollisuushallit tehdään kuitenkin useimmiten betonipilareita käyttäen. Betonirakenteisiin joudutaan laittamaan harjaterästankoja, jotta tarvittava lujuus saavute-

taan. Betonirakenteet valetaan aina muottiin, ja tämä aiheuttaa paljon valmistelevia töitä ennen kuin esimerkiksi pilari on valmis. Betonirakenteita voidaan myös tehdä elementtitehtailla ja toimittaa sitten valmiina rakennustyömaalle. Betonirakenteita ja teräsrakenteita käytetään paljon myös yhdessä. Betonin ongelmana on myös paikalla valettaessa sen pitkä kuivumisaika.

3.3 Varastorakennusten paloturvallisuus

Varastorakennusten paloturvallisuus riippuu paljon siitä, mitä tiloissa tehdään tai säilytetään. Kuinka paljon ihmisiä tiloissa työskentelee, onko rakennus vain yhdessä kerroksessa ja kuinka suuri se on.

Varastorakennus jaetaan kahteen palovaarallisuusluokkaan. Toiminnot, joihin liittyy vähäinen tai kohtuullinen palovaara kuuluu palovaarallisuusluokkaan 1. Toiminnot, joihin liittyy huomattava tai suuri palovaara taikka joissa voi esiintyä räjähdysvaara kuuluu palovaarallisuusluokkaan 2. Varastotilat varustetaan aina pelastus- ja sammuustyötä helpottavilla laitteilla valitun suojaustason mukaisesti. Suojaustaso vaikuttaa rakennuksen paloluokkaan, suurimpaan sallittuun osastokokoon, savunpoistoon sekä kantavien ja osastoivien rakennusosien paloluokkavaatimuksiin. Suojaustasoja on kolmea erilaista. Suojaustaso 1 riittää tavallinen alkusammutuskalusto eli tarvitaan laitteita kuten paloposteja ja käsisammuttimia. Suojaustaso 2 vaaditaan hätäkeskukseen automaattisen ilmoituksen antava palovaroitin sekä suojaustason 1 mukainen alkusammutuskalusto. Suojaustaso 3 vaaditaan automaattinen sammutuslaitteisto sekä suojaustason 1 mukainen alkusammutuskalusto. (Suomen rakentamismääräyskoelma E2 2005.)

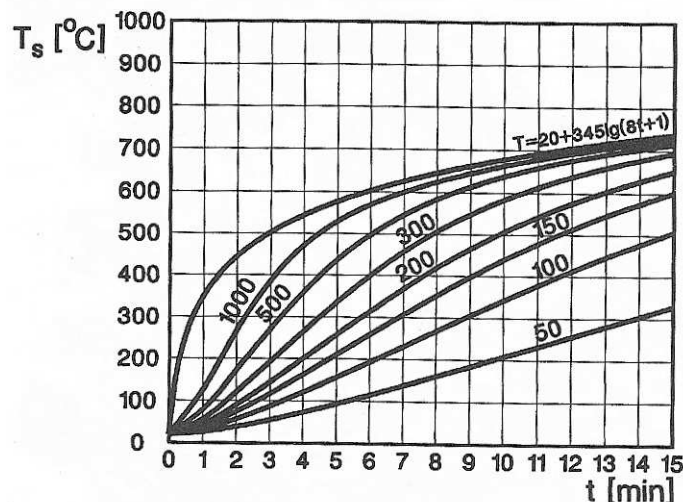
Varastorakennukset jaetaan myös kolmeen eri paloluokkaan. P1-luokan korkeutta tai kerroslukua ei rajoiteta. Rakennuksessa saa työskennellä yli 50 henkilöä. Rakennukseen saadaan sijoittaa palovaarallisuusluokkiin 1 ja 2 kuuluvia toimintoja. P2-luokan rakennus voi olla yksi- tai kaksikerroksinen. Kaksikerroksinen rakennus saa olla enintään 9m korkea; yksi kerroksinen rakennus saa olla kuitenkin tätä korkeampi. Rakennuksessa saa työskennellä enintään 50 henkilöä. P3-luokan rakennus saa olla vain yksikerroksinen ja enintään 14m korkea. Varastorakennukseen on järjestettävä

riittävä savunpoisto eri tavoilla. Painovoimaisesti käyttämällä huoneen yläosassa olevia helposti rikottavia ikkunoita ja luukkuja sekä korkeita oviaukkoja. Käyttämällä erillisiä savunpoistoluukkuja tai automaattista savunpoistolaitteistoa. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E2 2005.)

3.4 Teräshalli runkorakenteeksi

Teräshallin etuja ovat sen hyvä saatavuus joka paikasta ja eri muodoissa. Se on kestävä ja teräksen poikkileikkaus pysyy pienenä, joten se ei vie tilaa paljon. Teräsrakenteiden pystytys ja käsittely työmaalla vaatii nosturin, koska teräs on niin painavaa, mutta tämä ei muodostu ongelmaksi. Puurungon ja paroc-elementin kiinnitys on vaivatonta teräkseen. Näistä esimerkki liitokset luvuissa 4 ja 5. Hallirakennuksessa käytetään teräskaaria, joiden poikkileikkaus on IPE. Teräskaarien k/k jako on 4400mm. Hallirakennuksen pohjapiirroksesta (Liite 3) näkee teräskaarien jaon, ikkunoiden ja ovien paikat ja pystyy hahmottamaan hallin ulkomuodon. Hallirakennuksessa on harjakatto.

Runkorakenteena kyseessä on teräs, joten sen mukaan paloturvallisuus määritetään. Tämän hallin palovaarallisuusluokka on 1 ja suojaustaso on 1. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E2 2005.) Paloluokka tässä hallirakennuksessa on P3, koska rakennus on yksikerroksinen ja korkeus ei ylitä 14m. (RT 08-10808 2003.) Tämä tarkoittaa sitä, että teräsrakennetta voidaan aina käyttää suojaamattomana P3 rakennuksissa. Joten terästä ei jouduta suojaamaan palolta mitenkään. Suojaamattomassa teräsrakenteessa on vaikeaa saavuttaa R15 paloluokka, mutta se on mahdollista, jos laskelmissa käytetään pientä ylimitoitusta käyttölämpötilassa. R15 paloluokan saavuttaminen on ongelmallista, koska palotilan lämpötila nousee 15 minuutin standardipalossa jo noin 740°C. 600-800°C teräs menettää kantokykynsä. Ohutlevyrakenteiden ja hoikkien rakenneteräksestä valmistettujen rakenteiden lämpötila nousee samassa ajassa lähes palotilan lämpötilaan. Kuvassa 2 näkyy suojaamattoman teräsrakenteen lämpötilan nousu 15 minuutin standardipalossa. (RIL 195-2-2005, 53 .)



Kuva 2. Poikkileikkaustekijä F/V 50..1000 l/m ja resultoiva emissiokerroin 0,5

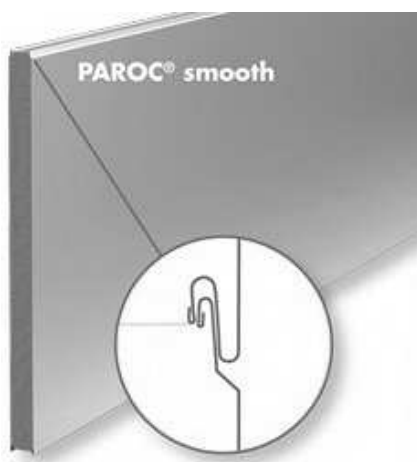
Hallin molemmissa päädyissä on hätäpoistumistiet. Savunpoisto toteutetaan painovoimaisesti käyttämällä hallin pitkäsivun yläosassa olevia ikkunoita. Tämä toteuttaa suojaustaso 1 vaatimukset. Hallin neljä korkeaa oviaukkoa toimii myös savunpoistona. Näin ollen toteutuu palovaarallisuusluokan 1 vaatimus mitoituksessa, savunpoistoaukkojen kokonaispinta-ala pitää olla palo-osaston lattiapinta-alasta vähintään 0,25-2%. (RIL 195-2-2005.)

4 PAROC-ELEMENTIT

Paroc Oy Ab on toiminut Suomessa jo vuodesta 1952 lähtien. Paroc-konserni on edelläkävijä energiatehokkaiden eristystuotteiden- ja ratkaisujen valmistajana. Paroc-tuotteita tekniset eristeet, rakennuseristeet, laivaeristeet, rakennuselementit ja akustointituotteet. Työssäni käytetään kahta eri paksuista rakennuselementtiä eli paroc-elementtiä. Käsitellään niiden ominaisuuksia ja miten ne suunnitellaan hallirakennuksen julkisivuksi. Luvussa 7 tehdään kustannuslaskenta ja aikataulu paroc-elementeille.

4.1 Paroc-elementit

Paroc-elementtejä käytetään ulko- ja väliseinissä sekä sisäkatoissa, ne ovat vuorivillytimisiä sandwichelementtejä. Paroc-elementtien ominaisuuksia ovat palamattomuus, lujuus, lämmöneristävyys ja tiiviys. Paroc-elementtiratkaisut täyttävät nykyaikaiset vaatimukset: paloturvallisuus, lyhyt rakennusaika, energiatehokkuus ja muunneltavuus. Kuvassa 3 näkyy paroc smooth elementtipinta, elementtejä on laaja valikoima erilaisia vaihtoehtoja. (Paroc:n www-sivut 2009.)



Kuva 3. Paroc smooth –seinäpinta. Elementtien liitos toisiinsa.

4.1.1 Tekniset ominaisuudet

Käytetään 150mm ja 200mm elementti paksuuksia. Elementin pinnat ovat teräsohuttelevy ja ydin Paroc structural vuorivillaa. Elementit ovat pitkäikäisiä ja niiden lujuus on hyvä, koska pintalevyt, ydin ja liimasidokset toimivat saumattomasti yhteistyössä. Ulkopinnalle tulee PVDF-pinnoite, joka kestää lian aiheuttamaa rasiusta ja UV-säteilyä. Elementin villa on erikoisvillaa, joka estää veden imeytymisen siihen, kosteus ei myöskään aiheuta haittaa villan säilyvyyteen. Paroc-elementtityyppiä on neljä erilaista, joilla on erilaiset tekniset ominaisuudet. Valitsen hallirakennukseen AST S elementtityypin, koska se on ulkokäyttöön ja se täyttää normaalit palovaatimukset.

Paroc-elementti on yhtenäinen ja kylmäsillaton eristyskerros, tämä takaa hyvän lämmöneristävyyden. Elementit ovat myös palamattomia, Euroluokka on A2-s1,d0. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2002, 4.) 150mm elementin lämmönlä-

päisykerroin on $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja EI 120 (palonkesto minuutteina). 200mm elementin lämmönläpäisykerroin $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja EI 240 (palonkesto minuutteina). Tiiviyshoidetaan elementeissä tiivisteellä, joka laitetaan ulkoseinissä elementtisauman ulko- ja sisäsaumaan. Näin saavutetaan myös sadevesitiiviyden luokka A. Elementtien pinnat ovat vesi- ja ilmatiiviitä. (Paroc:n www-sivut 2009.)

4.1.2 Mitoitus

Paroc-elementin max pituus voi olla 12000mm ja moduulileveys vakio 1200mm. Työssäni olevassa hallirakennuksessa k/k jako oli 4400mm, joten jänneväliä voisi kasvattaa vielä huomattavasti. Paroc-elementti ei siirrä suuria pystykuormia, pystykuormia aiheuttavat ikkunat tai yläpuolinen elementti. Suurin sallittu pystykuorma on $2,5 \text{ kN/m}$. Pystykuormat johdetaan kantavaan runkoon elementin läpi kulkevilla kiinnikkeillä. Elementin tukileveyden minimiarvo seinissä on 50mm. Elementit mitoitetaan tuulikuormalle ja jännevälikäyrien mukaan, jotka löytyvät paroc:n suunnitteluohjeesta. (Paroc:n www-sivut 2009.) Aukkojen teko elementtiin on otettava huomioon, ikkuna- ja oviaukot sekä läpiviennit saattavat alentaa elementin lujuutta. Aukotetut elementit on mitoitettava siten, että ne aukotuksesta huolimatta kestävät elementille tulevat kuormat.

Mitoidetaan 200mm elementti vaaka-asennuksena halliin, jonka k/k jako on 5000mm. Laskelmien perusteella elementti kestää hyvin, mikä oli odotettavissakin, koska k/k jako on niin lyhyt. Tuulenpaine $q_{sall} = 2,3 \text{ kN/m}^2 > 0,55 \text{ kN/m}^2$. Elementti kestää tuulenpaineen. Tuulenimu $q_{sall} = 1,9 \text{ kN/m}^2 > 0,52 \text{ kN/m}^2$. Elementti kestää tuulenimun. Laskelma löytyy liitteestä. (Liite 4). Näin ollen elementti kestää siihen kohdistuvat kuormitukset.

4.1.3 Kiinnitys ja asennus

Kiinnikkeitä valittaessa on otettava huomioon kuormat ja käyttöympäristö. Ulkoisesti näkyvät kiinnikkeet on hyvä olla ruostumatonta terästä. Elementit voidaan kiinnittää vaakaan, pystyyn tai diagonaalisesti. Elementit kiinnitetään yleensä läpimenevillä

kiinnikkeillä tai vaihtoehtoisesti L-profiileilla. Elementin kiinnikkeiden määrä riippuu kuormituksen imusta ja elementin pituudesta/jännevälistä ja elementin painosta. Kiinnikkeiden vähimmäismäärä on 2 kpl/elementin pää. Kiinnikkeiden vähimmäisetäisyys elementin päästä on 20mm. Kiinnikkeiden määrä elementin päässä lasketaan kaavasta: $N = 0,5 \times L \times b \times C_p \times q_w / F_{sall}$. Laskelman perusteella elementti, jonka pituus on 5000mm, saadaan kiinnikkeiden määräksi 3 per elementin pää. (Liite 5). Paroc-elementteihin kuuluu myös erilaisia peitelistoja, jotka kiinnitetään niiteillä tai ruostumattomilla ruuveilla. (Paroc:n www-sivut 2009.)

Elementtien keveys ja ennakkosuunnittelu helpottaa asennusta. Asennuskaaviot tulevat suoraan tehtaalta, joka helpottaa työmaalla asennustyön suunnittelua. Paroc panel system laatii arkkitehtikuvien perusteella elementtikuvat, joista käy ilmi asennusjärjestys. Paroc on myös kehittänyt patentoituja nostolaitteita elementtejä varten, nostolaitteet helpottavat ja nopeuttavat työtä. Työmaalla elementit sijoitetaan asennuskaavion avulla asennuspaikan lähelle. Vaaka-asennuksessa sokkeliin asetetaan tiiviste, jonka päälle U-profiili 8mm irti rungosta. Täytetään U-profiiliin vuorivillakaistalla ja asennetaan sokkelilista. Tämän jälkeen nostetaan elementti paikalleen ja kiinnitetään se valituilla kiinnikkeillä. Kun seuraava elementti nostetaan paikoilleen, varmistetaan, että elementin pontit ja ydin ovat tiiviisti yhdessä edellisen elementin kanssa. Kun kaikki elementit ovat paikoillaan, tilkitään aukot ja listoitetaan saumat. Seuraavissa liitteissä on detalji kuvat sokkeliliitoksesta ja kiinnitys teräsrunkoon. (Liite 6 ja 7). Detaljit ovat paroc:n detaljikirjastosta, joita on muokattu käsiteltävään hallirakennukseen sopivammaksi. (Paroc:n www-sivut 2009.)

4.1.4 Kunnossapito

Paroc-elementeissä on sileät pinnat, joten elementit on helppo pitää puhtaana. Tarvittaessa lika voidaan puhdistaa pesuaineilla ja vesipainepesulla (max 50bar). Vuosittainen huolto ja tarkastus on tärkeää elementin kannalta, kuin myös koko rakennuksen kannalta. Näin saavutetaan mahdollisimman pitkä elinikä rakenteelle. Elementistä on syytä tarkastaa painumat ja kolhut, maalipinnan kunto, elementtien kiinnikkeet, listojen kiinnikkeet ja tiiviys. (Paroc:n www-sivut 2009.)

5 PUURUNKO

Toisena ulkoseinä vaihtoehtona käytetään puurunkoa. Runko levytetään molemmin puolin kipsilevyillä ja ulkoseinän pintamateriaaliksi tulee peltiprofiili. Käsitellään puurungon teknisiä ominaisuuksia ja kerrotaan millaisella liitoksella puurunko kiinnitetään teräsruntoon. Luvussa 7 tehdään kustannusarvio ja aikataulu puurungolle.

5.1 Tekniset ominaisuudet

Käytetään 150mm ja 200mm puurunkoja. Ulkoseinät suunnitellaan siten, että rakennuskosteus tai seinään ulko- tai sisäpuolelta päässyt kosteus pääsee haitta aiheuttamatta poistumaan rakenteesta. Höyry- ja ilmatiiviys varmistetaan rakenteessa tarkoituksen mukaisella höyrynsululla, ilmansululla tai tuulensuojana. Höyrynsulku tulee lämmöneristyksen lämpimälle puolelle. Seinärakenne on suunniteltava siten, ettei ulkoverhouksen taakse pääse vettä tai suunniteltava siten, että vesi ja kosteus pääsevät poistumaan rakenteita vahingoittamatta. Ulkoverhouksen tausta on tuuletettava, ellei kosteus pääse muutoin poistumaan. Puurunko erotetaan ilmapölystä tuulensuojalla. Tuuletusvälin tulisi olla alhaalta ylös suuntautuva ja päistään avoin. Palokatkot tai rakennuksen suojaellitukset eivät saa estää ilman virtausta tuuletyväälissä. Ulkoseinän alareuna on oltava vähintään 0,3m viereisen maanpinnan yläpuolella. Sokkelin päällä oleva aluspöy erotetaan kosteuden siirtymisen katkaisevalla kerroksella kuten bitumikermillä alapuolisesta kivrakenteesta. Aluspöy ei ikinä saa jäädä betonin sisään. Pöy ja kiviaines erotetaan aina toisistaan esimerkiksi bitumikermillä. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C2 2003.)

Ulkoilmaan vasten rajoittuvat ja lämmöneristekerrokseen tulevat materiaalit ja niiden kiinnikkeet ja kannakkeet valitaan niin, että ne kestävät niihin kohdistuvat rasitukset. 150mm puurungon lämmönläpäisykerroin on 0,26 W/m²K ja 200mm puurungon lämmönläpäisykerroin on 0,20 W/m²K. Lämmöneristeenä ulkoseinissä on Isover KL 35 lasivillaeriste. Se on lahoamaton ja hajuton tuote eikä homesienet kasva siinä, se ei myöskään sisällä korroosiota aiheuttavia ainesosia. Suunnitteluarvo lambda on 0,035 W/mK. Rakennustarvikkeen luokka on A1-s1,d0 (palamaton tai lähes palamaton eriste). Tuulensuojana käytetään Gyproc GTS 9 tuulensuojalevyä ja sisäseinien

materiaalina on Gyproc GEK 13 erikoiskova. Gyproc levyillä saavutetaan hyvä pa-loeristys. Kipsilevyjä on helppo työstää ja asentaminen on nopeaa ja helppoa. Gyproc kipsilevyt luokitellaan A2-s1,d0-materiaaliksi.

Ulkoeristysena käytetään pelti profiilia, jonka takana tuuletusvälinä toimii 22mm vaakalaudoitus. Höyrysulkumuovi tulee lämmöneristyksen lämpimälle puolelle. Seuraavissa liitteissä julkisivu leikkaukset. (Liite 8 ja 9).

150mm ulkoseinärakenteen paloluokka on REI 30 ja 200mm paloluokka on REI 60. R= kantavuus, E= tiiviys, I= eristävyys ja kirjainyhdistelmän perässä oleva numero tarkoittaa palonkestävyyttä minuuteissa. (RT 82-10890 2007.) Gyproc levyt toimivat suojaavana materiaalina ja niiden savuntuotto on erittäin vähäistä ja palavia pisaroita tai osia ei esiinny. Ulkoseinärakenne ei kuitenkaan ole kantava rakenne hallissa vaan teräsrunko. P3-luokan hallirakennuksessa sisäpuoliset pintakerrokset voisivat olla luokkaa D-s2,d2 ja ulkoseinän ulkopinta luokkaa D-s2,d2 (esimerkiksi puu). (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2002, 18.)

5.2 Kiinnitys ja asennus

Teräsrunkoon hitsataan k600 jaolla teräslevyjä (140x170x5mm). Teräslevyjen päälle kiinnitetään puurunko ruuveilla. Näin ulkoseinästä tulee vankka. (Liite 10). Lämmöneriste laitetaan mahdollisimman tiiviisti puukoolausten väliin, niin ettei tule rakoja ja eriste on tasaisesti joka puolella. Höyrynsulkumuovi limitetään ja teipataan huolellisesti, niin ettei ilmarakoja synny. Gyproc levyt asennetaan valmistajan ohjeiden mukaisesti ja käyttäen niihin tarkoitettuja ruuveja. Käytettävät työ- ja kiinnitysmenetelmät eivät saa huonontaa puutavaran tai rungon laatua. Käytettäessä kyllästettyä puutavaraa vältetään kyllästämisen jälkeistä työstämistä. Kiinnitystarvikkeet tarvitsevat olla sellaisia, ettei ne halkaise puutavaraa. Runko tarvitsee suojata asentamisen ajan haitalliselta kosteudelta.

6 ELINKAARITALOUS

Rakennukselle halutaan yleensä mahdollisimman pitkäaikainen käyttö edullisin kokonaiskustannuksin, tulee se sitten vuokratyökaluun tai myydään pois. Käytännössä rakennuksen elinkaaritaloudellisuus tarkoittaa tarveharkintaista rakentamista edullisesti ja laadukkaasti. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen ja rakennusosien kestävyys on hyvä ja rakennusosien käyttöikä pitkä. Rakennuksen elinkaareen muodostamiseen vaikuttavat monet asiat raaka-aineiden laadusta ja jalostamisesta rakennusmateriaalien ja -tuotteiden varastointiin, kuljettamiseen ja käyttöön asti. Ylläpitovaiheessa merkitystä on käytetyillä materiaaleilla, energialla ja muilla panostuksilla. Syntyneiden jätteiden hyödyntäminen ja loppukäsittely on otettava myös huomioon. Työssä käydään läpi elinkaariarviointi ja elinkaarikustannus paroc-elementin ja puurungon osalta. Ulkoseinien käyttöikä on 50 vuotta peltiverhouksella ja kunnossapitajakso 20 vuoden välein. (Myyryläinen 2008, 19.)

6.1 Elinkaariajattelu

Rakennuksen elinkaari alkaa raaka-aineen käyttöön ottamisesta ja päättyy uudelleenkäyttöön, kierrätykseen tai loppusijoituspaikkaan. Tärkeää on ymmärtää erot elinkaaren, kestoajan ja käyttöiän välillä. Käyttöikä on rakennuksen hyötykäytön kannalta tärkein ominaisuus. Rakennuskohtainen käyttöikä saavutetaan ainoastaan huoltamalla rakennusosia ja tekemällä tarvittavat kunnossapitotoimet ajallaan. Tarve- ja hankesuunnittelussa ratkaistaan pääosin rakennuksen elinkaaren pituus ja elinkaaritalous. Rakennusta ei voida käyttää sen paremmin tai taloudellisemmin kuin millaiseksi se on alun perin suunniteltu ja rakennettu. Tarve- ja hankesuunnittelu luo perustan koko rakennuksen toimivuudelle ja elinkaarikustannuksille. Energia muodostaa rakennuksen elinkaarikustannuksista noin 80 %, joten energiatalouden ja sisäilmaston suunnittelu on erittäin tärkeää.

Tarvesuunnittelusta tarvitsi selvittää ainakin seuraavat asiat:

- tilantarpeen selvittäminen
- vaihtoehtoisten ratkaisujen laskeminen ja arviointi
- osto-, vuokraus- ja rakentamisvaihtoehtojen vertailu ja arviointi

- rakennuksen sijainnin, muodon ja korkeusaseman huomioon ottaminen mm. kunnallistekniikan ja energiatekniikan kannalta.

Tarvesuunnitelmaan kannattaa käyttää aikaa mieluummin vähän liikaa kuin liian vähän. Sama pätee myös hankesuunnitteluun. Hankesuunnittelussa on otettava huomioon seuraavat rakennukseen, sen ympäristöön ja toimintaan liittyvät asiat:

- tilantarpeet
- tilojen toiminta
- tilojen varusteet
- tilojen sisäilmaluokat
- elinkaari ja elinkaarikustannukset (LCA/LCC) eri vaihtoehdoissa, josta valitaan edullisin
- rakennuksen ulkomuotoon ja muihin ominaisuuksiin vaikuttavat seikat

Puutteellinen hankesuunnittelu johtaa huonoon lopputulokseen rakennuksessa ja nostaa ylläpito- ja energiakustannuksia. (Myyryläinen 2008.)

6.1.1 Teknistaloudellisen elinkaaren pituuteen vaikuttamien

Rakentamisen alkaessa olisi hyvä olla tiedossa rakennuksen toivottu toiminnallinen ja taloudellinen käyttöikä. Tuotantorakennuksissa tämä on hankalaa, koska se on voimakkaasti riippuvainen markkinataloudesta ja sen sykleistä. Virheelliset rakennusinvestoinnit on mahdollista ottaa huomioon hyvällä tulevaisuuden suunnittelulla, mikä on kylläkin vaikeaa. Rakennukset voidaan myös tehdä monikäyttöisiksi, jolloin käyttötarkoitusta on helpompi muuttaa tarvittaessa. Rakennus voidaan alun perin rakentaa 20 vuoden käyttöajalle, jonka jälkeen rakennus puretaan. Tässä vaihtoehdossa ei tarvitse ottaa huomioon muunneltavuutta. Rakennus voidaan rakentaa myös siirrettäväksi. Tällöin rakenteet tarvitsevat olla sen mukaiset. Jotta rakennuksen laatu säilyisi, on tehtävä huoltoja, ylläpitäviä ja aktivoitavia korjauksia sekä peruskorjauksia. Teknistaloudellisen elinkaaren pituus eli käyttöikä voidaan määrittellä rakennusinvestoinnin rakennusosien suhteellisten osuuksien ja rakennusosien käyttöikäen perusteella. Rakennusosien käyttöikä voi olla tilastollinen, kokemuseräinen tai uusien rakennusosien ja järjestelmien osalta muutoin harkittu. (Myyryläinen 2008.)

6.2 Elinkaaren luonnontalous

Rakennusten elinkaaren merkittävämpiä ympäristöhaittoja ovat uusiutumattomien energiavarojen kulutus, sekä ilman saasteiden ja jätteiden tuottaminen. Suomessa syntyy vuosittain noin 3,5 miljoonaa tonnia varsinaista rakennus- ja purkujätettä, sekä 3-8 miljoonaa tonnia ylijäämämassoja. Rakennusten purkaminen tuottaa valtaosan rakennusjätteistä. Purkujätettä muodostuu varsinaisen purkamisen ohella myös korjausrakentamisessa. (Murtomaa 2005, 431.) Rakennusmateriaalien, -tarvikkeiden, -osien ja rakenteiden valmistuksen ympäristöprofiili arvioidaan laskennallisesti ympäristöhaittoina, jotka kootaan luokitelluiksi ympäristöprofiileiksi. Tällöin käsitellään raaka-aineiden ja materiaalien hankinta, kuljetukset valmistuspaikalle ja valmistusprosessi. Tulosta kutsutaan tuotteen ympäristöprofiiliksi, tämä arvo soveltuu myös suunnittelijan käyttöön.

Elinkaarianalyysinä tehtävässä ympäristöhaittalaskelmassa arvioidaan kaikki ympäristöhaitat, jotka syntyvät tuotteen koko elinkaaren aikana eli

- valmistusvaiheessa
- kuljetuksissa
- työmaatuotannossa
- käytössä
- huollossa
- purkuvaiheessa
- uusiokäytössä
- purkujätteiden käsittelyssä

Rakennusosien uudelleenkäyttö ja rakennusaineiden kierrätys otetaan huomioon ympäristöhaittaa vähentävänä tekijänä. Rakennussuunnittelijan tehtävä on rakenneratkaisujen valinnan lisäksi laskennallisesti esittää eri vaihtoehdoille rakennuksen toteutukseen ja rakennusosien ylläpitoon liittyvät ympäristöhaitat.

Summaamalla eri rakennusosien aiheuttamat ympäristöhaitat saadaan koko rakennuksen ympäristöhaitat. Rakenneratkaisua valittaessa pitää ottaa kuitenkin huomioon kokonaisuus, eikä pelkästään ympäristöhaittaa. Esimerkiksi seinärakenteissa suunnittelun tärkein tehtävä on sen energiataloudellinen optimointi, koska energiakulutuksen kasvaessa päästöt kymmenkertaistuvat verrattuna tuotteiden valmistukseen, kuljetuk-

seen ja työmaatuotantovaiheeseen. Osa rakenteiden ympäristöhaitoista, lähinnä raaka-aineiden kulutus ovat suoraan verrannollisia rakentamisessa käytettyyn materiaalmäärään. Rakenteiden valmistusvaiheen osuus koko rakennuksen elinkaaren raaka-ainekulutuksesta on (50-60 %), tähän osuuteen rakennesuunnittelija voi vaikuttaa. Siksi kannattaa suunnitella uudelleenkäytettäviä ja kierrätettäviä rakenteita. (RIL 216-2001.)

Elinkaarikulujen laskutapa luonnontaloudessa on laskumenetelmänä samanlainen kuin rahataloudessa. Luonnontalouden elinkaarikulut voidaan syntytapansa mukaan luokitella kululuokkiin kuten rahatalouden kustannukset. Luonnontalouden kuluja:

1. Luonnonvarojen kulutus

- Luonnon raaka-aineet
- Vesi
- Energia

2. Päästöjen tuotto

- Maaperän saasteet
- Ilman saasteet
- Kaatopaikkajätteet

Materiaalien, rakennusosien ja rakennuksen valmistusvaiheen ympäristövaikutuksia aiheuttavat ympäristöhaitat ilmoitetaan yleensä rakennustuotteiden ympäristöselosteissa toiminnallista yksikköä (esimerkiksi seinä-m²) tai paino- ja tilavuusyksikköä (esimerkiksi kg, m³) kohti. (RIL 216-2001.)

6.3 Elinkaariarviointi (LCA)

Elinkaariarviointi tarkoittaa menettelyä, jonka avulla selvitetään, mitä ympäristövaikutuksia tuotteella tai toiminnalla on sen koko elinkaaren aikana. Elinkaariarviointiin kuuluu tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten tuotosten ja syötteiden sekä ympäristövaikutusten koostaminen ja arviointi.

6.3.1 Paroc-elementin elinkaariarviointi

Paroc-elementin energiatasapaino on positiivinen: elementin valmistukseen ja asennukseen kulutettu energiamäärä on alhaisempi kuin sen avulla saavutettu energiasäästö rakennuksen elinaikana. Elementin käyttöikä huoltomaalauksien kanssa on yli 50 vuotta. Ympäristöhaittoja tulee elementtien valmistuksesta ja kuljetuksista. Kuljetukset ovat massiivisia, koska elementtien pituudet voivat olla 12000mm. Elementit sisältävät: sinkkipinnoitettua terästä, erikoisliimaa ja vuorivillaa. Elementissä on käytetty myös monikerrospohjamaalaa ja muovia pinnoitteena. (Paroc:n [www-sivut](http://www.paroc.fi) 2010.)

Vuorivillan ympäristövaikutukset: Vuorivilla valmistetaan kotimaisesta kiviaineesta, sideaineena toimii kertamuovi, jonka raaka-aineena on öljy. Nämä ovat uusiutumattomia luonnonvaroja. Elementissä liimattuna olevaa villaa ei pystytä käyttämään oikeastaan mihinkään käytön jälkeen. Vuorivilla sisältää uusiutumattonta energiaa 23 MJ/kg ja uusiutuvaa 0,54 MJ/kg. Ilman lämpenemiseen vaikuttavia päästöjä valmistuksessa aiheutuu 1400 CO₂/kg.

Teräksen ympäristövaikutukset: Terästä valmistetaan korkeissa lämpötiloissa ja energiantarve on suuri. Metallituotteiden energiasisällön kotimaisuusaste on noin 10-20 %. Raakateräksen valmistukseen malmista tarvitaan energiaa 5,78 kWh/kg. Rakentamisessa syntyneen metallijätteen kierrätysprosentti on parhaimmillaan 91 %. Käytön ja purkamisen jälkeen teknisesti hyvässä kunnossa olevaa materiaalia käytetään rakennusosien valmistuksessa. Teräsjätettä voidaan myös kierrättää metalliro-muna, jolloin sitä voidaan käyttää teräksen valmistuksessa raaka-aineena. Tämä vähentää merkittävästi ilmansaasteita ja kaivosten aiheuttamia ympäristökuormia. Sinkkipinnoitettu teräsohutelevy sisältää uusiutumattonta energiaa 15 MJ/m² ja uusiutuvaa 1,7 MJ/m². Valmistuksessa aiheutuu ilman lämpenemiseen vaikuttavia päästöjä 900 CO₂/m². (RIL 216-2001, 287.) (Siikanen 2001.)

6.3.2 Puurungon elinkaariarviointi

Puurunkoisen ulkoseinän käyttöikä peltiverhouksella on 50 vuotta, mikä on sama kuin paroc-elementeillä. Puu on tietysti raaka-aineena suomessa erinomainen, koska sitä on paljon saatavilla ja se on uusiutuva luonnonvara. Ulkoseinän tekemisessä syntyy myös ympäristöhaittoja. Puurunkoinen ulkoseinä sisältää: puuta, lasivillaa, polyeteenimuovikalvoa ja kipsilevyä. Ulkoverhouksena käytetään tässä tapauksessa peltiä.

Puun ympäristövaikutukset: Puusta ei sinänsä itsestään synny ympäristövaikutuksia. Kuitenkin puunkaadosta sahatavaraksi työmaalle on monia vaiheita, joista syntyy ympäristöhaittoja. Puunkaadossa käytettävät metsäkoneet, kuljetukset sahalle ja sahalla myyjille tai suoraan työmaalle tuottavat ympäristöhaittoja, mutta nämä ovat kuitenkin olemattomia verrattuna esimerkiksi teräksen ympäristöhaittoihin. Ilman lämpenemiseen vaikuttavia päästöjä sahatavaran valmistuksessa aiheutuu 80 CO₂/kg. (RIL 216-2001, 287.) Puurungossa voidaan joutua käyttämään vähäisesti myös kyllästettyä puutavaraa. Kyllästyksessä käytettävät suoja-aineet ovat vesiliukoiset kyllästeet (suolakyllästeet), kreosoottiöljy ja öljypohjaiset kyllästeet. Käsiteltävässä hallissa kyllästetyn puutavaran määrä jää kuitenkin muutamaan kymmenen metriin, joten niiden ympäristövaikutus on erittäin pieni.

Lasivillan ympäristövaikutukset: Lasivillan raaka-aineet ovat kvartsihiekkä, sooda ja kalkkikivi. Raaka-aineet ovat uusiutumattomia. Lasivillan kuituraaka-aineesta noin 60 % on kierrätyslasiä. Villat eivät maadu, mutta niitä voidaan käyttää keventävänä materiaalina esimerkiksi maanrakennustöissä. Rakennusaikaiset hukkapalat voidaan käyttää puhallusvillan joukossa lämmöneristeenä. (Siikanen 2001.)

Polyeteenimuovikalvon ympäristövaikutukset: Muovit valmistetaan pääosin hiilivedyistä, jotka ovat öljyjalostuksen sivutuotteita. Muovien materiaalikierrätys uudelleen tuotteeksi on mahdollista. Ilmaston lämpenemiseen vaikuttavia päästöjä syntyy 1400 CO₂/kg. (Häkkinen & Vares 1997, 59.)

Kipsilevyn ympäristövaikutukset: Kipsikartonkilevyt valmistetaan maaperästä saatavasta kalsiumsulfaattista tai hiilivoimaloista syntyvästä kipsistä. Levyistä syntyvä

kipsijäte on kierrätettävissä takaisin levyn valmistusprosessiin. Levyjäte voidaan jauhattuna käyttää maanparannusaineena. Valmistajat ottavat vastaan puhtaat levyjätteet ja ne hyödynnetään sataprosenttisesti. Elinkaaren aikana ilman lämpenemiseen vaikuttavat päästöt ovat 440 CO₂/kg. (Siikanen 2001.)

Peltiverhouksen ympäristövaikutukset: Raaka-aineena käytetään maalipinnoitettuja teräskeloja. Uusiutumattoman energian kulutus 18,5 MJ/kg ja uusiutuvan energian kulutus 2,2 MJ/kg. Päästöt ilmaan 1150 CO₂/kg. Teräs voidaan kierrättää ja uudelleenkäyttää.

6.3.3 Yhteenveto

Molempien ulkoseinien valmistuksessa ja tekemisessä syntyy erilaisia ympäristöhaittoja, kuitenkin niitä on yritetty välttää mahdollisuuksien mukaan, tinkimättä kuitenkaan seinien energiankulutuksesta. Paroc-elementti on yhteen liimattu kokonaisuus, tämä ei kuitenkaan hankaloita eri materiaalien lajittelua. Parocin tehtaalla lajittelu onnistuu, siellä saadaan villa erotettua teräsohutlevystä, ja näin kierrätys onnistuu. Koko paroc-elementti valmistetaan Paraisten tehtaalla yhdessä paikassa.

Puurungossa on taas paljon eri materiaaleja, jotka tulevat eri paikoista työmaalle. Hallirakennukseen tarvittava materiaalien määrä on niin suuri, että tuotteet tulevat suoraan valmistajilta ja näin syntyy kuljetuksista ympäristöhaittoja. Tässä tapauksessa paroc-elementit ovat ympäristöystävällisempiä. Kokonaisuudessa paroc-elementin kierrätys prosessi on parempi, koska koko prosessi hoidetaan tehtaalla, jossa materiaalit erotetaan toisistaan ja kierrätetään. Puurungon kaikki materiaalit eivät välttämättä rakennuksen purkamisen yhteydessä päädy kierrätykseen, vaan osa materiaaleista voi joutua kaatopaikalle.

Näiden perusteella paroc-elementin ympäristövaikutukset elinkaaren aikana ovat pienemmät kuin puurungolla.

Seuraavissa taulukoissa yhteenveto seinärakenteiden ympäristövaikutuksista. Tulokset ovat peräisin VTT:n tekemästä tutkimuksesta. (Häkkinen & Vares 1997.)

Taulukko 1. Puurunkoisen ulkoseinän ympäristövaikutus.

Materiaali	Hukka	Tiheys	Energia		Raaka-aineet		ILV	HV
			Uusiu- tumaton	Uusiutuva	Uusiu- tumaton	Uusiutuva		
	%	kg/m ³	MJ/kg	MJ/kg	kg/kg	kg/kg	g/kg	g/kg
Pelti	0,5	7850	18,5	2,2	0,65	0	1150	3,5
Kipsilevy	10	700	7,1	0,061	0,8	0	440	0,91
Sahatavara	6	492	1,6	20,7	0	1	80	0,62
Lasivilla	8	22- 250	31	4,2	1,5	0	1500	9,2
Höyrysulku	0,1		87	1,6	1,86	0	1400	18
Kipsilevy	10	700	7,1	0,061	0,8	0	440	0,91
yht.			152,3	28,8	5,6	1	5010	33,1

ILV = ilmaston lämpenemiseen vaikuttavat päästöt HV = Happamoitumiseen vaikuttavat päästöt

Taulukko 2. Paroc-elementin ympäristövaikutus.

Materiaali	Hukka	Tiheys	Energia		Raaka-aineet		ILV	HV
			Uusiu- tumaton	Uusiutuva	Uusiu- tumaton	Uusiutuva		
	%	kg/m ³	MJ/kg	MJ/kg	kg/kg	kg/kg	g/kg	g/kg
Teräslevy	0,5	7850	15	1,7	0,55	0	900	3,3
Vuorivilla	8	22- 250	23	0,54	1,5	0	1400	8,3
Muovi	0,1		85	1,6	1,8	0	1400	18
Maalaus			24	0,81	1,3	0	1200	12
yht.			175	4,65	5,15	0	4900	41,6

ILV = ilmaston lämpenemiseen vaikuttavat päästöt HV = Happamoitumiseen vaikuttavat päästöt

Taulukoista 1 ja 2 nähdään, että erot seinärakenteiden ympäristövaikutuksien välillä ovat vähäiset. Eroja tulee uusiutuvassa energiassa ja uusiutuvissa raaka-aineissa. Uusiutuvaa energiaa puurunkoisesta seinästä syntyy 28,8 MJ/kg, kun paroc-elementissä energiaa syntyy vain 4,65 MJ/kg. Uusiutuvaa raaka-ainetta puurungosta syntyy sahatavaran ansiosta 1 kg/kg, koska puu on uusiutuvaa raaka-ainetta. Paroc-elementissä ei uusiutuvaa raaka-ainetta ole. Paroc-elementin ilman happamoitumiseen vaikutta-

vat päästöt ovat 41,6 g/kg ja puurungon päästöt 33,1 g/kg eli paroc-elementin päästöt tässä ovat noin neljäsosan suuremmat kuin puurungon. Muuten yhteenlasketut arvot ovat lähellä toisiaan.

6.4 Elinkaarikustannus (LCC)

Elinkaarikustannus tarkoittaa rakennuksen, laitteen tai järjestelmän elinkaaren hankinta-, käyttö-, kunnossapito- ja uusimiskustannusten summaa. Elinkaarikustannuslaskenta on helpoimmin toteuttavissa perinteisin laskentamenetelmin manuaalisesti tai atk-tekniikkaa hyödyntäen. Elinkaarilaskenta voidaan tehdä yksittäisistä laitteista, rakennusosasta tai koko rakennuksesta. (Myyryläinen 2008, 20.)

6.4.1 Paroc-elementin ja puurungon elinkaarilaskentaa

Elinkaarilaskenta voidaan tehdä ulkoseinärakenteista. Vaihtoehtoina ovat paroc-elementti ja puurunko. Molempien ulkoseinien osalta lasketaan investointi, korko ja investoinnin käyttöaika. Näiden mukaan lasketaan vuotuinen pääomakustannus, esimerkiksi €/seinä-m².

150mm puurungon materiaalien neliöhinnaksi saadaan n. 31,6 €/m² ja paroc-elementin neliöhinta on n. 50 €/m² 150mm paksuudella. 200mm puurungon materiaalien neliöhinnaksi saadaan n. 35,8 €/m² ja paroc-elementin neliöhinta on n. 60 €/m² 200mm paksuudella. (Liite 11). Investointien käyttöiät ovat molemmilla seinärakenteilla samat eli 50 vuotta. Molemmissa ulkopinnan materiaali on teräksestä tehtyä ohutlevyä. Sisäpuolen materiaalina paroc-elementissä on teräsohutlevy, kun taas puurungossa se on kipsilevyä, tämä voi aiheuttaa enemmän korjauskustannuksia kipsilevyn rikkoutumisen takia. Tähän on kuitenkin helpot paikkausmenetelmät olemassa.

Kunnossapitokustannus lasketaan keskimääräisenä kokemusperäisenä arvona, joka määritellään laatuvaatimusten mukaisesti 0-0,5 % vuodessa rakennusinvestoinnista. Hallirakennukseen valitaan kunnossapidon laatutasoksi 0,2 % (tyydyttävä). Paroc-elementin kunnossapitokustannus olisi 0,12 €/m² vuodessa/200mm ja 0,1 €/m² vuo-

dessa/150mm. Puurungon kunnossapitokustannus olisi 0,07 €/m² vuodessa/200mm ja 0,06 €/m² vuodessa/150mm. Kulumisesta ja vanhenemisesta aiheutuu myös poistoa ja tähän käytetään tasapoistoa eli vanheneminen ja kuluminen tapahtuu tasaisesti koko käyttöiän aikana. Kun käyttöiäksi on arvioitu 50 vuotta, poisto on vuodessa 1/50 hankintahinnasta eli 2 % vuodessa. (Myyryläinen 2008.)

Hallirakennuksen ulkoseinien kokonaisneliömäärä on n. 521 m². Seuraavassa taulukossa on laskettu seinärakenteiden kunnossapitokustannukset koko käyttöiän aikana.

Taulukko 3. Kunnossapitokustannukset 50 vuoden aikana.

Seinärakenne	Määrä	Vuosi	50 vuotta	Nykyarvo korkokanta 4%
Puurunko 150mm	521,3 m ²	31,30 €	1 563,90 €	1 477,80 €
Puurunko 200mm	521,3 m ²	36,50 €	1 824,60 €	1 754,40 €
Paroc-elementti 150mm	521,3 m ²	52,10 €	2 605 €	2 504,80 €
Paroc-elementti 200mm	521,3 m ²	62,60 €	3 127,80 €	3 007,50 €

Taulukosta nähdään, että 200mm paksuisen paroc-elementin nykyarvo on suurin 3007,50 €. Pienin nykyarvo 1477,80 € saadaan 150mm puurungolla, tämä on yli puolet pienempi kuin 200mm paroc-elementin.

Elinkaarilaskennassa selviää, että paroc-elementtien neliöhinnat ovat huomattavasti korkeammat, kuin puurungon. Myös kunnossapitokustannukset nousevat korkeammaksi paroc-elementeissä. Tämä ei kuitenkaan kerro koko totuutta, siitä että puurunkoinen ulkoseinä tulisi näin paljon edullisemmaksi. Seuraavassa luvussa käydään läpi kustannuslaskentaa ja aikataulut ulkoseinien osalta, josta selviää lopullinen hinta sekä paroc-elementeille että puurungoille.

7 KUSTANNUSLASKENTA JA AIKATAULUT

Kustannuslaskennassa käytetään Ratun työ- ja materiaalimenekkejä. Lasketaan puurungon ja paroc-elementin materiaalikustannukset ja työkustannukset hallirakennukseen. Tehdään myös näille aikataulut. Aikataulut tehdään Planet +6.2 ohjelmalla. Tehdään ensin kustannuslaskenta ja aikataulut pienempään hallirakennukseen, jonka seinäpinta-ala on 521,3m². Pohjapiirros liite 3. Myöhemmin vertaillaan miten hallin koko vaikuttaa kustannuksiin ja aikaan eli otetaan laskelmiin isompi hallirakennus. Sen seinäpinta-ala on 1162m² ja katsotaan miten aikataulut ja kustannukset muuttuvat. Saadaanko ulkoseinille eroa suuntaan tai toiseen.

7.1 Ratu-tiedosto

Ratu-tietoja käytetään hankkeen eri vaiheiden aikataulu- ja kustannussuunnittelussa. Tiedot soveltuvat työmaan tuotannosuunnittelun avuksi eri vaiheissa. Menekkitietojen avulla voidaan tarkistaa tarvittavan työryhmän koko, suunniteltavan työkokonaisuuden kesto ja työsaavutus. Näin varmistetaan, että tarvittavat resurssit ovat käytettävissä, ja voidaan laatia työlle realistinen aikataulu välitavoitteineen. Samoin voidaan tahdistaa tehtävät siten, että vältetään turhaa odottelua ja töiden päällekkäisyyttä työmaalla. Menekkitietojen avulla voidaan vertailla eri materiaalivaihtoehtojen, tuotantotapojen ja työmenetelmien vaikutuksia työkokonaisuuden kustannuksiin ja kestoon. Kustannussuunnittelussa tarvitaan menekkitietojen lisäksi materiaalien ja työn kustannustietoa, näin suunniteltuja kustannuksia voidaan verrata tavoitearvion kustannustavoitteisiin. (Koskenvesa 2009, 9.)

7.1.1 Käsitteet

Tehollinen aika, työvuoroaika T3

Työmenekkitiedot on ilmoitettu tehollisina aikoina eli työvuoroaikoina. Työmenekit eivät sisällä yli tunnin mittaisia häiriöitä tai keskeytyksiä. Tehollista aikaa käytetään viikkoaikatauluja, rakentamisvaihe aikatauluja ja tehtäväsuunnittelua tehdessä.

Kokonaisaika T4

Kokonaisaika eli työvaihe aika sisältää kaikki työhön käytetyt tunnit, myös yli tunnin mittaiset keskeytykset. Kokonaisaika käytetään yleisaikataulun laadintaan ja kustannusten laskentaan. Kokonaisajat saadaan kertomalla työvuoroajat TL3-kertoimella, eri työajilla on oma TL3 kerroin.

Työvaiheen lisäajat TL3

Työvaiheen lisäajat ovat vähintään tunnin pituisia työn keskeytyksiä, pieniä erillisiä työvaiheita tai laitteiden ja koneiden rikkoutumisia tai huoltoja, säähaittoja, odotusaikoja tms. TL3-kerroin vaihtelee 1,10-1,30 välillä työajista riippuen.

Materiaalihukka

Materiaalien kokonaishukka muodostuu menetelmällisestä ML2, työvaihelisästä ML3 ja työmaallisesta ML4. Menetelmällisä tarkoittaa työmenetelmästä johtuvia pieniä hukkapaloja, joille ei työmaalla ole käyttöä. Työvaihelisää ovat mm. suuret materiaalien hukkapalat, joille tulisi löytyä työmaalla käyttöä. Työmaallisä aiheutuu materiaalien huonosta varastoinnista tai huolimattomista ja suunnittelemattomista siirroista. Näistä aiheutuu materiaalien rikkoutuminen, katoaminen, kastuminen tai käyttö johonkin toiseen tarkoitukseen. Materiaalien teoreettiset menekit sekä kokonaishukat ovat työajittain. Kokonaishukka ML5 on eri materiaalihukkien summa.

7.1.2 Laskenta

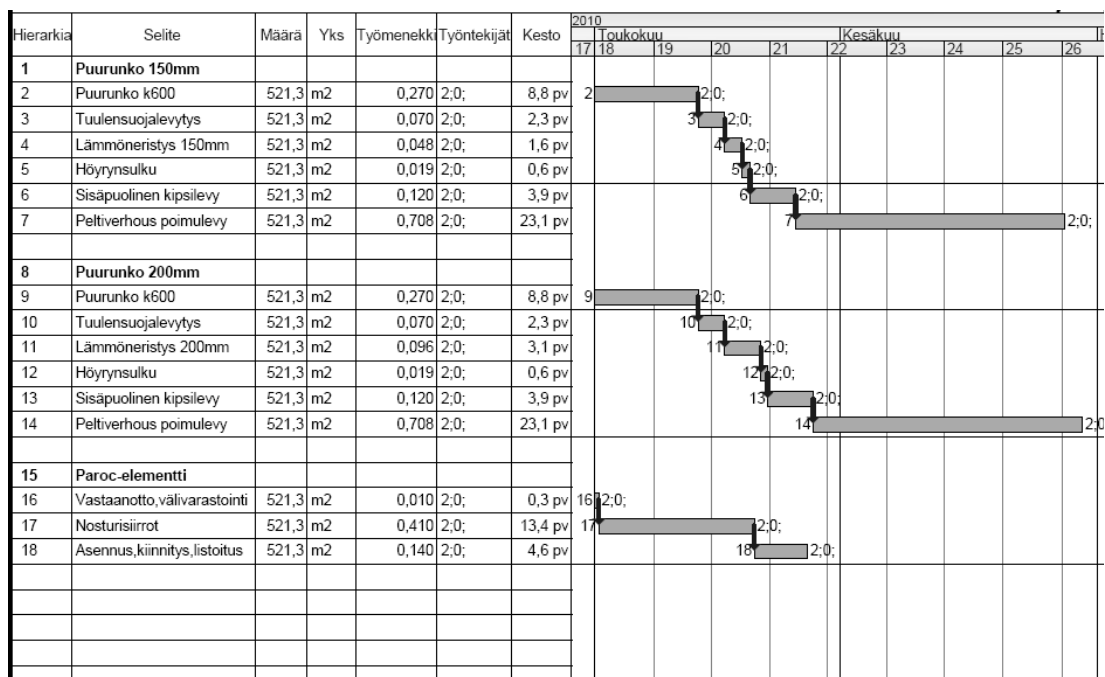
Tehtävän työmenekkiä laskettaessa työmenekkitiedoista kootaan suunniteltavan tehtävän työsisältöä vastaava työmenekkit kokonaisuus ja lasketaan työmenekit yhteen. Työnosien työmenekkien yksiköiden tulee olla samoja (esimerkiksi tth/m²). Tehtävän työmenekki (tth) saadaan kertomalla yksikköä kohden laskettu työmenekki (tth/m²) työn laajuudella (m²). Lyhenne tth/m² tarkoittaa työntekijätuntia neliötä kohti. (Koskenvesa 2009.)

7.2 Kustannukset ja aikataulut

Työmenekit kustannuslaskentaan otetaan Rakennustöiden menekit 2010 kirjasta ja viikkoaikataulun menekit otetaan Aikataulukirjasta 2008. (Koskenvesa & Mäki 2009.) (Koskenvesa & Mäki 2007.) Materiaalikustannuksia laskiessa otetaan huomioon puurungon materiaalihukat. Paroc-elementissä materiaalihukkaa ei tule, koska elementointisuunnittelu ja sahaukset tehdään jo tehtaalla. Työkustannuksia laskiessa käytetään kokonaisaika T4, joka sisältää kaikki työhön käytetyt tunnit. Tuntipalkka valitaan rakennusalan työehtosopimuksesta, palkkaryhmä neljän mukainen palkka eli 12,5 €/h. Sosiaalikulujen osuus on 70 %. (Finlex:n www-sivut 2010.) Aikatauluja tehdessä käytetään työryhmää 2 RAM eli kahta rakennusammattimiestä.

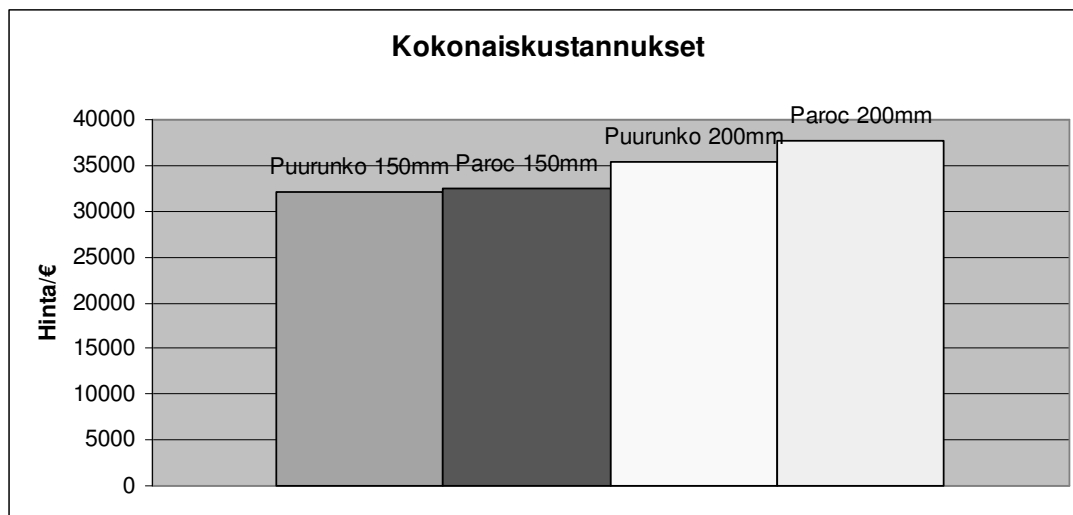
Puurungon viikkoaikataulussa jaotellaan työlajit/rakennusosat siihen järjestykseen, miten ne työmaalla tehdään. Planet ohjelmalla asetetaan työlajeille riippuvuudet eli kun ensimmäinen työvaihe saadaan suoritetuksi niin toinen alkaa. 150mm ja 200mm puurungon aikataulut ovat muuten samat, mutta ainoa ero tulee lämmöneristyksen asentamisessa. 150mm seinään tulee yksikerros lämmöneristettä, kun taas 200mm seinään tulee kaksi kerrosta 100mm lämmöneristettä. 200mm seinän villoitus kestää 3,1 työvuoroa ja 150mm seinän villoitus kestää 1,6 työvuoroa. Tämä aiheuttaa sen, että kokonaiskesto puurungolla (200mm) on 41,8 työvuoroa ja puurungon (150mm) kokonaiskesto on 40,3 työvuoroa. Näin 200mm puurungon tekeminen kestää paksuuden villoituksen vuoksi kauemmin.

Paroc-elementtien paksuus ei vaikuta asentamiseen, joten aikataulut ovat sekä 150mm että 200mm elementeissä samat. Paroc-elementtien kokonaiskesto on 18,3 työvuoroa. Kuvassa 4 näkyy ulkoseinien viikkoaikataulut. Viikkoaikataulut myös liitteessä 12.



Kuva 4. Ulkoseinien viikkoaikataulut.

Kustannuslaskennassa 200mm paroc-elementin materiaalikustannukset ovat 31278 € ja 150mm elementin 26065€. Työkustannukset ovat 6460,50 € molemmissa elementteissä. (Liite 13). Puurungon materiaali- ja työkustannuksissa tulee eroja 150mm ja 200mm paksuuksilla. Materiaalikustannuksissa erot syntyvät puutavarasta ja lämmöneristyksestä. Työkustannuksissa eroa tulee, koska paksumman puurungon tekemiseen menee enemmän aikaa. Materiaalikustannukset 200mm puurungolla ovat 25706,40 € ja työkustannukset ovat 9694,60 €. 150mm puurungon materiaalikustannukset ovat 22884,60 € ja työkustannukset ovat 9210,50 €. (Liitteet 14,15). Kuvassa 5 näkyy ulkoseinien työ- ja materiaalikustannukset yhteenlaskettuna pylväskaaviossa.



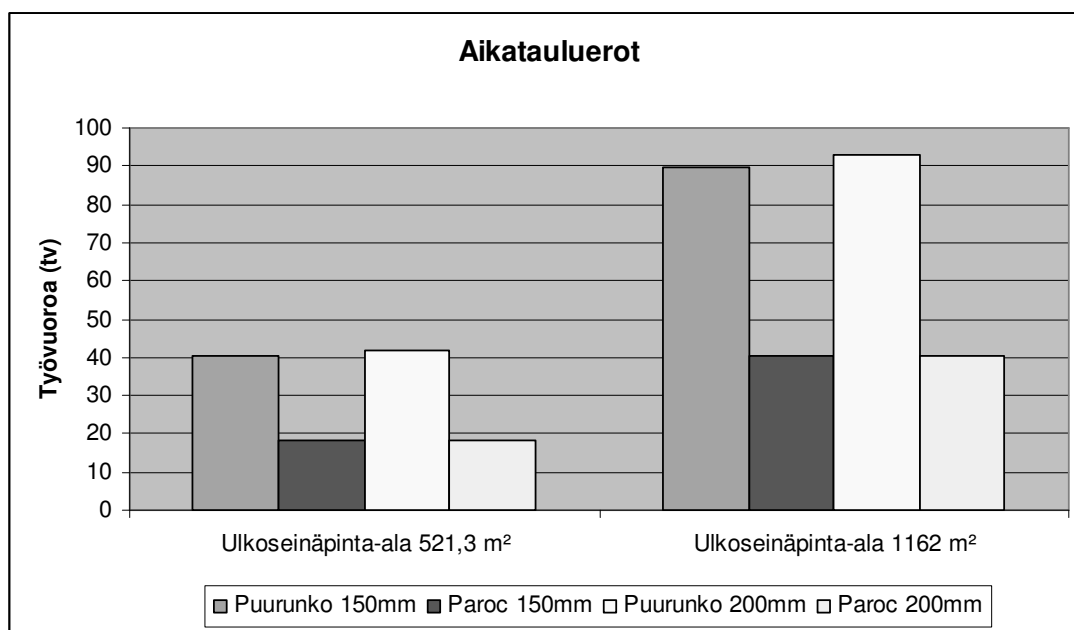
Kuva 5. Ulkoseinien kokonaiskustannukset.

Kuvasta nähdään, kun työ- ja materiaalikustannukset ovat laskettuna yhteen, että 150mm paroc-elementillä ja puurungolla ei ole paljon eroa kustannuksissa. Miettien, että paroc-elementit asentaa vielä hallirakennukseen puolet nopeammin. Ei ole epäselvää kumman ulkoseinävaihtoehdon valitsee. 200mm puurungossa ja paroc-elementissä eroa kustannuksissa syntyy jo hieman, mutta isossa rakennusprojektissa tämä on pieni summa siitä, että saadaan elementeillä puolet nopeammin ulkoseinä valmiiksi.

Aikatauluissa eroa 150mm puurungon ja paroc-elementin välille tulee 55 %, se on paljon. Kustannuksissa eroa tulee vain 1,3 %. Kustannuksia ajatellen voisi ulkoseinäksi valita kumpi tahansa, mutta aikataulu huomioonottaen paroc-elementit ovat hallirakennukseen parempi vaihtoehto kuin puurunko. Jos ajattelee, että 150mm ulkoseinät ovat vuoden 2010 vaatimusten mukaiset ja vuonna 2012 vaatimukset kiristyvät jälleen, kannattaisiko rakentaa heti 200mm paksuinen ulkoseinä. Ajallisesti tästä ei tulisi juuri mitään eroa. Kustannukset olisivat 200mm puurungolla noin 3000 € enemmän ja 200mm paroc-elementillä noin 5000€ enemmän. Nämä luvut säästettäisiin kuitenkin lämmityskustannuksissa ja tekisi rakennuksesta energiatehokkaamman.

7.3 Hallin koon vaikutus kustannuksiin ja aikaan

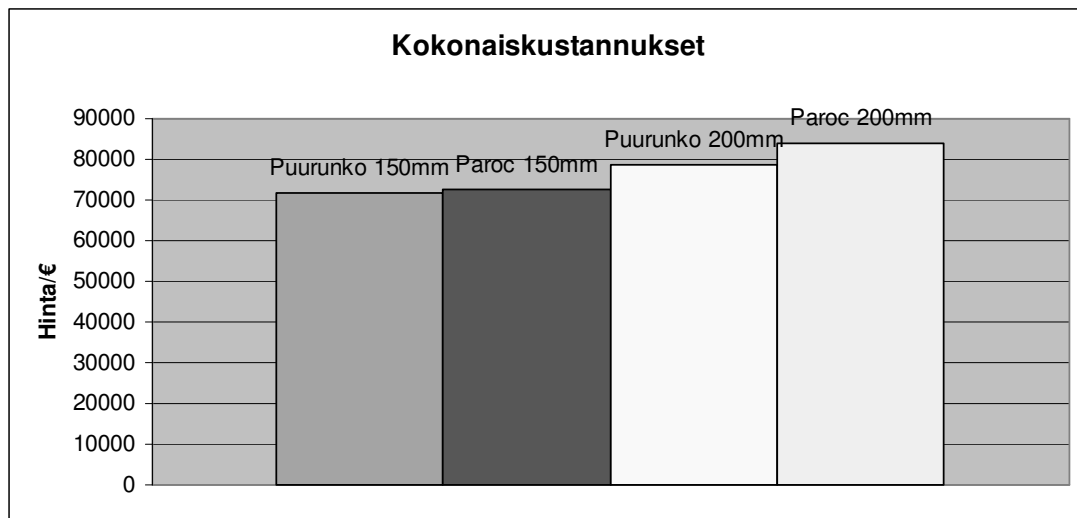
Hallirakennuksen kokoa kasvatettaessa kustannukset kohoavat ja aikaa menee enemmän. Katsotaan miten erot kasvavat, kun rakennettaisiin halli, jonka seinäpinta-ala olisi 1162m². Aikatauluissa erot vain suurenevät puurungon ja paroc-elementin välillä. Kuten kuvasta 6 voi nähdä.



Kuva 6. Hallin koon vaikutus aikatauluihin.

Pienemmän hallin ulkoseinän tekeminen puurungolla vie aikaa saman verran, kuin isomman hallin tekeminen paroc-elementillä. Tämä kertoo paroc-elementtien nopeuden rakentamisessa.

Kuvassa 7 näkyy kokonaiskustannukset isommasta hallirakennuksesta.



Kuva 7. Ulkoseinien kokonaiskustannukset.

Kuvasta 5 nähdään, että erot kasvavat mitä suurempi halli on. 200mm paroc-elementin kokonaiskustannukset ovat 84120,70 €, kun taas 200mm puurungolla ne jäävät 78892 €. Edellisestä aikataulukaaaviosta näkyi hyvin, että paroc-elementtisen julkisivun tekeminen on niin nopeaa ja siksi kannattava valinta hallirakennukseen. Kun rakennetaan puurunkoa ja mietitään kuinka monta eri vaihetta sitä tehdessä tulee, ei lähdettäisi tekemään 1000m² hallirakennukseen puurunkoista julkisivua. Ensinnäkin se olisi erittäin pitkä projekti ja materiaalihukkaa syntyisi. Parempi valinta olisi paroc-elementti, jonka asentaminen on helppoa ja näin helpottaisi myös työntekijöiden työtä.

Ajatellaan, että hallin rakentaisi puurunkoisena, työvoiman lisäys olisi suotavaa. Työntekijöiden lisäys kahdesta vaikka neljään, nopeuttaisi ulkoseinän valmistumisen puolella. Eli aikaa kuluisi puurunkoiseen seinään 20,2 tv, silloin päästäisiin jo lähelle paroc-elementin 18,3 tv. Kustannukset eivät kuitenkaan nousisi. Tämän hetken työtilanne huomioonottaen työvoimaa ainakin löytyisi helpolla. Näin puurunkoisen seinän tekisi nopeammassa aikataulussa, vaikka halli olisikin suuri.

8 TYÖMENETELMÄT

Työmenetelmiä on rakentamisessa monia. Lisäksi käytetään erilaisia työkoneita ja työkaluja. Suunnittelu vaiheessa tarvitsee miettiä mikä olisi paras vaihtoehto juuri tähän kohteeseen. Ajatellen tietenkin apuvälineistä aiheutuvia kustannuksia ja voite-taanko niillä aikaa. Apuvälineitä voivat olla erilaiset telineet ja nostimet. Tarvitaanko työmaalla henkilönostinta vai riittävätkö telineet. Onko tarvetta vuokrata autonosturi tiettyinä aikoina vai tarvitaanko esimerkiksi torninosturia päivittäiseen käyttöön. Pienrakentajalla tällaisia välineitä ei ole, joten näistä aiheutuu vuokra kustannuksia, jotka voivat olla yllättävänkin suuria. Työssä käytetään Ratun työmenetelmiä.

8.1 Puurunkoisen ulkoseinän työmenetelmä

Käydään läpi mitä tarvitsee ottaa huomioon puurunkotyössä.

1. Aloituspalaveri: Aikataulut, suunnitelmat, työkalusto, materiaalit ja työturvallisuus
2. Työntekijän perehdyttäminen
3. Työkohteen vastaanottaminen: Edelliset työvaiheet valmiit, merkitään ylös mahdolliset virheet.
4. Olosuhteet: Saavutetaan vaadittu laatutaso.
5. Kaluston ja koneiden tarkastus
6. Työtasot: Telineet täyttävät määräykset ja ne ovat tarkastetut.
7. Materiaalien vastaanotto: Tarkistetaan toimituksen sisältö, kunto sekä sopimuksenmukaisuus.
8. Varastointi: Työmaalla varataan riittävästi tilaa materiaalien välivarastointiin, suojataan ja peitetään materiaalit.

Materiaalien vastaanotossa tarvitaan nosto-/siirtokalustoa, näitä ovat mm. autonosturi, traktori ja kurottaja. Puurunkotyössä tarvittavat työvälineet: normaali kirvesmies varustus, saha, moottorisaha, pyörösaha, katkaisusirkkeli, vasara, kaasunaulain, porakone, poranteriä, veitsi, nitoja. Levytyössä tarvitaan lisäksi raspi, mattoveitsi, kais-taleikkuri ja viistehöylä. (Ratu 51-0260 2004.)

8.2 Paroc-elementin työmenetelmä

Käydään läpi mitä tarvitsee ottaa huomioon metallielementtityössä.

1. Aloituspalaveri: Aikataulu, kalusto, työvoima, asennusohjeet ja työturvallisuus
2. Työntekijän perehdyttäminen: Asennusryhmän ja nosturinkuljettajan tulee tietää asennusjärjestys.
3. Työkohteen vastaanotto: Edeltävät työvaiheet valmiit asennustyötä varten, asennusohjan pysty- ja vaakasuoruus tarkistetaan.
4. Kaluston ja koneiden tarkastus: Nostolaitteiden käyttöönottotarkastusten voimassaolo ja enimmäiskuorma tarkastetaan ennen asennusta.
5. Olosuhteet: Vaadittava laatutaso saavutetaan.
6. Nostot: Otetaan huomioon nostohetkellä vallitsevat sääolosuhteet, yli 15 m/s työskentely keskeytetään.
7. Elementtien vastaanotto: Tarkistetaan elementtien kunto.
8. Elementtien siirrot ja varastointi: Työmaalla riittävästi tilaa elementeille, välivarastoinnissa tuenta valmistajan ohjeiden mukaisesti.
9. Työtasot: Nostokorissa ja korkealla työskennellessä käytetään kypärää, valjaita ja turvaköysiä.
10. Nostoapuvälineet: Tarkastetaan nostovaijereiden, -ketjujen ja muiden nostopulaitteiden kunto ja enimmäiskuorma
11. Nostoalue: Erotetaan suoja-aidoilla ja lippusiimoilla.
12. Nostot: Nosturin kuljettajalla ja asentajalla esteetön näköyhteys, käytetään ohjausköyttä.

Elementtien asennuksessa tarvitaan nostokalustoa, esimerkiksi autonosturia, kurottajaa tai torninosturia. Elementtityössä tarvittavat työvälineet: elektroniset tai optiset mittauskojeet, vesivaaka, linjalanka, mitta, ruuvinkiristin, porakone, väliaikaiset tuennat ja hihnat. (Ratu 33-0243 2002.)

8.3 Työmenetelmien vertailu

Työmenetelmissä tulee eroja, koska käytetään eri apuvälineitä. Paroc-elementit joudutaan nostamaan paikoilleen koneella, joten tarvitsee huolehtia nostojen turvallisuudesta. Nostolaitteet on syytä tarkastaa huolella ennen nostojen aloittamista, ettei synny vaaratilanteita. Puurungon tekemisessä tarvitaan telineitä, joiden tarkastus on myös välttämätöntä turvallisuuden takia. Elementtien asentamisessa joudutaan käyttämään koko ajan nostinta, joten sääolot on otettava huomioon. Nostot on keskeytettävä, jos tuulenopeus nousee yli 15m/s. Puurungolla tällaisia olosuhteista johtuvia keskeytyksiä ei tule.

Paroc-elementtien asennuksesta aiheutuu nostojen vuoksi enemmän huomioonotettavia asioita. Nostoalue on erotettava, kuitenkin yleensä koko työmaa-alue on aidattu, joten nostoaluetta ei tarvitse erikseen aidata. Nostoapuvälineiden, kuten vaijereiden, liinojen kunto pitää tarkistaa ja ottaa huomioon niiden enimmäiskuorma. Työvälineitä paroc-elementin asennusvaiheessa ei niin paljon tarvita, kuin puurungon tekemisessä. Koska puurunko tehdään vaihe vaiheelta, niin joka vaiheeseen tarvitaan eri työvälineitä. Muuten näiden ulkoseinien työmenetelmät ovat toistensa kaltaisia ja yksinkertaisia.

8.4 Puurungon ja paroc-elementtien asennusvaiheen erot

Asennusvaiheessa näillä ulkoseinillä on paljon eroja, johtuen tietenkin siitä, että verataan valmista elementtiä työmaalla tehtävään puurunkoiseen seinään. Puurunkoista seinää tehdessä tarvitsee asentaa telineet hallirakennukseen. Telineet tulevat vain yhteen päädyn, josta niitä siirretään työn etenemisen mukaan eteenpäin. Olisi turhaa rakentaa telineet ympäri hallin, koska siitä syntyisi vain ylimääräistä vuokratukustannusta. Telinekorkeus päädyissä tarvitsee olla yli neljä metriä, joten telineiden turvallisuus on tarkistettava. Telineiden työtasot tulevat 2m välein, telineissä tarvitsee olla jalkalistat, suojakaide tulee olla 1,1m korkeudella ja välikaide 0,5m korkeudella. Telineistä tarvitsee löytyä telinekortti, josta käy ilmi telineiden hyväksyntä. Telineillä työskennellessä tulee käyttää valjaita, turvaköysiä ja kypärää.

Telinemateriaalia tarvitaan 100m² ja vuokratustannukset ovat täten 149,28€/päivä. 150mm puurunkoisen ulkoseinän tekemiseen meni aikaa 40,3 tv, joten telinevuokra on kokonaisuutena 6016 €. (Ramirent:n www-sivut 2010.)

Muita apuvälineitä, kuin telineitä puurungon tekoon ei tarvita. Eri materiaalien kiinnittämiseen tarvitaan erilaisia ruuveja ja nauvoja, jotka ovat lujuusluokaltaan riittävät. Puurunko kiinnitetään ruuveilla teräsrungon teräslevyihin, jotka ovat hitsattu k600 jaolla, sitten asennetaan tuulensuojalevyt suojaamaan sisäpuolisia rakenteita. Tämän jälkeen voidaan villoittaa rakennus, jotta villa ei pääse kastumaan. Asennetaan höyrynsulkumuovi villan lämpimälle puolelle ja tämän päälle kipsilevy. Koolataan laudalla (22x100mm) julkisivu ennen kuin asennetaan peltiverhous.

Seinän ja katon liitoskohdassa tarvitsee ottaa huomioon myös paloturvallisuus, näin ollen seinän tuulensuoja viedään aluskatteeseen saakka palonkatkon vuoksi. Yläpohjan liitos (Liite 16).

Paroc-elementtiä asentaessa ei kannata lähteä asentamaan telineitä, koska ne olisivat vain tiellä. Henkilönostin on erittäin hyvä apuväline. Sen saa siirrettyä nopeasti eri paikkaan ja sillä pääsee riittävän korkealle kiinnittämään elementtiä. Henkilönostimena hallirakennuksessa voi käyttää hinattavaa nivelpuominostinta. Paroc-elementtien asentamiseen kului aikaa 18,3 tv, joten nivelpuominostimen vuokratustannukset ovat 1388 €. (Ramirent:n www-sivut 2010.) Elementtien asentamisessa tarvitaan myös nosturia/nostinta, koska niiden paino on n.120kg (4400x1200mm). Nostimena tällaisessa hallirakennuksessa voidaan käyttää kurottajaa, jolla saadaan elementit nostettua vaivattomasti paikoilleen. Kurottajan vuokra-aika on 18,3 tv ja vuokratustannuksia syntyy 3950 €. (Ramirent:n www-sivut 2010.) Paroc on myös suunnitellut LiftAid nostimia, jotka helpottavat elementin nostoa. Näitä voidaan vuokrata paroc:lta. Nostoissa tarvitsee muistaa käyttää turvaliinaa ja todella tuulisissa oloissa nostoja ei saa suorittaa. Erilaiset listat ja tiivisteet tulevat elementtien mukana. Muita tarvikkeita ovat listaruuvit ja elementtikiinnikkeet.

Paroc-elementin liitos yläpohjaan eroaa hieman puurungosta. Katosta tuleva höyrynsulkumuovi kiinnitetään elementin yläpähän, koska elementissä ei ole höyrynsul-

kumuovia. Elementin yläpäässä käytetään räystääslistoja, ettei vesi eikä kosteus pääse imeytymään elementin päästä sisään. (Liite 17).

Seuraavassa taulukossa on apuvälineiden aiheuttamat vuokratustannukset yhteensä.

Taulukko 4. Apuvälineiden vuokratustannukset.

Seinärakenne	Apuvälineet	Vuokra-aika (tv)	Vuokratustannus (€)	Yhteensä (€)
Puurunko	Telineet	40,3	6016	6016
Paroc-elementti	Nivelpuominostin	18,3	1388	5338
	Kurottaja	18,3	3950	

Taulukosta näkee sen, että puurunkoseinää tehdessä telineiden vuokra-aika on niin pitkä, että vuokratustannukset kohoavat suuriksi. Vaikka paroc-elementin asentamiseen tarvitaan sekä nivelpuominostinta että kurottajaa tulee ne edullisemmaksi, koska vuokra-aika on puolet lyhyempi.

9 YHTEENVETO

Työssä käsiteltiin kahta eri ulkoseinärakennetta hallirakennukseen paroc-elementtiä ja puurunkoa. Ulkoseinien paksuudet olivat 150mm ja 200mm. Molempien rakenteiden U-arvot olivat samat, joten lämmöneristyksessä ei tule eroja. Hallirakennukseen valittiin teräsrunko, koska sitä on saatavilla hyvin ja poikkileikkaus pysyy pienenä. Hallin paloluokaksi määriteltiin P3, joten teräsrunkoa voidaan käyttää suojaamattomana.

150mm paroc-elementtien palonkesto minuutteina oli 120, kun puurunkoisella ulkoseinälle se jäi vain 30 minuuttiin. Palotilanteessa tällä erolla on suuri merkitys, ettei palo pääse leviämään niin nopeasti. Ulkoseinien julkisivumateriaalina molemmissa on teräsohutlevyä. Sisäpinnassa paroc-elementissä on samaa teräsohutlevyä, puurungossa sisäpinnanmateriaalina on kipsilevy. Reikiä syntyy helpommin kipsilevyyn.

Elinkaaritaloudessa selvitettiin mitä ympäristövaikutuksia ulkoseinillä on niiden koko elinkaaren aikana, ja mitkä ovat niiden elinkaarikustannukset. Käyttöäksi molemmille ulkoseinille määritettiin 50-vuotta. Paroc-elementin ja puurungon elinkaariarvioinnissa ympäristövaikutukset olivat seinärakenteilla lähes samat. Paroc-elementin ympäristövaikutukset jäivät kuitenkin pienemmiksi sen hyvän kierrätyksen ansiosta. Elinkaarikustannuksissa paroc-elementin kunnossapitokustannukset olivat suuremmat kuin puurungon. Nykyarvon laskennassa eroa tuli huomattavasti. 150mm paroc-elementin nykyarvo oli 41 % suurempi kuin vastaavan puurungon. 200mm elementillä nykyarvo oli myös 41 % suurempi.

Rakennusprojekteissa usein ratkaisevana tekijänä ovat kustannukset, mutta myös aikatauluilla on merkittävä osuus ja se näkyy hyvin tässä. Kustannuslaskennassa erot olivat vähäiset seinärakenteiden välillä. 150mm paroc-elementin kokonaiskustannukset olivat 32512 € ja 150mm puurungon 32094 €. 200mm paroc-elementin kustannukset olivat 37738 € ja 200mm puurungon 35401 €. Aikatauluissa erot olivat merkittävät, kahdella työntekijällä paroc-elementit asentaishi yli puolet nopeammin kuin puurungon. Tästä syystä hallirakennuksen ulkoseinärakenteeksi kannattaisi valita paroc-elementti, koska se on ajallisesti niin nopea. Hallin koon kasvaessa paroc-elementin etu vain kasvaa.

Jos valintana olisi kuitenkin puurunko, tarvitsisi lisätä työvoimaa. Neljän hengen ryhmä nopeuttaisi puurungon tekemistä puolella, kuitenkin kustannuksia nostamatta. Kokonaisuutena voidaan päätellä, että paroc-elementti on hinta-laatusuhteeltaan erinomainen ja asennusnopeuden tuottama etu on suuri, että elementtirakentaminen kannattaa, kun halutaan nopeasti valmista. Puurungon tekeminen isomalla työryhmällä tasoittaa eroja ja on näin ollen varteenotettava vaihtoehto ulkoseinärakenteeksi.

Työmenetelmissä eroja tuli asennusvaiheessa. Paroc-elementtien asennuksissa joudutaan käyttämään koko ajan nosturia, ja näin ollen huomioimaan nostojen turvallisuutta. Sääolot voivat myös vaikuttaa paroc-elementtien asentamiseen ja johtaa nostojen keskeytyksiin. Molempien ulkoseinien asennusvaiheessa tarvittiin myös vuokrakalustoa. Vuokrakustannukset apuvälineille olivat 11 % pienemmät paroc-elementtiä asentaessa, kuin puurunkoa tehdessä.

Palonkeston lisäksi paroc-elementin etuja ovat elementtien pituus, joka voi olla jopa 12000mm, tämä nopeuttaa asennusta entisestään. Mahdollistetaan suuri runkopilarien väli. Paroc-elementtien huono puoli on sen muunneltavuus. Ikkunat ovat aina elementin korkuisia, kun taas puurunkoa tehdessä ikkunan korkeuden saa vapaasti suunnitella. Tämä vaikuttaa ulkonäköön, mutta ei ole hallirakennuksessa oleellista. Työssä olisi voinut vielä huomioida ikkunoiden ja ovien vaikutusta aikatauluihin ja miten niiden asennus eroaa puurungossa ja paroc-elementissä. Kuljetuskustannuksia ei ole huomioitu kustannuksissa.

Taulukko 5. Yhteenveto.

	Puurunko 150mm	Paroc- elementti 150mm	Puurunko 200mm	Paroc- elementti 200mm
U-arvo (W/m ² K)	0,26	0,26	0,20	0,20
Palonkesto (min)	30	120	60	240
Käyttöikä (a)	50	50	50	50
Uusiutumaton energia (Mj/kg)	152,3	175	152,3	175
Uusiutumaton raaka-aine (kg/kg)	5,6	5,15	5,6	5,15
Kunnossapitokustannusten nykyarvo (€)	1477,80	2504,80	1754,40	3007,50
Kokonaiskustannukset (€)	32095,10	32525,50	35401	37738,50
Kokonaiskesto (tv)	40,3	18,3	41,8	18,3

LÄHTEET

Finlex:n www-sivut. Viitattu 10.2.2010. www.finlex.fi/data/tes/stes3885-TT72Rakennus0803.pdf

Häkkinen, T. & Vares, S. 1997. Rakennusmateriaalien ja –tuotteiden ympäristövaikutukset ja niiden arviointiperusteet 1997. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Koskenvesa, A. & Mäki, T. 2007. Aikataulukirja 2008. 11., uud. p. Jyväskylä: Rakennustieto Oy.

Koskenvesa, A. & Mäki T. 2009. Rakennustöiden menekit 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Murtomaa, P. 2005. Kiinteistönpidon tekniikka, talous ja hallinto. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

Myyryläinen, L. 2008. Elinkaariajattelu kiinteistönpidossa. 2. uud.p. Helsinki: Gummerus Kirjapaino Oy.

Männistö, J. & Takala, R. 2005. Hallin rakennuttaminen. Vammala: Wood Focus Oy.

Paroc:n www-sivut. Viitattu 21.12.2009. www.paroc.fi

Ramirent:n www-sivut. Viitattu 24.2.2010. www.ramirent.fi

Ratu. 2002. 33-0243 Metallielementtityö. Rakennustieto Oy.

Ratu. 2004. 51-0260 Puurunkotyö, kooste. Rakennustieto Oy.

RIL 216-2001 Rakenteiden elinkaaritekniikka. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

RIL 195-2-2005 Rakenteellinen paloturvallisuus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

RT-kortisto. 2003. RT 08-10808 Rakennuksen paloluokka ja sen määrittäminen. Rakennustieto Oy.

RT-kortisto. 2007. RT 82-10890 Ulkoseinärakenteita. Rakennustieto Oy.

Siikanen, U. 2001. Rakennusaineoppi. 6. uud.p. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 1998. C2 Kosteus. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2002. E1 Rakennusten paloturvallisuus. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2003. C4 Lämmöneristys. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2005. E2 Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2007. D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2010. C3 Rakennusten lämmöneristys. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2010. D3 Rakennusten energiatehokkuus. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Thermowood:n www-sivut. Viitattu 3.12.2009. www.thermowood.fi

U arvon laskenta 150mm puurunko

Liite 1

W/(mK)		mm	Huom !
$\lambda_{\text{villa}} := 0.035$ (Isover KL35)		$d_{\text{villa}} := 150$	=d puu
$\lambda_{\text{puu}} := 0.12$		$d_{\text{kipssi13}} := 13$	
$\lambda_{\text{kipssi}} := 0.21$		$d_{\text{kipssi9}} := 9$	

$$R_{\text{qmuovi}} := 0.04$$

Taulukko 5 (Rakentamismääräyskokoelma C4)

Puun b := 50
leveys:

Puun korkeus sama kuin villan = d
villa

Puun keskeltä keskelle
väli:

$$k := 600$$

$$\text{kaava: } 1/R_j = \Sigma f_n / R_{nj} \quad \text{ja} \quad R_{jn} = d_j / \lambda_{nj}$$

Villan ja puun suhteelliset osuudet:

$$f_{\text{puu}} := \frac{b}{k} \quad f_{\text{puu}} = 0.083$$

$$f_{\text{villa}} := \frac{(k-b)}{k} \quad f_{\text{villa}} = 0.917$$

$$R_{\text{jpuu}} := \frac{d_{\text{villa}} \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{puu}}} \quad R_{\text{jpuu}} = 1.25$$

$$R_{\text{jevilla}} := \frac{d_{\text{villa}} \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{villa}}} \quad R_{\text{jevilla}} = 4.286$$

$$R_{j2} := \frac{f_{\text{puu}}}{R_{\text{jpuu}}} + \frac{f_{\text{villa}}}{R_{\text{jevilla}}} \quad R_{j2} = 0.281$$

Epätasa-aineisen kerroksen lämmönvastus:

$$R_j := \frac{1}{R_{j2}} \quad R_j = 3.564$$

Kipsilevyt :

$$R_{\text{kipssi}} := \frac{d_{\text{kipssi}13} \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{kipssi}}} + \frac{d_{\text{kipssi}9} \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{kipssi}}}$$

Sisä ja ulkopuolinen
pintavastus:

$$R_{\text{si}} := 0.13$$

Taulukko 2 (Rakentamismääräyskokoelma C4)

$$R_{\text{se}} := 0.04$$

Kokonaislämmönvastu:

$$R_T := R_j + R_{\text{qmuovi}} + R_{\text{si}} + R_{\text{se}} + R_{\text{kipssi}}$$

Lämmönläpäisykerroin:

$$U := \frac{1}{R_T} \quad U = 0.258 \quad \text{W / (K m}^2\text{)}$$

U arvon laskenta 200mm puurunko

Liite 2

W/(mK)		mm	Huom !
$\lambda_{\text{villa}} := 0.035$	(Isover KL35)	$d_{\text{villa}} := 200$	=d puu
$\lambda_{\text{puu}} := 0.12$		$d_{\text{kipssi13}} := 13$	
$\lambda_{\text{kipssi}} := 0.21$		$d_{\text{kipssi9}} := 9$	

$$R_{\text{qmuovi}} := 0.04$$

Taulukko 5 (Rakentamismääräyskokoelma C4)

Puun
leveys: $b := 50$

Puun korkeus sama kuin villan = d
villa

Puun keskeltä keskelle
väli: $k := 600$

$$\text{kaava: } 1/R_j = \sum f_n / R_{nj} \quad \text{ja} \quad R_{jn} = d_j / \lambda_{nj}$$

Villan ja puun suhteelliset osuudet:

$$f_{\text{puu}} := \frac{b}{k} \quad f_{\text{puu}} = 0.083$$

$$f_{\text{villa}} := \frac{(k-b)}{k} \quad f_{\text{villa}} = 0.917$$

$$R_{\text{jpuu}} := \frac{d_{\text{villa}} \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{puu}}} \quad R_{\text{jpuu}} = 1.667$$

$$R_{\text{jevilla}} := \frac{d_{\text{villa}} \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{villa}}} \quad R_{\text{jevilla}} = 5.714$$

$$R_{\text{j2}} := \frac{f_{\text{puu}}}{R_{\text{jpuu}}} + \frac{f_{\text{villa}}}{R_{\text{jevilla}}} \quad R_{\text{j2}} = 0.21$$

Epätasa-aineisen kerroksen lämmönvastus:

$$R_j := \frac{1}{R_{j2}} \quad R_j = 4.752$$

Kipsilevyt :

$$R_{\text{kipsi}} := \frac{d_{\text{kipsi}13} \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{kipsi}}} + \frac{d_{\text{kipsi}9} \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{kipsi}}}$$

Sisä ja ulkopuolinen
pintavastus:

$$R_{\text{si}} := 0.13$$

Taulukko 2 (Rakentamismääräyskokoelma C4)

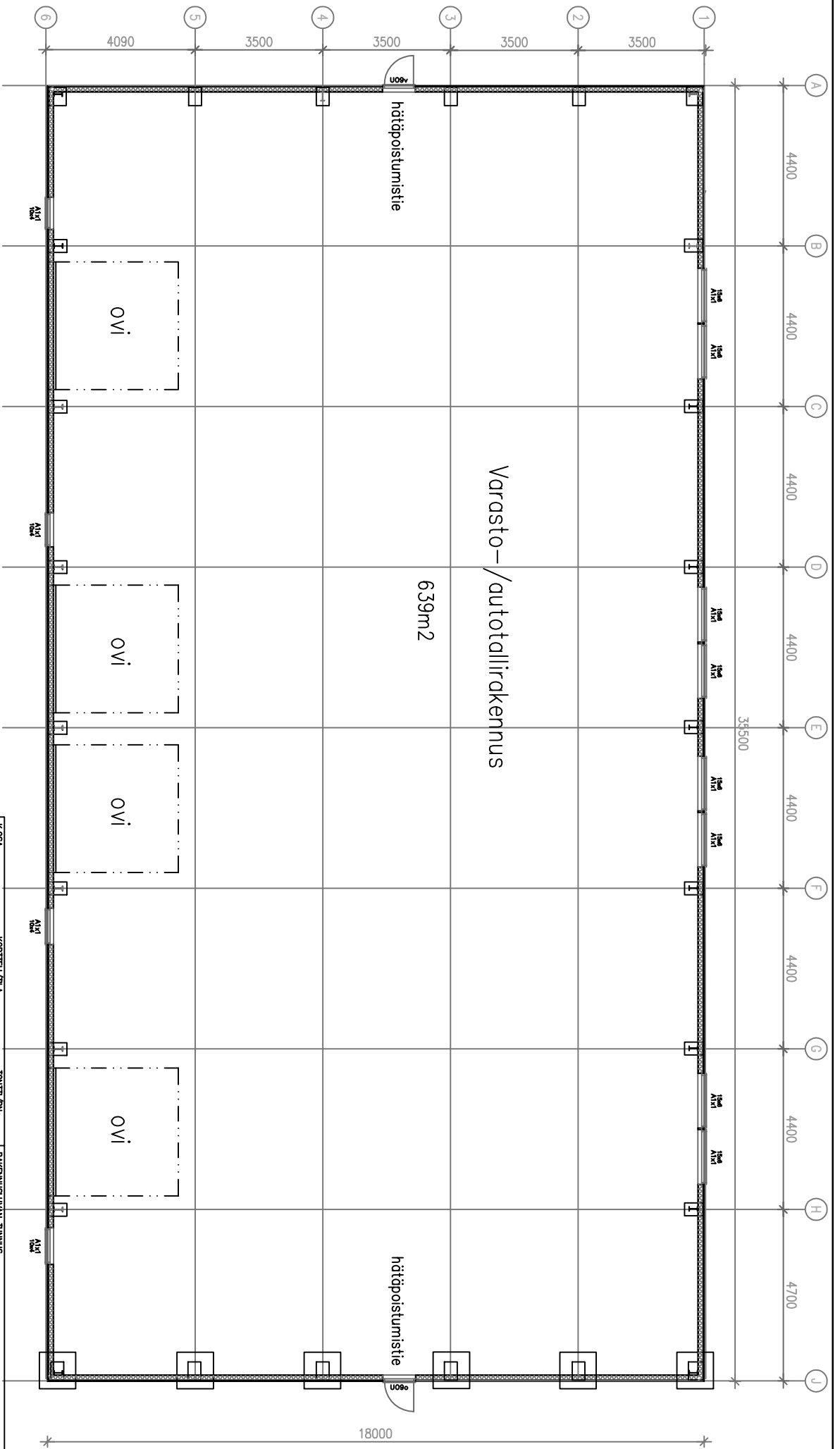
$$R_{\text{se}} := 0.04$$

Kokonaislämmönvastu:

$$R_T := R_j + R_{\text{qmuovi}} + R_{\text{si}} + R_{\text{se}} + R_{\text{kipsi}}$$

Lämmönläpäisykerroin:

$$U := \frac{1}{R_T} \quad U = 0.197 \quad \text{W / (K m}^2\text{)}$$



KOOSA	KORTTELU/TLA	TONIT/ALUE	RAKENNUSTYYPIN TUNNUS	JOKS.No
RAKENNUSTOMENPIDE		2	RAKENNUSTYYPIN TUNNUS	1
UUDISRAKENNUS			PIRUSTUSLAI	
RAKENNUKOHTEEN NIMI JA OSOITE			pääpiirustus	
Varastorakennus			PIRUSTUKSEN SISÄLTÖ	MITTAKAAVAT
			Pohjapiirustus	1:150
LIITE 3	SUUNNAILA	TYÖ No	PIIR.No	MUUTOS
	RAK	1	1	
PÄIVÄYS				
6.1.2010				
	YHTIENK.			
	petri hiljinen			

Vaaka asennetun ulkoseinän mitoitus

LIITE 4

Rakennuksen sijainti	Maatoluokka III, teollisuusalue
Runko	Jänneväli 5000mm, tukileveys 80mm
Elementtityyppi	AST S
Elementinpaksuus	200mm
Pintalevyt	Ulkopinta 6mm, sisäpinta 5mm
Tuulikuorma	$q_w = 0,52 \text{ kN/m}^2$
Painekertoimet	$C_p = +1,06$ $C_p = -1,0$
Tuulenpaine	$W_p = 1,06 \times 0,52 = 0,55 \text{ kN/m}^2$
Tuulenimu	$W_s = -1,0 \times 0,52 = -0,52 \text{ kN/m}^2$

Tuulenpainetapauksessa elementin lujuus määritellään 0,6 mm pintalevyille:

$$q_{sall} = 2,3 \text{ kN/m}^2 > 0,55 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

Tuulenimutapauksessa elementin sisäpinta on mitoittava, joten pintalevyn paksuus on 0,5 mm:

$$q_{sall} = 1,9 \text{ kN/m}^2 > 0,52 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

Luvut $2,3 \text{ kN/m}^2$ ja $1,9 \text{ kN/m}^2$ on saatu paroc:n suunnitteluohjeen jännevälikäyrältä.
(Paroc:n www-sivut 2009.)

Kiinnikemäärä/elementin pää lasketaan kaavalla:

LIITE 5

$$N = 0,5 \times L \times b \times C_p \times q_w / F_{sall}$$

N = kiinnikemäärä/elementin pää

L = elementin pituus (m)

b = elementin leveys (m)

C_p = painekerroin imulle

q_w = tuulikuorma (kN/m²)

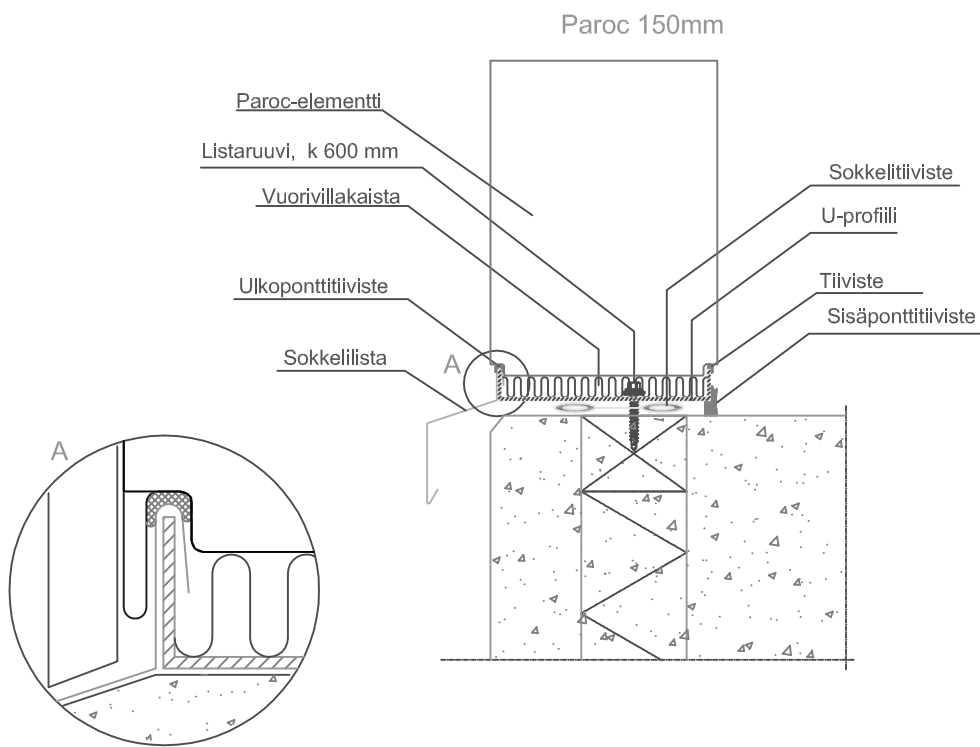
F_{sall} = elementikiinnikkeille sallittu kuorma (Suunnitteluohjeesta, paroc:n ww-sivut 2009.)

$$N = \frac{0,5 \times 5 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 1,9 \text{ kN/m}^2 \times 0,52 \text{ kN/m}^2}{1}$$

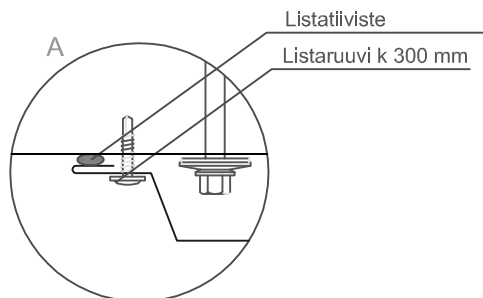
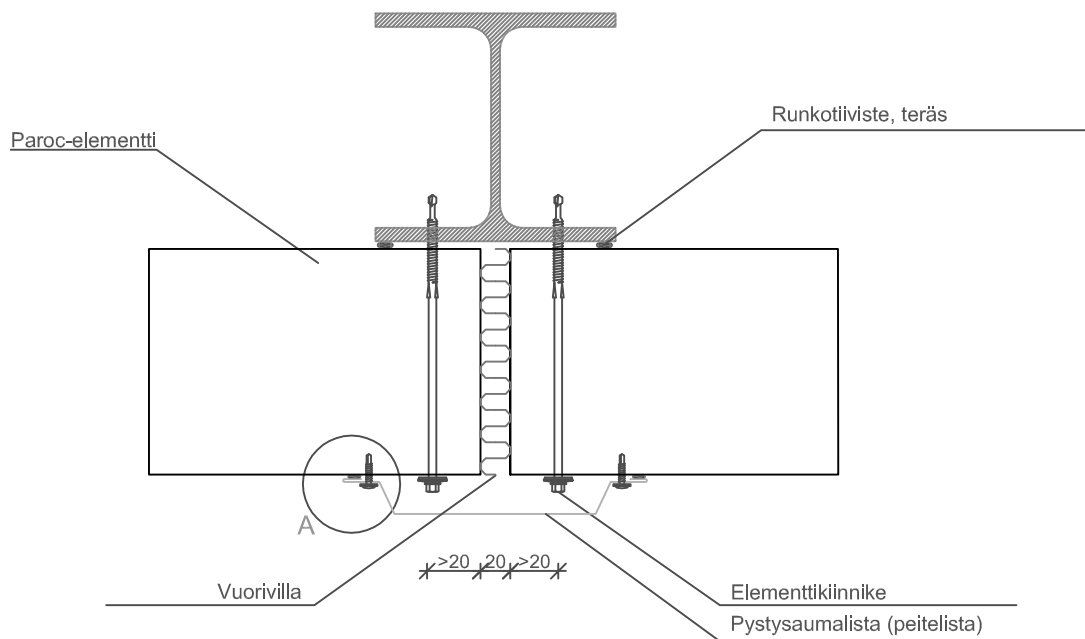
$$N = 2,964$$

Kiinnikkeitä 3 kpl per elementin pää

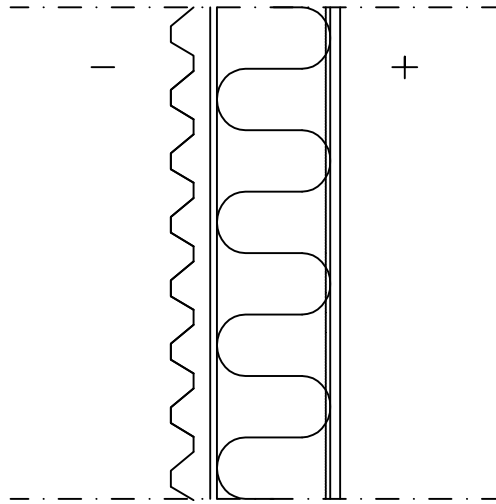
Rakennuskohde Hallirakennus	Sisältö Kiinnitys betonisokkeliin vaaka-asennus LIITE 6	
Suunnittelija Petri Hiljanen	Ulkoseinädetalji	MITTAKAAVA 1:5



Rakennuskohde Hallirakennus	Sisältö Kiinnitys teräsrunkoon vaaka-asennus	LIITE 7
Suunnittelija Petri Hiljanen	Ulkoseinädetalji	MITTAKAAVA 1:5



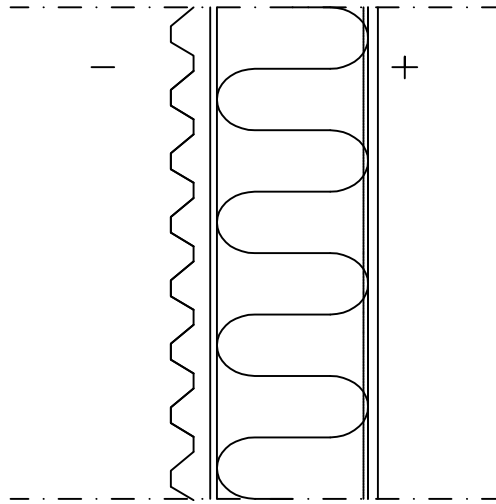
Rakennuskohde Hallirakennus	Sisältö Puurunkoinen seinä Lasivillariste Peltiverhous	LIITE 8
Suunnittelija Petri Hiljanen	Työ nro US1	MITTAKAAVA 1:10



Rakennekerrokset:	30mm	Ulkoverhous pelti profiili x
	22mm	Tuuletusväli Vaakalaudat 22mm k600
	9mm	Tuulensuoja Gyproc lamda=0,21W/mK A2-s1,d0
	150mm	Puurunko 48x150mm k600 Lämmöneriste 150mm isover KL 35 lasivilla lamda=0,035W/mK A2-s1,d0 (palamaton tai lähes palamaton eriste)
	0,2mm	Ilman- ja höyrysulku polyeteenimuovikalvo, saumat limitetty ja teipattu
	13mm	Gyproc EK lamda=0,21W/mK A2-s1,d0 Pintakäsittely

Ominaisuudet:	Lämmönläpäisykerroin $U=0,26$ W/m ² K Paloluokka REI 30
---------------	---

Rakennuskohde Hallirakennus	Sisältö Puurunkoinen seinä Lasivillariste Peltiverhous	LIITE 9
Suunnittelija Petri Hiljanen	Työ nro US2	MITTAKAAVA 1:10



Rakennekerrokset:	30mm	Ulkoverhous pelti profiili x
	22mm	Tuuletusväli Vaakalaudat 22mm k600
	9mm	Tuulensuoja Gyproc lamda=0,21W/mK A2-s1,d0
	200mm	Puurunko 48x200mm k600 Lämmöneriste 200mm Isover KL 35 lasivilla lamda=0,035W/mK A2-s1,d0 (palamaton tai lähes palamaton eriste)
	0,2mm	Ilman- ja höyrysulku polyeteenimuovikalvo, saumat limitetty ja teipattu
	13mm	Gyproc EK lamda=0,21W/mK A2-s1,d0 Pintakäsittely

Ominaisuudet:	Lämmönläpäisykerroin U=0,20 W/m ² K Paloluokka REI 60
---------------	---

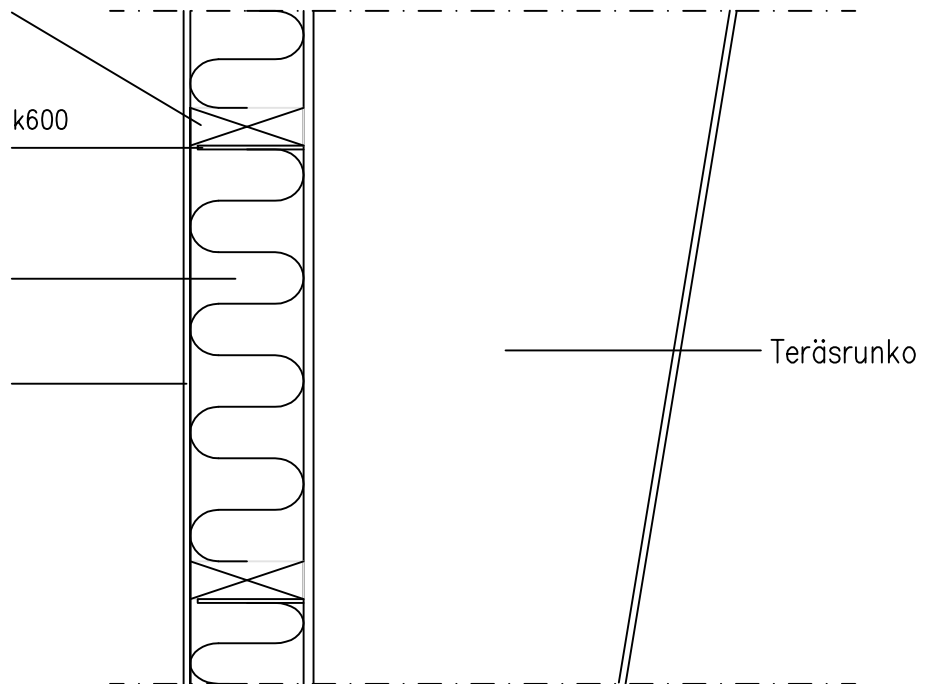
Rakennuskohde Hallirakennus	Sisältö Puurungon liittyminen teräsrunkoon	LIITE 10
Suunnittelija Petri Hiljanen	Ulkoseinädetalji	MITTAKAAVA 1:10

Puurunko vaakaan 150mm k600
kiinnitys teräslevyyn
ruuveilla

Teräslevy hitsattu runkoon k600
140x170x5mm

Lasivilla

Gyproc tuulensuoja



Puurungon materiaalien neliöhinta (150mm)

Liite 11

Materiaali	Hinta €/m ²	Valmistaja
Peltiverhous poimulevy	11,7	Rautaruukki
Lauta 22x100mm	0,61	Taloon yhtiöt
Gyproc 9 tuulensuoja	3,19	Gyproc
Runko 50x150mm	2,38	Taloon yhtiöt
Villa isover KL35 150mm	8,82	Isover
Höyrysulkumuovi	0,5	Taloon yhtiöt
Gyproc EK 13	4,44	Gyproc
yht.	31,64	

Puurungon materiaalien neliöhinta (200mm)

Materiaali	Hinta €/m ²	Valmistaja
Peltiverhous poimulevy	11,7	Rautaruukki
Lauta 22x100mm	0,61	Taloon yhtiöt
Gyproc 9 tuulensuoja	3,19	Gyproc
Runko 50x200mm	3,33	Taloon yhtiöt
Villa isover KL35 2x100mm	12	Isover
Höyrysulkumuovi	0,5	Taloon yhtiöt
Gyproc EK 13	4,44	Gyproc
yht.	35,77	

Paroc-elementin neliöhinnat on saatu paroc:n tehtaalta.

Puurungon (150mm,200mm) ja paroc-elementin viikkoaikataulut Petri Hiljanen

Hierarkia	Selite	Määrä	Yks	Työmenekki	Työntekijät	Kesto	2010														
							Toukokuu	Kesäkuu	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26			
1	Puurunko 150mm																				
2	Puurunko k600	521,3	m2	0,270	2;0;	8,8 pv															
3	Tuulensuojalevytyt	521,3	m2	0,070	2;0;	2,3 pv															
4	Lämmöneristys 150mm	521,3	m2	0,048	2;0;	1,6 pv															
5	Höyrynsulku	521,3	m2	0,019	2;0;	0,6 pv															
6	Sisäpuolinen kipsilevy	521,3	m2	0,120	2;0;	3,9 pv															
7	Peltiverhous poimulevy	521,3	m2	0,708	2;0;	23,1 pv															
8	Puurunko 200mm																				
9	Puurunko k600	521,3	m2	0,270	2;0;	8,8 pv															
10	Tuulensuojalevytyt	521,3	m2	0,070	2;0;	2,3 pv															
11	Lämmöneristys 200mm	521,3	m2	0,096	2;0;	3,1 pv															
12	Höyrynsulku	521,3	m2	0,019	2;0;	0,6 pv															
13	Sisäpuolinen kipsilevy	521,3	m2	0,120	2;0;	3,9 pv															
14	Peltiverhous poimulevy	521,3	m2	0,708	2;0;	23,1 pv															
15	Paroc-elementti																				
16	Vastaanotto,väli-varastointi	521,3	m2	0,010	2;0;	0,3 pv															
17	Nosturisiirrot	521,3	m2	0,410	2;0;	13,4 pv															
18	Asennus,kiinnitys,Istoitus	521,3	m2	0,140	2;0;	4,6 pv															

23.3.2010

LIITE 12

Kustannuslaskenta

LIITE 13

Paroc-elementin materiaalikustannukset 200mm

Materiaalimenekit

Hukkaa ei tule, koska elementointi suunnittelu ja sahaukset tehdään jo tehtaalla.

Materiaalikustannukset

$$60 \text{ €/m}^2 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 31278 \text{ €}$$

Työkustannukset

Työvuoroaika T3

$$521,3 \text{ m}^2 \cdot 0,486 \text{ tth/m}^2 = 253,35 \text{ tth}$$

Työvaiheaja T4, TL3 kerroin 1,20

$$1,20 \cdot 253,35 \text{ tth} = 304,022 \text{ tth}$$

Rakennusalan työehtosopimus, palkkaryhmä 4 12,5 €/h, sosiaalikulujen osuus 70 %

$$304,022 \text{ tth} \cdot 12,5 \text{ €/h} \cdot 1,70 = 6460,47 \text{ €}$$

Paroc-elementin materiaalikustannukset 150mm

Materiaalimenekit

Hukkaa ei tule, koska elementointi suunnittelu ja sahaukset tehdään jo tehtaalla.

Materiaalikustannukset

$$50 \text{ €/m}^2 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 26065 \text{ €}$$

Työkustannukset

Työvuoroaika T3

$$521,3 \text{ m}^2 \cdot 0,486 \text{ tth/m}^2 = 253,35 \text{ tth}$$

Työvaiheaja T4, TL3 kerroin 1,20

$$1,20 \cdot 253,35 \text{ tth} = 304,022 \text{ tth}$$

Rakennusalan työehtosopimus, palkkaryhmä 4 12,5 €/h, sosiaalikulujen osuus 70 %

$$304,022 \text{ tth} \cdot 12,5 \text{ €/h} \cdot 1,70 = 6460,47 \text{ €}$$

Kustannuslaskenta

LIITE 14

Puurungon materiaalikustannukset 200mm

Materiaalimenekit

1. Puurunko k600 50x200mm	$2 \text{ m/m}^2 \cdot 1,10 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 1146,9 \text{ m}^2$
2. Tuulensuojalevytytys (Gyproc)	$1 \text{ m/m}^2 \cdot 1,115 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 581,25 \text{ m}^2$
3. Lämmöneristys (isover)	$1 \text{ m/m}^2 \cdot 1,045 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 544,76 \text{ m}^2$
4. Höyrynsulku	$1,2 \text{ m/m}^2 \cdot 1,2 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 750,70 \text{ m}^2$
5. Sisäpuolinen kipsilevytytys (Gyproc)	$1 \text{ m/m}^2 \cdot 1,115 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 581,25 \text{ m}^2$
6. Lauta koolaus 22x100	$3 \text{ m/m}^2 \cdot 1,075 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 1681,19 \text{ m}^2$
7. Julkisivun metalliverhous	$1,2 \text{ m/m}^2 \cdot 1,3 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 813,20 \text{ m}^2$

Materiaalikustannukset

1. Puurunko k600 50x200mm	$1146,9 \text{ m}^2 \cdot 3,33 \text{ €/m}^2 = 3819,20 \text{ €}$
2. Tuulensuojalevytytys (Gyproc)	$581,25 \text{ m}^2 \cdot 3,19 \text{ €/m}^2 = 1854,19 \text{ €}$
3. Lämmöneristys (isover)	$544,76 \text{ m}^2 \cdot 12 \text{ €/m}^2 = 6537,11 \text{ €}$
4. Höyrynsulku	$750,70 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ €/m}^2 = 375,40 \text{ €}$
5. Sisäpuolinen kipsilevytytys (Gyproc)	$581,25 \text{ m}^2 \cdot 4,44 \text{ €/m}^2 = 2580,75 \text{ €}$
6. Lauta koolaus 22x100	$1681,19 \text{ m}^2 \cdot 0,61 \text{ €/m}^2 = 1025,53 \text{ €}$
7. Julkisivun metalliverhous	$813,20 \text{ m}^2 \cdot 11,70 \text{ €/m}^2 = 9514,44 \text{ €}$
	<u>yht.</u> <u>25 706,40 €</u>

Työkustannukset

Työvuoroaika T3

$521,3 \text{ m}^2 \cdot 0,761 \text{ tth/m}^2 = 396,71 \text{ tth}$

Työvaihe aika T4, TL3 kerroin 1,15

$1,15 \cdot 396,71 \text{ tth} = 456,22 \text{ tth}$

Rakennusalan työehtosopimus, palkkaryhmä 4 12,5 €/h, sosiaalikulujen osuus 70 %

$456,22 \text{ tth} \cdot 12,5 \text{ €/h} \cdot 1,70 = 9694,59 \text{ €}$

Kustannuslaskenta

LIITE 15

Puurungon materiaalikustannukset 150mm

Materiaalimenekit

1. Puurunko k600 50x150mm	$2 \text{ m/m}^2 \cdot 1,10 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 1146,9 \text{ m}^2$
2. Tuulensuojalevytytys (Gyproc)	$1 \text{ m/m}^2 \cdot 1,115 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 581,25 \text{ m}^2$
3. Lämmöneristys (isover)	$1 \text{ m/m}^2 \cdot 1,045 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 544,76 \text{ m}^2$
4. Höyrynsulku	$1,2 \text{ m/m}^2 \cdot 1,2 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 750,70 \text{ m}^2$
5. Sisäpuolinen kipsilevytytys (Gyproc)	$1 \text{ m/m}^2 \cdot 1,115 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 581,25 \text{ m}^2$
6. Lauta koolaus 22x100	$3 \text{ m/m}^2 \cdot 1,075 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 1681,19 \text{ m}^2$
7. Julkisivun metalliverhous	$1,2 \text{ m/m}^2 \cdot 1,3 \cdot 521,3 \text{ m}^2 = 813,20 \text{ m}^2$

Materiaalikustannukset

1. Puurunko k600 50x150mm	$1146,9 \text{ m}^2 \cdot 2,38 \text{ €/m}^2 = 2729,62 \text{ €}$
2. Tuulensuojalevytytys (Gyproc)	$581,25 \text{ m}^2 \cdot 3,19 \text{ €/m}^2 = 1854,19 \text{ €}$
3. Lämmöneristys (isover)	$544,76 \text{ m}^2 \cdot 8,82 \text{ €/m}^2 = 4804,77 \text{ €}$
4. Höyrynsulku	$750,70 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ €/m}^2 = 375,40 \text{ €}$
5. Sisäpuolinen kipsilevytytys (Gyproc)	$581,25 \text{ m}^2 \cdot 4,44 \text{ €/m}^2 = 2580,75 \text{ €}$
6. Lauta koolaus 22x100	$1681,19 \text{ m}^2 \cdot 0,61 \text{ €/m}^2 = 1025,53 \text{ €}$
7. Julkisivun metalliverhous	$813,20 \text{ m}^2 \cdot 11,70 \text{ €/m}^2 = 9514,44 \text{ €}$
	<u>yht.</u> <u>22 884,60 €</u>

Työkustannukset

Työvuoroaika T3

$521,3 \text{ m}^2 \cdot 0,723 \text{ tth/m}^2 = 376,9 \text{ tth}$

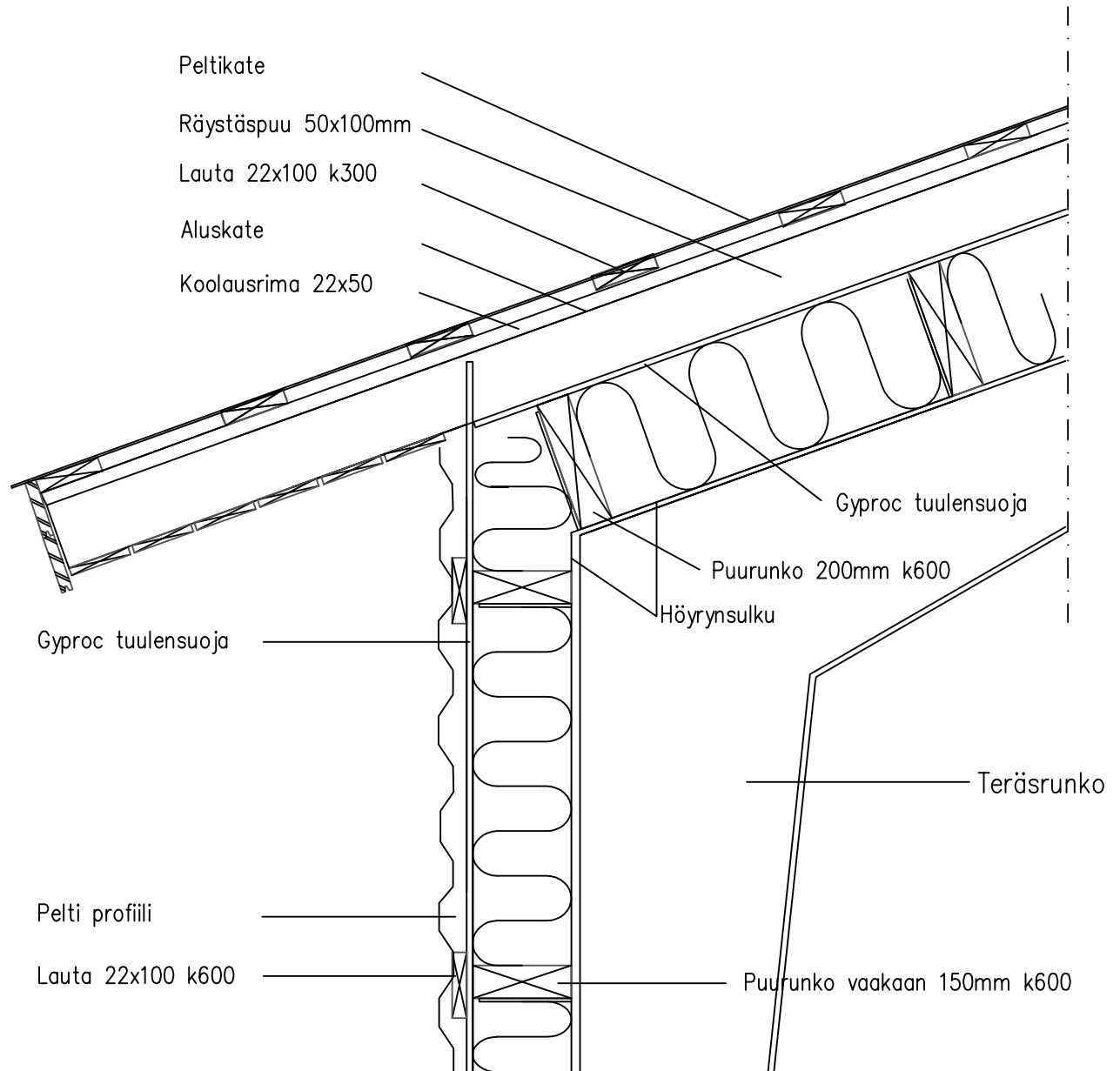
Työväiheaika T4, TL3 kerroin 1,15

$1,15 \cdot 376,9 \text{ tth} = 433,435 \text{ tth}$

Rakennusalan työehtosopimus, palkkaryhmä 4 12,5 €/h, sosiaalikulustannuksien osuus 70 %

$433,435 \text{ tth} \cdot 12,5 \text{ €/h} \cdot 1,70 = 9210,49 \text{ €}$

Rakennuskohde Hallirakennus	Sisältö Puurungon liittyminen yläpohjaan	LIITE 16
Suunnittelija Petri Hiljanen	Sivuräystädetalji	MITTAKAAVA 1:10



Rakennuskohde Hallirakennus	Sisältö Paroc-elementin liittyminen yläpohjaan	LIITE 17
Suunnittelija Petri Hiljanen	Sivuräystäsdetalji	MITTAKAAVA 1:5

