



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KIVIRAKENTEISEN PIENTALON KUSTANNUS- JA MATERIAALI- VERTAILU

TEKIJÄ: Tuomas Uusitalo

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Tuomas Uusitalo			
Työn nimi Kivirakenteisen pientalon kustannus- ja materiaalivertailu			
Päiväys	25.3.2018	Sivumäärä/Liitteet	45/10
Ohjaaja(t) Viljo Kuusela, lehtori ja Antti Korpinen, lehtori			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Varpaisjärven Kivikiinteistöt Oy			
Tiivistelmä Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, tuleeko kivirakenteisen pientalon rakentaminen kokonaiskustannuksiltaan halvimmaksi sandwichelementeistä, talopakettina valuharkoista vai kappaletavarana hankituista valuharkoista. Tarkoitus oli myös selvittää eri vaihtoehtojen vaikutusta rakentamisaikatauluun. Saatua tietoa olisi tarkoitus hyödyntää opinnäytetyön tilaajayrityksen tulevissa urakoissa. Vertailun kohteena käytettiin Varpaisjärven Kivikiinteistöt Oy:n rakentamaa kivitaloa, jonka runko rakennettiin valuharkoista kappaletavarana ja jonka välipohjana on ontelolaatat. Talo on kaksikerroksinen talo rinnetontissa. Kohteeseen kysyttyjä sandwichelementti- ja talopakettitarjouksia käytettiin vertailun pohjana. Lisäksi kohteesta oli käytettävissä kaikki toteutuneet laskut, joiden avulla saatiin selvitettyä täsmälleen kuinka paljon materiaalit tuli maksamaan kappaletavarana. Työkustannusten laskennassa käytettiin hyväksi kohteessa toteutuneita työsaavutuksia ja aikataulukirjan työsaavutuksia. Työn tuloksena selvisi sandwichelementin olevan selvästi kallein runkomateriaali vertailluista vaihtoehdoista. Talon rakentaminen tuli halvimmaksi kappaletavarasta, joten kohteessa oli päädytty oikeaan toteutustapaan. Ero talopakettiin oli kuitenkin hankkeen suuri koko huomioiden pieni. Sandwichelementtien hintaa nosti mahdollisesti rakentamisen korkeasuhdanne, jonka vuoksi tarjouksia saatiin vain yksi. Työn perusteella kappaletavarasta rakentaminen on yhä kannattava vaihtoehto harkkorakentamisessa, vaikka talopaketit ovat nousseet ylivoimaisesti suosituimmaksi omakotitalon toteutustavaksi 2000-luvulla.			
Avainsanat kivitalo, talopaketti, kappaletavara, sandwichelementti			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Tuomas Uusitalo			
Title of Thesis Comparison of costs and materials of a detached house with a stone frame			
Date	25 March, 2018	Pages/Appendices	45/10
Supervisor(s) Mr Viljo Kuusela, Senior Lecturer and Mr Antti Korpinen, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Varpaisjärven Kivikiinteistöt Oy			
Abstract The aim of this final project was to find out, which of the following would be the most economical way when building a detached house with a stone frame: sandwich panels, a prefabricated house built of concrete blocks or a house built of concrete blocks as piece goods. The aim was also to find out the effect of these alternatives to the construction schedule. The commissioner of the project is to use the information when making contracts in future. The object of the comparison was a stone house built by Varpaisjärven Kivikiinteistöt Oy. The frame of the house was built of concrete blocks as piece goods and the intermediate floor was built of hollow-core slabs. The house is a two-storey hillside house. Offers for the sandwich panel and prefabricated house were asked and used as a basis for the comparison. Furthermore, all realized invoices were available. By means of them it was possible to calculate how much the materials cost when piece goods were used. Labour costs were calculated by using a timetable book and realized work performances. As a result of the final project it was found out that sandwich panels are the most expensive frame material of the compared options. The most affordable option was piece goods. When the big size of the project is taken into account, the difference between it and the prefabricated house is small. The price of sandwich panels was possibly higher than usual due to construction boom. This project proved that using piece goods is a profitable option, although prefabricated houses have become the most popular way to build detached houses.			
Keywords stone house, prefabricated house, piece goods, sandwich panel			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Tausta ja tavoitteet	6
1.2	Käsitteet	7
2	KIVITALO ASUINRAKENNUKSENA	8
3	HARKOT KIVITALORAKENTAMISESSA	9
3.1	Ladottavat harkot eli muottiharkot	10
3.1.1	Lämpöeristetyt muottiharkot	10
3.1.2	Muottiharkkorakentaminen	10
3.2	Muurattavat harkot	13
3.2.1	Muurattavat kevytsoraharkot	13
3.2.2	Muurattavat betoniharkot	14
3.2.3	Väliseinäharkot, täydentävät harkkotuotteet ja erikoisharkot	14
3.2.4	Muurauslaastit	15
3.2.5	Muurausharkkorakentaminen	15
3.3	Harkkojen raudoitteet	16
4	ULKOSEINÄT KIVITALORAKENTAMISESSA	17
4.1	Sandwichjulkisivuelementti	17
4.2	Sisäkuorielementti	17
4.3	Eriytetyt ja yhdistetyt julkisivurakenteet	18
4.4	Seinäelementtirakentaminen	19
4.5	Siporex	19
4.6	Siporexrakentaminen	21
5	VÄLIPOHJAT	22
5.1	Ontelolaatta	22
5.2	Paikalla valettu välipohja	23
6	RUNGON KUSTANNUSTEN VERTAILU	24
6.1	Sandwichelementti	26
6.1.1	Sandwichelementin materiaali- ja kalustokustannukset	26
6.1.2	Sandwichelementin työsaavutukset ja työkustannukset	27
6.2	Talopaketti valuharkoista	28
6.2.1	Talopaketin materiaali- ja kalustokustannukset	29

6.2.2	Talopaketin työsaavutukset ja työkustannukset.....	29
6.3	Runkotarvikkeet kappaletavarasta	30
6.3.1	Työkustannus kappaletavarasta	31
6.4	Runko-osuuden vertailu.....	31
6.5	Koko talon vertailu	31
7	TULOKSET	33
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	34
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	35
	LIITTEET	36

1 JOHDANTO

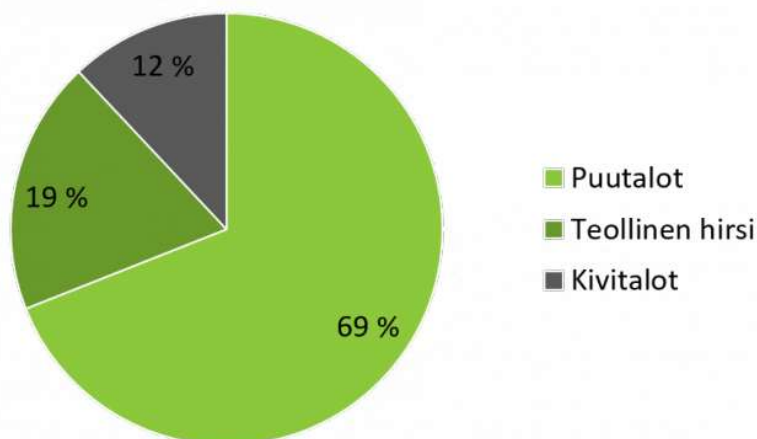
1.1 Tausta ja tavoitteet

Kivitalojen osuus vuonna 2016 rakennetuista pientaloista oli 12 % (pientaloteollisuus.fi). Kivirakenteinen talo on pitkäikäinen, paloturvallinen, suhteellisen huoltovapaa, ääntä eristävä, tiivis ja rakennuksen käyttöiän ajalla tarkasteltuna kokonaisedullinen (harkkokivitalo.fi). Kivitalon runkovaihtoehtoksi on useita erilaisia vaihtoehtoja kuten muurattavia tai valettavia harkkoja, erilaisia elementtejä, ja siporex. Runkovaihtoehdon valinnalla on merkittävä vaikutus rakentamisaikatauluun ja työtekniikoihin. Myös toteutustavassa on useita vaihtoehtoja, sillä talo voidaan rakentaa kappaletavarasta tai käyttämällä talopakettia. Talopakettien esivalmistusasteessa on merkittäviä eroja, harkkotalopaketeissa ei tyypillisesti ole lainkaan esivalmistusta vaan ne ovat materiaalipaketteja.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää eri runkovaihtoehtojen vaikutusta rakentamiskustannuksiin ja rakentamisaikatauluun. Vertailun kohteeksi valittiin sandwichelementit, talopaketti valuharkoista ja kappaletavarana hankitut valuharkot. Opinnäytetyön tilaajana oli Varpaisjärven Kivikiinteistöt Oy. Yritys rakentaa muun muassa harkkorakenteisia pientaloja ja se halusi opinnäytetyön avulla selvittää harkko- ja elementtirakenteisen kivitalon kustannuseroja. Lisäksi haluttiin selvittää yrityksen kappaletavarasta rakentaman kohteen kustannukset, jotta niitä voidaan verrata saatuihin talopakettitarjouksiin. Saatua tietoa olisi tarkoitus hyödyntää yrityksen tulevissa urakoissa.

Tutkimuksen pohjana käytettiin valuharkoista rakennettua kivitaloa, jonka tarvikkeet hankittiin kappaletavarana. Kohteesta oli käytettävissä talopakettitarjouksia, tarjous sandwichelementeistä ja muita tarjouksia. Kappaletavarana hankitusta tavarasta oli myös kaikki laskut saatavilla, joiden avulla toteutuneet kustannukset saatiin laskettua. Työkustannusten laskennassa käytettiin aikataulukirjasta otettuja työsaavutuksia ja yrityksen toteutuneita työsaavutuksia.

Vuonna 2016 valmistuvien omakotitalojen runkomateriaali



Kuvio 1. (Rakennustutkimus RTS Oy)

1.2 Käsitteet

Kappaletavararakentaminen	Rakennustarvikkeet tilataan työmaalle, jossa ne käsitellään, työstetään ja asennetaan
Kivitalo	Talo, jossa kantavat rakenteet on tehty kivistä, tiilestä, betonista tai muusta niihin verrattavasta kovasta materiaalista.
Ontelolaatta	Teräsbetonista valmistettu elementti, jota käytetään rakennusten kantavana vaakarakenteena alapohjissa, välipohjissa ja yläpohjissa
RAM	Rakennusammattimies
RM	Rakennusmies
Sandwich-rakenne	Elementtirakenne, jossa on betoniset sisä- ja ulkokuoret sekä välissä eriste
Talopaketti	Esivalmistetuista rakennusosista koottu materiaalitoimitus omakotitalon rakentamista varten. Esivalmistuksen määrä vaihtelee suuresti.
Työmenekki	Aika, jonka työntekijä, työryhmä tai kone tarvitsee yhden suoriteyksikön aikaansaamiseen, esim. tth/m ² (työntekijätuntia neliömetrille)
Työsaavutus	Sovitun työryhmän aikayksikössä tuotettujen suoritteiden lukumäärä, esim. kpl/tv. (kappaletta työvuorossa)

2 KIVITALO ASUINRAKENNUKSENA

Kivitaloksi kutsutaan taloa, jonka kantavat rakenteet on tehty kivistä, betonista, tiilestä tai muusta niihin verrattavasta kovasta materiaalista. Kivitalo on pitkäikäinen, sillä kivirakenteet kestävät hyvin kosteutta ja lämpötilanvaihtelua. Vanhimmat säilyneet rakennukset on muurattu usein kivistä. Suunniteltu käyttöikä onkin usein pitempi kuin puutalossa. Kivitalot ovat verrattain huoltovapaita, esim. huoltomaalauksia ei tarvitse suorittaa. Huoltovapaus merkitsee kustannussäästöjä talon koko elinkaaren ajalle. Elinkaari on pitkä ja asuinkustannuksiltaan edullinen. Rakennuksen käyttöiän ajalla tarkasteltuna kivitalo on kokonaisedullinen, mutta rakennuskustannukset tulevat usein isommiksi. Hyvin rakennetun kivitalon arvo säilyy.

Kivitalo on puutaloa paloturvallisempi. Palossa betoni ei syty eikä sula, ei levitä paloa, ei lisää palokuormaa, eikä tuota myrkyllisiä kaasuja. Paloteknisesti betonirakenteet ovat parhaita A1-luokkaa. Palon leviäminen saadaan helposti estettyä tekemällä osastoivia väliseiniä. Kivitalo kestää tulipalon sortumatta, estää savun ja kuumien kaasujen leviämisen, suojaa viereisiä tiloja kuumuudelta ja syttymiseltä ja antaa suojaa pelastushenkilöstölle. Huonekalut ja pintamateriaalit toki syttyvät ja palaavat samoin kuin muissakin taloissa.

Kivitalo on hyvä eristämään ääntä johtuen massiivisesta rakenteesta. Massiiviset rakenteet eristävät matalilla taajuuksilla kulkevia ääniä, kuten bassomusiikkia tai raskaiden ajoneuvojen ääntä, toisin kuin kevyet rakenteet. Muurattu, rapattu rakenne parantaa ulkoseinän ääneneristävyttä kevyempiin rakenneratkaisuihin verrattuna jopa 5 - 15 dB. Kivirakenne on väsymätön materiaali, eivätkä ne pitkässäkin käytössä ala elämään tai narista.

Kivitalo on tiivis ilman höyrynsulkumuovia. Massiivinen rakenne auttaa eristämään lämpöä ja tasaa sisäilman lämmönvaihteluja varaamalla itseensä lämpöä sekä lämmitysenergiasta että auringosta. Kiviseinä varastoi lämpöä kylmällä ja viileyttä lämpimällä säällä. Kivi sopii hyvin matalaenergia- ja passiivitalojen rakennusaineeksi. Kivitalon rungon tiiveys ja massiivisuus takaavat rakennuksen energiatehokkuuden. (Kivitaloinfo.fi.)

3 HARKOT KIVITALORAKENTAMISESSA

Suomessa käytössä olevat harkot voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: ladottaviin muottiharkkoihin ja muurattaviin harkkoihin. Muottiharkot ovat yleensä betoniharkkoja, kun taas muurattavat harkot ovat useimmiten kevytsoraharkkoja. Muurata voi käyttämällä normaalia 10 mm paksuista muuraus-saumaa tai 5mm:n paksuisella ohutsaumalla. Väliseiniä voi muurata käyttämällä 2-3 mm paksuista ohutsaumaa, jolloin tarvitaan erikoislaastia. Harkoissa voi olla lämmöneriste, joka on usein materiaa-liltaan EPS. Eristeharkkojakin on saatavana sekä muurattavina harkkoina että ladottavina muotti-harkkoina.

Betoniharkkojen valmistus Suomessa alkoi 1940-luvulla ja 1970-luvulle saakka ne olivat suosittuja lähinnä teollisuusrakentamisessa ja maataloudessa. Betonivaluharkon ja lämpöeristetyin muurattavan harkon tulo markkinoille 1970-luvulla sekä EPS-eristetyin harkon kehittäminen 1980-luvun alkupuolella nostivat harkkorakentamisen suosiota. 2000-luvulla erityisesti ladottavien muottiharkkojen suosio on ollut kasvussa. Kevytsoraharkkoja on valmistettu 1950-luvulta lähtien Suomessa ja eristettyjä kevytsoraharkkoja 1970-luvulta lähtien. Itse kevytsoran valmistus alkoi vuosikymmen aikaisemmin 1940-luvulla. Käyttö on vuosikymmenten edetessä yleistynyt ja käyttökohteet monipuolistuneet. Kevytsoraharkoista käytetään yleisesti nimitystä Leca-harkko tunnetun kevytsoravalmistajan mukaan. (Kivitaloinfo.fi.)

Harkkorakentamisen hyviin puoliin voidaan nimetä harkkorakenteen säänkestävyys, hyvä kosteudenkesto, ilmatiiveys, lujuus, äänen- ja lämmöneristävyys sekä käsiteltävyys työmaalla. Harkoilla on toteutettavissa monimutkaisetkin rakenteet ja suuret aukotukset ja näin ollen arkkitehtonisesti korkeatasoiset ratkaisut ovat mahdollisia. Rakennettavuus on hyvä. Moni omatoimirakentaja päätyy harkkorakenteeseen, sillä toteutus ei aina vaadi pitkää kokemusta. Puolet pientalojen perustuksista rakennetaan harkkorakenteisina. Harkkoja löytyy lähes kaikkiin ainakin pientaloissa esiintyviin rakenteisiin kuten perustuksiin, väliseiniin, pilareihin, palkkeihin ja hormoneihin. Jo suunnitteluvaiheessa tulee kiinnittää huomiota harkkorakentamisen ominaispiirteeseen moduulimitoitukseen. Suunnittelija mitoitaa rakenteet, kuten seinien pituudet ja ikkuna-aukotukset moduulimitoituksen mukaisesti, jolloin hankalat rakenneratkaisut jäävät pois ja työmäärä työmaalla pienenee. Kevytsoraharkkoja on helpompi työstää, joten moduulimitoituksen käyttäminen niillä ei ole välttämätöntä. Harkkorakentamisen tärkeimmät työkalut ovat vesivaaka, kulmahiomakone, harvahampainen kovapalasaaha, kuminuija, muurauskauhat ja muurauskelkka. Lisäksi valuharkkorakentamisessa valussa käytetään tärysauvaa ja työstämisessä timanttilaikkaa. Oikeat ja hyväkuntoiset työvälineet tekevät rakentamisesta helpompaa ja laadukasta. (Kivitaloinfo.fi.)



Kuva 1. Harkkotuotteita (harkkokäsikirja).

3.1 Ladottavat harkot eli muottiharkot

Ladottavat ja valettavat valuharkot eli muottiharkot toimivat rakentamisen aikana nimensä mukaisesti muotteina. Niissä ei käytetä muurauslaastia. Yleisimpiä käyttökohteita ovat perustukset, kellarin seinät, ulko- ja väliseinät, pilarit ja tukimuurit. Harkkojen korkeusmitta on 200 mm ja pituusmitta tyypillisesti 500 tai 600 mm. Lisäksi on olemassa kulmaharkkoja, päätyharkkoja, 1/3 ja 2/3 – osaharkkoja sekä aukonylitysharkkoja. Aukon ylitykset toteutetaan usein T-teräksillä, joiden päälle käy tavalliset harkot. Ladonnassa käytetään rakenteen vahvistamiseksi limitystä, joka on yleensä 200 mm. Muottiharkot soveltuvat hyvin kantaviin väliseiniin sekä palo-osastointiin ja ääneneristykseen. Väliseinissä harkkojen leveydet vaihtelevat välillä 150 - 300 mm. (Kivitaloinfo.fi.)

3.1.1 Lämpöeristetyt muottiharkot

Eristeharkoissa on betonin lisäksi eristekerros, joka on tyypillisesti EPS:ää. Eriste pysyy kiinni betonikuoren lohenpyrstökuvionnin ansiosta. Eristeharkkojen käyttökohteita ovat ulkoseinät, sokkelit ja kellarin seinät. Ladonnan yhteydessä eristeen pysty- ja vaakasaumoihin pursotetaan vähän paisuvaa polyuretaanivaahtoa, jotta eristyksestä tulee tiivis. Ulkoseinän lämmönläpäisykertoimen vertailuarvoon $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ päästään yli 380 mm harkkopaksuudella. Yleensä ulkoseinissä käytetään 400 mm levyistä harkkoa. Harkkoja on saatavilla eri leveyksillä väliltä 300 - 500 mm. Koska harkot voidaan raudoittaa vahvasti niin vaakaan kuin pystyynkin, ne soveltuvat hyvin myös kellarin maanpaineseiiniin ilman esimerkiksi tukevia väliseiniä. (Kivitaloinfo.fi.)

3.1.2 Muottiharkkorakentaminen

Muottiharkkorakentamisen vaiheet esitetään seuraavassa (Lamminbetoni.fi):

Vaihe 1. Työ aloitetaan tarkistamalla anturan mitat ja asentamalla jokaiseen nurkkaan linjaohjurit. Linjaohjuri asennetaan seinän ulkopinnan mukaiseen linjaan ja suoruus tarkistetaan vatupassilla. Ohjureihin kiinnitetään linjalangat, joiden avulla harkkojen ladonta onnistuu suoraan ja oikeaan koon.

Vaihe 2. Vaaituskoneella etsitään anturan ylin korko, joka otetaan ensimmäisen kivikerroksen ladonnan lähtökoroksi. Mikäli anturan korko vaihtelee enemmän kuin ± 2 mm, käytetään ensimmäisen kivikerroksen ladonnassa muovisia asennuskiiloja. Ehdoton edellytys ladonnan onnistumiselle on, että ensimmäinen kerros on tasakorossa (± 2 mm).

Vaihe 3. Ensimmäisestä kerroksesta eteenpäin kivet ladotaan paikoilleen kerros kerrallaan käyttäen apuna linjalankaa ja vatupassia. Ladonta aloitetaan kulmasta joko myötä tai vastapäivään. Kulmakivien kätisyys vaihtuu joka kerroksessa kääntämällä kivi ylösalaisin, kulmakivet ovat siis päällekkäissä kerroksissa ristissä. Korkoa tarkistetaan säännöllisesti vaaituskoneella ja korjataan tarvittaessa kiilaamalla. Vaakasuuoruutta tarkkaillaan linjalangan sekä vatupassin avulla ja tarvittavat korjaukset tehdään kiilaamalla. Eristeharkkojen pysty- ja vaakasaumoihin levitetään polyuretaanivaahtoa, joka sitoo kivet työnaikaisesti toisiinsa ja varmistaa lämmöneristyksen yhtenäisyyden.

Vaihe 4. Ikkuna- ja oviaukot tehdään käyttämällä päätykiviä. Aukkojen ylityksissä käytetään aukkojen T-profiilista ylitysterästä. Aukkojen ylitykset tuetaan lisäksi valujen ajaksi, ettei valupaine taivuta aukon yläreunaa alaspäin. Päätykolmion yläreuna tehdään tavallisesti muotittamalla laudalla tai vannerilla ja muottilukoilla. Jyrkemmissä päätykolmioissa myös yläpinta muotitetaan ja siihen jätetään valuaukot noin 3 metrin välein. Valuaukot suljetaan valupinnan noustessa.

Vaihe 5. Ladonnan yhteydessä rakenteeseen asennetaan teräkset rakennesuunnitelmien mukaisesti. Vaakateräksiä käytetään lähes poikkeuksetta, ne asennetaan harkoissa valmiina oleviin uriin. Kellarin seinissä ja muissa vaakavoimia vastaanottavissa rakenteissa sekä ovien ja ikkunoiden pielissä käytetään yleensä myös pystyraudoitusta. Raudoituksen jatkospituudet määräytyvät käytettävän teräspaksuuden mukaan. Tyypilliset paksuudet ovat 8 ja 10 (12) mm.

Vaihe 6. Ladonnan jälkeen ennen valua harkkojen onteloihin asennetaan tarvittavat sähköputkitukset ja -rasiat, sekä vesiputket. Tämä vähentää roilotuksen tarvetta. Valuun jäävät sähköjohdot asennetaan aina suojaputkiin ja valuun asennetaan vain pystysuuntaisia sähköputkia. Vaakasuntaiset sähkövedot kuljetetaan ala-, väli-, tai yläpohjassa.

Vaihe 7. Kun 7-8 harkkokerrosta on ladottu, suoritetaan valu. Onteloihin valettu betoni muodostaa muottiharkkorakenteen kantavan osan. Betonin lujuuden määrää rakennesuunnittelija. Julkisivuissa käytetään yleensä betonia C30/37 ja rasisluokkana on XF1 ja XC3. Harkon leveyden ollessa yli 200 mm betonin suurin sallittu raekoko on 16 mm, ja harkon leveyden ollessa alle 200 mm se on 8mm. Notkeusluokan pitää olla S3 tai S4 (vetelä tai nestemäinen). Valu suoritetaan pumppuvaluna suoraan betoniautosta, jolloin itse valutapahtuma on nopea toteuttaa. Valusauma jätetään harkkojen puoliväliin ja sauma raudoitetaan rakennesuunnitelmien mukaisesti. Valu tiivistetään sauvatäryttimellä 200 – 400 mm välein käyttämällä $\varnothing 20$ -25 mm tärysauvaa. Onteloita, joissa on sähkörasia ei tiivistetä koska rasia voi irrota. Harkot kastellaan ennen valua, sillä kuiva harkko imee valunbetonin vedestä suuren osan ja tartunta jää heikoksi.

Vaihe 8. Valuroiskeet puhdistetaan seinistä ja harkkojen päältä välittömästi valun jälkeen. Työsau-
maraudoitusta asennetaan myös heti valun jälkeen, ellei sitä ole asennettu ennen valua. Sauma-
raudoitusta ei saa asentaa sen jälkeen, kun valu on kovettunut. Jälkihoito tehdään normaalien beto-
nirakenteiden tapaan, tärkeintä on pitää seinärakenne tasaisen märkänä ensimmäisen vuorokauden
ajan.



Kuva 2. Nurkissa käytetään kulmaharkkoja. Pystyraudoitukset tulevat valuonteloihin. (Kivitaloinfo.fi.)



Kuva 3. Rakenteilla oleva harkkotalo (Kivitaloinfo.fi).

3.2 Muurattavat harkot

Muurausharkkoja ei valeta, vaan ne kiinnitetään toisiinsa muurauslaastin avulla. Myös muurausharkkoja valmistetaan betonista, mutta usein muurauksessa käytetään kevytsoraharkkoja. Sauman leveys on 10 mm, 5 mm 3 mm, tai 2 mm. Ohutsaumamuurauksessa ei pystysaumassa tarvita laastia, kun taas sauman leveyden ollessa 10 mm myös pystysaumassa käytetään 10 mm laastia.

Muurattavilla ja valettavilla harkoilla on paljon eroja sekä käytön että lopputuloksen suhteen.

3.2.1 Muurattavat kevytsoraharkot

Kevytsoraharkot ovat kevyitä käsitellä. Normaalin betonin paino on 2 200...2 400 kg/m³ kun taas kevytsorabetonin paino on 600...1 500 kg/m³. Kevytsora valmistetaan savesta polttamalla savea yli 1 100-asteisessa pyörivässä uunissa. Kevytsorarakeet saavat pyöreän ja sileän pinnan muodon uunin pyörimisliikkeen johdosta. Raekoko vaihtelee 1...20 mm välillä. Kevytsora on sisältä huokoista ja pinnaltaan tiivistä. Huokoisuuden ansiota on kevytsoran keveys ja lämmöneristävyys. Muita kevytsoran käyttökohteita ovat rakennusten ala- ja yläpohjien lämmöneristys, perustukset, routaeristys ja infrarakentamisessa kevennysmateriaalina ja routaeristyksessä. Kevytsorabetoniharkot muodostuvat kevytsoran lisäksi rakennussementistä, vedestä, kiviaineksesta ja täyteaineista. Nettokuivatiheys kevytsoraharkkoissa käytettävällä kevytsorabetonilla on perustus- ja ulkoseinäharkkoissa 700 kg/m³ tai 1000kg/m³. Yleisin nimellistiheys on 700 kg/m³ ja tällä tiheydellä saavutetaan puristuslujuus 3...4MN/m². 10mm saumalla muurattavien harkkojen pituus on 590+-5mm ja korkeus 190+-5mm. Menekki on 8.3kpl/m². Muurattavia eristeharkkoja käytetään ulkoseinissä ja muissa kylmään rajoituvissa tiloissa. Lämmönläpäisykertoimen vertailuarvoon U=0,17W/m²K päästään polyuretaanieristeellä harkon leveydellä 350mm ja normaalilla EPS-eristeellä harkon leveydellä 400mm. Parhaimmillaan päästään U-arvoon U=12W/m²K, jolloin harkkojen saumoissa tulee käyttää vähän paisuvaa polyuretaanivaahtoa sauman tiivistämiseksi ja rakenne tiivistetään sekä ulkoa että sisältä tasoitteella tai rappauksella. (Kivitaloinfo.fi.)

Ominaisuus	
<i>Kevytsorabetonin kuivatiheys</i>	700...950 kg/m ³
<i>Harkon paino</i>	16...22 kg
<i>Normalisoitu puristuslujuus, kevytsorabetoni</i>	3...5 MN/m ²
<i>Kuivumiskutistuma</i>	< 0,6 mm/m
<i>Eristeharkkoseinän U-arvo</i>	
- eristeharkon leveys >300 mm	0,23 W/m ² K ⁻¹
- eristeharkon leveys >380 mm	0,15 W/m ² K ⁻¹
- eristeharkon leveys >420 mm	0,12 W/m ² K ⁻¹

Kuva 4. Eristettyjen kevytsoraharkkojen ominaisuuksia (Kivitaloinfo.fi).

Ilmään eristävyyslukuja (R'<i>w</i>)^{a)}	
UH-150	40 dB
RUH-200	44 dB
RUH-250	46 dB
RUH-300	48 dB
Väliseinäharkot tai -levyt	
Paksuus 88 mm, bruttokuivatiheys > 700 kg/m ³	35 dB
Paksuus 100 mm, bruttokuivatiheys > 700 kg/m ³	36 dB
Paksuus 150 mm, bruttokuivatiheys > 700 kg/m ³	37 dB
Paksuus 130 mm, bruttokuivatiheys > 1600 kg/m ³	44 dB
Paksuus 130 mm, bruttokuivatiheys > 2150 kg/m ³	48 dB
Eristeharkkoseinän leveys > 380 mm	49 dB ^{b)}
Kaksoisrakente (huoneistojen välinen seinä)	55 dB
UH-100, muurauslaasti myös pystysaumassa	
50 mm rako ja mineraalivilla kaksoisrakenteen välissä	
UH-100, muurauslaasti myös pystysaumassa	
- Seinäpinnat tiivistetään vähintään 5 mm tasoitteella.	
- Seinät tukeutuvat sokkeliin, jossa halkaisu ulottuu vähintään 400 mm syvyydelle.	
- Ääneneristysarvo huononee 2...3 dB, jos seinät sidotaan toisiinsa sidelangoilla 4 kpl/m ²	

^{a)}Harkkoseinä tulee tiivistää tasoite- tai rappauslaastilla molemmin puolin

^{b)}Ääneneristysvaatimus huoneistojen väliselle seinälle

Kuva 5. Kevytso-raharkkorakenteiden ilmanääneneristyslukuja R'*w* (rakennuksessa mitattuja arvoja) (Kivitaloinfo.fi).

3.2.2 Muurattavat betoniharkot

Betonin tiheys muurattavissa betoniharkoissa on $\geq 2\,200\text{ kg/m}^3$, joten ne ovat muurattavia kevytso-raharkkoja painavampia. Muuraus tapahtuu kuten kevytso-raharkoilla. Valikoima on suppeampi kuin kevytso-raharkoilla.

3.2.3 Väliseinäharkot, täydentävät harkkotuotteet ja erikoisharkot.

Kevytso-raharkon väliseinäharkoissa käytetään yleensä ohutsaumamuurausta 2,3 tai 5 mm. Korkeuden liittymismitta vaihtelee ollen joko 200 tai 300 mm, vaakasuunnassa leveys on yleensä 600 mm. Kevytso-raharkon tehdään myös onteloilla kevennettyjä väliseinäelementtejä. Paksuudet vaihtelevat 68 - 130 mm välillä ja korkeus 2 500 – 3 300 mm välillä. Muita saatavilla olevia harkkotuotteita ovat ainakin anturaharkot, pilariharkot, hormiharkot ja valmispalkit. Näillä työtä voidaan nopeuttaa, sillä vaihtoehtoisia rakenteita ei tarvitse käyttää tai rakenteita leikata.



Kuva 6. Aukon ylityspalkki. Raudoitus, valu ja muuraussiteiden asennus. (Harkkokäsikirja).

3.2.4 Muurauslaastit

Harkkojen sitomiseen toisiinsa käytetään muurauslaastia. Laastisauma myös korjaa harkkoissa esiintyviä mittapoikkeamia. Rakenteelle tarkoitettu lujuus saavutetaan laastin ja raudoituksen ansiosta, lisäksi laasti suojaa raudoitusta. Laasteille asetetaan standardeissa vaatimuksia tartuntalujuudesta, puristuslujuudesta, pakkasenkestävyydestä ja notkeudesta. Muurauslaastin M100/500 sideaineena on muuraussementti 100 paino-osaa ja runkoaineena uunikuivattu raekoon 0...4 mm luonnonkiviaines 500 paino-osaa. Muurauslaastia M100/500 käytetään 10 mm saumalla muurattaessa. Laastin ominaisuudet ovat paremmat kuin kevytsoraharkon, sillä se ylittää puristus- ja vetolujuudessa sekä tartunnassa kevytsoraharkon vastaavat lujuudet.

Ohutsaumalaastilla on samat tehtävät kuin normaalillakin muurauslaastilla. Niiden maksimiraekoko on enintään 2 mm käytettäessä 5 mm saumaa. 2...3 mm saumaa käytettäessä raekoko voi olla korkeintaan 1,0mm. Harkkojen mittatarkkuuden on ohutaumauksessa oltava suuri johtuen ohuesta saumasta. Ohutsaumalaastit sisältävät uunikuivattua kiviainesta, mineraalista täyteainetta, sementtiä, vettä ja lisäaineita. Laastin levityksessä käytetään muurauskelkkaa tai -kauhaa ja 2...3 mm saumalla myös suppilosta kaatamista tai harkon pinnan kastamista laastiin. (harkkokäsikirja.)

3.2.5 Muurausharkkorakentaminen

Muurausharkkorakentamisen vaiheet esitetään seuraavassa (E-weber.fi):

Vaihe 1. Työ aloitetaan tarkistamalla anturan mitat ja asentamalla jokaiseen nurkkaan linjaohjurit. Linjaohjuri asennetaan seinän ulkopinnan mukaiseen linjaan ja suoruus tarkistetaan vatupassilla. Ohjureihin kiinnitetään linjalangat, joiden avulla harkkojen ladonta onnistuu suoraan ja oikeaan korkoon.

Vaihe 2. Vaaituskoneella etsitään anturan ylin korko, joka otetaan ensimmäisen kivikerroksen ladonnan lähtökorkoksi. Ensimmäinen kerros tasataan oikeaan korkoon muurauslaastilla. Ensimmäisen harkkokerroksen on oltava tasakorossa muurauksen onnistumiseksi.

Vaihe 3. Muurausta jatketaan kerros kerrokselta aloittamalla kulmista, joita on lavalla sekä oikea-että vasenkätisinä. Muurausta nopeuttaa muurauskelkan käyttö muurauksessa ainakin pitkillä aukotomilla seinillä. Mikäli muurataan 10 mm saumalla ja pystysaumaankin tarvitaan laastia, muurataan muurauskauhalla. Harkko nostetaan paikalleen ja kopautetaan tarvittaessa lopullisesti paikalleen esim. kumivasaralla. Laastipurseet poistetaan ennen laastin kovettumista. Vaakasaumoissa kannattaa käyttää vähän turpoavaa polyuretaanivaahtoa yhtenäisen eristeen aikaansaamiseksi. Harkot saadaan katkottua tähän tarkoitettuun kovametalliteräisellä sahalla, kulmahiomakoneella tai harkkosirkkelillä.

Vaihe 4. Raudoitus asennetaan rakennesuunnitelmien mukaisesti. Kutistumaraudoitukseksi tulee asentaa molempiin harkkokuoriin vähintään 8 mm:n harjateräkset tai $\varnothing 4$ mm:n tikasraudoitteet joka kolmanteen saumaan. Ikkuna-aukon alasaumaan ja aukkojen yläpuoliseen palkkiharkon saumaan tulee asentaa raudoitus kuten myöskin ylimpään ja alimpaan saumaan. Aukkojen ylityksessä terästen tulee ulottua vähintään jatkospituuden verran aukkojen yli. Harkkojen urat täytetään laastilla ennen harkkojen asennusta, jotta laasti ympäröi niitä. Jatkospituudet 8 mm harjateräksellä on vähintään 700 mm ja tikasraudoitteella 400 mm.

Vaihe 5. Aukkojen pieliin asennetaan ohjurilaudat, jotta pystypielistä tulee suorat. Huomioidaan noin 15 mm asennus/tiivistysvara. Kaikkiin aukkojen pieliin asennetaan 4 mm:n ruostumattomat muuraussiteet. Jotta karmien kiinnitysalustana käytettävät apukarmit voidaan asentaa, muuraussiteet asennetaan vähintään 150 mm päähän harkon päädyistä. Väliseinät sidotaan ulkoseiniin muuraussiteillä tai harjateräksillä.

Vaihe 6. Väli- ja yläpohjan alapuolinen harkkokerros tehdään palkkiharkoista rakenteen vahvistamiseksi. Palkkiharkon uriin laitetaan teräkset ja tehdään valu, jolloin muodostuu rakennuksen kiertävä rengaspalkki. Ylimmän harkkokerroksen ja välipohjan alapuoliseen saumaan asennetaan muuraussiteet 1 kpl/harkko.

Vaihe 7. Useilla valmistajilla kuten Lecalla on valmispalkkeja aukkojen ylityksiin, jolloin aukkojen ylityksiin ei tarvita väliaikaista tuentaa. Eristeharkkoseinässä asennetaan kaksi valmispalkkia vierekkäin, joiden väliin asennetaan eriste. Palkki asennetaan tuelle vähintään 250 mm. Aukot voidaan ylittää myös palkkiharkkojen avulla, jolloin aukkojen kohdalle rakennetaan puutavarasta väliaikaiset tuet. Palkkiharkot valetaan lujuusluokan C25/30 betonilla tai lujuusluokan käyttävällä kuivatuotteella.

3.3 Harkkojen raudoitteet

Harkkorakenteessa raudoitteena käytetään yleensä harjaterästä paksuudeltaan 8 tai 10 mm, raudoitteepaksuudet 6 ja 12 mm ovat myös mahdollisia. Raudoituksen tarkoitus on ottaa vastaan taivutus-, leikkaus-, ja vetojäännityksiä sekä rajoittaa kosteus- ja lämpöliikkeistä sekä kutistumisesta aiheutuvaa halkeilua. Laastin tarkoitus on antaa raudoitteelle riittävä korroosiosuojaus ja tartunta. Mikäli olosuhteet niin vaativat, raudoitteena voidaan käyttää syöpymätöntä terästä. Mikäli muurauksessa käytetään ohutsaamaa, tarvitaan usein erikoisraudoitteita ja raudoite-elementtejä. (Kivitaloinfo.fi.)

4 ULKOSEINÄT KIVITALORAKENTAMISESSA

4.1 Sandwichjulkisivuelementti

Sandwich-julkisivu sopii pientaloihin, joskin niiden käyttö edelleen on melko vähäistä. Välipohjalaatat tukeutuvat sandwichelementin kantavan sisäkuoren varaan ja kantaviin väliseiniin. Rakennusten pitkällä sivuilla elementit ovat ei-kantavia. Elementti koostuu kantavasta sisäkuoresta, eristeestä, tuuletusraosta ja ulkokuoresta. Kuoret sidotaan toisiinsa diagonaaliensailla ja pistokkailla, jotka toimivat puristettuina ja vedettyinä sauvoina. Ansaat tulevat tasajaolla k600-k1200 ja aukkojen reunoille tulee pistokkaat. Ansaiden ja pistokkaisen avulla ulkokuoren oma paino ja tuulikuorma sekä kuljetuksen aiheuttamat kuormat viedään sisäkuorelle. Lisäksi ansaat estävät ulkokuoren liiallista kaareutumista elementin keskikohdalla ja reunoilla. Kaareutuminen johtuu epätasaisesta kuivumiskutistumasta ja ilman kosteus- ja lämpötilavaihteluista. Käytännössä ulkokuori alkaa kuivua nopeammin sen joutuessa alttiiksi auringon paisteelle. Tällöin tapahtuu kaareutumista keskeltä sisäänpäin. Lämpötilan vaihteluiden aiheuttamat voimat ovat huomattavasti pienempiä. Muodonmuutoksista syntyy jännitteitä, sillä ansaat pyrkivät estämään liikkeitä betonikuorten välillä. Jännitteen ylittäessä betonin vetolujuuden rakenne halkeilee. Tästä seuraa myös jäykkyyden ja jännitteen pieneneminen. Halkeiluriski kasvaa elementtien koon kasvaessa. Yli 6 metrisiä aukollisia elementtejä tulisi välttää, koska aukkojen nurkat ovat alttiit halkeilulle. (elementtisuunnittelu.fi.)

Elementtien maksimitat vaihtelevat eri tehtaiden välillä. Maksimikorkeus on 3 600 - 4 200 mm joutuessa kuljetuksen ja tiestön aiheuttamista rajoitteista. Työmaan nostokalusto rajaa elementin painoa noin 10 tonniin. Diagonaaliensaait aiheuttavat yli 3 000mm korkeiden elementtien ulkokuoreen merkittäviä pakkovoimia, joten sitä korkeampiin elementteihin asennetaan ansaat vain osaan elementistä. (elementtisuunnittelu.fi.)

Sandwich-elementtien parhaisiin ominaisuuksiin kuuluu korkea esivalmistusaste, jonka ansiosta rakennusaika on nopea ja merkittävä osa rakentamisesta on siirretty tehtaisiin säältä suojattuihin olosuhteisiin. Verrattuna sisäkuorielementteihin sandwichelementeissä on myös ulkokuori valmiina, joten työmäärä työmaalla pienenee entisestään. Nopea rakentamisajan ansiosta vesikatto saadaan päälle nopeasti, jolloin työmaalla päästään säältä suojaan ja kuivatus voidaan aloittaa. Rakenteen ulkokuorella on tyypillisesti lyhyempi suunnittelukäyttöikä kuin sisäkuorella ja vanhoihin sandwichjulkisivuihin tehdäänkin paljon julkisivuremontteja. Aukkojen sijoittelu sandwichelementtiin ei ole niin vapaata kuin paikallavalussa, mutta ikkunat voidaan asentaa paikalleen jo tehtaassa. (elementtisuunnittelu.fi.)

4.2 Sisäkuorielementti

Sisäkuorielementeistä rakennetussa ulkoseinässä sisäkuori toimii kantavana rakenteena. Lämönneriste voi olla kiinnitetty elementtiin jo tehtaalla tai se voidaan asentaa työmaalla. Julkisivu on joko yhdistetty, eriytetty tai rapattu. Tuuletusrako on tiilijulkisivussa yleensä 40 mm, betonikuorielementtejä käytettäessä 30 mm ja rapatussa julkisivussa rappaus tulee suoraan kiinni

lämmöneristeeseen. Kantavien sisäkuorielementtien paksuus on tyypillisesti 150 mm ja ei kantavien 100 mm. Ohuempia ei kannata käyttää muodonmuutosten vuoksi. Betonin lujuusluokkana käytetään K30 - K40 betonia. (betoni.com.)

Raudoituksena kantavissa elementeissä on yleensä pieliteräkset halkaisijaltaan 10-12 millia ja tarvittaessa kaksipuoliset teräsverkot. Lisäksi tarvittaessa käytetään hakateräksiä aukkojen yhteydessä. Ei-kantavissa elementeissä pärjätään vähemmällä raudoituksella. Tehtaalla asennettu lämmöneriste pienentää työmaan työmenekkiä, mutta saumat joudutaan tilkitsemään kuitenkin työmaalla. Työmaalla asennettu lämmöneristys on yhtenäisempi. Lisäksi yleensä asennetaan tuulensuojalevy. Lämmöneristys kiinnitetään joko mekaanisilla kiinnikkeillä tai tartuntakiinnityksellä. Elementit kiinnitetään toisiinsa yleensä vaarnalenneilla, jotka nopeuttavat asennusta teräslenneihin verrattuna. Vaarnalenneja tulee yleensä 3-4 päätyä kohden. Myös kiinnitys laatastoon voidaan toteuttaa vaarnalenneilla tai perinteisillä teräshaoilla. Liitos toteutetaan sidontapistekolojen avulla siten, että sisäkuorielementin yläpää muotoillaan valutueksi, jolloin muottirakenteita ei erikseen tarvita liitoksen valussa. Tarvittavia teräsosia voidaan kiinnittää elementtiin jo tehtaalla. Esimerkiksi tiilisiteet ja elementin työnaikaiseen tuentaan tarvittavat kiinnityslevyt ja ankkurit voidaan asentaa tehtaalla. (betoni.com.)

4.3 Eriytetyt ja yhdistetyt julkisivurakenteet

Sisäkuorielementin julkisivu toteutetaan joko eriytettynä tai yhdistettynä julkisivuna. Elementtisuunnittelu.fi-verkkosivuilla sanotaan: eriytetyssä seinärakenteessa rungon ympärille tehdään sateen ja ainakin osittain lämmönpitävä suojavaippa, minkä jälkeen rakennustyö jatkuu vaipan sisä- ja ulkopuolella omaa tahtiaan. (viitattu 31.12.2017). Eriytetyllä julkisivulla saatavia etuina ovat, ettei sisä- ja ulkokuoren mitat ole sidoksissa toisiinsa, ulkokuoressa on helppo käyttää monia eri materiaaleja, kosteustekniset riskit ovat pienet hyvän tuulettuvuuden ansiosta, erilaiset voimat kuten kutistuma- ja lämpöliikkeet tapahtuvat vapaasti eivätkä aiheuta jännitteitä rakenteeseen sekä saumojen suunnittelu on hyvin vapaata. Rakenteen huonona puolena on, että kappalemäärän lisääntyessä ja kiinnikkeiden ym. muiden rakenteiden monimutkaistuessa kustannukset nousevat kalliimmaksi kuin sandwich-elementtirakenteessa. (elementtisuunnittelu.fi.)

Elementtisuunnittelu.fi-verkkosivuilla kerrotaan, että yhdistelmärakenteella tarkoitetaan ulkoseinää, jossa ulkoseinän sisäosa on betonia ja varsinainen julkisivu eri materiaalia. (viitattu 31.12.2017). Rakenteella saadaan hallittua julkisivun taakse päässyt kosteus tuuletusraon ollessa riittävä, vähintään 30 mm. Erona sandwichjulkisivuun on, että sisä- ja ulkokuori ovat erillisiä komponentteja. Sisäkuori asennetaan ensin, julkisivu sen jälkeen ja julkisivu tulee sovittaa sisäkuoren mittoihin. Mittatoleransseissa vaaditaan suurta tarkkuutta, sillä julkisivun ja sisäkuoren mitat eivät saa erota toisistaan. Julkisivun tuki koostuu yleensä puu- tai metallirankarungosta sekä kiinnikkeistä, joilla ranka kiinnitetään sisäkuoreen. (elementtisuunnittelu.fi.)

4.4 Seinäelementtirakentaminen

Houtsonen (2018-03-04) esittää opetusmateriaalissaan seinäelementtirakentamisesta seuraavaa:

Vaihe 1. Elementtien asennuspaikat mitataan paikoilleen rakennuksen mittalinjoista tai -pisteistä ta-
kymetrilla tai mitalla ja merkitään siten, että ne jäävät näkyviin myös asennustyön edetessä. Oikea
korkeusasema selvitetään vaaituskoneella tai tasolaserilla ja mitalla.

Vaihe 2. Alusta tasataan samaan korkoon käyttämällä erikorkuisia asennuspaloja. Asennuspalojen
korkeuden tulee olla vähintään 20 mm, jos vaakasauma valetaan jälkivaluna. Saumabetonin laittami-
nen elementin alle ennen asennusta nopeuttaa jälkitöitä, mutta ne voidaan betonoida myös paineva-
luna tai pystysaumojen pumppauksen yhteydessä. Talviolosuhteissa käytetään pakkasbetonia.

Vaihe 3. Elementit nostetaan paikalleen kiinnittämällä nostoraksit elementeissä oleviin nostolenkkei-
hin. Siirroissa käytetään tarvittaessa ohjausköyttä.

Vaihe 4. Elementti siirretään paikalleen elementtikankien avulla.

Vaihe 5. Elementit tuetaan elementtituilla eli tönäreillä ja säädetään pystysuoraksi tönäriä säätä-
mällä. Koko seinälinjan suoruus tarkistetaan asennuksen päätyttyä.

Vaihe 6. Alasauma valetaan, jos saumabetonia ei ole käytetty ennen elementtiasennusta. Pysty-
sauma voidaan valaa ilman muotitusta käyttämällä pumpattavaa massaa.

4.5 Siporex

Siporexin eli höyrykarkaistun kevytbetonin raaka-aineet ovat sementti, vesi, hienoksi jauhettu hiekka
ja masuunikuona. Massaan lisätään alumiinijauhetta, jonka ansiosta syntyy vetykuplia, ja massasta
tulee huokoista. Huokoisuutensa ansiosta siporex on kevyttä. Sitä valmistetaan eri kuivatiheyksillä
400, 450 ja 500 kg/m³ ja toimituspaino on korkeintaan 700 kg/m³. Huokoisuus tekee siporexista
myös lämpöä eristävää. Ominaislämpökapasiteetti on samaa luokkaa kuin betonin, noin 1,05 kJ/kgK.
Se sopii kantavaksi rakenteeksi ja on palamatonta ja helposti työstettävää materiaalia. Väri vaihtelee
harmaan valkoisesta siniharmaaseen. Siporexin lämmöneristysominaisuudet eivät ole yhtä hyvät
kuin useimmilla lämmöneristeillä, mutta se toisaalta varastoi lämpöä massiivisuutensa ansiosta.
Lämmönvaihtelut rakennuksen sisällä pysyvät pieninä ja yhtenäisillä rakenteilla auringon lämpöä va-
rastoituu rakenteeseen. (hplush.fi.)

Tehtaalta toimittaessa siporex sisältää kosteutta noin 30 painoprosenttia. Tasapainokosteus on 3 - 6
paino-%, joten rakennekosteuden poistumien on otettava huomioon ensimmäisten lämmityskausien
aikana. Rakenteen ollessa kostea vesi liikkuu rakenteessa ja kuivuminen tapahtuu pääosin kapillaari-
sesti. Rakenteen lähestyessä tasapainokosteutta kosteuden siirtyminen tapahtuu höyrymuodossa.

Normaaleissa kosteusolosuhteissa pakkasrapautumisen riskiä ei ole sillä kosteuden tulee olla lähellä 60-painoprosenttia. Näin suureen kosteuden syntymiseen tarvitaan kosteusvauriota. (hplush.fi.)

Siporex-harkkoseinät					
1	2	3	4	5	6
Rakenne, käyttötarkoitus	Kuivatiheys	Keskimääräinen lämmönjohtavuus	Vesipitoisuus	Normaalinen lämmönjohtavuus	
	ρ	λ_{10}	W_n	λ_n	
	Kg/m ³	W/(m x K)	% kuivapainosta	W/(m x K)	
Ohut- tai liimasaumoin maanpinnan yläpuolella	400	0,10 *)	6	0,11 *)	1)
	450	0,12	6	0,135	1)
	500	0,13	6	0,15	1)
Ohut- tai liimasaumoin sisätilassa ja pintaverhottuna ulkoseinässä	400	0,10 *)	4	0,11 *)	2)
	450	0,12	4	0,13	2)
	500	0,13	4	0,145	2)
Ulkoseinässä maanpinnan alap.	500	0,13	10	0,17	3)

Kuva 8. Siporex-rakenneosien normaaliset lämmönjohtavuudet (hplush.fi).

Massan kuivatiheys	Puristuslujuus	Taivutusvetolujuus	Kimmo-moduuli
ρ	K_n	K_{nt}	E_c
kg/m ³	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
400	1,7	0,3	1000
450	2,3	0,44	1200
500	3,0	0,58	1400

Kuva 9. Siporexin lujuuden nimellisarvoja (hplush.fi).

Siporexista on saatavilla laaja valikoima tuotteita kuten harkkoja, palkkeja ja elementtejä. Harkkoja käytetään mm. rakennusten kantavissa ja ei-kantavissa väli- ja ulkoseinärakenteissa. Harkkoja on saatavilla monen kokoisina ja ne muurataan ohutsaumalaastilla 2 mm saumalla. Väliseiniin on saatavilla ei-kantavia "väliseinälaattoja", jotka voidaan kiinnittää toisiinsa nopeasti liisterilaastilla. Lisäksi väliseiniin on väliseinäelementtejä. Ne ovat hyviä märkätiloihin, koska siporex ei kärsi kosteudesta. Tosin siporex päästää kosteutta sisäänsä huokoisuutensa vuoksi. Palkit ovat kantavia rakenteita, joita voidaan käyttää aukkojen ylityksissä. Ne on raudoitettu pitkittäisteräksillä ja 45 asteen kulmassa olevilla leikkausteräksillä. Siporexin raudoitteet tulee yleensä korroosiosuojata tai käyttää ruostumatonta terästä, koska huokoinen siporex päästää kosteutta sisäänsä. Palkkien raudoitteet käsitellään sementtipohjaisella korroosionestomassalla. Siporex- kattoelementit sopivat alapohjiin, välipohjiin ja yläpohjiin. Niillä päästään korkeintaan kuuden metrin maksimipituuteen. Seinäelementtejä on saatavilla, mutta niitä harvemmin käytetään pientalossa. Maanpaine- ja porraselementit sen sijaan ovat pientaloissa mahdollisia. Laajan tuotevalikoiman anisosta koko pientalon runko voidaan rakentaa siporexista. Käytännössä nykyisten lämmöneristysvaatimusten täyttämiseksi siporex vaatii lisälämmöneristystä pientaloissa. (hplush.fi.)

Seinän paks. mm	Kuivatiheys kg/m ³	Pinnoite vähintään	R _w	R' _w
68	500	tasoite + tasointe	34 dB	25-30 dB
88	500	"	35 dB	30 dB
100	500	"	36 dB	30 dB
150	500	"	40 dB	35 dB
200	500	"	44 dB	40-44 dB
250	450	"	45 dB	40 dB
300	450	tasoite + ohutpinnoite	46 dB	40 dB
375	400	"	47 dB	

Kuva 10. Yksinkertaisten siporex-seinien ilmaääneneristyslukuja R_w ja R'_w (hplush.fi).

4.6 Siporexrakentaminen

Siporexulkoseinääharkot asennetaan toisiinsa kiinni harkkoliimalla. Mikäli antura on epätasainen, ensimmäinen harkkorivi kiinnitetään muurauslaastilla. Harkon juotosura tulee jokaiseen pystysaumaan ja ne täytetään kaatamalla niihin harkkoliimaa. Aukkojen kohdalla siporexharkot katkaistaan haluttuun mittaan siporexsahalla. Ensimmäisen harkkokerroksen jälkeen harkkoliimaa voidaan levittää kelkalla. Kelkan hammastus annostelee oikean liimamäärän. Harkot liimataan aina limittäin ja niiden pinta tulee kostuttaa ennen liimausta, jos se on kuiva. Syntynyt hammastus saadaan poistettua tasohtertimen avulla. Kutistumateräksien urat jyrsitään urakaapimen tai -jyrsimen avulla. Urat kostutetaan, niihin kaadetaan harkkoliima ja asennetaan teräkset. (hplush.fi.)

5 VÄLIPOHJAT

Koska välipohja liittyy olennaisesti valittavaan ulkoseinärakenteeseen, käsitellään tässä yleisimmät betonirakenteisen pientalon välipohjaratkaisut. Ne ovat ontelolaatta ja paikallavalettu välipohja. Tässä työssä ei käsitellä liitto- eikä kuorilaattoja.

5.1 Ontelolaatta

Ontelolaatat ovat yleisimmin käytössä oleva laattatyyppi betonirunkoisissa pientaloissa. Niiden painoa on saatu kevyemmäksi pituussuuntaisilla onteloilla. Valmistuksessa käytetyn betonin lujuusluokka vaihtelee välillä C40-C70. Valu tapahtuu elementtitehtaalla liukuvaluna pitkien teräksisten valupetien päälle. Muottilaitoja ei tarvita laisinkaan, sillä käytettävä massa on hyvin jäykkää. (elementtisuunnittelu.fi.)

Taulukko 1. Ontelolaattatyypit

LAATTATYYPPI	LAATAN KORKEUS [mm]	ELEMENTIN PAINO [kg/m ²]	PAINO SAUMATTUNA [kg/m ²]	VÄHIMMÄISTUKIPINTA [mm]	MAKSIMIJÄNNEVÄLI [m]
O15	150	205	215	60	7,0
O20	200	245	260	60	11,0
O27	265	360	380	60	13,5
O32	320	380	400	60	16,0
O37	370	485	510	60	14,0
O40	400	435	465	100	18,5
O50	500	560	600	100	20,0

Lähde: elementtisuunnittelu.fi

Kuvan laatoista O20 on tavallisin pientaloissa käytössä oleva laattatyyppi, joka soveltuu niin ala-, väli- kuin yläpohjiinkin. Myös laattoja O15 ja O27 käytetään pientaloissa. Tavallisten ontelolaattojen palonkesto on REI60, mutta sitä on mahdollista parantaa korkeammaksikin. Ontelolaattojen vakioleveys on 1200 mm ja ne saadaan nostettua saksinostimella paikalleen. Kavennettuihin laattoihin asennetaan nostolenkit. (elementtisuunnittelu.fi.)

Ontelolaattojen asennuksessa käytetään erikorkuisia asennuspaloja, joita käyttämällä laatasto saadaan oikeaan korkoon ilman hammastuksia ja saumavalu saadaan ontelolaataston alle. Asennusjärjestys on esitetty asennuskaaviossa. Rakennesuunnitelmassa ja asennussuunnitelmassa selviää ontelolaatan vaatima tukipinta, joka on useimmiten 80 mm. Asennuksen jälkeen ontelolaattojen välit raudoitetaan ja koko laatasto raudoitetaan rengasraudoitteella rakennesuunnitelmien mukaisesti. Valuun käytetään notkeaa ja raekooltaan pientä saumausbetonia, jotta saumat saadaan valettua tiiviisti. Laatasto ei saa kuormittaa ennen valun riittävää kovettumista. Kun valu on kuivunut

muodostavat ontelolaatat laattakentän, joka kantaa kuormat yhtenäisenä rakenteena ja jäykistää rakennusta. (lamminbetoni.fi.)



Kuva 12. Ontelolaatan asennus kevytsoraharkkouseinän päälle (kivitaloinfo.fi).

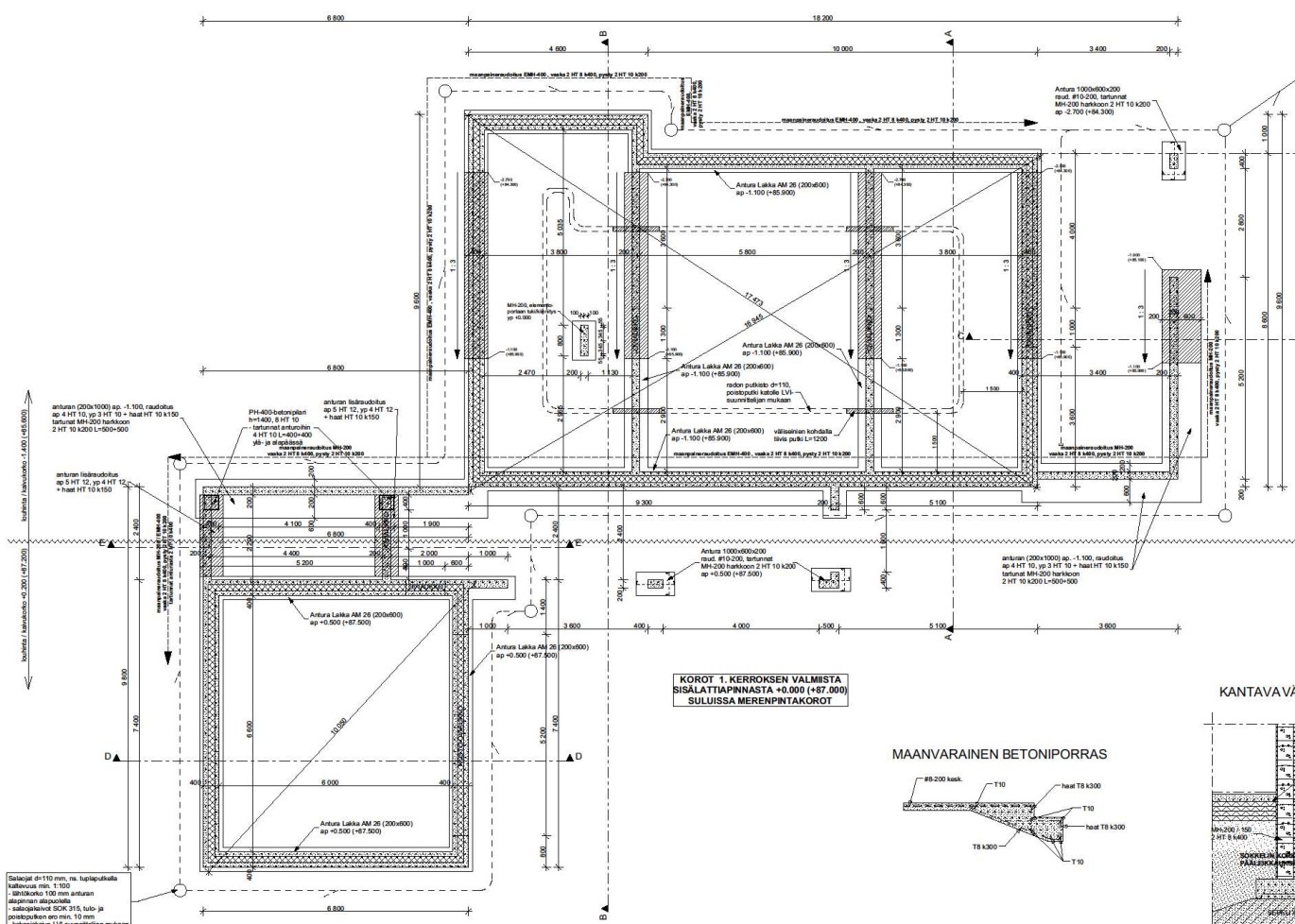
5.2 Paikalla valettu välipohja

Paikallavaletun välipohjan merkittävin etu elementteihin nähden on joustavuus teknisissä ratkaisuissa. Monimutkaisetkin rakenteet ovat mahdollisia, kuten kaarevat rakenteet, ulokkeet ja sisäänvedot. Paikallavaletun rakenteen kuormien jakokyky on parempi kuin elementtirakenteen, mitä voidaan hyödyntää suunnitelmien muuttuessa esimerkiksi hyötykuorman osalta. Paikallavaluvälipohjaan tarvitaan vähemmän suunnittelua kuin elementtivälipohjaan, sillä piirustusten määrä on vähäinen ja elementtien asennussuunnitelmaa ei tarvita. Etuihin kuuluu myös esimerkiksi ontelolaattaa parempi ääneneristävyys, vaatimukset täyttyvät jo 240 mm paksulla laattalla (betoni.com).

Paikalla valettu välipohja on työvoimavoittoinen ratkaisu, jonka lisäksi aikataulua pitkittää sen vaatima kovettumisaika. Kuivumisajan lyhentämiseksi tulisi käyttää matalaa vesi/sementtisuhdetta ja notkistimia. Paikallavalun merkittävin työmäärä syntyy muottityöstä (pystytys ja purku), lisäksi raudoitus ja betonointi vievät työaikaa.

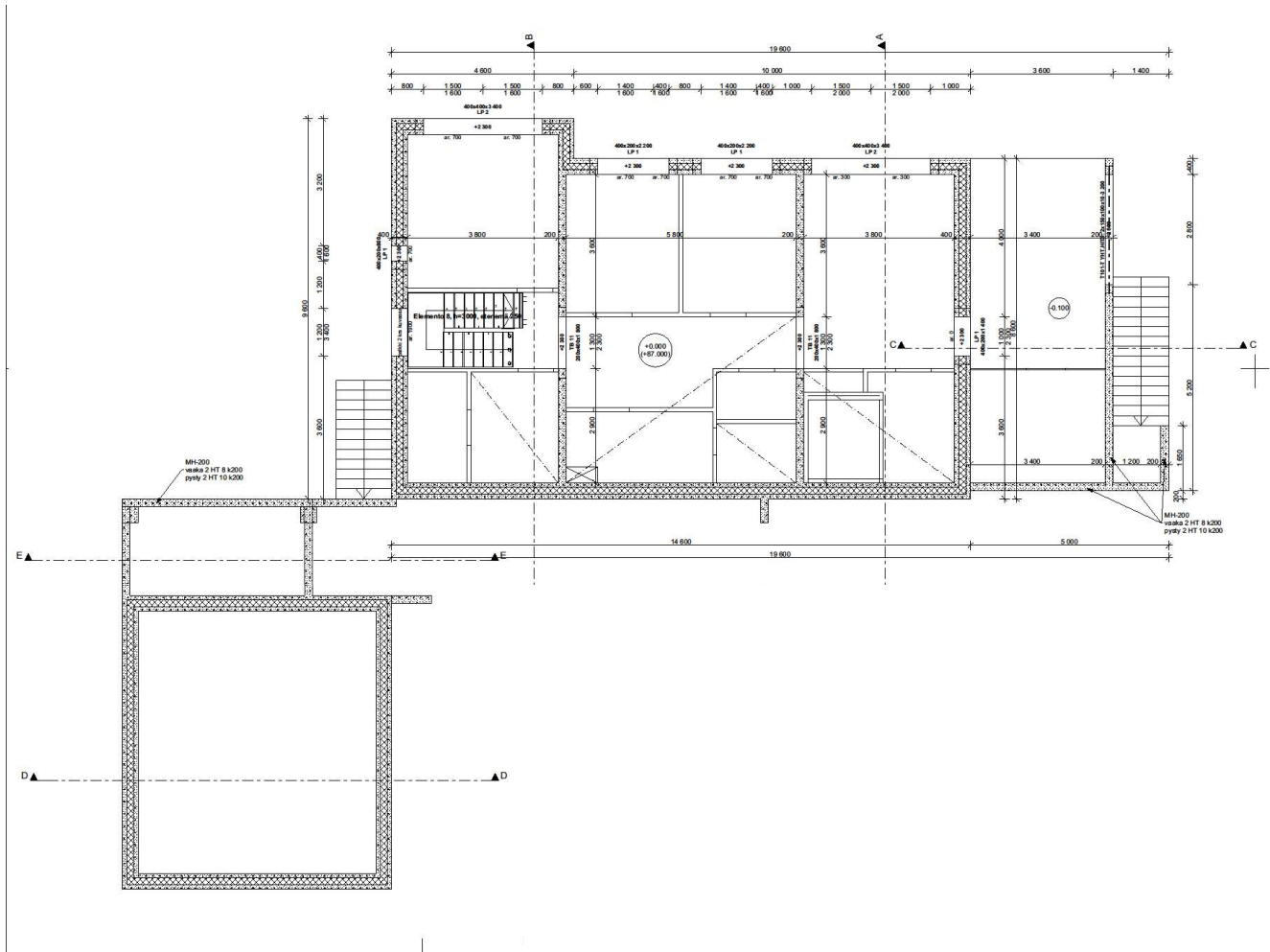
Rungon kustannusten vertailun pohjana käytettiin harkkotaloa, joka rakennettiin kappaletavarana hankituista valuharkoista ja jonka välipohjana on ontelolaatasto. Muita vaihtoehtoja hankkeen suunnitteluvaiheessa olivat harkkotalopakettit sekä sandwichelementit. Rakennus on kaksikerroksinen talo rinnetontissa. Rakennuksen kerrosala on yhteensä 255,4 m², 1. kerroksessa 130,2 m² ja toisessa kerroksessa 125,2 m². Huoneistoala on yhteensä 216,7 m², 1. kerroksessa 111,3 m² ja toisessa kerroksessa 105,4 m². Lisäksi kohteeseen on rakennettu autotalli ja varastotilaa kerrosalaltaan yhteensä 66,6 m² ja parveke 30,2 m². Kohteen kustannusarvio oli 747 292,00 € sisältäen tontin.

Perustuskuvasta ilmenee, että perustukset eivät ole yhdessä tasossa vaan niitä on rannan puolelta laskettu 1,6 metriä, jotta tontille saataisiin enemmän tasamaata. Anturat toteutettiin pääosin valmisanturamuoteilla paitsi leveämmät metrin levyiset lautamuotilla, sillä valmisanturamuotteja ei ole saatavilla metrin levyisenä. Maanpaineiseinillä on vaakaraudoituksen lisäksi pystyraudoitus 2 HT10 k200 eli raudoitus on tiheää. Varasto tulee talon 2. kerroksen tasolle, mutta sen perustukset vietiin yhtä syvälle kuin talon perustukset, jotta varaston perustuksille tuleva kuorma ei aiheuta vaakakuormaa talon seinään.



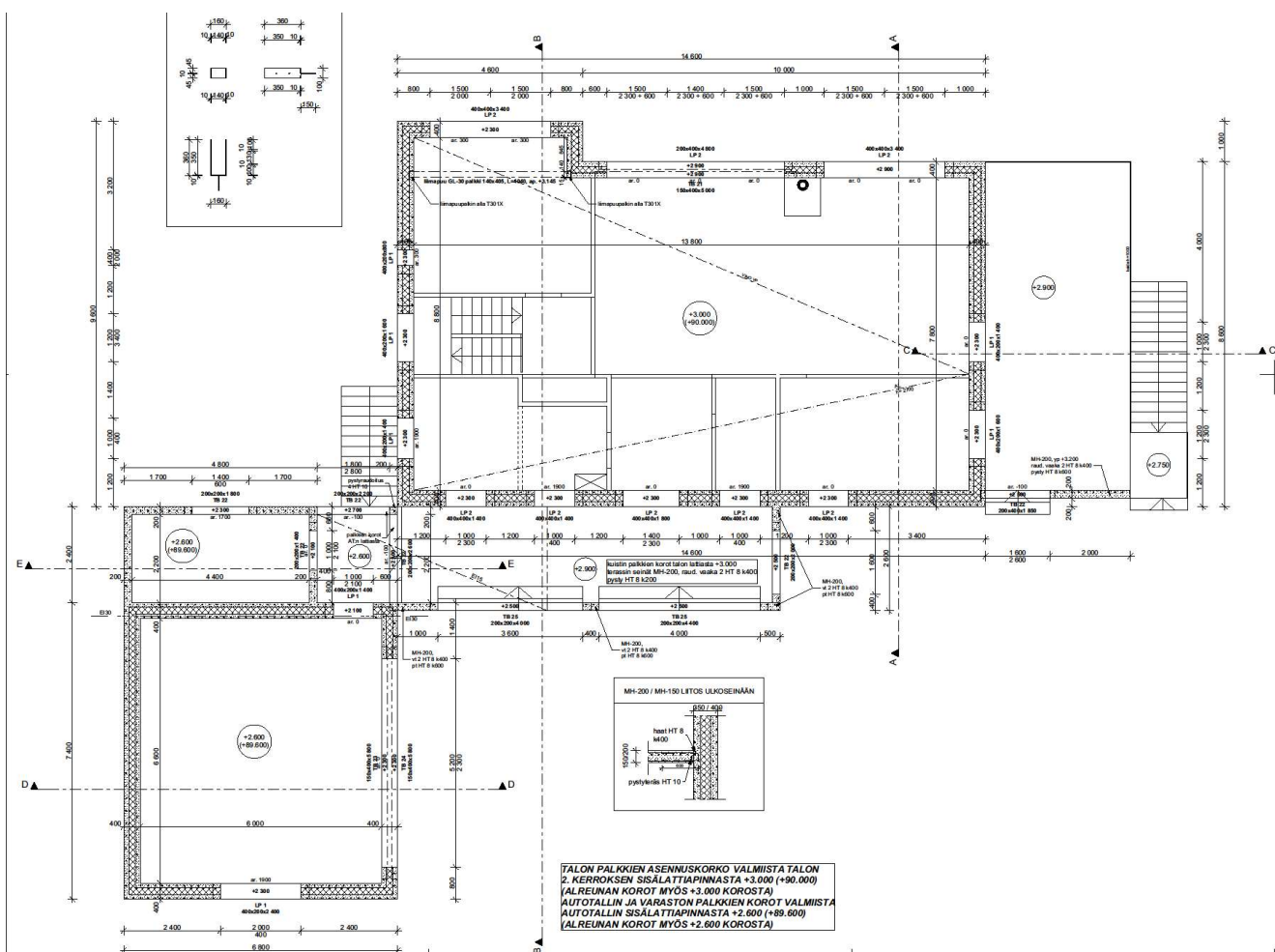
Kuva 13. Perustus (Suunnittelu- ja rakennuspalvelu Hoke Oy).

1. Kerroksen kuvista selviää, että ikkunoiden ylitykset toteutettiin liittopalkkeina T-teräksillä. Kanta-
van väliseinärungon aukonylitykset toteutettiin paikallavalettuina teräsbetonipalkkeina. Porras on
betonielementtiporras. Talon ulkoseinät ovat 400 mm leveää eristevaluharkkoa ja varaston sei-
nät 200 mm leveää eristämätöntä muottiharkkoa.



Kuva 14. 1. kerros (Suunnittelu- rakennuspalvelu Hoke Oy).

2. Kerroksessa on runsaasti ikkunapinta-alaa, osa ikkunoista alkaa suoraan lattian rajasta. Aukon
ylitykset toteutettiin pääasiassa liittopalkkeina T-teräksillä, mutta autotallissa ja kuistilla on myös
teräsbetonipalkkeja. Myös yksi liimapuupalkki on kannattelemassa kattoristikkoja. 2. Kerroksessa
on vino yläpohja, jonka vuoksi huonekorkeus on korkeimmillaan 3,5 metriä.



Kuva 15. 2. kerros (Suunnittelu- ja rakennuspalvelu Hoke Oy).

6.1 Sandwichelementti

Kohteeseen kysyttiin useita tarjouksia eri elementtitehtailta sandwichelementeistä, mutta tarjouksia riittävän nopealla noin puolen vuoden toimitusajalla saatiin vain yksi (liite1). Yksi tarjous olisi ollut liian pitkällä toimitusajalla ja kaksi ei vastannut tarjouspyyntöön laisinkaan. Saatu sandwichelementitarjous (liite 1) sisältää ulkoseinäelementit SW380 taloon, ulkoseinäelementit SW320 autotalliin, kantavat väliseinäelementit V180, varastojen seinäelementit S180 ja ontelolaatat OL200. Elementtien hintaan lisätään alv, koska kohteen maksut menevät suoraan tilaajalle ja jotta tarjouksista saadaan vertailukelpoiset harkkopakettitarjousten kanssa. Summaksi tulee tällöin 116 742,28 euroa.

6.1.1 Sandwichelementin materiaali- ja kalustokustannukset

Tarjous ei ole sellaisenaan vertailukelpoinen harkkopakettitarjousten kanssa, vaan siihen pitää lisätä harkkopakettitarjouksissa olevaa sisältöä. Tarjouksesta puuttuvat porraselementti, ei-kantavat väliseinät märkätiloihin ja valmisanturamuotit. Lisäksi elementit on tuettava elementtituvin, jotka haetaan vuokraamosta 2 viikon ajaksi ja autonosturia tarvitaan työmaalla koko elementtiasennuksen ajan. Autonosturin tuntihintana käytetään 100 e/h ja tarvittavana aikana 40 tuntia. Elementtien saumavalmuun lasketaan kuluvan betonia 8 m³, jonka hintana käytetään esimerkkikohteen valuissa toteutunut hintaa 170 e/m³.

Taulukko 2. Elementtirungon materiaali- ja kalustokustannukset

	Hinta
Elementit alv 0%	9 4147
Alv 24%	22 595,28
Porras	2 988
Ei-kantavat väliseinät	818,86
Valmisanturamuotti	2 450,13
Elementtitukien vuokra	532,80
Saumavalubetoni	1 360
Autonosturi	4 000
Yhteensä	128 892,07e

6.1.2 Sandwichelementin työsaavutukset ja työ kustannukset

Työajat on laskettu aikataulukirjan työmenekillä ja työsaavutuksilla sekä työryhmällä 3 rakennusammattimiestä. Elementtien määrät ovat 40 kappaletta seinäelementtejä, 21 kappaletta ontelolaattoja ja yksi porraselementti. Seinäelementeistä väliseinäelementtejä on 8 kappaletta ja ulkoseinäelementtejä on 32 kappaletta. Työajasta on laskettu työ kustannus käyttäen rakennusmiehen tuntiveloituksena 35 e/h alv 0 %, 43,4 e/h alv 24 % ja rakennusammattimiehen tuntiveloituksena 38 e/h alv 0%, 47,12 alv 24%.

Ulkoseinäelementtityö sisältää mittauksen, väli varastoinnin, asennuksen, tukkolaudoituksen, saumavalun ja laudoituksen purun. Väliseinäelementtityö sisältää myös mittauksen, väli varastoinnin, asennuksen, tukkolaudoituksen, saumavalun ja laudoituksen purun. Ontelolaattatyö sisältää asennuksen ja saumavalun sekä mittauksen, tukkolaudoituksen ja laudoituksen purun. Porraselementtityö sisältää porraselementin asennuksen, kiinnityksen ja juotoksen. (Aikataulukirja 2016. Ratu KI-6028 2015.) Muut työmenekit on otettu aikataulukirjasta paitsi ontelolaattojen saumaraudoitus ja porrasedimentin asennus, jotka ovat kokemuseräisiä.

Laskelmista nähdään, että elementit olisivat asennettavissa reilussa viikossa. Se on 27 työvuorua vähemmän kuin harkoista rakennettaessa. Aikasäästö vähentää aikasidonnaisia työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksia. Näitä kustannuksia ovat sähkö, työmaatilat ja vastaavan mestarin palkka. Pientalokohteelle tyypillisesti vastaava mestari ei ole koko ajan työmaalla. Säästö työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksissa harkkorakentamiseen verrattuna on 1 600 euroa.

Taulukko 3. Elementtirungon työsaavutukset ja työkustannus

	Työmenekki (tth/kpl)	Työryhmä (RAM)	Työsaavu- tus (kpl/tv)	Elementtien määrä (kpl)	Työaika (tv)	Kustannus (sis. alv.)
Ulkosei- näelementti- työ	2,37	3	10,1kpl/tv	32	3,17	3 584,89
Väliseinäele- menttityö	2,52	3	9,52	8	0,84	949,93
Ontelolaatta- työ	0,69	3	34,6	21	0,61	689,83
OL sauma- raudoitus	-	3	-	-	0,25	282,72
Porrasele- menttityö	-	3	-	1	0,25	282,72
Yhteensä					5,12	5 790,09

6.2 Talopaketti valuharkoista

Esimerkkikohteeseen oli kysytty talopakettitarjousta valuharkoista kahdelta eri valmistajalta, joista käytetään nimitystä Talopakettitarjous 1 (liite 2) ja Talopakettitarjous 2 (liite 3). Talopaketit olivat tässä tapauksessa esivalmistukseltaan hyvin matalalla asteella. Ne olivat käytännössä vain materiaa-
lipaketteja, jotka oli koottu tilaajan toimittamien kuvien perusteella. Molempiin tarjouksiin kuului run-
kotuotteet sisältäen 400 mm leveät valueristeharkot talon ulkoseiniin, 350 mm valueristeharkot au-
totallin ulkoseiniin, 150 mm eristämättömät valuharkot päätykolmioihin ja ulkovaraston seiniin, 200
mm eristämättömät valueristeharkot kantaviin väliseiniin ja ulkoseinämiin, aukonylitysteräksset, ure-
taanivaaho, valmisanturamuotit, ontelolaatat ja portaat. Kattorakenteista paketteihin kuului katto-
ristikot, ruoteet ja muu kattoon tarvittava puutavara, aluskate, peltikate, kattoturvatuotteet, puh-
lusvilla, otsa- ja räystäslaudat sekä yläpohjan kipsilevyt. Talopakettitarjous 1:een kuului ensin myös
ikkunat ja ovet, mutta tilaajan pyynnöstä tarjousta päivitettiin, jolloin ne jätettiin pois. Talopaketti
2:een lisättiin siitä puuttunut autotallin nosto-ovi. Lopulliset tarjoukset ovat sisällöltään hyvin lähellä
toisiaan. Myös hinnat ovat hyvin lähellä toisiaan. Talopaketti 1 maksoi 79 696e ilman rahtia, lisättyinä
arvioitu rahti hinnaksi tulee 84 646euroa. Talopaketti 2 maksoi 78 661e ilman rahtia ja arvioidun
rahdin kanssa 83 611e.

Talopaketeissa on eroteltu runkotuotteiden osuus hinnasta. Käytetään runkotuotteiden hintaa ver-
tailtaessa talopaketteja sandwichelementtitarjoukseen. Talopakettitarjouksessa 1 runkorakenteiden
osuus oli 59 146 euroa ennen alennusta. Lopullisesta summasta on saatu vielä 6,7 % alennus, joten
lopullinen hinta on 55 282 euroa. + rahti 4 730 euroa, yhteensä 60 012 euroa. Talopakettitarjous

2:ssa vastaava runkorakenteiden osuus oli 50 937 euroa + rahti 4 730 euroa, yhteensä 55 667 euroa. Käytetään halvempaa Talopakettitarjous 2:ta vertailussa.

6.2.1 Talopaketin materiaali- ja kalustokustannukset

Jotta tarjousta voidaan verrata sandwichelementtitarjoukseen, tarjouksen hintaan tulee lisätä siitä puuttuvat harjateräket sekä betonivalut ja rakennustelineet. Valun menekki seiniin on 75,5 m³. Valun toteutunut hinta sisältäen alvin on 170 e/m³. Harjaterästen menekkiä on nostanut normaalista maanpaineeseinät, jotka raudoitettiin runsaasti sekä pysty- että vaakateräksin. Seuraavan luvun laskuista selviää rungon rakentamisaika, joka on 32,12 tv. Rakentamisaajan avulla saadaan selville vuokrattavien telineiden tarve työmaalla, kuusi viikkoa. Telineitä ei kannata viedä pois yksittäisten käyttämättömien päivien vuoksi, joita tulee holvin teon yhteydessä. Telineinä käytetään haki-telineitä ja niiden kustannuksena on käytetty 35 e/päivä. Nosturia työmaalla tarvitaan harkkojen siirtämiseksi lähemmäs muurauspistettä ja telineille 8 h ja lisäksi portaan ja ontelolaattojen asennukseen 0,86tv=7h, yhteensä 15 h. Nosturin hinnaksi tulee 100 e/h tuntiveloituksella 1 500 e.

Taulukko 4. Talopaketin runko-osuuden materiaali- ja kalustokustannukset

	Hinta
Talopakettitarjous	55 667
Valut 75,5m ³	12 835
Harjateräket	3 839,88
Telineet	1 512
Nosturi	1 500
Pientarvikkeet	2 050
Yhteensä	77 403,88e

6.2.2 Talopaketin työsaavutukset ja työkuustannukset

Työajat on laskettu aikataulukirjan työmenekeillä ja työsaavutuksilla. Kantavassa rungossa on muurattavaa 679 m², ja harkkojen menekki on 8,33 harkkoa/m². Ei-kantavia väliseiniä ei oteta huomioon, jotta tarjouksesta saadaan vertailukelpoinen sandwich-elementtitarjouksen kanssa. Työajasta on laskettu työkuustannus käyttäen rakennusmiehen tuntiveloituksena 35 e/h ja rakennusammattimiehen tuntiveloituksena 38 e/h, alv 0 % Vastaavat tuntiveloitukset alv 24 % on 43,3 e/h ja 47,12 e/h. Elementtityöhön verrattuna lisänä on paikallavalettavien palkkien muotitus ja raudoitustyötä. Palkkien valu onnistuu samalla kuin harkkojenkin valu, joten se ei aiheuta lisätyötä.

Muuraustyö sisältää muurauksen ladottavalla harkolla, raudoituksen ja pumppuvalun sekä avustavat työt, joita ovat mittaus, työtasojen asennus, käsin siirrot ja siivous. Ontelolaattatyö sisältää asennuksen ja saumavalun sekä mittauksen, tukkolaudoituksen ja laudoituksen purun. Porraselementtityö sisältää porraselementin asennuksen, kiinnityksen ja juotoksen. (Aikataulukirja 2016. Ratu KI-6028 2015.) Muut työmenekit on otettu aikataulukirjasta paitsi ontelolaattojen saumaraudoitus, porraselementin asennus, palkkien muotitus ja raudoitus, jotka ovat kokemuseräisiä.

Taulukko 5. Harkkorungon työkustannus

	Työme- nekki (tth/kpl)	Työryhmä (RAM+RM)	Työsaavu- tus	Määrä	Työaika (tv)	Kustannus (alv. 24%)
Muuraustyö (sis. avustavat työt)	0,66	1+2	24,24 m ² /tv 202 kpl/tv	679m ² 5659 harkkoa	28,01	24 200,64
Ontelolaattatyö	0,69	3+0	34,6 kpl/tv	21	0,61	556,32
OL saumaraudoit- tus	-	3+0	-	-	0,25	228
Porraselementti- työ	-	3+0	-	1	0,25	228
Palkit	-	2+1	-	-	3	2664
Yhteensä					32,12	34 567,43

6.3 Runkotarvikkeet kappaletavarasta

Tilaajalta saaduista laskuista on laskettu, paljonko harkkopaketteja vastaavat materiaalit ovat tulleet maksamaan kappaletavarasta. Perustuksia laskettiin suunnitelmamuutoksen vuoksi talopakettitarjousten kysymisen jälkeen. Toteutuneista harkkokustannuksista on vähennetty lisätyön aiheuttama harkkojen lisääntynyt määrä, jotta laskusta tulee vertailukelpoinen talopakettitarjousten kanssa. Valu,- teline,- ja nosturikustannukset ovat samat kuin ne olisivat olleet harkkopaketissa. Liitteinä on tarjoukset ontelolaatoista (liite 4) ja betoniportaasta (liite 5). Ontelolaatat ovat 200 mm paksuja ja niitä tarvittiin 30 kpl.

Taulukko 6. Rungon materiaali- ja kalustokustannukset kappaletavarasta

	Hinta
Runkotarvikkeet	43 003,33
Porras	2 988,40
Ontelolaatasto	6 944
Valut 75,5m ²	12 835
Harjateräks	3 839,88
Telineet	1 512
Nosturi	1 500
Pientarvikkeet	2 050
Lisätyö	-2 691,50
Yhteensä	71 981,11e

6.3.1 Työkustannus kappaletavarasta

Työkustannukset ovat samat kuin kohdassa 3.2.2 esitetyt työkustannukset johtuen samasta rakennusmateriaalista eli 3 4567,43 e. Lisäksi työnjohdon kustannuksia tarjouspyynnöistä, tarjouksien vertailusta ja määrälaskennasta ja tavarantoimituksesta 12 h hintaan 40e/h= $12 \cdot 40 = 480$ e. Yhteensä $27751,68\text{e} + 480\text{e} = 35047,43\text{ e}$

6.4 Runko-osuuden vertailu

Taulukosta nähdään, että runko tulee halvimmaksi rakentaa kappaletavarasta. Ero talopakettiin on melko pieni, 4942,77 euroa. Ero sandwichelementteihin on jo huomattava, 26053,64 euroa.

Taulukko 7. Rungon kustannukset

	Sandwich-elementti	Talopaketti 2	Kappaletavara
Materiaalikustannus	128 892,07e	77 403,88e	71 981,11
Työkustannus	5 790,11	34 567,43	35 047,43
Aikataulun vaikutus käyttö- ja yhteiskustannuksiin	-1 600e	0	0
Yhteensä	133 082,18	111 971,31	107 028,54

6.5 Koko talon vertailu

Kun verrataan koko talopakettia eli runkotuotteita ja kattotuotteita kappaletavaraan, saadaan selville tuleeko koko talo halvemmaksi talopakettina vai kappaletavarasta ostettuina materiaaleina. Sandwichelementti jätetään pois vertailusta, sillä se osoittautui runkona selvästi kalliimmaksi. Talopaketit sisälsivät runkorakenteet sekä kattorakenteet ja vastaavat tarpeet on laskettu kappaletavarana. Lisäksi talopaketti 2 sisälsi autotallin oven, joten se lisätään talopaketin 1 ja kappaletavaran hintaan. Kokonaissumaksi rahti huomioituna saadaan talopaketin 1 osalta 87 646 euroa, talopaketin 2 osalta 83 611 euroa ja kappaletavaran osalta 75 291,04 euroa. Laskelma sisältää materiaalikustannukset runko- ja yläpohjatuotteiden osalta, mutta ei pientarvikkeita, sillä pientarvikkeiden osuus on joka vaihtoehdossa sama.

Taulukko 8. Laskelma kappaletavaran hinnanmuodostumisesta

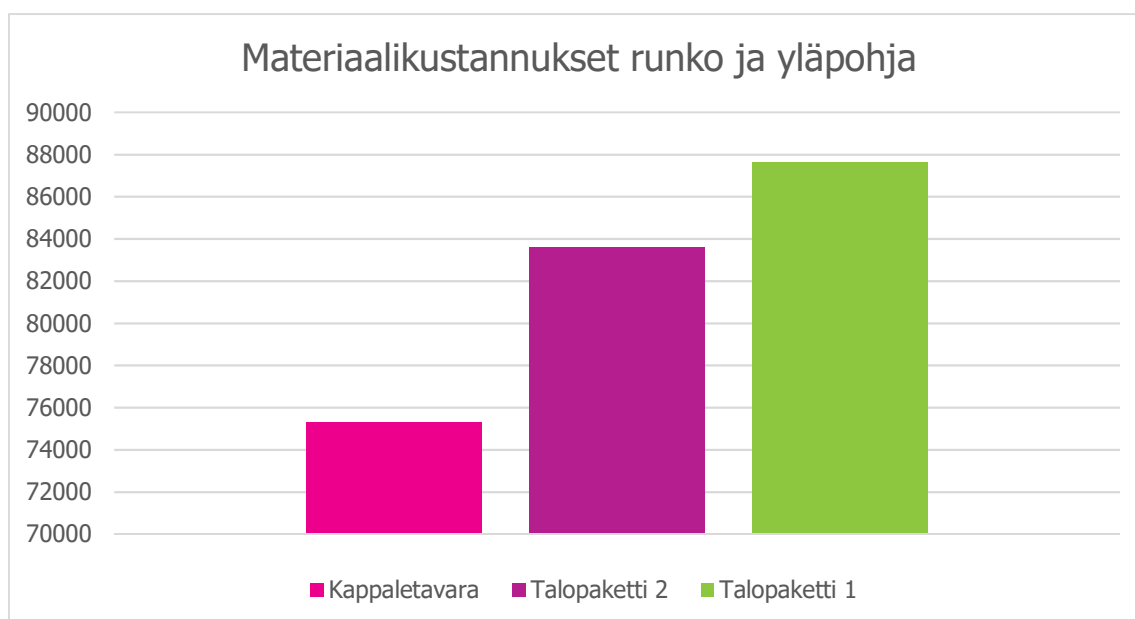
	Hinta
Runkotarvikkeet	43 003,33
Ontelolaatasto	6 944
Porras	2 988,4
Kattotarvikkeet	19 355,31
Yhteensä	75 291,04

Kappaletavarasta rakentaminen aiheuttaa jonkin verran lisätöitä työnjohdolle tarjouspyyntöjen tekemisestä, tarjouksien vertailusta, määrälaskennasta ja tavarantoimituksesta. Tässä tapauksessa sillä ei ole tilaajan kustannuksiin merkitystä, sillä urakkatarjoukset kysyttiin talopakettitarjousten pohjalta, eivätkä urakoitsijat muuttaneet tarjouksiaan tilaajan päädyttyä rakentamaan kappaletavarasta. Urakoitsijalle aiheutuneita lisätöitä tulee arviolta 20 h.

7 TULOKSET

Vertailun tuloksena saatiin selville, että rungon rakentaminen tulee halvimmaksi kappaletavarana hankituista valuharkoista, toiseksi halvin vaihtoehto on talopaketti ja kallein on sandwichelementit. Hintaeroa kappaletavaralla ja talopaketilla on runko-osuudessa 4 942,77 euroa. Kun vertailuun otetaan pelkän rungon sijaan myös talopakettiin kuuluvat yläpohjatuotteet, hintaero kappaletavaraan nousee 8 319,06 euroon. Vertailun kohteena ollut sandwichelementti olisi ollut 26 053,64 euroa kalliimpi vaihtoehto aikataulusäästö huomioiden. Elementtirakentamisella päästäisiin huomattavasti nopeampaan aikatauluun kuin paikallarakentamisessa. Tässä tapauksessa ero oli 27 työvuoraa. Aikataulusäästön rahallisen arvon laskeminen on hankalaa. Aikataulusäästö laskee työmaan aikasidonaisia käyttö- ja yhteiskustannuksia, joita ovat mm. sähkö, työmaatilat ja vastaavan mestarin palkka. Nämä kustannukset on otettu laskelmissa huomioon. Asiakas pääsee myös aiemmin muuttamaan taloonsa ja urakoitsija pääsee aiemmin siirtymään uusiin tuottaviin kohteisiin. Näiden arvoa on hankalampi laskea. Säästettyä aikaa ei pysty yksiselitteisesti hinnoittelemaan, vaan sen arvo on aina hieman tapauskohtaista.

Koko rakennuksen osalta kappaletavara tuli 8 319,06 euroa halvemmaksi kuin halvin talopaketti. Se on 11,05% runko- ja yläpohjamateriaalien kokonaissummasta 75 291,04 euroa. Ero vertailtaessa koko talopakettia on suurempi kuin vertailtaessa pelkkää runkoa. Kappaletavarana rakentamisella saatu säästö 8 319,06 euroa on varsin vähän verrattuna koko hankkeen kustannusarvioon 747 292 euroa. Kuitenkin on perusteltua säästää kaikissa mahdollisissa rakennushankkeen vaiheissa, jotta hankkeen budjetti ei karkaa käsistä. Tulos kuvastaa tilannetta yhdessä kohteessa, eikä se välttämättä jossain toisessa kohteessa olisi sama. Hintaero on kuitenkin luonnollista, sillä talopaketteja myyvien yritysten on saatava oma katteensa jostakin. Taulukko sisältää rungon ja yläpohjan materiaalikustannukset ilman pientarvikkeita, sillä niiden osuus on joka vaihtoehdossa sama.



Kuvio 2.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada selville, onko kivitalon rungon rakentaminen halvempaa valuharkoista vai sandwichelementeistä. Lopputulos on selkeä, sandwichelementit olivat huomattavasti kalliimpi vaihtoehto. Niiden kalleuteen vaikutti todennäköisesti rakentamisen korkeasuhdanne, jonka voidaan olettaa vähentävän tehtaiden tarjoushalukkuutta ja nostavan hintaa. Tilanne voisi olla matalasuhdanteessa toinen. Lisäksi sandwichelementtien käyttö pientalorakentamisessa on edelleen vähäistä, joten elementtitehtaat eivät ehkä ole tottuneet tarjoamaan niitä pientalokohteisiin. Elementtirakentamisella saavutettava aikataulusäästö vähentää kiinteitä kuluja ja mahdollistaa urakoitsijan siirtymisen nopeammin seuraavaan tuottavaan urakkaan.

Lisäksi tavoitteena oli selvittää, tuleeko materiaalien hankkiminen halvemmaksi kappaletavarana vai talopakettina. Esimerkkikohteessa kappaletavara oli halvempi vaihtoehto. Kun tarvikkeet hankitaan kappaletavarana, on huomioitava, että määrälaskentaan, tavarantoimitukseen ja hakuun menee joko urakoitsijan tai tilaajan aikaa sopimuksesta riippuen, joka osaltaan nostaa työkustannuksia. Tavarantoimitus on kuitenkin pääasiassa talopakettiin kuulumatonta kuten pientarvikkeita, joka pitäisi hakea, vaikka päädyttäisiinkin talopakettiin. Talopaketeissa koko paketti tulee työmaalle usein kerralla, joka ahtailla kaupunkitonteilla aiheuttaa ongelmia tarvikkeiden tontille mahtumisen ja suojaamisen kanssa.

Talopakettien suosio on kasvanut tasaisesti 2000-luvulla ja nykyään suuri enemmistö taloista rakennetaan talopaketteina. Puurunkorakentamisessa talopaketit sisältävät usein jonkun tasoista esivalmistusta (precut, pienelementti, suurelementti), jonka ansiosta talo saadaan nopeammin säältä suojaan ja aikataulu lyhenee. Pakettiin usein myös kuuluu rakentaminen haluttuun valmiusasteeseen. Harkkorakentamisessa talopaketit eivät tyypillisesti ole esivalmistukseltaan korkeammalla tasolla kuin kappaletavarakaan, eikä rakennuksen saamisella säältä suojaan ole niin kiire kuin puurunkorakentamisessa. Tästä syystä harkkorakentamisessa talopaketilla ei saavuteta samanlaisia hyötyjä kuin puurakentamisessa, joten kappaletavarasta rakentaminen on perusteltua.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Aikataulukirja 2016. Ratu KI-6028 2015 Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS [viitattu 2018-01-15] Saatavissa <http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/resource/juha/content/17168#page=1>

Betoni.com [verkkoaineisto] [viitattu 2018-12-30] Saatavissa https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0503_s62-64.pdf

Elementtisuunnittelu.fi [verkkoaineisto] [viitattu 2017-11-09] Saatavissa <http://www.elementtisuunnittelu.fi> Polku: elementtisuunnittelu.fi. Julkisivut. Julkisivujärjestelmät. Sandwich-julkisivut.

Elementtisuunnittelu.fi [verkkoaineisto] [viitattu 2017-11-09] Saatavissa <http://www.elementtisuunnittelu.fi> Polku: elementtisuunnittelu.fi. Julkisivut. Julkisivujärjestelmät. Eriytetyt julkisivut.

Elementtisuunnittelu.fi [verkkoaineisto] [viitattu 2017-11-09] Saatavissa <http://www.elementtisuunnittelu.fi> Polku: elementtisuunnittelu.fi. Julkisivut. Julkisivujärjestelmät. Yhdistelmärakenteet.

Elementtisuunnittelu.fi [verkkoaineisto] [viitattu 2017-1-05] Saatavissa <http://www.elementtisuunnittelu.fi> Polku: elementtisuunnittelu.fi. Runkorakenteet. Laatat. Ontelolaatat.

E-weber.fi. Leca-harkkorakenteet, työohje [verkkoaineisto] [viitattu 2018-03-02] Saatavissa <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/50201.pdf>

HOUTSONEN, Teppo 2017 E3 Elementtiasennus [luentomateriaali]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

Hplush.fi Siporex-käsikirja [verkkoaineisto] [viitattu 2017-02-12] Saatavissa <http://www.hplush.fi/documents/33973/35738/Suunnittelijan%20k%C3%A4sikirja.pdf>

Kivitaloinfo.fi [verkkoaineisto] [viitattu 2017-11-09] Saatavissa www.kivitaloinfo.fi Polku: kivitaloinfo.fi. Kivitalo kotina.

Kivitaloinfo.fi Harkkokäsikirja [verkkoaineisto] [viitattu 2017-02-12] Saatavissa http://kivitalo.asiakkaat.sig-matic.fi/core/wp-content/images/2016/01/harkkokasikirja_2016-sisallysluettelolla.pdf

Lamminbetoni.fi Ladottavien kivien työohjeet [verkkoaineisto] [viitattu 2018-03-04] Saatavissa <http://www.lamminbetoni.fi/documents/10228/20026/Ladottavien+kivien+ty%C3%B6ohjeet+3-2013.pdf/4d5e76dc-5616-45bd-abd0-f7849d9dd687>

lamminbetoni.fi [verkkoaineisto] [viitattu 2017-11-15] Saatavissa <http://www.lamminbetoni.fi>

pientaloteollisuus.fi [verkkoaineisto] [viitattu 2017-11-09] Saatavissa <http://www.pientaloteollisuus.fi/>

LIITTEET

Liitteet ovat salaisia.