



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# SAVOLAISEN EKO-PIENTALON RAKENNUS- OSIEN EKOLOGISUUDEN TARKASTELU

TEKIJÄ: Timo Lohela

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Timo Lohela	
Työn nimi Savolaisen Eko-pientalon rakennusosien ekologisuuden tarkastelu	
Päiväys	10.12.2014
Sivumäärä/Liitteet	61/3
Ohjaajat pt.tuntiohjaaja Matti Ylikärppä, lehtori Ville Kuusela	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia AMK/RIP-hanke	
Tiivistelmä	
<p>Tässä opinnäytetyössä tehtiin vertailu savolaisen eko-pientalon rakennusosille, laskemalla rakennusosille hiilijalanjälkeä osoittavaa CO<sub>2</sub>- ekvivalenttia. Vuoden 2013 alussa alkoi Savonia-ammattikorkeakoululla EU-rahoitteinen RIP-hanke eli Rakentamisen innovatiiviset puutuotteet -hanke. Tämä opinnäytetyö oli osana RIP-hankkeen savolainen eko-pientaloprojektia. Savolainen eko-pientaloprojektiin kuuluu kaksi rakennustekniikan opiskelijaa ja yksi ympäristötekniikan opiskelija. Tämä tutkimus tehtiin tähän Savolainen eko-pientalo -projektiin liittyen ja tavoitteen oli selvittää savolaisen Eko-pientalon rakennusmateriaalien, rakennusosien ja koko rakennuksen ekologisuutta.</p> <p>Opinnäytetyön lähtökohdaksi annettiin arkkitehtipiirustukset, joista kävi esille rakennuksen koko ja muoto. Nämä arkkitehtipiirustukset tehtiin kolmannen vuoden rakennustekniikan opiskelijoiden omassa projektissa. Ensimmäisessä opinnäytetyössä ympäristötekniikan opiskelija tutki materiaalien ekologisuutta tekemällä eri materiaaleille LCA-analyysin eli elinkaarianalyysin. Tässä toisessa opinnäytetyössä tutkittiin rakennusosien ekologisuutta laskemalla yksittäisten rakennusmateriaalien päästöt yhteen ja tähän vielä lisättiin kuljetuksesta aiheutuneet päästöt sekä työstä aiheutuneet työmenekit ja rakennusosien neliöhinta. Tällä tavalla laskettiin rakennusosien kokonaispäästö, hinta ja työmenekki rakennusosan neliötä kohti. Kolmannessa opinnäytetyössä tutkittiin koko talon energiatehokkuutta. Koska tutkimuksen tuloksena saatiin paljon tutkittavaa tietoa, niin oli pakko rajata ensisijaiseksi vertailuarvoksi CO<sub>2</sub> – ekvivalentti, jonka pohjalta rakennusosien vertailu tehtiin.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tuloksena saatiin tutkimustietoa, josta selviää, millaisia ovat eri materiaalien, rakennusosien ja koko rakennuksen ekologisuus. Tutkimuksella on myös tarkoitus lisätä tietoa rakennusmateriaalien ekologisuudesta, materiaalihankinnasta aina työmenekkiin asti. Tutkimustuloksia voidaan käyttää verrattaessa erilaisista materiaaleista toteutettuihin rakenteisiin. Tässä tutkimuksessa otettiin huomioon, että rajaukset ovat yhtäläiset ja muillakin osiltaan vertailukelpoiset. Rakennusosatarkastelussa keskityttiin kattorakenteeseen, seinärakenteeseen, yläpohjaan, alapohjaan ja sokkeliin koska yleensä ovet ja ikkunat eivät poikkea muilla rakentamistavoilla ja rakennusmateriaaleilla tehdyistä rakennuksista.</p>	
Avainsanat Ekologisuus, ilmastonmuutos, taloudellisuus.	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author Timo Lohela			
Title of Thesis Ecology of a Small House in the Savo Area			
Date	December 10,2014	Pages/Appendices	61/3
Supervisor(s) Mr. Matti Ylikärppä, Lecturer, Mr. Ville Kuusela, Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences / RIP-project			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to do the comparison between the building elements of a Savo eco detached house by calculating their CO<sub>2</sub> equivalent, which equals to their carbon footprint. An EU funded project "Innovative wood products in construction" (also known as RIP – Rakentamisen Innovatiiviset Puutuotteet) started in the beginning of 2013. This thesis was one part of the RIP's Savo eco detached house -project. There were two construction engineering students and one environmental engineering student in the project. This study was made as a part of the Savo eco detached house project and the aim of the study was to find out the ecology of a Savo eco detached house concerning its construction materials, construction parts and the whole building.</p> <p>The project started by analysing the architectural drawings with the building size and shape. These drawings were done in a project of its own by third year construction engineering students. In the first thesis, the ecology of the materials was studied by an environmental engineering student who made an LCA analysis of different materials. In this the second thesis the ecology of the building components was investigated by adding the emissions of the individual components together and furthermore by adding the transportation and construction-related emissions as well as work-related emissions and the price of the construction components per square meter. By this the total emissions, price and work-related emissions of the building components per square meter were calculated. In the third thesis the energy efficiency of the whole building was studied. Because the study generated a lot of information to investigate, it was necessary to define the CO<sub>2</sub> equivalent to be the primary reference value as a basis for comparison of construction components.</p> <p>As a result of this thesis an understanding of the ecology of different materials, components and the whole building was gained. The study also intends to raise awareness of the ecology of building materials from material acquisition to labor input emissions. The results can be used to compare structures made of other materials. It was taken into account that the definitions are equal and comparable. The focus of the study was on also the building block wall structure, ceiling structure and basements because doors and windows do not usually differ from others in buildings made by different construction methods and from different materials.</p>			
Keywords Ecology, climate change, economy.			
Public			

## **Esipuhe**

Haluan kiittää työni valmistumisesta erityisesti perhettäni, joka on kiitettävästi kestänyt ja tukenut opinnäytetyöntekijää työn eri valmistumisen vaiheissa. Haluan myös kiittää Savonia-ammattikorkeakoulua tästä mielenkiintoisesta opinnäytetyöstä ja ohjaajiani Matti Ylikärppää ja Ville Kuusela. Lisäksi haluan kiittää ympäristötekniikan opiskelijaa Sauli Shroderusta jolta sain paljon apua Excel-taulukoiden teossa, sekä Kati Nevalaista ammattitaitoisesta käännös avusta.

Kuopiossa 10.12.2014

Timo Lohela

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	9
1.1	Tausta ja tavoitteet .....	9
1.2	Savolainen eko-pientalo ja RIP-hanke .....	10
2	EKOLOGINEN TALO JA -RAKENTAMINEN .....	12
2.1	Elinkaarianalyysi .....	13
2.2	Hirsirunkoinen pientalo.....	14
2.3	CLT-runkoinen pientalo .....	14
2.4	Rankarunkoinen pientalo .....	15
2.5	Betonirunkoinen pientalo .....	15
2.6	Ontelolaatta.....	16
2.7	Lämpöharkkorunkoinen pientalo .....	16
3	TARKASTELUSSA MUKANA OLEVAT RAKENNUSOSAT .....	17
3.1	Tutkittavat rakennusosat .....	17
4	RAKENNUSOSISTA SEKÄ NIIDEN KULJETUKSESTA TYÖMAALLE SYNTYVÄT YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET .....	19
4.1	Energian kokonaiskäyttö katon osalta.....	22
4.2	Kattomateriaaleista aiheutuva ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä .....	22
4.3	Kattomateriaaleista aiheutuva happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä 23	
4.4	Kattomateriaaleista aiheutuva alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä	23
4.5	Energian kokonaiskäyttö yläpohjan osalta.....	24
4.6	Yläpohjasta aiheutuva ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä .....	25
4.7	Yläpohjasta aiheutuva happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä	26
4.8	Yläpohjasta aiheutuva alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä.....	27
4.9	Energian kokonaiskäyttö ulkoseinien osalta .....	28
4.10	Ulkoseinistä aiheutuva ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä .....	29
4.11	Ulkoseinistä aiheutuva happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä	30
4.12	Ulkoseinistä aiheutuva alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä .....	31
4.13	Energian kokonaiskäyttö alapohjan osalta.....	32
4.14	Alapohjasta aiheutuva ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä .....	32
4.15	Alapohjasta aiheutuva happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä	33

4.16	Alapohjasta aiheutuva alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä.....	33
4.17	Energian kokonaiskäyttö sokkelin osalta .....	34
4.18	Sokkelista aiheutuva ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä.....	34
4.19	Sokkelista aiheutuva happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä ..	35
4.20	Sokkelista aiheutuva alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä .....	35
5	RAKENNUSOSIEN KULJETUSKUSTANNUS NELIÖTÄ KOHTI.....	36
5.1	Rakennusosan kuljetuskustannukset katon osalta .....	37
5.2	Rakennusosan kuljetuskustannukset yläpohjan osalta .....	38
5.3	Rakennusosan kuljetuskustannukset vaipan osalta .....	39
5.4	Rakennusosan kuljetuskustannukset alapohjan osalta .....	40
5.5	Rakennusosan kuljetuskustannukset sokkelin osalta .....	40
6	RAKENNUSOSAN HINTA NELIÖTÄ KOHTI .....	41
6.1	Rakennusosan materiaali kustannukset katon osalta .....	42
6.2	Rakennusosan materiaali kustannukset yläpohjan osalta .....	42
6.3	Rakennusosan materiaali kustannukset vaipan osalta .....	43
6.4	Rakennusosan materiaali kustannukset alapohjan osalta .....	44
6.5	Rakennusosan materiaali kustannukset sokkelin osalta .....	44
7	RAKENNUSOSAN TYÖMENEKIN HINTA NELIÖTÄ KOHTI .....	45
7.1	Rakennusosan työkustannus katon osalta.....	46
7.2	Rakennusosan työkustannus yläpohjan osalta.....	46
7.3	Rakennusosan työkustannus vaipan osalta .....	47
7.4	Rakennusosan työkustannus alapohjan osalta.....	48
7.5	Rakennusosan työkustannus sokkelin osalta .....	48
8	RAKENNUSOSAN TYÖMENEKIN TUNTITAIUKKO .....	49
8.1	Rakennusosan työmenekki katon osalta .....	50
8.2	Rakennusosan työmenekki yläpohjan osalta .....	50
8.3	Rakennusosan työmenekki vaipan osalta .....	51
8.4	Rakennusosan työmenekki alapohjan osalta .....	52
8.5	Rakennusosan työmenekki sokkelin osalta .....	52
9	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	53
	LÄHTEET .....	54
	AINEISTOT: LIITEET MUKANA CD LEVYLLÄ. ....	57



## SANASTO

<b>CLT</b>	cross laminated timber = ristiinlaminoitupuulevy
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metaani
<b>CO<sub>2</sub></b>	hiilidioksidi
<b>CO</b>	Hiilimonoksidi
<b>DAIA</b>	Decision Analysis Impact Assessment – menetelmä = vaikutusarviointimenetelmä
<b>ESR</b>	Euroopan sosiaalirahasti
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change = Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli
<b>LCA</b>	life cycle assessment = elinkaarianalyysi.
<b>NMVOG</b>	Non-Methane Volatile Organic Compounds = Haihtuvat orgaaniset yhdisteet pl. metaani
<b>NO<sub>x</sub></b>	Typen oksidit
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Dityppioksidi (Ilokaasu)
<b>POCP</b>	Photochemical Ozone Creation Potential = Alailmakehän otsonin muodostuminen
<b>RIP-hanke</b>	rakentamisen innovatiiviset puutuotteet-hanke
<b>SO<sub>2</sub></b>	Rikkidioksidi



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön lähtökohtana on halu ymmärtää, mitkä asiat vaikuttavat ympäristön kuormitukseen, mistä muodostuvat päästöt ilmaan ja miten rakentaminen vaikuttaa tähän kaikkeen. Mitä materiaaleja ja kuinka paljon rakennusosat sisältää? Mitä materiaaleja kuluu rakentamisessa? Kuinka paljon yksittäisillä materiaali- tai rakennustapavalinnoilla voidaan vaikuttaa rakentamisen päästömääriin? Tämä tieto auttaa ymmärtämään, miten ympäristönkuormitusta voidaan vähentää. Rakennusten suunnittelussa haetaan uusia ratkaisuja ja rakennuskonsepteja, jotka säästävät energiaa, koska energian hinta nousee ja ilmaston lämpenemisen ehkäisemisestä johtuen tulee uusia rakennusmääräyksiä. Usein rakennuksen ekologisuus kuitenkin unohtuu.

Tavoitteena savolaisen pientalon ekologisuudesta on selvittää millaiset rakennustavat, rakenteet ja mitkä materiaalit ovat mahdollisimman ekologisia ja ekonomisia pitkällä aikavälillä. Sen määrittelymiseksi käytettiin työkaluna hiilijalanjälkeä eli CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia, joka on tällä hetkellä ymmärrettävintä tapaa vertailla rakennusosien sisältämien materiaalien ekologisuutta. Tarkasteltava kohde on Kuopiolainen paikallisella työvoimalla toteutettu Eko-pientalo, jonka ekologisuutta tutkitaan. Työssä tutustutaan savolaiseen Eko-pientalokonseptiin, sen toimivuuteen ja tulevaisuuteen Suomessa. Työssä perehdytään myös ekologisuutta parantaviin ratkaisuihin. Näin laajaa kokonaisuutta on pyritty rajaamaan määrittelemällä rakennuspaikka, käytettävät materiaalit, kuljetustavat ja työvoima.

Tässä työssä keskitytään tutkimaan rakennusosien kuljetuksesta tehtaalta työmaalle ja -materiaalien yhteenlaskettua energian kokonaiskulutusta sekä päästöjä. Päästöistä merkittävin on CO<sub>2</sub>-ekvivalentti eli hiilijalanjälki. Ensin lasketaan ympäristö kuormitus uusiutumattoman energian osalta kertomalla rakennusosan materiaalin koko paino päästökertoimella, samalla tavalla lasku suoritetaan uusiutuvan energian osalta. Näin saadut energiamäärät lasketaan yhteen ja saadaan energian kokonaiskäyttö kuljetuksissa ja prosesseissa tehtaalla. Päästöt lasketaan myös samaa kaavaa käyttäen eli päästökerroin kertaa materiaalin paino on ympäristökuormitus kyseisen päästön kohdalla. Tällä tavalla käymällä läpi kaikki päästöt ja kaikki materiaalit saadaan laskettua ympäristökuormitus rakennusosalle. Tämä laskenta pitää suorittaa kaikkien rakennusosien materiaaleille. Seuraava laskutoimitus on jakaa saadut ympäristökuormitukset rakennusosien pinta-alalla, jolloin saadaan ympäristökuormitus neliölle. Sama laskenta suoritetaan pitää tehdä kuljetuksista tehtaalta rakennustyömaalle, jokaisen rakennusosan painolla kerrotaan päästökerroin ja jaetaan rakennusosan pinta-alalla, niin saadaan kuljetuksesta aiheutuva ympäristökuormitus neliölle. Seuraavaksi lasketaan yhteen ympäristökuormitukset tehtaalla ja kuljetuksesta rakennustyömaalle aiheutuvat ympäristökuormitukset. Näin on saatu laskettua päästöt ja energian kokonaiskulutuksen jokaisen rakennusosan kohdalta neliötä kohti.

Seuraavaksi tutkitaan rakennusosien hinta, työmenekkiä, työn ja kuljetuksen hintaa rakennusosan neliötä kohti.

Lopputuloksessa halutaan saada selville jokaisen eri rakennusmateriaalin päästöjen määrä, joka saadaan rakennustekniikan opiskelijoiden laskelmista, sekä ympäristövaikutukset. Ympäristövaiku-



ta, sekä OpenLCA-ohjelman Ökobaudat tietokantaa. Tässä opinnäytetyössä joka on järjestyksessä toinen, vertaillaan savolaisen ekopientalon rakennusosien ekologisuutta ja sen määrittelyä käyttäen työkaluna hiilijalanjälkeä eli CO<sub>2</sub> – ekvivalenttia. Seuraavaksi lasketaan rakennusosien materiaali hinnat ja niiden kuljetuskustannukset ja kuljetuksen päästöt sekä rakennusosien työkustannukset. Tämän jälkeen kolmas rakennustekniikan opiskelija tutkii koko talon E-lukua.

## 2 EKOLOGINEN TALO JA -RAKENTAMINEN

Ekologinen rakentaminen tarkoittaa rakentamista niin, että ympäristöä rasitetaan mahdollisimman vähän. Rakennuksen ympäristörasitetta arvioitaessa tulee huomioida koko rakennuksen elinkaari rakennusmateriaalien valmistuksesta ja itse rakentamisesta rakennuksen käyttöön ja viime kädessä myös purkamiseen. Muita tärkeitä periaatteita ovat ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen synnyn ennalta estäminen, sekä niiden torjuminen syntylähteillä. Lisäksi päästöjen kustannukset peritään mahdollisuuksien mukaan niiden aiheuttajalta.

Viime vuosikymmeniin asti ekologista rakentamista on harjoitettu lähinnä erilaisissa koekohteissa, mutta ekologisuutta huomioidaan rakentamisessa yhä enemmän. Suurimmassa osassa rakennustuotantoa huomioidaan kuitenkin ainoastaan pakollisten määräysten asettamat ekologiset vaatimukset. Lisäksi rakennuksen sijoituksella ilmansuuntiin nähden on suuri vaikutus energiankulutukseen. Rakennuspaikan tulisi saada runsaasti aurinkoa ja olla tuuliilta suojassa. Lisäksi täytyy ottaa huomioon, että liiallinen auringon lämpösäteily suurten eteläikkunoiden kautta voi aiheuttaa haitallista sisätilan lämmönnousua kesällä, jolloin tiloja joudutaan viilentämään koneellisesti. Suomen ilmastossa koneellisen jäähdytyksen tarve on kuitenkin vältettävissä suunnittelun keinoin.

Rakennuksen elinkaari on ekologisuuden kannalta olennainen tekijä kun tarkastellaan rakennuksen koko käyttöikä. Pitkä käyttöikä vähentää suhteellista ympäristörasitetta. Talot tulisi suunnitella kestämään pitkiä aikoja, esimerkiksi kaksisataa vuotta. Betonirakennuksen suunnittelukäyttöikä voidaan valita aina 50 – 200 vuoteen asti. (RakMK B4.)

Ekologisessa mielessä huonoja esimerkkejä rakentamisesta ovat 1960- ja 1970-lukujen elementtikerrostalot, joiden käyttöikäksi rakennettaessa laskettiin vain 30 vuotta. Lyhyen käyttöiän vuoksi rakennuksen ympäristörasite nousee kohtuuttomaksi, eikä lyhyt takaisinmaksuaika mahdollista riittäviä investointeja ympäristöystävällisyyteen. (Puuinfo.fi.)

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella erilaisten rakennusosien ekologisuutta.

Yleensä ekologisuus on suoraan verrannollinen ekonomisuuteen – säästäessämme luontoa vähennämme myös omaa kulutustamme ja säästämme selvää rahaa.

Tutkimukseen tarkastellaan viittä Suomessa esiintyvää ulkoseinä rakennetta, jotka ovat liimahirsi-, CLT-, ranka-, betoni- ja lämpöharkkorunko. Kaksi alapohja rakennetta, jotka ovat maanvarainen ja tuulettuva. Kolme yläpohja rakennetta, jotka ovat CLT-, liimapuupalkki- ja ontelolaatta yläpohja. Kaksi sokkeli rakennetta, jotka ovat betoni ja harkko sokkeli. Kaksi katto rakennetta, jotka ovat konesaumattupeltikatto ja bitumihuopakatto. Näiden rakennusosien oikeellisuus varmistetaan laske-  
malla jokaiselle rakennusosalle U-arvo erikseen, seinälle vähintään 0,17, hirrelle 0,40, yläpohjalle vähintään 0,09, alapohja tuulettuva vähintään 0,17, alapohja maanvarainen vähintään 0,16. U-arvon laskennassa käytettiin apuna Lämpöodöf ohjelmaa. Kaikki rakennusosat alittivat raja-arvot selvästi. Ovien ja ikkunoiden laskennassa käytetään U-arvoa 0,9. Näitä rakennusosia käyttäen on Revit piirustusohjelmalla piirretty viisi Savolaista Eko-pientaloa.

Ekologisesti kestävä talo elää sopuossuonussu ympäristönsä kanssu. Se säästää energiää ja luonnonvaroja niin rakennus- kuin käyttövaihheessuun. Käytetty energia on lisäksi tuotettu uusiutuvilla energiamuodoilla. Talu on rakennettu mahdollissimman pitkälti uusiutuvista luonnonmateriaaleista, jotka ovat peräisin läheltä ja joiden tuottamiseen on tarvittu vain vähän energiää ja jotka voidaan palauttaa takaisin luonnon kiertokulkuun tai kierrättää, mikäli rakennusta ei enää tarvita. Rakennus kestää niin teknisesti, toiminnallisesti kuin esteettisesti ajassa.

Rakentamismääräykset uudistuivat heinäkuun alussa 2012. Tällöin uudisrakentamisessa siirryttiin kokonaisenergiatarkasteluun, jossa huomioidaan kaikki rakennuksessa käytetty energia, energiamuodon kerroin sekä rakennuksen tyyppi. Uusien määräysten tavoitteena on parantaa rakennusten energiatehokkuutta 20 prosenttia tämän hetkisiin energiatehokkuus arvoihin verrattuna sekä lisätä uusiutuvien energiamuotojen käyttöä ja suunnitteluvapautta.

## 2.1 Elinkaarianalyysi

Tässä työssä käytetyt elinkaarianalyysillä tutkittu tieto on saatu ympäristötekniikan opiskelijalta. Kokoamistamme tiedoista teimme taulukoita joita tarkastelimme ja tarkastelun pohjalta kokosimme diagrammeja jossa vertailimme rakennusosia keskenään. Tässä työssä käytetään Green Building Council Finland (FIGBC) laskentaohjetta jonka mukaan elinkaarenpäästöjen laskennassa hiilivarastoa ei huomioida eli toisin sanoen elinkaaripäästöissä hiilivarastoa ei saa vähentää eikä rakennusmateriaalien päästötiedoissa hiilivarasto saa olla vähennetty. Hiili vapautuu rakennusosan elinkaaren lopussa koska hiilivarasto on luonteeltaan väliaikainen. (Figbc.fi.)

Tässä työssä tutkitaan rakennusosan elinkaarta tehtaantortilta työmaalle, joten laskelmiin kuuluvat kuljetukset tehtaalta rakennuskohteeseen. Uusio- tai uudelleenkäyttö mahdollisuuksien huomioonotamisessa tulee rakennusosassa käytettyjen rakennusmateriaalien pitkä käyttöikä aiheuttamaan vaikeuksia, koska mahdollinen uusio- tai uudelleenkäyttö tapahtuu vasta pitkän ajan kuluessa.

Rakentamisen ja rakennusmateriaalien ja osien tuotannon osuus talon elinkaaren energian kulutuksesta vain 10 - 20 % luokkaa. Talon käyttö eli lähinnä lämmitys ja sähkönkulutus haukkaavat siis 80 - 90 % energian kulutuksesta talon oletetun käyttöiän aikana. Rakennusten energiatehokkuuden kasvaessa rakennusvaiheen osuus kuitenkin korostuu. Siksi rakennusmateriaalien jalostamisen ja kuljetusten energian kulutus ja hiilidioksidipäästöt sekä muut ympäristövaikutukset tulisi ottaa huomioon.

Eri materiaaleja tulee käyttää harkiten ja kutakin ominaisimpaan käyttötarkoitukseensa. Puuosien valmistamiseen tarvitaan vähemmän energiää ja luonnonvaroja kuin metalliosien, mutta tietyissä lujuutta ja kestävyyttä vaativissa paikoissa esimerkiksi metallit tai betoni on kestävämpi ja pitkäikäisempi ja siksi myös ekologisempi kuin puu.

## 2.2 Hirsirunkoinen pientalo

Tässä työssä käytettiin hirsirunkoista rakennusmallia, hirret olivat männystä valmistettuja liimapuu-hirsiä. Mänty on paras hirren raaka-aine varsinkin, jos puut ovat kasvaneet niukkaravinteisessa maaperässä, jolloin kasvu on ollut hidasta. Tällä tavalla syntyy tiivistä, vankkarakenteista ja kovaa puutavaraa. Parhaimpia puita veistämiseen ovat suorakasvuiset, harvaoksaiset ja hitaasti kasvaneet männyt. (Jansson 2006, 14.)

Nyky aikaisten hirsitalojen teollinen valmistusprosessi tuottaa energiaksi soveltuvaa puujaetta enemmän kuin valmistuksessa käytetään energiaa. Hirsitaloilla on lisäksi pitkä elinkaari. Oikein rakennettuina ne kestävät hyväkuntoisina jopa satoja vuosia. (Hirsikoti.fi.)

Kun valitaan hirsi rakennusmateriaaliksi niin ulkonäkö- ja terveyssyyt vaikuttavat valintaan eniten. Hirsirungon valitsee 12 % rakentajista. (Suomirakentaa.fi.)

## 2.3 CLT-runkoinen pientalo

Ristikkäin liimattua puulevyä eli CLT:tä (Cross Laminated Timber) on tehty 1990-luvun alusta alkaen Itävallassa. Itävallassa valmistetaan yhä suurempi osa maailman CLT:stä, myös Sveitsi ja Saksa ovat tunnettuja CLT:n valmistajia. Ympäri maailmaa tunnetaan kestävydestään, vahvuudestaan ja kauneudestaan kuuluisa pohjoismainen puu. Kuhmossa aloitettiin suomalaisen CLT:n valmistus. (crosslam.fi.)

CLT-runko rakennusmallissa käytetään massiivipuisia, ristikkäin liimatuista puulamellikerroksista koostuvia rakennuslevyjä. CLT (Cross Laminated Timber) on tiivis, luja ja muotopysyvä rakennusmateriaali ristiinliimauksen ansiosta ja liimauksessa käytetään ympäristöystävällistä liimaa. CLT-elementti voi koostua eri paksuisista puulevykerroksista ja niitä voi olla 3,5,7 tai useampia käyttökohteesta riippuen. Yleensä elementin leveys on 3 metriä ja pituus voi olla jopa 16 metriä. Suuri elementtikoko minimoi levyjen välisten puskuliitosten määrän ja mahdollistaa nopean rakentamisen. (Puuinfo.fi.)

Rakennusmateriaalina CLT on monipuolinen. Se on yhdistettävissä mihin tahansa muuhun rakennusmateriaaliin ja sitä voidaan käyttää runkorakennusmateriaalina ulko- ja väliseinissä sekä katoissa ja välipohjissa. CLT-elementtejä voidaan käyttää monessa erilaisessa rakennustyyppissä, kuten pientaloissa, kerros- ja rivitaloissa, sekä loma- asuntojen rakentamisessa. (Lappia.fi.)

CLT:n edut rakentamisessa:

- ekologisuus
- energiataloudellisuus
- jämähkyys, lujuus
- jäykistävä rakenne
- rakentamisen nopeus

- ilmatiivis rakenne
- paloturvallisuus
- terveellinen sisäilma
- hyvä ääneneristys
- suunnittelun joustavuus
- korkea laatu, mittatarkkuus.

Nykyään CLT-levy on nopeasti yleistynyt rakennusmateriaali eri puolilla maailmaa varsinkin Keski-Euroopassa. Suomessa CLT rakentaminen on vielä melko uusi asia, mutta tulee yleistymään tulevaisuudessa. (Puuinfo.fi.)

## 2.4 Rankarunkoinen pientalo

Yleisintä rakennustapaa on tehdä rakennukseen puurankarunko, joka usein tehdään noin 50 mm paksusta ja 148–200 mm leveästä höylätystä lankusta, joka koolataan ristiin n. 50 x 48–100 mm:n puutavaralla. Runko on helppo tehdä sahatavarasta, mutta suurin osa nykyisin toteuttavista puurankarunkoisista taloista on elementtitaloja. Myös platform- ja percut-järjestelmät soveltavat rankarunkon periaatetta. Puurankarunkon teko rakennukseen on yleisin rakennustapa Suomessa. Rankarunkon valitsee noin 75 % rakentajista. Puurunko tehdään suoraan eristelevyteen 600 mm:n jaotuksella, ja yhdessä kantavien väliseinien kanssa se riittää kantamaan seinien oman ja yläpuolisten rakennusosien painon. Paikalla rakennettaessa voidaan käyttää lisäksi noin 50 mm:n vaaka- tai pystykoolausta eristeineen, jolloin kylmäsillat saadaan mahdollisemman hyvin katkaistua. Viime vuosina oli yleistynyt myös polyuretaanin käyttö ulkoseinän sisäpinnalla. Näin päästään ohuempaan ja energiatehokkaaseen, sekä tiiviiseen seinään. Ulkopuolelle asennetaan tuulensuojalevy, tuulensuojaeriste tai tuulensuojakangas jonka päälle tuuletusrimoitus kiinnitetään. Tiiliverhouksen yhteydessä jätetään vähintään 40 mm:n tuuletusväli ja puuverhouksessa minimissään 25 mm:n rako. Verhouksen taakse oli taustan tuulettumisen varmistamiseksi myös järjestettävä ilmaraot sekä alhaalta että ylhäältä. (Suomirakentaa.fi.)

## 2.5 Betonirunkoinen pientalo

Betonirunkoisena talona käsitellään tässä työssä Sandwich-, betonielementeistä tai betoniharkoista tehtyä taloa, mutta tavallisimmin voidaan tehdä myös lämpöeristetyistä betoniharkoista. Betoniratkaisun valitsee noin 7 % rakentajista.

Betoniharkkoseinä ladotaan lämpöeristetyistä harkoista, minkä jälkeen harkoissa olevat kolot täytetään valmiilla betoni-massalla. Useimmiten julkisivukäsittelyssä käytetään rappautusta. Ratkaisu sopii yksilöllisesti suunniteltuihin ja arkkitehtuurisesti näyttäviin taloihin, ja ulkonäkö onkin toiseksi yleisin betonirunkon valintaperuste heti kestävyysjälkeen. (Suomirakentaa.fi.)

Sandwich-elementtiseinä koostuu betonisesta sisä- ja ulkokuoresta ja niiden välissä olevasta lämmöneristeestä. Tuulettumisen aikaansaamiseksi eristeenä käytetään pystyuritettua jäykkää mineraalivillaeristettä (Rudus.fi.)

Betonin edut rakentamisessa:

- luja
- luonnon raaka- aineista valmistettu
- kestävä ja pitkäikäinen
- ääntä eristävä
- paloturvallinen
- kierrätettävä
- energiaa säästävä
- edullinen

(Betoni.com.)

## 2.6 Ontelolaatta

Ontelolaatta asuinrakennuksen välipohjaratkaisuna on Suomessa yleisin, ja sitä toimitetaan yleensä kerrostalorakennusten välipohjiin. Vuosi vuodelta ontelolaattarakenteita käytetään yhä enemmän myös omakoti- ja rivitalojen rakentamisessa. Pientalon alapohja- ja välipohjarakenteena ontelolaatta mahdollistaa yhtenäiset avarat tilat pitkien jänneväliden ansiosta. (Rakentaja.fi.)

## 2.7 Lämpöharkkorunkoinen pientalo

Kevytsoraharkot ovat yleisin perustuksissa käytettävä sokkelimateriaali, mutta siitä on helppo toteuttaa myös koko talon runko. Kevytsoraharkon valitsee jopa 5 % rakentajista.

Ulkoseinissä käytetään yleensä lämpöeristettyjä harkkoja, jotka muurataan ilman pystysaumoja.

Nykyään on saatavana myös energiakivestä valmistettuja lämpöharkkoja jotka liimaladotaan laastin kanssa jäykäksi ja tiiviiksi yhtenäiseksi rakennusosaksi, äänieristävyys saadaan erinomaiseksi jälkivalamalla työmaalla sisäkuori betonimassalla. Tässä työssä käytetty lämpöharkko on Lakanbetonin EKO+400 energiakivi. (Lakanbetoni.fi.)

Harkkorakenteisen talon julkisivu voidaan rapata kaksi- tai kolmikerrosrappauksella. Sisäpuoli esim. tasoitetaan ja maalataan tai se voidaan myös koolata esim. 48 mm x 48 mm puutavaralla ja päällystää rakennuslevyllä, mikä lienee omatoimiselle rakentajalle rappauستا helpompi tapa sisäseinien suoristamiseksi. Tutkimuksemme mukaan rakentajat arvostavat muiden kivialoratkaisuiden tapaan eniten ratkaisun kestävyyttä ja pitkäikäisyyttä. Ulkopinta rapataan ja sen takia myös kevytsoraharkkoseinään pätee myös tärkeänä valintatekijänä ulkonäkö.



### 3 TARKASTELUSSA MUKANA OLEVAT RAKENNUSOSAT

Ikkunoiden ja ovien osalta ympäristövaikutusten tarkastelu oli rajattu pois tässä työssä, koska ikkunat ja ovet eivät vaikuta rakennusosien vertailun keskinäiseen paremmuuteen.

Tietojen keräämisen jälkeen saatiin koottua Excel-taulukkoja, joiden avulla voidaan laskea rakennusosien ympäristövaikutuksia neliötä kohden. Kaikille rakennusosille löytyy oma laskentataulukko. Taulukossa 1 on esimerkkinä tässä työssä käytetyt rakennusosat.

Taulukko 1. Tarkasteltavat rakennusosat.

Rakennusosa	Paino kg	Pinta-ala m <sup>2</sup>	Paino neliölle kg/m <sup>2</sup>
<b>Katto</b>			
Konesaumattupeltikatto	1610,54 kg	155 m <sup>2</sup>	10,39 kg/m <sup>2</sup>
Bitumihuopakatto	2596,39 kg	155 m <sup>2</sup>	16,75 kg/m <sup>2</sup>
<b>Yläpohja</b>			
Liimapuupalkki	6209,196 kg	120 m <sup>2</sup>	51,74 kg/m <sup>2</sup>
Ontelolaatta	33036,15 kg	120 m <sup>2</sup>	275,30 kg/m <sup>2</sup>
CLT-levy	11345,3 kg	120 m <sup>2</sup>	94,54 kg/m <sup>2</sup>
<b>Vaippa</b>			
Hirsirunko	17567,30 kg	142,2 m <sup>2</sup>	123,54 kg/m <sup>2</sup>
Rankarunkoinen lautaverhoilulla	8814,8 kg	142 m <sup>2</sup>	62,08 kg/m <sup>2</sup>
Rankarunkoinen tiiliverhoilulla	25718,62 kg	142 m <sup>2</sup>	181,12 kg/m <sup>2</sup>
Betonirunko	55158,75 kg	142,2 m <sup>2</sup>	387,90 kg/m <sup>2</sup>
CLT runko lautaverhoilulla	14710,70 kg	142 m <sup>2</sup>	103,60 kg/m <sup>2</sup>
CLT-runko tiiliverhoilulla	31918,49 kg	142 m <sup>2</sup>	224,78 kg/m <sup>2</sup>
Lämpöharkkorunko	33458,09 kg	143,4 m <sup>2</sup>	233,32 kg/m <sup>2</sup>
Lämpöharkon betonitäyttö	22600,36 kg	143,4 m <sup>2</sup>	157,60 kg/m <sup>2</sup>
<b>Alapohja</b>			
Liimapuupalkki	11030,53 kg	105 m <sup>2</sup>	105,05 kg/m <sup>2</sup>
Ontelolaatta (tuulettuva)	38107,325 kg	105 m <sup>2</sup>	362,93 kg/m <sup>2</sup>
Paikallavalulaatta (maanvarainen)	26861,825 kg	105 m <sup>2</sup>	255,83 kg/m <sup>2</sup>
Pesty sepeli	42525,00 kg	105 m <sup>2</sup>	405,00 kg/m <sup>2</sup>
<b>Sokkeli</b>			
Paikallavalu	27277,90 kg	45 m <sup>2</sup>	606,18 kg/m <sup>2</sup>
Harkko	14341,50 kg	45 m <sup>2</sup>	318,70 kg/m <sup>2</sup>

Taulukossa 1 esitetty lämpöharkon betonitäyttö suoritetaan työmaalla. Kts. Lakanbetoni EKO +400 energiakivi. (Lakanbetoni.fi.) Taulukossa esitetyt painot ja pinta-alat ovat saatu Revit mallintamisohjelmalla ja rakennustekniikan opiskelijoiden laskelmista. Pesty sepeli toimitetaan työmaalle alapohjan rakentamisen yhteydessä.

#### 3.1 Tutkittavat rakennusosat

Tässä työssä käsiteltiin viittä erilaista runkorakennetta, jotka ovat liimapuuhirsi-, ranka-, sandwich-, lämpöharkko- sekä CLT-runkorakenne. Lisäksi tutkittiin katto, ylä- ja alapohja ratkaisuja.

Rakennusosat rakentuvat materiaaleittain seuraavasti: rankarunko sisälsi seuraavat materiaalit ulkopinnasta alkaen tiili tai lauta, koolaus tai tuulettuva ilmaväli, tuulensuojalevy, runkotolpat, mineraali-

villa, höyrysulkumuovi, koolaus ja mineraalivilla, sekä kipsikartonkilevy. CLT-runko erosi rankarungosta vain CLT-levyn osalta. Betonirunko oli tässä työssä sandwich-elementti. Harkkorunko koostui EKO +400 energiakivi lämpöharkosta, betonitäytöstä ja rappauksesta sekä sisäpuolen tasoitteesta. Liimapuu hirsirunko koostui nimensä mukaisesti liimapuuhirrestä. Katon rakennusosan materiaalit olivat konesaumattu kattopelti, harvalaudoitus, tuuletusrimat ja aluskate. Vertailussa mukana ollut toinen katto ratkaisui rakentui bitumikattohuovasta, bitumialuskatteesta ja ponttilaudoituksesta. Yläpohjarakenteet sisälsivät materiaalit seuraavassa järjestyksessä, kantavat rakenteet oli ontelolaatta, liimapuupalkki ja CLT-levy jonka kantavuutta vahvistettiin liimapuupalkeilla, lisäksi käytettiin kurkihirttä ja puupilareita, liimapuupakki ja CLT-levy yläpohjissa. Eristeenä oli polyuretaani tai mineraalivilla. Höyrysulkumuovi oli myös kaikissa rakenteissa. Alapohjarakenne noudatteli samoja rakennusratkaisuja kuin yläpohja, poiketen vain paikallavalulaatan osalta. Lattiapinnoitteita oli kaksi kappaletta ponttilautaa ja muovimatto. Sokkeleita myös oli kaksi kappaletta paikallavalu- ja harkkosokkeli.

Rakennusmallit ovat valinneet kaksi rakennustekniikan opiskelijaa yhdessä rakennustekniikan lehtorin kanssa. Rakennustekniikan opiskelijat olivat yksilöineet jokaisen rakennusmalliin käytettävän materiaalin ja laskeneet niiden määrät rakennuksessa. Tämän jälkeen laskettiin eri rakennusosien valmistamiseen ja kuljetukseen menevät energian määrät, päästöt ja pystyttämiseen työmaalla menevät työmenekit ja työsuorituksen hinta sekä rakennusosien hinta neliötä kohti, lisäksi tarkasteltiin eri rakennusosien ekologisuutta.

Taulukko 2. Tutkittavat rakennusosat.

Vaippa	Yläpohja	Alapohja	Katto	Sokkeli
Hirsirunko	Liimapuupalkki	Liimapuupalkki (tuulettuva)	Konesaumattupelti	Paikallavalubetoni
Rankarunko (lautaverhous)	Liimapuupalkki	Liimapuupalkki (tuulettuva)	Bitumihuopakerni	Paikallavalubetoni
Rankarunko (tiiliverhous)	CLT-levy	Liimapuupalkki (tuulettuva)	Konesaumattupelti	Paikallavalubetoni
Betonirunko	Ontelolaatta	Paikallavalubetoni (maanvarainen)	Bitumihuopakerni	Paikallavalubetoni
CLT-runko (Lautaverhous)	CLT-levy	Liimapuupalkki (tuulettuva)	Konesaumattupelti	Paikallavalubetoni
CLT-runko (tiiliverhous)	CLT-levy	Liimapuupalkki (tuulettuva)	Bitumihuopakerni	Paikallavalubetoni
Harkkorunko	Ontelolaatta	Ontelolaatta (tuulettuva)	Konesaumattupelti	Harkko

Taulukossa 2 on lueteltu kaikki rakennusosat ja niiden eri vaihtoehdot vaipan, yläpohjan, alapohjan, katon ja sokkelin suhteen. Kaikissa ratkaisuissa on betoni sokkeli, paitsi lämpöharkkorunko rakennusratkaisussa, jossa sokkeli on tehty kevytsoraharkosta ja lämpöharkosta.

#### 4 RAKENNUSOSISTA SEKÄ NIIDEN KULJETUKSESTA TYÖMAALLE SYNTYVÄT YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Maanteitse kuljetettavat rakennustarvikkeet toimitetaan yleensä joko puoliperävaunuyhdistelmällä tai täysperävaunuyhdistelmällä. Tässä työssä käytettiin puoliperävaunuyhdistelmää, koska Ökobau.dat materiaalitietokannasta löytyi kyseisen ajoneuvon arvot ja samanlaista ajoneuvoyhdistelmää käytetään myös Suomessa. Hiilidioksidin syntyyn vaikuttaa käytännössä ainoastaan polttoaineenkulutus.

Taulukko 3. Esimerkki, kuorma-auton päästöt, Ökobau materiaalitietokannasta.

<b>Energian käyttö</b>	<b>Kuorma-auton päästökertoimet t/km</b>
Uusiutumaton energia (MJ)	0,95 MJ/1000kg/km
Uusiutuva energia (MJ)	0,04 MJ/1000kg/km
Energian kokonaiskäyttö kuljetuksissa ja prosesseissa (MJ)	<b>0,98 MJ/1000kg/km</b>
<b>Raaka-aineiden kulutus</b>	
Uusiutumattomat luonnonmateriaalit	N.A
Uusiutuvat luonnonmateriaalit	N.A
Raaka-aineiden kokonaiskäyttö	N.A
<b>Päästöt</b>	
CO <sub>2</sub>	N.A
CH <sub>4</sub>	N.A
N <sub>2</sub> O	N.A
<b>CO<sub>2</sub>-ekv</b>	<b>68,44 g/1000kg/km</b>
SO <sub>2</sub>	N.A
NO <sub>x</sub>	N.A
<b>SO<sub>2</sub>-ekv</b>	<b>0,44 g/1000kg/km</b>
NM <sub>VOC</sub>	N.A
CO	N.A
<b>POCP</b>	<b>-0,18664 g/1000kg/km</b>
Raskasmetallit	N.A

Lähde: 9.3.01 LKW (A4) Ökobau.dat

Ökobau.dat tietokannassa on laaja valikoima vastaaventyypisiä taulukoita eri rakennusmateriaaleille, ja jokaiselle materiaalille löytyy 13 erilaista ympäristövaikutusta. Tässä työssä on käytetty rakennusosissa esiintyvien materiaalien ominaisuuksista seuraavia vertailuarvoja: kokonaisenergiankulutus, CO<sub>2</sub>-ekvivalentti, SO<sub>2</sub>-ekvivalentti ja POCP.

Vertailuarvojen laskennassa käytettiin seuraavia yleisesti hyväksytyjä laskentakaavoja:

Kasvihuonekaasujen hiilidioksidiekvivalentin (CO<sub>2</sub>-ekv) laskennassa käytetään IPCC:n mukaista painotusta ympäristövaikutusten vakavuuden mukaan. Kaava jolla CO<sub>2</sub>-ekvivalentti on laskettu kaavalla: **CO<sub>2</sub> ekv = 1 · CO<sub>2</sub> + 25 · CH<sub>4</sub> + 298 · N<sub>2</sub>O**

SO<sub>2</sub> -ekvivalenttimäärä ilmoitetaan Ekoindikaattori 95 menetelmän mukaan. Kaava jolla SO<sub>2</sub>-ekvivalentti on laskettu: **SO<sub>2</sub> ekv = 1 · SO<sub>2</sub> + 0,7 · NO<sub>x</sub>**

Alailmakehän otsonia pilaavia fotokemiallisia päästöjä ilmoitetaan POCP arvona, jotka on laskettu DAIA-menetelmällä, joka on Suomen olosuhteisiin kehitetty elinkaariarviointi menetelmä.

DAIA-menetelmässä teoreettisen ekvivalenttikertoimen tulos kerrotaan kulkeutumis- ja vaikutuskerroimilla. DAIA-karakterisointikertoimia voidaan käyttää vain Suomessa. Kaava, jolla POCP arvo on laskettu: **POCP = 0,209 · NMVOC + 0,727 · NO<sub>x</sub> + 0,064 · CO + 0,003 · CH<sub>4</sub>**

Ekvivalentit ovat laskettu eri päästöjen määrillä ja näillä on myös omat karakterisointikertoimet.

Esimerkiksi koska metaani on 25 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi, se saa karakterisointikertoimeksi 25. Luvut voivat POCP osalta olla myös negatiivisia koska typpioksidi reagoi otsonin kanssa muodostaen typpidioksidia (NO + O<sub>3</sub> ⇒ NO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>). Tämän vuoksi alailmakehän otsoni määrä pienenee dieselmoottorin pakokaasujen typenoksidien vaikutuksesta.

Taulukko 4. Rakennusosasta muodostuvat päästöt ja neliö hinta.

Rakennusosa	Päästöt CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup>	Päästöt SO <sub>2</sub> -ekv	Päästöt POCP	Energian käyttö	Hinta/m <sup>2</sup>
<b>Katot</b>					
Bitumihuopakate	1. 4,75 kg/m <sup>2</sup>	0,033 kg/m <sup>2</sup>	0,01 kg/m <sup>2</sup>	134,46 MJ/m <sup>2</sup>	35,36 €/m <sup>2</sup>
Konesaumattupeltikate	2. 5,65 kg/m <sup>2</sup>	0,032 kg/m <sup>2</sup>	0,027 kg/m <sup>2</sup>	122,15 MJ/m <sup>2</sup>	32,20 €/m <sup>2</sup>
<b>Yläpohjat</b>					
Liimapuupalkki yläpohja	1. 44,21 kg/m <sup>2</sup>	0,25 kg/m <sup>2</sup>	0,20 kg/m <sup>2</sup>	720,83 MJ/m <sup>2</sup>	128,37 €/m <sup>2</sup>
CLT-yläpohja	2. 58,43 kg/m <sup>2</sup>	0,32 kg/m <sup>2</sup>	0,25 kg/m <sup>2</sup>	1092,17 MJ/m <sup>2</sup>	203,95 €/m <sup>2</sup>
CLT-yläpohja PUR	3. 93,85 kg/m <sup>2</sup>	0,16 kg/m <sup>2</sup>	0,05 kg/m <sup>2</sup>	2180,63 MJ/m <sup>2</sup>	228,12 €/m <sup>2</sup>
Ontelolaatta yläpohja	4. 123,02 kg/m <sup>2</sup>	0,27 kg/m <sup>2</sup>	0,05 kg/m <sup>2</sup>	1930,5 MJ/m <sup>2</sup>	135,44 €/m <sup>2</sup>
<b>Vaippa</b>					
Rankarunko lautaverhous	1. 25,4 kg/m <sup>2</sup>	0,18 kg/m <sup>2</sup>	0,12 kg/m <sup>2</sup>	495,03 MJ/m <sup>2</sup>	133,31 €/m <sup>2</sup>
CLT-runko lautaverhous	2. 38,34 kg/m <sup>2</sup>	0,23 kg/m <sup>2</sup>	0,16 kg/m <sup>2</sup>	836,92 MJ/m <sup>2</sup>	167,22 €/m <sup>2</sup>
Liimapuuhirsirunko	3. 39,83 kg/m <sup>2</sup>	0,19 kg/m <sup>2</sup>	0,14 kg/m <sup>2</sup>	981,98 MJ/m <sup>2</sup>	238,13 €/m <sup>2</sup>
Betonirunko	4. 51,08 kg/m <sup>2</sup>	0,09 kg/m <sup>2</sup>	0,028 kg/m <sup>2</sup>	332,21 MJ/m <sup>2</sup>	171,11 €/m <sup>2</sup>
Rankarunko tiiliverhous	5. 51,28 kg/m <sup>2</sup>	0,25 kg/m <sup>2</sup>	0,12 kg/m <sup>2</sup>	905,42 MJ/m <sup>2</sup>	166,93 €/m <sup>2</sup>
CLT-runko tiiliverhous	6. 65,08 kg/m <sup>2</sup>	0,30 kg/m <sup>2</sup>	0,17 kg/m <sup>2</sup>	1280,58 MJ/m <sup>2</sup>	208,42 €/m <sup>2</sup>
Lämpöharkkorunko	7. 145,66 kg/m <sup>2</sup>	0,22 kg/m <sup>2</sup>	0,03 kg/m <sup>2</sup>	2409,37 MJ/m <sup>2</sup>	168,30 €/m <sup>2</sup>
<b>Alapohja</b>					
Tuulettuva liimapuupalkki	1. 63,98 kg/m <sup>2</sup>	0,31 kg/m <sup>2</sup>	0,230 kg/m <sup>2</sup>	1233,23 MJ/m <sup>2</sup>	320,17 €/m <sup>2</sup>
Maanvarainen paikallavalu	2. 99,03 kg/m <sup>2</sup>	0,17 kg/m <sup>2</sup>	0,0245 kg/m <sup>2</sup>	1452,7 MJ/m <sup>2</sup>	108,61 €/m <sup>2</sup>
Tuulettuva ontelolaatta	3. 156,61 kg/m <sup>2</sup>	0,31 kg/m <sup>2</sup>	0,042 kg/m <sup>2</sup>	2347,23 MJ/m <sup>2</sup>	162,22 €/m <sup>2</sup>
<b>Sokkeli</b>					
Paikallavalu sokkelin	1. 151,21 kg/m <sup>2</sup>	0,19 kg/m <sup>2</sup>	0,0181 kg/m <sup>2</sup>	3349,17 MJ/m <sup>2</sup>	98,32 €/m <sup>2</sup>
Lämpöharkko sokkelin	2. 156,62 kg/m <sup>2</sup>	0,46 kg/m <sup>2</sup>	0,05 kg/m <sup>2</sup>	2417,77 MJ/m <sup>2</sup>	132,97 €/m <sup>2</sup>

Taulukossa 4 lueteltiin kaikki rakennusosat ja niiden eri vaihtoehdot vaipan, yläpohjan, alapohjan, katon ja sokkelin suhteen. Kaikissa ratkaisussa on betoni sokkeli, paitsi lämpöharkkorunko rakenneratkaisussa, jossa sokkeli on tehty kevytsoraharkosta ja lämpöharkosta.

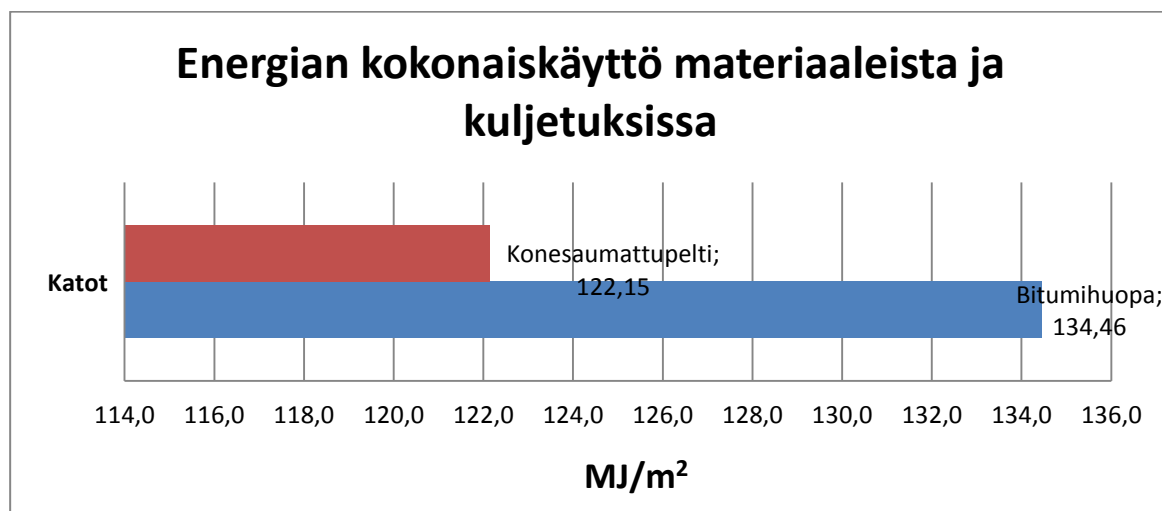
Rakennusosat on pyritty pitämään mahdollisimman yksinkertaisina ja helposti verrattavina keskenään. Tähän tavoitteeseen on päästy katto-, yläpohja-, alapohjarakenteen sekä sokkelin osalta. Ulkoseinien kohdalla on tehty poikkeus tästä säännöstä ja ulkoseinät on materiaalien osalta tehty valmiiksi ulkoverhousta myöten, jotta päästään vertailemaan keskenään erilaisten ulkoverhouks materiaalien vaikutus ilmastonlämpenemistä aiheuttavien päästöjen lisääntymiseen. Rakennusosat on asetettu paremmuus järjestykseen ryhmittäin, siten että ryhmän ensimmäisellä on pienin CO<sub>2</sub>-ekvivalentti arvo. Rakennusosan hinta neliölle ja muut taulukossa esitetyt päästöt eivät seuraa tätä suuruus järjestystä, vaan niiden arvot seuraa kyseistä rakennusosaa.

Taulukossa 4 käy ilmi eri rakennusosien energian kokonaiskäyttö, vaikutus ilmaston lämpenemiseen, vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen ja vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle. Myös rakennusosan hinta neliötä kohti on otettu vertailun vuoksi mukaan.

Tässä työssä kuitenkin ensisijainen tarkoitus on tutkia ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen vaikutusta rakennusosien ryhmissä, ensin katot, seuraavaksi yläpohja, kolmanneksi ulkoseinät, neljänneksi alapohja ja viimeiseksi sokkeli. Kattorakenteiden kohdalla bitumihuopakatolla on 15,9 prosenttia pienempi hiilijalanjälki, kuin konesaumattulla peltikatolla. Yläpohjarakenteissa liimapuupalkilla on peräti 64,1 prosenttia pienempi hiilijalanjälki, kuin ontelolaatalla. Ulkoseinien osalta tilanne on seuraavanlainen, rankarunko lautaverhouksella on 82,7 prosenttia pienempi hiilijalanjälki, kuin lämpöharkkorungolla. Alapohjarakenteiden vertailu antaa seuraavanlaisen tuloksen, liimapuupalkilla on 61,4 prosenttia pienempi hiilijalanjälki, kuin ontelolaatalla. Viimeinen CO<sub>2</sub>-ekvivalentin vertailu rakennusosilla antaa tuloksen, että harkkosokkelilla on 3,5 prosenttia suurempi hiilijalanjälki, kuin paikallavalubetonilla.

#### 4.1 Energian kokonaiskäyttö katon osalta

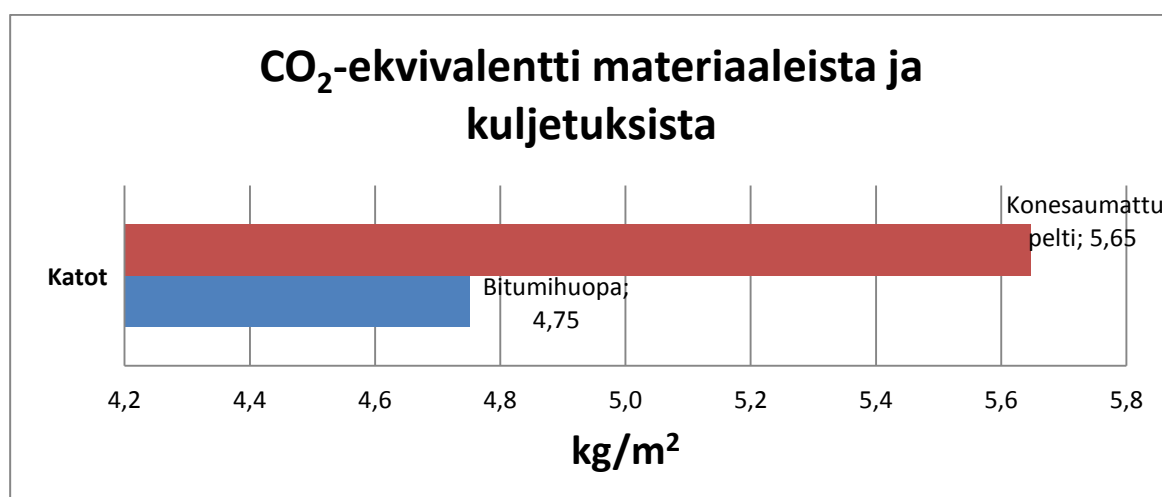
Tekemämme laskelmat esitetään kaavion muodossa, joista käy ilmi energian kokonaiskäyttö, hiilidioksidiekvivalentti, rikkidioksidi ekvivalentti ja alailmakehän otsonin muodostuminen.



Kuvio 1. Pelti- ja bitumihuopakaton yhteenlaskettu energian kokonaiskäyttö materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 1 käy ilmi rakennusosien energian kokonaiskäytön osalta, että konesaumatun peltikaton rakennusosan neliön energian kokonaiskäyttö oli noin 9 prosenttia pienempi, kuin bitumihuopakaton rakennusosan neliön.

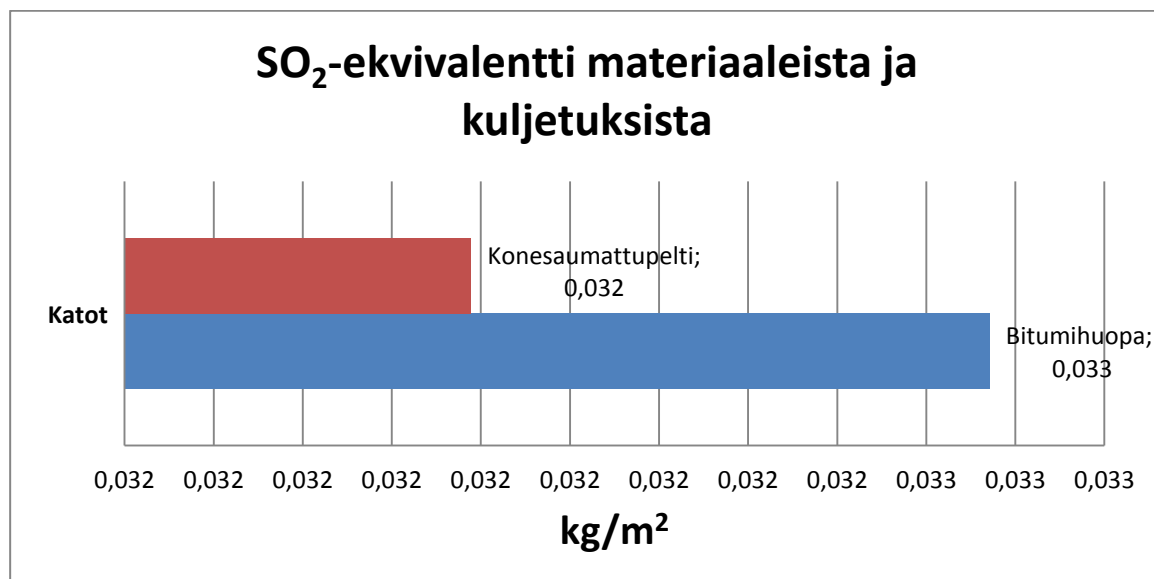
#### 4.2 Kattomateriaaleista aiheutuva ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 2. Pelti- ja bitumihuopakaton yhteenlaskettu CO<sub>2</sub>-ekvivalentti materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 2 käy ilmi, että CO<sub>2</sub>-ekvivalentti on konesaumatulla peltikatolla noin 15 prosenttia suurempi kuin bitumihuopakatolla.

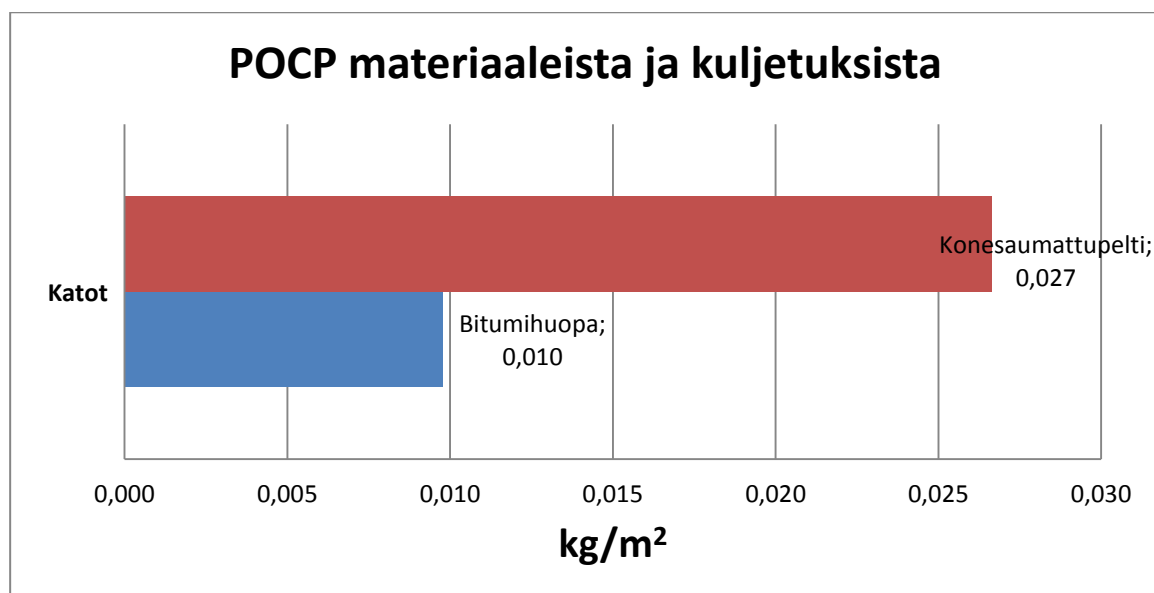
## 4.3 Kattomateriaaleista aiheutuva happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 3. Pelti- ja bitumihuopakaton yhteenlaskettu SO<sub>2</sub>-ekvivalentti materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 3 käy ilmi, että konesaumatus peltikaton vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen eli SO<sub>2</sub>-ekvivalentti, on noin 3 prosenttia pienempi verrattuna bitumihuopakattoon.

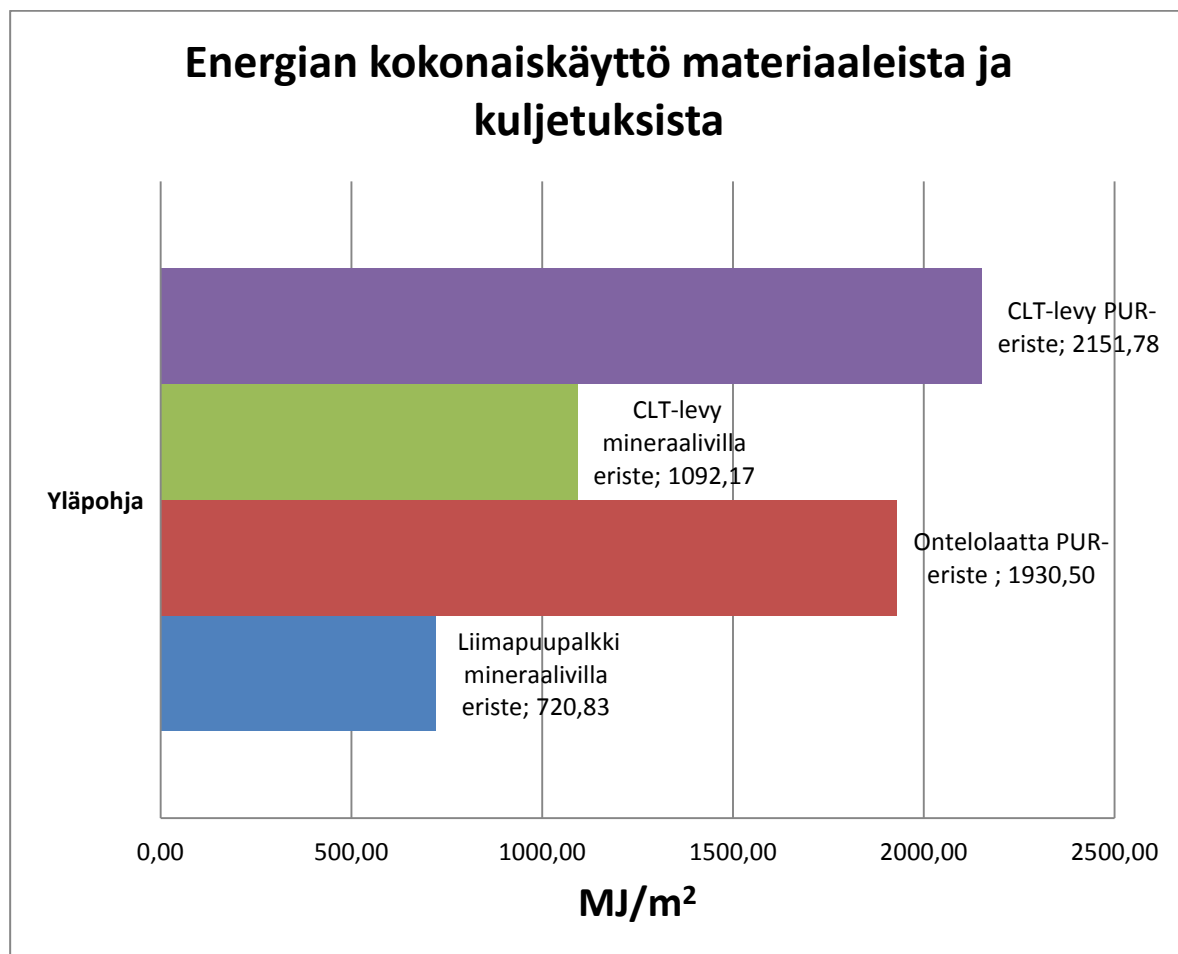
## 4.4 Kattomateriaaleista aiheutuva alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 4. Pelti- ja bitumihuopakaton yhteenlaskettu POCP materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 4 käy ilmi konesaumatus peltikaton vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen, on 2,7 kertaa suurempi verrattuna bitumihuopakattoon.

## 4.5 Energian kokonaiskäyttö yläpohjan osalta

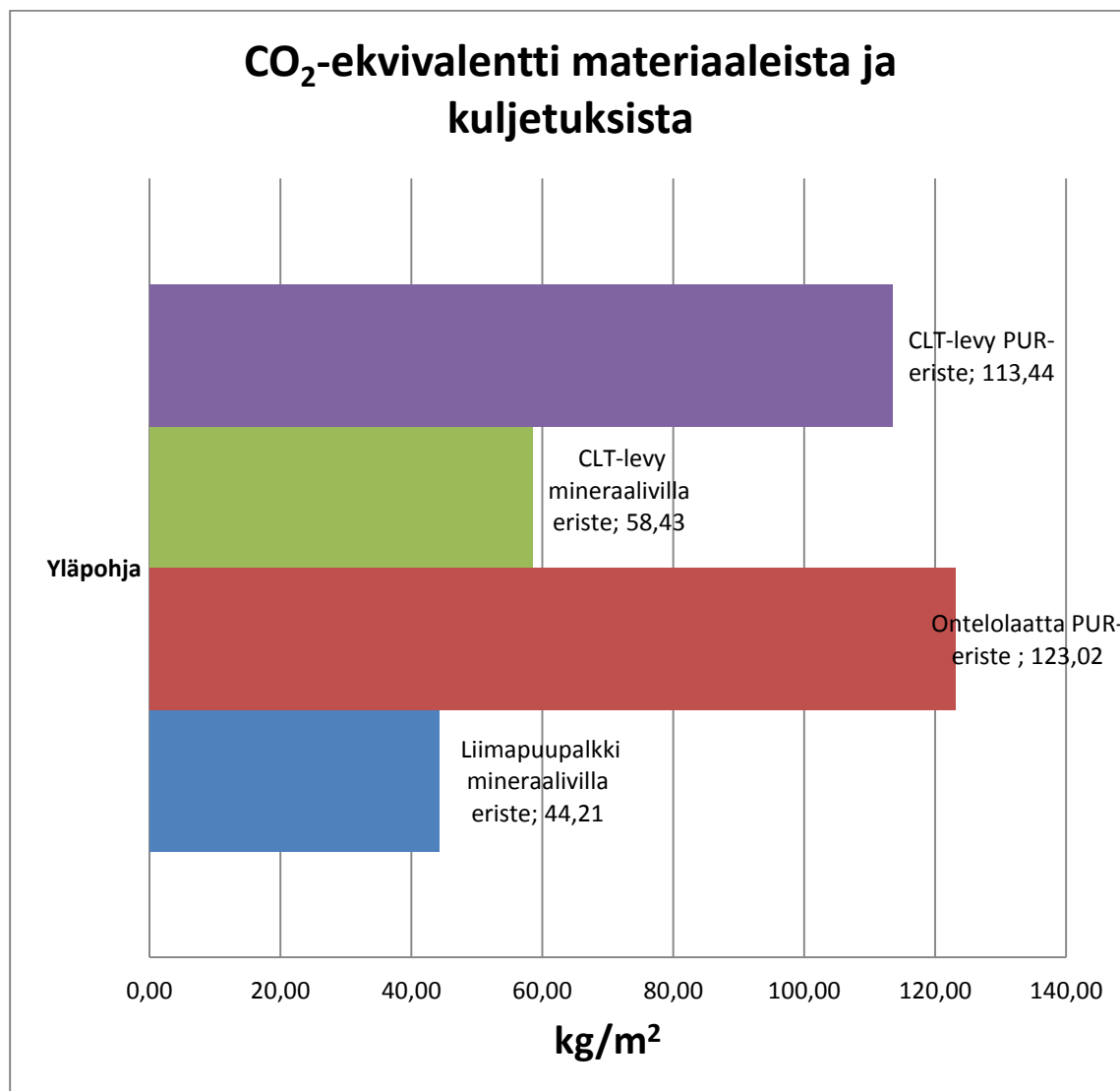


Kuvio 5. Yläpohja rakennusosien yhteenlaskettu energian kokonaiskäyttö materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 5 käy ilmi, että mineraalivilla eristetyn CLT-yläpohjan valmistuksessa käytetyn energian kokonaiskäyttö, verrattuna mineraalivilla eristettyyn liimapuupalkki yläpohjaan on 34 prosenttia suurempi. Vastaavasti PUR-eristetyllä ontelolaatta yläpohjalla on 10,3 prosenttia pienempi energian kokonaiskäyttö kuin vastaavasti eristetyllä CLT-yläpohjalla. PUR-eristetyn CLT-yläpohjan energian kokonaiskäyttö on noin 2 kertaa suurempi kuin mineraalivilla eristetyn CLT-yläpohjan.



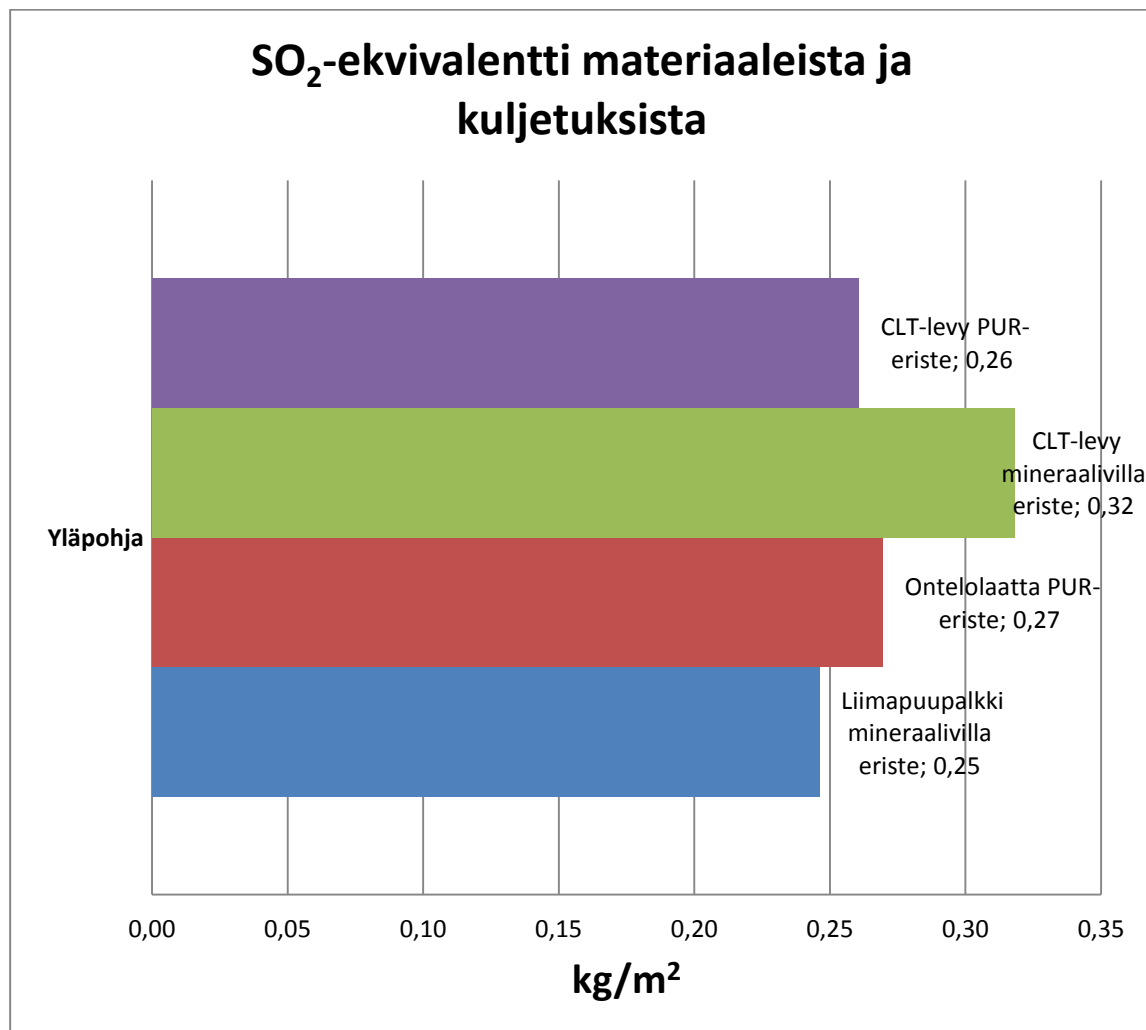
## 4.6 Yläpohjasta aiheutuva ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 6. Yläpohja rakennusosien yhteenlaskettu CO<sub>2</sub>-ekvivalentti materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 6 käy ilmi, että mineraalivilla eristetyin liimapuupalkki yläpohjan vaikutus ilmaston lämpenemiseen on 24 prosenttia pienempi, kuin vastaavasti eristetyllä CLT-yläpohjalla. Mutta PUR-eristettyyn ontelolaatta yläpohjaan verrattuna, vastaavasti eristettyyn CLT-yläpohjan rakennusosan neliön vaikutus ilmaston lämpenemiseen on noin 8 prosenttia suurempi. PUR-eristetyin CLT-yläpohjan vaikutus ilmaston lämpenemiseen on lähes 2 kertaa suurempi, kuin mineraalivillalla eristetyllä CLT-yläpohjalla.

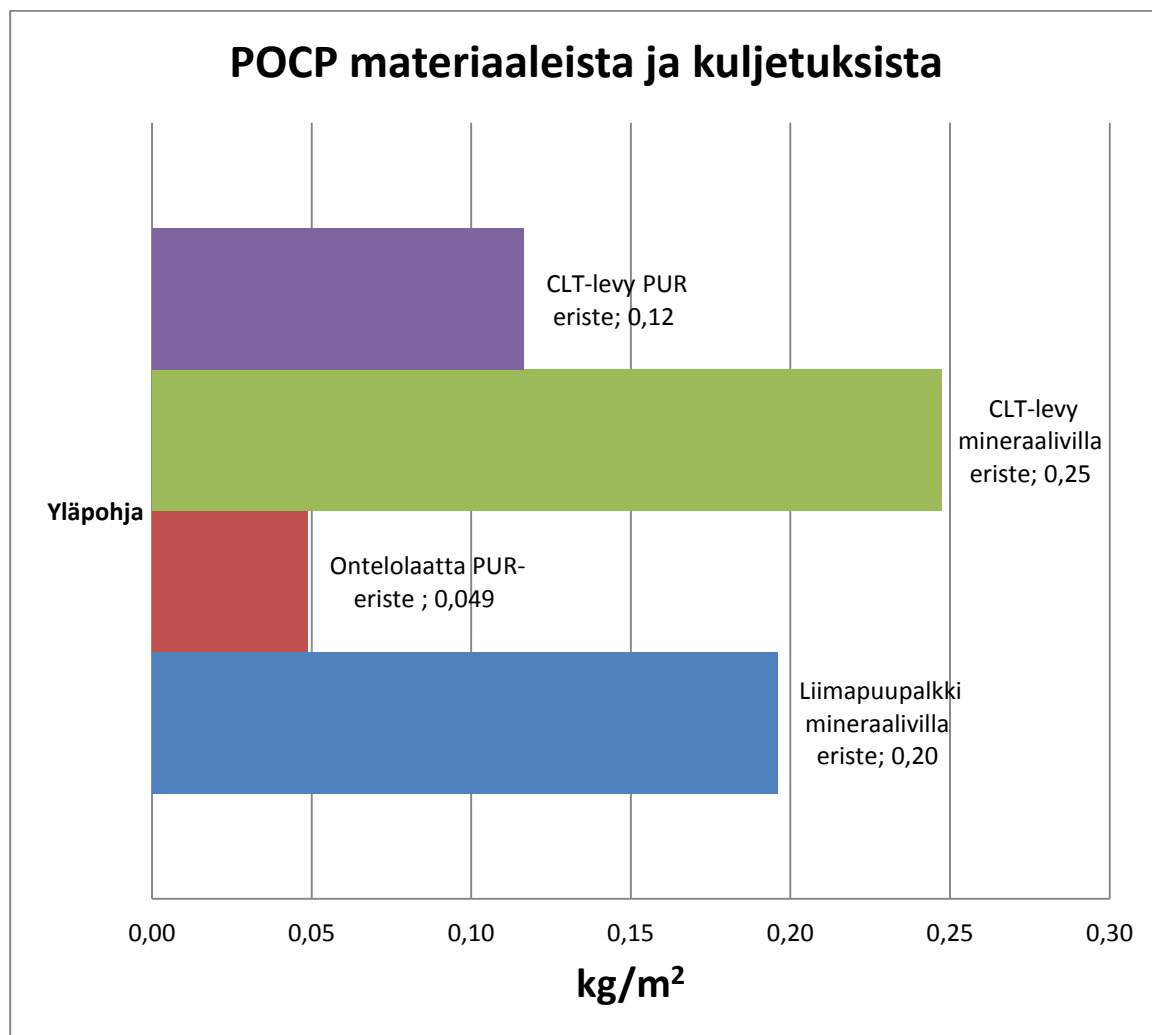
## 4.7 Yläpohjasta aiheutuva happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 7. Yläpohja rakennusosien yhteenlaskettu SO<sub>2</sub>-ekvivalentti materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 7 käy ilmi, että mineraalivilla eristetyn CLT-yläpohjan vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on 22 prosenttia suurempi, kuin vastaavasti eristetyllä liimapuupalkki yläpohjalla. PUR-eristetyn ontelolaatta yläpohjan vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on noin 4 prosenttia suurempia, kuin vastaavasti eristetyllä CLT-yläpohjalla. Mineraalivillalla eristetyn CLT-yläpohjan vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on noin 19 prosenttia suurempi, kuin CLT-yläpohjan jossa käytetään PUR-eristettä.

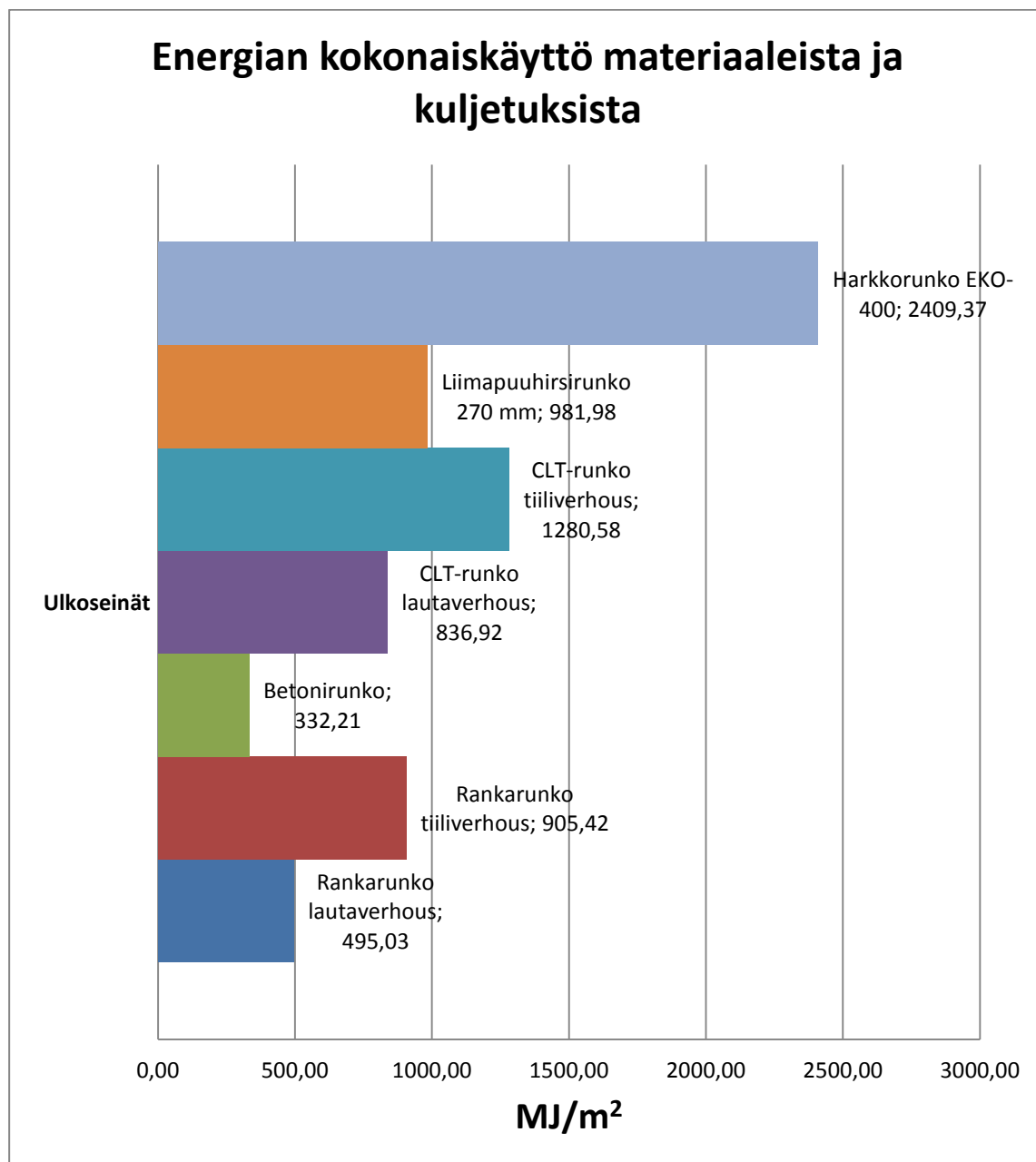
## 4.8 Yläpohjasta aiheutuva alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 8. Yläpohja rakennusosien yhteenlaskettu POCP materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 8 käy ilmi, että mineraalivilla eristetyin CLT-yläpohjan POCP eli vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen on 20 prosenttia pienempi, kuin vastaavasti eristetyllä liimapuupalkki yläpohjalla. PUR-eristetyin ontelolaatta yläpohjan vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen on 2,5 kertaa pienempi, kuin vastaavasti eristetyllä CLT-yläpohjalla. Mineraalivilla eristetyin CLT-yläpohjan vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen on 2 kertaa suurempi kuin, CLT-yläpohjan jossa käytetään PUR-eristettä.

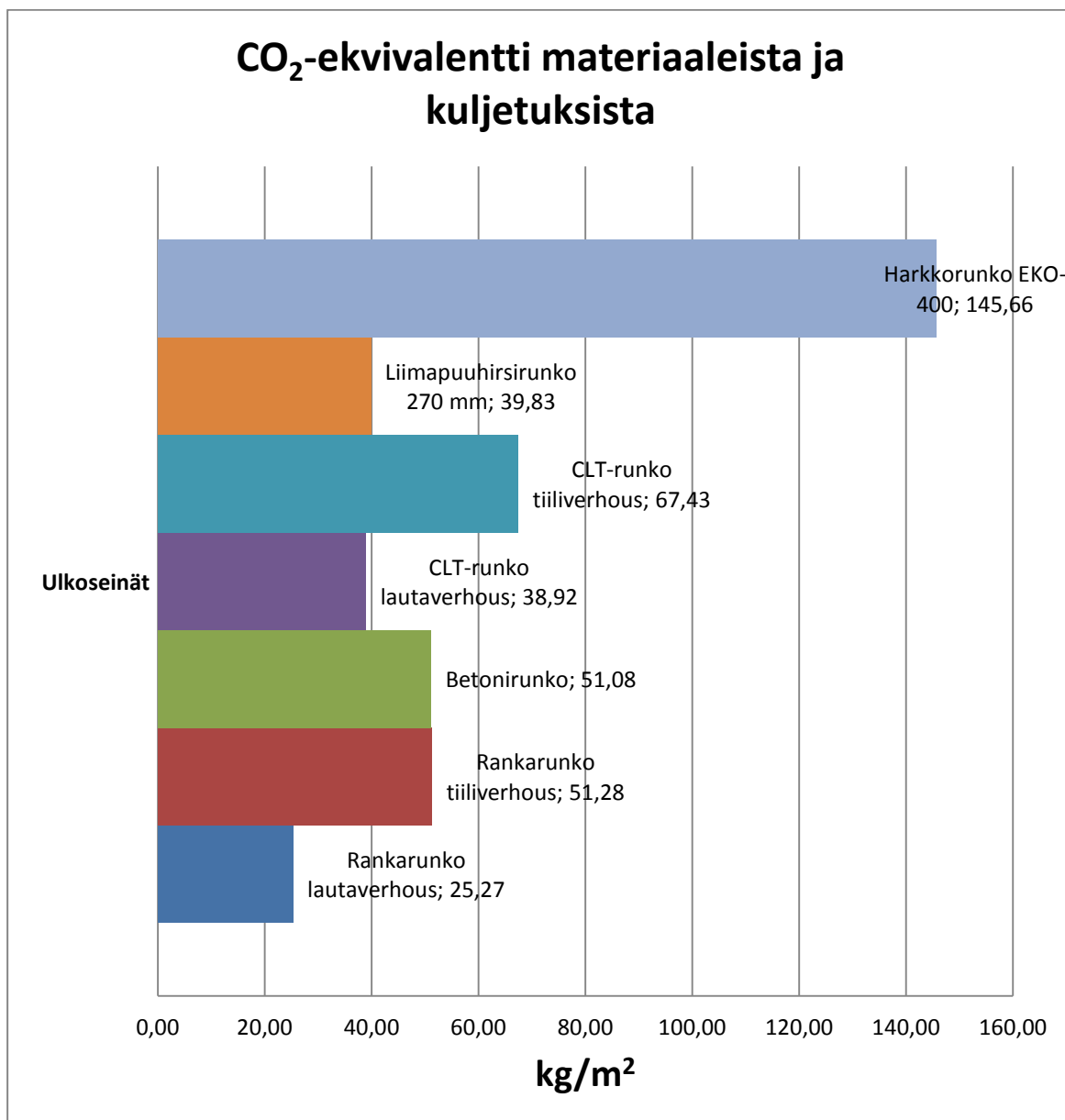
## 4.9 Energian kokonaiskäyttö ulkoseinien osalta



Kuvio 9. Ulkoseinä rakennusosien yhteenlaskettu energian kokonaiskäyttö materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 9 käy ilmi viisi erilaista runkorakenteita, jossa verrataan hirsirunkoa neljään muuhun runkorakenteeseen. Hirsirungon energian kokonaiskäyttö verrattuna lautaverhoiltuun rankarunkoon on 2 kertaa suurempi. Lauta verhoillun CLT-rungon energian kokonaiskäyttö on 15 prosenttia pienempi kuin hirsirungolla. Betonirungon energian kokonaiskäyttö on 3 kertaa pienempi kuin hirsirungolla. Lämpöharkkorungon energian kokonaiskäyttö on 60 prosenttia suurempi verrattuna hirsirungolla. Lautaverhoillun CLT-rungon energian kokonaiskäyttö on 35 prosenttia pienempi kuin tiiliverhoillulla CLT-rungolla.

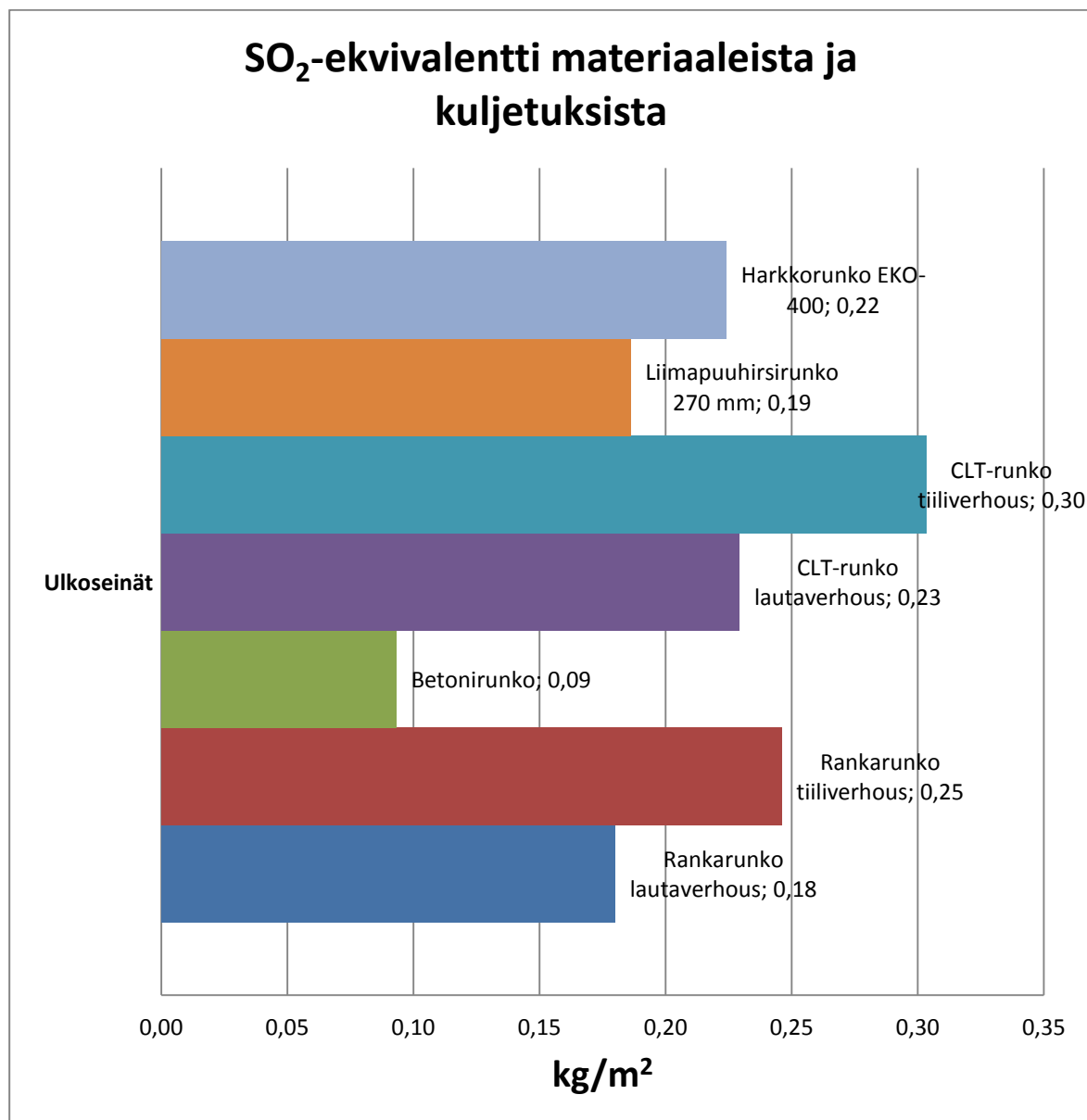
## 4.10 Ulkoseinistä aiheutuva ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 10. Ulkoseinä rakennusosien yhteenlaskettu CO<sub>2</sub>-ekvivalentti materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 10 käy ilmi, että hirsirungon vaikutus ilmaston lämpenemiseen on 37 prosenttia suurempi kuin lautaverhoillulla rankarungolla. Lautaverhoillun CLT-rungon vaikutus ilmaston lämpenemiseen on 2 prosenttia pienempi kuin hirsirungolla. Betonirungon vaikutus ilmaston lämpenemiseen on 22 prosenttia suurempi kuin hirsirungolla. Lämpöharkkorungon vaikutus ilmaston lämpenemiseen on 3,7 kertaa suurempi kuin hirsirungolla. Lautaverhoillun CLT-rungon vaikutus ilmaston lämpenemiseen on 42 prosenttia pienempi kuin tiiliverhoillun CLT-rungolla.

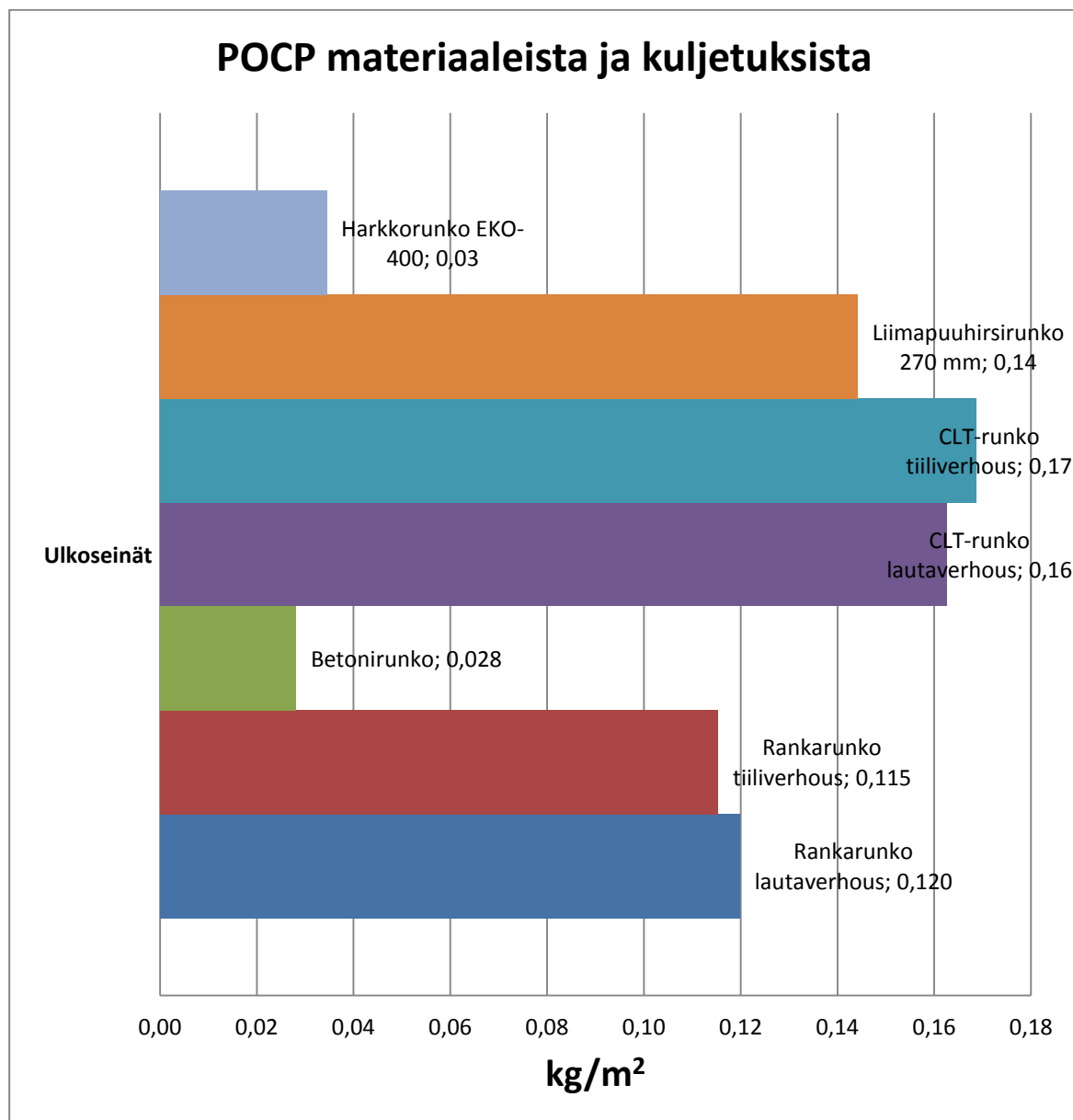
## 4.11 Ulkoseinistä aiheutuva happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 11. Ulkoseinä rakennusosien yhteenlaskettu SO<sub>2</sub>-ekvivalentti materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 11 käy ilmi, että hirsirungon vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on 5,3 prosenttia suurempi kuin lautaverhoillulla rankarungolla. Lautaverhoillun CLT-rungon vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on 17 prosenttia suurempi kuin hirsirungolla. Betonirungon vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on 52,6 prosenttia pienempi kuin hirsirungolla. Lämpöharkkorungon vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on 13,6 prosenttia pienempi kuin hirsirungolla. Lautaverhoillun CLT-rungon rakennusosan neliön vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on 23 prosenttia pienempi kuin tiiliverhoillun CLT-rungolla.

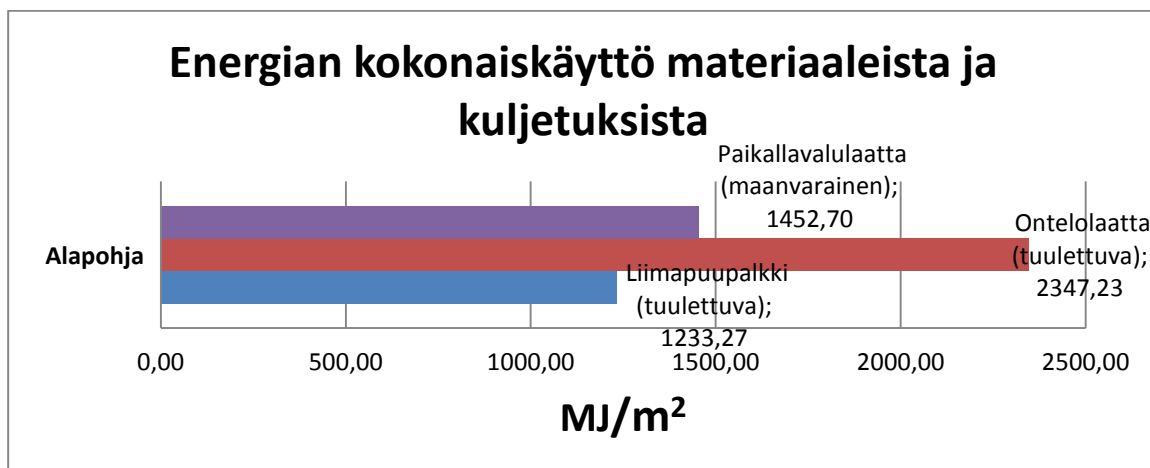
## 4.12 Ulkoseinistä aiheutuva alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 12. Ulkoseinä rakennusosien yhteenlaskettu POCP materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 12 käy ilmi, että hirsirungon vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen on 17 prosenttia suurempi kuin lautaverhoillulla rankarungolla. Lautaverhoillun CLT-rungon rakennusosan neiliön vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen on 10 prosenttia suurempi kuin hirsirungolla. Betonirungon vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen on 5,1 kertaa pienempi kuin hirsirungolla. Lämpöharkkorungolla on 4,8 kertaa pienempi vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen, kuin hirsirungolla. Lautaverhoillun CLT-rungon vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen on 5,9 prosenttia pienempi kuin tiiliverhoillun CLT-rungon.

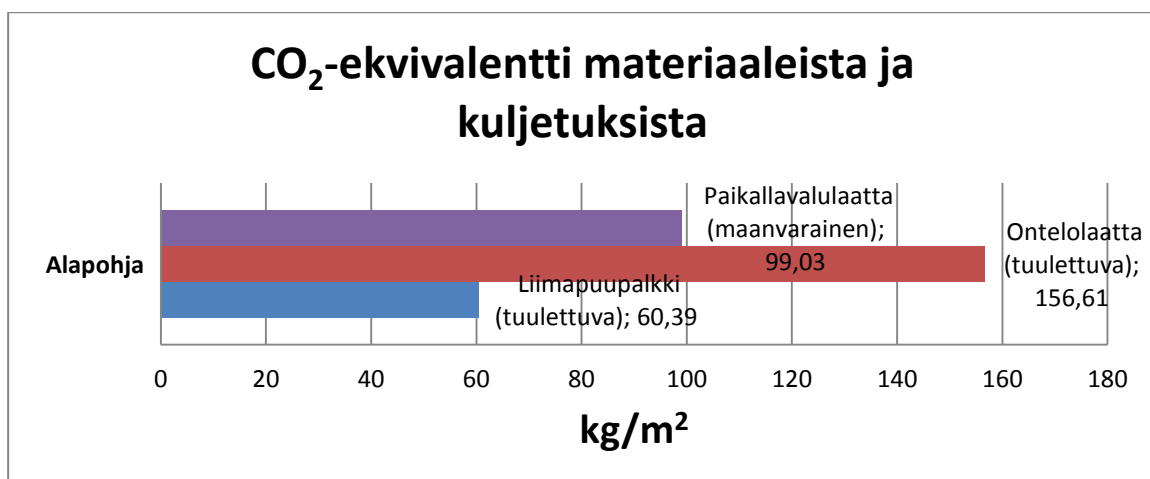
## 4.13 Energian kokonaiskäyttö alapohjan osalta



Kuvio 13. Alapohja rakennusosien yhteenlaskettu energian kokonaiskäyttö materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 13 käy ilmi, että tarkasteltavana on kolme erilaista alapohjaa, jotka ovat ontelolaatta-, paikallavalulaatta- ja liimapuupalkki alapohja. Ontelolaatta alapohjan energian kokonaiskäyttö on 38 prosenttia suurempi, kuin paikallavalulaatta alapohjalla. Ontelolaatta alapohjan energian kokonaiskäyttö on 47,5 prosenttia suurempi kuin liimapuupalkki alapohjalla. Paikallavalulaatta alapohjaan verrattuna liimapuupalkki alapohjan energian kokonaiskäyttö on 15 prosenttia pienempi.

## 4.14 Alapohjasta aiheutuva ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä

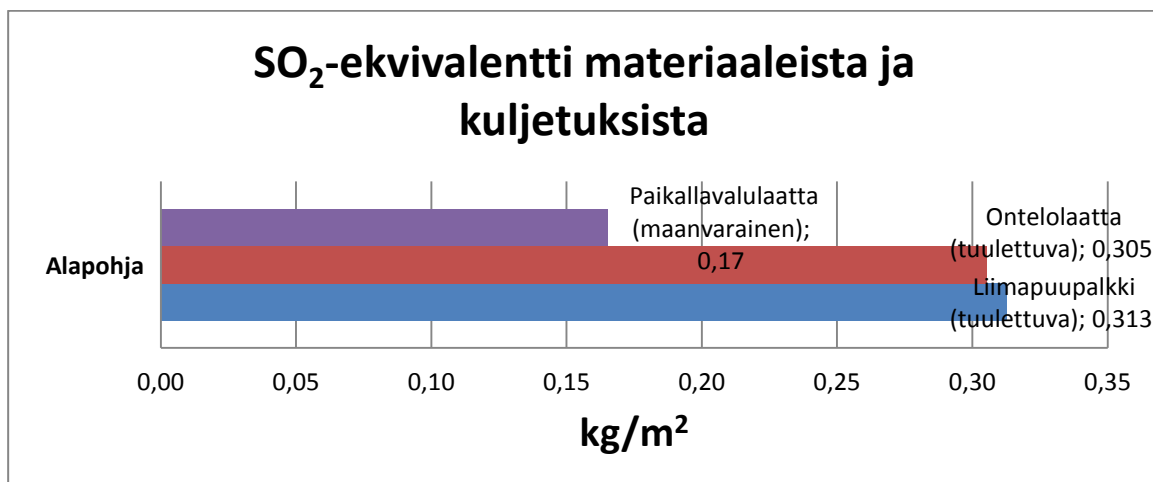


Kuvio 14. Alapohja rakennusosien yhteenlaskettu CO<sub>2</sub>-ekvivalentti materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 14 käy ilmi, että ontelolaatta alapohjan vaikutus ilmaston lämpenemiseen on 36,8 prosenttia suurempi kuin paikallavalulaatta alapohjalla. Liimapuupalkki alapohjassa vaikutus ilmaston lämpenemiseen on lähes 61 prosenttia pienempi, kuin ontelolaatta alapohjan rakennusosan neliöllä. Paikallavalulaatta alapohjaan verrattuna liimapuupalkki alapohjan vaikutus ilmaston lämpenemiseen on 39 prosenttia pienempi.



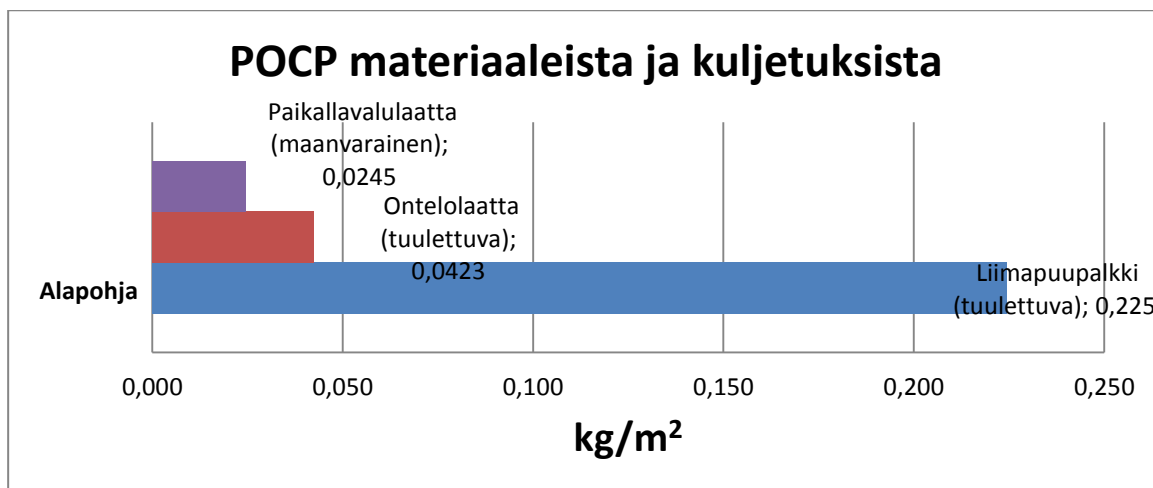
## 4.15 Alapohjasta aiheutuva happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 15. Alapohja rakennusosien yhteenlaskettu SO<sub>2</sub>-ekvivalentti materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 15 käy ilmi, että ontelolaatta alapohjan vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on 44,3 prosenttia suurempi, kuin paikallavalulaatta alapohjalla. Liimapuupalkki alapohjan vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on 2,6 prosenttia suurempi, kuin ontelolaatta alapohjalla. Paikallavalulaatta alapohjan vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on 45,7 prosenttia suurempi, verrattuna liimapuupalkki alapohjalla.

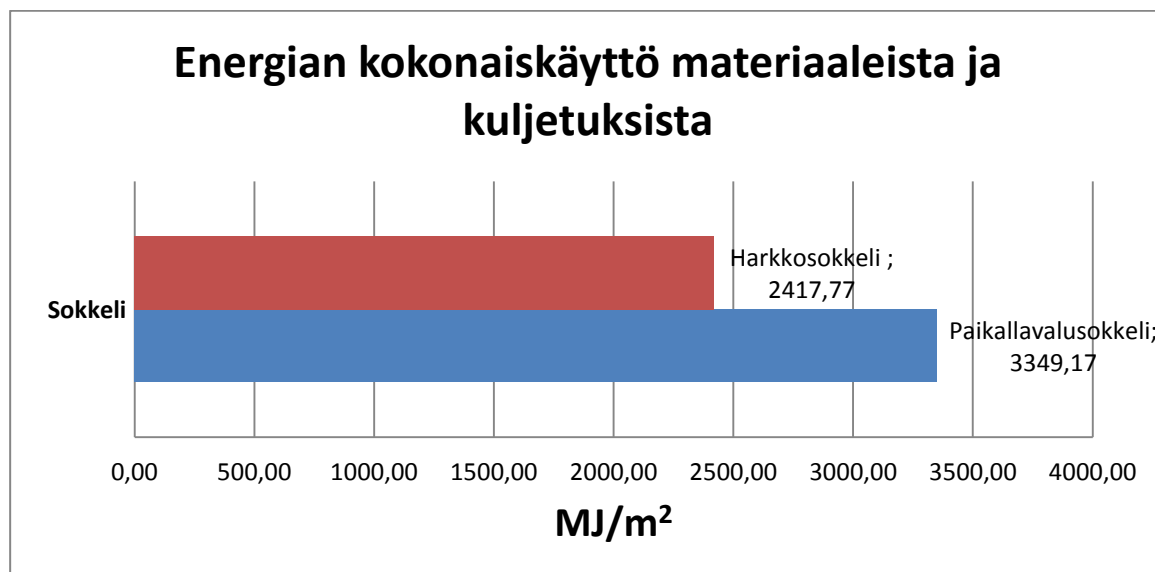
## 4.16 Alapohjasta aiheutuva alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 16. Alapohja rakennusosien yhteenlaskettu POCP materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 16 käy ilmi, että paikallavalulaatta alapohjan vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen on 42,1 prosenttia pienempi kuin ontelolaatta alapohjalla. Liimapuupalkki alapohjan vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen on 81,2 prosenttia suurempi, kuin ontelolaatta alapohjalla. Tuloksia tarkasteltaessa huomamme, että liimapuupalkki alapohjan rakennusosan neliön alailmakehän otsonin muodostumiseen on 89,1 prosenttia suurempi, kuin paikallavalulaatta alapohjalla.

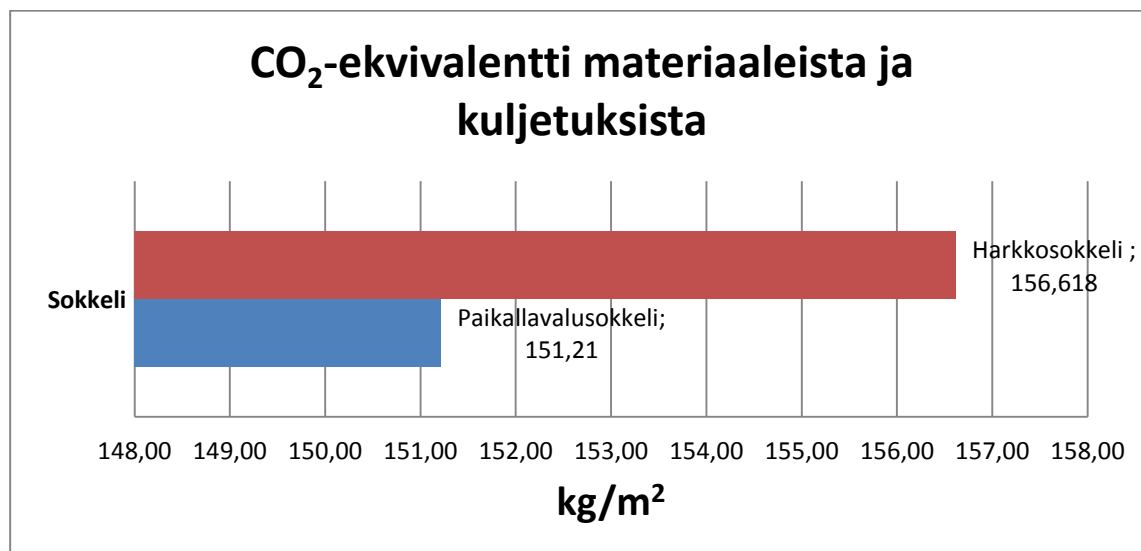
## 4.17 Energian kokonaiskäyttö sokkelin osalta



Kuvio 17. Sokkeli rakennusosien yhteenlaskettu energian kokonaiskäyttö materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 17 käy ilmi, että tarkasteltavana on kaksi erilaista sokkelirakenteita, paikallavalusokkeli ja harkkosokkeli. Paikallavalusokkelin energian kokonaiskäyttö on 27,8 prosenttia suurempi, kuin harkkosokkelilla.

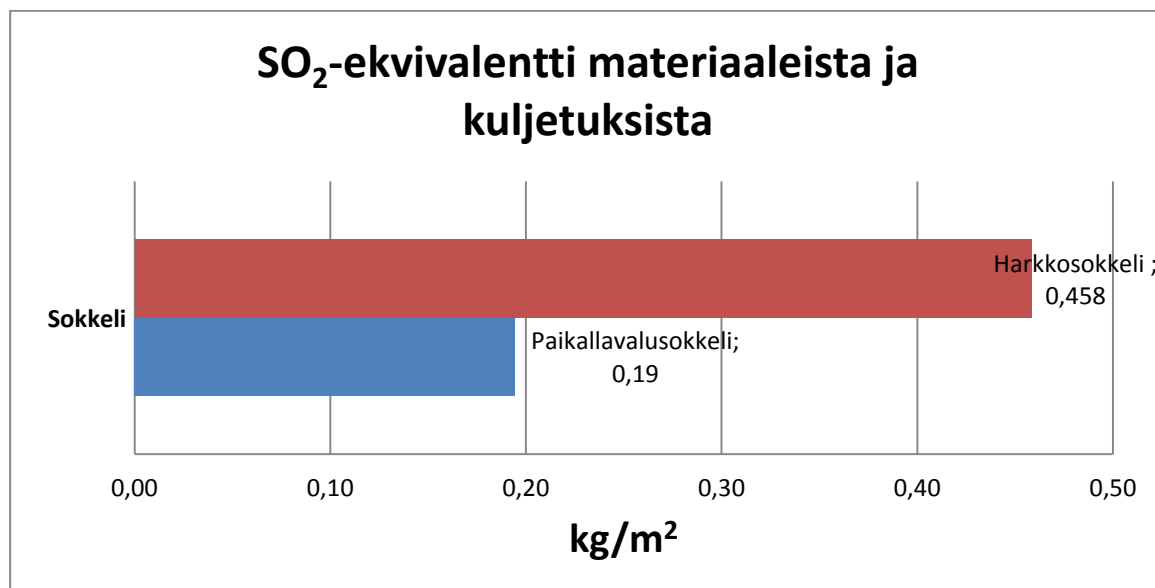
## 4.18 Sokkelista aiheutuva ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 18. Sokkeli rakennusosien yhteenlaskettu CO<sub>2</sub>-ekvivalentti materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 18 käy ilmi, että harkkosokkelin vaikutus ilmaston lämpenemiseen on 3,5 prosenttia pienempi kuin paikallavalusokkelilla.

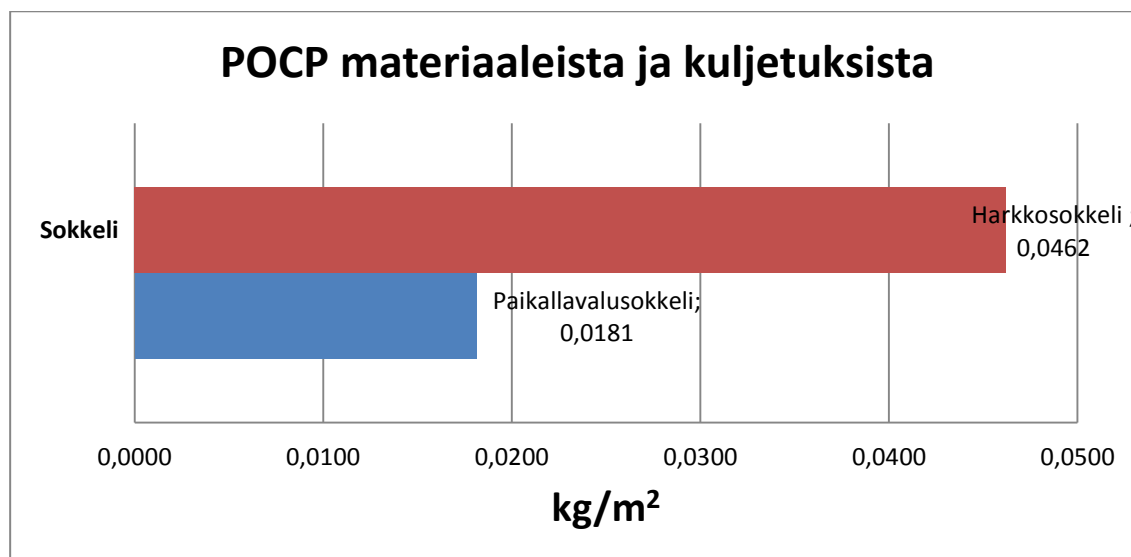
## 4.19 Sokkelista aiheutuva happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 19. Sokkeli rakennusosien yhteenlaskettu SO<sub>2</sub>-ekvivalentti materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 19 käy ilmi, että harkkosokkelin vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen on noin 2,4 kertaa suurempi kuin paikallavalusokkelilla.

## 4.20 Sokkelista aiheutuva alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä



Kuvio 20. Sokkeli rakennusosien yhteenlaskettu POCP materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta työmaalle.

Kuviossa 20 käy ilmi, että harkkosokkelin vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen on yli 2,6 kertaa suurempi kuin paikallavalusokkelilla.

## 5 RAKENNUSOSIEN KULJETUSKUSTANNUS NELIÖTÄ KOHTI

Taulukon 5 rakennusosan kuljetuskustannuksen laskennan kulku on seuraavanlainen rakennusosan painoa ja tilavuutta verrataan kuorma-auton tilavuuteen ja kantavuuteen, joka jälkeen tiedetään kuinka monta kertaa kuorma-auton ajettava jotta rakennusosa saadaan kuljetettua perille työmaalle. Tämän jälkeen kertojen lukumäärä kerrotaan kuljetuskustannuksella ja jaetaan rakennusosan pinta-alalla, niin saadaan kustannus neliötä kohti joka jälkeen. Koska laskentatapa on (€/km), niin kuljetusmatka ei vaikuta hintaan, koska kuljetusliikkeen hinnastosta saatu euro määrä jaetaan kuorma-auton tilavuudella/kantavuudella, ja saatu osamäärä kerrotaan ajokertojen määrällä sekä rakennusosan tilavuus pinta-alalla, saatu tulo on yhden rakennusosan neliön kuljetuskustannus. Näin saatu tulos on (€/m<sup>2</sup>)

Taulukko 5. rakennusosan kuljetuskustannus.

Rakennusosan kuljetuksesta johtuvat kustannus/km	kuljetuskustannus/m <sup>2</sup>	
<b>Katot</b>		
Bitumihuopakate	0,023	€/m <sup>2</sup>
Konesaumattupeltikate	0,017	€/m <sup>2</sup>
<b>Yläpohjat</b>		
Liimapuupalkki yläpohja	1,04	€/m <sup>2</sup>
Ontelolaatta yläpohja	0,96	€/m <sup>2</sup>
CLT-yläpohja	1,23	€/m <sup>2</sup>
<b>Vaippa</b>		
Rankarunko lautaverhous	0,73	€/m <sup>2</sup>
Rankarunko tiiliverhous	1,26	€/m <sup>2</sup>
Betonirunko	1,12	€/m <sup>2</sup>
CLT-runko lautaverhous	0,80	€/m <sup>2</sup>
CLT-runko tiiliverhous	1,39	€/m <sup>2</sup>
Liimapuuhirsirunko	0,26	€/m <sup>2</sup>
Lämpöharkkorunko	2,20	€/m <sup>2</sup>
<b>Alapohja</b>		
Tuulettuva liimapuupalkki	1,14	€/m <sup>2</sup>
Tuulettuva ontelolaatta-alapohja	1,01	€/m <sup>2</sup>
Maanvarainen paikallavalu alapohja	0,48	€/m <sup>2</sup>
<b>Sokkeli</b>		
Paikallavalu sokkelin	0,52	€/m <sup>2</sup>
Lämpöharkko sokkelin	1,24	€/m <sup>2</sup>

Taulukossa 5 lueteltiin kaikki kuljetuskustannuksien laskennassa olleet rakennusosat ja niiden eri vaihtoehdot vaipan, yläpohjan, alapohjan, katon ja sokkelin suhteen. Kaikissa ratkaisuisissa on betoni sokkeli, paitsi lämpöharkkorunko rakenneratkaisussa, jossa sokkeli on tehty kevytsoraharkosta ja lämpöharkosta.

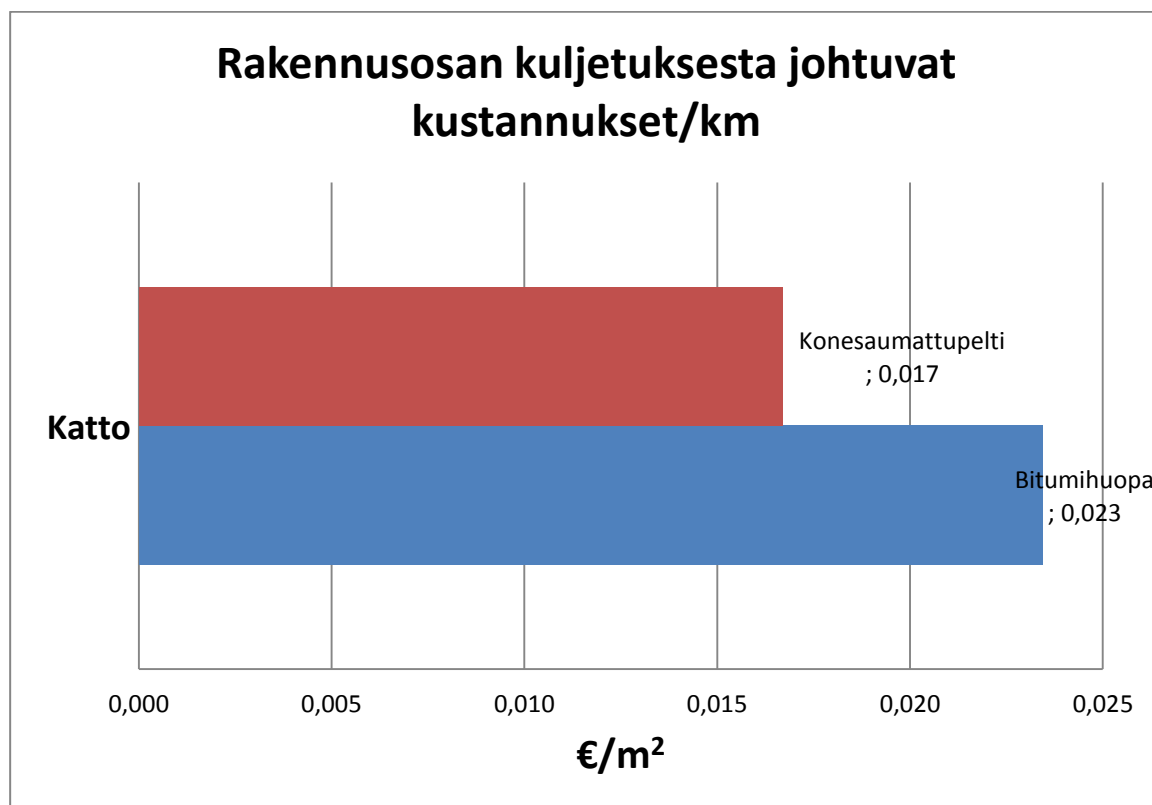
Taulukossa 6 rakennusosan kuljetuskustannukset on laskettu käyttäen kuorma-autoa jonka tilavuus on 47 m<sup>3</sup> ja kantavuus noin 25 tonnia. Rakennusosat on taulukoitu Excel taulukoissa tilavuuden ja painon mukaan. Taulukossa 5 on hinnat laskennassa käytetyille kuorma-autolle.

Taulukko 6. kuljetushinnasto (Kurkoline Ky.)

Kurkoline Ky:n Kuljetushinnat				
Kuljetus	Kuorma-auto MB 38m <sup>3</sup> , perälaitanostin		Kuorma-auto 47m <sup>3</sup> , perälaitanostin	
	[€]	[€/km]	[€]	[€/km]
alv 0 %	37,82	0,78	42,90	0,94
sis. alv 22 %	46,14	0,96	52,34	1,15

Taulukossa 6 esiteltiin kuljetushintojen laskennassa käytetyt ajoneuvot.

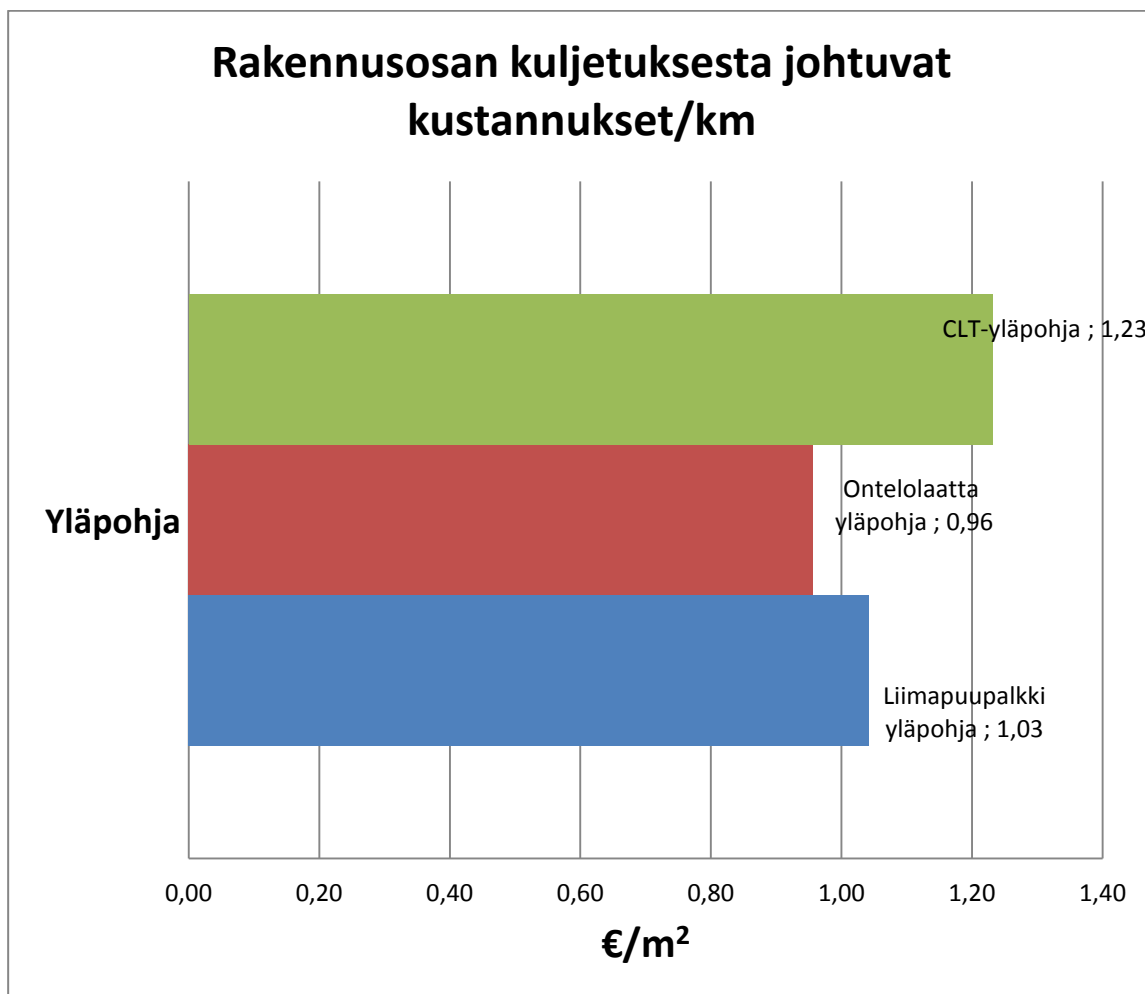
### 5.1 Rakennusosan kuljetuskustannukset katon osalta



Kuvio 21. Konesaumattupeltikaton ja bitumihuopakaton kuljetuskustannukset neliötä kohti.

Kuviossa 21 käy ilmi, että esitettyjen rakennusosien kuljetuksesta johtuvien kustannuksien osalta huomaamme, että konesaumattun peltikaton rakennusosan kuljetuskustannukset neliötä kohti on 26,1 prosenttia pienempi, kuin bitumihuopakaton.

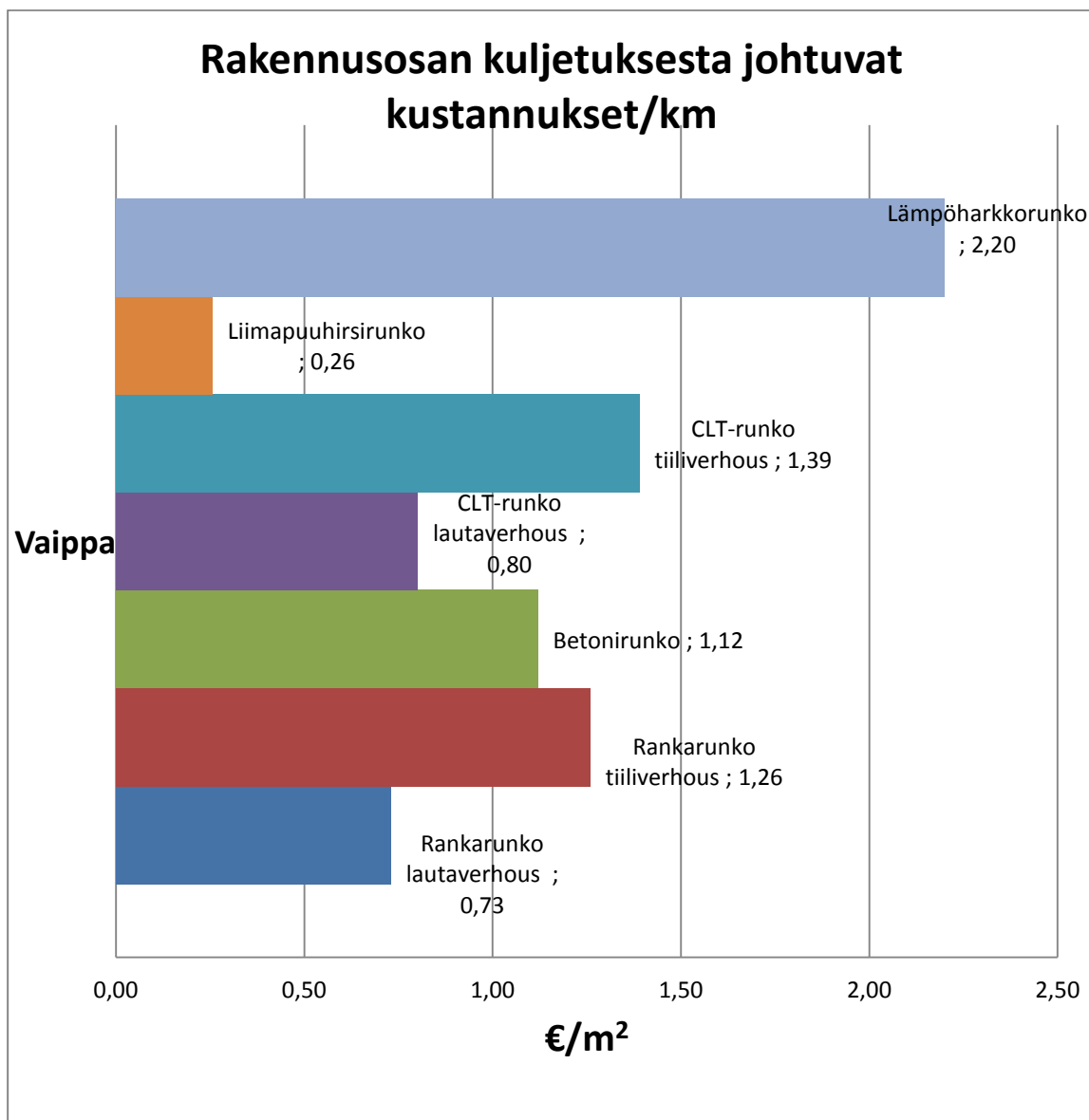
## 5.2 Rakennusosan kuljetuskustannukset yläpohjan osalta



Kuvio 22. Liimapuupalkin, ontelolaatan ja CLT-yläpohjan kuljetuskustannukset neliötä kohti.

Kuviossa 22 käy ilmi, että yläpohja rakennusosia on kolme erilaista, joista ensimmäisenä tarkastelemme liimapuupalkki yläpohja rakennusosan neliötä ja CLT-yläpohjan rakennusosan neliötä. CLT-yläpohjan kuljetuksesta johtuvat kustannukset verrattuna liimapuupalkki yläpohjan kuljetuskustannuksiin on 16 prosenttia pienempi. Myös ontelolaatta yläpohjan rakennusosan kuljetuskustannukseen verrattuna CLT-yläpohjan rakennusosan kuljetuskustannukset on 22 prosenttia pienempi. Ontelolaatta yläpohjan rakennusosan kuljetuskustannukset on 6,8 prosenttia pienempi, kuin liimapuupalkki yläpohjalla.

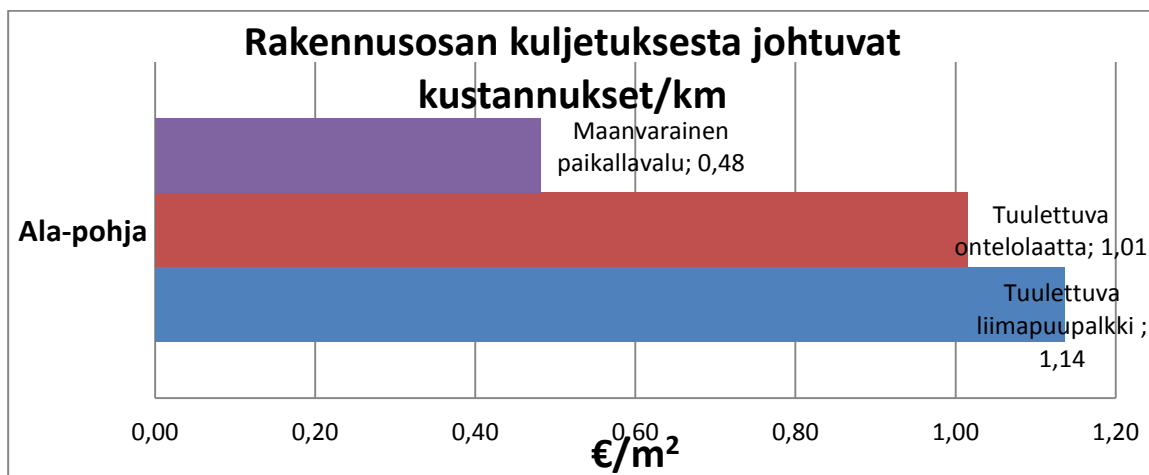
## 5.3 Rakennusosan kuljetuskustannukset vaipan osalta



Kuvio 23. Lämpöharkko-, liimapuuhiirsi-, CLT-, betoni-, rankarungon kuljetuskustannukset neliötä kohti.

Kuviossa 23 käy ilmi, että on viisi erilaisia runkorakenteita, jossa verrataan hirsirungon rakennusosan kuljetuskustannuksia neliötä kohti neljän muun runkorakenteen rakennusosan kuljetuskustannusten neliöön. Aluksi verrataan hirsirungon kuljetuskustannuksia lautaverhoillun rankarungon kuljetuskustannuksiin, joka on 64,4 prosenttia pienempi. Lautaverhoillun CLT-rungon kuljetuskustannukset ovat 67,5 prosenttia suurempi, kuin hirsirungolla. Betonirungon kuljetuskustannukset ovat 76,8 prosenttia suurempia, kuin hirsirungon kuljetuskustannukset neliötä kohti. Lämpöharkkorungon kuljetuskustannukset ovat 88 prosenttia suurempia, verrattuna hirsirungon kuljetuskustannuksiin. Tiiliverhoillun CLT-rungon kuljetuskustannukset ovat 42,4 prosenttia suurempia kuin lautaverhoillun CLT-rungon kuljetuskustannukset neliötä kohti. Lautaverhoillun rankarungon kuljetuskustannukset ovat 42,1 prosenttia pienempiä verrattuna tiiliverhoillun rankarungon kuljetuskustannuksiin.

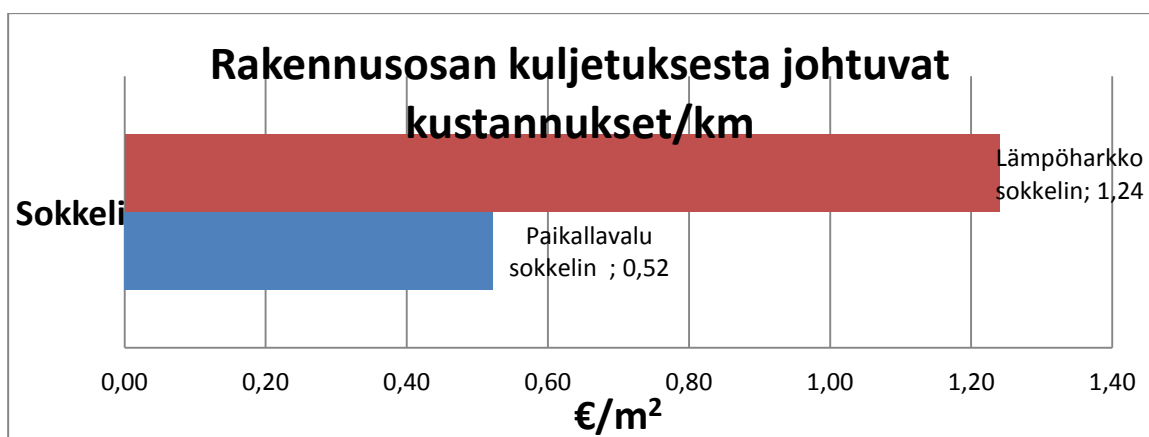
## 5.4 Rakennusosan kuljetuskustannukset alapohjan osalta



Kuvio 24. Tuulettuvat liimapuupalkki, ontelolaatta-alapohjien ja maanvaraiset paikallavalulaatta, ontelolaatta-alapohjien kuljetuskustannukset neliötä kohti.

Kuviossa 24 käy ilmi, että on kolme erilaista alapohjaa, jotka ovat ontelolaatta-, paikallavalulaatta- ja liimapuupalkki alapohja. Aluksi vertailemme ontelolaatta alapohjaa ja paikallavalulaatta alapohjaa keskenään ja seuraavaksi vertaamme liimapuupalkki alapohjaa ontelolaatta alapohjaan ja lopuksi vertaamme paikallavalulaattaa liimapuupalkki alapohjaan. Ontelolaatta alapohjan rakennusosan kuljetuskustannukset on 52 prosenttia suuremmat kuin paikallavalulaatta alapohjan kuljetuskustannukset. Mutta liimapuupalkki alapohjan kuljetuskustannukset on noin 11,4 prosenttia suurempia, kuin ontelolaatta alapohjan kuljetuskustannukset. Paikallavalulaatta alapohjan kuljetuskustannukset on noin 58 prosenttia pienemmät verrattuna liimapuupalkki alapohjan kuljetuskustannuksiin.

## 5.5 Rakennusosan kuljetuskustannukset sokkelin osalta



Kuvio 25. Paikallavalu- ja lämpöharkkosokkelin kuljetuskustannukset neliötä kohti.

Kuviossa 25 käy ilmi, että tarkasteltavana on kaksi erilaista sokkelirakenteita, paikallavalusokkeli ja harkkosokkeli. Paikallavalusokkelin kuljetuskustannukset ovat 58,1 prosenttia suurempia, kuin verrattuna harkkosokkelin kuljetuskustannuksiin.



## 6 RAKENNUSOSAN HINTA NELIÖTÄ KOHTI

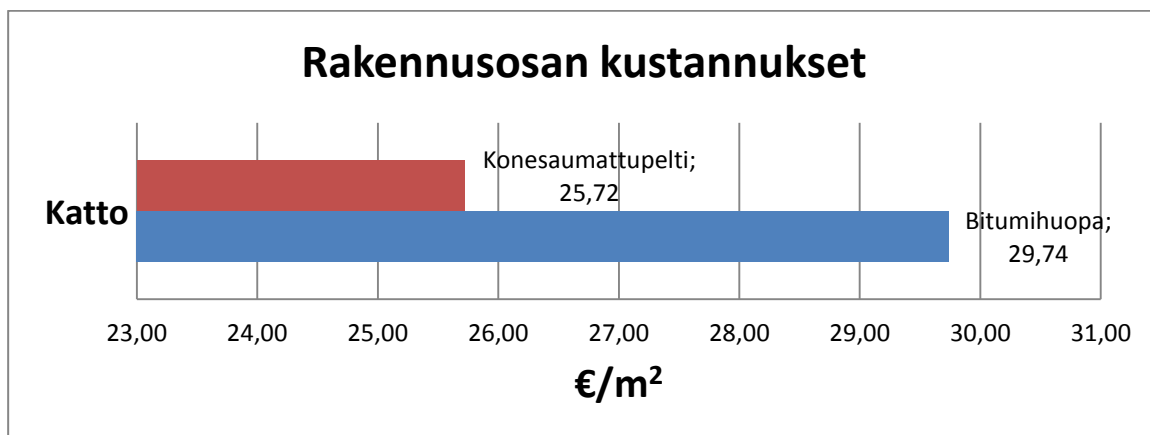
Rakennusosien neliöhinnat on saatu ROK Rakennusosien kustannuksia 2013 kirjasta, netistä kauppi-  
aiden sivuilta, valmistajilta lähettämällä sähköposti kyselyjä ja opinnäytetyön ohjaajalta. Näistä ma-  
teriaalihinnoista on laskettu koko rakennusosaan menevä materiaalin määrä, ja jaettu summa ra-  
kennusosan pinta-alalla. Tällä tavalla laskettiin rakennusosan materiaali kustannukset neliötä kohti.

Taulukko 7. Rakennusosan kustannukset euroina.

Rakennusosa		Rakennusosan hinta/m <sup>2</sup>	
<b>Katot</b>			
Bitumihuopakate		29,74	€/m <sup>2</sup>
Konesaumattupeltikate		25,72	€/m <sup>2</sup>
<b>Yläpohjat</b>			
Liimapuupalkki yläpohja		114,90	€/m <sup>2</sup>
Ontelolaatta yläpohja		123,14	€/m <sup>2</sup>
CLT-yläpohja		187,90	€/m <sup>2</sup>
<b>Vaippa</b>			
Rankarunko lautaverhous		97,94	€/m <sup>2</sup>
Rankarunko tiiliverhous		123,16	€/m <sup>2</sup>
Betonirunko		160,00	€/m <sup>2</sup>
CLT-runko lautaverhous		129,83	€/m <sup>2</sup>
CLT-runko tiiliverhous		155,05	€/m <sup>2</sup>
Liimapuuhirsirunko		230,87	€/m <sup>2</sup>
Lämpöharkkorunko		128,09	€/m <sup>2</sup>
<b>Alapohja</b>			
Tuulettuva liimapuupalkki		296,10	€/m <sup>2</sup>
Tuulettuva ontelolaatta- alapohja		147,53	€/m <sup>2</sup>
Maanvarainen paikallavalu alapohja		95,34	€/m <sup>2</sup>
<b>Sokkeli</b>			
Paikallavalu sokkelin		83,68	€/m <sup>2</sup>
Lämpöharkko sokkelin		94,45	€/m <sup>2</sup>

Taulukossa 7 lueteltiin kaikki materiaalien kustannus laskennassa olleet rakennusosat ja niiden eri vaihtoehdot vaipan, yläpohjan, alapohjan, katon ja sokkelin suhteen.

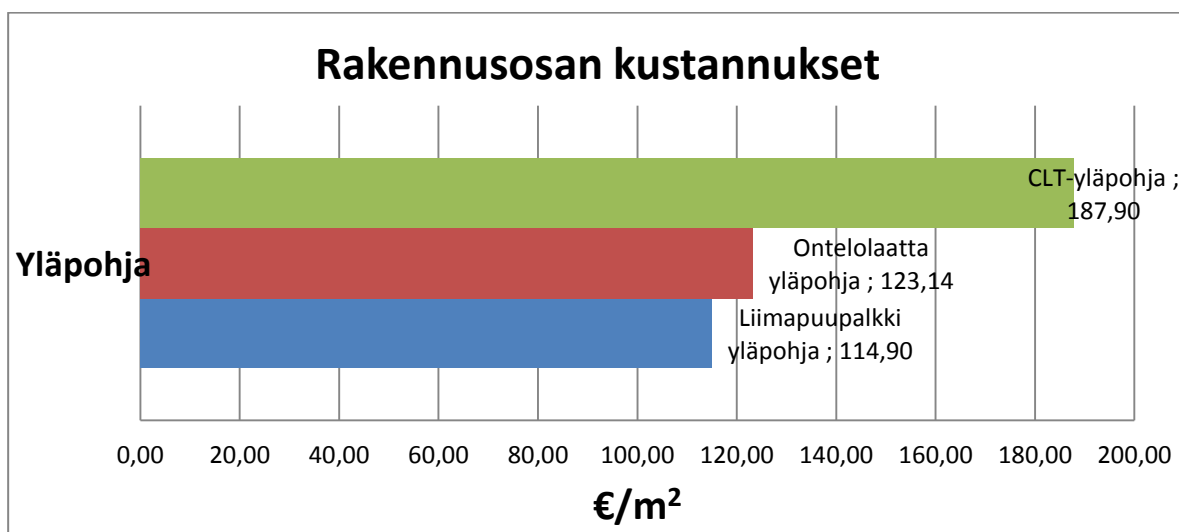
## 6.1 Rakennusosan materiaali kustannukset katon osalta



Kuvio 26. Konesaumattupeltikaton ja bitumihuopakaton materiaalien yhteen laskettu hinta neliötä kohti.

Kuviossa 26 käy ilmi, että rakennusosien materiaaleista johtuvien kustannuksien osalta huomaamme, että bitumihuopakaton rakennusosan materiaalien hinnat neliötä on 14 prosenttia suurempia kuin konesaumatulla peltikatolla.

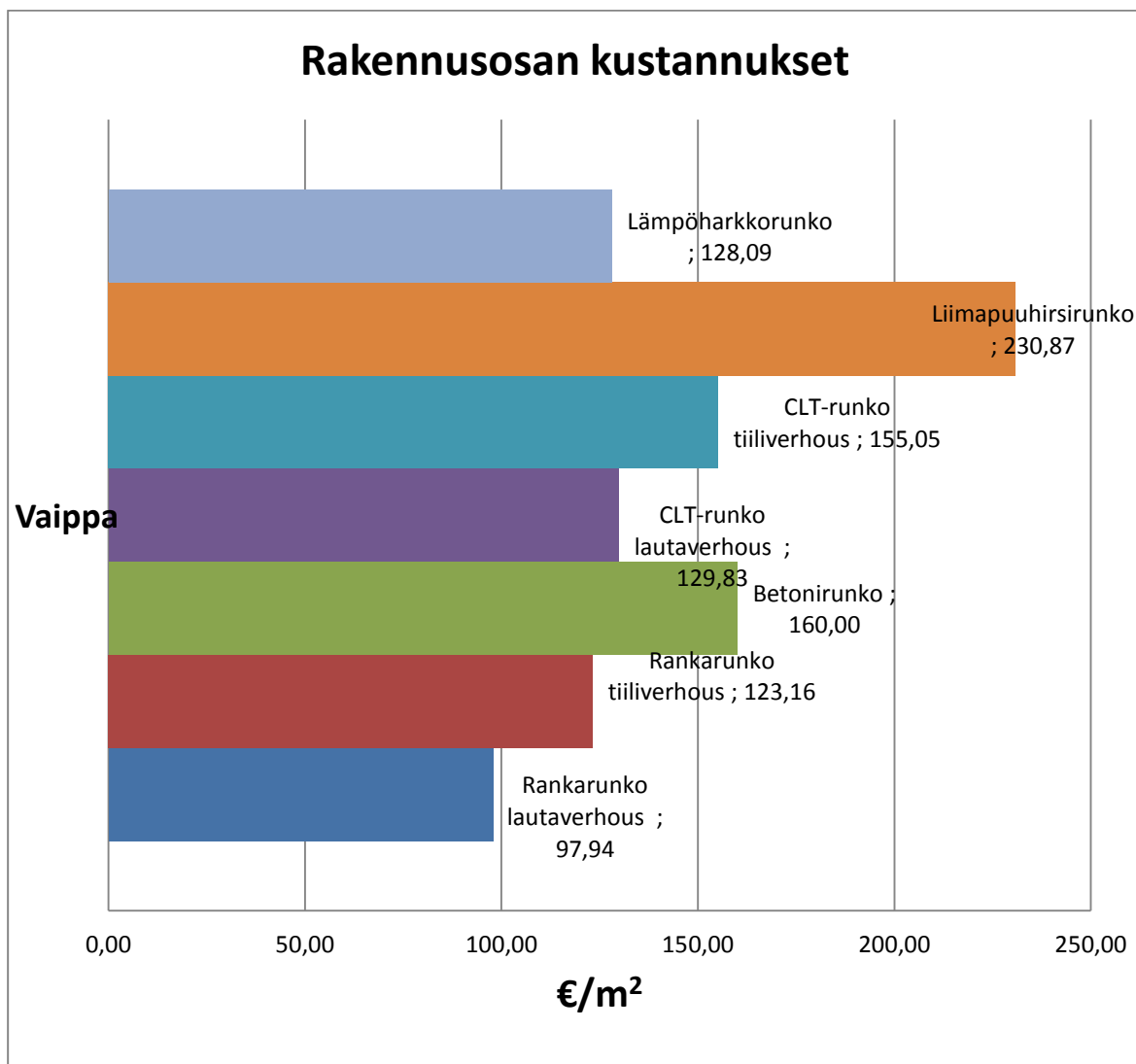
## 6.2 Rakennusosan materiaali kustannukset yläpohjan osalta



Kuvio 27. Liimapuupalkin, ontelolaatan ja CLT-yläpohjan materiaalien yhteen laskettu hinta neliötä kohti.

Kuviossa 27 käy ilmi, että yläpohja rakennusosia on kolme erilaista, joista ensimmäisenä tarkastelemme liimapuupalkki yläpohja rakennusosan neliötä ja CLT-yläpohjan rakennusosan neliötä. CLT-yläpohjan materiaalien hinta on 39 prosenttia suurempi verrattuna liimapuupalkki yläpohjan materiaalien hintaan. Myös ontelolaatta yläpohjan materiaalien hintaan verrattuna CLT-yläpohjan rakennusosan neliön materiaalien hinta on 34 prosenttia suurempi. Liimapuupalkki yläpohjan rakennusosan materiaalien hinta on 6,7 prosenttia suurempi kuin ontelolaatta yläpohjalla.

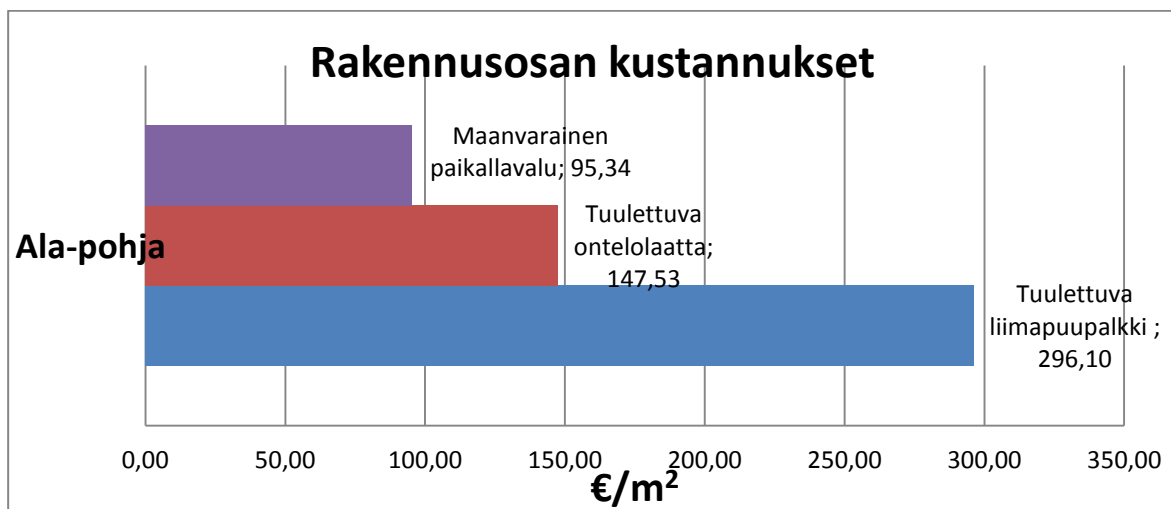
## 6.3 Rakennusosan materiaali kustannukset vaipan osalta



Kuvio 28. Lämpöharkko-, liimapuuhirsi-, CLT-, betoni-, rankarungon materiaalien yhteen laskettu hinta neliötä kohti.

Kuviossa 28 käy ilmi, että on viisi erilaisia runkorakenteita, jossa verrataan hirsirungon rakennusosan materiaalien hintoja neliötä kohti neljän muun runkorakenteen rakennusosan materiaalien hintojen neliöön. Kun verrataan hirsirungon materiaalien hintoja, rankarungon materiaalien hintoihin, huomataan että ne ovat 57,6 prosenttia suurempia. Hirsirungon materiaalien hinnat ovat 43,8 prosenttia suurempia kuin CLT-rungon materiaalien hinnat. Betonirungon materiaalien hinnat ovat 30,7 prosenttia pienempiä, kuin hirsirungon materiaalien hinnat neliötä kohti. Lämpöharkkorungon materiaalien hinnat ovat 45 prosenttia pienempiä, verrattuna hirsirungon materiaalien hintoihin. Tiiliverhoillun CLT-rungon materiaalien hinnat ovat 16,3 prosenttia suurempia kuin lautaverhoillun CLT-rungon materiaalien hinnat. Tiiliverhoillun rankarungon materiaalien hinnat neliötä kohti on 20 prosenttia suurempia, verrattuna lautaverhoillun rankarungon materiaalien hintoihin.

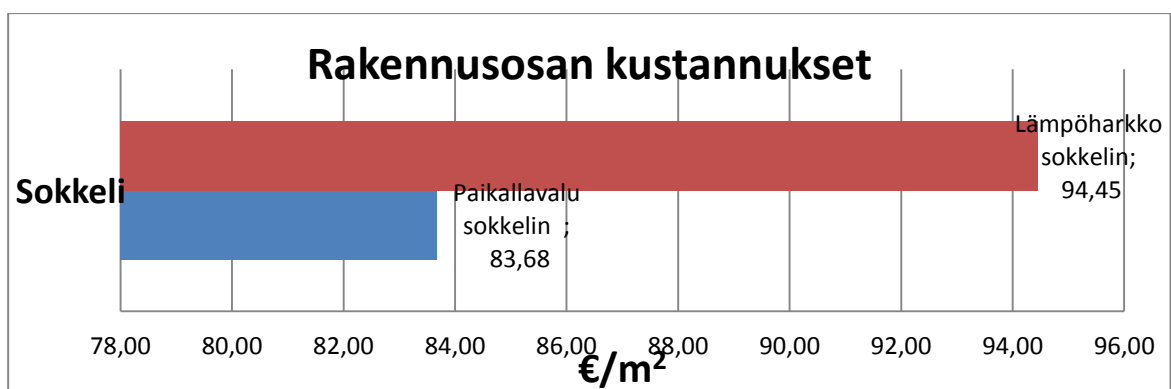
## 6.4 Rakennusosan materiaali kustannukset alapohjan osalta



Kuvio 29. Tuulettuvat liimapuupalkki, ontelolaatta-alapohjien ja maanvaraiset paikallavalulaatta, ontelolaatta-alapohjien materiaalien yhteen laskettu hinta neliötä kohti.

Kuviossa 29 käy ilmi, että on kolme erilaista alapohjaa, jotka ovat ontelolaatta-, paikallavalulaatta- ja liimapuupalkki alapohja. Aluksi vertailemme ontelolaatta alapohjaa ja paikallavalulaatta alapohjaa keskenään ja seuraavaksi vertaamme liimapuupalkki alapohjaa ontelolaatta alapohjaan ja lopuksi vertaamme paikallavalulaattaa liimapuupalkki alapohjaan. Ontelolaatta alapohjan materiaalien hinnat on 35 prosenttia suurempia, kuin paikallavalulaatta alapohjan materiaalien hinnat. Mutta liimapuupalkki alapohjan materiaalien hinnat on 50,2 prosenttia suurempia kuin ontelolaatta alapohjan materiaalien hinnat. Paikallavalulaatta alapohjan materiaalien hinnat on 68 prosenttia pienempiä verrattuna liimapuupalkki alapohjan materiaalien hintoihin.

## 6.5 Rakennusosan materiaali kustannukset sokkelin osalta



Kuvio 30. Paikallavalu- ja lämpöharkkosokkelin materiaalien yhteen laskettu hinta neliötä kohti.

Kuviossa 30 käy ilmi, että tarkasteltavana on kaksi erilaista sokkelirakenteita, paikallavalusokkeli ja harkkosokkeli. Harkkosokkelin materiaalien hinnat rakennusosan neliötä kohti on 11,4 prosenttia suurempia, kuin verrattuna paikallavalusokkelin hintaan.

## 7 RAKENNUSOSAN TYÖMENEKIN HINTA NELIÖTÄ KOHTI

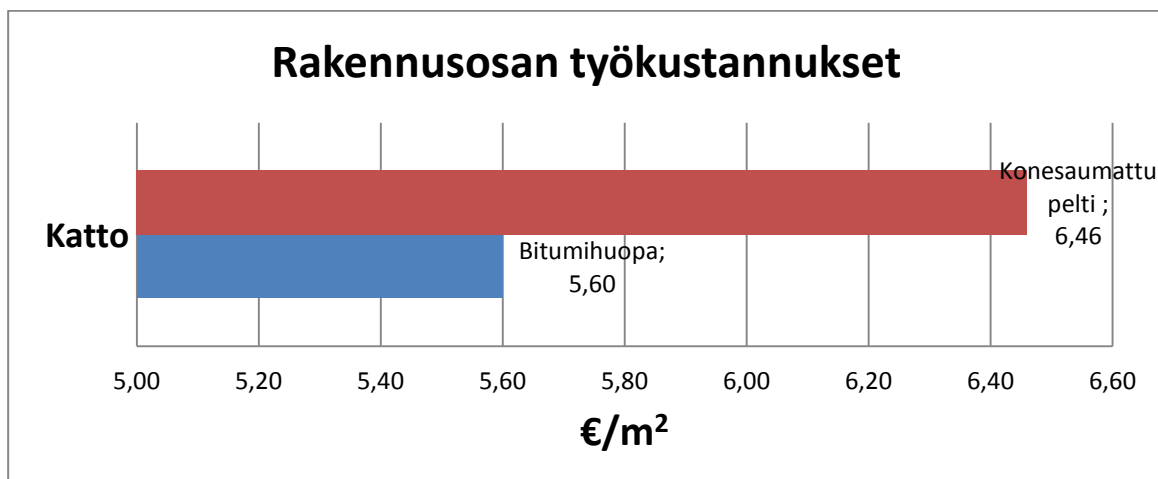
Työmenekit on laskettu RATU aikataulukirjaa ja RATU rakennustöiden menekit 2010 apuna käyttäen. Rakennusosat on purettu materiaaleihin ja rakennustyömaalla käytetty työaika kunkin materiaalin osalta laskettu yhteen, jonka jälkeen saatu tuntimäärä on jaettu rakennusosan pinta-alalla, siitä saatu osamäärä on työmenekki. Työmenekin hinta on saatu kertomalla rakennusosan työmenekki RAM ja RM lukumäärällä ja tuntipalkalla sekä jakamalla tulo tekijöiden summalla, siten saadaan työmenekin hinta.

Taulukko 8. Rakennusosan työkustannus euroina.

Rakennusosa	Työmenekin hinta/m <sup>2</sup>	
<b>Katot</b>		
Bitumihuopakate	5,60	€/m <sup>2</sup>
Konesaumattupeltikate	6,46	€/m <sup>2</sup>
<b>Yläpohjat</b>		
Liimapuupalkki yläpohja	12,43	€/m <sup>2</sup>
Ontelolaatta yläpohja	11,34	€/m <sup>2</sup>
CLT-yläpohja	14,82	€/m <sup>2</sup>
<b>Vaippa</b>		
Rankarunko lautaverhous	34,64	€/m <sup>2</sup>
Rankarunko tiiliverhous	42,51	€/m <sup>2</sup>
Betonirunko	9,34	€/m <sup>2</sup>
CLT-runko lautaverhous	36,59	€/m <sup>2</sup>
CLT-runko tiiliverhous	51,98	€/m <sup>2</sup>
Liimapuuhirsirunko	7,00	€/m <sup>2</sup>
Lämpöharkkorunko	38,01	€/m <sup>2</sup>
<b>Alapohja</b>		
Tuulettuva liimapuupalkki	22,93	€/m <sup>2</sup>
Tuulettuva ontelolaatta-alapohja	13,68	€/m <sup>2</sup>
Maanvarainen paikallavalu alapohja	12,79	€/m <sup>2</sup>
<b>Sokkeli</b>		
Paikallavalu sokkelin	14,12	€/m <sup>2</sup>
Lämpöharkko sokkelin	37,28	€/m <sup>2</sup>

Taulukossa 8 lueteltiin kaikki työn kustannus laskennassa olleet rakennusosat ja niiden eri vaihtoehdot vaipan, yläpohjan, alapohjan, katon ja sokkelin suhteen. Kaikissa ratkaisuissa on betoni sokkeli, paitsi lämpöharkkorunko rakenneratkaisussa, jossa sokkeli on tehty kevytsoraharkkosta ja lämpöharkkosta.

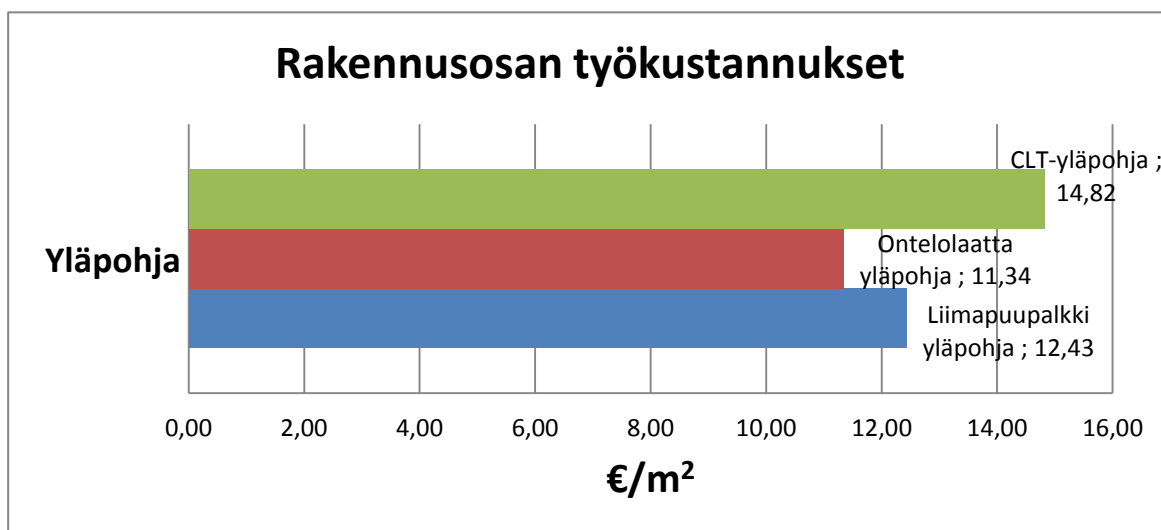
## 7.1 Rakennusosan työkustannus katon osalta



Kuvio 31. Konesaumattupeltikaton ja bitumihuopakaton työkustannukset neliötä kohti.

Kuviossa 31 käy ilmi, että rakennusosien työstä johtuvien kustannuksien osalta huomattiin, että konesaumattun peltikaton rakennusosan työkustannukset neliötä kohti on 13,3 prosenttia suurempia, kuin bitumihuopakaton rakennusosan neliöllä.

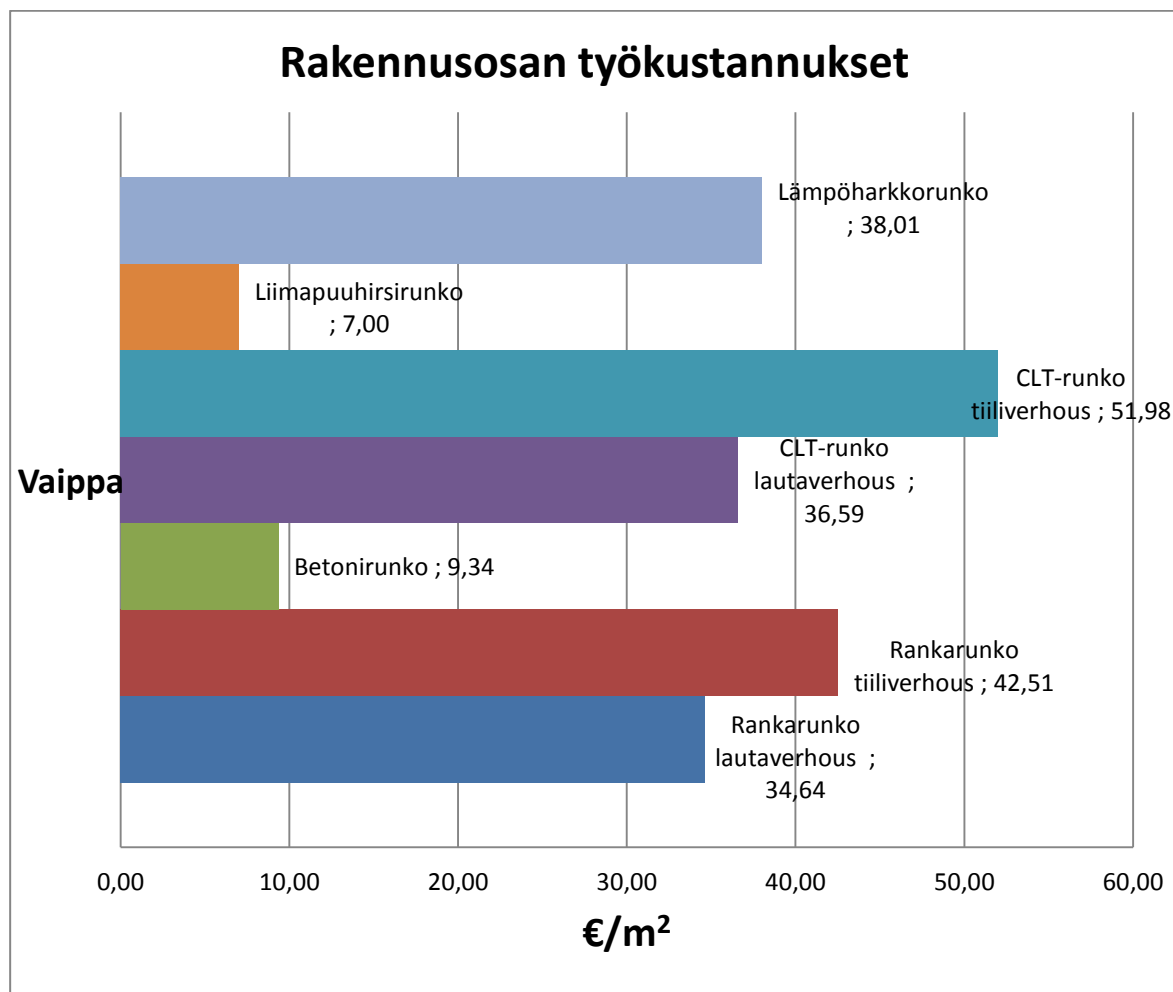
## 7.2 Rakennusosan työkustannus yläpohjan osalta



Kuvio 32 Liimapuupalkin, ontelolaatan ja CLT-yläpohjan työkustannukset neliötä kohti.

Kuviossa 32 käy ilmi, että yläpohja rakennusosia on kolme erilaista, joista ensimmäisenä tarkastelemme liimapuupalkki yläpohja rakennusosan neliötä ja CLT-yläpohjan rakennusosan neliötä. CLT-yläpohjan työstä johtuvat kustannukset verrattuna liimapuupalkki yläpohjan työkustannuksiin on 16 prosenttia suurempia. Vastaavasti CLT-yläpohjan työkustannuksiin verrattuna ontelolaatta yläpohjan rakennusosan työkustannukset on 23 prosenttia pienempiä. Ontelolaatta yläpohjan työkustannukset on 9 prosenttia pienempiä kuin liimapuupalkki yläpohjalla.

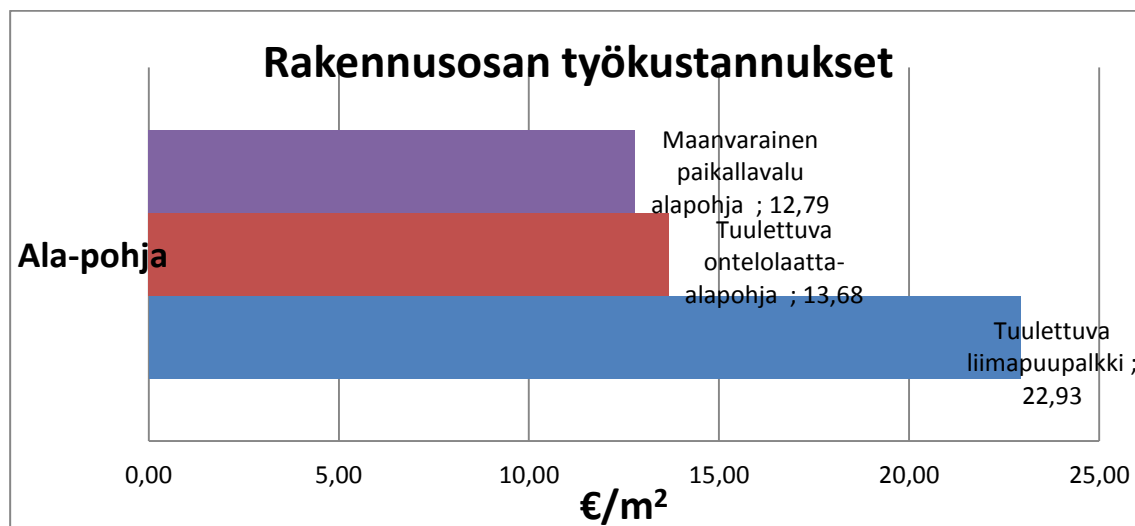
## 7.3 Rakennusosan työkustannus vaipan osalta



Kuvio 33 Lämpöharkko-, liimapuuhirsi-, CLT-, betoni-, rankarungon työkustannukset neliötä kohti.

Kuviossa 33 käy ilmi, että on viisi erilaisia runkorakenteita, jossa verrataan hirsirungon rakennusosan työkustannuksia neliötä kohti neljän muun runkorakenteen rakennusosan työkustannusten neliöön. Rankarungon työkustannuksia on 80 prosenttia suurempia, kuin hirsirungon työkustannukset. CLT-rungon työkustannukset ovat 81 prosenttia suurempia, kuin hirsirungolla. Betonirungon työkustannukset ovat 25 prosenttia suurempia, kuin hirsirungon työkustannukset. Lämpöharkkorungon työkustannukset ovat 82 prosenttia suurempia, verrattuna hirsirungon työkustannuksiin. Tiiliverhoillun CLT-rungon työkustannukset ovat 28 prosenttia suurempia, kuin lautaverhoillun CLT-rungon työkustannukset. Tiiliverhoillun rankarungon työkustannukset on 19 prosenttia suurempia verrattuna lautaverhoillun rankarungon työkustannuksiin.

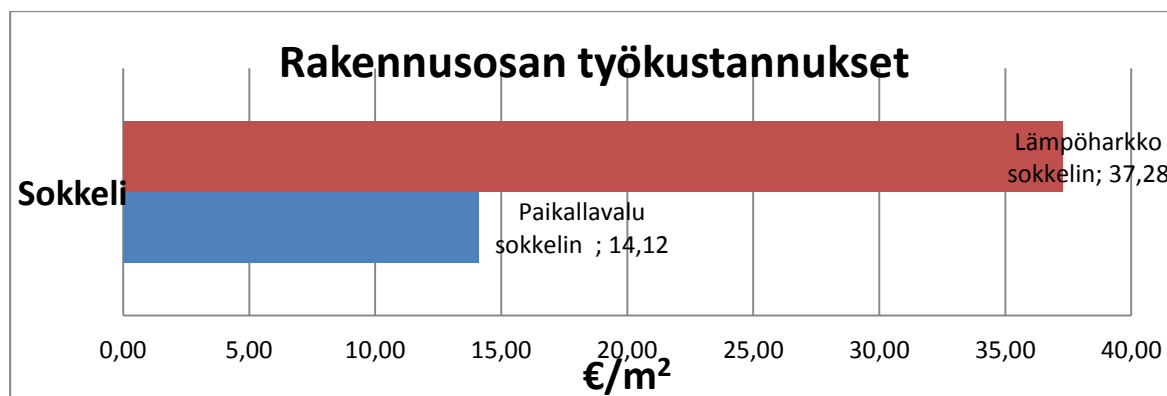
## 7.4 Rakennusosan työkustannus alapohjan osalta



Kuvio 34 Tuulettuvat liimapuupalkki ja ontelolaatta sekä maanvarainen paikallavalulaatta alapohjien työkustannukset neliötä kohti.

Kuviossa 34 käy ilmi, että on kolme erilaista alapohjaa, jotka ovat ontelolaatta-, paikallavalulaatta- ja liimapuupalkki alapohja. Aluksi vertailemme ontelolaatta alapohjaa ja paikallavalulaatta alapohjaa keskenään ja seuraavaksi vertaamme liimapuupalkki alapohjaa ontelolaatta alapohjaan ja lopuksi vertaamme paikallavalulaattaa liimapuupalkki alapohjaan. Ontelolaatta alapohjan työkustannukset on 6,5 prosenttia pienempiä kuin paikallavalulaatta alapohjan työkustannukset. Vastaavasti liimapuupalkki alapohjan työkustannukset on 40,3 prosenttia suurempia, kuin ontelolaatta alapohjan työkustannukset. Paikallavalulaattaa alapohjan työkustannukset on 44 prosenttia pienempiä kuin liimapuupalkki alapohjan työkustannukset.

## 7.5 Rakennusosan työkustannus sokkelin osalta



Kuvio 35 Paikallavalu- ja lämpöharkkosokkelin työkustannukset neliötä kohti.

Kuviossa 35 käy ilmi, että tarkasteltavana on kaksi erilaista sokkelirakenteita, paikallavalusokkeli ja harkkosokkeli. Paikallavalusokkelin työkustannukset ovat 62,1 prosenttia pienempiä kuin verrattuna harkkosokkelin työkustannuksiin.



## 8 RAKENNUSOSAN TYÖMENEKIN TUNTITAULUKKO

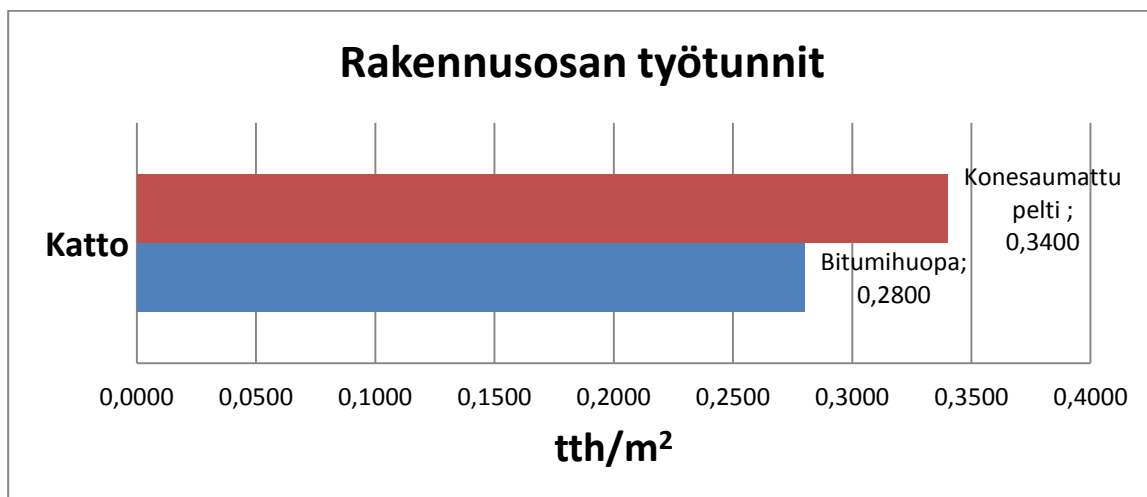
Työmenekit on laskettu RATU aikataulukirjaa ja RATU rakennustöiden menekit 2010 apuna käyttäen. Rakennusosat on purettu materiaaleihin ja rakennustyömaalla käytetty työaika kunkin materiaalin osalta laskettu yhteen, jonka jälkeen saatu tuntimäärä on jaettu rakennusosan pinta-alalla, siitä saatu osamäärä on työmenekki.

Taulukko 9. Työmenekki tth neliötä kohti.

Rakennusosa	Työmenekit tth/m <sup>2</sup>	
<b>Katot</b>		
Bitumihuopakate	0,280	tth/m2
Konesaumattupeltikate	0,340	tth/m2
<b>Yläpohjat</b>		
Liimapuupalkki yläpohja	0,672	tth/m2
Ontelolaatta yläpohja	0,597	tth/m2
CLT-yläpohja	0,780	tth/m2
<b>Vaippa</b>		
Rankarunko lautaverhous	1,732	tth/m2
Rankarunko tiiliverhous	2,126	tth/m2
Betonirunko	0,492	tth/m2
CLT-runko lautaverhous	1,926	tth/m2
CLT-runko tiiliverhous	2,736	tth/m2
Liimapuuhirsirunko	0,368	tth/m2
Lämpöharkkorunko	2,054	tth/m2
<b>Alapohja</b>		
Tuulettuva liimapuupalkki	1,147	tth/m2
Tuulettuva ontelolaatta-alapohja	0,720	tth/m2
Maanvarainen paikallavalu alapohja	0,673	tth/m2
<b>Sokkeli</b>		
Paikallavalu sokkelin	0,763	tth/m2
Lämpöharkko sokkelin	2,014	tth/m2

Taulukossa 9 lueteltiin kaikki työmenekin laskennassa olleet rakennusosat ja niiden eri vaihtoehdot vaipan, yläpohjan, alapohjan, katon ja sokkelin osalta.

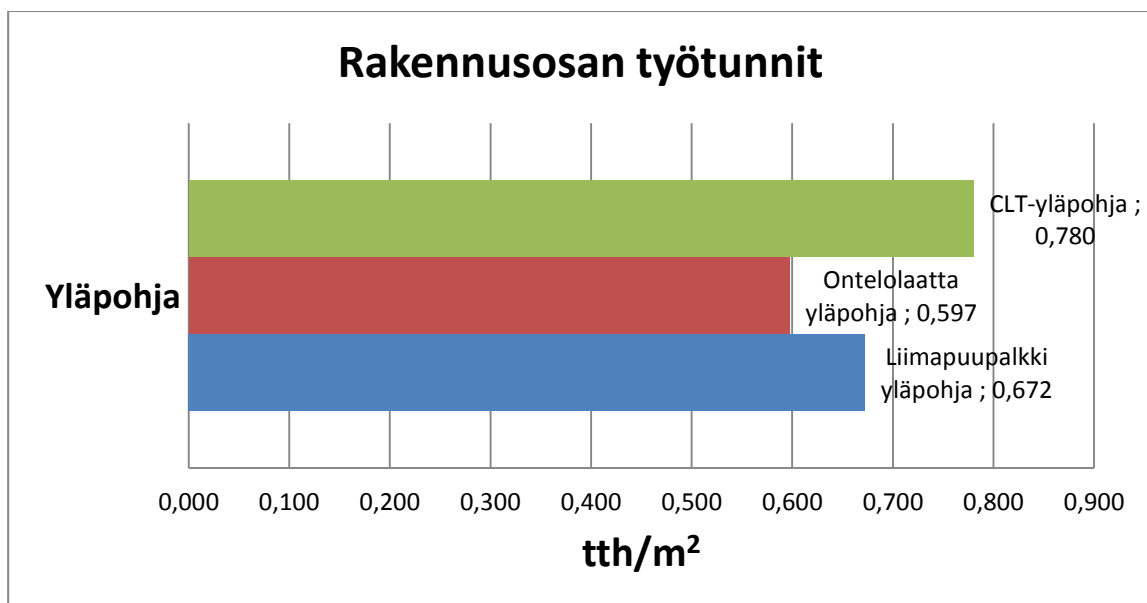
## 8.1 Rakennusosan työmenekki katon osalta



Kuvio 36. Konesaumatun peltikaton ja bitumihuopakaton työtunnit neliötä kohti.

Kuviossa 36 käy ilmi, että rakennusosien työstä johtuvien tuntien osalta huomaamme, että konesaumatun peltikaton työtunnit ovat 17,6 prosenttia suurempia kuin bitumihuopakaton työtunnit.

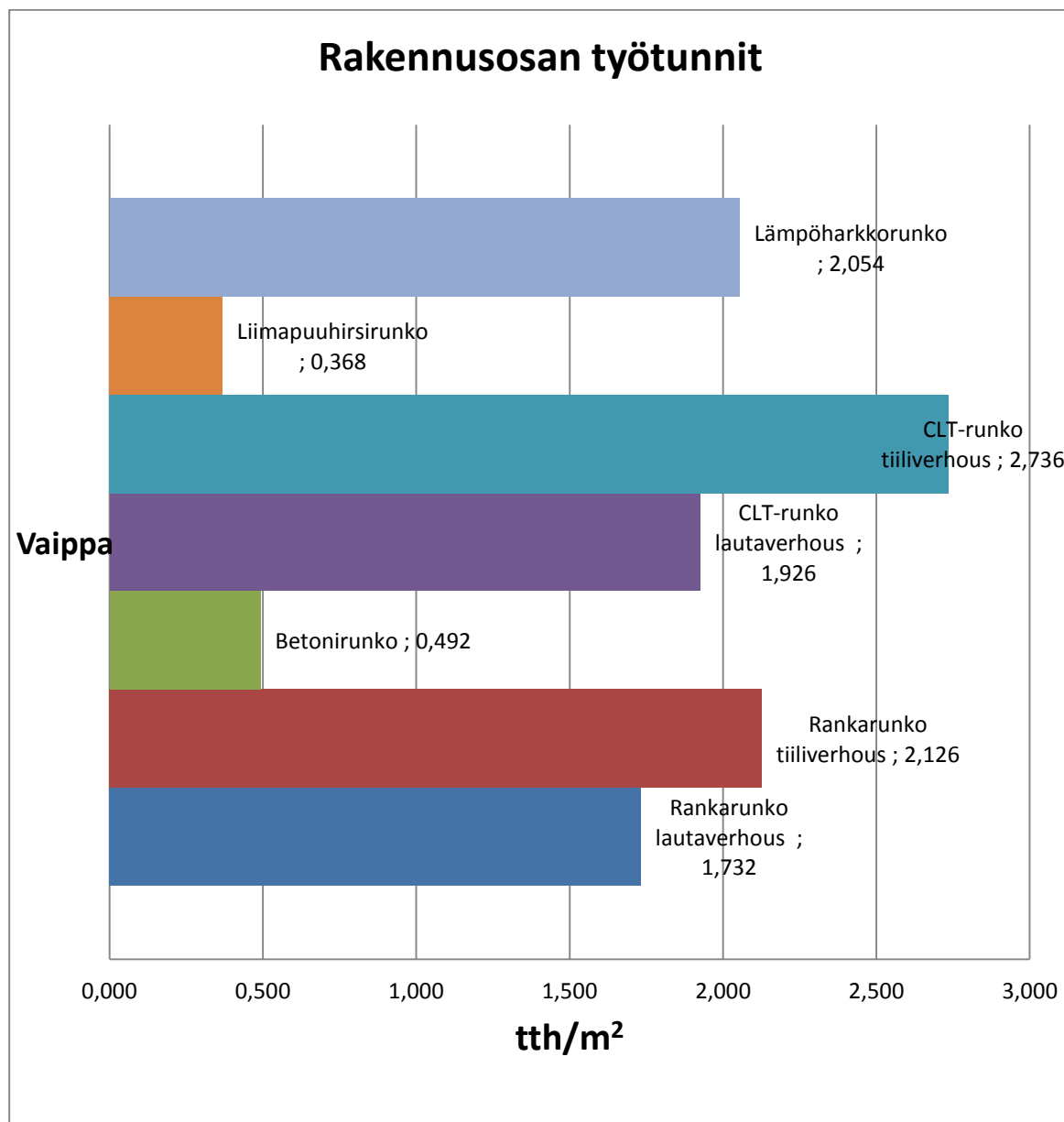
## 8.2 Rakennusosan työmenekki yläpohjan osalta



Kuvio 37. Liimapuupalkin, ontelolaatan ja CLT-yläpohjan työtunnit neliötä kohti.

Kuviossa 37 käy ilmi, että yläpohja rakennusosia on kolme erilaista, joista ensimmäisenä vertailemme liimapuupalkki yläpohjan ja CLT-yläpohjan työtunteja rakennusosan neliötä kohti. Liimapuupalkki yläpohjan työstä johtuvat tunnit verrattuna CLT-yläpohjan työtunteihin on 14 prosenttia pienempiä. Myös ontelolaatta yläpohjan työtuntien verrattuna CLT-yläpohjan työtunnit on 23,5 prosenttia pienempi. Ontelolaatta yläpohjan työtunnit neliötä kohti on 11,2 prosenttia pienempiä, kuin liimapuupalkki yläpohjalla.

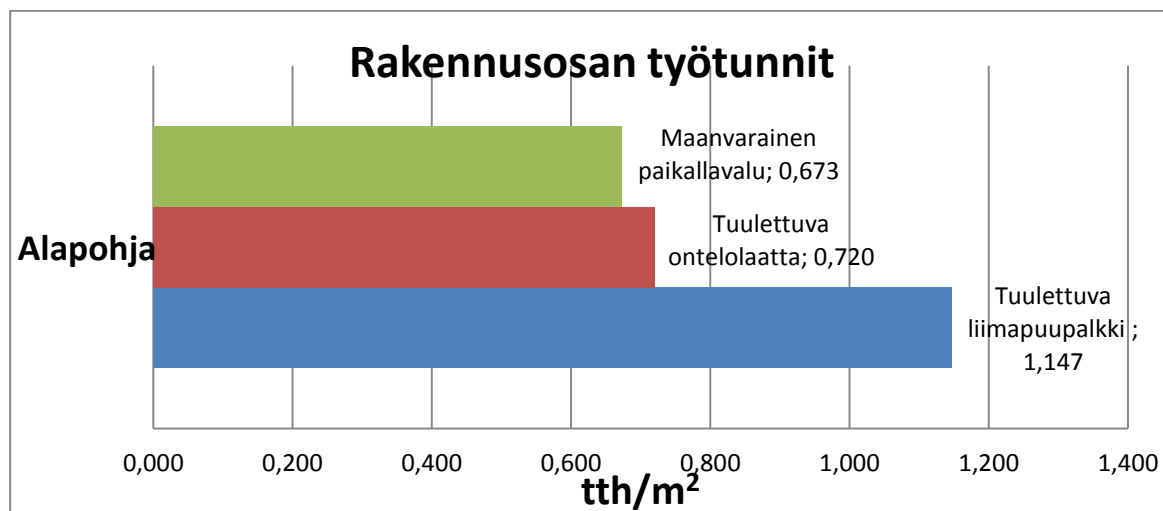
## 8.3 Rakennusosan työmenekki vaipan osalta



Kuvio 38. Lämpöharkko-, liimapuuhirsi-, CLT-, betoni-, rankarungon työtunnit neliötä kohti.

Kuviossa 38 käy ilmi, että on viisi erilaisia runkorakenteita, jossa verrataan hirsirungon rakennusosan työtuntia neliötä kohti neljän muun runkorakenteen rakennusosan työtuntien neliöön. Hirsirungon työtunnit ovat 4,7 kertaa pienempiä kuin rankarungolla. CLT-rungon työtuntien määrä on 5,2 kertaa suurempi, kuin hirsirungolla. Betonirungon työtunnit ovat 1,3 kertaa suurempia, kuin hirsirungolla. Lämpöharkkorungon työtunnit ovat 5,6 kertaa suurempia, verrattuna hirsirungolla. Tiiliverhoillun CLT-rungon työtunnit ovat 1,4 kertaa suurempia, kuin lautaverhoillulla CLT-rungolla. Tiiliverhoillun rankarungon työkustannukset ovat 1,2 kertaa pienempiä, verrattuna lautaverhoillulla rankarungolla.

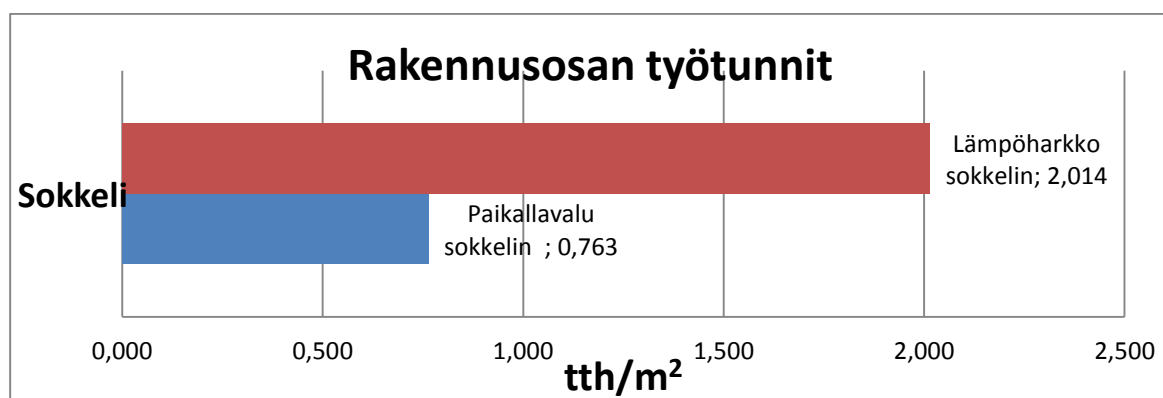
## 8.4 Rakennusosan työmenekki alapohjan osalta



Kuvio 39. Tuulettuvat liimapuupalkki ja ontelolaatta sekä maanvarainen paikallavalulaatta alapohjien työtunnit neliötä kohti.

Kuviossa 39 käy ilmi, että on kolme erilaista alapohjaa, jotka ovat ontelolaatta-, paikallavalulaatta- ja liimapuupalkki alapohja. Aluksi vertailemme ontelolaatta alapohjaa ja paikallavalulaatta alapohjaa keskenään ja seuraavaksi vertaamme liimapuupalkki alapohjaa ontelolaatta alapohjaan ja lopuksi vertaamme paikallavalulaattaa liimapuupalkki alapohjaan. Paikallavalulaatta alapohjan työtunnit ovat 6,5 prosenttia pienempiä, kuin ontelolaatta alapohjalla. Mutta liimapuupalkki alapohjan työtunnit on 37,2 prosenttia suurempia, kuin ontelolaatta alapohjalla. Paikallavalulaatta alapohjan työtunnit ovat 41,3 prosenttia pienempiä, kuin liimapuupalkki alapohjalla.

## 8.5 Rakennusosan työmenekki sokkelin osalta



Kuvio 40. Paikallavalu- ja lämpöharkkosokkelin työtunnit neliötä kohti.

Kuviossa 40 käy ilmi, että tarkasteltavana on kaksi erilaista sokkelirakenteita, paikallavalusokkeli ja harkkosokkeli. Paikallavalusokkelin työtunnit ovat 62,1 prosenttia suurempia kuin verrattuna harkkosokkelilla.

## 9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin eli saatiin koottua savolaisessa eko-pientalossa käytetyille rakennusosille vertailu taulukot joista käy ilmi eri materiaalien vaikutus rakennusosan ekologisuuteen ilmaston lämpenemisen vaikuttavien päästöjen osalta. Tässä opinnäytetyössä tehtiin vertailu savolaisen eko-pientalon rakennusosille, laskemalla rakennusosille hiilijalanjälkeä osoittavaa CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia. Vertailemalla katon rakennusosia keskenään saatiin bitumihuopakaton hiilijalanjälki pienemmäksi. Yläpohjan osalta voidaan todeta että liimapuupalkki yläpohjan hiilijalanjälki on lähes kolmanneksen pienempi kuin seuraavaksi tulleen CLT-yläpohjan. Kantavien Ulkoseinien kohdalla tilanne on seuraavanlainen, rankarunko lautaverhouksella on yli kolmanneksen pienempi hiilijalanjälki kuin vertailun seuraavalla joka on liimapuuhirsi. Alapohjan tulos on myös selvä, tuulettuvan liimapuupalkki alapohjan hiilijalanjälki on yli kolmanneksen pienempi kuin seuraavaksi tulleeella maanvaraisella paikallavalulaatta alapohjalla. Hiilijalanjälki sokkelin kohdalla on pienempi harkkosokkelilla, kuin paikallavalubetonisokkelilla noin 2,4 prosenttia.

Yhteenvetona voidaan todeta, että opinnäytetyössä päästiin hyvin tavoitteisiin, jotka olivat laskenta taulukoiden kautta pureutua materiaalien salattuun maailmaan, sekä rakennusosien keskinäinen vertailu, josta tuloksena tehtyjä diagrammeja voi käyttää apuväline valittaessa erilaisia rakenneratkaisuja. Tuloksena saatiin tutkimustietoa, josta selviää, millaisia on eri materiaalienvaikutus rakennusosien energian kokonaiskäyttö, vaikutus ilmaston lämpenemiseen, vaikutus happamoittavien aineiden muodostumiseen ja vaikutus alailmakehän otsonin muodostumiseen materiaalien tuottamisesta ja kuljetuksesta. Lisäksi kuljetuksesta syntyvät päästöt sekä rakennusosan ympäristöpäästöt, kuljetus kustannukset, työtunnit, työmenekin hinta, materiaalien yhteen laskettu hinta, neliötä kohti. Parannettavaa tämän tyyppisissä tutkimuksissa olisi se, että saataisiin käytettävissä indeksi joka kokoaisi nämä moninaiset tiedot yhdeksi luvuksi jolla voisi määritellä rakennusosissa käytettyjen materiaalien ekologisuutta. Tässä työssä rakennusosien tarkastelu ja vertailu antoi hieman ristiriitaisia tietoja. Rakennusosiin käytettyjen materiaalien tilavuuspainon ja määrän vuoksi tulokset olivat yllättäviä. Yhteisen indeksi luvun teko palvelisi paremmin tulevaisuudessa suunnittelijoita. Työ antoi paljon raakadataa, jota voi käyttää seuraavien opinnäytetöiden teossa.

## LÄHTEET

Betoni.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-06] Saatavissa: <http://betoni.com>

Polku: Betoni.com. Tietoa betonista. Betoni ja kestävä kehitys. Betoni rakennusmateriaalina.

CLT.info [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-09-16] Saatavissa: <http://www.clt.info>

Polku: CLT.info. Tuote. CLT – Massiivipuurakentaminen.

EU:N rakennerahastojen hallintajärjestelmä [viitattu 25.5.2014]

Saatavissa: <https://www.eura2007.fi/rrtiepa/projekti.php?projektkoodi=S12261>

Eura2007.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-05-25]. Saatavissa: <https://www.eura2007.fi>

Polku: Eura2007.fi. RR-tietopalvelu. Itä-Suomen suuralueosio. Työmarkkinoiden toimintaa edistävien osaamis-, innovaatio- ja palvelujärjestelmien kehittäminen. Rakentamisen innovatiiviset puutuotteet (RIP).

Figbc.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-11] Saatavissa <http://figbc.fi>

Polku: Figbc.fi. Elinkaarimittarit. Laskentaohjeet. Elinkaaren hiilijalanjälki.

Finlex.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-11] Saatavissa <http://finlex.fi>

Polku: Finlex.fi. RakMK B4.

Gyproc.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.gyproc.fi/tilaa-ja-lataa/gyproc-tuoteluettelo>

Polku: Gyproc.fi. Tilaa-ja-lataa.Gyproc-tuoteluettelo. Gyproc GEK 13 ERIKOISKOVA.

Hirsikoti.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-09-16] Saatavissa: <http://www.hirsikoti.fi>

Polku: Hirsikoti.fi. Media. Ekotehokkaaksi todettu hirsitalo täyttää uudet energiatehokkuusmääräykset.

Hirsitaloteollisuus.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.hirsikoti.fi/media.php?nno=2>

Polku: Hirsikoti.fi. Media. Ekotehokkaaksi todettu hirsitalo täyttää uudet energiatehokkuusmääräykset

JANSSON, Jan-Ove. 2006. Hirsikirja. Helsinki. Alfamer Kustannus Oy.

Kontiotuote.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.kontio.fi/hirsi>

Polku: Kontio.fi. Fin. Hirsitalot.

Kyyjärven saha oy. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.ponttiset.com>

Polku: Ponttiset.com. Tuotteet. Ponttilauta.

Lakan betoni. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.lakka.fi/>

Polku: Lakka.fi. Tuotteet. Harkot. Lämpöharkot. Eristeharkot. EKO+400 Energiakivi.

Lappia.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-09-16] [Viitattu 16.9.2014]

Saatavissa: <http://www.lappia.fi>

Polku: Lappia.fi. Aikuiskoulutus ja työelämäpalvelut. Työelämän kehittämisspalvelut. Hankkeet. Teknologia ja teollisuus. CLT. Mikä on CLT.

Lujabetoni. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.lujabetoni.fi/>

Polku: Lujabetoni.fi. Ammattirakentaminen. Paikallavalu. Hinnasto.

Netrauta. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.netrauta.fi/aluskate-ilman-kondenssisuojaa-60m-sup2-1-5x40m>

Polku: Netrauta.fi. Aluskate.

Omaankotiin.fi [verkkoaineisto]. /ulkoseinien ja rakenteiden-vertailu [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.omaankotiin.fi/>

Polku: Omaankotiin.fi. Ulkoseinien ja rakenteiden-vertailu.

Paroc.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.paroc.fi/>

Polku: Paroc.fi. Ratkaisut-tuotteet. Tuotteet. Yleiseristeet. Paroc-extra-pro.

Pelti-Saari Oy. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.kattopeltikauppa.fi/>

Polku: Kattopeltikauppa.fi. Kattolaskuri. Konesaumattu peltikatto.

Puuinfo.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-09-16] Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>

Polku: Puuinfo.fi. Ajankohtaista.

Rakentaja.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.rakentaja.fi/jasentukku/>

Polku: Rakentaja.fi. Jasentukku. Rakentaminen. Eristeet.

Rakentaja.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-10] Saatavissa <http://rakentaja.fi>

Polku: Rakentaja.fi. Hae: Ontelolaatta. Ontelolaatta- Nopea ja edullinen ala-, väli- ja yläpohjan betonirakenne.

ROK 2013. Rakennusosien kustannuksia. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Rudus.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.rudus.fi/>

Polku: Rudus.fi. Sandwich-elementti.

Sepeli.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.sepeli.fi/tuote/kapillaarikatkosepeli/>

Polku: Sepeli.fi. Tuote. Kapillaarikatkosepeli. Pesty sepeli.

Suomirakentaa.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-09-24]

Saatavissa: <http://www.suomirakentaa.fi>

Polku: Suomirakentaa.fi. Omakotirakentaja. Ulkoseinät ja julkisivut. Runkoratkaisun valinta.

Starkki.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://verkkokauppa.starkki.fi/fi/muovimatto>

Polku: Starkki.fi. Muovimatto.

Taloon.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.taloon.com/>

Polku: Taloon.com. Liimapuu-l40-140x360-mm.

Taloon.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.taloon.com/spu-al-150-k900-150x820x2600>

Polku: Taloon.com. Polyuretaanilevy spu al 150.

Talotarvike.com [verkkoaineisto]. /kauppa/tuulileijona [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.talotarvike.com/>

Polku: Talotarvike.com. Kauppa. Product. Tuulileijona 12.0mm 1200x2700mm 3.240m2.

Tuoreverkosto. [verkkoaineisto] [viitattu 2014-05-23] Saatavissa: <http://www.tuoreverkosto.fi>

Polku: Tuoreverkosto.fi. Ympäristöselosteet (ISO 14025 -STANDARDI)

Wienerberger. [verkkoaineisto]. Tecra-tiilet/julkisivutiilet [viitattu 2014-10-10]

Saatavissa: <http://www.wienerberger.fi/>

Polku: Wienerberger.fi. Tiilet. Julkisivut. Terca-tiilet. Julkisivutiilet



sähköpostiviestit

(Keskitalo 2014-10-18).

KESKITALO, Kimmo 2014-10-28. Vastaus liimapuuhirren hinta kyselyyn [sähköpostiviesti].

Vastaanottaja Timo Lohela.

[liitteenä 2014-11-03] Liitetty opinnäytetyöhön.

(Taskanen 2014-10-18).

TANSKANEN, Auvo 2014-10-28. Vastaus ontelolaatan hinta kyselyyn [sähköpostiviesti].

Vastaanottaja Timo Lohela.

[liitteenä 2014-11-03] Liitetty opinnäytetyöhön.

**AINEISTOT: LIITEET MUKANA CD LEVYLLÄ.**



