

Antti Lahtinen

**Hamppubetoni rakennusmateriaalina**

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Antti Lahtinen

Työn nimi: Hamppubetoni rakennusmateriaalina

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 30

Liitteiden lukumäärä:6

---

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi hamppubetonin ominaisuuksia ja tuotantoa, sekä hamppubetonin soveltuvuutta rakennusmateriaaliksi. Opinnäytetyöhön kuuluu myös laskentaosuus, jossa käydään läpi esimerkkirakenteen lämmönläpäisykerroin ja erilaisten rakenteiden vertailu.

Tarkoituksena on tuoda rakennusalan toimijoiden tietoisuuteen tämä Suomessa vielä vähän tunnettu materiaali. Hamppubetonia tutkitaan erityisesti ekologisesta näkökulmasta. Työssä käydään myös läpi nykyisen rakennusteollisuuden tuottamia päästöjä ja ympäristöhaittoja, joiden vähentämistä hamppubetoni voi helpottaa.

Avainsanat: Hamppubetoni, Hiilijalanjälki, Ekologisuus, Ilmastonmuutos, Hampu, Cannabis Sativa, Hyötyhamppu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Antti Lahtinen

Title of thesis: Hempcrete as a construction material

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year:2014

Number of pages:30

Number of appendices:6

---

The thesis collected basic data about hempcrete and the possibilities of using it in Finnish construction. The calculative and comparative part of the thesis compares hempcrete to other materials and calculates the U-value of hempcrete structures. The challenges of climate change on modern construction are also addressed as hempcrete may offer one solution to this problem. The ecological benefits of hempcrete compared to other materials are also considered.

Keywords: Hemp, Cannabis sativa, Carbon footprint, Climate change, Ecology, Hempcrete

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo .....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 RAKENNUSALAN HAASTEET JA ONGELMAT .....	9
2.1 Energiansäästöön tähtäävät direktiivit .....	9
2.2 Direktiivin ongelmat .....	9
2.3 Betonin ympäristöhaitat .....	10
3 HAMPPUBETONI JA SEN HYÖDYT	
RAKENNUSTEOLLISUUDESSA .....	12
3.1 Hamppu Suomessa .....	12
3.2 Hamppu maailmalla .....	13
3.3 Hamppubetoni .....	14
3.3.1 Tekniset ominaisuudet.....	16
3.3.2 Hinta .....	17
3.3.3 Ekologisuus .....	18
3.3.4 Puuteollisuus ja hamppubetoni.....	19
4 LASKELMAT JA RAKENNEVERTAILUT .....	20
4.1 Esimerkkirakenne .....	20
4.2 Rakenteen lämmönläpäisy .....	21
4.3 Laskelmat .....	23
4.3.1 Hamppubetonin lämmönjohtavuus .....	23
4.3.2 Lämmönläpäisykerroin .....	24
4.3.3 Vertailu rakennevalmistajien arvoihin .....	25
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	27
LÄHTEET .....	29
LIITTEET .....	

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Hamppubetoni (Hemp Technologies Global 2013). .....	14
Kuvio 2. Tadelakt–tekniikalla tehty kylpyhuone ja kylpyhuonekalusteet (Ecobrooklyn Inc. 2011).....	16
Kuvio 3. Hamppubetoni seinissä, katossa ja lattialla (Hempcrete Australia 2012).	20
Kuvio 4. Hamppubetonirakenteen rakennekuva.....	21
Kuvio 5. Lämpökuva hampputalosta (BRE 2002).....	26
Kuvio 6. Lämpökuva tiilitalosta (BRE 2002). .....	26
Taulukko 1. Määräyksien mukaiset U-arvot (RakMK D3 2003).....	22
Taulukko 2. Rakenteiden vertailu. ....	25

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Päistäre</b>	Hampun kuituosa, josta valmistetaan hamppubetonia.
<b>Hamppu</b>	Cannabis Sativa-niminen kasvi, joka kasvaa jopa neljä metriä korkeaksi. Kasvuaika on noin kolme kuukautta. Kasvin sisältämä THC (Tetrahydrokannabinoli) on psykoaktiivista. Suuret määrät THC:ta ovat huumausainelainsäädännön vastaisia. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä hamppu on kuitenkin THC-pitoisuuksiltaan vähäistä ja lailliseksi määriteltävää.
<b>Tadelakt-tekniikka</b>	Kalkkipinnan käsittely siloitettulla kivellä ja saippualla. Käsittely tekee pinnasta vettä hylkivän.
<b>ECB</b>	European Central Bank. Euroopan keskuspankki, joka tarjoaa tietoa eurosta.

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä selvitetään hamppubetonin hyödyntämistä rakentamisessa Suomessa. Lisäksi pohditaan joitakin nykyisen rakennusteollisuuden ongelmia uudis- ja korjausrakentamisessa. Tarkoituksena oli luoda perustietoa tarjoava opinnäytetyö, johon perustuen voidaan mahdollisesti tehdä lisätutkimusta tulevaisuudessa. Laskelmissa paneudutaan lähinnä perusrakenteisiin ja käydään yleisellä tasolla läpi rakenneratkaisuja, joita hamppubetoni mahdollistaa.

Opinnäytetyön aihe löytyi muutaman kiinnostavan rakennusalan artikkelin kautta, joissa käsiteltiin hamppubetonirakentamista Euroopassa. Aiheesta löytyi myös useita dokumentteja. Hamppubetonilla näyttäisi olevan potentiaalia tarjota täysin uusi ekologinen vaihtoehto rakentamiseen.

Suomessa hamppubetonia on kokeiltu pienessä määrin turkulaisessa projektissa. Tulevilla asuntomessuilla 2015 tullaan näkemään asuntoprojekti, jossa on hamppubetoniset ulkorakennukset.

Rakennusala on jo vuosia elänyt taloudellisessa taantumassa. Maaltamuutto on yleistynyt, ja suuret yritykset ovat siirtäneet toimintansa muualle, lisäksi päästöt tulisi saada kuriin. Rakennusmääräysten kiristyneet eristyskriteerit ovat johtaneet siihen, että rakenteista pyritään saamaan mahdollisimman eristäviä ja halpoja piittaamatta muista ominaisuuksista. Samaan aikaan koko maapalloa uhkaa hiilidioksidipäästöistä johtuva ilmastonmuutos. On selvää, että vaarannamme oman olemassaolomme nykyisillä päästömäärillä. Tämä on yksi suurimmista haasteista, joita ihmiskunta on joutunut historiansa aikana kokemaan. On siis hyvin tärkeää että muutamme myös rakennustekniikkaamme ja vähennämme siitä aiheutuvaa kuormitusta ympäristölle.

Vanhojen rakennetyyppien rakennevahvuuksien kasvattaminen johtaa uuteen tilanteeseen, jossa rakenteen rakennusfysikaalisia ominaisuuksia ei tunneta. Paksummissa rakenteissa esiintyy muun muassa sisäistä konvektiota, joka kuljettaa kosteutta, ja aiheuttaa ongelmia. Useiden erilaisten materiaalikerrosten käyttö johtaa myös helposti rakennusfysikaalisesti hallitsemattomaan tilanteeseen. Hamppubetonia käyttämällä saavutetaan yksinkertaisempia rakenteita.

Lainsäädännön ideana on ollut alunperin haastaa alaa kehittämään uusia ratkaisuja ja myös vähentää lämmityksen ja ilmastoinnin tarvetta. Näiden säädöksiä on uskottu johtavan siihen, että rakennusteollisuuden hiilijalanjälki pienentyy. Ongelmana on ollut se, että yritykset eivät ole alkaneet kehittää ekologisia rakenteita. Vanhat ympäristöä kuormittavat eristeratkaisut on säilytetty. Myös esimerkiksi betonin tuotannossa käytettävästä hiekasta on jo nyt pulaa maailmalla.

Erilaiset muoviseokset, betoni, kipsi, villa, metallit ja kemikaalit kuuluvat suomalaiseen rakentamiseen. Nämä rakenteet aiheuttavat suurta tuhoa ympäristölle, sillä ne ovat kaikki purettaessa ongelmajätettä ja/tai niiden valmistaminen tuottaa paljon hiilidioksidia.

Ongelmana on uusien tekniikoiden kehittämisessä ollut myös se, että niiden tuottaminen on usein helpompaa ja halvempaa muualla kuin Suomessa. Usein uusi tuote ei hyödynnä Suomen maantieteellisiä etuja, kuten pitkiä kesäpäiviä ja EU-tuettua maataloutta. Olisi pyrittävä hyödyntämään Suomen ainutlaatuista luontoa ja sen tuomia etuja. Tässä työssä pohditaan, voisiko hamppubetoni olla ratkaisu näihin ongelmiin.



## **2 RAKENNUSALAN HAASTEET JA ONGELMAT**

Allin (2012) kertoo kirjassaan, kuinka paljon rakennusteollisuus käyttää luonnonvaroja. Vuosittain noin 50 % kaikista luonnonvaroista käytetään rakennusalalla. Tätä trendiä vain kiihdyttää maaltamuutto ja kaupunkien kasvaminen. (Allin 2012.)

Rakennusteollisuus käy läpi suurta muutosta energiasäästädirektiivien astuttua voimaan. Uusien rakennuksien energiatehokkuutta on jouduttu parantamaan lisäämällä eristystä. Tämä on johtanut seinärakenteiden suureen muutokseen, jossa rakenteista on tullut paksumpia ja joskus myös homeongelmaisista. Vanhojen rakennusmenetelmien tilalle ei ole tullut uusia, vaikka niitä ehkä ongelmien selättämisen takia tarvittaisiin.

### **2.1 Energiasäästöön tähtäävät direktiivit**

Euroopan parlamentin asettama rakennusten energiatehokkuusdirektiivi kertoo, että rakennukset aiheuttavat 40 % Euroopan Unionin kokonaisenergiankulutuksesta. Tämä ala laajenee, mikä nostaa väistämättä sen energiankulutusta. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU, 1). Tavoitteena on, että kaikki EU-maissa rakennetut yksityiset rakennukset ovat lähes nollaenergiataloja vuodesta 2021 lähtien, ja julkiset rakennukset vuodesta 2018 lähtien. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

### **2.2 Direktiivin ongelmat**

Direktiivi ottaa huomioon lähinnä lämmityksen tai viilennyksen kautta saadun käyttöenergian säästön, joka vaikuttaa lähinnä vain energiatuotannon hiilidioksidipäästöihin. Erillisten rakenneosien vaikutuksista tulisi mitata tuotannon ja kuljetuksen tuottamat hiilidioksidipäästöt. Tämän lisäksi tulisi ottaa huomioon rakennuksen elinkaari kokonaisuutena, ja muut vaiheet kuin rakentaminen, kuten esimerkiksi purkuvaihe, jolloin rakennusjätteen ja sen käsittelyn kautta tuotetut hiilidioksidipäästöt laskettaisiin. Nämä asiat huomioon ottaessa keskityttäisiin enemmänkin

itse ongelmaan, eli ilmastonmuutokseen, ei vain energiantuotantoon ja sitä kautta saataviin säästöihin. On myös tärkeää tuoda nämä asiat esille uusien rakenteiden, kuten hammppubetonin, hyötyjen oivaltamiseksi.

### 2.3 Betonin ympäristöhaitat

Sementtiä valmistetaan vuodessa noin 1.6 miljardia tonnia. Portlandsementin valmistus aiheuttaa nykyään 7-10 % kaikista ihmisen tuottamista hiilidioksidipäästöistä. Nämä päästöt muodostuvat valmistuksessa, jossa vaaditaan suuria 1450 °C:n lämpötiloja. Tähän tarvittava energia tuotetaan usein kivihiilen avulla. Tämä tuottaa noin 300 kg hiilidioksidia per sementtitonni. Lisäksi sementissä olevan kalkkikiven palaminen aiheuttaa kemiallisen reaktion, joka myös vapauttaa noin 500 kg hiilidioksidia per sementtitonni. Sementin kulutuksen uskotaan myös kaksinkertaistuvan kymmenessä vuodessa. Tämä johtaa siihen, että pelkkä portlandsementin tuotanto tuottaa sen hiilidioksidipäästö määrän, mitä ihmiskunta voi vuodessa kestäväällä tavalla ilmakehään laskea. Sementissä olevia ainesosia voidaan myös muuttaa, jolloin saadaan aikaan vähemmän päästöjä tuottavia tai jopa päästöjä sitovia ratkaisuja. (RY Rakennettu ympäristö 2/2008, 6.) Nämä ratkaisut ovat kuitenkin hyvin kyseenalaisia, sillä ne vaativat muun muassa paljon kivihiilen polttamisesta muodostuvaa lentotuhkaa.

Hawken (1999) kertoo kirjassaan, että vain 6 % maailman vuosittaisesta ympäristöstä saatavasta materiaalivirrasta, noin 500 miljardia tonnia vuodessa, päätyy lopulta valmiisiin haluttuihin tuotteisiin. Suurin osa kaikesta luonnosta saatavasta materiaalista päätyy takaisin luontoon harmillisina kiinteinä aineina, kaasuina tai nesteinä. (Hawken 1999.)

Concrete Internationalin artikkeli kertoo, että normaali betoni sisältää noin 12 % sementtiä ja 80 % maa-aineksia. Tämä tarkoittaa maailmanlaajuisesti vuosittaista 10-11 miljardin tonnin kulutusta. Tämä kaivostoiminta sekä siihen liittyvä logistinen toiminta vaatii suuria määriä energiaa ja lisäksi se vaarantaa metsiä ja vesialueita. Vettä betoniteollisuus käyttää noin biljoona tonnia vuodessa. Tästä suuri osa on makeaa vettä. (Concrete International 2001.)

Hiekka, joka muodostaa noin 34 % betoniseoksesta (BuildingGreen.com 1993), kerätään usein vesistöistä tai rannikolta. Tämä on johtanut jo suuriin ongelmiin maailmalla, sillä rantojen eroosio nopeutuu ja rantahiekka valuu lopulta mereen kokonaan. Jokien patoaminen ja ruoppaaminen aiheuttaa sen, että lisää hiekkaa ei pääse takaisin mereen. Eroosio tuhoaa rannasta riippuvaisia eliöitä ja lisää ilmastomuutoksen haittoja nopeuttamalla vesistöjen nousua. Ongelma on jo karannut käsistä kaikkialla maailmassa, jopa Amerikassa, jossa rannat huuhtoutuvat mereen ruoppaamisen takia. (Concrete International 2001.)

Voidaan siis todeta, että betonista muodostuu paljon haittaa ympäristölle. Osittain näitä haittoja voidaan perustella rakenteiden pitkäikäisyydellä. Monille betonirakenteille annetaan yleensä eliniäksi noin 50 vuotta. Nämä tavoitteet tuntuvat olevan kuitenkin hyvin ylimitoitettuja, ottaen huomioon rapistuvat betonirakennukset jotka työllistävät rakennusalaan. 50 vuotta ei myöskään ole pitkä aika siitä, miten betoni kuormittaa maapalloa, ja rakenteiden pitäisi betonista tehtynä kestää paremminkin 500 vuotta. Nämä tavoitteet ovat hankalia tai mahdottomia saavuttaa. Tämän takia betonin tuotantoa tulisi muuttaa tai sitä pitäisi korvata uusilla tuotteilla.

### **3 HAMPPUBETONI JA SEN HYÖDYT RAKENNUSTEOLLISUUDESSA**

Hamppubetoni tarjoaa hyvin yksinkertaistetun rakenteen verrattuna nykyisin käytettäviin monista eri materiaaleista koostuviin rakenteisiin. Tämän yksinkertaistuksen avulla rakenteita on helpompi hahmottaa ja säästyään virheiltä.

#### **3.1 Hamppu Suomessa**

Hamppua on viljelty Suomessa maan koko viljelyhistorian ajan. Toisin kuin yleisesti oletetaan, on hampun viljely hyötykäyttöön ollut Suomessa aina laillista. Suomi kuuluu niihin noin 30 maahan, jotka sallivat hampun viljelyn hyötykäyttöön (Clark 2011, 12). Suomen liittyttyä Euroopan Unioniin hamppu palasi taas Suomen peltoille. EU teki hampun viljelystä tukikelpoista vuonna 2011. Kuituhampun tuotanto pyritään saamaan 700 hehtaariin vuodessa vuoteen 2017 mennessä (Hemprefine 2014, 4).

Hampun viljely onkin ollut Suomessa lähinnä tabu 1950-luvulta lähtien, vaikka se on ollut täysin laillista. Tämä johtuu ilmeisesti vähän liiankin hyvin toimineesta huumevalistuksesta, jonka myötä hampunviljely kiellettiin kokonaan Yhdysvalloissa.

Hampusta saadaan kuiviketta eläimille, vaatteita, bioenergiaa kiinteänä tai neste-mäisenä, paperia, huonekalujen ja autojen kankaita, muovin ainesosia (biopolymerit), siemeniä, sekä siemenöljyä ravinnoksi. Hampusta ei synny hukkaa, vaan koko kasvi voidaan hyödyntää. Hampun viljely voidaan toteuttaa täysin luontaisesti, ja sen viljely parantaa maaperää. (Hemprefine 2014, 4.) Suomessa ilmasto on otollinen hampulle, joka kasvaa rikkakasvina hyvin. Ilmasto tarjoaa myös mahdollisuuden kevätkorjuulle, jolloin hamppu hajoaa kosteuden ja pakkasen ansiosta. Hajonneen hampun annetaan kuivua, ja sadonkorjuu tehdään keväällä. Näin säästyään sekä kuidun hajottamiselta koneellisesti että kuivaamiselta.

Hamppu tuottaa neljä kertaa enemmän kuitua kuin puut, ja hamppukuidusta tehty paperi on kestävämpää kuin puusta tehty (Robinson 1996, 21).

Rakennusteollisuudessa hyödynnetään kasvin kuituosia, joista valmistetaan muun muassa köysiä ja eristeitä. Suomessa käyttö on viime vuosina jäänyt lähinnä LVI-alalla käytettäviin kierre-eristyksiin ja hirsitalojen eristämiseen.

Hamppueriste sopii hyvin erityiskohteisiin ekologisuutensa ja höyrynläpäisevyytensä takia. Hamppueristeitä on käytetty Suomessa hirsitalojen eristeenä energiatehokkuutta parannettaessa. Hamppua löytyy eristeenä suurimmasta osaa vanhoista hirsitaloista. Nykyaikaiset luonnonkuitueristeet eivät ole olleet kovin suosittuja, sillä ne ovat hinnaltaan jopa kolminkertaisia verrattuna mineraalivillaeristeisiin. (Kymäläinen 2004).

Suomen voidaan sanoa tulevan hiukan muuta maailmaa jäljessä, sillä vaikka meillä hampunviljely on laillista, sen suosio ei ole kasvanut. Yhdysvalloissa hampunviljelyn laillistamisesta käydään taas keskustelua. Suomella on vielä hiukan etumatkaa, joka voidaan vielä hyödyntää.

### **3.2 Hamppu maailmalla**

Kiina on tällä hetkellä maailman johtava hampun viljelijä, joka tähtää lähivuosina 1,3 miljoonan hehtaarin viljelyyn (Hemprefine 2014, 4). Rakennusmateriaalina hamppu on nostanut vahvasti suosiotaan. Esimerkiksi Yhdysvalloissa, jossa hampun viljely on kiellettyä muuhun kuin tutkimuskäyttöön, on alettu jalostaa hamppua. Osassa Yhdysvaltoja kuitenkin sallitaan lääkehampun viljely erityisluvalla. Kaikki Yhdysvalloissa tuotetuista hampputuotteista on tehty tuontihampusta. Yhteensä hyötyhampusta tuotetut tuotteet tuottavat noin 350 miljoonaa dollaria vuodessa. Maailmassa on noin 30 hampunviljelyn sallivaa valtiota. EU:ssa hamppua viljeltiin vuonna 2008 noin 120 miljoonaa m<sup>2</sup>. (Clark 2011.)

Hampulla on jopa 25 000 erilaista käyttökohdetta (Clark 2011). Joillakin alueilla sillä voitaisiin korvata puuselluloosaa, esimerkiksi paperituotteiden valmistuksessa. Hampusta tuotettu biopolttoaine voisi korvata palmuöljystä tehdyn biopolttoaineen, sillä toisin kuin palmu, hamppu parantaa maaperää eikä tuhoa sitä. Kuituhamppu soveltuu myös kiinteäksi polttoaineeksi.

### 3.3 Hamppubetoni

Toisin kuin betoni, hamppubetoni tarvitsee erillisen rungon kantamaan kuormia. Hamppubetoni toimiikin lähinnä rakenteen eristeenä, vaikkakin se valmistetaan kuten betoni. (Mukherjee 2012.)



Kuvio 1. Hamppubetoni (Hemp Technologies Global 2013).

Rhydwenin tutkimus kuvailee hamppubetonirakenteita seuraavasti: Hamppubetonin valmistustekniikka kehiteltiin Ranskassa. Hamppupäistäre yhdistetään kalkin ja veden kanssa, jolloin muodostuu hamppubetonia. Eri seos-suhteilla ja lisä-aineilla, kuten hiekalla, saadaan tehtyä eri käyttötarkoitukseen soveltuvaa hamppubetonia. Lisäksi hamppubetoni tarvitsee jäykistävän rungon, joka tehdään puusta. Runko ympäröidään hamppubetonilla. Pinnat viimeistellään kalkkitasoitteella ja kalkkipinnoitteella. (Rhydwen 2009, 3.)

Kalkki mahdollistaa vesihöyryn läpäisyn ja toimii suojana. Jos rakenteeseen tulee pieni halkeama, kalkilla on ominaisuus korjata se. Halkeaman kohdassa kalkki kerää kosteutta, joka irrottaa kaiken irtonaisen kalkin hamppubetonissa nostaa sen pintaan. Pinnassa oleva kalkki karbonisoituu ja kovettuu, jolloin halkeama umpeutuu. Hamppubetoni ei homehdu, sillä siinä oleva kalkki tekee hamppubetonista hyvin alkaalista. Rhydwen kertoo hamppubetonin hyödyiksi sen, että hamppubetoni muodostaa hyvin vesihöyryä läpi päästävän rakenteen. Hamppubetoni on myös ympäristöystävällistä ja melko halpaa rakentaa. (Rhydwen 2009, 3.)

Hamppubetoni tarvitsee levymuotin, joka kiinnitetään rungon rakenteisiin. Muotti on 600 mm korkea, jotta hamppubetoniseosta päästään tiivistämään käsivoimin tarkoitukseen tehdyllä työkalulla. Tämä työkalu voi olla vaikkapa laudanpätkä. Seosta ei saa tiivistää liian tiukkaan, sillä silloin menetetään eristyskykyä. (Allin 2012). Muottien tehokkuutta voitaisiin lisätä ulkoisilla muoteilla tai ruiskubetonointijärjestelmillä.

Hamppubetoniseos sekoitetaan erikoisrummuissa, jotka sekoittavat nopeammin kuin normaalit betonirummut. Normaalin rummun sekoitusaika on kahdeksan minuuttia ja hamppubetonirummun kolme minuuttia. (BRE 2002.)

Lähivuosina hamppubetonirakenteiden valmistusmenetelmiä on kehitelty tehokkaammaksi. Hamppubetoni voidaan nykyään myös ruiskuttaa tai valaa elementiksi. Markkinoille on myös tullut erityisesti hamppubetonille suunniteltuja työkoneita. (Allin 2012.)

On tärkeää käyttää oikeanlaisia suojavarusteita hamppubetonia tehdessä. Kalkkipöly on hengitykselle haitallista, ja hengityssuojaimet ovat suositeltavia. Hamppubetoni on myös hyvin alkaalista, joten iho täytyy suojata oikeanlaisella vaatekudoksella. (Allin 2012.)

Allin käy läpi kirjassaan hamppubetonille sopivia pinnoitteita. Pinnoitteen tulee olla hengittävää, minkä takia käytetään usein kalkkitasoitteita. Kalkkitasoitteen voi myös valmistaa samasta kalkista, jota käytetään seinien sidosaineena. Kalkkiin voidaan sekoittaa väripigmentejä, jotka antavat pinnalle värin. Tiili ja puu toimivat myös hyvinä pinnoitteina. Märkätiloissa voidaan käyttää tekniikkaa nimeltä tadelakt, joka on ollut käytössä Marokossa satojen vuosien ajan. Tekniikka toimii niin, että kalkkitasoite kiillotetaan kiven avulla, ja vedeneristys tehdään pehmeän saippuan avulla. Tämä mahdollistaa kylpyhuoneen rakenteiden lisäksi altaiden ja ammeiden sekä muiden kylpyhuonekalusteiden tekemisen hamppubetonista. (Allin 2012.)



Kuvio 2. Tadelakt-tekniikalla tehty kylpyhuone ja kylpyhuonekalusteet (Ecobrooklyn Inc. 2011).

Hamppubetoni on tulenkestävää CSTB:n ( Centre Scientifique et Technique des Batiment) Ranskassa tekemän tutkimuksen mukaan. Tutkimuksen tuloksena oli, että hamppubetoni kestää jopa 1800 C°:n lämpötiloja neljä tuntia. (BRE 2002.)

### 3.3.1 Tekniset ominaisuudet

Rhydwenin mukaan hamppubetonin  $\lambda$ -arvo  $\sim 0.076\text{--}0.11$  W/mK. Tämä arvo on seoksella jossa on noin 85 % kosteaa kalkkia ja noin 15 % savea.  $\lambda$  arvoa voidaan säädellä kalkin ja lisäaineiden avulla. Esimerkiksi lattiaan lisätään hiekkaa, jolloin  $\lambda$ -arvo  $\sim 0.13$  W/mK. Hiekka antaa hamppubetonille lujuutta. Katossa käytettävään seokseen lisätään enemmän hamppua, jolloin saadaan paremmin eristävä rakenne, jossa  $\lambda \sim 0.08$  W/mK. Lämpötekniisiä ominaisuuksia tutkittaessa kävi ilmi, että hamppubetonirakenteilla on suuri lämpömassa. Tämä lämpömassa ei näy normaaleissa U-arvoissa. Lämpömassalla tarkoitetaan rakenteen kykyä säilöä lämpöä päivällä kun on lämmin ja vapauttaa sitä yöllä kun on kylmä. Toisaalta



lämpömassaltaan suuri rakenne pitää rakennuksen kylmänä samalla reaktiolla kovilla helteillä. (Rhydwen 2009, 3–4.)

Kylmäsiilat voivat olla ongelma normaaleissa rakenteissa. Hamppubetonista valmistetuissa rakenteissa kylmäsiiloista päästään eroon, sillä runko jää hamppubetonin sisään. Rungon peittäminen tarjoaa myös sen edun, että rakennus on tiivis, ja rakennusvirheistä johtuvat lämpöhäviöt ovat helposti vältettävissä. Akustisesti hamppubetoni on hieman huonompi kuin normaalisti käytettävät rakenteet, mutta arvoilla päästään määräysten mukaisiin lukemiin. Hamppubetonirakenteiden resonointi on vähäistä. (Rhydwen 2009, 3–4.)

Hamppubetonin tekniset ominaisuudet (The Limecrete company 2012):

- Tiheys  $275 \text{ kg/m}^3$
- Taivutuslujuus  $0.3\text{--}0.4 \text{ N/mm}^2$
- Lämmönjohtavuus  $\lambda = 0.06 \text{ W/mK}$
- Lämpökapasiteetti  $1500\text{--}1700 \text{ J/kg}$
- Akustisen äänen absorptioteho  $0.69 \text{ NRC}$
- Ilmanläpäisevyys  $0.75 \text{ gm/ m}^2/\text{mm hg}$
- Höyrynläpäisevyys  $24.2 \text{ gm/ m}^2/\text{mm hg}$
- ( $\mu$ ) Höyrynjakamisresistanssi  $4.84$
- Paloluokka  $1 \text{ h BS EN 1365-1:1999}$
- Hiilidioksidin sidonta  $130 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$
- Ilmatiiviys  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h @ } 50 \text{ Pa}$ .

### 3.3.2 Hinta

Englannissa tutkittiin tiilistä tehdyn normaalin talon ja hamppubetonista tehdyn talon hintoja. Normaali talo maksoi  $478 \text{ £ / m}^2$  eli noin  $366 \text{ € / m}^2$  ja hamppubetonitalo  $526 \text{ £ / m}^2$  eli noin  $331 \text{ € / m}^2$  (Valuuttakurssi 1.1.2001 ECB). Hamppubetonitalo on siis noin 10 % kalliimpi. Talot tehtiin viereisille tonteille, identtisellä pohjalla. Hamppubetonitalo vaati kevyemmän perustuksen, jolloin perustuksen kaivu- ja maanrakennustöissä säästettiin jopa 50 %. Hamppubetonitaloja tehtiin kaksi ja tiilitaloja tehtiin 16. (BRE 2002.) Hinnankehityksessä nähtiin, että ensin rakennettu hamppubetonitalo oli kalliimpi kuin jälkimmäinen. Tästä voidaan päätellä, että

hamppubetonitalon hintaa olisi voitu saada rakennusprosessien kehittämällä vieläkin alemmaksi.

Ajallisesti hamppu on yhtä nopeaa rakentaa kuin tiilirakenteinen talo, mutta työaika muodostuu täysin eri tekijöistä kuin normaaleissa rakenteissa. BRE:n toteuttamassa vertailussa tämä kävi ilmi etenkin hamppubetonin nopean runkovaiheen takia. Runko on kevyempi kuin normaalisti, ja se voidaan kasata kokonaan ennen hamppubetonin valamista. Valuvaihe vie paljon aikaa, sillä muotteja joudutaan koko ajan siirtelemään ja ainesta tiivistetään 60 senttimetrin kerrosten välissä. (BRE 2002.)

### 3.3.3 Ekologisuus

Rhydwenin tutkimuksesta käy ilmi, että hamppubetonin valmistuksessa eniten ympäristölle haittaa aiheuttaa kalkki. Kalkki ei ole uusiutuvaa, siinä on energiaa 800 kg/tonni, se vaatii paljon kaivostoimintaa, joka tuottaa CO<sub>2</sub> päästöjä, ja kalkkipoltouunit käyttävät fossiilisia polttoaineita. (Rhydwen 2009,1).

Kun verrattiin normaalin talon ja hampputalon tuottamaa jätettä huomattiin että hampputalosta tuli pelkästään kierrätettävää jätettä. Jätteet koostuvat pääosin hamppukuitupakettien pahveista, puusta ja kalkista (BRE 2002).

Hamppubetoni tarjoaa hyvän vaihtoehdon ekologiselle rakentajalle. Se tarjoaa nollaenergiataloille ja passiivitaloille ekologisen vaihtoehdon seinärakenteeksi. Etenkin kun tarkkaillaan näiden talotyyppien todellista rakennusperustetta: ympäristöystävällisyyttä ja säästöä.

Hemp Architecture selvitti 1 m<sup>3:n</sup> hamppubetoniseoksen päästöt. Seoksen aineiden tuottamat päästöt olivat: 110 kg hamppupäistärettä, joka imee 202 kg CO<sub>2</sub>-päästöjä ja 220 kg kalkkia, josta muodostuu 94 kg CO<sub>2</sub> päästöjä. Tulokseksi saadaan siis, että hamppu sitoo enemmän CO<sub>2</sub>-päästöjä mitä se tuottaa. (Hemp Architecture 2012.)

Samassa Hemp Architecturen tutkimuksessa selviää myös se, että hamppua tarvitaan noin hehtaari hamppubetonitalon rakentamista varten. On siis mahdollista

kasvattaa tämä hamppu rakennustontilla, ja prosessoida se valmiiksi paikanpäällä. Tämä säästää kuljetuksiin käytettävissä päästöissä. (Hemp Architecture 2012.)

On kuitenkin huomioitava, että Suomessa eristysvaatimukset ovat tiukemmat kuin muualla maailmassa. Hamppua tarvitaan jopa puolet enemmän, jotta päästään vaadittaviin arvoihin.

### **3.3.4 Puuteollisuus ja hamppubetoni**

Puuteollisuus tulee näkemään hampputeollisuuden uhkana, jos ala kasvaa. Puuta kuitenkin tarvitaan paljon hamppubetonitalojen rungoissa, joten se voi jopa auttaa puuteollisuutta. Suomessa puuteollisuus toimii hyvin ympäristöystävällisesti ja puuta tuotetaan enemmän kuin kaadetaan.

Suurimmassa osaa maailmaa puuteollisuus tuhoaa metsiä, jopa sademetsiä. Näiden metsien tuhoaminen johtaa monien eläin- ja kasvilajien sukupuuttoon ja ilmaston lämpenemisen kiihtymiseen.

Suomen kehittyessä nämä ongelmat voivat tulla myös meille arkipäiväisiksi. On myös tärkeää, että Suomen kaltaiset kehittyneet valtiot näyttävät esimerkkiä kasvaville kehitysmaaille, joiden ongelmana on sademetsien tuhoaminen.

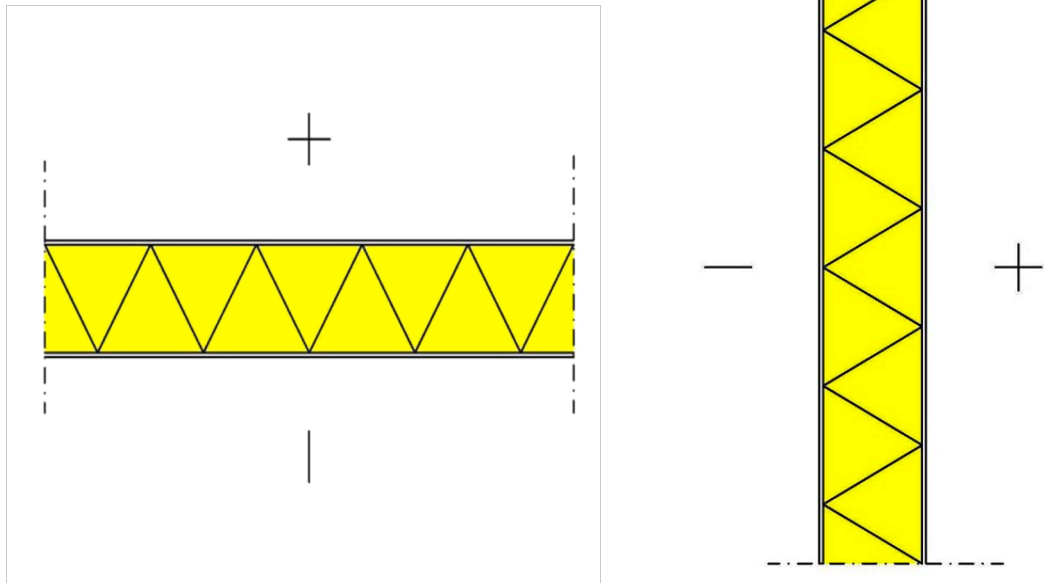
## 4 LASKELMAT JA RAKENNEVERTAILUT

### 4.1 Esimerkkirakenne

Hamppubetonirakenteet ovat hyvin yksinkertaisia. Ne koostuvat puurungosta, ja hamppubetoniseoksesta, jossa käytetään useimmiten kalkkia, vettä ja hamppupäistärettä. Samaa rakennetyyppiä käytetään seinissä, katoissa ja lattioissa. Hamppubetoniseos voidaan sekoittaa erilaisilla seossuhteilla, jolloin eri ominaisuuksia saadaan korostettua. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi lattian vaativammat kestävyysluokat tai katon vaativampi lämmöneristys.



Kuvio 3. Hamppubetoni seinissä, katossa ja lattialla (Hempcrete Australia 2012).



Kuvio 4. Hamppubetonirakenteen rakennekuva.

Hamppubetonin rakennekuva (Kuvio 4) on hyvin yksinkertainen, ja rakenne on sama yläpohjassa, alapohjassa ja seinissä. Ongelmaksi hamppubetonirakenteissa muodostuu materiaalin heikko kulutuskestävyys, jolloin esimerkiksi lattiat vaativat erillisen pinnoitteen. Seinärakenteissa ongelmaksi muodostuu rakenteiden ripustaminen. Esimerkiksi keittiökaappien kiinnitys täytyy ottaa huomioon puurungon suunnittelussa.

#### 4.2 Rakenteen lämmönläpäisy

Lämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan rakennusosien lämmönläpäisykertoimina  $U$  käytetään seuraavia vertailuarvoja laskettaessa rakennuksen vaipan lämpöhäviötä. Vertailuarvo rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti näkyy taulukossa 1:

Taulukko 1. Määräyksien mukaiset U-arvot (RakMK D3 2003).

<b>Ulkoseinä, W/( m<sup>2</sup>K)</b>	0,17
<b>Yläpohja, W/( m<sup>2</sup>K)</b>	0,09
<b>Maanvarainen alapohja, W/( m<sup>2</sup>K)</b>	0,16
<b>Ikkuna, W/( m<sup>2</sup>K)</b>	1

U-arvo saa olla rakennusosan pienissä osissa perustelluista syistä suurempi. Näitä syitä ovat esimerkiksi lujuusvaatimukset. Arvon ollessa suurempi kuin sallittu sitä kompensoidaan muilla osa-alueilla.

Hamppubetonirakenteissa ei ole muita rakennusmateriaaleja kuin hamppubetonia ja puurunkoa. Puurunko peittyy hamppubetoniin, jolloin kylmäsiltoja ei muodostu rakenteeseen.

$$U = 1 / R_T \quad (1)$$

$R_T$  on rakennusosan kokonaislämmönvastus.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + \dots + R_{qn} + R_{se} \quad (2)$$

$R_{si}$  on sisäpuolinen pintavastus

$R_1, R_2, \dots, R_m$  ovat ainekerroksien lämmönvastukset,  $R_m = d_m / \lambda_m$

$d$  on ainekerroksen paksuus

$\lambda$  on ainekerroksen normaalin lämmönjohtavuus

$R_g$  on rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus

$R_b$  on maan lämmönvastus

$R_{q1}, R_{q2}, \dots, R_{qn}$  ovat ohuiden ainekerroksien lämmönvastukset

$R_{se}$  on ulkopuolinen pintavastus

Kaava 1. Rakenteen lämmönläpäisykerroin (RakMK C4 2003).

Lämmönläpäisykerrointa laskiessa täytyy huomioida myös arvoon vaikuttavat kylmäsiltoja, ilmaraot, asennuksen tarkkuus, käännetty kattorakenne, eristeen sisäinen konvektio ja eristeen kastumisen vaikutus. Alapohjarakenteissa täytyy myös huomioida perusmuurin, maan tai ryömintätilan vaikutus. (RakMK C4 2003.)

### 4.3 Laskelmat

Laskelmat perustuvat rakentamismääräyskokoelman RakMK C4 RT RakMK-21217 2003 ohjeisiin (RakMK C4 2003).

#### 4.3.1 Hamppubetonin lämmönjohtavuus

Hamppubetonin lämmönläpäisykerroin seinärakenteella:

hamppubetoniseinä, jossa upotettu 48 mm x 173 mm puurunko. Kokonaispaksuus  $d = 0.34$  m

Lämmönjohtavuus hamppubetoni seinäseos,  $\lambda = 0.08$  W/mK (Rhydwen 2009 s.3-4)

Lämmönjohtavuus puu,  $\lambda = 0.12$  W/mK

Sisäpuolen pintavastus,  $R_{si} = 0.13$  m<sup>2</sup>K/W

Ulkopuolinen pintavastus,  $R_{se} = 0.13$  m<sup>2</sup>K/W

Hamppubetoni lämmönvastus,  $R_{1,1} = 0.34$  m/0.08=4.25 m<sup>2</sup>K/W

Puu lämmönvastus,  $R_{1,2} = 0,173$  m/0,12 W/mK = 1.442 m<sup>2</sup>K/W

Kokonaislämmönvastus:  $0.13$  m<sup>2</sup>K/W +  $0.13$  m<sup>2</sup>K/W +  $4.25$  m<sup>2</sup>K/W +  $1.442$  m<sup>2</sup>K/W  
=  $5.952$  m<sup>2</sup>K/W

Laskelmassa ei käytetä korjaustermejä, sillä rakenteeseen ei muodostu kylmäsiltoja eikä rakenne ole käännetty kattorakenne.

Hamppubetonin lämmönläpäisykerroin maanvaraisella alapohjarakenteella:

hamppubetonialapohja, jossa upotettu 48 mm x 173 mm puurunko. Kokonaispaksuus  $d = 0.61$  m

Lämmönjohtavuus hamppubetoni lattiaseos,  $\lambda = 0.13$  W/mK (Rhydwen 2009 s.3-4)

Lämmönjohtavuus puu,  $\lambda = 0.12$  W/mK

Sisäpuolen pintavastus,  $R_{si} = 0.10$  m<sup>2</sup>K/W

Ulkopuolinen pintavastus,  $R_{se} = 0.04$  m<sup>2</sup>K/W

Hamppubetoni lämmönvastus,  $R_{1,1} = 0.61$  m/0.13 = 4.692 m<sup>2</sup>K/W

Puu lämmönvastus,  $R_{1,2} = 0,173$  m/0,12 W/mK = 1.442 m<sup>2</sup>K/W

Kokonaislämmönvastus:  $0.10 \text{ m}^2\text{K/W} + 0.04 \text{ m}^2\text{K/W} + 4.692 \text{ m}^2\text{K/W} + 1.442 \text{ m}^2\text{K/W} = 6.274 \text{ m}^2\text{K/W}$

Laskelmassa ei käytetä korjaustermejä, sillä rakenteeseen ei muodostu kylmäsiltoja eikä rakenne ole käännetty kattorakenne.

Hamppubetonin lämmönläpäisykerroin yläpohjarakenteella:

hamppubetoniyliäpohja, jossa upotettu 48 mm x 173 mm puurunko. Kokonaispaksuus  $d = 0.76 \text{ m}$

Lämmönjohtavuus hamppubetoni kattoseos,  $\lambda = 0.08 \text{ W/mK}$  (Rhydwen 2009 s.3-4)

Lämmönjohtavuus puu,  $\lambda = 0.12 \text{ W/mK}$

Sisäpuolen pintavastus,  $R_{si} = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$

Ulkopuolinen pintavastus,  $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Hamppubetoni lämmönvastus,  $R_{1,1} = 0.76 \text{ m}/0.08 = 9.5 \text{ m}^2\text{K/W}$

Puu lämmönvastus,  $R_{1,2} = 0.173 \text{ m}/0.12 \text{ W/mK} = 1.442 \text{ m}^2\text{K/W}$

Kokonaislämmönvastus:  $0.17 \text{ m}^2\text{K/W} + 0.04 \text{ m}^2\text{K/W} + 9.5 \text{ m}^2\text{K/W} + 1.442 \text{ m}^2\text{K/W} = 11.152 \text{ m}^2\text{K/W}$

Laskelmassa ei käytetä korjaustermejä, sillä rakenteeseen ei muodostu kylmäsiltoja eikä rakenne ole käännetty kattorakenne.

#### 4.3.2 Lämmönläpäisykerroin

Ulkoseinä:

$U = 1/5.952 \text{ m}^2\text{K/W} = \underline{0.168 \text{ W/m}^2\text{K}}$ . Ulkoseinän vaadittava lämmönläpäisykerroin on  $0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Rakenne täyttää kriteerit.

Maanvarainen alapohja:

$U = 1/6.274 \text{ m}^2\text{K/W} = \underline{0.159 \text{ W/m}^2\text{K}}$ . Maanvaraisen alapohjan vaadittava lämmönläpäisykerroin on  $0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Rakenne täyttää kriteerit.

Yläpohja:

$U = 1/11.152 \text{ m}^2\text{K/W} = \underline{0.089 \text{ W/m}^2\text{K}}$ . Ulkoseinärakenteessa vaadittava lämmönläpäisykerroin on  $0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Rakenne täyttää kriteerit.



### 4.3.3 Vertailu rakennevalmistajien arvoihin

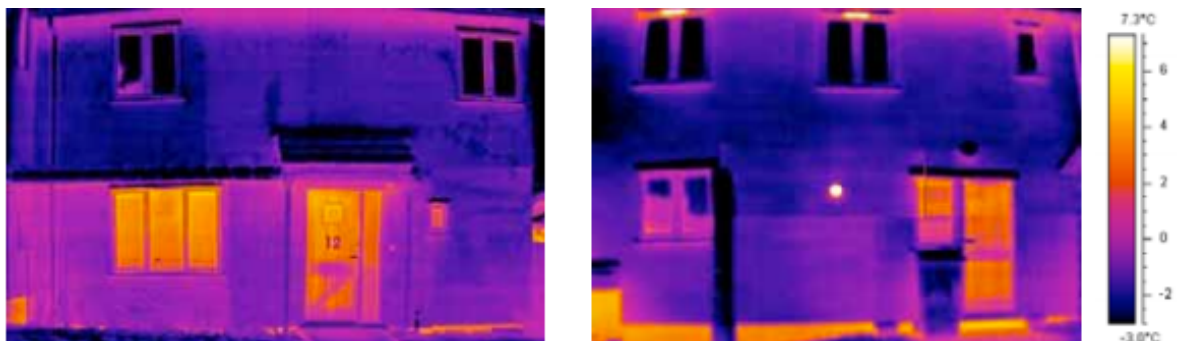
U-arvot ja rakennepaksuudet on saatu liitteenä olevista esimerkkirakenteista. Puurunkorakenteissa maanvaraisena alapohjarakenteena toimii betonilaatta, jonka päällä on puurunko (Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy 2014).

Taulukko 2. Rakenteiden vertailu.

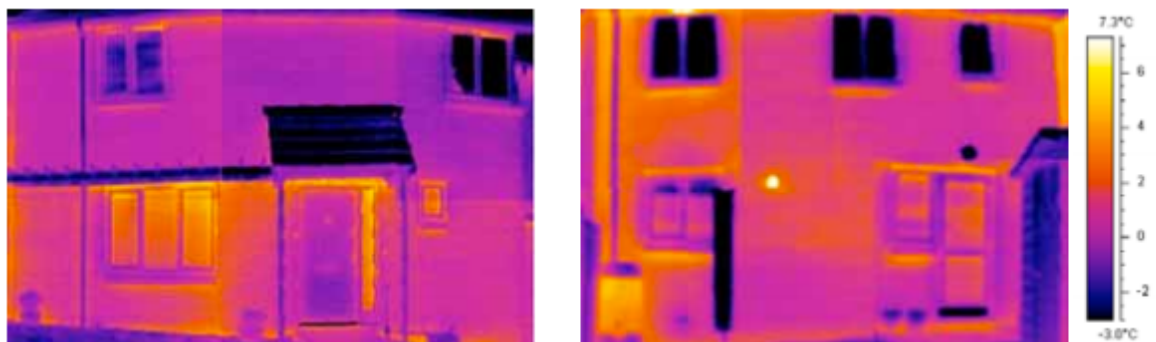
	Hamppubetoni	Isover puurunko	Isover Betonielementtirunko (pelkkä eriste)
Ulkoseinä			
	<b>Paksuus: 0.34 m</b> <b>U-arvo:</b> <b>0.168 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Paksuus: 0.28 m</b> <b>U-arvo:</b> <b>0.130 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Paksuus: (0.2) m</b> <b>U-arvo:</b> <b>0.17 W/m<sup>2</sup>K</b>
Maanvarainen alapohja			
	<b>Paksuus: 0.61 m</b> <b>U-arvo:</b> <b>0.159 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Paksuus: 0.41 m</b> <b>U-arvo:</b> <b>0.150 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Paksuus: 0.45 m</b> <b>U-arvo:</b> <b>0.160 W/m<sup>2</sup>K</b>
Yläpohja			
	<b>Paksuus: 0.76 m</b> <b>U-arvo:</b> <b>0.089 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Paksuus: 0.44 m</b> <b>U-arvo:</b> <b>0.080 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Paksuus: 0.67 m</b> <b>U-arvo:</b> <b>0.080 W/m<sup>2</sup>K</b>

Rakenteiden paksuudessa voidaan huomata suuria eroja, ja hamppubetoni on kaikissa tapauksissa paksumpi. Seinärakenteena hamppubetonilla päästään kuitenkin lähelle muita rakenteita. Pitää myös ottaa huomioon se, että elementtirakenteen paksuutta ei oltu ilmoitettu, pelkästään eristepaksuus. Elementtirakenne vaatiikin vähintään 10 cm lisäyksen betonin paksuudesta. Näin ollen paksuus tulee vähintään samaksi kuin hamppubetonissa. Lattiarakenteen paksuudessa on jo huomattava ero. Lattiarakenteen eristyksen paksuus ei niinkään ole ongelma tilan kannalta. Yläpohjassa elementtirakenteen ja hampun välinen ero on pieni, ja puurakenne on kaikkein ohuin. Hamppurakenteiden paksuusvaatimukset eivät ole niin suuret, että ne vaikuttaisivat merkittävästi rakennuksen suunnitteluun.

Näistä vertailuista ei näy myöskään hamppubetonin lämmönvarauskyky. Massiivisena rakenteena hamppubetoni sitoo paljon lämpöä ja luovuttaa sitä tarvittaessa. Lämpökameralla otetuista kuvista (BRE 2002) tämän näkee rakennusten ulkolämpötilan erona. Tämä ero on noin viisi astetta. Rakennukset ovat pohjapiirustukseltaan identtisiä.



Kuvio 5. Lämpökuva hampputalosta (BRE 2002).



Kuvio 6. Lämpökuva tiilitalosta (BRE 2002).

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Laskelmista käy ilmi hamppubetonirakenteen toimivuus eristeenä. Vastaava rakenne tehtynä perinteisellä menetelmällä ja materiaaleilla tulee hiukan hamppubetonia ohuemmaksi. Toisin sanoen hamppubetoni ei ole eristeenä yhtä tehokas kuin normaalit eristeet. Kyse on kuitenkin niin pienistä eroista, että rakenteet saadaan pidettyä hamppubetonista tehtyinä vielä niin ohuina, että rakennusteollisuus voisi käyttää hamppubetonia korvaamaan nykyisiä rakenteita.

On myös otettava huomioon, että U-arvosta ei voida todeta rakenteen todellista energiansäästöä. Tämä säästö saadaan hamppubetonirakenteiden lämpömassasta, joka sitoo lämpöä ja vapauttaa sitä tarvittaessa tai sitoo kylmää ja vapauttaa sitä viilennystä tarvittaessa. Säästö tulee siis näkyviin vasta rakennusta käytettäessä.

Energiastandardeja pitäisi uudistaa siihen suuntaan, että rakennusmateriaaleja arvosteltaisiin niiden koko elinkaaren mukaan. Näin ympäristöystävällisemmät uusiutuvat materiaalit, kuten hamppubetoni, olisivat varteenotettavampi vaihtoehto verrattuna halvempiin ympäristöä kuormittaviin rakenteisiin. Koska energiastandardin pääasiallisena tavoitteena on ilmastomuutoksen torjuminen, olisi tärkeää tavoitella sitä kaikin mahdollisin tavoin.

Hamppubetoni tarjoaa ekologisen vaihtoehdon normaaleille rakennusmateriaaleille. Ongelmia on kuitenkin monia. Hamppubetonin suosion tulee kasvaa, jotta hintaa saadaan alas, osittain hintaa laskee myös se, että hampusta saadaan myös ravintoa ja materiaaleja muillekin aloille. Rakentajien tulee oppia käyttämään uutta materiaalia ja sen vaatimia menetelmiä. Kehittyneemmät muotit ja muut uudet apuvälineet voisivat tehostaa tuotantoa, jolloin rakentaminen olisi nopeampaa, mikä myös auttaisi ajamaan hintaa alas.

On tärkeää huomata, että hampusta ei muodostu hukkaa, vaan kaikki kasvin osat voidaan hyödyntää. Kuitua saadaan myös huomattavasti enemmän kuin puusta tai muista kasveista, ja kaikki jopa yhden kesän aikana. Vaikka hampulla on paljon käyttöarvoa, ei hampun viljelyllä ole Suomessa vielä suosiota, jonka se ansaitsisi. Uudet innovatiiviset tuotteet, kuten hamppubetoni, auttavat tähän ongelmaan.

Hamppubetoni tulisi siis nähdä hyödykkeenä, joka auttaa monia eri aloja, ei vain rakennusteollisuutta.

Todennäköisesti ei ole kysymys siitä, tuodaanko hamppubetoni Suomen markkinoille, vaan siitä milloin se tuodaan. Alalla on jo nyt kysyntää ja toimiva yritys voisi tätä hyödyntää.

On myös otettava huomioon, että ilmastonmuutoksen torjumiseksi tullaan olemaan valmiita maksamaan enemmän. Ihmiset huomaavat, että tämä sijoitus ei ole turha, vaan se tuottaa puhtaampia päiviä tulevina vuosina. Ilmastonmuutos ei ole enää tulevaisuudenkuva, vaan se on nykypäivää.

## LÄHTEET

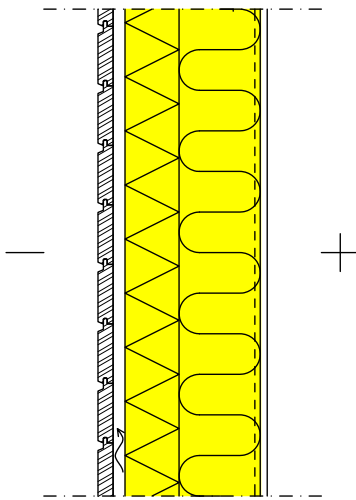
- Allin. S. 2012. Building with hemp. Englanti. Seed Press.
- BRE. 2002. Final Report on the Construction of the Hemp Houses at Haverhill, Suffolk. [www-sivu]. Suffolk Housing Society Ltd. [viitattu 18.4.2014]. Saatavana: <http://projects.bre.co.uk/hemphomes/HempHousesatHaverhillfinal.pdf>
- BuildingGreen.com. 1993. Cement and Concrete: Environmental Considerations [www-sivu]. BuildingGreen, Inc. [viitattu 20.3.2014] Saatavana: <http://www.wbcscement.org/pdf/2/cementconc.pdf>
- C4 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Lämmöneristys Ohjeet. 2003. [www-sivu]. [viitattu 18.3.2014] Saatavana: <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>
- Clark. E. 1.7.2011. Cannabis Sativa for Health and Hemp. Nova Science Publishers.
- Concrete International. 2001. Reducing the Environmental Impact of Concrete. [www-sivu]. American Concrete Institute. [viitattu 20.3.2014]. Saatavana: <http://ecosmartconcrete.com/docs/trmehta01.pdf>
- Ecobrooklyn inc. 2011. Kuvailaus. [www-sivu]. [lainattu 29.4.2014]. Saatavana: <http://ecobrooklyn.com/tadelakt-moroccan-plaster-technique/>
- European Central Bank ECB. 1.1.2001. Valuuttakurssi. [www-sivu]. [viitattu 24.4.2014] Saatavana: <http://www.ecb.europa.eu/home/html/index.en.html>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. 19.5.2010 [www-sivu]. Euroopan Unionin virallinen lehti. [viitattu 18.3.2014] Saatavana: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF>
- Hawken, P. Lovins, E. & Levins, H. 1999. Natural Capitalism—Creating the Next Industrial Revolution. Little Brown and Co.
- Hemp Architecture. Hemp-lime. 2012. [www-sivu]. [viitattu 18.4.2014]. Saatavana: <http://www.hemparchitecture.com/ - /hemp-lime/>
- Hemprefine. 2014. Uutiskirje. [www-sivu]. [viitattu 20.3.2014] Saatavana: [http://issuu.com/hemprefine/docs/hemprefine\\_uutiskirje\\_012014/5?e=7547774/6317974](http://issuu.com/hemprefine/docs/hemprefine_uutiskirje_012014/5?e=7547774/6317974)
- Hemp Technologies Global. 2013. Kuvailaus. [www-sivu]. [lainattu 29.4.2014] Saatavana: <http://www.hemp-technologies.com/page15/page16/page16.html>

- International Journal of Sustainable Building technology and Urban Development. 9.7 2013. Structural benefits of hempcrete infill in timber stud walls [www-sivu]. [viitattu 18.4.2014] Saatavana: [http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/2093761X.2013.834280-.U1PhFOZ\\_tdU](http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/2093761X.2013.834280-.U1PhFOZ_tdU)
- Isomäki, R. 2008. Rakentaminen ja Ilmastonmuutos. [Verkkolehtiartikkeli]. RY Rakennettu ympäristö (2). [viitattu 18.3.2014] Saatavana: [http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/P\\_1.html](http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/P_1.html)
- Kymäläinen, H-R. 2004. Quality of Linum usitatissimum L. (flax and linseed) and Cannabis sativa L. (fibre hemp) during the production chain of fibre raw material for thermal insulations . Helsingin Yliopisto. Department of Agricultural Engineering and Household Technology. Tutkimus. Julkaisematon.
- Mukherjee. 2012. Structural benefits of hempcrete infill in timber stud walls. Canada. Queen's University.
- Rakennettu Ympäristö. 1.2.2008. Rakentaminen ja ilmastonmuutos. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2014] Saatavana: [http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/P\\_1.html](http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/P_1.html)
- Rhydwen. 2012. Building with Hemp and Lime. Englanti. MSC Architecture: AEES
- Robinson. 1996. The Great Book of Hemp: The Complete Guide to the Environmental, Commercial, and Medicinal Uses of the World's Most Extraordinary Plant. Vermont: Park Street Press.
- Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. 2014. Isover eristeet. Rakennekirjasto. Ei päiväystä. [www-sivu]. [viitattu 22.4.2014] Saatavana: <http://www.isover.fi/suunnittelu/rakennekirjasto>
- The Limecrete Company. Ei päiväystä. Hempcrete factsheet. [www-sivu]. [viitattu 22.4.2014] Saatavana: <http://www.limecrete.co.uk/docs/Hempcrete-Factsheet.pdf>

# LIITTEET

## Liite 1 Puurunkoinen ulkoseinä

Rakennuskohde	Sisältö	Lämpimän tilan ulkoseinä, puurunko, lautaverhous
Suunnittelija	Työ nro	MEUS 1101A
	Päiväys	



### RAKENNE ULKOA SISÄLLE:

Ulkoverhous

22 mm	Tuuletusrako ja koolaus 22x100 k600
100 mm	Tuulensuoja ja lämmöneriste ISOVER RKL-31 Facade, saumat teipataan
150 mm	Lämmöneriste ISOVER KL-33 ja kantava runko 50x150 k600
	Höyrynsulku ISOVER VARIO
13 mm	Kipsilevy GYPROC GN 13 tai GEK 13
	Pintakäsittely huoneselosteen mukaan

Paloluokka: REI 60 (palo ulkoapäin)

Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus  $\lambda_d$ )

U-arvo 0,13 W/m<sup>2</sup>K

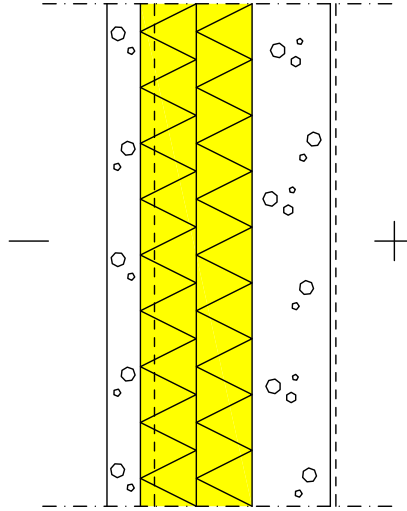
### Lämmönläpäisykerroin:

VERSIO	ERISTEKERROS	U-ARVO
A	ISOVER KL-33 150mm + RKL-31 Facade 100mm	U=0,13
B	ISOVER KL-33 175mm + RKL-31 Facade 75mm	U=0,14
C	ISOVER KL-33 200mm + RKL-31 Facade 50mm	U=0,14
D	ISOVER KL-33 225mm + RKL-31 Facade 30mm	U=0,14

U-arvon korjaustermi  $\Delta U = 0,000$  W/m<sup>2</sup>K.

## Liite 2 Betonielementtirunkoinen ulkoseinä

Rakennuskohde	Sisältö Lämpimän tilan ulkoseinä, betonisandwich-elementti	
Suunnittelija	Työ nro	US 3301A
	Päiväys	



RAKENNE ULKOA SISÄLLE:  
 Pintakäsittely tai ulkoverhous työselosteen mukaan  
 Teräsbetoninen ulkokuori, rakennesuunnitelmien mukaan  
 200 mm Uritettu ja urasuojattu lämmöneriste ISOVER OL-E 32 (\*)  
 Teräsbetoninen sisäkuori, rakennesuunnitelmien mukaan  
 Pintakäsittely huoneselosteen mukaan

Ääneneristävyyys:  $R'_{w} \sim 54\text{dB}$   
 Paloluokka: REI 60,  
 EI 120, kts. elemnttivalmistajan ohjeet  
 Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus  $\lambda_d$ )  
 U-arvo 0,17  $\text{W/m}^2\text{K}$

Lämmönläpäisykerroin:

VERSIO	ERISTEKERROS	U-ARVO
A	ISOVER OL-E 32 (USL) 200mm	U=0,17
B	ISOVER OL-E 35 (USL) 220mm	U=0,17

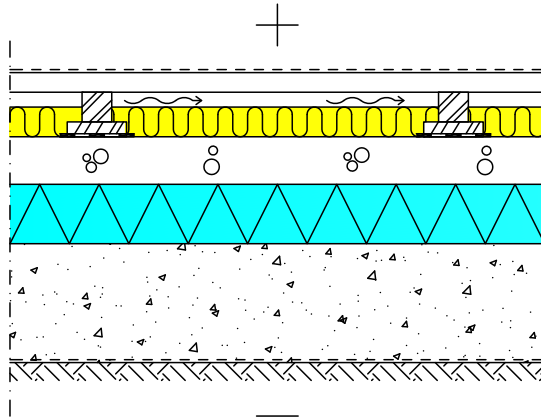
U-arvon korjaustermi  $\Delta U = \Delta U_f = 0,007 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Elementin RST-ansaat.

(\*) 220mm on eristeen nimellispaksuus. U-arvossa on huomioitu eristeen 5mm painuma.



### Liite 3 Puurunkoinen maanvarainen alapohja

Rakennuskohde	Sisältö Puolilämpimän tilan alapohja	
Suunnittelija	Työ nro	PLAP 1102
	Päiväys	



Rakenne ylhäältä alaspäin:

33 mm	Pintamateriaali- ja/tai -käsittely (hengittävä) huoneselityksen mukaan
25 mm	Lattialaudoitin, ponttilauta 33x95
50 mm	Ilmarako, yhdistetään jalkalistan kautta huonetilaan
	Lämmöneriste ISOVER KL-33 ja koolaus 50x50 k600 + aluslauta 25x100, alla bitumikermikaista
100 mm	Kantava rakenne, paikalla valettu teräsbetonilaatta rakennesuunnitelmien mukaan
>200 mm	Lämmöneriste STYROFOAM 300 SL-A-N
	Koneellisesti tiivistetty kapillaarisen vedennousun katkaiseva kerros, esim. pesty sepeli tai salaojasora
	Kuitukangas (tarvittaessa)
	Perusmaa, kaivurajojen kallistus salaojiin 1:100

Variaatio	Maalaji	Rakenneratkaisu (U-arvo)	
		Reuna-alue 0.1m sokkelista	Sisäalue
A	Savi, salaojitettu hiekka ja sora	KL-33-50mm + SL-A-N 60mm (0,24)	KL-33 50mm + SL-A-N 60mm (0,15)
B	Hiesu, ja hieta, salaojittamaton hiekka ja sora, moreeni	KL-33 50mm + SL-A-N 70mm (0,24)	KL-33 50mm + SL-A-N 70mm (0,18)
C	Kallio	KL-33 50mm + SL-A-N 80mm (0,24)	KL-33 50mm + SL-A-N 80mm (0,19)
D	Maan lämmönvastusta ei huomioitu, tasauslaskentaa varten	KL-33 50mm + SL-A-N 100mm (0,23)	

U-arvovaatimus puolilämpimän tilan maanvastaiselle alapohjalle on 0,24 W/m<sup>2</sup>K.

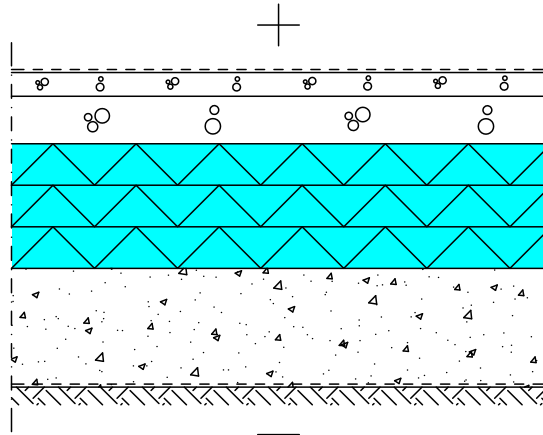
Käytetyt eristemateriaalit: ISOVER KL-33 Mineraalivilla 50mm  
STYROFOAM 300 SL-A-N (XPS) 50...60mm tai 70...100mm

U-arvon korjaustermi ΔU = 0,000 W/m<sup>2</sup>K.

**HUOM!** Maanvastaisen alapohjan kosteusteknisen toimivuuden kannalta vähintään 2/3 lämmöneristeestä olisi yleenstä syytä sijoittaa batonilaatan alapuolelle.

## Liite 4 Betonista valmistettu maanvarainen alapohja

Rakennuskohde	Sisältö Lämpimän tilan alapohja, maanvastainen TB-laatta	
Suunnittelija	Työ nro	AP 1101
	Päiväys	



Rakenne ylhäältä alas:

- Pintamateriaali- ja/tai -käsittely huoneselityksen mukaan
- 40 mm Tasausbetoni (tarvittaessa)
- Kantava rakenne, paikalla valettu teräsbetoni-laatta rakennesuunnitelmien mukaan
- 210 mm Lämmöneriste STYROFOAM 300 SL-A-N
- >200 mm Koneellisesti tiivistetty kapillaarisen vedennousun katkaiseva kerros, esim. pesty sepeli tai salaojasora
- Kuitukangas (tarvittaessa)
- Perusmaa, kaivurajojen kallistus salaojiin 1:100

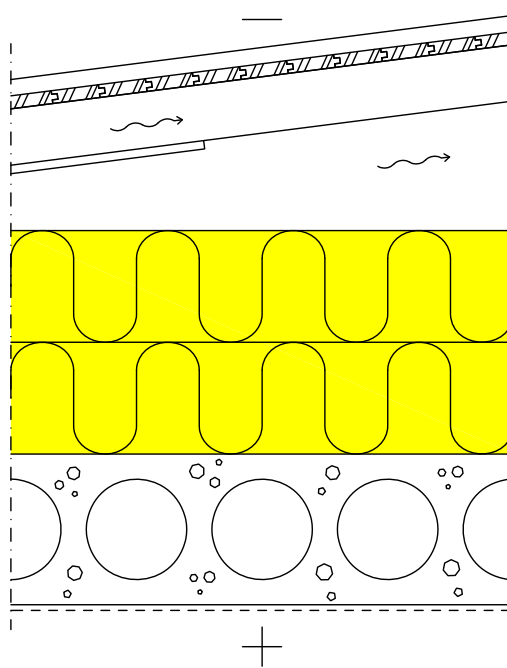
Variaatio	Maalaji	Rakennetkaisu (U-arvo)	
		Reuna-alue 0..1m sokkelista	Sisäalue
A	Savi, salaojitettu hiekka ja sora	SL-A-N 100mm+80mm (0,16)	SL-A-N 100mm (0,16)
B	Hiesu, ja hieta, salaojittamaton hiekka ja sora, moreeni	SL-A-N 70mm+70mm+50mm (0,16)	SL-A-N 70mm+70mm (0,16)
C	Kallio	SL-A-N 100mm+100mm (0,16)	SL-A-N 100mm+60mm (0,16)
D(*)	Maan lämmönvastusta ei huomioitu, tasauskentaa varten	SL-A-N 70mm+70mm+70mm (0,16)	

U-arvovaatimus lämpimän tilan maanvastaiselle alapohjalle on 0,16 W/m<sup>2</sup>K.  
 (\*) Energiatodistusta laskettaessa maan lämmönvastusta ei saa huomioida.

U-arvon korjaustermi  $\Delta U = 0,000 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

## Liite 5 Betonielementti yläpohja

Rakennuskohde	Sisältö Lämpimän tilan ontelolaattayläpohja, levyvilla	
Suunnittelija	Työ nro	MEYP 1201
	Päiväys	



### RAKENNE YLHÄÄLTÄ ALAS:

Ruoteet ja vesikate aluskatteineen rakennesuunnitelmien mukaan  
Reuna-alueilla kattokannattajien välissä tuulenohjain, noin 1,2m ulkoseinältä  
Tuuletettu ilmatila

400 mm Levyvilla ISOVER KL-33

Kattokannattajat rakennesuunnitelmien mukaan, tässä k900

265 mm Kantava rakenne ontelolaatta rakennesuunnitelmien mukaan  
Pintakäsittely huoneselosteen mukaan

Paloluokka: REI 60, ontelolaattavalmistajan ohjeiden mukaan

Ääneneristävyys:  $R'_w = 54$  dB, ontelolaattavalmistajan ohjeiden mukaan

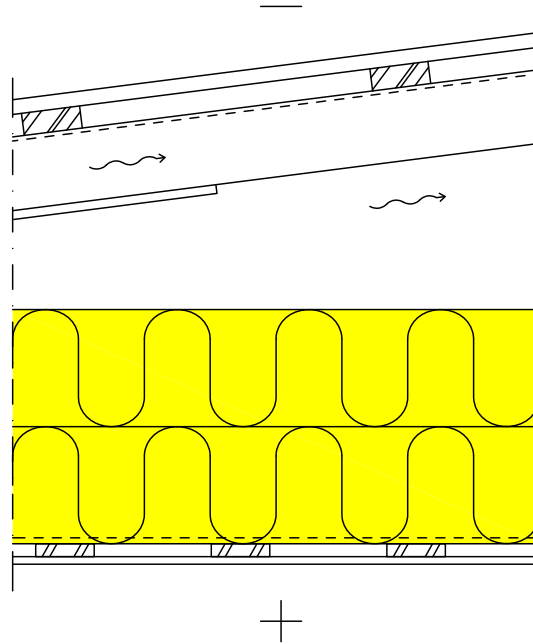
Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus  $\lambda_d$ )

U-arvo  $0,08$  W/m<sup>2</sup>K

U-arvon korjaustermi  $\Delta U = 0,000$  W/m<sup>2</sup>K.

## Liite 6 Puurunkoinen yläpohja

Rakennuskohde	Sisältö Lämpimän tilan yläpohja, NR-kattoristikko, levyvilla	
Suunnittelija	Työ nro	MEYP 1101
	Päiväys	



- RAKENNE YLHÄÄLTÄ ALAS:
- Ruoteet ja vesikate aluskatteineen rakennesuunnitelmien mukaan  
 Reuna-alueilla kattokannattajien välissä tuelenohjain, noin 1,2m ulkoseinältä  
 Tuuletettu ilmatila  
 400 mm Levyvilla ISOVER KL-33  
 Kattokannattajat rakennesuunnitelmien mukaan, tässä k900  
 Höyrynsulku ISOVER VARIO  
 22 mm Harvalauditus 22x100 k300  
 13 mm Kipsilevy GYPROC GN 13  
 Pintakäsittely huoneselosteen mukaan
- Paloluokka: REI 30 luokkaan 2xGN 13 tai GF 15 Gyprocin ohjeiden mukaan  
 Ääneneristävyys:  
 $R'_w \geq 30\text{dB}$ , yksinkertainen levytys  
 $R'_w \geq 30-35\text{dB}$ , kaksinkertainen levytys  
 Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus  $\lambda_d$ )  
 U-arvo 0,08 W/m<sup>2</sup>K

U-arvon korjaustermi  $\Delta U = 0,000 \text{ W/m}^2\text{K}$ .