

Mikael Westermarck & Juha Vinha

Esiselvitys luonnonmukaisista rakennustuotteista ja niiden käyttöpotentiaalista

Nature CO2 -hanke

Hankkeen loppuraportti
Heinäkuu 2023



Funded by the European Union –
NextGenerationEU

Tampereen yliopisto
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Rakennustekniikka
Rakennusfysiikan tutkimusryhmä

Ympäristöministeriön, yksityisten yritysten ja Tampereen yliopiston rahoittaman tutkimus- ja kehittämishankkeen ” Esiselvitys vähähiilisistä ja luonnonmukaisista rakennustuotteista ja niiden käyttöpotentiaalista” loppuraportti.

Sarjan nimi ja osan numero: Tampereen yliopisto. Rakennustekniikka. Tutkimusraportti 5

ISBN 978-952-03-2835-1 (verkkojulkaisu)

Julkaisun pysyvä linkki: [https://urn.fi/URN:ISBN: 978-952-03-2835-1](https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2835-1)

Tampere 2023

Tähän julkaisuun liittyvät tiedostot tulevat saataville seuraavaan internet-osoitteeseen:
<https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/>

Kannen kuva: Ada Ala-Härkönen
Tampere 2023

Tiivistelmä

Mikael Westermarck & Juha Vinha: Esiselvitys luonnonmukaisista rakennustuotteista ja niiden käyttöpotentiaalista

Tampereen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta, Rakennusfysiikan tutkimusryhmä

Hankkeen loppuraportti

Heinäkuu 2023

Luonnonmukaiset rakennustuotteet, eli NBB-tuotteet (nature-based building products), koostuvat maa- ja metsätaloudesta sekä maankaivuusta saatavista raaka-aineista ja niitä voidaan tuottaa ilman korkeita lämpötiloja. Näiden vähähiilisten tuotteiden valmistus ja käyttö ovat yleistyneet nopeasti Keski-Euroopassa ja tietoa näistä tuotteista halutaan tuoda myös Suomen rakennusaineteollisuuteen. Hankkeen päätehtävinä on rakennustuotteiden kartoitus, hiilitaseiden laskenta ja vertailu sekä tuotteiden käyttöpotentiaalin selvitys. Samalla pyritään selvittämään tuotteiden ja rakenteiden tutkimus- ja kehitystarpeita sekä hahmottamaan rakentamisen vähähiilisyyden alarajaa.

Euroopassa teollisesti valmistettavien NBB-tuotteiden kartoituksessa löytyi suuri määrä tuotteita, joista tehtiin niiden teknisten ominaisuuksien sekä valmistus- ja käyttötapojen perusteella 11 tuotekorttia. Hankkeessa tehdyn selvityksen mukaan kartoitetut tuotteet sopisivat hyvin täydentämään Suomessa käytössä olevia puurakenteita, ja näiden yhdistelmistä voitaisiin innovoida useita talonrakennuskonsepteja.

Kartoituksessa selvitettiin myös NBB-tuotteiden vaikutuksia sisäilman olosuhteisiin ja terveellisuuteen, jotka perustuvat pitkälti niiden rakennusfysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin, kuten huoneilman kosteuden ja lämpötilan tasapainotuskykyyn, rakenteiden vikasietoisuuteen ja kosteusturvallisuuteen, kemiallisiin päästöihin ja myrkyttömyyteen sekä hajujen eliminointiin. Vaikutukset sisäilman olosuhteisiin ja terveellisuuteen puoltavatkin vahvasti NBB-tuotteiden käyttöä.

Saatavilla olevien ympäristöselosteiden perusteella NBB-tuotteilla voitaisiin tällä hetkellä laskea tavanomaisten puurakenteiden hiilijalanjälkeä arviolta 10–15 %. Tulevaisuudessa investointi- ja tuotantomäärillä sekä uusiutuvilla energialähteillä on kuitenkin suuri vaikutus NBB-tuotteiden tuotantokustannuksiin ja hiilijalanjälkeen, joten on vielä vaikea sanoa, miten alas niiden hinnat ja hiilijalanjäljet tulevat laskemaan. Suomessa on kuitenkin jatkuvasti kasvavan tuulivoimakapasiteetin sekä hyvän raaka-ainesaatavuuden puolesta erinomaiset lähtökohdat luonnonmukaisten ja vähäpäästöisten rakennustuotteiden valmistukseen, mikä samalla toisi omavaraisuutta rakennusainetuotantomme. Hankkeessa ehdotetaan myös menetelmää ottaa huomioon tuotteiden hiilikädenjälki käyttämällä biopohjaisen rakennusjätteen hiilen talteenottoa. Esimerkiksi pyrolysoinnilla rakenteisiin varastoituneesta hiilestä jäisi noin puolet palaamatta ilmakehään. Yksivuotiset kasvit rakennustuotteiden raaka-aineena eivät liioin aiheuteta hiilinielun katoa.

NBB-tuotteiden käyttöpotentiaalia Suomessa selvitettiin työpajan ja tuotenäyttelyn sekä näitä seuraavan internet-kyselyn avulla. Tuotekyselyssä parhaiten ymmärrettävästi pärjäsivät tuotteet, joita jo käytetään Suomessa ja vastaajat hyväksyisivät keskimäärin 15–20 % tavanomaisia rakennustuotteita korkeammat hinnat.

Hankkeessa on käynyt selväksi, että NBB-tuotteiden kehitykselle ja tutkimukselle on suuri tarve. Alan tuotekehitys, koulutus ja yleinen edistäminen sopisivat hyvin osaksi Tampereen yliopiston rakennetun ympäristön tiedekunnan toimintaa esimerkiksi innovaatiokeskuksen muodossa, mutta sille pitäisi löytää myös yliopiston ulkopuolista rahoitusta.

Avainsanat: Luonnonmukaiset rakennustuotteet, vähähiilinen rakentaminen, kestävä rakentaminen, hiilijalanjälki, hiilikädenjälki, terve talo, rakennusainetuotanto, puu, olki, savi, hamppu

Abstract

Mikael Westermarck & Juha Vinha: Preliminary Study of Nature Based Building Products and their potential use

Tampere University, Faculty of Built Environment, Building Physics Research Group

Final technical report of the project

July 2023

Nature-based building products (NBB products) consist of raw materials obtained from agriculture and forestry as well as earth excavation and can be produced without high temperatures. The production and use of these low-carbon products have rapidly become common in Central Europe, and information about these products is also wanted to be brought to the Finnish construction materials industry. The main tasks of the project are the mapping of NBB products, the calculation and comparison of carbon balances, and the investigation of the potential use of these products in Finland. At the same time, the aim is to find out the research and development needs of the products and structures and to outline the lower limit of low-carbon construction.

In the mapping of industrially produced NBB products in Europe, a large number of products were found. All together 11 product cards were made based on their technical characteristics, methods of manufacture and use. According to the study carried out in the project, the mapped products would be well suited to complement the wooden structures in use in Finland, and several concepts of house building could be innovated from their combinations.

The survey also investigated the effects of NBB products on indoor air conditions and health, which are largely based on their building physical and chemical properties, such as the ability to balance the humidity and temperature of the indoor air, the fault tolerance and moisture safety of the structures, chemical emissions and non-toxicity, and the elimination of odors. The effects on indoor air conditions and health strongly support the use of NBB products.

Based on the available environmental reports, NBB products could currently reduce the carbon footprint of conventional wooden structures by an estimated 10–15%. However, in the future, investment and production volumes as well as renewable energy sources will have a great impact on the production costs and carbon footprint of NBB products, so it is still difficult to say how much their prices and carbon footprints will decrease. However, due to the constantly growing wind power capacity and good availability of raw materials, Finland has excellent starting points for the production of nature-based and low-emission construction products, which would also bring self-sufficiency to our construction material production. The project also proposes a method to take into account the carbon handprint of products by using carbon capture from bio-based construction waste. For example, about half of the carbon stored in structures would not return to the atmosphere when treated with pyrolysis. By using annual plants as a raw material for construction products, there is no loss of the carbon sink either.

The potential use of NBB products in Finland was investigated with the help of a workshop and a product exhibition, as well as a following internet survey. In the product survey, products that are already used in Finland fared the best, and the respondents would accept, on average, 15–20% higher prices than conventional construction products.

This project has shown that there is a great need for the development and research of NBB products. Product development, education and general promotion of the field would be well suited to the activities of the University of Tampere's built environment faculty, for example in the form of an innovation centre. However, funding for this should also be found from outside the university.

Keywords: Nature-based building products, sustainable construction, carbon footprint, carbon handprint, healthy house, building material production, wood, straw, clay, hemp, CCS, CCU

Alkusanat ja sisällysluettelo

Tämä esiselvitys tehtiin Tampereen yliopiston Rakennustekniikan yksikössä ajalla 1.5.-31.12.2022. Hankkeen kokonaisbudjetti oli 55 000 euroa, ja sen rahoitus jakautui seuraavasti:

- Ympäristöministeriö 40 %, 22 000 €, Vähähiilinen rakennettu ympäristö -tukihankkeesta
- Tampereen yliopisto 16 %, 9 000 €
- Yritykset 44 %, 24 000 €. Restart Oy, Punkaharjun Puutaito Oy, EcoUp Oyj, Termex-Eriste Oy, EHTA Talot Oy, Pohjola Talot – Oy Nord Finnhaus Ltd, ProSolve Oy, Puurakentajat Group Oy, Rakennusasiaintoimisto Aarre Oy ja Saatsi Arkkitehdit Oy

Selvityksen suoritti arkkitehti Mikael Westermarck rakennusfysiikan tutkimusryhmän professorin Juha Vinhan johdolla. Hiilitaseisiin liittyvää ohjeistusta on antanut lisäksi rakennustuotannon ohjauksen professori Arto Saari.

Ohjausryhmä koostui tutkijan ja ohjaajan lisäksi rahoittajista, niiden edustajista sekä muista alan asiantuntijoista. Ohjausryhmän kokonpano oli seuraava:

- Maija Stenvall, ympäristöministeriö
- Lauri Leppänen, Restart Oy
- Tero Tirronen, Punkaharjun Puutaito Oy
- Juho Laaksonen, Dynaamiset rakenteet Ry
- Akseli Romppainen, EcoUp Oyj
- Pasi Typpö, Termex-Eriste Oy
- Olli Hautala, EHTA Talot Oy
- Kimmo Kangas, Pohjola Talot – Oy Nord Finnhaus Ltd
- Janne Salmela, Prosolve Oy
- Mikko Leino, Puurakentajat Group Oy
- Minna Aarnio, Rakennusasiaintoimisto Aarre Oy
- Pekka Saatsi, Saatsi Arkkitehdit Oy
- Timo Hokkanen
- Timo Kallio
- Arto Saari
- Eero Tuominen
- Mikael Westermarck
- Juha Vinha

Erityisen kiitoksen ansaitsee arkkitehtiylloppilas Ada Ala-Härkönen Aalto-yliopistosta avustamisesta työpajan järjestämisessä ja varsinkin sen ryhmätyöosuuteen sekä tuotenäyttelyyn liittyvissä tehtävissä. Kiitoksen ansaitsee myös laboratorioassistentti Tomi Vuori NBB-tuotteiden esittelyyn tarkoitettun näyttelyvaunun rakentamisesta.

Haluamme kiittää myös ohjausryhmää kokonaisuudessaan aktiivisista keskusteluista esiselvityksen tiimoilta, varsinkin Eero Tuomista, Timo Hokkasta ja Timo Kalliota.

Lisätietoja hankkeesta antaa:

Mikael Westermarck, Mikael.Westermarck@tuni.fi

Tampereella 17.7.2023

Sisällysluettelo

Alkusanat ja sisällysluettelo	5
1. Johdanto	7
2. Rakennustuotteiden kartoitus	9
2.1. Kartoituksen lähtökohdat ja menetelmät.....	9
2.2. Katsaus tuotekortteihin	10
2.2.1. Olkielementit.....	10
2.2.2. Kasvipohjaiset eristevillat	11
2.2.3. Lampaanvillaeristeet.....	12
2.2.4. Puhalluseristeet	12
2.2.5. Korsipuristelevyt	13
2.2.6. Ruokolevyt ja –matot.....	13
2.2.7. Savilaastit	14
2.2.8. Savilevyt	15
2.2.9. Savimassat ja –elementit	16
2.2.10. Savitiilet ja –laatat.....	16
2.2.11. Maalit ja pinnoitteet	17
2.3. Puu luonnonmukaisissa rakenteissa	18
2.4. Vaikutukset sisäilmaan – rakennusfysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet.....	20
3. Hiilitaseiden laskenta	23
3.1. Laskennan lähtökohdat ja menetelmät	23
3.2. Hiilijalanjäljen selvitys	25
3.3. Hiilikädenjäljen selvitys.....	30
3.4. Talousseikkoja.....	32
4. Työpaja ja käyttöpotentiaalin selvitys	33
4.1. Työpajan lähtökohdat ja menetelmät	33
4.2. Kyselyn tulokset	34
4.3. Alustava kerrostalorakentamisen paloselvitys	36
5. Kotisivu.....	38
6. Innovaatiokeskuksen selvitys.....	39
7. Johtopäätökset.....	40
Lähdeluettelo	43
Liitteet	45
a. Luonnonmukaisten rakennustuotteiden tuotekortit.....	45
b. Hiilitaselaskelmat	68

1. Johdanto

Rakennustieto Oy kustansi vuonna 1998 Teknillisen korkeakoulun julkaiseman raportin Luonnonmukaiset rakennusaineet (Westermarck M. L., 1998), joka käsitteli luonnonmukaisten raaka-aineiden käyttöä lähinnä perinnerakentamisessa. Samasta aiheesta löytyy myös monia suppeampia opinnäytetöitä sekä raaka-aineiden hyödyntämisen näkökohdasta aihetta on käsitelty muun muassa Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit -hankkeessa (OuluAMK, 2020), Rannasta rakennukseen – hankkeessa (TurkuAMK1, 2007), Ruoko rakennusmateriaalina –hankkeessa (TurkuAMK2, 2013) sekä Rakennetaan hampusta –hankkeessa (TurkuAMK3, 2020).

Luonnonmukaiset rakennusaineet -kirja kartoitti myös teollisesti valmistettuja luonnonmukaisia rakennustuotteita (**Nature-Based Building Products, eli NBB-tuotteita**), joita silloin löytyi vain muutamia. Kolmessa vuosikymmenessä NBB-tuotteiden valmistus ja käyttö on kuitenkin laajentunut nopeasti Keski-Euroopassa ja nykyään on tarjolla kymmeniä tuotteita ja laajoja tuoteperheitä.

Suomi, kuten muut Pohjoismaat, ovat tässä mielessä jääneet jälkeen kehityksestä ja siksi tässä hankkeessa tuodaan tietoa teollisesti valmistetuista NBB-tuotteista Suomen rakennusalalle, ja selvitetään muita alaan olennaisesti liittyviä seikkoja. Myös Suomessa tarvittaisiin vastaavaa tuotantoa, tuotekehitystä ja tutkimusta, jotta rakentamisen hiilijalanjälkeä saataisiin laskettua. Tällä vähähiilisten rakennustuotteiden selvityksellä voidaan auttaa myös ympäristöministeriötä asettamaan hiilijalanjäljen raja-arvot päästöjen vähentämisen kannalta vaikuttavalle, mutta mahdolliselle tasolle.

NBB-tuotteet koostuvat maa- ja metsätaloudesta sekä maankaivuusta saatavista raaka-aineista ja niitä voidaan tuottaa ilman korkeita lämpötiloja (Kuva 1). Juuri korkeat lämpötilat vaativat fossiilisia polttoaineita ja aiheuttavat suuria kasvihuonepäästöjä tällä hetkellä.



Puuaines



Kiviaines



Korsiaines



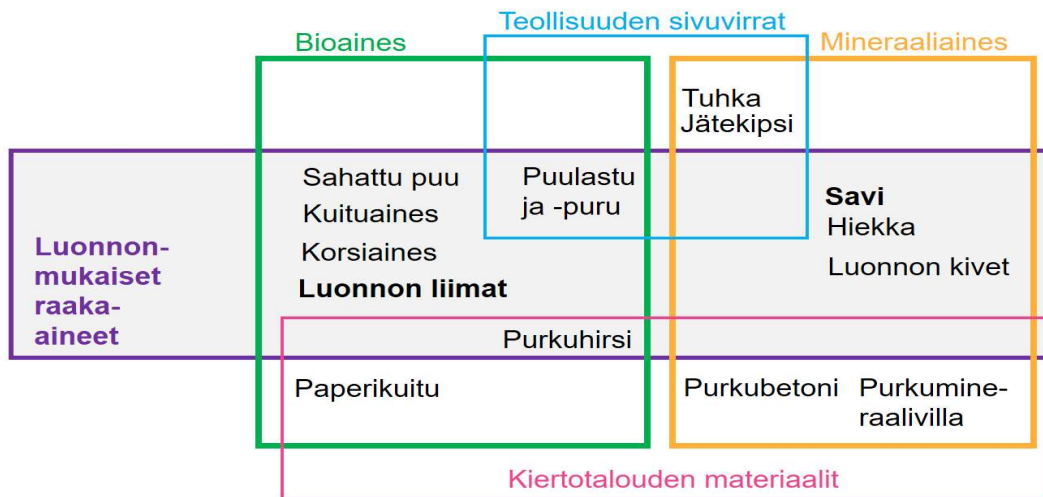
Kuituaines



Luonnon liimat

Kuva 1. NBB-tuotteiden raaka-aineita.

Niillä on yhteisiä osa-alueita muiden vähähiilisten materiaalityyppien, kuten biopohjaisten materiaalien, kiertotalouden materiaalien sekä teollisuuden sivuvirtojen kanssa (Kuva 2).



Kuva 2. Luonnonmukaisten raaka-aineiden suhde muihin vähähiilisiin raaka-aineisiin.

NATURE CO2 -hanke koostui viidestä osatehtävästä, jotka lomittuivat ajallisesti (Kuva 3):

1. Osassa kartoitettiin NBB-tuotteiden teknisiä ominaisuuksia ja tuotantotekniikkoja sekä hankittiin yleistä tietoa kyseisten rakennusmateriaalien terveysvaikutuksista ja hiilitaseista. Samalla listattiin organisaatioita, joissa tuotteita tutkitaan ja kehitetään. Rakennustuotteet jaettiin ryhmiin ja esitettiin tuotekorttien muodossa lukuun ottamatta tavanomaisia puutuotteita, joista tehtiin oma yhteenveto niiden käytöstä kantavana rakenteena tai runkomateriaalina.
2. Osassa yhdenmukaistettiin NBB-tuotteista saatavilla olevia hiilitasetietoa ja laskettiin erityyppisten luonnonmukaisten rakenteiden alustavia hiilitaseita. Kyseisiä tuotteita ja niistä koostuvia rakenteita vertailtiin tavanomaisiin perusominaisuuksiltaan vastaaviin tuotteisiin ja rakenteisiin. Samalla arvioitiin, mitkä voisivat olla kyseisten tuotteiden käytön vaikutukset rakentamisen hiilijalanjälkeen Suomessa. Lisäksi selvitettiin alustavasti, mitä mahdollisuuksia olisi ottaa hiilikädenjälkeä huomioon rakentamisen ilmastaselvityksessä sekä avattiin tuotteiden hintavertailuun vaikuttavia talousseikkoja.
3. Osassa tuotekartoituksen ja hiilitaselaskelmien tulokset esiteltiin työpajassa, jonka yhteydessä järjestettiin myös tuotenäyttely. Läsnäolleiden osallistujan ryhmätöiden sekä internetissä järjestetyn kyselyn perusteella arvioitiin NBB-tuotteiden vahvuuksia, heikkouksia ja lisätietotarpeita. Työpajassa esitettiin myös alustava luonnonmukaisten rakenteiden paloselvitys.
4. Osassa selvitettiin Tampereen yliopiston valmius perustaa innovaatiokeskus, joka kehittäisi ja tutkisi kyseisiä rakennustuotteita ja niistä koostuvia rakenteita sekä näiden rakennusprosesseja. Samalla pohdittiin mitä muita alaa yleisesti kehittäviä toimintoja kyseisellä keskuksella voisi olla.
5. Osassa perustettiin hankkeen kotisivu ja tuotiin sinne hankkeen edistyessä raportteja ja videoita. Myös tämä loppuraportti on ladattavissa kokonaisuudessaan hankkeen kotisivulta osoitteesta <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/natureco2/>. Hankkeelle avattiin myös oma sähköpostiosoitteensa NatureBasedBuilding@tuni.fi työpajan kirjeenvaihtoa helpottamaan.

NatureCO2-projektin aikajana 2022							
1. Eurooppalaisten luonnonmukaisten rakennustuotteiden kartoitus			2. Rakenteiden hiilisisältöjen laskenta		3. Verkko-seminaari		
					4. Selvitys innovaatiokeskuksesta		
5. Nettisivun luominen							
	Loppuraportti						
Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu

Kuva 3. Hankkeen aikajana.

Hankkeessa pyritään luomaan tarvittava tietopohja, jotta yritykset voisivat arvioida NBB-tuotteiden valmistuksen edellytyksiä ja kustannuksia sekä tuotteiden menekkiä. Hankkeen toivotaan johtavan siihen että, Suomessa aletaan teollisesti valmistamaan NBB-tuotteita. Edelleen on visioitu, että kyseisistä tuotteista koostuvasta luonnonmukaisen talon konseptista tulee Suomessa vallalla oleva rakennustapa ja tätä tietotaitoa viedään myös Suomen ulkopuolelle. Tämä edellyttää luonnonmukaisten raaka-aineiden ja niiden käsittelyprosessien perustutkimusta, jotta voidaan hyödyntää modernia tuotanto teknologiaa, kuten nanotekniikkaa, 3D tulostusta, ruiskuttamista, kuohuttamista ja luonnon liimojen modifiointia sekä automatiikan mahdollisuuksia.

2. Rakennustuotteiden kartoitus

2.1. Kartoituksen lähtökohdat ja menetelmät

NBB-tuotteita valmistetaan nykyään pääosin Keski-Euroopassa, jossa kyseisiä tuotteita on käytetty laajasti perinteisten ja massiivisten ristikkorakenteiden restaurointiin. Suomalaisissa pientaloissa tavanomaisiin monikerroksellisiin rakenteisiin hyvin sopivat levytuotteet ovat yleistyneet luonnonmukaisessa rakennusainetuotannossa vasta viime vuosina. Kartoituksessa listattuja luonnonmukaisia raaka-aineita on Suomessa hyvin saatavilla usein jopa paremmin kuin Keski-Euroopassa.

Tässä hankkeen osassa kartoitettiin tuotteiden teknisiä ominaisuuksia sekä valmistus- ja käyttötapoja. Tuotekartoituksen yhteydessä selvitettiin samalla materiaalien terveysvaikutuksia, tuotteisiin liittyviä standardeja sekä hiilijalanjälkiä (katso kohta 3).

Tuotetietoa haettiin internetistä, suorilla yhteydenotoilla tuotteiden valmistajiin sekä tuottajien haastatteluilla rakennusmessulla. Vastaavaa tuotekartoitusta ei löytynyt, mutta löytyi useita eurooppalaisia organisaatioita, jotka tutkivat, standardoivat ja kehittävät NBB-tuotteita (katso myös kohdat 4.3. ja 5):

- Dachverband Lehm, Saksa, Savituotteiden valmistajien ja savirakentamisen kattojärjestö (DVL, 2023)
- IG Lehm, Sveitsi, Savialan ja savirakennustyöntekijöiden ammattiliitto (IGLehm, 2023)
- European Straw Building Association, Belgia, Olkipaali- ja olkielementtirakentamisen kattojärjestö. Olkipaalien osalta toiminta keskittyy Ranskaan, Saksaan ja Iso-Britaniaan (ESBA, 2023)
- University of Bath, Iso-Britania, Massivisavirakentaminen ja innovatiiviset rakennusmateriaalit (BRE, 2023)

- CRATerre, Ranska, Savirakentaminen kehittyvissä maissa (Craterre, 2023)

Kartoituksen tavoitteena on ollut antaa tuotteiden valmistuksesta kiinnostuneille suomalaisille yrityksille keskimääräinen kuvaus kyseisestä tuotteesta, jotta yritys voi arvioida esimerkiksi tuotteen valmistusmenetelmän soveltuvuutta yrityksen nykyiseen koneistukseen sekä tuotteen valmistuksen kustannuksia ja kannattavuutta. Vaikka tätä raporttia ei ole tarkoitettu omatoimirakentajan oppaaksi voi se kuitenkin sopia myös omatoimirakentajan tietolähteeksi. Tuotekortit toimivat myös materiaalina luonnonmukaisen talokonseptin suunnittelulle, ja kannustavat toivottavasti uusien NBB-tuotteiden innovointiin.

2.2. Katsaus tuotekortteihin

Tämän hankkeen päätehtävänä oli kartoittaa eurooppalaiset teollisesti valmistetut NBB-tuotteet, joista laadittiin **tämän raportin liitteenä olevat tuotekortit**. Tuotteiden teknisten ominaisuuksien sekä valmistus- ja käyttötapojen perusteella tuotteet jaettiin 11 tuoteryhmään. Jokaisella valmistajalla on tuotteesta hieman oma versionsa, ja näin myös tuotteiden koostumukset ja ominaisuudet vaihtelevat. Tämä tuotekartoitus on keskittynyt talonrakennustuotteisiin ei niinkään sisustusmateriaaleihin.

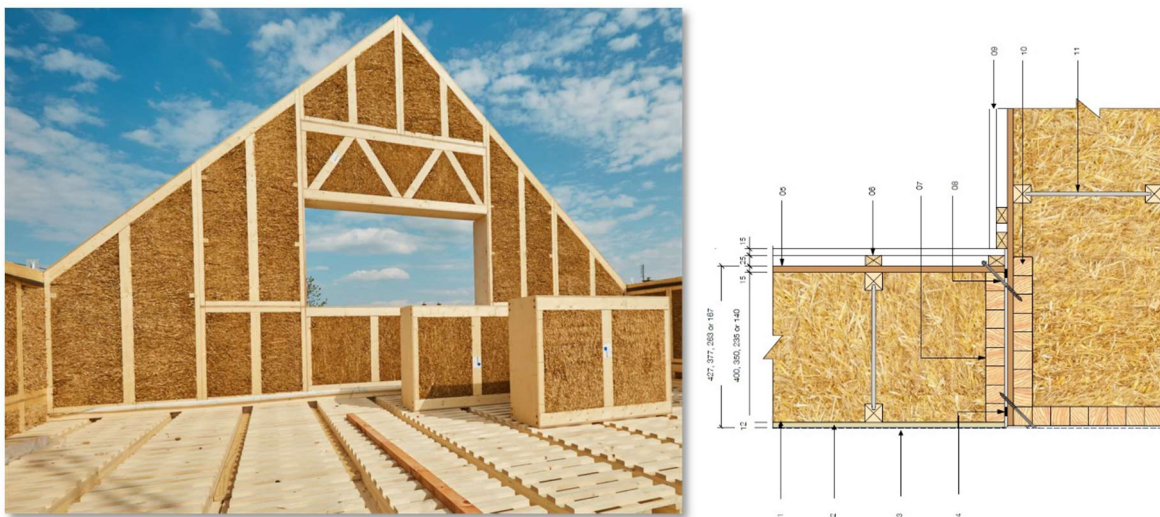
Tavanomaisista puutuotteista ei tehty tuotekorttia, vaan niiden käyttö kantavana rakenteena tai runkomateriaalina esitetään seuraavassa kohdassa 2.3. Samoin runsaasti kalkkia sisältävät rakennustuotteet, kuten kalkkimaali ja -rappauslaasti sekä kalkkihamppu- eli hempcrete-tuotteet jätettiin kartoituksen ulkopuolelle kalkin korkean hiilijalanjäljen takia, vaikka kalkki kuuluukin perinnerakentamisen materiaaleihin.

Jatkossa esitellään katsaus liitteenä oleviin tuotekortteihin. Jotkut savituotteet perustuvat eteläeurooppalaiseen rakennuskulttuuriin sekä massiivisiin seinärakenteisiin. Näiden tuotteiden käyttökohteet voivat tästä syystä tuntua hieman vierailta ja niitä olisi mahdollisesti muokattava sopimaan paremmin pohjoiseen rakennustapaan.

2.2.1. Olkielementit

Olkielementin valmistus koostuu puurungon kokoamisesta, vehnän tai kauran oljen asennuksesta runkoon haluttuun tiheyteen, olkipintojen leikkauksesta tasaisiksi ja suojakalvon kiinnityksestä. Kyljet tai päädyt suljetaan vanerilla tai liimapuulla, tuotteesta riippuen. Vesihöyryn läpäisevällä ilmatiiviillä kalvolla voidaan sadesuojata myös elementin sisäpinta asennuksen aikana.

Elementeistä voidaan rakentaa lämmöneristäviä ja kantavia ulkoseiniä kuuteen kerrokseen asti (Kuva 4) ja niitä käytetään myös vanhojen rakennusten lisäeristämiseen tai esim. massiivipuulementtien eristekerroksena. Hyvän lämmöneristävyytensä takia elementit soveltuvat varsinkin passiivitalorakentamiseen ja rakenteella voidaan rapattuna saavuttaa jopa kahden tunnin palo aika.



Kuva 4. Olkielementin asennusta työmaalla vas. (Ecococon) ja seinien kulmarakenne oik. (Modcell).

2.2.2. Kasvipohjaiset eristevillat

Kasvipohjaiset eristevillat koostuvat pääosin hampun ja pellavan kuidusta, mutta mukana on usein myös kahvi- ja kaakaosäkeistä saatavaa juuttia, kierrätystekstiileistä saatavaa puuvillaa tai jopa kookoskuituja. Pohjoismaisena erikoisuutena on pintaturpeesta koostuva levy (Kuva 5).

Kyseisten eristeiden tiheydet ja lämmönjohtavuudet ovat mineraalivillan luokkaa. Levyjen ja villojen valmistukseen käytetään kasvien lyhyitä kuituja, joita tekstiiliteollisuus ei hyödynnä. Kuidut karstataan päällekkäisiksi kerroksiksi, jotka sidotaan yhteen esim. kierrätyspulloista sulattamalla saadulla polyesterikuidulla. Näin saatu eriste käsitellään sitten palon- ja homeenestoaineella sekä pakataan rulliksi tai puolijäykiksi levyiksi.

Sideaineen kanssa voidaan valmistaa jopa 250 mm paksuja eristeitä, mutta ilman sideaineita voidaan myös valmistaa ohuempia mattoja tai nauhoja. Tuotteita voivat valmistaa tilauksesta myös tekstiilitehtaat, jotka eivät välttämättä itse markkinoi villoja rakennustuotteina. Kasvipohjaiset eristevillat soveltuvat erityisen hyvin ullakotilojen, lattioiden ja kattojen lämmöneristämiseen, kun halutaan käyttää eristettä, joka pystyy sitomaan ilman kosteutta (Kuva 5).



Kuva 5. Kasvipohjaisen eristevillan käyttö seinäeristeenä vas. (Thermo Hanf) ja akustoivana levynä oik. (konto).

2.2.3. Lampaanvillaeristeet

Vapaasti laiduntavien lampaiden villa on enimmäkseen paksua ja kestävää kuitua, joka ei sovellu tekstiilituotantoon, mutta käy kuitenkin erinomaisesti villaeristeen valmistamiseen. Kun lampaista keritty villa on toimitettu tehtaallesi, se lajitellaan ja pestään, kuivataan ja karstataan ohuiksi harsoiksi (Kuva 6). Harsoja kerrostetaan sen jälkeen päällekkäin, ja kerrokset voidaan liittää toisiinsa mekaanisesti neulaamalla. Vaihtoehtoisesti villakerroksia voidaan liimata toisiinsa sulatetulla polyesterillä.

Kevyttä lampaanvillaeristettä käytetään normaalisti seinien sekä kattojen eristyksessä ja tiheämpää mattoa käytetään parketin alushuopana. Villaa voidaan leikata mittaansa saksilla ja veitsellä tai repimällä ja se voidaan kiinnittää tiiviisti palkkien väliin niiteillä (Kuva 6). Lampaanvillaeristeiden tiheydet ja lämmönjohtavuudet ovat hieman pienempiä kasvikuiteristeisiin verrattuna. Korkean typpipitoisuutensa vuoksi lampaanvillan syttymislämpötila on huomattavan korkea, ja villa on itsestään sammuvaa, joten ne ovatkin paloluokassa E ilman palonestoaineita. Lampaanvilla on myös erinomainen äänieriste ja voi lisäksi hygroskooppisena aineena osallistua sisätilan kosteusvaihteluiden tasapainottamiseen. Vaikka villakuidun ulkokerros on vettä hylkivä, sen sisäkerros on vettä sitova, ja villakuitu voi sitoa noin kolmanneksen painostaan kosteutta tuntumatta kostealta.



Kuva 6. Lampaanvillaeristeen valmistusta vas. (Isolana) ja asennusta oik. (Schafwolldämmung).

2.2.4. Puhalluseristeet

Luonnonmukaisia puhalluseristeitä valmistetaan höylälastusta, oljesta ja hampusta (Kuva 7). Palonestoaineena on käytetty ympäristöystävällisenä ja terveyshaitattomana pidettävää ammonium fosfaattia. Höylälastusta siivilöidään hienoin ainesosa pois, ja korsiainekset silputaan ennen pakkausta. Erityisesti lentokenttien, rautateiden ja moottoriteiden lähellä vaaditaan ulkovaipan rakenteilta lämmöneristyksen lisäksi äänieristystä.

Luonnonmukaiset puhalluseristeet tarjoavat nämä molemmat ominaisuudet ja lisäksi ne pystyvät tasapainottamaan huonetilan lämpötilan vaihteluita huomattavasti paremmin kuin kevyemmät eristeet, kuten mineraalivillat. Eristeet puhalletaan tätä varten rakennetulla koneella vaakapalkiston väliin tai ilmansulkupaperista, levyistä ja puurungosta muodostuvaan koteloon. Suomessa käytettiin aikaisemmin höylälastua sekoitettuna sahanpuruun, mutta kun siivilöityä höylälastua käytetään yksinään, saadaan lämmönjohtavuus tippumaan huomattavasti (Kuva 7). Höylälastua lämmöneristeinä tutkitaan parhaillaan Tampereen yliopiston Ecosafe-hankkeessa (TAU_Ecosafe, 2023).



Kuva 7. Puhalluseristeen tuotantolinja vas. (Iso-Stroh) ja eristetty välipohja oik. (Ehta Talot).

2.2.5. Korsipuristelevyt

Korsipuristelevyjä valmistetaan prosessoidusta oljen ja kuituhampun korresta (Kuva 8). Mukana voi olla myös muista yksivuotisista kasveista sekä puusta saatavia kuituja. Sideaineena levyissä käytetään mm. formaldehydivapaata PMDI-hartsia, kierrätyspolyesteriä sekä kalkkipohjaista sideainetta. Levyjen puristamisessa käytetään mukana lämpöä, minkä jälkeen levyt leikataan mittaansa ja kuivataan.

Kyseisten tuotteiden pääasiallinen käyttökohde Keski-Euroopassa on muurattujen ulkoseinien ulkopuolinen lisälämmöneristys ja rappausalusta. Vesihöyryä hyvin läpäisevänä ne soveltuvat hyvin kalkkirappauksen alustaksi ja tarjoavat mineraalivillaa paremman iskun kestävyuden. Levyjä käytetään myös sisäpinnan savirappauksen alustana ja lisälämmöneristeenä varsinkin historiallisten talojen korjauksessa. Korkea puristuslujuus mahdollistaa tuotteen käytön myös lattian betonivalun alla esim. maanvaraisen lattian lämmöneristämässä. Korsipuristelevyistä valmistetaan myös tiheitä versioita, jotka soveltuvat kaluste- ja sisustuselementtien valmistukseen, pakkauksiin sekä sisäovien täytteeksi.



Kuva 8. Korsipuristelevyt hampusta vas. (Capatec) ja oljesta oik. (Vestaeco).

2.2.6. Ruokolevyt ja -matot

Suomen ruovikoiden kokonaismäärän on karkeasti arvioitu olevan noin 100 000 hehtaaria. Järviruokoa ei tarvitse kylvää tai lannoittaa, joten tuotteen kustannukset tulevat lähinnä leikkuusta, kuljetuksesta ja valmistuksesta. Ruokolevyjä ja -mattoja varten käytettävä ruoko leikataan talvella, kun lehdet ovat varisseet ja korsi on muuttunut kovaksi ja kellertäväksi. Sadonkorjuun jälkeen korret puhdistetaan ja ruo'ot varastoidaan kuivassa tilassa.

Tasapaksuista ruo'oista valmistetaan galvanoidulla rautalangalla sidottuja ruokomattoja sekä useista ruokokerroksista koostuvia ruokolevyjä ja tätä varten valmistettuja koneita on ollut Suomessakin jo 1940 luvulla (Kuva 9). Tuotteita voidaan leikata puutyökaluilla pituussuuntaan ja leveyssuunnassa katkotaan sidoslangat halutusta kohdasta, jonka jälkeen sidoslangat kierretään taas kiinni. Kiinnitys puurakenteeseen tehdään galvanoiduilla nauloilla tai paremmin galvanoiduilla hakasilla.

Ruo'olla on korkea silikaattipitoisuus ja siksi se ei ime vettä kapillaarisesti, turpoa, kutistu, tai lahoa herkästi. Ruokolevy eristää lisäksi hyvin lämpöä, ja siksi sitä on käytetty julkisivujen lämmöneristeenä (Kuva 9) sekä pinnoittamaan kapilaarisesta kosteuden noususta kärsiviä tiilimuureja ennen rappausta. Sillä voidaan myös vaimentaa esimerkiksi välipohjien runkoääniä. Ruokomattoa käytetään ensisijaisesti savirappausten alustana sisäpinnoissa ja se soveltuu puurunkoon kiinnitettynä myös kevytsavimassojen muotiksi.



Kuva 9. Ruokolevyn ja -maton valmistusta vas. (SaviUKUmaja) ja levyn käyttö kivitalon lämmöneristeenä oik. (Hiss Reet).

2.2.7. Savilaastit

Savirappaus- ja savimuurauslaastit koostuvat pääosin hiekkapitoisesta eli laihasta savesta ja hiekasta. Pohjarappauslaasteissa on myös bioainesta, kuten silputtua olkea tai hampun päistärettä, ja pintarappauslaastissa puukuitua sekä värilaasteissa maapigmenttiä. Raaka-aineet sekoitetaan kuivina myllyssä, jonka jälkeen laasti säkitetään. Sekoituksessa voidaan käyttää tavanomaisia moniakselisia sekoittimia.

Savirappauslaastit soveltuvat sisätilojen uudis- sekä korjausrakentamiseen ja niitä voidaan käyttää myös hirsirakenteiden ja muiden puurakenteiden palonsuojauksena sekä äänieristeenä. Rappauslaastit ovat hyvin työstettäviä ja tarttuvia useimmille materiaalinpinnoille jopa alakattoihin. Savimuurauslaastia käytetään Keski-Euroopassa polttamattomien savitiilien sekä harkkojen muuraukseen sisätiloissa ja Suomessa uunilaastina kaakeliuunien ja varaavien tiilitulisijojen runkomuurauksiin. Muurauslaasteille on laadittu DIN 18946 normi ja rappauslaasteille DIN 18947 normi. Rappauslaastia voidaan sekoittaa ja ruiskuttaa tavanomaisilla työmaakoneilla (Kuva 10) tai levittää perinteisesti käsityökaluilla. Savilaastin erityispiirre on se, ettei se kovetu märkänä, minkä takia rappausjänteet voidaan käyttää uudestaan ja jättää laasti sekoittimeen esim. viikonlopun yli. Se ei liioin mene pilalle kuivana, joten sitä voidaan toimittaa suurissakin erissä.



Kuva 10. Saviilaastin ruiskurappaus vas. (Levita Lehm) ja valmista pintaa oik. (Conluto).

2.2.8. Savilevyt

Savilevyt on kehitetty savipohjarappauksen kuivaversioksi ja siksi ne koostuvat samoista aineista kuin savilaastit. Saven lisäksi ne voivat sisältää mm. hiekkaa, perliittiä, puukuitua, hampun kuitua ja päistärettä sekä olkea tai heinää. Levyjä puristetaan muottiin kosteasta savimassasta, kuten tiiliä aikanaan (Kuva 11). Pinnanvahvistusverkko ja lämmitys tai viilennysputkisto voidaan integroida levyyn valssaamalla massaa, jolloin tuotanto muistuttaa kartonkikipsilevyn valmistusta. Tuotteita voidaan valmistaa myös, kuten modernia tiiliä, iskemällä hyvin kuivasta massasta, jolloin välttyään kuivauskuutistumilta ja halkeiluilta sekä säästetään kuivauskustannuksissa. Mineraaliset aineet antavat tuotteille paloturvallisuutta, äänieristävyyttä ja puristuslujuutta sekä korkea savespitoisuus hygroskooppisuutta. Bioaines lisää tuotteiden lämmöneristävyyttä, ja kuidut niiden taivutuslujuutta.

Savilevyjä käytetään pääosin rankarakenteisissa seinissä (Kuva 11) sekä alakatoissa, joissa tarvitaan lämpöä ja kosteutta tasapainottavaa tai ääntä eristävää materiaalia. Saven hygroskooppisuus ja suuri lämpökapasiteetti auttavat tasapainottamaan huonetilan kosteus- ja lämpötilavaihteluita päivä- ja jopa viikkotasolla. Savilevyt luokitellaankin DIN 18948 normissa niiden vesihöyryn sitomiskyvyn mukaan. Kyseiset levyt voivat olla myös osa rakennuksen talotekniikkaa, sillä ne soveltuvat hyvin Keski-Euroopassa yleistyneeseen seinä- ja kattolämmitykseen tai viilennykseen. Levyt kiinnitetään runkorakenteeseen ruuveilla tai niiteillä, mutta levyjä voidaan käyttää myös korjausrakentamisessa liimaamalla niitä vanhan rakenteen päälle. Levytetty alue kostutetaan ja se yllirapataan 2–3 millimetrin paksulla hienorappauksella, joka verkotetaan koko alalta. Tämän jälkeen pinta voidaan maalata savimaalilla tai muilla maaleilla tarpeen mukaan.



Kuva 11. Savilevyn valmistusta vas. (Lemix) ja rakennejärjestelmää oik. (Schleusner).

2.2.9. Savimassat ja –elementit

Savesta, hiekasta ja sorasta, voidaan sekoittaa massiivisavea, jolla voidaan rakentaa taiteellisia, kantavia ja monoliittisia seiniä ja päällystää lattiaita. Savimassat sekoitetaan maakuivana, säkitetään, ja toimitetaan rakentajille. Massiivisaven sullomisessa seinämuottiin tai lattiapinnoitteeksi rakentajat käyttävät pneumaattista iskulaitetta. Massoista voidaan valmistaa myös teollisin menetelmin seinäelementtejä, joissa iskettyjen kerrosten sävyerot luovat taiteellista pintaa (Kuva 12).

Vaikka savituotteet voidaan nähdä osana puurakentamista antaa savimassa mahdollisuuden myös käyttää betonituotteiden valmistuksessa käytettyjä valu ja ruiskutusmenetelmiä, mitkä ovat osoittautuneet varsin edullisiksi rakennusainetuotannossa. Hienojakoisesta savimassasta voidaan lisäksi 3D-tulostaa rakenteita.

Massaan voidaan myös sekoittaa olkea, jolla vähennetään kuivumisen kutistumista ja halkeilua sekä lisätään hankauskestävyyttä. Tällaista täytemassaa käytetään esim. keskieuropalaisten ristikkorakenteiden seinien korjausrakentamisessa. Savesta ja hampun päistäreestä tai höylälastuista koostuva kevytsavi soveltuu lämmöneristeeksi ulkoseiniin ja äänieristeeksi välipohjiin (Kuva 12). Kevytsavea kevyemmissä massoissa savi ei enää toimi sideaineena vaan puhutaan bioaineen savettamisesta, eli kuorruttamisesta savilietteellä. Kerroksellisissa rakenteissa voidaan käyttää esimerkiksi savetettua kutterinlastua.



Kuva 12. Massiivisesta savimassasta valmistettu kantava seinäelementti vas. (*Lehm Ton Erde*) ja kevyen savimassan käyttö seinäeristeenä oik. (*Hanffaser*).

2.2.10. Savitiilet ja –laatat

Savitiiliä ja –laattoja muottipuristetaan ja suulakepuristetaan kosteasta savimassasta, joka koostuu saven lisäksi mineraaliaineksista, kuten hiekasta, vulkaanisesta tuhkasta ja tiilimurskasta sekä bioaineksista, kuten olkisilpusta, puukuidusta, sahanpurusta sekä hampun kuidusta ja päistäreestä (Kuva 13). Tuotteita voidaan valmistaa myös iskemällä hyvin kuivasta massasta, jolloin vältytään kuivauskutistumilta ja halkeiluilta sekä säästetään kuivauskustannuksissa. Tuotteiden kuivaamiseen käytetään tiilitehtaissa polton hukkalämpöä, mutta niitä voidaan kuivata kesäisin myös auringon ja tuulen avulla.

Savitiiliä käytetään Keski-Euroopassa ennen kaikkea historiallisten ristikkotalojen seinien entisöinnissä kantavan puurungon täyteenä. Tiheillä tiilillä voidaan rakentaa myös kantavia seiniä ja niitä on alettu käyttämään myös uudisrakentamisessa, kun halutaan kosteutta ja lämpöä tasapainottavia sekä paloturvallisia rakenteita (Kuva 13). Eri käyttökohteisiin tarkoitetut savitiilet luokitellaan DIN 18945 normin mukaan. Lattia-laatat ovat keraamisten laattojen polttamattomia versioita ja ne ladotaan painoksi puisien välipohjien päälle äänieristäväksi massaksi, jonka päälle voidaan asentaa esim. parketti. Paljon bioainesta sisältävillä kevytsavitiilillä voidaan lisätä rakenteen lämmöneristävyyttä.



Kuva 13. Tiilen valmistusta suulakepuristamalla vas. (Seppälä) ja käyttöä polttamattomana seinän lämpö- ja kosteuskapasiteetin parantajana oik. (Dachverband Lehm).

2.2.11. Maalit ja pinnoitteet

Luonnonmukaiset maalit ja pinnoitteet, koostuvat bio- ja mineraalipohjaisista sideaineista ja pigmenteistä sekä voivat sisältää lisäaineita. Sideaineen tehtävä on kiinnittää tuote pintaan ja antaa lujuutta säätä sekä kulutusta vastaan. Pigmentti on värillinen hienojakoinen jauhe, joka ei liukene sideaineeseensa. Pisimpään on käytetty maasta uutettuja maavärejä, kuten okraa, siennaa, umbraa ja hiiltä. Maavärejä voidaan valmistaa myös rautaoksidista, jota saadaan kaivosteollisuuden sivuvirtana. Sideaineita voidaan käyttää yksistään tai yhdistää toisiinsa, kun niistä sekoitetaan pigmenttien kanssa seuraavia maaleja ja pinnoitteita:

- Punamultamaali, jossa sideaine on pääosin tärkkelystä, mutta sen säänkestoa voidaan parantaa pellavaöljyllä tai tervalla. Maali tunnetaan myös keittomaalina, sillä sen tärkkelysjauho sekoitetaan veteen ja keitetään pienellä tulella ensin liisteriksi.
- Öljymaali, jonka sideaine on pelkästään pellavaöljy.
- Roslagin mahonki, jossa sideaineina ovat terva ja pellavaöljy.
- Savimaali ja -pinnoite, joissa saven sidoslujutta sisätuotteissa voidaan vielä lisätä tärkkelyksellä, puukuidulla, metyyliiselluloosalla ja jopa arabikumilla. Savipinnoite voi olla jopa muutaman millimetrin paksuinen ja saponilla voidaan antaa sille kuohkeutta.
- Maitomaali, josta saadaan valkoinen sisämaali liidun kanssa, mutta myös ulkomaali lisäämällä maitoon sammutettua kalkkia tai sementtiä. Kaseiinista ja soodasta saadaan myös pohjamaali savimaaleille ja -pinnoitteille.
- Munatempora, jossa sideaineina ovat pellavaöljy ja munan keltuainen, ja maalissa voidaan käyttää myös valkuainen

Teollisessa valmistuksessa maalien sideaineet yhdistetään pigmenttiin maalinsekoitusmyllyllä, jonka jälkeen maalit purkitetaan.

Luonnonmukaisista maaleista löytyy tuote kaikille pinnoille rakennuksissa. Perinnemaalit soveltuvat erityisesti puuverhouksen sekä hirren sisä- ja ulkopintoihin ja maitomaali sekä varsinkin savimaali ja -pinnoite soveltuvat hyvin mineraalipinnoille (Kuva 14).



Kuva 14. Esimerkki perinnemaalien sävykortista vas. (Uula Color) ja savipinnoitteesta kosteana oik. (Claytec).

2.3. Puu luonnonmukaisissa rakenteissa

Tuotekorttien välillinen tavoite on ollut saada Suomeen uusien NBB-tuotteiden teollista valmistusta. Tavanomaiset puutuotteet ovat Suomessa hyvin tunnettuja ja niitä jo valmistetaan Suomessa, joten niistä ei ollut tarpeen tehdä omia tuotekortteja, kuten tutkimusta rajattiin jo hakemusvaiheessa. Tässä osassa käydään läpi kuitenkin seikkoja, joita on hyvä ottaa huomioon, kun käytetään puuta vähähiilisessä ja luonnonmukaisessa rakentamisessa.

Puu on yksi vähähiilisimpiä rakenteiden runkomateriaaleja, ja se voi toimia myös rakennusten kantavana materiaalina. Pystysuuntaisen kuormien lisäksi puu pystyy ottamaan vastaan hyvin vaakasuuntaisia kuormia suuren taivutuslujuutensa takia ja toimimaan palkkina. Tässä suhteessa se on ylivoimainen muihin luonnonmukaisiin materiaaleihin verrattuna.

Perinnerakentamisessa puun suhteellisen pientä lämmönjohtavuutta on myös käytetty hyväksi kohtalaisen hyvin lämpöä eristävien **hirsiseinien** muodossa. Puun luonnolliset halkeamat on pystytty melko hyvin eliminoimaan moderneissa **massiivipuulevyissä**. Puutuotteen yleistä lämmönjohtavuutta pienentää puun alhainen kosteuspitoisuus ja suurentaa runsas liimapitoisuus. Kuusen lämmönjohtavuus on tyypillisesti hieman alhaisempi kuin männyn. Taulukossa 1 on esitetty eri puutuotteiden lämmönjohtavuuksia.

Taulukko 1. Massiivipuurakenteiden lämmönjohtavuuksia ja tiheyksiä.

Materiaali	Tiheys	Lähde	Lämmönjohtavuus
	kg/m ³		W/mK
CLT	470	Stora Enso	0,11-0,12
Hirsiseinä	450	RT 82-11168	0,12
Kertopuu, LVL	480	Metsä Wood	0,13

Ulkoseinälle asetetun lämmöneristävyysvaatimuksen kiristytessä perinteiset hirsiseinät uhkasivat jäädä luvattomiksi, ja siksi vähintään 180 mm paksuisille hirsiseinille säädettiin oma tavallista korkeampi U-arvovaatimuksensa 0,4 W/(m²K), joka on tällä hetkellä laajennettu koskemaan myös CLT- ja LVL-massiivipuulevyseiniä. Rakennusten kokonaisenergiatohokkuudesta ei kuitenkaan voida tinkiä, vaan seinien huonompaa lämmöneristävyttä on kompensoitava esimerkiksi yläpohjan ja ikkunoiden tavanomaista paremmalla lämmöneristävytyllä. Ulkoseiniä voidaan myös lisäeristää ulkopuolelta esimerkiksi korsipuristelevyillä tai ruokolevyillä.

Hirsi on yksi parhaista esimerkeistä kierrätysrakentamisessa jo vuosisatojen takaa, ja tällä hetkellä etsitään ratkaisua, jolla rakennusvalvonnassa voidaan hyväksyä CE-merkitsemättömät kierrätysrakennustuotteet. Perinteisten massiivihirsiseinien pitkäaikaispainuminen on otettava huomioon ikkunoiden, ovien ja pilareiden painumisvarauksissa. Pystysuunnassa olevaa puuta sisältävissä lamellihirsissä ja massiivipuulevyissä ei tarvitse varautua pitkäaikaispainumiseen, mutta liimakalvot lisäävät rakenteen vesihöyrynvastusta (katso kohta 2.4).

Yleisimmät tavat käyttää puuta rakentamisessa ovat **rankarakenteiset seinärungot, kattotuolit ja palkit**. Seinien rankarakenne on tarpeen myös useimmissa luonnonmukaisissa seinäelementeissä, vaikka ne eivät toimisi rakennuksen kantavina rakennusosina. Kyseisillä ei kantavilla ulko- ja väliseinäelementeillä voitaisiin täydentää kirjahyllyrunkoa, joka koostuu kantavista massiivipuisista levyrakenteista.

Kun tarvitaan suurempia pilarinvälejä ja kerrosmääriä, ovat **pilari-palkkirakenteet** käyttökelpoisia, mistä puukerrostalojen rungot ovat hyvä esimerkki. Pilari-palkkirakenne mahdollistaa rakennuksen vesikaton asennuksen ensin, jotta muita asennuksia voidaan tehdä säältä suojassa. Tämä on usein tärkeää NBB-tuotteille, jotka ovat oikein käytettynä pitkäikäisiä, mutta pääosin vesiliukoisia ja biohajoavia. Kyseisten tuotteiden kanssa korostuu hyvän rakennustavan merkitys, eli on varmistuttava siitä, ettei sadevesi pääse turmelemaan materiaaleja rakennusvaiheessa tai työmaavarastoinnissa. Materiaalit on sijoitettava rakenteisiin myös niin, että ne eivät altistu rakentamisen ja käytön aikana liian pitkään mikrobikasvun kannalta otollisille olosuhteille. Ulkoverhouksen säävarmuuteen pitää myös kiinnittää erityistä huomiota. Bioaineista koostuvien lämmöneristeiden käyttöä kerrostalorakentamisessa palonormien valossa on käsitelty kohdassa 4.3.

Alla olevasta taulukosta 2 nähdään kuinka paljon puun jatkokyöstäminen sekä liimojen ja muiden lisäaineiden käyttö suurentavat sen hiilijalanjälkeä. Sahatun puun osalta voidaan hyvin puhua suuruuden ekologiasta, sillä kun tuotanto on nopeaa ja tehokasta myös hiilijalanjälki jää pieneksi yksikköä kohden. Hiilikädenjälki on luonnollisesti riippuvainen siitä, kuinka paljon puuta kyseisessä puutuotteessa tai -rakenteessa on.

Taulukko 2. Puutuotteiden hiilitaseita.

Puutuotteiden hiilitaseita			Tuotteiden hiilitase	
Materiaali	Tarkennus	Yritys/yhteisö/lähde	Jalanjälki tyypillinen A1-A3	Kädenjälki
			kgCO ₂ e/kg	
Sahattu puu		CO2data	0,069	-1,60
Liimapuu		CO2data	0,110	-1,60
Hirsiseinä		YM	0,112	-1,55
Liimahirsiseinä		YM	0,142	-1,47
CLT		CO2data	0,170	-1,60
DLT puulevy	Tappilaminoitu	StructureCraft Builder	0,270	-1,60
Puukuitulevy	Huokoinen tuulensuojalevy	CO2data	0,300	-1,40
Vaneri	Pinnoittamaton havuvaneri	CO2data	0,300	-1,60
Kertopuu/viilupuu	Pystyrunko	CO2data	0,300	-1,60

Suurin osa hiilitasetiedoista on peräisin www.co2data.fi-sivulta ja hiilijalanjälkien arvot ovat materiaalien tyypillisiä arvoja ilman konservatiivisuuskorjauksia. Näin ne ovat paremmin vertailukelpoisia muiden tässä selvityksessä käytettyjen yrityksiltä saatujen hiilijalanjälkiarvojen kanssa.

Tavanomaisissa puurakenteissa hiilipiikin aiheuttavat lähinnä mineraalivillat ja kipsilevy, ja juuri tähän pyritään löytämään ratkaisua NBB-tuotteista (katso kohta 3.2).

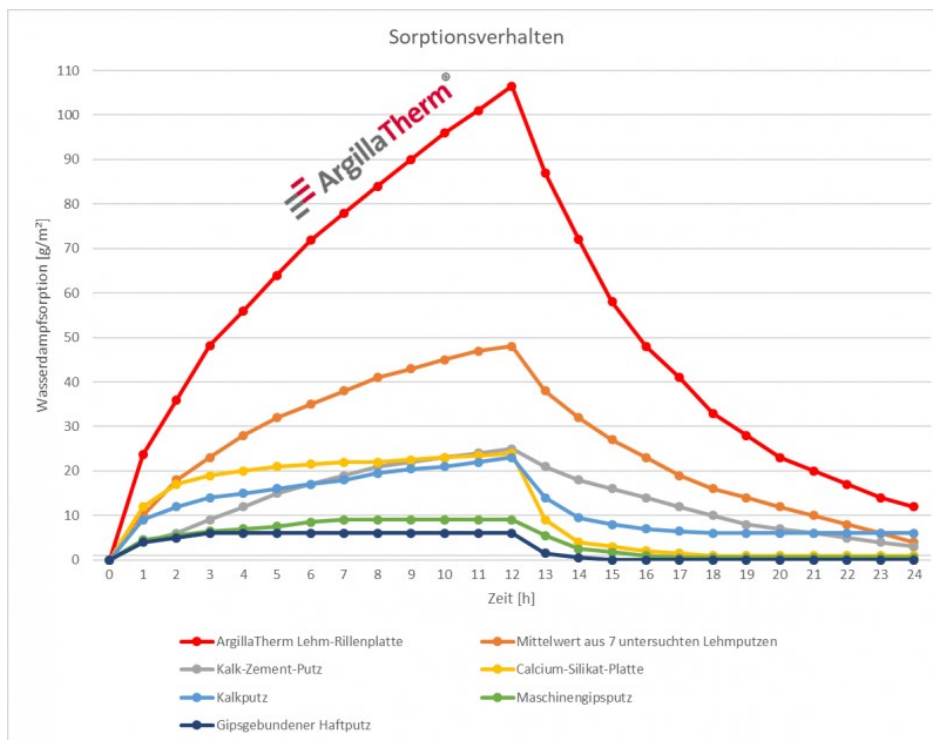
2.4. Vaikutukset sisäilmaan – rakennusfysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet

Rakennusmateriaalien ja rakenteiden vaikutukset sisäilmaan perustuvat pitkälti niiden rakennusfysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin, joten niitä käsitellään yhdessä tässä osassa. NBB-tuotteiden sisäilmavaikutukset voidaan luokitella seuraaviin 5 ryhmään:

- Kosteuden tasapainottaminen
- Lämpötilan tasapainottaminen
- Mikrobpäästöt
- Kemialliset päästöt
- Hajut

Huoneilman kosteuden tasapainotuskyky perustuu pintamateriaalien hygroskooppisuuteen, eli siihen että luonnonmateriaalien solukot voivat sitoa ja luovuttaa vesihöyryä. Esimerkiksi luokahuoneissa opetuksen aikana ja makuuhuoneissa yön aikana ilman suhteellinen kosteus voi nousta epämiellyttävän korkeaksi, ja pohjoisessa ilmastossa lämmityskaudella ongelmana on usein liian kuiva ilma. Silloin auttaa, jos pintamateriaalit pystyvät sitomaan ja luovuttamaan lyhytaikaisesti huoneilman kosteutta, sillä ihmisen terveydelle olisi parasta 25–45 % prosentoin ilmankosteus (RT_07-11299, 2018). Toisaalta vaipparakenteiden sisäpintojen suuri vesihöyrynläpäisevyys voi myös kuivattaa sisäilmaa liikaa talvella, koska tällöin kosteus siirtyy rakenteiden läpi kohti ulkopintoja eikä palaudu sisäilmaan.

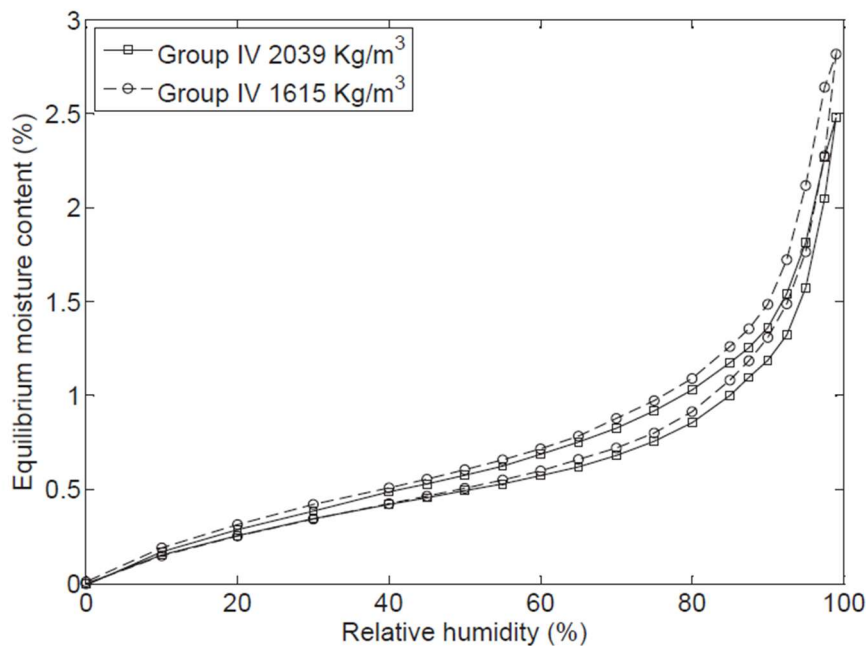
Saksalainen savilevyjen normi DIN 18948 luokittelee materiaalit sen mukaan, kuinka monta grammaa vakiokokoinen materiaalapinta sitoo vesihöyryä 12 tunnissa 23 asteen lämpötilassa, kun suhteellinen ilmankosteus nostetaan 50 RH → 90 RH. Savilevyjä valmistava yritys Argillatherm testasi tuotettaan sekä kipsilevyä ja markkinoilla olevia savirappauslaasteja erilaisissa ilmankosteuksissa ja tuli siihen tulokseen, että korkea savespitoisuus parantaa hygroskooppisuutta (kuva 15).



Kuva 15. Lihavasta savesta valmistetun savilevyn hygroskooppinen vedenimukyky DIN 18948 normin mukaan verrattuna savi-, kalkki- ja kipsirappauksiin. (Argillatherm, 2023).

Tiedetään myös, että polttamaton tiili sitoo ja luovuttaa vesihöyryä paremmin kuin poltetu tiili (SaviUKUmaja, 2023). Vertailun vuoksi olisi hyvä testata, miten puuverhous sijoittuisi kyseisen DIN 18948 normin mukaisessa vertailussa, sillä sen tiedetään myös tasapainottavan huoneilman kosteusvaihteluita (Puuinfo, 2023).

Lisäksi on merkillepantavaa, että massiivisaven tasapainokosteus jää alle 3 paino-% (kuva 16) 100 % suhteellisessa ilmankosteudessa, jossa esimerkiksi puun tasapainokosteus on noin 30 paino-%. Tässä yhteydessä on kuitenkin huomattava, että saven tiheys on myös moninkertainen puuhun verrattuna.



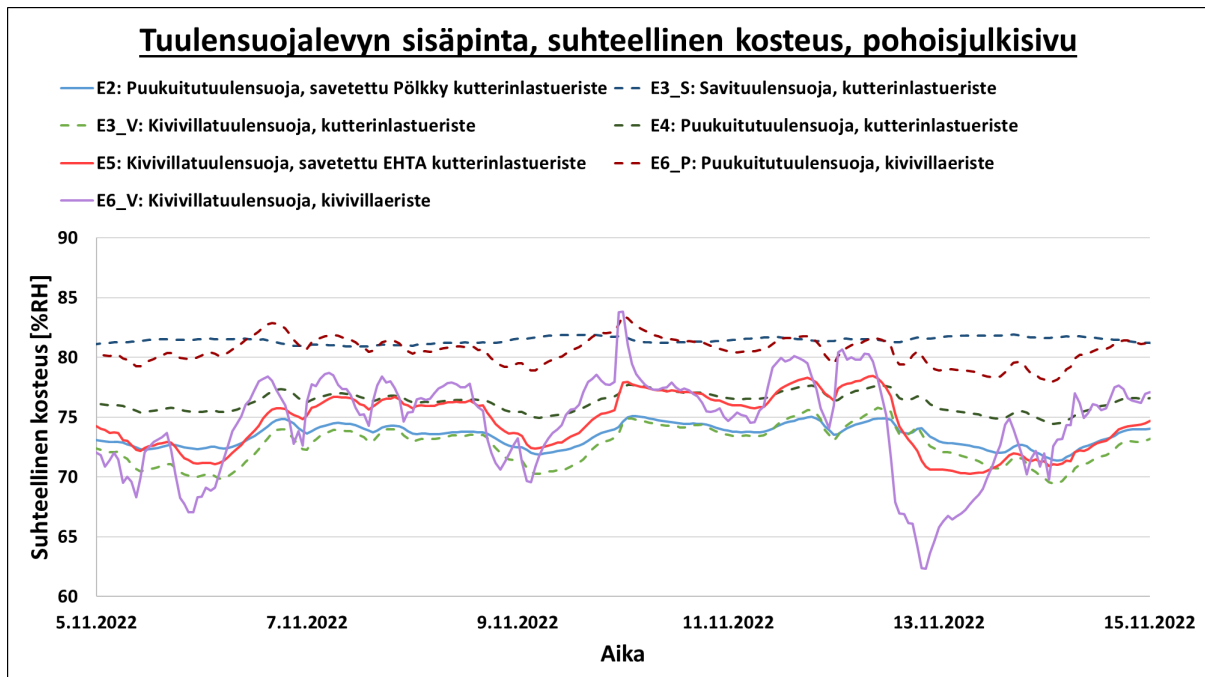
Kuva 16. Massiivisaven ilmankosteudesta riippuvia tasapainokosteuksia eri tiheyksissä. (McGregor, 2014).

Huoneen lämpötilan tasapainotuskyky mainitaan usein massiivirakentamisen ja savituotteiden yhteydessä sillä tiheänä materiaalina ne antavat rakenteille lämpökapasiteettia, joka hidastaa lämpötilojen vaihtelua. Tällä on merkitystä hellejaksoilla, jolloin yöllä viilentyneet rakenteet hidastavat huonetilan lämpötilan nousua auringon alkaessa lämmittää rakennusta päivällä. Lisäksi lämpötilan noustessa ja ilman suhteellisen kosteuden laskiessa materiaaliin sitoutunutta kosteutta alkaa haihtumaan sisäilmaan, mikä myös viilentää rakenteita, koska veden höyrystyminen sitoo faasimuutosenergiaa.

Rakenteiden mikrobi- eli homeongelmat voidaan välttää varmistamalla, ettei rakenteeseen synny homeen kasvuille otollisia lämpötila- ja kosteusolosuhteita liian pitkäksi aikaa. Hygrooskooppiset NBB-materiaalit voivat sitoa vesihöyryä soluihinsa, joten näistä materiaaleista koostuvilla rakenteilla on suuri kosteuskapasiteetti. Tämä hidastaa suhteellisen kosteuden nousua rakennusmateriaalien rajapinnoissa ja sisällä vähentäen rakenteen homeutumisriskiä. Näissä rakenteissa ei ole yleensä vesihöyryn liikkumista (diffuusio) voimakkaasti estäviä kerroksia, kuten muovikalvoja, sillä hygrooskooppisten lämmöneristeiden lämmönjohtavuuskaan ei merkittävästi nouse niiden kosteuspitoisuuden noustessa. Mitä hygrooskooppisempi lämmöneristemateriaali on, sitä pienempi vesihöyrynvastus tarvitaan rakenteen sisäpinnassa. Puun vesihöyrynvastus on varsin suuri, joten puutuotteiden avulla on mahdollista saada riittävä vesihöyrynvastus rakenteiden sisäpintaan varsin ohuilla materiaalikerroksilla.

Avohuokoisia lämmöneristeitä käytettäessä rakenteiden läpi tapahtuvat ilmavuodot voivat aiheuttaa herkemmin kosteusvaurioita rakenteeseen, koska vesihöyryä voi siirtyä lämmöneristekerrokseen sisäilmasta ilmapvirtausten (konvektio) mukana. Ilmapirtaukset voivat tuoda lisäksi herkästi homehtuvaa pölyä rakenteisiin, joka lisää niiden mikrobivaurioriskiä. Hygroskooppisten rakenteiden suuri kosteuskapasiteetti parantaa niiden vikasietoisuutta kosteusvuototilanteissa. Hygroskooppisuus ja vikasietoisuus yhdistyvät myös yksiaineisissa massiivirakenteissa, joita käytettiin ennen monikerroksellisten rakenteiden aikakautta, ja siksi kiinnostus niitä kohtaan on herännyt uudestaan varsinkin arkkitehtien keskuudessa.

Hygroskooppiset materiaalit voivat vesihöyryn diffuusion lisäksi siirtää kosteutta myös kapillaarisesti ja erityisen merkittävä tämä ilmiö on savella. Tämä ilmiö on edullinen erityisesti lämmöneristekerroksessa, jossa savi voi siirtää kosteutta pois ulkopinnan läheltä, jos kosteuspiitoisuus siellä on kapillaarisella alueella. Ylipäättään saven lisääminen lämmöneristekerrokseen parantaa sen kosteusteknistä toimintaa merkittävästi sekä lisääntyneen kosteuskapasiteetin että kapillaarisen kosteuden siirtymisen vuoksi. Tämä on havaittu myös Tampereen yliopistossa meneillään olevassa ECOSAFE-hankkeessa, jossa ulkoseinärakenteen lämmöneristeenä käytetyn kutterinlastun savetus laski sen ulkopinnan suhteellista kosteutta merkittävästi vielä tavalliseen kutterinlastuunkin verrattuna (kuva 17).



Kuva 17. ECOSAFE-hankkeessa tutkittujen ulkoseinärakenteiden tuulensuojalevyjen sisäpintojen suhteelliset kosteudet (TAU_Ecosafe, 2023).

Kemiallisten päästöjen välttäminen on tullut tärkeäksi rakentamisessa, kun on huomattu esimerkiksi formaldehydiliimojen, mineraalikulitujen ja monien muiden synteettisten materiaalien aiheuttamat terveysongelmat. Monet luonnonmukaiset rakennustuotteet käyttävät myös myyntiargumenttina, että niissä ei ole palon- ja homeenestoaineiden usein sisältämiä booriyhdisteitä. NBB-tuotteissa pyritään välttämään terveydelle vahingollisia aineita ja esimerkiksi palon- ja homeenestoaineena on käytetty ruokasoodaa (kasvipohjaiset eristevillat Thermohanf ja Kobe). Palotilanteessa luonnonmateriaalit eivät liioin vapauta synteettisiä kaasuja, kuten halogeeni-, tai isosyanidikaasuja. Kehitteillä on lisäksi uuden tyyppisiä myrkyttömiä palonestoaineita, joita voidaan jatkossa käyttää NBB-tuotteissa.

Muovipohjaista maaleista on peräisin suurin osa meriin päässeestä mikromuovista (Paruta, 2021), joka on vahingollista päästessään ravintoketjuun. Luonnonmukaisissa maaleissa mikromuoviongelmaa ei kuitenkaan ole.

Hajujen eliminointi mainitaan usein savituotteiden ja lampaanvillatuotteiden yhteydessä. VTT:llä tehdyssä tutkimuksessa savesta ja lastuvillasta valmistettu akustinen levy sai parhaan sisäilmapäästöluokituksen ennen ja jälkeen, kun sitä oli pidetty viikko tupakointihuoneen seinällä (kuva 18). Muiden vertailutuotteiden luokitusarvot heikkenivät selvästi tupakointihuoneessa pidon jälkeen.



Kuva 18. Savi-lastuvillalevy (toinen vasemmalta) ja muita levyjä tupakkahuoneessa, osana hajujen eliminointikyvyn tutkimusta. (Westermarck M., 2000).

Lampaanvilla voi sitoa ja hajottaa sisäilman epäpuhtauksia, kuten formaldehydiä, typpidioksidia ja rikkidioksidia (Lanaterm, 2023).

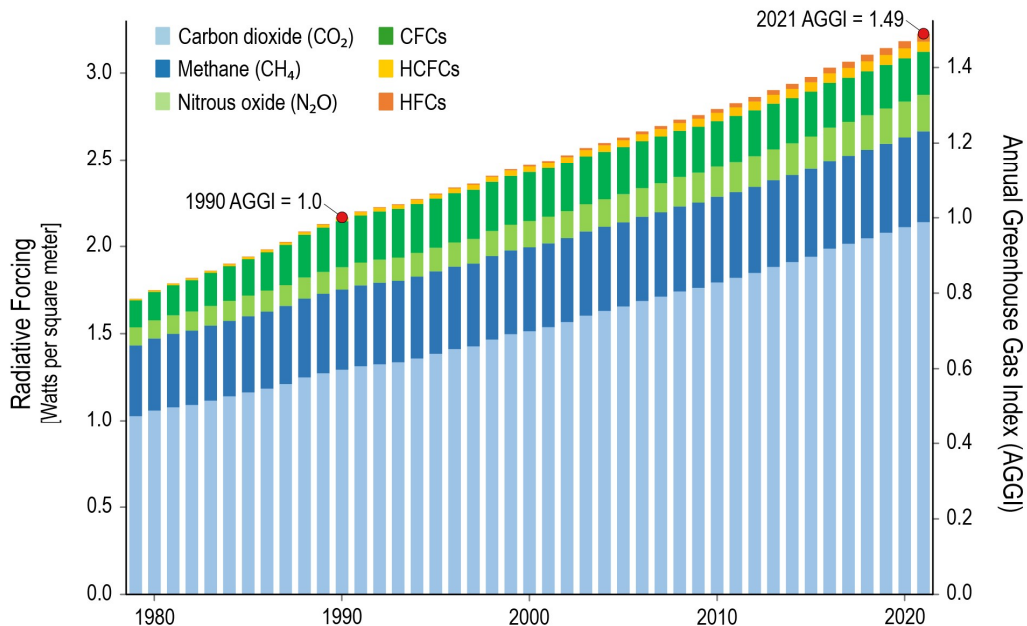
3. Hiilitaseiden laskenta

3.1. Laskennan lähtökohdat ja menetelmät

Vuosittain julkaistava kasvihuonekaasuindeksi Annual Greenhouse Gas Index, AGGI (Kuva 19) esittää, miten seuraavien ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuudet kehittyvät (NOAA, 2023):

- Hiilidioksidi CO₂
- Metaani CH₄
- Ilokaasu N₂O
- Freonit

Annual Greenhouse Gas Index



Kuva 19. kasviuonekaasujen pitoisuuksien kehittyminen (U.S. Global Change Research Program).

Indexistä ilmenee, että varsinkin hiilidioksidin päästöt jatkavat kasvuaan, eikä ilmastotoimenpiteet ole olleet riittäviä. Tässä syystä on entistä tärkeämpää analysoida, miten paljon eri tuotteet aiheuttavat elinkaarensa aikana kasviuoneilmiötä.

Tuotteen elinkaaren aikaisia kasviuonekaasupäästöjä (KHK-päästöt) kutsutaan sen hiilijalanjäljeksi ja tuotteisiin varastoitunutta eloperäistä hiiltä puolestaan sen hiilikädenjäljeksi. Yhdessä tuotteen hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskelmat muodostavat tuotteen hiilitaseen.

NBB-tuotteiden suurin kaupallinen argumentti Suomessa lienee juuri niiden edullinen hiilitase. Keski-Euroopassa kyseisten tuotteiden myynti puolestaan perustuu pitkälti niiden raaka-aineisiin, joiden perusteella ne sopivat erinomaisesti perinnerakentamiseen ja esimerkiksi vanhojen ristikkotalojen kunnostamiseen. Koska laskelmiin todistettu ympäristöystävällisyys ei ole vielä päämyyntiargumentti Keski-Euroopassa, vain harvasta tuotteesta oli saatavilla ympäristöselosteita, mikä hieman hankaloitti tämän osaselvityksen tekemistä. Kun tuoteryhmää edustavat hiilitasetiedot ovat peräisin yksittäisestä tuotteesta, ei liioin voida puhua keskiarvoista, kuten on tilanne vertailutuotteiden hiilitaseissa kansallisessa päästörekisterissä (www.co2data.fi). Yksittäisen tuotteen hiilijalanjälkeen voi suuresti vaikuttaa esimerkiksi se, että energia on peräisin tuotantohallin katolla olevista aurinkopaneeleista.

Hiilitaselaskelmissa on vielä kyse suuruusluokista, sillä tuotteiden ilmastoselosteita (EPD) tehdään vielä hyvin eritasoisesti. Useiden rakennustuotteiden ilmastoselosteissa on esimerkiksi hiilikädenjälki laskettu yhteen hiilijalanjäljen kanssa ja näiden arvojen eriyttäminen vaatii välillä salapoliisityötä. Hiilitaseiden laskentaa varjostaakin salaperäisyys, sillä laskelmien tekijät julkaisevat usein vain laskelmien tulokset, eikä tutkija silloin pääse selville, miten tuloksiin on päädytty, kuten on laita muissa tieteellisissä laskelmissa.

Hankkeessa vertailtiin erityyppisiä NBB-tuotteita, kuten lämmöneristeitä, palonsuojalevyjä ja tuulensuojalevyjä tavanomaisiin rakennustuotteisiin. Lisäksi tehtiin laskelmia NBB-tuotteista koostuvista rakenteista ja verrattiin näitä tavanomaisiin rakenteisiin.

Tuotteiden hiilitaseilla sekä valmistuskustannuksilla ja hinnoilla on monta yhtymäkohtaa, minkä takia myös NBB-tuotteiden talousseikkoja tarkasteltiin tässä osassa.

3.2. Hiilijalanjäljen selvitys

Ympäristöministeriössä on tekeillä rakennushankkeiden ilmastaselvityksen laskentamenetelmä, jolla kuntien rakennusvalvonnat voivat ryhtyä rajoittamaan rakennusprojektien hiilijalanjälkeä vuodesta 2025 lähtien. Kyseinen laskentamenetelmä perustuu standardeista (EN15804, 2012 & 2019) (ISO14067, 2018) löytyviin laskentakaavoihin, mutta rakennushankkeen elinkaaren kaikista vaiheista menetelmä jättää huomioimatta kuitenkin kuvassa 20 sinisellä tekstillä kirjoitetut vaiheet, sillä niiden vaikutus on vähäinen tai arviointi hankalaa (Ympäristöministeriö, 2021).

Tässä selvityksessä NBB-tuotteiden osalta otetaan huomioon vain elinkaaren vaiheet A1-3 ja D4, kuten kansallisessa rakennustuotteiden päästötietokannassa www.co2data.fi. Tämä perustuu siihen, että rakentamispaikka ei ole tiedossa ja lisäksi rakennusvaiheen, käytön aikaisten pintamateriaalien vaihdon sekä käytön jälkeisten vaiheiden hiilijalanjäljen osalta NBB-tuotteiden ja niistä koostuvien rakenteiden ei voida olettaa eroavan olennaisesti vertailutuotteistaan tai -rakenteistaan.

Rakennuksen elinkaaren vaiheet

A. Ennen käyttöä

A1 Raaka-aineiden hankinta

A2 Kuljetus valmistukseen

A3 Tuotteiden valmistus

A4 Kuljetukset työmaalle

A5 Työmaa-toiminnot

B. Käytön aikana

B1 Tuotteiden käyttö

B2 Kunnossapito

B3 Korjaukset

B4 Rakennus-tuotteiden vaihdot

B5 Laajamittaiset korjaukset

B6 Energian käyttö

B7 Veden käyttö

B8 Käyttäjien toimet

C. Käytön jälkeen

C1 Purkutyöt

C2 Kuljetukset käsittelyyn

C3 Jätteenkäsittely

C4 Loppusijoitus

D Elinkaaren ulkopuolelle jäävät muut vaikutukset, jotka arvioidaan osana

D1a Rakennusosien uudelleenkäytön kautta vältetty kasvihuonekaasupäästöt

D1b Materiaalien kierrätyksen kautta vältetty kasvihuonekaasupäästöt

D2 Materiaalien hyödyntäminen kierrätyspolttoaineena tai energiana

D3 Rakennuksessa tai sen tontilla tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia

D4 Pitkäikäisten rakennustuotteiden sisältämä eloperäinen tai tekninen hiili. CO2

D5 Sementtipohjaisiin tuotteisiin karbonatisoitumisen kautta sitoutuva ilmakehän

Kuva 20. Rakennuksen elinkaaren vaiheet, josta ympäristöministeriön ilmastaselvitys ottaa huomioon mustalla kirjoitetut vaiheet ja tämä hanke punaisella sekä vihreällä pohjalla olevat vaiheet.

Rakentamisen ympäristöselvityksessä ei näillä näkymin tulla alkuvaiheessa ottamaan huomioon tuotteiden sisältämää eloperäistä hiiltä, mutta se pyydetään kuitenkin esittämään selvityksessä

erikseen. Tässä hankkeessa tuotteiden ja rakenteiden hiilikädenjäljessä on lisäksi eritelty se osuus, joka uusiutuu enintään vuoden aikana, eli joka ei aiheuta hiilinielun katoa (Taulukko 3). Tämä vaikuttaa hiilikädenjäljen aikaperspektiiviin, joka on yksi huomioon otettavista seikoista seuraavassa kohdassa 3.3. ehdotetussa hiilikädenjäljen laskentamenetelmässä.

Taulukko 3. NBB-tuotteiden hiilitaseita. A1-3 on hiilikädenjälki ja D4 varastoitunut hiilikädenjälki, josta on eritelty enintään vuodessa uusiutuva osuus

Tuote	Yritys/yhteisö/lähde	Koostumus	Tiheys kg/m ³	Yksikkö	A1-3 Tuotteiden valmistus	D4 varastoi- tunut CO2	Josta ≤ vuodessa uusiutuu CO2
Savirappauslaasti, maakostea	Dachverband Lehm	Savi-hiekkalaasti 48/52	1900	kgCO2e/kg	0,007		
Savirappauslaasti, esikuivattu	Dachverband Lehm	Savi-hiekka-olkilaasti 32/67/1	1900	kgCO2e/kg	0,140	-0,01	
Savirappauslaasti, passiivikuivattu	Dachverband Lehm	Savi-hiekka-olkilaasti 30/69,5/0,5	1900	kgCO2e/kg	0,133	-0,01	
Savirappauslaasti, karkea tai puolikarkea	Clayworks	Savi-hiekkalaasti	1550	kgCO2e/kg	0,058		
Savirappauslaasti, sileä tai värilaasti	Clayworks	Savi-hiekkalaasti	1550	kgCO2e/kg	0,077		
Savilevy	Lemix	Savi n. 95 %, puukuitu, tärkkelys, juuttikangas	1450	kgCO2e/m2	2,150	-1,83	-0,91
Olkipuristelevy	Vestaeco	Olki 95 %, PMDI hartsi 5 %	140	kgCO2e/m2	5,655	8,53	8,53
Tapitettu massiivipuulevy	StructureCraft Builder Inc	Puu 99,9 %	449	kgCO2e/m3	121,400	-924,00	
Kasvikuitueristevilla	Cavac	Kasvikuituja (hamppu, pellava, puuvilla) 92 %, polyesterisideaine 8 %, suoja-aineita alle 1 %	30	kgCO2e/m2	1,920	-4,08	-4,08
Kasvikuitueristevilla	KOBE-cz	Hamppu 85 %, kierrätysmuovi 12 %, sooda 3 %	35	kgCO2e/m2	2,176	-4,40	-4,40
Lampaanvilla eriste Cosy	Thermafleece	Lampaanvilla 75%, kierrätysmuovi 20 %, suoja-aineet 5 %	18	kgCO2e/m2	0,908	-0,90	-0,90
Puhalluseriste	Ehta/LUKE	Sihdattu kutterilastu 100%	70	kgCO2e/kg	0,009	-1,57	
Olkielementti	Ecococon	Olkea 90 %, puuta ja vaneria 10 %	119	kgCO2e/m2	14,578	-76,70*	-69,07*
Massiivisavielementti	Materialepyramiden/ Claytec	Savi, hiekka ja sora	2300	kgCO2e/kg	0,004		

* Based on Ecoinvent report No. 15b, 2007

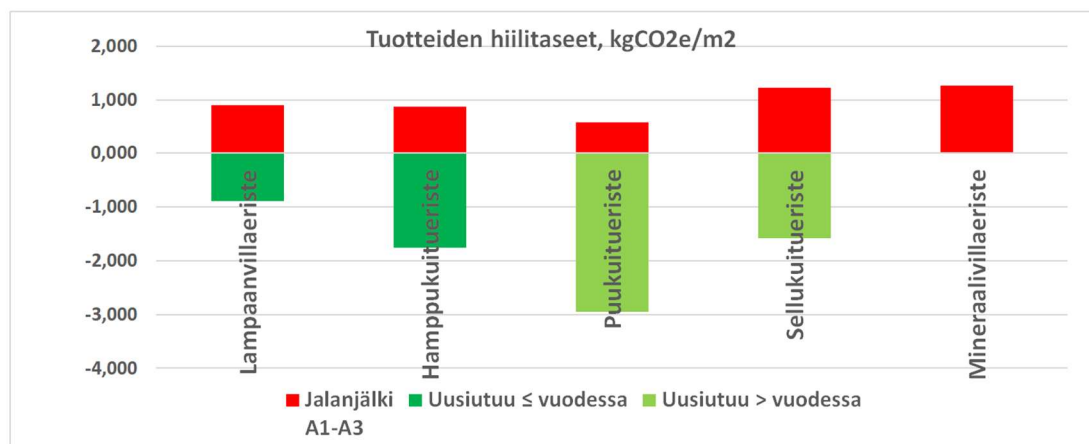
Tuotteiden hiilijalanjälki riippuu valmistukseen ja kuljetukseen käytetyn energian määrästä ja laadusta sekä maankäytön ja sen muutosten seurauksista. Hyvin energiasisällisen tuotteenkin valmistus voi olla vähähiilistä, jos tehdas käyttää lähes päästötöntä energiaa. Tästä hyvä esimerkki on kaavailtu teräksen lähes päästötön tuotanto vihreän vedyn avulla, jos vedyn tuotantoa varten saadaan tuotettua riittävästi uusiutuvaa energiaa. Myös Huntonin puukuitutuotteiden vähähiilisyys johtuu vähäpäästöisen energian käytöstä, selviää yrityksen tuotteiden ympäristöselosteista. Luonnonmukaisen rakennustuotteen valmistus kannattaakin perustua lähes päästöttömään energiaan ja mahdollistaa myös kierrätetyn raaka-aineen käyttö. Tällä voi tuotteen ympäristöselostuksen kannalta olla suurempi merkitys kuin tuotteen energiasisällöllä. Suomen nopeasti kasvava tuulivoimakapasiteetti antaa hyvät lähtökohdat vähäpäästöiselle rakennusainetuotannolle.

Kuvissa 21-26 tuotteiden ja rakenteiden laskelmat ja vertailut on tehty aina yhden neliömetrin osalta, mikä on osoittautunut toimivaksi tavaksi esimerkiksi lämmönjohtavuus- ja kustannuslaskennan puolella. Vertailua varten voidaan esimerkiksi rakennepaksuuksia säätää, jotta saadaan tuotteet tai rakenteet yhteismitallisia tärkeimmän teknisen ominaisuuden perusteella. Esimerkiksi lämmöneristeiden vertailu on yhteismitallista, kun niiden lämpövastus R on sama, ja $R = 1$ saavutetaan silloin kun tuotteiden paksuudella (m) on sama arvo kuin lämmönjohtavuudella (W/mK). Tuotteet ja rakenteet ovat usein kuitenkin erimitallisia jonkin toisen ominaisuuden perusteella, ja näin ollen vertailu harvoin antaa koko kuvaa asiasta.

Materiaali	Yritys/ lähde	Tiheys kg/m ³	Paksuus m	Tuotteen hiilitase kgCO ₂ e/m ²				Koostumus ja tarkennus	Tarvikkeen paloluokka
				Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu > vuodessa		

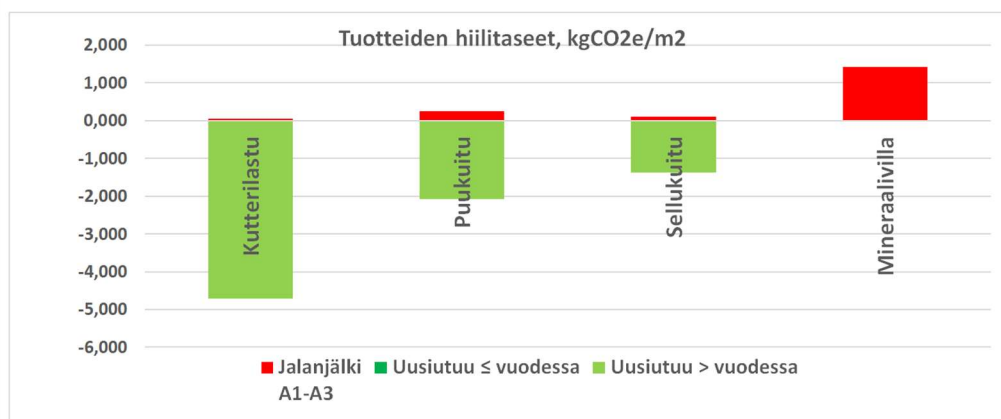
Eristevillat, $R = 1$ (m²K)/W

Lampaanvillaeriste	Therma- fleece	18,0	0,039	0,906	-0,899	-0,899		Lampaanvilla 75%, kierrätysmuovi 20 %, tuholaisenestoaaine 5 %	E
Hamppukuitueriste	KOBE-cz	35,0	0,040	0,870	-1,760	-1,760		Hamppu 85 %, kierrätysmuovi 12 %, sooda 3 %	D
Puukuitueriste	Hunton Nativo	50,0	0,038	0,566	-2,950		-2,950	Puukuitu 81 %, homeen- ja palonestoaaineet, polyolefin	E
Sellukuitueriste	CO2data tyypillinen	37,0	0,039	1,227	-1,587		-1,587	Kierrätyspaperi, homeen- ja palonestoaaineet, polyesteri	E
Mineraalivillaeriste	CO2data tyypillinen	29,5	0,036	1,274				Sulatetut kivi- kuidut, sideaine	A



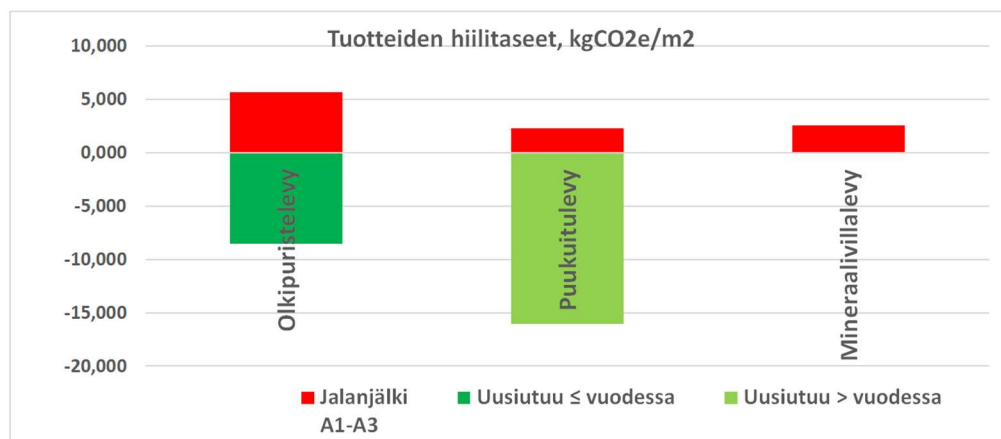
Kuva 21. Eristevillojen hiilitaseiden vertailua, kun niiden lämpövastukset ovat yhteismitallisia.

				Tuotteen hiilitase kgCO2e/m2					
Materiaali	Yritys/ lähde	Tiheys kg/m3	Paksuus m	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu > vuodessa	Koostumus ja tarkennus	Tarvikkeen paloluokka
Puhalluseristeet, R =1 (m²K)/W									
Kutterilastu	Ehta/LUKE	70,0	0,043	0,054	-4,712		-4,712	Sihdattu kutterilastu 100 %	E
Puukuitu	Hunton Nativo	33,0	0,038	0,246	-2,070		-2,070	Puukuitu 86%, ammoniumfosfaatti 5 %, parafiinivaha 1 %	E
Sellukuitu	CO2data tyypillinen	30,0	0,038	0,103	-1,368		-1,368	Kierrätyspaperi, homeen- ja palonestoaineet	E
Mineraalivilla	CO2data tyypillinen	33,0	0,036	1,426				Sulatetut kivikuidut, sideaine	A



Kuva 22. Puhalluseristeiden hiilitaseiden vertailua, kun niiden lämpövastukset ovat yhteismitallisia.

				Tuotteen hiilitase kgCO ₂ e/m ²					
Materiaali	Yritys/ lähde	Tiheys kg/m ³	Paksuus m	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu > vuodessa	Koostumus ja tarkennus	Tarvikkeen paloluokka
Tuulensuojaeristeet, R =1 (m ² K)/W									
Olkipuristelevy	Vestaeco	140,0	0,043	5,655	-8,530	-8,530		Olki 95 %, PMDI harts 5 %	E
Puukuitulevy	Hunton	230,0	0,046	2,285	-16,062		-16,062	Puukuitu, bitumi	
Mineraalivillalevy	CO2data tyypillinen	61,0	0,035	2,562				Sulatatut kivikuidut, sideaine	A

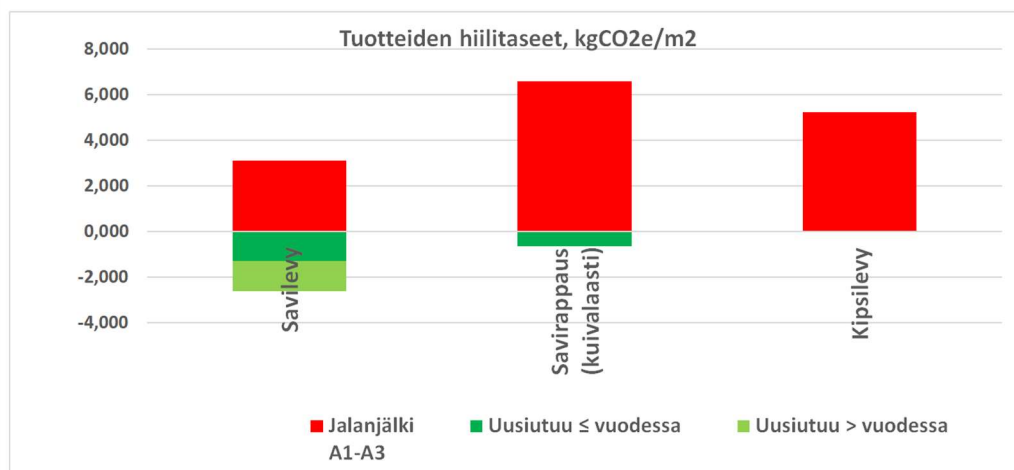


Kuva 23. Tuulensuojaeristeiden hiilitaseiden vertailua, kun niiden lämpövastukset ovat yhteismitallisia.

Materiaali	Yritys/ lähde	Tiheys kg/m ³	Paksuus m	Tuotteen hiilitase kgCO ₂ e/m ²				Koostumus ja tarkennus	Tarvikkeen paloluokka
				Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu > vuodessa		

Palonsuojaverhoukset, A luokka, 26 mm

Savilevy	Lemix	1450	0,026	3,106	-2,639	-1,320	-1,320	Savi n. 95 %, puukuitu, tärkkelys, juuttikangas	A
Savirappaus (kuiva)	Dachverband Lehm	1800	0,026	6,573	-0,655	-0,655		Kuivattu savijauho 32 %, hiekka 67%, olki 1%	A
Kipsilevy	CO2data tyypillinen	875	0,026	5,233				Kipsi, pahvi	A

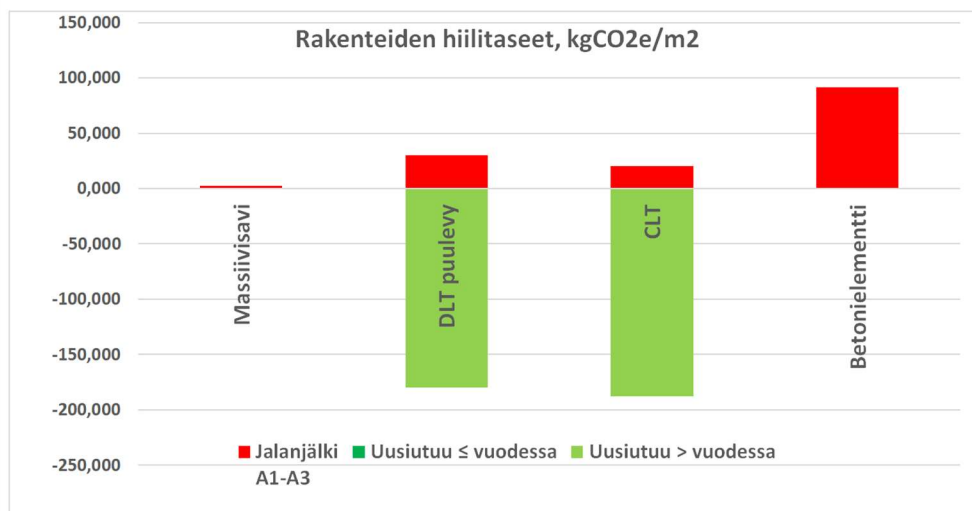


Kuva 24. Palonsuojaverhousten hiilitaseiden vertailua, kun niiden suojaverhousominaisuudet ja paksuudet ovat yhteismitallisia.

Materiaali	Yritys/ lähde	Tiheys kg/m ³	Paksuus m	Rakenteen hiilitase kgCO ₂ e/m ²				Koostumus ja tarkennus	een palolu
				Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu > vuodessa		

Kantava väliseinä, 250 mm paksu

Massiivisavi	Materialepyramiden/ Claytec	2300	0,250	2,325				Savi, hiekka ja sora	A
DLT puulevy	StructureCraft Builder	449	0,250	30,350	-179,6		-179,6	Puu 99,9 %	A
CLT	CO2data tyypillinen	470	0,250	19,975	-188,0		-188,0	Puu, PU-liima 1%	D
Betonielementti	CO2data tyypillinen	2444	0,250	91,650				Betoni, teräs	A

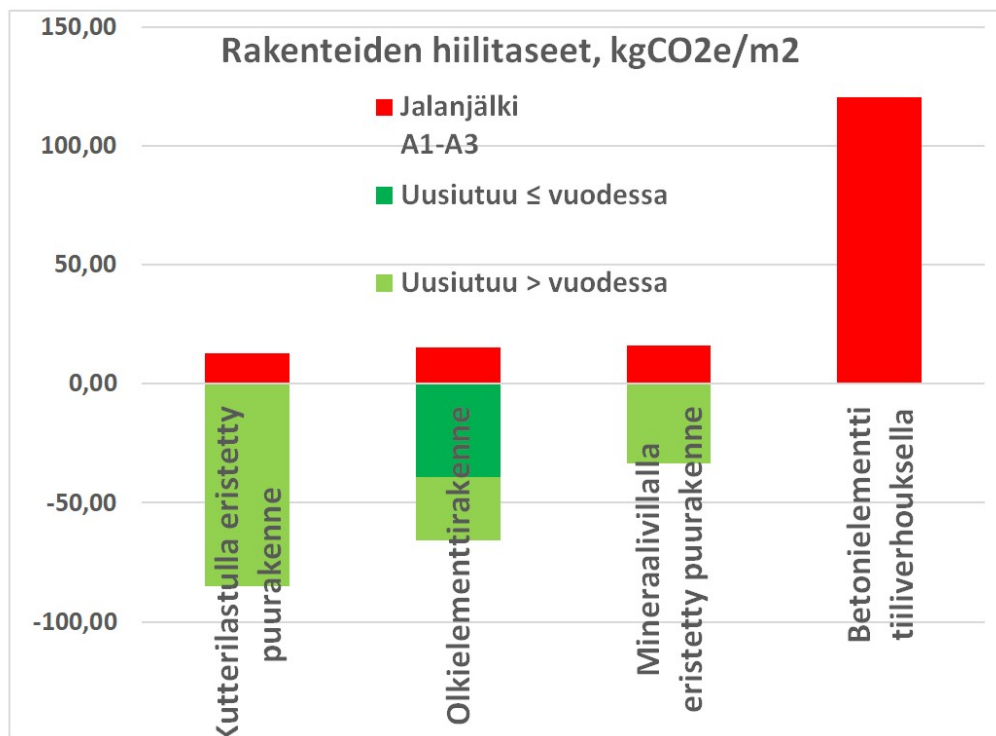


Kuva 25. Kantavien väliseinien hiilitaseiden vertailua, kun niiden paksuudet ovat yhteismitallisia.

	Rakenteen paksuus mm	Rakenteen hiilitase kgCO ₂ e/m ²			
		Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu > vuodessa

Kerrostalon ulkoseinärakenteet, U =0,17 W/m²K

Kutterilastulla eristetty puurakenne	457	12,47	-85,30		-84,89
Olkielementtirakenne	327	15,17	-65,91	-39,10	-26,80
Mineraalivillalla eristetty puurakenne	303	16,07	-33,38		-33,38
Betonielementti tiiliverhouksella	515	120,41			



Kuva 26. Erityyppisten kerrostalon ulkoseinien hiilitaseiden vertailua, kun niiden U-arvot ovat yhteismitallisia.

3.3. Hiilikädenjäljen selvitys

Siirryttäessä lineaaritaloudesta kiertotalouteen (Wikipedia1, 2023) myös purettua rakennusmateriaalia pyritään ensisijaisesti hyödyntämään uusien materiaalien valmistuksessa. Jossain vaiheessa materiaali kuitenkin päättyy jätteeksi ja silloin eloperäisen materiaalin sisältämän hiilen eli hiilikädenjäljen vapautumiselle takaisin ilmakehään on olemassa 3 skenaariota:

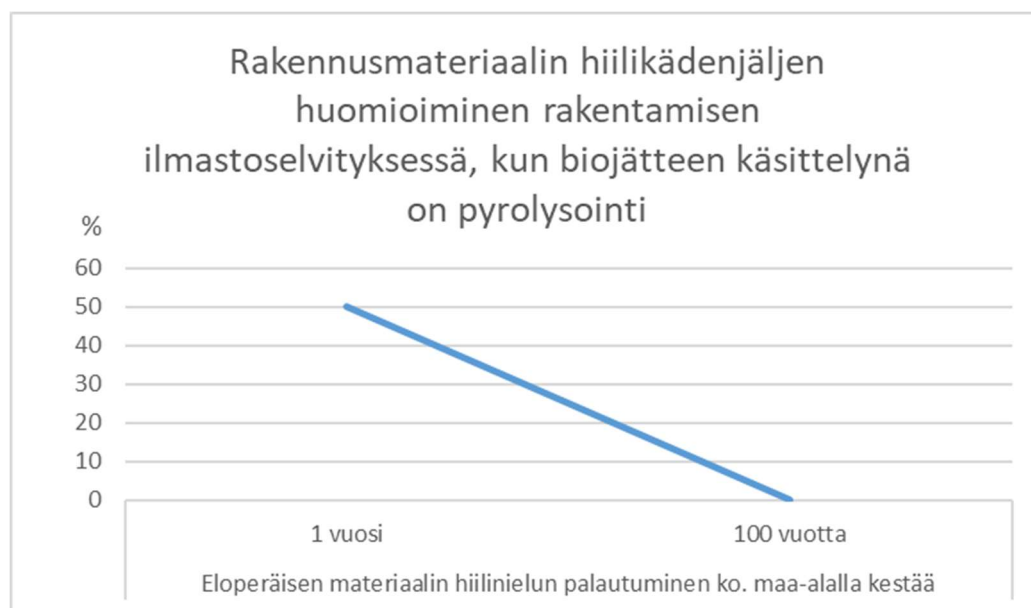
1. Hiilen talteenotossa eloperäinen hiili palautuu mineraalimuotoon, joka ei enää helposti vapaudu ilmakehään. Esimerkiksi pyrolyysissä 50 % eloperäisestä hiilestä muuttuu biohiileksi, jolloin prosessin ylläpitämiseen kuluu 15 % materiaalista ja lopulla 35 prosentilla voidaan tuottaa uusiutuvaa lämpöenergiaa esim. kaukolämmön tarpeisiin. Loppukin hiilidioksidi voidaan saada talteen savukaasun hiilidioksidin talteenotolla. Talteen otettu hiilidioksidi voidaan varastoida (CCS) tai hyödyntää (CCU) ja nämä tekniikat ovat tärkeä osa kansainvälisiä ilmastotoimia (Wikipedia2, 2023).
2. Lahoamisessa ja poltossa hiili hapettuu hiilidioksidiksi ja palautuu 100 % ilmakehään, jos hapetus on täydellinen. Tämä hiilidioksidikierron nollautuminen on standardien (EN 15804 ja ISO 14067) lähtökohta.
3. Mätänemisessä hiili yhdistyy vetyyn (hapen puuttuessa) ja syntyyvä metaani eli biokaasu (Wikipedia3, 2023) on 25-kertainen kasvihuonekaasu hiilidioksidiin verrattuna, jos se pääsee

kontrolloimattomasti ilmakehään (Wikipedia4, 2023). Eloperäinen materiaali mätänisi esim. maantäyttönä, mutta Suomessa on orgaanisen aineen kaatopaikkakielto. Biokaasun kontrolloitu tuottaminen ja polttaminen puolestaan nollaa kasvihuonekaasupäästöt (edellinen kohta). Puu sopii kuitenkin huonosti biokaasun tuotantoon.

Monien muiden Euroopan maiden tavoin Suomi on laatimassa uusia rakennusmääräyksiä, joiden perusteella rakentamisen hiilijalanjälkeä ryhdytään asteittain rajoittamaan. Nykyisten standardien perusteella laadittavien ilmastaselvitysten laskentakaavat eivät kuitenkaan ota huomioon eloperäisen hiilen vaikutuspotentiaalia, koska hiilen oletetaan palautuvan ilmakehään yllä esitetyn kohdan 2 mukaisesti. Esimerkiksi pyrolysointi olisi ilmastoystävällinen käsittelytapa eloperäiselle rakennusjätteelle, ja siihen ollaan menossa mm. yhdyskuntajätteen käsittelyssä (HSY, 2023). Lounavoima selvittää puolestaan mahdollisuutta talteen ottaa poltetun biojätteen savukaasun hiilidioksidi (FinDHC, 2023).

Käyttämällä puuta ja muita eloperäisiä materiaaleja rakentamisessa varastoidaan samalla hiiltä pitkäaikaisesti talojen rakenteisiin. Laadittavat ilmastaselvitysten laskentakaavat eivät kuitenkaan anna arvoa pelkälle hiilen varastoinnille, vaikka silläkin on suuri merkitys näinä ilmaston kannalta kriittisinä vuosikymmeninä. Varastoimalla hiiltä rakenteisiin (aiheuttamatta hiilinielun katoa) saataisiin lisää aikaa kehittää menetelmiä, joilla voidaan varmentaa, ettei kyseinen hiili pääse ainakaan täysmääräisesti takaisin ilmakehään.

Eloperäisen materiaalin hankinnasta johtuva hiilinielun taantuman syvyys ja pituus eli hiilen aikaperspektiivi asettaa materiaalit ilmastonäkökulmasta erilaisiin asemiin. Esimerkiksi korsiaineksen puiminen ja lampaan villan keritseminen eivät aiheuta hiilinielun pienenemistä. Myös metsän jatkuva kasvatus säilyttää metsän jatkuvasti hiilinieluna, vaikka sieltä kaadettaisiin puita (JatkuvaKasvatus, 2023). Mitä nopeammin materiaalin hiilinielu palautuu, sitä paremmin sen hiilikädenjälki tulisi ottaa huomioon ilmastovaikutuksen laskennassa, kun jätteenkäsittelynä on esimerkiksi pyrolysointi (Kuva 27). Biopohjaisen rakennusjätteen pyrolysointi voitaisiin määrätä pakolliseksi tai siihen voitaisiin soveltaa pullon kierrätyksestä tutuksi tullutta panttijärjestelmää.



Kuva 27. Ehdotus aikaperspektiivin huomioivasta hiilikädenjäljen laskentamenetelmästä, kun biojätteen käsittelynä on pyrolysointi.

Kuvan 27 kaavio ei huomioi, että prosessin tuottamalla ylimääräisellä lämmöllä voidaan korvata fossiilista energiaa. Se ei liioin ota huomioon materiaalihävikkiä eikä pyrolyysilaitoksen omia ilmastovaikutuksia.

Vaikka hiilikädenjäljen ilmastaselvityksessä huomioivan laskentamenetelmän kehitys viivästyisi, on biopohjaisen rakennustuotteen hiilinielua mahdollista jo nyt myydä päästökaupassa. Tosin metsien päästökaupan tulot saa tällä hetkellä Suomen valtio, myös yksityisistä metsistä.

3.4. Talousseikkoja

Tuotteiden valmistuskustannuksiin vaikuttaa suuresti tuotantoinvestoinnin määrä ja tässä suhteessa NBB-tuotteet eivät ole mikään poikkeus. Suuruuden ekonomia eli skaalaetu toimii myös rakennusaineteollisuudessa, eli yrityksen tuotannon kasvaessa keskimääräiset kustannukset laskevat tiettyyn rajaan asti. Suurin osa nykyisistä NBB-tuotteiden valmistajista on kohtalaisen pieniä yrityksiä, mikä asettaa ne epäreiluun asemaan verrattuna tavanomaisten rakennustuotteiden tuotantotehokkuutta ja -kustannuksia. Voidaan jopa sanoa, että kustannustehokkaan luonnonmukaisen rakennustuotteen valmistus Suomessa edellyttää, että sen tuotantolinjaan investoidaan heti alusta lähtien riittävästi.

On myös hyvä erottaa markkinahinta ja tuotantokustannukset toisistaan, sillä suuri kysyntä, joka voi johtua vaikkapa tuotteen ympäristöystävällisyydestä, nostaa helposti tuotteen markkinahintaa. Näin voi tapahtua, vaikka tuotantokustannukset pysyisivät samoina, kuten on nähty käyvän esimerkiksi puutavaran osalta. Monet NBB-tuotteet ovat tällä hetkellä tavanomaisia tuotteita kalliimpia osittain edellä mainitun markkinahinnoittelun takia, mutta joukossa on myös erittäin edullisia tuotteita, kuten savirappauslaasti. Tuotekorteissa on pyritty kuvaamaan, miten helposti kyseisiä raaka-aineita on saatavilla ja ovatko ne materiaalin pää- vai sivuvirtaa. Monet raaka-aineet ovat edullisia maa- ja metsätalouden sekä maankaivuun sivuvirtoja, mikä on hyvä lähtökohta kustannustehokkaalle tuotannolle.

NBB-tuotteiden vertailukohtana olevien materiaalien, kuten sementin ja betonin, lasin, metallin, mineraalivillan jne. valmistuksessa tarvitaan korkeita lämpötiloja. Niiden energiaintensiivisyydestä huolimatta niitä voidaan tuottaa kuitenkin melko edullisesti, koska fossiilisten polttoaineiden ja uusiutumattomien luonnonvarojen raaka-aineet ovat lähtökohtaisesti ilmaisia. Maan syvyyksistä kaivetuilla ja pumpatulla energialla on saatu aikaan ns. hiilihumala (Taalas, 2022), jonka välillisenä seurauksena on nykyinen ilmastomuutos sekä ylikulutus ja ylikansoitus. Olisi siis kohtuullista asettaa näin hankituille raaka-aineille ympäristövero, ja vuodesta 2019 lähtien hiiliveroja onkin otettu käyttöön tai suunnitellaan käyttöön otettavaksi 25 maassa, ja 46 maata on asettanut hiilelle jonkinlaisen hinnan (Wikipedia5, 2023). Monet taloustieteilijät väittävätkin, että hiiliverot ovat tehokkain (edullisin) tapa torjua ilmastomuutosta (Wikipedia5, 2023). Yleistyessään hiilivero ratkaisisi pitkälle rakennustuotteiden epäreilun kustannusvertailun, eikä tuotteiden hiilitaseita olisi enää tarvetta laskea. Kuluttajienkin kannalta olisi erittäin toivottavaa, että tuotteiden ympäristöystävällisyys näkyisi niiden hinnassa ja näin kuluttaja voisi palata tekemään ostopäätöksen vain hinnan, ulkonäön, terveellisuuden ja teknisten ominaisuuksien perusteella.

Ilmastonmuutos ja ylikansoitus on aiheuttanut myös luonnon monimuotoisuuden katoa, josta seurannut Korona-pandemia osoitti, kuinka haavoittuvainen on talous, joka perustuu pitkiin globaaleihin logistiikkaketjuihin. NBB-tuotteiden valmistuksella Suomi voisi taata tuoteomavaraisuuden rakennusalalla.

4. Työpaja ja käyttöpotentiaalin selvitys

4.1. Työpajan lähtökohdat ja menetelmät

Hankkeen työpajan tavoitteena oli kerätä tietoa siitä, kuinka Suomessa suhtauduttaisiin NBB-tuotteisiin. Selvitys koostui 3 osasta

- Työpajan aikana ja sitä ennen jaetusta informaatiosta
- Työpajan ohessa järjestetystä tuotenäyttelystä
- Osanottajilta ja muilta saadusta palautteesta

Työpajaan osallistui 66 osallistujaa, joista noin 35 oli paikan päällä ja loput etänä. Ennen työpajaa osallistujille oli jaettu video, joka antoi katsauksen työpajassa julkaistuihin tuotekortteihin. Luento-osassa käsiteltiin tuotekorttien ja hiilitaselaskelmien lisäksi myös NBB-tuotteista koostuvien rakenteiden paloturvallisuutta, joka on osoittautunut pullonkaulaksi, kun pyritään saamaan suuria ilmastovaikutuksia kerrostalorakentamisella. Työpajan ohessa järjestettiin tuotenäyttely, johon oli hankittu laajasti tuotteita Suomesta sekä Leipzigin Denkmal-messuilta (Kuva 28).



Kuva 28. Työpajan ohessa järjestetty NBB-tuotteiden näyttely.

Paikan päälle tulleet osallistujat muodostivat ryhmiä, jotka pohtivat tuoteryhmä kerrallaan tuotteiden vahvuuksia, heikkouksia ja lisätietotarpeita ja ryhmät esittivät työpajan lopuksi tuloksiaan. Tapahtuman jälkeen työpajan osallistujille sekä muille henkilöille ja organisaatioille järjestettiin kysely siitä, kuinka todennäköisesti olisivat käyttämässä tuotteita omassa tai yrityksensä rakennusprojektissa.

4.2. Kyselyn tulokset

Kysely toteutettiin internetissä kahdella lomakkeella, joilla oli pieniä painotuseroja (Taulukko 4).

Taulukko 4. Internetissä toteutetun kyselyn kaksi lomakeversiota

Kysely yksityisille ihmisille, jotka voisivat valita oman talonsa rakennusaineita	Kysely rakennuttajille ja suunnittelijoille, jotka valitsevat tuotteita ja rakennetyyppejä työkseen
Etunimi, Sukunimi, Yritys/yhteisö	
Taustaorganisaatio/koulutus/toimi Voit valita useita vaihtoehtoja: • Tuotevalmistaja • Rakennuttaja • Urakoitsija/rakentaja • Omatoimirakentaja • Arkkitehti • Insinööri • Tutkija • Opiskelija • Kaupunki/Kunta • Rakennusviranomaisen • Hanke/erityisasiantuntija • Valtio/ministeriö • Investoija/kehitysyhtiö • Maa- ja metsätalousalan toimija • Muu:	Taustaorganisaatio Voit valita useita vaihtoehtoja: • Rakennuttaja • Suunnittelija • Kaupunki/Kunta • Investoija/kehitysyhtiö • Muu:
Mikä on suhteesi/yrityksen suhde luonnonmukaiseen rakentamiseen? • En/ei tunne hyvin entuudestaan / kerään/kerää tietoa • Olen/on seurannut alaa jo jonkin aikaa / olen/on kokeillut hieman • Olen/on alalla työn/i tai rakennusprojektin/i kautta	
Miten todennäköisesti käyttäisit luonnonmukaista rakennustuotetta omassa rakennusprojektissasi, jos sen hinta olisi sama kuin vertailutuotteen?	Miten todennäköisesti yrityksenne käyttäisi luonnonmukaista rakennustuotetta rakennusprojektissaan tai suosittelisi sitä asiakkaalle, jos tuotteen hinta olisi sama kuin vertailutuotteen?
Vastaa kysymyksiin asteikolla 1–5: 1 Hyvin epätodennäköisesti 2 Epätodennäköisesti 3 En osaa sanoa / ei vaikutusta 4 Todennäköisesti 5 Hyvin todennäköisesti	
Arvioitavat tuotteet: 1. Olkielementit 2. Kasvipohjaiset eristevillat 3. Lampaanvillaeristeet 4. Puhalluseristeet 5. Korsipuristelevyt 6. Ruokolevyt ja -matot 7. Savilaastit	

8. Savilevyt 9. Savimassat ja -elementit 10. Savitiilet ja -laatat 11. Maalit ja pinnoitteet	
Kuinka paljon enemmän olisit valmis maksamaan luonnonmukaisista rakennustuotteista? Ilmoita vastaus prosentteina, esim. 25%	Kuinka paljon enemmän luonnonmukainen rakennustuote saisi maksaa kuin vertailutuote, jotta sen käyttö yrityksen rakennusprojektissa tai suosittelu asiakkaille olisi vielä relevanttia. Ilmoita vastaus prosentteina, esim. 15
Mitkä tekijät säätelevät rakennustuotteen valintaasi eniten rakennushankkeessa?	Mitkä tekijät säätelevät rakennustuotteen valintaa eniten yrityksen suunnittelu- tai rakennushankkeessa?
Voit valita useita vaihtoehtoja: • Tekniset ominaisuudet • Hinta • Terveellisyys • Vähähiilisyys • Esteettiset ominaisuudet • Saatavuus Suomessa	
Mikä tekijä on mielestäsi/yrityksenne mielestä suurimpana esteenä tuotteiden yleistymiselle Suomessa?	
Avoin palaute tapahtuman järjestäjille	

Kyselyyn pyydettiin vastauksia ensisijaisesti työpajaan ilmoittautuneilta, mutta kysely lähetettiin myös muille henkilöille, joihin oli oltu yhteydessä tämä hankkeen yhteydessä. Lisäksi kyselyn linkkiä jaettiin Arkkitehtitoimistojen liiton sekä Green Building Council Finlandin uutislehtien kautta. Toimivaa kanavaa pelkästään rakennuttajien pyytämiseksi mukaan kyselyyn ei valitettavasti löytynyt.

Kysely lähetettiin yli 200 sähköpostiosoitteeseen ja vastauksia saatiin 23.1.2023 mennessä yhteensä 28 kpl. Vastaajat valitsivat useita vaihtoehtoja taustaorganisaationsa, koulutuksensa ja toimensa osalta. Suurin osa vastaajista oli rakennuttajia tai suunnittelijoita 39 %, tutkijoita, opiskelijoita tai opettajia 25 % sekä erityyppisiä rakentajia tai urakoitsijoita 32 %. Vastanneista oli alalla työn tai rakennusprojektin kautta 46 %, seurannut alaa jo jonkin aikaa tai kokeillut hieman 36 % ja alaa eivät tunteneet hyvin entuudestaan tai keräsi tietoa 18 %. Kyselyyn vastaamiseen löysivät siis parhaiten aikaa sellaiset henkilöt, joille ala oli jossain määrin tuttu jo entuudestaan. Aiheellinen kysymys onkin, voiko vastaajalla, joka ei tunne tuotteita tai alaa entuudestaan, olla riittävästi tietoa arvioida tuotteita vain lukemansa ja näkemänsä perusteella. Joukkoon mahtui kuitenkin alaa tuntemattomia ja siihen kriittisesti suhtautuvia vastaajia.

Taulukossa 5 on esitetty tämän kyselyn perustella NBB-tuotteiden ja yleisten rakennustuotteiden valintaperusteiden arvottaminen riippuen vastaajien taustasta, koulutuksesta, toimesta ja suhteesta luonnonmukaiseen rakentamiseen. Tuotteiden pisteytyksessä kysyttiin, kuinka todennäköisesti käyttäisit tai suosittelet kyseistä NBB-tuotetta ja vaihtoehtoina olivat 1 Hyvin epätodennäköisesti, 2 Epätodennäköisesti, 3 En osaa sanoa / ei vaikutusta, 4 Todennäköisesti ja 5 Hyvin todennäköisesti. Parhaiten ymmärrettävästi pärjäsivät tuotteet, joita jo käytetään Suomessa ja hyväksyttävä tuotteiden lisähinnan keskiarvo oli 19 %. Tähän vaikutti hieman pari alalla olevaa rakennuttajaa/suunnittelijaa, jotka olisivat valmiita maksamaan 100 % enemmän NBB-tuotteista tavanomaisiin tuotteisiin verrattuna. Positiivisimmat tulokset on korostettu taulukossa vihreällä pohjalla. Vastauksista selvisi, että rakennustuotteiden yleisenä valintaperusteena korostuvat tuotteiden tekniset ominaisuudet,

jotka saivat 78,6 % pisteistä. Tuotteen hinta sai 17,9 % sekä terveellisyys 3,6 % pisteistä, kun vähähiilisyys, esteettiset ominaisuudet ja saatavuus Suomessa eivät saaneet ollenkaan pisteitä.

Taulukko 5. NBB-tuotteiden ja yleisten rakennustuotteiden valintaperusteiden arvottaminen riippuen vastaajien taustasta, koulutuksesta, toimesta ja suhteesta luonnonmukaiseen rakentamiseen.

	Tuotteiden pisteytys 1-5													Valinta- peruste		
Vastaajien tausta, koulutus tai toimi sekä suhde luonnonmukaiseen rakentamiseen	1 Olkielementit	2 Kasvipohjaiset eristevillat	3 Lampaanvillaeristeet	4 Puhalluseristeet	5 Korsipuristelevyt	6 Ruokolevyt ja -matot	7 Savilaastit	8 Savilevyt	9 Savimassat ja -elementit	10 Savitiilet ja -laatat	11 Maalit ja pinnoitteet	Yhteensä	Hyväksyttävä lisähinta %	Tekniset ominaisuudet %	Hinta %	Terveisyys %
Rakennuttajat ja suunnittelijat	3,8	4,7	3,8	4,7	4,3	4,3	4,1	4,2	4,2	4,3	4,5	4,3	19	91	9	0
Rakentajat ja urakoitsijat	4,1	4,6	3,4	4,7	4,1	4,1	4,7	4,0	4,0	4,2	4,7	4,2	15	56	33	11
Tutkijat, opiskelijat ja opettajat	3,7	4,4	3,6	4,7	4,1	4,1	4,7	4,0	4,1	4,4	4,6	4,2	13	71	29	0
Olen seurannut alaa jo jonkin aikaa / olen kokeillut hieman	4,1	4,6	3,8	4,8	4,4	4,0	4,4	4,0	3,8	4,4	4,7	4,3	19	90	10	0
Olen alalla työni tai rakennusprojektini kautta	3,6	4,7	3,2	4,6	4,0	4,1	4,5	3,9	4,1	4,2	4,7	4,1	20	69	23	8
En tunne hyvin entuudestaan / kerään tietoa	3,0	3,8	3,8	4,2	3,4	4,0	3,2	3,0	3,4	3,6	3,8	3,6	14	80	20	0
Yhteensä kaikki	3,7	4,5	3,5	4,6	4,0	4,0	4,3	3,8	3,9	4,1	4,5	4,1	19	79	18	4

Suurimpana esteenä tuotteiden yleistymiselle Suomessa nähtiin:

- Tiedon puute olemassa olevista tuotteista, 46,4 %
- Kalleus ja sitä aiheuttava teollisten investointien puute, 42,9 %
- Tutkimuksen puute ja rakennuslupaongelmat, 39,3 %. Lisää tutkimusta ja tietoa kaivattiin mm. palo-, lämpö- ja kosteusteknisistä ominaisuuksista sekä pilottirakentamisesta tuotteilla. Tutkimustulosten ja sertifiointien puute voi johtaa jopa oikeudellisiin ongelmiin ja taloudellisiin menetyksiin, jotka saattavat paljastua vasta käyttöluvan hakemusvaiheessa, kun rakennus on jo valmis.
- Saatavuus, 28,6 %. Monia tuotteita ei ole saatavilla Suomessa tai niiden tilaaminen ulkomailta on hankalaa.
- Asenne, 25,0 %. Suomalainen rakennusala koetaan konservatiiviseksi, varsinkin kun on kysymyksessä ei-korkean teknologian tuotteet.
- Osaajien puute, 3,6 %. Tällä saatettiin viitata myös perinnerakentamisen osaajien puutteeseen.

Avoimessa palautteessa tapahtuman järjestäjille saatiin kiitosten lisäksi ehdotuksia järjestää jatkossa pidempiä työpajoja, joissa ehdittiin keskustelemaan aiheista ja verkostoitumaan paremmin. Samalla toivottiin, että tietoa NBB-tuotteista jaettaisiin jatkossakin, ja näin tapahtuikin, kun kyselyä varten pohja-aineistoa lähetettiin yli 200 sähköpostiosoitteeseen. Terveisiä saivat tässä osassa myös rakennusainetuottajat, joiden toivottiin lähtevän liikkeelle keihäänkärkituotteilla, joissa ei ole riskejä.

4.3. Alustava kerrostalorakentamisen paloselvitys

Jotta vähähiilillä rakennustuotteilla olisi vaikutusta ilmastomuutokseen, olisi niillä voitava rakentaa kerrostaloja, pientalojen lisäksi. Suomalaiset palonormit ovat kuitenkin biopohjaisten tuotteiden pullonkaulana kerrostalorakentamisessa, kuten puurakentaja tietävät. Ratkaisu saattaa kuitenkin

löytyä polttamattomista savituotteista, sillä savi on palamaton mineraaliaines. DIN 4102-4 normin ja vastaavan Euroopan komission päätöksen (EY, 1996) mukaan mineraalituotteet voidaan luokitella rakennusmateriaaliluokkaan A1 (palonkestävä) ilman testausta, kun niiden biomateriaalien pitoisuus on alle 1 %. Savirappauslaastin ja -levyn palonsuojaominaisuuksista onkin tehty laajasti kansainvälistä ja kotimaista tutkimusta seuraavien organisaatioiden toimesta:

- Tampereen yliopisto, Savirapatun, höylälastueristeisen ja osastoivan puurakenteen palotestaus
- Tallinn University of Technology, Eesti, Savirappauksen suojavaikutus puurakenteiden palosuunnitteluun
- Technical University of Braunschweig, Saksa, Monikerroksisten olkipaalarakennusten palonsuojaus savirappauksella
- The Danish Institute of Fire and Security Technology, Tanska, Savirappausten palotestaus täysimittaisilla K1-10 / B-s1, d0 Ecococon-testiseinillä
- Research Institutes of Sweden, Ruotsi, Savirappausten ja -levyjen palonsuojaominaisuuksien testaus
- FIRES, s.r.o., Slovakia, Ecococon olkipaalielémentin osastoivuustestaus
- Leipzig Institute for Materials Research and Testing, Saksa, Lemix-savilevyn palotestaus

Ympäristöministeriön julkaiseman Suomen rakentamismääräyskokoelman Rakennusten paloturvallisuusmääräykset ja -ohjeet (YM_E1, 2011) jakavat rakennukset 3 paloluokkaan:

1. Paloluokkaan P1 kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan pääsääntöisesti kestävän palossa sortumatta. Rakennuksen kokoa, kerrosmäärää ja henkilömäärää ei ole rajoitettu. Betonin ja teräksen lisäksi rakennuksen erillinen palamaton ja kantava runko ja porras/hissitorni voisivat silloin koostua esim. massiivisavielementeistä. Ei kantavissa ulko- ja sisäseinissä sekä yläpohjassa voida silloin käyttää luonnonmukaisia rakenteita, joiden sisä- ja ulkopinnoissa on riittävä palonsuojaverhous esim. savilaastista tai -levystä.
2. Paloluokkaan P2 kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset voivat olla paloteknisesti edellisen luokan tasoa matalampia. Riittävä turvallisuustaso saavutetaan asettamalla vaatimuksia erityisesti pintaosien ominaisuuksille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille. Lisäksi rakennuksen kokoa ja henkilömääriä on rajoitettu käyttötavasta riippuen, esimerkiksi asuin- ja työpaikkarakennuksissa enintään 8 kerrokseen. Tähän luokkaan kuuluvat puukerrostalot kuitenkin sillä edellytyksellä, että niiden lämmöneristeet ovat palamattomia eli mineraalivillaa. Sisäpinnan palonsuojana tavanomaisesti käytettävä kipsilevy voidaan korvata savilaastilla tai -levyllä.
3. Paloluokkaan P3 kuuluvan rakennuksen kantaville rakenteille ei aseteta erityisvaatimuksia palonkestävyyden suhteen. Riittävä turvallisuustaso saavutetaan rakennuksen kokoa ja henkilömääriä rajoittamalla käyttötavasta riippuen, esimerkiksi kerrosluvun osalta enintään 2 kerrokseen. Näissä rakennuksissa NBB-tuotteita voidaan käyttää melko vapaasti.

Olkielementtejä toimittava yritys Ecococon Nordic Oy on kuitenkin ryhtynyt ideoimaan suomalaisten rakennusyriyten kanssa kestävää kerrostaloa, jossa olisi kantava CLT-kirjahyllyrunko ja ulkoseinät olkielementeistä. Samalle rakennuskonseptille on saatu rakennuslupa Malmöön rakennettavalle 12 kerroksiselle vuokra-asuintalolle (Kuva 29).



Kuva 29. Strombro Building Workshop AB on saanut rakennusluvan Ruotsin Malmöön rakennetavalle 12 kerroksiselle vuokra-asuintalolle, joka koostuu olkielementeistä ja kantavasta CLT-rungosta.

Tampereen yliopistolla laadittiin Korresta kerrostaloksi –hankkeen tutkimussuunnitelma kyseisen kerrostalokonseptin tarvitsemien tutkimusten ja selvitysten tekemiseksi ja yhtenä pääteemana on juuri palotekninen selvitys. Yllä esitettyjen taulukkomitoitusluokkien lisäksi on olemassa rakennuskohtainen toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu P0(P2), jonka avulla kyseiselle rakennuskonseptille voitaisiin saada rakennuslupa. Kyseinen paloturvallisuussuunnittelu sisältäisi:

- Palorasitusten määrityksen erilaisissa rakennuksissa
- Mallien laatimisen materiaaleille niiden lämmönjohtavuuden, lämpökapasiteetin ja tiheyden perusteella ja mallien validointi (vertaus kartiokalorimetrikokeiden tuloksiin tms.).
- Rakenteiden lämpenemisen simuloinnin palorasituksissa (sisältä ja ulkoa).
- Riskitasojen vertailun taulukkomitoituksen sallimiin ratkaisuihin.

Tarkastelujen johtopäätöksenä saadaan selville, millä edellytyksillä valittua eristettä ja rakennetyyppejä voidaan hyödyntää P0(P2) paloluokan rakennuksissa esimerkiksi palosuojaavien materiaalikerrosten paksuutta kasvattamalla, sprinklerin toimintavarmuutta parantamalla, rakennuksen maksimikorkeutta rajoittamalla, yms., tai näiden yhdistelmänä.

Kun suunnitteluympäristön muodostaminen tarkasteltavalle mitoitusongelmalle on kertaalleen tehty, ovat jatkotarkastelut todennäköisesti selvästi helpompia.

5. Kotisivu

NBB-tuotteista olevaa tietoa on ollut hyvin pirstoutuneena löydettävissä ja on ollut selkeä tarve kotisivulle, josta tieto löytyy kootusti, ja johon tietoa voidaan päivittää. Tämän hankkeen kotisivulta <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/natureco2/> voi nyt ladata tämän loppuraportin lisäksi kaikki hankkeeseen liittyvät videot sekä dokumentit, kuten erilliset tuotekortit. Kyseinen kotisivu toimii siis ideoidun innovaatiokeskuksen kotisivun ensimmäisenä versiona ja työpajan viestinnässä käytetty sähköpostiosoite NatureBasedBuilding@tuni.fi toimii innovaatiokeskuksen postilaatikkona. Kotisivuille on myös linkitetty kaikki tärkeimmät alan hankkeet ja organisaatiot Suomessa:

- Tampereen yliopiston Ecosafe-hanke
- Savi ry
- Raision seudun koulutuskuntayhtymän Savirakentaja-opetusohjelma
- Oulun AMK:n Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit -hanke
- Turun AMK:n Ruoko rakennusmateriaalina –hanke ja Rakennetaan hampusta –hanke
- ELY-keskuksen Tietopankki järviruo'osta
- John Nurminen Säätiön Rannikoruokohanke
- Keski-Suomen AMK:n Biohiili rakennusmateriaaleissa -hanke
- Puuinfo Oy
- Puutuoteteollisuus ry
- Green Building Council Finland
- Rakennustietosäätiö
- Rakennustuoteteollisuus Oy

Lisäksi biokomposiitteja ja -sideaineita tutkitaan monissa tutkimuslaitoksissa ja yrityksissä.

6. Innovaatiokeskuksen selvitys

NBB-tuotteita on Suomessa tutkittu eri tutkimuslaitoksissa yksittäisissä hankkeissa, mutta alan kehittäminen olisi oltava pitkäjänteistä, mihin tarvittaisiin pysyvää organisaatiota. Termi innovaatiokeskus viittaa siihen, että tuotteiden testaamisen lisäksi keskuksessa myös kehitetään tuotteita ja valmistetaan niiden koekappaleita. Näin tulee koekappaleiden koostumus ja valmistusmenetelmät tarkasti dokumentoitua ja tutkijat voivat helposti optimoida koostumuksia pyrkiessään kehittämään tuotteille haluttuja ominaisuuksia. Hyvänä esimerkkinä innovaatiokeskuksesta on Bathin yliopistossa, Iso-Britanniassa, toimiva Innovatiivisten rakennusmateriaalien keskus (BRE, 2023).

Tarvetta on myös organisaatiolle, joka kehittää alaa yleisesti mm. seuraavasti:

- Tutkii paloturvallisuutta ja pyrkii vaikuttamaan palonormien kehitykseen niin, että saadaan kerrostalorakentamisen mahdollistava taulukkomitoitus.
- Kehittää eloperäistä hiiltä sisältävän rakennusjätteen loppukäsittelyä niin, että hiilikädenjälki voidaan ottaa huomioon rakennusten ilmastonselvityksessä. Tämä vaatii mahdollisesti vaikuttamista EU-standardeihin ja sitä edeltävän EU-hankkeen.
- Tutkii rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa niin, että voidaan löytää materiaalien yleisiä korrelaatioita esimerkiksi tiheyteen liittyen. Tämä helpottaisi osaltaan uusien rakennustuotteiden kehitystyötä, kun voitaisiin ennustaa, minkälaisia terveysvaikutuksia uudella tuotteella voi olla sen koostumuksen perusteella.
- Selvittää kanavia yritystoiminnan liikkeellelähdon tukemiseksi ja esim. tuotteiden yhteismarkkinointiin.
- Järjestää alan seminaareja sekä tuotenäyttelyitä ja auttaa alan toimijoita verkostoitumaan. Tämä voisi toteutua esim. joka toinen vuosi Tampereen yliopistolla järjestettävän Rakennusfysiikkaseminaarin yhteydessä tai omana seminaarina.
- Keskuksen toimintaa voidaan kytkeä myös tutkijakouluun ja yksiköiden opetusohjelmiin sekä vierailuluentojen pitämiseen muissa tilaisuuksissa.

Ideaalitapauksessa yrittäjä saisi keskuksen kautta tuotteen ja tuotantolinjan teknisen kehityksen, tuotteen CE tai ETA –sertifioinnin ja ympäristöselosteen, rakennesuunnitelmia sekä tarvittaessa yritysneuvontaa ja markkinointitukea. Tuotteiden, rakenteiden ja prosessien kehittäminen tapahtuisi

luonnollisesti hankerahoituksella, mutta sitä ennen innovaatiokeskuksen palvelun ylösajo tarvitsisi panostusta. Olisi mm. haettava parhaat tekijät tälle palvelukokonaisuudelle, jossa Tampereen yliopiston osuus keskittyisi lähinnä teknisiin asioihin. Tämän nykyisen hankkeen aikana onkin muodostunut jo paljon kontakteja, joista tuo yhteistyö voisi rakentua. Alkuvaiheessa ei siis tarvittaisi suuria konehankintoja, sillä ajatus on juuri muodostaa yhteistyörinki sen perusteella, millä laitoksella sopivia näytekappaleen valmistuslaitteita ja testauslaitteita on jo olemassa.

Tampereen yliopiston rakennetun ympäristön tiedekunta on kiinnostunut alasta sekä kyseistä innovaatiokeskuksesta, ja parhaiten keskus soveltuisi rakennusfysiikan tutkimuksen yhteyteen. Yliopisto on valmis rahoittamaan toimintaa jollakin osuudella, mutta pääosa rahoituksesta pitäisi kuitenkin tulla yliopiston ulkopuolelta, mikä johtaa kahteen vaihtoehtoiseen toimintamalliin:

1. Jos rahoitusta saadaan yleistä innovaatiokeskuksen ylösajoa varten, voidaan edellä mainittuja alan yhteisiä asioita alkaa kehittämään ja ongelmia ratkaisemaan.
2. Jos rahoitusta saadaan vain yksittäisille tuotehankkeille, on innovaatiokeskuksen toiminta ns. hyllyllä hankkeiden välillä.

Kuten edellisessä osassa kuvattiin innovaatiokeskuksen kotisivu ja sähköpostiosoite voivat kuitenkin olla pysyviä.

7. Johtopäätökset

NBB-tuotteiden valmistus ja käyttö ovat yleistyneet nopeasti Keski-Euroopassa viime vuosikymmeninä. Suomi on jäänyt jälkeen kyseisten tuotteiden kehityksessä ja valmistuksessa, mutta raaka-aineittensa puolesta sillä olisi hyvät edellytykset kyseiseen tuotantoon. Kartoituksessa löytyi suuri määrä kyseisiä tuotteita, joista tehtiin niiden teknisten ominaisuuksien sekä valmistus- ja käyttötapojen perusteella 11 tuotekorttia. Hankkeessa tehdyn selvityksen mukaan nyt kartoitetut tuotteet sopisivat hyvin käytettäväksi kaikkien Suomessa käytössä olevien puurakenteiden kanssa, ja olisi mahdollista innovoida useita talonrakennuskonsepteja pien- ja kerrostalorakentamiseen.

NBB-tuotteiden edulliset vaikutukset sisäilman olosuhteisiin perustuvat pitkälti niiden rakennusfysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin ja kyseiset vaikutukset voidaan luokitella seuraavaan 5 ryhmään:

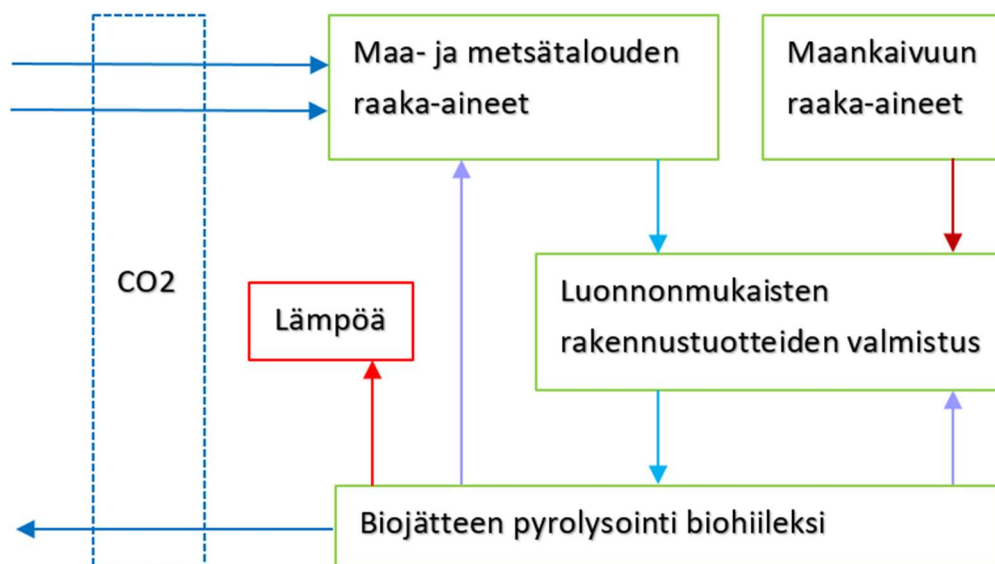
- Huoneilman kosteuden tasapainotuskyky
- Huoneen lämpötilan tasapainotuskyky
- Rakenteiden vikasietoisuus ja kosteusturvallisuus
- Kemialliset päästöt ja myrkyttömyys
- Hajujen eliminointi

Nämä positiiviset vaikutukset sisäilman olosuhteisiin ja rakennusten käyttäjien terveyteen puoltavatkin vahvasti NBB-tuotteiden käyttöä.

Vähähiiliseen rakentamiseen pyrittäessä on olennaista käyttää mahdollisimman paljon rakennustuotteita, joiden valmistuksessa ei tarvita korkeita lämpötiloja. Tavanomaisissa puurakenteissakin hiilipiikin aiheuttavat lähinnä mineraalivilla ja kipsilevy. Saatavilla olevien NBB-tuotteiden ympäristöselosteiden perusteella kyseisillä tuotteilla voitaisiin laskea tavanomaisten puurakenteiden hiilijalanjälkeä arviolta 10–15 %. Poikkeuksiakin oli, kuten tuulensuojaeristeiden vertailu, jossa pienin hiilijalanjälki oli mineraalivillalla. Puurakenteiden hiilijalanjälki on noin kymmenesosa kivrakenteisiin verrattuna.

Investointi- ja tuotantomäärillä eli suuruuden ekologialla sekä vähäpäästöisillä uusiutuville energialähteillä ja esimerkiksi näillä valmistetulla vihreällä vedyllä on niin suuri vaikutus rakennustuotteiden hiilijalanjälkeen tulevaisuudessa, että on vielä vaikea sanoa, mihin rakennustuotteiden hiilijalanjäljen alaraja asettuu. Kysymykseksi nousi tässäkin hankkeessa, ollaanko vertailemassa rakennustuotteiden vai tehtaiden energialähteiden hiilijalanjälkeä. Suomessa on kuitenkin jatkuvasti kasvavan tuulivoimakapasiteetin vuoksi hyvät lähtökohdat vähäpäästöiseen rakennusainetuotantoon.

Suuria muutoksia hiilitaseiden vertailuun voi tuoda tulevaisuudessa myös biopohjaisten rakennustuotteiden iso hiilikädenjälki, jos otetaan käyttöön biopohjaisen materiaalin kierrätys ja rakennusjätteen hiilen talteenotto. Olettaessa nämä huomioon rakentamisen ympäristöselvityksessä, useimmat NBB-tuotteet lähestyvät hiilineutraalia ja jotkut olisivat jopa hiilinegatiivisia. Kyseisessä menetelmässä korostuisivat erityisesti yksivuotisesta bioaineksesta koostuvat tuotteet ja rakenteet, sillä niiden raaka-aineiden hankinta ei aiheuta hiilinielun katoa. Kun yhdistetään maa- ja metsätalous sekä maankaivuun raaka-aineen tuottajina, luonnonmukainen rakennusainetuotanto, biojätteen hiilen talteenotto esimerkiksi pyrolysoinnilla sekä biohiilen hyödyntäminen maanparannusaineena, rakennustuotteissa tai muulla tavoin, saadaan aikaiseksi rakennusalan eloperäistä hiilidioksidia talteen ottava ja hyödyntävä kiertotalous (carbon capture and utilisation, CCU, kuva 30).



Kuva 30. Rakennusalan eloperäistä hiilidioksidia pyrolyysin avulla talteen ottava ja hyödyntävä kiertotalous.

Useimmat NBB-tuotteiden raaka-aineet, kuten olki, kutterinlastu, savi, lampaanvilla ja hampun päistäre, ovat edullisia maa- ja metsätalouden sekä maankaivuun sivuvirtoja. Rakennustuotteiden valmistuskustannuksiin vaikuttaa kuitenkin suuresti tuotantoinvestoinnin määrä ja tässä suhteessa NBB-tuotteet eivät ole mikään poikkeus. Suurin osa nykyisistä NBB-tuotteiden valmistajista on kohtalaisen pieniä yrityksiä, mikä asettaa ne tuotantotehokkuuden ja –kustannusten osalta epäilemättä tavanomaisiin rakennustuotteisiin verrattuna. Vertailukohtana olevia korkeita tuotantolämpötiloja vaativia materiaaleja, kuten sementtiä ja betonia, lasia, metalleja, mineraalivillaa jne. voidaan niiden energiantensiivisyydestä huolimatta tuottaa suuressa skaalassa melko edullisesti. Tulevaisuus voi kuitenkin tuoda näille suuria ilmastovaikutuksia aiheuttaville raaka-aineille hiiliveroja. Kriisitilanteissa NBB-tuotteiden valmistus voisi lisäksi taata tuoteomavaraisuuden Suomen rakennusallalle.

NBB-tuotteiden käyttöpotentiaalia Suomessa selvitettiin työpajan ja tuotenäyttelyn sekä näitä seuraavan internet-kyselyn avulla. Kyselyyn vastanneista 82 % oli alaa jo seuranneita tai alalla jo työskenteleviä yrityksiä tai henkilöitä, vaikka kutsua kyselyyn lähetettiin laajasti rakennusalan eri toimijoille. Tämän perusteella kyseisten tuotteiden markkinoinnissa ja pilottiprojekteissa kannattanee lähteä liikkeelle alalla jo toimivien tahojen kanssa.

Tuotekyselyssä parhaiten ymmärrettävästi pärjäsivät tuotteet, joita jo käytetään Suomessa ja vastaajat hyväksyisivät keskimäärin 15–20 % tavanomaisia rakennustuotteita korkeammat hinnat. Rakennustuotteiden yleisenä valintaperusteena korostuvat tuotteiden tekniset ominaisuudet, ja kolme suurinta estettä tuotteiden yleistymiselle Suomessa olivat vastausten mukaan:

- Tiedon puute olemassa olevista tuotteista, 46,4 %
- Kalleus ja sitä aiheuttava teollisten investointien puute, 42,9 %
- Tutkimuksen puute ja rakennuslupaongelmat, 39,3 %.

Suomalaiset palonormit ovat olleet biopohjaisia tuotteita sisältävien rakenteiden pullonkaulana kerrostalorakentamisessa. Volyymirakentamiseen olisi kuitenkin päästävä, jos halutaan että vähähiilisillä rakennustuotteilla on todellisia ilmastovaikutuksia. Savi voi palamattomana mineraaliaineena olla tähän ratkaisu, ja savirappauslaastin sekä -levyn palonsuojaominaisuuksista onkin tehty laajasti kansainvälistä ja kotimaista tutkimusta. Tampereen yliopistolla laaditun alustavan paloselvityksen perusteella toiminnallisen paloturvallisuussuunnittelun P0(P2) avulla olisi mahdollista saada rakennuskohtaisia rakennuslupia NBB-tuotteista koostuvalle kerrostalolle. Jos rakennuksessa on erillinen palamaton ja kantava runko sekä ulkovaipan rakenteilla riittävä esim. savituotteista koostuva palonsuojaverhous, voidaan biopohjaisia tuotteita käyttää myös P1 luokan kerrostaloissa.

Hankkeessa on käynyt selväksi, että NBB-tuotteiden kehitykselle ja tutkimukselle on tarvetta ja vähähiilisen rakentamisen pitkäjänteiseksi kehittämiseksi tarvittaisiin pysyvää organisaatiota. Tuotteiden kehittämisen ja testauksen sekä tiedon jakamisen lisäksi sillä olisi myös alaa yleisesti eteenpäin vieviä tehtäviä, ja se voisi tukea yritystoiminnan liikkeelle lähtöä. Tuotekehitys voisi olla osa Tampereen yliopiston toimintaa esimerkiksi innovaatiokeskuksen muodossa, mutta sille pitäisi löytää myös yliopiston ulkopuolista rahoitusta. Kokemuksen karttuessa NBB-tuotteista sekä niihin liittyvän rakentamisen tietotaidosta voisi hyvin tulla jopa Suomen vientiartikkeleita, mikä loisi runsaasti uusia työmahdollisuuksia.

Lähdeluettelo

- Argillatherm. (2023). Noudettu osoitteesta <https://argillatherm.de/>
- BRE. (2023). *Centre for Innovative Construction Materials*. Noudettu osoitteesta <https://www.bath.ac.uk/research-centres/centre-for-innovative-construction-materials/>
- Craterre. (2023). Noudettu osoitteesta <http://craterre.org/>
- DVL. (2023). *Dachverband Lehm*. Noudettu osoitteesta <https://www.dachverband-lehm.de/>
- EN15804. (2012 & 2019). *Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products*.
- ESBA. (2023). *European Straw Building Association*. Noudettu osoitteesta <https://strawbuilding.eu/>
- EY. (1996). *Ei vaikuta tuleen -kuuluvien tuotteiden luettelon vahvistaminen*. Noudettu osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996D0603&from=EN>
- FinDHC. (2023). *Palveleva Kaukolämpö FinDHC ry. Miten hiilidioksidin talteenotto saadaan osaksi kiertotaloutta?* Noudettu osoitteesta <https://findhc.fi/miten-hiilidioksidin-talteenotto-saadaan-osaksi-kiertotaloutta/>
- HSY. (2023). *Helsingin seudun ympäristöpalveluiden Lietehiilihanke*. Noudettu osoitteesta <https://www.hsy.fi/lieteihiilihanke/>
- IGLehm. (2023). *IG Lehm, Sveitsiläinen savialan ja savirakennustyöntekijöiden ammattiliitto*. Noudettu osoitteesta <https://www.iglehm.ch>
- ISO14067. (2018). *Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification*.
- JatkuvaKasvatus. (2023). *Jatkuva kasvatus*. Noudettu osoitteesta <https://www.jatkuvakasvatus.fi/>
- Lanaterm. (2023). Noudettu osoitteesta <https://lanaterm.com/en/why-sheep%E2%80%99s-wool-insulation.html>
- McGregor, F. H. (2014). *The moisture buffering capacity of unfired clay masonry*. Bath, UK: BRE Centre for Innovative Construction Materials, Dept. of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, UK. Noudettu osoitteesta <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314003199/pdf?md5=cd61bd670103a1adf721545940a8d233&pid=1-s2.0-S0360132314003199-main.pdf>
- NOAA. (2023). *U.S. Department of Commerce, National Oceanic & Atmospheric Administration, Global Monitoring Laboratory*. Noudettu osoitteesta <https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html>
- OuluAMK. (2020). *Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit -hanke*. Noudettu osoitteesta <https://www.paibira.fi/>
- Paruta, P. P. (2021). *A global assessment of paint's contribution to plastic leakage to Land Ocean & Waterways*. Lausanne, Switzerland: Environmental Action. Noudettu osoitteesta https://www.e-a.earth/_files/ugd/425198_6f553fe5eb444350bb61b4acee3aef14.pdf
- Puuinfo. (2023). Noudettu osoitteesta <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/hengittava-rakenne/>

- RT_07-11299. (2018). *Sisäilmastoluokitus 2018*. Noudettu osoitteesta <https://www.rakennustietokauppa.fi/sivu/tuote/rt-07-11299-sisailmastoluokitus-2018-sisaympariston-tavoitearvot-suunnitteluohjeet-ja-tuotevaatimukset/2742604>
- SaviUKUmaja. (2023). Noudettu osoitteesta <https://uku.eu/en/>
- SheepWool. (2023). *Why Sheep Wool?* Noudettu osoitteesta <https://www.sheepwoolinsulation.com/where-to-use/why-sheep-wool/>
- Taalas, P. (2022). *Ilmastonmuutos ilmatieteilijän silmin*. Noudettu osoitteesta <https://www.tammi.fi/kirja/petteri-taalas/ilmastonmuutos-ilmatieteilijan-silmin/9789520418021>
- TAU_Ecosafe. (2023). *Kosteusturvalliset ja ympäristöystävälliset purueristeiset puurakenteet*. Noudettu osoitteesta <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/ecosafe/>
- TurkuAMK1. (2007). *Rannasta rakennukseen –hanke*. Noudettu osoitteesta <https://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522160140.pdf>
- TurkuAMK2. (2013). *Ruoko rakennusmateriaalina -hanke*. Noudettu osoitteesta <https://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522163752.pdf>
- TurkuAMK3. (2020). *Rakennetaan hampusta -hanke*. Noudettu osoitteesta <https://rakennetaanhampusta.turkuamk.fi/arkisto/rakennetaanhampusta.turkuamk.fi/index.html>
- Westermarck, M. (2000). *Unburned Clay Building Products EU -hanke*. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. Noudettu osoitteesta <https://cordis.europa.eu/project/id/BRST985420>
- Westermarck, M. L. (1998). *Luonnonmukaiset rakennusaineet*. (Rakennustieto_Oy, Toim.) Helsinki: Teknillinen korkeakoulu ISBN 951-682-496-x.
- Wikipedia1. (2023). *Kiertotalous*. Noudettu osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kiertotalous>
- Wikipedia2. (2023). *Hiilidioksidin talteenotto*. Noudettu osoitteesta https://fi.wikipedia.org/wiki/Hiilidioksidin_talteenotto
- Wikipedia3. (2023). *Biokaasu*. Noudettu osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/Biokaasu>
- Wikipedia4. (2023). *Metaani kasvihuonekaasuna*. Noudettu osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/Metaani>
- Wikipedia5. (2023). *Carbon tax*. Noudettu osoitteesta https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_tax
- YM_E1. (2011). *Rakennusten paloturvallisuus*. Noudettu osoitteesta https://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf
- Ympäristöministeriö. (2021). *Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2021*. Noudettu osoitteesta <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/DownloadProposalAttachment?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d&attachmentId=15860>

Liitteet

a. Luonnonmukaisten rakennustuotteiden tuotekortit

Esiselvitys vähähiilistä ja luonnonmukaisista rakennustuotteista ja niiden käyttöpotentiaalista – Nature CO2 -hanke. Eurooppalaisten luonnonmukaisten rakennustuotteiden kartoitus.

Euroopassa valmistettavien luonnonmukaisten rakennustuotteiden tuotekortteihin on yhdistetty tuotteita, joiden valmistus- ja käyttötapa ovat samankaltaisia. Ne antavat tuotteista yleiskuvan ja jokaisella valmistajalla on tuotteesta hieman oma versionsa. Näin myös tuotteiden koostumukset ja ominaisuudet vaihtelevat. Tarkoituksena on ollut antaa tuotteiden valmistuksesta kiinnostuneille suomalaisille yrityksille keskimääräinen kuvaus tuotteesta, jotta yritys voi arvioida esimerkiksi tuotteen valmistusmenetelmän soveltuvuutta yrityksen nykyiseen koneistukseen sekä tuotteen valmistuksen kustannuksia ja kannattavuutta. Kartoitus keskittyy talonrakennustuotteisiin ei niinkään sisustusmateriaaleihin.

	Tuoteryhmä	Raaka-aineita
1	Olkielementit	Olki, puurunko
2	Kasvipohjaiset eristevillat	Hamppu, pellava, juutti, puuvilla, turve, polyesteri, palon- ja homeenestoaineet
3	Lampaanvillaeristeet	Lampaanvilla, polyesteri
4	Puhalluseristeet	Kutterinlastu, olki, hamppu, palonestoaine
5	Korsipuristelevyt	Olki, hamppu, polyesteri, hartsi, kalkki
6	Ruokolevyt ja -matot	Ruoko, galvanoitu teräslanka
7	Savilaastit	Savi, hiekka, olki, hampun päistäre, puukuitu, pigmentit,
8	Savilevyt	Savi, hiekka, perliitti, puukuitu, hampun kuitu ja päistäre, olki, heinä, juuttikangas, lasikuituverkko, ruokomatto
9	Savimassat ja -elementit	Savi, hiekka, sora, olki hampun päistäre, kutterinlastu
10	Savitiilet ja -laatat	Savi, hiekka, perliitti, tiilimurska, olki, puukuitu, sahanpuru, hampun kuitu ja päistäre
11	Maalit ja pinnoitteet	Tärkkelys, pellavaöljy, terva, savi, maito, kananmuna, pigmentit

Olkielementit

Talo 2000: 28

Koostumus ja tuotanto

Olkielementit koostuvat puurungosta ja sen sisään puristetusta vehnän tai kauran oljesta. Elementin ulkopinnassa on vesihöyryn läpäisevää ilmatiivis kalvo, jolla voidaan sadesuojata myös elementin sisäpinta asennuksen aikana [lähde 1].



EcoCocon elementin valmis sisäpinta [1]

Puurungon pystytukia tihentämällä tai lisäämällä runkoon joko ristitukia tai kolmiorakenteita elementeistä saa myös pilarin ja palkin kaltaisia rakenteita, jotka jäykistävät koko rakennuksen ja siirtävät kuormat alas myös aukkojen kohdalla.

Elementin valmistus koostuu puurungon kokoamisesta, oljen puristuksesta runkoon sen pituussuunnassa [1], olkipintojen leikkauksesta tasaisiksi ja suojakalvon kiinnityksestä. Kyljet tai päädyt suljetaan vanerilla tai liimapuulla, tuotteesta riippuen.

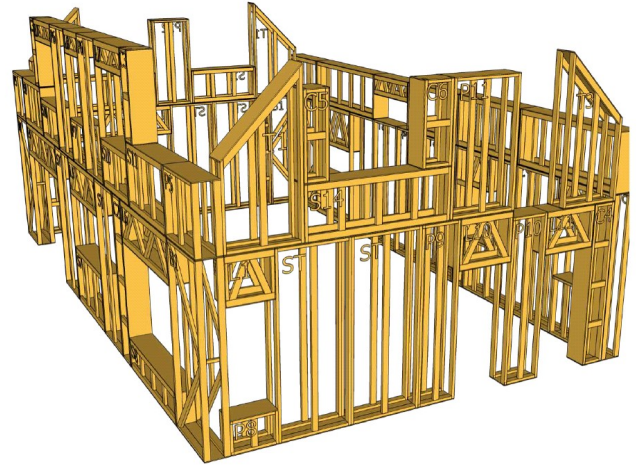


Elementtien vaakasuuntainen valmistus ModCellin tuotantotiloissa [2]

Käyttö

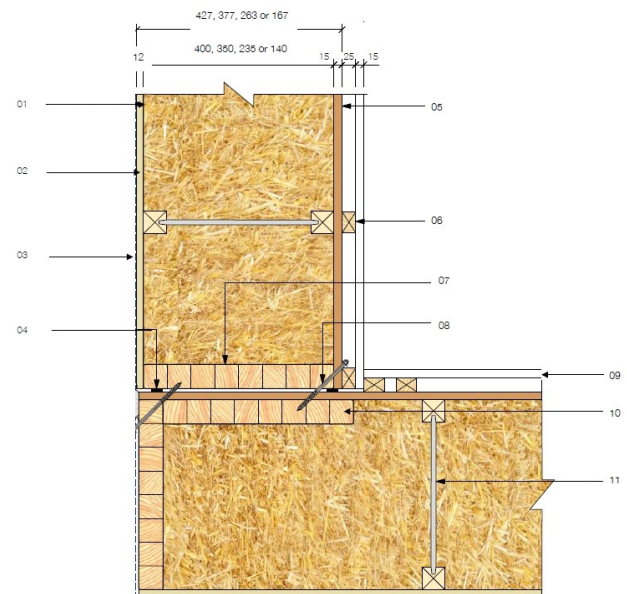
Elementeistä voidaan rakentaa lämmöneristäviä ja kantavia ulkoseiniä 6 kerrokseen asti [1] ja niitä käytetään myös vanhojen rakennusten

lisäeristämiseen tai esim. massiivipuuelementtien eristekerroksena.



EcoCocon rakennejärjestelmä [1]

Hyvän lämmöneristävyytensä puolesta olkielementti soveltuu varsinkin passiivitalorakentamiseen.



ModCellin kulmarakenne [2]

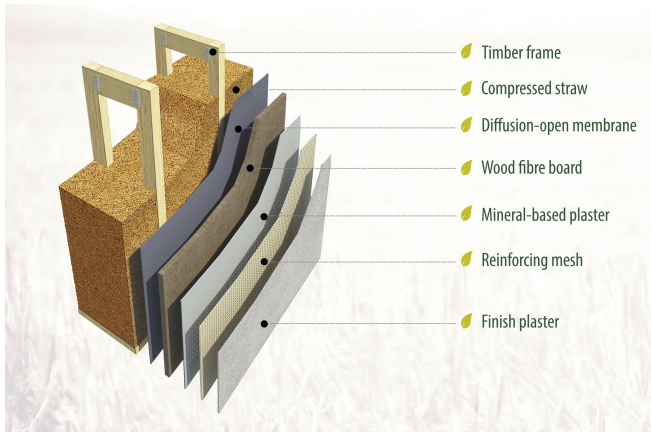
Yritykset valmistavat myös olkieristeisiä ylä- ja välipohjaelementtejä [4] [5].

Pienemmät elementit nostetaan paikalleen käsivoimin ja suuremmat nostokoneiden avulla. Elementin asennusaika on 20-40 min/m² [1].



Lorenzin elementin nosto rakennuksen lisäeristeeksi [5]

Elementit kiinnitetään ruuvaamalla ja ulkopinnan tuulensuojakalvon päälle asennetaan huokoinen puukuitulevy sekä sisäpintaan savirappaus [1]. Puukuitulevyn paksuus vaihtelee ilmaston mukaan ja se pinnoitetaan työmaalla kalkkirappauksella tai tuulettuvalla ulkoverhouksella.



Modulinan rakenteen kerroksia [4]

Teknisiä ominaisuuksia

EcoCocon [1] antaa tarkat tiedot 400 mm paksusta elementistään, joka on pinnoitettu 30 mm savirappauksella sekä 60 mm puukuitulevyllä:

- Oljen tiheys elementissä vaihtelee hiukan, mutta on keskimäärin 110 kg/m³.
- Lämmönjohtavuus 0,0645 W/mK ja U-arvo 0,123 W/m²K.
- Osastoivan rakennusosan paloluokka REI120
- Rakennustarvikkeen paloluokka B-s1, d0. Olki sisältää 4 % silikaa, mikä on luonnollinen palonsuoja-aine.
- Ilmaäänieristys 54 dB
- Pystysuuntainen kantavuus jopa 110 kN/m
- Mittatoleranssi 2 mm 3 metrin pituudella

Talousseikkoja

Olki on edullista maatalouden sivuvirtaa ja sitä on helposti saatavilla samoin kuin puuta ja muita elementin tuotannossa käytettyjä materiaaleja. Olkielementin tuotantolinja on suhteellisen yksinkertainen ja saattaa tulla yleisesti saataville, kun EcoCocon [1] on saanut suunnittelutyön ja pilotointivaiheen loppuun.

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

EcoCocon [1], Slovakia

www.ecococon.eu

ModCell [2], Iso-Britania

www.modcell.com

LHB [3], Ukraina

www.lhb.com.ua

Modulina [4], Liettua

www.modulina.lt

Lorenz [5], Saksa

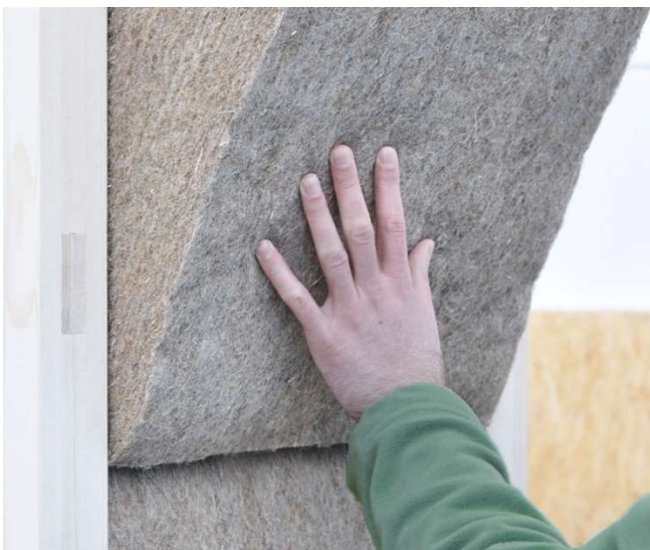
www.lorenzsysteme.de

Kasvipohjaiset eristevillat

Talo 2000: 27

Koostumus ja tuotanto

Kasvikuitueristeet koostuvat pääosin hampun ja pellavan kuidusta, mutta mukana on usein myös kahvi- ja kaakaosäikeistä saatavaa juuttia, kierrätystekstiileistä saatavaa puuvillaa tai jopa kookoskuituja. Pohjoismaisena erikoisuutena on pintaturpeesta koostuva levy [lähde 4]. Tuotteissa on yleensä mukana myös esim. kierrätyspulloista saatavaa polyesteriä sideaineena sekä palon- ja homeenestoaineita (ks. taulukko 1).



Thermo Hanfin hamppu-juutti eristyslevy [1]

Levyjen ja villojen valmistukseen käytetään kasvien lyhyitä kuituja, joita tekstiiliteollisuus ei hyödynnä. Kuidut karstataan päällekkäisiksi kerroksiksi, jotka sidotaan yhteen sulatetulla polyesterikuidulla, jota on 8-20 % tuotteen painosta. Näin saatu eriste käsitellään sitten palon- ja homeenestoaineella sekä pakataan rulliksi tai puolijäykiksi levyiksi. Sideaineen kanssa voidaan valmistaa jopa 250 mm paksuja eristeitä, mutta ilman sideaineita voidaan myös valmistaa ohuempia mattoja tai nauhoja. Irtokuitua voidaan myös käyttää tilkkeinä puurakentamisessa.

Käyttö

Eristysvillat soveltuvat erityisen hyvin ullakkotilojen, lattioiden ja kattojen lämmöneristämiseen. Seinissä, esimerkiksi vanhojen hirsiseinien oikaisun yhteydessä tehtävässä lisäeristämisessä [3], sekä akustoinnissa käytetään puolestaan eristyslevyjä. Kyseisten hygroskooppisten eristeiden kanssa käytetään vesihöyryä läpäisevää ilmansulkupaperia muovikalvon sijaan ja hirsiseinien lisäeristämisessä levyt asennetaan suoraan tiivistä hirttä vasten [3].

Parketin alla voidaan käyttää ohuempaa eristysmattoa ja hirsien välissä eristysnauhaa.



Isolinan pellavanauhan asennusta [3]



Biofibrin eristevilla välipohjan eristyksessä [2]

Kasvikuitueristeillä on mineraalivilloja vastaava materiaali- ja työmenekki, mutta asennustyö ei aiheuta vastaavaa ihoärsytystä kuin mineraalivilloilla. Levyjen ja villojen leikkaus onnistuu parhaiten siihen tarkoitetuilla kone- ja käsisahoilla.



Isolinan villan sahausta [3]

Teknisiä ominaisuuksia

Kasvikuitueristeet pystyvät sitomaan ilman kosteutta ja tämä erityispiirre antaa niille kosteuskapasiteettia, joka esim. mineraalivilloilta puuttuu. Levymäisten ja villamaisten eristeiden tiheys on tyypillisesti 30 kg/m³, lämmönjohtavuus 0,038 – 0,040 W/mK sekä paloluokka E – F (ks. taulukko 1). Poikkeuksena on tiheämpi ja paloturvallisempi turvelevy [4].



Konton huonetilaa akustoivia kuitulevyjä [4]

Talousseikkoja

Raaka-aineista pintaturve ja kierrätyspuuvilla ovat edullisia, mutta eristevillaa vartavasten tuotetut hampun ja pellavan kuidut ovat jo arvokkaampia. Villojen valmistuksen tuotantolinja on kohtalaisen yksinkertainen, mutta hampun ja pellavan kuidun korreasta irrottava kuidutuslaitos on suuri investointi, joka vaatisi julkista panostusta.

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

Taulukossa 1 on esitetty tuotteiden valmistajia. Rakennusainevalmistajien lisäksi tuotteita voivat valmistaa tilauksesta myös tekstiilitehtaat, jotka eivät välttämättä itse markkinoi villoja rakennustuotteina.

Valmistaja, lähdenumero, maa, linkki, tuote	Raaka-aineet, paino %									Ominaisuudet				
	Hamppu	Pellava	Juutti	Kookos	Puuvilla (kierrätys)	Pintaturve	Polyesteri	Sooda	Homeenesto-aine	Tiheys kg/m ³	Lämmön-johtavuus W/mK	Kosteus-kapasiteetti %	Vesihöyrydiffuusion vastuskerroin	Paloluokka
Thermohanf [1] , Saksa, www.thermo-hanf.de , Combi Jute	58		29				9	4		37	0,039		1	E
Isolgreen , Espanja, www.logrotex.com , Cañamo	80						20			30	0,039	15	1-2	
Lino		80					20			30	0,037	12	0,5	
Cococ				80			20			30	0,043	15	1-2	
Yute			80				20				0,046	15	1-2	
Cavac Biomatériaux [2] , Ranska, www.biofib.com , Biofib trio	x	x			x		8		0,2	30	0,038		≤2	
Biofib Chanvre	90						10		0,2	35	0,04		1	
Isolina [3] , Suomi/Alankomaat, www.isolina.com		x					x		x		0,038			E
Isovlas , alankomaat, www.isovlas.nl		x					x		x		0,038		5,7	C
Buitex , Ranska, www.buitex.com , Isovegetal	x	x	x		x		15		x		0,038		1,6	F
Thermafleece , Uk, Natra-Hemp, www.thermafleece.com	75						20		5	28	0,042		9	
Konto [4] , Suomi, www.konto.fi						x	x			70	0,037			B
Capatec , Itävalta, www.capatec.at		x					x			32	0,037		2,2	E
Kobe , Tsekki, www.kobe-cz.eu	86						10	4		35	0,04		1,5-2,5	D
Vicarius , Tsekki, www.naturflax.cz	x	x					x	Suola		35	0,04			E

Taulukko 1 Tuotteet sekä niiden koostumukset ja tekniset ominaisuudet valmistajien mukaan. Lähdenumerot

Lampaanvillaeristeet

Talo 2000: 27

Koostumus ja valmistus

Lammastaloudella on merkittävä rooli eteläisemmässä Euroopassa ja varsinkin vuoristossa. Vapaasti laiduntavien lampaiden villa on enimmäkseen paksua ja kestävä kuitua, joka ei sovellu tekstiilituotantoon, mutta käy kuitenkin erinomaisesti villaeristeen valmistamiseen [lähde 1]. Eristeet koostuvat valmistustekniikasta riippuen joko sataprosenttisesti lampaan villasta tai siihen voidaan sekoittaa sideainetta (polyester) noin 20 %. Kun lampaista keritty villa on toimitettu tehtaallesi, se lajitellaan ja pestään korkeintaan 60 °C:n vedellä ja miedolla saippualla rasvan, hiekan ja muun lian irrottamiseksi. Vesi puristetaan pois telojen välissä ja villa kuivataan n. 85 % kuivuuteen. Villa käsitellään mekaanisesti ja karstataan ohuiksi harsoiksi, jotta kaikki kuidut olisivat saman suuntaisia.



Isolana karstaa ja neulaa eristelevyä villasta entisen tekstiilitehtaan koneista muokatulla tuotantolinjalla [1]

Harsoja kerrostetaan sen jälkeen päällekkäin, kunnes saadaan haluttu tuotteen paksuus ja kerrokset voidaan liittää toisiinsa mekaanisesti neulaamalla [2]. Vaihtoehtoisesti villakerroksia voidaan liimata toisiinsa sulatetulla polyesterillä, jota saadaan muun muassa muovinkierrätyspulloista [3]. Koin torjumiseksi

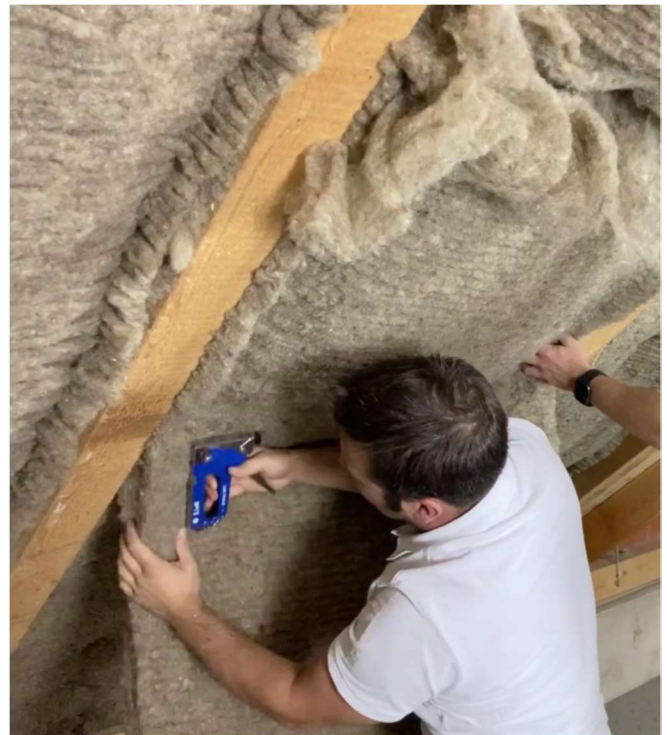
villaa voidaan käsitellä entsyymeillä tai tähän varta vasten kehitetyllä ja patentoidulla plasmaionikäsittelyllä [4]. Lopuksi valmis eristemateriaali leikataan mittoihin ja pakataan pusseihin.



Sheep Wool insulation kerrosta harsoja valmistaessaan villaristettä [2]

Käyttö

Kevyttä lampaanvillaeristettä käytetään normaalisti seinien sekä kattojen eristyksessä ja tiheämpää mattoa käytetään parketin alushuopana. Villaa voidaan leikata mittaansa saksilla ja veitsellä tai repimällä ja se voidaan asentaa tiiviisti palkkien väliin niiteillä.



Schafwollldämmungin eristevillan asennusta kattopalkkien väliin [5]

Asentaja ei tarvitse hengertyssuojaa eikä asennustyö aiheuta ihoärsytystä. Hygroskooppisena materiaalina

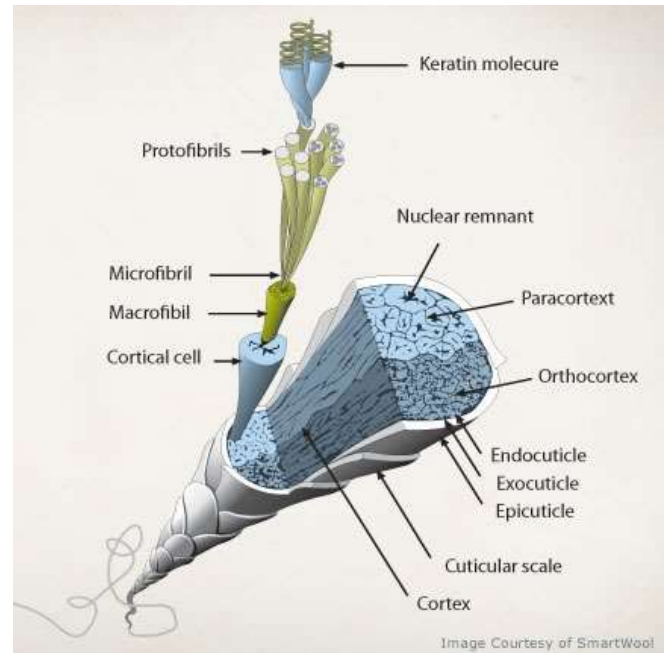
rakennetta ei tarvitse sulkea höyrynsulkumuovilla, vaan ilmansulkupaperi riittää sisäpinnassa.



Isolan irtovillaa puu-betonihiharkkojen eristeenä [1]

Ominaisuuksia

Luonto on kehittänyt villan lampaiden lämmöneristeeksi. Kevyiden lampaanvillaeristeiden tiheydet ovat välillä 11-30 kg/m³ ja lämmönjohtavuudet välillä 0,0318-0,042 W/mK, kun taas parketinalushuopien tiheys voi olla jopa 100 kg/m³. Korkean typpipitoisuutensa (~16%) vuoksi lampaanvillan syttymislämpötila on huomattavan korkea, jopa n. 560 °C ja villa on itsestään sammuvaa korkean happi-indeksinsä ansiosta, eli villan täydelliseen polttamiseen tarvitaan 25,2 % happipitoisuutta, kun taas ilmassa on vain 21 % [5]. Villaeristeet ovatkin paloluokassa E ilman palonestoaineita. Lampaanvilla on myös erinomainen äänieriste ja voi lisäksi hygroσκοoppisena aineena osallistua sisätilan kosteusvaihteluiden tasapainottamiseen. Isolana esittää tutkimuksia siitä, että villa pystyy sitomaan formaldehydiä ajan mittaan noin 13 grammaa/kg ja hieman vähemmän typen ja rikin yhdisteitä [1]. Vaikka villakuidun ulkokerros on hydrofobinen (vettä hylkivä), sen sisäkerros on hydrofiilinen (vettä sitova), ja villakuitu voi sitoain kolmanneksen painostaan kosteutta tuntumatta kostealta.



SmartWoolin kuva kuidun rakenteesta

Talousseikkoja

Lampaanlihan kasvatuksen sivuvirtana saatava villa on arvotonta ja päätyy usein poltettavaksi. Villaeristeiden valmistamiseen voidaan käyttää olemassa olevia tekstiiliteollisuuden laitteistoja, mutta prosessi on huomattavasti tekstiilituotantoa yksinkertaisempi. Esimerkiksi Lanatermin [6] villaeristeiden hinta on edullisimmillaan samaa luokkaa kuin mineraalivillojen hinta n. 100 €/m³.

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

Isolana [1], Italia, www.isolantelanadipeccora.it

Sheep Wool insulation [2], Irlanti, www.sheepwoolinsulation.com

Naturlaine [3], Ranska, www.naturlaine.com

Lehner Wool/Isolana [4], Itävalta www.isolana.com

Schafwollldämmung [5], Itävalta www.schafwollldammung.at

Riwowi Line [6], Romania, www.lanaterm.com

Fisolan, Sveitsi www.fisolan.ch

Baur Vliesstoffe, Saksa, www.baur-vliesstoffe.de

Eden Renewable Innovations, Iso-Britannia, www.thermafleece.com

Puhalluseristeet

Talo 2000: 27

Koostumus ja tuotanto

Luonnonmukaisia puhalluseristeitä valmistetaan kutterinlastusta [lähde 1], oljesta [2, 3] ja hampusta [4, 5]. Oljen silikapitoisuuden (4 p.%) takia se ei ole helposti syttyvää ja palonestoaineena on lisäksi käytetty ympäristöystävällisenä ja terveyshaitattomana pidettävää ammonium fosfaattia [3]. Kutterinlastusta siivilöidään hienoin ainesosa pois, ja korsiainekset silputaan ennen pakkausta.



ISO-Strohn valmistamaa puhalluseristettä oljesta [2]

Käyttö

Erityisesti lentokenttien, rautateiden ja moottoriteiden lähellä vaaditaan ulkovaipan rakenteilta lämmöneristysten lisäksi äänieristystä. Luonnonmukaiset puhalluseristeet tarjoavat nämä molemmat ominaisuudet ja lisäksi ne pystyvät tasapainottamaan huonetilan lämpötilan vaihteluita huomattavasti paremmin kuin kevyemmät eristeet kuten mineraalivillat.

Eristeet puhalletaan tätä varten rakennetulla koneella vaakapalkiston väliin tai ilmansulkupaperista, levyistä ja puurungosta muodostuvaan koteloon. Eristettä on myös puhallettu rakennuselementteihin, jolloin työ voidaan suorittaa valvotuissa oloissa tehtaalla. Pieniä määriä voidaan työmaalla myös levittää käsin suoraan pakkauksesta.



ISO-Strohn eristeen puhallusta seinärakenteeseen [2]

Teknisiä ominaisuuksia

Luonnonmukaisten puhallusvillojen tiheys on tyypillisesti välillä 45-105 kg/m³ ja lämmönjohtavuus vastaavasti välillä 0,042– 0,055 W/mK. Suomessa käytettiin aikaisemmin kutterinlastua sekoitettuna sahanpuruun, mutta kun siivilöityä kutterinlastua käytetään yksinään, saadaan lämmönjohtavuus tippumaan 0,07-0,12 W/mK:sta 0,043 W/mK:een. Kutterinlastun pitkäaikaispainumaksi arvioidaan noin 2 %, mutta tiheään pakatulla korsisilpulla ei ole huomattu yli 1 % tiivistymistä tärinäkokeessa. Kyseisten eristeiden lämpökapasiteetti on tyypillisesti n. 2,1 kJ/kgK ja ne ovat paloluokissa E-D.



Ehta Talojen kutterinlastueristettä välipohjassa [1]

Talousseikkoja

Maa- ja metsätalouden sivuvirtoina olkea ja kutterinlastua on runsaasti ja helposti saatavilla, mutta hamppu ja pellava ovat arvokkaampia raaka-aineita. Eristeiden valmistaminen vaatii suhteellisen pienen koneinvestoinnin, ja puhalluseristeet ovatkin tyypillisesti edullisempia kuin eristevillat.



ISO-Strohn tuotantolaitos [2]

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

Ehta Talot [1], Suomi, www.ehtatalot.fi
ISO-STROH Suisse [2], Sveitsi, www.iso-stroh.ch
Vestaeco [3], Puola, www.vestaeco.com
Hanffaser [4], Saksa, www.hanffaser.de
Cavac Biomatériaux [5], Ranska, www.biofib.com
Holz Lehmhaus, Saksa, www.holz-lehmhaus.eu

Korsipuristelevyt

Talo 2000: 26 ja 27

Koostumus ja tuotanto

Korsipuristelevyjä valmistetaan prosessoidusta oljen [lähteet 1 ja 2] ja kuituhampun [3] korresta. Mukana voi olla myös muista yksivuotisista kasveista sekä puusta saatavia kuituja. Sellukuidut lisäävät kuitumassan koheesiota, mikä puolestaan vaikuttaa positiivisesti levyjen fysikaalisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin [1]. Sideaineena levyissä käytetään mm. formaldehydivapaata PMDI-hartsia [1], kierrätyspolyesteriä [3] sekä kalkkipohjaista sideainetta (n. 5 %) [2]. Levyjen puristamisessa käytetään mukana lämpöä, minkä jälkeen levyt leikataan mittaansa ja kuivataan.



Vestaeco valmistaa pontattuja olkipuristelevyjä patentoimallaan lignoselluloosakuitujen prosessointitekniikalla [1]

Käyttö

Kyseisten tuotteiden pääasiallinen käyttökohde Keski-Euroopassa on muurattujen ulkoseinien ulkopuolinen lisälämmöneristys ja rappausalusta. Vesihöyryä hyvin läpäisevänä ne soveltuvat hyvin kalkkirappauksen alustaksi ja tarjoavat mineraalivillaa paremman iskun kestävyuden. Levyjä käytetään myös sisäpinnan savirappauksen alustana ja lisälämmöneristeenä varsinkin historiallisten talojen korjauksessa. Muurattuihin rakenteisiin levyt kiinnitetään liimalaastilla ja kiinnitysankureilla, mutta puunrunkoon levyt voidaan ruuvata kuten muutkin rakennuslevyt. Puurakenteisessa seinässä ja ylä- sekä välipohjassa levyt lisäävät rakenteen jäykkyyttä ja lämmön- sekä ääneneristystä. Korkea puristuslujuus mahdollistaa tuotteen käytön myös lattian betonivalun alla esim. maanvaraisen lattian lämmöneristämässä.

Korsipuristelevyistä valmistetaan myös LD- ja MD-versioita [1], jotka soveltuvat kaluste- ja sisustuselementtien valmistukseen, pakkauksiin sekä sisäovien täytteeksi. Ne ovat myös hyviä alustoja puuviiluille, laminaatille ja muille viimeistelyille, sillä ne ovat muita vastaavia levyjä kevyempiä.



Capatecin puristelevy sisältää 89% hamppua ja sitä käytetään lähinnä rappausalustana [3]

Teknisiä ominaisuuksia

Korsipuristelevyjen tiheydet vaihtelevat välillä 100-400 kg/m³ ja niiden lämmönjohtavuudet vaihtelevat välillä 0,041-0,069 W/mK tiheydestä ja sideaineesta riippuen. Levyt ovat paloluokassa E, ja niiden vesihöyrydiffuusion vastuskerroin (μ) vaihtelee välillä 2-5. Tiheydellä 280 kg/m³ saavutetaan taivutuslujuus 1,4 N/mm² ja tiheydellä 400 kg/m³ taivutuslujuus 7 N/mm² [1]. Levyt kestävät myös hyvin korkeaa ilmakestävyyttä.

Talousseikkoja

Olki ja monet muut maataloudesta saatavat sivuvirrat ovat edullista raaka-ainetta ja helposti saatavissa, mutta levytuotantoa varten vasten tuotettu hampun korsi on jo arvokkaampi raaka-aine. Hampun kuidutuslaitos vaatii suurehkoja investointeja, mutta itse levyn valmistusprosessi on suhteellisen yksinkertaista teknologiaa. Lignoselluloosa- ja selluloosakuitujen matalalämpötilainen hydroterminen käsittely on paljon vähemmän energiaa kuluttava prosessi, kuin puun tai mineraalien kuiduttaminen [1].

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

Vestaeco [1], Puola, www.vestaeco.com
Maxit [2], Saksa, www.maxit.de
Capatec [3], Itävalta, www.capatec.at

Ruokolevyt ja –matot

Talo 2000: 27

Koostumus ja tuotanto

Järviruoko (*Phragmites australis*) on heinäkasvi, joka esiintyy runsaimmillaan merenrannikon ja sisävesien rehevillä ja matalilla lahdilla saavuttaen pisimmillään neljän metrin pituuden. Suomen ruovikoiden kokonaismäärän on karkeasti arvioitu olevan noin 100 000 hehtaaria [lähde 1]. Ruokolevyjä ja -mattoa varten käytettävä ruoko leikataan talvella, kun lehdet ovat varisseet ja korsi on muuttunut kovaksi ja kellertäväksi. Talviniitossa saadaan ylös vain 30 % ravinteista kesäniittoon verrattuna, mutta talviniitto ei taannuta ruovikon kasvua kovin voimakkaasti, joten samalta alueelta voidaan kerätä ruokoa uudelleen useampana vuonna. Sadonkorjuun jälkeen korret puhdistetaan ja ruo'ot (samoja kuin niistä tehdyt tuotteet) varastoidaan kuivassa tilassa mikrobikasvun estämiseksi.



Reedflyn kone leikkaa ja niputtaa ruo'on [2]

Tasapaksuista ruo'oista valmistetaan galvanoidulla rautalangalla sidottuja ruokomattoja ja useista ruokokerroksista koostuvia ruokolevyjä, joiden pituus on vapaasti valittavissa.



Saviukumaja valmistaa ruokolevyä samanlaisella Berger koneella kuin Suomessa käytettiin 1940 luvulla [3]

Käyttö

Ruokolevyä ja -mattoa käytetään ensisijaisesti rappausalustoina seinissä ja alakatoissa. Tuotteita voidaan leikata puutyökaluilla pituussuuntaan ja leveyssuunnassa katkotaan sidoslangat halutusta kohdasta, jonka jälkeen sidoslangat kierretään taas kiinni. Osat, joiden pituus on alle 30 cm ovat vaikea käsitellä. Kiinnitys alustaan (puurakenne) tehdään galvanoiduilla nautoilla tai paremmin galvanoiduilla hakasilla. Alakatossa maton kiinnittimien pituus tulee olla vähintään 25 mm ja seinissä vähintään 16 mm. Kiinnikkeiden välinen etäisyys on 5–7 cm.



Hiss Reetin ruokolevy kiinnitetty kiviseinän lyöntikiila-ankkureilla lämmöneristeeksi kalkkirappauksen alle [4]

Ruokolevyllä voidaan parantaa rakenteen lämmöneristävyyttä sekä pinnoittaa kapilaarisesta kosteuden noususta kärsivä tiilimuuri ennen rappautusta. Ruokolevyjä on käytetty jopa viherkatoilla korvaamassa muovisia salaojalevyä.



Hiss Reetin rappausmattoja ristiin kiinnitettynä sisätilan paksun savirappauksen vahvistamiseksi [4]

Ruokomatto upotetaan vielä kosteaan savirappauskerrokseen, ja päälle voidaan tarvittaessa asentaa heti

toinen matto. Ruokomatto soveltuu puurunkoon kiinnitettynä myös kevytsavimassojen muotiksi (katso Savimassat ja -elementit).

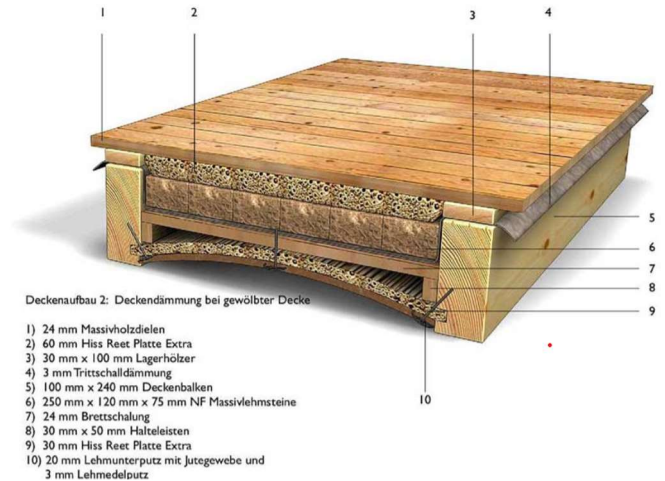


Hiss Reet valmistaa ruo'osta myös akustisia sisustuselementtejä [4]

Ruokoa käytetään maamme ulkopuolella laajasti ruokokattojen valmistamiseen, mutta siitä ei ole vielä teollista sovellusta.

Teknisiä ominaisuuksia

Ruo'olla on korkea silikaattipitoisuus (piihappoyhdiste) ja siksi se ei ime vettä, turpoa, kutistu, tai lahoa herkästi [5]. Ruokolevyjen tiheys on n. 190-200 kg/m³ ja paksuus yleensä 2 tai 5 cm. Yksittäisten ruokovarsien sisällä ja välissä olevan liikkumattoman ilman ansiosta levyillä on hyvät lämmöneristävyys, joka on eri valmistajien ilmoitusten mukaan 0,042-0,056 W/mK. Ruokolevy eristää myös hyvin ääntä ja sillä voidaan vaimentaa esimerkiksi välipohjien runkoääniä.



Hiss Reetin suunnittelema askeläänieristetty ja paloturvallinen välipohjarakenne [4]

Saksalaisen Sterflingerin mukaan 5 cm paksun ruokolevyn taivutuslujuus on n. 750 N/cm², lskuäänieristys 24 dB ja paloluokka E tai F (DIN B2) [5].

Talousseikkoja

Järviruokoa ei tarvitse kylvää tai lannoittaa, joten tuotteen raaka-ainekustannukset tulevat lähinnä leikkuusta, kuljetuksesta ja valmistuksesta. Viime vuosisadan tuotantokoneet ovat yksinkertaisia, mutta vaativat paljon työvoimaa. Automatisoidun tuotantolinjan kustannukset voidaan arvioida olevan kuitenkin kohtalaisen pienet, moneen muuhun levytuotteeseen verrattuna.

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

Hiss Reet [4], Saksa, www.hiss-reet.de

Saviukumaja [3], Eesti, www.uku.eu

Claytec, Saksa www.claytec.de

Sterflinger [5], Saksa www.schilfrohr-sterflinger.de

Hankkeita ja artikkeleita:

Ruovikon niittäminen jään päältä [2], Mirva Ketola, Päijät-Hämeen Vesijärvisäätiö, <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BA9900678-A121-4B89-871D-B4943BFE613E%7D/124547>

Turun Ammattikorkeakoulu, Rannasta rakennukseen, <https://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522160140.pdf>

Ely-keskus [1], www.ely-keskus.fi/web/ruoko

Savilaastit

Talo 2000: 44 ja 23

Koostumus ja tuotanto

Savirappaus- ja savimuurauslaastit koostuvat pääosin hiekkapitoisesta (laihasta) savesta ja hiekasta, ja näiden mineraaliainesten oikealla raekokojakaumalla minimoidaan rappauslaastin kuivauskutistuma ja halkeilu. Hiekan raekoko on pintarappauslaastissa enintään 1 mm ja pohjarappauslaasteissa 0-20 mm. Pohjarappauslaasteihin lisätään usein kasviaineksia, joiden kanssa voidaan rapata paksumpia laastikerroksia. Näitä lisäaineita ovat silputtu olki < 30 mm [lähde 1], hampun päistäre [5] ja puukuitu [1], jota voidaan käyttää myös pintalaastissa. Väri-laastit sisältävät lisäksi maapigmenttejä.



Claytec:n pohja- ja pintalaastien koostumuksia [1]

Raaka-aineet sekoitetaan kuivina tai maakosteina myllyssä, jonka jälkeen laasti säkitetään. Sekoituksessa voidaan käyttää tavanomaisia moniakselisia sekoittimia.



Claytec:n maakosteiden laastien tuotantolaitos [1]

Käyttö

Savirappauslaastit soveltuvat sisätilojen uudis- ja korjausrakentamiseen. Ne ovat hyvin työstettäviä ja tarttuvia useimmille materiaalipinnoille jopa alakattoihin. Pohjalaasti voidaan rapata yhtenä tai useampana kerroksena, yleensä pintalaastin alustaksi, ja sillä voidaan tehdä paksujakin kerroksia ja täyttää esim. rakoja. Pintalaastit voidaan maalata halutun

sävyisiksi erityyppisillä hengittävillä maaleilla tai käyttää pigmenttiä sisältävää väri-laastia.



Conlutan väri-laasteilla pinnoitettu uudisrakennus [2]

Savirappauslaastia voidaan käyttää myös hirsirakenteiden ja muiden puurakenteiden palonsuojauksena [7] ja äänieristeenä [8].

Savimuurauslaastia käytetään Keski-Euroopassa polttamattomien savitiilien ja harkkojen muuraukseen sisätiloissa. Suomessa kyseistä laastia on käytetty poltetusta tiilistä tehtävien ja puilla lämmitettävien kaakeliuunien ja varaavien tiilitulisijojen runkomuurauksiin sekä näiden hormien muurauksiin lämpimässä sisätilassa. Tavanomaisten sementti- ja kalkkilaastien tuottajat saattavat myös valmistaa uunilaastia sementtilisäyksellä, mutta aito uunilaasti ei sisällä sementtiä [6].



Tulisijan rungon muuraus Fesconin uunilaastilla [6]

Kuivana tai maakosteana toimitettuun laastiin lisätään vettä, kunnes saavutetaan sopiva koostumus. Laastia voidaan sekoittaa ja ruiskuttaa tavanomaisilla työmaakoneilla tai levittää perinteisesti käsityökaluilla. 600 litralla rappauslaastia saadaan rapattua 15 mm kerrospaksuudella 40 m². Savilaastin erityispiirre on se, ettei se kovetu märkänä, minkä takia sitä voidaan toimittaa suurissakin erissä, käyttäen rappausjäänteet uudestaan ja jättää vaikkapa laasti

sekoittimeen viikonlopun yli. Varsinkaan pintalaastia ei saa päästää kuitenkaan märkänä jäätymään. Kuivaa laastia voidaan myös hyvin varastoida sillä se ei vanhene koskaan.



Levita Lehmin savilaastin ruiskurappaus ruokolevylle [3]

Savilaastilla voidaan saada myös aikaiseksi Venetsialaisen stukon kaltaisia lujia ja kiiltäviä pintoja valitsemalla eri sävyisiä savilaatuja ja hienorakeista hiekkaa/kivimurskaa hyvän työstettävyyden ja pintalujisuuden varmistamiseksi. Korkean kiillon saavuttamiseksi pinta voidaan vahata karnaubavahalla ja kuivuttuaan kiillottaa pehmeällä, nukkaamattomalla liinalla.



Saviukumajan savistukko pinnoite [4]

Teknisiä ominaisuuksia

DIN 18947 mukaan savirappauslaastit jaetaan kahteen lujuusluokkaan:

Lujuusluokka	Puristuslujuus N/mm ²	Taivutuslujuus N/mm ²	Sidoslujuus N/mm ²
S I	≥ 1.0	≥ 0.3	≥ 0.05
S II	≥ 1.5	≥ 0.7	≥ 0.10

Savirappauslaastin, muita ominaisuuksia ovat:

- Tiheysluokka 1800 kg/m³
- Kuivauskutistuminen pohjalaastissa 2 % ja pintalaastissa 4 % [1].

- Lämmönjohtavuus 0,91 W/m·K [1].
- Vesihöyryn diffuusiokerroin (μ) 5/10 [1].
- **Paloluokka A1** [1], testaamattakin kun bioaineksen määrä on alle 1 % [DIN 4102-4 ja 96/603/EY]
- Vesihöyryn adsorptioluokka WS III [1]
- Hankauslujuus 0,4 g [1]

DIN 18946 mukaan savimuurauslaasteilta vaaditaan ≥ 0.04 N/mm² sidoslujuutta ja ne jaetaan puristuslujuutensa mukaan neljään luokkaan:

Lujuusluokka	Puristuslujuus N/mm ²
M0	-
M2	≥ 2.0
M3	≥ 3.0
M4	≥ 4.0

Talousseikkoja

Monet savituotteiden valmistajat, jotka pystyvät käyttämään maakostea savea, saavat sitä ilmaiseksi paikallisilta kaivuutyömailta. Kuivattu savijauho ja hiekka sekä pieninä määrinä käytettävät kasviperäiset ainekset ovat myös suhteellisen halpoja. Lisäksi laastien tuotantolinjat on hyvin yksinkertaiset. Esimerkiksi Claytecin savirappauslaastit maksavat alkaen 0,5 €/kg ja esim. Prolehmän lastit alkaen 0,3 €/kg. Savilaastit soveltuvat vain sisäpintoihin, mutta niitä voidaan toimittaa toisaalta suurissa (1000 kg) erissä, koska ne eivät kovetu varastoidessa.

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

Claytec [1], Saksa, www.claytec.de
 Conluto [2], Saksa, www.conluto.de
 Egginger Naturbaustoffe/Levita Lehm [3], Saksa, www.lehm.com
 Saviukumaja [4], Eesti, www.uku.eu
 Pro Lehm [5], Itävalta, www.prolehm.at
 Fescon [6], Suomi (uunilaasti), www.fescon.fi
 Tiileri, Suomi (uunilaasti), www.tiileri.fi
 Lehmorenge, Saksa, www.lehmorenge.de
 Schleusner, Saksa, www.lehmbaustoffe-schleusner.de
 Clay Works, Iso Britannia, www.clay-works.com

Tutkimuksia:

[7] Performance of Constructions with Clay Plaster and Timber at Elevated Temperatures, Johanna Liblik, 2016, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021630772X>

[8] Savirapatun hirsiseinän ääneneristys, Akukon, 2017, <https://www.museovirasto.fi/uploads/Arkisto-ja-kokoelmapalvelut/Julkaisut/savirapattu-hirsiseina-aanieristys.pdf>

Savilevyt

Talo 2000: 26 ja 41

Koostumus ja tuotanto

Savilevyt on kehitetty savipohjarappauksen kuivaversioksi ja siksi ne koostuvat samoista aineista. Saven lisäksi ne voivat sisältää mm. hiekkaa, perliittiä, puukuitua, hampun kuitua ja päistäreettä sekä olkea tai heinää (ks. taulukko 2). Levyjä kosteasta massasta valmistettaessa siihen voidaan lisätä juuttikangasta, lasikuituverkkoa tai ruokomattoa levyn jäykistäjäksi, jotta levyt kestävät käsittelyä ja kiinnitystä. Mineraaliset aineet antavat tuotteille paloturvallisuutta, äänieristävyyttä ja puristuslujuutta sekä korkea savespitoisuus hygroskooppisuutta. Bioaines antaa tuotteille lämmöneristävyyttä, ja varsinkin kuidut lisäävät taivutuslujuutta.

Levyjä puristetaan muottiin kosteasta savimassasta, kuten tiiliä aikanaan. Pinnanvahvistusverkko ja lämmitys/viilennysputkisto voidaan integroida levyyn valsaamalla massaa, jolloin tuotanto muistuttaa

kartonkikipsilevyn valmistusta. Tuotteita voidaan valmistaa myös, kuten modernia tiiliä iskemällä hyvin kuivasta massasta, jolloin vältetään kuivauskutistumilta ja halkeiluilta sekä säästetään kuivauskustannuksissa [lähde 3].



Claytecin savilevyn keskellä on ruokomatto [1]

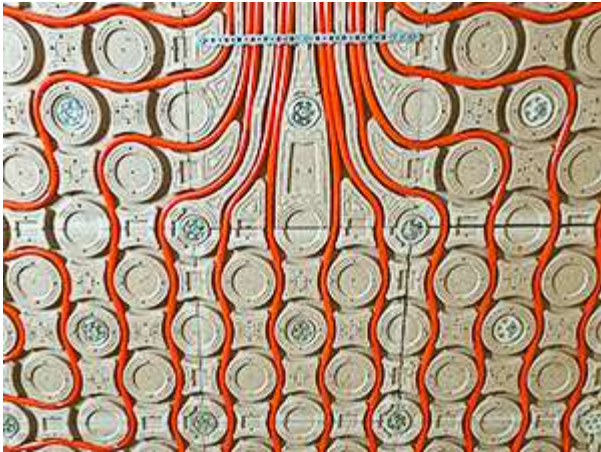


Lemixin savilevyjen tuotantolinjaa [4]

Käyttö

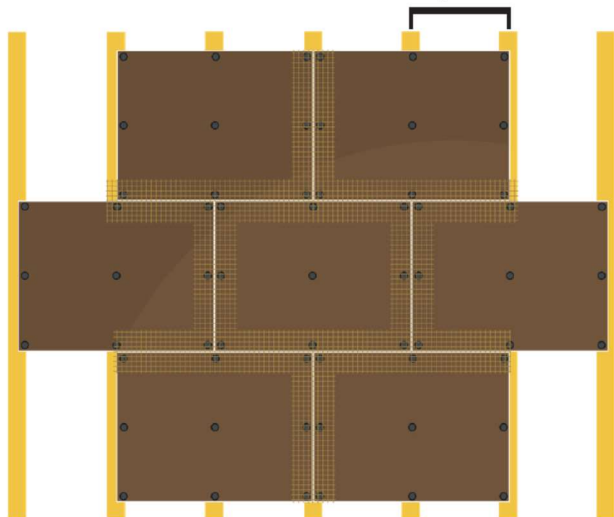
Savilevyjä käytetään pääosin rankarakenteisissa seinissä sekä alakatoissa, joissa tarvitaan lämpöä ja kosteutta tasapainottavaa tai ääntä eristävää materiaalia. Savilevyt voivatkin olla osa rakennuksen talotekniikkaa,

sillä ne soveltuvat hyvin Keski-Euroopassa yleistyneeseen seinä- ja kattolämmitykseen/viilennykseen. Savi on yksi parhaista materiaaleista sitomaan huoneen viilennyksen aiheuttamaa lisäkosteutta.



Argilla Thermin profiloitu savilevy osana alakaton lämmitys/viilennysjärjestelmää ennen katon rappausta [3]

Levyt kiinnitetään runkorakenteeseen ruuveilla tai niiteillä, mutta levyjä voidaan käyttää myös korjausrakentamisessa liimaamalla niitä vanhan rakenteen päälle. Ruuvauksessa käytetään usein ruuvien kannan painetta laajemmalle levittäviä aluslevyjä. Savilevyjä voidaan leikata tavanomaisilla käsityökoneilla ja kevyempiä levyjä käsisahalla tai jopa veitsellä. Levyjen mitoitus on usein suunniteltu saksalaiseen järjestelmään, jossa tolppaväli on 625 mm.



Schleusnerin savilevyjen rakennejärjestelmä [5]

Jos savilevyihin on integroitu lämmitys/viilennysvesiputkia yhdistetään putket levyasennuksen jälkeen [6]. Putket voidaan myös pujottaa levyjen kolmiulotteiseen pintaan, mikä nopeuttaa putkityötä [3].

Levytetty alue kostutetaan ja se ylläpidetään 2–3 mm paksulla hienorappauksella, joka verkotetaan koko alalta. Tämän jälkeen pinta voidaan maalata savimaalilla tai muilla maaleilla tarpeen mukaan.



Hanffaserin savilevyt ruuvattu aluslaatan kanssa ennen yllirappausta [7]

Teknisiä ominaisuuksia

Saven hygroskooppisuus ja suuri lämpökapasiteetti auttavat tasapainottamaan huonetilan kosteus- ja lämpötilavaihteluita päivä- ja jopa viikkotasolla (ks. taulukko 3). Olennaista hygroskooppisuudelle on saveksen ($< 0,02$ mm) määrä tuotteessa [3]. Savilevyille onkin Saksassa oma norminsa DIN 18948, joka mm. luokittelee levyt niiden adsorptionopeuden mukaan.

Vesihöyryn adsorptioluokka	Adsorptio 12 tunnissa (g/m ²)
WS I	≥ 35
WS II	$\geq 47,5$
WS III	≥ 60

Taulukko 1 savilevyjen luokitus niiden 12 tunnin vesihöyryn adsorptiomäärän perusteella [DIN 18948]

Kipsilevyjen vesihöyryn adsorptio on huomattavasti pienempi, arviolta alle 10 g/mm² [3].

Tiheät savilevyt eristävät myös tehokkaasti ääntä ja paloa, sillä yli 1300 kg/m³ tiheydellä niiden paloluokka on A1. Kevyt-savilevyt johtavat puolestaan kohtalaisen huonosti lämpöä, joten niillä voidaan lisätä rakenteiden lämmöneristävyyttä (ks. taulukko 2).

Talousseikkoja

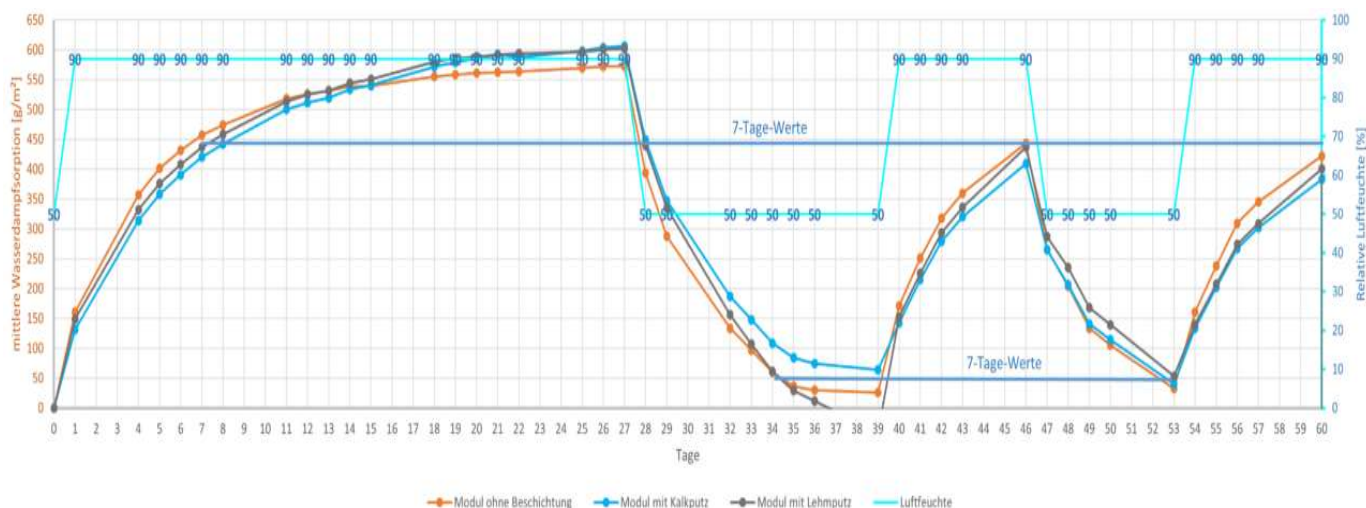
Savilevyjen raaka-aineet ovat edullisia kuten savi rappauksenkin raaka-aineet, mutta levyjen tuotanto on ehkäpä luonnonmukaisten rakennustuotteiden vaativammasta päästä. Levyjen tuotantolinjan investointikustannukset lienevät kuitenkin matalia moneen muuhun tavanomaiseen tuotteeseen verrattuna.

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

Savilevyjen valmistajia ja lähteitä on esitetty taulukossa 2. Samaa savilevyä saatetaan kaupata eri yritysten taholta monella eri tuotenimellä.

Valmistaja, lähdenumero, tuote, mitat, linkki	Koostumus	Tiheys kg/m ³	Lämmönjohtavuus W/mK	Lämpökapasiteetti kJ/kgK	Taivutuslujuus N/mm ²	Puristuslujuus N/mm ²	Paloluokka DIN EN 13501-1	Vesihöyryn adsorptio, 12 h g/m ²
Hanffaser [7] , Trockenbauplatte 14/22x500/625/1000x1000/1250 mm, www.hanffaser.de	Savi, hampun päistäre ja kuitu, lasikuituverkko (molemmin puolin)	600	0,095	1,5			E/B2	
Argilla Therm , Leichtbauplatte, 13x625x1250 mm, www.argillatherm.de	Savi, hampun päistäre ja kuitu, lasikuituverkko (molemmin puolin)	620	0,17	1,5	2,45		A2	≥ 60
Naturbo , Clima, 31x625x115 mm, www.naturbo-lehmputz-lehmbauplatten.de	Savirappaus + lasikuituverkko 3mm, huokoinen puukuitulevy 17 mm, savirappaus + lasikuituverkko 10 mm	670	0,073					
Claytec [1] , Lehmbau-platte, 16/20x625x1500 mm, www.claytec.de	Savi, perliitti, ruokomatto, hampuu, juuttikangas	700	0,13	1,45				≥ 60
Claytec , Greentech 700, 22x625x125, www.claytec.de	Savea n. 30%, hampun päistäre, magnesiitti, soija	700	0,13				B	
Schleusner [5] , Leichtlehmbauplatte, 14/22x1250x1000 mm, www.lehmbaustoffe-schleusner.de	Savi (lihava), hampun päistäre ja kuitu, puukuitu, lasikuituverkko (molemmin puolin)	750	0,21	1,5	> 1,49		B1	91/109
Lehmorenge [6] , Leichtlehmplatte, 16/22x625x1250 mm, www.lehmorenge.de	Savi, hiekka, silputtu olki, lasikuituverkko	1300	0,47	1	>0,4	>2,5	A1	
WEM , Lehmplatte, 16/25x625x1000 mm, www.wandheizung.de	Savi, hiekka, kasvikuittuja, lasikuituverkko (molemmin puolin)	1400	0,59	1		> 2,5	A2	
Pilosith , Wand platte, 22x625x1000 mm, www.pilosith.de	Savi, olksilppu, lasikuituverkko	1440	0,44	1	3,3		A1	
Hart Keramik, Lemix [4] , 16/22x625x1250 mm, www.hart-keramik.de	Savi, puukuitu, tärkkelys, juuttikangas	1450	0,353	1,1	≥ 1,2		A1	
Argilla Therm [3] , Neutralplatte, 13x625x1250 mm, www.argillatherm.de	Savi (≥ 35%), hiekka, tiilimurska, heinäkuittuja (Miscanthus)	1700	1,05	1	>2,5	>2,5	A1	107

Taulukko 2 saksalaisia savilevyjä sekä niiden koostumuksia ja ominaisuuksia valmistajien mukaan. Lähdenumerot



Taulukko 3 Argilla Thermin savilevyn vesihöyrysorptio 2 kuukauden aikana, kun huonetilan RH vaihteli välillä 50–90 %

Savimassat ja -elementit

Koostumus ja tuotanto

Savimassat ovat yksi ihmiskunnan vanhimpia rakennusmateriaaleja ja niitä on käytetty kaikkialla maailmassa. Syinä ovat olleet raaka-aineiden edullisuus ja kestävyys sekä rakennusmenetelmien yksinkertaisuus. Myös Suomessa on jäljellä 1800 luvun alussa rakennettuja savirakennuksia, jotka on tehty massaa valumuottin sullomalla.

Nykyään sekoitetaan teollisesti savesta, hiekasta ja sorasta ns. massiivisavea [lähteet 1, 3 ja 5], ja savesta, oljesta ja hapun päistäreestä koostuvaa kevytsavimassaa [2]. Kevytsavea kevyemmissä massoissa savi ei enää toimi sideainena vaan puhutaan kasviaineksen savettamisesta, eli kuoruttamisesta savilietteellä [9].

Massat sekoitetaan kuivana tai maakuivana, säkitetään, ja toimitetaan rakentajille. Sekoituksessa voidaan käyttää tavanomaisia moniakselisia sekoittimia.



Claytecin maakosteiden laastien tuotantolaitos [5]

Käyttö

Massiivisavesta voidaan rakentaa taiteellisia ja monoliittisiä seiniä sekä päällystää lattiaita. Massan sullomisessa seinämuottiin (Pisé/Rammed Earth - tekniikka) tai lattiapinnoitteeksi rakentajat käyttävät pneumaattista iskulaitetta. Massoista voidaan valmistaa myös teollisin menetelmin seinäelementtejä.

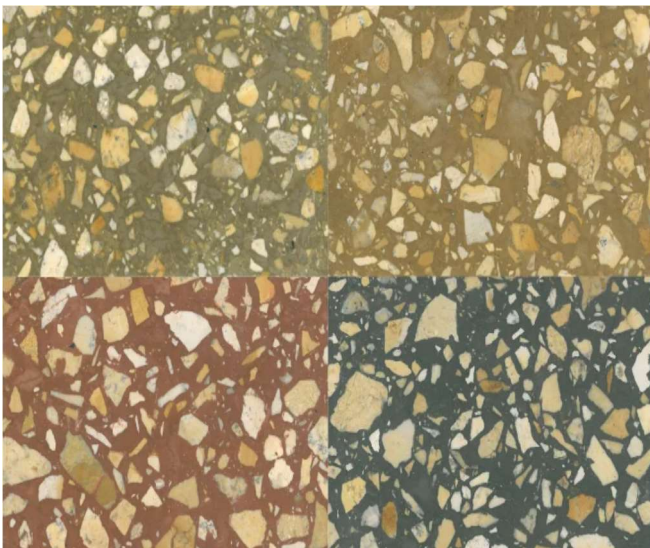


Lehm Ton Erde Baukunstin massiivisavielementtien teollinen tuotanto [3]

Tuhannesta kilosta massaa saadaan n. 0,5 m³ valmista rakennetta. Iskettyjen kerrosten sävyerot luovat taiteellista pintaa. Massiivisavilattian iskemisen jälkeen se hiotaan ja pinnoitetaan esim. karnaubavahalla. Hienojakoisesta savimassasta voidaan lisäksi 3D- tulostaa rakenteita.



Luonnon betoni- konsortion kehittämä massa lattiavaaluun [1]



Claytecin valmista savilattiapintaa [5]



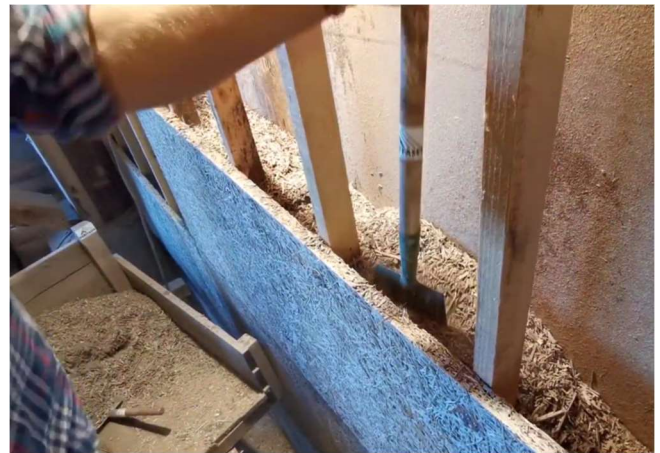
Müller Ofenbau on suunnitellut sarjan massiivisaviuuneja [4]



Savirakennuksen tulostus 3DWASP:in nosturitulistimella [6]

Kevytsavimassaa käytetään esim.

keskieurooppalaisten ristikkorakenteisten seinien korjausrakentamisessa täytteenä, jolloin kosteaa kevytsavimassaa sullotaan sauvalla muottiin tai savitiilikerrosten väliin (katso savitiilet –ja laatat) käsivoimin. Myös kuivasta kevytsavimassasta voidaan rakentaa lisäämällä vettä muottiin vain sen verran, että saven sitovuus aktivoituu [2]. Lisäksi uudisrakentamisessa kevytsavi soveltuu lämmöneristeeksi ulkoseiniin ja äänieristeeksi välipohjiin.



Hanffaserin kevytsavimassan sullominen seinäeristeeksi [2]

Teknisiä ominaisuuksia

Massiivisavi voi iskettynä saavuttaa tiheyden 2200 kg/m³ ja myös savi-olki seinärakenne voi toimia kantavana tiheyteen 1500 kg/m³ asti [7]. Useat maat eri maanosista ovatkin ottaneet savirakenteet huomioon rakennusmääräyksissään. Puristuslujuuksien suunnittelu-arvot ovat luokkaa 0,5-0,7 N/mm² [8], mutta esim. Lehm Ton Erde Baukunstin teollisilla tuotteilla on voitu mitata lujuus 2,4 N/mm². Savimassat ovat palamattomia n. 1300 kg/m³ tiheyteen asti ja sitä kevyemmätkin massat osallistuvat paloon rajoitetusti (ks. Savitiilet). Savirakenteiden kyky tasapainottaa sisätilojen

lämpötilan vaihteluita on tärkeä asumismukavuutta lisäävä ominaisuus. Rakennessuunnittelussa on kuitenkin otettava huomioon että savirakenteilla ei ole juurikaan taivutuslujuutta [8]. Massiivisaven sidoslujuus on luokkaa 80 g/cm³ [7] ja se kuivuu nopeammin kuin vastaava betonivalu [1].

Savesta ja hampun päistäreestä koostuva kevytsavi on savimassoista kevyimpiä tiheyden ollessa 300-450 kg/m³ ja lämmönjohtavuuden ollessa 0,075-0,077 W/mK [2]. Kevytsavesta voidaan rakentaa pohjoisessakin ilmastossa yksiaineisia rakennusfysikaalisesti hyvin toimivia seinärakenteita, jotka täyttävät n. 45 cm paksuina U-arvovaatimuksen. Kevytsaven paloluokka on E [2].

Kerroksellisissa rakenteissa voidaan käyttää esimerkiksi savetettua kutterinlastua, jonka tiheys on 60 kg/m³ ja lämmönjohtavuus 0,043 W/mK [9].



Holz Lehmhausin savetettua kutterinlastua lattiaeristeenä [9]

Savi on vesiliukoinen sideaine, joten savirakenteeseen ei pidä päästää kosteutta esim. perustusten ja ulkoverhouksen kautta. Savirakenne sääsuojataan Keski-Euroopassa tyypillisesti kalkkirappauksella ja kapilaarikatko perustusten ja seinän välillä on tehtävä huolella.

Massiivisaven kosteudenkestoa ja puristuslujuutta on pyritty parantamaan lisäämällä massaan sementtiä tai kalkkia, mutta samalla menetetään massan uusiokäyttömahdollisuus samanarvoisena materiaalina.

Talousseikkoja

Monet savituotteiden valmistajat, jotka pystyvät käyttämään maakostea savea, saavat sitä ilmaiseksi paikallisilta kaivuutyömailta. Mitä kevyempää massaa valmistetaan, sitä määräävämmäksi tulee kasvipohjaisten raaka-aineiden hinta. Näitä materiaaleja saadaan kuitenkin usein edullisesti muiden tuotantojen sivuvirtana. Massojen sekoitukseen ja elementtien sullomiseen käytettävä kalusto on hyvin yksinkertaista, mutta esim. 3D printtaus on jo korkeampaa teknologiaa.

Massiivisaven sullomisessa elementiksi kuluu kohtalaisesti energiaa samoin kuin kevytsaven kuivaamisessa, jossa perinteisen kuumailmapuhalluksen lisäksi voidaan käyttää myös alipainekuivausta. Kuutio massiivisavea maksaa 20 € [10] ja kevytsavea 283 € [2].

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

3dWasp [6], Italia, www.3dwasp.com

Lehm Ton Erde [3], Itävalta, www.lehmtonerde.at

Müller Ofenbau [4], Itävalta, www.lehmo.at

Hanffaser [2], Saksa, www.hanffaser.de

Claytec [5], Saksa, www.claytec.de

Conluto [10], Saksa, www.conluto.de

Luonnon betoni- konsortio [1], Suomi, www.luonnonbetoni.fi

Holz Lehmhaus [9], Saksa, www.holz-lehmhaus.eu

University of Bath [8], UK, A Review of Rammed Earth Construction

<https://people.bath.ac.uk/abspw/rammedearth/review.pdf>

Dachverband Lehm [7], Saksa,

[https://www.dachverband-](https://www.dachverband-lehm.de/lehmbau/lehmbaustoffe)

[lehm.de/lehmbau/lehmbaustoffe](https://www.dachverband-lehm.de/lehmbau/lehmbaustoffe)

LehmAG [], Sveitsi, www.lehmag.ch

Levita Lehm [], Saksa, www.lehm.com

Savitiilet ja -laatat

Talo 2000: 23

Koostumus ja tuotanto

Savitiilet ja -laatat koostuvat saven lisäksi mineraaliaineksista kuten hiekasta, vulkaanisesta tuhkasta (perliitistä) ja tiilimurskasta (shamotista) sekä bioaineksista kuten olkisilpusta, puukuidusta, sahanpurusta sekä hampun kuidusta ja päistäreestä (katso myös savilevyt ja -laatat).



Conluto on yksi luonnonmukaisten rakennustarvikkeiden kaupoista, joka markkinoi Claytecin tiiliä [lähde 1]

Savitiiliä ja -laattoja muottipuristetaan ja suulakepuristetaan kosteasta savimassasta.



Tiilen suulakepuristus (Seppälän tiilitehdas) ja leikkaus lankaleikkurilla (Kultelan tiilitehdas)

Tuotteita voidaan valmistaa myös, kuten modernia tiiliä ja laattoja iskemällä hyvin kuivasta massasta, jolloin vältetään kuivauskutistumilta ja halkeiluilta sekä säästetään kuivauskustannuksissa. Tuotteiden kuivaamiseen käytetään tiilitehtaissa polton hukkalämpöä, mutta niitä voidaan kuivata kesäisin myös auringon ja tuulen avulla.



Gumbelin tehtaalla tiilien kuivausta ulkoilmassa [4]

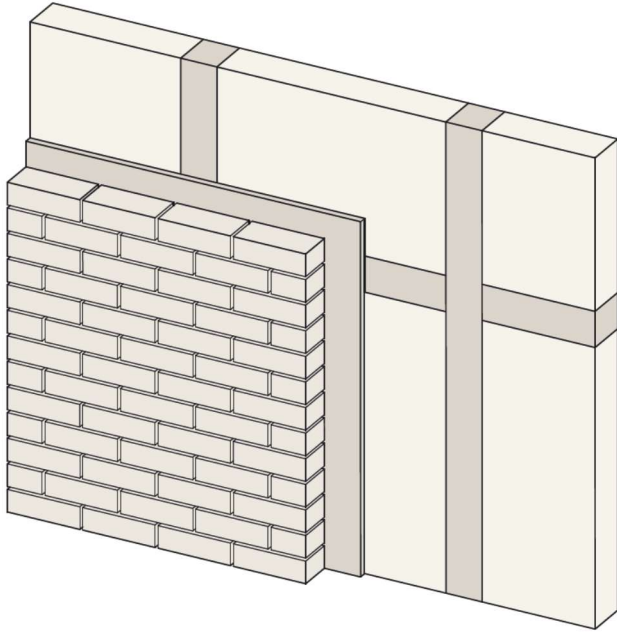
Käyttö

DIN 18945 -standardin mukaan savitiilet jaotellaan niiden soveltuvuuden mukaan käyttöluokkiin:

- Luokka III. Lämpökapasiteetin ja äänieristyksen lisääjäksi seinä- ja lattiarakenteisiin kuivina (ilman laastia) ladottavat tiilet ja laatat, jotka voivat olla poltettavien tiilien ja laattojen raakaversioita.
- Luokka II. Sisäseinien, sisäverhoilujen tai sääsuojattujen ulkoseinien muuraustiilet, jotka ovat yleensä rei'itettyjä. Näitä valmistetaan laihasta savesta, etteivät tiilet turpoa muuraus- tai rappauslaastin kosteudesta.
- Luokka I. Sälle alttiiden seinien muuraustiilet, jotka kestävät hyvin kosteutta ja pakkasta. Alaluokassa Ib seinä on rapattu kauttaaltaan ja alaluokassa Ia vain halkaistun seinärakenteen ulompi osa on rapattu.

Savitiiliä käytetään Keski-Euroopassa ennen kaikkea historiallisten ristikkotalojen seinien entisöinnissä kantavan (puu)runгон täyteenä. Savitiilet ovat edullisempi ja kosteusturvallisempi tapa korjata vaurioitunut historiallinen rakennus kuin tehdä se kostealla savimassalla. Luokkien Ib ja II tiheillä tiilillä voidaan rakentaa myös kantavia seiniä. Kyseisiä tuotteita on alettu käyttämään myös uudisrakentamisessa, kun halutaan kosteutta ja lämpöä tasapainottavia sekä paloturvallisia rakenteita [2].

Muurattavat tiilet kostutetaan ennen muuraamista. Rapattavien seinien saumat on hyvä jättää vajaiksi, jotta rappauslaasti sitoutuu paremmin muurattuun seinään. Sisäpinnat voidaan savirapata ja sälle alttiissa pinnoissa käytetään kalkkirappausta. Yleinen tapa on muurata ulompi ja sisempi kuori seinästä ja täyttää väli kevyemmällä ja eristävämmällä savimassalla. Luokan III tiilet ladotaan paikalleen ilman laastia ja verhotaan seinälevyllä.



Teknisiä ominaisuuksia

Teollisesti savesta puristettavien rakennuskappaleiden tiheydet vaihtelevat välillä 500-1900 kg/m³, riippuen siitä kuinka paljon ne sisältävät savea keveämpää bioainesta (ks. Savimassat ja –elementit). Saksalaisen DIN 18945 mukaan muurauskappaleita voidaan käyttää kantavina, jos DIN EN ISO 7500-1:2004-11 mukaisten puristuslujuustestien keskiarvo on $\geq 2,5$ N/mm² ja yksittäisten tulosten arvo on $\geq 2,0$ N/mm². Espanjalaisen normin UNE 41410 mukaan savitiilien puristuslujuuden on oltava $\geq 1,3$ N/mm² ja normi rajoittaa myös saviraaka-aineen suolapitoisuutta sekä plastisuutta (savespitoisuutta), joka kytkeytyy tiilen kosteusturpoamiseen. Rakennuskappaleet tarvitsevat lujuutta myös kestämään kuljetuksen ja muuraustyön rasitukset.

Paljon bioainesta sisältäviä kevytsavitiiliä voidaan käyttää lämpöeristävänä sillä niiden lämmönjohtavuus on valmistajien ilmoitusten mukaan välillä 0,085-1,10 W/mK

Jotkut tuottajat pyrkivät parantamaan savitiilien kosteudenkestoa ja puristuslujuutta lisäämällä massaan sementtiä tai kalkkia, mutta samalla menetetään tiilen uusiokäyttömahdollisuus samanarvoisena materiaalina.

Talousseikkoja

Polttamattomia savitiiliä ja -laattoja teollisesti valmistavat tiilitehtaan saavat savea omalta savenottopaikoiltaan, ja heille raaka-aine on enemmän lupa- kuin kustannuskysymys. Samoin saveen sekoitettavat muut materiaalit ovat edullisia. Kun tuotantolinja on jo olemassa syntyvät kustannukset lähinnä kuivauksesta, johon tavallisesti käytetään tiilen polton hukkalämpöä. Kyseisten tuotteiden kustannuslaskennassa painottuvat enemmän rakentamisen kuin tuotannon kustannukset sillä tiiliseinän muuraaminen ja rappaaminen on kohtalaisen hidasta verrattuna levytetyn seinän rakentamiseen.

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

Claytec [1], Saksa, www.claytec.de
Gumbel [4], Saksa, www.ziegelei-gumbel.de
Schleusner, Saksa [], www.lehmbaumstoffe-schleusner.de
Hart Keramik [3], Saksa, www.lemix.eu
Ceyfor, Espanja, www.ceyfor.es
Saviukumaja, Eesti, www.uku.eu

Dachverband Lehm katto-organisaatio[2], Saksa, <https://www.dachverband-lehm.de/lehmbau/lehmbaumstoffe>



Saksalainen savialan kattojärjestö Dachverband Lehm opastaa mm. Ristikkotalon seinän korjaustyössä (yläkuva) ja III luokan tiiliseinän rakentamisessa (alakuva) [2]

Lattialaatat ovat keraamisten laattojen polttamattomia versioita ja ne ladotaan painoksi puisien välipohjien päälle äänieristäväksi massaksi, jonka päälle voidaan asentaa esim. parketti.



Hart Keramikin valmistamat laatat soveltuvat rakentamiseen polttamattomina ja poltettuina. [3]

Maalit ja pinnoitteet

Talo 2000: 48

Koostumus ja valmistus

Luonnonmukaiset maalit ja pinnoitteet, koostuvat kasvi- ja mineraalipohjaisista sideaineista ja pigmenteistä sekä voivat sisältää lisäaineita.

Sideaineen tehtävä on kiinnittää tuote pintaan ja antaa lujuutta säätä sekä kulutusta vastaan.

Käytetyimpiä luonnon **sideaineita** ovat:

- Tärkkelys, jota on perinteisesti saatu ruisjauhosta, mutta teolliset valmistajat käyttävät myös vehnäjauhoa, joka antaa maalille heleämmän sävyn.
- Pellavaöljy, joka antaa maaleille kosteuden kestävyyttä ja siitä keittämällä saatu vernissa kuivuu nopeammin, ja on siksi valmistajien suosiossa.
- Terva, joka kestää myös hyvin kosteutta, kuten tiedetään puulaivojen tervauksesta.
- Savi, josta löytyy väri vaihtoehtoja niin ettei pigmenttiä välttämättä tarvita. Vaaleissa sävyissä käytetään pohjana valkoista savea lisättynä liidulla, talkilla tai marmorimurskeella.
- Maito (rasvaton), joka estää puuta kellastumasta ja josta saadaan läpikuultavia ja kiiltäväpintaista sisämaaleja.
- Kananmunan keltuainen, jonka avulla myös öljy saadaan sekoittumaan veteen.

Pigmentti on värillinen hienojakoinen jauhe, joka ei liukene sideaineeseensa. Pisimpään on käytetty maasta uutettuja maavärejä kuten okraa, siennaa, umbraa ja hiiltä.



Ocres de Francen maapigmenttejä [lähde 1]

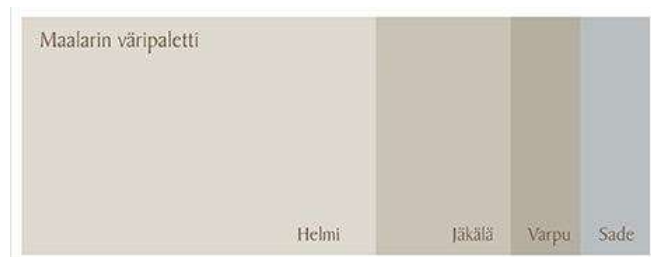
Luonnon värejä on saatu myös kasveista ja puolijalokivistä. Useimmista maaväreistä on olemassa raakasävyä lisäksi punasävyisempi poltettu sävy, kuten poltettu punasavi tai terrakotta. Maavärejä voidaan valmistaa myös rautaoksidista, jota saadaan kaivosteollisuuden sivuvirtana (esim. Falun punamulta). Musta pigmentti, eli kimröökki, on

hienojakoista puhdasta hiiltä, jota valmistetaan hiilipitoisista aineista.

Sideaineita voidaan käyttää yksistään tai yhdistää toisiinsa kun niistä sekoitetaan pigmenttien kanssa seuraavia **maaleja ja pinnoitteita**:

- Punamultamaali, jossa sideaine on pääosin tärkkelystä, mutta sen säänkestoa voidaan parantaa pellavaöljyllä tai tervalla. Maali tunnetaan myös keittomaalina, sillä sen tärkkelysjauho sekoitetaan veteen ja keitetään pienellä tulella ensin liisteriksi.
- Öljymaali, jonka sideaine on pelkästään pellavaöljy.
- Roslagin mahonki, jossa sideaineina ovat terva ja pellavaöljy.
- Savimaali ja -pinnoite, joissa saven sidoslujuuutta sisämaaleissa voidaan vielä lisätä tärkkelyksellä, puukuidulla, metyyliiselluloosalla ja jopa arabikumilla. Savipinnoite voi olla jopa muutaman millimetrin paksuinen ja saponilla voidaan antaa sille kuohkeutta.
- Maitomaali, josta saadaan valkoinen sisämaali liidun kanssa, mutta myös ulkomaali lisäämällä maitoon sammutettua kalkkia tai sementtiä. Kaseiinista ja soodasta saadaan myös pohjamaali savimaaleille ja -pinnoitteille [2].
- Munatempere, jossa sideaineina ovat pellavaöljy ja munan keltuainen, ja maalissa voidaan käyttää myös valkuainen

Tyypillisiä perinnemaalien sävyjä ovat Falunin punainen, Italian punainen ja keltainen.



Yksi Uula Colorin värikorteista, joissa isoin sävy on tarkoitettu käytettäväksi päävärinä suurilla pinnoilla, kuten seinillä ja muut sävyt ovat päävärin kanssa sopusointuisia tehostevärejä esim listoissa ja ovissa [3]

Teollisessa valmistuksessa maalien sideaineet yhdistetään pigmenttiin maalinsekoitusmyllyllä, jonka jälkeen maalit purkitetaan

Käyttö

Luonnonmukaisista maaleista löytyy tuote kaikille pinnoille rakennuksissa. Perinnemaalit soveltuvat erityisesti puuverhouksen sekä hirren sisä- ja ulkopintoihin ja maitomaali sekä varsinkin savimaali ja –pinnoite soveltuvat hyvin mineraalipinnoille. Punamultamaali tarttuu hyvin sahalautapintaan myös vanhan punamultamaalin päälle, mutta ei höylälautapintaan, kuten öljymaali ja munatempera.

Maaleja levitetään normaalisti siveltimellä tai rullalla sekä savipinnoitetta lastalla. Punamultamaalia sekä savimaalia ja –pinnoitetta voidaan levittää myös maaliruiskulla [4]. Eri käsittelytekniikoilla savipinnoitteesta voidaan saada hyvin erilaisia koristepintoja. Pellavaöljyä ja vernissaa sisältävät maalit kuivuvat melko hitaasti tavanomaisiin maaleihin verrattuina.

Maalit on säilytettävä lämpimässä tilassa ja suolalla voidaan lisätä maalin säilyvyyttä sen estäessä homeen muodostumista. Punamultamaalista ja savimaalista sekä –pinnoitteesta voidaan tehdä myös pitkään säilyviä kuivatuotteita, jolloin vedenlisäys jää käyttäjälle.



Claytecin savipinnoitteen sekoitus jauheesta [5]

Puupinta voidaan myös sävyttää ja suojata ilman maalia hiiltämällä se, mikä suojaa pintaa auringolta ja palolta.

Teknisiä ominaisuuksia

Luonnonmukaiset maalit ja pinnoitteet ovat hyvin peittäviä eivätkä muodosta vettä tai vesihöyryä pidättävää kalvoa. Jopa öljymaaliin tulee pieniä halkeamia, jotka antavat materiaalien ”hengittää”. Luonnon pigmentit ovat erityisen valonkestäviä ja muutenkin hyvin säilyviä. Pellavaöljyä ja vernissaa sisältävät maalit kestävät hyvin ulkopinnassa, mutta pelkästään tärkkelyksellä sidottu punamultamaali on uhrikerros, jota sade huuhtelee pois pikkuhiljaa. Luonnonmukaisille maaleille on ominaista että ne vanhenevat kauniisti, eikä maalipinoille siten tule pikaista uusimistarvetta.

Talousseikkoja

Maapigmentit, tärkkelys, savi, maito ja kananmuna ovat edullisia raaka-aineita, mutta pellavaöljy ja terva ovat arvokkaampia sideaineita. Maalien tuotantolinja on investointina suhteellisen pieni.

Tuotteiden valmistajia ja lähteet

Uula Color [3], Suomi, www.uula.fi
Hagmans Nordic, Ruotsi, <https://landora.fi>
Suomen luonnonmaalit, Suomi, www.maaliartesaanit.fi
Sateenkaari perinnetaito, Suomi, www.perinnetaito.fi
Virtasen maalitehdas, Suomi, www.virtasenmaalitehdas.fi
Falu Rödfärg [4], Ruotsi, www.falurodfarg.com
Osmo Color, Saksa, www.osmocolour.com
Auro, Saksa, www.auro.de
Hangon Väri, Suomi, www.hangonvari.fi
Ocres de France [1], Ranska, www.ocres-de-france.com
Claytec [5], Saksa, www.claytec.de
Conluto [2], Saksa, www.conluto.de
Egger Naturbaustoffe/Levita Lehm, Itävalta, www.lehm.com
Kreidezeit Naturfarben, Saksa, www.kreidezeit.de
Clay Works, Iso-Britania, www.clay-works.com
Saviukumaja, Eesti, www.uku.eu
Savimestarit, Suomi, www.savimestarit.fi

b. Hiilitaselaskelmat

Kuvaan 21 liittyvät laskelmat

		Tuotteen hiilitase kgCO2e/kg						Tuotteen hiilitase kgCO2e/m2					
Materiaali	Yritys/ lähde	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuus ≤ vuodessa	Uusiutuus ≥ vuodessa	Tiheys kg/m3	Paksuus m	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuus ≤ vuodessa	Uusiutuus > vuodessa	Koostumus ja tarkennus	Tarvikkeen paloluokka
Eristevillat, R =1 (m²K)/W													
Lampaanvillaeriste	Thermafleece	1,290	-1,280	-1,280		18,0	0,039	0,906	-0,899	-0,899		Lampaanvilla 75%, kierrätysmuovi 20 %, tuholaisenestoaine 5 %	E
Hamppukuitueriste	KOBE-cz	0,622	-1,257	-1,257		35,0	0,040	0,870	-1,760	-1,760		Hamppu 85 %, kierrätysmuovi 12 %, sooda 3 %	D
Puukuitueriste	Hunton Nativo	0,298	-1,553		-1,553	50,0	0,038	0,566	-2,950		-2,950	Puukuitu 81 %, homeen- ja palonestoaineet, polyolefin	E
Sellukuitueriste	CO2data tyypillinen	0,850	-1,100		-1,100	37,0	0,039	1,227	-1,587		-1,587	Kierrätyspaperi, homeen- ja palonestoaineet, polyesteri	E
Mineraalivillaeriste	CO2data tyypillinen	1,200				29,5	0,036	1,274				Sulatetut kivikuidut, sideaine	A

Kuvaan 22 liittyvät laskelmat

		Tuotteen hiilitase kgCO2e/kg						Tuotteen hiilitase kgCO2e/m2					
Materiaali	Yritys/ lähde	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu ≥ vuodessa	Tiheys kg/m3	Paksuus m	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu > vuodessa	Koostumus ja tarkennus	Tarvikkeen paloluokka
Puhalluseristeet, R =1 (m²K)/W													
Kutterilastu	Ehta/LUKE	0,018	-1,569		-1,569	70,0	0,043	0,054	-4,712		-4,712	Sihdattu kutterilastu 100 %	E
Puukuitu	Hunton Nativo	0,196	-1,651		-1,651	33,0	0,038	0,246	-2,070		-2,070	Puukuitu 86%, ammoniumfosfaatti 5 %, parafiinivaha 1 %	E
Sellukuitu	CO2data tyypillinen	0,090	-1,200		-1,200	30,0	0,038	0,103	-1,368		-1,368	Kierrätyspaperi, homeen- ja palonestoaineet	E
Mineraalivilla	CO2data tyypillinen	1,200				33,0	0,036	1,426				Sulatetut kivikuidut, sideaine	A

Kuvaan 23 liittyvät laskelmat

		Tuotteen hiilitase kgCO ₂ e/kg						Tuotteen hiilitase kgCO ₂ e/m ²					
Materiaali	Yritys/ lähde	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu ≥ vuodessa	Tiheys kg/m ³	Paksuus m	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu > vuodessa	Koostumus ja tarkennus	Tarvikkeen paloluokka
Tuulensuojaeristeet, R = 1 (m²K)/W													
Olkipuristelevy	Vestaeco	0,939	-1,417	-1,417		140,0	0,043	5,655	-8,530	-8,530		Olki 95 %, PMDI hartsi 5 %	E
Puukuitulevy	Hunton	0,216	-1,518		-1,518	230,0	0,046	2,285	-16,06		-16,06	Puukuitu, bitumi	
Mineraalivillalevy	CO2data tyvppillinen	1,200				61,0	0,035	2,562				Sulatetut kivikuidut, sideaine	A

Kuvaan 24 liittyvät laskelmat

		Tuotteen hiilitase kgCO2e/kg						Tuotteen hiilitase kgCO2e/m2					
		Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu ≥ vuodessa	Tiheys kg/m3	Paksuus m	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu > vuodessa		
Materiaali	Yritys/ lähde											Koostumus ja tarkennus	Tarvikkeen paloluokka
Palonsuojaverhoukset, A luokka, 26 mm													
Savilevy	Lemix	0,082	-0,070	-0,035	-0,035	1450	0,026	3,106	-2,639	-1,320	-1,320	Savi n. 95 %, puukuitu, tärkkelys, juuttikangas	A
Savirappaus	Dachverband Lehm	0,140	-0,014	-0,014		1800	0,026	6,573	-0,655	-0,655		Kuivattu savijauho 32 %, hiekka 67%, olki 1%	A
Kipsilevy	CO2data tyypillinen	0,230				875	0,026	5,233				Kipsi, pahvi	A

Kuvaan 25 liittyvät laskelmat

		Tuotteen hiilitase kgCO2e/kg					Rakenteen hiilitase kgCO2e/m2				
Materiaali	Yritys/ lähde	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≥ vuodessa	Tiheys kg/m3	Paksuus m	Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu > vuodessa	Koostumus ja tarkennus	Tarvikkeen paloluokka
Kantava väliseinä, 250 mm paksu											
Massiivisavi	Materialepyramiden/ Claytec	0,004	0,000	0,000	2300	0,250	2,325	0,000	0,000	Savi, hiekka ja sora	A
DLT puulevy	StructureCraft Builder	0,270	-1,600	-1,600	449	0,250	30,350	-179,600	-179,600	Puu 99,9 %	
CLT	CO2data tyypillinen	0,170	-1,600	-1,600	470	0,250	19,975	-188,000	-188,000	Puu, PU-liima 1%	D
Betonelementti	CO2data tyypillinen	0,150	0,000	0,000	2444	0,250	91,650	0,000	0,000	Betoni, teräs	A

Kuvaan 26 liittyvät rakenneselitykset

Rakenteiden hiilitaseiden laskelmia ja vertailua

Materiaali	Paksuus mm	Tarkennus	Yritys/yhteisö /lähde	Tuotteiden hiilitase kgCO2e/kg				Tiheys
				Jalanjälki A1-A3	Kädenjälki	Uusiutuu ≤ vuodessa	Uusiutuu > vuodessa	
Ulkoseinä, kutterilastulla eristetty puurakenne								
Kipsilevy	13	EK kipsilevy	tyypillinen	0,230				875,0
Ristiinkoolaus /	44	Sahattu puu 2x	CO2data tyypillinen	0,069	-1,600		-1,600	474,0
Havuvaneri	15		CO2data tyypillinen	0,300	-1,600		-1,600	480,0
X5		Norm. kartonki. 0,2	Cartesar, Greenpap	0,255	-0,413		-0,413	850,0
Pystyrunko	300	kerto-S 45x300 k600	CO2data tyypillinen	0,300	-1,600		-1,600	440,0
Kutterilastu			Ehta/LUKE	0,018	-1,569		-1,569	70,0
Mineraalivilla	30	Tuulensuojalevy	CO2data tyypillinen	1,200				61,0
Tuuletusrako	32	Pystylaudoitus	CO2data tyypillinen	0,069	-1,600		-1,600	474,0
Palokatko		Pinnoitettu. 1*100	Ruukki Oy	2,740				7800,0
Ulkoverhouslauta	23	Höylätty puu	CO2data tyypillinen	0,073	-1,600		-1,600	474,0
Yhteensä	457							
Ulkoseinä, olkielementtirakenne								
Sisäverhous	22	Savilevy	Lemix	0,082	-0,070	-0,035	-0,035	1450,0
Olkielementti	220		Ecococon	0,306	-1,608	-1,448	-0,160	119,3
Ilmansulku muovi	0	PE	CO2data	3,100				925,0
Mineraalivilla	30	Tuulensuojalevy	CO2data tyypillinen	1,200				61,0
Tuuletusrako	32	Pystylaudoitus	CO2data tyypillinen	0,069	-1,600		-1,600	474,0
Palokatko		Pinnoitettu. 1*100	Ruukki Oy	2,740				7800,0
Ulkoverhouslauta	23	Höylätty puu	CO2data tyypillinen	0,073	-1,600		-1,600	474,0
Yhteensä	327							
Ulkoseinä, mineraalivillalla eristetty puurakenne								
Sisäverhous	13	EK kipsilevy	tyypillinen	0,230				875,0
Koolaus	48	48x48 k 600	CO2data tyypillinen	0,069	-1,600		-1,600	474,0
Mineraalivilla		Seinävilla	CO2data tyypillinen	1,200				30,0
Höyrynsulkumuovi	0	PE	CO2data	3,100				925,0
Koolaus	148	48x148 k 600	CO2data tyypillinen	0,069	-1,600		-1,600	474,0
Mineraalivilla		Seinävilla	CO2data tyypillinen	1,200				30,0
Kipsilevy	9	Tuulensuojalevy	tyypillinen	0,290				745,0
Mineraalivilla	30	Tuulensuojalevy	CO2data tyypillinen	1,200				61,0
Tuuletusrako	32	Pystylaudoitus	CO2data tyypillinen	0,069	-1,600		-1,600	474,0
Palokatko		Pinnoitettu. 1*100	Ruukki Oy	2,740				7800,0
Ulkoverhouslauta	23	Höylätty puu	CO2data tyypillinen	0,073	-1,600		-1,600	474,0
Yhteensä	303							
Ulkoseinä, betonielementti tiiliverhouksella								
Teräsbetonielementti	150	Sisäelementti. 150	YM	0,193				2420,0
Lasivillaeriste	200	Normaali	CO2data	1,200				20,0
Tuuletusrako	30							
Tiili + muurauslaasti	135	Poltettu savi.	YM	0,241				1400,0
Yhteensä	515							