

Kevytsavi 1.1 –

Teolliseen talon- rakennukseen opti- moitu vähähiilinen komposiitti- materiaali

LOPPURAPORTTI/LUONNOSVERSIO

A”

Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden
korkeakoulu



Euroopan unionin
rahoittama

NextGenerationEU



Tiivistelmä

Hankkeen tavoitteena oli määrittää kevytsaven valmistukseen sopiva savi ja kehittää sen toteamiseen soveltuva testausmetodiikka. Hankkeessa suoritettiin yhteensä 17 savelle 12 erilaista testiä. Tulosten perusteella esitetään useammasta kokeesta koostuva menetelmä, joka sisältää hankkeessa kehitetyt kaksi uutta testiä. Lopullinen testausmetodiikka vaatii vielä kehittämistä ja lisätestejä erityisesti savien mineralogian ja kemian osalta. Tämä johtuu pääasiassa rakennussaven vähäisestä tutkimuksesta ja siitä johtuvista puutteellisista taustatiedoista.

Hankkeessa tehtiin kattava selvitys potentiaalisten orgaanisten kuitujen saatavuudesta ja ominaisuuksista. Pääkuituaineiksi valikoituivat puu eri muodoissaan, talvikorjattu järviruoko, olki ja hampunpäistäre. Erilaisia kevytsavimassoja valmistettiin käyttäen eri kuituaineita ja niiden seoksia. Vaikka hanke keskittyi yksinkertaisiin saven ja kuitujen seoksiin, kokeiltiin myös esimerkiksi eri selluloosajakeiden käyttöä parantamaan seosten ominaisuuksia.

Koekappaleet testattiin mekaanisin testein. Lisäaineettomalla, pelkästään savesta ja kuiduista koostuvalla kevytsavella saavutettiin lähes kaikilla savilaaduilla tarvittava eristysmateriaalin puristuslujuus. Massoilta vaadittava seinärakenteen U-arvon tavoite (0,17 Km²) saavutettiin. Rakennusfysikaalisia mittauksia ei voitu suorittaa suunnitellusti puuttuvan rakennusfysiikan professorin vuoksi. Osa mittauksista tehtiin kuitenkin supistettuna versiona. Kevytsaven lupaavia akustisia ominaisuuksia mitattiin Aallon Sähkötekniikan koulun Akustiikan laboratoriossa.

Hiilijalanjälki laskettiin tavoitteiden mukaisesti, ja todettiin materiaalin vähähiilisyys.

Tästä alustavasta hankeraportista tullaan laatimaan päivitetty versio kevään 2024 aikana.

Summary

The aim of the project was to identify clay suitable for the production of light clay and to develop an applicable testing methodology for its determination. A total of 12 different tests were conducted on 17 clays in the project. Based on the results, a methodology consisting of multiple tests is proposed, including two new tests developed in the project. The final testing methodology still requires further development and additional tests, especially concerning the mineralogy and chemistry of the clays. This is primarily due to the limited research on construction clays and the resulting lack of background information.

The project conducted a comprehensive survey of the availability and characteristics of potential organic fibers. The main fiber materials selected were wood in various forms, winter-harvested lake reed, straw, and hemp stalk. Various light clay mixtures were prepared using different fiber materials and their combinations. Although the project focused on simple mixtures of clay and fibers, experimentation also included the use of different cellulose fractions to enhance the properties of the mixtures.

Test specimens were subjected to mechanical testing. The desired insulation material compression strength was achieved with additive-free light clay composed solely of clay and fibers on almost all types of clays. The target U-value for the wall structure (0.17 W/m²K) was achieved. Building physics measurements could not be carried out as planned due to the absence of the building physics professor. However, some measurements were conducted in a condensed version, and promising acoustic properties of light clay were measured in the Acoustics Laboratory of Aalto University's School of Electrical Engineering.

Hankkeen tavoitteet

Kevytsavi on noin 100 vuotta vanha, yksittäisissä kohteissa toimivaksi todettu, polttamattomasta savesta ja kuituaineesta koostuva, rakennuksen vaipan täytteenä toimiva eristävä, erittäin matalahiilinen materiaali, jonka käytön yleistyminen vaatii kehitystyötä mm. raaka-aineiden ominaisuuksien ja saatavuuden sekä itse materiaalin teknisten ominaisuuksien osalta.

Hankkeen tavoitteena oli toimia alkusysäyksenä prosessille, joka johtaa kaupallisen tuotekehityksen kautta teollisesti valmistetun polttamattoman kevytsavimateriaalin yleistymiseen talonrakennuksen materiaalina. Kevytsavimateriaalin kehitystyö on alussa ja tutkimuksen voi katsoa sijoittuvan TRL-indeksissä tasolle 2-3 eli kyse on akateemisesta tutkimuksesta.

Tavoite pyrittiin saavuttamaan 1) selvittämällä kevytsaveen parhaiten soveltuvan savimateriaalin ominaisuudet testaamalla laaja otanta suomalaisia savia 2) kartoittamalla kevytsaven kuituaineiksi soveltuvia teollisuuden ja maatalouden sivuvirtoja ja kehittämällä kuituseoksia 3) varmistamalla materiaalin tekninen toimivuus laboratoriokokein 4) varmistamalla vähähiilisyyys LCA-laskelmin.

Project Aims

Light clay is approximately 100 years old material which has proven its viability through individual cases. It is an insulating, extremely low-carbon material composed of non-fired clay and fiber, serving as a filling for building envelopes. Widespread use of this material requires development work, including research of raw material properties and availability, as well as developing the technical characteristics of the material itself.

The goal of the project was to serve as a catalyst for a process leading to the widespread use of industrially manufactured non-fired light clay material in construction. The development of light clay is in its early stages, and the research can be considered to fall within TRL index levels 2-3, indicating it is in the phase of academic research.

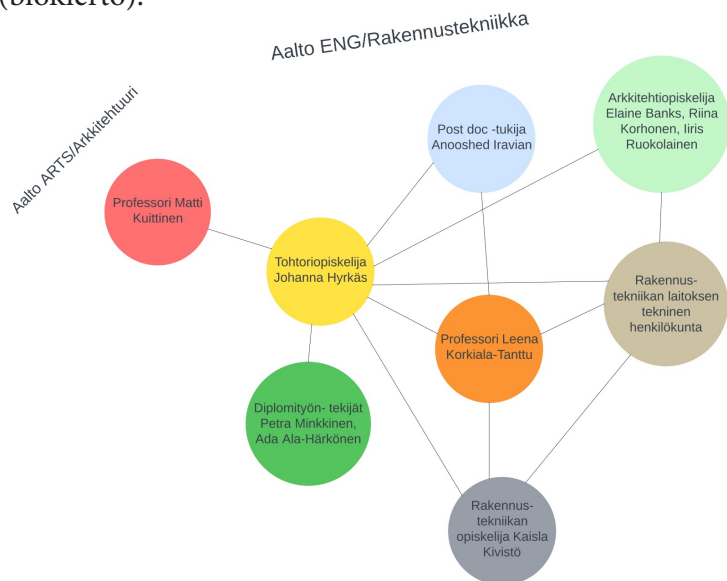
The objective was pursued by 1) determining the properties of the clay material best suited for light clay through testing a wide range of Finnish clays, 2) identifying industrial and agricultural side and waste streams suitable as fiber additives for light clay and developing fiber blends, 3) ensuring the material's technical functionality through laboratory experiments, and 4) confirming its low-carbon footprint through LCA calculations.

Hankkeen taustaa

Kevytsaven käyttö tukee vähähiilisyyttä 1) hyödyntämällä paikallisia, muutoin maankaatopaikalle, polttoon tai hiilikiertoon päätyviä raaka-aineita – kevytsavessa näistä materiaaleista muodostuu pitkäaikainen hiilivarasto, ja 2) matalahiilisen, yksinkertaisen tuotantoprosessin kautta – polttaminen kasvattaa savituotteiden hiilijalanjälkeä monikymmenkertaiseksi.

Polttamaton savi pystyy sitomaan itseensä poltettuun tiileen verrattuna 50 kertaisen määrän vettä. Kuidun lisääminen parantaa tätä ominaisuutta entisestään. Kevytsavi tuotetaan paikallisista materiaaleista ja sen tuotantoprosessi on yksinkertainen. Tuotanto voidaan myös hajauttaa esimerkiksi maatiloille. Näistä ominaisuuksista on hyötyä tulevaisuuden ilmastonmuutoksesta johtuvissa epävarmoissa olosuhteissa.

Erinomaisten hygroskooppisten ominaisuuksien vuoksi kevytsavi toimii sekä uudis- että korjausrakentamisessa. Materiaali on myrkytön, ja se voidaan elinkaarensa päässä palauttaa alkuperäiseen muotoonsa ainoastaan lisäämällä vettä ja käyttä uudestaan (suljettu kierto) tai kompostoida (biokierto).



Hankkeen toimenpiteet

1. Määritellä minkälainen savi sopii parhaiten kevytsaven valmistukseen ja miten sitä tulisi testata
2. Kartoittaa potentiaalisia kuitumateriaalivirtoja ja kehittää kevytsaviseosreseptejä
3. Testata kevytsaviseosten tekninen ja rakennusfysikaalinen perustoituvuus laboratoriossa
4. Laskea seosten hiilijalanjäljet ja laatia LCA-arvio
5. Tiedottaa tuloksista yhteistyökumppaneille ja medialle, sopia jatko-toimenpiteistä

Hankkeen osapuolet ja menetelmät

Tutkimuksen pääasiallinen suorituspaikka oli Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitos. Työskentely tapahtui maamekaniikan laboratoriossa, pajatiloissa ja koehallissa. Kirjallista työskentelyä on tehty Aalto ARTSin päärakennuksessa Väreessä ja Puistokatu 4:ssä.

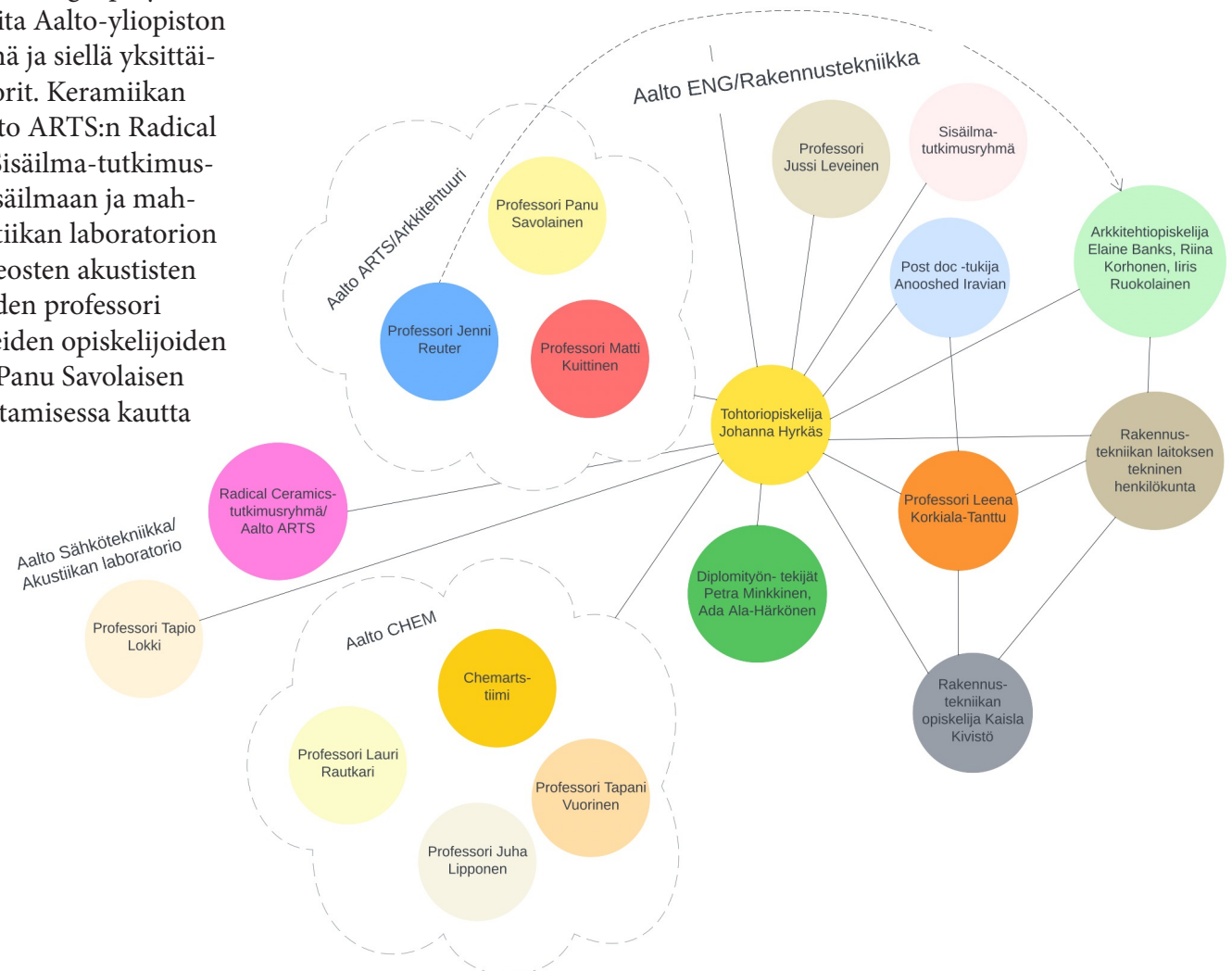
Hankkeen toteutumisen kannalta tärkeässä roolissa ovat olleet toteuttajien, yhteistyökumppanien (materiaalin- ja tiedon toimittajat) ja savi-rakentamisen asiantuntijoiden verkostot. Tutkimustyön pääasiallinen suorittaja on ollut Aalto-yliopiston arkkitehtuurin ja rakennustekniikan tohtoriopiskelija, arkkitehti ja savirakentaja Johanna Hyrkäs. Työssä ovat avustaneet Rakennustekniikan laitoksen tekninen henkilökunta ja tutkijatohtori Anooshed Irvanian. Työskentelyä ovat ohjanneet professori, laitosjohtaja Leena Korkiala-Tanttu Rakennustekniikan laitokselta ja professori Matti Kuittinen Arkkitehtuurin laitokselta. Savitestausten teossa ovat avustaneet arkkitehtiotiskelijat Elaine Banks, Riina Korhonen ja Iiris Ruokolainen. Hankkeen piirissä on ohjattu kaksi arkkiteh-

tuurin alan diplomityötä, jo valmistunut [Petra Minkkisen laaja tutkielma](#) raakamaarakentamisen tuotannollistamisesta ja [Ada Ala-Härkösen työ](#) hammppukevytsaven käytöstä. Rakennustekniikan opiskelija [Kaisla Kivistö laati kandingyön](#) aiheenaan raakamaarakenteiden vahvistaminen biopohjaisilla kuiduilla.

Hankkeen ympärille on muodostunut laaja yhteistyöverkosto jonka kanssa on vaihdettu tietoa ja materiaaleja. Yhteistyö Rakennustekniikan laitoksen insinöörigeologian professuurin kanssa on mahdollistanut joidenkin erikoistestien tekemisen ja avannut näkökulmia geopolymeeritieteen puolelle. Muita tärkeitä yhteistyökumppaneita Aalto-yliopiston sisällä ovat olleet Kemian koulun CHEMARTS-ryhmä ja siellä yksittäiset selluloosan käytön parissa työskentelevät professorit. Keramiikan puolen saviosaamista on avannut osallistuminen Aalto ARTS:n Radical Ceramics -ryhmän toimintaan. Rakennustekniikan Sisäilma-tutkimusryhmän kanssa on keskusteltu saven vaikutuksista sisäilmaan ja mahdollisesta tulevasta yhteistyöstä aiheen parissa. Akustiikan laboratorion professori Tapio Lokki on mahdollistanut kevytsaviseosten akustisten ominaisuuksien testauksen. Arkkitehtuurin perusteiden professori Jenni Reuter tarjosi apuaan raakamaasta kiinnostuneiden opiskelijoiden värväämisestä ja arkkitehtuurin historian professori Panu Savolaisen kanssa on selvitetty suomalaisen saven käyttöä rakentamisessa kautta historian.

Aallon ulkopuolella merkittävimmät yhteistyökumppanit ovat olleet materiaalintoimittajat (yhteensä 12 kpl) jotka ovat myös tarjonneet arvokasta tietoa kuitu- ja savimateriaalien saatavuudesta ja teknisistä ominaisuuksista. Näistä tärkeimpiä ovat olleet savia toimittanut Helsingin kaupunki/Stara, purkupuun toimittajat Encore ja Lassila & Tikanaja sekä ruokomateriaalin saatavuutta kehittävä John Nurmisen säätiö. Saveen ja sen käyttöön liitty-

vää tietoa on tullut savirakentajien verkoston ja savialan ammattilaisten, saven parissa työskentelevien arkkitehtien ja sen käyttöä opettavien instituutioiden kautta. Muita hankkeen kannalta merkittäviä yhteistyökumppaneita ovat olleet Helsingin kaupunki (Rakentamisen kiertotalouden klusteriohjelma), SitoWise/Smart Site ja arkkitehtitoimisto Juha Pääatalo.





Akustiikkalevymateriaalin koekappaleita. Saven mikrohuokosilla on merkittävä rooli seoksen akustisesti vaimentaviin ominaisuuksiin. Hankkeessa kokeiltiin lisäksi eri kasvikuuduilla ja mineraalisilla täyteaineilla. Alustavien testien tulokset olivat lupaavia.

Hankkeen työskentely on sisältänyt yllä mainittujen yhteistyöverkostojen rakentamista ja ylläpitoa, perehtymistä tutkimuskirjallisuuteen sekä alan toimijoiden ja muiden hankkeiden aikaansaannoksiin, opinnäytetöiden ohjausta, laboratoriotestien suunnittelua ja toteutusta sekä kevytsavimassojen kehittämistä ja koeistamista. Hankkeen piirissä on myös aloitettu joitain varsinaisia tuotekehitysprojekteja.

Savien testauksen menetelmänä on käytetty maarakentamisen indeksikokeita (rakeisuusjakauma areometrillä, kiintotiheys, humuspitoisuus sekä plastisuusalue koputuskokeella), joitain maaperäkemian testimenetelmiä (pH, kationinvaihtokapasiteetin määrittely metyleenisinitestillä/kesken), savirakentajien perinteisiä kenttätestejä ja kahta hankkeessa kehitettyä, helposti toteutettavaa testimenetelmää. Savirakentajien kenttäkokeista valittiin plastiselle savelle tehtävät 3 mm rihma-, leikkauspinnan kiilto- ja tartuntatellit sekä näiden jälkeen tehtävä ns. lanttitesti jonka avulla tarkastellaan saven kuivumiskäyttäytymistä ja kuivan saven puristuslujuutta. Lanttitestin jälkeen määriteltiin vielä plastisen

saven vesipitoisuus. Akustiset mittaukset on tehty mittaamalla äänen absorptiokerroin 30 mm paksuista ja 100 mm halkaisijaltaan olevista kiekkoista. Puristuskokeissa käytettiin Zwick RK-250/50 yleistestilaitetta. Kuitujen koon määrittäminen tehtiin seulomalla ja kosteuskäyttäytymisen määrittämisessä käytettiin laboratorioden säähuoneita sekä altistusta nestemäiselle vedelle. Koeharkkojen saviliete valmistettiin ammattilaistason keittiösekoittimella, kuitujen sekoitus ja harkkojen puristus tapahtui käsin välittömästi sekoittamisen jälkeen.



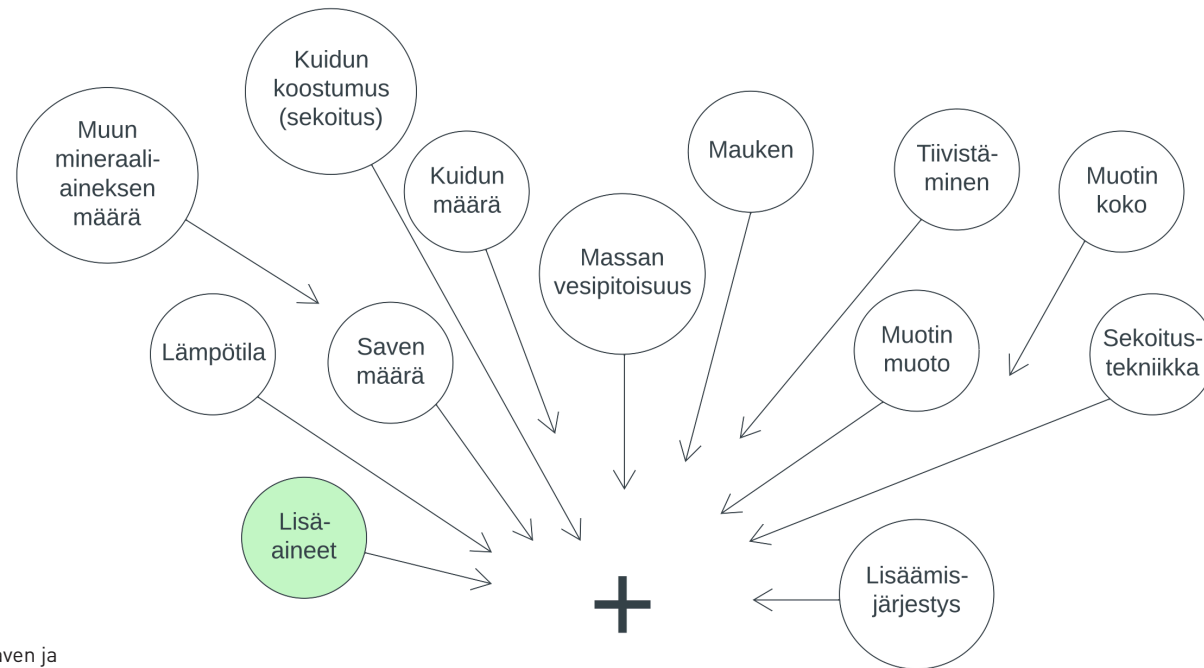
Maalaboratorion välineistöä: vasemmalla humuspitoisuuden selvittämisessä käytettävät poltto-astiat, oikealla kiintotiheyden määrittämisessä käytettävät pyknometripulloja.

Hankkeen tulokset

Hankkeen tavoitteena oli määritellä minkälainen savi sopii parhaiten kevytsaven valmistukseen ja kehittää helppokäyttöinen menetelmän sen testaamiseen. Hankkeessa suoritettiin yhteensä 17 savelle 12 erilaista testiä..

Tavoitteena oli esittää kattava testausmetodiikka. Tulosten mukaan ehdotetaan metodiikkaa, joka koostuu useammasta eri alojen kokeesta mukaan lukien hankkeessa kehitetyt saven vesipitoisuuden määrittelyyn liittyvät uudet menetelmät. Lopullinen metodiikka vaatii vielä kehittämistä ja lisätestejä esimerkiksi savien mineralogian ja kemian osalta.

Testien tulokset olivat osin hyvinkin yllättäviä. Tulokset antoivat vahvoja viitteitä siitä, että savien vesipitoisuus eli kunkin saven kyky varastoida itseensä vettä eri olomuodoissaan ja eri koostumuksessa (liete eli juokseva, plastinen, kiinteä) vaikuttaa vahvasti siitä valmistettavan kevytsaven ominaisuuksiin. Myös savien pH:n vaikutus kevytsaven puristuslujuuteen korreloi joidenkin savien osalta vahvasti. Tulokset antavat vahvan viitteen siitä, että hankesuunnitelman ulkopuolelle jätetyt savien kemialliset ja mineralogiset ominaisuudet olisi tärkeä selvittää. Savipitoisuuden merkitys jäi yllättäen pieneksi ja voisi ollakin hyödyllistä päästä tutkimaan savihiukkasten välistä rakeisuusjakaumaa tarkemmin.

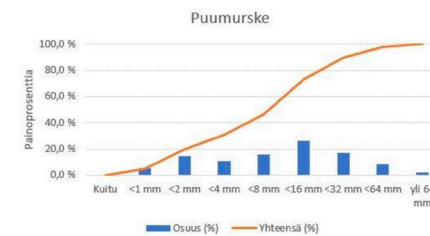
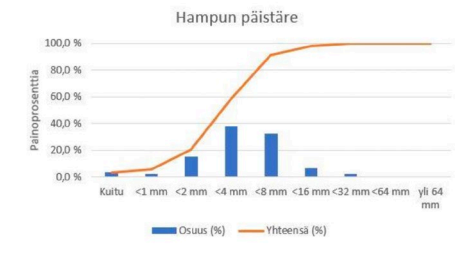


Käytettävän savilaadun ja raaka-aineiden lisäksi kevytsaven ja muiden raakamaakomposiittien ominaisuuksiin vaikuttaa lukuissa määrä valmistusprosessin muuttujia.

Hankkeessa selvitettiin kattavasti potentiaalisten orgaanisten kuitujen saatavuutta ja ominaisuuksia. Kuituaineiksi valikoitui puu eri muodoissaan (puuteollisuuden sivuvirrat sahanpuru ja kutterinlastu sekä purkupuumurske), talvikorjattu järviruoko, olki sekä hampunpäistäre. Lisäkuitukokeiluja tehtiin viljankuivauksen sivuvirtana syntyvällä ns. kuivurijätteellä ja poistotekstiileistä valmistettavalla kierrätyskuidulla. Kuituaineista ja niiden seoksista valmistettiin useita erilaiset ominaisuudet omaavia kevytsavimassoja. Vaikka hanke keskittyi yksinkertaisiin saven ja kuitujen seoksiin, kokeiltiin myös seosten ominaisuuksien parantamista erilaisilla paperiteollisuuden sivuvirtana syntyvillä seluloosaseoksilla.



Järviruoko on erittäin lupaava kuituainevaihtoehto. Raaka-ainetta hankkeen käyttöön toimittanut John Nurmisen säätiö kehittää ruo' on korjuuketjua, kuva Raaseporista keväällä 2023, suorittajana Pikkalan kaislanleikkuu.



Tutkittujen kuituaineiden raekokojakaumassa oli vaihteluita. Paras puristuslujuus saavutetaan testien perusteella eri kuituaineiden sekoituksella. Kuiduilla on myös erilaiset kosteustekniset ominaisuudet. Kuva Kaisla Kivistön kandidityöstä.

Koekappaleet testattiin mekaanisin testein. Seosten valmistuksessa materiaalille tavoitteena ollut seinärakenteen U-arvo 0,17 W/M2K saavutettiin. Puristuslujuustestausten perusteella voidaan todeta, että lisäaineettomalla, ainoastaan savesta ja kuitumateriaalista koostuvalla kevytsavella saavutetaan lähes kaikilla savilaaduilla eristysmateriaalilta vaadittava lujuus (n. 0,150 N/mm² tai MPa). Parhaat testeissä saavutetut puristuslujuudet (n. 0,400 N/mm² tai MPa) syntyivät kaupallisella savijauholla. Testaukset vahvistivat yleisen käytännön: riittävän U-arvon antavat kevytsaviseokset vaativat aina erillisen kantavan rungon.



Puristuslujuuden testausta Rakennustekniikan laboratoriossa

Rakennusfysikaaliset mittaukset jäivät harmillisen puutteelliseksi, koska Aallon rakennusfysiikan professorin rekrytointiprosessi on kesken.. Alkuperäiseen työsuunnitelmaan sisältyviä rakennusfysiikan mittauksia kompensoimaan suoritettiin Aallon Sähkötekniikan koulun Akustiikan laboratoriossa sarja mittauksia, joiden tulokset ovat kevytsaven akustisten ominaisuuksien osalta lupaavia. Kuitumateriaaleille tehtiin adsorptio ja desorptiomittaukset. Savi tiedetään tutkimusten perusteella erityisen hygroskooppiseksi ja siten huoneilman ja rakenteiden sisäistä kosteusvaihtelua tasaavaksi materiaaliksi, joten tätä koskevien, hankkeessa tuotettujen tulosten puuttuminen ei haitannut hankkeen muiden osa-alueiden toteutumista.

Hankkeessa laskettiin tavoitteen mukainen kevytsavimassojen hiilijalanjälki mukaillen tulevan ilmastaselvityksen vaatimuksia siten, että yksikkönä on $\text{kgCO}_2\text{e/kg}$. Lähtökohtana käytettiin kevytsavimassaa, jonka savipitoisuus on 33,33 ja kuitupitoisuus 66,67 painoprosenttia. Kiertotalousvirtojen ja jätteeksi luokiteltujen raaka-aineiden hiilijalanjälki koostuu käytännössä A1-A2 vaiheissa kuljetusten hiilipäästöistä.

Kaupallisen savijauhon käyttäminen nosti hiilijalanjälkeä huomattavasti sekä saven kuivauksen ja jauhatuksen että valmiin savijauheen kuljetuksen osalta. Matalin hiilijalanjälki on luonnollisesti omalta tontilta käsin kaivetulla savella, johon sekoitetaan paikallisista sivuvirroista saatavaa kuitua käyttäen apuna minimaalista määrää konetyötä, esimerkiksi vispiläsekoitinta savilietteen teossa. Laskelmissa oletettiin, että kevytsavimassa sekoitetaan työmaalla (A3+A5). Kevytsavimateriaalista ei synny hukkaa valmistus-, rakennus- tai korjausvaiheessa (A3, A5, B1-B7). Kevytsaven laskennallinen käyttöikä ylittää rakennukselle laskelmissa asetetun elinkaaren 50 vuotta (B1-B7). Vaihe C:n ja D:n päästöt koostuvat purkutyöstä ja materiaalin kuljetuksesta uudelleenkäyttöön tai kompostointialueelle.

Lopuksi

Hankkeessa tehty tutkimus ja testaukset rakentavat raakamaatutkimuksen perustaa Suomessa ja julkaistavat tutkimusartikkelit tuovat lisätietoa kansainväliseen tutkimukseen. Hankkeessa aloitettu työ jatkuu tohtoriopiskelija Hyrkkään toimesta yksityisen säätiön rahoittamana, mutta toteutusresursseja puuttuu esimerkiksi aputyövoiman palkkauksen ja Aallon ulkopuolelta tilattavien testausten toteuttamiseen. Sidosryhmien sitouttaminen on saanut hyvän alun, ja kiinnostus raakamaan tutkimusta kohtaan on vahva. Kevytsavimateriaali on todettu kehityskelpoiseksi vaihtoehdoksi muille eristemateriaaleille joten tutkimustyön jatko on tältä osin perusteltua.

Yleisesti ottaen voidaan todeta, että lisätutkimusta tarvitaan sekä suomalaisten luonnonsavien, ylijäämämaiden hyödyntämisen että potentiaalisten kuitumateriaalivirtojen osalta. Rakennustuotteiden kehittämisessä tarvitaan yhteistyötä muiden toimijoiden, esimerkiksi ammattikorkeakoulujen kanssa. Aalto-yliopistossa ei ole tarvittavia laitteita esimerkiksi rakennuslevyjen prototyyppien valmistukseen. Hankkeessa neuvoteltiin mahdollisesta tulevasta yhteistyöstä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin toimipisteen kanssa.

Hankkeessa tehty tutkimus ja testaukset rakentavat raakamaatutkimuksen perustaa Suomessa ja julkaistavat tutkimusartikkelit tuovat lisätietoa kansainväliseen tutkimukseen. Hankkeessa aloitettu työ jatkuu tohtoriopiskelija Hyrkkään toimesta yksityisen säätiön rahoittamana, mutta toteutusresursseja puuttuu esimerkiksi aputyövoiman palkkauksen ja Aallon ulkopuolelta tilattavien testausten toteuttamiseen. Sidosryhmien sitouttaminen on saanut hyvän alun, ja kiinnostus raakamaan tutkimusta kohtaan on vahva. Kevytsavimateriaali on todettu kehityskelpoiseksi vaihtoehdoksi muille eristemateriaaleille joten tutkimustyön jatko on tältä osin perusteltua.

Hanke on poikinnut pienimuotoiseen koerakentamiseen keskittyvän jatkohankkeen Kevytsavi 2.0 – Vähähiilinen komposiittimateriaali jalkautuu. Uusiomaiden käytön tutkiminen jatkuu yhteistyössä SitoWisen ja Helsingin kaupungin kanssa – Malmin alueelle keskittyvä yhteistyöhanke on tätä kirjoittaessa alustavasti hyväksytty UUMA5-ohjelmaan.