



HNRY

HIILINEUTRAALIT JA
RESURSSIVIISAAT YRITYSALUEET

RAKENNUSTYÖMAIDEN YLIJÄÄMÄSAVIEN HYÖTYKÄYTTÖ

Saviselvitys: HNRY-hanke ja Espoon kaupunki:
Ympäristökeskus, Iina Kallio
Kaupunkitekniikan keskus, Pekka Pakkala

Yhteistyökumppanit:

Ramboll Finland: Salla Pahkakangas, Juha Forsman,
Jouni Loikkanen, Saara Frimodig

Åbo Akademi: Jan-Erik Eriksson ja Thomas Kronberg
Leca Finland: Mikko Pöysti, Kari Rajala ja Jari Mikkula



ESPOO
ESBO

6Aika

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto



Uudenmaan liitto
Nylands förbund

SISÄLTÖ

Johdanto	4
Saven määrä, koostumus ja sopivuus tuotantoon	5
Pääkaupunkiseudun savialueet ja -tyypit	5
Pääkaupunkiseudun tulevat rakennushankkeet	6
Ylijäämäsavien määrä pääkaupunkiseudulla	7
Potentiaaliset saven jalostusmenetelmät	8
Termit jalostusmenetelmät	8
Muut jalostusmenetelmät	9
Saven ominaisuudet kevytsoratuotannossa	9
Ylijäämäsavien ennakkotutkimukset	10
Savien lämpökäsittelyn laboratoriotutkimukset	11
Tausta	11
Menetelmät	11
Tulokset	12
Yhteenveto ja johtopäätöksiä	15
Savimateriaalin logistiikka ja tuotannolliset kysymykset	16
Leca® kevytsora	16
Termit käsittelyn saven tuotantomahdollisuudet	16
Logistiikka ja vastaanotto	16
Välivarastointi	17
Jalostuslaitteet ja energiamuodot	17
Saven jalostamisen kustannukset ja päästöt	18
Tuotannon potentiaaliset kustannukset	18
Tuotannon potentiaaliset päästöt	19
Materiaalin käyttökohteet ja markkinapotentiaali	22
Tarkastellut "tuotantolinjat"	22
Tuotteiden tekninen soveltuvuus ja markkinapotentiaali	22
Työpajatyöskentely ja jatkotoimenpiteet	24
Lähdeluettelo	25

TIIVISTELMÄ

Rakennushankkeissa syntyy Suomessa vuosittain miljoonia kuutioita ylijäämämaita, joista vain osa hyötykäytetään rakennushankkeilla. Rakentamisominaisuuksiltaan heikkolaatuisten ylijäämämaiden, erityisesti savien, hyötykäyttö on haasteellista ja vuosittain pääkaupunkiseudulla muodostuvan savien määrä on toteumatietojen mukaan arviolta 1,0 miljoonaa kuutiota. Ylijäämämaiden läjittämisestä aiheutuu paitsi kustannuksia myös päästöjä. Espoo on osana ilmasto-ohjelmaansa pyrkinyt ratkaisemaan ongelmaa selvittämällä mahdollisuuksia jalostaa pääkaupunkiseudun ylijäämäsavesta kevytsoraksi tai kevytsoran tyyppiseksi materiaaliksi.

Selvityksessä on tarkasteltu saviraaka-aineen potentiaalia alustavasti, mutta kuitenkin huomioiden teknilliset ja tuotannolliset tarpeet sekä markkinapotentiaali. Osana selvitystä järjestettiin työpaja, jossa kartoitettiin alan toimijoiden näkemyksiä ja kiinnostusta asiaan. Lisäksi Espoon ylijäämäsavien soveltuvuutta termiseen jalostukseen tutkittiin Åbo Akademin toimesta laboratorio-olosuhteissa.

Saven termiset jalostusmenetelmät perustuvat savien kuivatukseen ja polttoon. Polttolämpötila sekä savien fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet määrittävät muodostuvan lopputuotteen ominaisuudet. Kevytsoran tyyppisen tuotteen tuotannon kannalta oleellista on savien paisuminen. Paisuvuutta indikoiviksi ominaisuuksiksi on tunnistettu mm. savespitoisuus, vesipitoisuus, kuivatilavuuspaino ja orgaanisen aineksen määrä. Saven ennakkotutkimuksilla on tärkeä rooli tuotantoon sopivien savien tunnistamisessa sekä jalostusprosessin sujuvuuden kannalta. Ennakkotutkimukset tulisi kytkeä mahdollisimman aikaisiin rakentamisen suunnitteluvaiheisiin.

Termisesti käsiteltävän savien tuotantoprosessin kannattavuuden kannalta on oleellista optimoida saviraaka-aineen ketju rakennustyömaalta tuotantolaitokselle. Savimateriaalin jalostustapa määrittää soveltuvat jalostuslaitteet ja jossain määrin myös soveltuvat energiamuodot. Savimateriaalin hyötykäytöllä tavoitellaan resurssiviisautta, joten energiamuodon valintaan vaikuttavat kustannusten lisäksi ilmastovaikutukset. Alustavien laskelmien mukaan savien termisen jalostuksen kustannuksista suurin osa (80 %) muodostuu savien kuivausvaiheessa. Prosessissa muodostuvan hukkalämmön hyötykäytöllä voidaan vähentää tuotantokustannuksia. Potentiaalisten tuotantomenetelmien ja savien ominaisuuksien perusteella uusiokevytsoratuotanto jaettiin kolmeen "tuotantolinjaan": 1) Uusiokevytsora, joka ei täytä kevytsoran vaatimuksia, B) Savisora, joka on murskattu "poltetusta" savesta ja C) pengersavi, joka on kuivattua savea.

Tuotteen markkinapotentiaali syntyy tuotteen tarpeesta eli käyttökohteista sekä hinnasta suhteessa vastaaviin tuotteisiin. Potentiaalinen tuote kilpailee käytössä olevien tuotteiden kanssa, joihin verrattuna tuotteen täytyy tarjota teknistä hyötyä tai olla kustannuksiltaan edullisempi. Potentiaalinen kevytsora (1) voi alustavien laskelmien mukaan kilpailla vastaavien kevennystuotteiden kanssa hinnassa, mutta materiaali on raskaampi, joten kevennysmateriaaliksi se soveltuu heikommin ja sille tulisi löytää sen ominaisuuksien kannalta optimaalinen käyttötapa, jossa sen hinta voisi olla suurempi kuin maa-aineksella. Jos materiaalin hiilidioksidipäästöt nousevat merkittäväksi hankintatekijäksi kustannusten ja teknisen soveltuvuuden rinnalle, termisesti jalostetun savien valmistus voisi muodostua kannattavaksi. Ennen hankintakriteerien ja -menettelyjen muutosta on julkisella toimijalla iso rooli savien käsittelyn mahdollistamisessa.

Ylijäämäsavien, kuten myös muiden uusiomateriaalien, hyötykäyttö edellyttää vuoropuhelua monien sektoreiden välillä sekä ennakkotutkimuksia aiheesta. Tämä raportti tarjoaa alustavan katsauksen ylijäämäsavien hyödyntämispotentiaaliin pääkaupunkiseudulla, mutta tuotannon tarkempi suunnittelu edellyttää lisätutkimuksia aiheesta. Vuoropuhelu eri toimijoiden välillä on ensisijainen työkalu mahdollisuuksien kartoittamiseen sekä jo tunnistettujen, hyötykäyttöä estävien käytäntöjen purkamiseksi ja resurssiviisauden tuomiseksi osaksi rakennussektoria.

ABSTRACT

Construction sites produce millions of cubic meters of unspoiled surplus soil mass annually which can be utilized only partially in construction projects. Especially excavation materials with poor construction properties, such as clay, are difficult to utilize. Annually 1.0 million cubic meters of clay are produced in construction sites in the Metropolitan Area of Helsinki. These surplus soil masses are disposed to landfill areas generating CO₂ emissions and additional costs to construction operators and cities. To tackle this matter the city of Espoo has explored possibilities to use the surplus clay as raw material for light gravel or light gravel-type material production.

The objective of this study was to analyze the production potential for surplus clay material considering technical, financial, and marketing needs. Results of the study were presented and discussed in a workshop with relevant stakeholders and experts. Also, the suitability of surplus clays for thermal processing was studied by the Åbo Akademi University under laboratory conditions.

Light gravel is produced in a thermal production process, where clay is introduced to rotary kilns and the process expands the clay. In general, characteristics of the clay-based product are defined by the used production temperature and physical and chemical properties of the clay raw material. The main clay properties indicating bloating are contents of water, dry matter, organic matter, and clay. It is important to perform soil and field studies before a construction project to study the soil properties and in the case of clay soils, to recognize suitable clay material for production.

The profitability of thermal clay processing is defined by the supply chain management, type of production factory, and used type of energy. The manufacturing cost structure is a compilation of various direct and indirect costs. According to preliminary calculations, 80% of the energy is consumed during the drying process of the clay. Production costs can be decreased by capturing and selling the excess heat generated in the process. Since the aim of clay utilization is to reduce the need for virgin construction materials and emissions arising from clay disposal, climate impacts of the production unit should be taken into consideration in addition to production costs.

Based on potential production methods and clay properties, three potential production lines were recognized: A) Product similar to light gravel, B) so-called clay gravel, and C) dried clay suitable for embankments and fillings. The market potential of a product is fundamentally defined by the demand in comparison to similar products and their costs. Thus, the potential product should bring something new to the market or have lower costs than its competitors. If the price neither technical properties do not meet the requirements of market needs, the production requires support from the public sector. In the future, the CO₂ emissions may become relevant in the procurement process in addition to material costs, which would benefit the recycled material-based manufacturing cost structure.

The utilization of surplus clay material requires dialogue, research, and collaboration between different stakeholders in the construction sector. This report provides a preliminary survey about the production potential of clays, but further studies are needed.

1. JOHDANTO

Rakennushankkeissa syntyy ylijäämämaata, joka nykyisten käytäntöjen mukaan käsitellään jätteenä ja viedään maankaatopaikalle. Osa syntyvistä ylijäämämaista voidaan hyödyntää rakennushankkeilla materiaalina, mutta haasteena on maa-aineen kysynnän ja tarjonnan kohtaaminen sekä rakentamisominaisuuksiltaan heikkolaatuisten ylijäämämaiden soveltuvuus rakentamiskäyttöön.

Espoon Kulmakorven maanvastaanottoalueelle toimitetaan vuosittain n. 1 miljoona kuutiota maa-aineksia, josta arviolta 60-70 % on luokiteltu rakentamiseen huonosti soveltuviksi maiksi. Vantaalla puhtaat ylijäämämaat toimitetaan Petikonhuipun täyttömäkeen. Helsinki on kamppailut ylijäämämaiden kanssa useita vuosia ja pyrkinyt ratkaisemaan asiaa mm. rakennushankkeiden välisellä massakoordinaatiolla pisimpään pääkaupunkiseudun kaupungeista. Rakentamiseen soveltuville ylijäämämaille, jotka ovat kitkamaata, voidaan yleensä osoittaa hyötykäyttökohde, mutta varsinkin savimaiden uusiokäyttö on osoittautunut haasteelliseksi.

Ylijäämämaiden läjittämisestä aiheutuu paitsi kustannuksia myös päästöjä, jotka muodostuvat pääosin kuljetuksesta. Vaikutuksia syntyy myös läjitysalueiden ylläpidosta välittömästi työmaatoimintojen kautta, mutta myös välillisesti, kun laajenevien läjitysalueiden tieltä raivataan luonnontilaisia alueita. Yksi kiertotalouden kantavia teemoja on resurssitehokkuus, joka tarkoittaa olemassa olevien materiaalien hyödyntämistä ja uusiokäyttöä mahdollisimman tehokkaasti. Maamassojen hyötykäytöllä voidaan välttää neitseellisten materiaalien hankintaa ja siten siitä aiheutuvia ilmasto- ja ympäristövaikutuksia.

Ylijäämäsavien hyötykäytön edistäminen on osa Espoon maa- ja kiviainesten toimenpideohjelman tavoitteita, miksi Espoo on ollut aktiivinen tässä selvityksessä. Saven hyödyntäminen rakennusmateriaalina vähentäisi sekä neitseellisten rakennusmateriaalien tarvetta että maanläjitysalueille kohdistuvaa painetta. Uusiokevytsoratuotanto jaettiin kolmeen "tuotantolinjaan": 1) Uusiokevytsora, joka ei täytä kevytsoran vaatimuksia, 2) Savisora, joka on murskattu "poltetusta" savesta ja 3) pengersavi, joka on kuivattua savea. Savisora ja pengersavi ovat tämän työn yhteydessä määritettyjä termejä, eivätkä ne vastaa virallisia käsitteitä tai olemassa olevia tuotteita.

Suomessa kevytsoraa savesta valmistaa teollisena toimintana Saint Gobain -konserniin kuuluva Leca Finland Oy Kouvolassa. Selvityksen ensisijaisena teemana on selvittää mahdollisuuksia jalostaa pääkaupunkiseudun ylijäämäsavea kevytsoraksi tai kevytsoran tyypiseksi materiaaliksi. Tässä selvityksessä on tarkasteltu saviraaka-aineen potentiaalia alustavasti, mutta kuitenkin huomioiden sekä tuotannolliset tarpeet että markkinapotentiaali.

Työssä selvitettiin mm. saven ominaisuusvaatimuksia termistä jalostamista ajatellen, potentiaalisia tuotantomuotoja ja energialähteitä, hyötykäyttösovelluksia sekä markkinapotentiaalia. Työssä hyödynnettiin asiantuntijahaastatteluita sekä -keskusteluita. Selvitys jakaantui itse selvitykseen sekä työpajatapaukseen. Työpajatyöskentelyssä jatkojalostettiin selvityksen aikana kerättyjä tuloksia, kartoitettiin alan toimijoiden kiinnostusta asiaan sekä kerättiin tietoa ja kokemuksia ylijäämäsavien käytöstä. Tämä raportti on tiivis esitys selvityksen aikana kerättyistä tuloksista. Hankkeen aikana työstetyt julkiset esitykset ja muu julkinen materiaali ovat raportin liitteinä.

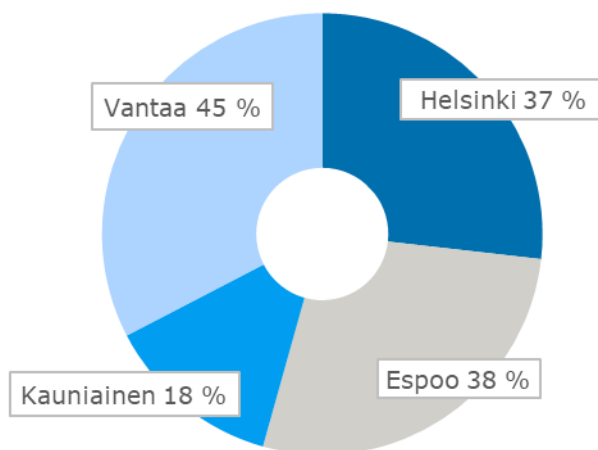
Selvityksen ohjausryhmässä ovat toimineet Espoon kaupungin edustajat Iina Kallio ja Pekka Pakkala, Leca Finland Oy:stä Mikko Pöysti sekä Rambollilta Salla Pakkakangas, Juha Forsman ja Saara Frimodig. Selvitykseen ovat osallistuneet myös Kari Rajala Leca Finlandilta sekä Rambollilta Jouni Laukkanen, Marjo Koivulahti ja Tuomas Suikkanen. Työ on osa HENRY Hiilineutraalit ja resurssiviisaat yritysalueet -hanketta, joka seuraa 6Aika-strategiaa.

2. SAVEN MÄÄRÄ, KOOSTUMUS JA SOPIVUUS TUOTANTOON

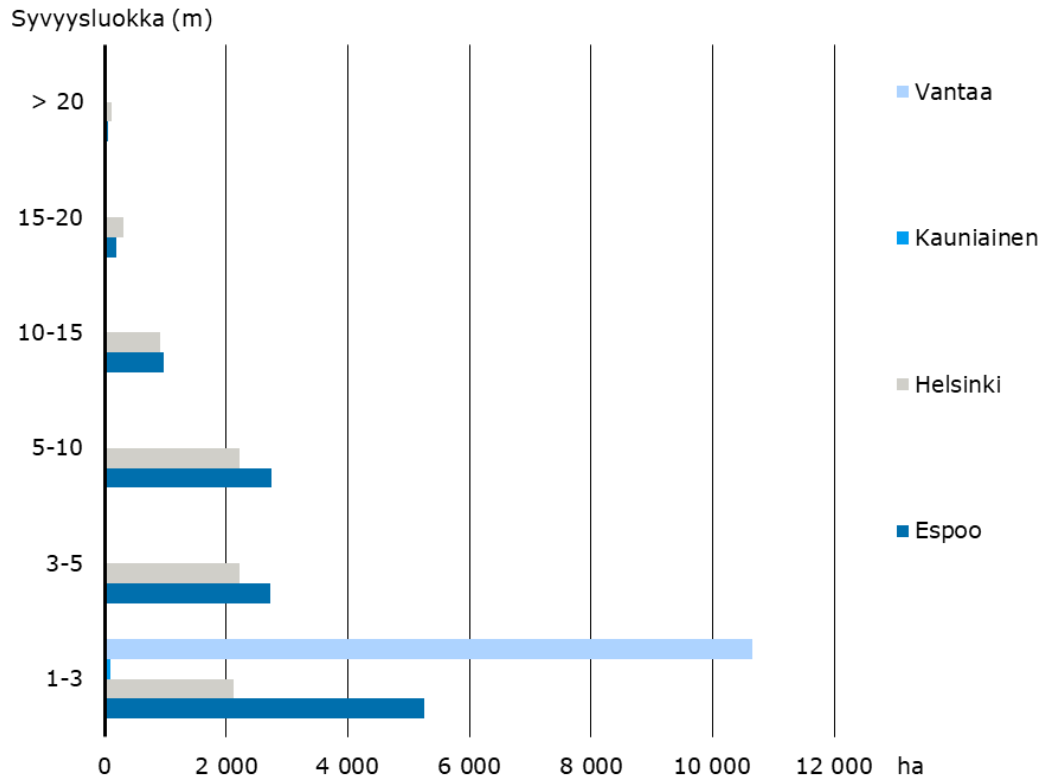
2.1 Pääkaupunkiseudun savialueet ja -tyypit

Geologian tutkimuskeskus on koonnut pääkaupunkiseudun kuntien alueelta savialueet ja syvyydet – kartan (1:10 000), joka perustuu kaupunkien maaperäkarttoihin. Aineisto kattaa savialueet Helsingin, Espoon ja Vantaan alueelta ja savien syvyydet Helsingin ja Espoon alueella. Vantaan savialueiden syvyydet on tehty maastokartoitukseen perustuen. Yhtenäinen savialueiden ja savien syvyyksien aineisto on tarkoitettu antamaan yleiskuva pääkaupunkiseudun savien levinneisyydestä ja syvyyden alueellisesta vaihtelusta. Savien syvyysaineisto on luokiteltu 6 syvyysluokkaan (1-3m, 3-5 m, 5-10 m, 10-15 m, 15-20 m, >20 m). Aineisto on julkaistu marraskuussa 2020. (GTK 2020) Koottu savisyvyysaineisto toimi lähtöaineistona paikkatietoanalyysille (Kuva 1 ja 2).

Espoon maaperää karakterisoivat paljaat kalliomäet ja tasaiset savialueet, jotka kattavat maa-alueista 38 %. Vantaan maa-alueista savialueet kattavat 45 % ja Helsingin 37 % (Kuva 1). GTK:n savisyvyysaineiston mukaan Vantaan savikot ovat pääosin laajoja, mutta matalia. Helsingissä ja Espoossa savialueiden määrä maapinta-alaan suhteutettuna on lähes sama. Kauniainsissa savialueita on noin viidennes maapinta-alasta. Savialueiden luokittelussa saattaa olla eroavaisuuksia eri kaupunkien välillä (esim. siinä kuinka paksu savikerroksen tulee olla, jotta alue luokiteltaisiin savikoksi).



Kuva 1. Savialueiden prosentuaalinen (%) määrä pääkaupunkiseudun kaupunkien maapinta-alasta.



Kuva 1. Saven syvyysluokkien esiintyminen (ha) pääkaupunkiseudun kaupungeissa (GTK 2020).

2.2 Pääkaupunkiseudun tulevat rakennushankkeet

Rakennushankkeiden lukumäärä, koko ja sijainti määrittävät syntyvien kaivumaiden ja ylijäämämaiden määrän. Syntyvien ylijäämämaiden määrää voidaan alustavasti arvioida rakennushankkeiden kautta; isoilta ja laajoilla savialueilla sijaitsevilta rakennushankkeilta voidaan olettaa syntyvän enemmän ylijäämäsavia kuin pieniltä, kantavilla maapohjilla sijaitsevilta hankkeilta. Massamäärien arviointi on kuitenkin vain suuntaa antavaa ja rakennushankkeiden kartoittamisella voidaan paremminkin indikoida potentiaalisten ylijäämämaiden syntyä. Maamassojen muodostumiseen vaikuttavat paitsi edellä mainitut hankkeen olosuhteet myös rakentamismenetelmät ja hanketyypit.

Taulukossa 1 on esitetty pääkaupunkiseudun asemakaavoitettuja alueita sekä vireillä olevia asemakaavahankkeita. Aluelistaus ei ole kattava vaan esittää läpileikkauksen pääkaupunkiseudun rakentamisen lähitulevaisuudesta. Espoossa ja Helsingissä on meneillään ja tulossa lähitulevaisuudessa useita keskikokoisia rakennushankkeita, sekä kooltaan merkittäviä kuten Malmin entisen lentokentän alue sekä Keran alue. Vantaalla rakentaminen on maltillisempaa, mutta esimerkiksi Vantaan ratikkahankkeesta voidaan odottaa massamääriltään merkittävää kohdetta.

Taulukko 1. Pääkaupunkiseudun kaupunkien asemakaavoitettuja sekä vireillä olevia asemakaavahankkeita ja -alueita. Listaus ei ole täydellinen.

	Espoo	Helsinki	Vantaa
Asemakaavoitetut rakentamattomat sekä rakentamisen alla olevat alueet	<ul style="list-style-type: none"> Kauklahti Espoonkartano Perusmäki Leppävaara (Vermontie, Vermonsolmu) 	<ul style="list-style-type: none"> Honkasuo Kuninkaantammi Myllypuro (Karhunkaataja) 	<ul style="list-style-type: none"> Kivistö
Vireillä olevat merkittävimmät asemakaavahankkeet	<ul style="list-style-type: none"> Karapelto ja Kera Kivimies Maarinsolmu (eritasoliittymä) ja Kalevantie Nygrannas Riihitonttu II, Riihitontunkulma Suurpelto Bosmalm Finnoon keskus (+Matroonankatu) Finnoon satama + Merikorttelit Hannusranta ja Kaitaan metrokeskus Kivenlahden metrokeskuksen ympäristön täydennysrakentaminen Lasihytti Mulbynhaka Jokisilta Korsbacka Miilukorpi II Viiskorpi (Rajanummi, Viiskorven keskus, Anfallinmäki, Apilanmutka, Orkesterinmäki) Korppi Niipperinniitty ja Antinmäki II Nepperinportti Vaskitsmäki ja Metsämaa 	<ul style="list-style-type: none"> Malmin entisen lentokentän alue Pihkatie Paloheinä, Pikkusuonkujan ympäristö Tapanilan asemaseudun eteläosa Laajasalo Läntinen bulevardikaupunki (Huopalahdentie-Vihdintie, n 4 km) Mellunmäki Eteläinen Postipuisto Vuosaari (pohjoinen lähikeskusta, Kurkimoisio, Broända Itäkeskus, Kehä I ja Itäväylän eritasoliittymä Itäkeskuksen Jokerikortteli Sörnäistenranta Hakaniemenranta Hernesaari (saven ruoppauksia) Koivusaari 	<ul style="list-style-type: none"> Aviapolis Myyrmäki Hämeenkylässä kartano Rosenlund Mikkolan laajennusalue Lehmustontie Hakunilan keskustan laajennus 2 Länsimäki Vantaan raitiotie

2.3 Ylijäämäsaveen määrä pääkaupunkiseudulla

Pääkaupunkiseudulla vuosittain muodostuvissa ylijäämämaissa savimassojen osuus on merkittävä:

- Kulmakorpeen vuotuisesti tuotavan ylijäämämaan määrä on n. 1 miljoona kuutiota, josta arviolta 60 % on savea tai liejusavea.
- Helsingissä muodostuvan muualle läjitettäväksi kuljetettavan ylijäämämaan määrä on vuosina 2016-2020 ollut n. 110 000 m³ vuodessa.
- Vantaan Petikonhuipun täyttömäkiin on viety savia vuosien 2010–2020 aikana keskimäärin 400 000 m³/vuosi.

Vuosittain pääkaupunkiseudulla muodostuvan saveen määrä on toteumatietojen mukaan arviolta 1,0 miljoonaa kuutiota perustuen vastaanottotietoihin. Tarkan määrän arviointi on vaikeaa, koska harvojen kuormat ovat puhtaita savikuormia.

2.4 Potentiaaliset saven jalostusmenetelmät

Saven termiset jalostusmenetelmät perustuvat saven kuivatukseen ja polttoon. Saviaines on hienojakoista ja plastisena materiaalina se on sitkeää ja muokkautuvaa, mikä mahdollistaa savimateriaalin hyödyntämisen erityyppisten tuotteiden valmistuksessa. Kevytsoran valmistus perustuu termiseen käsittelyyn, joka on myös keramiikkateollisuudessa käytetty jalostusmenetelmä.

Muita ei-termisiä saven jalostusmenetelmiä ovat mm. kemiallinen stabilointi, kuivatus pakkasen vaikutuksesta, kalsinointi, yms., joihin tämä selvitys ei keskity.

Jalostusmenetelmän soveltuvuus määräytyy sekä tavoiteltavan lopputuotteen, markkinapotentiaalin että kustannusten kautta. Seuraavassa on esitetty ylijäämäsavien jalostusmenetelmiä, joiden sopivuus ja potentiaali tulee tutkia yksityiskohtaisesti tavoiteltavan lopputuotteen mukaan.

2.4.1 Termiset jalostusmenetelmät

Termiset menetelmät viittaavat polttoprosesseihin, joissa materiaali käsitellään korkeassa lämpötilassa tavoitellen esimerkiksi materiaalin kuivausta tai sintrausta. Käytettävä lämpötila, polttoaika sekä energiamuoto riippuvat tavoiteltavasta lopputuloksesta.

Kevytsora:

Leca kevytsoran valmistusprosessi perustuu saven kuivatukseen ja polttoon, mikä aikaansaa savikappaleen laajentumisen muodostaen kevyitä ja pyöreitä rakeita. Leca kevytsoran tuotantoprosessi on kuvattu seuraavasti Leca.fi -verkkosivustolla:

- 1 Saven kaivu: Savi kaivetaan savikentältä ja tuodaan varastoon, kun savesta on erotettu suuret kivet.
2. Saven lisäaineet: Saveen sekoitetaan erilaisia lisäaineita kevytsoran paisutusta varten.
3. Murskaus: Pienemmät kivet murskataan, ja savi puristetaan pienten reikien läpi.
4. Homogenisointi: Savi esikäsitellään, jotta raaka-aineesta saadaan tasalaatuista.
5. Kuivatus: Savi menee polttouunin ensimmäisen osan, kuivatusuunin, läpi, jossa vesi haihdutetaan, ja savi kuumennetaan noin +400 °C:en.
6. Poltto: Polttouunin seuraavassa pyörivässä osassa savi kuumennetaan +1150 °C:en, jolloin savi laajenee ja sintrautuu.
7. Seulonta, lastaus ja pakkaus: Jäähdyneet kevytsoraraket jäähdytetään ja seulotaan tuotteiden mukaisiin jakeisiin. Valmis kevytsora lastataan irtosorana kuljetettavaksi tai pakataan säkkeihin.

Leca kevytsoran valmistus perustuu savipinnan sintrautumiseen, jolloin laajentumisprosessin aikana muodostuvat kaasut eivät pääse pakenemaan savipavun sisältä vaan muodostavat savesta pallomaisen rakenteen. Tämän prosessin tapahtuminen edellyttää saviraaka-aineelta tiettyjä ominaisuuksia (kts. kpl 2.5) ja on edellytys kevytsoran keveydelle ja hyödyntämiseen keventeenä maanrakentamisessa.

Muut termisesti jalostetut materiaalit:

Jos tavoiteltavalta materiaailta ei odoteta keveyttä, voidaan termistä käsittelyä hyödyntää myös saven kuivauksessa ja lujittamisessa. Tällöin tavoiteltavat maksimilämpötilat voivat olla matalampia kuin kevytsoran valmistuksessa.

Saven kuivaamiseen riittävä lämpötila on n. +300-500 °C. Jos savesta tavoitellaan kestävämpää ja esimerkiksi liettymätöntä materiaalia, vaaditaan käsittelyltä korkeampia lämpötiloja. Käytettävä lämpötila riippuu saven laadusta, tavoiteltavasta lopputuotteesta sekä käytettävästä polttouunista.

2.4.2 Muut jalostusmenetelmät

Ylijäämäsavien rakennettavuutta sekä hyötykäyttöä voidaan edistää termisen käsittelyn lisäksi mm. stabiloimalla ja kalsinoimalla.

Syvästabilointi on pitkään käytetty menetelmä, jossa tavoitteena on parantaa pehmeän maa-aineksen ominaisuuksia eli lisätä leikkauslujuutta ja jäykkyyttä. Syvästabilointi tapahtuu sekoittamalla maa-ainekseen kemiallisia sideaineita, jotka reagoivat maa-aineksen kanssa. Nämä sideaineet ovat tyypillisesti kalkki ja sementti, mutta stabiloinnissa voidaan käyttää myös uusiomateriaalipohjaisia sideaineita, jotka sisältävät esim. lentotuhkaa, kipsiä ja/tai masuunikuonaa.

Syvästabilointi voidaan toteuttaa in-situ parantamalla rakennettavan pohjamaan kantavuutta tai ex-situ, jolloin pehmeä kaivumaa stabiloidaan kaivun jälkeen. Saven ex-situ stabilointi voidaan tehdä esim. altaassa massastabiloimalla, jolloin savesta saadaan esimerkiksi penkereisiin tai maavalleihin soveltuvaa materiaalia. Helsingissä ylijäämäsavien massastabiloinnissa on hyödynnetty esimerkiksi alueen voimalaitosten tuhkia, mikä on parantanut hankkeen resurssitehokkuutta sekä lopputuotteen teknisiä ominaisuuksia, vähentäen samalla muodostuvia päästöjä.

Kalsinoitua eli poltettua ja jauhettua savea voitaisiin potentiaalisesti hyödyntää esim. syvästabiloinnin sideaineena. Kalsinoimisprosessissa savimateriaali poltetaan n. 800 °C asteessa ja lopputuote jauhetaan hienoksi. Tarvittaessa saveen voidaan lisätä lisäaineita, jos savi ei sellaisenaan sovellu sideaineeksi. Saven hyödyntäminen sideaineena edellyttäisi savelta korkeaa kalkkipitoisuutta. Suomalaisen saven kalkkipitoisuus on tyypillisesti matala, jolloin ylijäämäsavien käsittely kalsinoimalla ei ole välttämättä mielekästä.

2.5 Saven ominaisuudet kevytsoratuotannossa

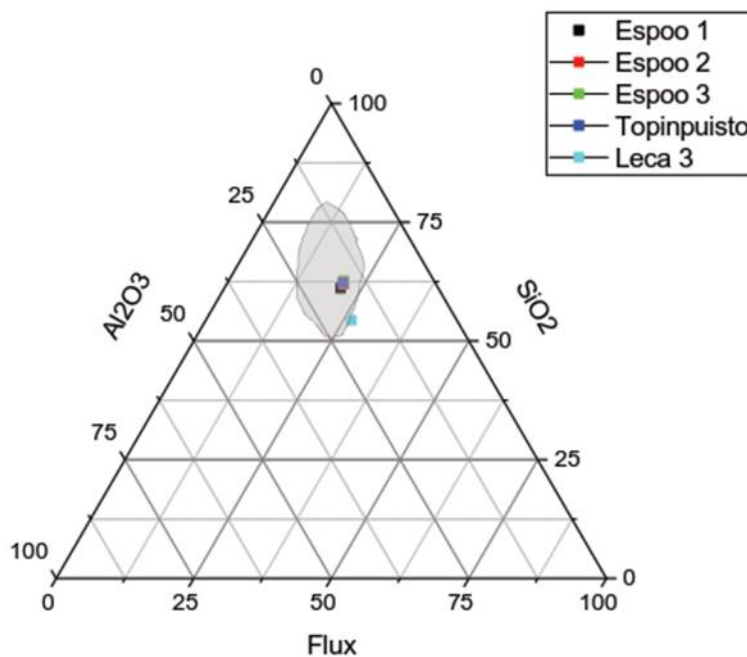
Saven ominaisuudet määrittävät savialueen rakennettavuutta sekä jalostusmahdollisuuksia. Usein rakennushankkeissa savesta tutkitaan suunnitteluvaiheessa mm. vesipitoisuus, rakeisuus ja humuspitoisuus. Leca kevytsoran tuotannossa savialueiden ennakkotutkimukset ovat oleellinen osa tuotantoketjua. Savesta tutkitaan tuotantoon vaikuttavat ominaisuudet ennen raakasaven kaivua, jotta materiaalin soveltuvuus tuotantoon on varmistettu. Tuotannollista soveltuvuutta indikoiviksi ominaisuuksiksi on tunnistettu savespitoisuus, vesipitoisuus, kuivatilavuuspaino ja orgaanisen aineksen määrä. Tuotannon kannalta oleellista on saven paisuminen, minkä perusteella merkittävät saven ominaisuudet ovat tunnistettu.

Leca kevytsoran tuotannossa on mahdollista hyödyntää eri vesipitoisuuden omaavia savia. Tyypillisesti tuotannossa hyödynnettävien savien vesipitoisuus on 35-50 paino-%, joka tarkoittaa geoteknisenä vesipitoisuutena 80-100 %. Märempiäkin savia voidaan hyödyntää, mutta tällöin prosessin energian kulutus kasvaa. Toisaalta liian kuiva savi vaikeuttaa sekoitusprosessia. Usein optimivesipitoisuus tuotannossa saavutetaan sekoittamalla erityyppisiä savia.

Fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi savesta tutkitaan myös kemiallisia ominaisuuksia, kuten oksidijakaumaa. On havaittu, että oksidijakaumalla ja saven paisumisella on yhteys. Savien paisumispotentiaalia tarkastellaan ns. Riley's Plot -diagrammilla, joka kuvaa tiettyjen kemiallisten

ominaisuuksien suhteen vaikutusta paisuvuuteen (Kuva 3). Kuvaajan avulla on mahdollista arvioida saven paisuvuutta laboratoriomäärittäisiin perustuen. Savien soveltuvuutta tuotantoon tutkitaan myös paisutustestauksilla laboratoriossa. Potentiaaliselta saventoalueilta otetuille näytteille tehdään laboratoriossa poltto simuloiden tuotantoprosessia.

Saven ominaisuuksia voidaan parantaa lisäaineilla. Lecan kevytsoran tuotannossa käytetään rutiininomaisesti erilaisia lisäaineita, mm. jättepohjaista kalkkifillieriä sekä bitumia. Lisäaineet parantavat paisumista, mutta on syytä huomioida, että ilman tiettyjä saven minimiominaisuuksia paisuminen ei tapahdu lisäaineista huolimatta.



Kuva 2. Riley's plot -diagrammin avulla voidaan arvioida saven oksidipitoisuuksien vaikutusta paisuvuuteen

2.6 Ylijäämäsavien ennakkotutkimukset

Ylijäämäsavavia syntyy pääasiassa rakennushankkeiden yhteydessä, kun rakentamiseen huonosti sopivia savimaita poistetaan alueelta kaivamalla tai ruoppaamalla. Rakennushankkeiden yhteydessä teetetään pohjatutkimuksia ja hyödynnetään jo olemassa olevaa tietoa. Tyypillisesti useimmissa rakennushankkeissa tarvitaan tarkentavia tutkimuksia ennen suunnittelua ja rakentamista, vaikka alueelta olisi saatavilla aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia. Näissä ennakkotutkimuksissa selvitetään pohjamaaolosuhteita ja tutkitaan mm. maalajit ja eri maalajien kerrospaksuudet, maaperän kantavuus sekä maalajien ominaisuuksia. Yleensä tutkimusten yhteydessä otetaan myös maanäytteitä, joista tehdään indeksikokeita ("perustutkimuksia", kts. kappale 2.5).

Näiden ennakkotutkimusten yhteydessä on mahdollista tutkia myös savien soveltuvuutta jatkojalostukseen. Osa jalostuksen kannalta merkittävistä tutkimuksista ovat joka tapauksessa tehtäviä indeksikokeita ja tarvittaessa maanäytteistä voidaan teettää jalostustarpeen mukaan erillisiä lisätutkimuksia. Ylijäämäsavien tutkiminen ennakkoon helpottaa niiden hyötykäyttöä, logistiikkaa ja välivarastointia. Ennakkotutkimukset

antavat myös sekä rakennuttajalle, tilaajalle että savien hyödyntäjälle aikaa valmistautua kaivusavien hyötykäyttöä vaativiin toimenpiteisiin.

Kaivu tulee tehdä lajittelevana siten, että vältetään maamateriaalien tarpeeton sekoittuminen jalostukseen soveltumattomaksi. Tämä sekä ennakkotutkimukset tulisi huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Suunnitelmissa tulisi myös osoittaa kaivusavien kuljettaminen jatkojalostukseen.

Savialueiden ennakkotutkimuksilla voidaan myös varautua maa-ainesten jäteluonteen aiheuttamiin lainsäädännöllisiin selvityksiin. Kaivetun maa-aineksen jäteluonnetta arvioitaessa sovelletaan jätelain 5 §:n mukaista jätteen yleistä määritelmää, jonka mukaan ”jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä” (Ympäristöministeriö 2015). Lainsäädännöllisesti rakennushankkeiden ylijäämäsavet saavat jätetatuksen, kun ne muodostuvat rakennushankkeella eikä niille ole tiedossa suunnitelmallista hyödyntämiskohdetta hankealueen sisällä: ”jätedirektiivin 2(1)(c) artiklan mukaan direktiiviä ei sovelleta maa-ainekseen ja muuhun luonnosta peräisin olevaan ainekseen, joka on pilaantumaton ja joka on kaivettu pois rakentamistoimien aikana, kun on varmaa, että aines käytetään kaivupaikalla sellaisenaan rakennustarkoituksiin”. Jätelain soveltamisalaan kuuluvan maa-ainesjätteen ammattimainen tai laitosten käsittely edellyttää ympäristölupaa, mikä pitää sisällään myös savainesten jatkojalostamisen.

Näin ollen ylijäämämaiden jätetatus voi mahdollisesti hankaloittaa savien hyötykäyttöä raakamateriaalina. Jos taas kaivusavet voidaan osoittaa raakamateriaaliksi jo ennen kaivamista, on savi raaka-ainetta ja kaivutyö raaka-aineen hankintaa. Tällöin jätetatuksen muodostuminen on mahdollista välttää ja näin jouhevoittaa materiaalin hyötykäyttöä. Tällainen menettely edellyttää ennakkotutkimuksia ja ennakkointia ennen hankkeen käynnistymistä.

2.7 Savien lämpökäsittelyn laboratoriotutkimukset

Espoon ylijäämäsavien soveltuvuutta termiseen jalostukseen tutkittiin Åbo Akademin toimesta laboratorioolosuhteissa. Tutkimuksista koostettiin seuraavissa kappaleissa esitettävä tiivistelmä. Savitutkimukset jatkuivat tämän raportin julkaisemisen jälkeen, joten tässä raportissa on esitetty raportin julkaisemiseen mennessä valmistuneet tutkimukset. Tutkimuksista sekä tiivistelmästä vastasivat Åbo Akademin tutkijat Jan-Erik Eriksson sekä Thomas Kronberg.

2.7.1 Tausta

Tarkoituksena oli tutkia laboratorioolosuhteissa Espoon ylijäämäsavien soveltuvuutta mahdolliseen jatko-/hyötykäyttöön. Mahdollisiksi tavoiksi savien hyötykäyttöön valittiin 2 eri linjaa hieman erilaisilla termisillä käsittelyillä. Ensimmäinen vaihtoehto oli tuottaa kevytsora tyyppinen ”uusiokevytsora”. Tämä vaihtoehto edellyttää korkeaa käsittelylämpötilaa (> 1100°C) sekä savelta paisumisenergiaa. Toinen vaihtoehto oli tuottaa ”savisora” tyyppinen materiaali, missä pääpaino on poistaa materiaalin savimaisuus käsittelemällä matalammassa lämpötiloissa (300-900°C).

Tutkittuja materiaaleja olivat Espoosta kerätyt kaksi erilaista pintasavea (E1 ja E2) sekä yksi syvemältä kaivettu lihavampi savi (E3). Vertailumielessä mukana oli myös Turun Topinpuistosta 3 metrin syvyydeltä kaivettu savi (T). Näiden lisäksi referenssinä kevytsoran tuotantoon käytettiin Lecan toimittamaa kevytsoran valmistukseen soveltuvaa savea (L3). Tämän lisäksi testattiin myös sekoitusta, joka sisälsi E3 savea ja n. 30 % jätteenpolton pohjakuonaa (HSY). Seuraava teksti perustuu esityskalvoihin, jotka löytyvät liitteestä 1.

2.7.2 Menetelmät

Savien perustestit eli vesipitoisuuden ja märkätiheyden määrittäminen tehtiin normaalisti ja hehketushäviön määrittäminen tehtiin kuumentamalla näyte 800°C.

HSM eli kuumennusmikroskooppitestien teoria on esitelty liitteen 1 kalvolla 7. Sylinterimäistä 3x2mm näytettä kuumennetaan vakionopeudella 10°C/min 1400°C asti ja samalla kuvataan näytteen muodonmuutosta. Tästä muodonmuutoksesta voidaan todeta eri vaiheita alkaen näytteen pehmentymisestä ja sintraantumiseen loppuen näytteen täydelliseen sulamiseen. Muodonmuutos voidaan esittää kuvina, videona tai käyränä.

CHNS eli alkuaineanalyyssissä pieni tarkasti punnittu määrä kuivaa näytettä laitetaan uuniin (900°C), jossa näyte hapettuu nopeasti. Reaktiotuotteet (hiili, vety, typpi ja rikki) mitataan tar-kasti ja tulokset annetaan painoprosenteina.

TGA eli termogravimetrinen analyysi mahdollistaa savien reaktioiden tutkimisen lämpötilan funktiona. Analyysissä pientä määrää näytettä lämmitetään tasaisella nopeudella typpi-atmosfäärissä ja samalla mitataan tarkasti sekä lämpötilaa, että näytteen massaa. Näin saadaan näytteen massan muutoskäyrä lämpötilan suhteen. Käyrästä näkyy yleensä selvästi näytteen kuivuminen, orgaanisen materiaalin poistuminen sekä kidevesien häviäminen.

Paisutustestit alkoivat savien kuivaamisella haluttuun olomuotoon. Tätä nopeutettiin käyttämällä savea 110°C lämpökaapissa, jotta savesta saatiin muovailuvahan tyylinen helposti muovailtava massa. Tästä massasta tehtiin testipallot (n. 2 g), jotka kuivatettiin 110°C lämpökaapissa. Paisumiskoe aloitettiin esilämmittämällä näytteitä 350°C uunissa 15 minuuttia. Tämän jälkeen testipallot siirrettiin paisutusuuniin, jossa altistus aika oli 5 minuuttia. Itse paisutus tapahtui alumiinioksidista valmistetussa näytteenpitimessä, johon oli kaiverrettu kolot viidelle pallolle. Näytteenpidin otettiin pois uunista näytteiden siirron ajaksi. Näytteenpidin ja käytetyt uunit on kuvattu liitteen 1 kalvolla 11. Paisutusuunissa käytettiin kolmea eri lämpötilaa (1150, 1180 ja 1210°C). Saviin lisättiin lisäaineena myös 0,5 % KPA öljyä, jolla simuloitiin orgaanisen aineksen suurempaa osuutta. Paisutuksen jälkeen palloille tehtiin ominaisuustestejä mm tiheyden määrittäminen.

Koko testiproseduuri savien soveltuvuudesta kevytsoraksi näkyy liitteen 1 kalvolla 4. Alkuaineanalyyssistä lasketuista oksidipitoisuuksista voidaan määrittää nk. Riley's plot, josta nähdään kyseisen savien paisumispotentiaali. Tämä paisumiskäyttäytyminen voidaan myös todentaa laboratoriossa hieman muokatulla HSM eli kuumennusmikroskooppitestillä, josta nähdään savien sintraantumisen ja paisumiskäyttäytyminen lämpötilan funktiona. Mahdolliset paisutuksessa syntyvät päästöt esimerkiksi rikin osalta tutkittiin CHNS alkuaineanalyyssillä. Lopuksi savi testattiin käytännössä uunissa, jolloin varmistettiin paisumisesta.

Savioratetit alkoivat samalla tavalla mutta savesta ei tehty palloja vaan muotissa 20 mm pitkiä, halkaisijaltaan 10 mm pellettejä. Nämä kuivatettiin 110°C uunissa, jonka jälkeen pellettejä kuumennettiin uunissa 10 minuuttia neljässä eri lämpötiloissa (300°, 500°, 700° ja 900°C). Termisten käsittelyjen jälkeen tehtiin ominaisuustestejä mm. tiheys ja puristuslujuus sekä kuivana, että märkänä.

2.7.3 Tulokset

Savien ominaisuudet



Savien perusominaisuuksista mm. Alkuainepitoisuuksista lasketut oksidipitoisuudet, märkätiheys, vesipitoisuus ja hehkutushäviö on esitetty liitteen 1 kalvolla 5. Oksidipitoisuudet ovat samantasoisia kaikille saville, paitsi Lecan toimittamalle savelle, missä alumiini- ja rautapitoisuus oli korkeampi sekä piipitoisuus matalampi. Syvempien, märempien ja lihavampien savien hehkutushäviö oli selvästi pienempi (<3,5 %) kuin Espoon pintasavissa sekä Lecan toimittamassa savessa (> 5,5 %).

Oksidipitoisuuksista määritettiin ns. Riley's plot, missä alumiinioksidin, piiksidin ja muiden oksidien summan (flux) suhde kertoo saven mahdollisesta paisumispotentiaalista (liitteen 1 kalvo 6). Kaikki tutkitut savet omaavat tässä testissä paisumispotentiaalia. Lecan toimittama savi on aivan alueen ulkoreunalla ja muut selvästi alueen sisäpuolella. Oksidipitoisuuksista voidaan määrittää myös modifioitu ns. Cougny's plot, missä paisumialue määritetään fluksien (Na, K, Ca, Mg) summalla ja rauta/alumiini suhteella (liitteen 1 kalvo 6). Myös tällä tavalla esitettyinä kaikki savet omaavat paisumispotentiaalia.

Kuumennusmikroskooppianalyseistä tehtiin sintraantumiskäyrät, näytteen korkeuden muutoksesta suhteessa lämpötilaan (liitteen 1 kalvo 8). Kaikkien tutkittujen savien sintraantumiskäyrä nousee ennen näytteen sulamista, mikä osoittaa, että savet paisuvat sopivassa lämpötilassa. Lecan toimittama savi erottui eniten muista savista. Sintraantuminen alkoi aikaisemmin (n. 900°C) ja paisuminen oli voimakkaampaa ja tapahtui matalammassa lämpötilassa (n. 1150°C) kuin muilla savilla (n. 1200°C). Öljyä sisältävissä näytteissä, paisuminen näkyi yleisesti ottaen hieman suurempana (liitteen 1 kalvo 9).

CHNS analyysit (liitteen 1 kalvo 10) osoittivat, että Espoon pintasavissa oli suurimmat kokonaispitoisuudet mitattuja komponentteja (hiili, typpi, vety, rikki). Varsinkin hiilipitoisuudet olivat korkeampia (n. 2,5 % vs. 0,5 %), mikä näkyy myös orgaanisen materiaalin osuudessa pintasaven hehkutushäviössä. Rikkiä ei vapautunut mistään eli savet eivät olleet sulfidisavia ja näin ollen savista ei synny rikkipäästöjä polton aikana.

Uusiokevytsora

Kaikista savista tehtiin lukuisia paisutuskokeita (liitteen 1 kalvot 11–17). Paisuminen pystyttiin silmämääräisesti toteamaan heti kun näyte otettiin ulos uunista. Kuvaamalla kaikki näytteet samassa mittakaavassa, yksi pallo jokaisesta näytteestä, jokaisessa kolmessa lämpötilassa ja vertailemalla näitä, saatiin nopeasti arvio saven sopivuudesta kevytsoraksi (liitteen 1 kalvo 13). Paisutustestien jälkeen näytteiden ulkonäkö vaihteli suuresti. Tässä tutkimuksessa keskityimme kuitenkin ainoastaan näytteiden tiheyden määrittämiseen.

Kevytsoramaisuus määritetään yleensä mm. tiheyden mukaan. Suomessa myytävän Leca kevytsoran tiheys on < 350 kg/m³ ±15 %, jota käytimme vertailuarvona Espoon saviin. Lähtötiheys näytteillä oli noin 1600-1800 kg/m³ mutta kaikkien tutkittujen savien tiheys laski poltto-prosessin aikana (liitteen 1 kalvo 14). Lecan toimittaman savien tiheys oli erittäin alhainen jo matalimmassa 1150°C lämpötilassa (235 kg/m³). Myös muiden savien tiheys laski tässä lämpötilassa mutta kaikki jäivät kuitenkin > 1100 kg/m³ tasolle. Paisutuslämpötilan nostaminen vaikutti kuitenkin positiivisesti näytteen tiheyteen. Tiheys laski edelleen ja Espoon savilla saavutettiin korkeimmassa käytetyssä lämpötilassa (1210°C) jo tiheys ~500-700 kg/m³. Nämä tulokset korreloivat hyvin kuumennusmikroskooppi (HSM) tulosten kanssa. Muut savet paisuivat HSM testissä n. 50°C korkeammassa lämpötilassa kuin Lecan toimittama savi. Öljyn lisäys (0,5 %) auttoi sekä Espoon 3, että Topinpuiston savien paisumista. Korkeimmassa käytetyssä lämpötilassa päästiin jo erittäin lupaaviin tiheyksiin (E3 - 426 kg/m³ ja T- 610 kg/m³). Näissä molemmissa savissa oli pienin hehkutushäviö ja siten myös pienin orgaaninen pitoisuus. Erityisesti tämäntyyppisiin saviin öljyn lisäyksellä näyttää olevan vaikutusta. Muita öljypitoisuuksia tai muita lisäaineita ei ole tässä tutkimuksessa tutkittu.

Testien aikana huomattiin esialtistusajalla 350°C uunissa olevan vaikutusta lopulliseen paisumiseen. Tutkimme miten esilämmityksen altistusajalla (5–180 min) vaikutti paisumiseen 1150°C lämpötilassa (liitteen 1 kalvot 15–16). Esilämmityksen pituudella oli suuri vaikutus kuitenkin ainoastaan Espoo 1 savella. Tiheys laskee esilämmityksen nousussa aina n. 60 minuuttiin saakka (tiheys 15 → 60 min = 1145 → 560 kg/m³). Muille testatuille saville ei altistusajalla ollut merkitystä. Korkeampia paisutuslämpötiloja tutkittiin esilämmityksen suhteen vain yksi näyte. Espoo 1 öljylisäyksellä, 1180°C, jolloin saatiin vielä parempi tulos (60 min – 410 kg/m³). Tarkempaa selvitystä mistä tämä johtuu ei ole tässä tutkimuksessa tehty.

Uusiokevytsoranäytteiden rakennetta ja kevytsoramaisuutta tutkittiin myös elektronimikroskoopilla (SEM). Tässä tutkimuksessa valmistetun, tyyppillisen kevytsoramaisen pallon rakenne näkyy liitteen 1 kalvolla 17. Huokoisuus on erittäin suuri mikä mahdollistaa matalan tiheyden.

Savisora

Espoon ja Topinpuiston savista tehtiin lukuisia saviorakokeita (liitteen 1 kalvot 18–26). Savi-soranäytteet valmistettiin muotissa 20mm x 10mm pelleteiksi ja kuivatuksen (110°C) jälkeen käsiteltiin uunissa neljässä eri lämpötilassa (300°, 500°, 700° ja 900°C) 10 minuutin ajan, jolloin saimme savioraa erilaisilla ominaisuuksilla (liitteen 1 kalvot 20–21).

Liitteen 1 kalvolla 22 on ylempänä kuvattu yksi pelletti kaikista tutkituista näytteistä (Espoo 1, Espoo 2, Espoo 3 ja Topinpuisto) ja kaikissa lämpötiloissa. Alempana kalvolla on vastaavat näytteet puristustestien jälkeen, jolloin näytteen sisäosa on näkyvässä. Huomattavaa on, että paremmin paisuvissa savissa, savioranäytteen sisäosa on tumma vielä korkeammassakin (700-900°C) lämpötilassa.

Elektronimikroskoopilla (SEM) tarkastettiin sintraantumista visuaalisesti (liitteen 1 kalvo 27). Vaikka saviora on käytännössä muuttunut jo huomattavan erilaiseksi kuin kuivattu savi jo 500°C lämpötilassa, näkyi varsinainen savipartikkelien sintraantuminen, rosoisuuden poistuminen ja rakenteen yhteen sulaminen kunnolla vasta 1000°C kuvassa. Siinä partikkelit ovat täysin kiinnittyneet toisiinsa ja lopullinen lujuus on saavutettu. 1150°C kuvassa paisuminen on jo tapahtunut ja kuvassa näkyy kuplia, joissa on lasimaiset ohuet seinät. Nämä tulokset vastaavat saviäytteen käyttäytymistä kuumennusmikroskoopissa.

Savioran savet analysoitiin myös termogravimetrisesti (TGA), jolloin saimme lisätietoa kyseisen saven reaktioista mm dehydroksylaatiosta ja siten saven muuttumisesta pois savimaisuudesta, keraamisempaan suuntaan. TGA käyristä nähdään, että saven dehydroksylaatio sekä myös orgaanisten aineiden häviäminen tapahtuu n. 400–500°C kohdalla ja oletus on, että näissä lämpötiloissa käsitellyt savet eivät enää muutu takaisin savimaisiksi missään olosuhteissa (liitteen 1 kalvo 25). TGA analyysi tehtiin myös termisesti käsitellystä saviorasta, jolloin varmistettiin, että savimaisuuteen liittyvää massanmuutosta alle 600°C lämpötilassa ei enää tapahdu (liitteen 1 kalvo 26).

Savioran ominaisuuksista mitattiin puristuslujuus ja tiheys (liitteen 1 kalvo 23). Tiheys ei käsittelyssä juurikaan muutu alkuperäisestä n. 1600-1800 kg/m³. Puristuslujuus mitattiin yksiaksiaalisella puristuskokeella yksittäisestä 20 mm x 10 mm sylinteristä. Kuivalujuus oli jo kuivatettuna 6–10 MPa luokkaa. Yleisesti lujuus nousi voimakkaammin vasta 700°C jälkeen ollen 900°C jälkeen parhaimmillaan n.20 MPa. Tämä vastaa jo melkein täydellistä sintraantumista ja maksimi lujuutta. Espoo 2 lujuudet olivat kauttaaltaan hieman matalampia. Alustava tutkimus märkälujuudesta tehtiin määrittämällä puristuslujuus pintakuivista, märistä näytteistä, jotka olivat olleet upotettuna veteen 24 tuntia. Näytteet, jotka oli käsitelty vain 110°C lämpökaapissa hajosivat melkein heti veteen jouduttuaan. 24 h upotuksen jälkeen myös 300°C käsitellyt Espoo 3 näytteet alkoivat jo hajota. Tutkittujen saviin osalta kuiva- ja märkälujuudet esitetään liitteen 1 kalvolla 24. Suurimmat muutokset kuivan ja märkälujuuden välillä olivat näytteillä, jotka oli käsitelty 500°C tai alle lämpötilassa.

Pohjakuonan lisäys

Yhtenä ylimääräisenä vaihtoehtona tutkittiin jätteenpolton pohjakuonan lisäämistä märempään saveen (E3). Sekoitus tehtiin käyttämällä Hobart sekoittajaa ja tuloksena oli hyvä homogeeninen massa. Lopullinen testattu sekoitussuhde oli 1 kg savea + 500 g käsittelemätöntä pohjakuonaa. Tämä oli lähellä maksimaalista määrää pohjakuonaa, joka voitiin tasaisesti lisätä tähän saveen. Sekoituksesta tehtiin kummatkin yllä mainitut testilinjat eli sekä paisutus- että savi-soratestit. HSM analyysi antoi jo viitteitä siitä, että tämä sekoitus ei soveltuisi kevytsoraksi (liitteen 1 kalvo 30). Pohjakuona toimi itse sekä myös sekoituksessa voimakkaana sulattajana ja n. 1200°C näytteet sulivat ennen saveen paisumista. Näin olleen tiheysarvot eivät juurikaan pienentyneet paisutuskokeiden jälkeen (liitteen 1 kalvo 31). Pohjakuonalla ei myöskään itsellä osoittautunut olevan paisumispotentiaalia.

Savisorasteissa pohjakuonan vaikutus oli myös kyseenalainen. Kuivalujuus oli testatuista heikoin (n. 3–4 MPa) mutta ehkä kuitenkin riittävä joihinkin tarkoituksiin (liitteen 1 Kalvo 32). Näytteet kiteytyivät polton aikana ja tulivat hauraaksi. Näytteistä määritettiin myös alustava märkälujuus 24 h vesiupotuksen jälkeen. Mitatut kuiva- ja märkäljuudet on esitetty liitteen 1 kalvolla 33. Lämpökaapissa 110°C kuivatettu näyte hajosi miltei heti kosketuksissa veden kanssa ja 300°C lämpötilassa käsitellyt näytteetkin hajosivat 24 h upotuksessa.

2.7.4 Yhteenveto ja johtopäätöksiä

Tutkimuksessa käytetyt menetelmät sopivat hyvin kevytsoran tutkimiseen ja vertailua on mahdollista tehdä. Uusiokevytsoraa ajatellen Espoon kaksi pintasavea toimivat testatuista parhaiten verrattuna Lecan referenssisaveen mutta niissäkin oli eroja. Perusmenetelmällä pintasavet paisuivat vain vähän mutta modifioimalla altistusajoja, ja paisutuslämpötilaa on mahdollista tuottaa uusiokevytsoraa (tiheys ~400–600 kg/m³) mutta kuitenkin määrätyn reunaehdoin. Muutenkin, kaikki testatut Espoon savet paisuivat paremmin käyttämällä korkeampaa lämpötilaa (1180° tai jopa 1210°C) kun taas Lecan toimittamassa referenssisavessa paisuminen tapahtuu optimaalisesti 1150°C kohdalla. Lisäaineistuksella, eli öljyn lisäämisellä, ei ollut vaikutusta pintasavien paisumiseen, johtuen todennäköisesti korkeammasta alkuperäisestä orgaanisen aineksen pitoisuudesta. Märempiin, lihavampiin Espoon 3 ja varsinkin Topinpuiston saveen sillä oli huomattava vaikutus. Näissä kummassakin savessa hehkutushäviö oli suhteellisen pieni. Pohjakuona oli voimakas sulattaja. Sulattaa myös saveen ennen paisumista.

Käytetyt ja kehitetyt menetelmät sopivat hyvin myös savioran tutkimiseen. Kaikki tutkitut savet toimivat saviorana hyvin ja lujuus oli osassa huomattava. Savimaisuus häviää näytteissä noin 400–500°C lämpötilassa. Materiaalin lujuus kasvaa vielä kuitenkin korkeampiin lämpötiloihin mennessä, kunnes saavutetaan täysi sintraantuminen ja sulaminen alkaa. Jo 500°C käsittelyssä kaikilla savilla on kuitenkin ~10 MPa puristuslujuus yksittäisellä kappaleella mitattuna. Savioran tiheys ei käsittelyssä huomattavasti muutu, ennen kuin saavutetaan paisumislämpö-tila n. 1100°C lämpötilassa. Savisorassa saveen lisätty pohjakuona kiteytyy ja näyte murenee helposti puristustestissä.

Kaiken kaikkiaan tulokset ovat hyvin mielenkiintoisia ja lupaavia. Lämpökäsittelyillä on mahdollista valmistaa tutkituista savista erilaisia soratyyppejä. Espoon savilla tuntuisi näin olevan mahdollisuuksia tämänkin tyyliseen hyötykäyttöön. Tämä tutkimus oli kuitenkin vasta alustava otanta Espoon savista ja lisätutkimuksia tarvitaan.

3. SAVIMATERIAALIN LOGISTIIKKA JA TUOTANNOLLISET KYSYMYKSET

3.1 Leca® kevytsora

Leca kevytsora on huokoinen, keraaminen ja kevyt materiaali, jota käytetään useissa geoteknisissä sovelluksissa infrarakentamisessa. Maarakentamisessa kevytsoraa käytetään pääasiassa kevennysmateriaalina, täytöissä ja routasuojauksena. Talonrakennuksessa kevytsora toimii mm. ylä- ja alapohjien lämmöneristeenä. Kevytsora valmistetaan savesta polttamalla ja paisuttamalla. Leca-soran valmistusprosessissa luonnonsavi poltetaan korkeassa lämpötilassa, jolloin savesta muodostuu keraaminen palamaton materiaali. Lämpötilan noustessa 950 °C alkaa kevytsorarakeiden sintrautuminen. Varsinainen rakeiden paisutus tapahtuu polttovyöhykkeessä n. 1150 °C lämpötilassa. (Leca Finland 2019)

Kevytsora on mekaanisilta ominaisuuksiltaan kitkamaan tyyppinen. Ominaisuudet vaihtelevat kevytsorarakeiden koon ja paisumisasteen perusteella. Kevytsoran geoteknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 2, lisätietoja on saatavilla mm. esitteessä: Leca®-kevytsora infrarakentamisessa - Suunnittelu ja rakentaminen.

Taulukko 2. Yleisimpien kevytsoralajitteiden teknisiä ominaisuuksia [Liikennevirasto 2011].

Ominaisuus	Vaihteluväli	Ominaisarvo
Tilavuuspaino (irtokuiva)		
kuiva (w=30 paino-%)		4,0 kN/m ³
ajoittain veden alla	2,2...3,2 kN/m ³	6,0 kN/m ³
pysyvästi veden alla		10 kN/m ³
nostemitoituksessa		3,0 kN/m ³
Kitkakulma		
löyhänä	33°...38° *	34°
tiivistettynä		37°
Vedenläpäisevyys **	10 ⁻³ ...10 ⁻¹ m/s	10 ⁻³ m/s
Lämmönjohtavuus	0,12...0,19 W/mK	0,17 W/mK*** a _i =4 ****
E-moduuli (kantavuusmitoitus)	35...130 MPa	50 MPa
Kuormitus 2 % kokoonpuristumalla	150...400 kPa	-
* löyhä ... tiivis		
** vedenläpäisevyyskokeiden ja rakeisuuskäyrien perusteella arvioituna		
*** vaikeissa olosuhteissa lämmönjohtavuus voi olla tässä esitettyä suurempi		
**** kevytsoran vastaavuus eristävyuden kannalta (a _i) 0,7 m syvyydessä, kuivatiheys ≤ 400 kg/m ³ , alla 0,15 m kuivatuskerros. Vertailumateriaalina hiekka (a _i =1). Vaikeissa olosuhteissa lämmönjohtavuus voi olla tässä esitettyä suurempi.		

3.2 Termisesti käsitellyn saven tuotantomahdollisuudet

3.2.1 Logistiikka ja vastaanotto

Ylijäämäsavien logistiikka on tällä hetkellä merkittävä kustannusten ja päästöjen aiheuttaja. Vastaanottomaksujen lisäksi kuljetuskustannukset muodostavat merkittävän osan ylijäämäsavien käsittelystä aiheutuvista kustannuksista. Kun huomioidaan maankaatopaikan vastaanottomaksut, on arvioitu saven kuljettamisen Lecan Kuusankosken tehtaalle olevan hintaluokaltaan verrannollinen Kulmakorpeen

lajittamiselle. Soveltuvan savimateriaalin toimittaminen Kuusankosken tuotantolaitokselle suoraan pääkaupunkiseudulla sijaitsevalta rakennustyömaalta on näin ollen ajateltavissa oleva vaihtoehto savimateriaalin hyödyntämiselle. Huomioitavaa on kuitenkin, että vain osa savimateriaalista, joka kuljetetaan esim. Kulmakorpeen läjitettäväksi, soveltuisi Leca kevytsoran tuotantoon.

Ylijäämäsavien vastaanoton menettelyt riippuvat tulevan saven määrästä, laadusta sekä tuotannon tarpeista. Kulmakorpeen vastaanotettava rakentamiseen huonosti soveltuva savimateriaali on tyypillisesti ns. "sekamaata" (saven ja muun maa-aineksen sekoitusta), jolloin puhtaan saven erottaminen muusta maamateriaalista on käytännössä lähes mahdotonta. Tuotantoon soveltuvan savi tulisivikin erotella muusta maamateriaalista jo työmaalla kaivuvaiheessa. Saven vastaanotossa tulisi varmistaa saapuvan saven laatu ja soveltuvuus tuotantoon sekä laatia menettelytavat poiskäännyttävän saven logistiikalle ja loppusijoittamiselle.

Vastaanottoalueen varastointikapasiteetti tulee sovittaa saapuvan saven määrään. Tätä voidaan arvioida mm. ennakkotutkimuksilla sekä seuraamalla tulevien hankkeiden rakentamisaikatauluja. Toimiva saven logistiikka ja vastaanotto edellyttää yhteistyötä ja koordinoitua kaupunkien, tilaajien, rakennuttajien sekä urakoitsijoiden välillä.

3.2.2 Välivarastointi

Savimateriaalin välivarastointi voidaan toteuttaa rakennuskohteella tai tuotantopaikalla. Välivarastointi voidaan tehdä esimerkiksi aumoissa kaivualueella tai tuotantopaikalla aumoissa tai altaissa. Varastointi rakennuskohteella on todennäköisesti usein mahdotonta tilan puutteen takia. Raakasavi voidaan myös ajaa suoraan tuotantohalleihin, kuten Lecan kevytsoratehtaalla on asia ratkaistu. Soveltuva välivarastointitapa riippuu tuotantopaikalla olevasta tilasta.

Välivarastoinnissa on hyvä huomioida materiaalin asettamat tarpeet ja reunaehdot sekä itse materiaalille että ympäristölle. Välivarastointipaikan tulee olla pohjamaaolosuhteiltaan riittävän kantava ja tilava. Savimateriaali itsessään ei aseta välivarastointipaikalle suuria vaatimuksia. Aumaaminen ei muuta merkittävästi saven ominaisuuksia. Otollisissa olosuhteissa savimateriaali kuivuu pinnasta, mutta vesipitoisuus ei juurikaan muutu syvemmillä aumassa. Savea voidaan välivarastoida myös altaissa. Silloin saven vesipitoisuus voi muuttua enemmän varastoinnin aikana – kuivuu kuivalla ja aurinkoisella kelillä, mutta sateisena kautena vesipitoisuus voi kasvaa merkittävästikin.

3.2.3 Jalostuslaitteet ja energiamuodot

Savimateriaalin jalostustapa määrittää soveltuvat jalostuslaitteet ja jossain määrin myös soveltuvat energiamuodot. Leca-kevytsoran tuotannossa käytettävä uuni on pyörivä polttouuni, joka on optimoitu ja kalibroitu Leca-kevytsoran tuotantoon. Pienemmän siirrettävän pyörivän uunien soveltuvuutta kevytsoran tuotantoon on selvitetty mm. Seppo Rynäsen toimesta 1990-luvulla periaatetasolla (patentti nro 113563). Siirrettäviä uuneja on käytössä asfalttiasemilla.

Energiamuodon valintaan vaikuttavat ensisijaisesti saatavuus, kustannukset sekä enenevässä määrin poltossa syntyvät päästöt. Ylijäämäsavien hyötykäytössä tavoitellaan kustannustehokasta sekä vähäpäästöistä tuotantomuotoa. Fossiiliset polttoaineet katsotaan usein kustannus- ja energiatehokkaimmaksi vaihtoehdoksi. Fossiilisen polttoaineen käyttö ajaisi tuotannon kuitenkin todennäköisesti päästökaupan piiriin. Ilmastovaikutusten hillinnän kiristytessä kansallisella ja kansainvälisellä tasolla on myös odotettavissa päästörajoja keraamiselle tuotannolle sekä mahdollisia sanktioita muodostuneille päästöille. Tällöin fossiilisten polttoaineiden kannattavuuden voidaan arvioida heikentyvän suhteessa uusiutuviin polttoaineisiin.

Logistiikan ja varastoinnin kannalta nestemäinen polttoaine, esimerkiksi kevyt polttoöljy, on vaivattomin. Nestemäisiä polttoaineita on laajasti saatavilla ja niiden käyttö on hyvin optimoitu. Polttoaineista on tullut markkinoille myös vähähiilisiä vaihtoehtoja, kuten Nesteen MyDiesel. Biopolttoaineet ovat kuitenkin pitkälti allokoitu liikenteen käyttöön eikä niiden saatavuus laajaan tuotannolliseen käyttöön ole varmaa.

Kaasumaiset energiamuodot ovat myös varteenotettava vaihtoehto. Maakaasu on yleisesti käytetty polttoaine ja sen etuna on savukaasujen puhtaus, jolloin lopputuotteeseen ei siirry epäpuhtauksia. Kaasumaisen polttoaineen käyttö vaatii putken, joten tuotantolaitoksen kustannuksissa olisi varauduttava putkilinjaston perustamiseen, jos sellaista ei ole saatavilla. Nestekaasua voitaisiin potentiaalisesti kuljettaa kuten nestemäisiä polttoaineita, mutta niiden siirto suurina määrinä on vaikeaa. Nestekaasu ei myöskään ole uusiutuva energiamuoto.

Biokaasu vaihtoehtona voi tarkoittaa esimerkiksi Ämmässuon kaatopaikkakaasuja tai mädätys-biokaasua. Nämä kaasut ovat uusiutuvia ja edullisia, mutta kaatopaikkakaasujen epäpuhtaus voi aiheuttaa epäpuhtauksia lopputuotteeseen. Mädätyskaasu on puhdasta, mutta todennäköisesti biodieselin tapaan varattu liikenteelle tai muuhun suoraan käyttöön. Biopolttoaineista potentiaalisia olisivat myös pelletit, joiden saatavuus on hyvä ja kustannukset kohtuulliset. Myös Leca kevytsoran tuotannossa voidaan hyödyntää pellettejä sekä sahanpurua.

Savimateriaalin jalostuksessa muodostuva hukkalämpö on mahdollista myydä kaukolämpö-verkkoon. Tällöin myynnistä saatava kustannushyöty vähentäisi suoraan energian tuotannon kustannuksia. Savimateriaalin kuivaus/poltto hyödyntäen muiden olemassa olevien laitosten hukkalämpöä ei ole käytännössä mahdollista, koska yleensä vapautuva hukkalämpö ei ole lämpötilaltaan riittävän korkea savimateriaalin käsittelyyn.

3.3 Saven jalostamisen kustannukset ja päästöt

Kustannuksiin sekä päästöihin vaikuttavat merkittävimmin raaka-aineen hankinta, logistiikka sekä jalostus. Jalostusmuodon vaikutuksiin voidaan taas vaikuttaa energiamuodon valinnalla ja logistiikkaan tuotantolaitoksen sijainnilla. Uusiutuvista polttoaineista puupelletti on varteen-otettavin vaihtoehto: pelletti on kustannustehokas, helposti kuljetettava ja saatavilla oleva energian lähde. Fossiilisista polttoaineista (kaasu, öljy) ei tarvitse maksaa polttoaineveroa, kun savukaasut koskevat lopputuotetta. Täten kaasun hinta on todellisuudessa lähellä pelletin hintaa.

Laitoksen koko vaikuttaa kuitenkin mahdollisiin päästömaksuihin ja tulevaisuudessa tuotantolaitosten ilmastovaikutuksia voidaan sakottaa nykyistä ankarammin. Liitteessä 2 on kuvattu tarkemmin saven potentiaalisen termisen käsittelyn yksityiskohdat, mahdollisuudet sekä kustannuslaskenta. Kustannuslaskenta on alustava arvio, jonka tarkoitus on tarjota vain suuntaa antava kuva potentiaalisen tuotannon investoinneista ja käyttökustannuksista.

3.3.1 Tuotannon potentiaaliset kustannukset

Saven termisen käsittelyn tuotantokustannuksia voidaan alustavasti arvioida tuotantolaitoksen tyypillisten investointikustannusten, arvioitujen käyttö- ja kunnossapitokustannusten sekä polttoanekustannusten perusteella. Prosessin kannattavuuteen on mahdollista vaikuttaa myymällä syntyvää hukkalämpöä kaukolämpöverkkoon. Kustannusrakenne määrää lopputuotteen hinnan, jonka perusteella on mahdollista alustavasti arvioida tuotteen markkinapotentiaalia suhteessa vastaaviin tuotteisiin.

Polttoainekustannus on tuotantolaitoksen merkittävin juokseva kuluerä. Energiankulutukseen vaikuttavat sekä valittu tuotantomuoto, polttoainetyyppi että saven ominaisuudet. Saven termisen käsittelyn energia riippuu hyvin paljon saven kosteudesta. Energiaa kuluu pääasiassa veden haihduttamiseen savesta sekä jonkin verran kuivan saven lämmitykseen. Laskennallisesti voidaan arvioida, että savella, jonka geotekninen vesipitoisuus on 70 % n. 80 % energiasta kuluu veden haihduttamiseen. Käytettävän prosessin lämpötila vaikuttaa energiankäytössä ainoastaan kuivan saven loppulämmityksen eli polton energiantarpeeseen, joka on vain noin 19 % energian tarpeesta. Eli riippumatta tavoiteltavasta lopputuotteesta (uusiokevytsora, savisora, pengersavi) sijoittuu prosessin suurin energiatarve saven kuivatusvaiheeseen.

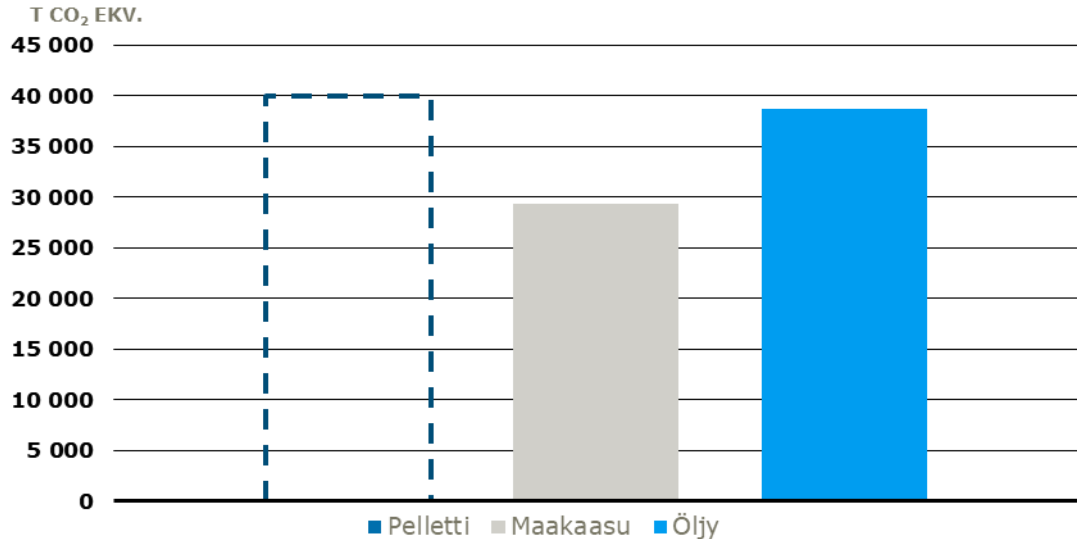
Potentiaalisen tuotantolaitoksen vuosikustannuksia arvioitiin n. 150 000 m³ savimäärällä (70 % geotekninen vesipitoisuus), jolloin kuivaa savituotetta syntyy potentiaalisesti 150 000 tn vuodessa. Energiamuotona käytettiin puupellettiä. Kustannusarviossa on huomioitu energian hankinta, laitoksen investointikustannukset, käyttö- ja ylläpitokustannukset sekä potentiaalinen lämmöntalteenotto (LTO). Prosessissa syntyvä hukkalämpö on mahdollista ottaa talteen kaukolämpöverkkoon, mikä pienentää käyttökustannuksia. Mikäli hukkalämpö saadaan talteen (LTO), ovat vuosikustannukset 5,7 MEUR. Ilman lämmöntalteenottoa kustannukset olisivat 7,4 MEUR. Laskelmassa käytetyt lukemat ovat karkeita arvioita perustuen vastaavien tuotantolaitosten investointikustannuksiin.

Lopputuotteen hintaan vaikuttavat tuotantolaitosten kustannusten lisäksi mahdolliset kannustimet. Savien vastaanotosta Espoon Kulmakorven maanläjitysalueille peritään vastaanottomaksuja (n. 80 €/nuppikuorma). Näiden maksujen kohdistaminen kokonaan tai osittain saven hyötykäyttäjälle voisi toimia tuotannon kannustimena sekä mahdollistajana. Kuivan lopputuotteen omakustannushinnaksi muodostuu n. 38 €/tn ilman kannustimia. Jos huomioidaan tämänhetkiset saven vastaanottomaksut (1,2 M€) kustannuksia vähentävästi tarkastellulle savimäärälle (150 000 m³), joka on noin puolet vuosittain Espoossa muodostuvista savista, muodostuu lopputuotteen omakustannushinnaksi n. 30 €/tn. Lopputuotteen hinta kuutiota kohden riippuu tuotteen tiheydestä. Tiheyksillä 300 kg/m³, 500 kg/m³ ja 1000 kg/m³ tuotteen hinnaksi muodostuu 10 €/m³, 15 €/m³ tai 30 €/m³. Leca kevytsoratuotteen hinta lavatoimituksena on tällä hetkellä n. 182 €/tn (= 50 €/m³ / 0,275 t/m³) ja vastaavan kiviainestuotteen hinta asennettuna n. 5–13 €/tn. Polttoainekustannukset nostavat termisesti käsitellyn tuotteen kustannuksia suhteessa kiviaineeksiin, jolloin tuotteella täytyy olla kiviaineeksiin verrattuna muita, rakentamisessa hyödyllisiä ominaisuuksia (kts. kappale 4).

3.3.2 Tuotannon potentiaaliset päästöt

Materiaalin elinkaaren aikaiset päästöt voidaan jaotella tuote- ja rakennusvaiheeseen (A1-A5), käyttövaiheeseen (B1-B7) sekä elinkaaren loppuun eli käytöstä poistamiseen (C1-C4). Määritettäessä materiaaliin sitoutuneita päästöjä, tarkastellaan tuote- ja rakennusvaiheen päästöjä, jotka kattavat materiaalin valmistuksen (A1-A3), kuljetuksen rakennuskohteeseen (A4) sekä asentamisen (A5). Koska kuljetuksen päästöt riippuvat rakennuskohteen sijainnista ja asennustyön päästöt ovat tyypillisesti samankaltaisilla materiaaleilla verrannolliset, tehdään materiaalien päästövertailu tuotevaiheen (A1-A3) päästöjen välillä. Tuotevaihe pitää sisällään materiaalin raaka-ainehankinnat, kuljetuksen tuotantolaitokselle sekä itse valmistusvaiheen prosessit mukaan lukien mahdolliset lisä- ja apuaineet sekä sekundääriset prosessit.

Uusiokevytsoratuotteen tuotannon päästöjä arvioitiin erityyppisten polttoaineiden kulutuksen perusteella. Arvion perusteella suurin osa päästöistä muodostuu itse tuotantoprosessissa, johon voidaan myös tehokkaimmin vaikuttaa valittavalla tuotanto- ja energiamuodolla. Tarkastelluista energiamuodoista puupelletti on selkeästi vähäpäästöisin vaihtoehto (Kuva 4). Bio-energia luokitellaan hiilidioksidineutraaliksi eli sen ei lasketa lisäävän hiilidioksidipäästöjä, vaikka itse tuotannolle voidaan laskea päästöarvo. Tuotannon fossiiliset päästöt ovat suurimmat kevytpolttööljyllä ollen n. 30 % enemmän kuin maakaasulla. Laskenta perustuu Tilastokeskuksen polttoaineluokituksessa määritettyihin eri energiamuotojen päästökertoimiin (Tilastokeskus 2021).



Kuva 4. Uusiokvytsoran tuotantoprosessin teoreettiset päästöt eri energiamuodoilla. Bioenergiana pelletti luokitellaan hiilineutraaliksi, jolloin sen hiilidioksidipäästöjä ei lasketa Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästö määrään.

Määritettyjen tuotantopäästöjen avulla voidaan arvioida potentiaalisten tuotteiden tuotevaiheen (A1-A3) päästöjä. Koska savimateriaali muodostuu rakentamisen sivutuotteena, voidaan tuotteiden päästölaskentaan soveltaa uusiomateriaaleille annettuja päästölaskennan periaatteita (Teittinen et al. 2020). Tällöin materiaalin hankinnan eli kaivun katsotaan kuuluvan itse rakentamisprojektiin. Myös materiaalin kuljetuksen päästöt voidaan jyvittää rakentamistoiminnalle siinä tapauksessa, että kuljetusmatka tuotantolaitokselle ei ole pidempi kuin maanläjitysalueelle. Tässä laskelmassa tuotteen päästölaskennan oletettiin alkavan tuotantolaitoksen portilta. Neitseellisiä raaka-aineita hyödyntävien materiaalien ja tuotteiden laskentaan sisällytetään myös materiaalin hankinta- ja kuljetusprosessit. Laskenta perustuu kuivattun savimateriaalin (150 000 tn) kokonaismäärään.

Koska jalostusprosessin energiasta suurin osa kuluu saven kuivattamiseen, ovat potentiaalisen tuotteen tuotantovaiheen energiankulutuksen päästöt suuruusluokaltaan samat eri tuotetyypeillä (uusiokvytsora, savisora, pengersavi). Potentiaalisten tuotteiden tiheys on alustavien laboratoriotutkimusten perusteella lämpötilariippuvainen, minkä vuoksi päästöarvo tilavuuden suhteen on laskettu alustavien laboratoriotutkimusten perusteella erikseen uusiokvytsoralle (n. 600 kg/m³) sekä savisoralle ja pengersavelle (1700 kg/m³).

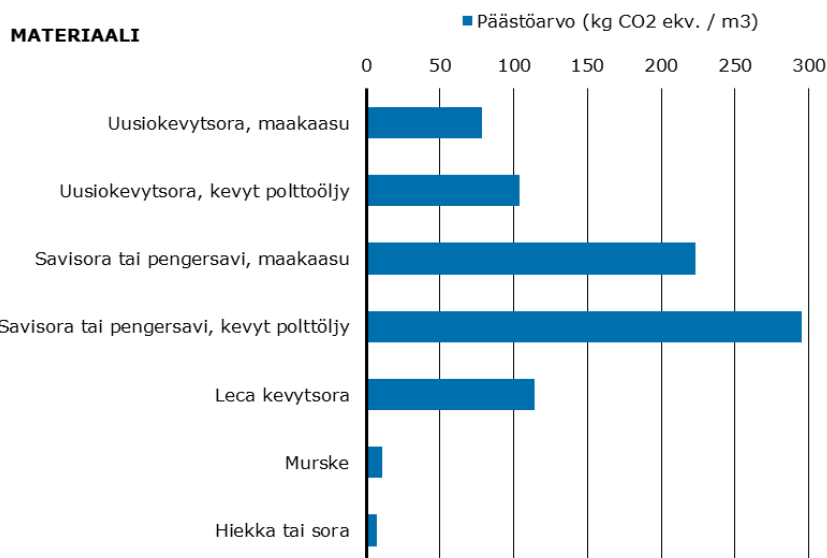
Potentiaalisen uusiokvytsoratuotteen fossiiliset (maakaasu, kevyt polttoöljy) tuotannon päästöt ovat alustavien arvioiden mukaan samaa suuruusluokkaa kuin tuotteistetulla kevytsoratuotteella (tai mahdollisesti pienemmät, mikäli hukkalämmön talteenotto on optimaalista), mutta suuremmat kuin vastaavalla kiviaineksella (taulukko 3, kuva 5). Jos tuotantoprosessin energiamuotona hyödynnetään puupellettiä, muodostuu tuotantoprosessi hiilineutraaliksi ollen selkeästi vähäpäästöisin ja resurssiviisain vaihtoehto tarkastelluista tuotteista. Laskelmassa ei ole huomioitu kuljetuksen päästöjä. Jos kuljetusmatkat huomioidaan osana tuotepäästöjä, voidaan kuljetusmatkan lyhentämisellä ja/tai kuormakoon kasvattamisella tehokkaasti vaikuttaa kuljetuksesta muodostuviin päästöihin. Esimerkiksi 5 km kuljetusmatkan lisäys tarkastellulle savimäärälle tarkoittaa n. 200 000 kg CO₂ ekv. päästölisäystä.

Määritetyt päästöarvot ovat alustavia arvioita perustuen potentiaalisten tuotteiden valmistuksen aikaisen energian kulutuksen päästöihin. Tarkka arvio tuotevaiheen päästöistä edellyttää tutkimusta ja tietoa mm. tuotantolaitoksen logistiikasta, prosesseista, energiamuodosta ja hankintaprosesseista.

Taulukko 3. Potentiaalisten uusiokevytsoratuotteiden arvioituja päästöarvoja sekä tuotteistettujen kiviaineisten ja Leca kevytsoran päästöarvoja. Taulukossa ei ole esitetty niiden uusiokevytsoratuotteiden päästöarvoa, joiden tuotannossa on käytetty puupellettiä (päästöarvo teoriassa 0 kg CO₂ ekv./kg).

Materiaali / tuote	Tuotevaiheen päästöarvo (A1-A3)	Yksikkö	Lisätietoja ja lähde
Uusiokevytsora	78,8–104,2 0,13–0,17	kg CO ₂ ekv./m ³ kg CO ₂ ekv./kg	Tiheys n. 600 kg/m ³ alustavien laboratoriotutkimusten perusteella. *
Savisora tai pengersavi	223,4–295,3 0,13–0,17	kg CO ₂ ekv./m ³ kg CO ₂ ekv./kg	Tiheys n. 1700 kg/m ³ alustavien laboratoriotutkimusten sekä kirjallisuuden perusteella. *
Leca kevytsora	114,0 0,375	kg CO ₂ ekv./m ³ kg CO ₂ ekv./kg	RTS EPD, nro 7 VAHEPD-2015-107 Leca® sora https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/leca-ymparistoseloste-290517_allekirjoitettu-1.pdf
Murske	10,5 0,007	kg CO ₂ ekv./m ³ kg CO ₂ ekv./kg	Rakentamisen päästötietokanta https://co2data.fi/ 5.3.2021, tiheys 1500 kg/m ³
Hiekka ja sora	7,5 0,005	kg CO ₂ ekv./m ³ kg CO ₂ ekv./kg	Rakentamisen päästötietokanta https://co2data.fi/ 5.3.2021, tiheys 1500 kg/m ³

* Päästöt ovat laskettu käyttäen energiamuotona maakaasua tai kevyt polttoöljyä, johon vaihteluväli perustuu. Polttoöljyn päästöt ovat suurimmat.



Kuva 5. Potentiaalisten uusiokevytsoratuotteiden arvioidut päästöarvot sekä tuotteistettujen kiviaineisten ja Leca kevytsoran päästöarvot (kg CO₂ ekv. /m³). Päästöarvo tilavuuden suhteen on laskettu alustavien laboratoriotutkimusten perusteella erikseen uusiokevytsoralle (n. 600 kg/m³) sekä savisoralle ja pengersavelle (1700 kg/m³).

4. MATERIAALIN KÄYTTÖKOhteET JA MARKKINAPOTENTIALIAALI

4.1 Tarkastellut ”tuotantolinjat”

Selvityksen aikana tutkittiin potentiaalisia tuotantomenetelmiä ja saveen ominaisuuksia, minkä perusteella uusiokevytsorat tuotanto jaettiin kolmeen tuotantolinjaan:

1. ”Uusiokevytsora”, joka ei täytä kevytsoran vaatimuksia. Tuotteen tiheys on esim < 700 kg/m³. Valmistus pääkaupunkiseudulla.
2. ”Savisora”, joka on murskattu ”poltetusta” savesta.
3. ”Pengersavi”, joka on kuivattua savea vastaten ominaisuuksiltaan jäykkää, stabiloitua savea.

Taulukossa 4 on esitetty eri ”tuotantolinjoilla” aikaansaatavien tuotteiden potentiaalisia ominaisuuksia sekä hyötykäyttökohteita. Tarkempi kuvaus teknisistä ominaisuuksista ja vertailua vastaaviin tuotteisiin on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 4. Potentiaalisten tuotteiden ominaisuuksia sekä hyötykäyttökohteita perustuen olemassa olevaan tietoon sekä vastaaviin materiaaleihin.

Ominaisuus	Uusiokevytsora (LECA-kevytsoraa raskaampaa)	Savisora	Pengersavi
Potentiaalinen max. tuotantolämpötila °C	1000 – 1200	900	300 - 500
Potentiaalinen rakenneteoreettinen tilavuuspaino (kg/m ³)	< 700	1500 – 1700*	1700 – 2000**
Potentiaalinen hyötykäyttökohte	Kevennyskohteet, kuivatuskerros, hulevesirakenteet, yms	Alhaisen kuormituksen kohteet: jakavan kerroksen alaosa, suodatinkerros, täyttökohteet	Penkereet, vallit, maisemavallit ja muut täyttökohteet

* Arvo perustuu tiilimurskeen teknisiin ominaisuuksiin, jotka voidaan potentiaalisesti rinnastaa savisoran ominaisuuksiin.

** Arvo perustuu tyyppilliseen kuivakuorisaven tilavuuspainon vaihteluväliin

4.2 Tuotteiden tekninen soveltuvuus ja markkinapotentiaali

Jalostustuotteiden teknisten ominaisuuksien tulee olla käyttökohteen vaatimusten mukaiset. Eri rakenteiden teknisiä vaatimuksia on esitetty alan ohjeistuksissa, esimerkiksi RYL (Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset) sisältää rakennusalalla yleisesti hyväksytyt rakennustapojen kuvaukset ja vaatimukset käytetyille materiaaleille. Taulukossa 5 on esitetty teknisten ominaisuuksien merkitys eri rakennusosissa. Esimerkkirakenteita sekä potentiaalisia käyttökohteita on esitetty laajemmin liitteessä 3.

Tuotteen markkinapotentiaali syntyy tuotteen tarpeesta eli käyttökohteista sekä hinnasta suhteessa vastaaviin tuotteisiin. Kiviainesmateriaalin omaisesti käytettävä tuote kilpailee neitseellisten kiviainesten tai joidenkin uusiomateriaalien kanssa, jotka ovat tyyppillisesti kustannuksiltaan edullisia. Tällöin valmistettavalla tuotteella tulisi olla sellaisia ominaisuuksia, joita kilpailevilla materiaaleilla ei ole, tai alempi hintataso.

Tämänhetkisellä kustannusrakenteella uusiokevytsoran tai vastaavan tuotteen valmistaminen on kiviaineksen hankintaa kalliimpaa. Uusiokevytsoran yms. kustannusrakenteeseen vaikuttaa se, miten huomioidaan ylijäämänsaven muiden käsittelytapojen kustannukset ja miten arvotetaan luonnon materiaalien säätäminen ja kierrätys. Myös materiaalien hiilidioksidipäästöt voivat nousta merkittäväksi hankintatekijäksi kustannusten ja teknisen soveltuvuuden rinnalle. Ennen hankintarakenteen muutosta on julkisella toimijalla iso rooli saven käsittelyn mahdollistamisessa.

Taulukko 5. Uusiomateriaalien tuotteistamisohjeessa (2016) esitetty arvio materiaalien teknisistä ominaisuuksista ja merkityksellisyydestä tie- ja katurakenteissa sekä kaivantojen lopputäytössä. Selitteet: ++ erittäin tärkeä / +tärkeä / - vähämerkityksellinen.

rakennusosa tekn. ominaisuus	kantava kerros	jakava kerros	suodatin- kerros	pengertäyttö		penger- keven- nyys	putkikaivannon lopputäyttö	
				liikenne- kuorma	ei liik. kuormaa		kadul- la	puistos- sa
hyvä kuormitus- kestävyys	++	+	- *	++	-	++	++	-
hyvä kantavuus (jäykkyys)	++	+	- *	++	-	++	++	-
oikea rakeisuus	++	+++*	++	-	-	+	++	-
suuri raelujuus	++	+++	-	-	-	++	++	-
hyvä tiivistettä- vyys	++	++	+	-	-	+	+	-
routimattomuus	++	++	+	++	-	++	++	-
hyvä jäätymis- sulamiskestävyys	++	++	+	-	-	-	++	-
hyvä vedenlä- päisevyys	+	+++*	+	-	-	+	-	-
suuri lämmöneris- tävyys tai jäätymis- vastus	-	+	+	-	-	++	+	-
vähäinen kapillaa- risuus	-	-	++	-	-	-	-	-
keveys	-	-	-	-	-	++	-	-
kaivettavuus	-	-	-	-	-	-	+	+
korroosio- ominaisuudet	-	-	-	-	-	-	++	++

- * rakennusosan etäisyys rakenteen yläpinnasta vaikuttaa ko. ominaisuuden merkityksellisyyteen
 ** rakeisella materiaalilla, lujittuvilla materiaaleilla merkityksellisyys arvioitava materiaalikohtaisesti
 *** huonosti vettäläpäisevällä materiaalilla tarkasteltava koko rakenteen toimivuus

5. TYÖPAJATYÖSKENTELY JA JATKOTOIMENPITEET

Ylijäämäsavien potentiaalia termisessä jalostuksessa kartoitettiin työpajatapahtumassa, jossa esiteltiin selvityksen aikana koottuja tietoja sekä kartoitettiin alan asiantuntijoiden näkemystä tuotantomahdollisuuksiin. Työpaja koostui asiantuntijaesityksistä sekä ryhmätyöskentelystä, jossa keskusteltiin aiheeseen liittyvistä teemoista.

Minkä tahansa tuotteen valmistuksen kannattavuus määrittyy tarjonnan ja kysynnän kohtaamisella. Myös savien kannattavaa hyödyntämistä tuotannon raaka-aineena määrittää ennen kaikkea tuotteen tai tuotteiden markkinapotentiaalia ja tuotantolaitoksen kustannusrakenne. Yli-jäämäsavei on raaka-aineena käytännössä ilmaista ja tällä hetkellä käytettävien maanläjitysalueiden porttimaksujen ohjaaminen hyötykäyttöön voisi toimia kannustimena savea raaka-aineena käyttävälle tuotannolle.

Tuotannon suunnitteluun vaikuttavat olennaisesti myös luvitusasiat, kuten ympäristöluvut. Rakennustyömailla muodostuvat ylijäämäsavet saavat jätestatuksen, jos niitä ei ennen kaivua ole korvamerkitty tuotantoon. Tämä jätestatus voidaan välttää ennakkotutkimuksilla ja suunnittelulla, mutta myös jo kaivettujen savien vapauttaminen jätestatuksesta palvelisi maa-ainesten resurssitehokkuutta.

Päästöjen ja saven jätestatuksen merkitys nousi esille myös työpajatyöskentelyssä. Tulevaisuudessa tuotteiden hiilijalanjälki voi nousta määrääväksi tekijäksi hankinnoissa kustannusten ohella, mutta ennen sitä on julkisella toimijalla iso rooli ylijäämäsavien käsittelyn mahdollistamisessa. Kiertotalouden ratkaisuja yhteistyön kautta alleviivataan myös Valtioneuvoston (2021) Uusi suunta -julkaisussa, jossa ehdotetaan tavoitteita ja toimenpiteitä kiertotalouden toteuttamiselle yhteiskunnassa. Strategiajulkaisussa ehdotetaan mm. kiertotalousmurroksen mahdollistavaa lainsäädäntöä, joka korvaisi nykyisen lineaaritalouteen perustuvan mallin. Edelleen onnistumisen avaimiksi nostetaan toimintamallien uudistaminen yhteistyössä ns. ekosysteemeissä, joissa eri sektoreiden toimijat voivat kehittää yhteistyössä liiketoimintaa kiertotalouden ympärille.

Ylijäämäsavien, kuten myös muiden uusiomateriaalien, hyötykäyttö edellyttää vuoropuhelua monien sektoreiden välillä sekä ennakkotutkimuksia aiheesta. Tämä raportti tarjoaa alustavan katsauksen ylijäämäsavien hyödyntämispotentiaaliin pääkaupunkiseudulla. Selvityksen yhteydessä tehty tutkimus pääkaupunkiseudun savien soveltuvuudesta termiseen käsittelyyn antaa pohjatietoa savien ominaisuuksista, mutta tuotannon ja sen mahdollisuuksien tarkempi tarkastelu edellyttää lisäselvityksiä ja -tutkimuksia aiheesta. Savien hyödyntämistä useissa eri tuotantolinjoissa olisi myös hyödyllistä tutkia, mukaan lukien sopivan savimateriaalin kuljettaminen Leca Finlandin Kuusankosken tehtaalle raaka-aineeksi. Selvityksen käynnistämä vuoropuhelu on ensisijainen työkalu mahdollisuuksien kartoittamiseen sekä jo tunnistettujen, hyötykäyttöä estävien käytäntöjen purkamiseen ja resurssiviisauden tuomiseen osaksi rakennus-sektoria.

6. LÄHDELUETTELO

Koivisto, K., Forsman, J., Vaajasaari, K. (2016) UUMA 2, Uusiomateriaalien tuotteistamishoje maarakentamiseen.

https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/images/Tuotteistamishoje%202016_05_20_liite%201%20yhdistetty.pdf viitattu 23.2.2021.

Liikennevirasto (2011) Kevennysrakenteiden suunnittelu, tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 5/2011.

Teittinen, T., Dettenborn, D. ja Pahkakangas S. (2020) Uusiomaarakentamisen päästölaskenta.

<https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Uusiomaarakentamisen%20p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6laskenta.pdf> viitattu 8.3.2021

Tilastokeskus (2021) Polttoaineluokitus.

http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html, viitattu 23.2.2021.

Valtioneuvosto (2021) Uusi suunta – Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi. Valtio-neuvoston julkaisuja 2021:1 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-658-7>, viitattu 23.1.2021.

7. LIITTEET

Liite 1. Tutkimus savien soveltuvuudesta termiseen tuotantoon. Alustavat tulokset, Åbo Akademi

Liite 2. Uusiosaven tuotannon energiakatselmus sekä kustannusarvio

Liite 3. Potentiaaliset tuotteet, niiden käyttökohteet sekä asiakaspotentiaali