

# VIITASAAREN KEVYTRAE PILOTTI

Renotech - Valter Wigren<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Renotech R&D, Smart Chemistry Park, Raisio, Finland.

tulostusPäivämäärä: 16-huhti-19

\*Tekijä. E-mail: valter@renotech.fi; Tel: (+358505741745)

## Tiivistelmä

Tiivistetty raportti 3 – 7.9.2018 suoritetusta kevytraepilotista, jossa tuhkien sekä aercrete laitteiston soveltuvuutta kevytrakeen tuotantoon testattiin. Laite soveltuu haluttuun tuotantoon. Ongelmia aiheuttivat lähinnä raaka-aineen syöttö sekä raaka-aineista ja muista ympäristötekijöistä aiheutuvista muuttujista. Näiden seikkojen takia koko viikon tuotanto jäi vain noin 100 - 200 m<sup>3</sup>:n Tästä 10 – 20% on massaa, joka kovettuessaan tuottaa halutut ominaisuudet omaavaa kevytraetta. Tuotetusta kevytmassasta ja rakeesta tehtiin kevytkiviaineksen tuotteistusselvitys, jossa käytiin läpi oleelliset tuoteominaisuudet. Tuotettu rae täyttää pääpiirteissään kevytkiviainesstandardin SFS-EN 13055 mukaiset vaatimukset. Lisäksi rakeella on mielenkiintoisia metallien, haitta-aineiden ja ravinteidensitomisoimaisuuksia.

Asiasanat: Aercrete, tuhka, kevytrae

## SISÄLLYSLUETTELO

Johdanto .....	5
1 Materiaalit.....	6
1.1 Materiaalit.....	6
2 Tulokset ja havainnot.....	8
2.1 Panoskokeiden tulokset .....	8
2.2 Ruiskutusmassakokeet.....	9
2.3 Aercell ajon tulokset ja kokemukset.....	10
2.4 Lujuustuloksia .....	11
2.5 Adsorptio ja ioninvaihto-ominaisuudet .....	13
3 Tuotteistaminen ja tuotetestaukset.....	14
3.1 Rakeen alkaliniteetti .....	14
3.1.1 Tulokset.....	14
3.1.2 Päätelmät .....	15
3.2 Kevytkiviaines CE merkintä ja oleelliset tuotestandardit.....	15
3.2.1 CE merkintä.....	15
3.2.2 Toimenpiteet CE-merkinnän saamiseksi.....	17
3.2.3 Sovellettavat standardit .....	17
3.2.4 Määritetyt oleelliset ominaisuudet .....	18
4 Yhteenveto.....	19
LIITTEET.....	20
1 Menetelmät .....	20
40 kilon putzmeister vaahdotuslaitteisto ja menetelmä .....	20
Aercrete 25 m3/h tuotantolaitteisto .....	20
Alkaliniteetin määrittäminen .....	22

2	Kevytkiviaines-standardin SFS-EN 13055 vaatimukset .....	23
2.1	AVCP-luokka .....	23
2.2	Tuotevaatimukset.....	23
2.2.1	Tiheys .....	23
2.2.2	Kiviaineksen raekoko .....	23
2.2.3	Rakeisuus .....	23
2.2.4	Hienoaines .....	23
2.2.5	Kevytkiviainesfillerin rakeisuus.....	23
2.2.6	Raemuoto .....	24
2.2.7	Kosteuspitoisuus.....	24
2.2.8	Vedenimeytyminen .....	24
2.2.9	Murskautuvuus .....	24
2.2.10	Murskautuneiden rakeiden osuus .....	24
2.2.11	Hienontumiskestävyys .....	24
2.2.12	Jäädytys-sulavuuskestävyys .....	24
2.2.13	Vedenimeytymiskorkeus .....	24
2.2.14	Tiivistyminen ja kuormituskestävyys.....	24
2.2.15	Syklisen puristumiskuormituksen kestävyys .....	25
2.2.16	Jäykistävät ominaisuudet.....	25
2.2.17	Kuivan tiivistetyn kevytkiviainesfillerin tyhjätila.....	25
2.2.18	Kuumuudenkestävyys .....	25
2.2.19	Kiillottuvuuskestävyys .....	25
2.2.20	Kevytkiviaineksen nastarengaskulutuskestävyys pintauksissa .....	25
2.2.21	Kevytkiviaineksen ja bitumin yhteensopivuus.....	25
2.2.22	Iskunkestävyys .....	26
2.2.23	Kuluvuuskestävyys.....	26

2.2.24	Kemialliset ominaisuudet.....	26
2.2.25	Vaaralliset ainesosat.....	26
2.2.26	Lämmönjohtavuus.....	26

## Johdanto

Viitasaarella suoritettiin viikonmittainen kevytrakeen tuotantokoe. Esikokeista saadut tulokset erilaisten tuhkien, vaahdotuskemikaalien ja stabilisaattorien kanssa varmistettiin tässä esiteollisessa pilotkokeessa. Pääasiallinen tarkoitus oli selvittää, voidaanko 40 kilon panoskokeista edetä seuraavaan vaiheeseen ilman ongelmia. Tarkoitusta varten oli vuokrattu Ruotsista Aercell yhtiön siirrettävä vaahdotuslaitteisto, jonka nominaalinen tuotantokapasiteetti on 15 m<sup>3</sup>/h.

Esikokeiden perusteella on tunnistettu, että tuhkien laadut saattavat vaihdella laitosten sisälläkin huomattavasti. Tämä on otettava huomioon tuotantoa suunniteltaessa. Kokeiden perusteella on kuitenkin selvitetty turvalliset rajat tuhkien laadun sekä vaahdotuskemikaalien, että tarvittavien stabilisaattorien määrille.

Viikon kestävästä kokeesta on tarkoitus testata sekä hiilenpoltosta (CFA) että biomassan poltosta (turve ja puu) syntyvien tuhkien soveltuvuus kevytrakeen tai kevytbetonin tuotantoon. Kevytrakeiden ominaisuudet pystytään säätämään käyttötarpeen mukaan. Tuotteita käytetään maanrakennuksessa rakennettujen kerrosten keventämiseen ja eristämiseen. Tämän tuotantopilotin tuotteena syntyvä kevyttuhka-rae soveltuu osittain samoihin käyttökohteisiin.

# 1 Materiaalit

## 1.1 Materiaalit

Ajon aikana käytettiin seuraavia materiaaleja.

Taulukko 1. Materiaalit

Nimi	Tyyppi	Tietoa
Sappi-S	biotuhka	Suursäkki (siilosta 3) purku 03/09
Siilo 3		Pohjasta ylöspäin: Sappi, Naantali CFA, Sappi, Naantali A tuhka,
Siilo 1		Pohjasta ylöspäin, Sappi (ehkä 5tonnia) NVE
Naantali CFB	biotuhka/seostuhka	5.9.2018 aamupäivällä toimitettu auto
Naantali A - tuhka	hiili-bioseostuhka	5.9.2018 illalla toimitettu auto
PlusSementti	sementti	CEM IIA
Cemex	sementti	CEM IA
Pohjatuhka	uusiokiviaines	1,5 mm seulottu pohjatuhka (kalkkirikas)
Hiekka (ostettu)	kiviaines	Sekä seulomaton että seulottu 6.9.2018 lähtien
selluloosa	stabilisaattori	2,4 % kuiva-ainespitoisuus
Sitruunahappo	hidastin	monohydraatti teollinen laatu
Sulfaatti	aktivaattori	sulfaatti (jauhe)

Vaahdotettavat tuhkat toimitettiin ajon aikana erillisiin silloihin, joista ne johdettiin erillisiin kuljettimin vaahdotuslaitteelle. Ajon aikana tehtiin pienemmässä skaalassa panosvaahdottamalla 40 kuivakilon panoksissa testejä, joiden perusteella säädettiin isomman tuotannon parametreja. Parametrit on esitetty seuraavassa:

*Taulukko 2. Vaahdotuksen aikaiset parametrit*

Parametri	Tavoite
Tuhkan 1 määrä	Tuhkalaadun selvittäminen
Tuhkan 2 määrä	Kompensaatio aktiivisemmalla tuhalla
Sementin määrä	Saavutettavan lujuuden määrä
Hiekan määrä	Massan konsistenssi ja vaahdon sekoitettavuus
Veden määrä	Konsistenssi sekä vaahdon stabiilisuus
Vaahdon tyyppi	Stabiilisuus
Vaahdon määrä	Tiheys vs. stabiilisuus
Stabilaattorin määrä	Stabiilisuus
Aktivaattorin määrä	Sitoutuminen/lämpö/lujittuminen

## 2 Tulokset ja havainnot

### 2.1 Panoskokeiden tulokset

Panoskokeiden perusteella voidaan erottaa muutamia tärkeitä tekijöitä, jotka vaikuttavat saatavan (tuoreen) massan ominaisuuksiin. Näistä ehdottomasti tärkein on vaahdotettavan materiaalin laatu ja tasalaatuisuus. Vaahdon stabiilisuudesta voidaan nostaa esiin sekä vaahdon sekoittuvuus että vaahdon stabiilisuus. Eräissä tapauksissa vaahto hajosi suoraan joutuessaan kosketuksiin kostean tuhkamassan kanssa. Tätä ei ole kohdattu aikaisempien testien yhteydessä. Ongelman ratkaisee yleensä erityyppinen vaahdotuskemikaali. Seuraava stabiilisuusongelma koskee jo sekoittuneen vaahdomassan stabiilisuutta. Eli sitä kuinka koossapysyvää tuhkamassan ja vaahdon sekoitus on. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää paksuntimia tai vaahdon stabilaattoreita.

Joissain tapauksissa tuhka-sementtiseoksen sitoutuminen hidastui liikaa, johtuen joko tuhkan ominaisuuksista tai vaahdon ja ympäristön jarrutavista tekijöistä. Tällöin seoksessa on käytettävä kiihdyttäjää. Sitoutumisen on massassa alettava tapahtua ennen kuin vaahto karkaa massasta. Tähän tarkoitukseen käytettiin tässä kokeessa natriumsulfaattia.

Taulukko 3. Ongelma-analyysiä

Ongelma	Ratkaisu	Kommentti
Tuhkalaatu	Seostaminen eri tuhkien kanssa Sementin lisääminen Vaahdotuskemikaalin vaihto	Priorisointi: 1. Massan konsistenssi 2. Vaahdon sekoittuminen 3. Vaahdon stabiilisuus 4. Sitoutumissäättö
Vaahto – sekoittuminen	Vaahdotuskemikaalin vaihto Seostaminen	vaahdotuskemikaali1, joka testissä stabiilimpi kuin vaahdotuskemikaali2. Suurimpaan osaan testejä on sekoitettava yli laskennallinen määrä vaahtoa oikean tiheyden saavuttamiseksi – Eli osa vaahdosta karkaa



		Sementillä vaahtoa stabiloiva vaikutus
Vaaho - stabiilisuus	Vaahdotuskemikaali Stabilaattorin annostus Aktivaattorikonsentraatio	Sellun määrällä vaikutus, enemmän huomataan Aercell laitteella, jolloin massa sekoittuu helpommin Liiallinen aktivaattoripitoisuus vaikeuttaa vaahdon koossapysyvyyttä (> 5%)
Sitoutuminen/lujittuminen	Aktivaattorin määrä Tuhkalaadun säätäminen	Voidaan säätää joko kalkkituhkalla TAI Natriumsulfaatilla, sulfaatilla osin tarkempi säätökyky

Onnistumisen resepti:

Tuhkan laatu

Vaahdotuskemikaalin valinta

Stabilaattorin määrä

## 2.2 Ruiskutusmassakokeet

Pilot ajon aikana suoritettiin muutamille testimassoille ruiskutuskokeita. Hypoteesi syntyi, kun havaittiin että natriumsulfaatilla voi tehokkaasti säätää vaahtomassan sitoutumista. Sekoitus tehtiin SappiS – suursäkki näytteestä. Kokeen suoritus kuitenkin epäonnistui sillä kevytmassaa ei saatu tarpeeksi stabiiliksi sille, että se olisi kestänyt ruiskutuksen vaatimia kovia työntöpaineita (10 – 20 bar).

Paineen vaikutuksesta massa erottui vaahdosta ja menetti juoksevuuskykynsä eikä sitä näin ollen saatu pumpattua, vaan massa erottui ruiskutusputkiin.

Syy massan käyttäytymiselle löydettiin jatkotarkastelussa sillä, että suursäkin pohjalla oli todennäköisesti NVE tuhkaa eikä SappiS tuhkaa. Tälle tuhkalaadulle tarvitaan eri stabilaattorikompositio kuin SappiS tuhkalle.

### 2.3 Aercell ajon tulokset ja kokemukset

Ajon alussa maanantai – tiistai materiaalisyötössä oli ongelmia, jotka jatkuivat eri asteisina koko pilotin ajan. Vaikeutena oli säätää eri nopeuksilla laskeutuvien tuhkalaatujen oikeanopeuksinen panostusaste jatkuvatoimiseen laitteeseen. Ajojen keskeytyksiä aiheutti suurimmilta osin.

1. Liiallinen tuhkansyöttö, jolloin ajo oli keskeytettävä
2. Liian vähäinen tuhkansyöttö, jolloin ajo oli keskeytettävä

Tuhkan laatu ja määrä vaikuttaa kriittisesti ainakin kahteen laitteen jatkuvatoimisen ajon kannalta kriittiseen tekijään eli vesi- ja vaahtomäärään. Vaahtoa ei voida syöttää liian kuivaan massa. Tällöin massa rakeistuu/kokkaroituu jolloin se ei syöty eikä kulje paineputkesta massan purkupaikkaan. Korjauksena voidaan syöttää massa ylimäärä vettä, mutta tällöin halutut ominaisuudet (sitoutuminen, lujuus jne.) kärsivät liikaa.

Ulospumpattavan massan koostumus oli koko ajon ajan hieman vaihteleva. Panoskokeista saatu tieto kuitenkin auttoi ja kullekin tuhcaseokselle saatiin haettua oikea vesi, stabilaattori ja vaahtomäärä. Syntyvän vaahtomassan tiheydeksi oli esikokeissa asetettu 1000 – 1200 kg/m<sup>3</sup>. Vesimäärää rajoitettaessa massan juoksevuus putkessa laski, jolloin jatkona olleet putket puhkesivat.

Ajossa tiistaina ja keskiviikon aamupäivänä olleilla resepteillä ei saatu vaahtoa pysymään (syötettiin Sapan ja kivihiilituhkien seosta siilosta 3). Kun laitteeseen lisättiin mikrosellua ja hidastinta, niin vaahto stabiloitui (keskiviikko-iltana) samoilla tuhkan syötöillä. Lopuksi sitruunahapon jarruttava vaikutus oli liiallinen, sillä muotteihin ajettu seos ei ollut lujittunut seuraavana päivänä. Torstaina aamulla aloitettiin ajo niin, että syötettiin tuhkiin NVE:tä aktivoimaan tuhcaseosta (siilo 3 kivihiilituhkia ja siilo 1 NVE). NVE syöttöä lisättiin, kunnes pumpattava seos alkoi lämmetä. Välillä NVE:n syöttö oli syöttökatkojen jälkeen jäänyt laittamatta uudelleen päälle. Kun siilo kytkettiin uudelleen päälle, saatiin vesimäärää vähennettyä ja vaahton laatua parannettua huomattavasti. Lopuksi seokseen syötettiin sementtiä 20-25 p% tuhkan määrästä ja tätä seosta syötettiin viimeisiin muottilaatikoihin.

Taulukko 4. Torstaina 6.9. Aercell tuotetun massan resepti

Nimi	Arvo	% osuus
Kivihiihituhka (ruuvikierroslukema) (siilo 3)	233	66 % (tuhkasta)
NVE (ruuvikierroslukema) (siilo 1)	133	33 % (tuhkasta)
Sementti kg	150	15 %
Hiekka kg	250	25 %
Tuhkat kg (suhteet ruuvikierroksista)	600-	60 %
Vesi (l)	250	
Vaahdon määrä (l)	600	
sitruunahappo (g/min)	6-10	
sellu (l/min)	1-2	

## 2.4 Lujuustuloksia

Tähän osioon on kerätty tuloksia pistenäytteistä, jotka kerättiin ajon aikana sekä Aercell laitteella tehdyistä massoista, että putzmeister panoskokeista. Pistenäytteet kerättiin ajon aikana 10 l saaveihin, joissa niiden on annettu lujittua lujuuskokeisiin asti.

Lujuuskokeita varten ämpäreistä porattiin säännöllisen muotoisia sylintereitä, joiden puristusta vastaan menevät päät tasoitettiin ennen puristusta kipsilaastilla.

Taulukko 5. Lujuustuloksia

	Tiheys puristaessa (kg/m <sup>3</sup> )	Lujuus n. 60 päivää
3.9.2018 Maanantai	865-942	1,4
	1056-1104	3,7
Tiistai	1050-1101	5,2
	1192-1214	6,5
	1079-1134	2,0
	1000	1,4
	1183-1216	1,4
Keskiviikko	1286-1322	6,8
	1108-1203	5,5
	1144-1171	4,5
	1487-1491	17,7
	935-1017	1,8

Porauskappaleita tarkastellessa voidaan todeta, että palojen huokoisjakauma on homogeeninen ja stabiili.

Lujuustarkastelun yhteenveto. Sementtimäärät oli pilotajossa säädetty 25 p% tuhkasta tai 20 % koko kuiva-ainesmassasta. Puristuslujuudet näyttävät pääosin todistavan etukäteishavainnot ajon aikana. Eli kun ajo on stabiili, saavutetaan massoilla riittävät lujuudet.

Taulukko 6. Lujuustarkastelun yhteenveto ja saavutetut lujuusluokat

Seos	Tiheysluokka (kasalta) (kg/m <sup>3</sup> )	Murskattu irtotiheys (arvio) (kg/m <sup>3</sup> )	Lujuus (MPa)
Tuhka	850-1000	500 – 600	1,0-1,5
Tuhka	1000-1200	600 - 700	1,5-2,5
Tuhka+sementti	850-1000	500 – 600	4 – 5
Tuhka+sementti	1000-1200	600 - 700	5 – 7
Tuhka + sementti	1200 - 1500	700 - 1000	8 – 18

Taulukon Taulukko 6 perusteella voidaan todeta, että vaahdotetun tuhka-sementtimassan lujuus on riittävä. LECA soran ja FOAMIT-vahtolasimurkseen vastaavat lujuudet ovat luokaa 2 – 3 MPa tiheyden ollessa 400 – 600 kg/m<sup>3</sup>.

## 2.5 Adsorptio ja ioninvaihto-ominaisuudet

Osalle näytteistä suoritettiin adsorptiotestauksia suodosvedestä läpivirtaustestin avulla. Tarkasteltavat aineet olivat: Forfori (P), Kupari (Cu), Sinkki (Zn) ja Rauta (Fe<sup>2+</sup>).

Taulukko 7. Adsorptiitestien tulokset

Tutkittava aine/parametri	aggregaatti (850 – 1000)	Referenssi (kalkkikivi)
puskurikapasiteetti	66,7 mmol/Kg	10,02 mmol/Kg
P (poistuma/pesun jälkeen)	80 / 72	31 / 0
Cu	75	75
Zn	95	67
Fe(2+)	61	58

Tulosten perusteella valmistetulla aggregaatilla on huomattavasti standardikiviainesta parempi kyky fosforin adsorptioon vedestä, lisäksi aggregaatin puskukyky on kalkkikiviainesta suurempi.

### 3 Tuotteistaminen ja tuotetestaukset

Tuotteistaminen keskittyi pilot ja panoskokeista valmistetun kevytmurskeen tuote/sovelluskohtaisiin testauksiin. Määritettyjä kemiallisfysikaalisia ominaisuuksia voidaan käyttää hyväksi suunnitelluissa kohteissa niin maanrakennuksessa, maanparantamisessa kuin vedenpuhdistamisessa.

#### 3.1 Rakeen alkaliniteetti

Alkaliniteetti eli happokapasiteetti kertoo veden puskurikyvystä. Mitä pienempi alkaliniteetti on, sitä helpommin veden pH-arvo muuttuu.

Alkaliniteetilla tarkoitetaan vedessä olevien yhdisteiden määrää, jotka vastustavat pH:n muutosta emäksisestä happamaan. Alkaliniteettia nostavia yhdisteitä ovat muun muassa hydroksidien, karbonaattien ja vetykarbonaattien lisäksi fosfaatit, boraatit, silikaatit sekä aluminaatit. Humusaineella voi olla alkaliniteettia lisääviä ominaisuuksia. Yleisesti alkaliniteettiä katsotaan tarkoittavan vedessä olevan hiilihapon suolojen määrää ja sen yksikkönä käytetään mmol/L.

Tutkittaessa pieniä alkaliniteettipitoisuuksia titrauksella pH-arvoon 4,5 saadaan usein liian suuria alkaliniteettiä, sillä ilmasta imeytyy hiilidioksidia näytteeseen.

Analyysissa mitattiin kevytrakeen eli aggregaattikäsitellyn (A) ja referenssikiviaineella (R) sekä kalkkikiviaineella (K) käsitellyn vesijohtoveden puskurikykyä titraamalla vahvalla suolahapolla näytteitä, jotka on käsitelty aggregaatti- ja referenssikiviaineella potentiometrisesti.

##### 3.1.1 Tulokset

Näyte	Alkaliniteetti mmol/L	Puskurikyky	Neutralisoitumispiste
A1	6,32	Hyvä	7,54
A2	6,32	Hyvä	7,55
A3	6,32	Hyvä	7,57
A4	6,32	Hyvä	7,6

Taulukko 8. Kevyt kivimurskeen alkaliniteetti

Näyte	Alkaliniteetti mmol/L	Puskurikyky	Neutralisoitumispiste
R1	3,36	Hyvä	6,55
R2	3,32	Hyvä	6,39

R3	3,36	Hyvä	6,51
R4	3,32	Hyvä	6,41

Taulukko 9. Referenssikiven (kvartsihiekkä) alkaliniteetti

Näyte	Alkaliniteetti mmol/L	Puskurikyky	Neutralisointumispiste
K1	3,20	Hyvä	6,02
K2	3,16	Hyvä	5,91

Taulukko 10. Kalkkikivireferenssi alkaliniteetti

Puskurikyky	Alkaliniteetti mmol/L
Hyvä	>0,2
Tyydyttävä	0,1-0,2
Välttävä	0,05-0,1
Huono	0,01-0,05
Loppunut	0-0,01

Taulukko 11. Veden puskurikyky alkaliniteettiarvojen mukaan

### 3.1.2 Päätelmät

Saadut tulokset kertovat näytteiden haponsitomiskyvyn olevan hyvä.

Vertailtaessa tunnettuun materiaaliin (kalkkikivi) aggregaatin puskurikyky on korkeampi kuin kalkkikiven tai luonnonkivireferenssin puskurikyky, mutta luonnonkivireferenssillä tulokset ovat samankaltaisia.

## 3.2 Kevytkiviaines CE merkintä ja oleelliset tuotestandardit

### 3.2.1 CE merkintä

CE-merkintä on valmistajan vakuutus siitä, että tuotteen ominaisuudet täyttävät Euroopan unionin komission sen tuoteryhmälle asettamat turvallisuus-, terveys- ja ympäristövaatimukset ja merkitty tuote kelpaa Euroopan talousalueen sisämarkkinoille.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:O 305/2011, rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta. **Euroopan komissio**. 2011, Euroopan unionin virallinen lehti.

Tuotteen suoritusasoilmoitus antaa suunnittelijoille ja kuluttajille tietoa tuotteen ominaisuuksista vertailukelpoisessa muodossa, jota voidaan käyttää vertaillessa tuotetta muihin tuoteryhmän vastaaviin tuotteisiin, joille ollaan määritetty suoritusasoilmoitus.

CE-merkintä on pakollinen rakennustuotteille, joille on laadittu harmonisoitu tuotestandardi. Mikäli tuotteelle ei ole sovellettavaa harmonisoitua tuotestandardia voi valmistaja kuitenkin hankkia CE-merkinnän eurooppalaisen teknisen arvioinnin avulla.<sup>1</sup>

Poikkeuksena CE-merkinnän pakollisuudesta vapautettuja rakennustuotteita ovat yksilöllisesti, mittatilaustyönä tietyille tarkoitukselle tai pelkästään perinteisiä virallisesti suojattuja työskentelytapoja (perinteet ja vanhat työskentelytavat) käyttäen valmistetut rakennustuotteet.

Harmonisoidussa standardissa luetellaan rakennustuotteen perusominaisuuksia, jotka oleellisesti vaikuttavat tuotteen käyttöön rakennustuotteena. Perusominaisuuksien määrittämiseen on standardissa myös annettu käytettävät standardit, joiden puitteissa perusarvojen mittausta ja määrittäminen menetelmät ovat samat eri tuotteiden välillä.

Lisäksi ennen CE-merkintää joidenkin rakennustuotteiden tulee olla myös muiden EU:n direktiivien tai asetusten, kuten konedirektiivin ja pienjännitedirektiivin mukaisia. Valmistajan on varmistettava näiden vaatimusten täyttymisestä.

Kevytkiviainestuotteen raaka-aineena käytetään erilaisia tuhkia. Tämä kuuluu Valtioneuvoston maarakennusasetuksen soveltamisalaan kuuluviin jätteisiin ja asetuksen mukaisesti hyödynnettäessä ei tarvitse ympäristölupaa ympäristösuojelulain 32 §:n 2 momentin mukaisesti.

Harmonisoidusta tuotestandardista selviää myös tuotteen suoritusason pysyvyyden arviointi ja varmentaminen (Assessment and verification of constancy of performance, AVCP), joka vastaa tuotteen valmistamisen aikaisesta sekä valmiin tuotteen laadunvalvonnasta sekä suoritusaso. Riippuen AVCP-luokasta valmistajan tulee ottaa yhteys sopivaan EU:n jäsenvaltioiden toimivaltaisten viranomaisten nimeämään ja Euroopan komission ylläpitämään NANDO-tietojärjestelmään (New Approach Notified and Designated Organisations) vietyyn arviointilaitokseen eli ilmoitettuun laitokseen (Notified Body, NB). Suomessa ilmoitetuista laitoksista vastaavat Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto (Valvira), Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) sekä ympäristöministeriö.

AVCP-luokissa 1 ja 1+ ilmoitettu laitos antaa tuotteelle suoritusason varmentamistodistuksen. AVCP-luokassa 2+ ilmoitettu laitos varmentaa tuotetta valmistavan tehtaan laadunvalvonnan ja antaa laadunvalvonnan varmentamistodistuksen. AVCP-luokassa 3 ilmoitetun laitoksen laboratorio



suorittaa tuotteen alkutestauksen. AVCP-luokassa 4 ilmoitettua laitosta ei tarvita vaan valmistaja itse voi suorittaa alkutestauksen ja laadunvalvontansa varmistamisen.

Suoritustasoilmoituksen laadinnan jälkeen tuotteeseen, tuote-etikettiin, pakkaukseen ja/tai dokumentointiin kiinnitetään CE-merkintä harmonisoidun standardin ZA-liitteen merkintäohjeiden mukaisesti.

### 3.2.2 Toimenpiteet CE-merkinnän saamiseksi

Haettaessa tuotteelle CE-merkintää seurataan seuraavaa CEN-menettelyä:

1. Tuotetta koskevien vaatimusten selvittäminen.
2. Täyttääkö tuote asetetut vaatimukset.
3. Tuleeko ilmoitetun laitoksen tarkastaa testattava tuote.
4. Tuotteen testaaminen.
5. Teknisen asiakirjan laadinta.
6. CE-merkinnän lisääminen tuotteeseen ja vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laadinta.

Mikäli tuotteelle ei ole sovellettavaa harmonisoitua standardia on CE-merkin käyttö vapaaehtoista. Tuotteelle voidaan vapaaehtoisen teknillisen arvioinnin (EOTA-menettely) myötä pyytää vastaavaa ilmoitettua laitosta arvioimaan tuotteen CE-merkintää varten.

### 3.2.3 Sovellettavat standardit

Tutkimuksessa selvitettiin tuotteen CE-merkintään soveltuvia harmonisoituja tuotestandardeja ja näiden antamia tuotevaatimuksia. Lähemmin tutkittiin seuraavia Suomen Standardisoimisliitto SFS ry online-tietokannassa seuraavia tuotestandardeja:

- SFS-EN 450-1 Betoniin käytettävä lentotuhka
- SFS-EN 13043 Kiviainekset teiden, lentokenttien ja muiden liikennöityjen alueiden asfalttimassoihin ja pintauksiin.
- SFS-EN 13055 Kevytkiviainekset.
- SFS-EN 13139 Laastikiviainekset.
- SFS-EN 13242 Maa- ja vesirakentamisessa ja tierakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset.
- SFS-EN 14063-1 Lämmöneristemateriaalit ja -tuotteet. Paikalla tehdyt kevytsoratuotteet.

Selvitystyössä keskityttiin standardin SFS-EN 13055 antamien vaatimusten selvittämiseen. Vaatimukset on lueteltu liitteessä.

### 3.2.4 Määritetyt oleelliset ominaisuudet

*Taulukko 12. Rakeen oleelliset ominaisuudet*

Suure	Standardi	Tulos
Irtotiheys	SFS-EN 13055	min. 800 kg/m <sup>3</sup> max. 1400 kg/m <sup>3</sup>
Rakeisuus	SFS-EN 13055	2 – 32 mm
Vedenimukyky	SFS-EN 13055	10 – 15 p%
Kantavuus/puristuslujuus	SFS-EN 13055 *	1 – 3 MPa

\*Soveltaen – Kantavuus voidaan mallintaa puristuslujuudesta esim.<sup>2</sup> esitetyllä tavalla.

Oleellisten ominaisuuksien osalta kevytrae täyttää SFS-EN 13055 vaatimukset.

---

<sup>2</sup> Tarkkio, T. 2014 Tampereen Yliopisto, Diplomityö Lentotuhkan pitkäaikaistoimivuus teiden ja kenttien päällysrakenteissa

#### 4 Yhteenveto

Pilotajon perusteella voidaan todeta tuotantomenetelmän soveltuvan kevytkiviaineen valmistukseen. Ongelmana on toistaiseksi raaka-aineiden tasaisen syöttönopeuden ja kuljetuksen varmistaminen. Nyt suoritettun ajon perusteella kaikista testatuista tuhkatyypeistä on mahdollista valmistaa A) kevytbetonia tai B) kevytkiviainesmursketta, joka pääpiirteittäin täyttää kevytkiviainesstandardin suorituskykyvaatimukset ja jonka adsorptio-ominaisuudet ovat parempia kuin luonnonkiviaineeksi.

CE-merkinnän vaatimukset tuotteelle (kevytkiviaines) selvitettiin ja todettiin alustavien laboratoriokokeiden perusteella tuotteen täyttävän merkinnän olennaiset tekniset vaatimukset (lujuus, kulutuskestävyys). Tuotantokustannuksiltaan tuote on kohtuullinen, kriittinen tekijä on sekä teknisen että taloudellisen kannattavuuden osalta tuhka ja sen saatavuus.

## LIITTEET

---

### 1 Menetelmät

#### 40 kilon putzmeister vaahdotuslaitteisto ja menetelmä

Esitestien laitteisto. Laitteisto koostuu tasosekoittajasta, jonka alla on kuljetinruuvi, joka siirtää massan letkuun. Letkusta massa puristuu ulos. Esitesteissä kuivat aineet, aktivaattorit ja vesi sekoitetaan keskenään taso sekoittimessa. Kun massalla on haluttu juoksevuus, sekoitetaan tähän erillisellä vaahtogeneraattorilla tehty vaahto. Vaahdon määrää voidaan kontrolloida säätelämällä vaahdon syötön määrää.

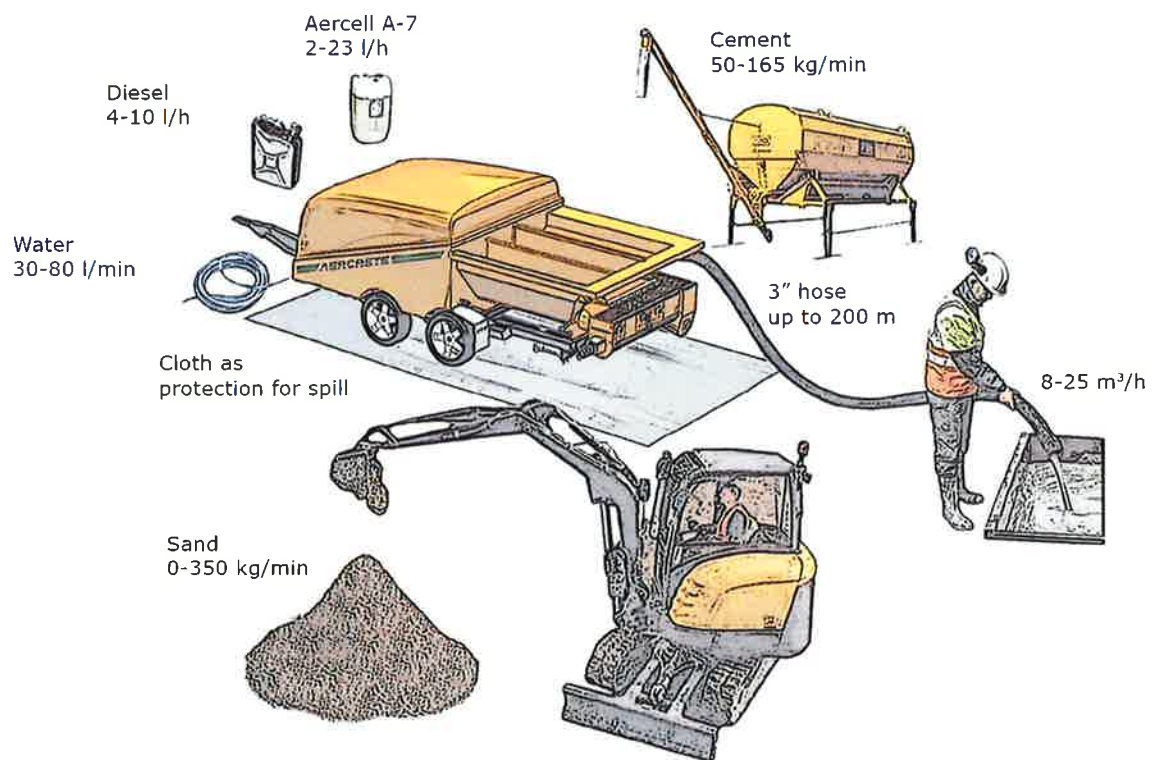
Menetelmä	Tarkoitus
Putzmeister	Vaahtomassan valmistus
Vaaka (1-100 kg)	Materiaalien punnitus
Vaaka (1-3000 g)	Aktivaattorien punnitus
Mitta-astia (1l)	Tiheyden määrittäminen
Lämpömittari	Lämmönkehityksen seuraaminen

Aercrete 25 m<sup>3</sup>/h tuotantolaitteisto

Pilot tuotantoa varten vuokrattiin oheisen kuvan esittämä laitteisto. Kyseessä on liikuteltava tehdas vaahtobetonin tuotantoa varten.



Kuva 1. Aercrete 625<sup>3</sup>



Kuva 2. Aercrete 625 tuotantokaavio<sup>4</sup>

<sup>3</sup> [http://aercrete.se/wp-content/uploads/Info\\_ENG\\_web.pdf](http://aercrete.se/wp-content/uploads/Info_ENG_web.pdf) (10.9.2018)

<sup>4</sup> [http://aercrete.se/wp-content/uploads/Info\\_ENG\\_web.pdf](http://aercrete.se/wp-content/uploads/Info_ENG_web.pdf) (10.9.2018)

Alkaliniteettin määrittäminen

Määrittämisessä käytettiin valmiiksi seulottua koon 2-8 mm aggregaattia panosajoista, sekä referenssinä valmiiksi seulottua 2-8 mm luonnonkiviainesta.

Koottiin titrauslaitteisto ja lisättiin 0,1 molaarinen suolahappo (*HCl*) laitteistoon, pumpattiin suolahappo byrettiin sisälle.

Aggregaattia punnittiin 50,10 grammaa, jonka tilavuudeksi määritettiin noin 120 mL. Luonnonkivireferenssiä mitattiin noin 120 mL, jonka massa oli 172,4 g.

Aggregaatti kaadettiin suodatinpaperin päälle lasipylvääseen.

Pumpattiin vesijohtovettä aggregaatin läpi noin 500 mL 50 rpm nopeudella. Aggregaattikäsitelystä vesijohtovedestä otettiin näyte A.

Pipetoitiin 50 mL näytettä titrausastiaan A1. Lisättiin magneettisauva näytteeseen, näyte magneettisekoittajan päälle ja upotettiin elektrodi liuokseen. Luettiin pH-arvo, jonka jälkeen näyte titrattiin pH-arvoon 4,5. Luettiin suolahapon kulutus byretistä. (2)

Toistettiin titraus rinnakkaisnäytteille A2, A3, A4 ja A5.

Suoritettiin vastaava käsittely luonnonkivireferenssillä ja otettiin näyte R.

Pipetoitiin 50 mL näytettä titrausastiaan R1. Lisättiin magneettisauva näytteeseen, näyte magneettisekoittajan päälle ja upotettiin elektrodi liuokseen. Luettiin pH-arvo, jonka jälkeen näyte titrattiin pH-arvoon 4,5. Luettiin suolahapon kulutus byretistä.

Toistettiin titraus rinnakkaisnäytteille R2, R3, R4 ja R5 sekä K1 ja K2

## 2 Kevytkiviaines-standardin SFS-EN 13055 vaatimukset

### 2.1 AVCP-luokka

Tuotteen AVCP käytäntö on standardin SFS-EN 13055 määrittämänä luokan 2+ mukainen, jolloin valmistaja yhteistyössä ilmoitetun laitoksen kanssa laatii vaatimustenmukaisuustodistuksen tuotannon sisäisestä laadunvalvonnasta.

### 2.2 Tuotevaatimukset

Standardin SFS-EN 13055 perusteella selvitetiin tuotteelle asetetut perusvaatimukset ja näiden määrittämiseksi määrätty testausmenetelmästandardit.

Selvitettävät ominaisuudet käsittelevät pääasiassa tuotteen geometriaa, kestävyyttä erilaisissa fysikaalisissa olosuhteissa sekä tuotteen kemiallista rakennetta.

Valmistajan voi päättää olla ilmoittamatta tiettyjä perusominaisuuksia, jos asiakkaat eivät näitä vaadi tuotearviointissa. Ilmoittamatta jätetyt perusominaisuudet ilmoitetaan lyhenteellä NPD (No Performance Determined, ei määritettyä suoritustasoa).

#### 2.2.1 Tiheys

Selvitetään kuivatun kevytkiviaineoksen kuivairtotiheys sekä kiintotiheys, eli jätetään huomioimatta rakeiden huokokset ja välitila tiheydessä.

#### 2.2.2 Kiviaineoksen raekoko

Selvitetään kevytkiviaineoksen ja nimetään tuote minimi- ja maksimiraekokojen mukaan muodossa d/D.

#### 2.2.3 Rakeisuus

Kevytkiviaineeksentuote nimetään raekoon mukaan, joka selvitetään seulomalla seulasarjalla. Seulojen silmäkoko pienenee ylhäältä alaspäin, jolloin ylimpään seulaan kaadettu jakaantuu suurimmasta raekoosta pienimpään näytteen jakaantuessa seuloille. Seuloille jäänyt materiaali punnitaan ja tuloksista laaditaan kiviaineoksen massakäyrä.

#### 2.2.4 Hienoaines

Rakeisuustestissä 0,063 mm seulalle jääneen hienokiviaineoksen osuus.

#### 2.2.5 Kevytkiviainesfillerin rakeisuus

Kevytkiviaineoksen hienoaineoksen rakeisuus selvitetään ilmasuihkuseulonnalla.



#### 2.2.6 Raemuoto

Kuvaillaan kevytkiviaineksen yksittäisen rakeen geometrista muotoa, joka voi olla esimerkiksi pyöristynyt, pyörösärmikäs, särmikäs tai suomumainen. Raemuoto vaikuttaa muun muassa kiviaineksen tiivistymiseen ja tyhjätilan määrään.

#### 2.2.7 Kosteuspitoisuus

Kevytkiviaineksen sisältämän kosteuden määrä. Kosteuspitoisuus vaikuttaa muun muassa kantavuuteen ja täten esimerkiksi tienpäällysteiden vakauteen.

#### 2.2.8 Vedenimeytyminen

Kevytkiviaineksen kyky sitoa itseensä kosteutta vaikuttaa oleellisesti kiviaineksen kosteuspitoisuuden ja täten käyttöominaisuuksien muutoksiin.

#### 2.2.9 Murskautuvuus

Kevytkiviaineksen murskauskestävyys selvitetään mittaamalla hydraulipuristimen männän tietylle syvyydelle saattamisen tarvitsema työntövoima.

#### 2.2.10 Murskautuneiden rakeiden osuus

Kevytkiviaineksessa olevien murskautuneiden rakeiden osuus.

#### 2.2.11 Hienontumiskestävyys

Kevytkiviaineksen kestävyys kovaa kuumuutta ja painetta kohtaan.

#### 2.2.12 Jäädytys-sulavuuskestävyys

Kevytkiviaineksen jäätymis-sulavuuskestävyys on oleellinen asfalttipintojen säilyvyyden ja reikiintymisvaurioitumisen kannalta. Alhaisen kestävyuden kiviaines aiheuttaa asfalttipäällystekerroksen löystymistä ja irtautumista.

Kestävyyskykyä mitataan käyttäen toistuvaa jäätymis-sulamisrasittamista jäädyttäen näytteitä ilmalla ja sulattaen vedessä 20 toiston verran, jonka jälkeen näyte seulotaan ja punnituksen jälkeen lasketaan massahäviöprosentti.

#### 2.2.13 Vedenimeytymiskorkeus

Kevytkiviaineksen vedenimukyky vaikuttaa kosteuspitoisuuden muutoksiin rakentamisen jälkeen. Vedenimukyky lasketaan mittaamalla kiviaineksen pystysuorassa sylinterissä alaosastaan imemän vedenpinnankorkeus. Lisäksi mitataan kosteusmäärän muuttuminen pylväskorkeuden funktiona ja hygroskooppinen vedenimukyky eli kyky sitoa ilmankosteutta itseensä.

#### 2.2.14 Tiivistyminen ja kuormituskestävyys

Kevytkiviaineksen kestävyys yhtenäisesti jatkuvan puristusvoiman alaisena.



#### 2.2.15 Syklisen puristumiskuormituksen kestävyys

Kevytkiviaineksen kimmoisuuskäyttäytyminen ja sen muutos useita kertoja toistuvan puristusvoiman alaisena.

#### 2.2.16 Jäykistävät ominaisuudet

Kevytkiviaineksen jäykistämisominaisuudet käytettäessä asfalttimassaseoksissa antamaan päällysteille kestävyttä lämpötilasta johtuvaan pehmentymiseen.

Rengas-kuula testillä bituminnäytteen ja bitumi-kevytkiviainesseosnäytteen välistä pehmenemispisteen muutosta vertaillaan näytteiden päälle asetetun testilaitteiston teräskuulalla. Näytteitä lämmitettäessä teräskuula painautuu näytteeseen ja vertailemalla painautumislämpötiloja saadaan kiviaineksen seosta jäykistävä ominaisuus.

#### 2.2.17 Kuivan tiivistetyn kevytkiviainesfillerin tyhjätila

Kevytkiviaineksen hienoainesnäytteen kuiva tyhjätilalla tarkoitetaan tilavuuden osaa missä ei ole kiviainesta vaan se on ilman täyttämä. Tyhjätila mitataan Rigden-laitetta käyttäen. Laitteen sylinteriin asetettu näyte tiivistetään sata kertaa vapaa putoavalla männällä ja tiivistyneen näytteen korkeuden muutoksesta lasketaan hienoaineksen sisältämä tyhjätila.

#### 2.2.18 Kuumuudenkestävyys

Kevytkiviaineksen altistaminen 700 °C lämpöshokille ja iskunkestävyyden muutoksen vertailu lämpökäsittelmättömään kevytkiviainekseen. Tämä ominaisuus on oleellinen esimerkiksi asfalttipäällysteitä tehtäessä.

#### 2.2.19 Kiillottuvuuskestävyys

Mitataan kevytkiviaineksen soveltuvuus tienpintamateriaaliksi simuloimalla ajoneuvojen renkaiden aiheuttaman karkean kiviaineksen kiillottumisen. Tuotetta kiillotetaan pikakiillotuskoneella ja siitä mitataan kitka-arvon muuttuminen.

#### 2.2.20 Kevytkiviaineksen nastarengaskulutuskestävyys pintauksissa

Pohjoismaista talviolosuhteiden tieliikenteessä käytettävien nastarenkaiden aiheuttamaa kulumaa simuloiva kuulamylymittaus.

#### 2.2.21 Kevytkiviaineksen ja bitumin yhteensopivuus

Kevytkiviaineksia käytetään antamaan bitumipäällysteille tukevuutta ja toimimaan tartukeena. Kevytkiviaineksen eri ominaisuudet yhdessä vaikuttavat tuotteen soveltuvuuteen bitumipäällysteseosten käytettävyyteen. Lisäksi voidaan vertailla kosteuden ja lisäaineiden vaikutusta päällysteseoksen sitoutumiseen.

#### 2.2.22 Iskunkestävyys

Kevytkiviaineksen iskunkestävyys tarkoittaa kestävyyttä törmäyksiä kohtaan. Kestävyyttä mitataan käyttäen Los Angeles –kuulamylyä. Myllyä pyöritettäessä kevytkiviainenäyte iskeytyy teräskuulien kanssa sylinterin sisäpinnalla oleviin seinärakennelmiin.

#### 2.2.23 Kuluvuuskestävyys

Tuotteen kuluvuuskestävyys tarkoittaa kestävyyttä yhtenäisesti jatkuvaa kulutusvoimaa kohtaan. Kestävyyttä mitataan käyttäen micro-Deval-kuulamylyä, jossa tuotenäytettä pyöritetään sylinterissä teräskuulien kanssa.

#### 2.2.24 Kemialliset ominaisuudet

Kevytkiviaineksen koostumuksesta selvitetään muun muassa vesiliukoisuus ja vesiliukoiset ainesosat, kloridipitoisuus, rikkiyhdisteiden osuus happoliukoisena sulfaattina sekä kokonaisrikkipitoisuutena, kevytkiviaineksen hehkutushäviö eli palavien ainesosien osuus sekä orgaanisten epäpuhtauksien määrä ja laatu. Lisäksi luonnollisille kiviaineksille selvitetään niiden alkali-silikareaktiivisuus.

#### 2.2.25 Vaaralliset ainesosat

Suoritustasoilmoitukseen merkitään sisältääkö kevytkiviaines ihmisille tai ympäristölle vaarallisia ainesosia. Erityisesti tulisi tiedottaa mikäli tuote sisältää REACH-asetuksen liitteen XIV tai Euroopan kemikaaliviraston perustamisasetuksen (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1907/2016) 31 ja 33 artiklan luetteloissa sisällytettäviä aineita.

#### 2.2.26 Lämmönjohtavuus

Kevytkiviaineksen lämmönjohtokyky määrittää tuotteen käytettävyyttä lämmöneristysrakenteissa. Lämmönjohtokykyä mitataan käyttäen kuumalevylaitetta (Guarded Hot Plate, GHP) ja lämpövirtalevylaitetta (Heat Flow Meter, HFM).