

# Vanadiinilaitoksella syntyvän sakan hyötykäyttömahdollisuudet

Valter Wigren

Renotech R&D, Smart Chemistry Park, Finland.

Corresponding Author. E-mail: [valter@renotech.fi](mailto:valter@renotech.fi); Tel: (+358405208402)

## Tiivistelmä

Critical Metals Oy:n suunnittelema teräskuonan käsittelytehdas tulee ympäristöluvan mukaan tuottamaan vuodessa n. 415 000 t hienojakoista sivutuotetta (SSM). Tässä selvityksessä eritellään SSM tuotteen mahdollisia jatkokäyttökohteita. Täysin vastaavaa tuotetta ei ole olemassa, koska hyödyntämisprosessi on uusi. Tämä aiheuttaa regulatiivisia ongelmia jättemateriaalin hyväksymiseksi sivutuotteeksi, sillä viranomaisella ei ole käytössään kattavaa tausta-aineistoa vastaavasta materiaalista. Tuotteen käytölle suurimmat nähtävissä olevat ongelmat aiheutuvatkin juuri luvista ja säädöksistä. Teknisesti SSM on hyödynnettävissä betoni-, laasti- että asfalttisovelluksissa, mutta on otettava huomioon, että uusien seosaineiden hyväksyntä kyseisiin käyttökohteisiin vie tyypillisesti vähintään 10 vuotta. Lisäksi SSM käyttöön näissä sovelluksissa liittyy edelleen uhkia liittyen mm. V ja Cr liukoisuuteen. Tässä selvityksessä on aiemmin mainittujen syiden johdosta selvitetty myös vähemmän säädetyjä sovelluskohteita mm. infra- ja kaivoskäytössä. Varsinkin SSM:n sisältämän kalsiitin käyttö enenevissä määrin ongelmia aiheuttavaan sulfidisaven ja happamien maiden käsittelyyn vaikuttaa potentiaaliselta hyödyntämiskohteelta.

Asiasanat: Vanadiinilaitos, SSM, hyötykäyttö

## Potential Utilization possibilities for Critical Metals SSM (Executive summary)

### Introduction

Critical metals Inc. is planning to build a vanadium recovery plant utilizing 100% of steel slags as raw materials. The production aims to utilize approx. 400 000 t/a of steel slag. However simultaneously 410 000 t dry/a of SSM (solid residues) is produced. The SSM is characterized by very fine particle size (7 – 10 µm) and high in calcite (CaCO<sub>3</sub> 50 + %). Similar type of materials have been traditionally as fillers mainly by the cement and concrete industry. Some risks are associated with the higher than normal content of toxic metals such as V and Cr in the SSM. This report reviews some of the possibilities and risks associated with the potential utilization of the SSM.

### Technical properties and applications

Most cement types as characterized in for example the European standard EN-197 utilize variable contents on fine powdered limestone. Similarly concrete standards allow the use of fine limestone powders as fillers in concrete. The very fine constituents (as specified in EN-197) are typically mixed with cement directly after or simultaneously with cement grinding to achieve desirable effects. For coarser materials in concrete (sand, filler and gravel) materials are mixed with water. Many technical papers agree that materials ground to same fineness as cement enhance the properties of the resultant mortar or concrete. As the SSM is readily ground to near cement fineness, similar effects can be expected. The main technical issue foreseen is the mixing procedure as most (if not all) concrete plants only have the capability to handle dry materials (cement or aggregates). The SCM as is contains 30 % of moisture and needs to be dried and reground to powder for use in concrete applications. The same logic applies for other concrete related industries such as the plaster industry and the production of asphalt.

Besides concrete industry there are very few other industries that utilize similar amounts of materials per annum. Here we provide some insight in 2 potential application areas. These applications utilize the potential acid neutralization potential of the SSM. One such application is the treatment of acidic mining waters of the type which are present in most mines utilizing sulfidic rocks as the main ore. The different chemical treatments of ore utilize vast amounts of circulating waters which need to be at some point neutralized. Typical chemicals used for neutralization or pH adjustment are limestone, quicklime, and sodium hydroxide. For example, it is estimated that the Terrafame mine located in northern Finland utilizes approximately 170 000 – 180 000 t of calcite as neutralization agent. Based on the calcite content of SSM the use could be in the range of 350 000 to 400 000 t/a. However, it is stressed that use of the SSM as neutralizing agent needs to be studied more.

Other potential application suited for the SSM could be in the treatment and neutralization of acid sulphate soils (ASS). The coast of Finland and neighboring areas are enriched with this soil type. Without treatment the soil upon excavation releases sulfuric acid which in turn releases toxic metals from the surrounding soils leading to many potential environmental hazards. Many types of secondary limes have been successfully applied as neutralizing/stabilization agents for ASS. The potential for ASS in Finland in many millions of cubic meters. The amount of calcite is variable but is estimated between 20 – 50 kg/m<sup>3</sup>.

### **Regulative boundaries**

Cement and concrete and construction are heavily regulated areas of industries. National standards and norms dictate amounts and technical specifications for every constituent in concrete. First and foremost, all constituents need to be CE marked. The minimum time for a new type of constituent to be approved in concrete is approximately 10 years. It is highly unlikely that SSM will be approved in European wide standards given the limited time the material is available. The alternative way for approval of use in construction is through the ETA/EAD process where a material lacking international standards can be approved.

From a regulative perspective the issue with SSM is that it is produced in a unique way leaving the authorities at a loss for references for approvals on similar materials. Here we looked for utilization routes that do not necessarily require the fulfillment of the requirements of either CE or REACH. Waste materials can be used in infrastructure and soil treatment applications provided they meet a certain environmental criterion. If SSM can be treated in such a way that it meets the specifications in MARA specification (843/2017) the most potential readily utilizable application would be the treatment of AAS as described above.

## SISÄLTÖ

1	Johdanto ja tavoitteet.....	6
1.1	Vastaavat materiaalit .....	7
1.2	Vanadiinitehtaan sivuvirrat .....	8
1.3	Haasteita .....	9
2	Asfalttifillerit.....	10
2.1	Fysikaaliset vaatimukset materiaalin käytölle.....	10
2.2	Muut vastaavat materiaalit .....	11
2.3	Päätelmät .....	11
3	Maanrakennus ja infrakohteet .....	11
3.1	Johdanto.....	11
3.2	Hyötykäyttöesimerkkejä.....	13
3.3	Happamat maat.....	13
4	Käyttö Betonissa.....	15
4.1	Johdanto.....	15
4.2	Tekniset ominaisuudet.....	16
4.3	Hyväksyntä ja käyttö .....	18
5	Laastiteollisuus.....	19
6	Kaivosteollisuus .....	20
7	Yhteenvedo.....	21

## 1 Johdanto ja tavoitteet

Kriittisiä metalleja voidaan ottaa talteen muun metallinjalostuksen sivutuotteena syntyvästä kuonasta, mutta prosessissa syntyy sivutuotteena aina uutta kuonaa. Kuonalle on löydettävä hyötykäyttökohteita läjityksen sijaan, jotta prosessista voisi tulla kiertotalouden periaatteiden mukaista ja kannattavaa. Hyvänä esimerkkinä tällaisesta kriittisten metallien kierrätysprosessista on Poriin suunniteilla oleva vanadiinin kierrätyslaitos. Laitoksen prosessin sivuvirtana syntyy enemmän kuonaa/sakkaa, kuin mitä laitos alun perin prosessissaan hyödyntää. Syntyvälle kuonalle on esitetty useita vaihtoehtoisia hyödyntämistapoja. Jokaiseen hyödyntämistapaan liittyy kuitenkin teknisiä, taloudellisia ja/tai lainsäädännöllisiä haasteita. Näiden haasteiden ymmärtäminen on avainasemassa, kun pohditaan metallien tulevaisuuden kierrätysmahdollisuuksia erilaisista sivuvirroista. Tässä raportissa tarkastellaan vanadiinitehtaalla syntyvän kuonan hyötykäyttömahdollisuuksia, niihin liittyviä etuja ja haasteita. Raportti on tuotettu Satakuntaliiton rahoittamassa Kriittisten metallien koetehdaskonsepti-hankkeessa.

**Taulukko 1. Potentiaalisia hyötykäyttökohteita (Renotech 2021)**

Kohde	Edut	Haasteet
Asfalttifillerit ja kiviaineet	Volyymit ovat oikeaa kokoluokkaa Vastaavanlaisia on hyväksytetty (esim. lentotuhka)	Kosteus Logistiikka Normit ja standardit
Maanrakennuskohteet - Stabilointi - Maavallit - Kiviainekset	Volyymit ovat mahdollisia	Kosteus Käsittely Normit ja standardit Arvo?
Betoni -Ei kantavat rakenteet	Hyvät esikokeiden tulokset Kalkkifillerien hyvät kokemukset	Ei tulossa standardeihin Vain ei kantavat rakenteet (Pihakivet yms.)
Laastituotannon raaka-aineet	Volyymit mahdollisesti useita tuhansia tonneja	Kosteus Laatu ja toimivuus testattava
Kaivosteollisuus/Vesien käsittely	Happamien vesien neutralisointi, volyymipotentiali Annostelu lietteenä	Sakkojen määrä Logistiikka

## 1.1 Vastaavat materiaalit

Tätä selvitystä varten Renotech Oy kerännyt muutamia vastaavia teollisuusperäisiä sivuvirtoja, joiden erilaisissa tuotteistamisprosesseissa on ollut mukana.

**Taulukko 2. Muut jätemateriaalit ja niiden hyötykäyttö (Renotech 2021)**

Materiaali	Tuotteissa	Syntyy t/a	Käyttö t/a	Haasteet ja jatko
Puu ja sekapolton tuhkat	Metsälannoitteet Rajallisesti infratuotteet	500 000	100 000	Rajattu määrä sivutuote / End of Waste merkitty Koostumus riippuu polttoaineesta
Hiilen lentotuhka	Betoni Asfaltti Infrarakentaminen	300 000	20 000	Voimalat suljetaan 2025 – 2030 mennessä
Jätteenpolton kuona	Rajallisesti uusiokivi	500 000	10 000	Edelleen jäte / Ei end of waste statusta
Metsäteollisuuden kalkit	Rajallisesti lannoitteet Rajallisesti kemikaalituotannossa	100 000	10 000	Hyvin rajallisesti hyväksytty lannoitekäyttö / kemikaalikäyttö
JV kuona (SSAB) Vrt koostumus (metallien suhteen)	Maanparannus	300 000	40 000	2010 luvulla hyväksytty maan kalkitukseen, kokonaismäärästä n. 10 %

Suurimmat haasteet yllä mainittujen sivuvirtojen (tai jätteiden, riippuen lainsäädäntöstatuksesta) kohdalla ovat olleet samat kuin nyt tarkastelussa olevan materiaalin. Periaatteessa kaikki yllä olevat materiaalit ovat esim. hienojakoisia eikä niissä ole mainittavia määriä liukoisia yhdisteitä, jotka estäisivät käytön esim. betoniteollisuudessa.

Laajamittaisen käytön on suurimmassa osassa tapauksissa estänyt regulaatio sekä tarpeeksi suurien (rahallisten) insentiivien puute loppukäyttäjille.

Tässä selvityksessä käydään tästä huolimatta rajattuna läpi useita volyymiltään sopivia hyötykäyttökohteita kyseiselle sivuvirralle. Markkinat ovat kehittymässä kestävämpään suuntaan ja kyseisen materiaalin vahvuutena nähdään nimenomaan sen hiilinielu ominaisuus, jokaista kuivatonna kohden on materiaalin synnyttämisessä käytetty n. 220 kg hiilidioksidia. Materiaalin syntyvaiheen hiilidioksidijalanjälkin on siis negatiivinen.

## 1.2 Vanadiinitehtaan sivuvirrat

YVA hakemuksen ja muiden tietojen (spostikirjeenvaihto) todetaan, että Poriin suunniteltu vanadiinilaitos tuottaa huomattavia määriä kiinteitä sivuvirtoja. Massamäärältään suurin on teräskuonajae, josta vanadiini on erotettu. Prosessi on oleellisesti alkalinen pesu / ja mekaaninen jauhatusprosessi, jonka aikana käsiteltävä materiaali hienonee ja samalla sen mineraloginen koostumus muuttuu. Tarkemmasta mineralogiasta ei ole tällä hetkellä tietoa, mutta YVA selostuksen tietojen perusteella massa sisältää:

- vettä 30 p%
- CaCO<sub>3</sub> n. 35 %
- Silikaattijae/rautajae 35 %

Yht: 100 %

Vuotuinen massamäärä on nykyisten tietojen perusteella 300 000 – 500 000 t/a. Kuiva-aineksesta n. 30% on hienojakoista kalsiittia (CaCO<sub>3</sub>) ja loppu on silikaattia. Prosessissa käsiteltävä raaka-aine on teräskuonaa, joka on kalkkirikasta silikaattia (2CaO\*SiO<sub>2</sub>). Näin ollen voidaan olettaa, että jakeen mineralogia on kalsiitin ja osittain tai täysin hajonneen disilikaatin seos.

Prosessi on YVA tietojen mukaan eräänlainen jatkuva jauhatusprosessi, jolloin syntyvän massan raekoko on **hyvin pieni, esitietojen mukaan alle 10 µm 100 %**

Tiedossa olevan alkuainekoostumuksen perusteella mallinnettu kidekoostumus:

- 55 % CaCO<sub>3</sub>
- 14 % MgCO<sub>3</sub>
- 16 % FeO
- 8 % SiO<sub>2</sub>
- 7 % Unknown



Osa kalsiumista ja piistä voi olla myös amorfisessa/lasimaisessa muodossa, jolloin kalsiitin määrä hieman tippuu.

Alkuainekoostumuksen pohjalta sivuvirroissa yleensä huolta-aiheuttavat raskasmetallit ja niiden pitoisuudet ovat tuotteessa hyvin alhaisia. Ainoastaan kromia (Cr) ja Vanadiinia (V) ja Titaania (Ti) esiintyy jakeessa yli 100 ppm. Prosessikuvauksen perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että nämä ovat hyvin tiukasti sitoutuneena silikaattimatriisiin eivätkä ole lainkaan liukoisia.

### 1.3 Haasteita

#### Vesipitoisuus

Hyötykäytön näkökulmasta materiaalin suurin haaste tulee olemaan sen kohtuullisen korkea vesipitoisuus (30 %) sekä huomattavan suuret tuotantomäärät. Mineraalisia tuotteita käytetään n. 500 000 t/a vuodessa vain rakennusmateriaali- ja kaivosteollisuudessa sekä infrarakentamisen kohteissa. Näiden alojen käyttämien materiaalien vuotuinen kokonaismäärä on hyvin suuri. Tästä syystä minkään materiaalin yksikkökustannus ei ole kovin korkea. Hyötykäyttöä ajatellen tämä tuottaa erilaisia ongelmia.

Kiviainesten hinnat rakennusmateriaaleissa vaihtelevat 3–50 eur/t luokassa. Kaivosteollisuudessa käytettävien esim. kalkkikiven hinta on luokkaa 50 eur/t. Hyötykäyttöä ajatellen syntyvä sakka on joka tapauksessa kuivattava ennen käyttöä. Kuivauksen (n. 0 % vapaata vettä) energiatarve on melko suuri veden suuren ominaislämpökapasiteetin takia. Kuivauksen omakustannehinta tulee pelkästään energian hinnalla arvioituna olemaan luokkaa 10-15 eur /t.

#### Logistiikka

Yllä olevan kuivauskustannuksen lisäksi oman kustannushaasteensa luo materiaalin logistiikka. Kuivan pulverin siirto vaatii tankkiautoja yms. erikoiskalustoa. Lisäksi vastaanottavalla käsittely/tai käyttöpaikalla tulee olla vastaanottosiiloja. Pulverien logistiikka on analoginen esimerkiksi sementtiteollisuuden vaatiman kuljetusinfraan kanssa. Renotech on aiemmin selvittänyt mm. tuhkatuotteiden kuljetuslogistiikkaa. Ilman erityiskalustoa kuivatuotteen siirrot voidaan arvioida olevan luokkaa 10 eur/t/100km.

Yllä olevat kustannuspaineet huomioiden käyttökohteen ei siis tulisi sijaita yli 200–300 km syntypaikasta. Tämä rajoittaa mahdollisen hyötykäytön eteläsuomen alueelle ainakin kumipyörillä laskettuna.

## Regulaatio

Materiaalin hyväksyty käyttö vaatii tyypillisesti tuotteen osana käytetyn ainesosan täyttävän joko CE merkinnän vaatimukset (tuotteelle) tai REACH asetuksen vaatimukset (kemikaalille). Suomessa on lisäksi käytössä jätemateriaalien käytön helpottamiseksi tehty jätelain erityisasetus (MARA asetus), joka sallii tietyin rajoin jätemateriaaleja käytettäväksi maanrakennuksessa. CE ja Reach merkintää varten materiaalin alkuperäinen jätestatus on poistettava. Tätä varten on olemassa eri tuotteistamispolkuja, mutta ne kaikki lähtevät ns. End of Waste menettelyllä tai vaihtoehtoisesti sivutuotemerkinnän hakemisella. On otettava huomioon, että mitä tuntemattomampi jae, sen kauemmin yo. prosessit yleensä kestävät.

## 2 Asfalttifillerit

Erään AB16 asfalttityypin koostumus on 5 % sideainetta (bitumia), 3 % filleriä ja 92 % karkeampaa kiviainesta. Asfalttipäällysteen tiheys on n.2,5 t/m<sup>3</sup><sup>1</sup>. 1 km tietä kuluu 1000 m x 8 m x 0,1 m asfalttia = 800 m<sup>3</sup> eli 2000 t/km. Tieverkkoa korjataan keskimäärin 2500–3000 km vuodessa. Tällöin asfalttipäällystettä kuluu karkean arvioin mukaan 6 000 000 t/a. Oheisen reseptin mukaan siis tästä filleriä on 180 000 t. Fillerin käyttö optimoidaan kuitenkin kunkin käytettävän massareseptin mukaan. Kaikissa massoissa ei käytetä filleriä, joten fillerin käyttömäärät jäävät tosiasiasa alemmalle tasolle.

### 2.1 Fysikaaliset vaatimukset materiaalin käytölle

Asfalttifillerien fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet on määritelty standardissa SFS EN 13043. Vanadiinilaitoksen sakasta ei ole määritetty kyseisen standardin vaatimia ominaisuuksia. Kriittisimmät parametrit tulevat olemaan:

- Tyhjä tila, jolla tarkoitetaan siis tiivistetyn materiaalin huokoisten määrää suhteessa kiintotiheyteen. Tämän tilan määrä on minimissään 44–55 til %-
- Kosteuspitoisuus, joka on standardissa määritetty **vähintään alle 1 %**.

Muita vaatimuksia ovat partikkelimuoto, vesikesto, pehmenemisluku yms. Ennen käyttöä nämä ominaisuudet on mittaautettava.

---

<sup>1</sup> Katajamäki Henna-Mari, Asfalttirouheen määrän vaikutus AB16-päällysteen ominaisuuksiin, Oulun Amk 2013.

## 2.2 Muut vastaavat materiaalit

Hyväksytyjä vastaavia sivutuotemateriaaleja ovat toistaiseksi hiilen lentotuhka, kalkkifilleri (hienojakoinen CaCO<sub>3</sub>) sekä sammutettu kalkki.<sup>2</sup>

## 2.3 Päätelmät

Materiaalimääristä päätellen käyttö asfalttifierinä on mahdollista. Käyttömäärät ovat oikeaa luokkaa. Haasteita tälle käytölle luovat jo johdannossa määritellyt seikat eli kosteus, logistiikka ja regulaatio. Potentiaalia suurimittaiselle käytölle kuitenkin löytyy. Tosin erään selvityksen mukaan ulkopuolisen fillerin käyttö massoissa vähentyy sitä mukaa, kun murskaamoilta saadaan paremmin käytettyä sisäistä hienoainesta pölynhallinnan yms. parantuessa.

# 3 Maanrakennus ja infrakohteet

## 3.1 Johdanto

Maanrakennuskohteet ovat tyypillisin mineraalisten sivuvirtojen tai jätteiden hyödyntämisalue. Kohteita ovat täyttöalueet, maavallit, tienpohjat, kenttärakenteet, kaivosympäristön kohteet sekä erilaiset kaatopaikkarakenteet. Vastaavasti kuin muissa sovelluskohteissa alaa säädellään erilaisten lakien ja asetusten kautta. Pääasiassa käytettävien materiaalien pitäisi myös maanrakennus ja infrakohteissa olla ensisijaisesti CE merkittyä. Suomessa on kuitenkin nähty hyödylliseksi edesauttaa toissijaisten maa-ainesten ja jättemateriaalien hyötykäyttöä myös muulla tavoin. MARA – asetus on jätelainsäädäntöön liittyvä erityisasetus, joka sallii tiettyjen materiaalien käytön maanrakennuskohteissa, kunhan ne on a) mainittu asetuksessa ja b) täyttävät asetuksen mukaiset fysikaaliset ja kemialliset vaatimukset. Fysikaaliset vaatimukset riippuvat aina täysin rakennettavasta rakenteesta, jolloin yleensä löydetään rakennuskerros tai osa, missä jättemateriaalilla voidaan korvata neitseellistä ainesta. Haasteet liittyvät hyvin usein kuitenkin kemiallisiin seikkoihin. Asetuksessa on tarkoin säädelty erilaiset rakennetyypit hyödynnettävälle jättemateriaalille. Rakennetyypistä riippuen säädetään hyödynnettävälle materiaalille kokonaispitoisuus ja liukoisuusrajoja, joiden tarkoitus on vähentää tai poistaa riski mahdollisten haitta-aineiden kulkeutumisesta ympäristöön. Suomessa Ramboll Oy:n ja Motiva Oy:n ylläpitämä UUMA (uusiomaa-ainekset) verkosto kerää ja ylläpitää tietoa erilaisten jättemateriaalien käytöstä maanrakennuskohteissa. Sivustoon ja sen aineistoon voi tutustua: <https://www.uusiomaarakentaminen.fi/>

<sup>2</sup> Ella Finnilä, Asfalttipäällysteiden suunnittelu, 2019 Saimaan AMK.

sivustolla. Taulukossa 3 on esitetty erilaisten jättepohjaisten materiaalien käyttöä Suomessa. Siitä voidaan päätellä, että hienoainesten käyttö on paljon rajatumpaa kuin murskeiden ja rakeisuudeltaan hiekkaa vastaavien jakeiden.

**Taulukko 3. Uusiomateriaalien ohjeistuksia ja käyttöarvioita (UUMA - sivusto)**

Materiaali	Materiaalitoimit tajan ohje	Julkisyhteisöjen laatimia ohjeita (esim. LiVi, SKTY, ...)	Materiaalin käytön aktiivisuus infra- rakentamisessa	Mukana InfraRYL:ssä (2017)
Asfalttimurske	-	X	(X)	-
Betonimurske	X	X	X	X
Tiilimurske	-	X	(X)	-
Jätteenpolton pohjakuona	-	-	-	-
Lentotuhka	X	X	(X)	- **
Pohjatuhka ja Leijupetihiekka	X	X	(X)	- **
Rikinpoiston lopputuote	-	-	-	-
Masuunihiekka	X	X	X	X
Kappalekuona, Masuuni(kuona)murske	X	X	X	X
Teräskuona ja Ferrokromikuona	X	X	X	X
Valimohiekka	-	-	-	-
Rikastushiekka *	X	-	-	-
Fosfokipsi	-	-	-	-
Heikkolaatuiset kaivumaat ja ruoppausmassat	-	X	(X)	X
Rengasrouhe (ja kokonaiset renkaat)	X	X	X	X
Kuituliete, Siistasuliete	X	-	(X)	-
Soodasakka, Viherlipesakka	-	-	-	-
Meesa	-	-	-	-
* Kalsiitti- ja wollastoniittirikastamoiden vaahdotusprosessissa kalkkikivestä jää rikastushiekkaa, joka on kemiallisesti edelleen kalkkikiveä, mutta hienoudeltaan hiekkaa. Se on todettu ympäristökelpoiseksi, ja sitä voidaan käyttää sekä maanrakennuksessa että maanparannuksessa				
** Infra ohjekortti valmisteilla (valmistunee talvella 2017-2018)				

Hienojakoista sivuvirtamateriaalia voidaan käyttää useissa eri maa ja infrarakentamisen kohteissa. Tällöin käytöllä yleensä haetaan kustannussäästöä.

### 3.2 Hyötykäyttöesimerkkejä

Tie ja liikenneviraston ohje uusioainesten hyväksikäytöstä<sup>3</sup>

Vaahtolasi

OKTO murskeet ja hiekat

Tuhkat ja muut hienoainekset (biopoltto, hiilenpoltto, rajoitetusti seospoltto)

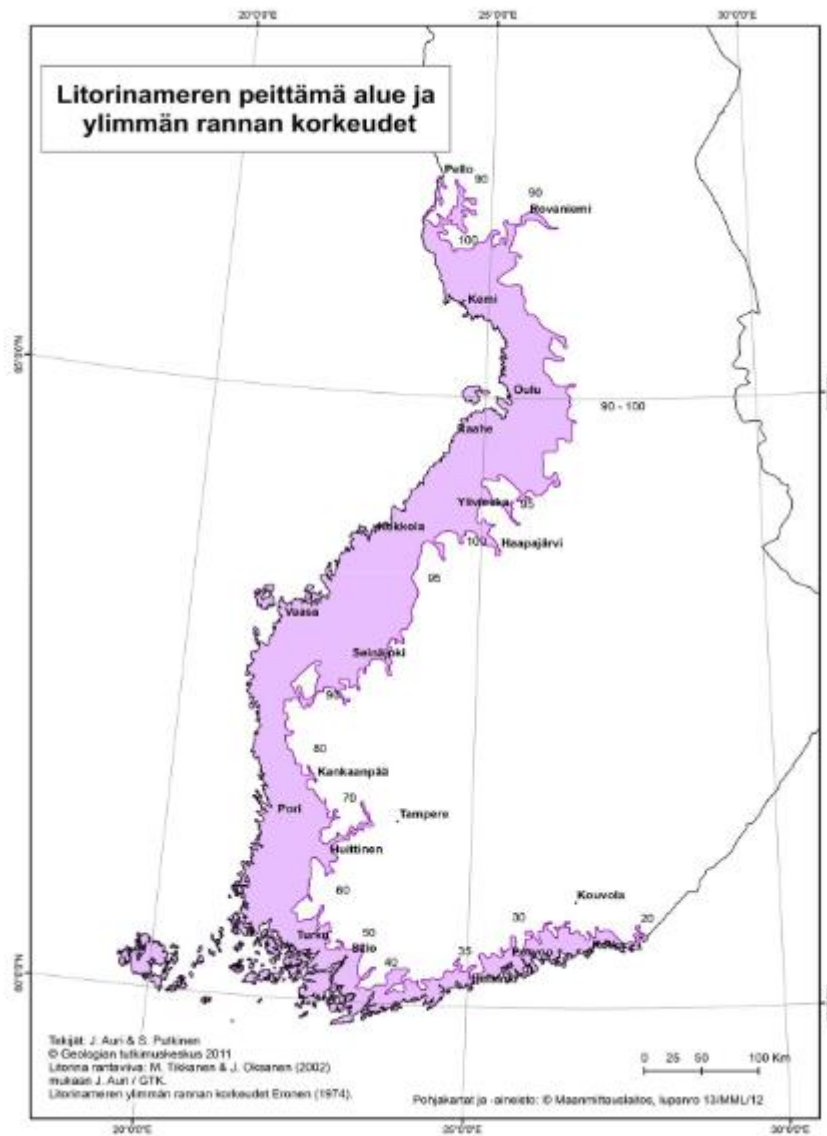
### 3.3 Happamat maat

Materiaalin kalkituspotentiaali happamien sulfidisavien käsittelyssä on kohtuullisen suuri. CaCO<sub>3</sub> pitoisuus materiaalissa on n. 50 %. Aiemmistä kokeista esim. Ramboll<sup>4</sup> tiedetään, että kalkkipitoisia sivutuotteita on käytetty onnistuneesti happamien maiden kalkituksessa. Happamat maat tuottavat maalle nostettaessa hapettuessaan nopeasti rikkihappoa, joka laskee ympäröivän maaperän pH:ta ja vapauttaa täten sedimenttiin ja maa-aineksiin sitoutuneita raskasmetalleja. Yllä mainitussa lähteessä on esitetty erinäisiä tapoja hallita tätä happamoitumista infrarakennuskohteissa. Mielenkiintoista on, että kalkitustarve on kuutiota kohden melkoisen suuri. Esim. 20–30 kg/m<sup>3</sup> puhdasta kalsiittia, joka vastaa 40–60 kg/m<sup>3</sup> vanadiinilaitoksen sivutuotetta. Sulfidisavia on kerrostuneena koko Itämeren alueelle ja tulee aiheuttamaan enenevässä määrin ongelmia erilaisissa rakennus ja maatalouskohteissa.

---

<sup>3</sup> Väyläviraston ohjeita 6/2020 UUSIOMATERIAALIEN KÄYTTÖ VÄYLÄRAKENTAMISESSA, Väylävirasto 3.2.2020 Väylä/1925/06.04.00/2019

<sup>4</sup> Tuomas Suikkanen et al. 2018, Ramboll Finland Oy. Esiselvitys happamien sulfaattimaiden kartoitusmenetelmistä ja suosituksia toimenpiteiksi infrahankeissa pääkaupunkiseudulla



Kuva 1. Sulfidisavien kerrostumat<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Tuomas Suikkanen et al. 2018, Ramboll Finland Oy. Esiselvitys happamien sulfaattimaiden kartoitusmenetelmistä ja suosituksia toimenpiteiksi infranhankeissa pääkaupunkiseudulla

## 4 Käyttö Betonissa

### 4.1 Johdanto

Sementissä (seosaineet) ja betonissa (betonissa käytettävät mineraaliset seosaineet) on määritelty standardeissa SFS EN-197 (sementtilaadut suomessa) sekä SFS EN-206 (sallitut seosaineet). Hyväksytyjä seosaineita ovat CE – merkityt mineraaliset seosaineet, kuten hieno *kalkkikivijauhe*, *hiilen lentotuhka*, *masuunikuona*, sekä silikapöly (ferroteräksen ja piin valmistuksen sivutuote). On kuitenkin otettava huomioon, että on useita betonirakenteita, joissa voidaan käyttää betonia, jolle ei ole erikseen määritelty rasisus tai lujuusluokkia. Näihin betonirakenteisiin voi käyttää muitakin seosaineita kuin normituksissa hyväksytyjä aineita. Käyttöhistoriaa löytyy mm. jätteenpolton kuonajakeista<sup>6</sup> ja teräskuonasta<sup>7</sup>. Lisäksi erilaisia betonirakenteita on sekä suomessa että ulkomailla valmistettu kaivosjakeista, rakennusjätteestä, betonimurskeesta jne.

Seosaineita käytetään betonissa yleensä, kun massalta halutaan tiettyjä ominaisuuksia. Näitä ovat:

- Parempi vedensitomiskyky
- Alhaisempi lämmöntuotto
- Parempi kemikaalinkesto
- Viimeisimpänä betonimassan alhaisempi CO<sub>2</sub> – kuorma

Kemiallisesti seosaineet toimivat tyypillisesti niin, että ne osallistuvat sementin hydrataatioon (sitoutumiseen ja lujittumiseen). Suuri osa seosaineiden reaktioista liittyy niiden hyvään kykyyn reagoida sementin reaktiosta vapautuvan kalsiumhydroksidin kanssa tuottaen lisää sitovaa geeliä ja tiiviimmän rakenteen. Hyvä lyhyt kooste löytyy betoniyhdistyksen kurssimateriaalista<sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> <https://www.erityisjate.fi/palvelut-tuotteet/scanwas-tuotteet/>

<sup>7</sup> Mattila Ismo, Opinnäytetyö Lapin AMK, Betoniblokkien valmistus FECR-kuonasta 2016.

<sup>8</sup> <http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betonilaborantti-ja-myllari-2020/1.-jakso/7.1.2020-seosaineet.pdf>

## 4.2 Tekniset ominaisuudet

### Hyödyt

Pääosa prosessissa syntyvästä hienoaineesta on kalsiittia (10 $\mu$ m), jossa on epäpuhtautena sideriittiä (FeO) sekä magnesiittia (MgCO<sub>3</sub>). Käyttöä on täten oleellista verrata nykyisellään käytettäviin kalkkikivirikkaisiin seosaineisiin. Epäpuhtaudet kuten magnesiitti ja sideriitti voivat vaikuttaa ominaisuuksiin. Hienoudesta on kuitenkin etua seosaineille.

Sementin hienouteen jauhettu kalkkikivi kiihdyttää jonkin verran sementin reaktiota. Esimerkiksi kotimaisissa sementeissä Finnsementti Oy:n Rapid (CEM II A/LL) ja Oiva sementeissä (CEM II B-M S/LL) on huomattavia määriä kalkkikiveä (15–20 p% sementistä). Kalkkikiven lisäys tehdään tuotannossa heti sementtiuunin jälkeen sementille ja seosaineille erikseen optimoidulla hienojauhatusjärjestelmällä.

Hienoainesten kykyyn toimia hyvänä seosaineena vaikuttaa sekä seosaineen kemia – rakenne että hienous. Yleisesti voidaan todeta, että tarpeeksi hienoksi jauhettu mineraalinen lisäaine kiihdyttää sementin reaktioita toimimalla ns. kiteytymisalkiona (seeding effect). Tällöin hyvällä suhteutuksella (esim. mikrosuhteutus) betonia valmistettaessa voidaan tarvittavaa sementtimäärää pienentää tiettyyn lujuusluokkaan pyrittäessä. Yleisesti hienoainesten vaikutus betonin lujuuteen on esitettävissä kuten kuvassa 2 on esitetty.



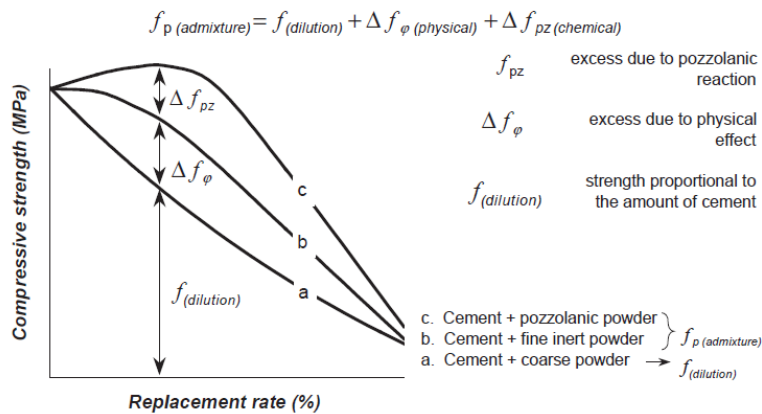


Fig. 3. Decoupling of compressive strength fractions due to physical and chemical effects of mineral admixture.

## Kuva 2. Seosaineiden vaikutus betonin lujuuteen<sup>9</sup>

Sementin lisäksi betoneissa tai laasteissa käytetään usein hienojakoista kiviainesta. Hienoaineksen lisäämisellä haetaan yleensä esimerkiksi parempaa vedensitomiskykyä ja massan koossapysyvyyttä. Nämä seikat liittyvät kuitenkin enemmän laasteihin kuin varsinaiseen betoniin.

### Haitat

Materiaalin suurin yksittäinen haitta teknisessä mielessä on sen sisältämä suuri vesimäärä. Seosaineiden annostelussa hyvin tärkeää on pyrkimys mahdollisimman hyvään homogeenisuuteen. Hienoainekset agglomeroituvat/ paakkuntuvat helposti joutuessaan kosketuksiin veden kanssa. Näin ollen niiden annostelu pitäisi tehdä kuivana ja mielellään suoraan sementtiin jauhettuna. Erillinen sekoitus jättää mahdollisuuden epätasaiseen jakautumiseen massassa.

Betoniasemalla on tyypillisesti käytössään 1-6 kiviainessiiloa, vedensyöttölaite sekä 1-3 sideainessiiloa. Hienoaineksia on periaatteessa mahdollista syöttää sideainessiilon tai 1 kiviainessiilon kautta, mutta tällöin on varmistettava, että kuljettimet on optimoitu kyseiselle materiaalille. Nykytilanteessa (suodinkakkuna) materiaalin annostelu on mahdotonta.

<sup>9</sup> Martin Cyr, Philippe Lawrence, Erick Ringot, Efficiency of mineral admixtures in mortars: Quantification of the physical and chemical effects of fine admixtures in relation with compressive strength, Cement and Concrete Research, Volume 36, Issue 2, 2006

### 4.3 Hyväksyntä ja käyttö

Rakenteellisen betonin (betoninormeissa asetettu lujuus tai rasitusluokka) ainesosat ovat vahvasti säädeltyjä. Käytettävän sementin, seosaineiden ja kiviaineksen tulee olla CE – merkittyjä ja laatuohjattuja. Yleinen sääntö on se, että kaikkien rakentamisessa käytettyjen materiaalien tulee täyttää kyseessä olevan materiaalin CE merkintävaatimukset. CE merkintä osoittaa asiakkaalle, että materiaalin tekniset ja ympäristöominaisuudet vastaavat sallittua käyttöä.

CE merkintää voi hakea materiaalille erillisen EU:n hyväksymän prosessin avulla. Tähän kuuluvat yleisemmin harmonisoidun tuotestandardin (suomessa SFS-EN) mukaisesti suoritettut testaukset riippumattoman toimijan toimesta sekä ilmoitus suoritustasoista valvovalle viranomaiselle. Jättemateriaalin tai sivutuotteen CE merkinnän haussa nousee yleensä esille se ongelma, että standardit määrittelevät hyvin tarkkaan tuotteiden raaka-aineet. Mikäli materiaali on standardin näkökulmasta tunnistamaton, estää se hyväksyntämerkinnän automaattisesti. CE merkinnän sijasta voidaan teollisuuden jättemateriaaleille hakea joko sivutuote- tai ns. end-of-waste-statusta, joissa määritellään tarkasti materiaalin jatkokäyttö sekä materiaalin laatua ohjaavat toimenpiteet. Jätteestä, sivutuotteesta ja EoW:stä on esitetty hyvää tiivistä pohdintaa mm. Olli Lehtovaaran seminaariesityksessä<sup>10</sup>

Nykytilanteessa v.2022 seosaineeksi betoniin on hyväksytty suomessa vain kalkkikivi, masuunikuona, hiilen lentotuhka sekä silikapöly. Seosaineiden hyväksyntää hallinnoi suomessa Suomen Betoniyhdistys. Vastaavia kiertotaloustuotteita käyttää Suomessa esim. Rudus Oy, joka on hakenut ympäristölupaa jalostetun jätteenpolton kuonan käyttämiseksi betonituotteissa.<sup>11</sup> Ruduksen tapauksessa käytettävän kiviaineksen jalostaa ulkopuolinen yritys, Suomen Erityisjäte Oy, joka varmistaa kiviainesten CE merkinnän täyttymisen. Kuonamateriaalille on siis haettu CE merkintä. Ilman hyväksyntää laajamittainen käyttö on vaikeaa rakenteellisessa betonissa. Mikäli tekniset ominaisuudet osoittautuvat toimiviksi on kuitenkin kohteita, joissa materiaalia saa käyttää ilman erillistä hyväksyntää esim.

- Pihakivet ja kalustebetonielementit
- Ympäristörakentamisen kohteet (erillisellä luvalla)

<sup>10</sup> Lehtovaara Olli, Metsägroup 2015, Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen ja ympäristölupaprosessi (Resurssiviisautta ja kiertotaloutta seminaari esitys LAMK 12.11.2015)

<sup>11</sup> Keskiuudenmaan ympäristölautakunta, lupapäätös TuuDno-2018-984, Rudus Oy, Betonituotetehtaan ympäristöluvan muutoshakemus, nurmijärvi

Näissä kohteissa lopulliset käyttömäärät jäävät syntyvään määrään nähden kuitenkin todennäköisesti vähäiseksi. Lisäksi täytyy ottaa huomioon taloudelliset reunaehdot. Hyvälaatuisesta standardin hyväksymästä seosaineesta voidaan betonitehtaalla maksaa 60–80 % sementin hinnasta, kiviaineksesta vielä vähemmän.

## 5 Laastiteollisuus

Laastin valmistuksessa tekninen analyysi seostuotteille on analoginen betonituotteiden kanssa. Laastin ja betonin ero on karkeasti ottaen vain siinä, että laastituotteista puuttuu täysin betonin karkea kiviaines. Laastiteollisuus on myös massamäärältään oleellisesti betoninvalmistusta pienempi ala. Jos Suomessa valmistetaan betonia n. 5 M/m<sup>3</sup> vuositasolla niin laastituotteita valmistetaan arvioilta 200 000 t/a.

Laasteissa käytetään sideaineena sekä kalkkia (sammutettua) sekä sementtiä riippuen käyttökohteesta. sideaineen lisäksi laastit koostuvat hiekasta ja erilaisista lisäaineista. Hienoaineksen käyttö on analogista betonituotteiden kanssa, jolloin tarpeeksi hieno kiviaines voi korvata laastista joko sementtiä tai hienoa kiviainesta (filleriä). mm. Injektointilaasteihin voidaan lisätä savea vedenpitävyyden parantamiseksi. Siinä tapauksessa, että materiaalilla on hyvät seosainesominaisuudet (tuoremassaominaisuudet, lujuusominaisuudet yms.) tyypillinen seostusmäärä on n. 10–30 p%. Tästä voidaan arvioida käyttömääriä

Kokonaistuotanto 200 000 t/a

Sideainetta 10 000–20 000 t/a

Kiviaineeksiä 180 000–190 000 t/a

Korvaus runkoaineesta 30 %: n. 50 000 t/a

Korvaus runkoaineesta 10 % 20 000 t/a

Kiviaineksen arvo n. 30–50 eur/t (kaupallinen, laatuvarmistettu ja CE – merkitty)

### Materiaalin hyödyt

Hyvin hienojakoisena voi toimia hyvin seosaineena tai hienofillerinä laasteissa, joissa jo käytetään kalkkikivi-fillereitä.

### Haitat

Laastituotteet ovat kuivatuotteita, joten materiaali on vähintään kuivattava. Todennäköisesti vaatii myös kevyen hienonnuksen kuivaamisen jälkeen.



Kalkkikivellä voidaan eri prosessin vaiheissa nostaa käsiteltävän veden pH:ta ja auttaa saostamaan eri prosessivaihesissa erotettavia metalleja.

Mikäli puhdasta kalkkikiveä kuluu prosessissa 170 000–180 000 t/a, voidaan kyseessä olevan materiaalin materiaalianalyysin perusteella arvioida vastaavaksi kulutukseksi 350 000 – 400 000 t/a. Malli on hyvin karkea ja materiaalin neutralisointipotentiaali ja käytettävyys sovelluksessa on arvioitava erikseen. Tässä oletetaan vain materiaalin sisältämän kalsiitin ( $\text{CaCO}_3$ ) reagoivan samalla tavalla kuin luonnonaineksen.

Muilla kaivoksilla on oletettavasti vastaavia prosesseja, joissa käytetään vuosittain huomattavia määriä kalkkikiveä. Prosessin kannalta tärkeitä seikkoja ovat neutralisointiaineen annostelu ja käsiteltävyys. Kyseisen materiaalin kohdalla on kehitettävä keinoja, joilla materiaali saadaan esim. helposti juoksevaksi. Lisäksi kalkkikiveä käytetään prosesseissa yleensä tiettyjen metallien saostamiseksi pH:n muutoksen avulla prosessista. Ennen käyttöä on varmistuttava, ettei kyseinen materiaali vaikuta negatiivisesti saostuksen tehokkuuteen.

## 7 Yhteenveto

Vanadiinitehtaan kiinteälle sivuvirralle on löydettävissä useita potentiaalisia hyötykäyttökohteita. Tässä selvityksessä on esitelty näistä kohteista massamääriltään runsaslukuisimmat. Ylivoimaisesti suurin haaste materiaalin käytölle tulee olemaan regulaatio. Hyväksynyt jättemateriaalin käytölle vaativat yleensä melko kattavaa seuranta samantyyppisistä prosesseista. Tässä tapauksessa syntyvä jae on erityinen nimenomaan siksi, ettei vastaavanlaista prosessia ole olemassa rautapitoiselle kalkkirikkaalle tuotteelle.

Tästä syystä tässä selvityksessä on keskitytty mahdollisesti vähemmän hyväksyntää vaativiin hyötykäyttökohteisiin. Näitä ovat lähinnä infrarakentamisen ja ympäristöhuollon eri toimenpiteet, joissa käytetään jo nykyäänkin runsaasti jättepohjaisia materiaaleja. Potentiaalisia ympäristörakentamisen kohteita ovat tällöin rakenteet, joissa voidaan käyttää hyödyksi materiaalin ominaisuuksia. Pääasialliset teknisesti käyttöarvoa lisäävät ominaisuudet ovat **suuri hienous** sekä joissain sovelluksissa hyötykäytettävä kalsiittimatriisin **neutralointikyky**.

Hienoudesta on erityisesti hyötyä sovelluksissa, joissa korvataan hienoainesta jättemateriaalilla. Logistisesti ja massamäärältään todennäköisesti isoimmat käytöt löytyvät infrarakentamisen kohteista. Tässä selvityksessä keskityttiin mahdolliseen käyttöön asfalttipäällysteen fillerinä. Tässäkin tapauksessa tosin on otettava

huomioon, että kaikissa massoissa ei käytetä lainkaan filleriä ja että fillerin käyttö eri massoissa on rajattua ja säädelty erillisin standardein ja säädöksin. Teknisiltä ominaisuuksiltaan materiaali vastaa kuitenkin todennäköisesti melko tarkasti nykyään käytettävää kalkkifilleriä. Käyttöpotentiaali on suuri, mikäli fillerin käyttö massoissa jatkuu ja materiaali voidaan toimittaa kuivattuna ja hienonnettuna asiakkaille. Tosin käyttö tulee vaatimaan erillisen laaduntarkastuksen sekä mahdollisen CE merkinnän.

Materiaalin mahdollinen neutralisoimiskapasiteetti voidaan käyttää täysmääräisesti hyödyksi infrarakentamisen kohteissa, joissa joudutaan hyödyntämään ns. ”sulfaattisavimassaa”. Sulfaattisavia tai potentiaalisesti sulfaattisavia maalajeja löytyy Suomen rannikkoalueilta runsaasti. Käsittelemättömänä nämä maa-ainekset tuottavat häirittyinä suuria määriä rikkihappoa, joka aiheuttaa monia ympäristöongelmia. Eräs mahdollisuus sulfaattisavien ongelmaan on neutralisoida ne tietyllä määrällä kalkkia ylös kaivettaessa. Kalkkimäärät riippuvat monesta eri tekijästä, mutta arvioiden mukaan kalkkia ( $\text{CaCO}_3$ ) voidaan joutua annostelemaan jopa 25–50 kg/m<sup>3</sup>. Koska vanadiiniprosessissa syntyvä materiaali ei ole täysin puhdasta kalsiittia, voi tämän materiaalin kulutus olla suurempaakin. Tätä käyttöä varten materiaalin neutralisoimis-potentiaali on arvioitava ja käyttöä on pilotoitava kenttäolosuhteissa.

**Turussa 31.1.2022**

**Valter Wigren / Kehitysjohtaja Renotech Oy**