

Kiertotalous ja sivuvirrat kaivannaisteollisuudessa

Jouko Karinen, FM, geologi, Arktiset Luonnonvarat ja talous, Lapin ammattikorkeakoulu

Asiasanat: kaivokset, kaivosteollisuus, kiertotalous, sivuvirrat, ympäristö, jätteet, kestävä kehitys, rikastushiekat, sivukivet, lentotuhka, kuona.

Kiertotalousosaamista ammattikorkeakouluihin (Kiertotalous AMK) on Opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittama monialainen hanke, jonka tavoitteena on lisätä kiertotalouden merkitystä opetuksessa ja tutkimustyössä. Hankkeen toteuttamiseen osallistuu 19 ammattikorkeakoulua ja yhteistyötä koordinoi Lapin AMK. Hanke toteutetaan v. 2018–2020. Kiertotalous AMK:n yhteydessä on mm. laadittu kaivannaisteollisuuden sivuvirtoihin liittyvää opintomateriaalia.

Kaivosvastuuverkosto

Kaivosvastuu on kestävän kaivostoiminnan verkosto, joka toimii kaivosalan ja sen sidosryhmien välisenä neutraalina yhteistyö- ja keskustelufoorumina. Verkoston päämääränä on luoda Suomeen menetelmiä vastuullisemman ja kestävämmän kaivostoiminnan edistämiseksi. Tavoitteena on myös löytää eri elinkeinojen välille synergioita ja ehkäistä konflikteja. Verkosto ei toimi viranomaisen roolissa, vaan sen on tarkoitus luoda yhteistyötä teollisuuden ja yhteiskunnan välille ylläpitämällä avointa keskustelua eri toimijoiden välillä. Kaivosvastuu myös edesauttaa vastuullisten toimintatapojen rakentamista ja käyttöönottoa. Tämän yhteistyön tuloksena syntyy erilaisia toimintamalleja ja raportteja, joiden avulla kaivosteollisuutta saadaan toimimaan vastuullisemmin (Kaivosvastuu 2019).

Erilaiset sivutuotteet ja niiden käyttökohteet

Kaivostoiminnassa syntyy erilaisia sivutuotteita, jotka on usein luokiteltu jätteiksi. Suuri osa näistä sivutuotteista on läjitetty kaivosalueelle pysyvästi kaivannaisjätteinä. Nämä materiaalit sisältävät usein arvoaineita, joiden talteenotolla on mahdollista säästää neitseellisiä

luonnonvaroja. Sivutuotteiden sisältämät arvoaineet voivat olla ympäristölle haitallisia, joten niiden kerääminen talteen voisi vähentää näiden materiaalien aiheuttamaa ympäristökuormitusta ja lisätä niiden hyödyntämismahdollisuuksia. Lisäksi kaivosten sivutuotteita on mahdollista tuotteistaa yhä helpommin eri käyttötarkoituksiin. Kaivoksilla syntyvillä sivutuotemateriaaleilla voi olla myös muita fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista, joista aiheutuu haasteita hyödyntämiselle. Esimerkiksi metallimalmikaivosten rikastushiekat ja sivukivet sisältävät usein sulfidimineraaleja, jotka happamoittavat ympäristöä rapautuessaan (Taskinen et al. 2018). Sivutuotteita on saatu muunnettua vaarattomampaan muotoon prosessoimalla niitä uudelleen. Tällöin on saatu vähennettyä kaivosten aiheuttamaa ympäristökuormitusta ja siten edistettyä vastuullista kaivostoimintaa.

Rikastushiekat

Rikastushiekkoja syntyy malmin rikastamisen sivutuotteena. Ne sisältävät usein happoa tuottavia komponentteja erityisesti sulfidimalmien yhteydessä. Rikastushiekkoissa metallipitoisuudet voivat olla korkeita ja haasteita aiheuttaa myös arseenin esiintyminen. Rikastushiekkoja on saatu muokattua ympäristökelpoisemmiksi rikastusteknisin menetelmin mm. GTK:n toteuttamassa [KaiHaMe-projektissa](#), missä tutkittiin Kopsan Au-Cu-malmin rikastushiekan hyödyntämiskelpoisuutta (Kauppila 2017). Suurin osa Kopsan rikastushiekan arseenista ja sulfideista saatiin poistettua prosessiteknisesti vaahdotuksen ja magneettierotuksen kombinaatiolla. Myös prosessiveden laadun todettiin paranevan rikastushiekan laadun kanssa erotusprosessien jälkeen. Rikastushiekka oli alkutilanteessa luokiteltu vaaralliseksi jätteeksi, mutta siitä saatiin tehtyä prosessoimalla tavanomaista jätettä. Prosessoidun rikastushiekan todettiin olevan potentiaalisesti hyödynnettävissä rikastushiekka-alueiden peittorakenteissa. (Kauppila 2019, Taskinen et al. 2018).

Kemiallisesti käsiteltyjä rikastushiekkoja on käytetty mm. Kittilän kaivoksella, missä osa rikastushiekasta on palautettu kaivostäyttöön. Täyttömateriaalina käytetty pasta valmistetaan vaahdotuksesta tulevalle neutraloidulle rikastushiekalle. Pastan valmistuksessa käytetään myös kaivoksesta pumpattavaa kuivanapitovettä, jolloin pumpatun veden takaisin kierrätys vähentää pois juoksutettavan prosessijäteveden määrää (AVI 2013).

Sivukivet

Sivukivet ovat louhinnan aikana syntyviä kiviaineiksi, jotka eivät mene malmien rikastukseen. Niitä hyödynnetään tyypillisesti maarakentamiseen. Sivukiviä on käytetty esimerkiksi louhittujen louhosten täyttämiseen Agnico Eaglen kaivoksella Kittilässä, sekä teiden kunnossapitoon Laivan kaivoksella Raahessa (Kaivosvastuu 2019).

Sivukivien hyödynnettävyys riippuu suurelta osin malmiesiintymästä, josta se on lähtöisin. Sivukivien yhteydessä on todettu olevan paljon hienoainesta, jossa haitta-aineiden liukoisuus on korkea. Kiviaines tulisi käyttää mahdollisimman karkearakeisena ja siitä tulisi erottaa hienoaines pois. Lisäksi haitta-aineita ja happoa tuottavia ainesosia sisältävät lohkat pitäisi saada poistettua ennen hyödyntämistä. (Karlsson et al. 2018).

Pyhäsalmen kaivoksella on käytetty kovettuvan hydraulisen täytön ja sivukivitäytön yhdistelmää. Sivukivi kerättiin pääosin avolouhoksesta tai maan alta. Kovettuva hydraulinen täytemateriaali valmistettiin käyttämällä runkomateriaalina rikastushiekkaa, sekä jauhettua masuunikuonaa ja lentotuhkaa sideaineena. Louhokset täytettiin sivukivellä ja sideaineliitteellä vuorotellen tai kauhakovettuvana täyttönä, jolloin lastauskoneen kauhaan annosteltiin sivukiveä ja sideaineliitettä sekaisin (Haikola 2014).

Litiumin tuotannon sivutuotteet

Keliber Oy:n litiumkaivoksessa tulee syntymään sivutuotteina analsiimia ja kvartsi-maasälpähiekkaa. Analsiimi on huokoinen mineraali, jolle löytyy useita käyttökohteita teollisuudesta. Sitä syntyy litiumkarbonaatin valmistusprosessin sivutuotteena. Analsiimi absorboi kationeja, kuten ammoniumioneja ja sen on todettu poistavan jätevesistä ammoniumtyyppiä. Analsiimi soveltuu myös veden kovuuden alentamiseen, sekä sementin, betonin, tiilien ja asfaltin valmistukseen. Kvartsi-maasälpähiekkaa syntyy spodumeenin rikastuksen yhteydessä. Tämä sivutuote soveltuu käytettäväksi sellaisenaan asfalttipäällysteiden ja betonipinnoitteiden täytemateriaaliksi (Keliber Oy 2018).

Alumiinin tuotannon sivutuotteet

Aluminium of Greece:n alumiinintuotannossa syntyy sivutuotteena bauksiittijäännöstä (BR), joka koostuu pääosin rauta- ja alumiinioksidista (Kuva 1). Bauksiittijäännös sisältää hivenmääriä harvinaisia maametalleja, kuten skandiumia. Bauksiittijäännökselle on testattu eri käyttökohteita mm. [RemovAl](#)-projektissa. Potentiaalisia käyttökohteita on todettu olevan mm. sementin, tiilien, geopolymeerien ja mineraalivillan valmistus, sekä maanparannus,

maanpeittorakenteet, tienpohjan rakennus, hylättyjen bauksiittikaivosten täyttäminen sekä takkirauta (pig iron) (RemovAl 2019, Balomenos 2017). Bauksiittimalmien on todettu sisältävän hivenmäärän skandiumia, jota rikastuu bauksiittijäännökseen malmin käsittelyn jälkeen. Bauksiittijäännöksen on todettu sisältävän 134 ppm skandiumia, jonka erotusta on testattu [SCALE](#)-projektissa (SCALE 2019).



Kuva 1. Bauksiittijäännöstä Aluminium of Greece:n alumiinitehtaalla.

Lentotuhka

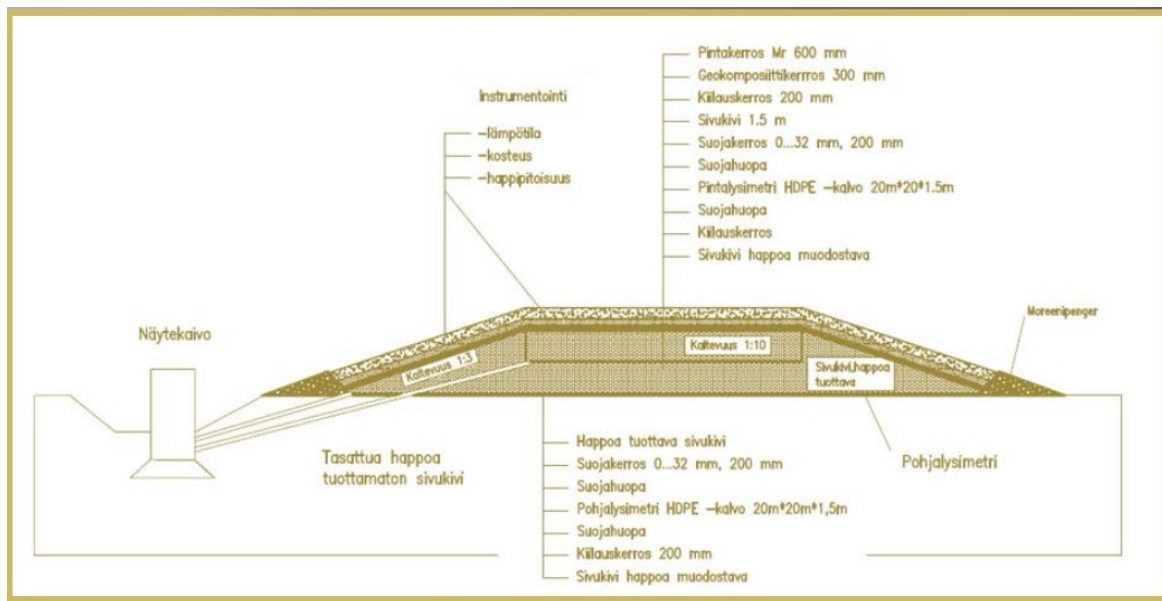
Kaivoksilla on hyödynnetty myös muilla teollisuuden aloilla syntyviä sivutuotteita. Esimerkiksi Outokumpu Oyj:n Eljärven kaivoksella käytetään Tornion Voiman lentotuhkaa kaivostäyttömateriaalissa sideainelietteen seosaineena. Lentotuhkaa muodostuu kivihiilen, turpeen ja puuhakkeen palamistuotteena. Sitä erotellaan savukaasuista suodattimilla ja se kerätään varastosiiloihin (Närä 2018).

Täyttömateriaalin valmistuksessa käytetään kuivapurettua lentotuhkaa. Sideaineliete on helpompi valmistaa kuivasta lentotuhkasta kuin ulkoilmaan kasoihin läjitetystä ilmakosteasta

materiaalista. Ilmakostean lentotuhkan on todettu reagoivan hitaasti ja siitä valmistetun sideainelietteen koostumuksen olevan juoksevaa, jolloin se on kuivattua lentotuhkaa vaikeampi käsiteltävä. Toisaalta märkäpuretusta lentotuhkasta valmistetun täyttömateriaalin puristuslujuuden on todettu eroavan vain vähäisesti kuivapuretusta materiaalista valmistettuun verrattuna, jolloin märkäpurettua lentotuhkaa voitaisiin potentiaalisesti hyödyntää kaivostäytössä (Närä 2018).

RST-kuona

Outokumpu Oyj:n Tornion terästehtaalla syntyy teräksen tuotannon sivutuotteena rusotumattoman teräksen kuonaa (RST-kuona), jonka soveltuvuutta sulfidisen rikastushiekan ja sivukiven peiterakenteeksi testattiin Agnico Eagle:n Kittilän kaivoksella (Kuva 2). Ydinkonsortiona kehitystyössä olivat Tapojärvi Oy, Hannukainen Mining ja Kemin Digipolis Oy (Poikela 2019).



Kuva 2. Kuonapohjainen peiterakenne sulfidisten kaivannaisjätteen päällä. Kuvassa rakenteen poikkileikkaus. © Kari Poikela. Kiertotalouskeskus ja käytännön esimerkki kiertotalouden kehittämistoiminnasta. Kaivosseminaari 19, Vuokatti. 7.6.2019.

Mitattavia muuttujia olivat hapen kulkeutuminen peiterakenteen läpi, veden varastoituminen ja kulkeutuminen peiterakenteessa, lämmön siirtyminen peiterakenteessa, sekä suotoveden laatu ja määrä. Peitemateriaaleina testattiin rinnakkain RST-kuonapohjaista geopolymeeriä ja moreenia (Poikela 2019).

Yhteenveto

Kaivannaisjätteet ja niiden suotovedet ovat usein haasteellisia hyödyntää sellaisenaan. Haasteita hyödyntämiselle aiheutuu rikastushiekkojen ja sivukivien korkeista haitta-ainepitoisuuksista, sekä haitta-aineiden liukenemisesta. Jättemateriaalien käyttäytyminen eri olosuhteissa pitää selvittää erilaisilla testeillä, jotta saadaan selville niiden hyödynnettävyys eri käyttökohteissa. Tällä hetkellä kaivosten sivutuotteita hyödynnetään usein vain kaivosalueella tai sen läheisyydessä, sillä kaivokset sijaitsevat pitkien välimatkojen etäisyydellä sivuvirtojen potentiaalisista hyödyntämiskohteista.

Jotta kaivosten sivutuotteita pystyttäisiin hyödyntämään tehokkaammin, tarvitsee aihepiiri lisää tutkimusta. Osa materiaaleista on ominaisuuksiltaan haastavia, mutta prosessoimalla niitä vaarattomiksi on näistä materiaaleista mahdollista saada jalostettua hyödyntämiskelpoisia materiaaleja maarakentamiseen. Hyödyntämällä kaivosten sivutuotteita tehokkaammin tai prosessoimalla niitä vaarattomampaan muotoon menee läjitykseen vähemmän jätettä ja kaivosten aiheuttamaa ympäristökuormitusta saadaan vähennettyä.

Kirjallisuutta

Aluehallintovirasto (AVI). 2013. Kittilän kaivoksen toiminnan laajentaminen ja ympäristö- ja vesitalousluvan tarkistaminen. Lupapäätös nro. 72/2013/1. https://www.avi.fi/documents/10191/56958/psavi_paatos_72_2013_1-2013-06-26.pdf/68dd28c2-8036-4107-9b17-01c0c5c87b76

Balomenos, E. 2017. Mud2Metal, Bauxite Residue (BR) valorization. Aluminium of Greece. <http://prometia.eu/wp-content/uploads/2014/02/17-NTUA-Balomenos-SCALE.pdf>

Haikola, M. 2014. Pyhäsalmen kaivoksen hydraulitäytön tehostaminen. Opinnäytetyö, Tekniikan ja liikenteen ala, Kone- ja tuotantotekniikka, Kevät 2014, Kajaanin AMK. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77011/Haikola_Mikko.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kaivosvastuu. 2019. Viitattu 7.11.2019. <https://www.kaivosvastuu.fi/>

Karlsson, T., Kauppila, P., Lehtonen, M., Tiljander, M., Forsman, P. ja Forsman, T. 2018. Hituran ja Kevitsan kaivosten sivukivien hyötykäyttö maarakentamisessa. GTK, työraportti 11/2018. http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/11_2018.pdf

Kauppila, P. 2017. KaiHaMe- Kaivannaisjätteiden hallintamenetelmät-projekti. KaiHaMe työpaja. 28.11.2017. Kuopio, GTK. http://projects.gtk.fi/export/sites/projects/KaiHaMe/_system/In_focus/Kauppila_KaiHaMe_esittely_Tyoepaja_28112017.pdf

Kauppila, P. 2019. Esitys ASR tutkijaseminaarissa 23.10.2019. GTK, Rovaniemi.

Keliber Oy. 2019. Viitattu 24.10.2019. <https://www.keliber.fi/tuotanto-ja-tuotteet/>

Närä, P. 2018. Ilmankostean lentotuhkan varastointi ja hyötykäyttö sideainelietteen valmistuksessa. Opinnäytetyö, Insinööri (AMK), Tekniikka ja Liikenne, Tuotantotalouden koulutusohjelma, Lapin AMK.

Poikela, K. 2019. Kiertotalouskeskus ja käytännön esimerkki kiertotalouden kehittämistoiminnasta. Kaivosseminaari 19, Vuokatti. 7.6.2019.

RemovAl. 2019. Removing the waste streams from the primary Aluminium production in Europe. Viitattu 7.11.2019. <https://www.removal-project.com/>

SCALE. 2019. Production of Sc compounds & Sc-Al alloys from European metallurgical by-products. Viitattu 24.10.2019. <http://scale-project.eu/>

Taskinen, A., Kauppila, P., Heino, N., Kurhila, M., Tiljander, M., Tornivaara, A. ja Korhonen, T. 2018. Kopsan Au-Cu-malmin arseenipitoisen rikastushiekan muokkaaminen ympäristökelpoisemmaksi rikastusteknisin menetelmin. GTK, työraportti 9/2018. http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/9_2018.pdf