



Kaivannaisjätteiden ominaisuuksien määrittäminen

MUTKU-PÄIVÄT
28.-29.3.2012, Suomenlahti



Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

1

Kaivannaisjätteen määrittely

Kallio- tai maaperässä luonnollisesti esiintyvän orgaanisen tai epäorgaanisen aineksen irrotuksessa tai sen varastoinnissa, rikastamisessa tai muussa jalostamisessa syntyvä jäte



©Tornivaara



©Tornivaara



GTK

Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

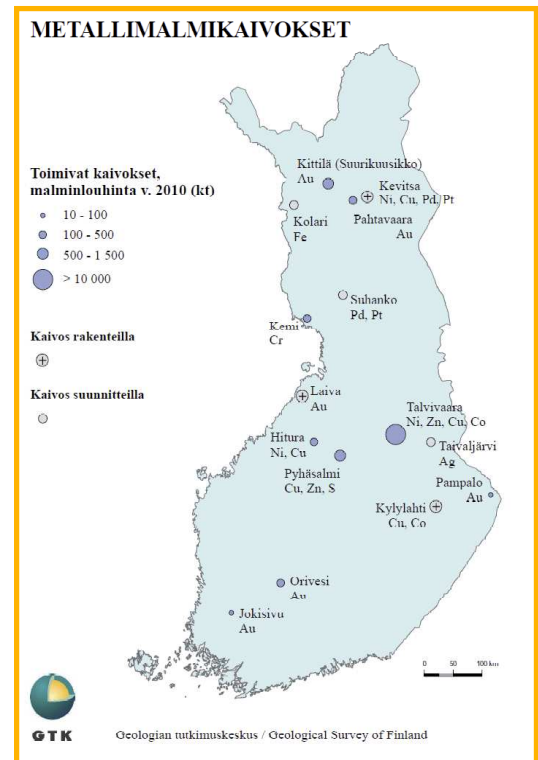
2

Kaivannaisjätteet

- Metallimalmikaivosten sivukivet, rikastushiekat ja muut prosessijätteet
 - Ni, Cu, Zn, Ag, Au, Cr, Fe...
- Teollisuusmineraali- ja -kivituotannon rikastushiekat ja sivukivet
 - karbonaatit, kvartsi, maasälvät, apatiitti, kiilteet, talkki, Mg, Al, Fe
- Luonnonkivilouhimoiden sivukivet
 - graniitit, diabaasit, dioriitit, vuolukivet, gabrot, migmatiitit, kiilleliuskeet



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara



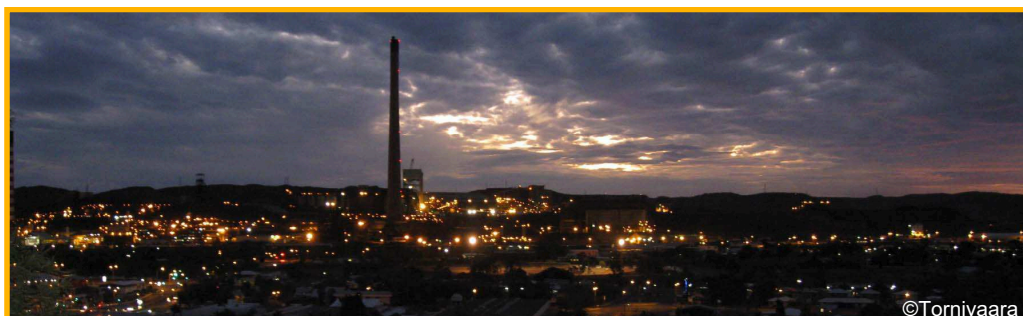
www.gtk.fi

29.3.2012

3

Kaivannaisjätteiden luokittelu

- Kaivannaisjätteet: ylijäämämaat, sivukivet
- Prosessijätteet: rikastushiekka, liete, pohjasakka, bioliuotuskasat, prosessivesi
- Metallurginen jäte: syanidiliuokset, kuona, lentotuhka, ilmapäästöt, jätevedet
- Kaivosvedet



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

4

Sivukivet

- Sivukiviin kuuluvat kivet, joita ei hyödynnetä arvokiven tai malmin jatkojalostuksessa tai prosessoinnissa
- karkea louhe (raakku)
- kivimurske – sepeli

Luonnonkivituotanto

- hylätyt aihiot
- sahauksen ylijäämäkivi
- sahauksen kivijauhe



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara



©Tornivaara



©Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

5

Rikastushiekka

- Rikastushiekka = murskattua ja jauhettua alkuperäistä kiviainesta, josta arvomineraalit on poistettu rikastusprosessissa
- Prosessoinnissa syntynyt mineraalijäte on vesipitoista ja hienorakeista
 - Vaahdotuskäsittely
 - Mineraalinen rikastushiekka
 - Gravimetrinen ja/tai magneettinen erottelu
 - Mineraaliset jauheet
- Rikastushiekka-allas tai -kasa



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara



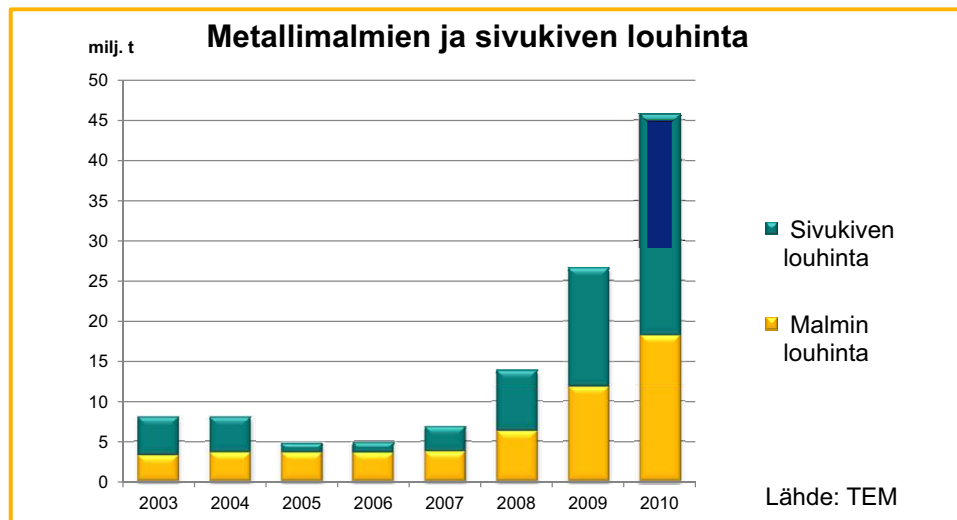
©Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

6

Metallimalmien louhinta Suomessa



Malmin osalta hyvät tiedot, sivukivien ja rikastushiekan osalta puutteellisemmat ?



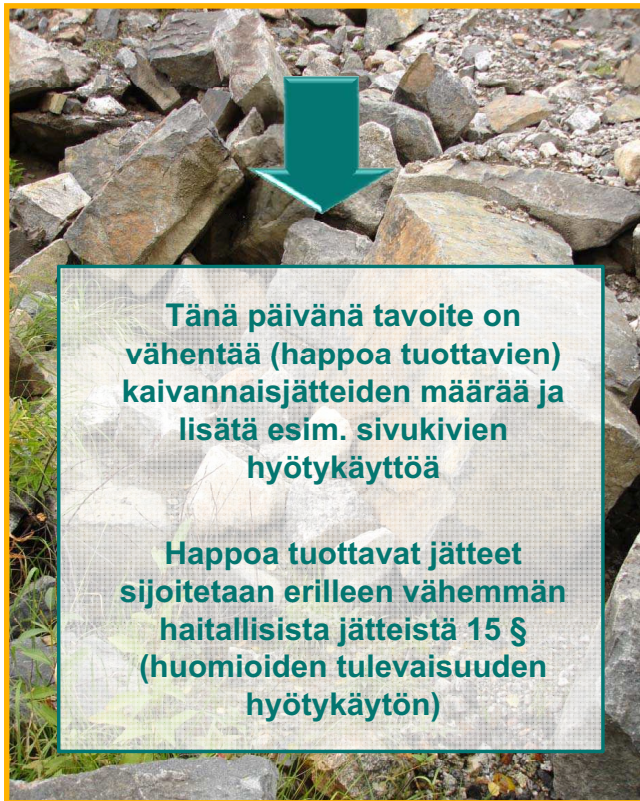
Lainsäädäntö

- Kaivannaisjäteasetus 379/2008 ja muutokset 717/2009 1816/2009
- Kaivannaisjäteasetuksessa on omat lievennykset pysyväälle jätteelle (inerttijäte) ja pilaantumattomalle maa-ainekselle
- Jätelain etusijajärjestys 646/2011(8 §):
 - 1) vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta
 - 2) uudelleenkäytön valmistelu
 - 3) kierrätys
 - 4) hyödyntäminen
 - 5) loppukäsittely



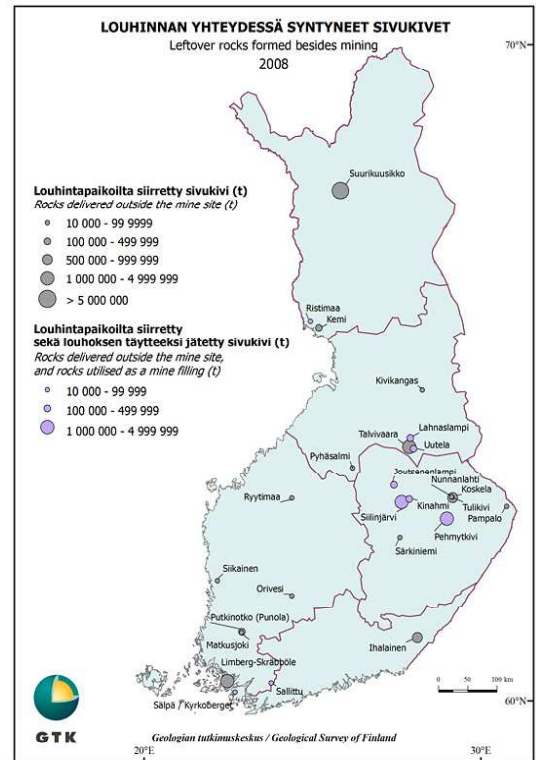
©Tornivaara





Tänä päivänä tavoite on vähentää (happoa tuottavien) kaivannaisjätteiden määrää ja lisätä esim. sivukivien hyötykäyttöä

Happoa tuottavat jätteet sijoitetaan erilleen vähemmän haitallisista jätteistä 15 § (huomioiden tulevaisuuden hyötykäytön)



Metallikaivosjätteiden hyödyntäminen

Poistomaa, pintamaa:

- Varastoitu, käytetään kaivosalueen jälkihoitoon

Sivukivi:

- Pääkäyttö maarakennusmateriaalina **kaivosalueella**
 - tiet, padot, pengerverhous
 - tukirakennusaineena kaivostäytössä (sivukivi, RH)
 - reaktiivisena materiaalina, läjitysalueiden peittomateriaalina (pastapeittona)
 - sekatäyttönä läjityksessä lisäten läjityksen neutralointikapasiteettia
 - veden puhdistamojen suotopatomateriaalina
- **Kaivosalueen ulkopuolella** (huom. ympäristökelpoiset jättekivet)
 - tierakennus, täyttömaa, raaka-aineena pientarvikkeiden/koriste-esineiden valmistuksessa

Rikastushiekka:

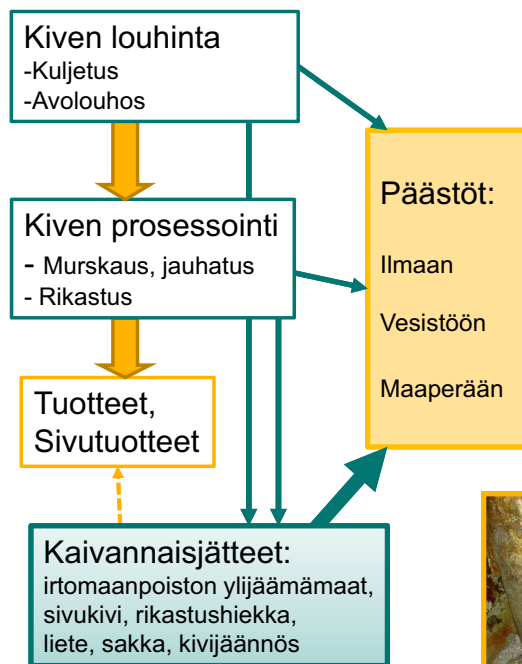
- peittomateriaalina (hyvä neutralointi- ja vedenpidätyskyky)
- Kaivostäyttö



©Tornivaara



Kaivosten ympäristövaikutukset



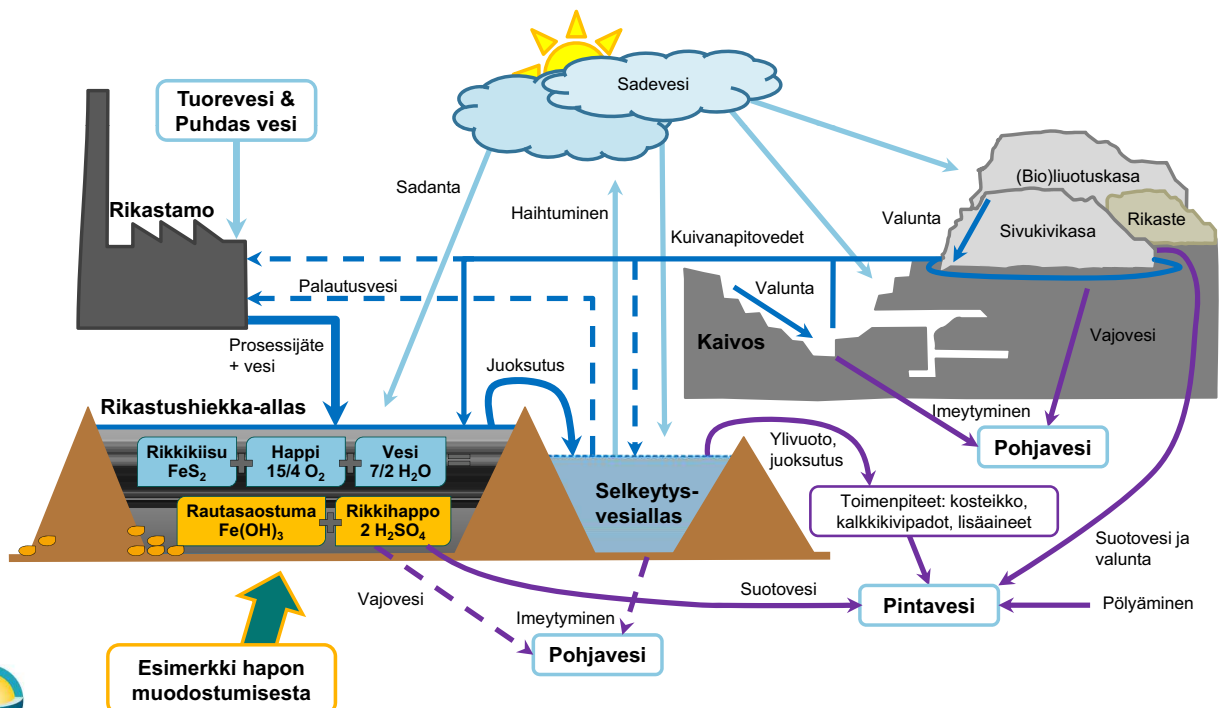
Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

11

Kaivostoiminnan vaikutus vedenlaatuun



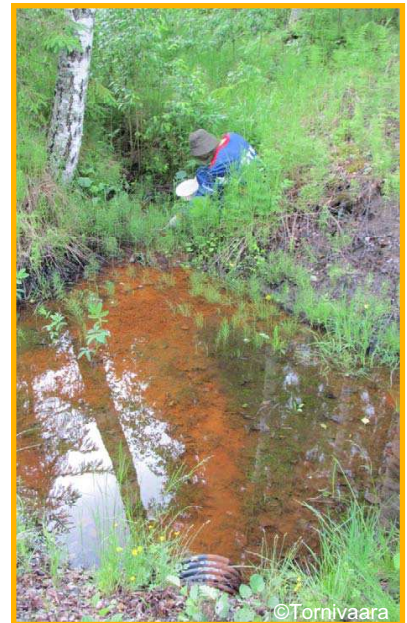
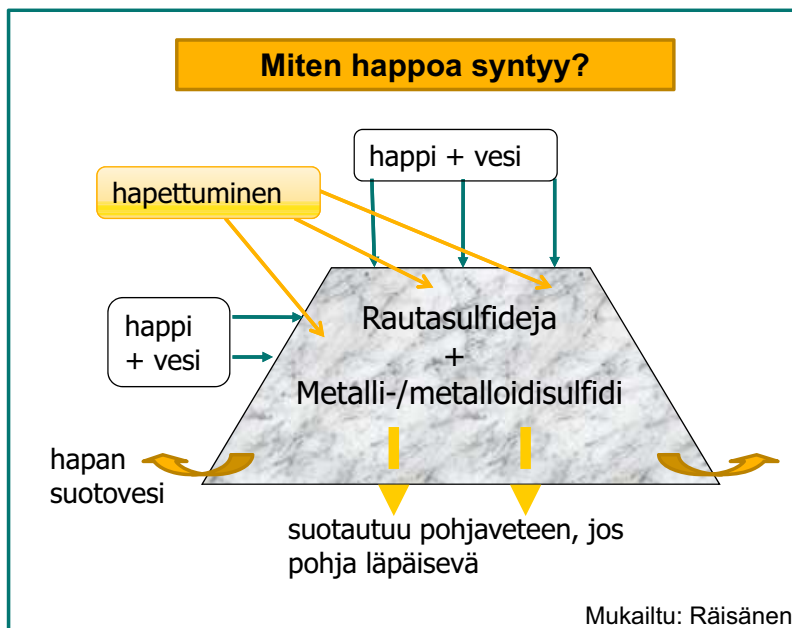
Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

12

Kaivannaisjätteiden ympäristövaikutuksia

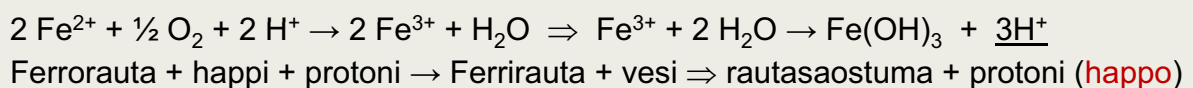


Hapon tuotto > vesien happamoituminen > hapan kaivosvaluma (ARD/AMD)

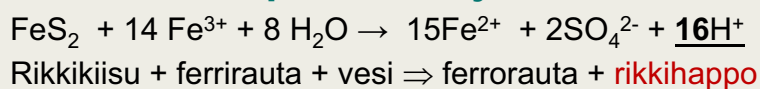
- Rikkikiisun hapettuminen (usein kaivoksen hallitsevin sulfidimineraali)



Ferriraudan saostuminen



Ferrirauta hapettimena ja bakteerit



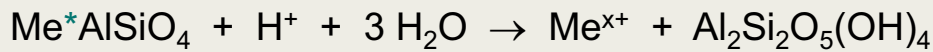
Hapon neutralointi

Karbonaattimineraalien liukeneminen ja puskurointi



Kalsiitti + protoni $\Rightarrow$ kalsium + hiilidioksidi + vesi

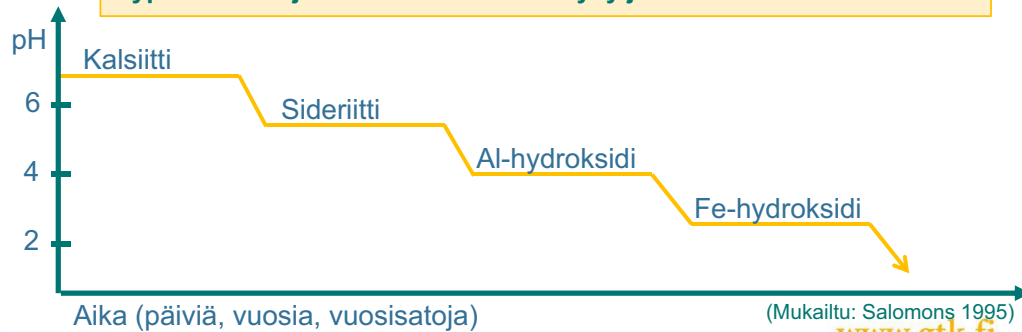
Silikaattipuskuri (esim. magnesiumsilikaatti)



Silikaatti + protoni + vesi $\Rightarrow$ kationi + kaoliniitti

(*Ca, Na, K, Mg, Mn tai Fe)

Hypoteettisen jätekasan neutralointikyky ja neutraloivat mineraalit



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

29.3.2012

15

Hapon neutralointi, esim. alumiinisilikaatit

- Ferrorautapitoisten alumiinisilikaattien hapettuminen ja rapautuminen vajoveden/huokosveden happamoituessa.
- Alumiini puskuroi pH:n 3-3,5 alueelle, mikä voimistaa metallien/metalloidien liukenevuutta ja heikentää niiden pidättymistä saostumiin.
- Silikaattimineraalien rapautumiseen liittyvät kationivaihtoreaktiot – pitkällä aikavälillä savimineraalien muodostuminen + pidätskyky
- Herkästi rapautuvia Al-silikaatteja:
 - Kloriitti
 - Kiilteet
 - Ca-maasälpä



©Tornivaara



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

16

Kaivannaisjätteen ominaisuuksien määrittäminen

Jäteasetuksen muutos
(717/2009, liite 3)

- A. Taustatiedot
- B. Esiintymän geologiset tiedot
- C. Jätteenlaji ja sen suunniteltu hyödyntäminen ja käsittely
- D. Jätteen geotekninen käyttäytyminen**
- E. Jätteen geokemialliset ominaisuudet ja käyttäytyminen**



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

17

Kaivannaisjätteen karakterisointi 1/4

- Geologia
 - Mineraalien tunnistus
 - päämineraalit, sulfidimineraalit, oksidimineraalit
 - rapautumistila, saostumat, raekoko
 - Suhteelliset osuudet
 - Menetelmiä
 - Mikroskooppitutkimus (hieet)
 - XRD-menetelmä
 - SEM / MLA
 - Infrapuna
 - Kd-arvo (maa-vesi-jakautumiskerroin)
 - Geologinen tietämys eri mineraalien rapautuvuudesta Suomen ilmastossa ja maaperäympäristössä
 - Saostumatutkimukset ja mallinnukset



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

18

Kaivannaisjätteen karakterisointi

2/4

- Analysoitavien näytteiden esikäsittely
 - Muistettava nolla- ja rinnakkaisnäytteet
- Kokokivianalyysi
 - Alkuaineiden kokonaispitoisuudet
 - XRF
 - Kokonaisuutto ($\text{HF-HClO}_4\text{-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ + ICP-AES/MS)
 - Sulatemenetelmä (uuttoliuos + ICP-AES/MS)
- Sulfidisen rikin kokonaispitoisuus
 - Leco-S (poltto + IR)
 - Myös sulfaattisen rikin pitoisuus
- Hiilen kokonaispitoisuus
 - C-analysaattori (poltto + IR), TIC/TOC
 - Karbonaattisen hiilen osuus
 - $C_{\text{karb}} = C_{\text{totaali}} - C_{\text{HCl-ututettu}}$



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

19

Kaivannaisjätteen karakterisointi

3/4

- Osittaisuuttomenetelmät
 - Alkuaineiden happoliukoiset pitoisuudet (sulfidiset metallit/metalloidit ja herkästi rapautuvien Al-silikaatit)
 - Kuningasvesiuutto (AR + ICP-AES/MS)
 - Typpihappouutto (HNO_3 + ICP-AES/MS)
 - Heikkouutot (mineraalin pintaan tai saostumiin sitoutuneet alkuaineet)
 - Laimea suolaliuosuutto
 - Hapan ammoniumasetaattiuutto
 - Ammoniumoksalasetaattiuutto ja -kloridiuutto
- Staattiset testit
 - Näytteen potentiaalinen hapontuottokyky
 - CEN prEN 15875-menetelmä
 - ABA (NPR – happo-emäslasku)
 - NAG-menetelmä
- Ravistelutesti (liukoisuus)



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

20

- Kineettiset testit

- Jäljittelee jätteen rapautumista ja hapettumista pitkällä aikavälillä veden ja hapen vaikutuksesta, testiaika 1 vko – 3 v, pH, EC, sulfaatti-, metalli- ja metalloidipitoisuudet
 - Kosteuskammiotesti (HCT)
 - Kolonnitesti
 - *In situ* -liuotuskoe (lysimetri)

- Jätteen **geotekniset** tutkimukset

- Raekokojakauma, ominaispinta-ala ja muoto
- Tiheys ja ominaispaine
- Vesipitoisuus
- veden pidätyskyky ja johtavuusominaisuudet
- Huokosveden paine
- Plastisuus, leikkauslujuus
- Tiivistymis- ja kokoonpuristuvuusominaisuudet



GTK

Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

21

Kriteerit kaivannaisjätteiden pysyvyydelle (Vna 717/2009)

- Jäte ei hajoa eikä liukene tai muuten muutu merkittävästi siten, että siitä voi aiheutua **vaaraa tai haittaa ympäristölle ja ihmisten terveydelle**
- Jätteen sulfidirikkipitoisuus on enintään **0,1 %** tai
- Sulfidirikkipitoisuus on enintään 1 prosentti ja neutraloimispotentiaali-suhde menetelmällä prEN 15875 määritettynä **suurempi kuin 3**
- Jätteestä ei aiheudu **itsesyttymisen vaaraa** eikä se pala
- Jätteen ja siitä erottuvan hienoaineksen sisältämien mahdollisesti haitallisten aineiden pitoisuudet eivät ylitä maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista **(PIMA) annetussa Vna:ssa (214/2007)** esitettyjä kynnysarvoja tai alueen ympäristön maaperän taustapitoisuuksia. Tällaisia aineita ovat erityisesti As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V ja Zn.
- Jäte ei käytännössä sisällä louhinnassa tai rikastuksessa **käytettyjä aineita**, jotka voivat aiheuttaa haittaa ympäristölle tai ihmisen terveydelle



GTK

Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

22

Kaivannaisjätteen luokittelu pysyväksi

- Työn tilaajat: YM ja TEM
- Työn toteuttajat: GTK ja VTT
- Opas on rajattu tällä hetkellä koskemaan louhinnassa muodostuvia sivukiviä
- Oppaan on tarkoitus auttaa kaivannaisalan toiminnanharjoittajia ja viranomaisia kaivannaisjätteen luokittelussa **inertiksi eli pysyväksi** sekä kansallisen luettelon että tapauskohtaisen arvioinnin kautta

SY21/2011 Kaivannaisjätteen luokittelu pysyväksi. Louhinnassa muodostuvat sivukivet. Hannu Luodes, Päivi M. Kauppila, Teemu Karlsson, Maria Nikkarinen, Soile Aatos, Anna Tornivaara, Margareta Wahlström ja Tommi Kaartinen, 2011. Suomen ympäristö 21/2011, Ympäristönsuojelu, s. 35. Ympäristöministeriö. URN:ISBN:978-952-11-3919-2. ISBN 978-952-11-3919-2 (PDF). Julkaisu on saatavana vain sähköisessä muodossa.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=129161&lan=FI>



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

23



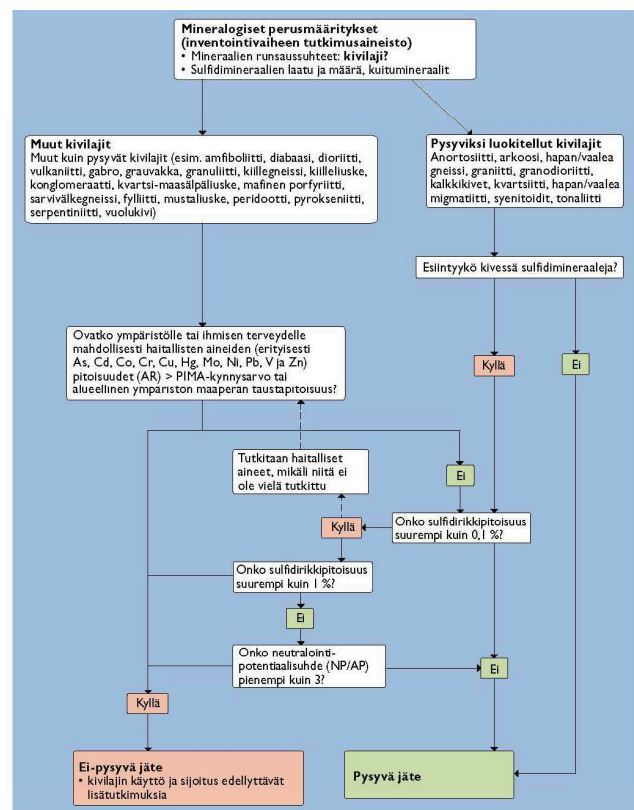
Sivukiven karakterisointi

- Esimerkki kaivannais-teollisuuden sivukivien karakterisoinnin kulusta
 - Pysyvä eli inerttijäte
 - Ei-pysyvä jäte

Luodes *et al.* 2011



©Tornivaara



Kuva 2. Kaaviokuva louhinnassa muodostuvien sivukivien pysyvyyden määrittämisestä mineralogisten ja kemiallisten ominaisuuksien perusteella.



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

24

Ei happoa tuottava kivi/rikastushiekka (pysyvä jäte)

- Kivellä/rikastushiekalla kohtalainen/suuri neutralointikapasiteetti
 - Pienet/kohtalaiset metalli-/metalloidipitoisuudet (alle ohjearvon)
 - Pieni rikkipitoisuus $< 0,1 \%$ (tai $< 1 \%$ / $\text{NPR} > 3$)
 - Vähän ferrorautapitoisia alumiinisilikaatteja
 - Ravinteiden liukeneminen todennäköistä (karbonaattien liukeneminen, nitraatin liukeneminen räjähdysainejäämistä)
 - Metallien/metalloidien liukeneminen epätodennäköinen (poikkeuksena Ni, jos Ni-sulfideja esiintyy)
 - Kivellä heikko neutralointikyky (esim. graniitti)
 - Ei karbonaattimineraaleja
 - Ei sulfidimineraaleja (tai hyvin vähän $< 0,1 \%$)
 - Pienet metalli-/metalloidipitoisuudet
- Säteily alle ohjearvon, ei asbestimineraaleja



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

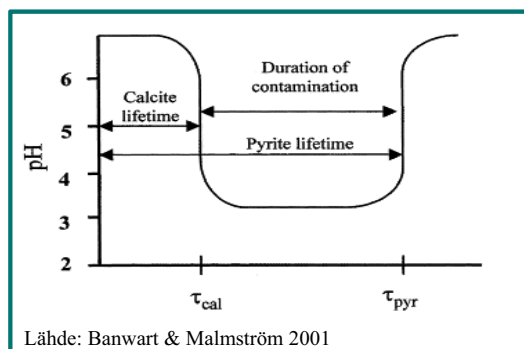
29.3.2012

25

Mahdollisesti pitkällä aikavälillä happoa tuottava kivi/rikastushiekka (tavanomainen jäte)

- Hitaasti rapautuva ja kohtalainen neutralointikyky (testien mukaan) ja sulfidirikkipitoisuus 1-5%
 - Suuret metalli-/metalloidipitoisuudet ja runsaasti herkästi rapautuvia Al-silikaatteja
 - Suotovedet neutraaleja, haitta-ainepitoisuus pieni tai kohtalainen ja suurin osa metalleista/metalloideista saostuu läjityksen sisään
- Sisältää prosessin kemikaalijäämiä esim. suoloja, typpiyhdisteitä (aniitti, anfo)

On huomioitava että pitkällä aikavälillä (> 30 v) metalli-/metalloidipitoisuudet voivat kasvaa ja alumiinin liuetyssä myös hapontuotto voi voimistua



Lähde: Banwart & Malmström 2001



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

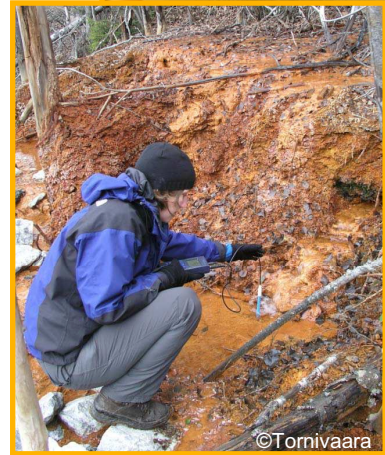
www.gtk.fi

29.3.2012

26

Happoa tuottava kivi/rikastushiekka (vaarallinen jäte)

- Heikko neutralointikyky (ei karbonaatteja / pieni karbonaattipitoisuus)
- Runsaasti sulfidista rikkiä (>1 paino-%) + jäte kuivuu ja vettyy, hapon muodostus todennäköinen
 - Metallien/metalloidien liukoisuuspotentiaali suuri
 - Ferrorautapitoisten alumiinisilikaattien rapautuminen todennäköinen
 - Vajovedet/suotovedet happamia ja sisältävät haitta-aineita sekä mahdollisesti kemikaaleja ja -jäämiä
- (Kivi tai rikastushiekka säteilevää ja sisältää radioaktiivisia isotooppeja tai asbestimineraaleja)



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

27

Yhteenveto

1/2

- Kriteerit menetelmän valinnalle ja mitoitukselle on aina **perusteltava**, jokainen kaivos vaatii jätealuekohtaisen karakterisoinnin ja riskinarvioinnin sekä tilanteeseen mitoitettun monitoroinnin ja hoidon.
- Arvioitava haitallisten alkuaineiden pitoisuudet ja liukoisuuspotentiaali sekä happokuormitus (haponmuodostus- ja neutralointipotentiaali)
- Osa kriteereistä mitattavissa, mutta osa joudutaan päättämään esim. mineralogian perusteella (rapautumisherkyys, pH)
- Perustana potentiaaliset rapautumisreaktiot eri kivilajiympäristöissä, läjitysalueen ominaisuudet ja suotovesihavainnot kaivosalueilla
- Rapautumista kuvaa reaktioille ominaiset indikaattorialkuaineet (erotettavissa prosessivesille tunnusomaisista alkuaineista)



Kaivannaisjätteet ja niiden ominaisuuksien määrittäminen / Anna Tornivaara

www.gtk.fi

29.3.2012

28

- Analyysitulokset ovat suuntaa antavia, myös alueen kokonaiskuva ymmärrettävä (ilmasto, pH-Redox -olosuhteet, läjitystapa, elinkaari)
- Eri mineraalit rapautuvat eri nopeudella, lyhyt- ja pitkäaikaisvälin vaikutukset huomioitava
- Sivukivien ja jätteen analysoiminen aloitettava jo varhaisessa vaiheessa (esim. rikastuskokeiden yhteydessä)
- Jätteen ominaisuudet vaikuttavat jätteen sijoitukseen ja hyödyntämismahdollisuuksiin, huomioitava myös prosessikemikaalit ja räjäytysainejäämät
- Syntyvän jätteen määrä ja haitallisuus minimoitava ja hyötykäyttöä lisättävä



Opas - Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt, SY29/2011



- Yhteistyössä: GTK, kaivannaisteollisuus & ympäristöhallinto
- Toimittaneet: Kauppila, P., Räisänen, M.L. & Myllyoja, S.
- Rahoittajina: K.H. Renlundin säätiö, TEM & ympäristöhallinto
- 213 s.
- Malminetsinnästä jälkihoitoon
- BEP: Best Environmental Practices

