

Kaivannaisjätteiden ympäristövaikutukset ja hyötykäyttöpotentiaali

Anna Tornivaara
28.11.2017

kemira

 **Endominex**



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

BOLIDEN
Kevitsa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



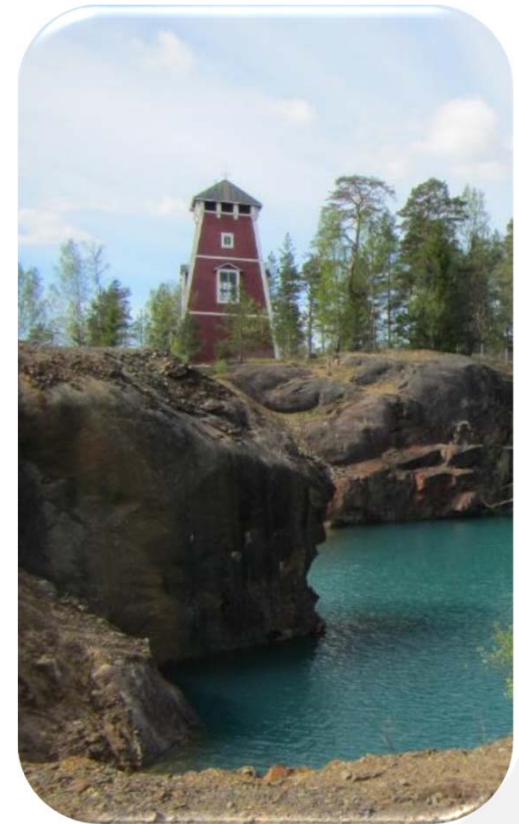
Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahoitus

Kaivostoiminnan ympäristövaikutukset

- Muutokset maisemassa ja alueen käytössä
 - Pysyviä muutoksia, maankäyttörajoitukset
- Fysikaaliset muutokset
 - Sortumavaara (esim. vanhat kaivostunnelit)
- Kemialliset muutokset
 - Kaivannaisjätealueet (sivukivi, rikastushiekka)
 - Louhoksen seinämät
 - Happamoituminen ja kohonneet haitta-ainepitoisuudet
- Pintavesimuutokset
 - Ylivuotovedet louhokselta, vesienkäsittelyaltaat, ojitukset
- Maaperän pilaantuminen esim. pölyämisen seurauksena
 - läjitysalueet, entiset välivarastoalueet, räjäytykset, maansiirrot
 - Säteily (U- ja Th-sarjat)
- Aktiivisilla kaivoksilla meluhaitat ja tärinä

Vaikutukset ekologiaan ja terveysriski

- Terveyshaitta tai vaara ihmiselle
- Muutokset ympäröivään luontoon
 - Biotooppimuutokset
 - Lajiston yksipuolistuminen
 - Lajien häviäminen etenkin uhanalaiset ja vaarantuneet lajit
 - Rehevöityminen
- Pinta- ja pohjaveden tilan muutokset
- Kaivoksen sulkeminen:
”Kaivosalueen saattaminen toiminnan jälkeen ihmisille ja ympäristölle vaarattomaan kuntoon”



Ympäristövaikutuksen mittakaavaan vaikuttavat

- Olosuhteet (ilmasto, topografia, vesistöt)
- Malmityyppi ja mineralogia
- Louhintamenetelmä (maalainen, avolouhos)
 - Räjähdeaineet
- Rikastusmenetelmät ja prosessikemikaalit
 - Murskaus/jauhatuus -> raekoko
 - Etenkin vaahdotuksessa käytetään kemikaaleja
 - Gravimetrisessä ja/tai magneettisessä erottelussa ei niinkään
 - Hydrometallurginen erottelu (liuotus)
 - Bioliuotus (bakteerit, liuokset, sekundääri- ja primäärikasat)
- Kaivosvesien laatu (kuivatusvedet, prosessivedet)
- Toiminnan mittakaava ja aika

Haaita-aineiden leviämiseen vaikuttavat

- Pohjaveden virtaussuunta ja korkeus
- Pintavedet
 - Virtausolosuhteet
 - Vastaanottavan vesistön laatu
 - Tärkeää vesien hallinta ja käsittely
- Maaperän pinnanmuodot
- Maalajit ja peitekerrosten paksuudet
 - Vedenjohtavuus, virtaussuunnat
- Kallioperän ruhjeisuus
- Toimintojen sijoittelu, suunnittelu ja toteutus
 - Jätealueen vettymis-kuivumissykli
 - Pohja- ja patorakenteet



Malmityyppi

- Vaikuttaa jätteiden kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin
 - Kemiallinen rapautumisalttius
 - Liukoisuus
 - Happoa tuottavien mineraalien määrä
 - esim. rautasulfidit
 - Neutralointikyky (happamuuden puskurointi)
 - Karbonaattimineraalit
 - Neutralointikykyiset silikaatit (Mg/Ca)
 - Helppoliukoiset alumiinisilikaatit
 - Hapettuneiden alkuaineiden saostuminen (ferrisaostumat)
- Pitkäaikaikäyttyymisen ennustaminen / mallinnus

Sulfidimalmit

- Perusmetallit (Cu, Ni, Co)
- Jalometallit (Au, Ag, PGM)

Oksidimalmit

- Uraani
- Kromiitti, rauta

REE-malmit

Teollisuusmineraalit

- esim. talkki, kvartsi

Korukivet

Rakennuskivet

Vuolukivi

Kalkkikivi

Ympäristön kannalta huomioitavaa

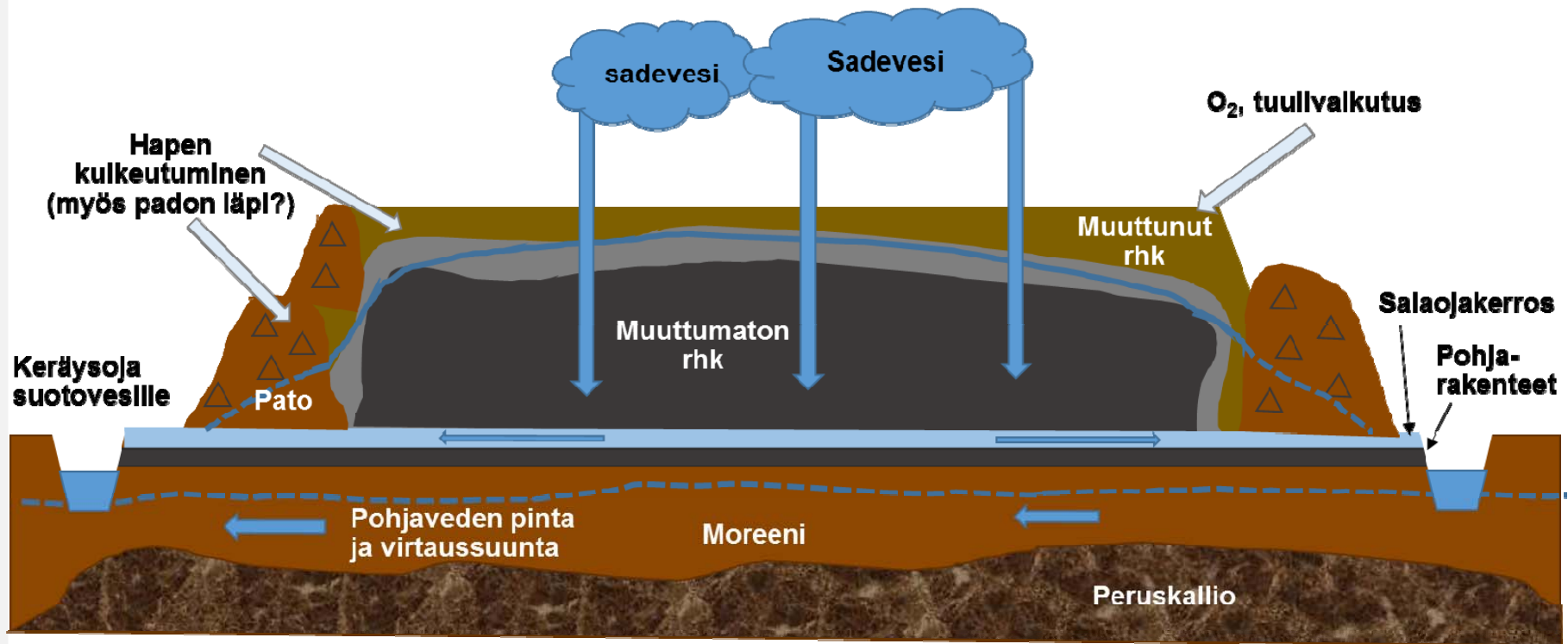
- Mahdolliset haitalliset metallit
 - Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Pb, Ni, Zn, V...
- Potentiaalisesti haitalliset puolimetallit
 - esim. As, Sb
- Suolat (kuten sulfaatti, kloridi ja fluoridi)
 - liukenee myös kemikaaleista
- Ravinteet
 - esim. fosfori, Ca, K, B
- Radioaktiivisia alkuaineita
 - U, Th ja niiden tytärnuklidit Ra, Rn
- Kuitumineraaleja (asbesti)
- Kemikaalit (ksantaatit, syanidi)
- Räjähdysaineet (typpi)



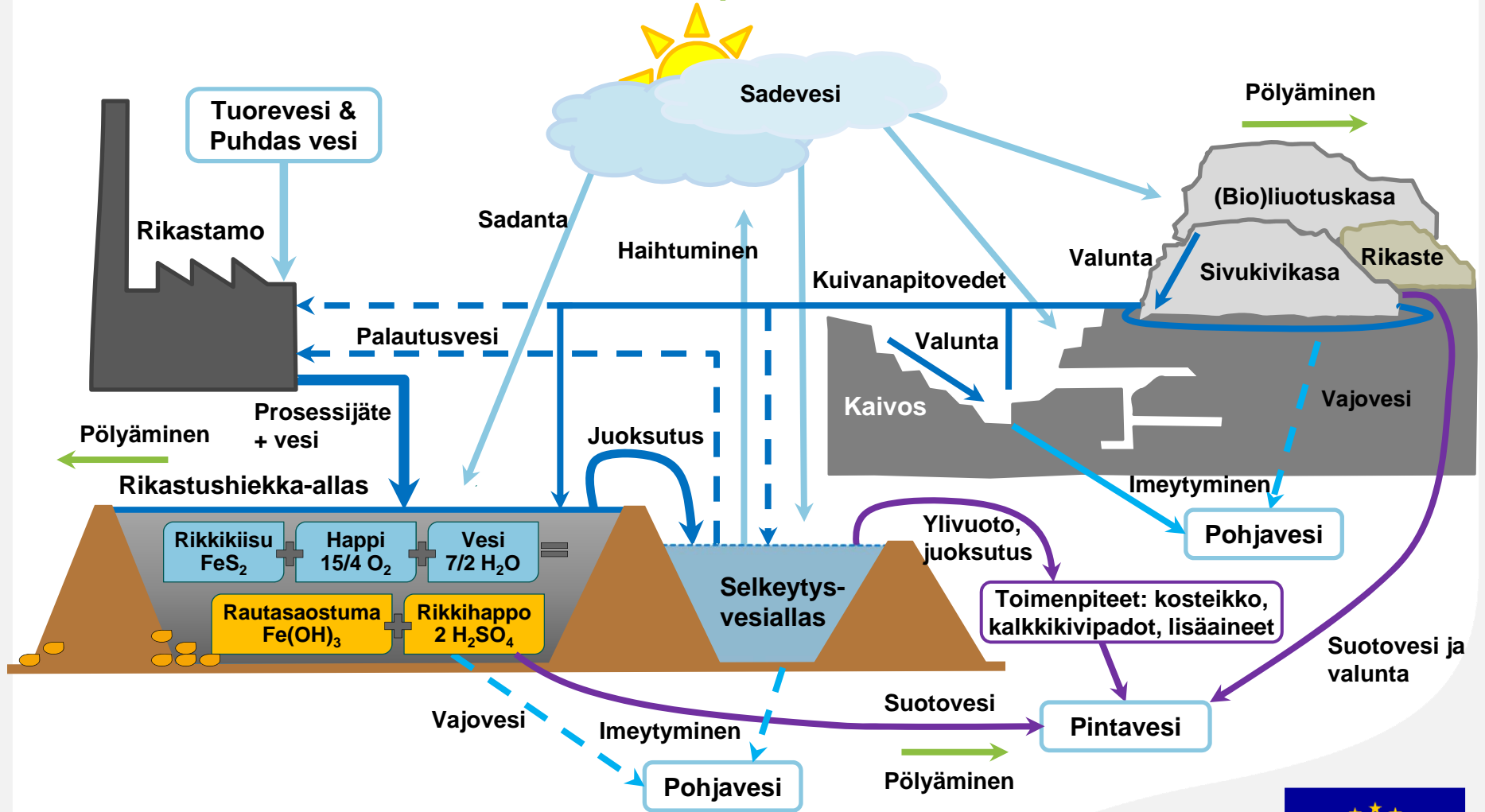
Rikkikiisun hapettuminen

- Ympäristövaikutusten kannalta kriittisiä tekijöitä → happamoitumisnopeus ja haitta-aineiden liukeneminen
- Hapen ja veden läsnäolo aiheuttaa hapettumisen, joka johtaa haponmuodostukseen
- Sulfidit yleensä stabiileja erittäin pelkistävässä olosuhteissa
- Hajoaminen on pH sidonnaista
- Reaktiivisuus kasvaa ajan kuluessa: alussa hidasta, mutta reaktio tehostuu bakteerien vaikutuksesta huomattavasti
 - $\text{FeS}_2 (\text{s}) + 7/2 \text{O}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$
 - *Thiobacillus*-bakteerit mukana:
 - $\text{Fe}^{2+} + 1/2 \text{O}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 1/2 \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{FeS}_2 + 14 \text{Fe}^{3+} + 8 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 15\text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$ (pH < 4.5)
- Rautasulfideista magneettikiisu (FeS), rikkikiisu (FeS₂) reagoivat nopeammin kuin esim. sinkkivälke (ZnS)

Rikastushiekkan hapettuminen



Kaivannaisteollisuuden päästöt:



vesistöön, ilmaan ja maaperään

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Jätealueen päästössä huomioitavaa

- Lyhyen ja pitkän ajan muutokset ja ympäristövaikutukset
- Kaivannaisjätealueen päästöt
 - Sulfidipitoisuus
 - pH:n lasku ja haitta-aineiden liukeneminen
 - Hapen ja veden vuorovaikutuksen seuraus
 - Metallien vapautuminen ja pidättyminen sekundäärisiin saostumiin
 - Hapan kaivosvesivaluma ARD / AMD
 - Prosessivesi korvautuu jätteen huokosvedestä
 - Ei isoja muutoksia vedenkyllästämällä vyöhykkeellä
 - Vesipinnan alentuminen läjitysalueella
- Aluksi karbonaattien liukenemista → happamuuden neutraloituminen
 - Kesto on riippuvainen neutraloivien mineraalien määrästä

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Ympäristöhaittojen vähentäminen

- Kaivannaisjätealueiden hallinta ja monitorointi
 - Mineralogia ja vesien kemiallinen laatu
 - Ehkäistä haponmuodostus
 - Pohjan rakenne ja tiiveys, patotyyppi
- Pölyämisen estäminen
 - Peittäminen (kuiva- vai märkäpeitto)
- Vesien käsittely (vesien ohjaus/hallinta):
 - Neutralointi
 - Saostavat reagenssit, kalkitus
 - Haitta-ainepitoisen lietteen sijoitus(?)
 - Laskeutusaltaat
 - Kemikaalikäsittely



Vesien käsittely, passiivisesti

- Kosteikkoratkaisut
 - Aerobiset (hapelliset)
 - Anaerobiset (hapettomat)
- Kalkkikivipadot ja kalkkikivikourut
 - Avoimet tai hapettomat
- Reaktiiviset seinämät, kalvot, suodatinkankaat
- Mikrobiologiset puhdistusmenetelmät (mm. bioreaktorit)
- Kompostimateriaali
- Vesien ohjaus, ojitus



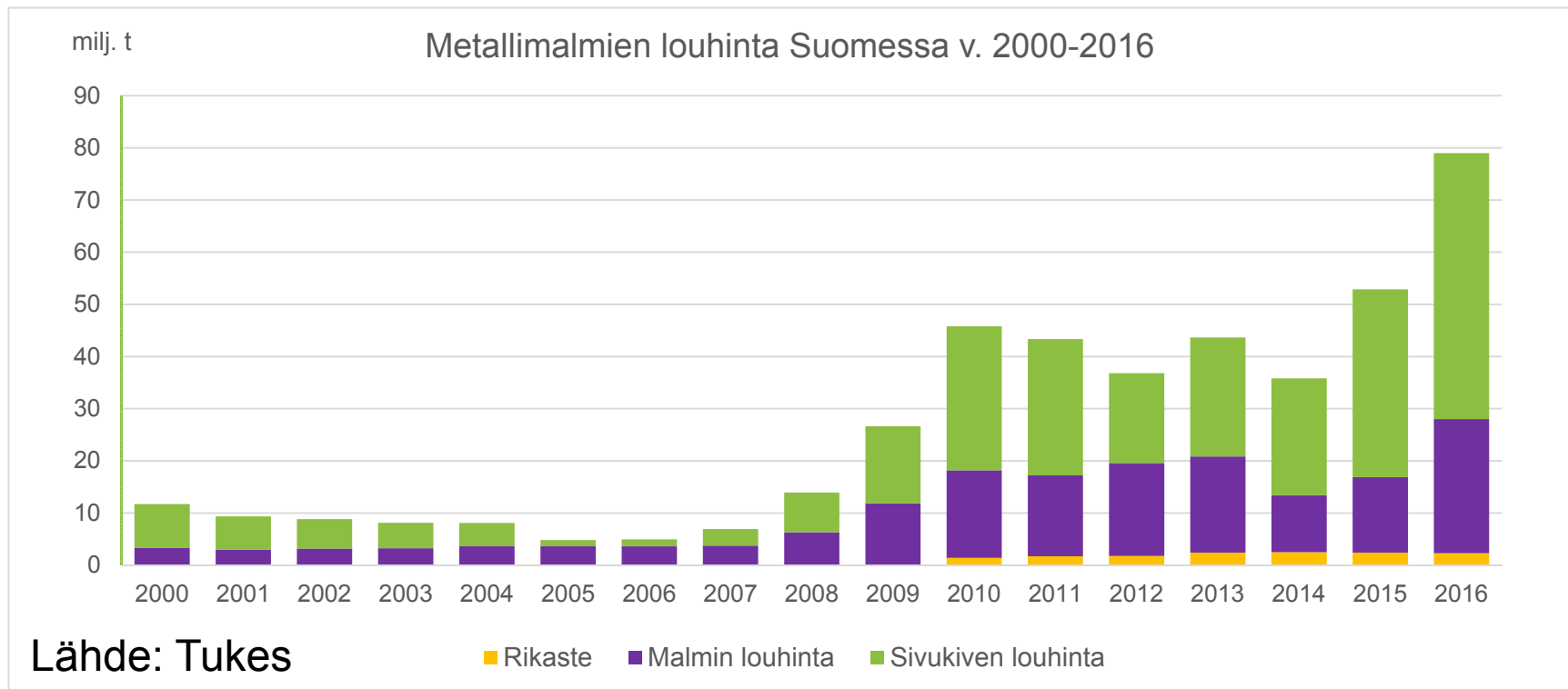
Hyötykäyttö

Hyötykäyttöpotentiaali kaivannaisteollisuudessa

- Mineraaliesiintymät ovat uusiutumattomia luonnonvaroja:
 - kaivoksen malmi ehtyy ja on rajallinen
- Hyötymetallien oletetaan riittävän maan kuoressa
 - Hyvät esiintymät loppuvat?
 - Kehittykö tekniikka samalla nopeudella?
 - Hyödyntäminen tulevaisuudessa haastavampaa?
 - Raaka-aineiden tarpeen oletetaan kasvavan
- Kaivannaismateriaaliakin voidaan hyödyntää uudelleen
- Materiaalitehokkuus – Sivuvirrat tärkeänä resurssina
 - Kierrätys- ja hyötykäyttökapasiteetin kasvatus
 - Tekee kaivostoiminnasta kestävämpää
 - Jättemäärien väheneminen
 - Ekotehokkuus ja ympäristöedut



Kaivannaistoiminnan mineraaliset jätteet

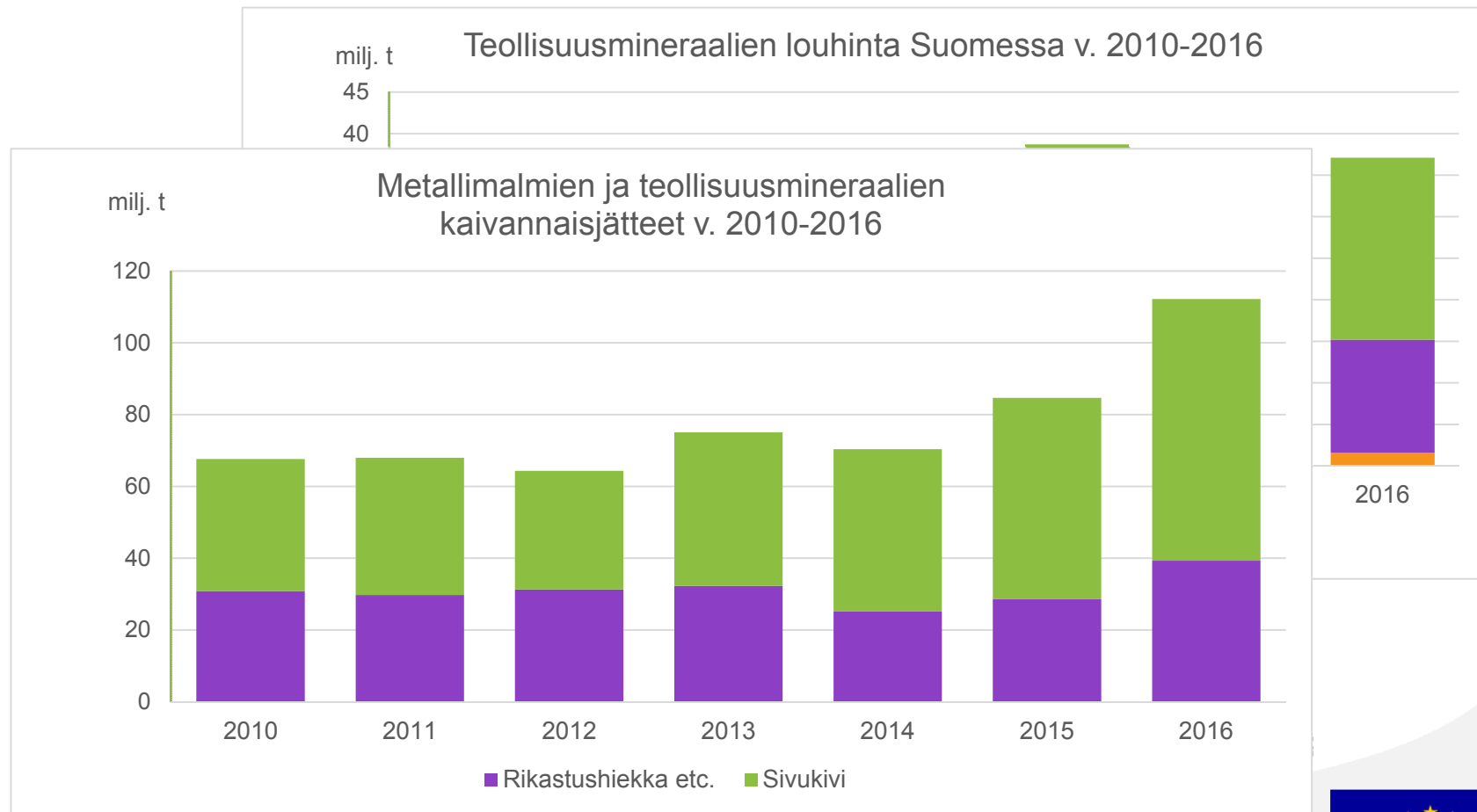


- Rikastushiekka, bioliuotuksen jäännöskasat, erilaiset lietteet ja sakat
- Sivukivet
- Maanpoistomaat
- Jätevedet

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Kaivannaisjätteet Suomessa 2010-2016



Lähde: Tukes

Jättemäärät suhteutettuna tuotteeseen

Suhde: Tuote-jättemäärä

- Kiviaines 1:0,1
- Fluoriitti 1:1
- Rauta 1:3,5
- Sinkki 1:40
- Kupari 1:450
- Nikkeli 1:500
- Kulta 1:950 000



Lähde: BRGM 2001, Spitz & Trudinger 2008

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Kaivannaisjätealueet vievät tilaa...



Kaivosjätteiden jatkokäyttö

- Suurin osa jätteestä läjitetään pysyvästi kaivosalueille
- Osa jätteistä voidaan hyödyntää suoraan
 - esim. kaivosten sivukivistä n. 23 % v. 2014
- Jätteiden raaka-ainepotentiaalin tunnistaminen tärkeää
 - Uusien käyttökohteiden tutkimus
- Vahvistaa omavaraisuutta
- Vähentää haitallisten jätteiden määriä sekä niiden ympäristövaikutuksia
- Lisätä positiivista kassavirtaa ja vähentää jätteiden hallintamenoja
 - Pienempi alue, helpompi jälkihoito
- Tukea kestävän kehityksen mukaista kaivostoimintaa
 - Koko elinkaaren kustannukset huomioitava

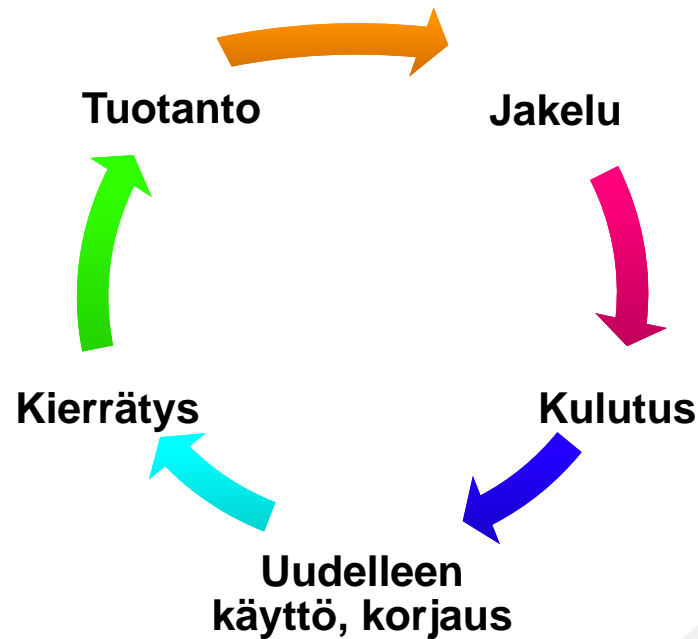


Ajattelutavan muutos – kohti kiertotaloutta

Lineaarinen talous:

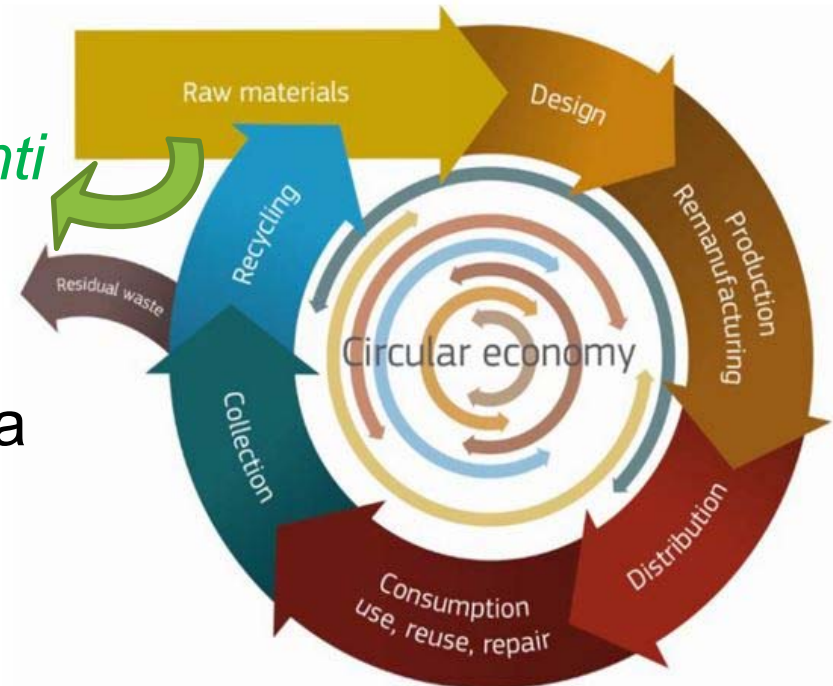


Kiertotalous:



Kaivannaisjätteiden hyödyntämisen mahdollisuudet

- Käytön tehostaminen:
 - Kaivosalueella *Minimointi*
 - Maanrakentamisessa
 - Eri teollisuudenaloilla
- Modifiointi rikastusprosessissa hyödyntämiskelpoisempaan muotoon
- Arvoaineiden talteenotto
 - Kaivosten jätevesistä ja kaivannaisjätteistä
 - Suljettujen kaivosten kaivannaisjätteistä



Lähde: Markus A. Reuter, Outotec Oy

Jätteestä sivutuotteeksi

Kaivannaisjätteen määritelmä (YSL 527/2014)

Jätelaissa (646/2011) sivutuotteen määritelmä:

- **jätteellä** tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä.
- Aine tai esine **ei ole jäte vaan sivutuote**, jos se syntyy sellaisessa tuotantoprosessissa, jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole tämän aineen tai esineen valmistaminen, ja:
 - Jatkokäytöstä on varmuus;
 - Voidaan käyttää suoraan sellaisenaan tai kun sitä on muunnettu tavanomaisesti;
 - Syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana; sekä
 - Täyttää ympäristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset eikä aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Geologiset sivuvirrat ja mahdolliset käyttökohteet

- Rikastushiekat ja sivukivet
 - Kaivosalueella:
 - Rakennusmateriaalina, esim. kaivospadoissa
 - Peittomateriaalina, suodattimena
 - Takaisintäyttönä tai massavaihdot, meluvallit
 - Jätealueen kunnostusmateriaalina
 - Ulkopuolella tuotteena tai rakennusmateriaalina:
 - Kiviaineksena
 - Teollisuudessa raaka-aineena / materiaalina
 - Tiilet, harkot, maanparannusaineet
 - Keramiikka- tai pigmenttiteollisuus (Fe-oksidi)
- Rakennuskivi- ja kiviaineslouhimoiden sivukivet
 - Ympäristörakentamisessa
 - Kiviaineksena tie-, rata, satama- ja vesirakentamisessa



Geologiset sivuvirrat...

- Kaivoksen pintamaat
 - Myös muusta rakentamisesta
- Vesien käsittelyn lietteet ja sakat
- Prosessiteollisuuden sivutuotteet
 - Kuonat esim. masuunikuona
 - Kipsi- ja kalkkijäte
- Energiantuotannon tuhkat esim. lentotuhka
- Mineraaliset rakennusjätteet esim. betoni ja asfaltti
- Ruoppausjätteet
- Pilaantuneet maat
- Mineraaliset kaatopaikkajätteet



Esimerkkejä



- Kipsi
 - Kipsituotteiden valmistus, rakennusteollisuudessa, sementinvalmistuksessa, penkereissä ja tien alusrakenteissa
- Sementtiuunien pöly
 - Asfaltin ja bitumiseosten täyteaineena, lannoitteiden valmistuksessa, happamien vesien tai maaperän neutraloinnissa
- Rikki
 - Betonin lisäaineena → parempi happo-, suola- ja pakkaskestävyys
 - Pasutettu rikkikiisu: Terästeollisuuden raaka-aineena
- Kalkkikiven louhinnan sivuvirrat
 - Maanparannus- ruokinta-, teollisuus- tai vesistökalke
- Masuunikuona
 - Tienrakennukseen tai täytemaana, betoniteollisuudessa
- Lentotuhka
 - Tienrakennuksessa, asfaltin valmistuksessa

Haasteita

- Ympäristöominaisuudet
- Tekniset ominaisuudet
- Logistiikka ja pitkät välimatkat
- Riittävä saatavuus
- Tilinpito ja tiedottaminen
- Osataanko karakterisointityökaluja tarpeeksi hyötykäyttää?
 - Uudet kohteet, vanhat jätealueet (luokittelu puutteellista)
- Mietitäänkö sivutuotteita ja jätteen hyödyntämistä tarpeeksi varhain?
- Yhteistyön lisääminen lainsäätäjien, toiminnanharjoittajien ja tutkijoiden välillä
- Ajatusmalli:
 - Ympäristön kannalta positiivinen lopputulos ja usein sitä myös taloudellisestikin pitkässä juoksussa

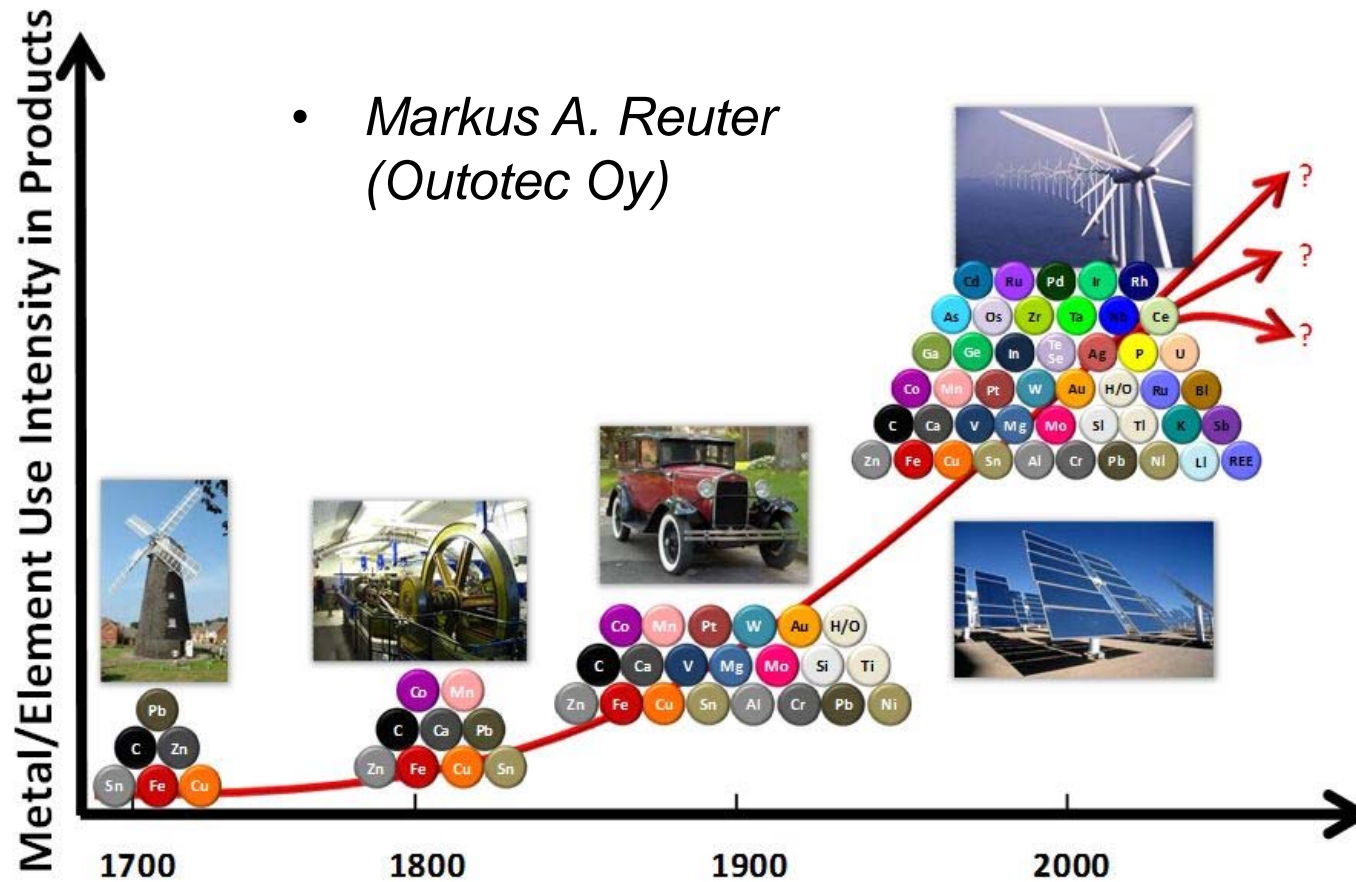


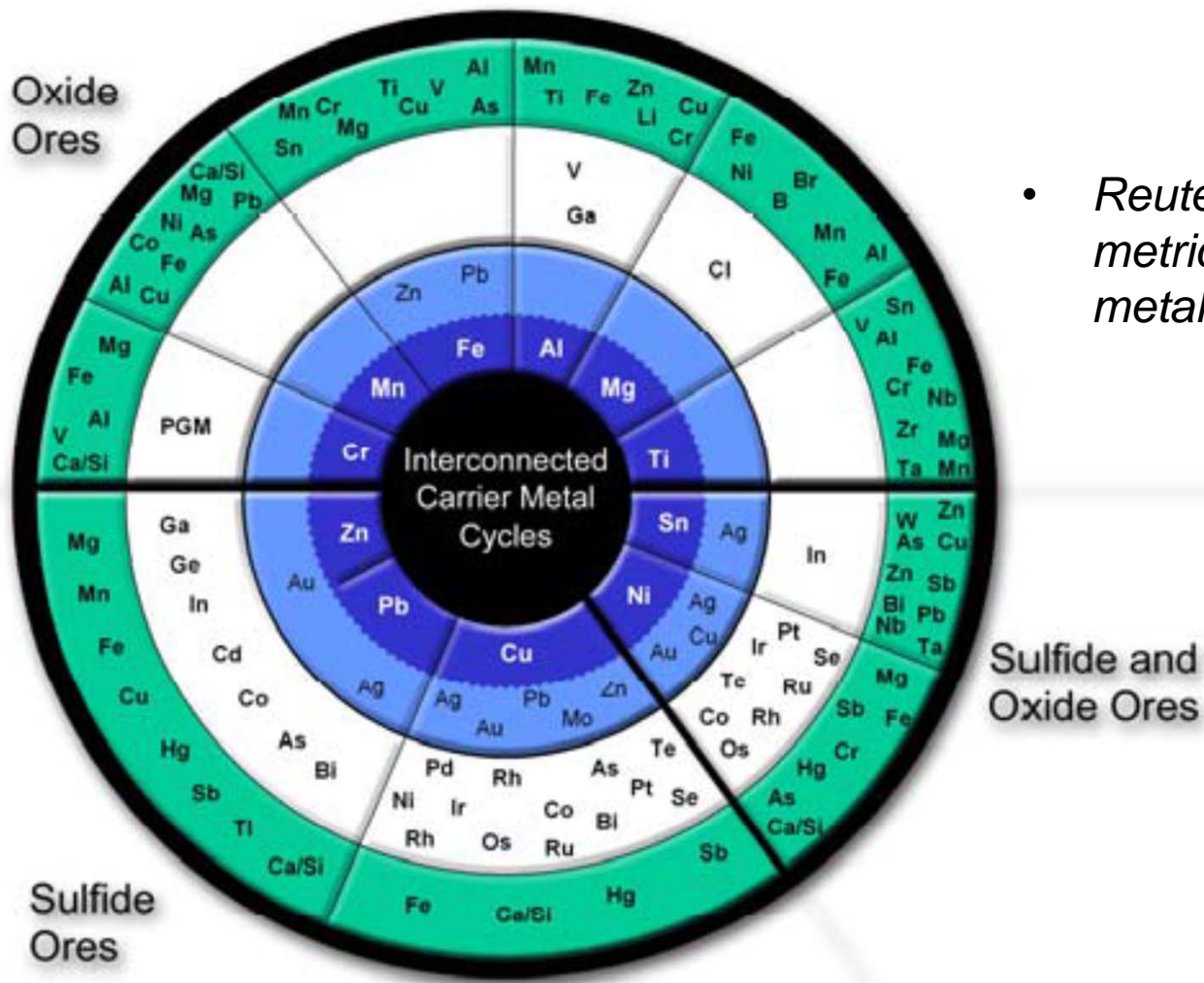
Edellytyksiä

- Paremmat ympäristömyönteisemmät rikastustekniset ratkaisut ja esiintymien hyödyntämistekniikat
- Kaivannaisjätteiden ympäristökelpoisuuden tutkimista jo varhaisessa vaiheessa
- Hyödyntämiskelpoisten jätteiden erottelu muista
- Materiaalitehokkuuden sisäistäminen yleiseen ajattelutapaan
- Kustannustehokkuuden maksimointi
 - Hyödyntämisen kannattavuus
- Jättestatuksen purkaminen
- Kannustimet, tuet
- Tutkimus(rahoitus)
 - Uusien käyttökohteiden löytäminen



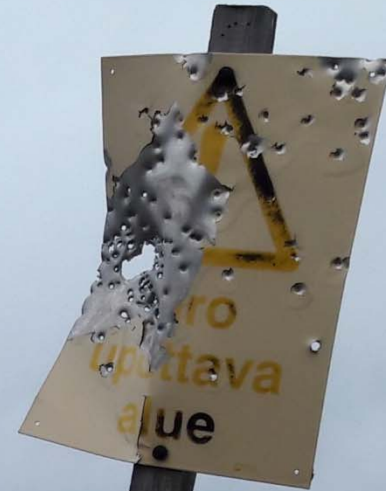
Muutokset alkuaineiden käytössä





- Reuter et al. 2005. *The metrics of material and metal ecology*, Elsevier.

Kiitos!



anna.tornivaara@gtk.fi

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto