

Kaivannaisjätteiden hallintamenetelmät (KaiHaME)

Mineralogiset tutkimukset Kopsan rikastushiekan
rikastuskokeiden ja ympäristökelpoisuuden
arvioinnin tueksi

Matti Kurhila, Neea Heino, Mia Tiljander

18.4.2018



 Endomines
kemira



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

NEW BOLIDEN
Kevitsa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



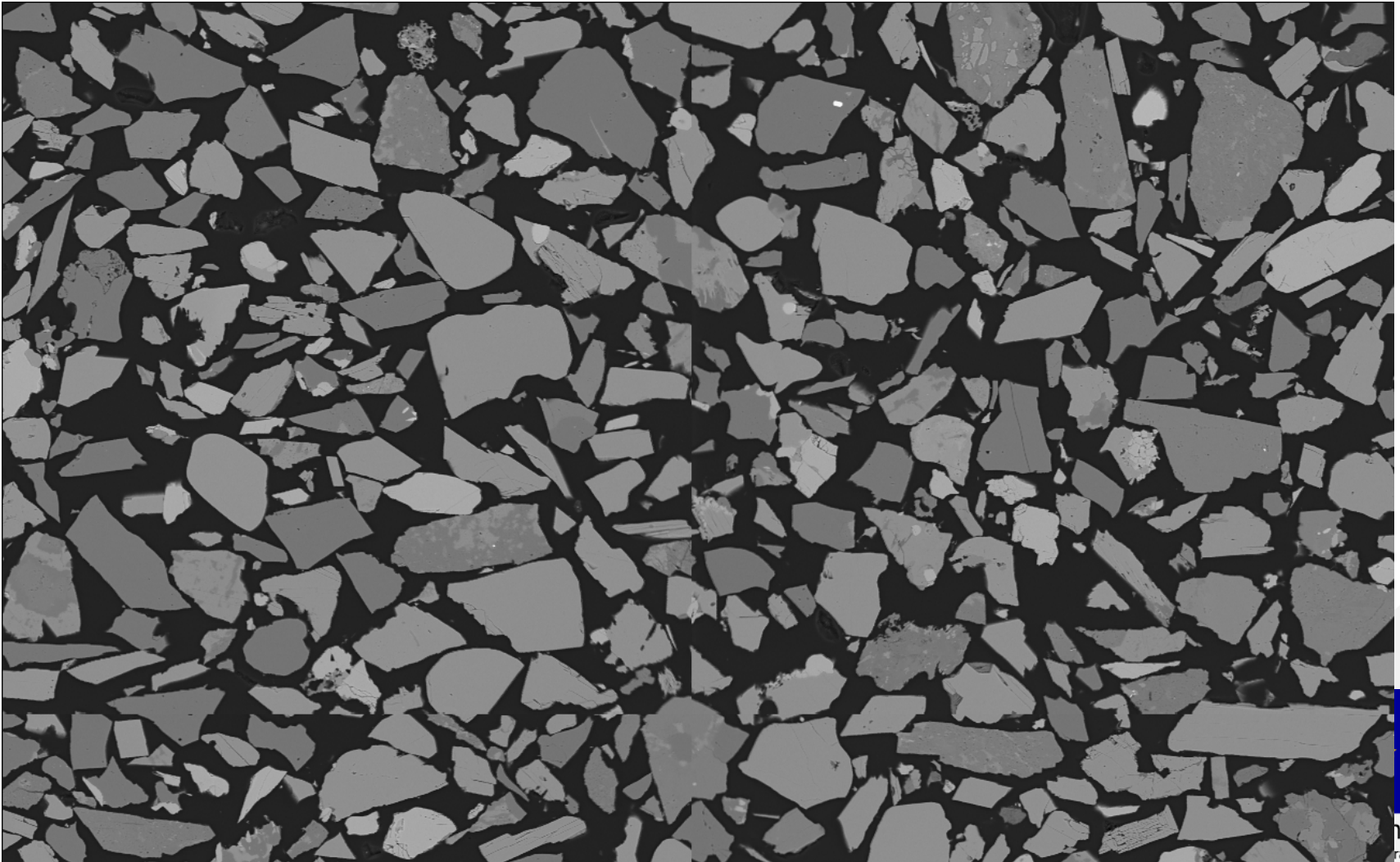
Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kopsan mineralogiset tutkimukset

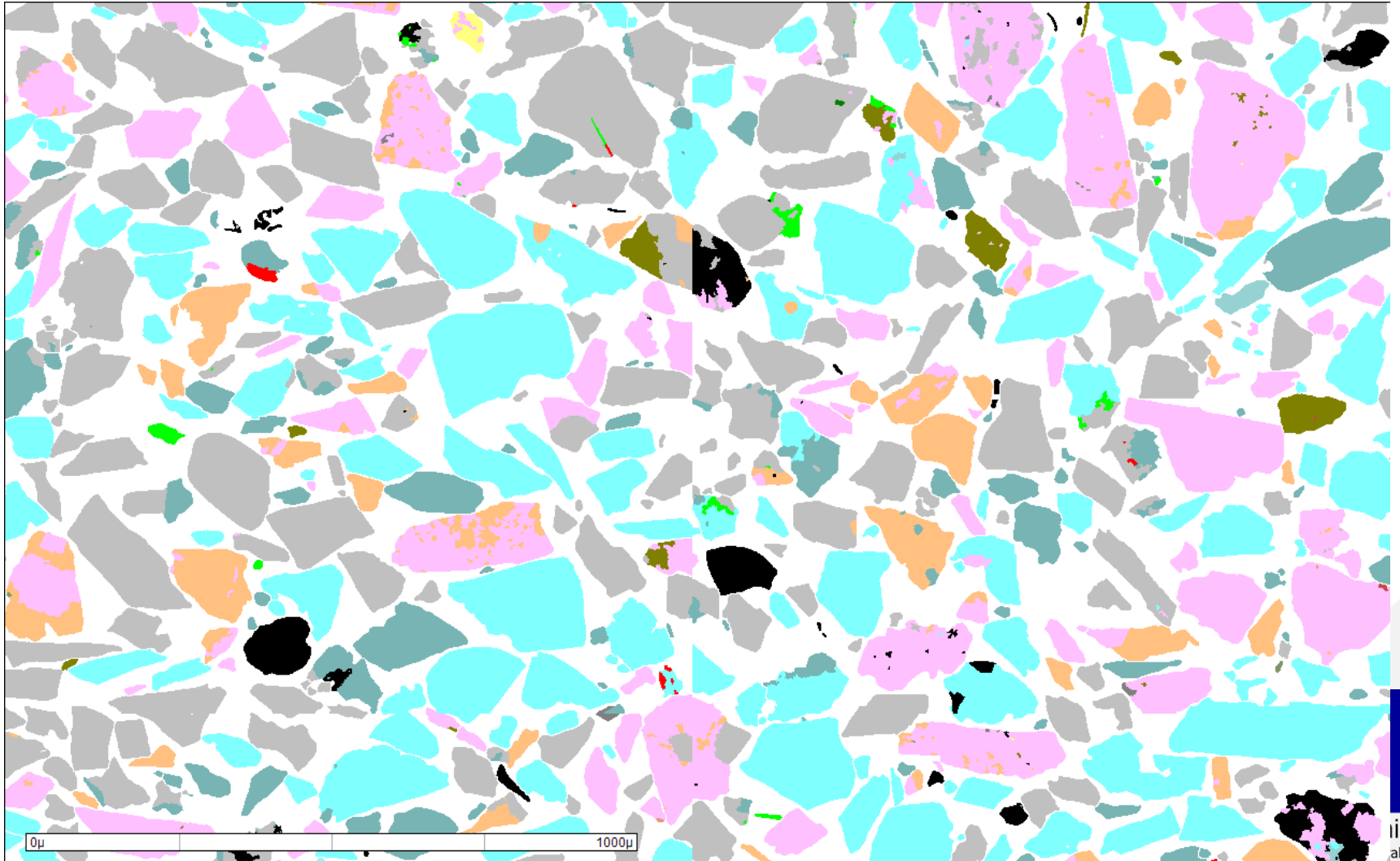
- Kopsan malmia ja rikastuskokeiden tuloksia tarkasteltiin mineraaliliberaatioanalyysillä (MLA) ja elektronimikroanalyysillä (EPMA)
- MLA:lla tarkoitetaan tietokoneohjelmistoa, jolla voidaan ohjata pyyhkäisyelektronimikroskooppia sekä kerätä ja analysoida näytteestä saatua tietoa
- MLA:lla lähinnä tunnistetaan mineraalifaaseja ja käsitellään niiden fysikaalisia ominaisuuksia, EPMA:lla voidaan mitata niiden alkuainepitoisuuksia



MLA - Takaisinsironneiden elektronien kuva



MLA - Prosesoitu väärävärakuva



Elektronimikroanalysaattori (EPMA)

Electron Probe Micro Analyzer

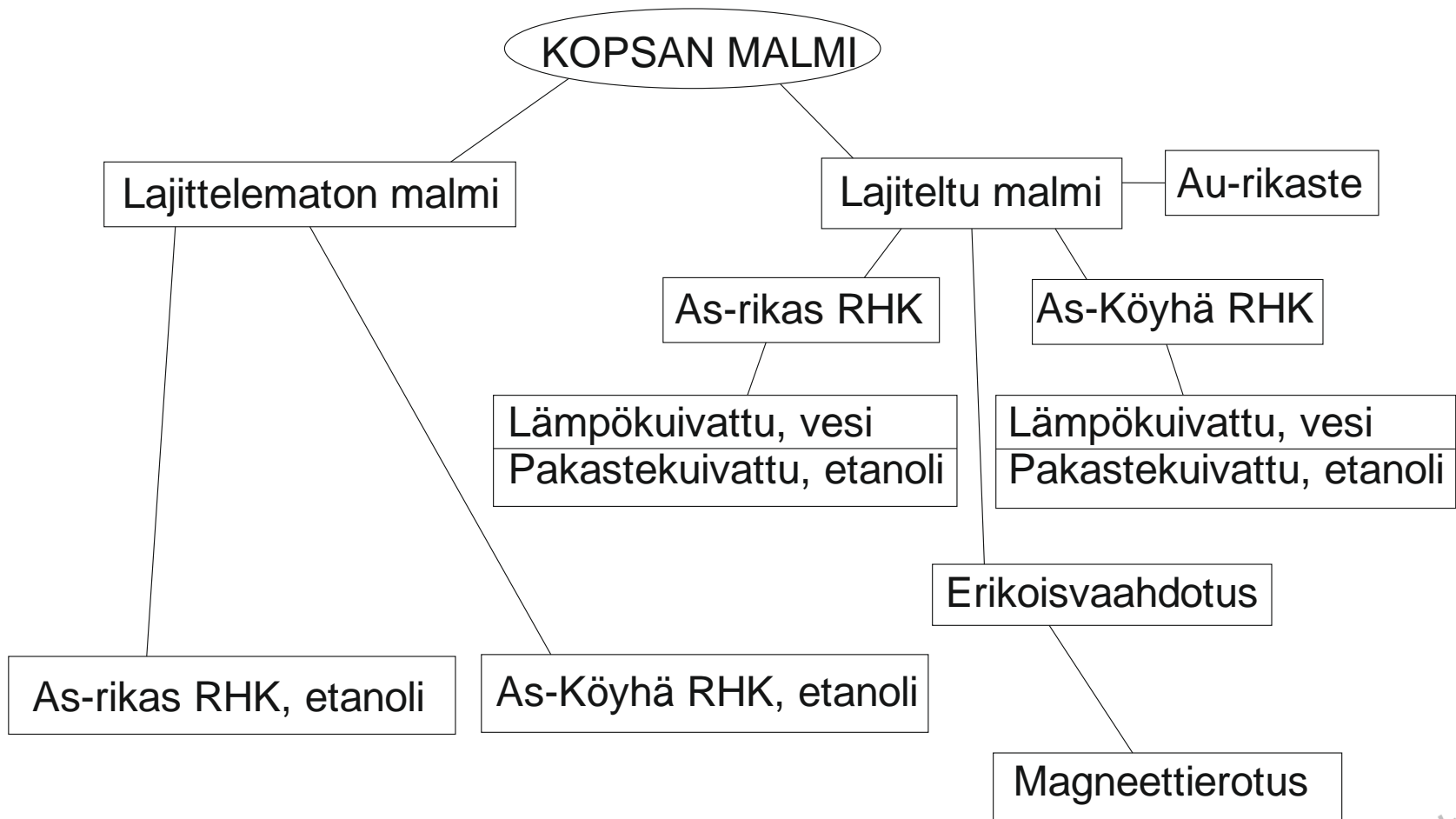
- EPMA on periaatteessa SEM (scanning electron microscope), jossa on hyvin stabili elektronisäde tuottamaan pisteanalyysjä hyvällä resoluutiolla
- EPMA on rakennettu tuottamaan hyviä kemiallisia analyysjä.
- Mikroanalysaattorissa on 5 WDS-spektrometriä (wavelength dispersive spectrometers) kvantitatiiviseen analysointiin.
- EDS-spektrometriä (energy dispersive spectrometer) käytetään faasien tunnistamiseen.



CAMECA SX100

svua ja työtä -ohjelma





Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



MLA

KOPSAN MALMI

Lajittelematon malmi

Lajiteltu malmi

Au-rikaste

As-rikas RHK

As-Köyhä RHK

Lämpökuivattu, vesi
Pakastekuivattu, etanoli

Lämpökuivattu, vesi
Pakastekuivattu, etanoli

As-rikas RHK, etanoli

As-Köyhä RHK, etanoli

Erikoisvaahdotus

Magneettierotus

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



KOPSAN MALMI

Lajittelematon malmi

Lajiteltu malmi

Au-rikaste

As-rikas RHK

As-Köyhä RHK

Lämpökuivattu, vesi
Pakastekuivattu, etanoli

Lämpökuivattu, vesi
Pakastekuivattu, etanoli

As-rikas RHK, etanoli

As-Köyhä RHK, etanoli

Erikoisvaahdotus

Magneettierotus

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



Modaalimineralogia

Mineral	Kopsa lajittelematon syöte -20 Wt%	Kopsa lajittelematon syöte 20-45 Wt%	Kopsa lajittelematon syöte +45 Wt%	Kopsa lajittelematon syöte Laskennallinen bulkki Wt%
Silicates	96.02	97.57	98.03	97.11
Arsenopyrite	1.46	1.11	0.58	1.10
Arsenate	0.02	0.01	0.00	0.01
Lollingite	0.01	0.02	0.02	0.02
Other sulphides	1.04	0.43	0.35	0.63
Fe oxides and hydroxide	0.43	0.14	0.18	0.26
Other	0.27	0.25	0.09	0.22
Contamination	0.05	0.02	0.05	0.04
Unclassified	0.71	0.45	0.71	0.61
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Mineral	Kopsa lajiteltu syöte -20µm Wt%	Kopsa lajiteltu syöte 20-45µm Wt%	Kopsa lajiteltu syöte +45µm Wt%	Kopsa lajiteltu syöte Laskennallinen bulkki Wt%
Silicates	95.36	96.22	97.04	96.02
Arsenopyrite	1.76	1.81	1.33	1.71
Arsenate	0.06	0.03	0.01	0.04
Lollingite	0.00	0.03	0.00	0.01
Other sulphides	1.25	0.87	0.78	1.01
Fe oxides and hydroxide	0.26	0.14	0.10	0.18
Other	0.59	0.42	0.21	0.45
Contamination	0.00	0.00	0.02	0.01
Unclassified	0.70	0.49	0.51	0.58
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



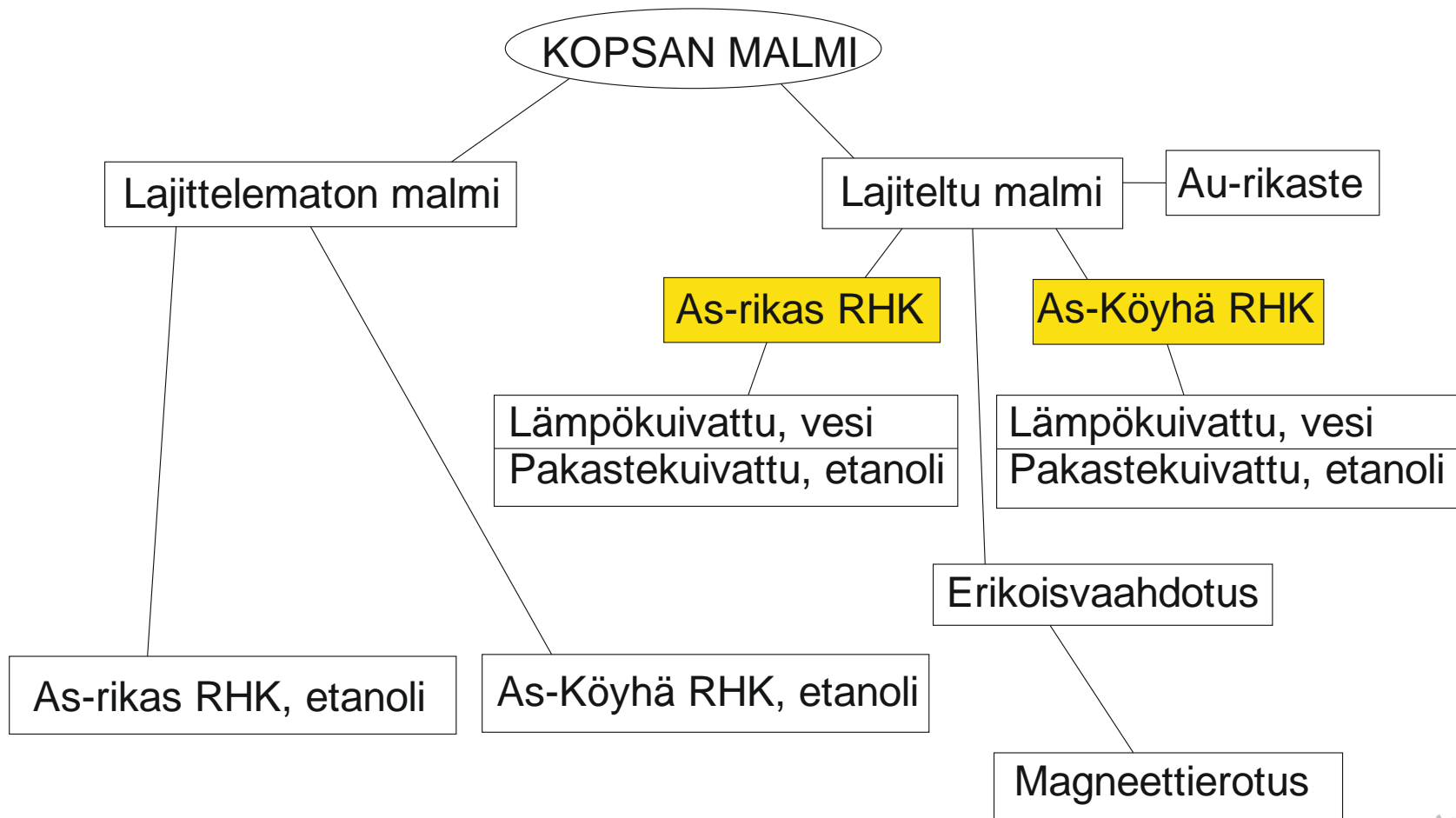
Modaalimineralogia

Mineral	Kopsa lajittelematon syöte -20 Wt%	Kopsa lajittelematon syöte 20-45 Wt%	Kopsa lajittelematon syöte +45 Wt%	Kopsa lajittelematon syöte Laskennallinen bulkki Wt%
Silicates	96.02	97.57	98.03	97.11
Arsenopyrite	1.46	1.11	0.58	1.10
Arsenate	0.02	0.01	0.00	0.01
Lollingite	0.01	0.02	0.02	0.02
Other sulphides	1.04	0.43	0.35	0.63
Fe oxides and hydroxide	0.43	0.14	0.18	0.26
Other	0.27	0.25	0.09	0.22
Contamination	0.05	0.02	0.05	0.04
Unclassified	0.71	0.45	0.71	0.61
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Mineral	Kopsa lajiteltu syöte -20µm Wt%	Kopsa lajiteltu syöte 20-45µm Wt%	Kopsa lajiteltu syöte +45µm Wt%	Kopsa lajiteltu syöte Laskennallinen bulkki Wt%
Silicates	95.36	96.22	97.04	96.02
Arsenopyrite	1.76	1.81	1.33	1.71
Arsenate	0.06	0.03	0.01	0.04
Lollingite	0.00	0.03	0.00	0.01
Other sulphides	1.25	0.87	0.78	1.01
Fe oxides and hydroxide	0.26	0.14	0.10	0.18
Other	0.59	0.42	0.21	0.45
Contamination	0.00	0.00	0.02	0.01
Unclassified	0.70	0.49	0.51	0.58
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma





Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Lajitellun malmin rikastushiekka - Modaalimineralogia

Mineral	Kopsa lajiteltu RHK As-rikas -20µm Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-rikas 20-45µm Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-rikas +45µm Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-rikas Laskennallinen bulkki Wt%
Silicates	98.41	99.07	99.08	98.84
Arsenopyrite	0.04	0.00	0.00	0.02
Arsenate	0.04	0.02	0.01	0.02
Lollingite	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Other sulphides	0.15	0.05	0.08	0.09
Fe oxides and hydroxide	0.11	0.10	0.08	0.10
Other	0.69	0.38	0.43	0.50
Contamination	0.05	0.00	0.01	0.02
Unclassified	0.51	0.38	0.30	0.41
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Mineral	Kopsa lajiteltu RHK As-köyhä -20µm Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-köyhä 20-45µm Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-köyhä +45µm Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-köyhä Laskennallinen bulkki Wt%
Silicates	98.56	99.06	99.52	98.90
Arsenopyrite	0.02	0.01	0.00	0.01
Arsenate	0.02	0.02	0.00	0.02
Lollingite	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Other sulphides	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe oxides and hydroxide	0.10	0.13	0.05	0.11
Other	0.74	0.41	0.11	0.52
Contamination	0.02	0.01	0.01	0.01
Unclassified	0.49	0.32	0.27	0.39
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

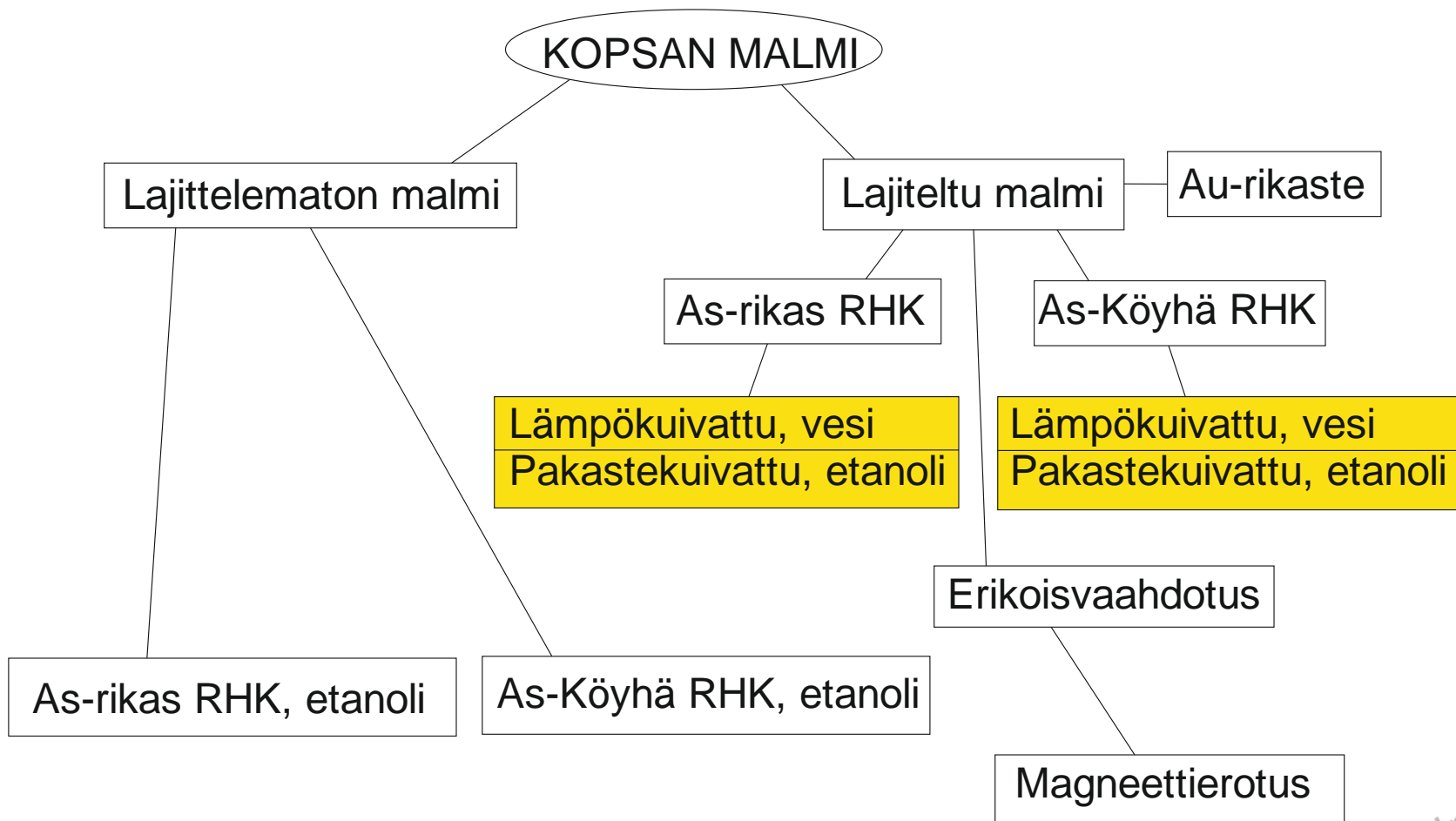
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Näytteen käsittelyn mahdollinen vaikutus mineralogiaan

- MLA-näytteen valmistuksessa käytetään normaalisti vettä sahauksen ja hionnan yhteydessä.
- Näytteen kuivattamiseksi ja hartsin kovettamiseksi näytteet kuumennetaan.
- Vaihtoehtoisessa menetelmässä käytetään veden sijasta etanolia ja näytteet pakastekuivataan, eikä niitä kuumenneta. Tällä menetelmällä pyritään minimoimaan mineralogisten tutkimusten vaatiman näytteiden esikäsittelyn aiheuttamat muutokset näytteen koostumuksessa.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



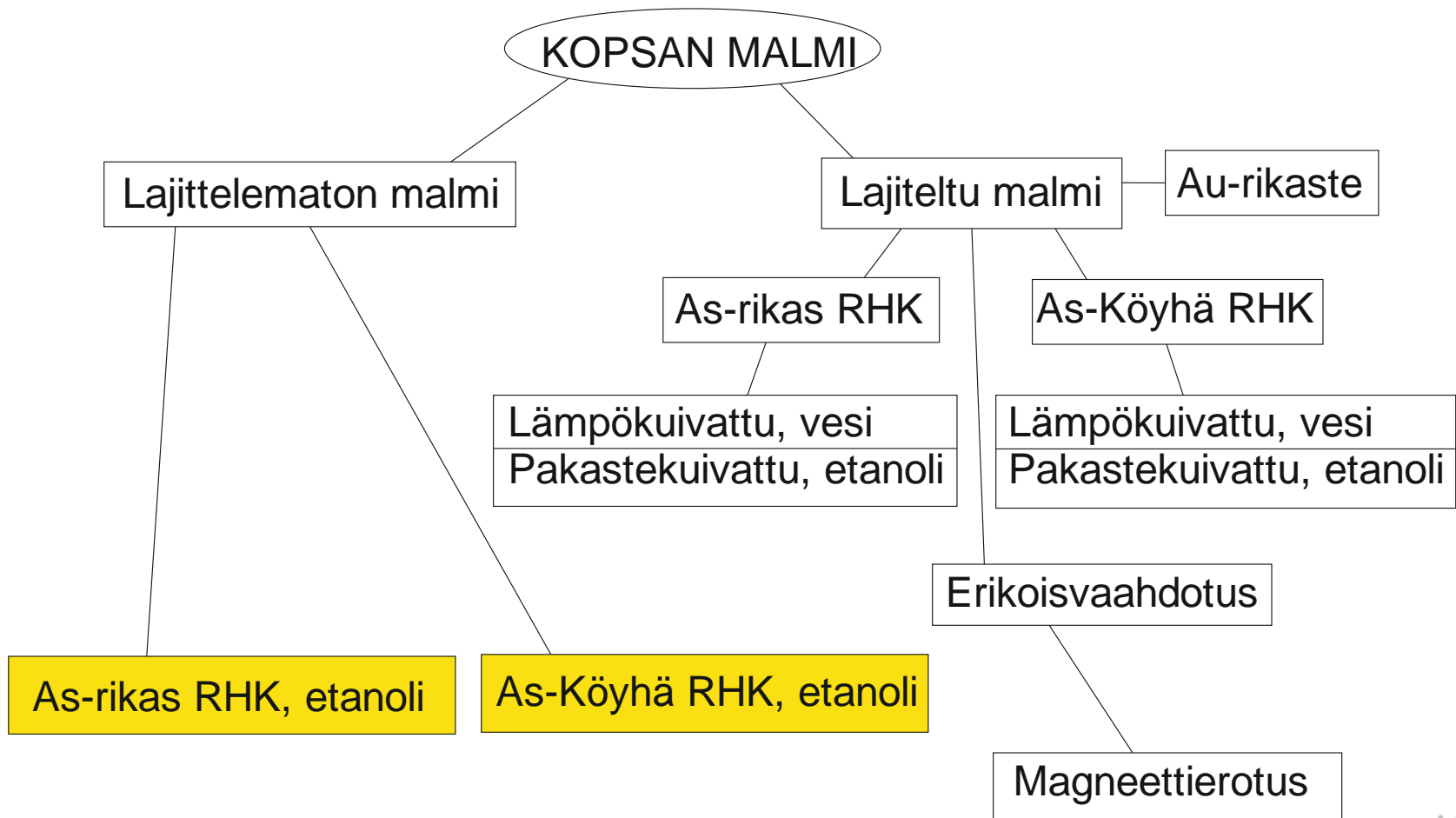


Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Lajitellun malmin lämpö- ja pakastekuivatut rikastushiekat - Modaalimineralogia

Mineral	Kopsa lajiteltu RHK As-rikas Lämpökuivattu Bulkki Hie1 Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-rikas Lämpökuivattu Bulkki Hie2 Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-rikas Lämpökuivattu Bulkki Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-rikas Pakastekuivattu Bulkki Hie1 Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-rikas Pakastekuivattu Bulkki Hie2 Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-rikas Pakastekuivattu Bulkki Wt%
Silicates	98.70	98.63	98.66	98.68	98.58	98.63
Arsenopyrite	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Arsenate	0.05	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02
Lollingite	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Other sulphides	0.09	0.10	0.09	0.06	0.12	0.09
Fe oxides and hydroxide	0.12	0.13	0.12	0.08	0.11	0.09
Other	0.59	0.53	0.56	0.51	0.56	0.54
Contamination	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
Unclassified	0.42	0.55	0.48	0.60	0.57	0.59
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Mineral	Kopsa lajiteltu RHK As-köyhä Lämpökuivattu Bulkki Hie1 Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-köyhä Lämpökuivattu Bulkki Hie2 Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-köyhä Lämpökuivattu Bulkki Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-köyhä Pakastekuivattu Bulkki Hie1 Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-köyhä Pakastekuivattu Bulkki Hie2 Wt%	Kopsa lajiteltu RHK As-köyhä Pakastekuivattu Bulkki Wt%
Silicates	98.83	98.81	98.82	98.70	98.70	98.70
Arsenopyrite	0.00	n.d.	0.00	0.01	0.00	0.00
Arsenate	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Lollingite	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Other sulphides	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
Fe oxides and hydroxide	0.12	0.07	0.10	0.07	0.08	0.08
Other	0.56	0.48	0.52	0.55	0.57	0.56
Contamination	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Unclassified	0.44	0.57	0.50	0.62	0.61	0.61
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

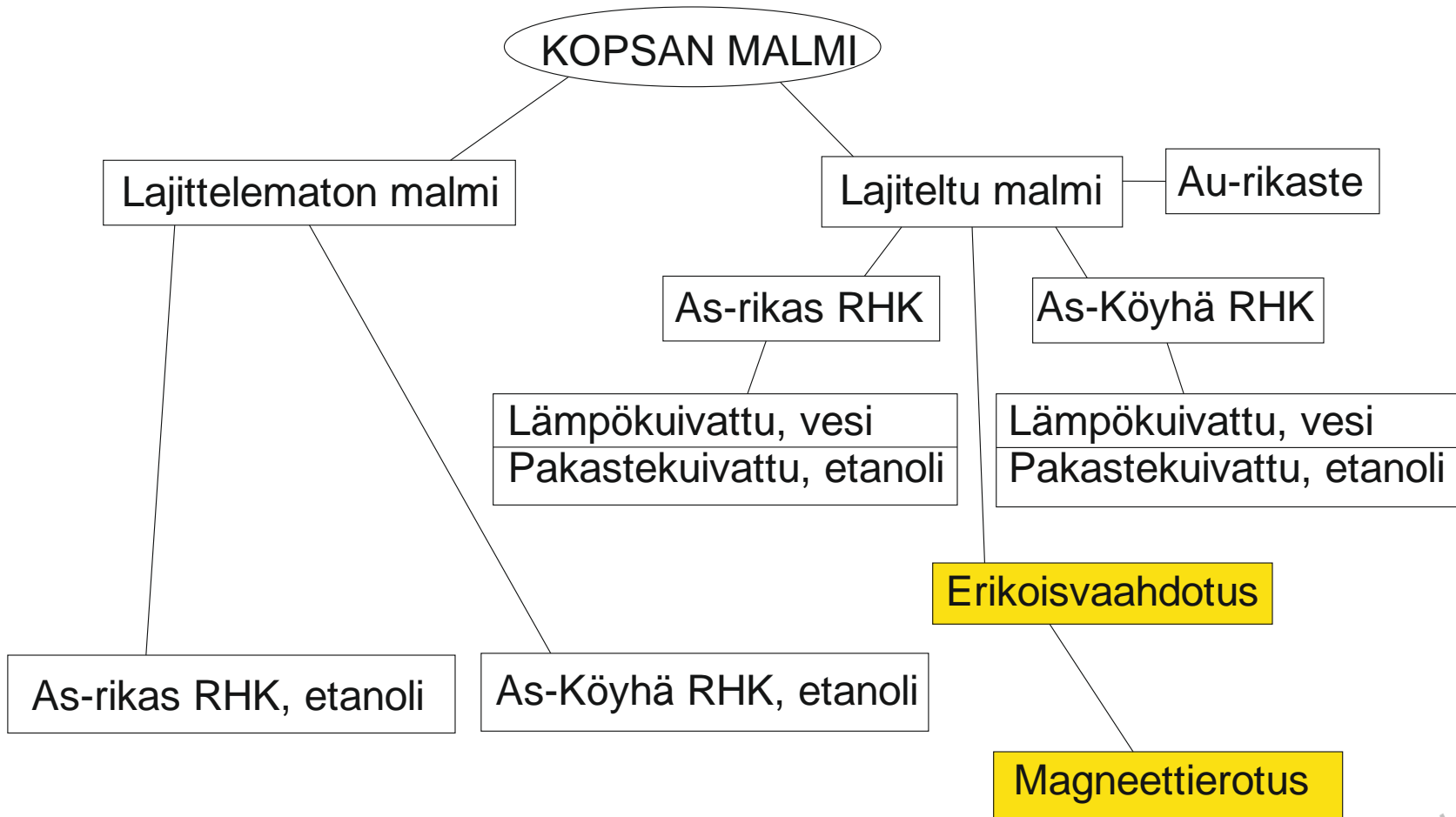


Lajittelemattoman malmin rikastushiekat – Modaalimineralogia

Mineral	Kopsa lajittelematon RHK As- rikas Pakastekuivattu Bulkki Keskiarvo Wt%	Kopsa lajittelematon RHK As- köyhä Pakastekuivattu Bulkki Keskiarvo Wt%
Silicates	99.19	98.90
Arsenopyrite	0.00	0.00
Arsenate	0.00	0.01
Lollingite	0.00	0.00
Other sulphides	0.04	0.01
Fe oxides and hydroxide	0.08	0.34
Other	0.20	0.23
Contamination	0.04	0.04
Unclassified	0.44	0.48
Total	100.00	100.00

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

KOPSAN MALMI

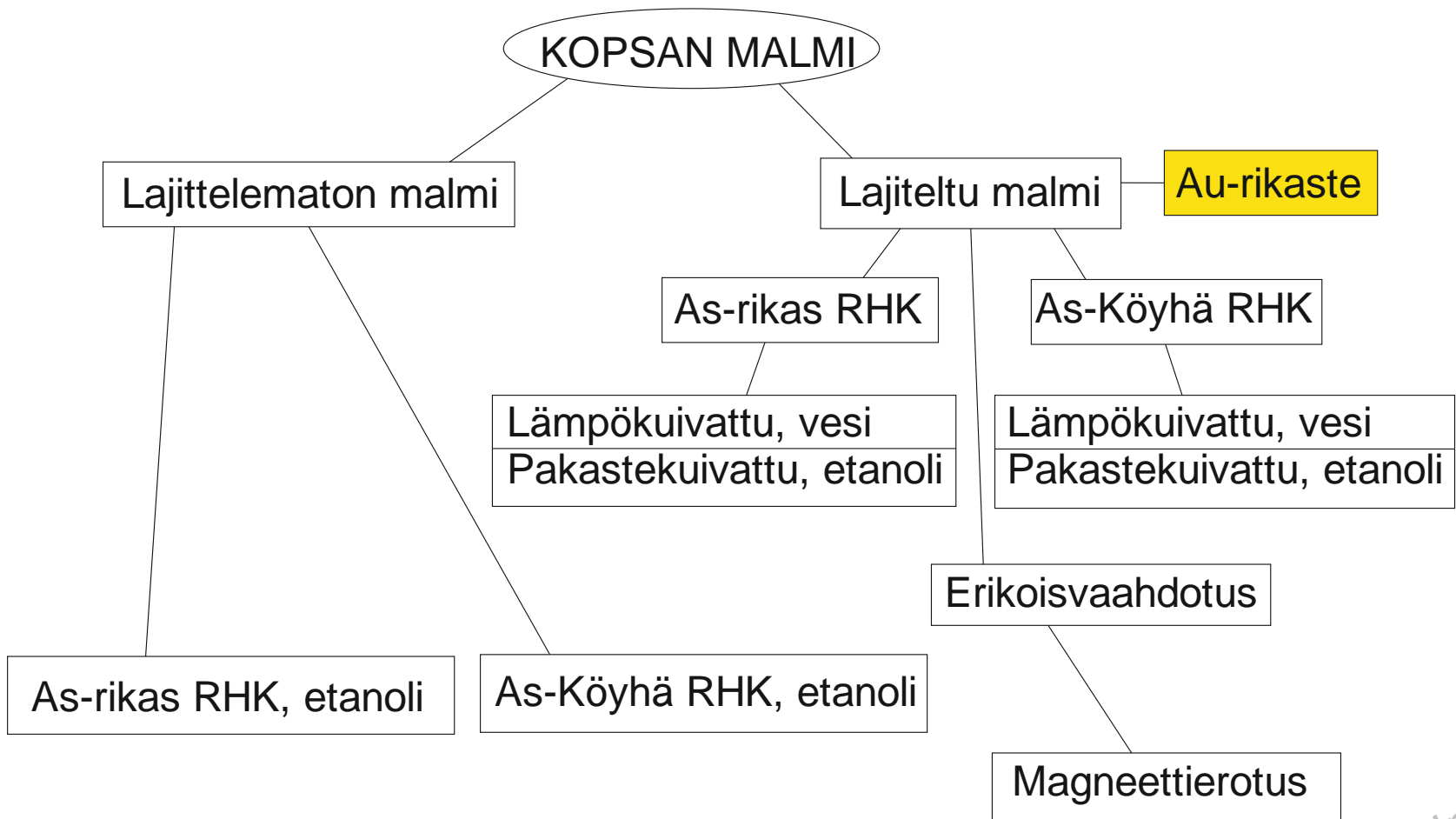


Lajitellun malmin erikoisvaahdotuksen ja magneettierotuksen jätteet - Modaalimineralogia

Mineral	Kopsa lajiteltu malmi vaahdotuksen jäte Wt%	Kopsa lajiteltu malmi magneettierotuksen jäte Wt%
Silicates	98.09	98.60
Arsenopyrite	0.01	0.00
Arsenate	0.01	0.00
Lollingite	0.00	n.d.
Other sulphides	0.03	0.01
Oxides and hydroxides	1.13	0.75
Other	0.56	0.63
Unclassified	0.17	0.11
Total	100	100

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

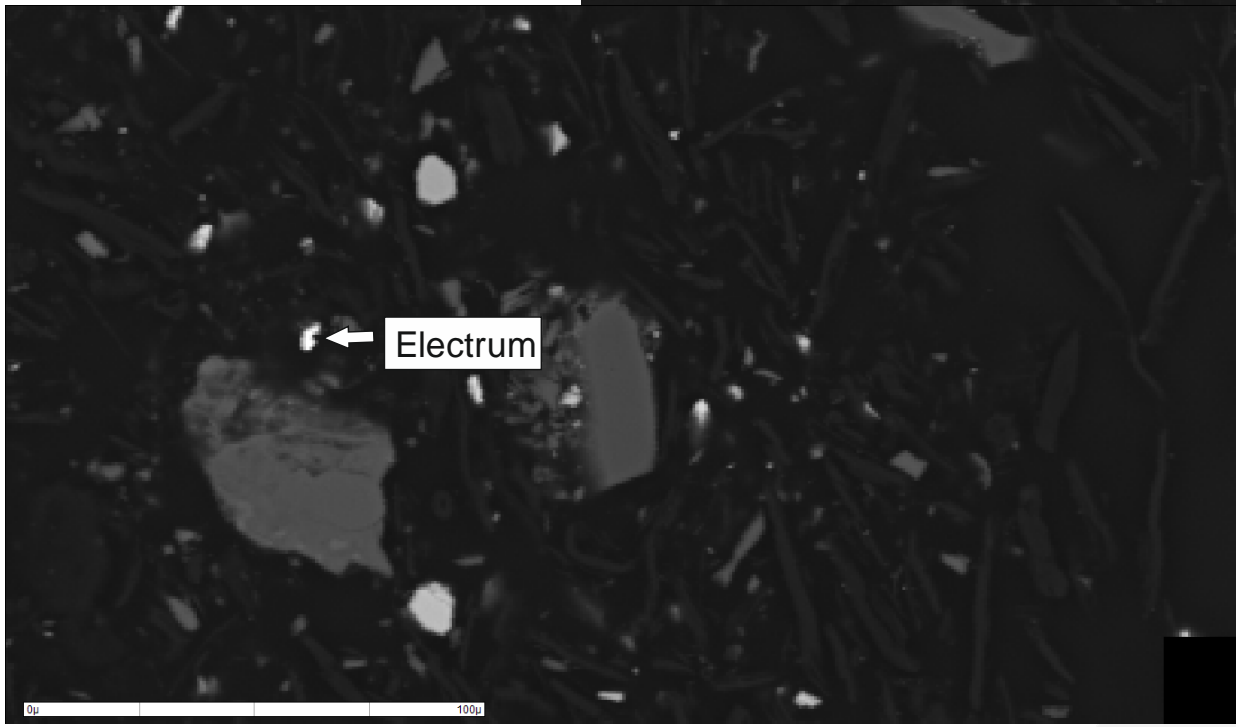
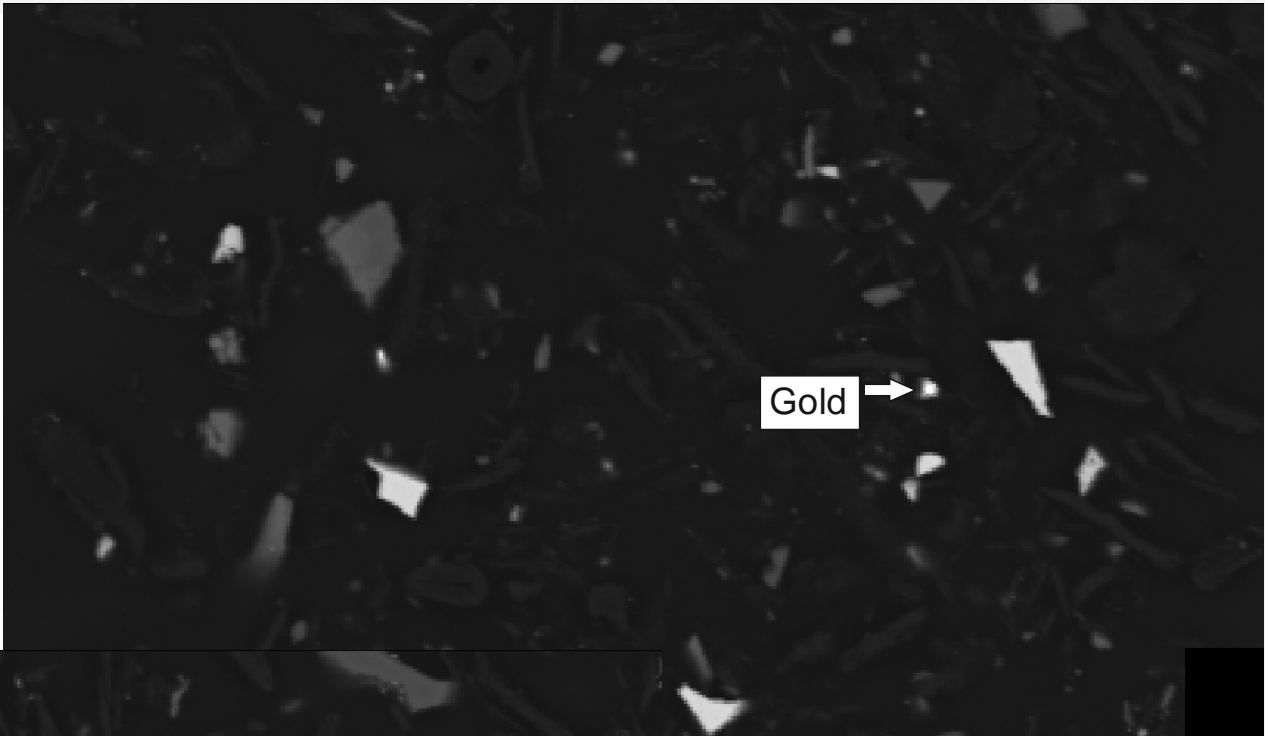




Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Kultarikaste - Modaalimineralogia

Mineral	OK15515	OK15516	OK15517	Calculated bulk
Gold	n,d,	0	n,d,	0
Electrum	n,d,	0	0	0
Silicates	47,71	48,39	49,55	48,55
Arsenopyrite	30,46	29,21	28,6	29,42
Arsenate	0,13	0,18	0,13	0,15
Lollingite	0,03	0,05	0,12	0,07
Other sulphides	18,49	19,18	18,46	18,71
Oxides and hydroxides	1,86	1,71	1,95	1,84
Other	0,87	0,79	0,71	0,79
Unclassified	0,45	0,49	0,48	0,47
Total	100	100	100	100



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

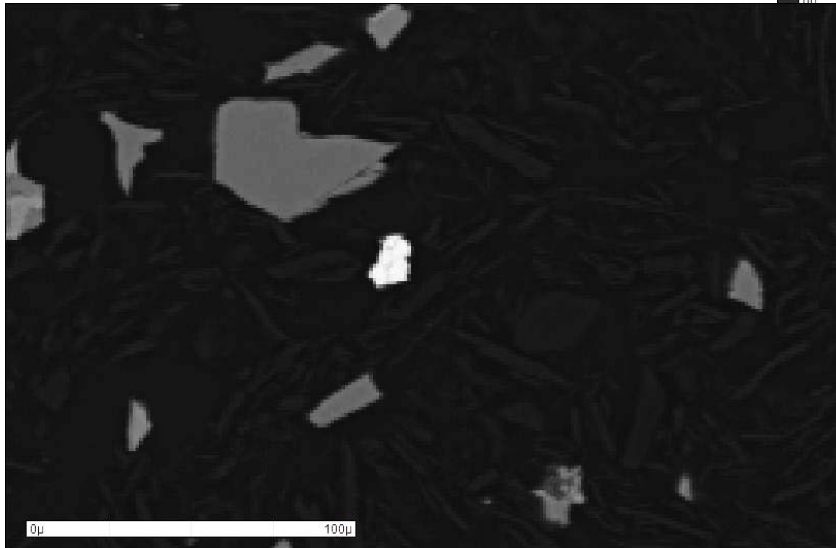
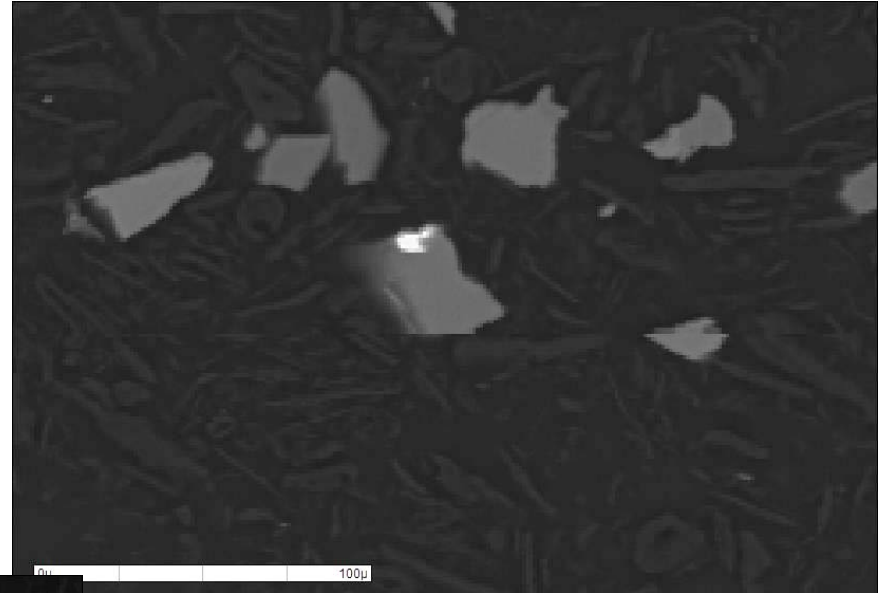
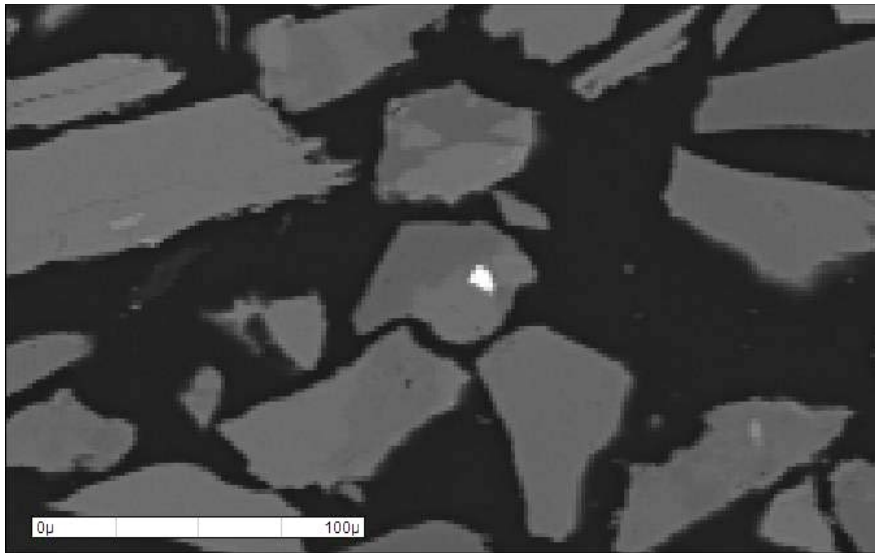


Liberaatio

- ”Puhtaaksijauhatus”
- Kuvaa sitä, kuinka vapaana vs. muihin mineraaleihin sitoutuneena kiinnostuksen kohteena oleva mineraali esiintyy
- Vaikuttaa oleellisesti haitta-aineiden käyttäytymiseen kaivosjätteessä



Liberaatio



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

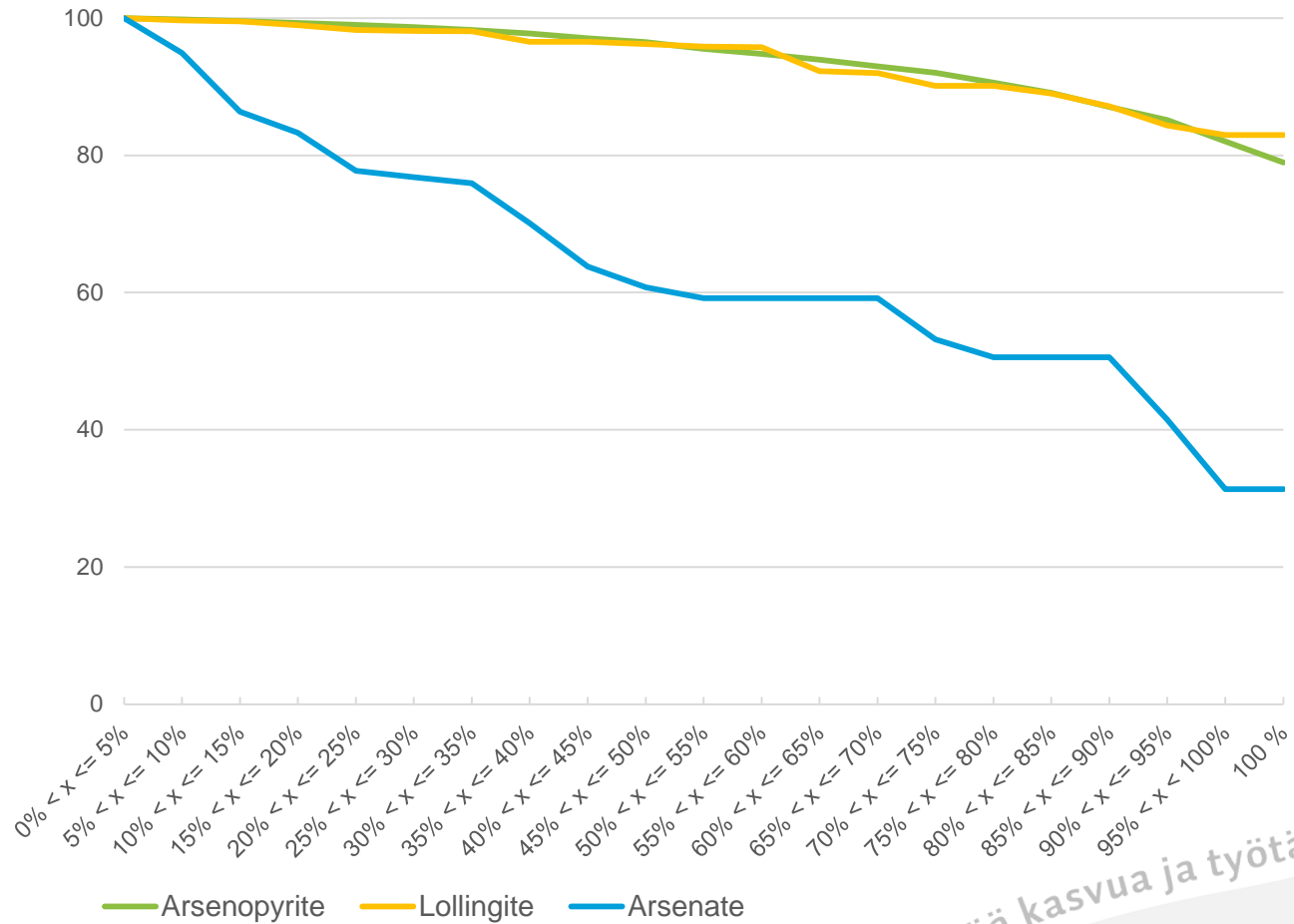
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Liberaatio

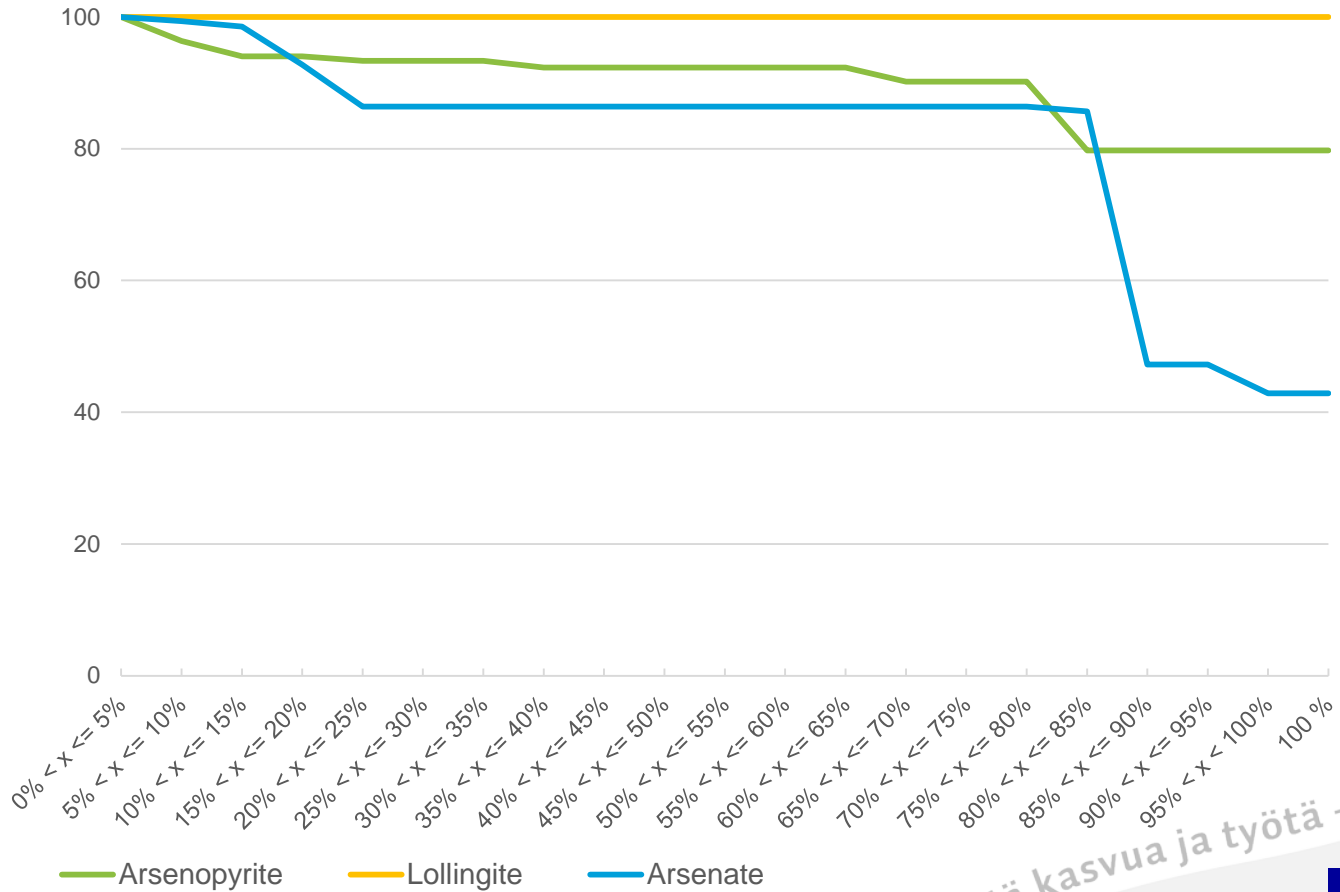
Lajittelematon malmi



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Liberaatio

Lajittelematon RHK



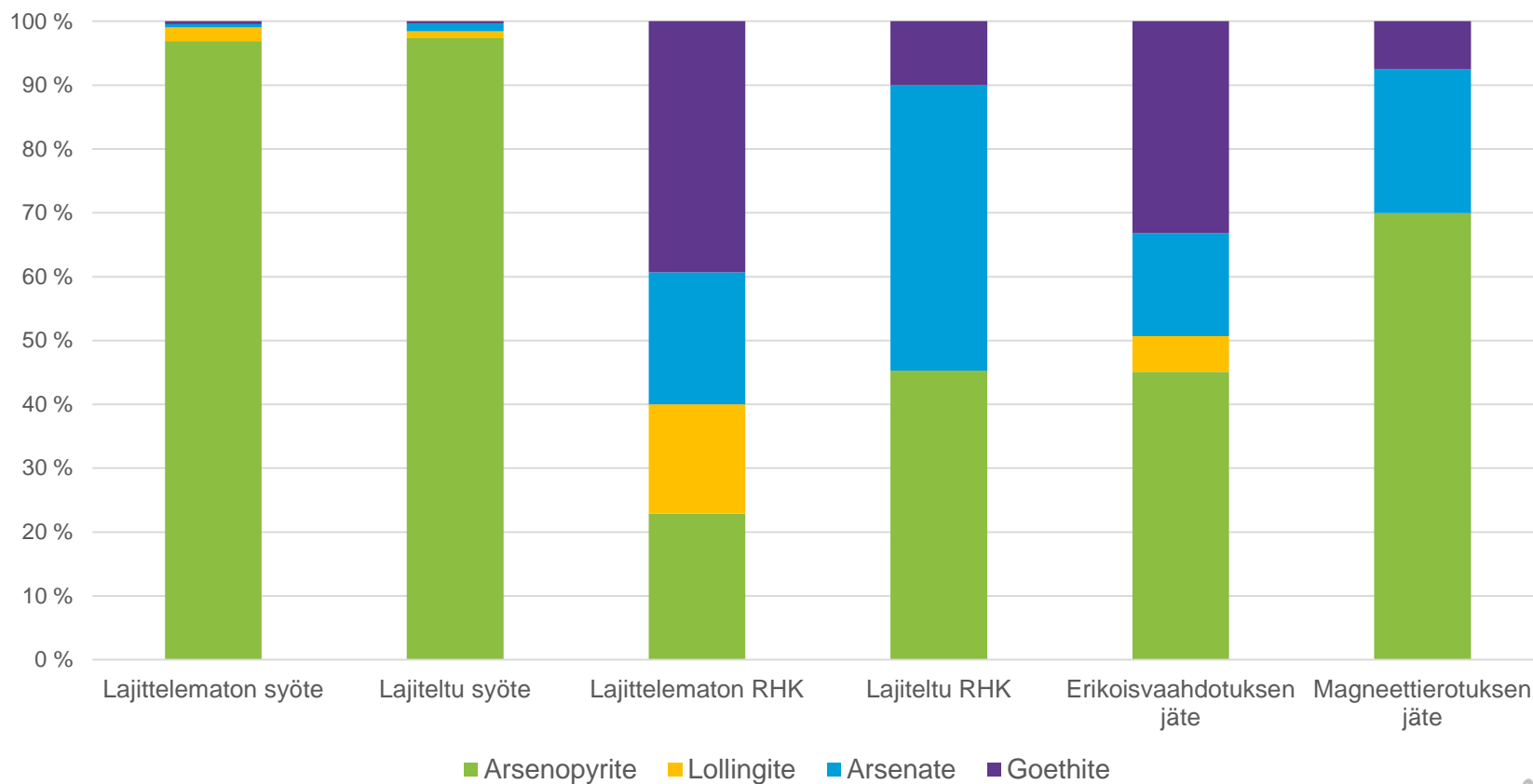
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Arseenin jakautuminen

- Useiden eri mineraalien koostumuksia mitattiin elektronimikroanalysointorilla
- Tulosten perusteella mineraaleille määritettiin keskimääräiset As-pitoisuudet
- MLA:lta saadun modaalimineralogian perusteella arseenin jakautumista eri mineraalien kesken voidaan tarkastella



Arseenin jakautuminen



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



Yhteenveto

- Mineralogisia menetelmiä tarvitaan materiaalin karakterisointiin ja eri prosessointimenetelmien tulosten tarkasteluun
- Kopsan malmissa arseeni on pääasiallinen haitta-aine
- As esiintyy pääasiassa arseenikiisussa, jonkin verran myös löllingiitissä, arsenaateissa ja götiitissä
- Erilaiset vaahdotukset ja magneettierotus poistivat tehokkaimmin sulfideja ja arsenideja; rikastushiekoissa merkittävä osa As:ta on oksideissa ja hydroksideissa
- Erilaisilla mineralogian näytekäsittelytavoilla oli Kopsan tapauksessa vain vähän vaikutusta tuloksiin





KIITOS!