

# Maaperägeologisen malminetsinnän uudet tuulet

Pertti Sarala

Tutkimusprofessori, FT, dosentti, EurGeol  
Geologian tutkimuskeskus GTK /  
Kaivannaisalan tiedekunta, Oulun yliopisto



**GTK**  
gtk.fi

# Taustaa

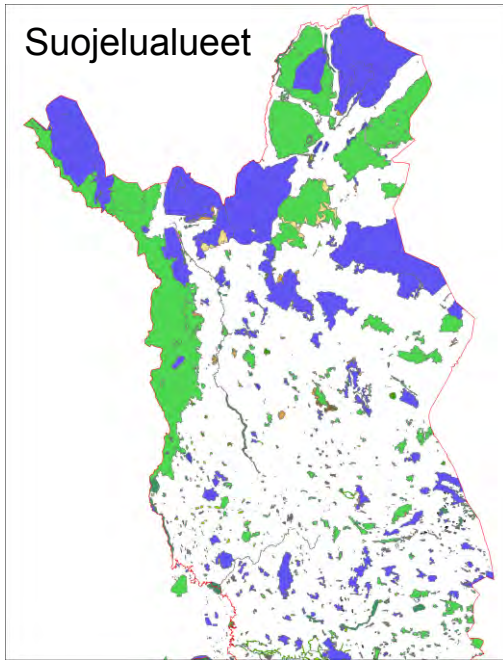
- Suomi on erittäin potentiaalinen alue uusille malmilöydöksille
- Malminetsinnän pitkään jatkuneesta aktiivisuudesta huolimatta on laajoja alueita, joissa ei ole suoritettu perusteellista malmipotentialin kartoitusta
- Luonnonolosuhteet aiheuttavat haasteita paksujen maapeitteiden, soiden ja rapautuneen kallioperän muodossa



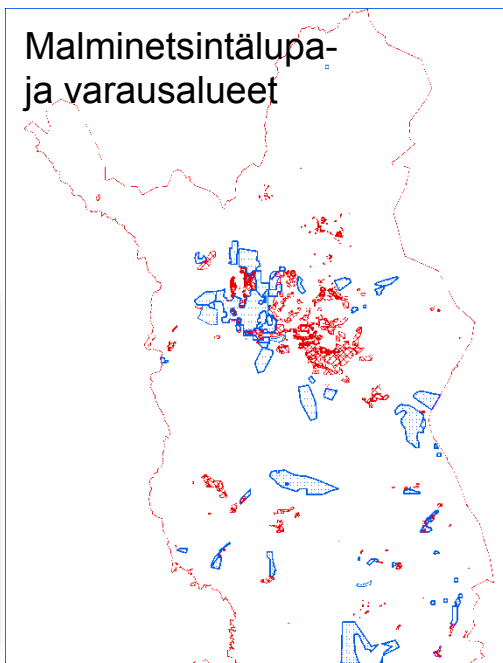
# Taustaa

- Pohjoiset alueet ovat tyypillisesti luonnoltaan haavoittuvia (paikoin arktisia/subarktisia)
- Erityisesti Pohjois-Suomessa ja Lapissa laajat alueet on erilaisten suojeluohjelmien piirissä
- Lainsäädäntö ja kilpailu edellyttävät laajojen varausten ja malminetsintälupien hakemista
- Mielikuvat ja asenteet osittain malminetsintää vastaan
  - Menetelmiä ei tunneta ja malminetsintä rinnastetaan kaivostoimintaan

Suojelualueet

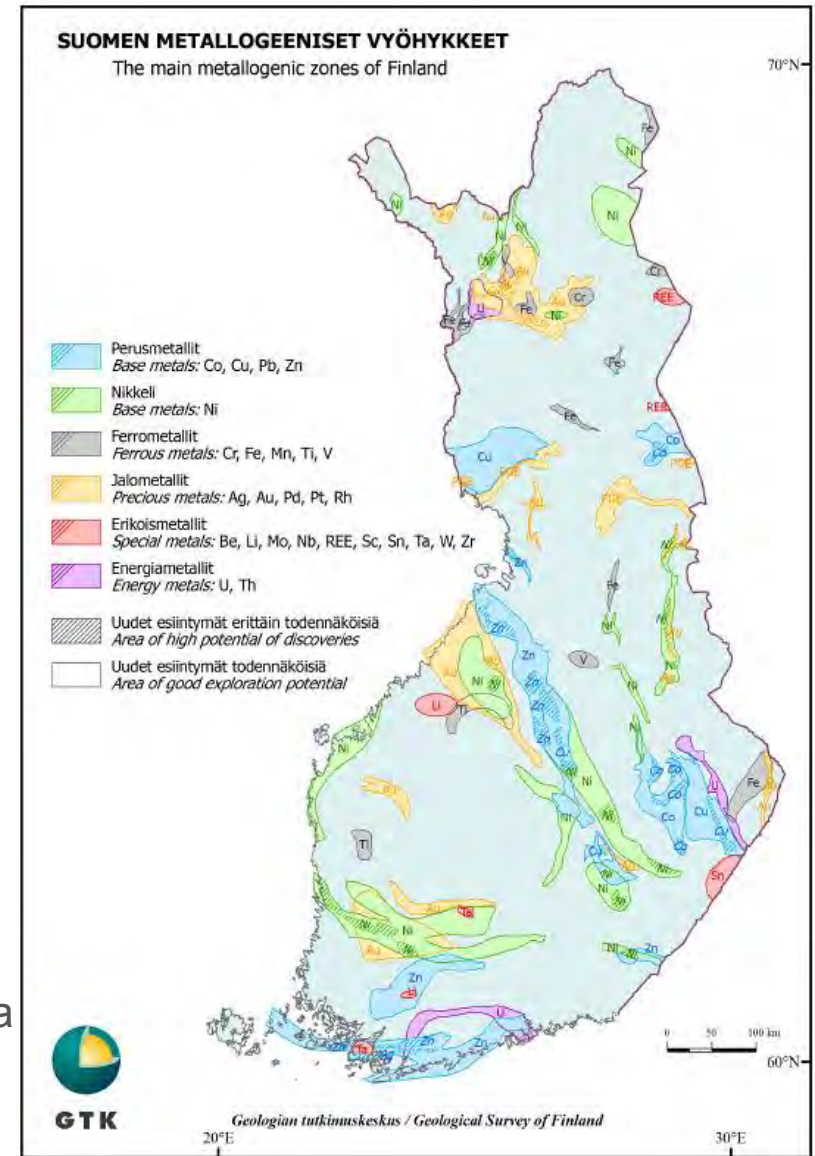


Malminetsintälupa- ja varausalueet



# Malminetsinnän tila

- Malminetsintä jatkuu aktiivisena
  - Metallien ja raaka-aineiden kysyntä ja hintataso vaihtelevat
  - Raaka-aineiden tarve tulevaisuudessakin suurta
- ”Helppojen” malmien löytäminen vaikeampaa ja katse on syvämalmeissa
- EU:n mineraalistrategiassa omavaraisuutta korostetaan
  - Painotus kriittisissä mineraaleissa, perusmetalleissa ja teollisuusmineraaleissa
    - => Suomi ja Ruotsi merkittävässä asemassa



# Kriittiset mineraalit

Kriittisiksi luokitellut mineraalit tai metallit ja niiden, sekä ei-kriittisten raaka-ainevarojen tuotanto EU:n alueella. Lähde: EU:n raportti kriittisistä materiaaleista, toukokuu 2014.

Critical Raw Materials	EU Supply				
	>20%	<20%	<10%	<3%	<1%
		Gallium Magnesite	Silicon Metal Coking coal Fluorspar Germanium Indium	Chromium Tungsten	Antimony Beryllium Borate Cobalt Magnesium Natural Graphite Niobium PGMs Phosphate Rock REEs (Heavy) REEs (Light)
Non-Critical Raw Materials	Clays (& Kaolin) Diatomite Feldspar Hafnium Limestone Perlite Sawn Softwood Silica sand Tellurium	Bentonite Gypsum Potash Pulpwood Selenium Talc	Aluminium Copper Rhenium Silver Zinc	Barytes Bauxite Iron Lithium Nickel	Gold Manganese Molybdenum Natural Rubber Scandium Tantalum Tin Titanium Vanadium

# Kriittisten mineraalien tarve

Ennuste kriittisten metallien ja mineraalien tarpeesta EU:n alueella vuonna 2030.

Lähde: EU:n raportti kriittisistä materiaaleista, toukokuu 2014.

Raw material	Production 2006 (t)	Demand from emerging technologies 2006 (t)	Demand from emerging technologies 2030 (t)	Indicator 2006	Indicator 2030
Gallium	152	28	603	0.18	3.97
Indium	581	234	1.911	0.40	3.29
Germanium	100	28	220	0.28	2.20
Neodymium (rare earth)	16.800	4.000	27.900	0.23	1.66
Platinum (PGM)	255	very small	345	0	1.35
Tantalum	1.384	551	1.410	0.40	1.02
Silver	19.051	5.342	15.823	0.28	0.83
Cobalt	62.279	12.820	26.860	0.21	0.43
Palladium (PGM)	267	23	77	0.09	0.29
Titanium	7.211.000 <sup>2</sup>	15.397	58.148	0.08	0.29
Copper	15.093.000	1.410.000	3.696.070	0.09	0.24

# Maaperägeologinen malminetsintä

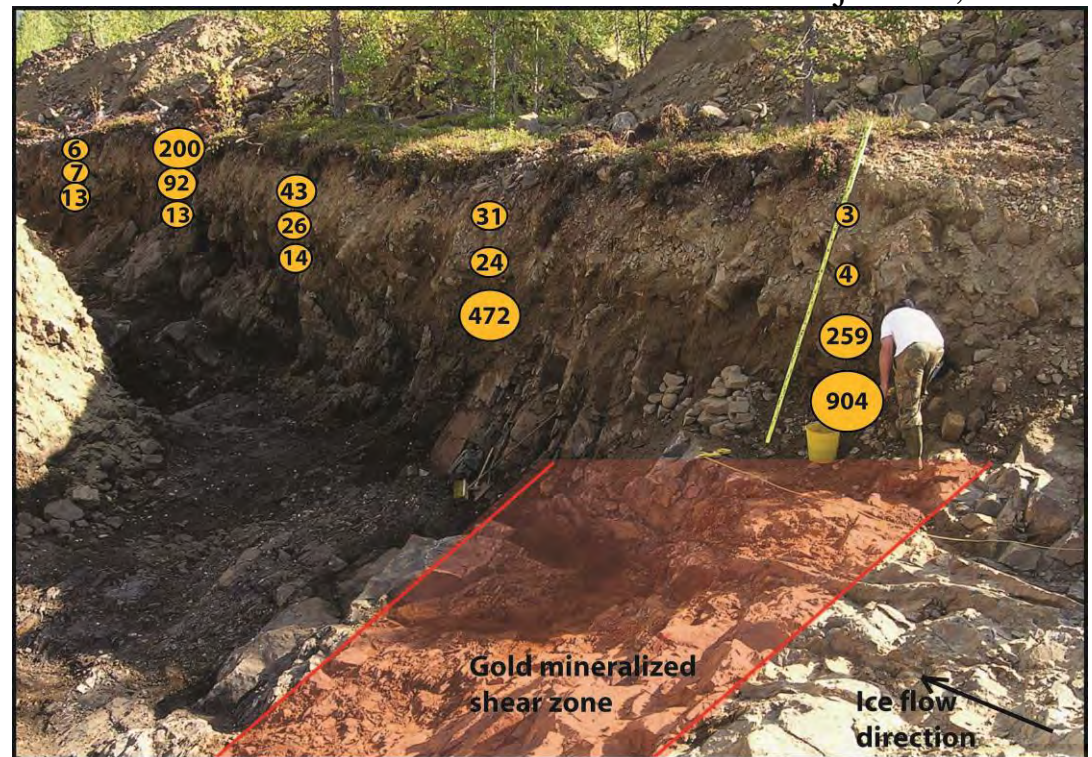
- Maaperän geokemialliset ja raskasmineralogiset tutkimukset ovat perusmenetelmiä Suomessa. Näytteenottomenetelmät ovat vakiintuneita ja aineistoja paljon olemassa:
  - Kansannäytteet ja pintalohkarekartoitukset
  - Moreenigeokemialliset aineistot eri mittakaavoissa (eniten käytetty)
  - Puro- ja pohjavesien sekä purosedimenttien geokemia
  - Raskasmineralogiset aineistot (usein dokumentoitu vain kultahiput)
- Etsinnän kannalta on tärkeää tuntea hyvin:
  - Kallioperän ja sen geokemialliset ja geofysikaaliset ominaisuudet
  - Maaperämuodostumat, kerrosjärjestys, rakenne, kuljetussuunnat
  - Olosuhteet, missä tutkimusta ja näytteenottoa tehdään
- Näytteenotto voidaan suorittaa monilla menetelmillä. Yleisimpiä: iskuporaus, tutkimuskaivannot ja lapiokuopat

# Moreenigeokemiallinen malminetsintä

- Geokemiallinen tutkimus malminetsinnässä perustuu alkuaineiden sekundääristen hajontaviuhkojen käyttämiseen
  - Mineralisoituneesta kalliosta peräisin olevien alkuaineiden kuljetuksen seuraaminen

Petäjäselkä, Kittilä

- Tutkiminen vaatii analysoitavien kallio- tai maaperä-näytteiden keräämistä ja niiden kemiallista analysoimista
- Suomessa moreeni ja paikoin rapakallio ovat yleisimmin käytetyt näytemateriaalit





# Geokemiallinen vs. raskasmineraalitutkimus

- Raskasmineraalitutkimus perustuu painavimpien mineraalien rikastamiseen ja tutkimiseen maaperä- ja kallionäytteistä. Nämä mineraalit ovat tyypillisesti malmimineraaleja ja indikoivat lähtöalueen malmipotentialia  
=> käytetään myös nimitystä indikaattorimineraalit
- Niin geokemiallisen kuin raskasmineraalitutkimuksenkin käyttö perustuu alkuaineiden ja mineraalien sekundääristen hajontaviuhkojen käyttämiseen
- Alkuaineiden ja mineraalien hajontaviuhkat eivät välttämättä ole yhteneviä johtuen mineraalien rapautumisesta ja toisaalta alkuaineiden uudelleen liikkumisesta maaperän sekundäärisissä prosesseissa



# Raskasmineraalinäytteet

- Voidaan ottaa:
  - Glasiofluviaalisedimenteistä
  - Fluviaalisedimenteistä
  - Paleoplacereista
  - Rapakalliosta
  - **Moreenista**
  - Jne.



Photo R. Pohjola



Photo A. Taivalkoski

# Raskasmineraalitutkimus

- Raskasmineraalitutkimus perinteinen menetelmä
  - Mineraalien rikastaminen painovoimalla
  - Tehokas esim. kullan, PGE:n ja timanttien etsinnässä
- Yleisimpiä rikastusmenetelmiä:
  - Vaskaus
  - Spiraalirikastimet (esim. kultakoira)
  - Knelson
  - Tärypöytä
  - Raskasnesteeet
  - Hydroseparointi
- Perinteisesti raskasmineraalit tunnistetaan visuaalisesti mikroskoopin alla



Photo J. Valkama



Photo J. Valkama



Photo J. Valkama



Photo J. Valkama

# Raskasmineraali- vs. Indikaattorimineraalitutkimus

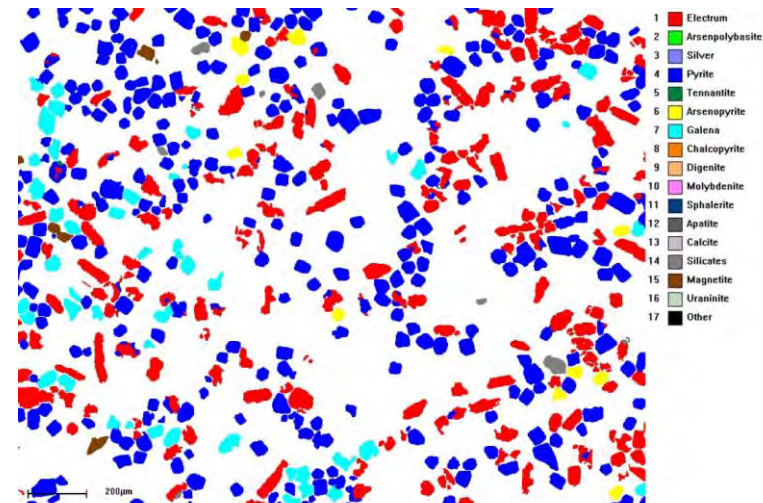
- Uusi teknologia laajentaa RM-menetelmän hyödyntämismahdollisuutta
  - FE-SEM+EDS ja MLA
    - => Mineraalien automatisoitu tunnistaminen
- Automatisoidulla indikaattorimineraalien tunnistuksella saadaan nopeasti (näytteen valmistelu + 10-15 min/näyte) ”kokonaiskuva” näytteen mineralogiasta
  - SEM+EDS:llä saadaan puoliautomaattisesti analysoitua/tunnistettua tuhansia rakeita mineraalirakeita rikkomatta
  - FE-SEM:llä ja MLA:lla voidaan analysoida/tunnistaa kymmeniä/satoja tuhansia rakeita hieestä/preparaatista
- Indikaattorimineraalien tunnistamiseen voidaan käyttää myös hyperspektritutkimusta ja esim. XRD-menetelmää (REE-tutkimus)



# Indikaattorimineraalien tunnistaminen

Esimerkki MLA-tuloksista kriittisten mineraalien tunnistamisesta moreenissa ja rapakalliossa Vuotson alueella

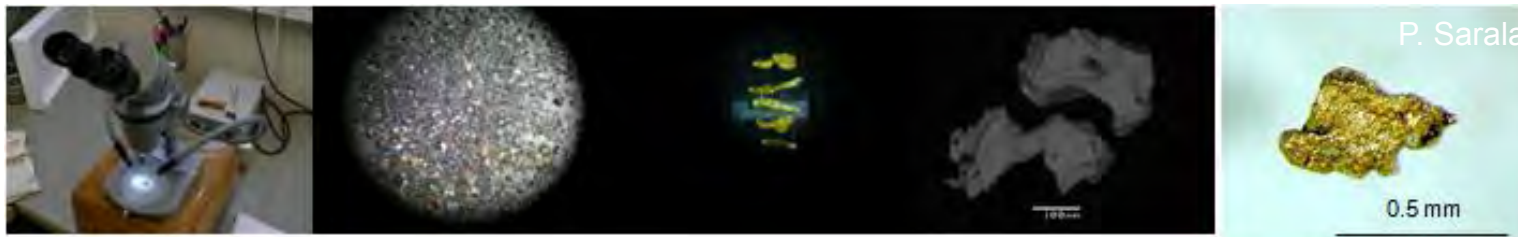
	2008_POS_27_07_K	2008_POS_27_07_P	2008_POS_57_20_RP_PJ	2006_POS_86,25 AMR_P	2006_POS_86 CRD P	2006_POS_91,10 MRP	2006_POS_91,20 RP P
Mineral	Grain Count	Grain Count	Grain Count	Grain Count	Grain Count	Grain Count	Grain Count
Monazite	285	3815	5795	8328	5926	2500	2833
Partly altered monazite	62	521	918	3618	1570	1096	1666
Rhabdophane		12	91	19960	10903	10274	9473
Xenotime	16	299	8	1957	1700	18	1
Zircon	608	9647	9957	14955	18463	23433	4736
Baddeleyite		3			1		
Apatite		5	440	26	42	1	6
<b>Total</b>	<b>971</b>	<b>14302</b>	<b>17209</b>	<b>48844</b>	<b>38605</b>	<b>37322</b>	<b>18715</b>



Lehtonen et al. 2010

# Indika-projekti

- Indikaattorimineraalien automatisoitu tunnistaminen kriittisten mineraalien etsinnässä (Indika)
  - EAKR-hanke (2016-2018)
  - Tutkimuspartnereina GTK, Lapin AMK ja Oulun yliopisto sekä Oxford Instruments
  - Rahoitusta myös: Suomen Kaivosyrittäjät ry ja Lapin Kullankaivajain Liitto
- Projektin tarkoituksena on tutkia uusia indikaattorimineraalinäytteiden esikäsittely- ja tutkimusmenetelmiä kriittisten mineraalien ja metallien etsinnässä hyödyntäen ja voimistaen olemassa olevaa Pohjois-Suomen tutkimus- ja osaamisverkostoa sekä edistää kaivosalueiden uusiokäyttöä ja digitaalista tietojen keruuta ja hallintaa.



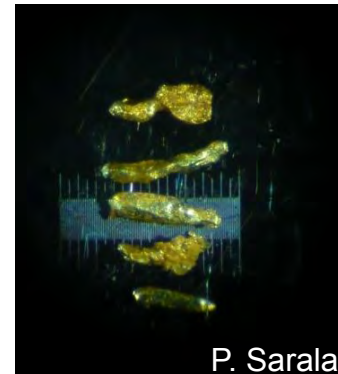
# Toteutus



- Rikastusprosessin kehittäminen ja optimointi kriittisille mineraaleille ja niiden indikaattorimineraaleille
  - Etsitään sopivia prosessointimenetelmiä keskiraskaille kriittisille mineraaleille ( $d=2,7-3,2$ ; esim. spodumeeni) tai kevyille mineraaleille ( $d=2,1-2,6$ ; esim. grafiitti)
  - Tutkitaan eri raekokofraktioiden vaikutusta mineraalien rikastamiseen
  - Vertaillaan eri näytepreparaattityyppien toimivuutta
- Automatisoitujen indikaattorimineraalien tunnistamismenetelmien sovellettu tutkimus
  - Tehdään soveltuvaa tutkimusta erilaisten modernien automatisoitujen tunnistusmenetelmien ja -laitteistojen käytettävyydestä
  - Menetelmiä: FE-SEM-EDS, hypespektri (infrapuna), kannettava XRD-laitteisto tuettuna kannettavalla XRF-analysaattorilla
- Case-tutkimukset
  - Menetelmien testaaminen tunnetulla kriittisten mineraalien etsintäkohteella Pohjois-Suomessa (esim. Soklin alue ja Vuotson ympäristö) ja vanhojen kaivosten rikastushiekka-/sivukivikasoilla

# Muita ajankohtaisia kehittämiskohteita

- Mobiilien XRF-analysaattorien käytön kehittäminen moreenigeokemiallisessa tutkimuksessa  
=> pXRF-analysaattorien käyttöönotto ja koulutus
- Raskasmineraalitutkimuksen käytön edistäminen ja automatisoidun mineraalitunnistuksen kehittäminen  
=> kehitys- ja testaustoiminta mm. NovTecEx-hankkeessa (2012-2015)
- Geokemian näytteenoton tiedonkeruun kehittäminen  
=> maastotallentimen käyttö ja reitioptimointi
- Heikko- ja selektiivisten uutomenetelmien, biogeokemian ja lumen geokemian kehittäminen ja testaus  
=> menetelmien käytön edistäminen Suomessa  
=> laaja menetelmätestaus UltraLIM-hankkeessa (2013-2015)





# NovTecEx - Novel technologies for greenfield exploration

Tekes

- User need
  - New mineral discoveries
  - Mineral exploration is challenged by thick glacial formations, peat bogs and weathered bedrock
  - Arctic areas typically exhibit a vulnerable environment
- Approach
  - Improve exploration concepts
  - New sampling techniques
  - Deep penetrating exploration geophysics
- Benefits
  - Mineral exploration with minimum impact on environment
- Users
  - Mining and exploration companies
  - Drilling companies



NovTecEx

Contact: [pertti.sarala@gtk.fi](mailto:pertti.sarala@gtk.fi), [vesa.nykanen@gtk.fi](mailto:vesa.nykanen@gtk.fi)



OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY of OULU



Kevitsa Mining  
First Quantum Minerals Ltd:n tytäryhtiö

INMET  
MINING

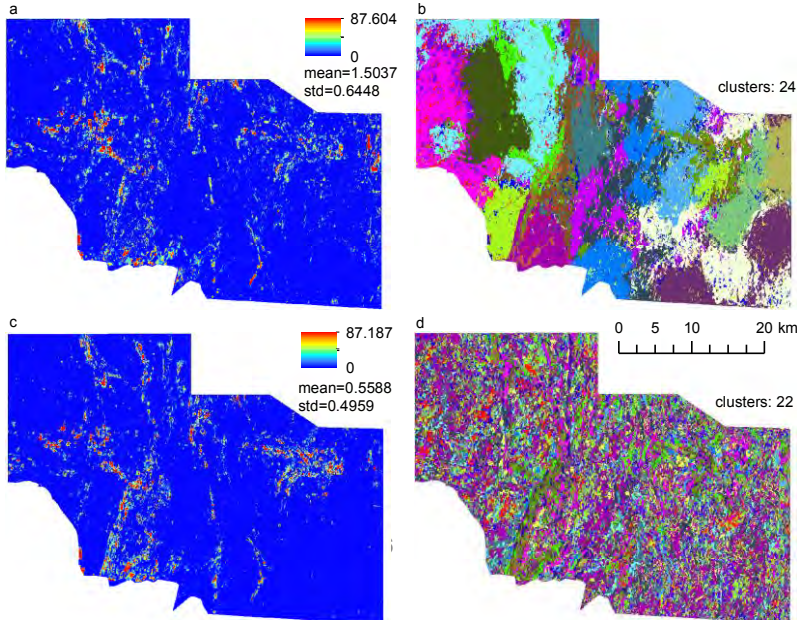


[www.gtk.fi](http://www.gtk.fi)

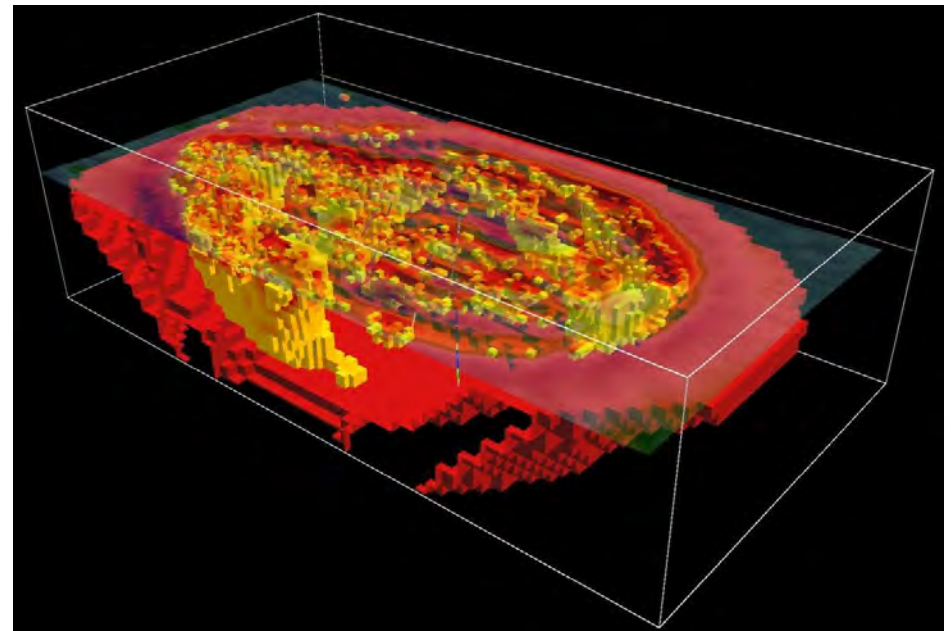
# Projektin tavoitteet

- Projektin päätavoite on luoda teknisiä ja tiedollisia edellytyksiä uusien tehokkaiden malminetsintämenetelmien ja -konseptien kehittämiseksi pohjoisilla, peitteisillä ja kulutukselle herkkillä luontoalueilla.
- Erityinen paino malminetsinnän suorittamisessa mahdollisimman pienillä vaikutuksilla ympäristölle
- Menetelmäkehitys ja testaus erityisesti alueelliseen tutkimukseen

SOM-mallinnus



3D-mallinnus AMT-datasta



# Näytteenoton kehittäminen

- Uudella näytteenottokonseptilla pyritään minimoimaan ympäristövaikutus; otetaan yhdellä kertaa sekä kallio- että maaperänäytteet



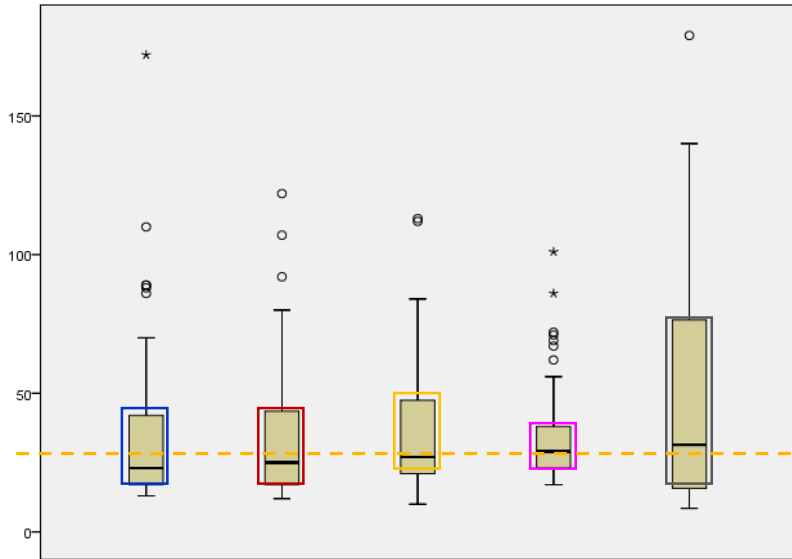
# On-site menetelmät; kannettava XRF

- Moreeni toimii erinomaisesti kannettavan XRF:n näytemateriaalina, koska se on valmiiksi hienoainespitoista ja homogenisoitua
  - Jopa luonnonkosteita, seulomattomia näytteitä voidaan mitata
  - Kuivaus ja seulonta lisää luotettavuutta ja tarkkuutta
- Käsi-XRF osoittautui käyttökelpoiseksi ja tehokkaaksi menetelmäksi malminetsinnässä
  - Toimii perusmetalleille (As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, V, Zn) erinomaisesti
  - Useimmille pääalkuaineille (Ca, Fe, K, Mg) erinomaisesti/hyvin
  - Muutamille alkuaineille (Bi, Pb, Rb, Sb, Sr) hyvin/kohtalaisesti
  - Joillekin alkuaineille (Al, Ti, P) heikosto tai kohtalaisesti
  - Kyseenalaisia tai tuntemattomia Mo, S, Sn, W, Th, U
- Käsi-XRF-menetelmää voidaan käyttää myös malminetsinnän lisäksi kartoituksessa ja lohokare-etsinnässä

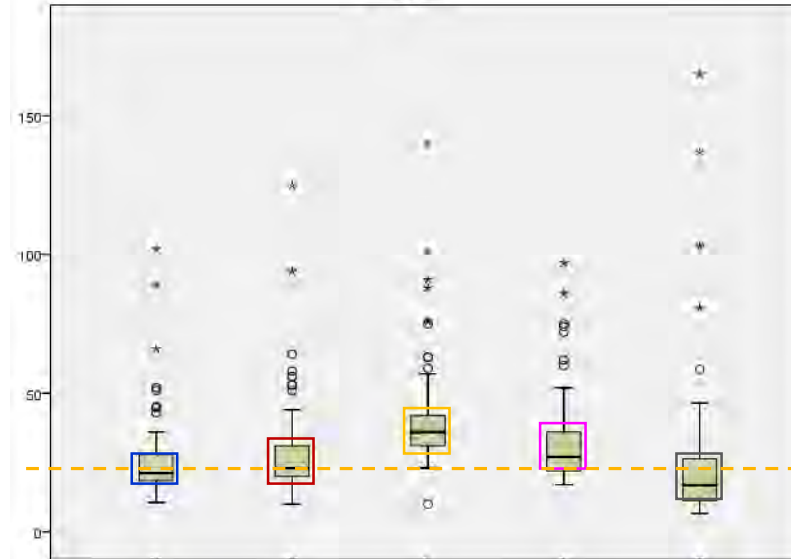


# Tulosten vertailu – perusmetallit

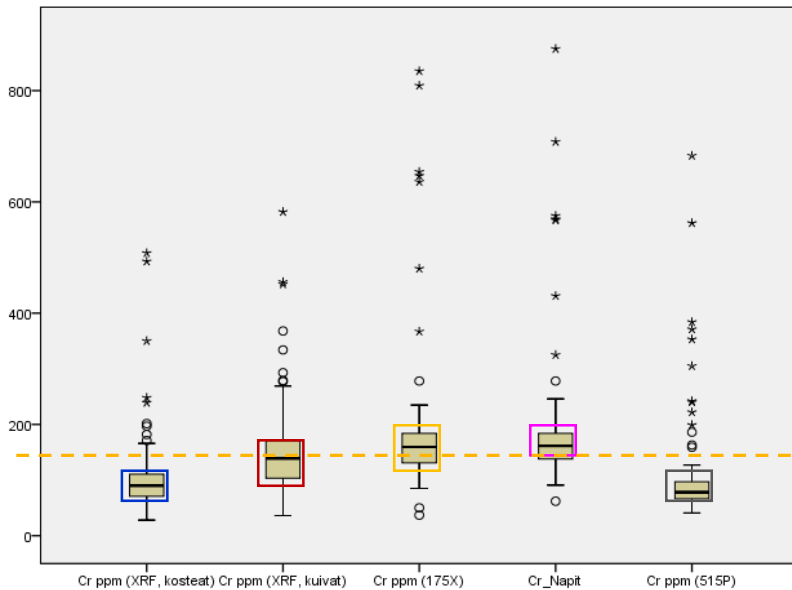
Cu ppm



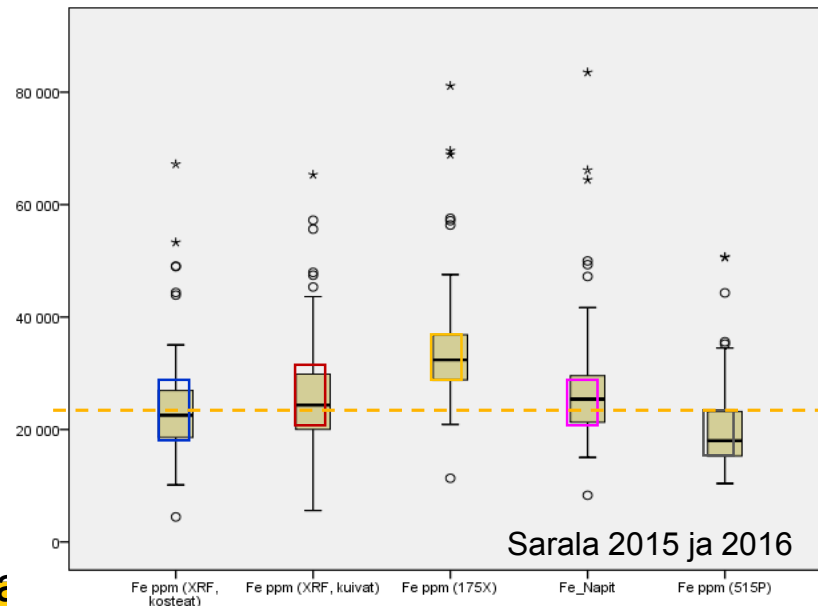
Zn ppm



Cr ppm



Fe ppm



- Samanlainen Co, Ni, V, Zn

**Mr**

< 2mm

N = 100

 pXRF,  
Kostea

 pXRF,  
Kuiva

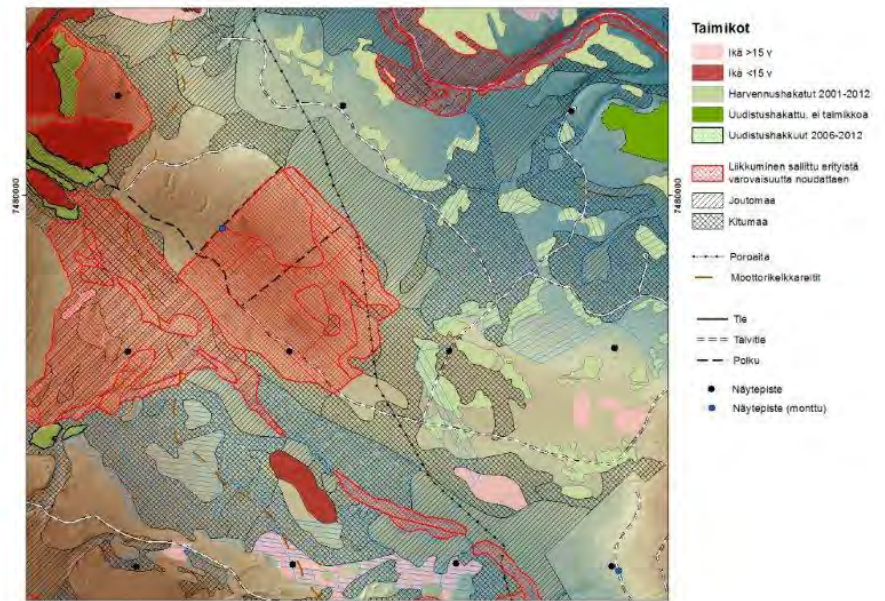
 Lab-XRF,  
Jauhettu,  
briketti

 pXRF,  
Briketti



Sarala 2015 ja 2016

# Reitinoptimointi ja maastotallennin



Taivalkoski, A. & Sarala, P. 2013. Maastotallennin ja metsäkuviotietoihin pohjautuva reitinoptimointi moreeninäytteenotossa. GTK, Arkistoraportti 170/2013, 10 s. + 4 liitesivua.

# Työn jäljet

- Tutkimusmontutuksesta jää merkittävimmät jäljet maastoon, mutta huolellisella suunnittelulla, paikan valinnalla ja jälkityöllä senkin vaikutukset voidaan minimoida



# Työn jäljet



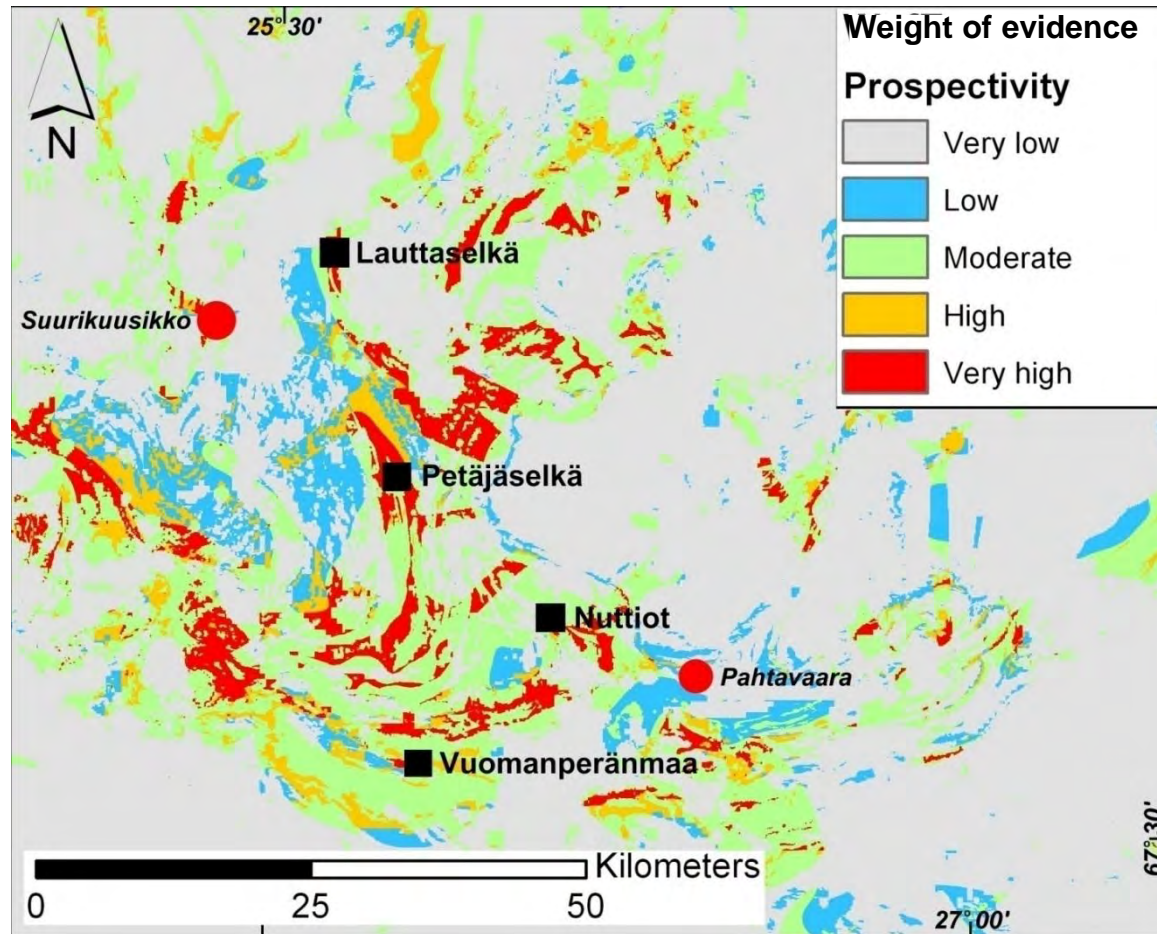
- Matalan kairauksen jäljet ovat yleensä hyvin vähäiset tai kokonaan vältettävissä





# Malmipotentialin mallintaminen

- Geokemiallisten, geofysikaalisten ja geologisten aineistojen pohjalta voidaan luoda ennusteita otollisimmista malminetsintäkohteista => säästetään kustannuksissa ja voidaan kohdentaa tutkimusta ja näytteenottoa rajatuille alueille



# UltraLIM - Ultra low-impact exploration methods in the subarctic

Tekes

- Needs

- New mineral discoveries
- Mineral exploration in the subarctic areas covered by thick glacial deposits, peat bogs and weathered bedrock
- Practical knowledge and experimental results of exploration methods for environmentally sensitive areas

- Approach

- Use of upper parts of the mineral soils, organic layers, plants and snow as the sample media for exploration
- Comparison of sampling and assay techniques
- Find the best practices for sampling and assaying samples in very sensitive subarctic regions

- Benefits

- New applications and knowledge for the mineral exploration with minimum impact on environment

- Users

- Mining and exploration companies
- Scientific community

Contact: [pertti.sarala@gtk.fi](mailto:pertti.sarala@gtk.fi), [vesa.nykanen@gtk.fi](mailto:vesa.nykanen@gtk.fi), [vesa.peuraniemi@oulu.fi](mailto:vesa.peuraniemi@oulu.fi)



NovTecEx ja UltraLIM / Pertti Sarala



OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY OF OULU

[www.gtk.fi](http://www.gtk.fi)



# Tavoitteet

- Projektin päätavoite oli tutkia ”ultrakeveiden” geokemiallisten menetelmien soveltuvuutta malminetsintään pohjoisilla alueilla ja tuottaa käytännön tutkimustietoa menetelmien hyödyntämiseksi erilaisten malmiesiintymien etsimisessä
- Projektissa tutkittiin erilaisten näytemateriaalien (mineraalimaa, humus, turve, kasvit, lumi) sekä analyysitekniikoiden (selektiivinen uutto/heikkouutto, osittaisuutto, vesianalytiikka) soveltuvuutta peitteisillä alueilla sijaitsevien mineraaliesiintymien/ malmiesiintymien paikallistamiseksi
- Näytteet otettiin kohteellisesti aiemmin tutkittujen, kallioperässä tunnettujen esiintymien päältä
  - Osassa kohteista näytteenotto toistettiin kahtena peräkkäisenä vuotena menetelmien toimivuuden varmistamiseksi ja sääolosuhteiden vaihtelun huomioimiseksi
- Projektissa tuotettiin suositukset keveiden geokemiallisten menetelmien käytöstä malminetsinnässä erityisesti herkillä luontoalueilla
- Lisäksi edistettiin uusien menetelmien ja menetelmäosaamisen käyttöönottoa malminetsintää tekevissä yrityksissä

# Tehtävät

- Heikkouuttomenetelmät
  - Näyttemateriaalina voidaan käyttää mineraalimaata ja eri maannoshorisontteja, turvetta ja humusta
  - Useita mobiilien ionien analysointimenetelmiä
  - Maaperän kerrosten vaikutus geokemialliseen signaaliin
- Biogeokemia
  - Paikkakohtaisesti tutkitaan erilaisia kasvimateriaaleja: katajan verso, kuusen kaarna, kuusen verso, männyn kaarna, männyn verso, hies- ja vaivaiskoivun verso, sammal, turve, humus
  - Helppo ja nopea näytteenotto
- Lumen geokemia
  - Lumi peittää Pohjois-Suomen 5-6 kk vuodessa
  - Lumi pysäyttää maaperän kaasut ja mobiilit ionit => ionien määrittäminen
  - Helppo ja ympäristöystävällinen näytteenotto



P. Sarala



P. Sarala

# Mobiilit ionit malminetsinnässä

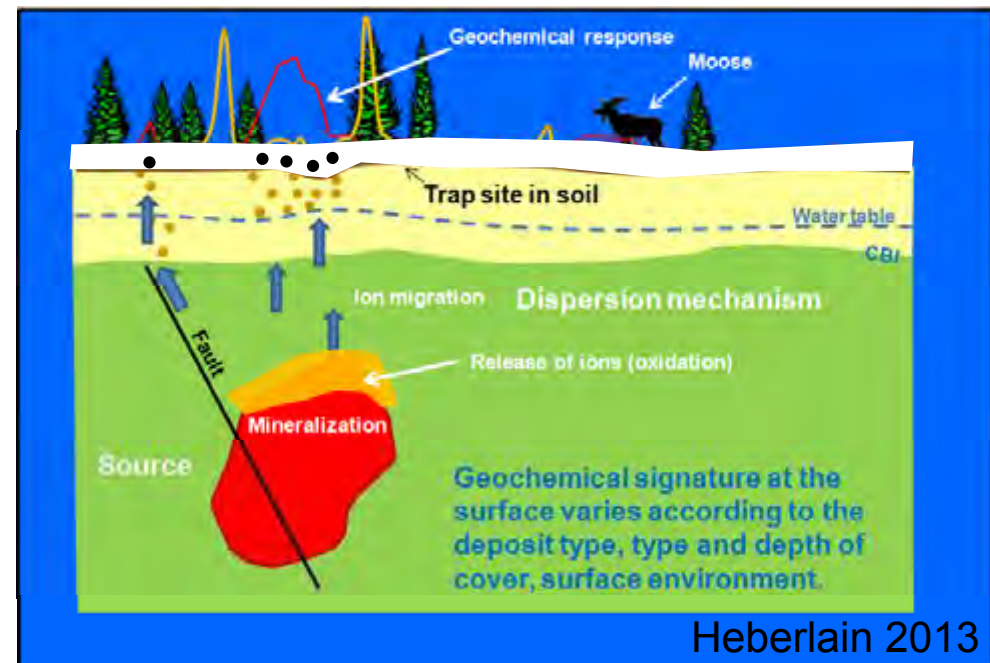
- Heikkouuttomenetelmät

- Perustuu maanpintaosaan mineraalirakeiden tai orgaanisen aineksen pintaan heikosti kiinnittyneiden ionien pitoisuuksien määrittämiseen
- Uutoissa käytetään laimeita happoliuoksia, jotka eivät liuota mineraaliainesta
- Myös kasvit käyttävät näitä ioneja

- Ionit liikkuvat maapeitteen läpi kalliosta maanpintaan

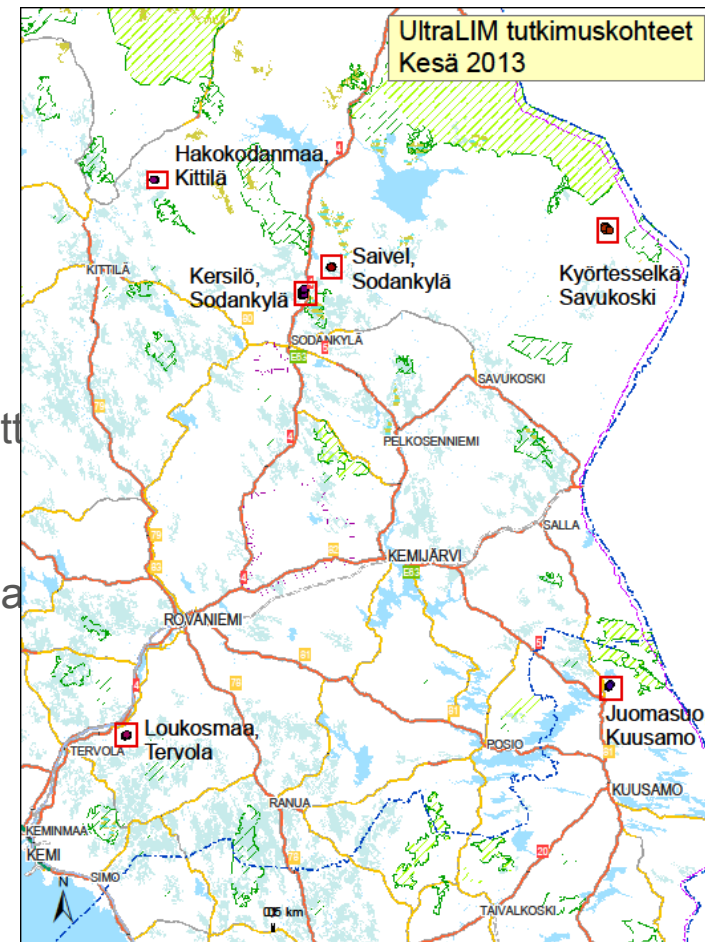
- Ionien liikkuminen ja rikastuminen maanpintaosaan on usean tekijän summa. Keskeisimpinä tekijöinä on esitetty kapillaari-ilmiötä, sähkökemiallisia varauseroja ja biogeokemiallisia prosesseja
- Kulkeutuvat kaasujen mukana myös lumeen

- Näytteenotto on helppoa, nopeaa ja erityisen ympäristöystävällistä



# Näytemäärät ja analyysit

- Projektisuunnitelman analyysit ja näytemäärien arviointi perustuu seuraavaan:
  - Näytteenottolinjoja on 2 kpl/tutkimuskohde (6 kohdetta)
  - Näytteitä kerätään 20-25 kpl/linja = 40 näytettä/kohde (= 240 näytepistettä)
  - Näytteenotto tehdään kahtena peräkkäisenä vuotena
  - Duplikaattinäytteitä kerätään 5%
- Analyysit
  - Heikkouuttomenetelmät (7 eri menetelmää: mm. MMI-M, Ionic leach, Bioleach, Ammonium acetate)
  - Biogeokemia (3 kasvia/kohde) (HNO<sub>3</sub>-uutto)
  - Lumen geokemian analyysi (SGH ja HR-ICP-MS)
- Lisäksi vertailuanalyysit
  - Perinteiset osittaisuuttoanalyysit (kuningasvesi+ICP-OES) (GTK)
  - XRF-analyysit (labra-XRF) (Oulun yo)
  - Kannettava XRF-analyysaattori, mittaukset kentällä ja aineistojen purku



# Maaperä- ja kasvinäytteenotto



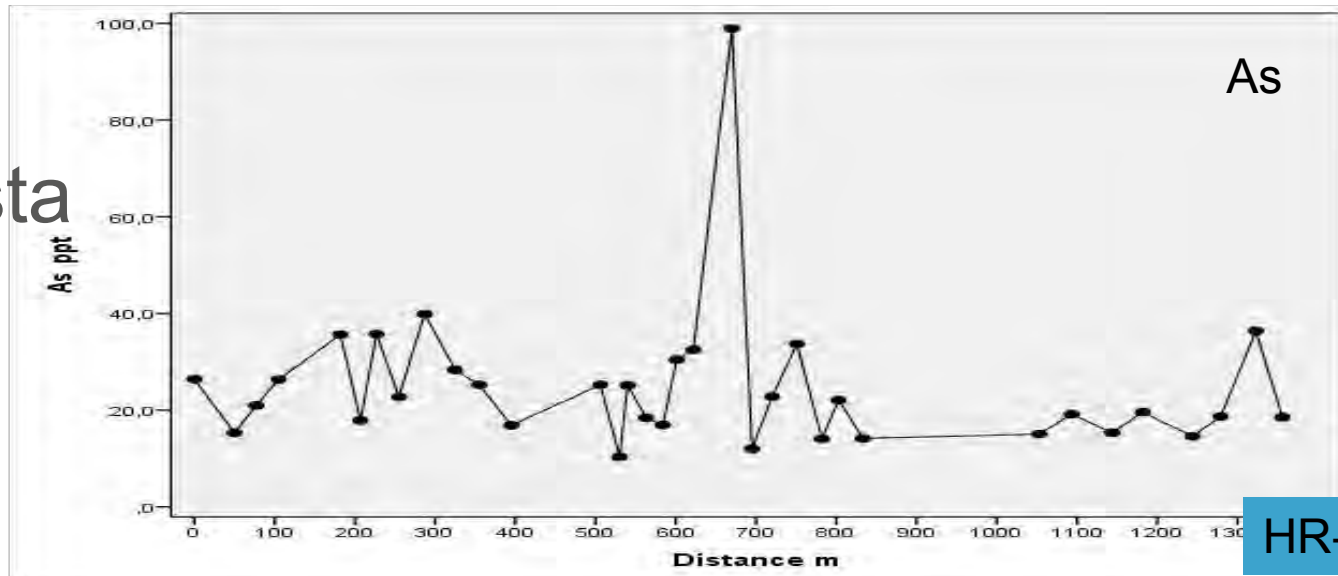
# Luminäytteenotto, talvi 2014



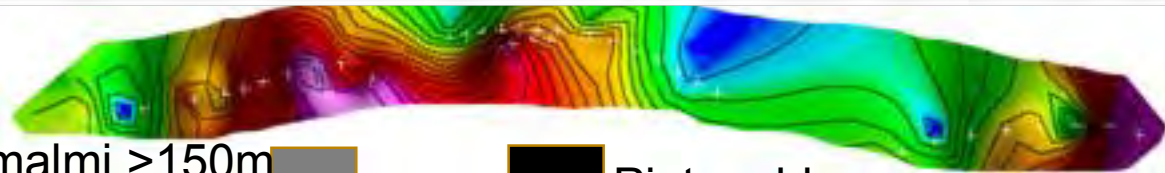
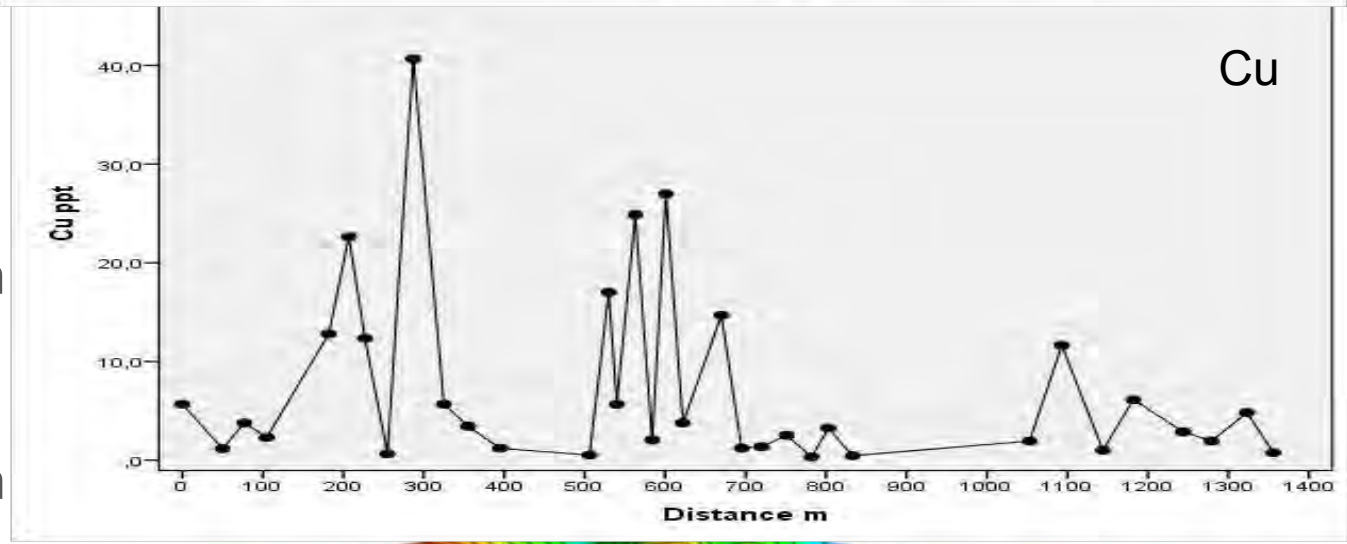


# Esimerkki lumituloksista

- Au-Cu sulfidimalmin näkyminen lumessa kahdella eri analyysimenetelmällä
  - Soil Gas Hydrogen (SGH)
  - High resolution ICP-MS



HR-ICP-MS



SGH

# Pintamaanäytteenoton ympäristövaikutus

Näytepiste  
2013



Näytepiste  
2014

# Kehittämisen vaikutukset ja hyödyt

- Malminetsintää voidaan suorittaa erittäin vähäisin ympäristövaikutuksin
  - Kustannustehokkaita ja ympäristöystävällisiä menetelmiä
- Saadaan tutkittua tietoa erilaisten näytteenottomenetelmien, näytemateriaalien ja analyysimenetelmien soveltuvuudesta herkillä luontoalueilla, mikä auttaa uuden geologisen ja malminetsinnällisen tiedon keruussa sekä alueellisessa että kohteellisessa tutkimuksessa
- Uudet tutkimusmenetelmät ja -tulokset saadaan malminetsinnän ja sitä suorittavien yritysten käyttöön, mikä tehostaa malminetsintää ja vähentää ympäristövaikutuksia
- Uusia investointeja malminetsintään
- Työtä syrjäisille seuduille sekä uusia tutkimuskohteita/ekonomisia esiintymiä



# Malminetsintä jatkossa

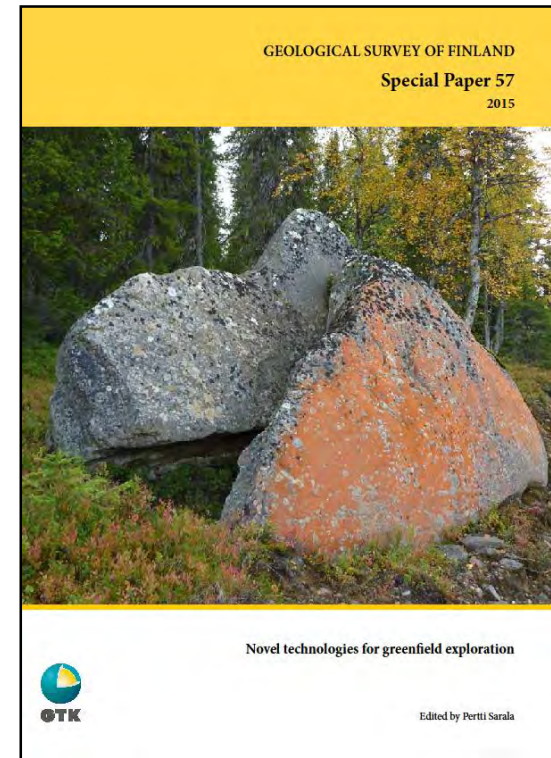
- Uudet teknologiat mahdollisuus
  - Malminetsinnässä painopisteenä uusien, ympäristövaikutuksiltaan vähäisten menetelmien (konseptien) kehittäminen
    - => Uudet näytteenotto- ja analysointitekniikat, kenttäanalysointorit, indikaattorimineraalitutkimus, datan prosessointi, tilastollinen käsittely ja mallintaminen jne.
  - Mahdollisuus kierrätykseen ja cleantechiin sekä pintaa syvempänä olevien malmiesiintymien löytämiseen
- Verkostot ja yhteistyö tärkeää
  - Tutkimuslaitokset, opetus, malminetsijät, yhteisöt
  - Myös kansainvälinen yhteistyö

# Raportteja

- Sarala, P. (ed), 2015. Novel technologies for greenfield exploration. Geological Survey of Finland, Special Paper 57, 196 p.

Sarala, P. (toim.), Karinen, T., Lahti, I., Lehtonen, M., Middleton, M., Pirttijärvi, M., Salmirinne, H., Taivalkoski, A., Torppa, J., Valkama, J. & Nykänen, V. 2015. NovTecEx – Uusia malminetsintämenetelmiä herkille pohjoisille alueille: Loppuraportti; NovTecEx – Novel technologies for greenfield exploration: Final report. Geologian tutkimuskeskus, Raportti 37/2015, 57 p.

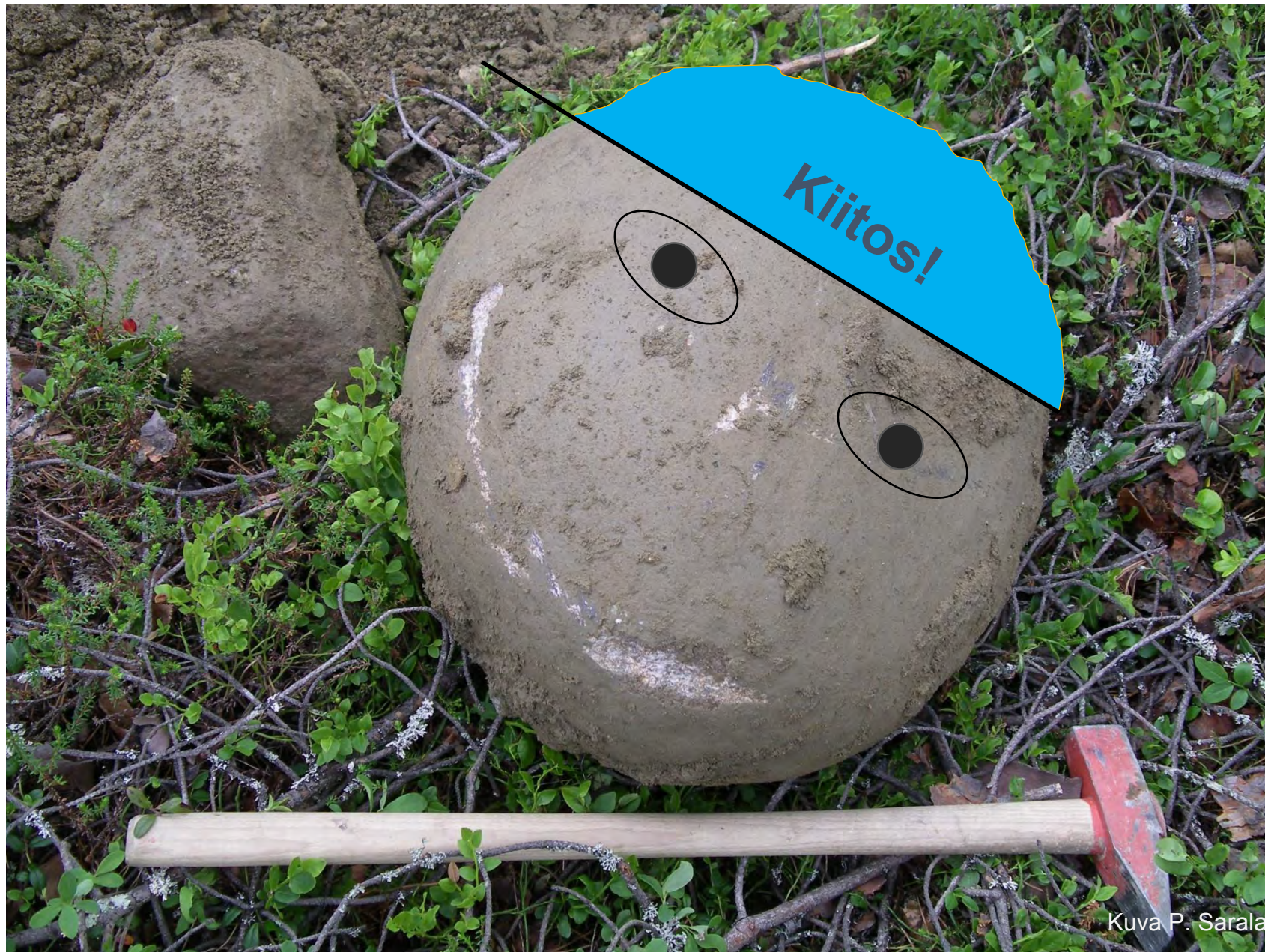
- Middleton, M. et al. (2016) Ultra low impact geochemical exploration methods in the sub-arctic. Geological Survey of Finland, Report of Investigation. (valmisteilla)



Saatavilla:

[http://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp\\_057.pdf](http://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_057.pdf)





Kuva P. Sarala