

Kotalahden kaivoksen rikastushiekka-alueen ja Valkeisen järven välisen alueen suotovesien reittien kartoittaminen geofysikaalisilla menetelmillä

Geofysikaaliset tutkimukset Kotalahden rikastushiekka-alueen ja Valkeisenjärven välisellä alueella

Jouni Lerssi ja Taija Huotari

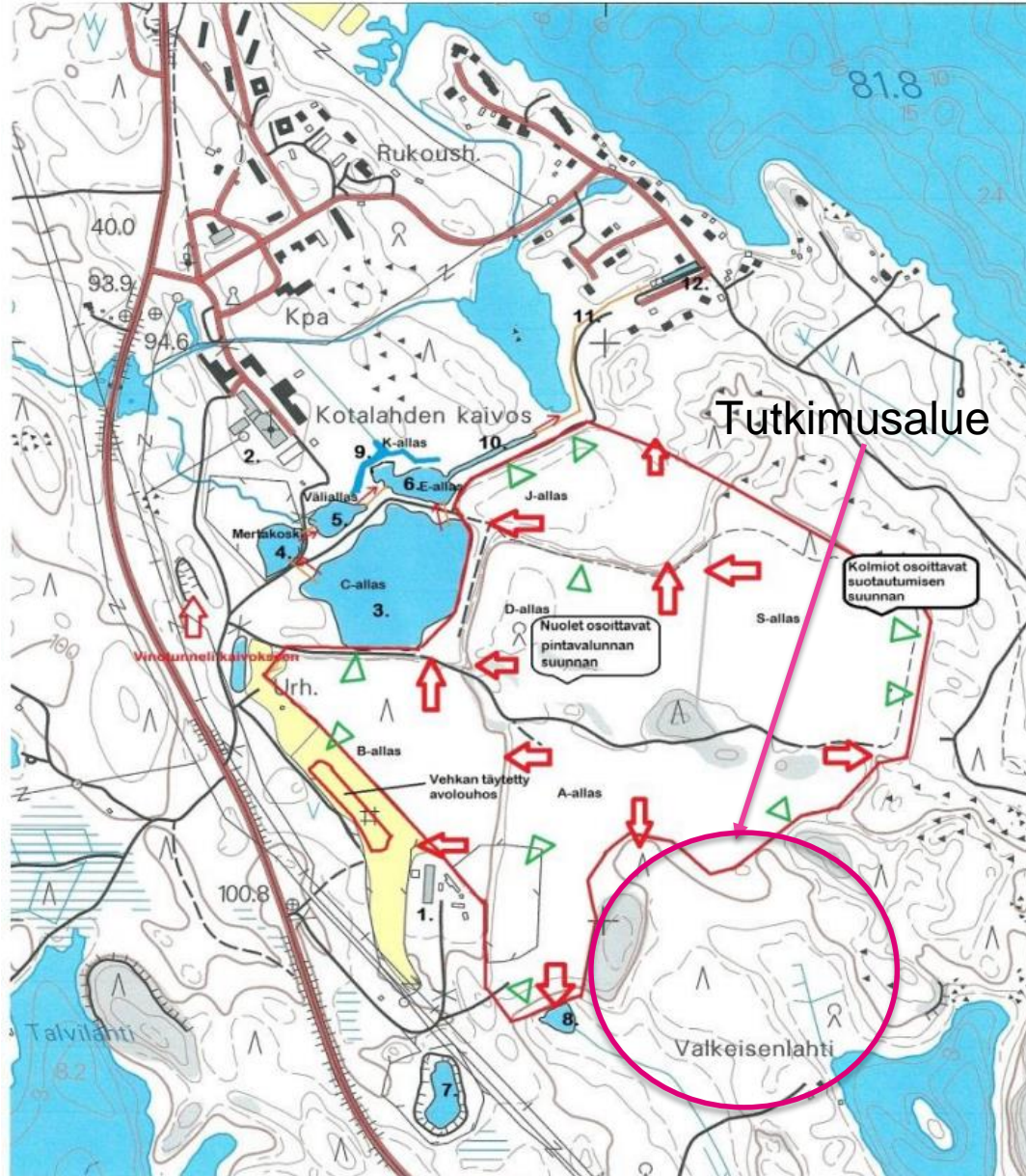
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

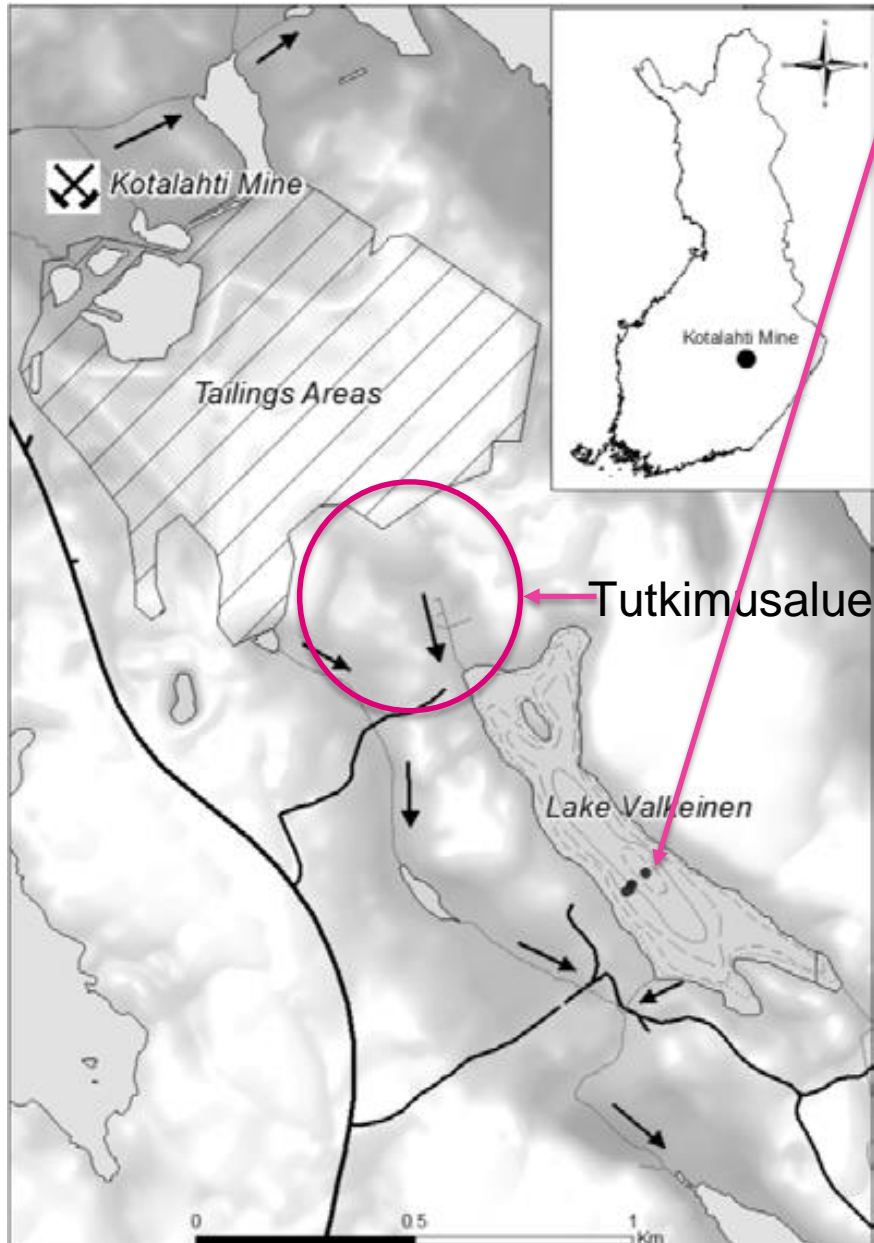
Kuva Timo Järvisen opinnäytetyöstä: Valumavesien käsittely suljetulla kaivosalueella, Savonia-ammattikorkeakoulu, 27.5.2013, 49 s. Pinta- ja suotovesien purkautumissuunnat rikastushiekka-alueelta.



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Kuva: Kauppila, Tommi; Mäkinen, Jari; Solismaa, Lauri (2017): Sediment And Pore Water Properties Across The Chemocline Of A Mine Water-Impacted Boreal Lake During Winter Stagnation And Autumn Overturn. – In: Wolkersdorfer, C.; Sartz, L.; Sillanpää, M. & Häkkinen, A.: *Mine Water & Circular Economy* (Vol I). – p. 167 – 175; Lappeenranta, Finland (Lappeenranta University of Technology).



Tutkimus tehtiin EAKR projektissa Kaivosvesiverkosto (KaivosVV). Tutkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa Kotalahden kaivoksen rikastushiekka-alueelta Valkeisenjärven suuntaan suotautuvia vesiä. Pieni Valkeisenjärvi (20 ha) on kontaminoitunut pohjaosiltaan ja pysyvästi kerrostunut (Kauppila et al., 2017). Geofysikaaliset tutkimukset tehtiin käyttäen ominaisvastustalikkoluotainta, sähkömagneettisia VLF-R ja GEM-2 – mittauksia sekä sähköisiä monielektrodi-luotauksia (ERT) sekä perinteisenä profiili mittauksena että 3D ”sakaralevitys” profiileina.

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Geofysikaalisten tutkimusten prosessointi ja tulkinta

- Ominaisvastustalikko ja GEM-2 tuloksista tulkitaan maankamaran pintaosien sähkönjohtavuus
- VLF-R mittausten tuloksista saadaan tukea monielektrodiluotauksien (inversio)tuloksiin.
- Monielektrodiluotauksista laaditaan 2,5 -3D sähkönjohtavuusmalli(tulkinta) tutkimusalueesta. Aluksi ”perustulkinta” (2,5D). Laskenta M.H. Loke:n Res2DInv 2d-inversio-ohjelmalla.
- Itä-Suomen yliopistossa Sovelletun fysiikan laitoksella (prof. Marko Vauhkonen ja Gerardo González) tehdään data-analyysyjä 3D monielektrodiluotauksien (3D ERT-mittaukset) tutkimustuloksista.

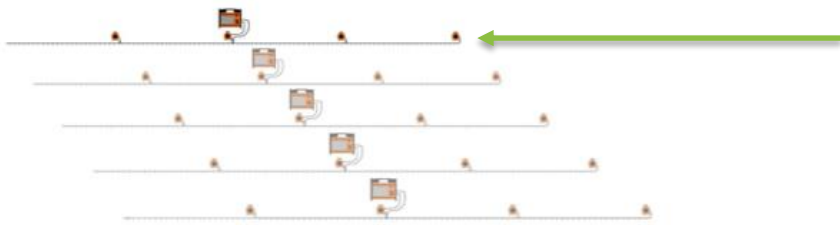
Tulossa !

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

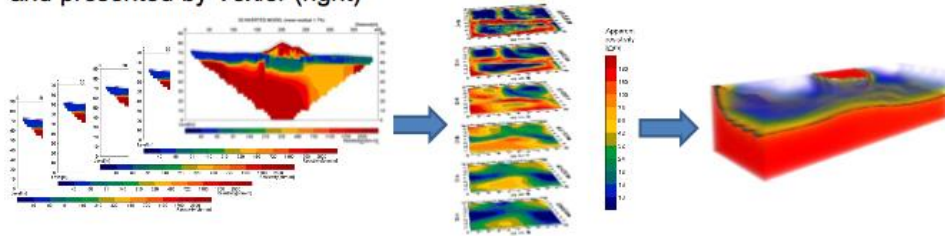


Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto



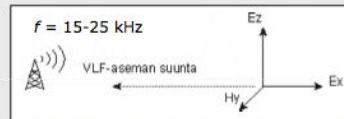
ERT-mittaus
Profiililla 81 elektroodia,
4 * 100 m

By combining all 2D images, a 3D image can be generated with a 3D inversion software, for example RES3Dinv (middle) and presented by Voxler (right)

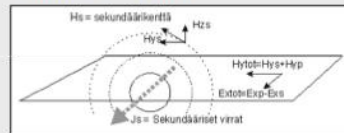


GEM-2 mittaus

VLF-R menetelmä (vastusoptio)



Primäärinen magneettikenttä (Hy) on kohtisuorassa lähettimen ja sähkökenttä (Ex) lähettimen suunnassa.



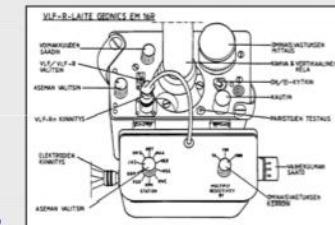
Johtavaan maahan indusoituu sähkövirtoja, joiden aiheuttama sekundäärikenttä (Hs, Es) summautuu primäärikenttään (Hp, Ep).

Mittaus on meiko nopeaa, mutta vaatii 2-3 mittaajaa. Tulkinta on visuaalista tai kaksikerrosmalliin perustuvaa.

Tuloksia käytetään kivilajikontaktien paikantamiseen ja maapeitteen paksuuden tutkimiseen. Syvyysulottuvuus 0-100 m.

Perustuu sähkömagneettiseen induktioon: ulkoinen magneettikenttä synnyttää johtavaan väliaineeseen sähkövirtoja.

Lähde on kaukainen VLF-radiolähetin (tasoaalto-oletus); taajuus 15-25 kHz.

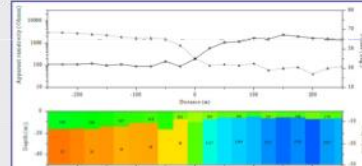


Geonics EM16/R -laitteella mitataan toisilleen kohtisuoria magneetti- ja sähkökentän komponentteja (vrt. AMT).

Näiden suhteesta (Ex/Hy) lasketaan näennäinen ominaisvastus ja vaihe.

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu} \frac{E_x}{H_y} = \frac{1}{\omega\mu} Z_{xy}^2$$

$$\varphi = \text{atan} \left[\frac{\text{Im}(Z_{xy})}{\text{Re}(Z_{xy})} \right]$$





Sähköinen monielektrodiluotaus (ERT)



ERT-mittaus Elektrodien sijainnit



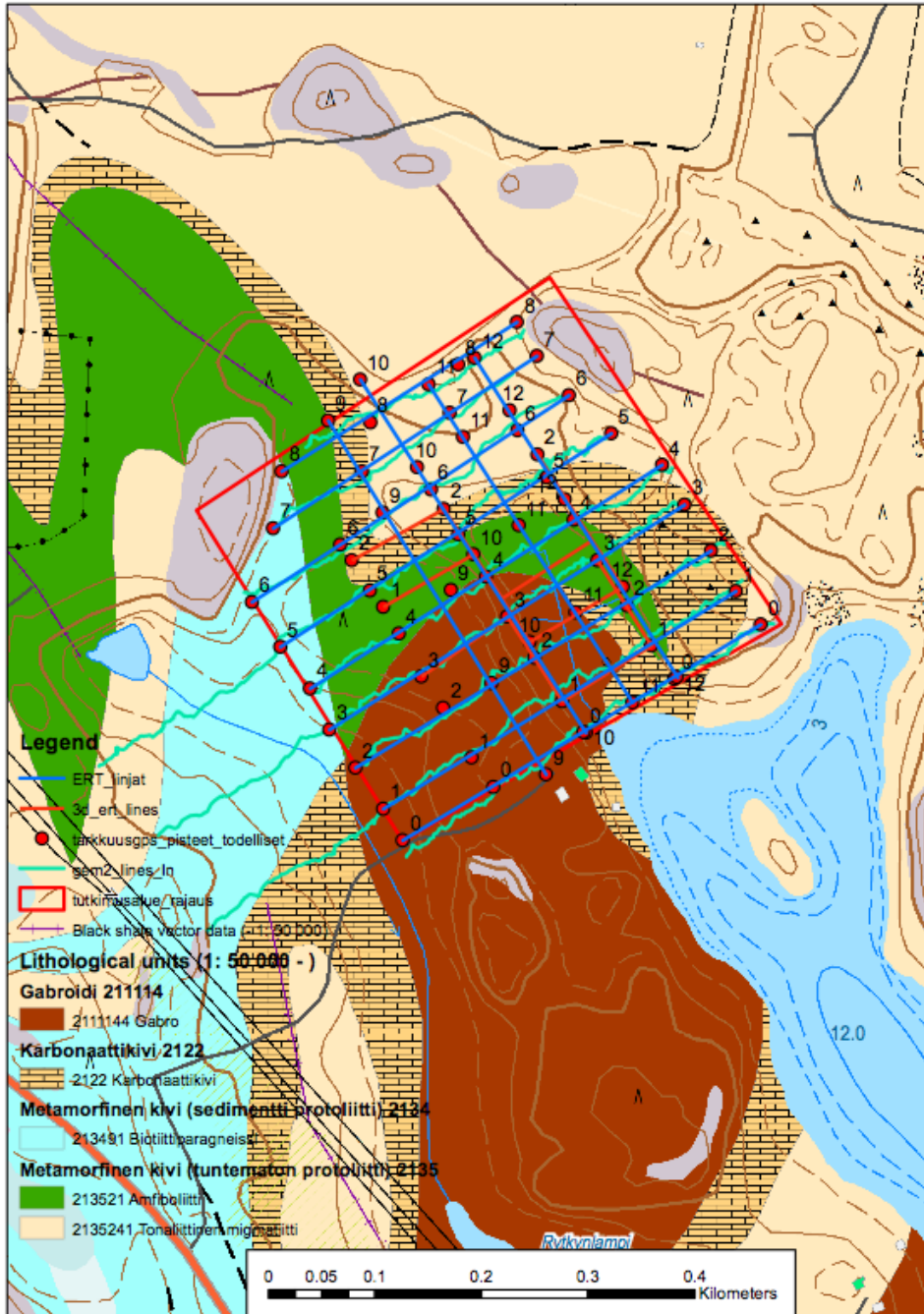
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

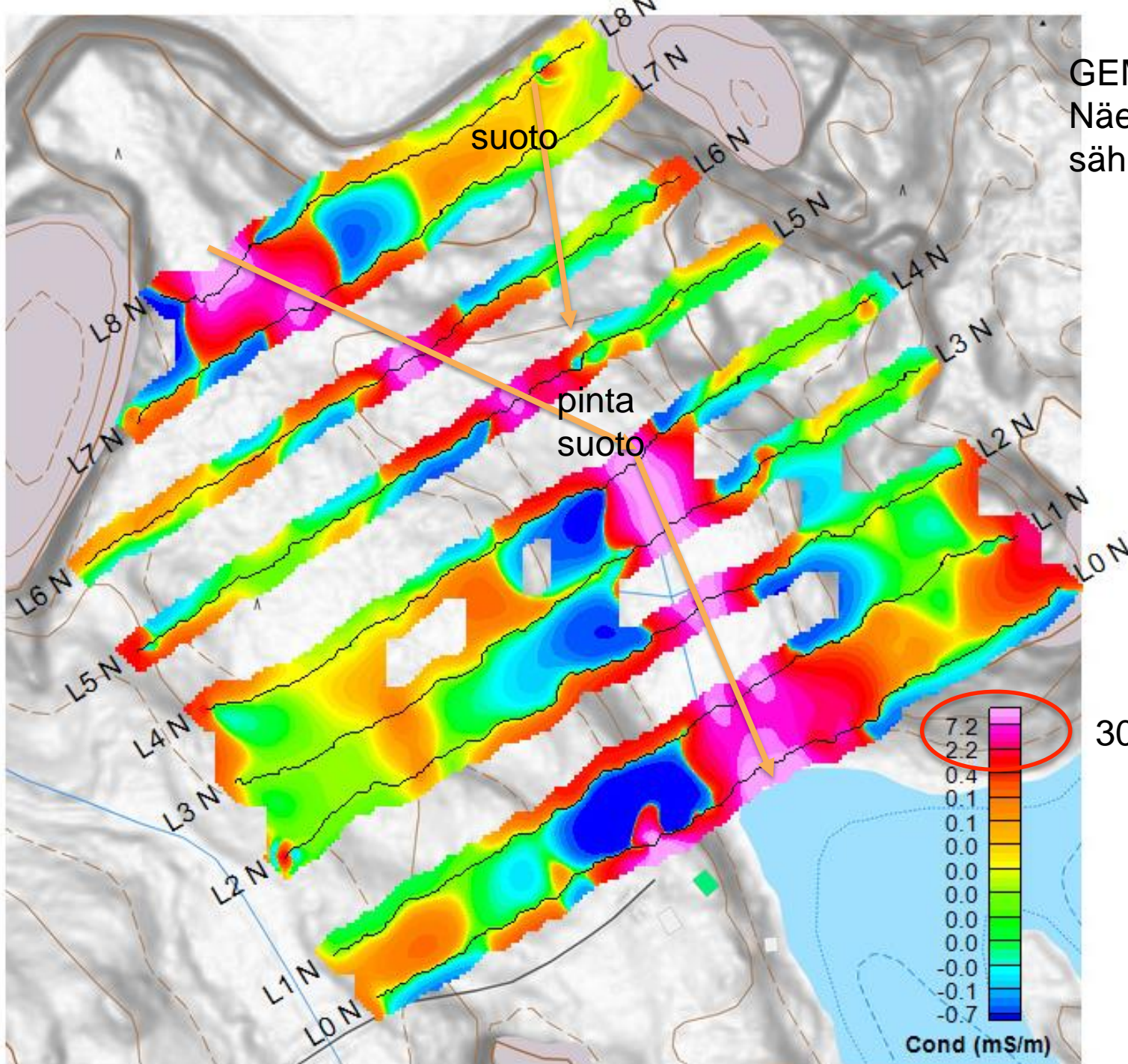


Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kotalahden alueen geologiasta (Makkonen, Heilimo)

Kotalahden alueen tyypillinen geologinen piirre on Kotalahden doomi, joka on Arkeeisista gneisseistä muodostunut kohouma. Kohoumaa reunustaa Arkeeisen mannerkuoren reunalla kerrostuneet Proterotsooiset pintasyntyiset kivilajit kvartsiitit, kalkkikivet, kalkki-silikaatit, mustaliuskeet ja raitaiset diopsodi amfibolit. Paleoproterosoisen ajan metamorfoosin huippu on ollut korkeimmillaan amfiboliitti fasiauksessa, joka näkyy gneissimäisyytenä ja migmatisaationa pintasyntyisissä kivilajeissa. Useita nikkeli malmeja ja mineralisaatiota on löydetty Kotalahden alueelta, sekä sen läheisyydestä. Kotalahden ja Rytkyn malmit ovat gabro-peridotiitti intruusiossa Arkeeisen gneissin ja Proterosoisten kivilajien kontaktin lähellä. Pääisäntäkivi nikkelimalmille on peridotiitti ja metapyrokseeniitti.





GEM-2
Näennäinen
sähkönjohtavuus

30 - 100 ohmm



uroopan unioni
uroopan aluekehitysrahasto

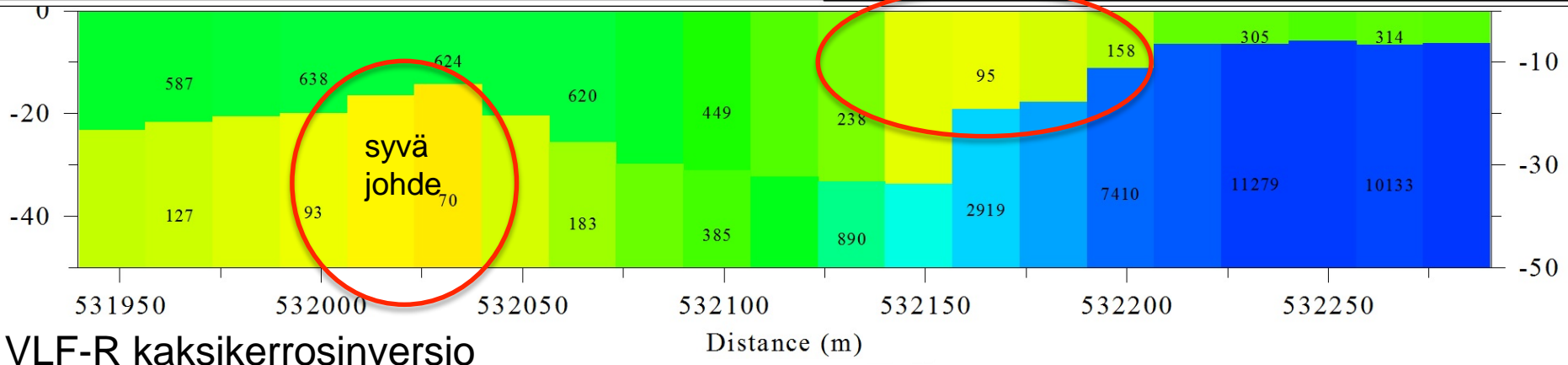
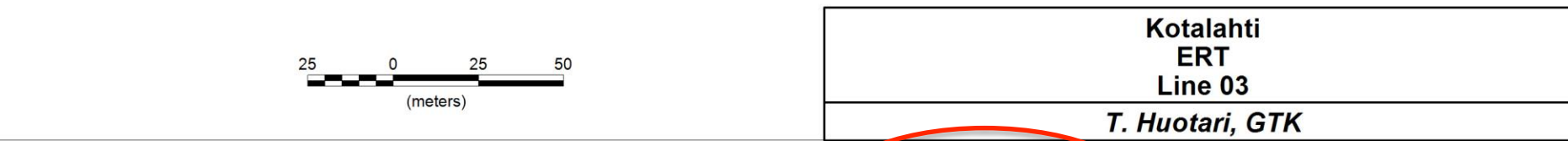
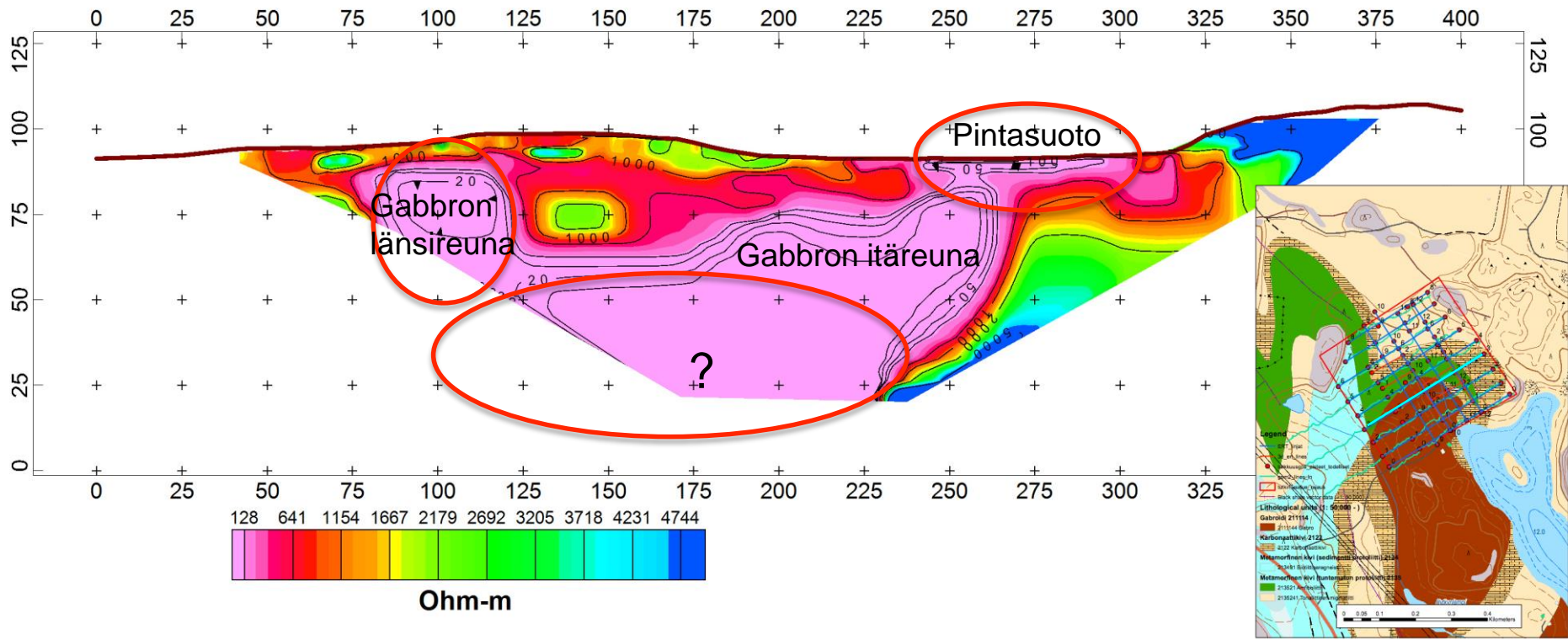
2,5D monielektrodiluotausten (ERT) ja VLF-R mittausten inversiotulokset

Kestävä kasvua ja työtä -ohjelma

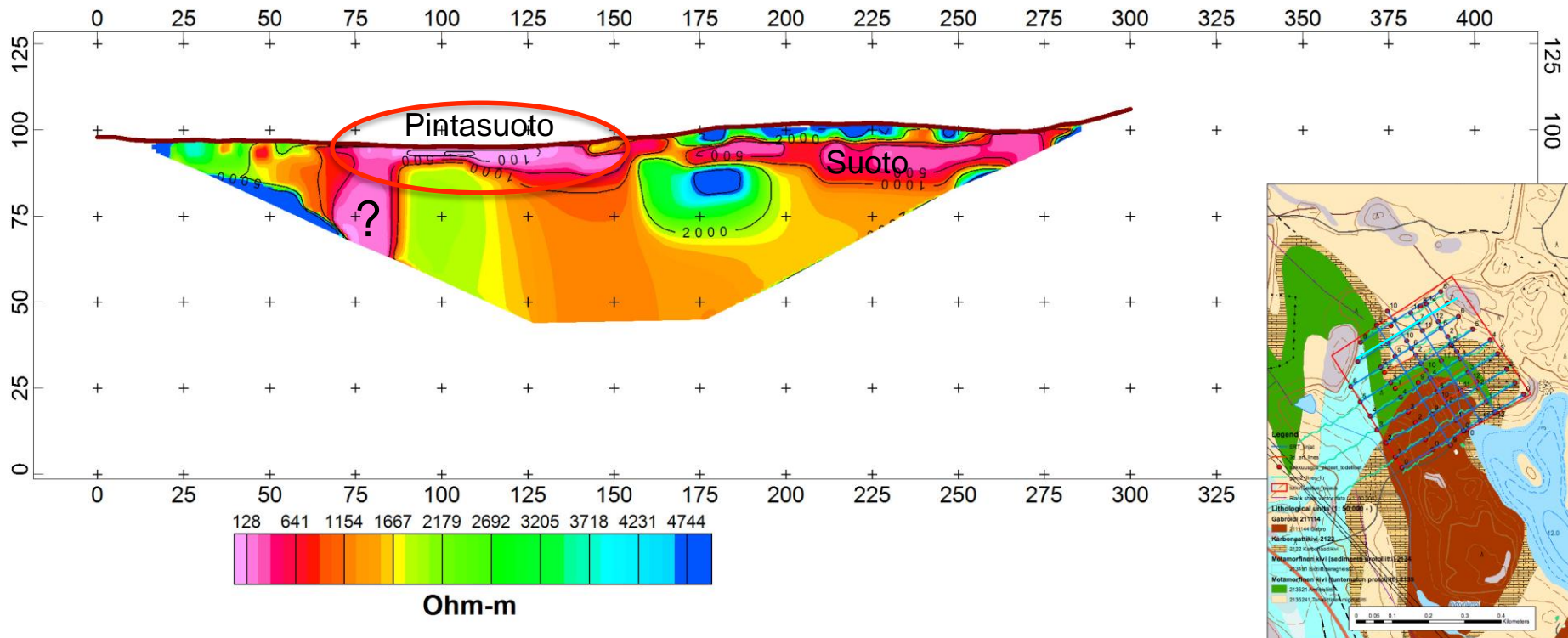
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

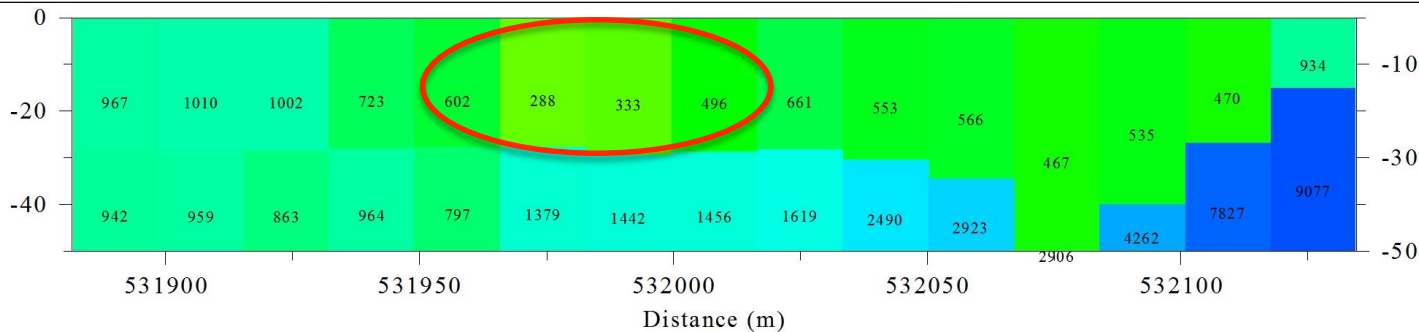


VLF-R kaksikerrosinversio



**Kotalahti
ERT
Line 07**

T. Huotari, GTK

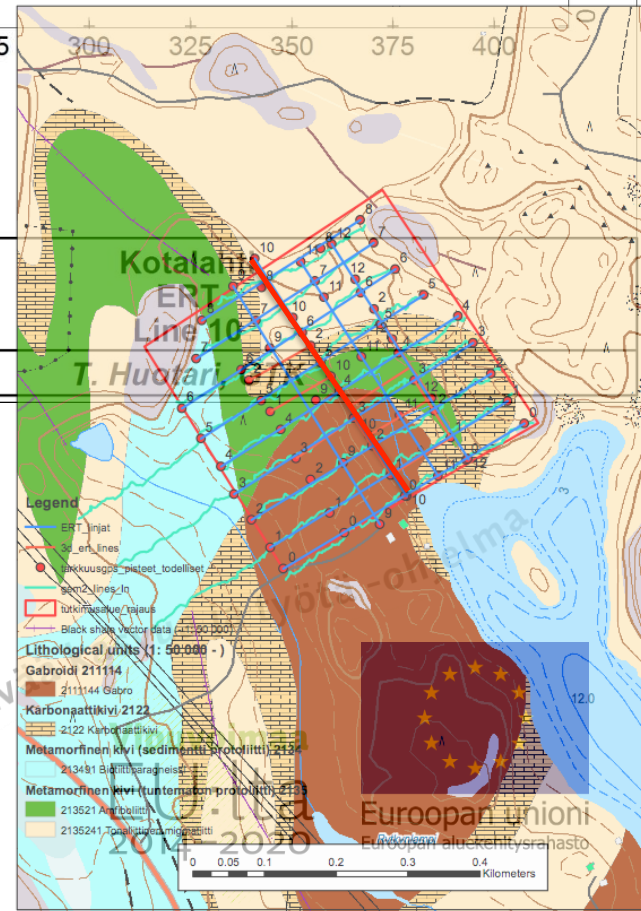
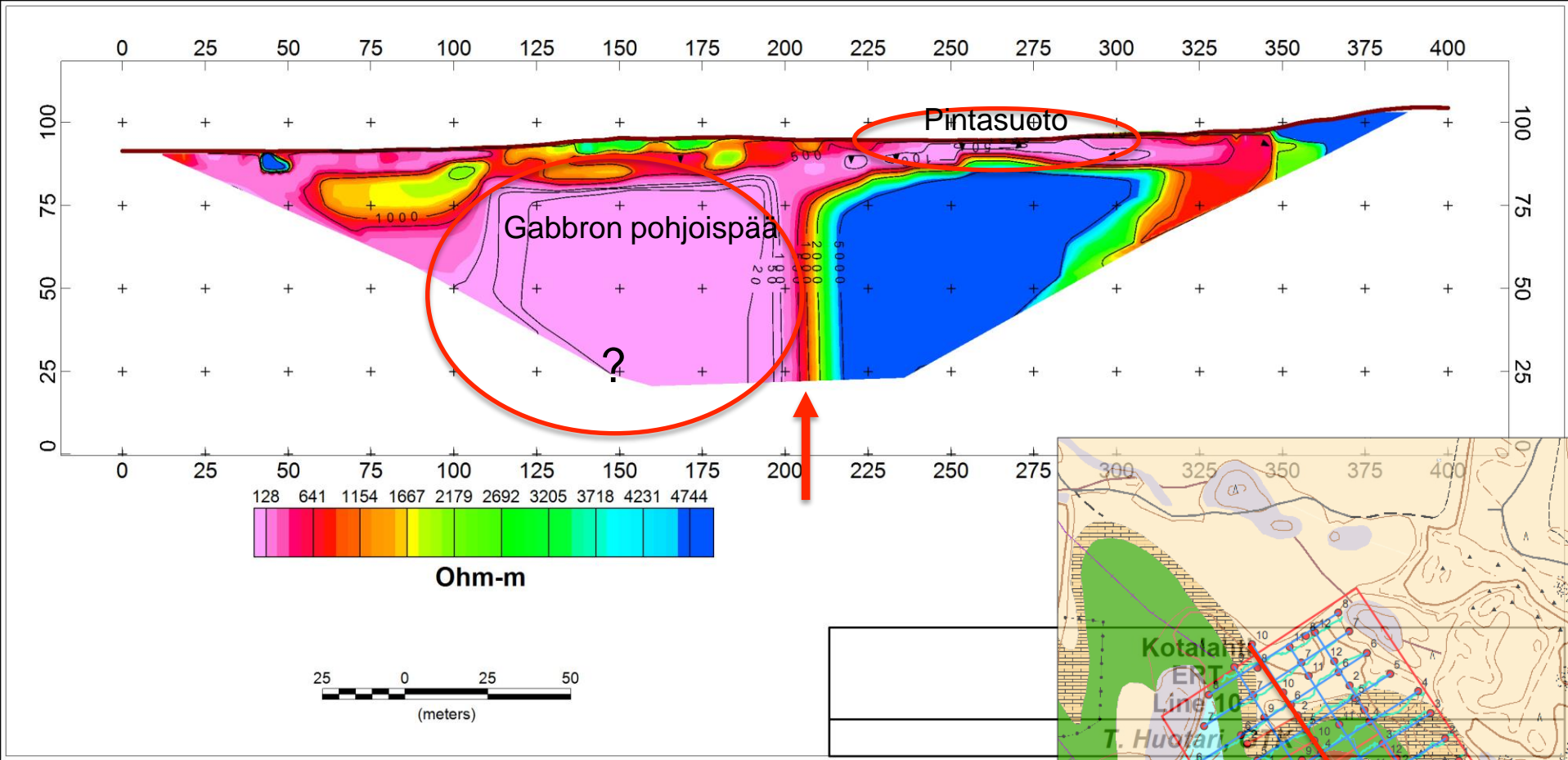


ja työtä -ohjelma

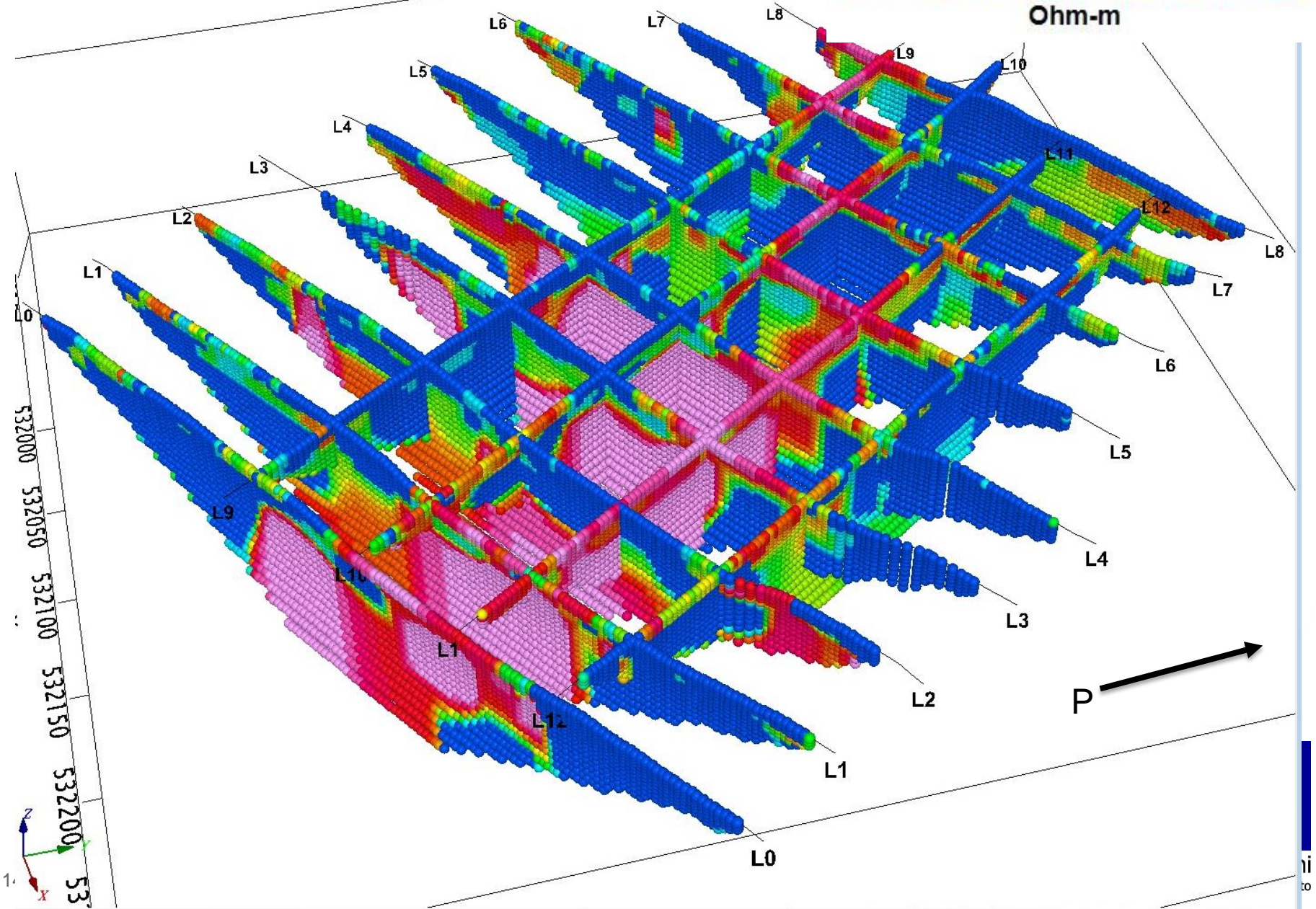
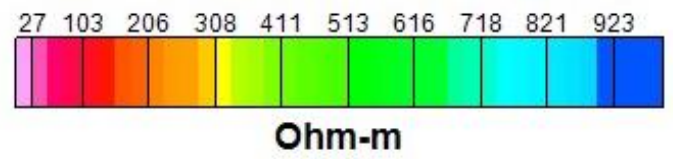
VLF-R kaksikerrosinversio

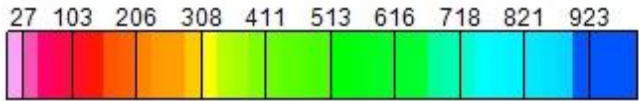
oimaa
EU:lta
2014-2020



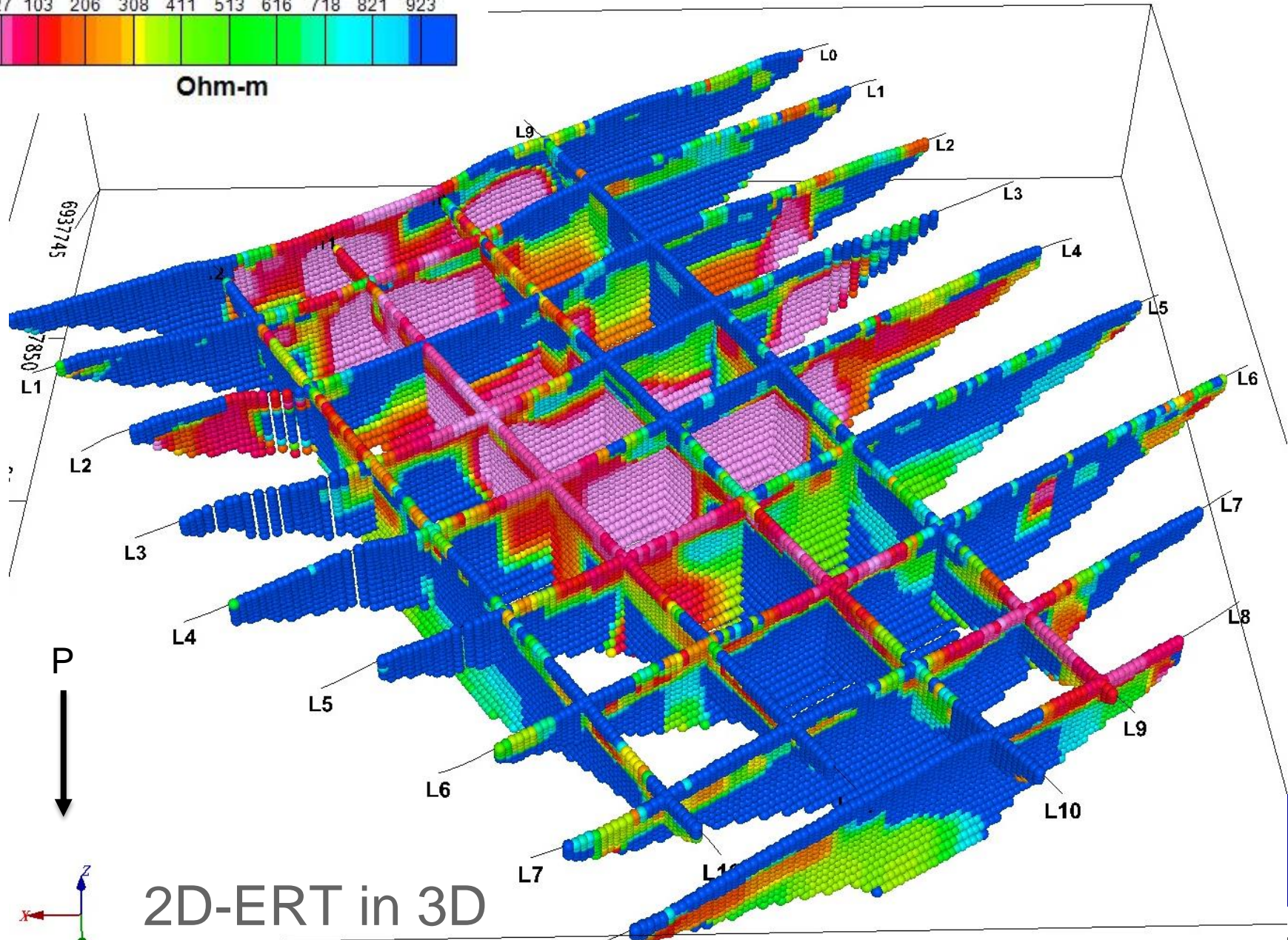


Linja 10



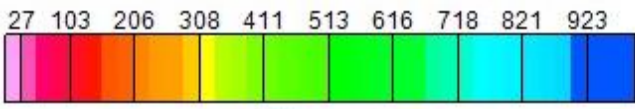


Ohm-m

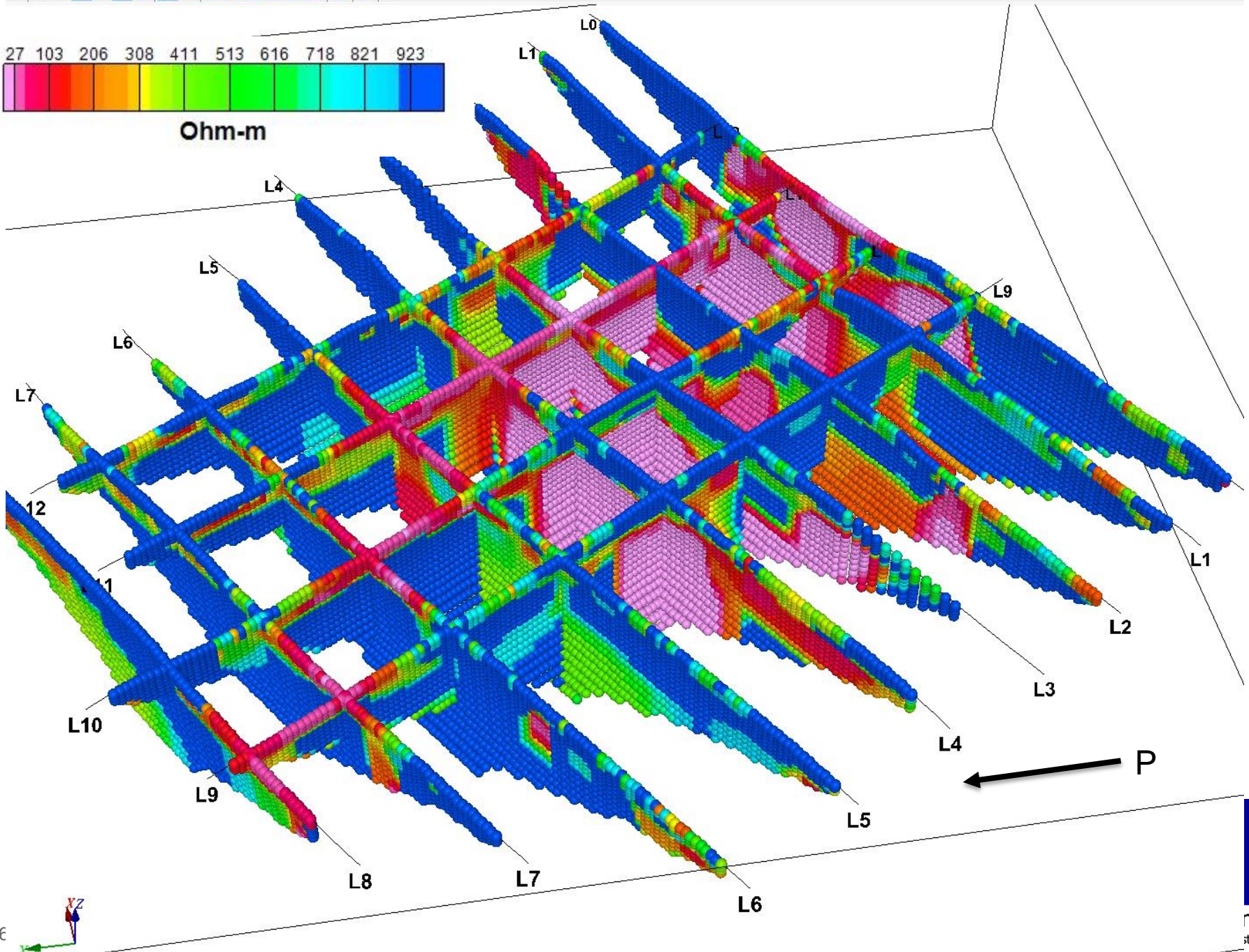


2D-ERT in 3D

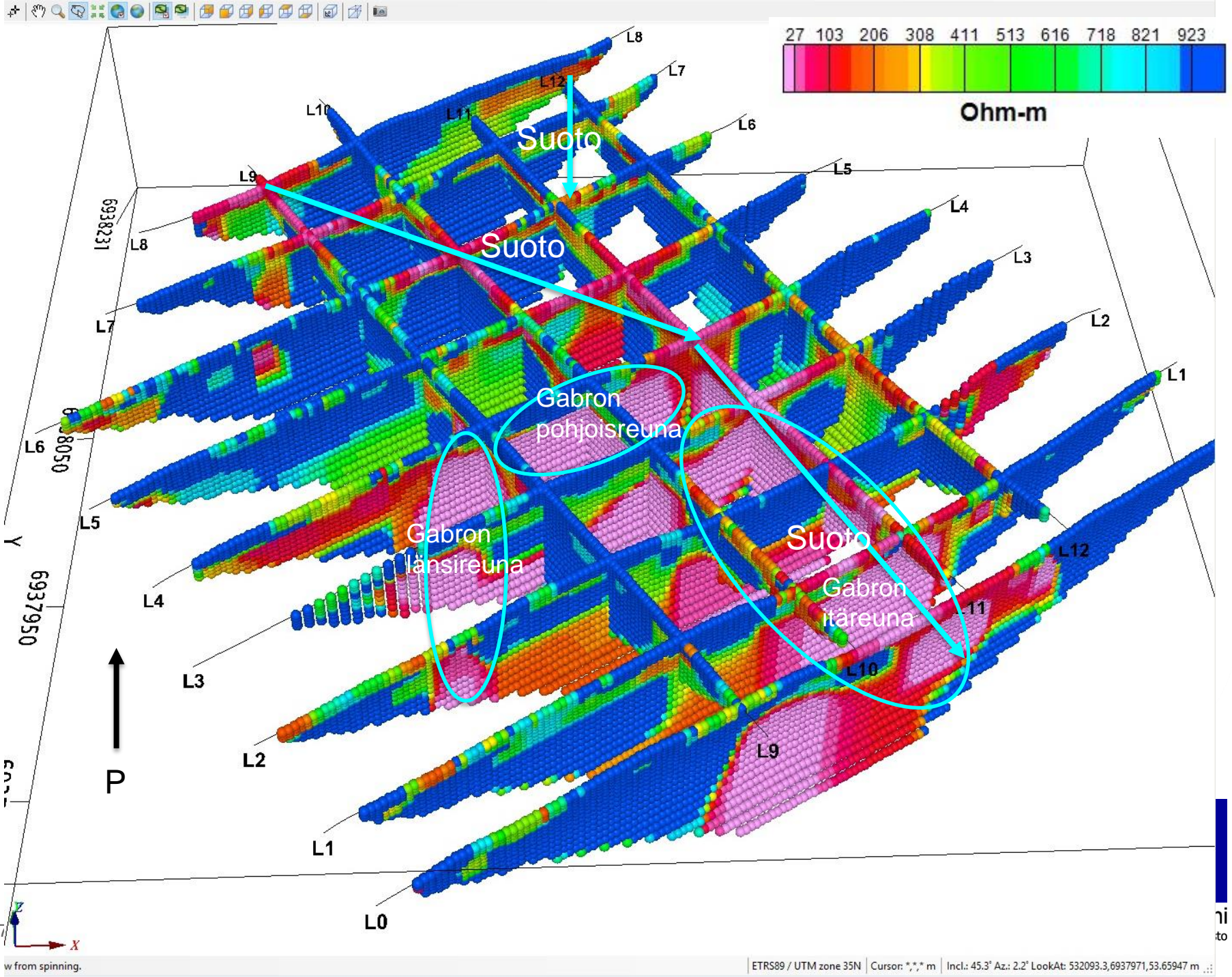




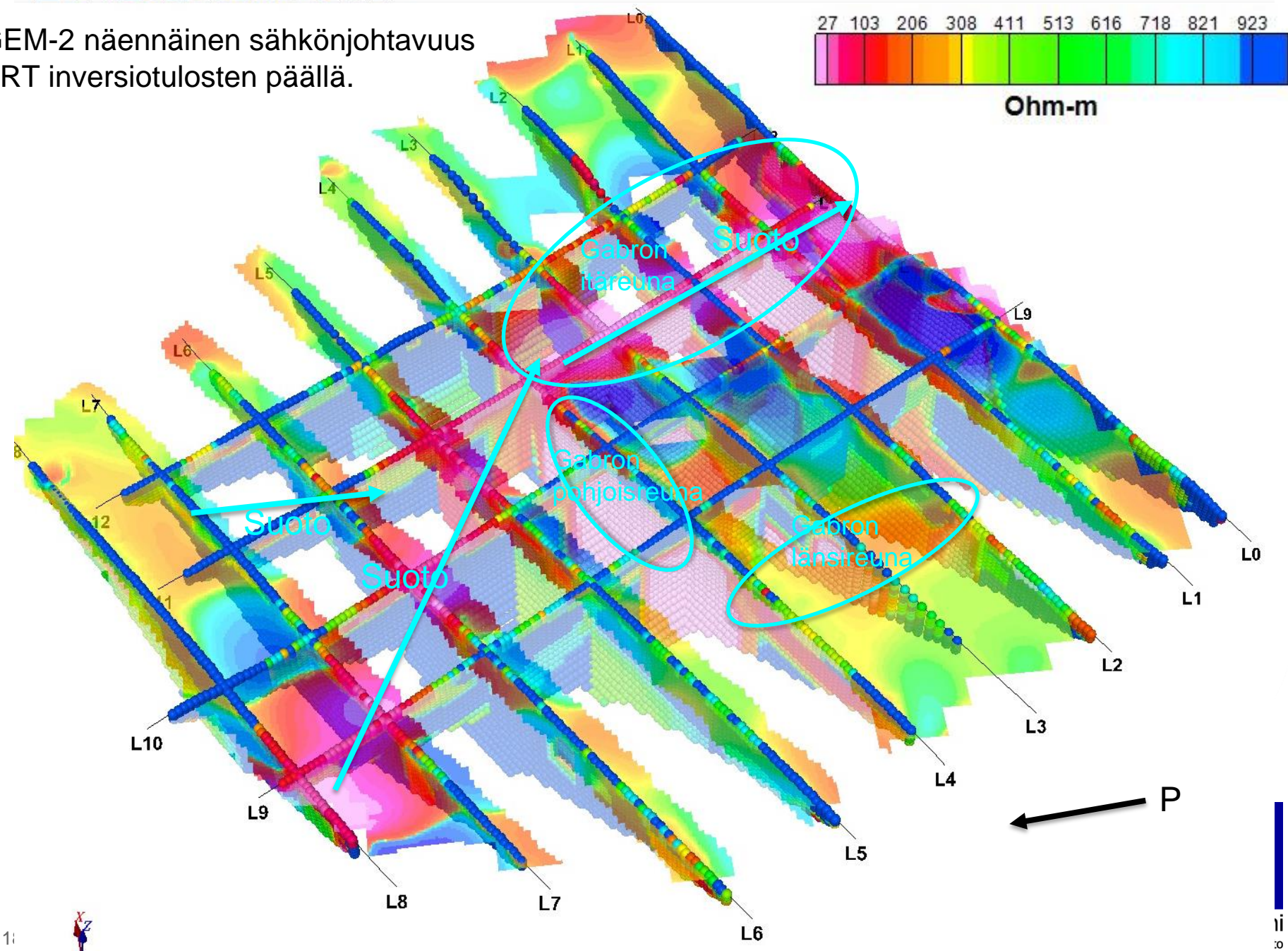
Ohm-m



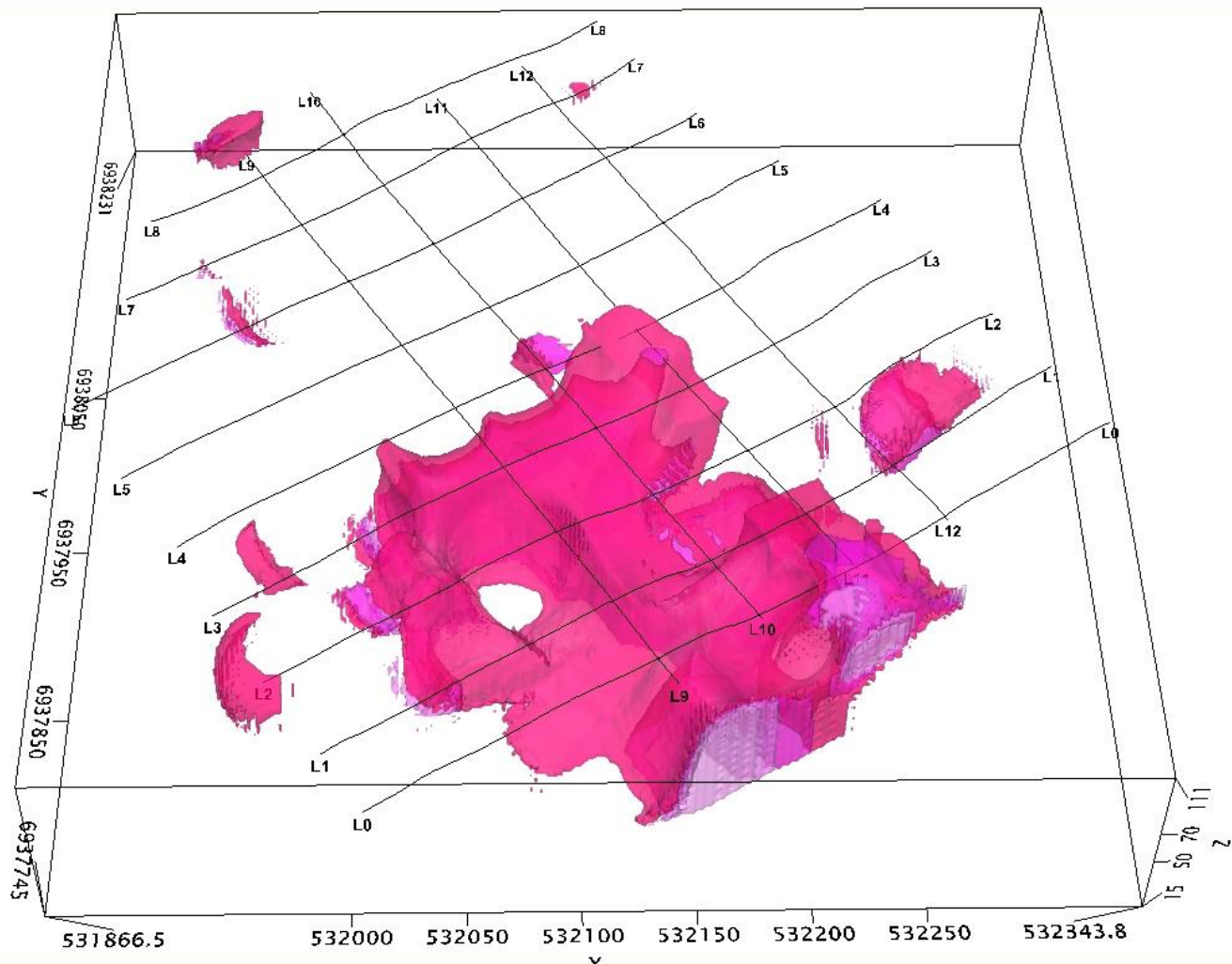
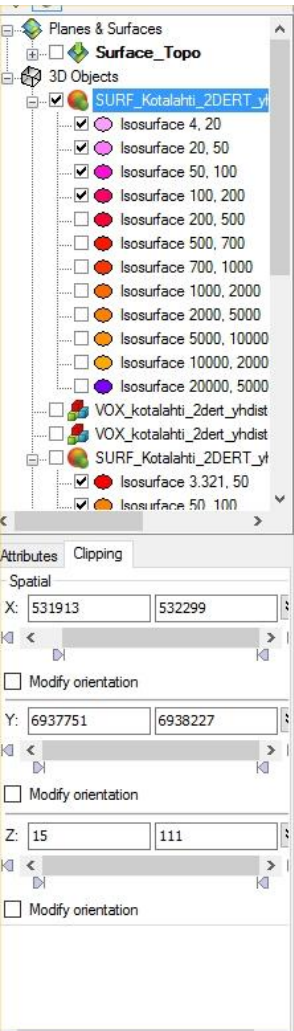
ni
sto



GEM-2 näennäinen sähköjohtavuus ERT inversiotulosten päällä.



Ominaisvastus < 200 ohmm



Ominaisvastus < 100 ohmm

Planes & Surfaces

- Surface_Topo
- 3D Objects
 - SURF_Kotalahti_2DERT_yf
 - Isosurface 4, 20
 - Isosurface 20, 50
 - Isosurface 50, 100
 - Isosurface 100, 200
 - Isosurface 200, 500
 - Isosurface 500, 700
 - Isosurface 700, 1000
 - Isosurface 1000, 2000
 - Isosurface 2000, 5000
 - Isosurface 5000, 10000
 - Isosurface 10000, 20000
 - Isosurface 20000, 50000
 - VOX_kotalahti_2dert_yhdist
 - VOX_kotalahti_2dert_yhdist
 - SURF_Kotalahti_2DERT_yf
 - Isosurface 3.321, 50
 - Isosurface 50, 100

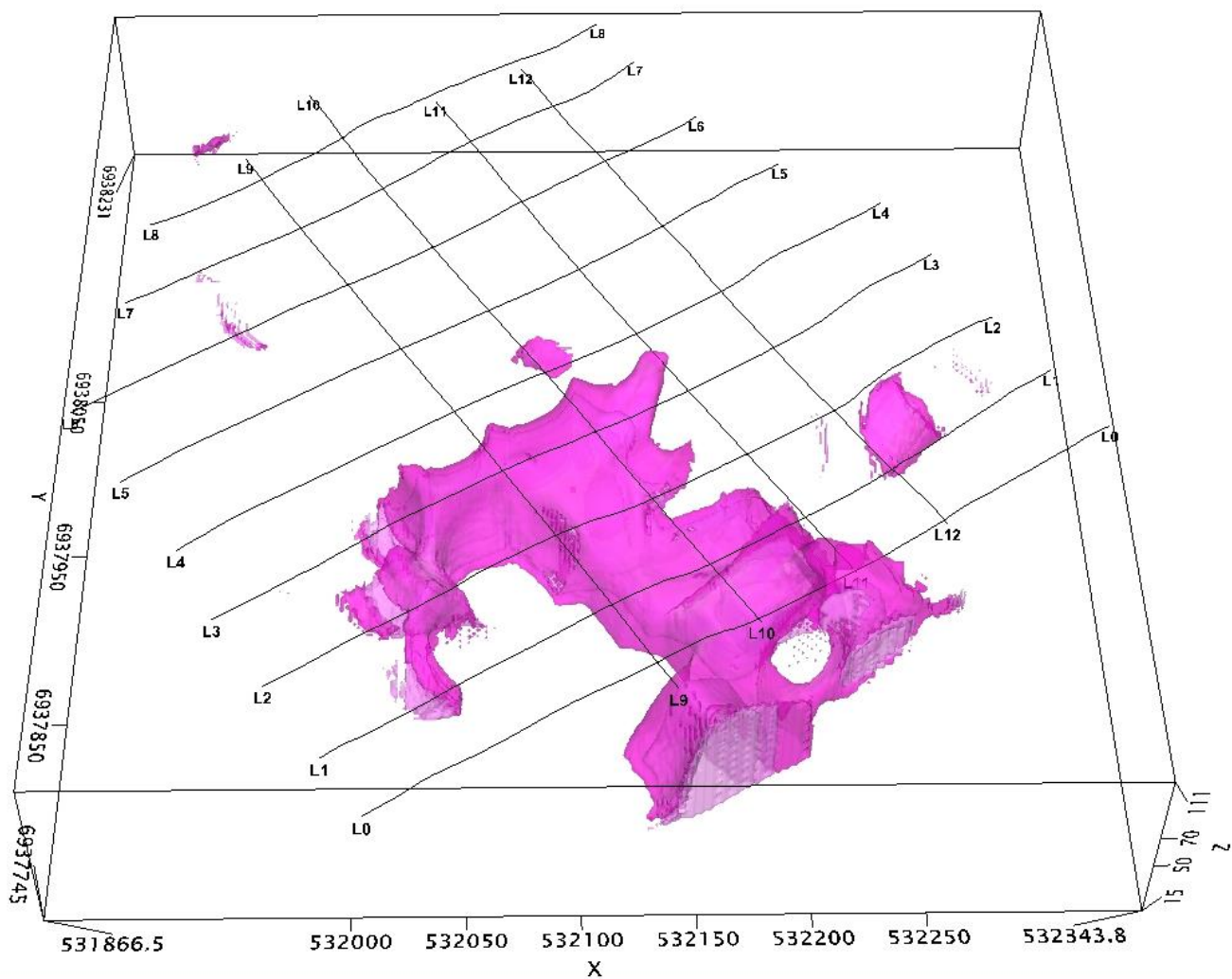
Attributes Clipping

Spatial

X: 531913 532299

Y: 6937751 6938227

Z: 15 111



Ominaisvastus < 50 ohmm

Planes & Surfaces

- Surface_Topo
- 3D Objects
 - SURF_Kotalahti_2DERT_yf
 - Isosurface 4, 20
 - Isosurface 20, 50
 - Isosurface 50, 100
 - Isosurface 100, 200
 - Isosurface 200, 500
 - Isosurface 500, 700
 - Isosurface 700, 1000
 - Isosurface 1000, 2000
 - Isosurface 2000, 5000
 - Isosurface 5000, 10000
 - Isosurface 10000, 20000
 - Isosurface 20000, 50000
 - VOX_kotalahti_2dert_yhdist
 - VOX_kotalahti_2dert_yhdist
 - SURF_Kotalahti_2DERT_yf
 - Isosurface 3.321, 50
 - Isosurface 50, 100

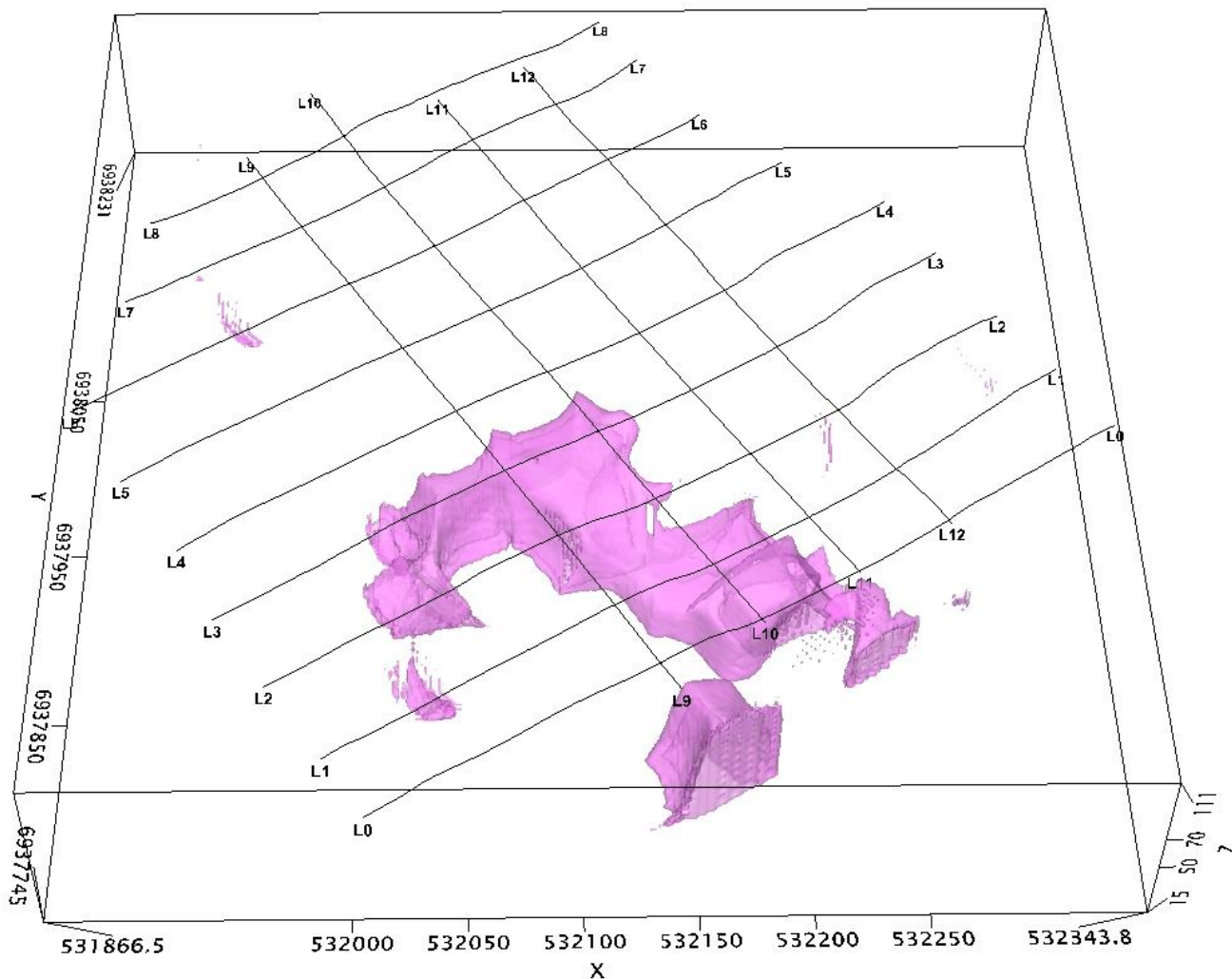
Attributes Clipping

Spatial

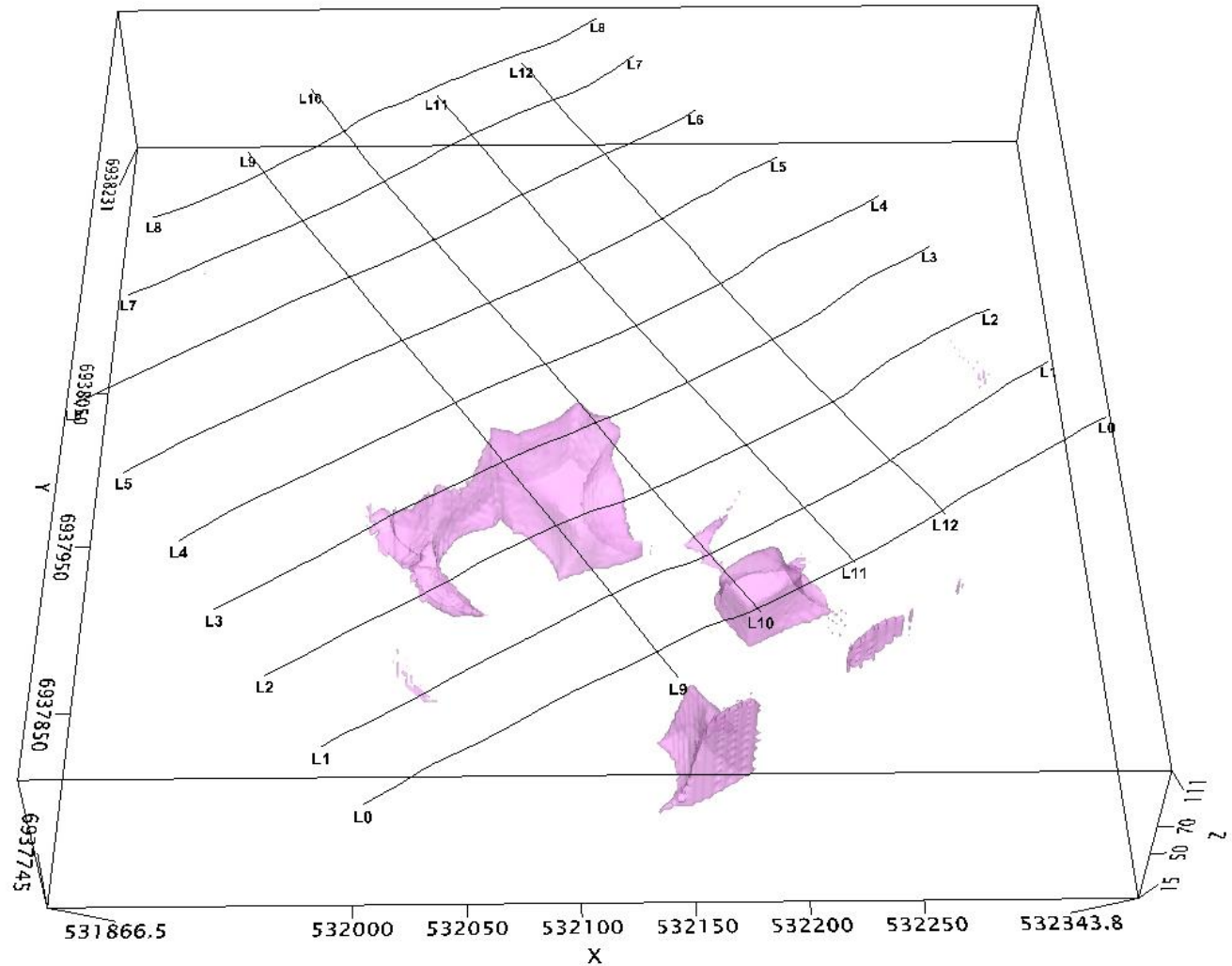
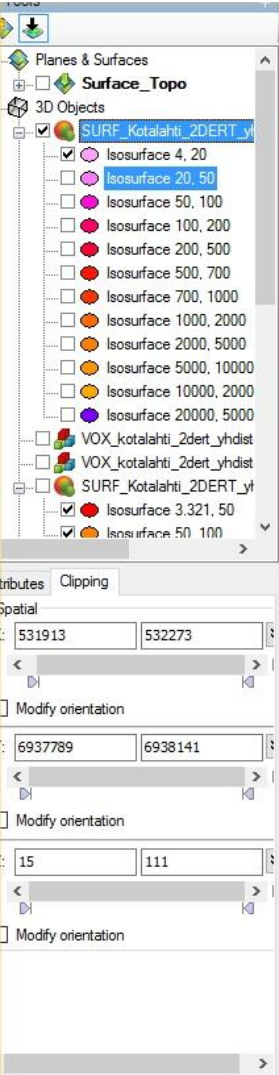
X: 531913 532299

Y: 6937751 6938227

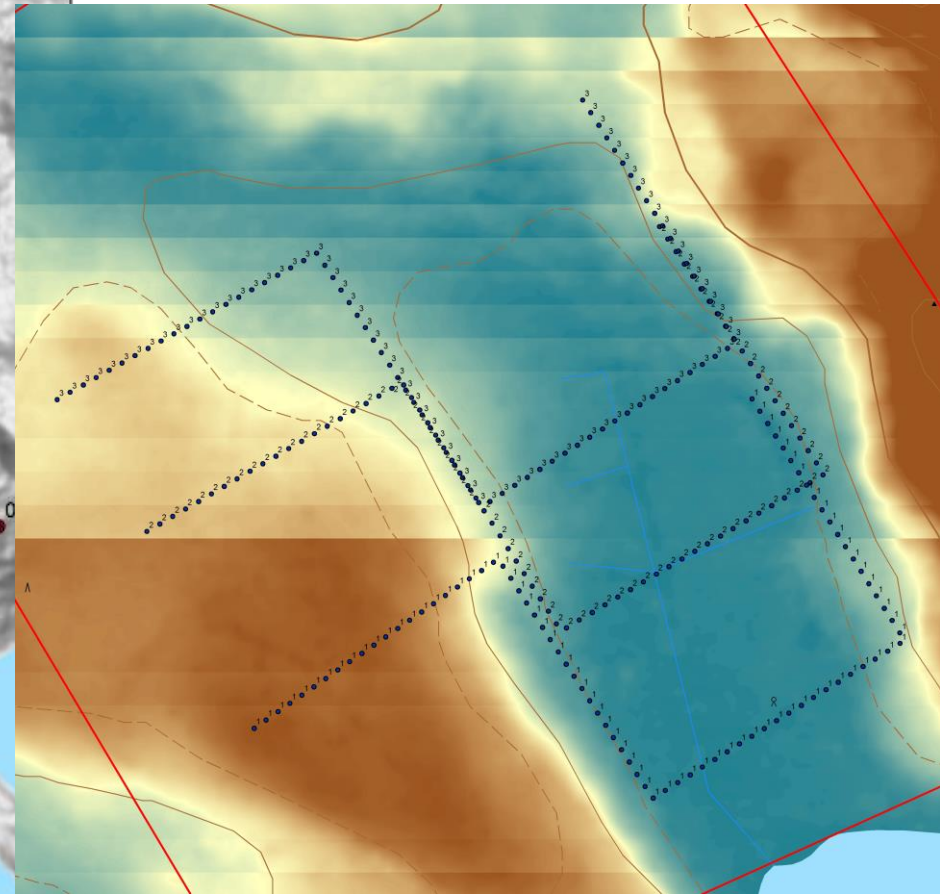
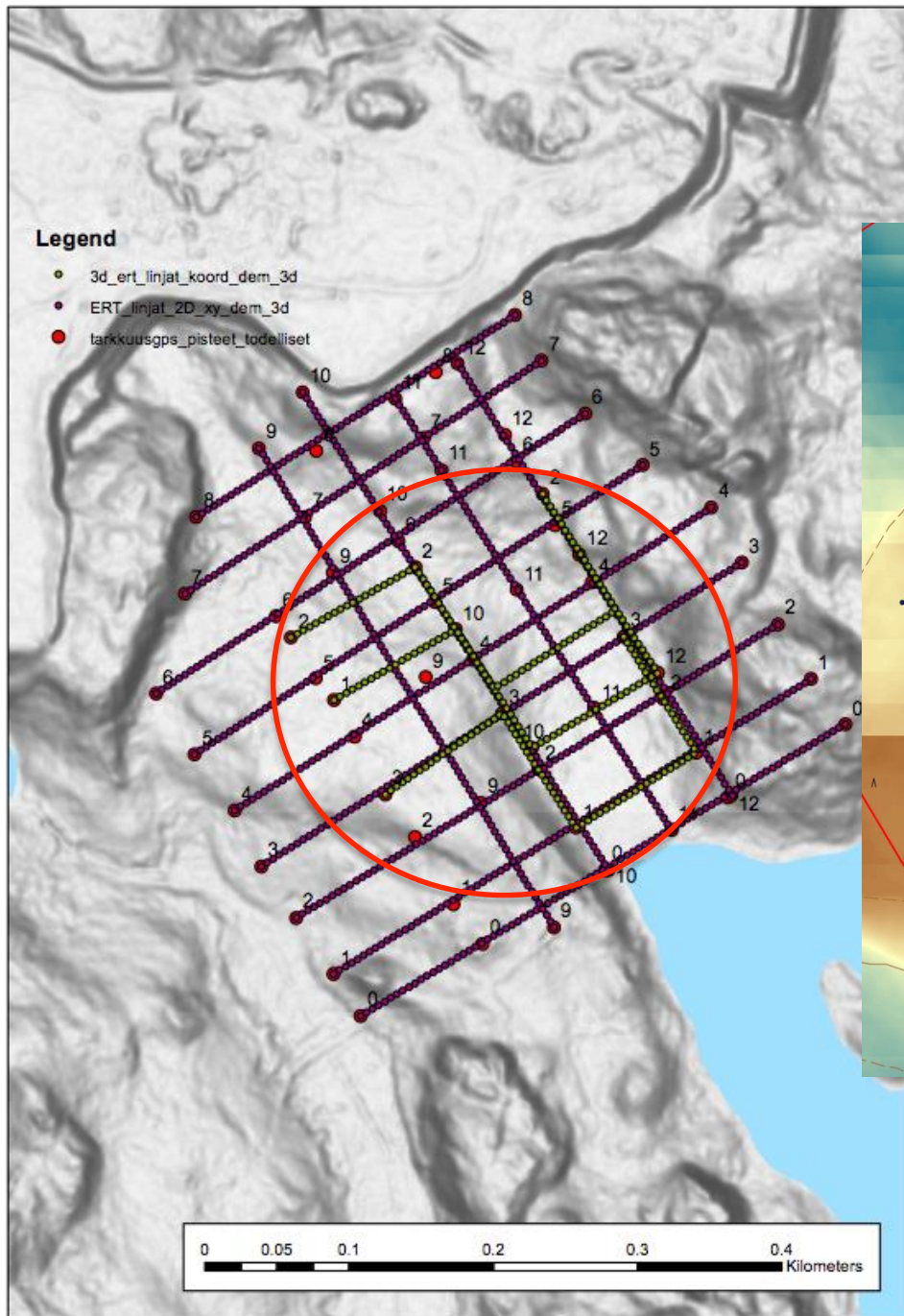
Z: 15 111



Ominaisvastus < 20 ohmm



3D-ERT linjat



Kestävää kasvua ja työtä

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



3D-ERT tulkinta Itä-Suomen yliopisto



GTK project: 3D ERT

Kuopio
November 2017

[Gerardo González](#) [Marko Vauhkonen](#)

UEF // University of Eastern Finland

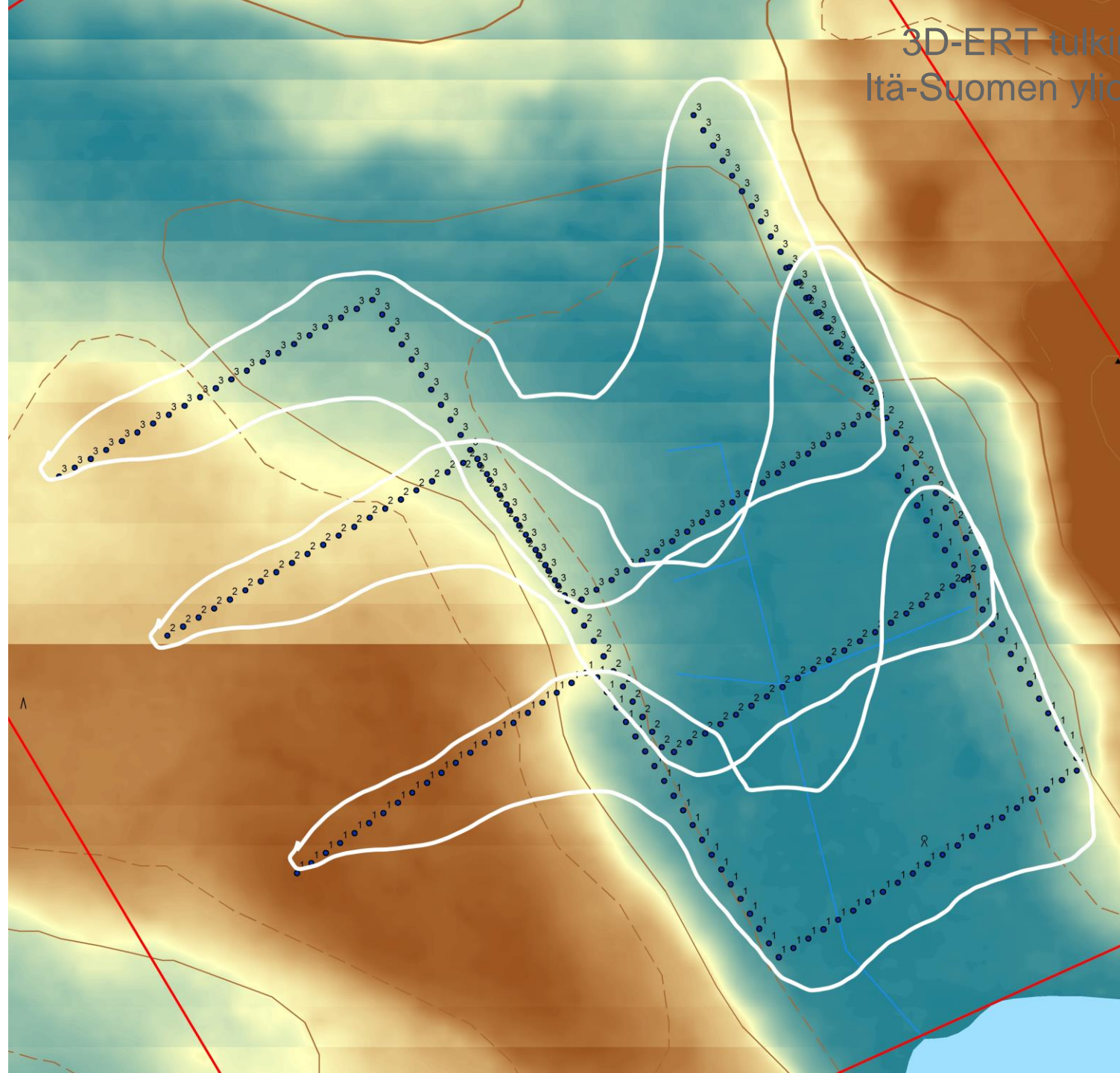


Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto



VLF-R tulokset

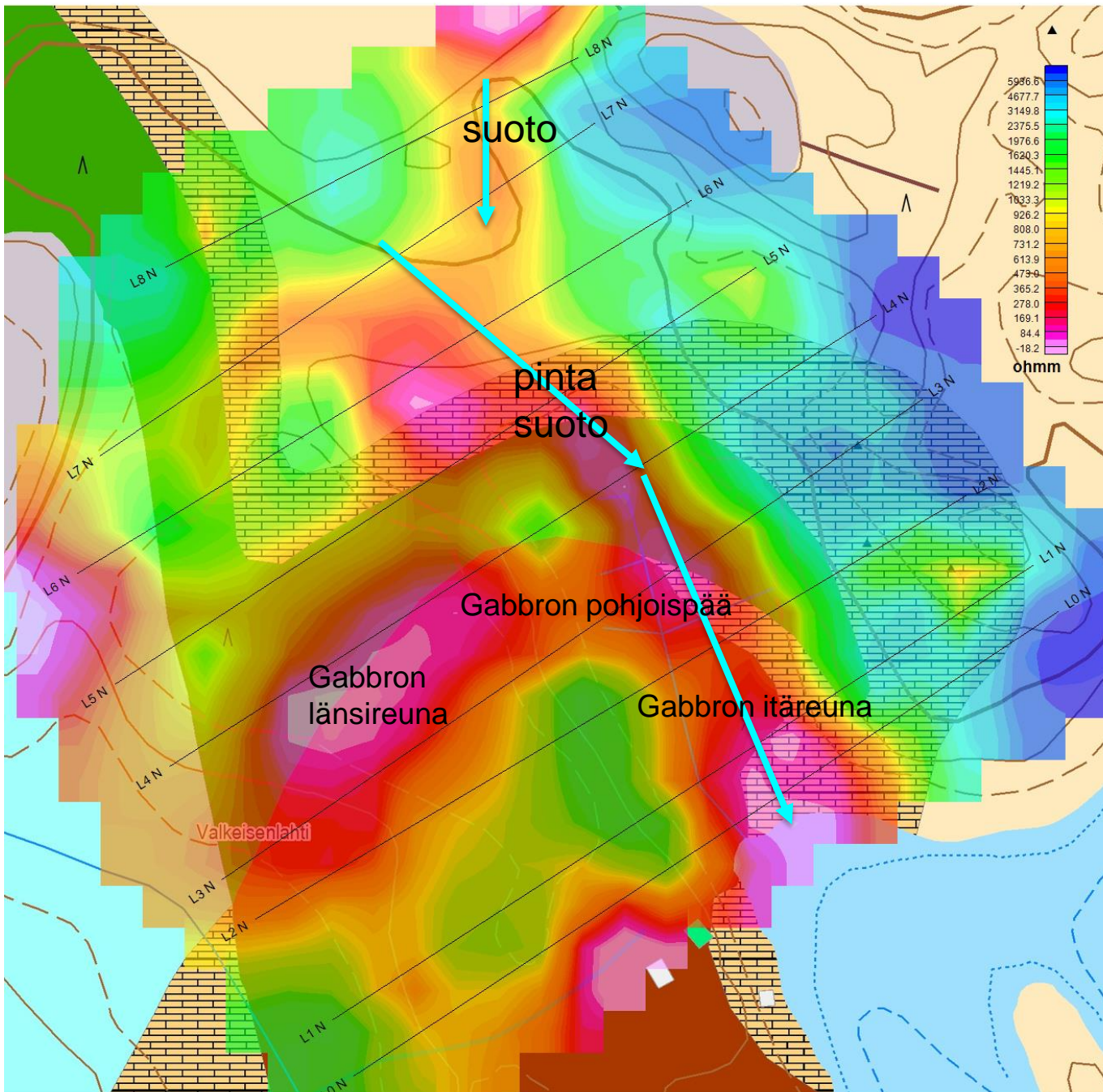
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

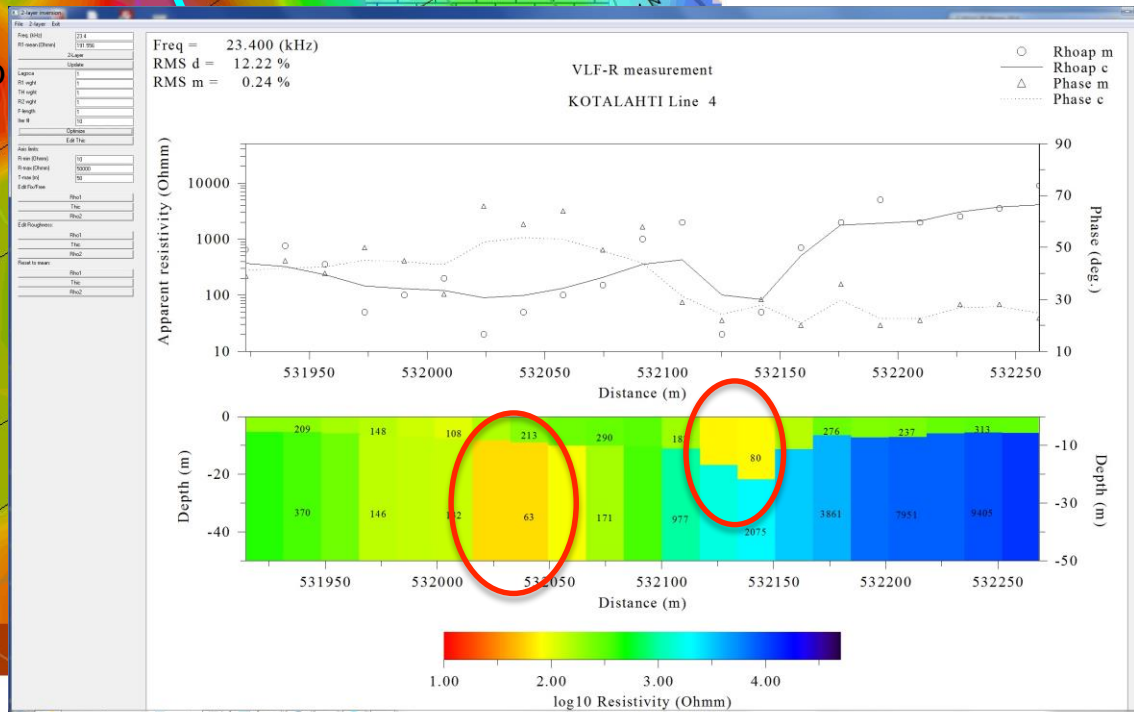
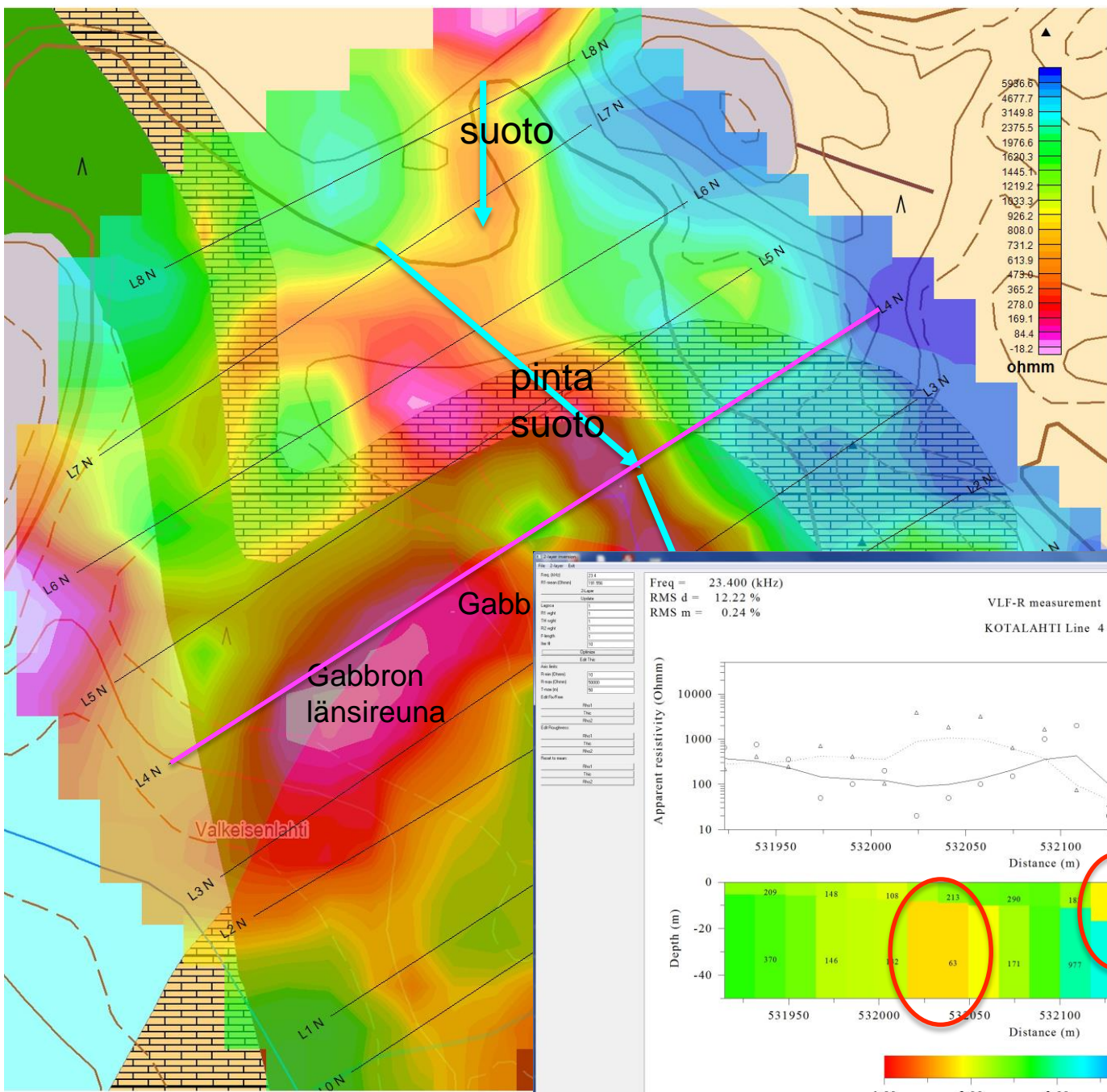


Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

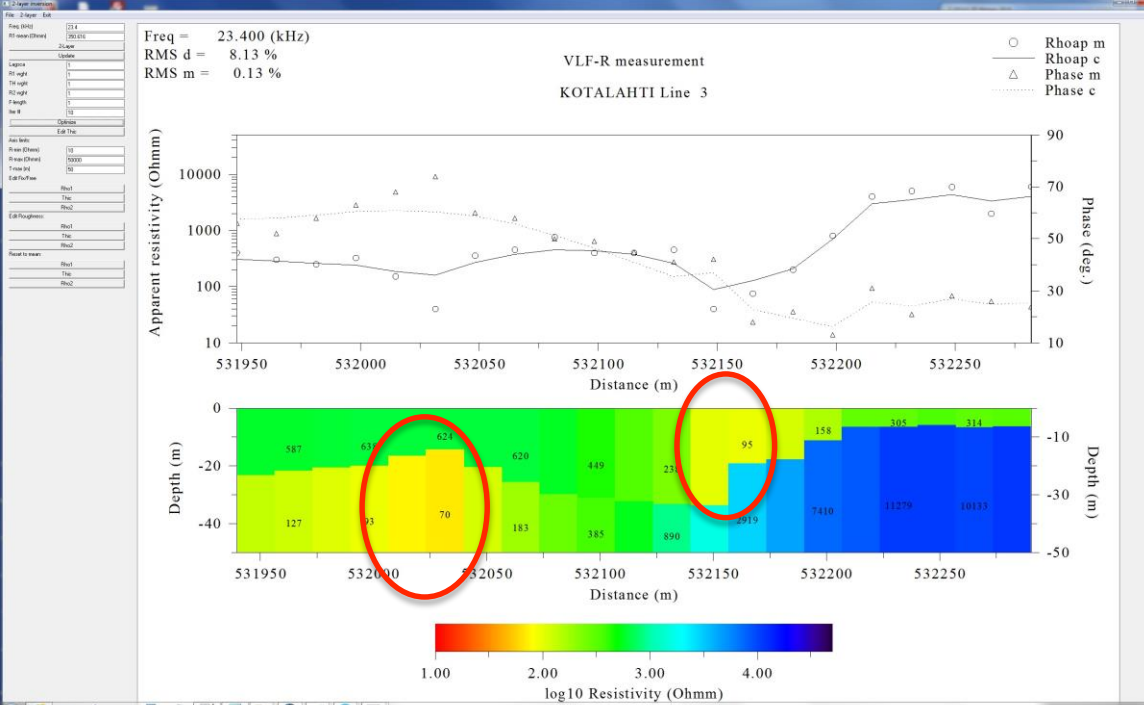
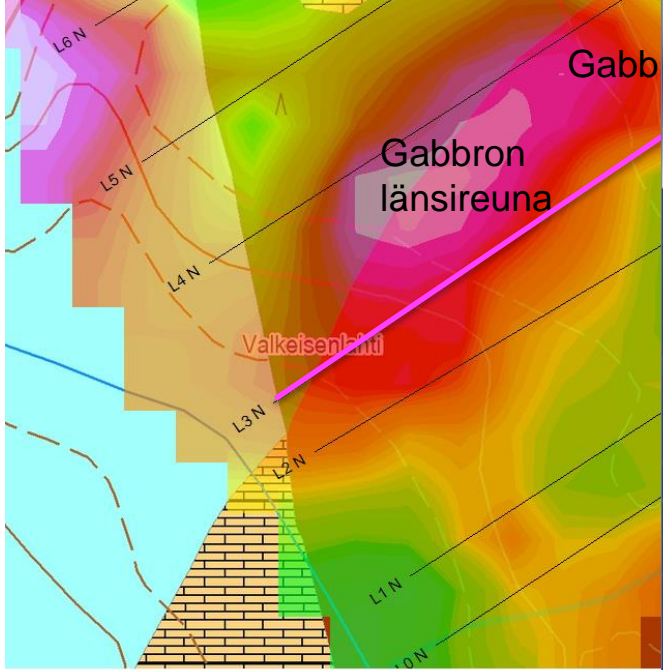
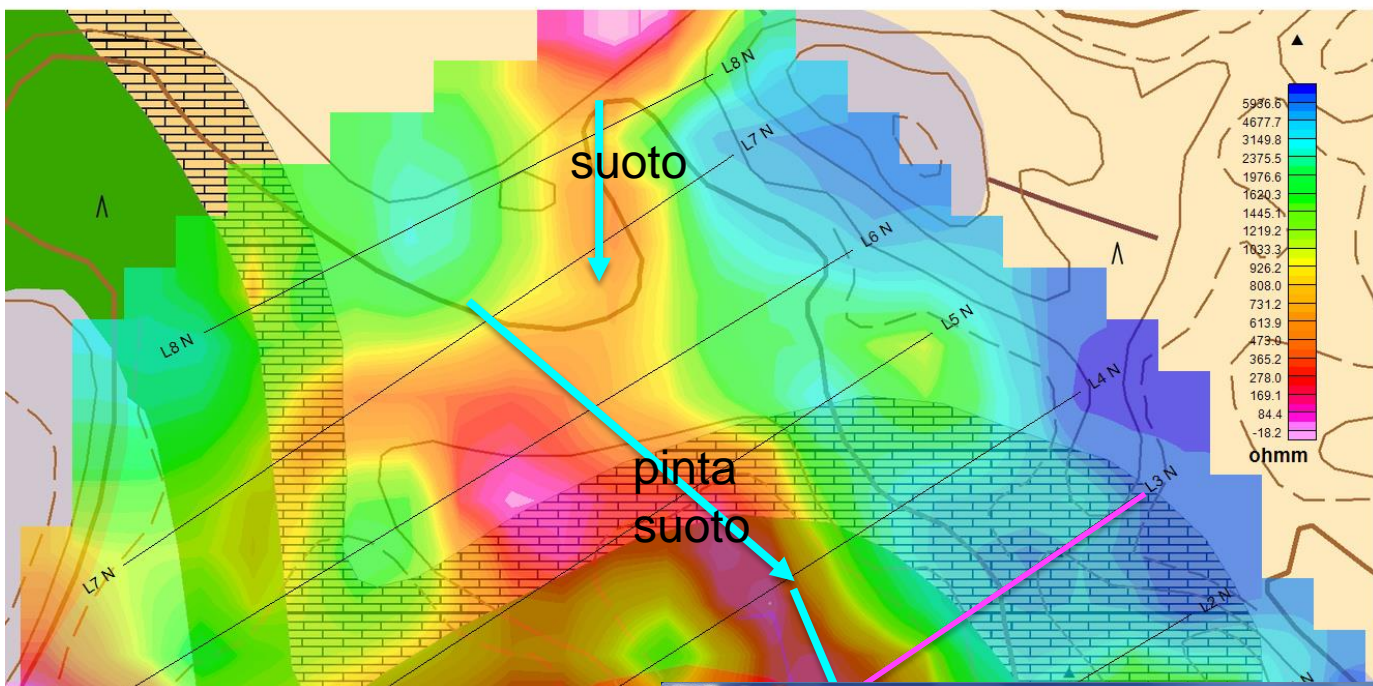
VLF-R Näennäinen ominaisvastus



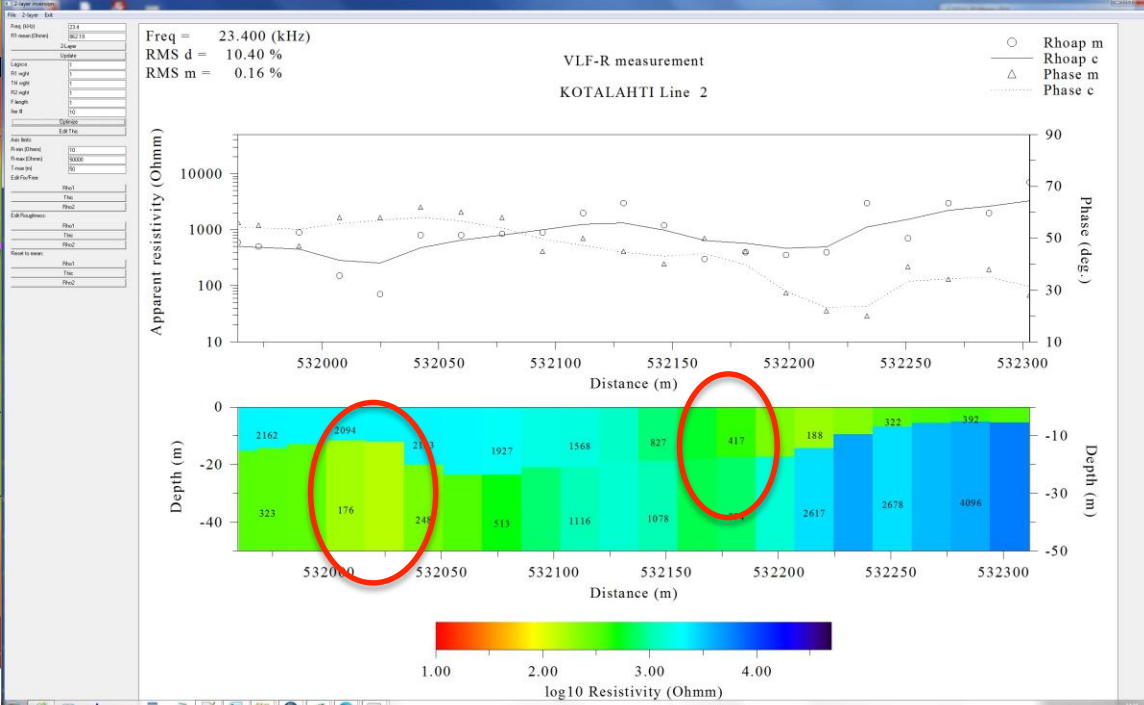
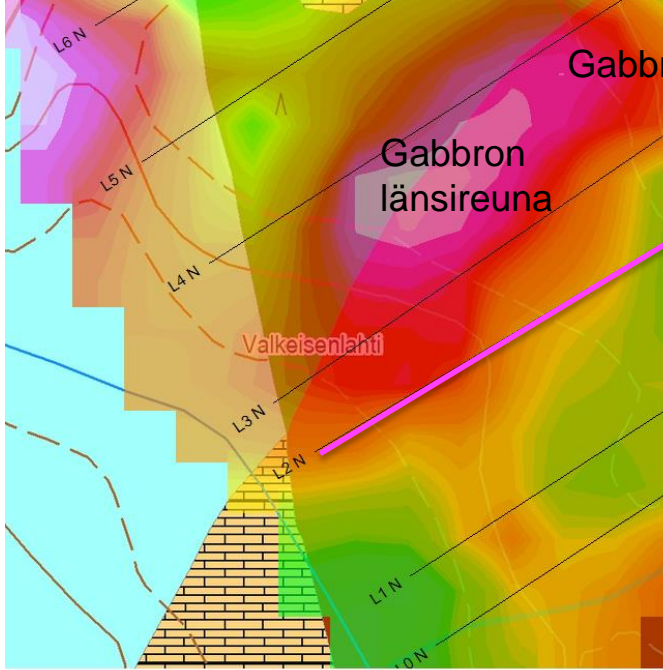
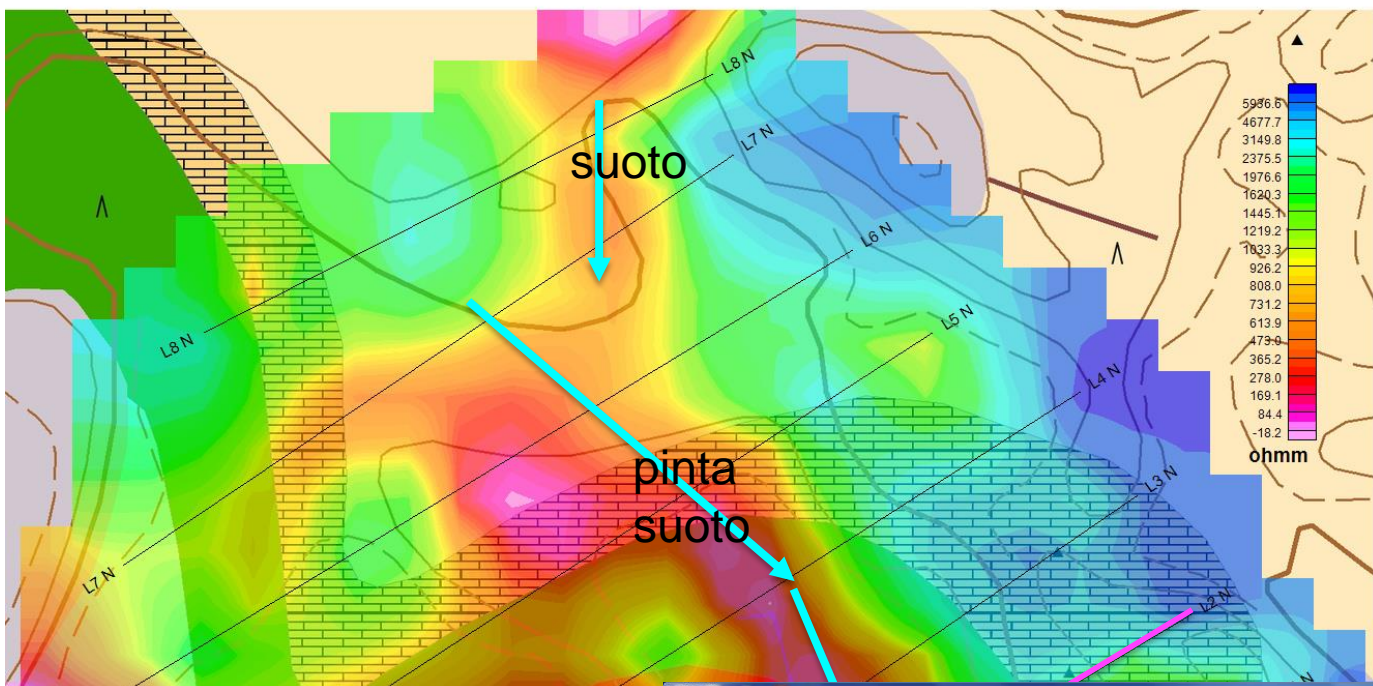
VLF-R linja 4 inversio



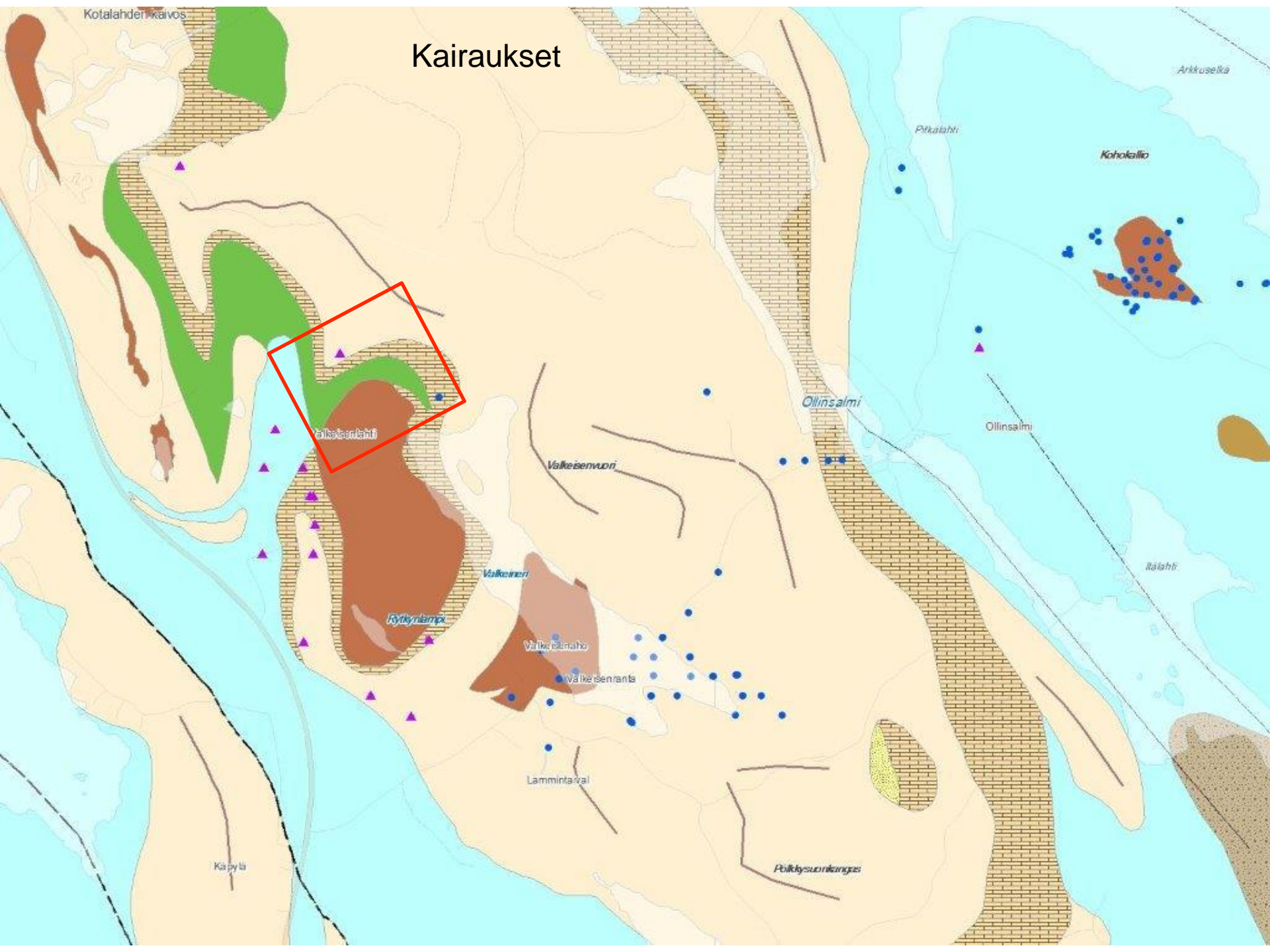
VLF-R linja 3 inversio



VLF-R linja 2 inversio



Kairaukset



KaivosVV – geofysikaaliset tutkimukset Kotalahdessa - Tulkinta ja Loppupäätelmät

Kotalahden kaivoksen rikastushiekka-alueen ja Valkeisen järven välisen alueen suotovesien reittien kartoitus

- Sähkömagneettisilla GEM-2 mittauksilla rikastushiekka suodon pintaosa kartoitettiin.
- Sähkömagneettisilla VLF-R mittauksilla (kerrosmalli-inversio) rikastushiekka suodon pintaosa sekä syvemmälle ulottuvat osat kartoitettiin.
- Rikastushiekka suodon pintaosa sekä syvemmälle ulottuvat osat kartoitettiin monielektrodiluotauksilla (ERT).
- Gabron reunassa (syväälle ulottuva) johde <-> mineralisaatio, mustaliuske ?
- ERT-luotauksissa tutkimusalueen eteläosan linjoilla havaitun johteen alapintaa ei tavoitettu. ERT -mittauksen syvyysulottuvuus on käytetyllä konfiguraatiolla maksimissaan 50 - 70 m.
- ERT-luotauksen 3D sakarakonfiguraatio tuloksia (Itä-Suomen yliopisto) odotetaan mielenkiinnolla.
- Monimutkainen geologia <-> johteita kallioperässä: mineraalisaatioita, mustaliuskeita, ruhjeita ?
- Jyrkkä muutos eristeestä johteeseen alueen keskiosassa <-> Kivilajikontakti (≈ Gabbron reuna)
- Syvyysulottuvuuden rajallisuuden lisäksi virtojen keskittyminen hyvään johteeseen voi olla syy, miksi inversio ei pääse johtavan kerroksen läpi eteläisillä profiileilla.
- ERT -inversion uudelleenskaalaus ?

Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan sanoa, että merkittävää sähköä johtavien vesien suotautumista Kotalahden kaivoksen rikastushiekka-alueelta Valkeisenjärveen tapahtuu. Niiden vaikutus pienen (20 ha) järven kontaminoitumiseen on merkittävä.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kiitos!

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

