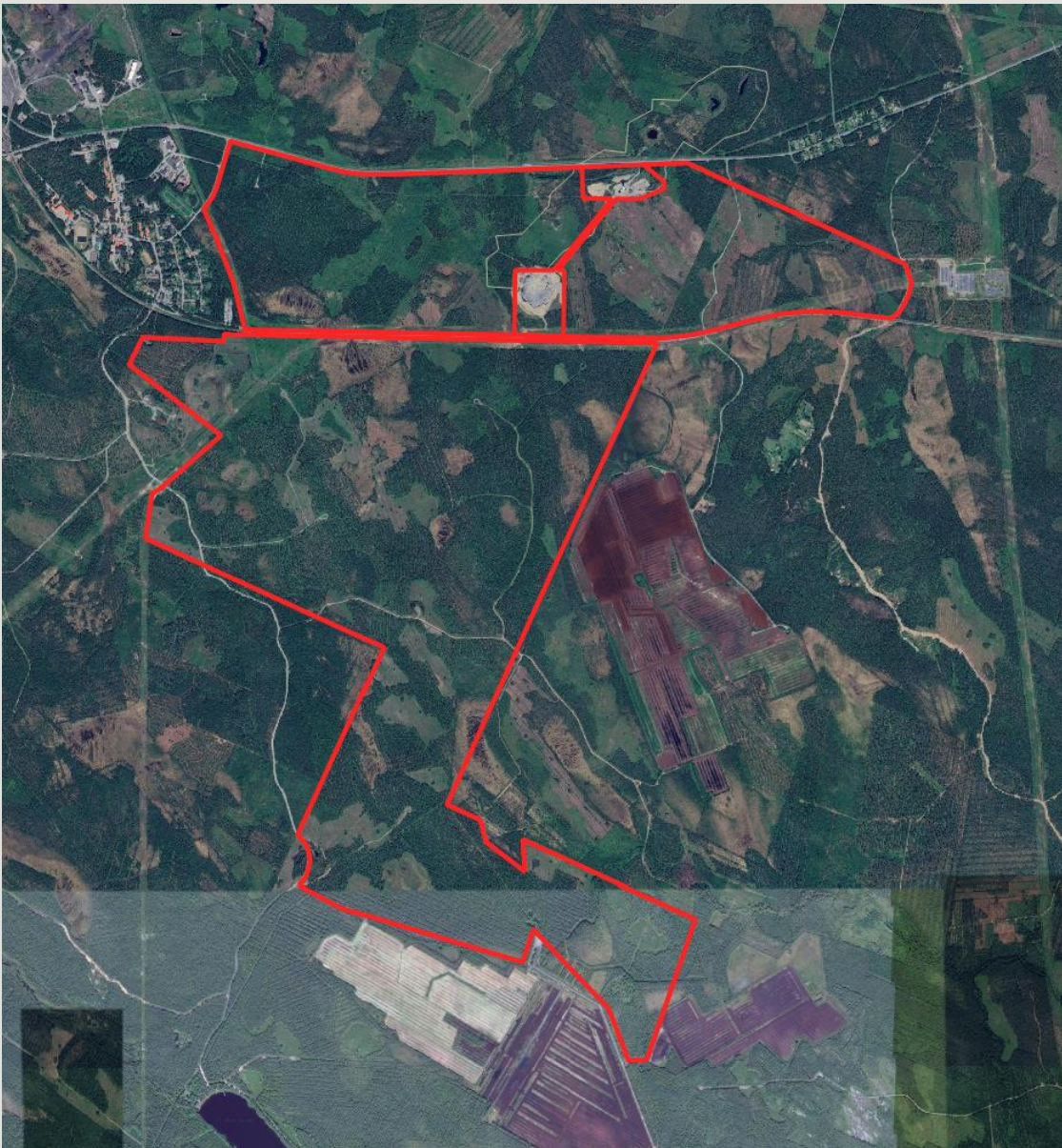


Kajaani

Otanmäki-Humpinsuo

Vaiheen 3 pohjatutkimusraportti



ESRin verkkokarttapalvelusta peräisin oleva karttakuva, jossa esitetään suunnitellut rakennukset. Punainen rajaus osoittaa alkuperäisen hankealueen.

Laatinut	Christian Comoli	Rock engineer
	Christian.comoli@sweco.se	
	Robin Jonsson	Rock engineer
	robin.jonsson2@sweco.se	
Tarkistanut	Jonna Poikolainen	Geologist
	jonna.poikolainen@sweco.fi	
	Jonas Schönström	Geophysicist
	jonas.schonstrom@sweco.se	
Tarkistanut	Ellen Andersson	Rock engineer
	ellen.andersson@sweco.se	
	Christian Comoli	Rock engineer
	Christian.comoli@sweco.se	
	Jonna Poikolainen	Geologist
	jonna.poikolainen@sweco.fi	

Muutoshistoria

Ver	Date	Description	Reviewed by	Approved by
1.0	2026-04-20	Laadittu	Sweco UK	Christian Comoli
2.0	2026-05-06	Suomennos	Sweco FI	Jonna Poikolainen
3.0	2026-05-12	Kaavoituksen tarkistus (mm. kaavan laadinnan vaiheet ja tutkimuksen vaikutuksen kaavoitukseen)	Kajaani	Sanukka Lehtiö

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Tarkoitus ja laajuus	5
1.2	Lähtötiedot ja ohjaavat asiakirjat.....	5
1.3	Rajoitukset	5
2	Aiemmat, vaiheissa 1 ja 2 tehdyt, kaivosalueen tutkimukset	6
2.1	Geologia	7
2.2	Kallionlaatu.....	7
2.3	Ehjä kalliomassa	8
2.4	<i>In Situ</i> jännitystila	9
2.5	Kaivosinfran tulkinta	10
2.6	Painumariski.....	16
2.7	Vaiheen 2 riskivöhyke	17
3	Vaiheen 3 lisäselvitykset	19
3.1	Tukes ja GTK	19
3.2	Kaivosinfrastruktuurin paikantaminen ja varmentaminen	21
4	Johtopäätökset vaiheen 3 tutkimuksista.....	25
4.1	Yleiset rakentamissuositukset.....	26
4.2	Vaikutus kaavoitukseen	27
5	Lähteet.....	28

1 Johdanto

Sweco Sweden AB on saanut Sweco UK Ltd:ltä toimeksiannon toteuttaa maaperä- ja kallioperätutkimuksen asiakkaansa puolesta suunniteltua uuden datakeskuksen rakentamista varten Kajaanin kaupungin alueella, Suomessa. Suunniteltu hankealue kattaa noin 376 hehtaaria Otanmäen ja Vuorokkaan välillä, jonne on tarkoitus rakentaa uusia datakeskusrakennuksia. Tämä tutkimus koskee erityisesti alueella sijaitsevaa kaivosaluetta ja sen ympäristöä. Tutkittavan kokonaisalueen pinta-ala on noin 930 hehtaaria. Likimääräinen tutkimusalue on esitetty kuvassa 1.

Datakeskusrakennukset on suunniteltu sijoitettavaksi entisen kaivoksen jäänteiden läheisyyteen.

Tutkimuksissa käytetty koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä on ETRS89 TM35 sekä N2000.



Kuva 1. Yleiskuva alueesta. Taustakarttana Maanmittauslaitoksen topografinen kartta Paikkatietoikkunasta sekä ilmakuvat Maanmittauslaitoksen ESRI-palvelusta, ja Sweco UK:n laatima asemointisuunnitelma (18.6.2025). Suunniteltu tutkimusalue on rajattu punaisella. Otanmäki-Alusson asemakaava-alue sijoittuu tutkimusalueen pohjoisosaan valtatie ja radan väliin.

Tässä raportissa esitetään yhteenveto aiempien tutkimusten keskeisistä havainnoista ja johtopäätöksistä, jotka ovat johtaneet tämän raportin laatimiseen. Aiemmissa selvityksissä tunnistettujen rajoitteiden lieventäminen sekä entisen kaivoksen maanalaisten kaivoskäytävien laajuuden selvittäminen olivat tämän vaiheen keskeisiä tavoitteita. Sweco on tehnyt yhteistyötä nykyisen suomalaisen kaivosviranomaisen Tukesin sekä entisen kaivosviranomaisen GTK:n kanssa kerätäkseen kaivosta koskevaa olennaista kartta- ja arkistomateriaalia. Näiden selvitysten rinnalla käynnistettiin kaksi tutkimuslinjaa: resistiivisyysanomaliioihin kohdistuva kairausohjelma sekä kaivoksen tutkiminen fyysisesti paikan päällä.

1.1 Tarkoitus ja laajuus

Suunniteltu hanke käsittää datakeskusrakennuksia sekä niihin liittyviä sähkö- ja mekaanisia alueita, penger- ja allasrakenteita sekä huolto- ja kulkuteitä. Tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa lähtötietoja hankkeen toteuttamiskelpoisuuden arvioimiseksi. Tämä sisältää geotekniset tutkimukset sekä pohjaveteen ja kalliomekaniikkaan liittyvät selvitykset.

Raportissa esitetään alustava ja yleispiirteinen tulkinta alueen maanrakennus- ja perustamisolosuhteista. Yksityiskohtaista rakennesuunnittelua ei ole tässä vaiheessa tehty, ja raportti on tarkoitettu yksinomaan tulevan suunnittelun lähtötiedoksi. Raporttia ei tule käyttää urakka- tai tarjousasiakirjojen osana.

Raportti perustuu Ground Factual Report (GFR) -raportissa esitettyjen tutkimusten tulkintaan.

1.2 Lähtötiedot ja ohjaavat asiakirjat

Sipti Oy on toteuttanut geoteknisiä tutkimuksia hankkeen esisuunnitteluvaiheessa. Nämä tutkimukset sekä aiemmat selvitykset muodostavat perustan tälle tutkimukselle. Raportin laatimisessa on käytetty seuraavaa aineistoa:

- Sweco UK:n toimittamat digitaaliset pohjakartat (DWG-muodossa)
- GTK:n (Geologian tutkimuskeskus) ja Tukesin toimittamat geologiset taustatiedot ja historialliset kaivoskartat
- Haastattelu Otanmäen kaivoksen entisen kaivosinsinöörin kanssa
- Haastattelu Tukesin kaivosturvallisuuden johtavan asiantuntijan kanssa
- Maanmittauslaitoksen (MML) toimittama maastomalli (nykyinen ja suunniteltu maanpinta)
- Kajaanin museon toimittamat tiedot historiallisista jäännöksistä
- Julkisesti saatavilla olevat arkistoasiakirjat, jotka sisältävät tietoa maanalaisesta kaivoksesta
- Otanmäki Mine Oy:n toimittama painumariskialueen rajauskartta
- Ground Factual Report ja Ground Interpretive Report, päivätty 20.9.2025 ja 25.11.2025

Geotekniset ja kalliomekaaniset kenttätutkimukset on toteutettu talven ja kevään 2026 aikana, ja ne on esitetty Sweco Sverige AB:n laatimassa Ground Investigation Report -raportissa. Vaiheen 3 Ground Factual Report (GFR) tulee lukea yhdessä tämän vaiheen 3 Ground Interpretive Report (GIR) -raportin kanssa.

1.3 Rajoitukset

Tutkimusalueen pohjoisosassa sijaitseva painumariskialue, joka sijoittuu aiemman maanalaisen kaivostoiminnan yläpuolelle, on pääosin rajattu tutkimusten ulkopuolelle. Alueelta ei ole hankittu geoteknisiä tietoja, koska se ei kuulu toimeksiantajan hallinnoimaan alueeseen.

Ympäristöön liittyvät tutkimukset ja niiden tulokset eivät sisälly tähän raporttiin, vaan ne raportoidaan erillisessä asiakirjassa.

Hankesuunnitelman mukaan rakennuksiin ei toteuteta kellaritiloja. Mikäli täyttöihin tai maaperään kohdistuu poikkeuksellisen suuria kuormia, saattaa painumien hallitsemiseksi olla tarpeen käyttää lisärakenteita tai -menetelmiä. Suunniteltujen kuilujen syvyys ja laajuus eivät olleet tiedossa ennen raportin laatimista.

Tutkimusalue sijaitsee Otanmäen ja Vuorokkaan välillä. Alue on pääosin metsätalousaluetta, ja siihen kuuluu myös suoalueita sekä mäkisiä maastonkohtia. Maaperä koostuu pääasiassa luonnontilaisista maalajeista, kuten moreenista, hiekasta ja siltistä, sekä paikoin paljastuneesta kallioperästä. Lisäksi maanpinnan läheisyydessä esiintyy orgaanisia kerrostumia ja turvetta.

2 Aiemmat, vaiheissa 1 ja 2 tehdyt, kaivosalueen tutkimukset

Aiemmat kaivosalueen vaiheiden 1 ja 2 tutkimukset toteutettiin vuonna 2025.

Tutkimukset sisälsivät:

- Viisi kalliokairausta (25S01R–05). Jokainen kairaus on 60 metriä syvä ja porattu pystysuoraan. Kalliokairausten sijainnit on esitetty GFR-piirustuksessa.
- Kalliomassan kartoitus ja luonnehdinta kairasydänten perusteella.
- Resistiivisyysmittaukset kahdeksalla noin 160 metriä pitkällä linjalla.
- Resistiivisyysmittaukset kahdellatoista 160 ja 400 metriä pitkällä linjalla.

Kallioteknisestä näkökulmasta hankkeen ensisijainen riski liittyy alueen kalliomassan kokonaisstabiiliteettiin. Maanalaisella infrastruktuurilla on kyky vaikuttaa sen yläpuoliseen ja lähiympäristön maanpintaan, mikä voi johtaa maanpinnan painumiin. Painumat voivat olla joko vähäisiä tai merkittäviä ja ne voivat kehittyä joko vähitellen tai äkillisesti.

Kaivostoiminnan perimmäinen tarkoitus on arvokkaan kiviaineksen louhinta, minkä seurauksena kalliomassaan syntyy tunneleita ja suuria onteloita (louhoksia, stoppeja). Kaivokset sisältävät ajotunneleita ja käytäviä, jotka mahdollistavat pääsyn malmiin. Maanalaisen infrastruktuurin geometria ja laajuus vaihtelevat käytetyn kaivosmenetelmän mukaan.

Maanalaisissa kaivoksissa jätetään ylimmän (matalimman) louhintatason yläpuolelle kallio-osa, jota kutsutaan kattopilariksi (crown pillar). Sen tarkoituksena on pysyä vakaana ja siten minimoida kaivostoiminnan vaikutukset maanpintaan.

Kansainvälisesti tunnetaan lukuisia esimerkkejä vanhoista kaivoksista, joissa kattopilari on jätetty liian ohueksi, mikä on johtanut äkillisiin ja odottamattomiin maanpinnan painumiin. Tällaisia ilmiöitä kutsutaan usein sortumakuopiksi (sinkhole) tai kattopilarin romahtamiseksi. Painumien syntyyn vaikuttavat useat tekijät, kuten: kattopilarin paksuus, vallitseva in situ -jännitystila, kallion laatu, geologia, aika.

Suunnittelemattomia painumia Otanmäen kaivoksella sekä Vuorokkaan kaivoksella (sivuesiintymä, joka sijaitsee osittain nykyisen hankealueen alla Otanmäen kaivoksen itäpuolella) on dokumentoitu sekä kirjallisuudessa että julkisissa satelliittikuvissa.

Kuvassa 2 on esitetty satelliittikuva, jossa kaivostoiminnasta aiheutuneet maanpinnan painumat on korostettu vaaleanpunaisella. Käytävissä olevien kaivospiirustusten mukaan kattopilarin paksuus tällä alueella ennen sortumaa oli noin 10–15 metriä.



Kuva 2. Google Mapsin satelliittikuva (20.9.2025), jossa aiemman kaivostoiminnan aiheuttamat maanpinnan vajoamat on merkitty vaaleanpunaisella.

Kalliotekniikassa kalliomassan arviointi perustuu vakiintuneesti luokitusjärjestelmiin. Kalliomassaa voidaan tarkastella ehjän (rikkoutumattoman) kallion muodostamana matriisina, joka on luontaisesti lujaa, mutta joka ajan myötä rikkoutuu rakojen ja halkeamien seurauksena. Nämä rakenteelliset heikkoudet heikentävät kalliomassan lujuutta, ja niiden määrä, suuntautuneisuus sekä rakojen pintojen ominaisuudet määrittävät heikkenemisen laajuuden.

Edellä mainituilla tekijöillä on merkittävä vaikutus kalliomassan käyttäytymiseen kaikissa sovelluksissa, mukaan lukien seinämät/luiskat, tunnelit sekä maanpinnan painumariski.

Yleisesti kallioteknisissä tutkimuksissa keskitytään: ehjän kallion ominaisuuksiin, rakojen ja rakoilun ominaispiirteisiin, matalalla sijaitsevan kaivosinfrastruktuurin geometriaan ja sijaintiin. Nämä tekijät ovat kallioperäisten painumien kannalta määrääviä.

2.1 Geologia

Tutkimusalueen vallitsevat kivilajit ovat graniitti, gabro ja amfiboligneissi, jotka vastaavat yleispiirteisesti GTK:n kallioperäkarttaa. Koska painumariski ei ollut kairauskampanjan aikaan vielä määritelty, suurin osa kairauksista sijoitettiin niin sanottuun isäntäkallioon (host rock), jolla tarkoitetaan yleisnimitystä ei-taloudelliselle kalliolle. Vastakohtana tälle käytetään termiä malmi (ore), jolla viitataan taloudellisesti arvokkaaseen kiveen. Mielenkiintoista on, että kairasydämissä havaittiin hematiittimalmia juonina.

Kairasydänten loggaus tunnisti kolme pääasiallista rakoilusuuntausta: yksi lähes vaakasuoraan viettävä, yksi lähes pystysuora, sekä yksi noin 30–35° kulmassa viettävä rakoilusuunta.

Kalliotekniikalle on ominaista, että arviointi perustuu yksittäisten pistehavaintojen väliseen interpolointiin luonnostaan vaihtelevassa 3D materiaalissa. Tästä syystä on huomioitava, että kairausten ulkopuoliset olosuhteet perustuvat tulkintaan.

Tässä hankkeessa interpolointia ohjasivat: lähialueen tutkimusaineisto sekä vakiintunut geologinen ja kalliotekninen tietämys.

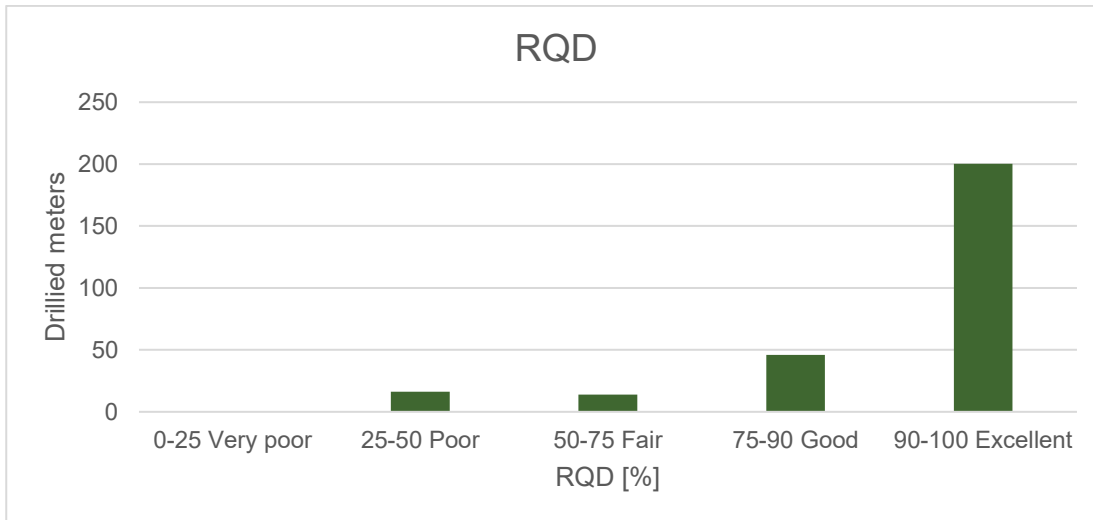
Kunakin viiden kairareian kairasydänloggaustietojen yksityiskohtainen tulkinta on esitetty liitteessä GIR 2025-09-20.

2.2 Kallionlaatu

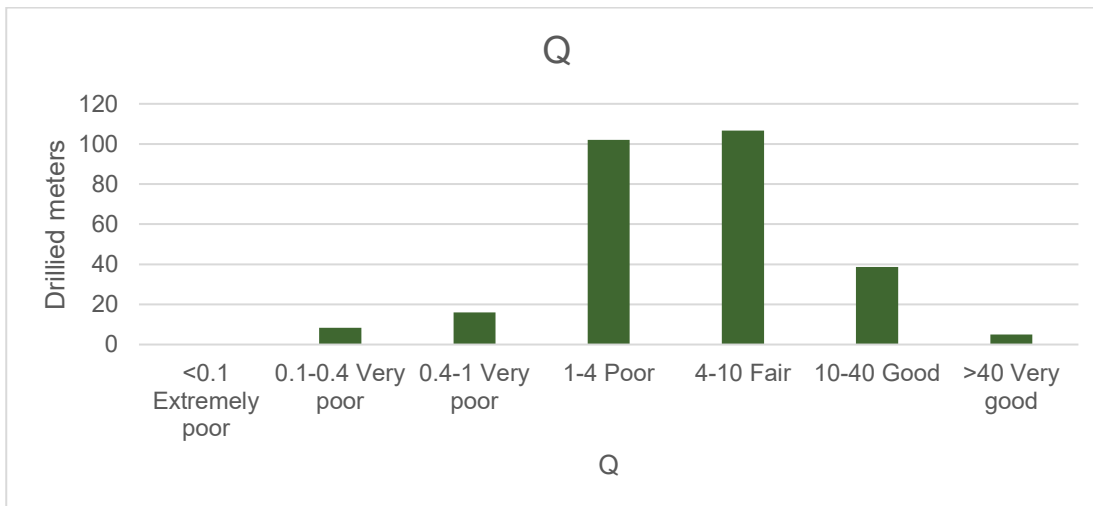
Q-kallionlaatuluokitusjärjestelmän (Qbas) ja RQD-arvojen perusteella kallion laatu vaihtelee heikosta hyvään.

Kuvista 3 ja 4 käy ilmi, että valtaosalla kairatuista metreistä RQD-arvot ovat korkeita, vaihdellen 90–100 % välillä. Lähes 300 metrin kokonaiskairaus-pituudesta noin 200 metriä ylittää 90 %:n RQD-raja-arvon (kallion laatu erinomianen). Useilla näistä jaksoista Q-luokituksen arvot sijoittuvat välille 1–10 ja noin 40, mikä vastaa heikosta hyvään kallion laatua. RQD-arvot ja luokitus nähtävissä kuvissa 3 ja 4.

Joillakin yksittäisillä kairausväleillä havaittiin kuitenkin sekä alhaisempia RQD-arvoja että matalampia Q-arvoja, mikä viittaa paikallisesti heikentyneeseen kalliomassaan. Heikomman laatuiset kalliovälit liittyvät pääosin lähes pystysuuntaiseen rakoilusuuntaukseen, joka aiheuttaa kairasydämen lohkeilua ja hajoamista. Lisäksi joissakin kairareii'issä havaittiin merkittävää kairasydänhukkaa, mikä viittaa erittäin heikkolaatuisiin kalliovyöhykkeisiin.



Kuva 3. Kairattujen metrien RQD-lukujen jakauma (Drilled meters – kairatut metrit, Very Poor – Erittäin heikko, Poor – Heikko, Fair -Tyydyttävä, Good- Hyvä ja Excellent – erinomainen).



Kuva 4. Kairattujen metrien Q-lukujen jakauma. (Drilled meters – kairatut metrit, Very Poor – Erittäin heikko, Poor – Heikko, Fair -Tyydyttävä, Good- Hyvä ja Excellent – erinomainen).

Seuraavissa luvuissa esitetään kunkin kairasydämen kalliolaatu. Kairasydänten loggausohjeistus on esitetty GFR:n liitteessä 2, ja kunkin viiden kairasydämen loggaustietojen yksityiskohtainen tulkinta on esitetty GIR:n liitteessä 1.

On huomioitava, että kairasydänten loggaus kohdistui ensisijaisesti isäntäkallioon, ei malmiin. Kairausta malmionalueella ei tehty, sillä mahdolliseen painumariskiinkin liittyvät työturvallisuussyyt estivät tällaisen työn toteuttamisen. On kuitenkin tärkeää tunnistaa, että katon kalliopilari koostuu todennäköisesti mineralisaatiosta (hematiitti), jota ympäröi isäntäkallio (graniitti, gabro ja amfiboligneissi).

Malmin sisäisistä rakoista tai muista epäjatkuvuuksista ei ole käytettävissä tietoa, eikä sen vuoksi malmin kalliolaatua voida arvioida.

2.3 Ehjä kalliomassa

Ehjän kiven lujuustutkimuksia ei tehty tässä projektissa.

Kalliomassan ehjän kiven lujuudella tarkoitetaan epäjatkuvuuspintojen välissä olevan kiviaineksen lujuutta. Nämä lujuusarvot määritetään laboratorio-olosuhteissa tehdyillä ehjien kivenäytteiden kokeilla. Suositeltuja menetelmiä ovat yksiakselinen puristuslujuuskoe (Uniaxial Compressive Strength, UCS), jonka yhteydessä määritetään myös kimmomoduuli (Youngin moduli, E) ja Poissonin luku (ν), sekä brasilialainen vetolujuuskoe (Brazilian Tensile Strength, BTS).

Seuraavissa taulukoissa esitetään alueella esiintyvien isäntäkivilajien ominaisarvot. Malmille ei ollut saatavilla aineistoa. Taulukoissa esitetyt arvot (Taulukko 1 – Taulukko 2) on otettu vertaisarvioidusta Otanmäkeä käsittelevästä tieteellisestä julkaisusta, jossa kairasydännäytteille on tehty leikkauslujuuskokeita (Emman Aladejare, M, 2020).

Taulukko 1. Otanmäen gabron mekaaniset ominaisuudet (Emman Aladejare, M, 2020). MPa = megapascal (MPa) ja GPa = gigapascal (GPa).

Kiviaines	Gabro		
	Min arvo	Max arvo	ka
BTS (MPa)	6.8	12.6	9.88
UCS (MPa)	294	303	298.8
E (GPa)	103	108	105.2
ν	0.25	0.29	0.28

Taulukko 2. Otanmäen graniitin mekaaniset ominaisuudet (Emman Aladejare, M, 2020). MPa = megapascal (MPa) ja GPa = gigapascal (GPa).

Kiviaines	Graniitti		
	Min arvo	Max arvo	ka
BTS (MPa)	7.1	12.7	10.41
UCS (MPa)	228	284	253
E (GPa)	164	71	66.67
ν	0.27	0.29	0.28

Tässä projektissa tehdyn kairasydänten kairauslokiin perustuvan kuvauksen yhteydessä havaittiin juonissa esiintyvää hematiittimineralisaatiota. Tämä mineralisoitunut materiaali vaikutti olevan pehmeämpää kuin erittäin lujat isäntäkivilajit, mikä todennäköisesti heijastaa alhaisempia yksiakselisia puristuslujuusarvoja (UCS) ja kimmomoduulia (E), jotka ovat hematiitille tyypillisiä ominaisuuksia. Tämä havainto on merkittävä, sillä kalliopilarin oletetaan koostuvan pääosin hematiittimateriaalista. Heikomman ja pehmeämmän materiaalin esiintyminen lujan isäntäkiven yhteydessä saattaa selittää sen, miksi alueella aiemmin tapahtuneet kalliopilarin sortumat ovat tyypillisesti kehittyneet pääosin pystysuuntaisina.

2.4 In Situ jännitystila

Alueen luonnollista jännitystilaa on arvioitu World Stress Map -aineiston (2016) perusteella. Otanmäen kaivoksen lähialueella mitatut jännitykset on katsottu edustaviksi myös tälle tutkimusalueelle. Suurin vaakasuuntainen pääjännitys on suuntautunut noin $140^\circ \pm 20^\circ$, ja Poissonin luvuksi on arvioitu 0,29.

Mitattujen jännitysarvojen perusteella jännitystaso kasvaa odotetusti syvyyden myötä, mikä on huomioitu kalliomekaanisissa tulkinnoissa ja stabiliteettitarkasteluissa.

Table 3. Yliporaukseen (overcoring) perustuvat alueelliset jännitystilat.

Syvyys [m]	σ_1 [MPa]	σ_2 [MPa]	σ_3 [MPa]
240	31.3	19.9	7.9
260	28	17	-
400	55	33	-
600	40.0	25.0	16.0

2.5 Kaivosinfran tulkinta

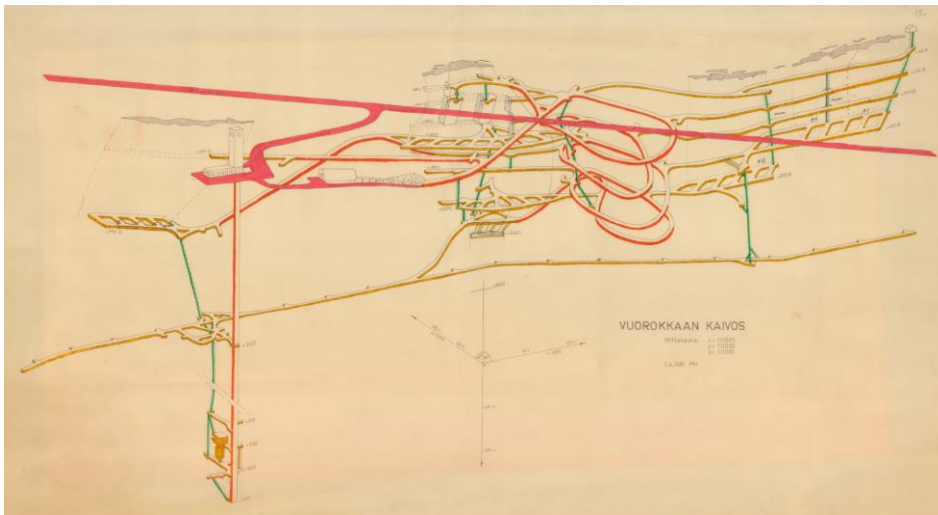
2.5.1 Resistiivisyysmittaukset

Kunakin mittausselinjan tuloksista on esitetty yksityiskohtaisempi kuvaus (liitteet GIR 2025-09-20 sekä GIR 2025-11-25).

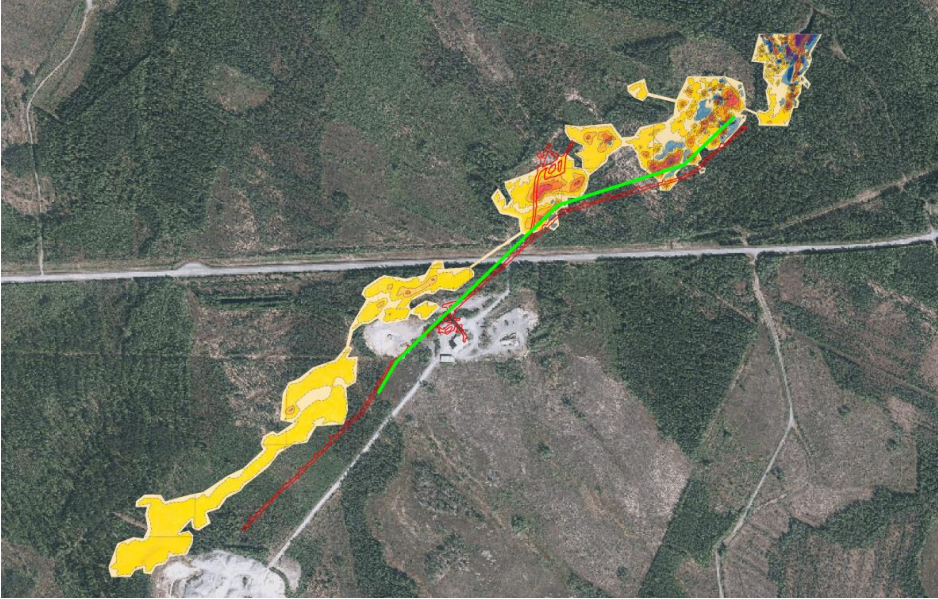
Osan suunnitellusta hankealueesta alapuolella sijaitsee vanha, käytöstä poistettu maanalainen kaivos. Kaivosta koskeva tieto rajoittuu kaivosyhtiön toimittamiin historiallisiin kaivospiirustuksiin.

Vuorokkaan kaivoksen pituusleikkaus (kuva 5) esittää kaivosinfrastruktuuria sekä Kokkolantien etelä- että pohjoispuolella. Kuvan perusteella pohjoispuolen kaivosrakenteet sijaitsevat noin 10–15 metrin syvyydessä maanpinnasta. Suunnitelmissa esitetyt tasokorkeudet vastaavat resistiivisyysmittausten tuloksia, minkä perusteella piirustusten mittakaavaa voidaan pitää luotettavana. Leikkaus on kuitenkin todennäköisesti epätäydellinen, erityisesti eteläpuolella, jonne tämä hanke sijoittuu.

Toinen piirustus esittää malmin tasokartan 260 metrin tasolla, joka vastaa noin 190 metrin syvyyttä maanpinnasta pystykuilun kohdalla (kuva 5). Malmin ulottuminen tien eteläpuolelle sekä eteläpuolella havaitut kaivosrakenteet (kuilu, murskain, malmikuilut) tukevat perusteltua johtopäätöstä siitä, että lisää kaivosinfrastruktuuria saattaa sijaita tien eteläpuolella laajemmin kuin mitä kuvassa 5 on esitetty. Kuvassa 6 on esitetty magneettiset mittaukset mineralisaation (malmin) alueelta.



Kuva 5. Vuorokkaan kaivoksen loppukartta (aineisto: kaivosyhtiö).



Kuva 6. Magnettinen kuva mineralisaatiosta, jonka oletetaan vastaavan 260-tason mineralisaatiota (aineisto: kaivosyhtiö).

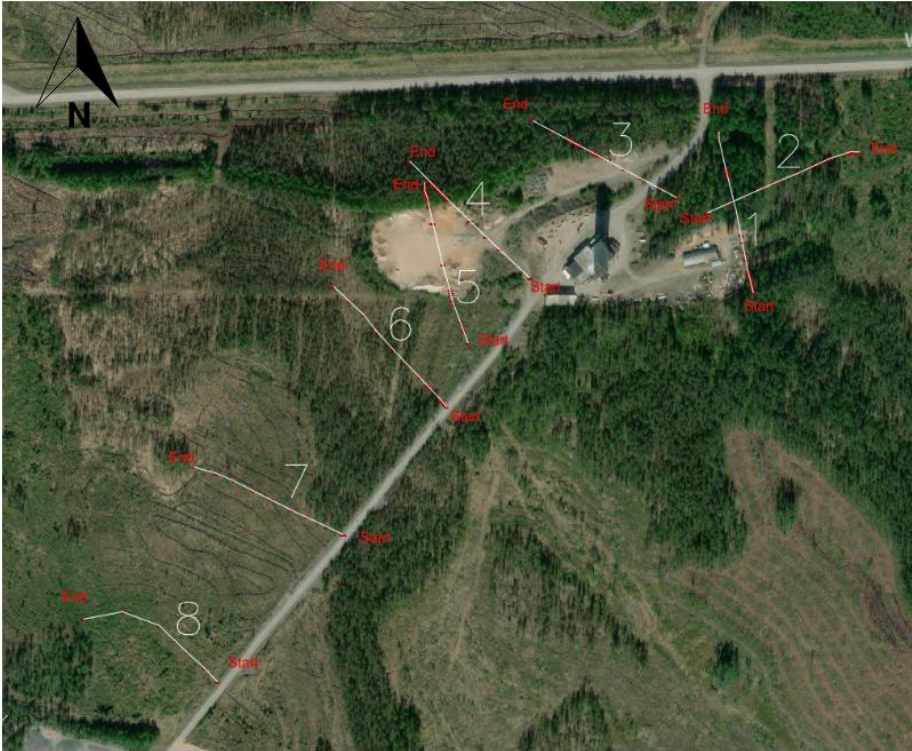
2.5.2 Ensimmäiset resistiivisyysmittaukset

Maanalaisen kaivosinfrastruktuurin selvittämiseksi toteutettiin resistiivisyys-mittauksia, jotka kohdistuivat erityisesti Kokkolantien eteläpuolelle, alueelle jossa ramppi laskeutuu alaspäin sekä malmiesiintymän suuntaisesti etelään kohti aktiivista louhosta. Mittausmenetelmässä käytettiin 2 metrin elektrodiväliä, sillä tarkastelun kohteena oli matalalla sijaitseva infrastruktuuri, jonka oletettiin olevan veden täyttämää käytettävissä olevan satelliittikuvamateriaalin perusteella.

On huomioitava, että tutkimuksen aineisto kuvasi ainoastaan mitattujen linjojen alapuolisia olosuhteita. Menetelmän suurin tehokas tutkimussyvyys oli noin 30 metriä, joka saavutettiin vain mittauslinjojen keskikohdissa.

Kuvassa 7 on esitetty resistiivisyysmittauslinjojen sijainnit. Kukin mittauslinja vastaa tekstissä kuvattuja yksittäisiä havaintoja. Tulokset toivat esiin kalliomassaan liittyviä ongelmakohtia ja viittasivat matalalla sijaitsevan kaivosinfrastruktuurin mahdollisiin sijainteihin.

Yhteenvedon voidaan todeta, että maanpinta koostuu pääosin luonnonmaista, joiden alla on vaihtelevan laatuista, rikkonaisesta kalliomassasta muodostuva perusta. Vaikka osa kalliosta on suhteellisen hyvälaatuista, näitä alueita heikentävät alhaisemman resistiivisyyden vyöhykkeet, jotka viittaavat heikompaan kallion laatuun. Alueella tunnistettiin kaksi kaivostunnelia: toinen noin 35 metrin syvyydessä maanpinnasta ja toinen noin 5–15 metrin syvyydessä. Ympäröivä kallio on usein voimakkaasti rikkonaista, mikä heijastaa aiemman kaivostoiminnan vaikutuksia. Lisäksi alueella esiintyy täyttömaita, jotka liittyvät todennäköisesti infrastruktuuriin, kuten lähialueen rakennuksille johtaviin tieyhteyksiin.



Kuva 7. Resistiivisyysmittaukset (valkoiset viivat), joiden alku- ja loppupisteet on merkitty (kuvassa punaiselle kirjoitettu start on alkupiste ja end loppupiste).

2.5.3 Toiset resistiivisyysmittaukset

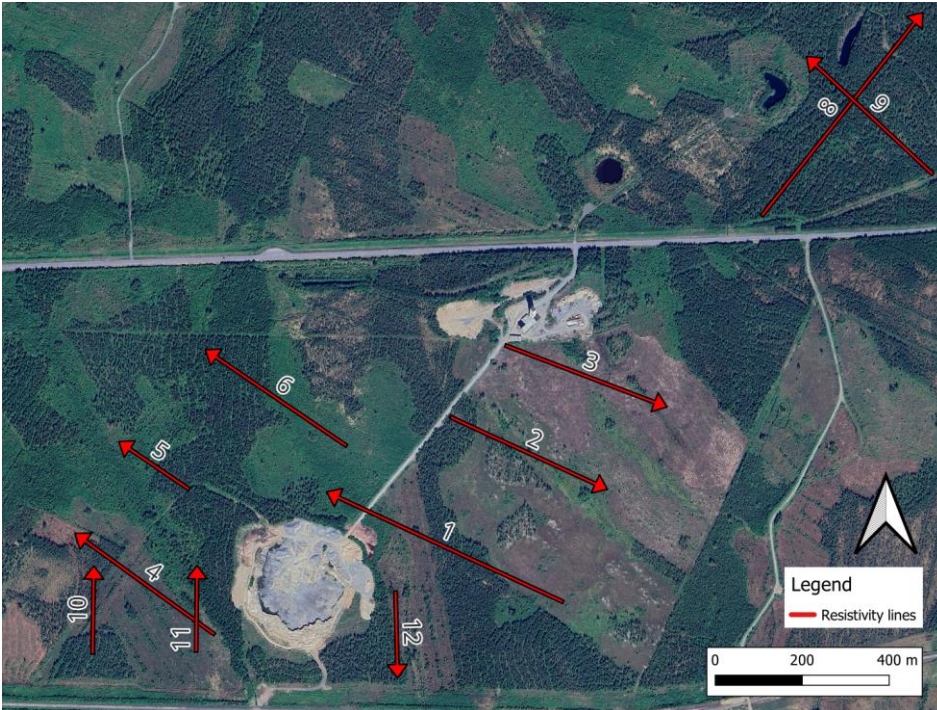
Toinen resistiivisyysmittauskampanja toteutettiin kaivosinfrastruktuurin laajuuden ja vaikutusvyöhykkeen arvioimiseksi. Kuvassa 8 on esitetty lisätyt resistiivisyysmittauslinjat. Kunkin linjan yksityiskohtaiset tulokset on esitetty liitteessä 4 (GIR 2025-11-25).

Toisin kuin aiemmassa tutkimuksessa, tässä mittauksessa käytettiin 5 metrin elektrodiväliä 2 metrin sijaan. Suurempi elektrodiväli mahdollistaa syvemmän tunkeutumissyvyyden, ja menetelmän suurin tehokas tutkimussyvyys on noin 80 metriä, joka saavutetaan vain linjojen keskiosissa.

Lisäksi kaksi mittauslinjaa toteutettiin tien pohjoispuolella, mahdollisten louhostilojen (stopes) paikantamiseksi.

Yhteenvetona todetaan, että resistiivisyystutkimus rajasi laajoja rikkonaisen kallioperän vyöhykkeitä. Kokonaisuutena avolouhoksen pohjoispuolinen kallio on rikkonaisempaa ja sisältää enemmän mahdollisia kaivostunneleita kuin louhoksen eteläpuoli. Alueella esiintyy myös paksumpi maapeite, jonka alla oleva kallio on suhteellisen hyvälaatuista. Lisäksi kaksi uutta mahdollista kaivostunnelia paikannettiin aiempia havaintoja idempänä.

Tien pohjoispuolella sijaitsevat profiilit 8 ja 9 osoittavat resistiivisyys-leikkauksissa voimakasta rakenteellista monimutkaisuutta, mikä viittasi erittäin rikkonaiseen kallioperään, mahdollisiin kaivoskäytäviin sekä suurempiin louhostiloihin.



Kuva 8. Resistiivisyysmittaukset (punaiset nuolet, jotka osoittavat myös profiilien suunnan).

2.5.4 Tulkinta

Kaivosinfrastruktuurin tulkinta perustui resistiivisyysmittauksiin, käytävissä oleviin kaivoskarttoihin sekä asiantuntijatietoon kaivostoiminnasta. Resistiivisyystulokset osoittavat selviä merkkejä aiemmasta kaivostoiminnasta (ks. liitteet 2 ja 4). Tunnelit sijaitsevat vaihtelevilla syvyyksillä, ja on oletettavaa, että lisätunneleita on olemassa tutkimuksessa tunnistettujen rakenteiden ulkopuolella.

Kuvissa 9 ja 10 on esitetty tunnelitulkinnot kahden toteutetun resistiivisyys-analyysin perusteella. Kuvan 11 alempi kuva esittää resistiivisyysmittauksissa tunnistetun rampin, joka vahvistaa kuvassa 5 esitetyn laskeutumisen maanpinnalta. Tämä ramppi sijaitsee kaivoksen 21.2.2025 toimittaman painumariskialueen sisällä.

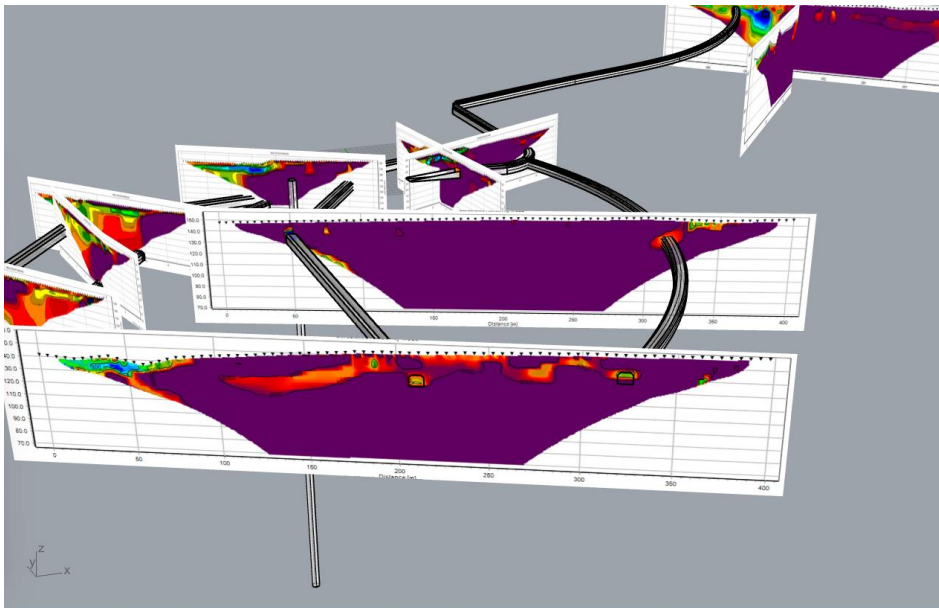
Kattopilarin paksuudeksi arvioidaan tietyillä malmiesiintymän ylittävillä resistiivisyyslinjoilla noin 8–9 metriä, sisältäen mahdollisen maapeitteen (esitetty kuvan 11 yläosassa). Historiallisten tietojen mukaan kaivoksissa on käytetty shrinkage stoping -louhintamenetelmää. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kaivoksen matalin infrastruktuuri on todennäköisesti malmin suuntaisesti kulkeva tunneli, joka on mahdollistanut louhostilojen porauksen. Tämän rakenteen arvioidaan tulleen tunnistetuksi resistiivisyysaineistosta.

On tärkeää todeta, että Sweco Sverige AB:n tunnistama maanpinnan lähellä sijaitseva infrastruktuuri sijaitsee kaivoksen määrittämien painumariskialueiden ulkopuolella. Resistiivisyysmittaus edustaa kuitenkin vain kaksiulotteista leikkausta kolmiulotteisessa tilassa, eikä voida sulkea pois sitä, että 8 metriä ei ole kattopilarin pienin paksuus koko malmiesiintymän alueella.

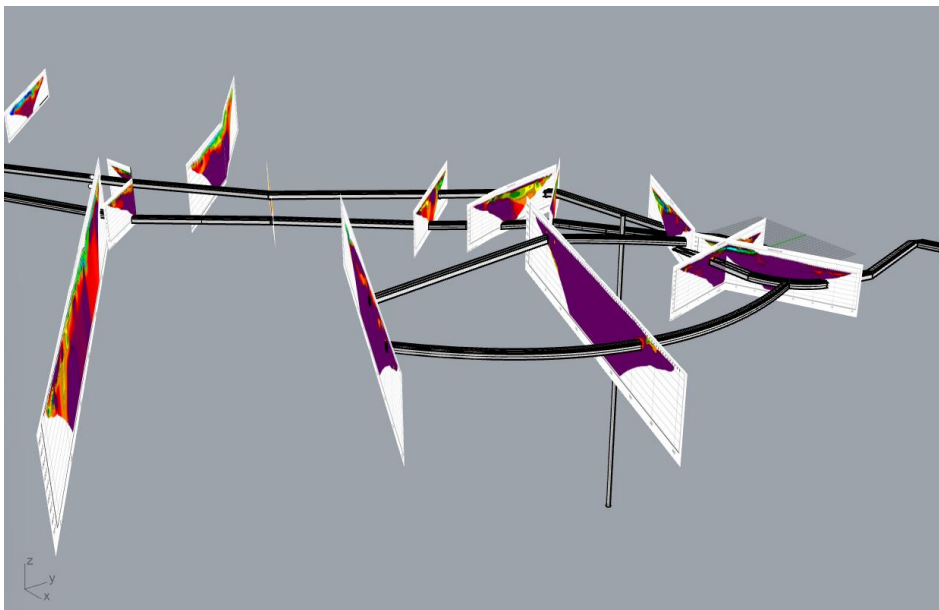
Käytetty louhintamenetelmä viittaa myös siihen, että tunnelin alapuolella sijaitsee pitkä louhostila (stope). Louhostila on tila, josta malmi on louhittu ja joka muodostaa suuren avoimen ontelon. Tilan syvyys voi olla huomattava, eikä sen nykytilaa tunneta (esim. tyhjä, tarkoituksellisesti täytetty sivukivellä tai täyttynyt hallitsemattomasti). Tämä ontelo lisää maanpinnan painumariskiä, sillä se muodostaa tilan, johon kattopilarin kallio voi sortua. Tutkimusalueen pohjoisosassa, erityisesti uusimman mittauksen profiilien 8 ja 9 läheisyydessä, on viitteitä mahdollisesta louhostilasta (ks. kuva 12).

Kokkolantien pohjoispuolella arvioidaan, että 10–15 metrin paksuinen kattopilari on jo sortunut. Tämä johtopäätös perustuu satelliittikuvien analyysiin (pienet järvet kuvassa 2) sekä historiallisiin dokumentteihin,

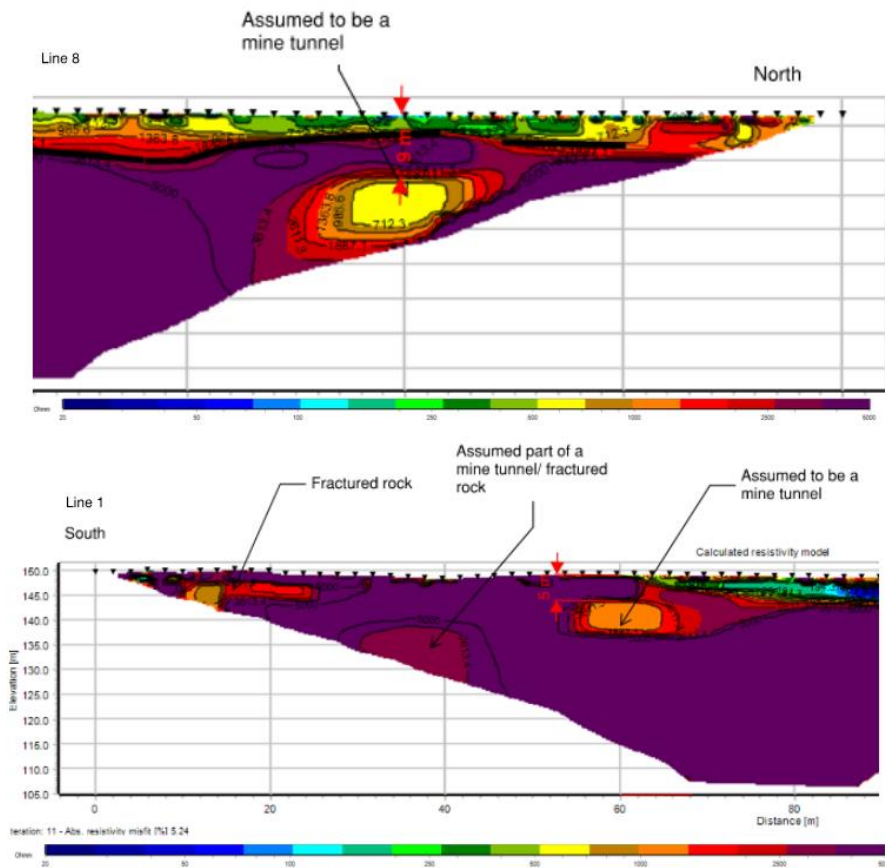
joissa kattopilarin sortumat on kuvattu. Toisen resistiivisyystutkimuksen eteläosassa ei havaittu selviä viitteitä mahdollisista kaivosrakenteista, louhostiloista tai laajoista rikkonaisen kallioperän vyöhykkeistä (profiilit 4, 10, 11 ja 12).



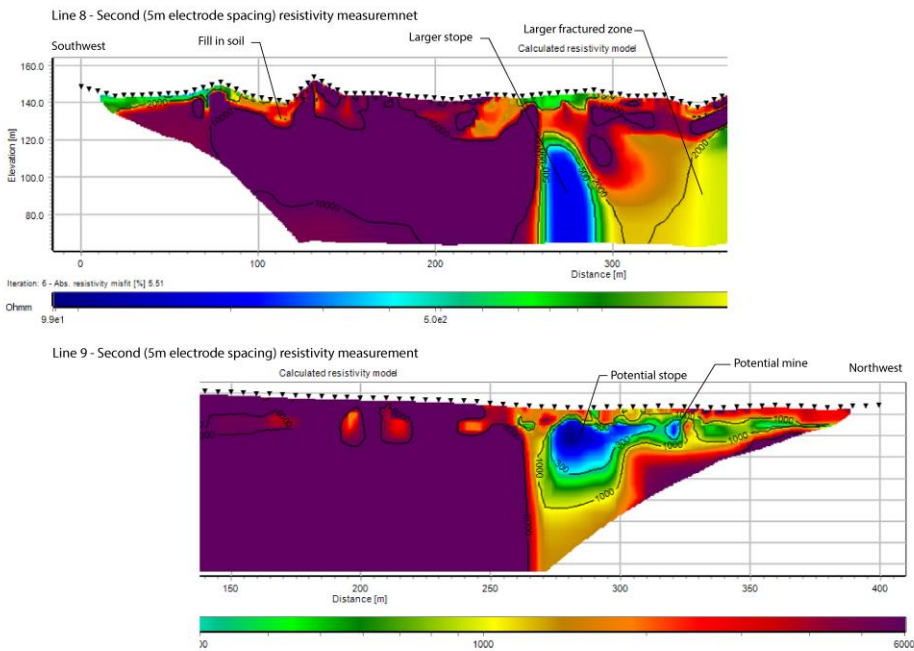
Kuva 9. Tunneliverkoston tulkintaa kuvattuna kohti pohjoista.



Kuva 10. Tunneliverkoston tulkintaa kuvattuna kohti länttä.



Kuva 11. Resistivisyyssmittauksen tulkintaa.



Kuva 12. Mahdollinen louhos on esitetty toisen resistivisyyssmittauksen profiileissa 8 ja 9 (elektrodiä väli 5 m).

2.6 Painumariski

Kallioteknisestä näkökulmasta hankkeen merkittävin riski on maanpinnan painuminen, jolla tarkoitetaan maanpinnan vajoamista tai sortumista. Painuma voi kehittyä vähitellen ja/tai ilmetä äkillisesti ja voimakkaasti.

Kaivostoiminnassa matalimman maanalaisen infrastruktuurin yläpuolelle jätettävää kallio-osuutta kutsutaan kattopilariksi. Sen tehtävänä on säilyä vakaana ja siten vähentää painumariskiä. Lukuisat kansainväliset esimerkit osoittavat, että historialliset kattopilarit on usein jätetty liian ohuiksi, mikä on johtanut äkillisiin ja ennalta arvaamattomiin maanpinnan sortumiin. Näitä ilmiöitä kuvataan termeillä vajoama (sinkhole), kattopilarin sortuma (crown pillar failure), romahduslouhinta / sortuminen (caving) tai painuma (subsidence).

Painuman kehittymiseen vaikuttavat useat tekijät, kuten: kattopilarin paksuus, maanalaisen infrastruktuurin geometria, kalliomassan lujuus, vallitsevat jännitysolosuhteet, sekä kalliolaadun asteittainen heikkeneminen ajan myötä, esimerkiksi rakojen rapautumisen seurauksena veden tunkeutuessa kallioon tai kemiallisen muuttumisen vuoksi.

Vaikka maanpintaa seurattaisiin mittauksin, painuman ennakointi on usein vaikeaa. Kalliomassan vaurioituminen on luonteeltaan progressiivista: maanpinta voi vaikuttaa vakaalta ja liikkeettömältä samaan aikaan, kun kaivosrakenteita ympäröivä kallio vähitellen sortuu. Tämä prosessi laajentaa onteloa ja pienentää kattopilarin paksuutta, kunnes tapahtuu äkillinen ja katastrofaalinen sortuma.

Ainoa luotettava tapa seurata tällaisten vaurioiden etenemistä on suora tarkastelu maanalaisten rakenteiden sisältä käsin. Tässä tapauksessa se ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä kaivos on suljettu ja veden täyttämä, mikä on tyypillistä hylätyille maanalaisille kaivoksille pumppauksen päätyttyä.

Kaivokselta saatujen lähtötietojen (kuten karttojen) rajallisuuden vuoksi resistiivisyysmittauksia käytettiin matalalla sijaitsevan maanalaisen infrastruktuurin mahdollisten sijaintien arviointiin, sillä nämä rakenteet voivat aiheuttaa painumariskin. Tulokset osoittavat merkittävää matalalla sijaitsevaa kaivosinfrastruktuuria, joka jatkuu suurimman osan mittauslinjoista alueella. Maanpinnalla vaikutusalue ulottuu aktiivisen louhoksen länsipuolelta vähintään päätielle saakka. Lisäksi tunnistettiin ramppi, joka laskeutuu maanpinnalta kaivosalueelle nostotornin itäpuolella. Kokonaisuutena tutkimusvaiheessa 1 kalliovakauden riskialue arvioitiin laajemmaksi kuin kaivosyhtiön määrittelemät riskialueet.

Resistiivisyysmittaukset ovat epäsuora tutkimusmenetelmä, ja kaikki tulokset perustuvat mittauslinjojen väliseen interpolointiin. Mineralisoitunut kalliomassa on sekä magneettista että sähköä johtavaa, mikä lisää tulkinnan epävarmuutta. Tästä huolimatta aineistossa oli selviä viitteitä malmin suuntaisesti kulkevasta kulkutunnelista, jonka pienin mitattu syvyys on 8 metriä. Oli mahdollista, että kattopilarin paksuus on paikallisesti alle 8 metriä mittauslinjojen välisillä alueilla. Tämän tunnelin alapuolella sijaitsevan louhostilan (suuren ontelon) olemassaoloa pidetään erittäin todennäköisenä. Lisäksi noin 30 metrin syvyydessä sijaitseva kulkutunneli (footwall drift) tunnistettiin, ja maanpinnalta laskeutuva ramppi havaittiin selkeästi.

Numeerisen jännitysanalyysin tulokset osoittivat, että kattopilari näin matalan infrastruktuurin yläpuolella olisi ollut pitkällä aikavälillä todennäköisesti epävakaa. Laajat plastiset vauriot kalliomassassa, vetojännityksiset pienimmät pääjännitykset sekä suuret jännityserot viittaavat ohuen kattopilarin epävakauteen. Vaikka kattopilarin alkuperäistä paksuutta ja vauriokehityksen vaihetta ei tarkasti tunneta, käytettävissä olevien tietojen perusteella sitä ei voitu pitää vakaana.

Kaivosyhtiön määrittämä riskialue ulottuu päätien (Kokkolantie 28) kohdalle louhoksen sisäänkäynnillä. Resistivisyysmittauksia ei suunniteltu nimenomaisesti tien alla tai sen välittömässä läheisyydessä sijaitsevan infrastruktuurin kartoittamiseen. Osa alueista jäi resistiivisyysmittausten ulkopuolelle, ja näiden vyöhykkeiden riskitaso on tuntematon. Vaiheen 1 tulokset osoittavat, että kaivosyhtiön toimittamat riskikartat olivat voineet aliarvioida merkittävästi kallion sortumisen mahdollisuuden.

Vaiheessa 1 tulkittu painumariski on esitetty kuvassa 13. Kaavaluonnoksen jälkeen määritelty maanpinnan riskirajaus perustui resistiivisyysmittauksiin, empiiriseen tarkasteluun ja numeerisiin jännitysanalyysituloksiin. Useat eri analyysimenetelmät osoittivat painumariskin olemassaolon. Kaivoskarttojen perusteella louhostilan arvioitiin ulottuvan 260 metrin tasolle (noin 190 metriä maanpinnan alapuolelle). Painumariski maanpinnalla rajattiin käyttämällä 30° kulmaa pystysuunnasta kyseiseltä tasolta. Tämä kulma on yleisesti käytetty

painumavaikutuksen arvioinnissa ja vastaa hyvin sekä numeerisia jännitysanalyysituloksia että historiallisia havaintoja. Rampin vaikutusalueen alapäätä laajennettiin 20 metrillä oletetun rampin sijainnin epävarmuuden vuoksi.



Kuva 13. Alustava arvio (vaihe 1) korkean painumariskin alueesta ja hankealueesta.

Ensimmäisen vaiheen resistiivisyysmittauskierroksen jälkeen aineistoon kohdistunut luottamus johti suositukseen määrittellä kuvassa 13 esitetty violetti alue riskivyöhykkeeksi. Asemakaavaehdotusvaiheessa alue osoitettiin selvitysosa-alueena (sel). Selvitysalueella oli ollut tarkoituksenmukaista tehdä tarkempia pohjatutkimuksia ennen toteuttamisvaihetta. Maanomistaja kuitenkin valitsi, että lisätutkimukset tehdään välittömästi ja jo kaavan laadinnan aikana. Tämän vuoksi toteutettiin toinen resistiivisyysmittaustyö, jonka tavoitteena oli riskialueen todellisen laajuuden määrittäminen ja rajauksen tarkentaminen.

2.7 Vaiheen 2 riskivyöhyke

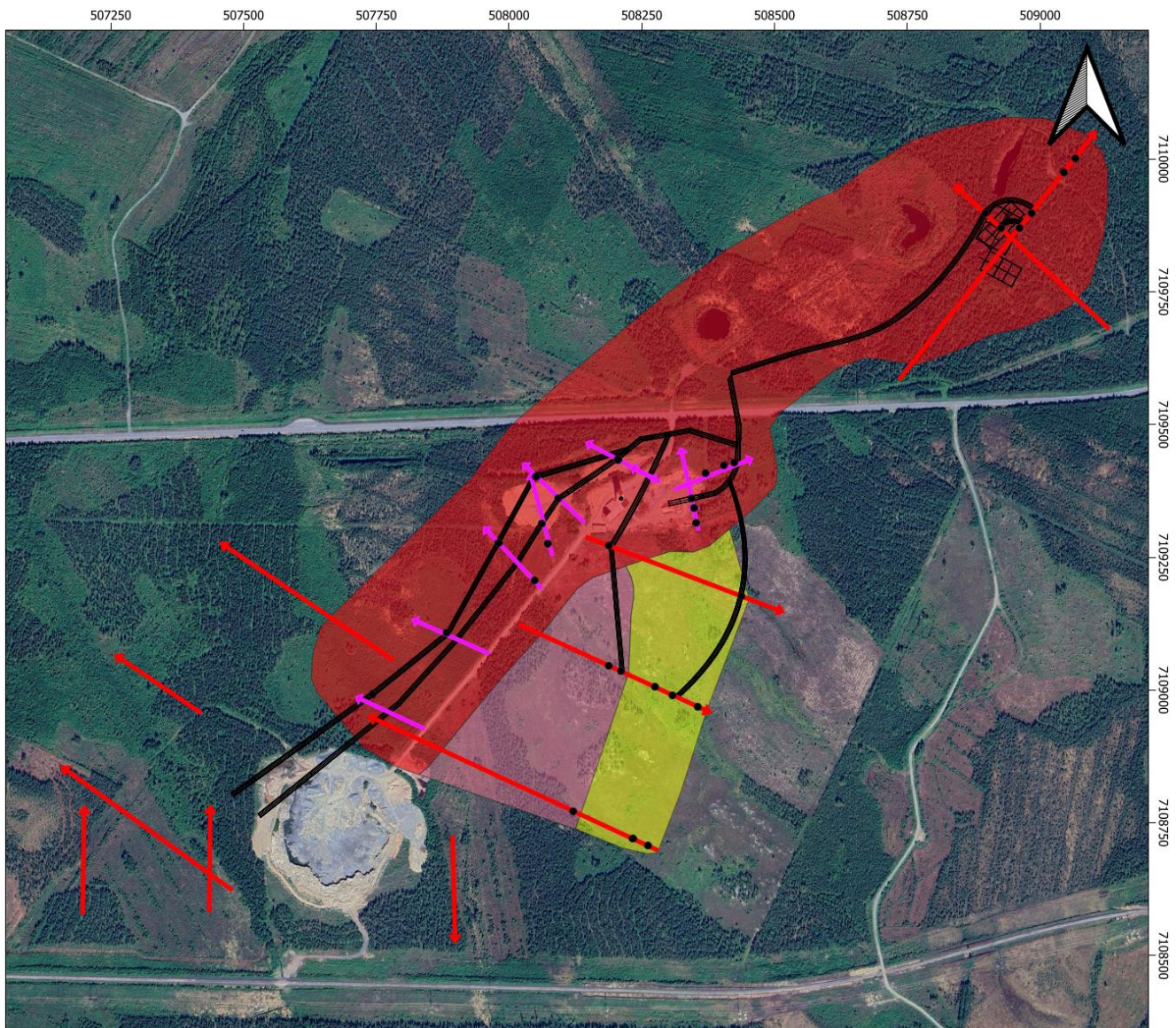
Aiempi, vaiheen 1, riskivyöhyke (kuva 13) perustui tunnetun malmiesiintymän laajuuteen pohjautuvaan stabiiliteettianalyysiin, jota resistiivisyysmittaukset tukivat. Malmiesiintymän koko laajuus ei kuitenkaan ollut tiedossa, ja se oli tarkoitus varmentaa lisäresistiivisyysmittauksilla jo määritetyn riskialueen ympäristössä.

Näiden lisämittausten tulokset vahvistivat riskivyöhykkeen luoteisreunalla. Sen sijaan lounaisosassa louhoksen ympäristössä riskivyöhykettä ei voitu vahvistaa, sillä alueelta ei tunnistettu kaivosinfrastruktuuria tai avoimia

onteloita. Muilla alueilla, erityisesti itä- ja pohjoisosissa, riskivyöhykettä jouduttiin laajentamaan, koska uusia mahdollisia rakenteita tunnistettiin kaakossa ja avoimia onteloita pohjoisessa.

Kuvassa 13 esitetty vaiheen 1 riskivyöhyke on päivitetty kuvaan 14 lisäresistiivisyysmittausten ja niiden tulkinna eli vaiheen 2 perusteella. Kaikki vaiheessa 2 tunnistetut tai mahdolliset kaivostunnelit on sisällytetty kuvaan 14. Riskialue pieneni verrattuna kuvaan 13, mutta kaksi uutta vyöhykettä lisättiin.

Ensimmäinen näistä oli vahvistusvyöhyke, jossa maanalaisia tunneleita on tunnistettu lähellä maanpintaa ja jossa on olemassa rajallisen sortuman riski. Rakentaminen ei ole tällä alueella olisi ollut kiellettyä, mutta lisävahvistustoimenpiteet olisi pitänyt huomioida rakennettaessa. Toinen alue oli tutkimusvyöhyke, jossa resistiivisyysanalyysissä havaittiin anomaliaita, joita tulkitaan tunneleiksi, mutta joita ei niiden sijainnin ja laajuuden vuoksi voida suoraan liittää tunnettuun kaivokseen. Lisätutkimuksia suositeltiin edelleen ennen toteuttamisvaihetta. Maanomistaja päätti aloittaa 3. vaiheen lisäselvitykset jo ennen kaavan hyväksymiskäsittelyä.



Kuva 14. Vaiheen 2 riskivyöhyke 1.12.2025. Punaisella suositeltu alue jätettäväksi rakentamisen ulkopuolelle, vaaleanpunaisella mahdollisesta vahvistettavien rakenteisen alue keltaisella tutkimusalue, aniliinit nuolet 2 m ja puneiset 5 m elektrodiväli.

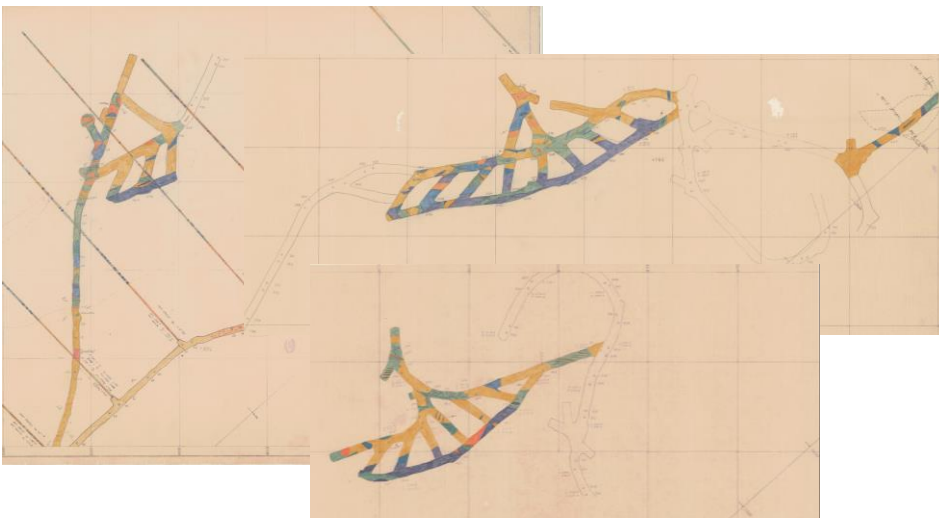
3 Vaiheen 3 lisäselvitykset

Kolmannen vaiheen pohjatutkimukset sisälsivät paitsi työneuvotteluja Tukesin ja GTKn kanssa, joista lisää kappaleessa 3.1 myös fyysisiä pohjatutkimuksia kairauksin ja fyysisten rakenteiden skannauksia, joita kuvattu kappaleessa 3.2.

3.1 Tukes ja GTK

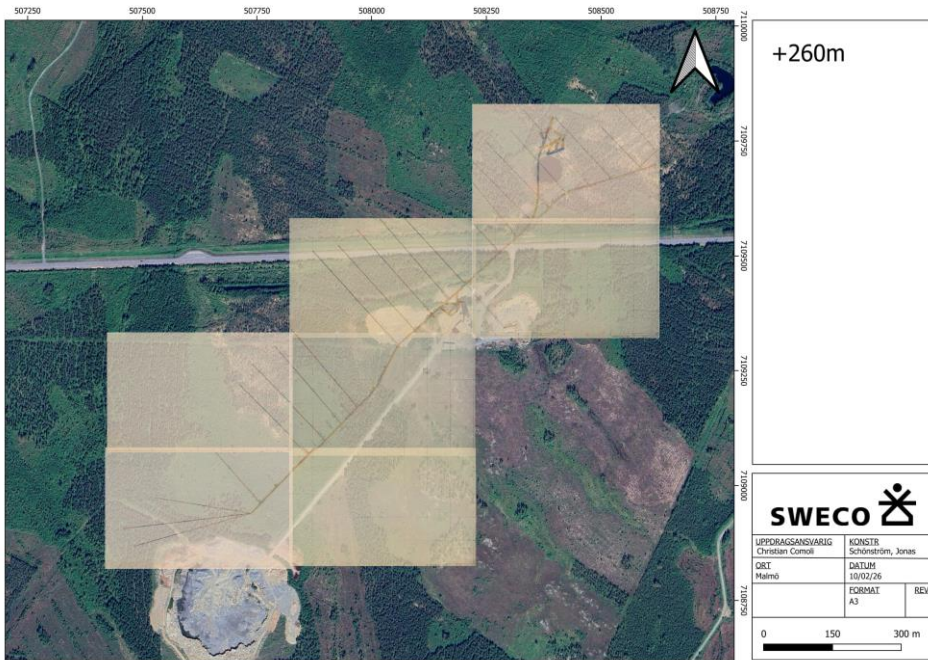
Resistiivisyysmittausten 1 ja 2 tulosten sekä maanpinnan lähellä sijaitsevien kaivosinfrastruktuuria koskevan tulkinnan epävarmuuden perusteella todettiin, että olemassa olevat kaivoskartat eivät kaikilta osin vastannut havaintoja. Tämän vuoksi oli ilmeistä, että kaivosinfrastruktuurista tarvitaan huomattavasti parempi ja kattavampi kokonaiskuva.

Sweco teki virallisen tiedustelun Tukesille ja GTK:lle saadakseen käyttöönsä kaikki arkistoidut Vuorokkaan kaivosta koskevat kaivoskartat. Tämän seurauksena Swecolle toimitettiin noin 32 gigatavua digitoitua aineistoa, joka koostuu käsin piirretyistä kartoista. Aineisto sisältää sekä pohjapiirroksia että pituus- ja poikkileikkauksia Otanmäen ja Vuorokkaan kaivoksista. Osa saadusta materiaalista on esitetty kuvassa 15.

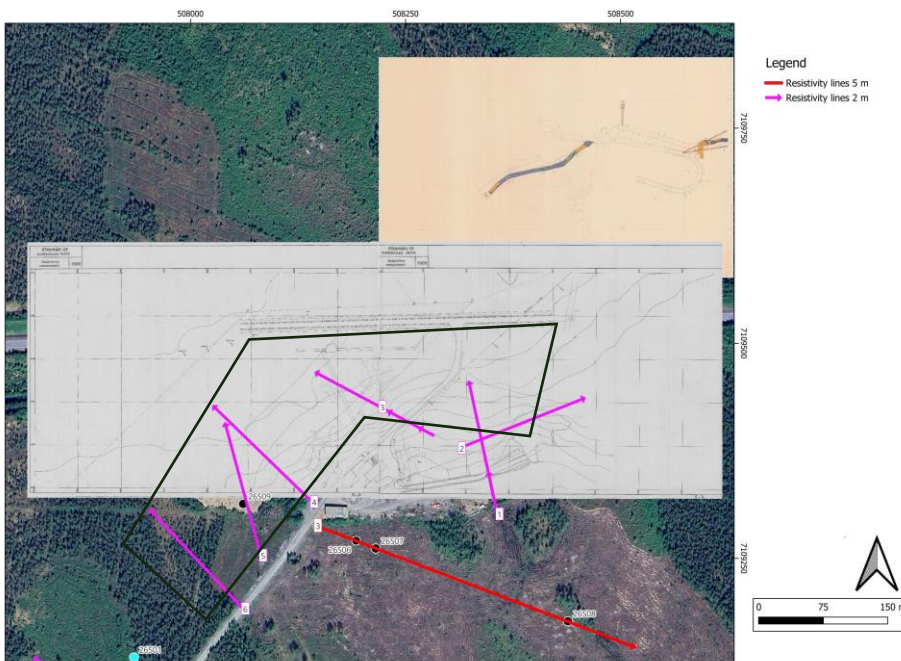


Kuva 15. Esimerkki vanhoista kaivoskartoista.

Kartat oli laadittu vanhemmassa koordinaattijärjestelmässä kuin nykyisin käytössä oleva ETRS-TM35FIN. Kartta-aineisto sovitettiin nykyiseen koordinaatistoon käyttämällä kaivoskuilua referenssipisteenä. Sovituksen tulokset on esitetty kuvassa 16.



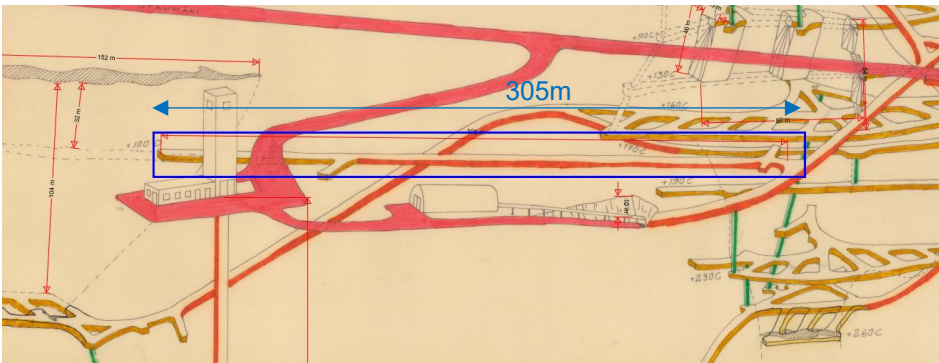
Kuva 16. 260-tason ja kaivoskuilun kartta-aineistojen päällekkäisyys.



Kuva 17. Lähempänä maanpintaa sijaitsevien kaivoskäytävien sijainnit.

Kuten kuvasta 17 käy ilmi, erityisesti matalien kaivoskäytävien oletettiin jatkuvan mustalla rajatulla alueella. Kartta-aineiston ja kaivoksen kokonaisgeometrian yksityiskohtaisempi tarkastelu osoitti kuitenkin, että tämän kolmannen vaiheen tutkimuksen kannalta keskeinen osa – maanpinnan lähellä sijaitsevat kaivoskäytävät – puuttuivat arkistomateriaalista eikä niitä ollut mahdollista saada käyttöön.

Muu käytettävissä oleva kartta-aineisto ei osoita kaivostointia Otanmäen ja Kajaanin välisen tien R28 (Kokkolantie) eteläpuolella, lukuun ottamatta seuraavia rakenteita: tutkimuskäytävä tasolla 175 (noin 135 m maanpinnan alapuolella), kaivostaso 260 (noin 220 m maanpinnan alapuolella), kuuiluun liittyvä infrastruktuuri.



Kuva 18. Lähellä maanpintaa sijaitseva tunnelikäytävä, joka on tämän kolmannen vaiheen tutkimuksen ensisijainen tutkimuskohde.

3.2 Kaivosinfrastruktuurin paikantaminen ja varmentaminen

Vaiheen 3 tutkimukset perustuvat aiemmin tehtyihin resistiivisyysanalyysien tulkintoihin, joiden perusteella alueelle määritettiin riskivyyhyke. Maanomistaja teetti selvitysalueelle tarvittavat lisäselvitykset rakentamiseen liittyvien epävarmuuksien poistamiseksi nähtävillä olleen asemakaavaehdotuksen jälkeen.

Kolmannen vaiheen tutkimukset sisälsivät:

- kaivoksen suuaukon avaamisen,
- yhdeksän kairareian (26S01–09) kairaamisen; kaikki reiät on kairattu pystysuoraan. Kairausten sijainnit on esitetty GFR:ssä,
- kairasydänten kalliokartoituksen ja -luonnehdinnan,
- maanpinnan läheisyydessä sijaitsevan kaivosinfrastruktuurin vedenalaisen skannauksen.

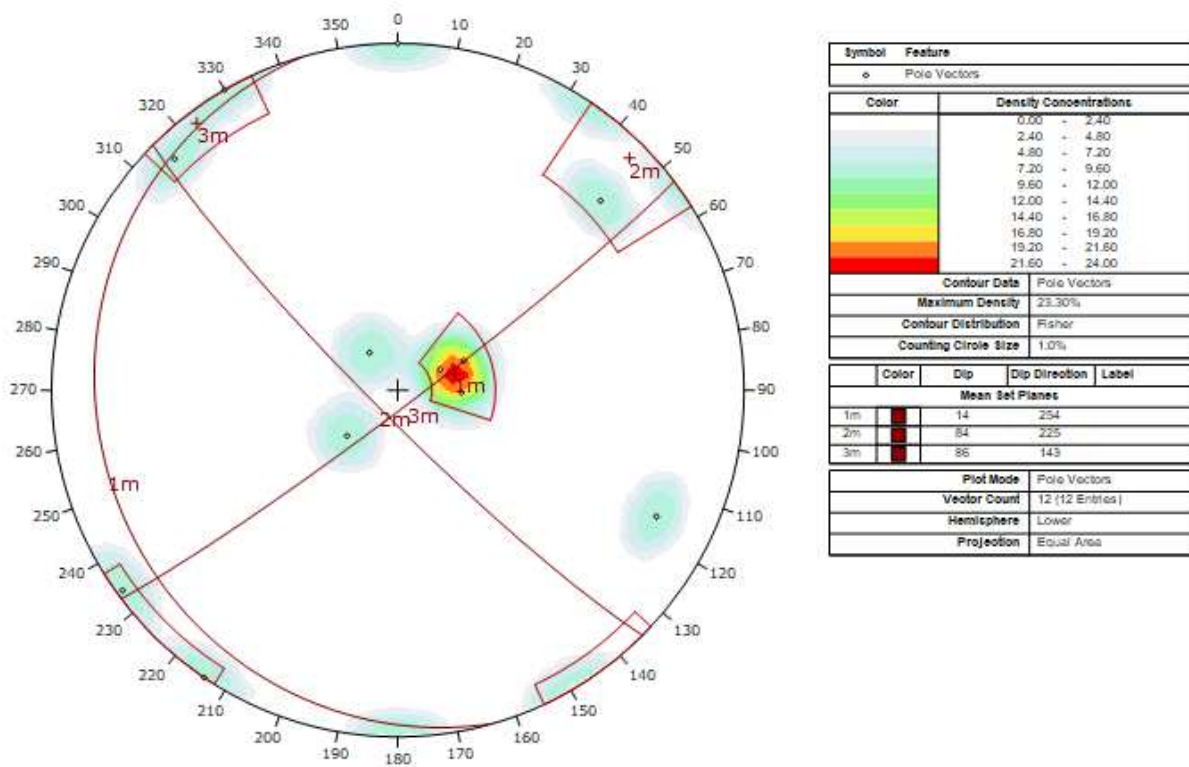
Resistiivisyysmittausten tulkinnan perusteella (kuva 14) oltiin tunnistettu useita mahdollisia kaivostunneleita, joita ei oltu esitetty käytettävissä olevissa kaivoskartoissa. Kaivoksen rakenteen ymmärtäminen on ratkaisevan tärkeää, jotta riskivyyhykkeet voitiin joko vahvistaa, tarkentaa tai poistaa.

3.2.1 Kaivoskäynti

Kaivokseen pyrittiin pääsemään suuaukon kautta, jotta lähellä maanpintaa sijaitsevien käytävien sijainti voitaisiin varmistaa ja mahdollinen kaivostointi selvittää. Kaivoksessa oleva vedenpinta rajoitti etenemisen noin 30 metriin, minkä vuoksi päätettiin suorittaa vedenalaisella droonilla (ROV) tehtävä kuvaus.

Kaivoksen suuaukolla suoritettiin kaivoskäynnin aikana geologisia rakenteellisia mittauksia. Tämä käsittää pääarakosuuntien ja siirospintojen kaateiden ja kaadesuuntien mittaamisen. Kaivoksen suuaukolla kivilaji on amfiboligneissi. Yhteensä 12 mittauksen perusteella amfiboligneississä tunnistettiin kolme selkeää pääarakosuuntaa: kaksi lähes pystysuoraa ja toisiaan vastaan kohtisuoraa olevaa (SW–NE ja NW–SE), joita leikkaa yksi lähes vaakasuora rakosuunta. Tällainen kuutiomainen rakoilu on tyypillistä gneisseille ja graniiteille.

Nämä tiedot tukevat kalliomassan käyttäytymisen tulkintaa rakennusten kuormituksen alaisena.



Kuva 19. Rakomittausten stereograafinen projektiio.

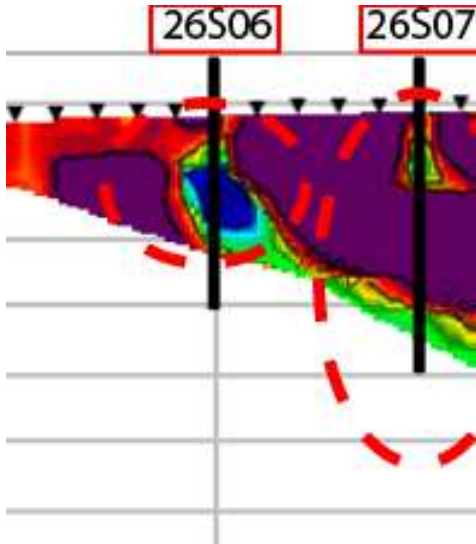


Kuva 20. Tunneli on täytynyt vedellä heti suuaukolta alkaen (13.3.2026).

Kaivos suljettiin vuonna 1985 ja on ollut sen jälkeen suljettuna. Kaivoksen suuaukolla ei havaittu kallion stabiiliteetin heikkenemistä. Kallionpintojen katselmoinnissa havaittiin vain vähäinen määrä irtokiviä, jotka ovat kehittyneet ajan myötä. Havaituilla alueilla tunneleiden yleinen vakaus on erinomainen, eikä myrkyllisten tai räjähtävien kaasujen kertymistä havaittu.

3.2.2 Geofysikaalisten anomalioiden kairaus

Kolmannessa vaiheessa tehtiin kairauksia ja raportin valmistumiseen mennessä kairausten tuloksena on saatu vain häiriintymättömiä kairasydämiä sekä isäntäkalliosta että resistiivisyysmittauksissa havaituista anomaloista. Esimerkiksi reiässä 26S06 (kuvat 21–25) kivilaji muuttuu lievästi, ja kairasydän on selvästi rikkonaisempi kuin ympäröivä isäntäkallio.



Kuva 21. Resistiivisyysprofiili ja suunniteltu kairareikä 26S06.



Kuva 22. Kairasydänlaatikko, reikä 26S06, kairasydän syvyysväliä 11–15 m.



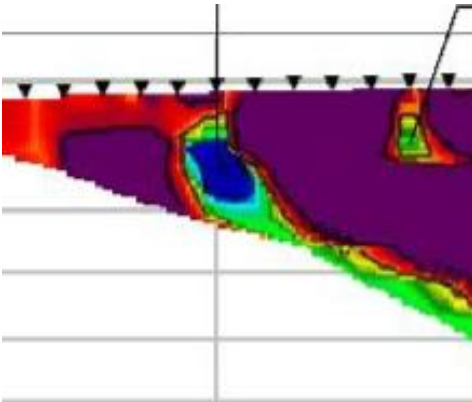
Kuva 23. Kairasydänlaatikko, reikä 26S06, kairasydän syvyysväliä 15–21 m.



Kuva 24. Kairasydänlaatikko, reikä 26S06, kairasydän syvyysväliä 21–27 m.



Kuva 25. Kairasydänlaatikko, reikä 26S06, kairasydän syvyysväliä 27–29 m.



Kuva 26. Resistivisyysprofiilin tulkinta liitteen 4 (GIR 25.11.2025) mukaisesti.

Vertailun vuoksi kuvassa 26 on esitetty ote GIR-raportista (25.11.2025), jossa poikkeama tulkittiin kaivostunneliksi selkeän resistiivisyseron perusteella. Kairausten tuloksena saadut kairasydämet osoittavat ainoastaan lievän kivilajivaihtelun ja lisääntyneen rakoilun. Kairaustulokset eivät viittaa onteloon, kuten aiemmin resistiivisyysprofiilista tulkittiin.

Tämän raportin jättöhetkellä neljä kairareikää on saatu valmiiksi.

#6	28 m
#7	40 m
#9	42 m
#8	35 m

Yksikään tähän mennessä valmistuneista kairareijistä ei ole vahvistanut onteloiden olemassaoloa, joita aiemmin vaiheissa 1 ja 2 oli tulkittu kaivoskäytäväksi.

3.2.3 Kaivoksen skannaus

Lähellä maanpintaa sijaitsevan tunnelikäytävän kartoittamiseksi veden täyttämässä kaivoksessa käytettiin kauko-ohjattavaa vedenalaista ajoneuvoa (ROV), jolla tunneli skannattiin monikeilaluotaimella. Oli olennaista määrittää puuttuvan tunnelikäytävän X-, Y- ja Z-koordinaatit, jotta kallion stabiileetti tunnelikäytävän yläpuolella voitiin arvioida kattavasti ja antaa jatkosuosituksia siitä, tuleeko tunnelikäytävä täyttää, romahduttaa hallitusti vai voidaanko sen katsoa kestävänsä päälle rakennettavien rakenteiden kuormat.

Kuvan 14 tulkinnan perusteella oletuksena oli, että puuttuva tunnelikäytävä kulkee kaivosalueen tulotiehen ja kaivoksen 260 metrin tasoon nähden rinnakkaisesti kohti louhosta.

Skannauksen tulokset (kuva 27), yhdistettynä maanpinnan laserkeilaukseen, osoittavat kuitenkin, että kyseinen tunnelikäytävä kulkee Kokkolantien suuntaisesti, noin 30 metrin etäisyydellä tiestä. Skannaus osoittaa noin 195 metriä pitkän tunnelin, joka poikkeaa lopussa lounaaseen ja suuntautuu kohti louhosta. Syväällä olevaa loppua tunnelikäytävää ei kuitenkaan voitu skannata kokonaisuudessaan, koska kulku oli osittain estynyt tiellä olevan materiaalin vuoksi. Entisen Otanmäen kaivoksen kaivosinsinöörin Paavo Makkosen antamien tietojen sekä kuvassa 18 esitetyn kartan perusteella kuvaamatonta tunnelia jäi vain noin 20 metriä.



Kuva 27. Georeferoidun tunnelikäytävän skannaustulos. Tunnelin värisävy kuvaa sen syvyysijaintia. Kuvan oikeassa reunassa on väriselite esittää korkeusaseman metreinä.

Vaiheen kolme kairaus- ja skannaustulokset kumovat täysin tulokset kaivostoiminnasta tai malminetsinnästä kaivoskuilun eteläpuolella, kuten aiemmissa vaiheissa 1 ja 2 sekä niiden GIR-raporteissa 20.9.2025 ja 25.11.2025 esitettiin. Ainoa kaivostoiminta on tapahtunut 260 metrin tasolla, noin 220 metrin syvyydessä, jossa on louhittu tutkimuskäytävä ja tehty lukuisia kairauksia. Näillä syvyyksillä ei ole mitään vaikutusta tulevaan rakentamiseen.

4 Johtopäätökset vaiheen 3 tutkimuksista

Näissä luvuissa esitetyt johtopäätökset ovat lopullisia. Kaavaehdotuksessa osoitettu selvitettävä osa-alue on tutkittu. Lisätutkimuksia ei tarvita. Käytettävissä oleva aineisto on riittävän laadukasta ja luotettavaa kaikkien aiemmista pohjatutkimuksista jääneiden kysymysten ratkaisemiseksi.

4.1 Yleiset rakentamissuosituksukset

Raportissa GIR 25.11.2025 esitetyt suositukset ovat edelleen voimassa ja niitä tulee soveltaa alueen tulevaa rakentamista suunniteltaessa:

”Seuraavat suositukset perustuvat oletukseen, että suunnitellut rakennukset perustetaan maanvaraisille laatoille, jotka rakennetaan rakennekerrosten päälle ja tukeutuvat kantavaan pohjamaahan ylimmän odotettavissa olevan pohjavedenpinnan yläpuolella.

Vaikka alueella tavattu pohjamaa vaihtelee paikoin koostumukseltaan, se luokitellaan näytteenotto- ja kairaus-/luotaustulosten perusteella pääosin kitkamaaksi. Suoritetujen geoteknisten tutkimusten perusteella tätä perustamistapaa pidetään suunnitelluille rakennuksille soveltavana, eikä paalutuksen arvioida olevan tarpeen. Johtopäätöstä tukevat sekä kenttä- että laboratoriotutkimustulokset, jotka osoittavat johdonmukaisesti suotuisat olosuhteet matalaperustamiselle.”

4.1.1 Kairaukset

Tehdyissä neljässä kairauksessa tavattu kivilaji poikkeaa isäntäkalliosta ja on ympäröivää kalliota rikkonaisempi, mikä selittää havaitut resistiivisyyspoikkeamat. Tällä ei kuitenkaan ole haitallista vaikutusta tulevaan rakentamiseen. Tutkitut poikkeamat eivät vaikuta rakenteiden vakauteen, sillä kaikissa tapauksissa on kohdattu paikallaan olevaa, häiriintymätöntä kalliota.

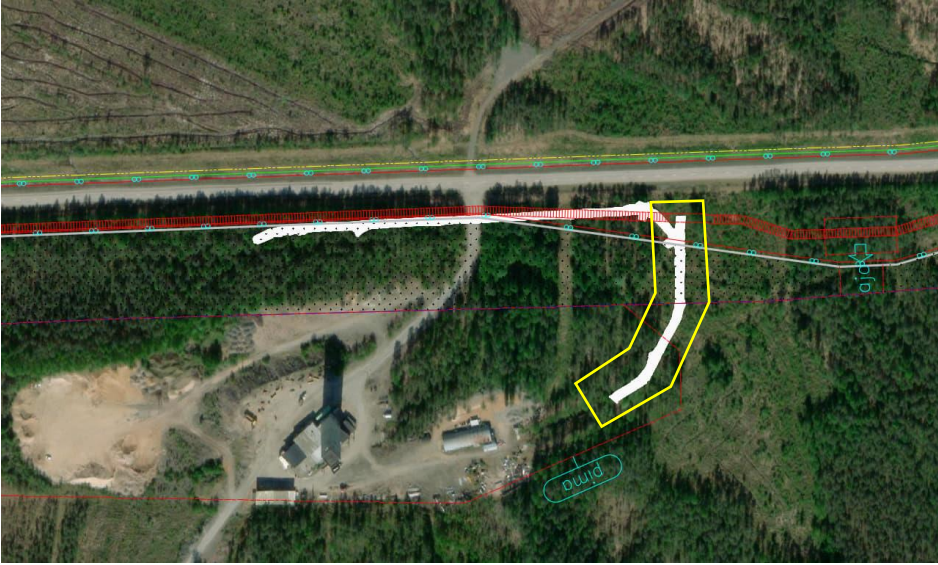
**viikolla 20 oli kairattuna 8/9 kohdetta ja tulokset vastaavat neljää ensimmäistä kohdetta. Myös jäljellä olevan viimeisen kairareian oletetaan vastaavan jo tehtyjä kairauksia.*

4.1.2 Skannaus

Kuvassa 28 on esitetty ilmakuvalla kaavamerkintöjä ja skannatun käytävän päällekkäisanalyysi. Tämän perusteella voidaan todeta, että käytävä sijaitsee pääosin Kokkolantien maantieliikenteen alueen ja teollisuuskorttelin rakennettavan alueen välissä. Maantieliikenteen alueella käytävän sijainti on syvemmillä kuin portaalilta ensimmäiseen risteykseen ulottuva ramppiosuus. Tämä keltaisella kuvassa 28 korostettu vyöhyke ulottuu 5 metriä käytävän molemmille puolille.

Rajoitusvyöhykkeellä tulee rakentamisessa huomioida, että maanalaisten louhintojen kallionkaton vähimmäispaksuuden tulee olla vähintään 8 metriä alimman perustamis- tai kaivutason ja tunnelin yläreunan välillä. Poikkeamat tästä vähimmäispaksuudesta ovat sallittuja, mikäli vahvistustoimenpiteet toteutetaan ja hyväksytään.

Tutkittua matalaa tunnelikäytävää käsitellään siten, että lisätutkimuksia ei tällä hetkellä tarvita, jotta sen vakaus tulevaa rakentamista varten voidaan hyväksyä.



Kuva 28. Kaivostunneli (valkoisella), kaavaehdotus sekä rakentamisessa huomioitava alue (keltaisella).

4.2 Vaikutus kaavoitukseen

Koska tämä tutkimus on osoittanut, että kaivoskuilun eteläpuolella ei ole tapahtunut kaivostoimintaa eikä siellä ole matalaa kaivosinfrastruktuuria, aiemmassa GIR-raportissa esitetty laajennettu ja päivitetty riskivyöhyke, kaavaehdotuksessa sel-merkinnällä ollut osa-alue, voidaan poistaa asemakaavasta.

Kuten edellä on todettu, pieni osa-alue suoraan portaalin yläpuolella tulee lisätä asemakaavan teollisuuskorttelialueelle, koska kaivosrakenteet sijaitsevat siellä lähellä maanpintaa ja edellyttävät rakentamisen näkökulmasta turvaetäisyyttä ja riittävää kalliokaton paksuutta.

Selvitysalueita ei ollut merkitty maantieliikenteen alueelle asemakaavan ehdotusvaiheessa, eikä selvitysten perusteella ole tarvetta myöskään lisätä merkintöjä hyväksymismenettelyyn etenevään asemakaavaan. LT-alueen rakentamistoimet perustuvat aikanaan tie- ja rakentamissuunnitelmien mukaisiin selvityksiin ja rakennepaksumuksiin.

5 Lähteet

World stress map. (2016). <https://www.world-stress-map.org/download>

Emman Aladejare, M. 2020. Characterization of the Petrographic and Physicomechanical Properties of Rocks from Otanmäki Finland. Geotechnical and Geological Engineering 39(2):1-13. [10.1007/s10706-020-01648-0](https://doi.org/10.1007/s10706-020-01648-0).

Together with our clients and the collective knowledge of our 22,000 architects, engineers and other specialists, we co-create solutions that address urbanisation, capture the power of digitalisation, and make our societies more sustainable.

Sweco – Transforming society together