

Vastaanottaja
Terrafame Oy

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
31.3.2020, muokattu 22.6.2021

TERRAFAME OY

LUONNON RADIOAKTIIVISET AINEET



TERRAFAME OY

LUONNON RADIOAKTIIVISET AINEET

Projekti **Luonnon radioaktiiviset aineet**
Projekti nro **1510049178-003**
Vastaanottaja **Terrafame Oy**
Asiakirjatyyppi **Raportti**
Päivämäärä **22.6.2021**
Laatija **Katariina Koikkalainen, Ramboll**
Hyväksyjä **Anu Haanela, Terrafame**
Veli-Matti Hilla, Terrafame

Ramboll
Niemenkatu 73
15140 LAHTI

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201
<https://fi.ramboll.com>

SISÄLTÖ

1.	JOHDANTO	2
2.	YLEISKUVAUS TOIMINNASTA	4
3.	LUONNON RADIOAKTIIVISET AINEET	6
3.1	Yleistä luonnon radioaktiivisista aineista	6
3.2	Luonnon uraani	6
3.3	Uraani Terrafamen kaivostoiminnassa ja prosessiliuoksessa	7
4.	RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN ALUEELLISET TAUSTAPITOISUUDET	9
5.	AIKAISEMMAT LUONNON RADIOAKTIIVISIIN AINEISIIN LIITTYVÄT SELVITYKSET	11
5.1	Kaivosalueen ympäristön radiologinen perustilaselvitys	11
5.2	Uraanin tytärnuklidien pitoisuudet prosessivesikierrossa ja liuotuskasoissa	11
5.3	Bioliuotuskasojen ympäristön mittaukset	11
5.4	Kaivosalueelta ympäristöön johdettavan veden radioaktiivisuusmittaukset	12
5.5	Kipsisakka-altaalle sijoitettavien jätejakeiden sakkojen aktiivisuusmääritys	12
6.	VUONNA 2019 TEHTY SELVITYS	14
6.1	Näytteenotto	14
6.2	Analyysit	14
6.3	Tutkimuksen ulkopuolelle rajatut aineet ja prosessit	16
7.	TULOKSET	17
7.1	Malmin louhinta	17
7.2	Primääriliuotus	17
7.3	Sekundääriliuotus	18
7.4	Sivukivialueen rakenteiden alapuoliset vedet ja suodosvedet	20
7.5	Ympäristöön johdettava vesi	20
8.	TULOSTEN TARKASTELU	22
8.1	Uraanin kokonaisaktiivisuuspitoisuus	22
8.2	Uraanin tytärnuklidit	24
8.3	Kalium-40	25
8.4	Muut luonnon radioaktiiviset aineet	25
9.	YHTEENVETO	26
10.	LÄHTEET	28

LIITE 1 Analyysitulokset

LIITE 2 ALS Finland Oy:n selvitys raportoitujen tulosten tarkistuksesta

1. JOHDANTO

Terrafamen kaivoksen vuoden 2014 lupapäätöksen 36/2014/1 (DNro PSAVI/58/04.08/2011) lupamääräyksen 11 mukaan luvan saajan on;

”Luvan saajan on selvitettävä Säteilyturvakeskuksen hyväksymällä tavalla myös muiden luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuudet malmissa, sivukivessä, ensimmäisen- ja toisen vaiheen liuotuksessa, tuotteissa, prosessi- ja kaivannaisjätteissä, jätealueiden suoto- ja valumavesissä ja vesistöön johdettavassa vedessä sekä niiden liukenevuus liuotusprosessissa ja mahdollisesti ilmaan haihtuva osuus. Selvityksen tulokset on raportoitava Säteilyturvakeskuksen lisäksi Kainuun ELY-keskukselle sekä Sotkamon kunnan ja Kajaanin kaupungin ympäristönsuojelu- ja terveydensuojeluviranomaisille.”

Terrafame on esittänyt toimintansa uraanitaseen pääpiirteissään mm. ympäristölupahakemuksessa asiassa PSAVI/2461/2017.

Tässä raportissa esitellään alueella aiemmin tehdyt radioaktiivisuusselvitykset sekä vuoden 2019 näytteenottoon perustuva selvitys luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuuksista prosessin eri vaiheissa, mukaan lukien luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuudet louhitussa malmissa ja sivukivessä, primääri- ja sekundääriliuotuksessa, prosessiliuoksissa, suoto- ja valumavesissä sekä ympäristöön johdetussa vedessä. Raportti vastaa kysymykseen siitä, millaisia pitoisuuksia luonnon radioaktiivisia aineita esiintyy missäkin prosessivaiheessa.

Taulukko 1-1. Raportin päivitykset

Päivämäärä	Kuvaus tehdyistä muokkauksista
18.5.2021	Raporttia on muokattu STUK:n Antti Kallion esittämien korjausehdotusten mukaisesti (sähköposti 24.2.2021)
17.6.2021	Raporttiin kirjattu selvennys kokonaisuraanipitoisuuksia koskevista epäselvyyksistä ALS Finland Oy:n tekemän selvityksen perusteella. Epäselvyydet koskevat nestemäisten näytteiden määrittämisä eli primääri- ja sekundäärikasoilta lähtevän liuoksen, sivukivialueen rakenteiden alapuolisen veden ja suotoveden sekä ympäristöön johdettava veden tuloksia. ”Tilausten HL1905466, HL1904101 maanäytteiden analyysitulokset tarkistettiin analyysidatan osalta, eikä virheitä havaittu. Tilauksen HL1904099 vesinäytteiden tulosten tarkistuksessa havaittiin, ettei uraanin kokonaispitoisuus ei vastaa U-238 isotooppien aktiivipitoisuuksia tuloksia näytteille 002 – 005 (KL2, suodosvedet DP4; KL2, suodosvedet DP5; primäärikasoilta lähtevät liuos ja sekundäärikasoilta lähtevä liuos). Vastanotimme selvityspyynnön yli vuoden kuluttua näytteiden analyysistä. Valitettavasti tämän vuoksi tulosten vahvistaminen uusinta-analyysillä tai näytematriisien tarkastelu ei onnistunut. Analyysidatan perusteella fotometrisen uraanianalyysin tuloksiin (W-U-PHO) liittyy epävarmuutta, mutta virhettä ei pystytty todentamaan ilman uusinta-analyysia. Alhaiset kokonaisuraanipitoisuudet voivat olla seurausta sopimattomasta hajotusmenetelmästä tai näytteen suodatuksesta. Uraanin isotooppimäärittämisen tuloksia ICP-SFMS -tekniikalla (W-U238-5-4) sekä luonnollisten radionuklidien tuloksia gammaspektrometrillä (W-RAD-NAD) voidaan selvityksen perusteella pitää luotettavampina.” Laboratorion selvitys on tämän raportin liitteenä.

	ICP-SFMS-menetelmällä tehtyjen määritysten tuloksissa havaittiin kuitenkin eroavuuksia esim vuoden 2019 tarkkailutuloksiin, jotka ovat samalla tasolla kuin tämän selvityksen aktiivisuuspitoisuuksien pohjalta laskennallisesti määritetyt pitoisuudet. Näitä eroavuuksia on avattu tekstissä tarkemmin eri näytetyyppien osalta.
--	--

2. YLEISKUVAUS TOIMINNASTA

Terrafamen Oy:n Talvivaarassa sijaitsevan kaivospiirin sisällä on kaksi tunnettua malmiota: Kuusilampi ja Kolmisoppi, joista Kuusilammen esiintymää hyödynnetään tällä hetkellä. Kaivoksen toiminta on aloitettu vuonna 2008 ja sen lopputuotteita ovat nikkeli, sinkki, kupari sekä koboltti. Tuotantoprosessi koostuu louhinnasta, murskauksesta, murskatun malmin rakeistuksesta, malmin primääri- sekä sekundääri-liuotuksesta ja metallien talteenotosta. Toiminnasta muodostuvia kaivannaisjätteitä ovat louhinnan sivukivet, loppuun liuotettu malmi, metallitehtaan mineraalijätteet, metallin talteenoton sakat (esineutralointi- ja loppusakka) sekä maanpoistomassat. Näistä määrällisesti eniten muodostuu sivukiveä ja loppuun liuotettua malmia.

Nykyisessä tuotannossa uraani päättyy suurelta osin jättejakeista ns. kipsisakkakasaan ja sen tytärynuklidit jäävät pääosin liuotettuun malmikasaan.

Malmin louhinta toteutetaan avolouhoksena. Louhittava malmi on mustaliusketta, joka sisältää keskimäärin 0,25–0,27 % nikkeliä, 0,13–0,15 % kuparia, 0,52–0,56 % sinkkiä ja 0,02 % kobolttia. Malmin keskimääräinen rikkipitoisuus on 9,1 %. Kaikki malmissa esiintyvä nikkeli on sulfidifaasissa.

Alueen mustaliuskeen uraanipitoisuus on 15–20 mg/kg, joka ei ole erityisen korkea pitoisuus suhteessa Suomen kallioperässä todettuihin taustapitoisuuksiin. Varsinaiseksi uraanimalmiksi luokitellaan malmi, jonka pitoisuus on 1 000 mg/kg. Malmin- ja sivukivenlouhinnan pölypäästöissä on uraania ja sen radioaktiivisia tytäraineita samassa suhteessa kuin alueen kallioperässä. Aiemmin laadittujen arvioiden mukaan louhinnan pölypäästöistä ja niiden sisältämästä uraanista ei aiheudu merkittävää lisärasitusta ympäristölle eikä ihmisten terveydelle.

Räjäytetty malmi lastataan suuritehoisilla lastauskoneilla kiviautoihin, joilla malmi kuljetetaan louhoksen ulkopuolella olevalle esimurskausasemalle. Sivukiven lastaus ja kuljetus tapahtuu vastaavilla lastauskoneilla ja kiviautoilla kuin malmin.

Irroitetun malmilouheen **esimurskaus** tapahtuu louhoksen välittömässä läheisyydessä sijaitsevalla kiinteällä esimurskausasemalla ("karkeamurska"). Esimurskain on suoraan yhteydessä sähkökäyttöiseen hihnakuljetinjärjestelmään, joka siirtää esimurskatun malmin tehdasalueella olevaan välivarastoon. Välivaraston kapasiteetti on 20 000 tonnia ja siitä siirretään malmia kasan alla olevien syöttimien ja hihnakuljettimien avulla kolmivaiheiseen **hienomurskaukseen**.

Murskattu malmi siirretään hihnakuljettimella **agglomerointiasemalle**, joka sijaitsee murskaamon vieressä tehdasalueella. Agglomeroinnin päätarkoitus on kiinnittää hienojakoinen malmiaines isompiin malmipartikkeleihin. Malmin agglomerointi tapahtuu pyörivissä rummuissa, joihin lisätään kaivoksen metallien talteenoton pääprosessiliuoksen PLS-liuosta tai laimeaa rikkihappoa.

Agglomeroinnin jälkeen malmi kuljetetaan hihnakuljettimella bioliuotukseen liuotusalueelle. **Bioliuotuksessa** malmin sisältämät metallisulfidit hapetetaan mikrobitoiminnan avustamana liukoisiksi yhdisteiksi. Bioliuotuksessa malmissa luonnostaan kasvavat mikrobit katalysoivat malmin sisältämän raudan ja rikin hapettumista saadakseen energiaa kasvuunsa. Kiinteät metallisulfidit muuntuvat vesiliukoisiksi metallisulfaateiksi ja liukenevat liuotuskasassa kierrätettävään prosessiliuokseen, jota kutsutaan PLS-liuokseksi (Pregnant Leach Solution). Malmin liuotus tapahtuu kierrättämällä PLS-liuosta malmista kasattavien liuotuskasojen päälle asennettujen kasteluputkistojen kautta. Kaasaa kastellaan kiertoliuoksella, jonka pH pidetään halutulla tasolla rikkihapon avulla.

Bioliuotus suoritetaan kahdessa vaiheessa. Nykyisin noin 1,5 vuotta kestävän ensimmäisen vaiheen liuotuksen (**primääriliuotus**) jälkeen kasa siirretään toisen vaiheen liuotusalueelle (**sekundääri-liuotus**), jossa aktiivista liuotusta jatketaan vielä noin 3,5 vuoden ajan. Liuotusvaiheiden välissä tehtävä kasan purku ja malmiaineksen siirto: Ensimmäisen vaiheen liuotuskasan purkaminen tapahtuu tällä hetkellä pintajyrsimillä. Malmi siirretään edelleen hihnakuljettimella toisen vaiheen kasa-alueelle. Toisen vaiheen liuotuskasa on loppuun liuotetun malmin loppusijoituspaikka, joten sekundäärilohkot tulevat täyttymään ja niitä tullaan rakentamaan lisää toiminnan jatkuessa.

Metallien talteenottolaitos (MTO) sijaitsee ensimmäisen vaiheen liuotuskasan pohjoispuolella olevalla tehdasalueella. Metallien talteenotossa nikkeli, sinkki, kupari ja koboltti saostetaan hydro-metallurgisella prosessilla liuotuskasoilta saatavasta PLS-liuoksesta, jolloin saadaan tuotetuksi sakkamaisia metallisulfideja. Metallisulfidit ovat kaivoksen nykyisen tuotantoprosessin lopputuote ja ne myydään asiakkaille jatkojalostettavaksi. Metallien talteenottolaitokselta bioliuotukseen palautettava raffinaattiliuos voidaan johtaa sekä 1. vaiheen liuotukseen että 2. vaiheen liuotukseen. Raffinaatin sisältämät metallit ovat liukoissa muodossa ja raffinaattia käytetään liuoskierrossa kasteluliuksena. Myös esineutralointisakka sekä esimerkiksi huoltoseisakkien yhteydessä reaktoreista, säiliöistä ja varoaltaista siivottavat puhdistusliuokset ja sakat on järkevää palauttaa liuoskiertoon niiden sisältämän metallin hyödyntämiseksi.

Nikkelin ja koboltin yhteissaostus tehdään korkeammassa pH:ssa kuin sinkin saostus. Tästä syystä ennen nikkelin saostusta PLS-liuoksen pH nostetaan **esineutraloinnissa** arvoon 3-3,5. Esineutraloinnissa muodostuu esineutralointisakkaa, joka on pääosin kalsiumsulfaattia (kipsiä). Esineutralointisakka sijoitetaan sekundääriliuotusalueelle, jossa sakan sisältämät arvometallit hyödynnetään. Esineutraloinnissa kipsisakan erotuksessa jäljelle jäävä PLS-liuos johdetaan edelleen nikkelin ja koboltin saostukseen. Esineutraloinnin jälkeen nikkeli ja koboltti saostetaan rikkivedyllä käyttäen neutralointiaineena natriumhydroksidia.

Kun liuoksesta on saostettu arvometallit, palaa liuos paluuliuksena eli raffinaattina takaisin liuoskiertoon. Silloin, kun bioliuotuskierosta on tarve poistaa vettä, osa liuoksesta ohjataan arvometallien talteenoton jälkeen raudansaostukseen (RASA) ja loppuneutralointiin (LONE). Tämän jälkeen seuraa **loppuneutralointi**, jossa jäljelle jääneet metallit eli rauta, alumiini, magnesium ja mangaani saostetaan metallihydroksideina.

3. LUONNON RADIOAKTIIVISET AINEET

3.1 Yleistä luonnon radioaktiivisista aineista

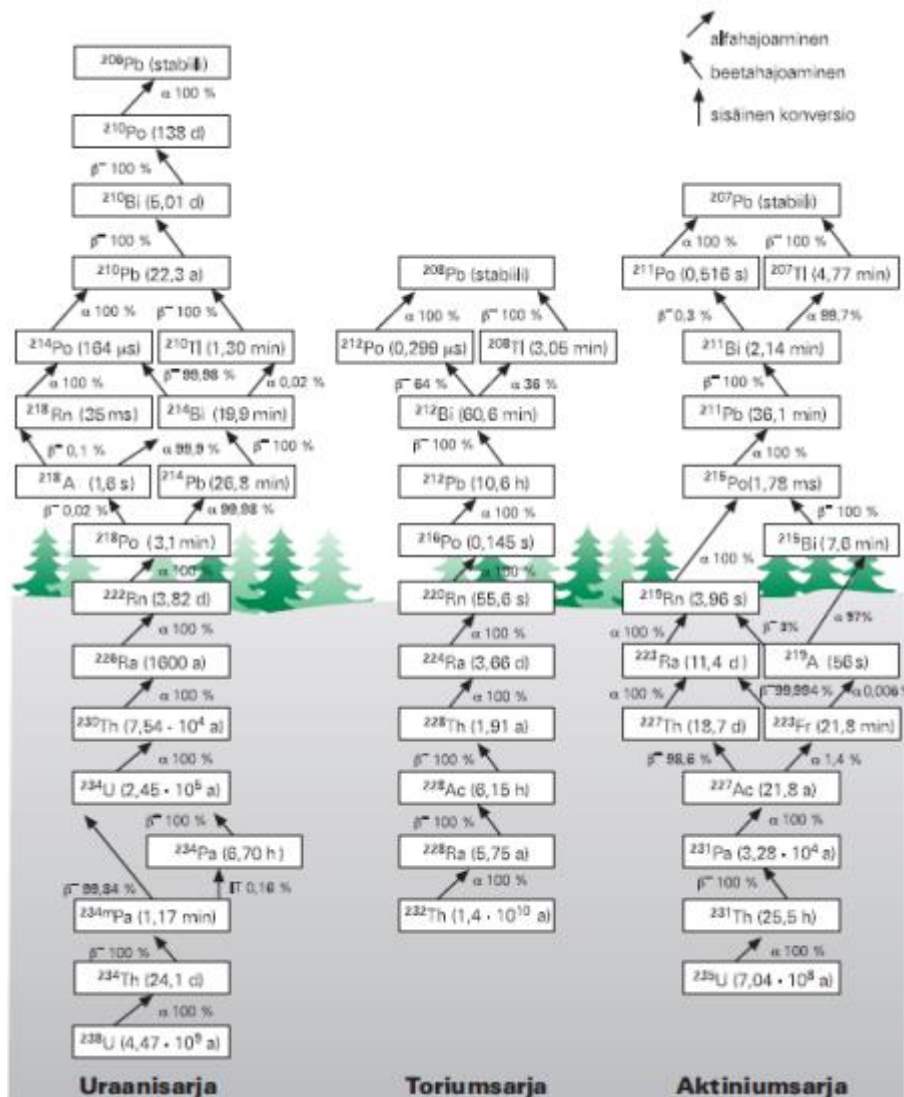
Kaikkialla ympäristössämme on ionisoivaa säteilyä lähettäviä radioaktiivisia aineita. Valtaosa aineista on luonnollisista lähteistä, mutta osa on keinotekoisesti tuotettuja. Kosminen säteily muodostuu auringosta ja aurinkokunnan ulkopuolelta tulevista hiukkasista sekä niiden ja ilmakehän vuorovaikutuksista syntyvistä sekundaarihiukkasista. Maaperässä on erittäin pitkäikäisiä niin sanottuja primordiaalisia radioaktiivisia aineita, jotka ovat olleet olemassa jo maapallon syntyessä. ^{238}U , ^{235}U ja ^{232}Th ovat luonnon hajoamissarjojen lähtönuklidit.

Säteilyaltistuksen kannalta tärkeimmät ovat radioaktiivisen jalokaasun, radonin, tytärnuklidit. Merkittäviä luonnon hajoamissarjoihin kuulumattomia radionuklideja ovat ^{87}Rb ja erityisesti ^{40}K , joka on huomattava sekä sisäisen että ulkoisen säteilyn lähde.

3.2 Luonnon uraani

Luonnossa esiintyvä uraani koostuu kolmesta isotoopista, jotka ovat ^{238}U (99,27%), ^{235}U (0,72%) ja ^{234}U (0,0057%). Uraanin radioaktiivinen hajoaminen koostuu kahdesta erillisestä hajoamissarjasta, joiden kantanuklideina ovat ^{238}U ja ^{235}U . Säteilysuojelun kannalta merkittävimpiä uraanin hajoamistuotteita (tytärnuklideja) ovat radon (^{222}Rn), radium (^{226}Ra), lyijy (^{210}Pb) ja polonium (^{210}Po) (Geologian tutkimuskeskus, 2017).

Luonnossa esiintyvät radioaktiiviset aineet (Naturally Occurring Radioactive Material, NORM) sisältyvät pääasiallisesti kolmeen hajoamissarjaan, jotka ovat uraani-, torium- ja aktiniumsarja (kuva 1). Hajoamissarjojen lähtönuklidit ovat ^{238}U , ^{235}U ja ^{232}Th .



Kuva 1 Luonnon hajoamissarjat (STUK, 2015)

Uraanin ja toriumin tyypillinen aktiivisuuspitoisuus maa- ja kallioperässä on muutama kymmenen becquereliä kilossa (Bq/kg). Paikalliset vaihtelut ovat kuitenkin suuria ja uraani- tai toriumrikkaissa maa-aineksissa pitoisuudet voivat olla tuhansia Bq/kg.

Merkittävin hajoamissarjoihin kuulumaton luonnon radionuklidi on kalium-40 (^{40}K), joka voi olla erityisesti ulkoisen säteilyn lähde. Kaliumia on maa- ja kallioperässä tyypillisesti joitakin satoja Bq/kg. (STUK, 2005).

3.3 Uraani Terrafamen kaivostoiminnassa ja prosessiliuoksessa

Varsinaiseksi uraanimalmiksi luokitellaan malmi, jonka pitoisuus on 1 000 mg/kg (Ydinenergia-asetus 161/1988). Terrafamen kaivoksella kasattavassa malmissa on uraania vaihtelevia määriä. Suurin pitoisuus uraania on mustaliuskeessa, jonka uraanipitoisuus on 15-20 mg/kg. Kasattavassa malmissa on uraania noin 270-360 t/a ja uraanin kokonaissaanti bioliuotuksesta on sekundäariliuotuksen jälkeen keskimäärin 50 %. Osa liuenneesta uraanista päättyy takaisin kasoille liuoskiertoon palautettavan raffinaatin mukana, mutta osa saostuu rautasakan ja loppuneutralointisakan mukana

kipsisakka-altaalle. Vuonna 2016 otetuista sakkanäytteistä loppuneutralointisakkojen liukoisuudet alittivat analyysin määrittäysrajan (0,020 mg/kg) ja rautasakassa liukoisen uraanin pitoisuudet olivat alhaisia; luokkaa 2,5 - 4,3 mg/kg.

Useimmat uraanimineraalit liukenevat helposti veteen. Ajan kuluessa kiviaineksessa olevaa uraania on liennut ympäristöön ja sitä esiintyy myös maaperän orgaanisessa aineksessa. Uraanin on havaittu liukenevan Terrafame Oy:n kasaliuotuksessa päämetallien tapaan; sen on havaittu pysyvän liukoisessa muodossa kuparin ja sinkin sulfidisaostuksessa ja esineutraloinnissa (Terrafamen Ympäristölupahakemus, 2018).

Kasaliuotuskierrosta metallien talteenottolaitokselle johdettavan PLS-liuoksen uraanipitoisuudet ovat alhaisia (noin 15–25 mg/l), mutta uraani voidaan ottaa talteen tarkoitukseen kehitetyllä neste-neste-uuttomenetelmällä, jota varten kaivoksella on lähes valmiiksi rakennettuna uraanin talteenottolaitos. Mikäli uraanin talteenottolaitos otettaisiin käyttöön, kipsisakka-altaalle päätyisi vain noin 10 % aikaisemmasta (noin 50 t vuonna 2016). Prosessin tuotto olisi noin 250 t uraania vuodessa. (Terrafamen Ympäristölupahakemus, 2018).

Uraanille on asetettu kaivoksen ympäristöluvassa luparaja, jonka mukaan vesistöön johdettavan veden kokonaispitoisuudet virtaamapainotteisena kuukausikeskiarvona laskettuna pitää olla alle 10 µg/l. (Terrafamen Ympäristölupahakemus, 2018).

4. RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN ALUEELLISET TAUSTAPITOISUUDET

Luonnon taustasäteily tulee maaperästä, rakennusmateriaaleista ja avaruudesta. Taustasäteily aiheuttaa noin 25% osuuden vuosittaisesta säteilyannoksesta. Pohjavedessä ja kaivovedessä on tavallisesti vain pieniä pitoisuuksia radioaktiivisia aineita kaikkialla Suomessa. Pitoisuudet riippuvat kaivojen sijainnista. Eniten säteilyaltistusta pohjavedessä Suomessa aiheuttaa radon (^{222}Rn). Seuraavaksi merkittävimpiä ovat ^{210}Pb ja ^{210}Po .

Suomessa ei ole yhtenäisiä tietokantoja luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuuksista ympäristössä. Kaivostoimintaan liittyvien säteilyriskien arvioinnissa paras vertailukohta ovat luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuudet. Terrafamen kaivoksen ympäristössä mittauksia on toteuttanut Säteilyturvakeskus.

Säteilyturvakeskus on selvittänyt Terrafamen kaivoksen ympäristössä luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia kaksivuotisessa hankkeessa vuosina 2010-2011. Hankkeen tuloksena saatiin yksityiskohtainen tieto kaivoksen ympäristön radioaktiivisuustasosta. Analysoidut aineet olivat uraani (^{238}U , ^{235}U), torium (^{228}Th , ^{232}Th), radium (^{226}Ra , ^{228}Ra), lyijy (^{210}Pb), polonium (^{210}Po) ja radon (^{222}Rn). Radioaktiivisia näytteitä mitattiin muun muassa jokivedestä, jokisedimentistä, järvi-vedestä, järvisedimentistä, näkinsammalesta, kalan lihasta, sienistä, marjoista, pohjavedestä, maaperästä, viinimarjoista ja perunoista. Lisäksi paikan päällä tehtiin gammaspektrometrisiä *in situ* -mittauksia.

Tulosten perusteella kaivoksen ympäristön radioaktiivisuuspitoisuudet ovat matalia eivätkä poikkea muualta Suomesta mitatuista vastaavien näytteiden pitoisuuksista (Talvivaaran ympäristön radiologinen perustilaselvitys, STUK, 2010-2011).

Terrafamen nikkelimalmi sisältää uraania keskimäärin 20 ppm eli noin 250 Bq/kg (Radiologinen perustilaselvitys, 2010-2011, STUK). GTK:n litogeokemian tietokannan perusteella uraanipitoisuuden vaihtelu Suomen kallioperässä on välillä 0,08 – 55 ppm satunnaisesti otetuissa näytteissä (Lauri L.S., Pohjolainen E. ja Äikäs O., 2010, Selvitys Suomen kallioperän U-pitoisuudesta. Geologian tutkimuskeskus, raportti M10/2010/53).

Vuosina 2010-2011 tehdyssä radiologisessa perustilaselvityksessä maaperästä mitatut aktiivisuuspitoisuudet vaihtelivat välillä 9,3-40 Bq/kg (^{226}Ra), 4,4-31 Bq/kg (^{228}Ra), 4,3-38 Bq/kg (^{228}Th), 4,3-25 Bq/kg (^{232}Th). Uraani-235 ja uraani-238 pitoisuudet jäivät alle määrittämisrajojen (STUK 2010-2011). Maaperästä mitattujen aktiivisuuspitoisuuksien vaihteluvälit vuosina 2010 ja 2011 on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 4-1 Maaperän aktiivisuuspitoisuuksien vaihteluvälit vuosina 2010 ja 2011. (STUK 2010-2011)

	2010	2011
Nuklidi	Vaihteluväli (Bq/kg)	Vaihteluväli (Bq/kg)
Ra-226	9,3-40	16-28
Ra-228	4,4-14	11-31
Th-228	4,3-11	9,4-38
Th-232	4,3-12	10-25
U-235	a.m.	a.m.
U-238	a.m.	a.m.

Radiologisessa perustilaselvityksessä analysoitujen pintavesinäytteiden nuklidipitoisuudet vaihtelivat suurimmassa osassa näytteitä havaitsemisrajan alapuolella. Mitatuista näytteistä vain muutamista saatiin mittaustulos. Pitoisuudet olivat hyvin matalia (taulukko 2),

Taulukko 4-2 Pintavesinäytteistä tutkittujen nuklidien aktiivisuuspitoisuuksien vaihteluvälit vuosina 2010 ja 2011. (STUK 2010-2011)

	2010	2011
Nuklidi	Vaihteluväli (Bq/kg)	Vaihteluväli (Bq/kg)
Ra-226	0,017 tai alle	0,006 tai alle
Ra-228	0,006 tai alle	0,004 tai alle
Th-228	0,004 tai alle	0,004tai alle
Th-232	0,005 tai alle	a.m.

Terrafamen lähialueella vesinäytteistä vuonna 2010 mitatut uraanin aktiivisuuspitoisuudet vaihtelivat näytekohtaisesti seuraavasti (taulukko 3). Taulukossa on vertailuarvona käytetty hyväksi koko Suomen kattavaa aineistoa.

Taulukko 4-3 Uraanin aktiivisuuspitoisuudet näytekohtaisesti vuonna 2010. (STUK 2010-2011)

Näyte	Lkm	U-234 (mBq/l)	U-238 (mBq/l)	U-238 max (mBq/l)	Vertailuarvo U-238	
					Keskiarvo (µg/l)	Maksimi (µg/l)
Porakaivosvesi	6	3-293	2,1-180	14,4	21	12 200
Lähdevesi	3	2,2-3,9	1,8-2,1	0,2	1,2	88
Puro- ja jokivesi	20	2,2-66	1,8-68	5,4	0,21*	13,6
Järvivesi	4	2,6-2,8	1,9-2,1	0,2	0,23**	2,8

*Koko Suomen mediaaniarvo

**Suomen vesilaitosveden uraanipitoisuus pintavedessä

5. AIKAISEMMAT LUONNON RADIOAKTIIVISIIN AINEISIIN LIITTYVÄT SELVITYKSET

Terrafamen kaivoksen luonnossa esiintyvien radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia seurataan vuosittain kaivoksen päästövesistä ja jätejakeista voimassa olevan tarkkailusuunnitelman mukaisesti.

Päästövesistä tutkitaan vuosittain pitkäikäisten alfa- ja beta-aktiivisten aineiden kokonaisaktiivisuus. Alfa-aktiivisia aineita ovat ^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra ja ^{210}Po ja beta-aktiivisia aineita ^{228}Ra , ^{210}Pb ja ^{40}K .

Kipsisakka-altaalle sijoitettavista jätejakeista määritetään kerran vuodessa uraanin tytärnuklidit ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po ja ^{210}Pb .

5.1 Kaivosalueen ympäristön radiologinen perustilaselvitys

Säteilyturvakeskus on tehnyt kaivosalueen ympäristössä radiologisen perustilaselvityksen vuosina 2010–2011 (Säteilyturvakeskus, Talvivaaran ympäristön radiologinen perustilaselvitys, Loppuraportti 31.3.2011), jota on päivitetty alueella tapahtuneen vuodon jälkeen vuonna 2013.

Maaperänäytteissä tytärnuklidien aktiivisuuspitoisuudet vaihtelivat vuosina 2010–2011 seuraavasti;

- ^{226}Ra : 9,3–40 Bq/kg
- ^{228}Ra : 4,4–31 Bq/kg
- ^{210}Pb : 45–263 Bq/kg
- ^{210}Po : 46–274 Bq/kg

Raportin mukaan radioaktiivisuuspitoisuudet alueen ympäristössä olivat normaalia tasoa, eivätkä poikenneet muualta Suomesta mitatuista vastaavien näytteiden tuloksista.

5.2 Uraanin tytärnuklidien pitoisuudet prosessivesikierron ja liuotuskasoissa

Uraanin tytärnuklidien pitoisuuksia prosessiliuoksissa ja liuotuskasoissa on kartoitettu Säteilyturvakeskuksen toimesta vuonna 2010. Tuolloin näytteitä otettiin syöttöliuoksesta, raffinaatista, takaisinuuttoliuoksesta, ladatusta uuttoliuoksesta, PLS-Liuoksesta, lopputuotteesta (NiCoS), esineutralointisakasta (EsNe), kipsisakasta sekä kasanäytteestä.

Tutkimuksen mukaan uraanin tytärnuklidit eivät liukene merkittävässä määrin kaivoksen prosessivesikiertoon, vaan ne jäävät pääasiassa bioliuotuskasoihin.

5.3 Bioliuotuskasojen ympäristön mittaukset

Bioliuotuskasojen ympäristöstä on tehty radium- (^{226}Ra , ^{228}Ra) ja radonmittaukset vuonna 2014. Näytepaikkojen ja käytettävien menetelmien valinnassa konsultoitiin Säteilyturvakeskusta. Radonanalyysien mittauspaikat valittiin sekä sekundääri- että primäärioliuotuksen alueelta niin, että ne kattoivat mahdollisimman laajasti liuotuskasa-alueet. Sekä sekundäärillä että primäärillä sijoitettiin näytenpisteet kiertoliuoksen ulostulon lähetyville. Lisäksi mitattiin kasan ulkoreunalta ja aumojen välistä. Myös pumpaamoille tehtiin mittauksia. Radium-analyysit (^{226}Ra , ^{228}Ra) tehtiin primääri- ja sekundäärikasojen kiertoliuoksesta.

Näytteissä ei suoraan pystytty havaitsemaan ^{226}Ra :a tai ^{228}Ra :aa. Radonmittaustulokset olivat kaikissa mittauspisteissä ≤ 30 Bq/m³.

5.4 Kaivosalueelta ympäristöön johdettavan veden radioaktiivisuusmittaukset

Kaivosalueelta purettavalle vedelle tehdään vuosittain radioaktiivisuusmittauksia osana yhtiön velvoitetarkkailua. Vesinäytteiden analysoinnista on vastannut Säteilyturvakeskus (STUK).

Mittauksilla selvitetään veden pitkäaikaisten alfa- ja beeta-aktiivisten aineiden kokonaisaktiivisuutta ja arvioidaan tarvetta määrittää tarkkailuohjelmassa esitetyt uraanin hajoamistuotteet. Uraanin tytärnuklidit määritetään, mikäli alfa- ja beeta-aktiivisten aineiden pitoisuudet ylittävät tason 0,1-0,2 Bq/l. Myös veden radonpitoisuus määritetään.

Vuonna 2019 radonmääritys jäi tekemättä laboratorion inhimillisen virheen vuoksi. Tarkkailuohjelman mukaan uraanin tytärnuklidien yhteismäärä tulee määrittää ainekohtaisesti, kun alfa- ja beeta-aktiivisten aineiden pitoisuus ylittää 0,1 – 0,2 Bq/l. Uraanianalyysijä ei ole vielä kirjaamishetkellä tehty, mutta niitä tehdään kootusti useammasta näytteestä maaliskuussa 2020 ja ne raportoidaan myöhemmin.

Vuonna 2014 Kortelampi 2:n, Torrakkopuron, Latosuon ja Kuusilammen vesinäytteistä määritettiin radioaktiivisten aineiden aktiivisuusindeksit. Turvallisuustavoite toteutuu, kun aktiivisuusindeksin arvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 1. Mitatuissa paikoissa aktiivisuusindeksit olivat välillä 0,28 - 0,60. Vuonna 2015 mittaukset tehtiin Latosuon vesinäytteelle ja aktiivisuusindeksi oli 0,47. Turvallisuustavoitteet toteutuivat jokaisen näytteen osalta. Vuonna 2016 mitattavana olivat Latosuon, Kuusilammen, Kortelammen 1 ja 2, Kärälämmen sekä purkuputken vesinäytteet. Mittaustulosten perusteella aktiivisuuspitoisuudet olivat jokaisessa näytteessä hyvin alhaiset, useissa alle mittausrajan.

Kärälämmestä ei juoksutettu vuonna 2019 vesiä ympäristöön eikä myöskään otettu velvoitetarkkailunäytteitä. Vuonna 2019 Kortelammen käsittely-yksikkö ei ollut käytössä lainkaan. Vettä on juoksutettu Kortelammelta viimeksi toukokuussa 2016.

5.5 Kipsisakka-altaalle sijoitettavien jättejakeiden sakkojen aktiivisuusmääritys

Radioaktiivisuusmääritykset tehdään vuosittain kipsisakka-altaalle sijoitettavista jätteistä eli loppuneutralointisakasta, rautasakasta ja vesienkäsittelysakasta. Määritykset tehtiin kokoomanäytteistä muodostetuista vuosikokoomista. Näytteistä määritettiin polonium (^{210}Po), lyijy (^{210}Pb) sekä radium (^{226}Ra , ^{228}Ra). Vastaavat määritykset on tehty vuoden 2016 ja 2017 tammi-joulukuun kokoomanäytteistä muodostetuista vuosikokoomista ja vuoden 2014 ja 2015 touko-elokuun kokoomanäytteistä. Vuosien 2014-2018 tulokset on esitetty taulukossa 5-1.

Uraanin talteenoton ympäristövaikutusten arviointiselostuksen mukaan kipsisakan radiumin (^{226}Ra) aktiivisuuspitoisuus oli alle 10 Bq/kg.

Taulukko 5-1 Kipsisakka-altaalle sijoitettavien jätejakeiden sakkojen aktiivisuuspitoisuudet

	2014 (Bq/kg)	2015 (Bq/kg)	2016 (Bq/kg)	2017 (Bq/kg)	2018 (Bq/kg)
Loppuneutralointisakka (646)					
Ra-226	5,0±3,0	<2,8	<10,0	7,1±2,1	6,4±0,2
Ra-228	1,17±0,21	<0,8	0,75±0,21	0,78±0,30	0,76±0,16
Pb-210	1,14±0,77	6,4±1,6	5,6±1,4	6,6±2,6	<3,5
Po-210	11,5±4,6	<2,2	7,1±1,0	8,6±1,7	0,0031±0,00 2
Rautasakka (645)					
Ra-226	2,0±1,2	<2,8	<13,4	2,8±0,8	4,2±0,3
Ra-228	1,70±0,20	<0,8	2,7±0,9	2,1±0,6	2,9±0,3
Pb-210	1,80±0,87	4,2±0,9	3,3±1,4	<8,5	<6
Po-210	12,1±4,9	6,1±1,6	4,5±0,9	<1,2	0,0024±0,00 3
Esineutralointisakka (653)					
Ra-226			<3,0		
Ra-228			0,46±0,21		
Pb-210			9,5±2,7		
Po-210			10,3±1,5		
Vesienkäsittelysakka (572)					
Ra-226				7,6±2,3	5,2±0,4
Ra-228				2,8±0,9	1,46±0,6
Pb-210					<3,0
Po-210					0,0025±0,00 2

6. VUONNA 2019 TEHTY SELVITYS

Vuonna 2019 tehdyssä tutkimuksessa keskityttiin uraanin tytärnuklidien radioaktiivisten isotooppien (^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb) kartoittamiseen niiden liikkuaessa prosessin läpi. Näiden lisäksi analysoitiin toriumsarjan nuklideja (^{232}Th , ^{228}Th ja ^{228}Ra), radiumsarjan nuklideja (^{238}U , ^{234}Th , ^{230}Th ja vesinäytteistä ^{234}U), aktiniumsarjan nuklideja (^{235}U , ^{227}Ac , ^{227}Th , ^{231}Pa ja ^{223}Ra). Lisäksi analysoitiin ^{40}K , joka on luonnon merkittävin hajoamissarjoihin kuulumaton nuklidi.

6.1 Näytteenotto

Luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuuksien selvittämiseksi eri prosessivaiheissa otettiin seuraavat näytteet:

- **Louhittu malmi** (1 edustava kokoomanäyte)
- **Sivukivet**
 - o Edustavat kokoomanäytteet tärkeimmistä sivukivilajeista (mustaliuske, metakarbonaatti, kiilleliuske, kvartsiitti, kvartsijuoni)
 - o sivukivialueiden suoto- ja valumavedet (KL 2 Rakenteiden alapuoliset vedet DP5, KL 2 Suodosvedet DP4, KL2 Suodosvedet DP 5)
- **Primääriliuotuskasa**
 - o Kaksi kokoomanäytettä: P1 Primäärin uusi malmi, P2 Primäärin keski-ikäinen malmi
 - o Primäärikasoilta lähtevä liuos
- **Sekundääriliuotuskasa**
 - o 3 Kokoomanäytettä (S1 Sekundäärin uusi malmi, S2 Sekundäärin keski-ikäinen malmi, S3 Sekundäärin vanha malmi)
 - o Sekundäärikasoilta lähtevä liuos
 - o Sekundäärikasojen suoto- ja valumavedet
- **Purkuputki**, lähtevä vesi

6.2 Analyysit

Näytteet analysoitiin ALS Global:n akkreditoiduissa laboratorioissa Prahassa ja Luulajassa. Luonnollisten toriumisotooppien (Th-232 ja Th-230) aktiivisuuspitoisuuden määrittämiseksi ICP-SFMS -menetelmällä vastasi ALS Scandinavia AB, Luleå, Ruotsi (Akkreditointielin: SWEDAC Akkreditointinumero: 2030). Muista analyyseistä vastasi ALS Czech Republic (Akkreditointielin: CAIAkkreditointinumero: 1163). Kaikki analyysitulokset on esitetty liitteessä 1. Kiinteistä näytteistä tehdyt määritykset on esitetty taulukossa 6-1 ja nestemäisistä näytteistä tehdyt määritykset taulukossa 6-2.

Taulukko 6-1. Kiinteistä näytteistä tehdyt määritykset, yksiköt ja raportointirajat.

Analyysimenetelmä	Kuvaus	Isotoopit	Yksikkö	LOR (Limit of reporting)
S-PO210DSCI	Polonium 210 -isotoopin määrittäminen kokonaishajotuksen ja sen konsentraation jälkeen ZnS(Ag)-sorptiolla emittoivien tuikeiden mittauksella. ¹	Polonium 210	Bq/kg	50
S-RAD-NAT/PR	Ei-hajottavien radio-nuklidien (25) määrittäminen korkean havainnointikyvyn gammaspekt-	Aktinium 227 Lyijy 210 Kalium-40 Protaktinium 231	Bq/kg	1,0 50 10 5,0

Analyysi- menetelmä	Kuvaus	Isotoopit	Yk- sikkö	LOR (Limit of reporting)
	rometrillä. Massa-aktiivisuusindeksien I ja ACI määrittäminen yksittäisten radionuklidien tilavuusaktiivisuuksista laske- malla.	Radium 223, 226 ja 228 Torium 227, 228 Torium 234 Uraani 235 Uraani 238		1,0 1,0 10 1,0 10
S-TH232-0	Luonnollisten toriumisotooppien (Th-232 ja Th-230) aktiivisuuspitoisuuden määrittäminen ICP-SFMS -menetelmällä.	Torium 232 Torium 230	Bq/kg ja µg/kg Bq/kg ja µg/kg	0,1 25 8 0,01

Taulukko 6-2. Nestemäisistä näytteistä tehty määrittäminen, yksiköt ja raportointirajat.

Analyysi- menetelmä	Kuvaus	Isotoopit	Yksikkö	LOR (Limit of reporting)
W-PO210SCI	Polonium 210 -isotoopin määrittäminen kokenaishajotuksen ja sen konsentraation jälkeen ZnS(Ag)-sorptiolla emittoivien tuikkien mittauksella. ¹	Polonium 210	Bq/l	0,05
W-RAD-NAT	Ei-hajottavien radio-nuklidien (25) määrittäminen korkean havainnointikyvyn gamma-spektrometrillä. Massa-aktiivisuusindeksien I ja ACI määrittäminen yksittäisten radionuklidien tilavuusaktiivisuuksista laskemalla.	Aktinium 227 Lyijy 210 Kalium-40 Protaktinium 231 Radium 223, 226 ja 228 Torium 227, 228 Torium 234	Bq/l	0,2 10 2,0 1,0 0,20 0,20 2,0
W-TH232-0	Luonnollisten toriumisotooppien (Th-232 ja Th-230) aktiivisuuspitoisuuden määrittäminen ICP-SFMS -menetelmällä.	Torium 232 Torium 230	Bq/l	0,001 0,004
W-U238-5-4	Luonnollisten uraani-isotooppien (U-238, U-235 ja U-234) aktiivisuuspitoisuuden määrittäminen ICP-SFMS -tekniikalla.	Uraani 238 Uraani 235 Uraani 234	Bq/l	0,001 0,001 0,004
W-U-PHO	Uraanin määrittäminen spektrofotometrillä silikageelieroituksen jälkeen. Uraani-isotoopin U-238 määrittäminen laskennallisesti mitatuista arvoista.	Uraani	mg/l	0,002
W-METMSFX5	Alkuaineiden määrittäminen induktiivisesti kytketty plasmamassaspektrometrillä (ICP-MS) ja yhdisteiden pitoisuuksien määrittäminen stoikiometristen laskentojen avulla mitatuista arvoista, sisältäen myös kokonaismineralisaation laskennan ja summan Ca +Mg laskennan. Näytteeseen lisättiin typpihappoa ennen analyysia.	Uraani	µg/l	0,1

6.3 Tutkimuksen ulkopuolelle rajatut aineet ja prosessit

Aktiniumsarjan isotooppeja ei määritetty, sillä niiden rikastumista kaivostoiminnassa pidetään epätodennäköisenä.

Uusia näytteenottoja ja mittauksia ei tehty kaivoksen tuotteista, sillä tuotantoliuoksessa tytäraineiden pitoisuuden suuruusluokka on vähäinen. Uusintatutkimuksia ei myöskään ollut tarpeen tehdä sakkojen jätealueilla (kipsisakka, geotuubit), koska alueelle läjitettävien sakkojen luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia seurataan velvoitetarkkailun puitteissa. Tarkkailutulosten mukaan sakoissa ei ole merkittäviä määriä uraanin tytäraineita. Näin ollen ei ole tarvetta mitata tytärnuklidienpitoisuuksia erikseen myöskään näiden alueiden suoto- ja valumavesistä.

Vuoden 2014 lupapäätöksen lupamääräyksessä 11 luonnon radioaktiivisten aineiden ilmaan haihtuvalla osuudella tarkoitetaan radonia. Erillisiä radonmittauksia ei tässä tapauksessa tarvita, koska radon laimenee nopeasti ulkoilmassa.

Ilmapäästöjen radiokemiallisia määrittämiä ei tässä vaiheessa voitu toteuttaa, koska soveltuvan näytteenottomenetelmän selvitykset ovat vielä kesken. Näytteenottomenetelmän varmistuttua ilmapäästöt voidaan mitata ilmankerääjällä otettavista aerosolinäytteistä 7 pisteestä, samoista pisteistä kuin laskeumatarkkailun näytteet: Pöly01, Pöly02, Pöly03, Pöly09, Pöly10, Pöly12, Pöly14. Näytteet otetaan samoista paikoista kuin kaivoksen laskeumatarkkailun näytteet, jotta aerosoli- ja laskeumatuloksia voidaan vertailla. Lisäksi uraanin talteenottolaitoksen ilmapäästömittauksissa (aerosolinäytteet) saadaan jatkossa tuloksia myös radonin tytärnuklideista. Näitä ilmapäästötuloksia voidaan verrata tavanomaisiin ulkoilmassa esiintyviin pitoisuuksiin, jotka saadaan STUKin valtakunnallisen ilman radioaktiivisuusvalvonnan tuloksista.

6.4 Selvitys analyysituloksissa todetuista epävarmuuksista

Raportin toimittamisen jälkeen laboratorion analyysituloksissa havaittiin epävarmuuksia. Epäselvyydet koskivat primääri- ja sekundäärikasoilta lähtevän liuoksen, sivukivialueen rakenteiden alapuolisen veden ja suotoveden sekä ympäristöön johdettava veden tuloksia. Raportoidut kokonaisuraanipitoisuudet eivät täsmänneet uraanin isotooppien aktiivisuuspitoisuuksien kanssa eivätkä Terrafamen käyttö- ja velvoitetarkkailun tulosten kanssa.

Laboratorion selvityksessä havaittiin, että epävarmuudet liittyivät etenkin fotometrisesti määritettyihin uraanin kokonaispitoisuuksiin. Laboratorion mukaan tulosten vertailu eri analyysitekniikoiden kesken ei ole optimaalista. Suuren erottelutarkkuuden ICP-SFMS -tekniikalla (W-U238-5-4) isotooppien aktiiviset pitoisuudet määritetään spesifisesti, jolloin saadaan tarkka tulos yksittäiselle isotoopille. Fotometrinen menetelmä taas antaa tulokseksi yleispitoisuuden eli mukana voi olla muita tekijöitä.

Tässä raportin päivitettyssä versiossa on primääri- ja sekundäärikasoilta lähtevän liuoksen, sivukivialueen rakenteiden alapuolisen veden ja suotoveden sekä ympäristöön johdettava veden vuonna 2019 määritettyjen kokonaisuraanipitoisuuksien lisäksi esitetty myös aktiivisuuspitoisuuksista laskeutuneesta arvioidut kokonaisuraanin massaperusteiset pitoisuudet ja vuoden 2019 käyttö- ja velvoitetarkkailun tulokset.

7. TULOKSET

7.1 Malmin louhinta

Malmin louhinta on Terrafamen tuotantoprosessin ensimmäinen vaihe. Vuonna 2019 malmia louhittiin yhteensä 32,3 Mt.

Kokoomanäytteet otettiin 10.12.2019 louhitusta malmista, mustaliuskesivukivestä, metakarbonaattisivukivestä, kiilleliuskeesta, kvartsiitista ja kvartsijuonista. Näytteistä analysoitiin muun muassa kuiva-ainepitoisuus ja uraanin tytärnuklidien radioaktiiviset isotoopit ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po ja ^{210}Pb . Analyysitulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 7-1 Malmin ja sivukivien analyysitulokset

		Louhittu malmi	Mustaliuskesivukivi	Metakarbonaatti sivukivi	Kiilleliuske	Kvartsiitti	Kvartsijuoni
Kuiva-aine	%	99,8	99,9	99,8	99,9	99,9	100
Aktiivisuuspitoisuudet							
^{210}Po	Bq/kg ka	341±51	255±38	56±8	<50	<50	<50
^{232}Th	Bq/kg ka	21,8	45,5	27,4	37,3	13,3	0,9
^{230}Th	Bq/kg ka	254	233	84	45	158	<8
^{227}Ac	Bq/kg ka	<5,5	11,1±25%	<3,5	<3,3	<1,5	<1,0
^{210}Pb	Bq/kg ka	133±25%	120±25%	<50	<50	<50	<50
^{40}K	Bq/kg ka	949±190%	1040±207	135±27	765±153	264±53	<10
^{231}Pa	Bq/kg ka	<13,0	<15,0	<10,0	<10,0	<5,0	<2,0
^{223}Ra	Bq/kg ka	<5,6	12,2±25%	<3,5	<3,5	<1,9	<1,0
^{226}Ra	Bq/kg ka	232±34,8	191±28,6	58,5±8,8	27,9±4,2	8,9±1,3	<1,0
^{228}Ra	Bq/kg ka	23,1±3,5	46,2±6,9	26±3,9	38,5±5,8	12,4±1,9	<1,0
^{227}Th	Bq/kg ka	<5,5	10,2±20%	<3,5	<3,3	<1,5	<1,0
^{228}Th	Bq/kg ka	23,5±3,5	44,7±6,7	24,4±3,7	37,4±5,6	11,3±1,7	<1,0
^{234}Th	Bq/kg ka	233±25%	207±25%	43±25%	29±30%	10±40%	<10
^{235}U	Bq/kg ka	10,8±25%	9,6±25%	2,5±30%	1,6±30%	<1,0	<1,0
^{238}U	Bq/kg ka	233±25%	207±25%	43±25%	29±30%	10±40%	<10
Aktiivisuuspitoisuuden pohjalta laskennalliset määritetyt pitoisuudet							
^{232}Th	µg/kg	5370	11200	6740	9190	3270	223
^{230}Th	µg/kg	0,333	0,305	0,11	0,059	0,207	<0,010

7.2 Primääriliuotus

Primääriliuotusvaiheen kasalta otettiin näytteet eri liuotusvaiheita edustavasta malmista; P1 Primäärin uusi malmi, P2 Primäärin keski-ikäinen malmi sekä primäärikasoilta lähtevä liuos. Analyysitulokset on esitetty taulukoissa 7-2 ja 7-3. Taulukossa 7-3 on esitetty myös uraanin isotooppien ^{235}U , ^{238}U ja ^{234}U aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskennallisesti määritetty kokonaisuraanin pitoisuus sekä Terrafamen vuosien 2019 ja 2020 käyttötarkkailuun pohjautuvat PLS-liuoksen keskimääräiset uraanipitoisuudet. Tätä raporttia varten tutkitun primäärikasoilta lähtevän PLS-liuoksen uraanin kokonaispitoisuus poikkeaa merkittävästi sekä laskennallisesti arvioidusta kokonaisuraanin pitoisuudesta että Terrafamen käyttötarkkailun mukaisista keskimääräisistä PLS-liuoksen uraanipitoisuuksista, jotka puolestaan ovat keskenään samaa luokkaa. Näin ollen vaikuttaisi, että myös ICP-MS tuloksiin liittyy epävarmuuksia.

Taulukko 7-2 Primääriliuotusvaiheen malminäytteiden analyysitulokset

		P1 Uusi malmi	P2 Keski-ikäinen malmi
Kuiva-aine	%	97,9	98,4
Aktiivisuuspitoisuudet			
^{210}Po	Bq/kg ka.	302 ± 45	188 ± 28
^{232}Th	Bq/kg ka.	12,5	13,6
^{230}Th	Bq/kg ka.	199	150
^{227}Ac	Bq/kg ka.	10,3 ± 30%	8,9 ± 30%
^{210}Pb	Bq/kg ka.	111 ± 40%	105 ± 40%

		P1 Uusi malmi	P2 Keski-ikäinen malmi
⁴⁰ K	Bq/kg ka.	823 ± 165	802 ± 160
²³¹ Pa	Bq/kg ka.	<23	<24,0
²²³ Ra	Bq/kg ka.	7,2 ± 60%	<9,1
²²⁶ Ra	Bq/kg ka.	176 ± 26,4	174 ± 26,1
²²⁸ Ra	Bq/kg ka.	22,9 ± 3,4	21,8 ± 3,3
²²⁷ Th	Bq/kg ka.	13,3 ± 20%	8,2 ± 30%
²²⁸ Th	Bq/kg ka.	20,2 ± 3,0	20,4 ± 25%
²³⁴ Th	Bq/kg ka.	308 ± 30%	142 ± 60%
²³⁵ U	Bq/kg ka.	14,8 ± 20%	8,9 ± 25%
²³⁸ U	Bq/kg ka.	322 ± 20%	193 ± 25%
Aktiivisuuspitoisuuden pohjalta laskennalliset määritetyt pitoisuudet			
²³² Th pit	µg/kg	3080	3340
²³⁰ Th pit	µg/kg	0,26	0,197

Taulukko 7-3. Primääriliuotuskasalta lähtevän PLS-liuoksen analyysitulokset. *Terrafame, uraanitase 2019,

		Lähtevä liuos
Aktiivisuuspitoisuudet		
²¹⁰ Po	Bq/l	0,52 ± 0,08
²³² Th	Bq/l	2,16
²³⁰ Th	Bq/l	20,5
²²⁷ Ac	Bq/l	<0,5
²¹⁰ Pb	Bq/l	<10
⁴⁰ K	Bq/l	<2,0
²³¹ Pa	Bq/l	<2,0
²²³ Ra	Bq/l	<0,60
²²⁶ Ra	Bq/l	0,2
²²⁸ Ra	Bq/l	<0,25
²²⁷ Th	Bq/l	<0,46
²²⁸ Th	Bq/l	1,1 ± 20%
²³⁴ Th	Bq/l	217 ± 32,6
²³⁵ U	Bq/l	21,4
²³⁸ U	Bq/l	455
²³⁴ U	Bq/l	476
Uraani (ICP-MS-menetelmällä määritetty kokonaispitoisuus)		
Uraanin isotooppien ²³⁵ U, ²³⁸ U ja ²³⁴ U aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskennallisesti määritetty kokonaisuraanin pitoisuus	µg/l	<100
Vuoden 2019 ja 2020 käyttötarkkailun mukainen keskimääräinen uraanin kokonaispitoisuus*	mg/l	19
	mg/l	22 (2019) 38 (2020)

7.3 Sekundääriliuotus

Sekundäärivaiheen bioliuotuskasalta otettiin myös näytteet eri liuotusvaiheita kuvaavista malmeista; S1 Sekundäärin uusi malmi, S2 Sekundäärin keski-ikäinen malmi ja S3 sekundäärin vanha malmi. Lisäksi analysoitiin näytteet sekundäärikasoilta lähtevästä liuoksesta sekä sekundäärikasojen suoto- ja valumavesistä. Kaikki analyysitulokset on esitetty taulukoissa 7-4 ja 7-5. Taulukossa 7-5 on esitetty myös uraanin isotooppien ²³⁵U, ²³⁸U ja ²³⁴U aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskennallisesti määritetty kokonaisuraanin pitoisuus sekä Terrafamen vuosien 2019 ja 2020 käyttötarkkailuun pohjautuvat PLS-liuoksen ja suoto- ja valumavesien keskimääräiset uraanipitoisuudet. Fotometrisesti määritetty suoto- ja valumavesien kokonaisuraanin pitoisuus on yhtenevä käyttötarkkailun tulosten kanssa.

Taulukko 7-4 Sekundääriliuotusvaiheen malminäytteiden analyysitulokset

		S1 Uusi malmi	S2 Keski-ikäinen malmi	S3 Vanha malmi
Kuiva-aine	%	90,3	100	65,5
Aktiivisuuspitoisuudet				
²¹⁰ Po	Bq/kg ka.	199 ± 30	238 ± 36	166 ± 25
²³² Th	Bq/kg ka.	16,6	13,1	16,2
²³⁰ Th	Bq/kg ka.	184	143	147
²²⁷ Ac	Bq/kg ka.	9,8 ± 30%	9,5 ± 30%	6,3 ± 60%
²¹⁰ Pb	Bq/kg ka.	108 ± 40%	113 ± 40%	102 ± 40%
⁴⁰ K	Bq/kg ka.	779 ± 156	797 ± 159	872 ± 174
²³¹ Pa	Bq/kg ka.	<25,0	<24,0	<30,0
²²³ Ra	Bq/kg ka.	<10,0	9,2 ± 30%	10,9 ± 30%
²²⁶ Ra	Bq/kg ka.	191 ± 28,6	177 ± 26,6	164 ± 24,6
²²⁸ Ra	Bq/kg ka.	21,6 ± 3,2	23,7 ± 3,6	22,6 ± 20%
²²⁷ Th	Bq/kg ka.	9,8 ± 25%	9,5 ± 25%	6,3 ± 60%
²²⁸ Th	Bq/kg ka.	22 ± 20%	23,9 ± 20%	20,2 ± 25%
²³⁴ Th	Bq/kg ka.	130 ± 70%	122 ± 70%	73 ± 60%
²³⁵ U	Bq/kg ka.	8,4 ± 30%	9 ± 25%	6,4 ± 30%
²³⁸ U	Bq/kg ka.	182 ± 30%	195 ± 25%	138 ± 30%
Aktiivisuuspitoisuuden pohjalta laskennalliset määritetty pitoisuus				
²³⁰ Th pit	µg/kg	0,241	0,188	0,192
²³² Th pit	µg/kg	4100	3240	4000

Taulukko 7-5. Sekundääriliuotuskasoilta lähtevän liuoksen ja suota- ja valumavesien analyysitulokset

		Lähtevä liuos	Suota- ja valumavedet
Aktiivisuuspitoisuudet			
²¹⁰ Po	Bq/l	<0,06	<0,05
²³² Th	Bq/l	1,45	0,05
²³⁰ Th	Bq/l	13,9	0,379
²²⁷ Ac	Bq/l	<0,40	<0,20
²¹⁰ Pb	Bq/l	<10	<10
⁴⁰ K	Bq/l	<2,0	<2,0
²³¹ Pa	Bq/l	<2	<1
²²³ Ra	Bq/l	0,6	<0,20
²²⁶ Ra	Bq/l	<0,20	<0,20
²²⁸ Ra	Bq/l	<0,21	<0,20
²²⁷ Th	Bq/l	<0,37	<0,20
²²⁸ Th	Bq/l	0,66 ± 25%	<0,20
²³⁴ Th	Bq/l	162 ± 20%	<2,0
²³⁵ U	Bq/l	16,6	0,098
²³⁸ U	Bq/l	355	2,1
²³⁴ U	Bq/l	367	2,41
Fotometrisesti määritetty kokonaisuraanipitoisuus	mg/l	-	0,128 ± 0,013 mg/l
Uraani (ICP-MS-menetelmällä määritetty kokonaispitoisuus)	µg/l	<100	
Uraanin isotooppien ²³⁵ U, ²³⁸ U ja ²³⁴ U aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskennallisesti määritetty kokonaisuraanin pitoisuus	mg/l	30	
Vuoden 2019 ja 2020 käyttötarkkailun mukainen kesimääräinen uraanin kokonaispitoisuus*	mg/l	10-20 (2019) 28 (2020)	0,128 (2019 ja 2020)

7.4 Sivukivialueen rakenteiden alapuoliset vedet ja suodosvedet

Sivukivialueen rakenteiden alapuolisista vesistä ja suodosvesistä otettiin näytteet 30.9.2019 (KL2 Rakenteiden alapuoliset vedet DP 5, KL2 Suodosvedet DP 4 ja KL2 Suodosvedet DP 5). Analyysitulokset on esitetty taulukossa 7-6. Taulukossa on esitetty myös uraanin isotooppien ^{235}U , ^{238}U ja ^{234}U aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskennallisesti määritetty kokonaisuraanin pitoisuus sekä Terrafamen vuosien 2019 ja 2020 käyttötarkkailuun pohjautuvat keskimääräiset uraanipitoisuudet. Fotometrisesti määritetty suoto- ja valumavesien kokonaisuraanin pitoisuudet poikkeavat käyttötarkkailun tuloksista, jotka kuitenkin ovat samaa suuruusluokkaa aktiivisuuspitoisuuksista laskennallisesti johdettujen massaperusteisten kokonaisuraanipitoisuuksien kanssa.

Taulukko 7-6 Sivukivialueen KL2 rakenteiden alapuolisten vesien ja suodosvesien analyysitulokset

		Rakenteiden alapuoliset vedet DP5	Suodosvedet DP4	Suodosvedet DP5
Aktiivisuuspitoisuudet				
^{210}Po	Bq/l	<0,05	0,22 ± 0,05	0,13 ± 0,04
^{232}Th	Bq/l	0,001	0,644	0,354
^{230}Th	Bq/l	<0,004	2,31	3,65
^{227}Ac	Bq/l	<0,20	<0,26	0,58 ± 30%
^{210}Pb	Bq/l	<10	<10	<10
^{40}K	Bq/l	<2,0	<2,0	<2,0
^{231}Pa	Bq/l	<1	<1	<1
^{223}Ra	Bq/l	0,21	<0,27	0,49 ± 25%
^{226}Ra	Bq/l	<0,20	<0,20	0,2
^{228}Ra	Bq/l	<0,20	<0,20	0,2
^{227}Th	Bq/l	<0,20	<0,26	0,68 ± 25%
^{228}Th	Bq/l	<0,20	0,78 ± 20%	<0,20
^{234}Th	Bq/l	<2,0	23,1 ± 3,5	55,7 ± 8,4
^{235}U	Bq/l	0,006	2,63	4,19
^{238}U	Bq/l	0,123	56,1	90,1
^{234}U	Bq/l	0,214	65,1	94,6
Fotometrisesti määritetty kokonaisuraanipitoisuus				
Fotometrisesti määritetty kokonaisuraanipitoisuus	mg/l	0,008 ± 0,002	0,537 ± 0,054	0,003 ± 0,001
Uraanin isotooppien ^{235}U , ^{238}U ja ^{234}U aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskennallisesti määritetty kokonaisuraanin pitoisuus	mg/l		5	7,5
Vuoden 2019 ja 2020 käyttötarkkailun mukainen keskimääräinen uraanin kokonaispitoisuus*	mg/l	0,008 (2019) 0,0265 (2020)	0,1 - 6 (2019) 12,19 (2020)	2,9 - 11 (2019) 12,73 (2020)

7.5 Ympäristöön johdettava vesi

Nykytilanteessa vesistöön johdetaan vettä pääasiassa Purkuputken kautta. Käsittelyä vaativat vedet ohjataan keskusvedenpuhdistamolle, josta vedet ohjataan kipsisakka-altaan kautta Latosuolle tai muuhun alueen vesivarastoon. Latosuolta vettä voidaan johtaa lähivesistöjen kautta ns. vanhoja purkureittejä pitkin tai purkuputkesta suoraan Nuasjärveen.

Radiokemiallisia määrittelyjä varten näyte ympäristöön johdettavasta vedestä otettiin 30.9.2019 purkuputken päästä. Analyysitulokset on esitetty taulukossa 7-7. Lähes kaikkien tutkittujen aineiden pitoisuudet alittivat laboratorion määrittelyrajat. Taulukossa on esitetty myös Terrafamen vuosien 2019 ja 2020 velvoitetarkkailuun pohjautuvat keskimääräiset uraanipitoisuudet. Fotometrisesti määritetty kokonaisuraanin pitoisuus on samaa suuruusluokkaa fotometrisesti määritetyn kokonaisuraanin pitoisuuden kanssa.

Taulukko 7-7. Purkuputken vesinäytteen analyysitulokset.

		Purkuputki
Aktiivisuuspitoisuudet		
²¹⁰ Po	Bq/l	<0,05
²³² Th	Bq/l	0,062
²³⁰ Th	Bq/l	0,039
²²⁷ Ac	Bq/l	<0,20
²¹⁰ Pb	Bq/l	<10
⁴⁰ K	Bq/l	<2,0
²³¹ Pa	Bq/l	<1
²²³ Ra	Bq/l	<0,21
²²⁶ Ra	Bq/l	<0,20
²²⁸ Ra	Bq/l	<0,20
²²⁷ Th	Bq/l	<0,20
²²⁸ Th	Bq/l	<0,20
²³⁴ Th	Bq/l	<2,0
²³⁵ U	Bq/l	0,002
²³⁸ U	Bq/l	0,036
²³⁴ U	Bq/l	0,067
Fotometrisesti määritetty kokonaisuraanipitoisuus	mg/l	<0,002
Vuoden 2019 ja 2020 käyttötarkkailun mukainen keskimääräinen uraanin kokonaispitoisuus*	mg/l	<0,002 (2019) 0,0034 (2020)

8. TULOSTEN TARKASTELU

8.1 Uraanin kokonaisaktiivisuuspitoisuus

Kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuudella tarkoitetaan uraanin isotooppien U-238, U-234 ja U-235 yhteenlaskettua aktiivisuuspitoisuutta (esim. Bq/l tai Bq/kg). Jos U-234 mittaustulosta ei ole, oletetaan U-238 ja U-234 aktiivisuuspitoisuudet yhtä suuriksi, eli kerrotaan U-238 aktiivisuuspitoisuus kahdella. Vuoden 2019 tutkimuksissa kiinteistä näytteistä mitattiin vain U-238 ja U-235 aktiivisuuspitoisuudet ja näin ollen uraanin kokonaisaktiivisuuspitoisuuden laskennassa U-234 aktiivisuuspitoisuus on oletettu yhtä suureksi kuin U-238. Nestemäisistä näytteistä mitattiin kaikkien kolmen uraanin isotoopin (U-238, U-234 ja U-235) aktiivisuuspitoisuudet. Malmi- ja kivinäytteistä määritettiin vain isotooppien U-238 ja U-235 aktiivisuuspitoisuudet ja siten isotoopin U-235 aktiivisuuspitoisuus on oletettu olevan sama kuin isotoopilla U-238.

Taulukko 8-1. Tutkittujen liuos- ja vesinäytteiden uraanin isotooppien U-234, U-235 ja U-238 aktiivisuuspitoisuudet sekä yhteenlaskettu kokonaisaktiivisuuspitoisuus.

		Yksikkö	Uraani 234	Uraani 235	Uraani 238	Kokonaisaktiivisuus
Primääriliuotus	Liuotuskasoilta lähtevä liuos	Bq/l	476	21,4	455	952
Sekundääri-liuotus	Liuotuskasoilta lähtevä liuos	Bq/l	367	16,6	355	739
	Liuotuskasojen suoto- ja valumavedet	Bq/l	2,41	0,098	2,1	4,6
KL2	Rakenteiden alapuoliset vedet DP5	Bq/l	0,214	0,006	0,123	0,343
	Suodosvedet DP4	Bq/l	65,1	2,63	56,1	124
	Suodosvedet DP5	Bq/l	94,6	4,19	90,1	189
Purkuputki		Bq/l	0,067	0,002	0,036	0,105

Yhteenlaskettu uraanin kokonaisaktiivisuuspitoisuus oli suurin primääri- ja sekundäärikasoilta lähtevissä liuksissa. Primäärikasoilta lähtevässä liuksessa kokonaisaktiivisuuspitoisuus oli 952 Bq/L ja sekundäärikasoilta lähtevässä liuksessa 739 Bq/L. Suoto- ja valumavesissä kokonaisaktiivisuus oli vähäisempi ja alle 1 Bq/l ympäristöön johdettavissa vesissä.

Taulukko 8-2. Tutkittujen malmi- ja sivukivinäytteiden uraanin isotooppien U-234, U-235 ja U-238 aktiivisuuspitoisuudet sekä yhteenlaskettu kokonaisaktiivisuuspitoisuus.

		Uraani 234	Uraani 235	Uraani 238	Kokonaisaktiivisuus
Louhittu malmi	Bq/kg k.a.	233	10,8	233	477
Mustaliuske sivukivi	Bq/kg k.a.	207	9,6	207	424
Metakarbonaatti sivukivi	Bq/kg k.a.	43	2,5	43	88,5
Kiilleliuske sivukivi	Bq/kg k.a.	29	1,6	29	59,6
Kvartsiitti sivukivi	Bq/kg k.a.	10	<1,0	10	20
Kvartsijuoni sivukivi	Bq/kg k.a.	<10	<1,0	<10	<10
P1 Primäärin uusi malmi	Bq/kg k.a.	322	14,8	322	659
P2 Primäärin keski-ikäinen malmi	Bq/kg k.a.	193	8,9	193	395
S1 Sekundäärin uusi malmi	Bq/kg k.a.	182	8,4	182	372
S2 Sekundäärin keski-ikäinen malmi	Bq/kg k.a.	195	9	195	399
S3 Sekundäärin vanha malmi	Bq/kg k.a.	138	6,4	138	282

Uraanin kokonaisaktiivisuuspitoisuus oli suurin primääriliuotuskasalle kasatussa malmissa (659 Bq/kg). Louhittu malmissa (477 Bq/kg) ja mustaliuskesivukivessä (424 Bq/kg) uraanin kokonaisaktiivisuuspitoisuudet olivat samaa tasoa kuin primäärin keski-ikäisessä malmissa (395 Bq/kg) ja sekundääriliuotuskasalle kasatussa malmissa (282-399 Bq/kg). Muiden sivukivien kuin mustaliuskeen uraanin kokonaisaktiivisuuspitoisuus vaihteli välillä <10 – 88,5 Bq/kg.

8.2 Kokonaisuraanin pitoisuudet

Kokonaisuraanin massaperusteisia pitoisuuksia määritettiin primääriltä ja sekundääriltä lähteivistä liuoksista, sekundäärin suoto- ja valumavesistä, KL2-alueen rakenteiden alapuolisista vesistä ja suodosvesistä sekä purkuputken kautta ympäristöön johdettavista vesistä. Tulokset on koottu taulukoihin 8-3, 8-4 ja 8-5. Näihin tuloksiin liittyen todettiin eroavuuksia sekä tarkkailutuloksiin että samoista näytteistä määritettyjen uraanin isotooppien aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskettuihin kokonaisuraanipitoisuuksiin. Tämän vuoksi tulokset on esitetty kaikkien osalta, jotta eri tavoin määritettyjä tuloksia voidaan vertailla ja arvioida niiden luotettavuutta.

Suurin poikkeavuus sekä tarkkailutuloksiin että uraanin isotooppien aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskettuihin kokonaisuraanipitoisuuksiin todettiin sekundääriltä ja primääriltä johdettavan liuoksen tuloksissa ja KL2 suodosvesien näytteissä. Näiden osalta sekä ICP-MS-menetelmällä että fotometrisesti määritetyt kokonaisuraanipitoisuudet olivat selkeästi alhaisempia kuin laskennallisesti määritetyt pitoisuudet ja tarkkailutulosten mukaiset pitoisuudet. Määritettyihin aktiivisuuspitoisuuksiin pohjautuvat laskennalliset tulokset ja tarkkailutulokset olivat kuitenkin keskenään yhtenevät, ja niitä voidaan siten pitää luotettavimpina.

Korkeimmat kokonaisuraanipitoisuudet todettiin primääri- ja sekundääriliuotuskasoilta pois johdettavassa liuoksessa. Sekundäärin ja KL2-alueen suoto- ja valumavesissä pitoisuudet olivat alhaisempia. Alhaisimmat pitoisuudet todettiin KL2-rakenteiden alapuolisissa vesissä ja purkuputkeen johdettavissa vesissä.

Taulukko 8-3. Primääri- ja sekundäärikasojen liuos- ja vesinäytteistä eri tavoin määritetyt kokonaisuraanipitoisuudet.

		Primääriltä lähtevä liuos	Sekundääriltä lähtevä liuos	Sekundäärin suoto- ja valumavedet
Uraani (ICP-MS-menetelmällä määritetty kokonaispitoisuus)	µg/l	<100		
Fotometrisesti määritetty kokonaisuraanipitoisuus	mg/l		<100	0,128 ± 0,013
Uraanin isotooppien ²³⁵ U, ²³⁸ U ja ²³⁴ U aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskennallisesti määritetty kokonaisuraanin pitoisuus	mg/l	19	30	
Vuoden 2019 ja 2020 käyttötarkkailun mukainen keskimääräinen uraanin kokonaispitoisuus*	mg/l	22 (2019) 38 (2020)	10-20 (2019) 28 (2020)	0,128 (2019 ja 2020)

Taulukko 8-4. KL2-alueen vesinäytteistä eri tavoin määritetyt kokonaisuraanipitoisuudet.

		KL2 rakenteiden alapuoliset vedet DP5	KL2 suodosvedet DP4	KL2 suodosvedet DP5
Fotometrisesti määritetty kokonaisuraanipitoisuus	mg/l	0,008 ± 0,002	0,537 ± 0,054	0,003 ± 0,001
Uraanin isotooppien ²³⁵ U, ²³⁸ U ja ²³⁴ U aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskennallisesti määritetty kokonaisuraanin pitoisuus	mg/l		5	7,5
Vuoden 2019 ja 2020 käyttötarkkailun mukainen keskimääräinen uraanin kokonaispitoisuus*	mg/l	0,008 (2019) 0,0265 (2020)	0,1 - 6 (2019) 12,19 (2020)	2,9 - 11 (2019) 12,73 (2020)

Taulukko 8-5. Purkuputken johdettavasta vedestä eri tavoin määritetyt kokonaisuraanipitoisuudet.

		Purkuputki
Fotometrisesti määritetty kokonaisuraanipitoisuus	mg/l	<0,002

		Purkuputki
Vuoden 2019 ja 2020 käyttötarkkailun mukainen keskimääräinen uraanin kokonaispitoisuus*	mg/l	<0,002 (2019) 0,0034 (2020)

8.3 Uraanin tytärnuklidit

Uraanin tytärnuklidien (^{226}Ra , ^{210}Pb ja ^{210}Po) aktiivisuuspitoisuuden mitattiin olevan korkeimmillaan louhitussa malmissa (706 Bq/kg), mustaliuskesivukivissä (566 Bq/kg) sekä primäärikasojen (467 – 589 Bq/kg) ja sekundäärikasojen (432 – 528 Bq/kg) malmissa.

Säteilyturvakeskuksen vuonna 2010-2011 tekemässä Terrafamen alueen radiologisessa perustilaselvityksessä maaperästä mitattiin ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{232}Th , ^{235}U ja ^{238}U -pitoisuudet. Tulokset on esitelty taulukossa 8-1. Louhitussa malmissa ja mustaliuskeessa todetut ^{226}Ra aktiivisuuspitoisuudet olivat suuremmat kuin radiologisessa perustilaselvityksessä todetut aktiivisuuspitoisuudet. Muiden kivinäytteiden osalta aktiivisuuspitoisuudet olivat samaa luokkaa.

Taulukko 8-1. Louhitussa malmissa ja sivukivissä todetut aktiivisuuspitoisuudet vuoden 2019 tutkimuksessa sekä aiemmissa, vuosien 2010 ja 2011 tutkimuksissa.

		Louhittu malmi	Mustaliuskesivukivi	Metakarbo-naatti sivukivi	Kiilleliuske	Kvartsiitti	Kvartsijuoni	2010	2011
^{232}Th	Bq/kg	21,8	45,5	27,4	37,3	13,3	0,9	4,3-12	10-25
^{226}Ra	Bq/kg	232	191	58,5	27,9	8,9	<1,0	9,3-40	16-28
^{228}Ra	Bq/kg	23,1	46,2	26	38,5	12,4	<1,0	4,4-14	11-31
^{228}Th	Bq/kg	23,5	44,7	24,4	37,4	11,3	<1,0	4,3-11	9,4-38
^{235}U	Bq/kg	10,8	9,6	2,5	1,6	<1,0	<1,0	a.m	a.m
^{238}U	Bq/kg	233	207	43	29	10	<10	a.m	a.m

Aikaisemmin tehtyjen tutkimusten mukaan uraanin tytärnuklidit eivät liukene merkittävässä määrin kaivoksen prosessivesikiertoon, vaan ne jäävät pääasiassa bioliuotuskasoihin. Tutkimuksessa saadut tulokset tukivat tätä havaintoa osittain. Th-232, Ra-226, Ra-228 ja Th-228 isotooppien aktiivisuuspitoisuudet olivat samaa tasoa primääri- ja sekundäärikasoilta otetuissa eri-ikäisissä malminäytteissä. U-235 ja U-238 isotooppien aktiivisuuspitoisuudet sitä vastoin hieman laskivat liuotusprosessin myötä. (Taulukko 8-3).

Taulukko 8-6. Uraanin tytärnuklidien aktiivisuuspitoisuudet malmissa liuotusprosessin eri vaiheissa.

		Primääriliuotus		Sekundääriliuotus		
		Uusi malmi	Keski-ikäinen malmi	Uusi malmi	Keski-ikäinen malmi	Vanha malmi
^{232}Th	Bq/kg	12,5	13,6	16,6	13,1	16,2
^{226}Ra	Bq/kg	176	174	191	177	164
^{228}Ra	Bq/kg	22,9	21,8	21,6	23,7	22,6
^{228}Th	Bq/kg	20,2	20,4	22	23,9	20,2
^{235}U	Bq/kg	14,8	8,9	8,4	9	6,4
^{238}U	Bq/kg	322	193	182	195	138

Primäärikasoilta lähtevän liuoksen aktiivisuuspitoisuudet olivat korkeimmat U-235 ja U-238 isotooppien osalta (Taulukko 8-4). Muiden uraanin tytärnuklidien aktiivisuuspitoisuudet olivat alhaisia. Myös sivukivialueen KL2 vesissä ja etenkin purkuputken kautta ympäristöön johdettavissa vesissä aktiivisuuspitoisuudet olivat vähäisiä ja suurelta osin alle raportointi rajan.

Taulukko 8-7. Uraanin tytärnuklidien aktiivisuuspitoisuudet liuotuskasoilta lähtevässä liuoksessa, sivukivialueen vesijakeissa sekä purkuputken kautta ympäristöön johdettavissa vesissä.

		Primääri-liuotus	Sekundääriliuotus		KL2			Purku-putki
		Lähtevä liuos	Lähtevä liuos	Suoto- ja valuma-vedet	Rakenteiden alapuoliset vedet DP5	Suodos-vedet DP4	Suodos-vedet DP5	
²³² Th	Bq/l	2,16	1,45	0,05	0,001	0,644	0,354	0,062
²²⁶ Ra	Bq/l	0,2	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,2	<0,20
²²⁸ Ra	Bq/l	<0,25	<0,21	<0,20	<0,20	<0,20	0,2	<0,20
²²⁸ Th	Bq/l	1,1	0,66	<0,20	<0,20	0,78	<0,20	<0,20
²³⁵ U	Bq/l	21,4	16,6	0,098	0,006	2,63	4,19	0,002
²³⁸ U	Bq/l	455	355	2,1	0,123	56,1	90,1	0,036
²³⁴ U	Bq/l	476	367	2,41	0,214	65,1	94,6	0,067

8.4 Kalium-40

Merkittävin hajoamissarjoihin kuulumaton luonnon radionuklidi on kalium-40 (⁴⁰K), joka voi olla erityisesti ulkoisen säteilyn lähde. Kaliumia on maa- ja kallioperässä tyypillisesti joitakin satoja Bq/kg. (STUK, 2005).

Korkeimmat kalium-40 pitoisuudet mitattiin mustaliuskesivukivestä (1040 Bq/kg), louhitusta malmista (949 Bq/kg) sekä primääri- ja sekundääriliuotusvaiheiden malmista (779 – 872 Bq/kg). Kaikissa otetuissa vesinäytteissä kalium-40 pitoisuus jäi alle määritysrajan 2 Bq/L.

8.5 Muut luonnon radioaktiiviset aineet

Uraanin tytärnuklidien lisäksi analysoitiin myös muita luonnon radioaktiivisia aineita. Myöskään muut luonnon radioaktiiviset aineet eivät nyt saatujen tulosten mukaan liukene merkittävässä määrin kaivoksen prosessivesikiertoon, vaan ne jäävät pääasiassa bioliuotuskasoihin.

9. EPÄVARMUUDET

Kokonaisuraanin massaperusteisiin pitoisuuksiin todettiin liittyvän epävarmuuksia. ICP-MS-menetelmällä ja fotometrisesti määritetyissä pitoisuuksissa todettiin eroavuuksia sekä tarkkailutuloksiin että samoista näytteistä määritettyjen uraanin isotooppien aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskettuihin kokonaisuraanipitoisuuksiin. Määritykset tehneeseen laboratorioon pyydettiin selvitystä tähän liittyen.

Laboratorion selvityksessä havaittiin, että epävarmuudet liittyivät etenkin fotometrisesti määritettyihin uraanin kokonaispitoisuuksiin. Fotometrinen menetelmä taas antaa tulokseksi yleispitoisuuden eli mukana voi olla muita tekijöitä. Tarkkaa syytä poikkeaville tuloksille ei ollut mahdollista enää selvittää, koska alkuperäisiä näytteitä ei ollut enää säilytyksessä. Mikäli näytteet sisälsivät sedimenttiä/partikkeleita/kiven osia on mahdollista, että se on voinut vaikuttaa tuloksiin. Näytteet kestävästiin typpihapolla ja suodatettiin 0.45µm suodattimella, jolloin sedimenttiin tai kivihiukkasiin sitoutunut uraani on mahdollisesti jäänyt näytteestä pois suodatuksen aikana. Näytteille mahdollisesti valitun sopimattoman hajotusmenetelmän (riittämätön hajoaminen) tai näytteen suodatuksen vuoksi mitatut tulokset voivat olla alhaisempia.

Tuloksissa todettujen epävarmuuksien vuoksi tulokset esitettiin sekä ICP-MS- ja fotometristen analyysien osalta että samoista näytteistä määritettyjen uraanin isotooppien aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskettujen kokonaisuraanipitoisuuksien ja tarkkailutulosten osalta. Näin eri tavoin määritettyjä tuloksia voitiin vertailla ja arvioida niiden luotettavuutta.

Suurin poikkeavuus sekä tarkkailutuloksiin että uraanin isotooppien aktiivisuuspitoisuuksien kautta laskettuihin kokonaisuraanipitoisuuksiin todettiin sekundääriltä ja primääriltä johdettavan liuoksen tuloksissa ja KL2 suodosvesien näytteissä. Näiden osalta sekä ICP-MS-menetelmällä että fotometrisesti määritetyt kokonaisuraanipitoisuudet olivat selkeästi alhaisempia kuin laskennallisesti määritetyt pitoisuudet ja tarkkailutulosten mukaiset pitoisuudet. Määritettyihin aktiivisuuspitoisuuksiin pohjautuvat laskennalliset tulokset ja tarkkailutulokset olivat kuitenkin keskenään yhtenevät, ja niitä voidaan siten pitää luotettavimpina eikä näihin tuloksiin pohjautuviin arvioihin ja johtopäätöksiin liity merkittävää epävarmuutta.

10. YHTEENVETO

Luonnon radioaktiivisten aineiden aktiivisuuspitoisuudet ovat korkeimmillaan louhitussa malmissa. Sivukivistä mustaliuskesivukiven aktiivisuuspitoisuudet ovat selvästi korkeammat kuin muissa sivukivissä.

Primäärikasoille ja sekundäärikasoille kuljetetun malmin aktiivisuuspitoisuudet eivät eronneet merkittävästi toisistaan eikä vanhemman ja uudemman malmin sisältämien radioaktiivisten aineiden pitoisuuksissa ollut eroa. Ainoastaan U-235 ja U-238 isotooppien aktiivisuuspitoisuudet tutkituissa näytteissä laskivat liuotusprosessin myötä.

Prosessiliuoksissa kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuudet olivat korkeammat kuin louhitussa malmissa ja primääri- ja sekundääriliuotusalueiden malmissa.

Radioaktiivisessa perustilaselvityksessä alueen järviveden ^{238}U maksimipitoisuus oli porakaivovedessä 14,4 µg/l, lähdevedessä 0,2 µg/l, puro- ja jokivedessä 5,4 µg/l ja järvivedessä 0,2 µg/l. Uraani-238:n maksimipitoisuudet eri näytteissä vaihtelivat välillä 2,8 - 12 200 µg/l. Korkein pitoisuus mitattiin porakaivovedestä, matalin taas järvivedestä.

Korkeimmat kokonaisuraanipitoisuudet todettiin primääri- ja sekundääriliuotuskasoilta pois johdettavassa liuoksessa (primääri 22-38 mg/l ja sekundääri 10-28 mg/l). Sekundäärin ja KL2-alueen suoto- ja valumavesissä pitoisuudet olivat alhaisempia (sekundääri 0,128 mg/l ja KL2 DP4 0,1 - 12,19 mg/l ja DP5 2,9 - 12,73 mg/l). Alhaisimmat pitoisuudet todettiin KL2-rakenteiden alapuolisissa vesissä (0,008 - 0,0265 mg/l) ja purkuputkeen johdettavissa vesissä (<0,002 - 0,0034 mg/l).

11. LÄHTEET

Lauri L.S, Pohjolainen E. ja Äikäs O., 2010, Selvitys Suomen kallioperän U-pitoisuudesta. Geologian tutkimuskeskus, raportti M10/2010/53

Lausunto, Geologian tutkimuskeskus, E/391/42/2012

Luonnon radioaktiivisia aineita sisältävät materiaalit, STUK Tiedottaa 2/2005

Perustietoa uraanista, 2017, Geologian tutkimuskeskus

Talvivaaran ympäristön radiologinen perustilaselvitys, STUK, 2010-2011

Terrafame Oy Ympäristölupahakemus 2018

Terrafamen kaivoksen ympäristölupapäätös (DNro PSAVI/58/04.08/2011)

Ydinenergia-asetus 161/1988



Tämä raportti korvaa kaikki aikaisemmat raportit samalla numerolla.

ANALYYSIRAPORTTI

Tilausnumero	: HL1904099	Sivu	: 1 / 7
Korvaava raportti	: 1		
Laboratorio	: ALS Finland Oy	Asiakas	: Ramboll Finland Oy
Yhteyshenkilö	: Asiakaspalvelu	Yhteyshenkilö	: Katariina Koikkalainen
Osoite	: Ruosilankuja 3 A 00390 Helsinki Suomi	Osoite	: Niemenkatu 73 15140 Lahti Suomi
Sähköposti	: asiakaspalvelu.hki@alsglobal.com	Sähköposti	: katariina.koikkalainen@ramboll.fi
Puhelin	: +358 10 470 1200	Puhelin	: ----
Faksi	: ----	Faksi	: ----
Projekti	: ----		
Ostotilausnro / viite	: ----	Näytteiden vastaanottopäivä	: 2019-10-02 14:25
Näytelähteen numero	: ----		
Näytteenottaja	: Laura-Maria Tervonen	Päiväys	: 2021-06-24 15:54
Paikka	: ----	Vastaanotettujen näytteiden lukumäärä	: 7
Tarjousnumero	: HL2019FI-RAM-FIN0001 (OF180793)	Analysoitavien näytteiden lukumäärä	: 7

Yleiset kommentit

Jos näytteenottoaikaa ei ole toimitettu, käytetään näytteenottoajan oletusarvoa 00:00 näytteenottopäivänä. Jos näytteenottopäivää ei ole toimitettu, käytetään oletusnäytteenottopäivää ja se näytetään sulkeissa ilman kellonaikaa.

Tämä raportti edustaa alkuperäistä analyysiraporttia. Raporttia ei saa muokata ja sen saa kopioida vain kokonaisuudessaan. Muusta kopioinnista on saatava erillinen kirjallinen lupa laboratoriolta. Analyysitulokset pätevät ainoastaan analysoiduille näytteille. Lisätietoa laboratorion vastuuvollisuuksista löytyy kotisivuiltamme <http://www.alsglobal.fi>

Tilauksen kommentit

Korvaava analyysitodistus 1. Liite lisätty - radiologisten parametrien mittausepävarmuudet.

Näyte HL1904099/005, menetelmä W-PO210SCI - analyysia varten toimitettu näytemäärä ei ollut riittävä ja määritysrajoja on jouduttu muuttamaan vastaavasti.

Näytteet HL1904099/004,005, menetelmä W-METMSFX5 - määritysrajoja on jouduttu nostamaan matriisihäiriöistä johtuen.

Radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksien viitepäivä on sama kuin analysointipäivä.

Radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksien viitepäivä on 22.10.2019

Radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksien viitepäivä on 28.10.2019

Radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksien viitepäivä on 29.10.2019

Radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksien viitepäivä on 21.10.2019

Raportointirajat radiologisille analyyseille ovat voimassa vain näytteille, joiden aktiivisuus on alhainen (taustapitoisuuksien määrittämiseen). Raportointirajat riippuvat monesta tekijästä, kuten analysoidavan näytteen massasta, mutta pääosin muiden radionuklidien aktiivisuudesta. Jos joidenkin radionuklidien aktiivisuus on suurempi, spektrin tausta kasvaa ja tämä vaikuttaa myös muiden radionuklidien havaintorajaan (LoD). LoD-arvot arvioidaan jokaiselle radionuklidille erikseen. Annetut raportointirajat ovat vain suuntaa-antavia ja voimassa näytteille, joiden radionuklidipitoisuus on alhainen ja joilla on riittävä massa.

Allekirjoitukset

Asema

Jari Hautala

Maajohtaja

Päiväys : 2021-06-24 15:54
 Sivu : 2 / 7
 Tilausnumero : HL1904099 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Analyytitulokset

Näyttematriisi: TEOLLISUUSNESTE

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Primäärikasoilta lähtevä
liuos

HL1904099004

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	<0.50	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
polonium 210	0.52	± 0.08	Bq/L	0.05	W-PO210SCI/PR	W-PO210SCI	CS
Torium 232	2.16 *	----	Bq/L	0.001	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
uraani 238	455 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
lyijy 210	<10	----	Bq/L	10	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
Kalium-40	<2.0	----	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 230	20.5 *	----	Bq/L	0.004	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
uraani 235	21.4 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
protaktinium 231	<2	----	Bq/L	1	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 223	<0.60	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
uraani 234	476 *	----	Bq/L	0.0040	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
radium 226	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 228	<0.25	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 227	<0.46	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 228	1.10	±20%	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 234	217	± 32.6	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
Kokonaismetallit							
U	<100	----	µg/L	0.10	W-METMSFX5-DW/P R	W-METMSFX5	PR

Näyttematriisi: TEOLLISUUSNESTE

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Sekundäärikasoilta lähtevä
liuos

HL1904099005

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	<0.40	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
polonium 210	<0.06	----	Bq/L	0.05	W-PO210SCI/PR	W-PO210SCI	CS
Torium 232	1.45 *	----	Bq/L	0.001	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
uraani 238	355 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
lyijy 210	<10	----	Bq/L	10	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
Kalium-40	<2.0	----	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 230	13.9 *	----	Bq/L	0.004	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
uraani 235	16.6 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
protaktinium 231	<2	----	Bq/L	1	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 223	<0.42	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS

Päiväys : 2021-06-24 15:54
 Sivu : 4 / 7
 Tilausnumero : HL1904099 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näytematriisi: VESI

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

KL2 suodosvedet, DP4

HL1904099002

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit - jatkuu							
aktinium 227	<0.26	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
polonium 210	0.22	± 0.05	Bq/L	0.05	W-PO210SCI/PR	W-PO210SCI	CS
Torium 232	0.644 *	----	Bq/L	0.001	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
U	0.537	± 0.054	mg/L	0.002	W-U-PHO/PR	W-U-PHO	CS
uraani 238	56.1 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
lyijy 210	<10	----	Bq/L	10	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
Kalium-40	<2.0	----	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 230	2.31 *	----	Bq/L	0.004	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
uraani 235	2.63 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
protaktinium 231	<1	----	Bq/L	1	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 223	<0.27	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
uraani 234	65.1 *	----	Bq/L	0.0040	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
radium 226	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 228	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 227	<0.26	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 228	0.78	±20%	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 234	23.1	± 3.5	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS

Näytematriisi: VESI

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

KL2 suodosvedet, DP5

HL1904099003

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	0.58	±30%	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
polonium 210	0.13	± 0.04	Bq/L	0.05	W-PO210SCI/PR	W-PO210SCI	CS
Torium 232	0.354 *	----	Bq/L	0.001	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
U	0.003	± 0.001	mg/L	0.002	W-U-PHO/PR	W-U-PHO	CS
uraani 238	90.1 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
lyijy 210	<10	----	Bq/L	10	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
Kalium-40	<2.0	----	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 230	3.65 *	----	Bq/L	0.004	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
uraani 235	4.19 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
protaktinium 231	<1	----	Bq/L	1	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 223	0.49	±25%	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
uraani 234	94.6 *	----	Bq/L	0.0040	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
radium 226	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 228	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 227	0.68	±25%	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS

Päiväys : 2021-06-24 15:54
 Sivu : 5 / 7
 Tilausnumero : HL1904099 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näytematriisi: VESI

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

KL2 suodosvedet, DP5

HL1904099003

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit - jatkuu							
torium 228	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 234	55.7	± 8.4	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS

Näytematriisi: VESI

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Sekundäärikasojen suoto-
ja valumavedet

HL1904099006

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
polonium 210	<0.05	----	Bq/L	0.05	W-PO210SCI/PR	W-PO210SCI	CS
Torium 232	0.050 *	----	Bq/L	0.001	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
U	0.128	± 0.013	mg/L	0.002	W-U-PHO/PR	W-U-PHO	CS
uraani 238	2.10 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
lyijy 210	<10	----	Bq/L	10	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
Kalium-40	<2.0	----	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 230	0.379 *	----	Bq/L	0.004	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
uraani 235	0.0980 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
protaktinium 231	<1	----	Bq/L	1	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 223	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
uraani 234	2.41 *	----	Bq/L	0.0040	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
radium 226	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 228	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 227	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 228	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 234	<2.0	----	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS

Näytematriisi: VESI

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Purkuputki

HL1904099007

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
polonium 210	<0.05	----	Bq/L	0.05	W-PO210SCI/PR	W-PO210SCI	CS
Torium 232	0.062 *	----	Bq/L	0.001	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
U	<0.002	----	mg/L	0.002	W-U-PHO/PR	W-U-PHO	CS
uraani 238	0.0360 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
lyijy 210	<10	----	Bq/L	10	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
Kalium-40	<2.0	----	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS

Päiväys : 2021-06-24 15:54
 Sivu : 6 / 7
 Tilausnumero : HL1904099 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näyttematriisi: VESI

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näytematriisi: VESI Asiakkaan näytetunnus Laboratorion näytetunnus Asiakkaan näyteenottopäivä/aika				Purkuputki			
				HL1904099007			
				2019-09-30 00:00			
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit - jatkuu							
torium 230	0.039 *	----	Bq/L	0.004	W-ISOTOP-NAT/PR	W-TH232-0	CS
uraani 235	0.0020 *	----	Bq/L	0.0010	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
protaktinium 231	<1	----	Bq/L	1	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 223	<0.21	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
uraani 234	0.0670 *	----	Bq/L	0.0040	W-ISOTOP-NAT/PR	W-U238-5-4	CS
radium 226	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
radium 228	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 227	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 228	<0.20	----	Bq/L	0.20	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS
torium 234	<2.0	----	Bq/L	2.0	W-RAD-NAT/PR	W-RAD-NAT	CS

Analyysiraportin tulososa päättyy tähän

Lyhyt menetelmäkuvaus

Analyysimenetelmät	Menetelmäkuvaukset
W-PO210SCI	CSN 75 7626 Polonium 210 -isotoopin määrittäminen sen konsentraation jälkeen ZnS(Ag):ssa emittoivien tuikeiden mittauksella.
W-RAD-NAT	CZ_SOP_D06_07_367 (CSN EN ISO 10703, SUJB Suositus "Luonnollisten radionuklidien mittausta ja arviointia rakennusmateriaaleista", DR-RO-5.2 (Rev. 0.0), Prague 2017) Ei-hajottavien radionuklidien (235) määrittäminen korkean havainnointikyvyn gammaspektrometrillä. Massa-aktiivisuusindeksien I ja ACI määrittäminen yksittäisten radionuklidien tilavuusaktiivisuuksista laskemalla.
*W-TH232-0	Luonnollisten toriumisotoppien (Th-232 ja Th-230) aktiivisuuspitoisuuden määrittäminen ICP-SFMS -menetelmällä. [Analysoinnista vastaa ALS Scandinavia AB, Aurorum 10 Luleå, Ruotsi 97775. Akkreditointielin: SWEDAC Akkreditointinumero: 2030]
*W-U238-5-4	Luonnollisten uraaniisotoppien (U-238, U-235 ja U-234) aktiivisuuspitoisuuden määrittäminen ICP-SFMS -tekniikalla. [Analysoinnista vastaa ALS Scandinavia AB, Aurorum 10 Luleå, Ruotsi 97775. Akkreditointielin: SWEDAC Akkreditointinumero: 2030]
W-U-PHO	CZ_SOP_D06_07_364 (CSN 75 7614) Uraanin määrittäminen spektrofotometrillä silikageelieroituksen jälkeen. Uraani-isotoopin U-238 määrittäminen laskennallisesti mitatuista arvoista.
W-METMSFX5	CZ_SOP_D06_02_002 (US EPA 200.8, CSN EN ISO 17294-2, US EPA 6020A, CSN 75 7358 näytteiden esikäsittely CZ_SOP_D06_02_J02 chap. 10.1, 10.2) Alkuaineiden määrittäminen induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometrillä (ICP-MS) ja yhdisteiden pitoisuuksien määrittäminen stoikiometristen laskentojen avulla mitatuista arvoista, sisältäen myös kokonaismineralisaation laskennan ja summan Ca+Mg laskennan. Näytteeseen lisättiin typpihappoa ennen analyysia.

Esikäsittelymenetelmät	Menetelmäkuvaukset
*W-SAMPLESPLIT	Näytteen jakaminen (laboratorion sisäinen toimenpide)

Päiväys : 2021-06-24 15:54
 Sivu : 7 / 7
 Tilausnumero : HL1904099 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Lyhenteet: **LOR** = Raportointiraja (Limit Of Reporting) edustaa normaalia raportointirajaa kyseessä olevalle parametrille ja menetelmälle. Huomioithan, että raportointiraja voi nousta esim. liian pienen näytemäärän vuoksi tai jos näyte joudutaan laimentamaan matriisihäiriöiden vuoksi.

MU = Mittausepävarmuus

* = Merkki tuloksen yhteydessä tarkoittaa akkreditoimatonta analyysia.

Mittausepävarmuus:

Mittausepävarmuus on ilmoitettu laajennettuna mittausepävarmuutena (dokumentin "Guide to the Expression of Measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010" määritelmän mukaan), jossa on käytetty kattavuuskerrointa 2, jolloin luotettavuustaso on noin 95%. Mittausepävarmuus raportoidaan vain havaituille yhdisteille, joiden pitoisuudet ovat yli raportointirajan.

Alihankkijoiden mittausepävarmuus on yleensä annettu laajennettuna mittausepävarmuutena, jossa on käytetty kattavuuskerrointa 2. Laboratoriolta saa lisätietoja pyydettäessä.

Analysoiva laboratorio

	Laboratorio
CS	Analysoinnista vastaa ALS Czech Republic, s.r.o., Bendlova 1687/7 Ceska Lipa Tšekki 470 01 Akkreditointielin: CAI Akkreditointinumber: 1163
PR	Analysoinnista vastaa ALS Czech Republic, s.r.o., Na Harfe 336/9 Praha 9 - Vysocany Tšekki 190 00 Akkreditointielin: CAI Akkreditointinumber: 1163



Tämä raportti korvaa kaikki aikaisemmat raportit samalla numerolla.

ANALYYSIRAPORTTI

Tilausnumero	: HL1904101	Sivu	: 1 / 7
Korvaava raportti	: 1		
Laboratorio	: ALS Finland Oy	Asiakas	: Ramboll Finland Oy
Yhteyshenkilö	: Asiakaspalvelu	Yhteyshenkilö	: Katariina Koikkalainen
Osoite	: Ruosilankuja 3 A 00390 Helsinki Suomi	Osoite	: Niemenkatu 73 15140 Lahti Suomi
Sähköposti	: asiakaspalvelu.hki@alsglobal.com	Sähköposti	: katariina.koikkalainen@ramboll.fi
Puhelin	: +358 10 470 1200	Puhelin	: ----
Faksi	: ----	Faksi	: ----
Projekti	: ----		
Ostotilausnro / viite	: ----	Näytteiden vastaanottopäivä	: 2019-10-02 14:28
Näytelähteen numero	: ----		
Näytteenottaja	: Laura-Maria Tervonen	Päiväys	: 2021-06-24 15:55
Paikka	: ----	Vastaanotettujen näytteiden lukumäärä	: 5
Tarjousnumero	: HL2019FI-RAM-FIN0001 (OF180793)	Analysoitavien näytteiden lukumäärä	: 5

Yleiset kommentit

Jos näytteenottoaikaa ei ole toimitettu, käytetään näytteenottoajan oletusarvoa 00:00 näytteenottopäivänä. Jos näytteenottopäivää ei ole toimitettu, käytetään oletusnäytteenottopäivää ja se näytetään sulkeissa ilman kellonaikaa.

Tämä raportti edustaa alkuperäistä analyysiraporttia. Raporttia ei saa muokata ja sen saa kopioida vain kokonaisuudessaan. Muusta kopioinnista on saatava erillinen kirjallinen lupa laboratoriolta. Analyysitulokset pätevät ainoastaan analysoiduille näytteille. Lisätietoa laboratorion vastuuvolvollisuuksista löytyy kotisivuiltamme <http://www.alsglobal.fi>

Tilauksen kommentit

Korvaava analyysitodistus 1. Liite lisätty - radiologisten parametrien mittausepävarmuudet.

Radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksien viitepäivä on 30.9.2019

Raportointirajat radiologisille analyyseille ovat voimassa vain näytteille, joiden aktiivisuus on alhainen (taustapitoisuuksien määrittämiseen). Raportointirajat riippuvat monesta tekijästä, kuten analysoitavan näytteen massasta, mutta pääosin muiden radionuklidien aktiivisuudesta. Jos joidenkin radionuklidien aktiivisuus on suurempi, spektrin tausta kasvaa ja tämä vaikuttaa myös muiden radionuklidien havaintorajaan (LoD). LoD-arvot arvioidaan jokaiselle radionuklidille erikseen. Annetut raportointirajat ovat vain suuntaa-antavia ja voimassa näytteille, joiden radionuklidipitoisuus on alhainen ja joilla on riittävä massa.

Allekirjoitukset

Asema

Jari Hautala

Maajohtaja

Päiväys : 2021-06-24 15:55
 Sivu : 3 / 7
 Tilausnumero : HL1904101 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

P2 Primäärin keski-ikäinen
malmi

HL1904101002

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Fysikaaliset parametrit - jatkuu							
kuiva-aine 105°C	98.4	± 5.94	%	0.10	S-DRY-GRCI/PR	S-DRY-GRCI	CS
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	8.9	± 30 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
polonium 210	188	± 28	Bq/kg k.a.	50	S-PO210DSCI/PR	S-PO210DSCI	CS
Torium 232	13.6 *	----	Bq/kg k.a.	0.1	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
Iyijy 210	105	± 40 %	Bq/kg k.a.	50	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 232 pit.	3340 *	----	µg/kg k.a.	25	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
Kalium-40	802	± 160	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 230	150 *	----	Bq/kg k.a.	8	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
protaktinium 231	<24.0	----	Bq/kg k.a.	5.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 230 pit.	0.197 *	----	µg/kg k.a.	0.010	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
radium 223	<9.1	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 226	174	± 26.1	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 228	21.8	± 3.3	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 227	8.2	± 30 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 228	20.4	± 25 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 234	142	± 60 %	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 235	8.9	± 25 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 238	193	± 25 %	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS

Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

S1 Sekundäärin uusi malmi

HL1904101003

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Fysikaaliset parametrit							
kuiva-aine 105°C	90.3	± 5.45	%	0.10	S-DRY-GRCI/PR	S-DRY-GRCI	CS
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	9.8	± 30 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS

Päiväys : 2021-06-24 15:55
 Sivu : 4 / 7
 Tilausnumero : HL1904101 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

S1 Sekundäärin uusi malmi

HL1904101003

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyyssipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit - jatkuu							
polonium 210	199	± 30	Bq/kg k.a.	50	S-PO210DSCI/PR	S-PO210DSCI	CS
Torium 232	16.6 *	----	Bq/kg k.a.	0.1	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
Iyijy 210	108	± 40 %	Bq/kg k.a.	50	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 232 pit.	4100 *	----	µg/kg k.a.	25	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
Kalium-40	779	± 156	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 230	184 *	----	Bq/kg k.a.	8	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
protaktinium 231	<25.0	----	Bq/kg k.a.	5.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 230 pit.	0.241 *	----	µg/kg k.a.	0.010	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
radium 223	<10.0	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 226	191	± 28.6	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 228	21.6	± 3.2	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 227	9.8	± 25 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 228	22.0	± 20 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 234	130	± 70 %	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 235	8.4	± 30 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 238	182	± 30 %	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS

Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

S2 Sekundäärin
 keski-ikäinen malmi

HL1904101004

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyyssipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Fysikaaliset parametrit							
kuiva-aine 105°C	100	± 6.03	%	0.10	S-DRY-GRCI/PR	S-DRY-GRCI	CS
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	9.5	± 30 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
polonium 210	238	± 36	Bq/kg k.a.	50	S-PO210DSCI/PR	S-PO210DSCI	CS
Torium 232	13.1 *	----	Bq/kg k.a.	0.1	S-TH232-0	S-TH232-0	CS

Päiväys : 2021-06-24 15:55
 Sivu : 5 / 7
 Tilausnumero : HL1904101 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näyttematriisi: MAA

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näytematriisi: MAA Asiakkaan näytetunnus Laboratorion näytetunnus Asiakkaan näytteenottopäivä/aika				S2 Sekundäärin keski-ikäinen malmi		Menetelmä Laboratorio	
				HL1904101004			
				2019-09-30 00:00			
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti		
Radiologiset parametrit - jatkuu							
Iyijy 210	113	± 40 %	Bq/kg k.a.	50	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 232 pit.	3240 *	----	µg/kg k.a.	25	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
Kalium-40	797	± 159	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 230	143 *	----	Bq/kg k.a.	8	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
protaktinium 231	<24.0	----	Bq/kg k.a.	5.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 230 pit.	0.188 *	----	µg/kg k.a.	0.010	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
radium 223	9.2	± 30 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 226	177	± 26.6	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 228	23.7	± 3.6	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 227	9.5	± 25 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 228	23.9	± 20 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 234	122	± 70 %	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 235	9.0	± 25 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 238	195	± 25 %	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS

Näyttematriisi: MAA

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näyttematriisi: MAA				Asiakkaan näytetunnus		S3 Sekundäärin vanha malmi			
				Laboratorion näytetunnus		HL1904101005			
				Asiakkaan näytteenottopäivä/aika		2019-09-30 00:00			
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyyssipaketti	Menetelmä	Laboratorio		
Fysikaaliset parametrit									
kuiva-aine 105°C	65.5	± 3.96	%	0.10	S-DRY-GRCI/PR	S-DRY-GRCI	CS		
Radiologiset parametrit									
aktinium 227	6.3	± 60 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
polonium 210	166	± 25	Bq/kg k.a.	50	S-PO210DSCI/PR	S-PO210DSCI	CS		
Torium 232	16.2 *	----	Bq/kg k.a.	0.1	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		
Iyijy 210	102	± 40 %	Bq/kg k.a.	50	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
Torium 232 pit.	4000 *	----	µg/kg k a	25	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		

Päiväys : 2021-06-24 15:55
 Sivu : 6 / 7
 Tilausnumero : HL1904101 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

S3 Sekundäärin vanha
malmi

HL1904101005

2019-09-30 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit - jatkuu							
Kalium-40	872	± 174	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 230	147 *	----	Bq/kg k.a.	8	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
protaktinium 231	<30.0	----	Bq/kg k.a.	5.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 230 pit.	0.192 *	----	µg/kg k.a.	0.010	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
radium 223	10.9	± 30 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 226	164	± 24.6	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 228	22.6	± 20 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 227	6.3	± 60 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 228	20.2	± 25 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 234	73	± 60 %	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 235	6.4	± 30 %	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 238	138	± 30 %	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS

Analyysiraportin tulososa päättyy tähän

Lyhyt menetelmäkuvaus

Analyysimenetelmät	Menetelmäkuvaukset
S-DRY-GRCI	CZ_SOP_D06_01_045 (CSN ISO 11465, CSN EN 12880, CSN EN 14346:2007), CZ_SOP_D06_07_046 (CSN ISO 11465, CSN EN 12880, CSN EN 14346:2007, CSN 46 5735) Kuiva-aineen määrittäminen gravimetrisesti ja kosteuden määrittäminen laskennallisesti mitatuista arvoista.
S-PO210DSCI	CZ_SOP_D06_07_366 (CSN 75 7626) Polonium 210-isotoopin määrittäminen kokonaishajotuksen ja sen konsentraation jälkeen ZnS(Ag)-sorptiolla emittoivien tuikkien mittauksella.
S-RAD-NAT	CZ_SOP_D06_07_367 (CSN EN ISO 10703, SUJB Suositus "Luonnollisten radionuklidien mittaaminen ja arviointi rakennusmateriaaleista", DR-RO-5.2 (Rev. 0.0), Prague 2017) Ei-hajottavien radionuklidien määrittäminen korkean havainnointikyvyn gammaspektrometrillä. Massa-aktiivisuusindeksien I ja ACI määrittäminen yksittäisten radionuklidien tilavuusaktiivisuuksista laskemalla.
*S-TH232-0	Luonnollisten toriumisotooppien (Th-232 ja Th-230) aktiivisuuspitoisuuden määrittäminen ICP-SFMS -menetelmällä. [Analysoinnista vastaa ALS Scandinavia AB, Aurorum 10 Luleå, Ruotsi 97775. Akkreditointielin: SWEDAC Akkreditointinumero: 2030]

Esikäsittelymenetelmät	Menetelmäkuvaukset
*S-SAMPLESPLIT	Näytteen jakaminen (laboratorion sisäinen toimenpide)

Päiväys : 2021-06-24 15:55
 Sivu : 7 / 7
 Tilausnumero : HL1904101 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Lyhenteet: **LOR** = Raportointiraja (Limit Of Reporting) edustaa normaalia raportointirajaa kyseessä olevalle parametrille ja menetelmälle. Huomioithan, että raportointiraja voi nousta esim. liian pienen näytemäärän vuoksi tai jos näyte joudutaan laimentamaan matriisihäiriöiden vuoksi.

MU = Mittausepävarmuus

* = Merkki tuloksen yhteydessä tarkoittaa akkreditoimatonta analyysia.

Mittausepävarmuus:

Mittausepävarmuus on ilmoitettu laajennettuna mittausepävarmuutena (dokumentin "Guide to the Expression of Measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010" määritelmän mukaan), jossa on käytetty kattavuuskerrointa 2, jolloin luotettavuustaso on noin 95%. Mittausepävarmuus raportoidaan vain havaituille yhdisteille, joiden pitoisuudet ovat yli raportointirajan.

Alihankkijoiden mittausepävarmuus on yleensä annettu laajennettuna mittausepävarmuutena, jossa on käytetty kattavuuskerrointa 2. Laboratoriolta saa lisätietoja pyydettäessä.

Analysoiva laboratorio

	Laboratorio
CS	Analysoinnista vastaa ALS Czech Republic, s.r.o., Bendlova 1687/7 Ceska Lipa Tšekki 470 01 Akkreditointielin: CAI Akkreditointinumber: 1163
PR	Analysoinnista vastaa ALS Czech Republic, s.r.o., Na Harfe 336/9 Praha 9 - Vysocany Tšekki 190 00 Akkreditointielin: CAI Akkreditointinumber: 1163



Tämä raportti korvaa kaikki aikaisemmat raportit samalla numerolla.

ANALYYSIRAPORTTI

Tilausnumero	: HL1905466	Sivu	: 1 / 8
Korvaava raportti	: 1		
Laboratorio	: ALS Finland Oy	Asiakas	: Ramboll Finland Oy
Yhteyshenkilö	: Asiakaspalvelu	Yhteyshenkilö	: Katariina Koikkalainen
Osoite	: Ruosilankuja 3 A 00390 Helsinki Suomi	Osoite	: Niemenkatu 73 15140 Lahti Suomi
Sähköposti	: asiakaspalvelu.hki@alsglobal.com	Sähköposti	: katariina.koikkalainen@ramboll.fi
Puhelin	: +358 10 470 1200	Puhelin	: ----
Faksi	: ----	Faksi	: ----
Projekti	: ----		
Ostotilausnro / viite	: ----	Näytteiden vastaanotto päivä	: 2019-12-11 10:53
Näytelähteen numero	: ----		
Näytteenottaja	: Laura-Maria Tervonen	Päiväys	: 2021-06-24 15:56
Paikka	: ----	Vastaanotettujen näytteiden lukumäärä	: 6
Tarjousnumero	: HL2019FI-RAM-FIN0001 (OF180793)	Analysoitavien näytteiden lukumäärä	: 6

Yleiset kommentit

Jos näytteenottoaikaa ei ole toimitettu, käytetään näytteenottoajan oletusarvoa 00:00 näytteenottopäivänä. Jos näytteenottopäivää ei ole toimitettu, käytetään oletusnäytteenottopäivää ja se näytetään sulkeissa ilman kellonaikaa.

Tämä raportti edustaa alkuperäistä analyysiraporttia. Raporttia ei saa muokata ja sen saa kopioida vain kokonaisuudessaan. Muusta kopioinnista on saatava erillinen kirjallinen lupa laboratoriolta. Analyysitulokset pätevät ainoastaan analysoiduille näytteille. Lisätietoa laboratorion vastuuvellollisuuksista löytyy kotisivuiltamme <http://www.alsglobal.fi>

Tilauksen kommentit

Korvaava analyysitodistus 1. Liite lisätty - radiologisten parametrien mittausepävarmuudet.

Radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksien viitepäivä on 10.12.2019

Raportointirajat radiologisille analyyseille ovat voimassa vain näytteille, joiden aktiivisuus on alhainen (taustapitoisuuksien määrittämiseen). Raportointirajat riippuvat monesta tekijästä, kuten analysoitavan näytteen massasta, mutta pääosin muiden radionuklidien aktiivisuudesta. Jos joidenkin radionuklidien aktiivisuus on suurempi, spektrin tausta kasvaa ja tämä vaikuttaa myös muiden radionuklidien havaintorajaan (LoD). LoD-arvot arvioidaan jokaiselle radionuklidille erikseen. Annetut raportointirajat ovat vain suuntaa-antavia ja voimassa näytteille, joiden radionuklidipitoisuus on alhainen ja joilla on riittävä massa.

Allekirjoitukset

Asema

Jari Hautala

Maajohtaja



Analyysitulokset

Näytematriisi: **MAA**

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näyttematriisi: MAA				Asiakkaan näytetunnus		Louhittu malmi			
				Laboratorion näytetunnus					
				Asiakkaan näytteenottopäivä/aika					
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyyssipaketti	Menetelmä	Laboratorio		
Fysikaaliset parametrit									
kuiva-aine 105°C	99.8	± 6.02	%	0.10	S-DRY-GRCI/PR	S-DRY-GRCI	CS		
Radiologiset parametrit									
aktinium 227	<5.5	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
polonium 210	341	± 51	Bq/kg k.a.	50	S-PO210DSCI/PR	S-PO210DSCI	CS		
Torium 232	21.8 *	----	Bq/kg k.a.	0.1	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		
lyijy 210	133	±25%	Bq/kg k.a.	50	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
Torium 232 pit.	5370 *	----	µg/kg k.a.	25	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		
Kalium-40	949	± 190	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 230	254 *	----	Bq/kg k.a.	8	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		
protaktinium 231	<13.0	----	Bq/kg k.a.	5.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
Torium 230 pit.	0.333 *	----	µg/kg k.a.	0.010	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		
radium 223	<5.6	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
radium 226	232	± 34.8	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
radium 228	23.1	± 3.5	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 227	<5.5	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 228	23.5	± 3.5	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 234	233	±25%	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
uraani 235	10.8	±25%	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
uraani 238	233	±25%	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		

Näytematriisi: **MAA**

Asiakkaan
näytetunnus
Laboratorion näytetunnus
Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näyttematriisi: MAA				Asiakkaan näytetunnus		Mustaliuskesivukivi				
				Laboratorion näytetunnus						
				Asiakkaan näytteenottopäivä/aika						
Parametri				Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyyisipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Fysikaaliset parametrit										

Päiväys : 2021-06-24 15:56
 Sivu : 3 / 8
 Tilausnumero : HL1905466 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näyttematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näytematriisi: MAA Asiakkaan näytetunnus Laboratorion näytetunnus Asiakkaan näytteenottopäivä/aika				Mustaliuskesivukivi			
				HL1905466002			
				2019-12-10 00:00			
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Fysikaaliset parametrit - jatkuu							
kuiva-aine 105°C	99.9	± 6.02	%	0.10	S-DRY-GRCI/PR	S-DRY-GRCI	CS
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	11.1	±25%	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
polonium 210	255	± 38	Bq/kg k.a.	50	S-PO210DSCI/PR	S-PO210DSCI	CS
Torium 232	45.5 *	----	Bq/kg k.a.	0.1	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
lyijy 210	120	±25%	Bq/kg k.a.	50	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 232 pit.	11200 *	----	µg/kg k.a.	25	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
Kalium-40	1040	± 207	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 230	233 *	----	Bq/kg k.a.	8	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
protaktinium 231	<15.0	----	Bq/kg k.a.	5.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 230 pit.	0.305 *	----	µg/kg k.a.	0.010	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
radium 223	12.2	±25%	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 226	191	± 28.6	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 228	46.2	± 6.9	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 227	10.2	±20%	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 228	44.7	± 6.7	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 234	207	±25%	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 235	9.6	±25%	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 238	207	±25%	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS

Näyttematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näyttematriisi: MAA Asiakkaan näytetunnus Laboratorion näytetunnus Asiakkaan näyteenottopäivä/aika				Metakarbonaatti sivukivi			
				HL1905466003			
				2019-12-10 00:00			
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Fysikaaliset parametrit							
kuiva-aine 105°C	99.8	± 6.02	%	0.10	S-DRY-GRCI/PR	S-DRY-GRCI	CS
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	<3.5	----	Bq/kg k a	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS

Päiväys : 2021-06-24 15:56
 Sivu : 4 / 8
 Tilausnumero : HL1905466 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Metakarbonaatti sivukivi

HL1905466003

2019-12-10 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyyssipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit - jatkuu							
polonium 210	56	± 8	Bq/kg k.a.	50	S-PO210DSCI/PR	S-PO210DSCI	CS
Torium 232	27.4 *	----	Bq/kg k.a.	0.1	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
Iyijy 210	<50	----	Bq/kg k.a.	50	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 232 pit.	6740 *	----	µg/kg k.a.	25	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
Kalium-40	135	± 27	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 230	84 *	----	Bq/kg k.a.	8	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
protaktinium 231	<10.0	----	Bq/kg k.a.	5.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 230 pit.	0.110 *	----	µg/kg k.a.	0.010	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
radium 223	<3.5	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 226	58.5	± 8.8	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 228	26.0	± 3.9	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 227	<3.5	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 228	24.4	± 3.7	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 234	43	±25%	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 235	2.5	±30%	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 238	43	±25%	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS

Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Kiilleliuske

HL1905466004

2019-12-10 00:00

Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyyssipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Fysikaaliset parametrit							
kuiva-aine 105°C	99.9	± 6.02	%	0.10	S-DRY-GRCI/PR	S-DRY-GRCI	CS
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	<3.3	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
polonium 210	<50	----	Bq/kg k.a.	50	S-PO210DSCI/PR	S-PO210DSCI	CS
Torium 232	37.3 *	----	Bq/kg k.a.	0.1	S-TH232-0	S-TH232-0	CS

Päiväys : 2021-06-24 15:56
 Sivu : 5 / 8
 Tilausnumero : HL1905466 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näyttematriisi: MAA				Asiakkaan näytetunnus Laboratorion näytetunnus Asiakkaan näytteenottopäivä/aika		Kiilleliuske			
				HL1905466004					
				2019-12-10 00:00					
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio		
Radiologiset parametrit - jatkuu									
Iyijy 210	<50	----	Bq/kg k.a.	50	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
Torium 232 pit.	9190 *	----	µg/kg k.a.	25	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		
Kalium-40	765	± 153	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 230	45 *	----	Bq/kg k.a.	8	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		
protaktinium 231	<10.0	----	Bq/kg k.a.	5.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
Torium 230 pit.	0.059 *	----	µg/kg k.a.	0.010	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		
radium 223	<3.5	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
radium 226	27.9	± 4.2	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
radium 228	38.5	± 5.8	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 227	<3.3	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 228	37.4	± 5.6	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 234	29	±30%	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
uraani 235	1.6	±30%	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
uraani 238	29	±30%	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		

Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näyttematriisi: MAA Asiakkaan näytetunnus Laboratorion näytetunnus Asiakkaan näytteenottopäivä/aika				Kvartsiitti			
				HL1905466005			
				2019-12-10 00:00			
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Fysikaaliset parametrit							
kuiva-aine 105°C	99.9	± 6.03	%	0.10	S-DRY-GRCI/PR	S-DRY-GRCI	CS
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	<1.5	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
polonium 210	<50	----	Bq/kg k.a.	50	S-PO210DSCI/PR	S-PO210DSCI	CS
Torium 232	13.3 *	----	Bq/kg k.a.	0.1	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
Iyijy 210	<50	----	Bq/kg k.a.	50	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 232 pit.	3270 *	----	µg/kg k.a.	25	S-TH232-0	S-TH232-0	CS

Päiväys : 2021-06-24 15:56
 Sivu : 6 / 8
 Tilausnumero : HL1905466 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näyttematriisi: MAA				Asiakkaan näytetunnus Laboratorion näytetunnus Asiakkaan näytteenottopäivä/aika		Kvartsiitti			
						HL1905466005			
						2019-12-10 00:00			
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyyssipaketti	Menetelmä	Laboratorio		
Radiologiset parametrit - jatkuu									
Kalium-40	264	± 53	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 230	158 *	----	Bq/kg k.a.	8	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		
protaktinium 231	<5.0	----	Bq/kg k.a.	5.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
Torium 230 pit.	0.207 *	----	µg/kg k.a.	0.010	S-TH232-0	S-TH232-0	CS		
radium 223	<1.9	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
radium 226	8.9	± 1.3	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
radium 228	12.4	± 1.9	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 227	<1.5	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 228	11.3	± 1.7	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
torium 234	10	±40%	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
uraani 235	<1.0	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		
uraani 238	10	±40%	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS		

Näytematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näytematriisi: MAA Asiakkaan näytetunnus Laboratorion näytetunnus Asiakkaan näyteenottopäivä/aika				Kvartsijuoni			
				HL1905466006			
				2019-12-10 00:00			
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Fysikaaliset parametrit							
kuiva-aine 105°C	100	± 6.03	%	0.10	S-DRY-GRCI/PR	S-DRY-GRCI	CS
Radiologiset parametrit							
aktinium 227	<1.0	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
polonium 210	<50	----	Bq/kg k.a.	50	S-PO210DSCI/PR	S-PO210DSCI	CS
Torium 232	0.9 *	----	Bq/kg k.a.	0.1	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
lyijy 210	<50	----	Bq/kg k.a.	50	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 232 pit.	223 *	----	µg/kg k.a.	25	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
Kalium-40	<10	----	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 230	<8 *	----	Bq/kg k.a.	8	S-TH232-0	S-TH232-0	CS

Päiväys : 2021-06-24 15:56
 Sivu : 7 / 8
 Tilausnumero : HL1905466 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Näyttematriisi: MAA

Asiakkaan
 näytetunnus
 Laboratorion näytetunnus
 Asiakkaan näytteenottopäivä/aika

Näytematriisi: MAA Asiakkaan näytetunnus Laboratorion näytetunnus Asiakkaan näyteenottopäivä/aika				Kvartsijuoni			
				HL1905466006			
				2019-12-10 00:00			
Parametri	Tulos	MU	Yksikkö	LOR	Analyysipaketti	Menetelmä	Laboratorio
Radiologiset parametrit - jatkuu							
protaktinium 231	<5.0	----	Bq/kg k.a.	5.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
Torium 230 pit.	<0.010 *	----	µg/kg k.a.	0.010	S-TH232-0	S-TH232-0	CS
radium 223	<1.0	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 226	<1.0	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
radium 228	<1.0	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 227	<1.0	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 228	<1.0	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
torium 234	<10	----	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 235	<1.0	----	Bq/kg k.a.	1.0	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS
uraani 238	<10	----	Bq/kg k.a.	10	xS-RAD-NAT/PR	S-RAD-NAT	CS

Analyysiraportin tulososa päätty tähän

Lyhyt menetelmäkuvaus

Analyysimenetelmät	Menetelmäkuvaus
S-DRY-GRCI	CZ_SOP_D06_01_045 (CSN ISO 11465, CSN EN 12880, CSN EN 14346:2007), CZ_SOP_D06_07_046 (CSN ISO 11465, CSN EN 12880, CSN EN 14346:2007, CSN 46 5735) Kuiva-aineen määrittäminen gravimetrisesti ja kosteuden määrittäminen laskennallisesti mitatuista arvoista.
S-PO210DSCI	CZ_SOP_D06_07_366 (CSN 75 7626) Polonium 210 -isotoopin määrittäminen kokonaishajotuksen ja sen konsentraation jälkeen ZnS(Ag)-sorptiolla emittoivien tuikkien mittauksella.
S-RAD-NAT	CZ_SOP_D06_07_367 (CSN EN ISO 10703, SUJB Suositus "Luonnollisten radionuklidien mittaaminen ja arviointi rakennusmateriaaleista", DR-RO-5.2 (Rev. 0.0), Prague 2017) Ei-hajottavien radionuklidien määrittäminen korkean havainnointikyvyn gammaspektrometrillä. Massa-aktiivisuusindeksien I ja ACI määrittäminen yksittäisten radionuklidien tilavuusaktiivisuuksista laskemalla.
*S-TH232-0	Luonnollisten toriumisotoppien (Th-232 ja Th-230) aktiivisuuspitoisuuden määrittäminen ICP-SFMS -menetelmällä. [Analysoinnista vastaa ALS Scandinavia AB, Aurorum 10 Luleå, Ruotsi 97775. Akkreditointiin: SWEDAC Akkreditointinumero: 2030]

Esikäsittelymenetelmät	Menetelmäkuvaus
*S-SAMPLESPLIT	Näytteen jakaminen (laboratorion sisäinen toimenpide)

Päiväys : 2021-06-24 15:56
 Sivu : 8 / 8
 Tilausnumero : HL1905466 Korvaava raportti 1
 Asiakas : Ramboll Finland Oy



Lyhenteet: **LOR** = Raportointiraja (Limit Of Reporting) edustaa normaalia raportointirajaa kyseessä olevalle parametrille ja menetelmälle. Huomioithan, että raportointiraja voi nousta esim. liian pienen näytämäärän vuoksi tai jos näyte joudutaan laimentamaan matriisihäiriöiden vuoksi.

MU = Mittausepävarmuus

* = Merkki tuloksen yhteydessä tarkoittaa akkreditoimatonta analyysia.

Mittausepävarmuus:

Mittausepävarmuus on ilmoitettu laajennettuna mittausepävarmuutena (dokumentin "Guide to the Expression of Measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010" määritelmän mukaan), jossa on käytetty kattavuuskerrointa 2, jolloin luotettavuustaso on noin 95%. Mittausepävarmuus raportoidaan vain havaituille yhdisteille, joiden pitoisuudet ovat yli raportointirajan.

Alihankkijoiden mittausepävarmuus on yleensä annettu laajennettuna mittausepävarmuutena, jossa on käytetty kattavuuskerrointa 2. Laboratoriolta saa lisätietoja pyydettäessä.

Analysoiva laboratorio

	Laboratorio
CS	Analysoinnista vastaa ALS Czech Republic, s.r.o., Bendlova 1687/7 Ceska Lipa Tšekki 470 01 Akkreditointielin: CAI Akkreditointinumber: 1163
PR	Analysoinnista vastaa ALS Czech Republic, s.r.o., Na Harfe 336/9 Praha 9 - Vysocany Tšekki 190 00 Akkreditointielin: CAI Akkreditointinumber: 1163



Selvitys

ALS:N TAPPAUSNRO:	220 045	PÄIVÄMÄÄRÄ:	2021-06-11
ASIAKAS:	Ramboll Finland Oy		
YHTEYSHENKILÖ:	Katariina Koikkalainen		
AIHE:	Raportoitujen tulosten tarkistus		
TILAUSSNUMERO(T):	HL1905466, HL1904101, HL1904099		
NÄYTENUMERO(T):	HL1905466/001	(Louhittu malmi)	
	HL1905466/002	(Mustaliuskesivukivi)	
	HL1905466/003	(Metakarbonaatti sivukivi)	
	HL1905466/004	(Kiilleliuske)	
	HL1905466/005	(Kvartsiitti)	
	HL1905466/006	(Kvartsijuoni)	
	HL1904101/001	(P1 Primäärin uusi malmi)	
	HL1904101/002	(P2 Primäärin keski-ikäinen malmi)	
	HL1904101/003	(S1 Sekundäärin uusi malmi)	
	HL1904101/004	(S2 Sekundäärin keski-ikäinen malmi)	
	HL1904101/005	(S3 Sekundäärin vanha malmi)	
	HL1904099/001	(KL2 rakenteiden alapuoliset vedet, DP5)	
	HL1904099/002	(KL2 suodosvedet, DP4)	
	HL1904099/003	(KL2 suodosvedet, DP5)	
	HL1904099/004	(Primäärikasoilta lähtevä liuos)	
	HL1904099/005	(Sekundäärikasoilta lähtevä liuos)	
	HL1904099/006	(Sekundäärikasojen suoto- ja valumavedet)	
	HL1904099/007	(Purkuputki)	
ANALYYSI(T):	S-RAD-NAT, W-U-PHO, W-U238-5-4, W-RAD-NAT (U, U-234, U-235, U-238)		

Asiakkaan lähettämä aiheen kuvaus:

Näissä tuloksissa oli jotain häikkää etenkin uraanin isotooppien U-238, U-234 ja U-235 osalta. Esimerkkinä todistus HL1904099 ja sieltä KL2 Suodosvedet DP4 (HL1904099002) ja KL2 Suodosvedet DP5 (HL1904099003). Uraanin massaperusteiset pitoisuudet ovat tutkimustodistuksella 0,537 mg/l ja 0,003 mg/l. Mikäli U-238 aktiivisuuspitoisuus on 56,1 Bq/l (näyte HL1904099002) tulisi uraania olla 5 mg/l eikä 0,537 mg/l. Vastaavasti jos U238 on 90,1 Bq/l (näyte HL1904099003) tulisi uraania olla 7 mg/l eikä 0,003 mg/l. Tarkistaisitteko näistä ja muistakin näytteistä etenkin uraanin isotooppien U-238, U-234 ja U-235 aktiivisuuspitoisuudet sekä ne massaperusteiset pitoisuudet että ne käy yksiin?



ALS:n tulosten tarkistus

Maanäytteet

Tilauksen HL1905466 radionuklidien tulokset (S-RAD-NAT, gammaspektrometri) tarkistettiin laskutoimitusten, laadunvalvontanäytteiden ja tiedonsiirtojen osalta, eikä virheitä havaittu. Näytteistä suoritettiin myös Th-232/230 isotooppeja ICP-SFMS-tekniikalla (S-TH232-0) alihankintana. Näytteet analysoitiin alun perin kahdella erillisellä sekvenssillä ja kahdella eri operaattorilla - yksi 232-Th:lle ja toinen 232-Th ja 230-Th matriisierotuksen jälkeen. Näiden ajojen väliset 232-Th:n pitoisuudet sopivat +/- 20% RSD:n sisällä näytteille 001-115. Näytteen 006 erotuksen jälkeen tulos 0,3 ppm ja suoran analyysin jälkeen 0,22 ppm.

Tilauksen HL1904101 radionuklidien tulokset (S-RAD-NAT, gammaspektrometri) tarkistettiin laskutoimitusten, laadunvalvontanäytteiden ja tiedon siirtojen osalta, eikä virheitä havaittu. Näytteistä suoritettiin myös Th-232/230 isotooppeja ICP-SFMS-tekniikalla (S-TH232-0). Aktiivipitoisuuksien 238-U:n ja 232-Th:n analyysi ilman erottamista ja loput isotoopit erottamisen jälkeen - päällekkäisten isotooppien tulokset ovat yhteneviä 20% RSD.

Tilausten HL1905466 ja HL1904101 isotoopin Th-230 tuloksia verrattiin eri menetelmien (ICP-SFMS/gammaspektrometri) välillä ja tulokset olivat yhteneviä laajennetun mittaausepävarmuuden rajoissa (gammaspektrometrissä on 8 x kertaa korkeampi havainnointiraja). Näytteistä ei voitu suorittaa uusinta-analyysseja tulosten tarkistamiseksi, koska näytteiden säilytysaika on päättynyt. Tarkistuksen perusteella ei raportoiduista tuloksista ei havaittu virheitä.

Vesinäytteet

Tilauksen HL1904099 näytteistä 001-003, 006-007 olivat vesinäytteitä ja 004-005 vahvoja prosessiliuoksia. Kaikista näytteistä määritettiin luonnolliset isotoopit U-238, U-235, U-234 ja Th-232, Th-230 suuren erottelutarkkuuden ICP-SFMS -tekniikalla (W-U238-5-4) alihankintalaboratoriossa. Kokonaisuraani määritettiin spektrofotometrillä silikageelierotuksen jälkeen (W-U-PHO). Luonnollisia radionuklideja määritettiin korkean havainnointikyvyn gammaspektrometrillä (W-RAD-NAT).

Näytteiden HL1904099/001-007 tulokset tarkistettiin laskutoimitusten, laadunvalvontanäytteiden ja tiedonsiirtojen osalta, eikä virheitä havaittu. Näytteet sisälsivät suuria pitoisuuksia Toriumia. ICP-SFMS-analyysseissa näytteitä laimennettiin isotooppien aktiivisuuspitoisuus määrittystä varten korkeiden pitoisuuksien vuoksi. Laimennoksista ei havaittu virheitä.

Tuloksia tarkistettiin kolmen menetelmän tuloksilla ICP-SFMS:n (W-U238-5-4), fotometrisen (W-U-PHO) ja gammaspektrometrin (W-RAD-NAT). Uraani koostuu pääasiassa U-238:sta, ellei keinotekoisesti rikasteta. Siksi, jos U-238:n tilavuusaktiivisuus lasketaan uudelleen pitoisuudeksi, sitä voidaan verrata fotometrialla tai ICP-MS:llä määritettyyn uraanin kokonaispitoisuuteen. Koska U-238:ta ei voida luotettavasti arvioida vesinäytteiden gammaspektrometrialla, myös isotooppi U-235 arvioitiin ja sitä verrattiin ICP-SFMS -tekniikalla saatuihin



tulokseen (Taulukko 1). ICP-SFMS:n ja gammaspektrometrian isotoopin U-235 tulosten vertailu (U-238/U235) osoittaa, että molemmat tulokset vastaavat toisiaan. Vakaa U-238 / U-235 suhde vahvistaa ICP-SFMS-tulokset.

Taulukko 1. Näytteiden HL1904099/001-007 U, U-238, U-235 tulokset sekä eri menetelmien tulosten suhteet.

Analyytti	Menetelmä	Yksikkö	001	002	003	004	005	006	007
U	W-U-PHO	mg/L	0.008	0.537	0.003			0.128	<0.002
U-238	W-U238-5-4	mg/l	0.0099	4.52	7.27	36.69	28.63	0.1694	0.0029
U-235	W-U238-5-4	Bq/L	0.006	2.63	4.19	21.4	16.6	0.098	0.002
U-235	W-RAD-NAT	Bq/L	<0.20	2.46	4	17.4	14.5	<0.20	<0.20
U-238	W-U238-5-4	Bq/L	0.123	56.1	90.1	455	355	2.1	0.036
U-238	W-U-PHO	Bq/L	0.099	6.63	0.037			1.58	<0.025
U-238	W-U238-5-4 Bq/l / mg/l		12.42	12.41	12.39	12.40	12.4	12.40	12.41
U-238	W-U-PHO Bq/l / mg/l		12.38	12.35	12.33	x	x	12.34	x
U-238/U	W-U238-5-4 Bq/l / W-U-PHO mg/l		15.38	104.47	30033.33	x	x	16.41	x
U-238/U	W-U238-5-4 mg/l / W-U-PHO mg/l		1.24	8.42	2423.33	x	x	1.32	x
U-238/U	W-U238-5-4 Bq/l / W-U-PHO Bq/l		1.24	8.46	2435.14	x	x	1.33	x
U-238/ U-235	W-U238-5-4 Bq/l / W-RAD-NAT Bq/l		20.50	21.30	21.50	21.30	21.40	21.40	18.00

Isotoopin U-238 ja uraanin kokonaispitoisuuden (U-238/U) suhde on noin 1. Näytteiden 001, 006, 007 osalta tulokset ovat yhteneviä. Näytteille 002 - 005 kyseinen suhde on huomattavasti suurempi, mikä tarkoittaa, että mitattu uraanipitoisuus on suurempi kuin isotoopin U-238.

Uraanin kokonaispitoisuus ei vastaa U-238 isotooppien aktiivipitoisuuksia tuloksia näytteille 002 - 005. Selvityksen perusteella fotometrisen uraananalyysin tuloksissa (W-U-PHO) on virheen mahdollisuus, mutta virhettä ei pystytty todentamaan ilman uusinta-analyysia. Uraanin isotooppimäärityksen tuloksia ICP-SFMS - tekniikalla (W-U238-5-4) ja luonnollisten radionuklidien tuloksia gammaspektrometrillä (W-RAD-NAD) voidaan selvityksen perusteella pitää luotettavampina.

Mikäli näytteet sisälsivät sedimenttiä/partikkeleita/kiven osia on mahdollista, että se on voinut vaikuttaa fotometrisen määrityksen tuloksiin. Näytteet kestävästiin typpiäpöllä ja suodatettiin 0.45µm suodattimella, jolloin sedimenttiin tai kivihiukkasiin sitoutunut uraani on mahdollisesti jäänyt näytteestä pois suodatuksen aikana. Näytteille mahdollisesti valitun sopimattoman hajotusmenetelmän (riittämätön hajoaminen) tai näytteen suodatuksen vuoksi mitatut tulokset voivat olla alhaisempia.

Tulosten vertailu eri analyysitekniikoiden kesken ei ole optimaalista. Suuren erotelutarkkuuden ICP-SFMS - tekniikalla (W-U238-5-4) isotooppien aktiiviset pitoisuudet määritetään spesifisesti, jolloin saadaan tarkka tulos yksittäiselle isotoopille. Fotometrisen menetelmä taas antaa tulokseksi yleispitoisuuden eli mukana voi olla muita tekijöitä. Selvitämme mahdollisuuksiamme määrittää jatkossa isotooppien aktiivisuudet ja massapitoisuudet samaa analyysitekniikkaa/laboratoriota käyttäen.



Johtopäätökset:

Tilausten HL1905466, HL1904101 maanäytteiden analyysitulokset tarkistettiin analyysidatan osalta, eikä virheitä havaittu. Tilauksen HL1904099 vesinäytteiden tulosten tarkistuksessa havaittiin, ettei uraanin kokonaispitoisuus ei vastaa U-238 isotooppien aktiivipitoisuuksia tuloksia näytteille 002 - 005. Vastaanotimme selvityspyynnön yli vuoden kuluttua näytteiden analyyseista. Valitettavasti tämän vuoksi tulosten vahvistaminen uusinta-analyyseilla tai näytematriisien tarkastelu ei onnistunut. Analyysidatan perusteella fotometrisen uraanianalyysin tuloksiin (W-U-PHO) liittyy epävarmuutta, mutta virhettä ei pystytty todentamaan ilman uusinta-analyyseja. Alhaiset kokonaisuraanipitoisuudet voivat olla seurausta sopimattomasta hajotusmenetelmästä tai näytteen suodatuksesta. Uraanin isotooppimäärityksen tuloksia ICP-SFMS -tekniikalla (W-U238-5-4) sekä luonnollisten radionuklidien tuloksia gammaspektrometrillä (W-RAD-NAD) voidaan selvityksen perusteella pitää luotettavampina.

Olettehan yhteydessä, mikäli Teille herää kysymyksiä selvitykseen liittyen.

KYSYMYKSET JA LISÄTIETOA

Anna Huttunen
Asiakaspalvelukemisti
ALS
T +358 10 470 1206
M +358 50 420 1206
anna.huttunen@alsglobal.com