

# » Käyttötarkkailun tulokset 2019

# Sisältö

Sisältö.....	2
Tuotanto, tarveaineiden kulutus ja syntyneet jätteet .....	4
Louhinta ja malminkäsittely.....	4
Bioliuotus .....	5
Metallien talteenotto.....	5
Maanrakennus .....	6
Tarveaineet .....	7
Energiatehokkuus .....	7
Syntyneet jätteet .....	8
Vesienhallinta .....	9
Vedenotto .....	9
Vesienkäsittely ja juoksutukset.....	9
Kaivosalueen vesitilanne.....	9
Kolmisopen säännöstelyn käyttötarkkailu .....	10
Uraanitase ja luonnon radioaktiivisten aineiden selvitys .....	12
Poikkeustilanteet ja ympäristöhavainnot .....	13
Poikkeustilanteet ja niihin varautuminen .....	13
Ympäristöhavainnot.....	14

# Käyttötarkkailun tulokset 2019

Tässä raportissa on kuvattu käyttötarkkailun tulokset vuodelta 2019. Raportissa on esitetty tarkkailun tulokset sekä ympäristötarkkailun kannalta olennaisimpia lukuja koko vuodelta 2019. Kattavammin tietoa ja lukuarvoja yhtiön toimintaa koskien on saatavilla Terrafame Oy:n vuoden 2019 vuosikertomuksesta.

Korkein hallinto-oikeus (KHO) antoi 9.5.2017 ratkaisut Terrafamen kaikista keskeisistä lupapäätöksistä, mm. koko kaivostoimintaa (mukaan luettuna uraanin talteenotto) koskeva, Pohjois-Suomen aluehallintoviraston (PSAVI) myöntämä ympäristö- ja vesitalouslupa (Nro 36/2014/1) sekä Nuasjärven purkuputken ympäristölupa (PSAVIn päätös Nro 43/2015/1). KHO piti voimassa Vaasan hallinto-oikeuden (VHO) 28.4.2016 antaman ratkaisun, jonka mukaan Terrafamen oli haettava koko toiminnalleen uutta ympäristölupaa 31.8.2017 mennessä.

Terrafame jätti PSAVI:lle koko toimintaansa koskevan ympäristölupahakemuksen 30.8.2017. Uuden ympäristöluvan hakemusta täydennettiin 27.7.2018 muun muassa lupaviranomaisen pyytämillä yksityiskohtaisilla prosessikuvauksilla sekä uusia tuotantoalueita koskevilla suunnitelmilla. PSAVI kuulutti hakemusaineiston 31.12.2018. Yhtiö täydensi hakemustaan päivittyneillä suunnitteluaineistoilla sekä muulla ajantasaisella materiaalilla alkuvuodesta 2020. Yhtiön nykyiset ympäristö- ja vesitalousluvut säilyvät voimassa aina siihen saakka, kunnes uusi, koko toimintaa koskeva ympäristölupa saa lainvoiman.

Terrafame kertoi marraskuussa 2017 suunnittelevansa investointia sähköajoneuvojen akuissa käytettävien akkukemikaalien tuotantoon. Keväällä 2018 käynnistyi hankkeen ympäristövaikutusten arviointiprosessi eli YVA-prosessi ja arvioinnin lopputuloksena Terrafame jätti loppuraportin eli YVA-selostuksen yhteysviranomaisena toimivalle Kainuun ELY-keskukselle lokakuussa. Ympäristövaikutusten arviointi osoitti, että hanke voidaan toteuttaa ilman merkittäviä ympäristövaikutuksia. Terrafame jätti PSAVI:lle akkukemikaalitehdasta koskevan ympäristölupahakemuksen 30.4.2019

Terrafame jätti uraanin talteenottoa koskevan lupahakemuksen valtioneuvostolle lokakuussa 2017. Valtioneuvosto myönsi luvan uraanin talteenottoon 6.2.2020. Lupapäätöksestä on valitettu korkeimpaan hallinto-oikeuteen.

Terrafame jätti 28.3.2019 vanhojen vesienkäsittelysakkojen loppusijoittamisen ympäristövaikutusten arviointi ohjelman Kainuun ELY-keskukselle. YVA-selostus valmistuu keväällä 2020, kun hankkeen tekninen kunnostussuunnittelu etenee riittävästi siten, että työn vaikutusten arviointi voidaan kattavasti toteuttaa. Vesienkäsittelysakkoja koskeva ympäristölupahakemus jätetään PSAVI:lle arviolta alkukesällä 2020.

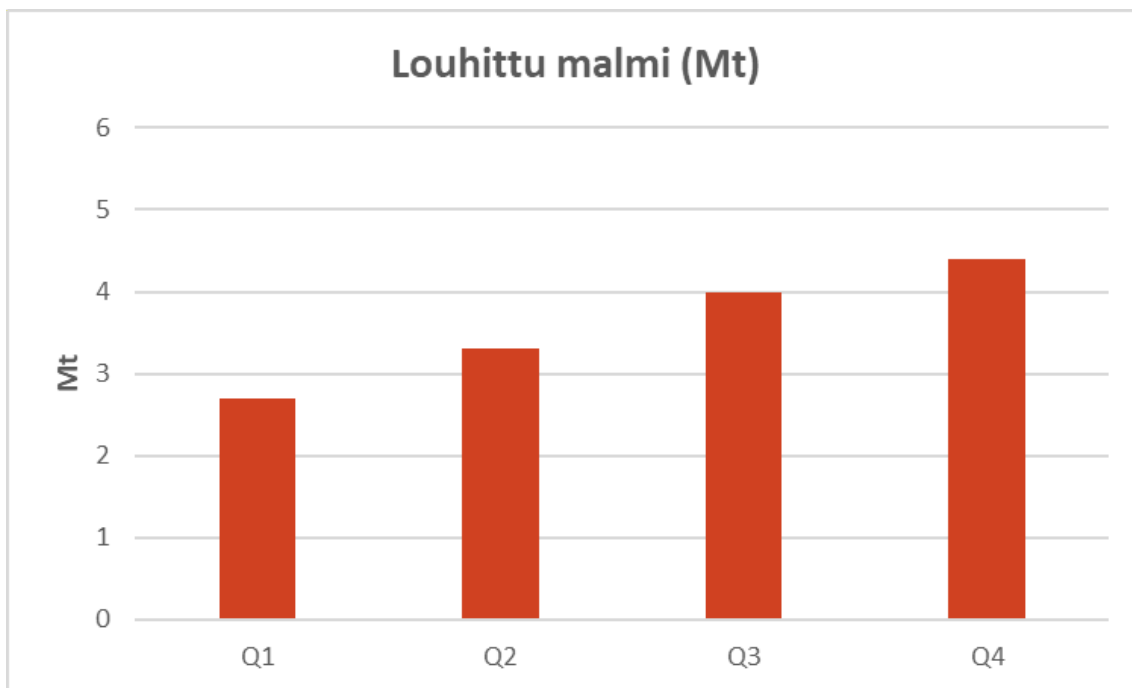
Terrafamella on sertifioidut laatu-, ympäristö- ja turvallisuusjohtamisjärjestelmät. Vuonna 2019 Terrafame jatkoi myös Kestävän kaivostoiminnan verkoston kaivosvastuujärjestelmän käyttöönottoa, joka aloitettiin jo vuoden 2017 puolella.

# Tuotanto, tarveaineiden kulutus ja syntyneet jätteet

## Louhinta ja malminkäsittely

Vuonna 2019 Terrafame louhi malmia Kuusilammen avolouhoksesta. Louhittu malmi ajetaan kiviautoilla louhoksesta karkeamurskaamoon, josta murskattu malmi siirretään kuljettimella välivarastoon ja välivarastolta edelleen hienomurskaukseen. Hienomurskauksesta malmi siirretään agglomeroinnin kautta kasaukseen primääriliuotusalueelle. Primääriliuotuksen jälkeen liuotetut malmikasat puretaan ja murskataan, jonka jälkeen malmi siirretään sekundääriliuotuskentälle. Sekundääriliuotuskenttä toimii loppuun liuotetun malmin loppusijoituspaikkana. Primääri- ja sekundäärikenttien malmin kasaus ja purku on vuorokauden ympäri tapahtuvaa jatkuvaa toimintaa.

Kuusilammen avolouhoksessa louhittiin vuoden 2019 aikana louhoksen etelä-, keski- ja pohjoisosissa. Louhosta laajennettiin hieman pohjoiseen, mutta pääosin louhittiin louhoksen keskiosaa syventäen. Louhoksen syvin kohta pohjoisosassa louhosta on +60 m, joka on sama kuin vuoden 2018 lopussakin. Malmia louhittiin yhteensä 14,4 miljoonaa tonnia, jonka lisäksi sivukiveä louhittiin yhteensä 17,9 miljoonaa tonnia. Louhitun malmin määrä neljännesvuosittain on esitetty kuvassa 1. Yhteensä louhintaräjättyksiä avolouhoksella oli vuoden aikana 83.



Kuva 1. Louhittu malmimäärä neljännesvuosittain

Louhinnan yhteydessä syntyy myös mustaliuskesivukiveä, jota on läjitetty sivukivialue KL2:lle Kuusilammen avolouhoksen itäpuolelle lokakuusta 2017 lähtien. Sivukivialue sai alueen käytön mahdollistavan ympäristölupapäätöksen (nro 76/2017/1) 22.9.2017. Mustaliuskesivukiveä läjitettiin vuonna 2019 sivukivialueen ensimmäisen ja toisen osan alueelle ja heinäkuusta lähtien myös kolmannen osan alueelle yhteensä 17 877 243 t.

Vuoden 2019 aikana malmia kasattiin primääriliuotukseen sama määrä kuin Kuusilammen louhoksesta louhittiin eli noin 14,4 miljoonaa tonnia. Primäärिकासoille kasattua malmia siirrettiin vuoden aikana sekundääriliuotuskasoille noin 16,4 miljoonaa tonnia. Kasalta puretusta malmista 0,8 miljoonaa tonnia käytettiin primäärिकासan korjaukseen.

Kaivostoiminnasta syntyvää tärinää mitattiin vuoden aikana jatkuvatoimisilla tärinämittareilla kolmesta pisteestä, joista kaksi sijaitsee kaivosalueen ulkopuolella asutuissa kiinteistöissä ja yksi tehdasalueella. Yhden kiinteistön tärinämittarin yhteydessä on myös ilmanpainemittari louhintaräjäytysten paineaaltojen kulkeutumisen tarkkailua varten.

## Bioliuotus

Metallien tuotannossa yhtiö hyödyntää energiatehokasta bioliuotustekniikkaa, jonka ansiosta myös tuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat alhaisemmat perinteiseen vaahdotussulattomenetelmään verrattuna. Tavoitteena on hyödyntää louhittavassa malmisissa olevat metallit yhä tehokkaammin.

Bioliuotuksessa kasattua malmia liuotetaan kahdessa vaiheessa, primääriliuotuksessa sekä sekundääriliuotuksessa. Primääriliuotuksessa tuoretta malmia liuotetaan primäärिकासoilla n. 1,5 vuotta, jonka jälkeen malmi siirretään sekundääriliuotukseen. Sekundääriliuotuksessa malmia liuotetaan edelleen primääriliuotusta vastaavalla prosessilla. Liuotuksessa kasattuja malmikasoja kastellaan happamalla prosessiliuoksella ja ilmastetaan johtamalla kasoihin ilmaa.

Vuoden 2019 lopussa sekundääriliuotus oli edennyt lohkon kolme toiselle kierrokselle. Käänteisosmoosilaitoksella syntynyttä rejektiä johdettiin liuoskieroon vuoden aikana yhteensä 199 000 m<sup>3</sup>. Yhteensä muita vesijakeita johdettiin 950 000 m<sup>3</sup> korvaamaan kasoilla tapahtuvaa haihduntaa. Vesitilanne on ollut liuotuksessa haastava ja lisärettä on pystytty ottamaan vain lyhyen aikaa alkuvuodesta sekä kesällä.

Vuonna 2019 meluntorjuntatoimenpiteitä jatkettiin sekundääriliuotusalueen puhaltimilla ja putkistoilla. Sekundääriliuotuskasan lohkon yksi puhaltimelle asennettiin joulukuussa 2019 äänenvaimennin. Äänenvaimentimet asennetaan kaikille puhaltimille, jos testijakson perusteella vaimennus todetaan riittävän tehokkaaksi. Meluntorjunta toimenpiteillä pyritään vaimentamaan puhaltimista lähtevän melun tasoa sekä estämään sen kulkeutumista.

## Metallien talteenotto

Metallien talteenotossa metallisulfidit eli metallin ja rikin yhdisteet erotetaan kiertoliuoksesta rikkivetysaostuksella. Talteenottolaitoksella on kaksi tuotantolinjaa. Ensimmäisenä liuoksesta erotetaan kupari, toisena sinkki ja kolmantena nikkeli sekä koboltti. Toimintavuoden aikana metallitehtaalla tuotettiin 27 468 tonnia nikkeliä ja 55 222 tonnia sinkkiä sekä pieniä määriä kuparia ja kobolttia.

Vuoden 2019 aikana metallien talteenottolaitosta ajettiin kahdella linjalla. Normaalien toiminnan aikaisten huoltotoimien lisäksi toukokuussa talteenottolaitoksella pidettiin molempien tuotantolinjojen vuosihuoltoseisakit. Vuosihuoltoseisakin aikana metallien talteenotto oli kokonaisuudessaan pysähdyksissä noin viikon ajan. Lisäksi syksyllä pidettiin 1,5 viikon mittainen huoltoseisakki. Metallien talteenottolaitoksen hönkäkaasujen käsittelylaitteistojen kokonaisvaltainen tarkastelu ja kehitystyö on aloitettu. Kuluvana vuonna jatketaan myös H2S-onlinemittausten kehitystyötä.

Metallien talteenottoprosessissa syntyy myytävien tuotesakkojen lisäksi esineutraloinnin sakkaa, raudansaostuksen sakkaa sekä loppuneutraloinnin sakkaa. Aikaisemmin esineutraloinnin sakka sijoitettiin

sekundäärिकासojen pohjarakenteen sivukivitäyttöön kahden tiivisrakenteen väliseen kerrokseen. Nykyisen sekundääriliuotusalueen (SEK1-4) pohjarakenteiden valmistuttua, ei esineutralointisakkaa enää sijoiteta sivukiven sekaan, vaan primäärिकासalta purettavan purkumalmin sekaan ja ajetaan sen mukana sekundääriliuotuskaasalle liuotettavaksi eli hyödynnettäväksi tuotannossa. Esineutralointisakka sisältää metalleja, jotka ovat tehtyjen laboratoriokokeiden ja koetoiminnan perusteella liuotettavissa bioliuotuksessa. Esineutralointisakan hyödyntämiselle bioliuotuksessa on haettu ympäristölupaa elokuussa 2017 Pohjois-Suomen aluehallintovirastolle jätetyssä hakemuksessa. Vuonna 2019 esineutralointisakkaa muodostui yhteensä 101 363 t.

Loppuneutraloinnin sakka (vuonna 2019 muodostunut määrä 132 514 t) sijoitetaan kipsisakka-altaisiin. Raudansaostuksen sakka (vuonna 2019 muodostunut määrä 76 122 t) johdetaan keskusvedenpuhdistamolle, jossa se neutraloidaan ja muodostuva vesienkäsittelysakka johdetaan kipsisakka-altaalle. Loppuneutraloinnin ja raudansaostuksen prosessivaiheet olivat osan vuodesta pysäytettyinä, jolloin kaikki liuos johdettiin raffinaattina takaisin bioliuotukseen, eikä sakkoja näin ollen muodostunut.

Sakkojen lisäksi talteenotto-prosessissa syntyy raffinaattiliuosta ja loppuneutraloinnin ylitettä eli prosessin tuotevettä. Raffinaatti johdetaan takaisin liuoskiertoon ja loppuneutraloinnin ylitte käsitellään käänteisosmoosilaitoksella, missä syntyvää puhdistettua vettä käytetään tuotannon erilaisissa vedenkäyttökohteissa korvaamaan järvivedenottoa. Käänteisosmoosilaitoksella tuotettiin puhdasta vettä vuoden 2019 aikana yhteensä 583 731 m<sup>3</sup>. Käänteisosmoosilaitoksella syntyvä rejekti eli hylkyvesi johdetaan liuotuskiertoon. Vuoden 2019 aikana tätä rejektiä johdettiin liuoskiertoon korvaamaan haihduntaa yhteensä 199 000 m<sup>3</sup>

## Maanrakennus

Maanrakennustyöt jatkuivat vuonna 2019. Sivukivialue KL2:n lohko kolme valmistui ja lohkon neljä rakennustyöt käynnistyivät. Sivukiven läjitys on edennyt lohkolle kolme.

Alueen tarvekivilouhoksista louhittiin yhteensä vuoden aikana tarvekiveä 4,26 miljoonaa tonnia kaivoksen, maanrakennustöiden sekä teiden ylläpidon tarpeisiin. Lisäksi pintamaita poistettiin kaivoksen maanrakennusurakoiden yhteydessä vuoden aikana yhteensä 466 523 m<sup>3</sup>. Pintamaat läjitettiin niille tarkoitetuille läjitysalueille kaivoksen alueelle.

Vuonna 2018 sekundääriliuotusalueelle tehtiin toinen pintarakennekoe kenttä, jonka avulla tutkitaan eri vaihtoehtoja sivukivialueiden peittämiseksi niiden täytyttyä luvan mukaiseen tasoon. Koerakennekenttien seuranta on jatkettu suunnitelman mukaisesti vuoden 2019 aikana. Myös aiemmin rakennetut koekentät sekundääriliuotusalueella ovat edelleen seurannassa. Kipsisakka-altailla tutkimustoiminta aloitettiin vuonna 2016 ja seuranta jatkettiin myös vuonna 2019. Vuonna 2017 aloitettu sivukiven mahdollista hyötykäyttöä koskeva koetoiminta päättyi vuoden 2019 lopussa. Tutkimuksella kerättiin tietoa sivukivialueiden pohjarakenteiden kehittämistä ja tarkkailua varten sekä selvitettiin mahdollisuuksia hyödyntää taloudellisesti sivukiven pieniä arvoainepitoisuuksia.

Patojen vuosi- ja määräraikaistarkastukset tehtiin suunnitellusti. Kaivoksen patojen seurantakerros pidettiin kuukausittain sekä patojen kunnon ja toimivuuden jatkuvaa tarkkailua tehtiin tarkkailuohjelmien mukaisesti. Altaiden pinnankorkeuksien tarkkuus-GPS-mittauksia tehtiin viikoittain, jonka lisäksi altaiden pinnankorkeuksien seuranta kuuluu operaattoreiden päivittäisiin tai vuoroittain tehtäviin kierroksiin.

Maanrakennustöitä valvoi Kainuun ELY-keskuksen hyväksymä riippumaton laadunvalvoja ympäristöluvan edellyttämällä tavalla.

Akkukemikaalitehtaan rakennustyöt aloitettiin maaliskuussa 2019. Maaliskuussa aloitettiin myös primääri-liuotuslohkojen pohjarakenteen kunnostus. Lohkon kaksi alueelta kunnostus saatiin valmiiksi syyskuussa. Lohkon kolme kunnostus eteni lohkon puoliväliin saakka. Pohjarakenteen kunnostusta jatketaan keväällä 2020. Uuden kipsisakka-altaan KSA3:n rakennustyöt valmistuivat.

## Tarveaineet

Kaivosalueella käytettiin kemikaaleja yhteensä 383 845 tonnia. Näistä suurimpia jakeita ovat neutralointiaineet: kalkkikiveä eli kalsiumkarbonaattia (CaCO<sub>3</sub>) käytettiin kaikkiaan 84 884 tonnia sekä poltettua kalkkia eli kalsiumoksidia (CaO) käytettiin 13 237 tonnia. Rikkihapon kulutus oli 82 111 tonnia ja lipeän 113 980 tonnia. Metallien talteenotossa käytettiin lisäksi vetyperoksidia (50 %) noin 6 000 tonnia. Räjätysaineen kulutus oli noin 13 310 tonnia.

Polttoaineita jaetaan sekä kaivosvarikon että tehdasalueen jakelupisteistä. Vuonna 2019 ajoneuvojen moottoripolttoöljyn kulutus oli 16 502 tonnia ja dieselin 312,7 tonnia.

Kaivosvarikon lämpölaitoksella käytettiin vuonna 2019 kevyttä polttoöljyä noin 582 tonnia. Terrafame on luopunut raskaan polttoöljyn käytöstä ja vuoden 2018 aikana tehtaan lämpölaitoksella siirryttiin muutostöiden jälkeen käyttämään polttoaineena propaania. Propaania käytettiin lämpölaitoksella vuoden 2019 aikana noin 3592 tonnia. Vuonna 2019 lämpöenergian kulutus oli yhteensä 21,50 GWh, prosessihöyryn kulutus 22,83 GWh ja sähkönkulutus (ostettu) yhteensä 398 GWh.

## Energiatehokkuus

Terrafamen kaivoksen energiatehokkuus on korkealla tasolla, koska laitos on suhteellisen uusi ja käytössä on nykyaikainen tekniikka ja nykyaikaiset laitteet. Suurin etu energiatehokkuudessa on prosessimenetelmäksi valittu kasaliuotus. Kasaliuotuksessa talviolosuhteissakin metallientalteenottolaitokselle tuleva PLS-liuos on lämmintä, eikä sitä tarvitse lämmittää reaktionopeuden saavuttamiseksi. Malmin käsittelyssä käytetään pääasiassa hihnakuljettimia, jotka ovat energiataloudellisesti edullisia. Koko toiminnan sijoitussuunnitelma ja prosessitekniset ratkaisut on tehty niin, että energian tarve on mahdollisimman pieni. Eri toiminnot on sijoitettu niin lähekkäin kuin mahdollista, jotta materiaalien siirto olisi tehokasta. Lähtökohtaisesti projekteissa ja prosessimuutoksissa käytetään aina parasta tunnettua tekniikkaa ja ratkaisuja. Laitteet mitoitetaan ja optimoidaan parhaalle hyötysuhdealueelle huomioiden kokonaistehokkuus. Prosessissa mahdollisesti syntyvä ylijäämäenergia pyritään ottamaan talteen ja hyödyntämään toisaalla prosessissa mahdollisuuksien mukaan.

Terrafame teki vuonna 2019 investointeja energiatehokkuuteen, joista merkittävimpiä olivat vetytehtaan lämmön talteenoton investointi sekä tulevan akkukemikaalitehtaan uusi lämpövoimalaitos, joka tulee hyödyntämään puupolttoaineita ja lisää näin alueella hyödynnettävän uusiutuvan energian määrää. Vetylaitosten hukkaenergian ottaminen hyötykäyttöön vähentää merkittävästi fossiilisilla polttoaineilla tuotetun energian osuutta. Ratkaisut toteuttaa energia- ja vesiyhtiö Adven. Terrafame parantaa energiatehokkuuttaan jatkuvasti yhdessä energiantuotannon operoinnista vastaavan tahon kanssa.

## Syntyneet jätteet

Kaivostoiminnasta aiheutuvat jätteet voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin: yhdyskuntajätteisiin sekä prosessijätteisiin. Sivukiven, vesienkäsittelyssä syntyvien sakkujen sekä tuotantoprosessissa syntyvien sakkujen lisäksi kaivoksella syntyy toimintojen yhteydessä erilaisia jätejakeita.

Louhinnan yhteydessä vuoden aikana syntyi 17,9 miljoonaa tonnia sivukiveä, joka läjitettiin sivukivialue KL2:lle. Metallien talteenotossa muodostui raudansaostuksesta syntynyttä sakkua noin 76 122 tonnia ja loppuneutraloinnista syntynyttä sakkua noin 132 514 tonnia. Lisäksi esineutraloinnissa syntyi sakkua noin 101 363 tonnia, joka sijoitettiin sekundääriliuotuskasoille uudelleen liuotettavaksi.

Jätekirjanpidon mukaan jätteitä syntyi vuoden 2019 aikana seuraavasti: rakennusjätettä 149,5 tonnia, puujätettä 319,7 tonnia, biojätettä 15,2 tonnia, energiajätettä 611,6 tonnia, metallijätettä 1759 tonnia ja lasia 0,20 tonnia. Lisäksi kuljetinmattojätettä syntyi 524,2 tonnia.

Vaarallisia jätteitä muodostui yhteensä 385,7 tonnia. Vaarallisista jätteistä määrällisesti eniten muodostui öljyjätteitä 296,0 tonnia, joista käytettyjä voiteluöljyjä 172,9 tonnia, kiinteitä öljyjätteitä 49,8 tonnia, öljynerotuskaivojen lietteitä 37,0 tonnia, öljyisiä vesiä ja öljyemulsioita 28,4 tonnia, muuntajia jätteöljyineen 10,1 tonnia ja muita jätteöljyjä 8,1 tonnia. Lisäksi muodostui painekyllästettyä puuta 16,0 tonnia, käytettyjä jäädytinnesteitä 13,1 tonnia, elektroniikkaromua 12,7 tonnia ja lyijyakuja 6,8 tonnia. Loput olivat pienehköjä eriä erilaisia vaarallisia jätteitä, kuten laboratoriojätteitä, aerosoli-, maali-, ja liuosjätteitä, käytettyjä hengityssuojainpatruunoita ja suodattimia, tyhjiä tynnyreitä ja astioita sekä käytettyjä paristoja. Edellä mainittujen lisäksi muodostui pilaantuneita maita 113,3 tonnia.

Kaivoksen tehtaalla, pääkonttorilla ja muissa tiloissa muodostuva saniteettijätevesi käsitellään saniteettijätevedenpuhdistamossa, jonka asukasvastineluku on 500. Lisäksi kaivosalueella on käytössä pienempi kenttäpuhdistamo, jossa käsitellään kaivoskonttorin ja kaivoskorjaamon saniteettijätevedet. Urakoitsijakylässä on oma kenttäpuhdistamo. Jätevedenpuhdistamot ovat olleet toiminnassa läpi vuoden. Puhdistamolta toimitettiin vuoden aikana puhdistamolietettä yhteensä noin 223 400 tonnia kompostoitavaksi Sotkamon jätevedenpuhdistamon kautta.



# Vesienhallinta

## Vedenotto

Vuonna 2019 Kolmisoppijärvestä otettiin vettä 3 680 634 m<sup>3</sup>. Tästä 330 759 m<sup>3</sup> oli raakavesilinjan sulana pitoa, joka johdettiin takaisin luontoon tehdasalueen ulkopuolelle. Lisäksi vesitaseeseen tulee vettä sadantana ja alueen porakaivoista sekä vuonna 2018 käyttöön otetusta paikallisen vesiosuuskunnan vesijohtoverkosta. Vettä kierrätetään tuotannon käyttöön loppuneutraloinnista sekä käänteisosmoosilaitokselta. Talousvettä otettiin pääosin paikallisen vesiosuuskunnan vesijohtoverkosta.

## Vesienkäsittely ja juoksutukset

Terrafamen kaivospiirin alueella muodostuvia, käsittelyä vaativia vesiä käsitellään pääasiassa keskusvedenpuhdistamolla. Keskusvedenpuhdistamo sai ympäristöluvan tammikuussa 2017 ja se otettiin tuotannolliseen käyttöön koekäytön jälkeen alkuvuodesta 2017. Keskusvedenpuhdistamo yksinkertaisti kaivokselta pois johdettavien vesien puhdistusprosessia ja vähensi alueella sijaitsevien kenttäpuhdistamoiden käyttöä. Keskuspuhdistamolta kalkkineutraloinnilla käsitelty vesi ja muodostunut liete johdetaan kipsisakka-altaalle laskeutumaan ja kirkas ylitevesi johdetaan Latosuon altaalle. Latosuolta vettä on mahdollisuus johtaa vanhoille purkureiteille suoraan Kuusijokeen ja sieltä Kalliojoen, Kolmisopen ja Tuhkajoen kautta Jormasjärveen tai suoraan purkuputken kautta Nuasjärveen.

Vettä on mahdollisuus käsitellä myös Kortelammen, SEM2-altaan ja Tammalammen käsittelypisteissä, joiden kapasiteetti on yhteensä n. 3000 m<sup>3</sup>/h. Käsiteltävät vedet ovat alueen suojaumpaus-, hule- ja sadevesiä, kipsisakka-altaan vettä sekä alueella varastoituja, osin kipsisakka-altaan vuodosta 2012 kontaminoituneita vesiä. Neutralointia on tehty kalkkimaidolla, jolloin raskasmetallit saostuvat hydroksideina ja sakka on erotettu ulos laskettavasta vedestä. Vuonna 2019 SEM2 käsittely-yksikkö oli käytössä 12-31.12 välisenä aikana. Kaikki SEM2-altaalla neutraloidut vedet johdettiin Latosuolle.

Kaivosalueelta johdettiin vettä vesistöön 4 514 769 m<sup>3</sup>, josta 460 060 m<sup>3</sup> pohjoiseen Oulujoen vesistöön ns. vanhoille purkureiteille ja 4 054 709 m<sup>3</sup> purkuputken kautta Nuasjärveen. Etelän suuntaan Vuoksen vesistöön ei juoksutettu vesiä vuoden 2019 aikana. Vanhoille purkureiteille juoksutettavien vesien määrä suhteutetaan Kalliojoen virtaamaan, jota mitataan viikoittain käsimittauksella. Joessa on myös jatkuvatoiminen mittaus.

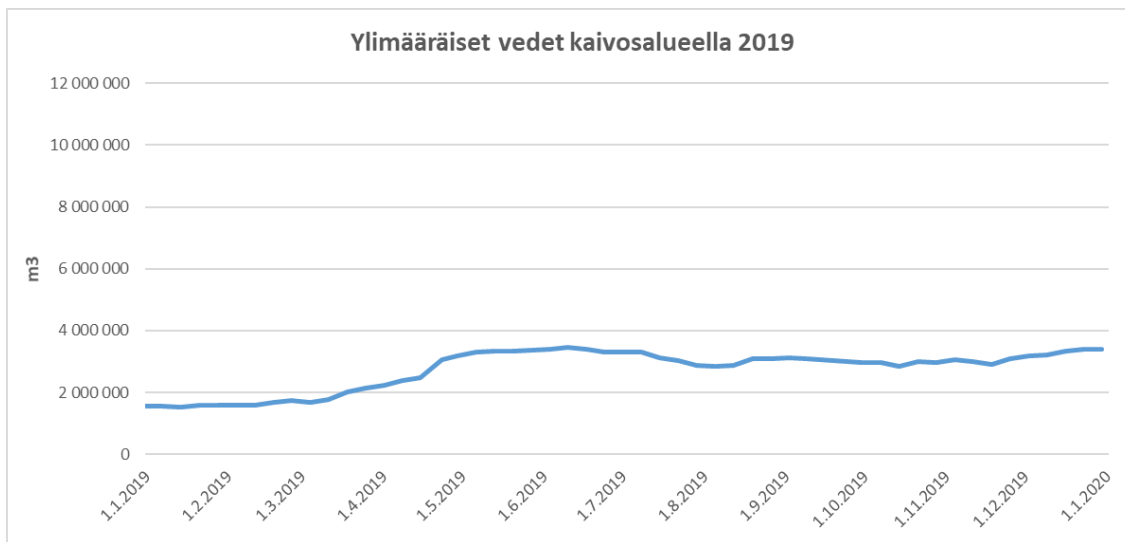
Juoksutettavia vesivirtaamia seurattiin jatkuvatoimisin virtausmittauksin ja osin käsimittauksin. Juoksutusvesien laatua tarkkailtiin viikoittain velvoitetarkkailuun kuuluvalla näytteenotolla. Kerran kuussa näytteen otti ulkopuolinen näytteenottaja ja muilla viikoilla kaivoksen oma, koulutettu näytteenottaja. Vesinäyte otettiin tarkkailuohjelman mukaisesti kuukausittain myös loppuneutraloinnin ylitteestä kun ylitettä johdettiin putkiston sulana pitämiseksi Lumelantien patoaltaalle. Myös käsittely-yksiköille tulevista vesistä ja kipsisakka-altaalta lähtevästä vedestä on otettu näytteitä kuukausittain. Purkuvesiä ja käsittelyyn tulevia vesiä on seurattu myös yhtiön omassa ympäristötarkkailussa päivittäin.

## Kaivosalueen vesitilanne

Terrafamen kaivoksen tuotantoalueiden ja vesienkäsittelyyn kuuluvien alueiden laajuus on yhteensä noin 17 neliökilometriä. Vesienkäsittelyyn kuuluva alue laajeni vuoden 2019 aikana sivukivialue KL2:n loholla 3 ja lohkon 4 rakennustyöt käynnistyivät.

Kaivosalueelle kertyy sadantana vuosittain kuudesta kymmeneen miljoonaa kuutiota vettä, joka tulee käsillä ja johtaa pois kaivosalueelta. Puhtaita vesiä on varastoitu Latosuon, Kuljun altaan sekä Kuusilammen varastoaltaisiin.

Vuoden 2019 alussa kaivosalueella oli varastoituna ylimäärävesiä yhteensä noin 1 560 000 m<sup>3</sup>, josta puhdistettua vettä 620 000 m<sup>3</sup>. Vuoden lopussa vastaava vesimäärä oli noin 3 408 000 m<sup>3</sup> (Kuva 2), josta jo puhdistettua vettä oli 1 249 000 m<sup>3</sup>.



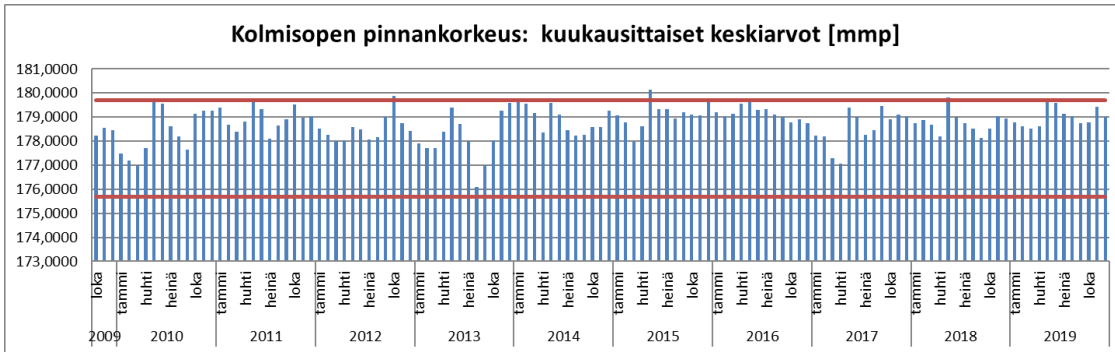
Kuva 2 Kaivosalueelle varastoitujen ylimäärävesien määrän kehitys 2019

Kaivosalueelle sadantana muodostuvan veden määrää on pienennetty vuodesta 2014 lähtien tehdyillä niin sanotuilla puhtaiden vesien erotuksilla. Erotuksissa sellaisia maa-alueita, joihin ei kohdistu kaivostoiminnasta aiheutuvaa kuormitusta, on erotettu tuotannollisessa toiminnassa olevista alueista avo-ojituksin. Näin on estetty tehokkaasti sadannasta ja lumien sulamisesta muodostuvan valumaveden pääsy tuotannollisen toiminnan alueille ja vedet on pystytty ohjaamaan sellaisenaan kaivosalueelta pois. Puhtaiden vesien erotusalueilla muodostuvia ja niiltä pois johdettavia vesiä tarkkaillaan säännöllisesti. Erotuksista on otettu vuoden 2019 aikana vesinäytteitä vähintään kerran kuukaudessa analysoitavaksi yhtiön omassa laboratoriossa.

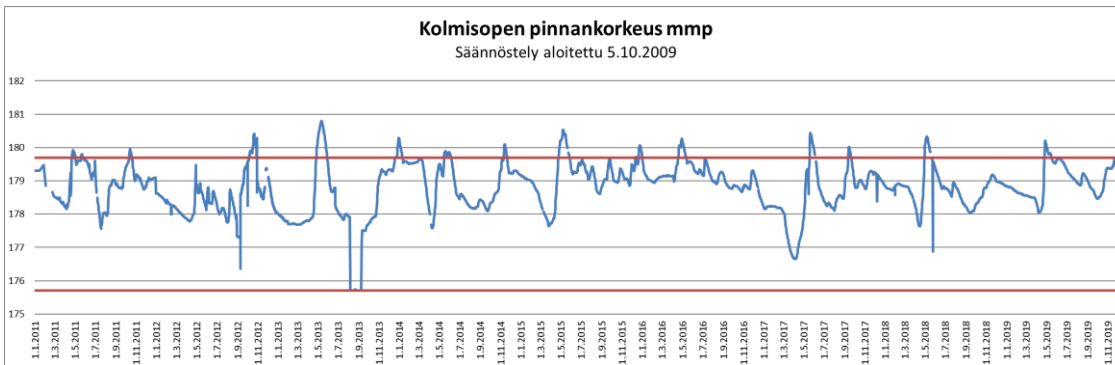
## Kolmisopen säännöstelyn käyttötarkkailu

Alueelle pumpataan raakavettä Kolmisopelta tuotannolliseen käyttöön sekä sammutusvedeksi. Veden saannin varmistamiseksi Terrafame Oy säännöstelee Kolmisopen pinnankorkeutta Tuhkajoen suulle rakennetulla Niskalan säännöstelypadolla ympäristö- ja vesitalousluvan mukaisesti. Säännöstelyä tarkkaillaan automaattimittauksilla, joilla seurataan Kolmisopen pinnankorkeutta sekä Niskalan säännöstelypadon virtaamaa. Kolmisopen pinnakorkeudet on esitetty kuvaajissa 1 ja 2 sekä Niskalan säännöstelypadon virtaama kuvaajassa 3.

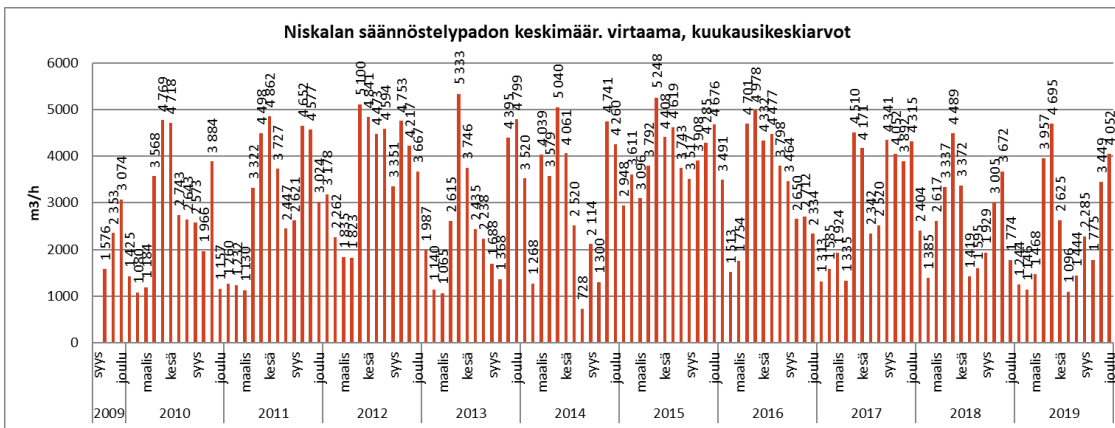
Vuoden 2019 aikana Kolmisopen pinnankorkeus oli säännöstelyrajoissa lukuun ottamatta toukokuuta. Niskalanpadon virtaaman kuukausikeskiarvot vaihtelivat vuoden aikana 1 096–4 695 m<sup>3</sup>/h välillä ollen alhaisimmillaan heinäkuussa ja korkeimmillaan toukokuussa. Ohessa on esitetty Kolmisopen säännöstelyn tarkkailun tulokset.



Kuvaaja 1. Kolmisopen pinnankorkeuden kuukausittaiset keskiarvot.



Kuvaaja 2. Kolmisopen pinnankorkeus.



Kuvaaja 3. Niskalan säännöstelypadon kuukausittaiset keskiarvot.

# Uraanitase ja luonnon radioaktiivisten aineiden selvitys

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

*”selvitettävä koko kaivoksen toiminnan uraanitase ja käytettävä sitä osana käyttötarkkailua ja ympäristöön aiheutuvien ympäristöpäästöjen tarkkailua. Taseesta on käytävä ilmi uraania sisältävien jätevesien ja jätteiden uraanipitoisuus sekä ilmaan aiheutuvat uraanipäästöt.*

Luvan saajan on myös *”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”. Terrafamen uraanitase on suunniteltu päivitettäväksi vuosittain. Liitteessä 1 on esitetty tuotantoprosessin uraanitase nykytuotannossa. Tiedot perustuvat Terrafamen tuotantoprosessissa mitattuihin liuosvirtaamiin ja muihin tuotantomääriin sekä pääosin Terrafamen omassa, akkreditoimattomassa laboratorioissa analysoituihin uraanipitoisuuksiin. Erityisesti päästöjen ja jätteiden osalta pitoisuustiedot ovat peräisin Terrafamen ympäristötarkkailusta, jota toteuttaa ulkopuolinen, akkreditoitu ympäristölaboratorio.

Terrafame on selvittänyt vuonna 2019 luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuudet louhitussa malmissa, sivukivessä, ensimmäisen- ja toisen vaiheen liuotuksessa, sivukivialueiden suoto- ja valumavesissä ja vesistöön johdettavassa vedessä. Selvityksen tulokset on esitetty liitteessä 2.

# Poikkeustilanteet ja ympäristöhavainnot

## Poikkeustilanteet ja niihin varautuminen

Vuoden 2019 aikana valvovalle ympäristöviranomaiselle ilmoitettiin 17 erilaista poikkeustilannetta, joihin on sisällynyt riski vaikutuksista ympäristöön. Ilmoitus tehtiin siis myös ns. läheltä piti -tilanteista tai tilanteista, joissa on tapahtunut rakenteen rikkoontuminen tai vuoto, joka on kuitenkin pystytty ohjaamaan turvalliselle alueelle tai pysäyttämään välittömästi. Ilmoituksista 5 kpl liittyi kohonneisiin metallipitoisuuksiin puhdasvesiojissa, 3 kpl putki-, putkitoimilaite- ja tiivisrakennevaurioihin ja 7 kpl erilaisiin häiriötilanteisiin, kuten ylivuotoihin ja käsittelyhäiriöihin. Lisäksi tehdasalueella tapahtui tulipalo ja kaasuräjähdykset, jotka aiheuttivat materiaalivahinkoja sekä häiriö sähköjälkijärjestelmässä.

Merkittävä ympäristöpoikkeama vuonna 2019 oli vaurio primääriliuotusalueen tiivisrakenteessa. Terrafame havaitsi osana normaalia ympäristötarkkailuaan kohonneita metallipitoisuuksia primääriliuotusalueen välittömässä läheisyydessä sijaitsevista pohjaveden seuranta- ja suojauspumpauspisteissä. Tarkemmissa tutkimuksissa primääriliuotusalueen lohkolta kaksi havaittiin vaurioita kentän HDPE-kalvossa ja sen yläpuolisessa suojarakenteessa. Kalvon alapuolella olevassa bentoniittimatossa ei havaittu vaurioita. Vaurioiden taustalla olivat primääriliuotuskasan liikkeet, liuoksen korkea lämpötila ja kalvoa suojaavan rakenteen vaurioituminen. Vaurion havaittuaan yhtiö aloitti välittömästi rakenteen korjaussuunnittelun. Primäärin kalvot uusittiin lohkon kaksi osalta kokonaan ja korjaus eteni lohkon kolme puoliväliin saakka. Korjaus on keskeytettynä talven 2020 ajan. Kalvorakenteen uusinta jatkuu lohkon neljä puolivälistä arviolta huhtikuussa 2020. Pohjarakenteen kunnostus etenee suunnitellussa aikataulussa ja riippumaton laadunvalvoja raportoi siitä viikoittain.

Rakenteen korjauksen lisäksi Terrafame käynnisti toimenpiteitä pohjavesivaikutusten vähentämiseksi primääriliuotusalueen ympäristössä. Primäärinentän ympäristössä tehtäviä suojauspumpauksia tehostettiin entisestään kontaminaation leviämisen ehkäisemiseksi ja alueelle asennettiin lisää pohjavesiputkia mahdollisten vaikutusten havaitsemiseksi. Pohjavesiputket on otettu osaksi yhtiön ympäristötarkkailua.

Toinen merkittävä ympäristöpoikkeama vuonna 2019 oli PLS-painelinjan rikkoutuminen ja liuoksen vuotaminen osittain kalvottomalle alueelle. Putki rikkoontui primääriliuotuksen lohkon yksi pohjoispäässä hitsausaumasta kohdassa, jossa putki kaartaa noin 90 asteen kulmassa kohti tehdasaluetta. PLS-liuos valui osittain kanaalin reunan yli uraanilaitoksen piha-alueille ja suuri osa vuodosta päätyi uraanilaitoksen raffinaatti- ja PLS-altaisiin. Altaista ja piha-alueilta liuos saatiin ohjattua takaisin kierto. Terrafame tehosti heti vuodon havaittuaan ympäristötarkkailua tehdasalueen eteläpuolella, mutta poikkeamasta ei havaittu aiheutuneen vaikutuksia kaivosalueen ulkopuolella.

Kaivosalueella tapahtui vuoden 2019 aikana yhteensä 11 öljyvahinkoa. Näissä tapauksissa vuotanut öljy on imeytetty imeytysaineeseen ja syntyvä jäte on toimitettu Kainuun jätehuollon kuntayhtymän Majasaaren käsittelykeskukseen öljyisenä maa-aineksena. Ensitoista on vastannut Terrafamen teollisuuspalokunta. Terrafamen teollisuuspalokunta on Kainuun pelastuslaitoksen sopimuspalokunta, joka osallistuu tarvittaessa pelastustehtäviin myös kaivosalueen ulkopuolella.

## Ympäristöhavainnot

Vuonna 2019 kaivosalueen ulkopuolelta tuli yhteensä 13 ilmoitusta ympäristöhavainnosta. Vuoden aikana tehdyt ilmoitukset koskivat melu-, värinä-, vesi-, pöly- ja hajuhavaintoja: Ilmoituksista 23 % (3 kpl) koski värinäilmoituksia, 38 % (5 kpl) hajuhavaintoja, 15 % (2 kpl) meluhavaintoja, 8 % (1 kpl) vesihavaintoja ja 15 % (2 kpl) pölyhavaintoja.

Vastaanottaja  
Terrafame Oy

Asiakirjatyyppi  
Raportti

Päivämäärä  
1.4.2020

# TERRAFAME OY LUONNON RADIOAKTIIVISET AIINEET



TERRAFAME OY  
LUONNON RADIOAKTIIVISET AINEET

Projekti Luonnon radioaktiiviset aineet  
Projekti nro 1510049178-003  
Vastaanottaja Terrafame Oy  
Asiakirjatyyppe Raportti  
Päivämäärä 1.4.2020  
Laatija Mari Kovero, Ramboll  
Tarkastaja 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>



## SI SÄLTÖ

1.	JOHDANTO	2
2.	YLEISKUVAUS TOIMINNASTA	3
3.	LUONNON RADIOAKTIIVISET AINEET	5
3.1	Yleistä luonnon radioaktiivisista aineista	5
3.2	Luonnon uraani	5
3.3	Uraani Terrafamen kaivostoiminnassa ja prosessiliuoksessa	6
4.	RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN ALUEELLISET TAUSTAPITOISUUDET	8
5.	AIKAISEMMAT LUONNON RADIOAKTIIVISIIN AINEISIIN LIITTYVÄT SELVITYKSET	10
5.1	Kaivosalueen ympäristön radiologinen perustilaselvitys	10
5.2	Uraanin tytärnuklidien pitoisuudet prosessivesikierrossa ja liuotuskasoissa	10
5.3	Bioliuotuskasojen ympäristön mittaukset	10
5.4	Kaivosalueelta ympäristöön johdettavan veden radioaktiivisuusmittaukset	11
5.5	Kipsisakka-altaalle sijoitettavien jätejakeiden sakkojen aktiivisuusmääritys	11
6.	VUONNA 2019 TEHTY SELVITYS	13
6.1	Näytteenotto	13
6.2	Tutkimuksen ulkopuolelle rajatut aineet ja prosessit	13
7.	TULOKSET	15
7.1	Malmin louhinta	15
7.2	Primääriliuotus	15
7.3	Sekundääriliuotus	16
7.4	Sivukivialueen rakenteiden alapuoliset vedet ja suodosvedet	17
7.5	Ympäristöön johdettava vesi	18
8.	TULOSTEN TARKASTELU	19
8.1	Kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuus	19
8.2	Uraanin tytärnuklidit	19
8.3	Kalium-40	20
8.4	Muut luonnon radioaktiiviset aineet	20
9.	YHTEENVETO	21
10.	LÄHTEET	22

LIITE 1 Analyysitulokset

## 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 vesiin 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.

## 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 sekundääriiliutuksesta 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 jätejakeista 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.

Irroitettun 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 liukoiksi yhdisteiksi. Bioliuotuksessa malmissa luonnostaan kasvavat mikrobit katalysoivat malmin sisältämän raudan ja rikin hapettumista saadakseen energiaa kasvuunsa. Kiinteät metallisulfidit muuntuvat vesiliukoiksi 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. Kasaa kastellaan kiertoliuksella, 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 (sekundääriliuotus), 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 hihnakuuljettimella 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 kasteliuoksena. 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 paluuliuoksena 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

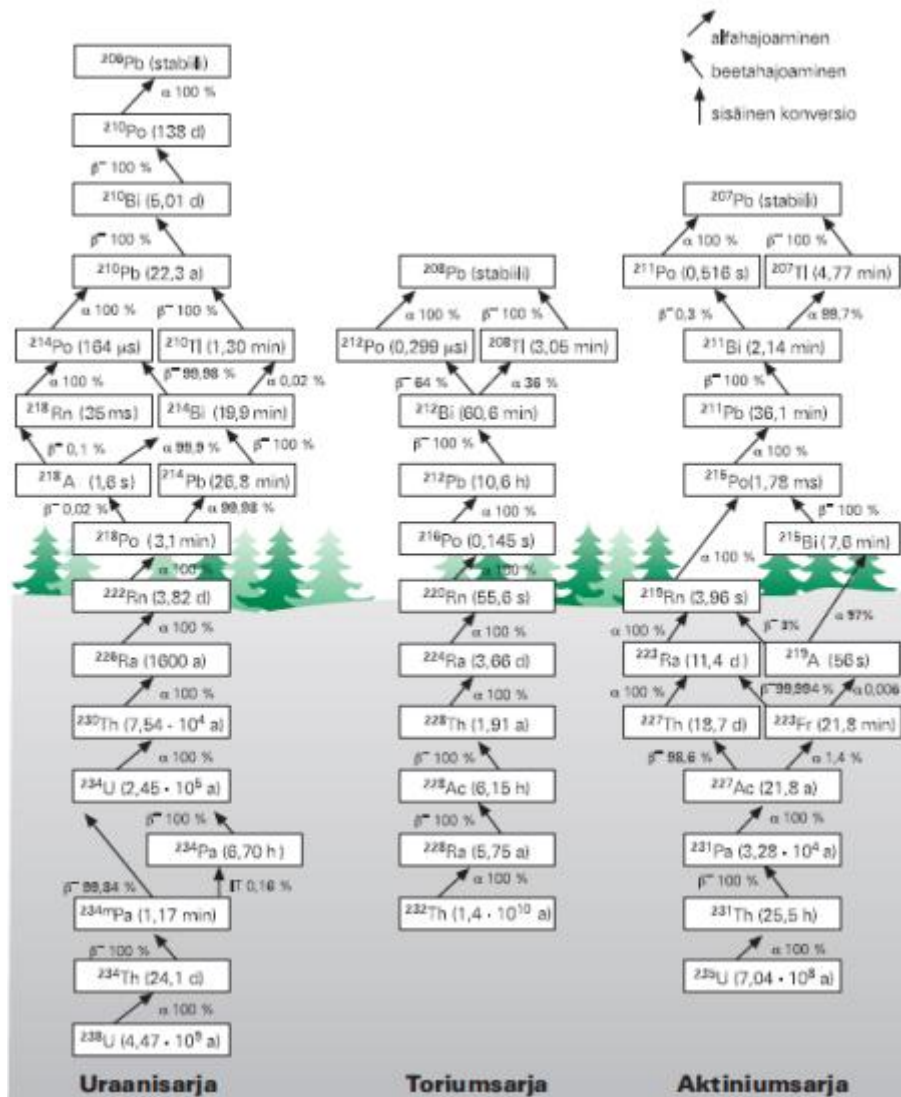
Kaikkialla ympäristössämme on ionisoivaa säteilyä lähettäviä radioaktiivisia aineita. Valtaosa aineista on luonnollisista lähteistä, mutta osa on keinotekoisesti tuotettuja. Kosminen säteily muodostuu auringosta ja aurinkokunnan ulkopuolelta tulevista hiukkasista sekä niiden ja ilmakehän vuorovaikutuksista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

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

### 3.2 Luonnon uraani

Luonnossa esiintyvä uraani koostuu kolmesta isotoopista, jotka ovat  $^{238}\text{U}$  (99,27%),  $^{235}\text{U}$  (0,72%) ja  $^{234}\text{U}$  (0,0057%). Uraanin radioaktiivinen hajoaminen koostuu kahdesta erillisestä hajoamissarjasta, joiden kantanuklideina ovat  $^{238}\text{U}$  ja  $^{235}\text{U}$ . Säteilysuojelun kannalta merkittävimpiä uraanin hajoamistuotteita (tytärnuklideja) ovat radon ( $^{222}\text{Rn}$ ), radium ( $^{226}\text{Ra}$ ), lyijy ( $^{210}\text{Pb}$ ) ja polonium ( $^{210}\text{Po}$ ) (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  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  ja  $^{232}\text{Th}$ .



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 toriumrikkaita maa-aineksissa pitoisuudet voivat olla tuhansia Bq/kg.

Merkittävin hajoamissarjoihin kuulumaton luonnon radionuklidi on kalium-40 (<sup>40</sup>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 sekundääriliuotuksen 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 määritysrajan (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 liuennut 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 TAUSTAPIITOISUUDET

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

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 ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ), torium ( $^{228}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ), radium ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ), lyijy ( $^{210}\text{Pb}$ ), polonium ( $^{210}\text{Po}$ ) ja radon ( $^{222}\text{Rn}$ ). 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 aktiivisuus-pitoisuudet vaihtelivat välillä 9,3-40 Bq/kg ( $^{226}\text{Ra}$ ), 4,4-31 Bq/kg ( $^{228}\text{Ra}$ ), 4,3-38 Bq/kg ( $^{228}\text{Th}$ ), 4,3-25 Bq/kg ( $^{232}\text{Th}$ ). Uraani-235 ja uraani-238 pitoisuudet jäivät alle määrittärajojen (STUK 2010-2011). Maaperästä mitattujen aktiivisuuspitoisuuksien vaihteluvälit vuosina 2010 ja 2011 on esitetty taulukossa 1.



Taulukko 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 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	0,004 tai 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 3 Uraanin aktiivisuuspitoisuudet näytekohtaisesti vuonna 2010. (STUK 2010-2011)

Näyte	Lkm	U-234 (mBq/l)	U-238 (mBq/l)	U-238 max. (µg/l)	Vertailuarvo U-238	
					Keskiarvo (µg/l)	Maksimi (µg/l)
Porakaivosvesi	6	3-293	2,1-180	14,4	21	12200
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 aineiston 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  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ja  $^{210}\text{Po}$  ja beta-aktiivisia aineita  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  ja  $^{40}\text{K}$ .

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

### 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;

- $^{226}\text{Ra}$ : 9,3–40 Bq/kg
- $^{228}\text{Ra}$ : 4,4–31 Bq/kg
- $^{210}\text{Pb}$ : 45–263 Bq/kg
- $^{210}\text{Po}$ : 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 prosessivesikierrrossa ja liuotuskasoissa

Uraanin tytärnuklidien pitoisuuksia prosessiliuoksissa ja liuotuskasoissa on kartoitettu Säteilyturvakeskuksen toimesta vuonna 2010. Tuolloin näytteitä otettiin syöttöliuoksesta, raffinaatista, takaisinuuottoliuoksesta, ladatusta uutoliuoksesta, PLS-Liuoksesta, lopputuotteesta (NiCoS), esineutraloinnista? (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- ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ) ja radonmittaukset vuonna 2014. Näytepaikkojen ja käytettävien menetelmien valinnassa konsultoitiin Säteilyturvakeskusta. Radonanalyysien mittauspaiikat valittiin sekä sekundääri- että primääriliuotuksen 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 pumppaamoille tehtiin mittauksia. Radium-analyysit ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ) tehtiin primääri- ja sekundäärikasojen kiertoliuoksesta

Näytteissä ei suoraan pystytty havaitsemaan  $^{226}\text{Ra}$ :a tai  $^{228}\text{Ra}$ :aa. Radonmittaustulokset olivat kaikissa mittauspisteissä  $\leq 30$  Bq/m<sup>3</sup>.

5.4 Kaivosalueelta ympäristöön johdettavan veden radioaktiivisuusmittaukset  
Kaivosalueelta purettavalle vedelle tehdään vuosittain radioaktiivisuusmittauksia osana yhtiön velvoitetarkkailua. Vesiinäytteiden 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, Kärsälammen sekä purkuputken vesinäytteet. Mittaustulosten perusteella aktiivisuuspitoisuudet olivat jokaisessa näytteessä hyvin alhaiset, useissa alle mittausrajan.

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

5.5 Kipsisakka-altaalle sijoitettavien jätejakeiden sakkojen aktiivisuusmääritys

*Radioaktiivisuusmääritykset* tehdään vuosittain kipsisakka-altaalle sijoitettavista jätteistä eli loppuneutralointisakasta, rautasakasta ja vesienkäsittelysakasta. Määritykset tehtiin kokoomanäytteistä muodostetuista vuosikokoomista. Näytteistä määritettiin polonium ( $^{210}\text{Po}$ ), lyijy ( $^{210}\text{Pb}$ ) sekä radium ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ). 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 ( $^{226}\text{Ra}$ ) 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)
<b>Loppuneutralointisakka (646)</b>					
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±0,002
<b>Rautasakka (645)</b>					
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±0,003
<b>Esineutralointisakka (653)</b>					
Ra-226			<3,0		
Ra-228			0,46±0,21		
Pb-210			9,5±2,7		
Po-210			10,3±1,5		
<b>Vesienkäsittelysakka (572)</b>					
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±0,002

## 6. VUONNA 2019 TEHTY SELVITYS

Vuonna 2019 tehdyssä tutkimuksessa keskityttiin uraanin tytärnuklidien radioaktiivisten isotooppien ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ) kartoittamiseen niiden liikkuaessa prosessin läpi.

Näiden lisäksi analysoitiin toriumsarjan nuklideja ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$  ja  $^{228}\text{Ra}$ ), radiumsarjan nuklideja ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$  ja vesinäytteistä  $^{234}\text{U}$ ), aktiniumsarjan nuklideja ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{227}\text{Ac}$ ,  $^{227}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$  ja  $^{223}\text{Ra}$ ). Lisäksi analysoitiin  $^{40}\text{K}$  sekä vesinäytteistä kokonaisuraani. Malmi- ja kiviaineksista analysoitiin myös kuiva-ainepitoisuus. Kalium-40 ( $^{40}\text{K}$ ) on luonnon merkittävin hajoamissarjoihin kuuluvaton nuklidi. Torium-232 ja torium-230 analysoitiin aktiivisuuspitoisuuden (Bq/kg ka) lisäksi kokonaispitoisuutena  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

### 6.1 Näytteenotto

Kiinteistä näytteistä tutkittiin gammaspektrometrisesti  $^{40}\text{K}$ - pitoisuus, jolloin saadaan määritettyä myös  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ja  $^{228}\text{Th}$  pitoisuudet. Vesinäytteistä määritettiin  $^{228}\text{Ra}$  gammaspektrometrisesti, jolloin saadaan määritettyä myös  $^{40}\text{K}$  pitoisuus.

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

Näytteet analysoitiin ALS Finland Oy:n akkreditoituissa laboratorioissa Prahassa ja Luulajassa. Kaikki analyysitulokset on esitetty liitteessä 1.

### 6.2 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 sakkujen jätealueilla (kipsisakka, geotuubit), koska alueelle läjitettävien sakkujen 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.

## 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 <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>210</sup>Po ja <sup>210</sup>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
<sup>210</sup> Po	Bq/kg ka	341	255	56	<50	<50	<50
<sup>232</sup> Th	Bq/kg ka	21,8	45,5	27,4	37,3	13,3	0,9
<sup>232</sup> Th pit	µg/kg	5370	11200	6740	9190	3270	223
<sup>230</sup> Th	Bq/kg ka	254	233	84	45	158	<8
<sup>230</sup> Th pit	µg/kg	0,333	0,305	0,11	0,059	0,207	<0,010
<sup>227</sup> Ac	Bq/kg ka	<5,5	11,1	<3,5	<3,3	<1,5	<1,0
<sup>210</sup> Pb	Bq/kg ka	133	120	<50	<50	<50	<50
<sup>40</sup> K	Bq/kg ka	949	1040	135	765	264	<10
<sup>231</sup> Pa	Bq/kg ka	<13,0	<15,0	<10,0	<10,0	<5,0	<2,0
<sup>223</sup> Ra	Bq/kg ka	<5,6	12,2	<3,5	<3,5	<1,9	<1,0
<sup>226</sup> Ra	Bq/kg ka	232	191	58,5	27,9	8,9	<1,0
<sup>228</sup> Ra	Bq/kg ka	23,1	46,2	26	38,5	12,4	<1,0
<sup>227</sup> Th	Bq/kg ka	<5,5	10,2	<3,5	<3,3	<1,5	<1,0
<sup>228</sup> Th	Bq/kg ka	23,5	44,7	24,4	37,4	11,3	<1,0
<sup>234</sup> Th	Bq/kg ka	233	207	43	29	10	<10
<sup>235</sup> U	Bq/kg ka	10,8	9,6	2,5	1,6	<1,0	<1,0
<sup>238</sup> U	Bq/kg ka	233	207	43	29	10	<10

Uraanin tytärnuklidien (<sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb, ja <sup>226</sup>Ra) yhteenlaskettu aktiivisuuspitoisuus oli louhitussa malmisissa 706 Bq/kg ka, mustaliuskesivukivessä 566 Bq/kg ka, metakarbonaattisivukivessä 164,5 Bq/kg ka, kiilleliuskeessa 127,9 Bq/kg ka, kvartsiitissa 108,9 Bq/kg ka ja kvartsijuonissa 101 Bq/kg ka. Kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuus (yhteenlaskettuna <sup>235</sup>U ja <sup>238</sup>U) oli korkein louhitussa malmisissa (243,8 Bq/kg) ja alhaisin kvartsiitissa ja kvartsijuonissa (11 Bq/kg).

### 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.

Taulukko 7-2 Primääriliuotusvaiheen malminäytteiden analyysitulokset

		P1 Uusi malmi	P2 Keski-ikäinen malmi
Kuiva-aine	%	97,9	98,4
<sup>210</sup> Po	Bq/kg ka.	302	188
<sup>232</sup> Th	Bq/kg ka.	12,5	13,6
<sup>232</sup> Th pit	µg/kg	3080	3340
<sup>230</sup> Th	Bq/kg ka.	199	150
<sup>230</sup> Th pit	µg/kg	0,26	0,197
<sup>227</sup> Ac	Bq/kg ka.	10,3	8,9
<sup>210</sup> Pb	Bq/kg ka.	111	105
<sup>40</sup> K	Bq/kg ka.	823	802
<sup>231</sup> Pa	Bq/kg ka.	<23	<24,0

		P1 Uusi malmi	P2 Keski-ikäinen malmi
<sup>223</sup> Ra	Bq/kg ka.	7,2	9,1
<sup>226</sup> Ra	Bq/kg ka.	176	174
<sup>228</sup> Ra	Bq/kg ka.	22,9	21,8
<sup>227</sup> Th	Bq/kg ka.	13,3	8,2
<sup>228</sup> Th	Bq/kg ka.	20,2	20,4
<sup>234</sup> Th	Bq/kg ka.	308	142
<sup>235</sup> U	Bq/kg ka.	14,8	8,9
<sup>238</sup> U	Bq/kg ka.	322	193

Taulukko 7-3. Primääriliuotuskasalta lähtevän PLS-liuoksen analyysitulokset

		Lähtevä liuos
<sup>210</sup> Po	Bq/l	0,52
<sup>232</sup> Th	Bq/l	2,16
<sup>230</sup> Th	Bq/l	20,5
<sup>227</sup> Ac	Bq/l	<0,5
<sup>210</sup> Pb	Bq/l	<10
<sup>40</sup> K	Bq/l	<2,0
<sup>231</sup> Pa	Bq/l	<2,0
<sup>223</sup> Ra	Bq/l	<0,60
<sup>226</sup> Ra	Bq/l	0,2
<sup>228</sup> Ra	Bq/l	<0,25
<sup>227</sup> Th	Bq/l	<0,46
<sup>228</sup> Th	Bq/l	1,1
<sup>234</sup> Th	Bq/l	217
<sup>235</sup> U	Bq/l	21,4
<sup>238</sup> U	Bq/l	455
<sup>234</sup> U	Bq/l	476
U (kok.)	Bq/l	<100

Uraanin tytärnuklidien (<sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb, ja <sup>226</sup>Ra) yhteenlaskettu aktiivisuuspitoisuus uudessa malmissa oli 589 Bq/kg ka ja keski-ikäisessä malmissa 467 Bq/kg ka. Kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuus (yhteenlaskettuna <sup>235</sup>U ja <sup>238</sup>U) oli uudessa malmissa 336,8 Bq/kg ja keski-ikäisessä malmissa 201,9 Bq/kg.

Primääriliuotuskasoilta lähtevän liuoksen uraanin tytärnuklidien (<sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb, ja <sup>226</sup>Ra) yhteenlaskettu aktiivisuuspitoisuus 10,72 Bq/L. Kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuus (yhteenlaskettuna <sup>235</sup>U ja <sup>238</sup>U) kasoilta lähtevässä liuoksessa oli 476,4 Bq/L. Lisäksi lähtevässä liuoksessa uraani-234:n pitoisuus oli 476 Bq/L.

### 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 sekundäärिकासojen suoto- ja valumavesistä. Kaikki analyysitulokset on esitetty taulukoissa 7-4 ja 7-5.

Uraanin tytärnuklidien (<sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb, ja <sup>226</sup>Ra) yhteenlaskettu aktiivisuuspitoisuus uudessa malmissa oli 498 Bq/kg ka, keski-ikäisessä malmissa 528 Bq/kg ka ja vanhassa malmissa 432 Bq/kg. Kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuus (yhteenlaskettuna <sup>235</sup>U ja <sup>238</sup>U) oli uudessa malmissa 190,4 Bq/kg, keski-ikäisessä malmissa 204 Bq/kg, vanhassa malmissa 144,4 Bq/kg.



Taulukko 7-4 Sekundääriliuotusvaiheen malminäytteiden analyysitulokset

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

Sekundääriliuotuskasoilta lähtevässä liuoksessa uraanin tytärynuklidien (<sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb, ja <sup>226</sup>Ra) yhteenlaskettu aktiivisuuspitoisuus 10,26 Bq/L ja suoto- ja valumavesissä 10,25 Bq/L. Kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuus (yhteenlaskettuna <sup>235</sup>U ja <sup>238</sup>U) oli kasoilta lähtevässä liuoksessa 371,6 Bq/L. Lisäksi lähtevästä liuoksesta analysoitiin Uraani-234 aktiivisuuspitoisuudeksi 367 Bq/L.

Sekundääriliuotuksen suoto- ja valumavesien <sup>235</sup>U ja <sup>238</sup>U yhteenlaskettu aktiivisuuspitoisuus oli 2,198 Bq/L ja U234-pitoisuus 2,41 Bq/L. Uraanin kokonaispitoisuus lähtevässä liuoksessa oli < 100 mg/l ja suoto- ja valumavesissä 0,128 mg/l.

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

		Lähtevä liuos	Suoto- ja valumavedet
<sup>210</sup> Po	Bq/l	<0,06	<0,05
<sup>232</sup> Th	Bq/l	1,45	0,05
<sup>230</sup> Th	Bq/l	13,9	0,379
<sup>227</sup> Ac	Bq/l	<0,40	<0,20
<sup>210</sup> Pb	Bq/l	<10	<10
<sup>40</sup> K	Bq/l	<2,0	<2,0
<sup>231</sup> Pa	Bq/l	<2	<1
<sup>223</sup> Ra	Bq/l	0,6	<0,20
<sup>226</sup> Ra	Bq/l	<0,20	<0,20
<sup>228</sup> Ra	Bq/l	<0,21	<0,20
<sup>227</sup> Th	Bq/l	<0,37	<0,20
<sup>228</sup> Th	Bq/l	0,66	<0,20
<sup>234</sup> Th	Bq/l	162	<2,0
<sup>235</sup> U	Bq/l	16,6	0,098
<sup>238</sup> U	Bq/l	355	2,1
<sup>234</sup> U	Bq/l	367	2,41
U (kok)	mg/l	<100	0,128

#### 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 4.

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

		Rakenteiden alapuoliset vedet DP5	Suodosvedet DP4	Suodosvedet DP5
<sup>210</sup> Po	Bq/l	<0,05	0,22	0,13
<sup>232</sup> Th	Bq/l	0,001	0,644	0,354
<sup>230</sup> Th	Bq/l	<0,004	2,31	3,65
<sup>227</sup> Ac	Bq/l	<0,20	<0,26	0,58
<sup>210</sup> Pb	Bq/l	<10	<10	<10
<sup>40</sup> K	Bq/l	<2,0	<2,0	<2,0
<sup>231</sup> Pa	Bq/l	<1	<1	<1
<sup>223</sup> Ra	Bq/l	0,21	<0,27	0,49
<sup>226</sup> Ra	Bq/l	<0,20	<0,20	0,2
<sup>228</sup> Ra	Bq/l	<0,20	<0,20	0,2
<sup>227</sup> Th	Bq/l	<0,20	<0,26	0,68
<sup>228</sup> Th	Bq/l	<0,20	0,78	<0,20
<sup>234</sup> Th	Bq/l	<2,0	23,1	55,7
<sup>235</sup> U	Bq/l	0,006	2,63	4,19
<sup>238</sup> U	Bq/l	0,123	56,1	90,1
<sup>234</sup> U	Bq/l	0,214	65,1	94,6
U (kok)	mg/l	0,008	0,537	0,003

Uraanin tytärnuklidien (<sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb, ja <sup>226</sup>Ra) yhteenlaskettu aktiivisuuspitoisuus vaihteli rakenteiden alapuolisissa vesissä ja suodosvesissä välillä 10,25 – 10,42 Bq/L. Uraani-234 aktiivisuuspitoisuus oli rakenteiden alapuolisissa vesissä 0,214 Bq/L, suodosvesissä DP5 65,1 Bq/L ja suodosvesissä DP5 94,6 Bq/L. Kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuus (yhteenlaskettuna <sup>235</sup>U ja <sup>238</sup>U) oli rakenteiden alapuolisissa vesissä 0,129 Bq/L ja suodosvesissä 58,76 Bq/L (DP 4) ja 94,29 Bq/L (DP 5). Uraanipitoisuus vaihteli välillä 0,003 – 0,537 mg/l.

#### 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 määrittämiä varten näyte ympäristöön johdettavasta vedestä otettiin 30.9.2019 purkuputken päästä. Analyysitulokset on esitetty taulukossa 5. Lähes kaikkien tutkittujen aineiden pitoisuudet alittivat laboratorion määrittämissä rajat. Kokonaisuraanin (yhteenlaskettuna <sup>235</sup>U ja <sup>238</sup>U) aktiivisuuspitoisuus oli 0,038 Bq/L. Uraani-234:n aktiivisuuspitoisuus oli 0,067 Bq/L.

Taulukko 7-7. Purkuputken vesinäytteen analyysitulokset.

		Purkuputki
<sup>210</sup> Po	Bq/l	<0,05
<sup>232</sup> Th	Bq/l	0,062
<sup>230</sup> Th	Bq/l	0,039
<sup>227</sup> Ac	Bq/l	<0,20
<sup>210</sup> Pb	Bq/l	<10
<sup>40</sup> K	Bq/l	<2,0
<sup>231</sup> Pa	Bq/l	<1
<sup>223</sup> Ra	Bq/l	<0,21
<sup>226</sup> Ra	Bq/l	<0,20
<sup>228</sup> Ra	Bq/l	<0,20
<sup>227</sup> Th	Bq/l	<0,20
<sup>228</sup> Th	Bq/l	<0,20
<sup>234</sup> Th	Bq/l	<2,0
<sup>235</sup> U	Bq/l	0,002
<sup>238</sup> U	Bq/l	0,036
<sup>234</sup> U	Bq/l	0,067
U (kok)	mg/l	<0,002

## 8. TULOSTEN TARKASTELU

### 8.1 Kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuus

Kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuuteen laskettiin mukaan  $^{235}\text{U}$ - ja  $^{238}\text{U}$ -pitoisuudet. Nestemäisistä näytteistä analysoitiin lisäksi  $^{243}\text{U}$  sekä kokonaisuraanipitoisuus (mg/l).

Korkein yhteenlaskettu pitoisuus  $^{235}\text{U}$  ja  $^{238}\text{U}$  analysoitiin prosessinesteistä, eli primääri- ja sekundäärikasoilta lähtevästä liuksesta. Primäärikasoilta lähtevässä liuksessa pitoisuus oli 476,4 Bq/L ja sekundäärikasoilta lähtevässä liuksessa 371,6 Bq/L. Näiden lisäksi primäärikasojen liuksesta analysoitiin uraani-234:n pitoisuudeksi 476 Bq/L ja sekundäärikasojen liuksesta 367 Bq/L.

Louhitun malmin kokonaisuraanin aktiivisuuspitoisuus oli 243,8 Bq/kg ja mustaliuskesivukivessä 216,6 Bq/kg. Muiden sivukivien pitoisuus vaihteli välillä 11 – 45,5 Bq/kg. Primäärikasojen uudessa malmissa pitoisuus oli 336,8 Bq/L ja keski-ikäisessä malmissa 201,9 Bq/kg. Sekundäärikasojen malmissa pitoisuus vaihteli välillä 432 – 528 Bq/kg. Sivukivialueen rakenteiden alapuolisissa vesissä sekä suoto- ja valumavesissä pitoisuus vaihteli välillä 0,129 – 94,29 Bq/L. Ympäristöön johdettavan purkputken päästä mitattu pitoisuus oli 0,038 Bq/L.

### 8.2 Uraanin tytärnuklidit

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

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

Taulukko 8-1. Purkputken vesinäytteen analyysitulokset.

		Louhittu malmi	Mustaliuskesivukivi	Metakarbo-naatti sivukivi	Kiilleliuske	Kvartsiitti	Kvartsijuoni	2010	2011
$^{232}\text{Th}$	Bq/kg ka	21,8	45,5	27,4	37,3	13,3	0,9	4,3-12	10-25
$^{226}\text{Ra}$	Bq/kg ka	232	191	58,5	27,9	8,9	<1,0	9,3-40	16-28
$^{228}\text{Ra}$	Bq/kg ka	23,1	46,2	26	38,5	12,4	<1,0	4,4-14	11-31
$^{228}\text{Th}$	Bq/kg ka	23,5	44,7	24,4	37,4	11,3	<1,0	4,3-11	9,4-38
$^{235}\text{U}$	Bq/kg ka	10,8	9,6	2,5	1,6	<1,0	<1,0	a.m	a.m
$^{238}\text{U}$	Bq/kg ka	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: Primäärikasoilta lähtevän liuksen uraanipitoisuudeksi mitattiin 10,72 Bq/L ja sekundäärikasojen liuksen pitoisuudeksi 10,26 Bq/L.

Sekundäärikasojen suoto- ja valumavesissä pitoisuus oli 10,25 Bq/L ja sivukivialueelta mitatuista vesistä se vaihteli välillä 10,25 – 10,42 Bq/L. Ympäristöön johdettavista vesistä pitoisuudeksi mitattiin 10,25 Bq/L.

### 8.3 Kalium-40

Merkittävin hajoamissarjoihin kuulumaton luonnon radionuklidi on kalium-40 ( $^{40}\text{K}$ ), 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 määrittämissä 2 Bq/L.

### 8.4 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. 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.

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

Radioaktiivisessa perustilaselvityksessä alueen järviveden <sup>238</sup>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<sup>238</sup>:n maksimipitoisuudet eri näytteissä vaihtelivat välillä 2,8-12 200 µg/l. Korkein pitoisuus mitattiin porakaivovedestä, matalin taas järvivedestä.

Vuonna 2019 tehdyssä selvityksessä sivukivialueen suoto- ja valumavesissä sekä ympäristöön johdettavissa vesissä aktiivisuus- ja kokonaispitoisuudet olivat alhaisia ja vastasivat alueellista taustapitoisuustasoa; sivukivialueen suoto- ja valumavesistä mitattu uraanin (<sup>238</sup>U, <sup>234</sup>U, <sup>235</sup>U) aktiivisuuspitoisuus vaihteli näytepisteissä välillä 3- 537 µg/l.

Sekundäärikasojen suoto- ja valumavesien kokonaisuuraanipitoisuus (<sup>238</sup>U, <sup>234</sup>U, <sup>235</sup>U) oli 0,128 µg/l.

## 10. 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

Analyytitulokset

	10.12.2019	10.12.2019	10.12.2019	10.12.2019	10.12.2019	10.12.2019	30.9.2019	30.9.2019	30.9.2019
	Louhittu malmi	Mustaliuske-sivukivi	Metakarbonaatti-sivukivi	Kiilleliuske	Kvartsiitti	Kvartsijuoni	Primääri-kasoilta lähtevä liuos	Sekundääri-kasoilta lähtevä liuos	KL 2 Rakenteiden alapuoliset vedet DP5
Kuiva-aine 105C	99,8	99,9	99,8	99,9	99,9	100			
Polonium 210	341	255	56	<50	<50	<50	0,52	<0,06	<0,05
Torium 232	21,8	45,5	27,4	37,3	13,3	0,9	2,16	1,45	0,001
Torium 232 pit	5370	11200	6740	9190	3270	223			
Torium 230	254	233	84	45	158	<8	20,5	13,9	<0,004
Torium 230 pit	0,333	0,305	0,11	0,059	0,207	<0,010			
Aktinium 227	<5,5	11,1	<3,5	<3,3	<1,5	<1,0	<0,5	<0,40	<0,20
Lyijy 210	133	120	<50	<50	<50	<50	<10	<10	<10
Kalium-40	949	1040	135	765	264	<10	<2,0	<2,0	<2,0
Protaktinium 231	<13,0	<15,0	<10,0	<10,0	<5,0	<5,0	<2,0	<2	<1
Radium 223	<5,6	12,2	<3,5	<3,5	<1,9	<1,0	<0,60	0,6	0,21
Radium 226	232	191	58,5	27,9	8,9	<1,0	0,2	<0,20	<0,20
Radium 228	23,1	46,2	26	38,5	12,4	<1,0	<0,25	<0,21	<0,20
Torium 227	<5,5	10,2	<3,5	<3,3	<1,5	<1,0	<0,46	<0,37	<0,20
Torium 228	23,5	44,7	24,4	37,4	11,3	<1,0	1,1	0,66	<0,20
Torium 234	233	207	43	29	10	<10	217	162	<2,0
Uraani 235	10,8	9,6	2,5	1,6	<1,0	<1,0	21,4	16,6	0,006
Uraani 238	233	207	43	29	10	<10	455	355	0,123
Uraani 234							476	367	0,214
kokonais-U							<100	<100	0,008

1510049178-003

Terrafame Oy

Luonnon radioaktiiviset aineet

## Analyysitulokset

LIITE 1

	30.0.2019	30.9.2019	30.9.2019	30.9.2019	30.9.2019	30.9.2019	30.9.2019	30.9.2019	30.9.2019
	KL 2 Suodosvedet DP4	KL 2 Suodosvedet DP5	Sedundääri-kasojen suoto- ja valumavedet	Purkuputki	P1 Primäärin uusi malmi	P2 Primäärin keski-ikäinen malmi	S1 Sekundäärin uusi malmi	S2 Sekundäärin keski-ikäinen malmi	S3 Sekundäärin vanha malmi
Kuiva-aine 105C					97,9	98,4	90,3	100	65,5
Polonium 210	0,22	0,13	<0,05	<0,05	302	188	199	238	166
Torium 232	0,644	0,354	0,05	0,062	12,5	13,6	16,6	13,1	16,2
Torium 232 pit					3080	3340	4100	3240	4000
Torium 230	2,31	3,65	0,379	0,039	199	150	184	143	147
Torium 230 pit					0,26	0,197	0,241	0,188	0,192
Aktinium 227	<0,26	0,58	<0,20	<0,20	10,3	8,9	9,8	9,5	6,3
Lyijy 210	<10	<10	<10	<10	111	105	108	113	102
Kalium-40	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	823	802	779	797	872
Protaktinium 231	<1	<1	<1	<1	<23	<24,0	<25,0	<24,0	<30,0
Radium 223	<0,27	0,49	<0,20	<0,21	7,2	<9,1	<10,00	9,2	10,9
Radium 226	<0,20	0,2	<0,20	<0,20	176	174	191	177	164
Radium 228	<0,20	0,2	<0,20	<0,20	22,9	21,8	21,6	23,7	22,6
Torium 227	<0,26	0,68	<0,20	<0,20	13,3	8,2	9,8	9,5	6,3
Torium 228	0,78	<0,20	<0,20	<0,20	20,2	20,4	22	23,9	20,2
Torium 234	23,1	55,7	<2,0	<2,0	308	142	130	122	73
Uraani 235	2,63	4,19	0,098	0,002	14,8	8,9	8,4	9	6,4
Uraani 238	56,1	90,1	2,1	0,036	322	193	182	195	138
Uraani 234	65,1	94,6	2,41	0,067					
kokonais-U	0,537	0,003	0,128	<0,002					