

SÄTEILY JA MAAPERÄN LUONNONVARAHANKKEET

FCG Finnish Consulting Group Oy

Suomessa uraanimalmin mahdollisesta louhinnasta aiheutuvat ympäristöongelmat ovat viime vuosien aikana aiheuttaneet kärkevääkin keskustelua. Kaivosyhtiöt ovat tehneet runsaasti valtauksia uraanin etsimiseksi ja koelouhinnan aloittamiseksi. Radioaktiivisen säteilyn luonne ja sen aiheuttamat terveyshaitat ovat varsin heikosti tunnettuja ja uraanikaivostoiminnan riskejä verrataan usein ydinvoimalaitosten ja ydinaseiden vaaroihin. Mitä keinoja on käytetty säteilyn haittavaikutusten tutkimiseksi ja vähentämiseksi maaperän luonnonvarahankkeissa meillä ja muualla maailmassa?

Säteilyn luonne ja terveysvaikutukset

Radioaktiivinen hajoaminen on ilmiö, jossa rakenteeltaan epävakaa atomiydin hajoaa luonnostaan ja menettää energiaa muuttuen kevyemmiksi atomiytimiksi. Hajoamisessa vapautuu ionisoivaa säteilyä, mikä on sähkömagneettista säteilyä ja hiukkassäteilyä. Ionisoiva säteily (ns. radioaktiivinen säteily) on suurienergistä säteilyä, joka muuttaa atomien sähkövarauksia eli ionisoi niitä. Ionisoivaa säteilyä ovat mm. röntgensäteily, kosminen säteily ja erilaisten radioaktiivisten aineiden säteily, mihin luetaan alfa- beeta- ja gammasäteily. Ydinreaktion tyypistä riippuen syntyvä säteily koostuu helium-atomin ytimistä eli alfasäteilystä, elektroneista eli beetasäteilystä tai sähkömagneettisesta säteilystä eli gammasäteilystä.

Liiallisina annoksina säteily on aina terveydelle haitallista. Maanpinnalla on luonnostaan tietty määrä ionisoivaa säteilyä sillä avaruudesta tulee kosmista säteilyä ja maaperässä on säteilyä aiheuttavaa radioaktiivisuutta. Radiumia ja radonia muodostuu luonnollisesti kun kivessä esiintyvät uraani ja torium hajoavat. Maaperän tavallisimman uraani-isotoopin U-238 hajotessa syntyy radiumia (Ra-226), jonka edelleen hajotessa syntyy radonisotoppia (Rn-222). Radon on radioaktiivinen jalokaasu mikä ei ole aistein havaittavaa. Radioaktiiviset aineet voivat liueta pohjaveteen ja kulkeutua siitä edelleen vesistöihin. Radioaktiivisten aineiden massa maaperässä on yleensä erittäin pieni ja aineet havaitaan yleensä vain niiden lähettämän säteilyn perusteella.

Uraani on kemiallisesti myrkyllinen raskasmetalli. Juomavedessä ja ravinnossa elimistöön joutuva uraani vaurioittaa munuaisia ja luustoa. Uraania sisältävän ravinnon on todettu eläinkokeissa aiheuttavan sikiövaurioita ja lisääntymishäiriöitä. Radium on syöpää aiheuttava aine ja se edelleen tuottaa keuhkosyöpää aiheuttavaa radonia. Radon on terveydelle haitallista sillä keuhkoihin joutuessaan radon tai sen pölyn mukana kulkeutuvat hajoamistuotteet aiheuttavat keuhkosyöpää. Radon liikkuu maaperän huokosilmassa ja veteen liunneena kaasuna pohjavedessä.

Luonnollista heikkoa ionisoivaa säteilyä esiintyy kaikkialla mutta eliökunta on sopeutunut ympäristön normaaliin säteilyyn. Säteilyannosta mitataan millisieverteissä (mSv) ja luonnon tavallisesta säteilystä saatavat vuosiansiokset ovat 2–20 mSv. Voimakas säteily vahingoittaa eliöitä, kun niiden solukemia häiriintyy liiallisen ionisoitumisen vaikutuksesta. Suuri säteilyannos aiheuttaa solutuhoja ja DNA:n mutaatioita. Ihmisillä havaittavat vauriot esiintyvät noin 500 mSv:n kerta-annoksella, joka on siis noin 100-kertainen luonnolliseen vuosiansiokseen verrattuna.

Suomessa radonin tavallisin sisäilmapitoisuus 120 Bq/m^3 ja uudessa asunnossa ei saisi esiintyä yli 200 Bq/m^3 arvoja. Suomessa jopa yli 1000 Bq/m^3 pitoisuuksia on tavattu uraanipitoisilla soilla ja joillakin soramailla olevissa taloissa. Yli 800 Bq/m^3 pitoisuus vaatii toimenpiteitä radonin vähentämiseksi - asunnon alustan eristämisen tai tuuletuksen. Yksityiskaivojen talousveden radonpitoisuutta koskeva laatusuositus 1000 Bq/l ylittyy rengaskaivoissa vain satunnaisesti, sen sijaan porakaivoissa noin kymmenessä prosentissa.

Korkeimmat radon-pitoisuudet esiintyvät Kaakkois-Suomen rapakivigraniittien alueella. Radon aiheuttaa Suomessa arviolta 300 keuhkosyöpätapausta vuosittain.

Uraani ja kaivostoiminta

Uraanin louhinnassa ja rikastuksessa ei tapahdu vastaavaa ydinreaktiota kuin ydinvoimalaitoksen reaktorissa tai ydinase laukaistaessa ja täten kaivostoiminta ei synnytä huomattavaa radioaktiivisuutta. Uraania sisältävä kivi ei rikastettunakaan ole sellaisenaan vaaraksi terveydelle ellei kontakti ole jatkuvaa. Malminetsinnän yhteydessä tehtävät kairaukset eivät myöskään aiheuta säteilyriskejä. Koelouhinnassa syntyy jo lohkare- ja lietemassoja, joiden säteilyynkin liittyvät ympäristövaikutukset on jo huomioitava. Erityisesti pinta- ja pohjavesien kontaminaatio on estettävä.

Uraanin rikastus aiheuttaa huomattavia ympäristöriskejä. Uraania tavataan kallioperässä yleensä erittäin pieninä pitoisuuksina ja näin kaivostoiminnasta syntyy suuria määriä radioaktiivista sivukiveä ja rikastejätettä. Rikastustavasta riippuen huomattava osa (50 - 86 %) malmin radioaktiivisuudesta jää jätelietteeseen. Tällainen jäte sisältää mm. radioaktiivista toriumia ja radiumia sekä raskasmetalleja, happoja ja ammoniakkia, jotka leviävät helposti ympäristöön pölynä tai päätyvät pinta- ja pohjavesiin. Rikastuksessa syntyy radioaktiivista lietettä, kun uraani erotetaan murskatusta kiviaineksesta rikkihapolla. Uraanikaivoksen lietteestä vapautuvan radonin määrä voi olla kymmeniä kertoja korkeampi kuin ehjän kallion alueella. Haittavaikutukset ovat varsin paikallisia. Myös radionuklidit mobilisoituvat ja gammasäteilyn määrä kasvaa. Mikäli lietettä pääsee vesistöön, voi esimerkiksi kalojen radioaktiivisuus kohota. Kaivosalueen lähellä asuvat ihmiset altistuvat säteilyn riskeille usean eri kulkeutumistavan kautta - ulkoisena gammasäteilynä, pölyn, juomaveden, paikallisen ravinnon kautta sekä lisääntyneen radonin vuoksi.

Maailmalla on yleistynyt ns. In Situ Leach (ISL) uraanin talteenottomenetelmä, jossa maahan pumpataan laimeaa rikkihappoa, mikä sitten imetään toisista porakaivoista takaisin ylös. Rikkihappoon liuennut uraani voidaan siis ottaa talteen kaivosta avaamatta, mutta rikkihappo voi saastuttaa pohjavesiä. Säteily ei välttämättä ole uraanikaivosten suurin ympäristöongelma, sillä louhinta- ja rikastejätteestä sekä rikastusprosessista voi ympäristöön päätyä muitakin haitallisia aineita mikäli leviämistä ei asianmukaisesti estetä.

Suomen ympäristösäädökset edellyttävät kaivosjätteiden asianmukaista eristämistä. Nykyaikaisia eristämistekniikoita käyttäen uraanikaivosten jäte kyetään tekemään harmittomaksi, mikäli läjityksen valvonta hoidetaan kunnolla. Valvonnan merkitys on suuri koska kokemusta pitkäkestoisesta loppusijoittamisesta on toistaiseksi vähän - maailmassa on vain parikymmentä asianmukaisesti suljettua uraanikaivosta. Rikastusjätteiden ja sivukiven radioaktiivisuus on hyvin pitkäkestoista ja aktiivisuus laskee oleellisesti vasta muutaman sadan tuhannen vuoden aikana. Suomessa Säteilyturvakeskuksen (STUK) periaatteellinen kanta on, että valvontaa jatketaan tarvittaessa seuraavaan jääkauteen asti. Yhdysvalloissa vaaditaan uraanikaivosten jätealaiden rakenteilta 1000 vuoden tai vähintään 200 vuoden kestävyys (UMTRA - Uranium Mill Tailings Remedial Action Project).

Suomessa yli 10 vuotta sitten suljetun uraanikaivoksen jätealueen suojauksessa Enon Paukkajanvaaralla käytettiin peitemateriaalina 1,5 - 2 m:n vahvuista maapeitettä, joka koostui moreenista ja savesta. Ympäristöhoito on saanut hyväksynnän STUK:lta. Askolassa toimi 50 vuotta sitten uraanikaivos ja rikastamo ja näiden ympäristöhoito jäi keskeneräiseksi. Uraanin pienimuotoista louhintaa ja rikastamista on harjoitettu myös Paltamossa. Suomen uraanikaivostoiminta on ollut varsin pienimuotoista.

SÄTEILYYN LIITTYVIÄ ESIMERKKIHANKKEITA

Mailuu Suu, Kirgisia

FCG Finnish Consulting Group Oy laati EU:n ja Maailmanpankin toimeksiannosta ympäristövaikutusten arvioinnin sekä ympäristöhoitosuunnitelman Kirgisiassa olevalle Mailuu Suu -uraanikaivokselle. Kaivos toimi 1946 - 1968 ja sen uraania käytettiin mm. Neuvostoliiton ensimmäisessä ydinpommissa minkä laskeumasta kerrotaan myöhemmässä esimerkissä. Rikastusjäteliete läjitettiin kaivoksen ja rikastamon ympärillä olevan syvän laakson painanteisiin lähelle jokea (23 allasta). Puolet altaista on asutuksen lähellä ja kaupungin alueella. Myöhemmin altaat on peitetty savella ja kiviaineksella, mutta useat niistä ovat vaurioituneet maanvyörymien, jokieroosion ja tulvien seurauksena. Alueella yleiset maanjäristykset laukaisevat massiivisia maanvyöryjä jopa vuosittain. Pahin tulevaisuuden skenaario on se, että mittava maanvyörymä työntää altaan lietteen jokiuomaan ja näin huomattava osa alueen maataloudelle elintärkeässä Ferganan laaksossa jouduttaisiin rajoittamaan veden käyttöä kasteluun ja yhdyskuntien tarpeisiin.

Jätealtaiden pohjia ei ollut alun perin tehty vedenpitäviksi ja myös vuorilta virtaavat purot virtasivat altaiden läpi. Tämän seurauksena jokisedimenteistä on mitattu korkeita pitoisuuksia radioaktiivisia aineita ja raskasmetalleja (uraania 36 mg/l). Lähes kaikki kaupungin alueen pohjavesikaivot ovat käyttökelvottomia ja täten juomavesi on jouduttu johtamaan kaukaa kaivosalueen yläpuolisista lähteistä. Osa kaupunkilaisista käyttää edelleen saastunutta juomavettä kaivoista.

Altaiden ympärille aikanaan tehty aita hävisi heti valmistuttuaan ja jätealtaiden pintaa on pitkään käytetty karjan laitumena. Radonpitoisuudet ovat altaiden päällä edelleen korkeita 22 - 1240 Bq/m³ (keskimäärin 280 Bq/m³). Osa alueen taloista on rakennettu kaivoksen sivukivistä ja ovat täten asumuksina epäterveellisiä.

Hankkeessa suunniteltiin jätealtaiden eristämistä keinoilla, mitkä eivät vaadi jätteen siirtoa. Vaarana oli, että siirto aiheuttaisi radioaktiivisen ja myrkyllisten aineiden mobilisoitumista. Altaiden ympärille suunniteltiin ojaverkosto ja pohjaveden pintaa pyrittiin laskemaan porauksin. Joitakin jokea ja epästabiliia vuorenrintettä lähellä olevia altaita päätettiin tyhjentää ja siirtää liete uudenaikaisella tekniikalla tehtyihin altaisiin. Uudet altaat sijoitettiin pois laaksosta tasaisille alueille mitkä ovat selvästi pohjaveden pinnan yläpuolella. Lietteen sijoittamista kaivosonkaloihin pidettiin huonona ratkaisuna sillä kalliossa liikkuu paljon kalliopohjavettä. Muualle kuljetuksen järjestäminen todettiin erittäin kalliiksi operaatioksi, mutta välttämättömäksi. Laakson jyrkimmille rinteille suunniteltiin maanvyörymiä estäviä rakennelmia ja maan liikettä valvova automaattinen hälytysjärjestelmä. Paikallista väestöä opetettiin seuraamaan altaiden kuntoa sekä välttämään veden käyttöä, liikkumista ja etenkin laiduntamista vaarallisimmilla kohteilla.

Radonin, radiumin, säteilyn ja myrkyllisten aineiden pääsyä ympäristöön rajoitetaan eristämällä kaivosjäte eristysmateriaaleilla ja suojakerroksilla sekä estämällä veden virtaus altaan läpi. Radonin puoliintumisaika on noin 4 päivää, joten eristäminen vähentää sen haittavaikutuksia tehokkaasti. Gammasäteilyn pysäyttämiseen tarvittaisiin sitä vastoin metrin paksuinen betonikate. Eristäminen (kapselointi) estää radioaktiivisten aineiden leviämisen pölynä sekä sade- ja valuvesien välityksellä. Rikastuksessa syntyvä hienojakoinen liete kootaan vesitiiviiseen altaaseen, missä se lisäaineiden avulla sakeutetaan. Tässä vaiheessa vaarana on nesteiden valuminen altaan ulkopuolelle sekä kuivuneen lietteen pölyäminen ympäristöön. Normien mukaan läjitysalue tulee olla pohjaltaan vesitiivis ja se katetaan n. 0.7 m paksulla ja tiiviillä savipitoisella maalla tai betonikerroksella. Tiheä kasvipeite suojaa katetta eroosiolta. Ojituksilla huolehditaan siitä, että jätteeseen ei pääse sade- ja valuvesiä ja että eroosio ei vaurioita altaan rakenteita. Ihmisten oleskelu sekä eläinten laidunnus alueella estetään aidoituksella.

Kaivoksen toiminnan aikaiset menetelmät uraanin rikastamiseksi olivat varsin huonot ja eräät kaivosyhtiöt ovat halunneet prosessoida jäteliettä uusien menetelmin uraanin talteen ottamiseksi. Toiminta olisi taloudellisesti kannattavaa ja näin voitaisiin käsitelty liete varastoida nykyaikaisin menetelmin. Ympäristösyistä tätä toimintaa ei ole kuitenkaan aloitettu.

Kirgisiassa sekä sen naapurimaissa on satoja uraanikaivoksia, joiden ympäristönsuojelu on hoitamatta. Tilanne ei ole tätä parempi muuallakaan maailmassa kuten Nigerissä, Namibiassa ja Kiinassa. Kanadassa, Yhdysvalloissa ja Australiassa on käynnistetty ohjelmia uraanikaivosten ympäristön hoitamiseksi, mutta työ on vasta aluillaan - sekä ongelmat että tarvittava rahoitus ovat valtavia. Esimerkiksi Yhdysvalloissa on 4000 - 15.000 uraanikaivosta ja suuresta osasta näitä ei ole edes tarkempia tietoja.

Semipalatinsk, Kazakstan

Toisessa hankkeessaan FCG Finnish Consulting Group laati EU:n ja Maailmanpankin rahoittamana hankesuunnitelman Semipalatinskin ydinaseiden koealueen läheisyydessä olevan Semeyn alueen metsäluonnonvarojen käytöstä. Koealueen koillispuolella sadan kilometrin päässä on maalle harvinainen mäntymetsien alue, josta paikalliset asukkaat saavat rakennus- ja polttopuunsa ja runsaasti myös riistaa, marjoja ja sieniä. Hankkeen tavoitteena oli selvittää aluksi vuosina 1949 - 1989 Neuvostoliiton tekemien 460 ydinkokeen vaikutukset luonnonvarojen käytettävyyteen ja säteilyn aiheuttamiin riskeihin. FCG kutsui asiantuntijaryhmään myös koealueella aikanaan toimineen tutkijan Venäjältä, sillä vain täällä oli kattava historiallinen aineisto maastomittauksista.

Uraanikaivoshankkeeseen verrattuna tässä oli kyse aivan erityyppisestä ydinreaktion tuottamasta korkeaaktiivisesta kontaminaatiosta sillä ydinaseen laukaisemisesta aiheutuvia päästöjä voidaan verrata ydinvoimalaonnettomuuteen. Molemmista syntyy ydinlaskeuma mikä koostuu useita radioaktiivisia isotooppeja sisältävistä pienhiukkasista. Näissä strontium, cesium ja plutonium ovat yleensä ongelmallisimmat radioaktiiviset aineet ja radioaktiivisuuden puoliintumisajat voivat olla miljoonissa vuosissa.

Pahin laskeuma aiheutui Neuvostoliiton ensimmäisestä 20 kilotonnin latauksesta 1949 mikä päätettiin laukaista sen tärkeyden vuoksi voimakkaasta sateesta ja tuulesta huolimatta. Radioaktiivisten aineiden laskeuma muodosti viuhkan, mikä on edelleen havaittavissa nyt tutkitun metsäalueen suunnassa.

Hankkeessa koottiin tietoja radioaktiivisesta laskeumasta sekä radionuklidien esiintymisestä puustossa, aluskasvillisuudessa, maannoksessa ja sienissä. Käytettävissä oli myös Tsernobylin ydinvoimalassa tapahtuneen onnettomuuden aiheuttaman laskeuman havainnot ja teoreettiset päätelmät. Radionuklidit poistuvat metsien ravinnekierrosta erittäin hitaasti ja pitkäikäisten radionuklidien kuten cesium-pitoisuudet pysyvät korkeana etenkin eläin-, marja-, sammal- ja sieninäytteissä. Semeyssä cesium-pitoisuudet ovat kuitenkin nykyään yllättävän alhaisia ollen alle 500 - 700 Bq/kg. Puissa ja ruohossa pitoisuudet ovat erittäin pieniä (<30 Bq). Sedimenttitutkimuksissa on havaittu cesiumin vajonneen noin 20 cm paksuiseen maakerrokseen ja alueelle tyypilliset metsäpalot ovat levittäneet laskeumaa useaan kertaan. Näin nuklidien hajautuminen on laimentanut pitoisuuksia ajan kuluessa. Pintamaan cesium-pitoisuus Semeyssä vastaa esimerkiksi Keski-Suomen Tsernoby-laskeuman aiheuttamia arvoja sieninäytteissä.

Rajatulla 18 000 km² laajalla ydinkoealueella tavataan edelleen erittäin korkeita radionuklidipitoisuuksia ja täällä luonnonvarojen käyttöä kuten maa- ja karjataloutta olisi rajoitettava. Plutonium-pitoisuudet ovat noin 65 000 Bq/kg ja cesium-pitoisuudet ovat tuhatkertaiset verrattuna koealueen ulkopuolisiin arvoihin. Käytännössä alueella laidunnetaan karjaa huoletta, sillä kun koealue lakkautettiin, poistuivat myös kulkukiellet. Tuhannet maanviljelijät valtasivat nopeasti näin vapautuneet alueet. Terveysviranomaisen mukaan useat sairaudet ovat täällä 10 - 20 kertaa yleisempiä kuin muualla ja 95 % lapsista kärsii anemiasta.

Tutkitun metsäalueen luonnonvarojen säteilyarvot eivät sen sijaan enää ylitä kansainvälisiä raja-arvoja. Semeyn alueella huolena oli myös plutoniumin ja strontiumin runsas esiintyminen. Etenkin plutoniumia tavataan liukenemattomana maan pintakerroksissa ja aluskasvillisuudessa. Plutoniumin kulkeutumista luonnontuotteissa ja säteilyvaikutusta ihmisiin ei tunneta tarpeeksi ja jatkotutkimus todettiin tarpeelliseksi.

Toisin kuin uraanikaivosten säteilevälle jätteelle, ydinlaskeuman saastuttamalle maalle ei ole tehtävissä mitään. Viranomaisten tehtäväksi jää vain riskien arviointi sekä maankäytön ja luonnonvarojen hyödyntämisen rajoittaminen.

ALAN TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ SUOMESSA

Suomessa säteilyasiantuntemuksen tarve maaperän luonnonvarahankkeissa ei varmaankaan tule olemaan suuri. Luonnollisen radonin haittavaikutusten torjunta on tärkein alan sovellutus ja sillä alalla on paljon työtä etenkin rakennustekniikan alalla. Uraanikaivostoiminnan aloittaminen Suomessa on hyvin epävarmaa, sillä riittävän suuria malmioita ei ainakaan toistaiseksi tunneta. Etsintä ja suomalainen lupakäsittely vaativat myös aikansa ja keskustelu koko toiminnasta on ollut kiivasta. Eräät monikansalliset kaivosyhtiöt ovat hakeneet yli sataa valtausta ja valtauksia on jo myös myönnetty. Myönnetyt hakemukset mahdollistavat myös koelouhinnan ja -rikastamisen ilman ympäristövaikutusten arviointia ja paikallisten ihmisten kuulemista.

Uraani esiintyy monesti yhdessä muiden metallien kanssa. Monet uraanikaivokset tuottavat myös muita metalleja sivutuotteenaan, ja uraani on myös tavallinen sivutuote etenkin fosfaatti- ja metallikaivoksissa (sivutuote mm. kultakaivostoiminnassa). Uraania halutaan myös Suomessa rikastaa muiden metallien louhintaan avatuista vanhemmista kaivoksista. Talvivaaran mustaliuskeessa uraanipitoisuus on 15–20 ppm, mikä ei ole korkea Suomen kallioperän pitoisuusvaihteluihin nähden. Pitoisuus on liian alhainen varsinaista uraanikaivostoimintaa ajatellen, mutta muun kaivos- ja rikastustoiminnan ohessa uraanin talteenotto on kannattavaa. Talvivaaran Kaivososakeyhtiö saattaa aloittaa myös uraanin talteenoton nikkeli- ja uraanikaivoksellaan Sotkamossa. Yhtiö kertoo selvittävänsä, voisiko muiden metallien liuotuksen sivutuotteena saatavaa uraania hyödyntää niin sanottuna puolituotteena, joka rikastettaisiin ydinvoimalaitoksien polttoaineeksi ulkomailla. Yhtiö on teettänyt toiminnasta ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA) ja mm. STUK on antanut siitä puoltavan lausunnon. Yhtiön mukaan laitoksen tuottama uraani riittäisi tekemään Suomesta uraanin suhteen lähes omavaraisen. Merkittävämpi sivutuoteuraanin potentiaali on Soklin karbonaattissa, josta osa sisältää uraanivaltaista pyroklooria (0,01 % U; 2 500 tU).

Joka tapauksessa Suomessa tapahtuva kaivostoiminta koskee myös uraanipitoisia malmioita ja näin ympäristön suunnittelussa tarvitaan tietoa myös säteilyasioiden huomioon ottamisesta. Mikäli uraanikaivosten koelouhintaan, koerikastamiseen ja varsinkin itse kaivostoimintaan päästään, tulee asiantuntemuksen tarve olemaan huomattava. Korkea-aktiivisen ydinjätteen ja ydinlaskeuman osalta ei toivottavasti tarvita koskaan tietämystä maanpinnan kontaminaation hoitamisesta käytännössä, mutta yleistieto tästäkin aiheesta on tarpeen.

Aiheesta enemmän:

Pöllänen, R. (2003). Säteily ympäristössä. Säteilyturvakeskus. 295 pp.

STUK & GTK (2007). Uraanimalmin koelouhinnan ja rikastuksen ympäristövaikutukset (URAKKA); loppuraportti ympäristöministeriölle. 42 pp.

STUK. Säteilytietoa. http://www.stuk.fi/sateilytietoa/fi_FI/index/

UMTRA (2009). Uranium Mill Tailings Remedial Action Project, U.S. Department of Energy Environmental Restoration Division, Albuquerque, NM. <http://www.wise-uranium.org/umtr.html>

U.S. EPA (2008). Technical Report on Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials from Uranium Mining. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation and Indoor Air Radiation Protection Division. 225 pp.

Greenpeace (2006). Uraaninlouhinnan riskit - tapaus Areva. Greenpeace, Helsinki. 12 pp.

STUK (2010). Uraania! -seminaari 10.9.2010. Seminaarin esitelmät ja kalvot: http://qsb.webcast.fi/s/stuk/stuk_2010_0910_uraania/

GTK. Uraani. Geologian tutkimuskeskus. Luonnonvarat. <http://www.gsf.fi/luonnonvarat2/uraani/>