

U niin kuin uraani

■ Ukrainan sota on nostanut valokeilaan myös uraanin, raskaimman luonnossa esiintyvän alkuaineen. Iso osa Suomen ydinvoimaloiden polttoaineesta on tähän asti tullut Venäjältä.

EEVA PITKÄLÄ

Kaikki alkoi alkuräjähdyksestä. Siinä syntyivät yli 13,7 miljardia vuotta sitten maailmankaikkeuden keveimmät alkuaineet vety ja helium, joiden osuus alkuaineista on edelleen noin 99 prosenttia.

Raskaammat aineet rautaan saakka muodostuivat tähtien fuusioreaktioissa. Sitten, hurjien voimien puristuksessa, tähtien supernovaräjähdyksissä ja erilaisten neutronitähtien törmäyksissä syntyivät kaikkein raskaimmat alkuaineet.

Siinä kaasu- ja pölypilvessä, josta Aurinko ja Maa rakentuivat 4,6 miljardia vuotta sitten, oli mukana myös uraani. Sen ytimien rakenteisiin varastoitui suorastaan ilmiömäistä voimaa.

Kaikkien uraaniatomien ytimissä on 92 protonia, eli alkuainetaulukossa uraanin järjestysnumero on 92. Neutronien määrä uraanin isotooppien ytimissä vaihtelee.

Raskaat uraaniytimet vetävät sisimpä elektroneja tiukasti lähelleen, kun taas uloimmat ottavat osaa monenlaisiin sidoksiin. Luonnossa uraani esiintyy pääosin hapetusasteilla U4+ tai U6+.

Metallinen uraani reagoi lähes kaikkien ei-metallisten alkuaineiden ja niiden yhdisteiden kanssa, ja sen reaktiivisuus kasvaa lämpötilan myötä. Veden

kanssa hienojakoisen metallin reaktio on erittäin eksoterminen, ja tuloksena syntyy uraanidioksidia ja vetyä.

Uraani liukenee vahvoihin happoihin, kuten suola- ja typpihappoon.

Uraaniytimet hajoavat jatkuvasti muuttuen yhä pysyvämmiksi alkuaineiksi. Hajoamalla uraaniatomi pyrkii kohti pysyvää olotilaa. Sarjojen kantaknuclideina ovat isotoopit ²³⁸U ja sen aavistuksen keveämpi ja vielä hajomisherkempi sisarisotoppi ²³⁵U.

Epästabiilit ytimet muuttuvat stabiileiksi ytimiksi joko suoraan tai useita pysymättömiä ytimiä sisältävän hajoamisjarjan kautta. Uraanin hajoamisen pysyvä päätepiste on lyijy.

Uraanin määrä maapallolla vähenee siis koko ajan. Isotoppi 238:n radioaktiivinen puoliintuminen kestää 4,5 miljardia vuotta, joten sen varannot ovat Maan syntyajoista pienentyneet lähes tarkalleen puoleen.

Isotoppi 235:n puoliintumisaika on ”vain” 0,7 miljardia vuotta, joten sen määrä on kutistunut vieläkin enemmän.

Vielä on uraania jäljellä

Vielä uraania on silti jäljellä. Uraania on luonnostaan kaikkialla, mutta maan ja ilman luonnolliset uraanipitoisuudet

ovat hyvin alhaiset.

Maankuoren tunnetut hyödynnettävät uraanivarannot ovat kuitenkin nekin noin 4,7 miljoonaa tonnia. Lisäksi käyttökelpoisia uraaniesiintymiä on toistaiseksi löytämättä todennäköisesti moninkertainen määrä.

Merivedessä ainetta arvioidaan olevan noin viisi miljardia tonnia.

Hurjan kuuloisista luvuista huolimatta uraani on uusiutumaton luonnonvara, jonka käytettävissä olevan määrän arvioidaan riittävän noin sadaksi vuodeksi.

Uraania saadaan päätuotteena uraanikaivoksista ja lisäksi muiden metallien louhinnan sivutuotteena. Raskaan alkuaineen esiintymiä on myös Suomen kallioperässä, josta uraania on etsitty 1950-luvulta asti.

Uraanimalmien keskipitoisuus maailmalla on 0,03–18 prosenttia. Suomalaisen Terrafamen Sotkamossa hyödyntämässä mustaliuskemalmissa luku on noin 0,0017 prosenttia.

Suuria uraanintuottajia on muun muassa Kanadassa, Australiassa ja Kazakstanissa. Uraania kaivetaan sekä maanalaisista kaivoksista että avolouhoksista.

Nykyään yleisin tuotantomenetelmä on ISL eli paikalla liuottaminen. Siinä uraani otetaan talteen suoraan maan alle pumpattavalla liuottimella.

Australiassa ISL-menetelmässä hyö-



Kuvat: Adobe Stock

Uraanirikaste tunnetaan myös nimellä keltakakku. Se koostuu lähinnä triuraanioksidista, joka erotellaan uraanimalmista jauhamalla ja kemiallisella käsittelyllä.



dynnetään vetyperoksidia ja rikkihappoa, Kazakstanin kaivoksissa korkeita happopitoisuuksia ja USA:n kalkkiviipitoisissa kaivoksissa alkaliuuttoa.

Uraanin louhinnan kannattavuutta säätelevät maailmanmarkkinahinnat ja tuotantokustannukset. Ukrainan sota on nostanut myös uraanin hintaa.

Terrafame tuottaa Talvivaaran kaivoksessaan nikkeliä, sinkkiä, kobolttia ja kuparia. Happamassa biokasaliuotuksessa samaan prosessiliuokseen liukenee myös uraania, jonka talteenottoon yhtiö sai luvan vuosi sitten.

Vielä toiminta ei ole alkanut, mutta jos se joskus käynnistyy, Suomesta

voisi tulla EU:n ensimmäinen uraanintuottaja.

Ydinreaktoreiden käyttövoima

Miksi radioaktiivista ainetta siis hamutaan maan uumenista?

Syynä on tietysti uraanin hajoamisen tuottama valtaisa energiamäärä, jota ihmiskunta on oppinut hyödyntämään eri tavoin, ennen muuta ydinvoimateollisuudessa.

Maailman ydinvoimalat nielevät luonnonuraania noin 65 000 tonnia vuodessa. Suomen tarve on suunnil-

leen 500 tonnia.

Venäjän hyökkäys Ukrainaan on nostanut huomion kohteeksi myös uraanin hankintaketjut. Tilastojen mukaan Suomeen vuonna 2019 tuodusta uraanista 38 prosenttia oli peräisin Venäjältä.

Olkiluodon voimalan omistaja Teollisuuden Voima (TVO) ei juuri ole käyttänyt venäläistä uraania. Sen sijaan siihen on nojannut Loviisan ydinvoimalaa isännöivä Fortum.

Hiilidioksidipäästöttömät ydinvoimalat korvaavat sähköntuotannossa fossiilisia polttoaineita käytettäviä laitteita. >>>



Tutkijat tarkastelevat Eurajoen Onkaloon louhittuja reikiä, joihin kuparikapseleihin pakattu uraanipolttoaine loppusijoitetaan.

Posiva Oy

Yksi Olkiluodon voimalayksikkö tuottaa vuodessa seitsemän terawattituntia sähköä. Jotta hiilivoimala pääsisi samaan, se tarvitsisi TVO:n laskujen mukaan lähes 2,5 miljoonaa tonnia hiiltä.

Olkiluodon ja Loviisan voimalat jauhavat yhdessä kolmasosan Suomessa kulutettavasta sähköstä. Koko maailmassa vastaava prosenttiluku on noin 10.

Ydinreaktoreiden polttoaineeksi sopii uraanin isotoopeista 235. Fission materiaali kykenee tuottamaan tarpeeksi vapaita neutroneja ylläpitämään ydinketjureaktiota voimalan reaktorissa.

Isotoopin 235 osuus uraanista on 0,72 prosenttia, mutta polttoainekäytössä sen osuutta nostetaan 3–5 prosenttiin. Suomen ydinvoimaloissa prosenttiluku on 4.

Väkevoinnissa uraanirikaste konvertoidaan uraaniheksafluoridi-kaasuksi, josta erotetaan riittävä määrä 235-isotooppia esimerkiksi sentrifugitekniikalla.

Väkevoity uraaniheksafluoridi muunnetaan takaisin kiinteäksi uraanioksidiksi, joka sitten sintrataan noin 1 700 asteen lämmössä ja lopuksi puristetaan koviksi polttoainetableteiksi.

Sokeripalan kokoiset uraanioksidinapit pinotaan korroosionkestäviin

zirkonisauvoihin, jotka hitsataan umpeen, kootaan nipuiksi ja toimitetaan voimaloiden käytettäväksi.

Yhtä väkevoityä polttoainetonnina kohti syntyy seitsemän tonnia köyhdytettyä urania (DU, Depleted Uranium). DU:n uraanipitoisuus on sama kuin väkevoimattömässä materiaalissa, mutta isotooppi 235:n osuus on vain 0,2 prosenttia.

Maailmaan arvioidaan tähän mennessä syntyneen pari miljoonaa tonnia köyhdytettyä urania. Se varastoidaan terässäiliöissä uraaniheksafluoridina (DUF6).

Lujaa, tiheää ainetta käytetään muun muassa sairaaloissa suojamateriaalina säteilylähteiltä. Laivoissa ja lentokoneissa köyhdytettyä urania hyödynnetään painoina.

Aseteollisuus puolestaan käyttää DU:ta panssareissa ja panssariammuksissa. Urania epäillään siksi kertyneen taistelulenttien ympäristöön muun muassa Persianlahden sodan aikana Irakissa.

Uraanisauvojen urakka päättyy Onkaloon

Uraanioksidinapeilla täytetyt polttoainesauvat tekevät työnsä ydinvoimaloiden reaktoreissa. Sauvat ja niitä ympäröivät hidastinsauvat upotetaan veteen,

ja halkeamisherkkiin isotoopin 235 ytimiin törmäytetään neutroneja.

Haljetessaan kukin U235-atomi vapauttaa 2–3 uutta neutronia, jotka taas törmäävät lähellä oleviin ytimiin. Näin yhä kasvava määrä neutroneja jatkaa ketjureaktiota. Myös isotoopin 238 atomit alkavat osallistua energiaa tuottavaan reaktioon.

Suomessa käytettävissä reaktorityypeissä reaktorin sydämen säätösauvat sisältävät neutroneja sitovina aineina kadmiumia, booria tai hafniumia.

Ydinreaktoreissa polttoainesauvoja rasittavat tehonmuutokset, jäädytteen epäpuhtaudet ja mahdolliset polttoainepun sisäiset rakenne-erot. Valmistajat kehittävätkin nippuja entistä paremmiksi pyrkimyksenään saada niput kestävämpiä yhä paremmin yhä suuremmilla rikastusasteilla.

Polttoainesauvojen urakka kestänyt muutaman vuoden. Ne poistetaan reaktorista, kun isotoopin 235 osuus polttoaineesta on pudonnut alle 0,8 prosenttiin.

Poistamisen jälkeen käytetty uraanipolttoaine säteilee hyvin voimakkaasti. Siksi se eristetään erillisestä luonnosta niin pitkäksi aikaa, että sen radioaktiivisuus putoaa merkityksettömälle tasolle.

Käytettyjä polttoainepippuja jäädytetään aluksi muutaman vuoden ajan reaktorihallin vesialtaissa. Vesi jäädyttää ja toimii säteilysuojana.

Noin neljän vuoden kuluttua niput siirretään voimala-alueen välivaraston vesialtaisiin. Välivarastossa niput viipyvät 40 vuotta.

Sen jälkeen nippujen radioaktiivisuudesta on jäljellä tuhannesosa, mutta niiden säteily on yhä vaarallista. Sen laantuminen normaalille tasolle vie noin 250 000 vuotta, joten tarpeen on vielä loppuvarasto, uraanisauvojen matkan pää.

Suomessa syntyvä korkea-aktiivinen ydinjäte loppusijoitetaan kuparisissa kapseleissa 400–500 metrin syvyyteen kallioperään rakennettavaan tunnelistoon, joka on saanut nimen Onkalo.

Eurajoen Olkiluotoon parhaillaan louhittava Onkalo valmistuu parin vuoden kuluttua ja on laatuaan maailman ensimmäinen.

Loppusijoituksen toteuttamisesta vastaa TVO:n ja Fortumin yhdessä perustama Posiva Oy. □

Kirjoittaja on tiedetoimittaja.