

Itämeren sedimenttien radioaktiivisuustutkimus

KAISA-LEENA HUTRI JA IISA OUTOLA

Itämeren radioaktiivisuutta on tutkittu Suomessa ja muualla Itämeren maiden piirissä jo useita vuosikymmeniä. Suomessa radioaktiivisuustutkimukset aloitettiin jo 1950-luvun lopulla Säteilyturvakeskuksen (STUK) silloisen edeltäjän, Säteilyfysiikan laitoksen ja Merentutkimuslaitoksen välisenä yhteistyönä. Kimmokkeen tutkimusten aloittamiselle antoivat 1950- ja 60-luvuilla tehdyt maanpäälliset ydinasekokeet. Ydinasekokeista lähtöisin ollut laskeuma oli levinnyt jokseenkin tasaisesti koko Itämeren valuma-alueelle, ja se sisälsi pääosin pitkäikäisiä radionuklideja ^{137}Cs :ää ($T_{1/2}$ 30,1 a) ja ^{90}Sr :ä ($T_{1/2}$ 28,5 a) (Lüning *et al.* 2013).

Vuonna 1980 Itämeren radioaktiivisuustutkimus laajeni kaikkien Itämeren maiden väliseksi yhteistyöksi, kun *Itämeren alueen merellisen ympäristönsuojelun yleissopimus* astui voimaan vain joitain vuosia ennen Tšernobylin onnettomuutta. Sopimus velvoittaa vähentämään kuormitusta kaikista päästölähteistä, suojelemaan meriluontoa ja säilyttämään lajin monimuotoisuutta. Jäsenmaat keräävät sovitun ohjelman mukaan vuosittain tietoa radioaktiivisista aineista Itämeren ympäristössä ja raportoivat ne Helsingin komissiolle (HEL-COM) eli sopimuksen allekirjoittajavaltioille.

Vuonna 1986 Tšernobylin onnettomuuden synnyttämä radioaktiivinen pilvi kulkeutui ilmapvirtausten mukana suoraan kohti Itä-

merta ja aiheutti laskeuman, joka puolestaan jakautui varsin epätasaisesti. Onnettomuudessa vapautui ^{137}Cs :n ja ^{90}Sr :n lisäksi monia lyhytikäisiä radionuklideja, kuten ^{60}Co , ^{103}Ru , ^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ja ^{125}Sb . Radioaktiivinen puoliintuminen on vähentänyt näiden määrää Itämeressä huomattavasti tai jopa kokonaan, kun taas pitkäikäiset radionuklidit ovat edelleen havaittavissa merivedessä ja sedimenteissä (Herrmann *et al.* 2013, Hutri *et al.* 2013), mistä ne kulkeutuvat ravintoketjuun. STUKin (2012) arvion mukaan Itämeren kaloista suomalaisille aiheutuva sisäinen säteilyannos oli alle 0,5 mikrosievertiä (μSv) vuonna 2011 kokonaisvuosiannoksen ollessa 3,7 millisievertiä (mSv). Fukushima onnettomuudesta vuonna 2011 alkunsa saanut radioaktiivinen laskeuma on Itämeren alueella ollut erittäin pientä, eikä siitä levinneitä radionuklideja todennäköisesti pystytä havaitsemaan Itämeressä (Nielsen 2013).

STUKin roolina on tuottaa ja raportoida Suomen tekemät mittaustiedot HELCOMille. Lisäksi STUK tekee viranomaisvalvontansa tukevaa tutkimusta Itämeren sedimenttien ja meriveden radioaktiivisuudesta ja siitä mahdollisesti aiheutuvista säteily- ja ympäristövaiikutuksista. Tutkimus ja valvonta perustuvat luonnollisesti ympäristönäytteisiin, joita otetaan yhteistyössä Suomen ympäristökeskuksen merikeskuksen kanssa. Itämeressä on useita sovittuja mittauspisteitä, joista jäsenvaltiot ottavat säännöllisesti merivesi-, sedimentti- ja eliönäytteitä. Viime vuosina (2007–2010) sedimentinäytteitä on otettu noin 60 mittaus-



Kuva 1. GEMINI-näytteenotin (Kuva: STUK / E.Illus).
 Figure 1. Sediment sampling with a GEMINI sampler (Photo: STUK / E.Illus).

pisteeltä. Sedimenttinäytteenotto tapahtuu useimmiten GEMAX- tai GEMINI-tyyppisillä näytteenottimilla (kuva 1). Kukin maa ottaa itse näytteesä ja tekee niistä radionuklidimäärityksensä. Tulosten perusteella voidaan laskea kokonaisinventareja Itämeren merenpohjan radionuklideille, ottaen karkeasti huomioon pohjasedimenttien arvioidun laadun (Salo *et al.* 1986), ts. onko kyseessä ns. ”pehmeä” (savet, liejut ym.) vai ”kova” (moreeni, sora ym.) pohja. Tähän asti meriveden ja sedimenttien analyysituloksia on kertynyt katta-

vimmin ^{137}Cs :n osalta ja Itämeri luokitellaan Irlanninmeren lisäksi maapallon radioaktiivisesti saastuneimpien merialueiden joukkoon (Osvath 2009).

Tšernobylin onnettomuudesta kuluneiden 27 vuoden aikana Itämeren vesi on osittain puhdistunut cesiumista, sillä pienet savi- ja liejupartikkelit sitovat tehokkaasti radionuklideja sedimentoituaessaan merenpohjalle. Lisäksi radioaktiivinen hajoaminen vähentää ^{137}Cs :n määrää. Laskelmien mukaan (Herrmann *et al.* 2013) ^{137}Cs -pitoisuus Itämeren vedessä puolittuu noin kymmenessä vuodessa.

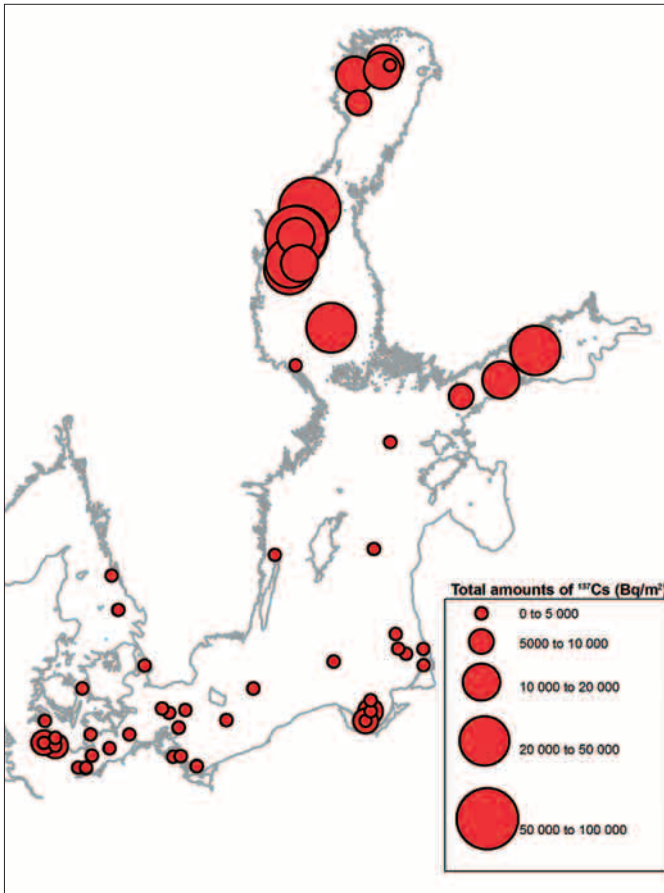
Koska Itämeren vesi vaihtuu hitaasti ja sedimentoituminen on paikoin nopeaa (0,2–29 mm/a), radionuklideilla, erityisesti cesiumilla, on kuitenkin pitkä viipymisaika Itämeren sedimenteissä (Ikäheimonen *et al.* 2009). Itämereen laskevat joet tuovat lisää cesiumia, ja se sedimentoituu merivedestä merenpohjaan. Viimeaikaisissa tutkimuksissa (1999–2010) Itämeren sedimenttien radioaktiivisuus on pysynyt suhteellisen vakiona, mutta tuloksissa on suuria alueellisia vaihteluita (Hutri *et al.* 2013). Suurin osa keinotekoisesta radioaktiivisuudesta aiheutuu ^{137}Cs :stä, ja sitä löytyy edelleen eniten Selkämereltä ja Suomenlahden itäosista (kuva 2). Kokonaisuudessaan Itämeren sedimentteihin on arvioitu sitoutuneen noin 2150–2480 TBq cesiumia (Hutri *et al.* 2013, taulukko 1), mikä on noin 8–9 kertaa enemmän kuin ennen Tšernobyliä (Mattila ja

Taulukko 1. Itämeren sedimenttien totaali-inventareja isotooppien ^{90}Sr , ^{137}Cs ja $^{239,240}\text{Pu}$ osalta.

Table 1. Results of inventories of the total activities of ^{90}Sr , ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ in the sediments of the Baltic Sea.

Vuodet / Years	Sr-90 (TBq)	Cs-137 (TBq)	Pu-239,240 (TBq)	Viite / Reference
1980-luvun alku / early 1980s	12	277	15	Salo <i>et al.</i> 1986
1990–1991	-	1200–1400	18*	Illus <i>et al.</i> 1995
1998	-	1940–2210	-	Illus <i>et al.</i> 2003
2000–2005	26	2100–2400	15,3	Illus <i>et al.</i> 2007
2007–2010	-	2150–2480	-	Hutri <i>et al.</i> 2013

* vuosilta 1987–1988 / for years 1987–1988



Kuva 2. ^{137}Cs kokonaismäärät (Bq/m^2) eri mittauspisteissä 2007–2010 (Hutri et al. 2013).

Figure 2. Total amounts of ^{137}Cs (Bq/m^2) at different sampling stations in 2007–2010 (Hutri et al. 2013).

Ilus 2009). Johtuen paikallisista ja alueellisista eroista sedimentaation, kulkeutumisen ja eroosion osalta, joiltakin asemilta on mitattu suurempia vuosivaihteluita kuin muilta asemilta. Näin on erityisesti varsinaisen Itämeren etelä- ja länsiosissa sekä Suomenlahdella. Yllättävää monelle kuitenkin lienee se, että suurin osa Itämeren radioaktiivisuudesta aiheutuu luonnonnuklideista, joilla on pitkät puoliintumisaikat, kuten ^{40}K , ^{226}Ra ja ^{232}Th . On arvioitu, että Itämeren pohjan ylimmät sedimentit (0–10 cm) sisältävät 8400 TBq ^{40}K :ä ja 420 TBq ^{226}Ra :a (Mattila ja Ilus 2009).

Suurin osa Itämeren sedimenttien plutoniumista, strontiumista ja amerikumista on peräisin ydinasekokeista. $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ - ja $^{241}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ -isotooppisuhteista sekä ^{241}Pu :n määrästä on voitu päätellä osan plutoniumista aiheutuneen myös Tšernobylistä (Ikäheimonen 2003). Radioaktiivisen hajoamisen kautta ^{241}Pu kasvattaa myös ^{241}Am :n määrää. Vuosina 1999–2010 Itämeren sedimenttien $^{239,240}\text{Pu}$ -aktiivisuudeksi mitattiin 0,005–14,10 Bq/kg k.p. ja ^{238}Pu -aktiivisuudeksi 0,005–0,920 Bq/kg k.p. Vuosina 1999–2010 ^{241}Am -aktiivisuus olivat 0,03–4,8 Bq/kg k.p. ja ^{90}Sr -aktiivisuus 0,1–73,8 Bq/kg k.p. Koska näytteitä ja analysoitua dataa on vain vähän, sedimenttien kokonaisinventaareja on vaikeaa arvioida luotettavasti. Keinotekoisella radioaktiivisuudella ei ole arvioitu olevan vahingollisia vaikutuksia Itämeren luonnolle (Kanisch ja Nielsen 2013).

Itämeren radioaktiivisuuden seuranta on tärkeä osa ympäristön tilan monitorointia, ja vain tuntemalla sen nykytila voidaan tehdä arvioita tilan kehittymisestä ja mallintaa radionuklidien leviämisiä esimerkiksi mahdollisen onnettomuuden tapauksessa. Radioaktiivisuusdataa voidaan hyödyntää myös perinteisemmässä geologisessa tutkimuksessa muun muassa sedimenttien näytteenottomenetelmien vertailussa (Ilus et al. 2000), sedimentaationopeuden arvioimisessa ja sedimenttien ajoituksessa (Jensen et al. 2003, Mattila et al. 2006). Koska näytteenottoverkosto on kuitenkin harva verrattuna Itämeren kokoon, nykytietämyksessämme on

edelleen aukkoja. Tämä koskee erityisesti vaikeammin analysoitavien radionuklidien, kuten ^{90}Sr :n, ja luonnonnuklidien, kuten ^{210}Pb :n, pitoisuuksia ja esiintyvyyttä. Tulevaisuuden tutkimustarpeisiin kuuluvat luonnollisesti myös selvitykset ionisoivan säteilyn mahdollisista ympäristövaikutuksista Itämeren luontoon.

KAISA-LEENA HUTRI

FT, erikoistutkija
Säteilyturvakeskus
Ympäristön säteilyvalvonta
Laippatie 4, P.O.Box 14,
FI-00881 Helsinki, Finland
Tel. +358 9 759 881
kaisa-leena.huttri@stuk.fi

IISA OUTOLA

FT, erikoistutkija
Säteilyturvakeskus
Ympäristön säteilyvalvonta
Laippatie 4, P.O.Box 14,
FI-00881 Helsinki, Finland
iisa.outola@stuk.fi

Kirjallisuus:

- Herrmann, J., Ikäheimonen, T.K. ja Hutri, K. 2013. Radionuclides in seawater. Teoksessa: HELCOM: Thematic assessment of long-term changes in radioactivity in the Baltic Sea covering the period 2007–2010. Baltic Sea Environment Proceedings (*painossa*).
- Hutri, K., Ikäheimonen, T.K. ja Vartti, V. 2013. Radionuclides of the Baltic Sea sediments. Teoksessa: HELCOM: Thematic assessment of long-term changes in radioactivity in the Baltic Sea covering the period 2007–2010. Baltic Sea Environment Proceedings (*painossa*).
- Ikäheimonen, T.K. 2003. Determination of transuranic elements, their behaviour and sources in the aquatic environment. Väitöskirja. Report STUK-A194, Helsinki, 82 s + liitteet.
- Ikäheimonen, T.K., Outola, I, Vartti, V. ja Kotilainen, P. 2009. Radioactivity in the Baltic Sea: inventories and temporal trends of ^{137}Cs and ^{90}Sr in water and sediments. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 282(2):419–425.
- Ilus, E., Niemistö, L. ja Bojanowski, R. 1995. Radionuclides in sediment and suspended particulate matter. Teoksessa: HELCOM: Radioactivity in the Baltic Sea 1984–1991. Baltic Sea Environment Proceedings 61:69–91.
- Ilus, E., Ilus, T., Ikäheimonen, T.K., Niemistö, L., Herrmann, J., Suplinska, M., Pantelev, Y., Ivanova, L., Gritchenko, Z.G. ja Neumann, G. 2000. Teoksessa: HELCOM: Intercomparison of sediment sampling devices using artificial radionuclides in Baltic Sea sediments. The MOSSIE Report. Baltic Sea Environment Proceedings 80, 76 s.
- Ilus, E., Suplinska, M. ja Mattila, J. 2003. Radionuclides in sediments. Teoksessa: HELCOM: Radioactivity in the Baltic Sea 1992–2006. Baltic Sea Environment Proceedings 85:55–75.
- Ilus, E., Mattila, J., Nielsen, S.P., Jakobson, E., Herrmann, J., Graveris, V., Vilimaite-Silobritiene, B., Suplinska, M., Stepanov, A. ja Lüning, M. 2007. Teoksessa: HELCOM: Long-lived radionuclides in the seabed of the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings 110:1–41.
- Jensen, A., Larsen, B., Jonsson, P. ja Perttilä, M. 2003. Teoksessa: Perttilä, M. (toim.). Contaminants in the Baltic Sea sediments, Results of the 1993 ICES/HELCOM Sediment Baseline Study. Report Series of the Finnish Institute of Marine Research, MERI 50:58–64.
- Kanisch, G. ja Nielsen, S.P. 2013. Modelling and Dose Calculations. Teoksessa: HELCOM: Thematic assessment of long-term changes in radioactivity in the Baltic Sea covering the period 2007–2010. Baltic Sea Environment Proceedings (*painossa*).
- Lüning, M., Vartti, V. ja Herrmann, J. 2013. Sources of radioactive substances in the Baltic Sea. Teoksessa: HELCOM Radioactivity in the Baltic Sea, 2007–2010. Baltic Sea Environment Proceedings (*painossa*).
- Mattila, J. ja Ilus, E. 2009. Radionuclides in sediments. Teoksessa: HELCOM: Radioactivity in the Baltic Sea, 1999–2006. Baltic Sea Environment Proceedings 117:25–29.
- Mattila, J., Kankaanpää, H. ja Ilus, E. 2006. Estimation of recent sediment accumulation rates in the Baltic Sea using artificial radionuclides ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ as time markers. Boreal Environment Research 11:95–107.
- Nielsen, S.P. 2013. Teoksessa: HELCOM: Thematic assessment of long-term changes in radioactivity in the Baltic Sea covering the period 2007–2010.

- Baltic Sea Environment Proceedings (*painossa*).
Osvath, I. 2009. Radioactivity in the Baltic Sea compared to other sea regions. Teoksessa: HELCOM: Radioactivity in the Baltic Sea, 1999–2006. Baltic Sea Environment Proceedings 117:47–49.
Salo, A., Tuomainen, K. ja Voipio, A. 1986. Inventories of some long-lived radionuclides in the Baltic Sea. The Science of the Total Environment 54:247–260.
STUK. 2012. Ympäristön säteilyvalvonta Suomessa. Vuosiraportti 2011. STUK-B 148, Helsinki, 78 s.

Summary:

Radioactivity studies of the Baltic Sea sediments

Finland has already in the 1950s been a pioneer in monitoring the radioactivity in the Baltic Sea. Fallout from nuclear weapons testing spread evenly across the whole of the Baltic Sea drainage area. The fallout consisted mainly of ^{137}Cs and ^{90}Sr . Over the years, the monitoring has expanded in all the circum-Baltic states via the international Monitoring of Radioactivity in the Baltic Sea (MORS) programme of the Helsinki Commission. STUK is involved in this monitoring and also does radioactivity research supporting its regulatory work.

The radioactive cloud from the Chernobyl accident in 1986 travelled along airstreams straight towards the Baltic Sea, depositing fallout rather unevenly in the sea's drainage area. Clay sediments of the Baltic Sea contain valuable information of the radioactivity in the marine environment. Radionuclides, especially ^{137}Cs , have a tendency to bind into clay and gyttja particles while they settle. Due to the slow exchange of water between the Baltic and North Seas, and quite rapid sedimentation rates, the radionuclides have prolonged residence times in the Baltic Sea (Ikäheimonen et al. 2009), and the Baltic can be classified

as one of the most contaminated sea areas in the world (Osvath 2009). Radioactive fallout over the Baltic Sea from the Fukushima accident (2011) was very small and may not be detectable (Nielsen 2013). According to Kanish and Nielsen (2013) the artificial radioactivity is not, however, expected to cause harmful effects to the Baltic Sea wildlife

In the twenty years since the Chernobyl accident, the Baltic Sea's waters have been cleaned up of cesium relatively quickly as cesium has deposited into the sediment. In a recent inventory, it was estimated that the total amount of ^{137}Cs activity in the Baltic Sea sediments was about 2150–2480 TBq (Hutri et al. 2013). This is about 8–9 times higher compared to the pre-Chernobyl level in the beginning of the 1980s. In general, the inventories in sediments were based on mean total amounts of radionuclide activity concentrations in sediments (Bq m^{-2}) and the surface areas of different basins, taking into account the surface areas and the activities in soft and hard bottoms (Ikäheimonen et al 2009). Most of the ^{137}Cs activity is in the bottoms of the Bothnian Sea and the eastern Gulf of Finland.

However, most of the radioactivity in the sediments of the Baltic Sea originates from naturally occurring radionuclides such as ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th (Mattila and Ilus 2009). Inventories of ^{40}K and ^{226}Ra were in 2000 estimated to be about 8500 TBq and 420 TBq, respectively, in the uppermost, 0–10 cm sediment layer (Mattila and Ilus 2009).

The continuous monitoring work and time trends of the radioactive substances are the basis for understanding the state of the Baltic Sea environment and its radioactivity. However, there are still several gaps in our knowledge of the radioactivity in the sediments of the Baltic Sea, e.g. the amounts of ^{90}Sr , ^{241}Am and natural radioactivity such as ^{210}Pb .