



STUK-B 319 / TOUKOKUU 2024

Virtanen S, Varti V-P, Turunen J, Teräväinen M,
Torvela T, Mattila A

B



Ydinvoimalaitosten ympäristön säteilyvalvonta Suomessa

Vuosiraportti 2023

Säteilyturvakeskus
Jokiniemenkuja 1
01370 Vantaa
www.stuk.fi

Lisätietoja:
Vesa-Pekka Vartti
vesa-pekka.vartti@stuk.fi
puhelin 09 759 88 593

ISBN 978-952-309-599-1 (pdf)
ISSN 2243-1896

VIRTANEN Sinikka, VARTTI Vesa-Pekka, TURUNEN Jani, TERÄVÄINEN Mikko, TORVELA Tiina, MATTILA Aleks, Ydinvoimalaitosten ympäristön säteilyvalvonta Suomessa. Vuosiraportti 2023. STUK-B 319 Vantaa, 2024, 54 s.

AVAINSANAT: Ympäristövalvonta, ydinlaitos

Sisällys

1 TIIVISTELMÄ	5
2 JOHDANTO	6
3 YDINVOIMALAITOSTEN PÄÄSTÖT	7
4 LUVANHALTIJAN YMPÄRISTÖVALVONTAOHJELMA	12
5 SÄTEILYTURVAKESKUKSEN YMPÄRISTÖVALVONTAOHJELMA JA -MENETELMÄT	12
5.1 TARKKAILUKOhteet ja näytteenotto	13
5.1.1 ULKOILMA JA LASKEUMA	13
5.1.2 MAAYMPÄRISTÖ	14
5.1.3 MERIYMPÄRISTÖ	17
5.1.4 YMPÄRISTÖN ASUKKAAT	21
5.2 VALVONTAMENETELMÄT	21
5.2.1 NÄYTTEIDEN KÄSITTELY JA ANALYSOINTI	21
6 YMPÄRISTÖVALVONNAN TULOKSET	24
6.1 ULKOILMA JA LASKEUMA	24
6.2 MAAYMPÄRISTÖ	25
6.3 MERIYMPÄRISTÖ	32
6.4 YMPÄRISTÖN ASUKKAAT	45
7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	46
8 VIITTEET	47
9 LIITTEET	47

1 Tiivistelmä

Tässä raportissa on kuvattu Säteilyturvakeskuksen (STUK) Loviisan sekä Olkiluodon ydinvoimalaitosten ympäristössä suorittaman säteilyvalvonnan tulokset vuodelta 2023. STUKin suorittama valvonta täydentää ja varmentaa voimalaitoksien tekemää ympäristön tarkkailua sekä päästömittauksia. Valvontaa suoritetaan keräämällä näytteitä voimalaitoksen lähialueen maa- ja meriympäristöstä sekä ulkoilmasta. Lisäksi seurataan voimalaitoksen lähiympäristön asukkaiden kehoissa olevien radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia. Ympäristönäytteet analysoidaan STUKin laboratorioissa. Kerättyjen näytteiden sisältämät radioaktiiviset aineet määritetään gammaspektrometrisia sekä radiokemiallisia analyysimenetelmiä käyttäen.

Osassa kerättyjä näytteitä havaittiin vähäisiä määriä voimalaitoksesta peräisin olevia radioaktiivisia aineita. Havaitut radioaktiiviset aineet tai niiden määrät eivät poikenneet merkittävästi aiempina vuosina ympäristöstä tehdyistä havainnoista. Ympäristössä havaitulla voimalaitoksesta peräisin olevalla radioaktiivisuudella ei ole merkitystä ympäristön eikä ihmisten säteilyaltistukselle. Ydinvoimalaitosten raportoimien päästömittausten tulokset sekä ydinlaitosten suorittaman ympäristövalvonnan havainnot vastaavat STUKin omassa valvonnassaan tekemiä havaintoja.

2 Johdanto

Ydinenergian käytöstä säädetään ydinenergalaisissa (990/1987) ja ydinenergia-asetuksessa (161/1988). Ydinenergalain 7c §:n 1 momentin mukaan *ydinenergian käytöstä aiheutuvia radioaktiivisten aineiden päästöjä on rajoitettava säteilylain (859/2018) 6 §:ssä säädettyä säteilysuojelun optimointiperiaatetta noudattaen. Säteilysuojelun optimoinnissa on käytettävä säteilylain 9 §:n mukaisia annosrajoituksia.* Ydinenergalain 7c §:n 5 momentin mukaan *Säteilyturvakeskuksen tulee tarpeellisessa laajuudessa tarkkailla ja valvoa ydinlaitoksen ympäristöä radioaktiivisten aineiden päästöjen mittausten luotettavuuden varmistamiseksi ja laitoksen ympäristövaikutusten todentamiseksi.* Ympäristön säteilyvalvonnalla varmistetaan osaltaan, että ydinvoimalaitoksen normaalista käytöstä aiheutuva väestön yksilön sama vuosiannos pysyy ydinenergia-asetuksessa (161/1988) 22 b §:n säädetyn vuosiannoksen rajoituksen 0,1 millisievertiä alapuolella. Vuosiannoksen rajoitus on alle kaksi prosenttia suomalaisten keskimääräisestä vuosiannoksesta 5,9 mSv (Siiskonen, 2020).

Ydinlaitoksen käytöstä aiheutuva säteilyaltistus on pidettävä niin pienenä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Ydinlaitos ja sen käyttö on lisäksi suunniteltava siten, että ydinenergia-asetuksessa esitetyt rajoituksia ei ylitetä. Yksinomaan rajoitusten alittaminen ei ole riittävää, vaan laitoksen käytöstä aiheutuvat radioaktiivisten aineiden päästöt ja ympäristön säteilytasot on pidettävä niin alhaisina kuin mahdollista. Ydinenergian käyttöön oikeuttavan luvan haltijan on johdettava ydinvoimalaitokselle radioaktiivisten aineiden päästörajat siten, että ydinenergia-asetuksen mukaista yksilön annosta koskevaa rajoitusta ei ylitetä.

STUKin ohjeessa YVL C.7 esitetään luvanhaltijaa koskevat yksityiskohtaiset vaatimukset ydinlaitoksen ympäristön säteilyvalvonnalle.¹ Luvanhaltijan on laadittava ohjelma ydinlaitoksen ympäristön säteilyvalvontaa varten ja raportoitava ohjelman tulokset STUKille. STUK suorittaa ydinenergalain 7c §:n 5 momentin mukaista luvanhaltijasta riippumatonta valvontaa ydinlaitoksen ympäristössä ydinlaitoksen käytön aikana ottamalla ja analysoimalla ympäristönäytteitä ydinlaitoksen ympäristöstä tarpeellisessa laajuudessa. Ydinlaitosten ympäristövalvonnan järjestämisestä on annettu myös IAEA:n ohje Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.8 (IAEA, 2005). Luvanhaltijan ja STUKin suorittaman ympäristövalvonnan kokonaisuus vastaa IAEA:n valvontaohjelman sisältöä koskevia suosituksia.

STUKin suorittaman ympäristövalvonnan tulokset on koottu tähän raporttiin. Tuloksia verrataan luvanhaltijoiden raportoimiin ympäristövalvonnan havaintoihin sekä päästöihin.

¹ Luvanhaltijalla tarkoitetaan tässä raportissa ydinenergian käyttöön oikeuttavan luvan haltijaa.

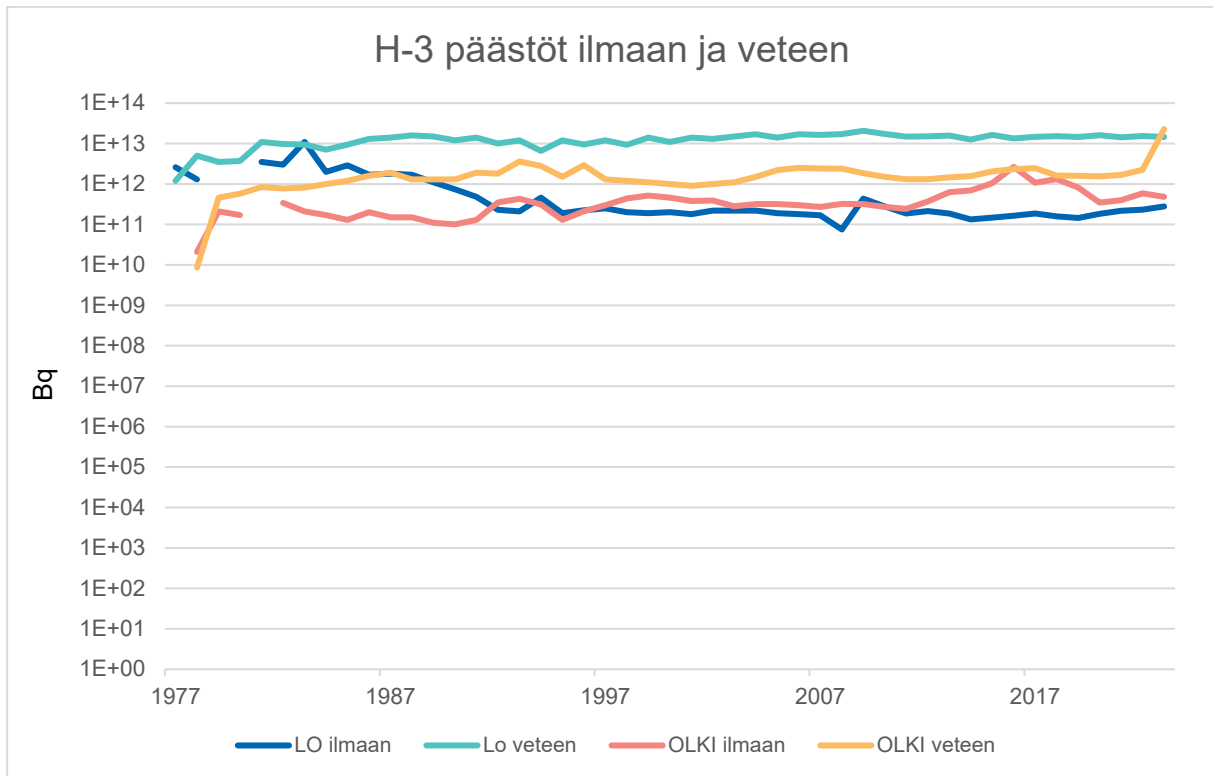
3 Ydinvoimalaitosten päästöt

Ydinvoimalaitosten normaalin käytön aikana syntyy radioaktiivisia aineita, joista hyvin pieni osa voi päätyä ympäristöön. Radioaktiivisia aineita syntyy enimmäkseen reaktorin ydinpolttoaineeseen fissioreaktioiden seurauksena sekä eri materiaalien aktivoitumistuotteina neutronisäteilyn vaikutuksesta. Radioaktiiviset aineet jäävät pääasiassa polttoainesauvojen sisään sauvojen suojakuoren estäessä aineiden vapautumisen ympäröivään jäähdytysveteen. Reaktorin jäähdytysjärjestelmässä sekä siihen liittyvissä puhdistus- ja jätejärjestelmissä on myös radioaktiivisia aineita. Polttoaineeseen syntyy myös kaasumaisia radioaktiivisia aineita, jotka voivat diffundoitumalla siirtyä pois polttoainesauvoista. Polttoainesauvojen suojakuori voi harvinaisissa tapauksissa vaurioitua käytössä ja menettää tiiveytensä lisäten jäähdytysveden radioaktiivisuutta.

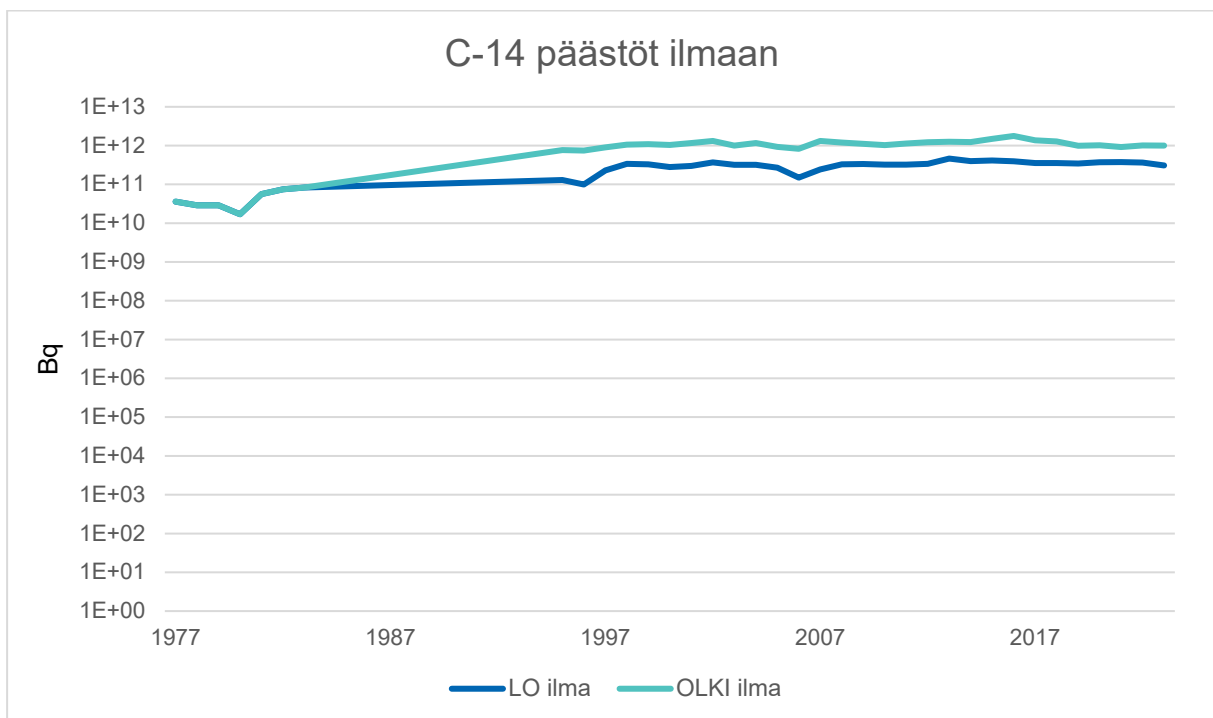
Normaalien käyttötilanteiden aikana ydinlaitoksesta päästetään ilmakehään laitoksen ilmanvaihdon poistoilmaa ja prosesseista poistettuja kaasumaisia aineita, joita on tarvittaessa puhdistettu. Kaasumaiset päästöt johdetaan voimalaitosten poistoilmapiippuihin. Ydinvoimalaitoksessa syntyviä nestemäisiä radioaktiivisten aineiden päästöjä pienennetään haihuttamalla, suodattamalla ja viivästämmällä ennen kuin ne johdetaan mereen. Nestemäiset radioaktiivisten aineiden päästöt johdetaan voimalaitoksen jäähdytysveden mukana mereen. Häiriö- ja onnettomuustilanteissa radioaktiivisia aineita voi päästä ympäristöön myös normaaleista poikkeavia reittejä pitkin ja päästöjen koostumus voi erota normaalikäytön aikaisista päästöistä.

Luvanhaltijat ovat tehneet laitosten käyttöhistorian aikana uudistuksia, joilla ympäristöön johdettuja päästöjä on saatu pienennettyä. Tietyt radionuklidit (esim. H-3 ja C-14) ovat riippuvaisia laitoksen energiatuotannon määrästä, ja ne pysyvät lähes samalla tasolla vuosittain (kuvat 1 ja 2). Esimerkkinä tehdyistä toimenpiteistä on Fortumin Loviisassa vuonna 1990 käyttöönotettu nestemäisten jätteiden cesiumin erotusmenetelmä, jonka takia mereen johdettavan pitkäikäisen radionuklidin Cs-137 määrää on saatu vähennettyä merkittävästi. Muutamien merkittävimpien nestemäisissä päästöissä esiintyvien nuklidien vuosittaiset kokonaispäästöt on esitetty kuvissa 3 ja 4.

3 YDINVOIMALAITOSTEN PÄÄSTÖT

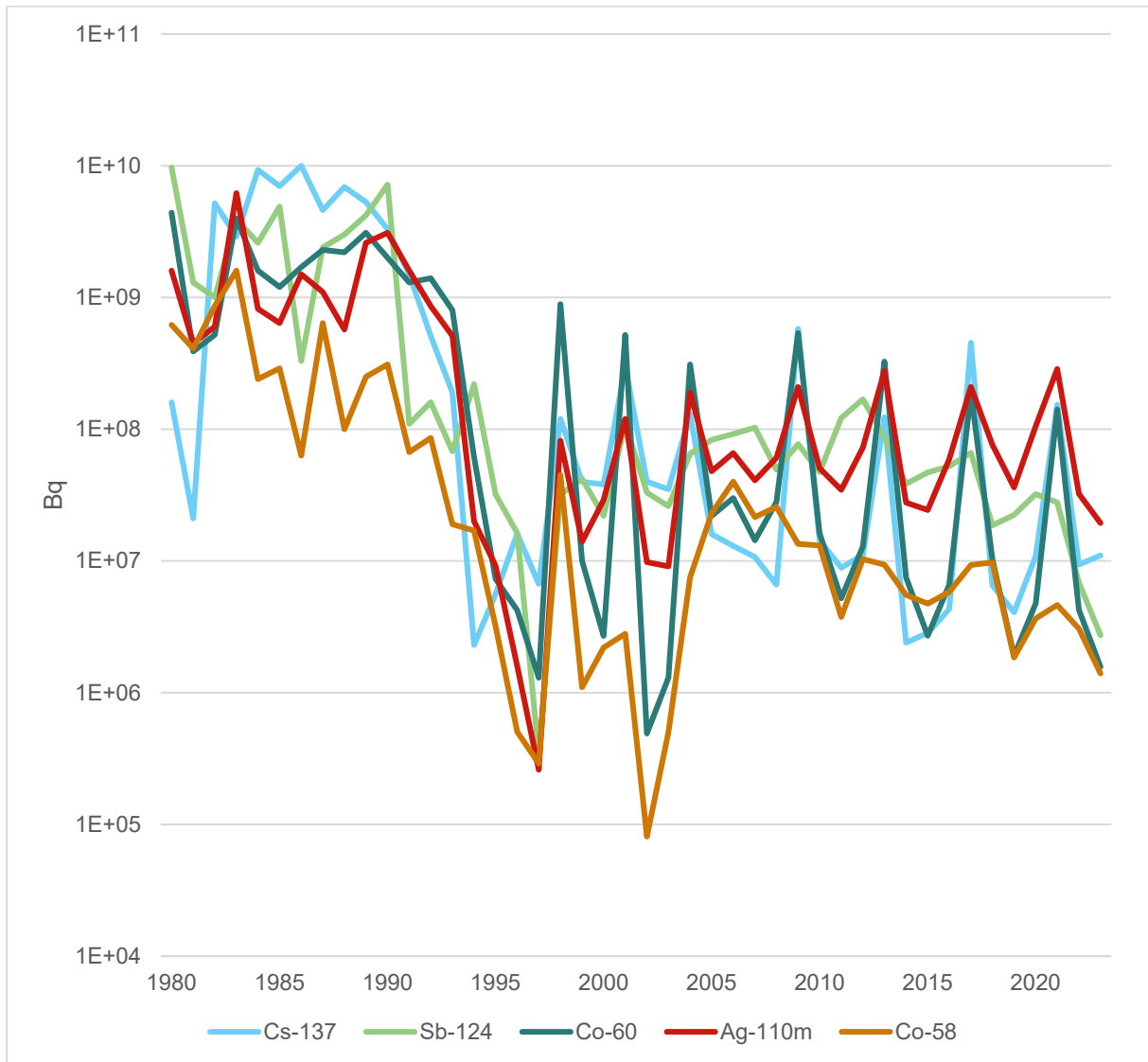


Kuva 1. Tritiumin (H-3) vuosipäästöt ilmaan ja veteen laitosten käytön alusta. Vuonna 2023 käynnistyneen OL3:n päästöt näkyvät Olkiluodon vesipäästöjen kokonaismäärässä.



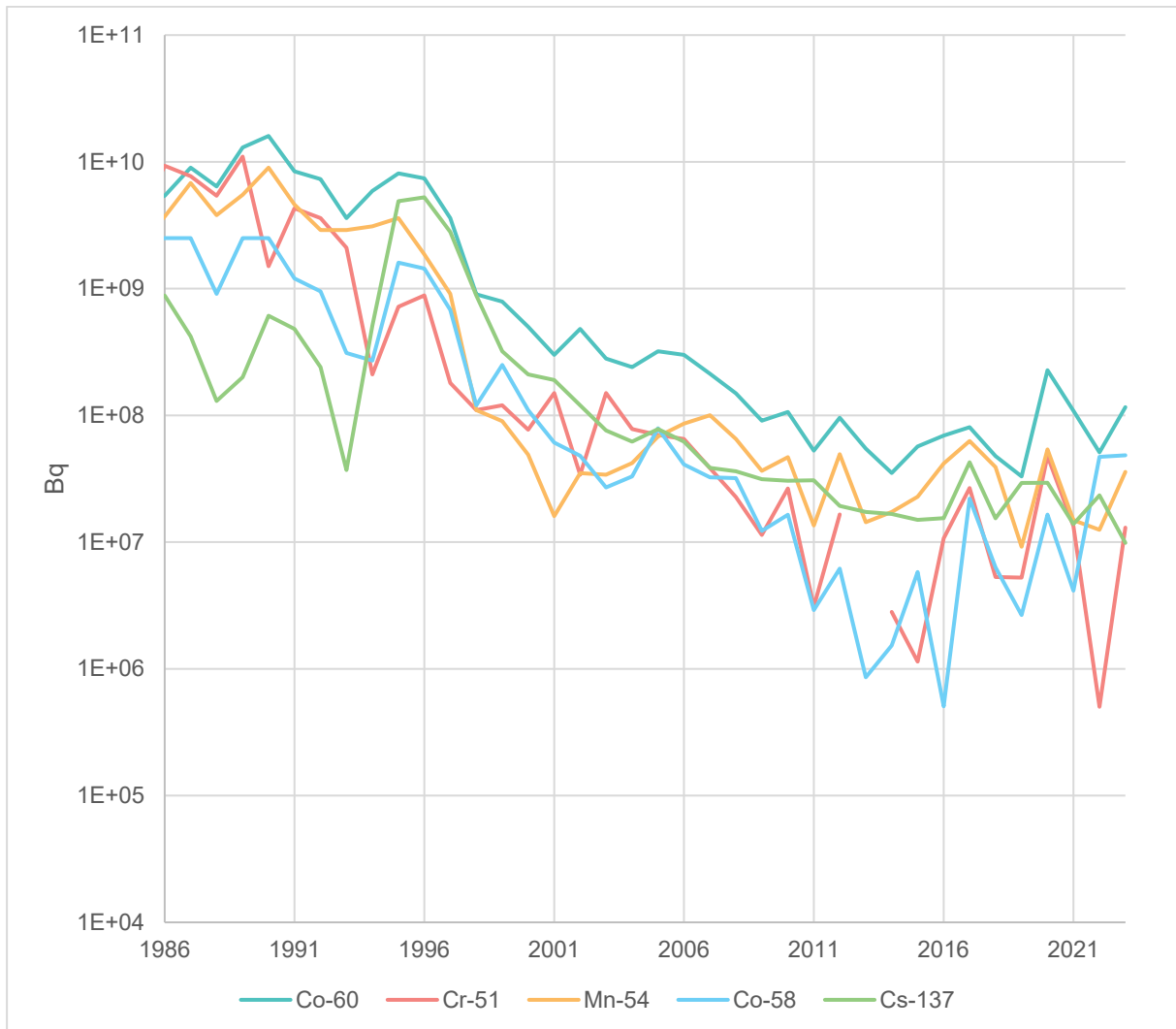
Kuva 2. C-14 vuosipäästöt ilmaan laitosten käytön alusta. Vuodesta 2023 alkaen mukana myös OL3:n päästöt.

3 YDINVOIMALAITOSTEN PÄÄSTÖT



Kuva 3. Muutamien merkittävämpien nestemäisissä päästöissä esiintyvien päästönuklidien vuosittaiset kokonaispäästöt Loviisassa vuosina 1980 – 2023. Noin joka neljäs vuosi tehtävä cesiumerotetun haihdutuskonsentraatin suunniteltu uloslasku mereen näkyy pitkäikäisempien päästönuklidien piikkinä näinä vuosina (Fortum 2024).

3 YDINVOIMALAITOSTEN PÄÄSTÖT



Kuva 4. Muutamien merkittävämpien nestemäisissä päästöissä esiintyvien päästönuklidien vuosittaiset kokonaispäästöt Olkiluodossa vuosina 1986 – 2023 (huom. vuonna 2023 mukana myös OL3 päästöt).

Aikaisempien vuosien tapaan vuoden 2023 päästöt olivat huomattavasti päästörajaa pienemmät.

Olkiluodossa laitosesyksikkö OL3 saavutti ensimmäisen kriittisyyden 21.12.2021. Laitosesyksikön käyttöönotto eteni vuonna 2022 turvallisuustavoitteet täyttäen ja laitosta käytettiin ensimmäisen kerran 100 %:n teholla 30.9.2022. Säännöllinen sähköntuotanto aloitettiin 16.4.2023.

Voimalaitosten radioaktiiviset päästöt vuonna 2023 olivat pieniä suhteessa asetettuihin päästörajoihin (Fortum, 2024; TVO, 2024). Loviisassa jalokaasujen päästö ilmaan (Kr-87 ekvivalenttipäästö) oli vuonna 2023 noin 0,033 % ja jodipäästö (I-131 ekvivalenttipäästö) alle 0,0001 % niille asetetuista päästörajoista. Tritiumin (H-3) päästö mereen oli noin 10 % ja fissio- ja aktivoitumistuotteiden päästö mereen noin 0,007 % niille asetetuista päästörajoista.

3 YDINVOIMALAITOSTEN PÄÄSTÖT

Olkiluodossa jalokaasujen päästö ilmakehään (Kr-87 ekvivalenttipäästö) oli 0,0154 % ja jodipäästö (Olkiluodossa päästöraja asetettu I-131:lle) 0,0244 % niille asetetuista päästörajoista. Tritiumpäästö mereen oli noin 29 % ja fissio- ja aktivoitumistuotteiden päästö mereen noin 0,07 % niille asetetuista päästörajoista. Tritiumpäästöt mereen ovat pääosin (yli 90 %) peräisin uudelta OL3 laitokselta, johtuen OL3:n säännöllisestä tritiumin poistosta primäärijäähdytteestä.

Tyypillisiä Loviisan voimalaitoksesta peräisin olevia voimalaitoksen lähiympäristössä havaittavia radionuklideja ovat H-3, Co-60 ja Ag-110m ja Olkiluodon voimalaitoksella H-3, Mn-54, Co-58 ja Co-60. Uutena päästönuklidina vesipäästöissä OL3:lla on myös Be-7, jota esiintyy ympäristössä myös luonnollisesti kosmisen säteilyn vaikutuksesta. Tämän nuklidin pitoisuuksia meriympäristössä on syytä seurata sen esiintyessä nykyään myös vesipäästöissä. Erot havaittavissa nuklideissa johtuvat erilaisista laitostyypeistä ja eroista esimerkiksi reaktoripiireissä käytettävissä materiaaleissa.

Laskennallisesti suurimmat eniten altistuvan väestöryhmän edustavalle henkilölle annosta aiheuttavat nuklidit ovat ilmapäästöissä C-14 ja vesipäästöissä H-3, Co-60 tai Cs-137. Laskennallinen annosarvio Loviisan C-14 ilmapäästöjen osalta perustuu konservatiiviseen oletukseen, että C-14 pääsee ympäristöön kokonaisuudessaan hiilidioksidina (CO₂). Fortumin tekemien selvitysten mukaan Loviisassa 80 – 90 % C-14-päästöistä vapautuu hiilivetyinä, jotka eivät sitoudu hyvin kasveihin (Fortum 2024). Ympäristövalvonnan näytteissä ydinvoimalaitosten ympäristössä ei juuri havaita eroja muualta Suomesta otettujen näytteiden C-14-aktiivisuuspitoisuuksissa.

Liitteessä 1 on esitelty tarkemmin yleisimmät radionuklidit, joita havaitaan ydinvoimalaitosten päästöissä sekä ympäristövalvonnassa. Kaikki ympäristövalvonnassa havaittavat radionuklidit eivät ole peräisin ydinvoimalaitoksista. Ympäristössä on myös luonnon radioaktiivisuutta sekä keinotekoisia radionuklideja, kuten H-3, Sr-90 ja Cs-137, jotka ovat peräisin 1950- ja 1960-lukujen ydinasekokeista sekä erityisesti vuonna 1986 tapahtuneesta Tšernobylin ydinvoimalaitosonnettomuudesta.

4 Luvanhaltijan ympäristövalvontaohjelma

Ydinenergian käyttöön oikeuttavan luvan haltijan on seurattava radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia voimalaitoksen ympäristössä. STUKin julkaisemassa YVL C.7-ohjeessa on esitelty vähimmäisvaatimukset luvanhaltijan ympäristön säteilyvalvontaohjelmalle (Liite 2):

- Ohjelmaan on sisällytettävä ulkoisen säteilyn mittauksia, jotka toteutetaan laitoksen maaympäristöön sijoitetuin ympäristödosimetrein sekä ulkoisen säteilyn annosnopeuden mittausasemien avulla.
- Maaympäristössä mittaukset kohdistetaan ilman, laskeuman, talousveden ja puutarhatuotteiden radioaktiivisten aineiden määrittämiseksi. Lisäksi valvontaohjelmassa tutkitaan maaympäristön indikaattoriorganismien radioaktiivisia aineita. Indikaattoriorganismeilla tarkoitetaan eliöitä ja kasveja, jotka keräävät tai rikastavat radionuklideja erityisen hyvin ja soveltuvat siksi ympäristössä esiintyvien radionuklidien tarkkailuun.
- Vesiympäristössä mittaukset kohdistetaan veteen liuenneiden ja sekoittuneiden radioaktiivisten aineiden määrittämiseksi.

Luvanhaltijan ympäristön säteilyvalvonnan tulokset esitetään luvanhaltijan ympäristön säteilyturvallisuuden vuosiraportissa, jonka luvanhaltija toimittaa STUKille (Fortum, 2023; TVO 2023). STUK arvioi luvanhaltijan oman valvontaohjelman riittävyyden ja sen tulokset sekä vertaa luvanhaltijan valvonnan tuloksia STUKin oman valvontaohjelman tuloksiin. Luvanhaltijan ohjelman tuloksia käsitellään myöhemmin kappaleessa 6, Ympäristövalvonnan tulokset, jossa tuloksia verrataan STUKin valvontaohjelman tuloksiin.

5 Säteilyturvakeskuksen ympäristövalvontaohjelma ja -menetelmät

STUKin ympäristön säteilyvalvontaohjelman suunnittelussa huomioidaan laitospaikkojen ja näiden ympäristöjen olosuhteet sekä laitosten toiminta ja käyttö. Näin ympäristön säteilyvalvontaa tehdään oikein suunnattuna ja mitoitettuna. Suunnitellun ohjelman lisäksi voidaan tarpeen vaatiessa, esimerkiksi laitoshäiriötilanteissa, tehdä täydentävää näytteenottoa. Ympäristön säteilyvalvonta kohdistetaan laitospaikan ympäristöön ja ympäristön asukkaisiin. Näytteenoton laatu varmistetaan ottamalla vuosittain rinnakkaisnäytteitä tietyistä näytelajeista suunnitelman mukaisesti.

Mittauksia tehdään maa- ja meriympäristön näytteille, joiden lisäksi kerätään ilmanäytteitä laitosten vuosihuoltojen yhteydessä. Näytteenotossa korostuu ensisijaisesti ihmisen ravintoketjuihin liittyvät näytelajit kuten maito, maataloustuotteet, talousvedet, kalat, riista ja muut elintarvikkeet. Lisäksi säteilyvalvontaohjelmaan sisältyy vesi- ja maaympäristön indikaattorieliöitä ja -materiaaleja, joita ovat esimerkiksi maa- ja meriympäristön luonnonvaraiset kasvit sekä sedimentoituva aines.

Molempien ydinvoimalaitosten ympäristöstä kerätään samoja tai samankaltaisia näytelajeja paikalliset olosuhteet huomioiden. Näytteenottokohteet sekä -lajit on valittu siten, että ne kuvastavat mahdollisimman hyvin laitosten lähiympäristön tilaa. Näytteitä otetaan edustavasti usean kilometrin etäisyydelle laitoksesta asti siten, että huomioidaan mahdolliset radionuklidien päästöreitit, päästöjen leviäminen ympäristöön sekä väestön elintavat ja asutuksen sijainti ympäristössä. Näytteiden radionuklidipitoisuuksia verrataan muualta Suomesta kerättyjen näytteiden radionuklidipitoisuuksiin sekä aiempien vuosien havaintoihin.

Vuonna 2023 STUKissa tehtiin sisäinen raportti, jossa käytiin läpi ydinlaitosten ympäristöohjelmaa koskevat kansainväliset ohjeistukset ja suositukset. Suomessa tehtävää ympäristövalvontaa vertailtiin myös kolmessa muussa maassa tehtäviin ympäristövalvontaohjelmiin (Ranska, Ruotsi, Tšekki). Selvityksen perusteella esitettiin muutamia kehitysehdotuksia viranomaisen vastuulla olevaan ympäristövalvontaan, ja näitä kehitysehdotuksia tullaan huomioimaan valvonnassa vuodesta 2024 lähtien. Myös Posivan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen käynnistyminen nykyisen suunnitelman mukaan vuoden 2025 aikana tullaan huomioimaan ympäristövalvonnassa muutamina lisätarkkailukohteina.

OL3:n säännöllisen sähköntuotannon käynnistyminen huomioidaan seurannassa. Tritiumpäästöt (H-3) veteen lisääntyvät ja uutena seurattavana päästönuklidina vesiympäristössä näkyy Be-7.

5.1 Tarkkailukohteet ja näytteenotto

Näytelajit on jaettu kolmeen pääryhmään: ilma, maa- ja meriympäristön näytteet. Näiden lisäksi tutkitaan radioaktiivisten aineiden kertymistä voimalaitoksen lähialueen asukkaisiin. Valvontaohjelman mukaiset ympäristönäytteiden näytteenotot tekee pääsääntöisesti STUKin näytteenottaja. Jotkin valvontaohjelmaan kuuluvat näytteet saadaan suoraan paikallisilta viljelijöiltä, kasvattajilta tai muilta toimijoilta. Näytteenottoaikataulu on esitetty liitteessä 3.

Vuonna 2021 otettiin ohjelmaan mukaan näytteenoton laadunvarmistusnäytteet. Vuosittain kerätään yhdestä meriympäristön kohteesta ja yhdestä maaympäristön kohteesta rinnakkaiset näytteet. Vuonna 2023 näytelajit olivat kuusenneulaset ja perifyton.

5.1.1 Ulkoilma ja laskeuma

Ulkoilmanäytteiden jatkuva kerääminen on osa luvanhaltijan valvontaohjelmaa. STUK kerää luvanhaltijoiden mittauksia täydentäviä ulkoilman hiukkasnäytteitä laitosten vuosihuoltojen aikana. STUKin täydentävän ilmanäytteen kerääjä (kuva 5) on varustettu lasikuitusuodattimilla. Fortumin kerääjässä on lasikuitusuodattimen lisäksi aktiivihiihellä kyllästetty lasikuitusuodatin ja TVO:n ilmankerääjissä käytetään lisäksi aktiivihiihipatruunoita. Lasikuitusuodattimeen tarttuvat aerosolit, jotka ovat ilmassa leijuvia kiinteitä tai nestemäisiä hiukkasia. Tyypillisesti aerosolihiuksat ovat mikrometri-kokoluokkaa. Aktiivihiihipatruuna ja aktiivihiihellä kyllästetty lasikuitusuodatin keräävät myös kaasumaisia aineita, kuten radioaktiivista jodia. Ilmankerääjän virtausmittarit mittaavat lasikuitusuodattimien ja hiihipatruunan läpi menneet ilmamäärät. Suodattimiin ja hiihipatruunaan kertynyt radioaktiivisuus lasketaan suodattimien läpi pumpattuun ilmamäärään suhteutettuna yksikössä Bq/m³.

Luvanhaltijoiden ohjelmassa määritetään laskeumanäytteistä gammasäteilyä lähettävät radionuklidit. Näiden lisäksi STUK tutkii luvanhaltijoiden keräämistä koko vuoden yhdistetyistä laskeumanäytteistä Sr-90:n aktiivisuuspitoisuuden osana STUKin valvontaohjelmaa.



Kuva 5. Siirrettävä ilmanäytteenkeräin.

5.1.2 Maaympäristö

Maaympäristön näytteisiin käsitetään kuuluvaksi maaperä, poronjäkälä, karhunsammal, neulaset, saniaiset, sienet, marjat, riista, maitonäytteet, laidunruoho, viljat, juurekset, talousvesi, pohjavesi sekä liete. Maaympäristön näytteet kerätään mahdollisuuksien mukaan vuosittain samoilta paikoilta voimalaitosalueiden lähistöltä.

Maaperän radioaktiivisuuden valvonta toteutetaan kahden vuoden välein suoritettavana kartoituksena. Maaperännäytteitä ei otettu vuonna 2023. Näytteet kerätään maaperän pintakerroksesta. Radionuklidit voivat kulkeutua voimalaitosten ilmapäästöjen kautta pintamaahan. Pintamaan radionuklidit voivat lisätä ihmisten altistusta radioaktiivisuudelle suoraan kasvattamalla ulkoista säteilyannosta tai välillisesti ravinnon kautta.

Maaperännäytteitä otetaan 3 – 5 paikasta molempien voimalaitosten lähiympäristöstä kahden vuoden välein. Näytteet otetaan 0 – 5 cm syvyydeltä, esimerkiksi golfreikäkairalla (kuva 6) ja yhteen näytteeseen otetaan 3 – 5 osanäytettä samalta syvyydeltä, jotka yhdistetään yhdeksi näytteeksi. Tarpeen mukaan voidaan ottaa näytteet myös radionuklidien syvyysjakauman tutkimiseksi. Näyteenottoalueeksi valitaan tasainen, aukea ja koskematon alue, jossa on mahdollisimman vähän kiviä ja juuria.

Luonnonkasveista kerätään kerran vuodessa hyväksi radioaktiivisten aineiden rikastajiksi todettuja lajeja, kuten karhunsammalta, poronjäkälää, saniaisia (kallioimarre ja kotkansiipi) ja kuusenneulasia (uusi vuosikasvu). Vuodesta 2021 lähtien Loviisan karhunsammal on korvattu toisella saniaisnäytteellä. Kasvit kuivataan ja jauhetaan. Poronjäkälä poimitaan alueelta, jossa on mahdollisimman vähän muita lajeja tai kariketta. Voimalaitosten lähialueiden lisäksi jokaisesta lajista kerätään vertailunäytteet muualta Suomesta. Voimalaitosten lähiympäristöstä kerätään vuosittain myös neljä eri sienilajia ja marjanäytteitä paikallisen sadon mukaan. Paikallisilta metsästäjiltä pyritään saamaan riistalihanäytteet tutkittavaksi.

Maataloustuotteita ja talousvettä tutkimalla voidaan arvioida ihmisten altistumista radioaktiivisille aineille ravinnon kautta. Läheisiltä meijereiltä kerätään maidonäytteet STUKin toimittamiin ja merkitsemiin astioihin meijereiden toimesta. Maito on peräisin voimalaitosten lähialueen maitotiloilta kauimpien tilojen etäisyyden voimalaitokseen ollessa noin 40 km. Näytteenotossa noudatetaan yleisiä maidon elintarvikenäytteenoton menettelytapoja. Laidunruohonäytteet kerätään kerran kasvukauden aikana voimalaitoksen lähietäisyydeltä. Laitumet on pyritty valitsemaan niin, että niillä laiduntavien lehmien maito menisi samoihin meijereihin kuin mistä valvontaohjelman maidonäytteet kerätään. Puutarha- ja maataloustuotteina analysoidaan eri viljalajeja sekä juureksia. Viljanäytteet hankitaan paikallisilta viljelijöiltä noin 20 km etäisyydelle ulottuvalta alueelta voimalaitosten ympäristössä sijaitsevilta viljatiloilta. Näytteet otetaan kahdesta viljalajista kerran vuodessa viljanpuinnin jälkeen. Yksi juuresnäyte (peruna, porkkana, lanttu) hankitaan kerran kesäkauden aikana voimalaitosten lähialueelta paikallisilta tuottajilta.

Talousvesinäytteet kerätään Loviisan ja Rauman kaupunkien talousvedestä kaksi kertaa vuodessa, keväisin ja syksyisin. Luvanhaltijoiden ohjelmaan kuuluvista, voimalaitokselta otetuista talousvesinäytteistä tutkitaan myös Sr-90 osana STUKin valvontaohjelmaa. Pohjavesinäyte kerätään voimalaitosten lähistön pohjavettä tuottavasta kaivosta tai suoraan varsinaisesta pohjavesiputkesta. Lietenäytteet kerätään ennen tai jälkeen vuosihuollon ja kerran sen aikana lähikaupunkien vedenpuhdistuslaitoksilta. Maaympäristön näytteenottoaikat on esitetty kuvissa 7 ja 8.



Kuva 6. Golfreikäkairalla otetun maaperänäytteen viipalointi.

5 SÄTEILYTURVAKESKUKSEN YMPÄRISTÖVALVONTAOHJELMA JA -MENETELMÄT



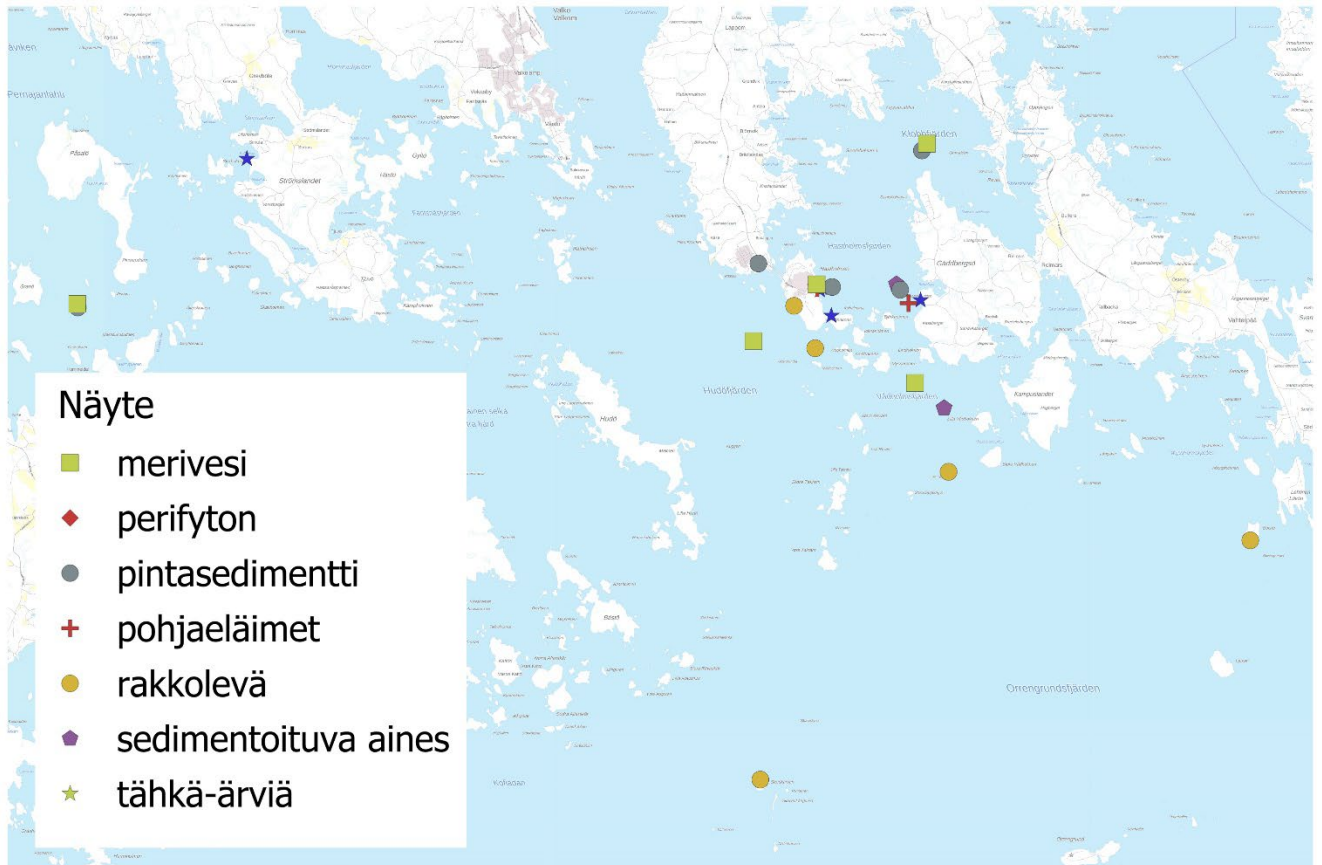
Kuva 7. Loviisan maaympäristön näytteenottoaikat 2023. Taustakartta © Maanmittauslaitos 5/2024.



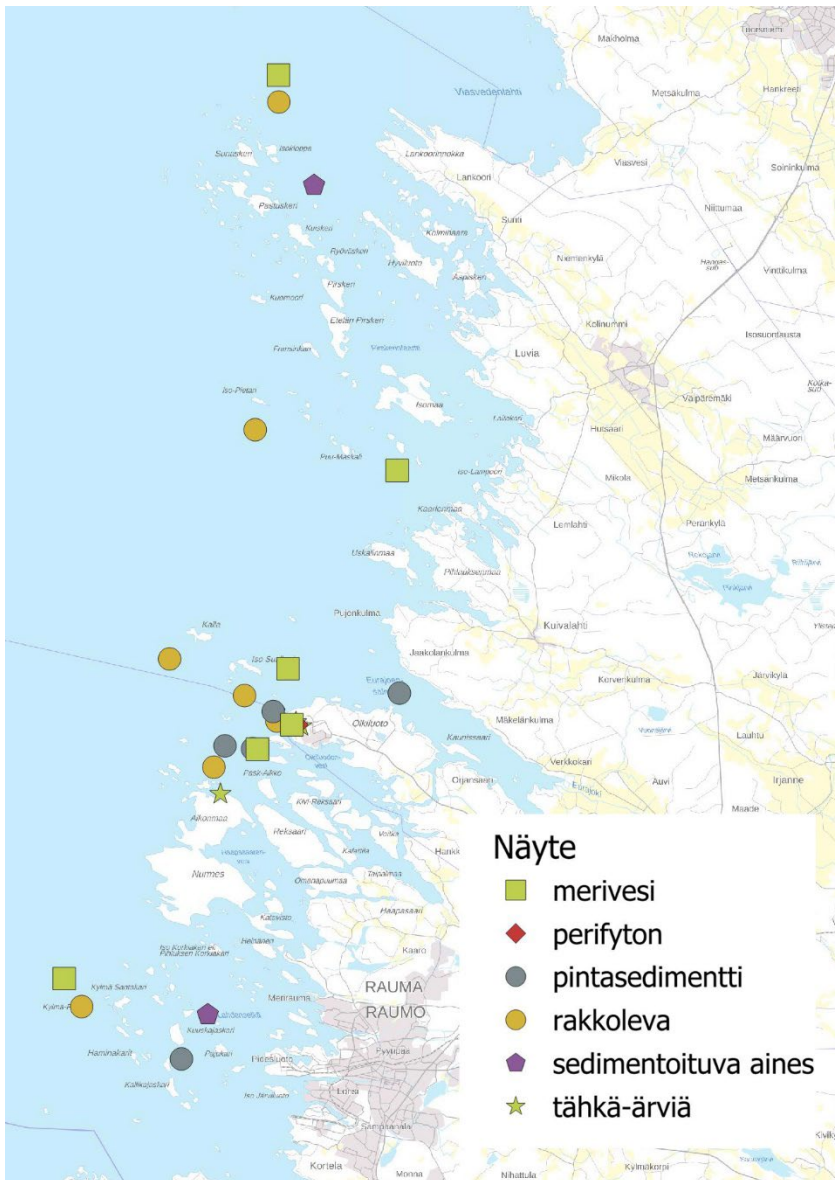
Kuva 8. Ouliluodon maaympäristön näytteenottoaikat 2023. Taustakartta © Maanmittauslaitos 5/2024.

5.1.3 Meriympäristö

Meriympäristön näytteiden avulla seurataan voimalaitosten päästöjen leviämistä meriympäristössä sekä kertymistä meriympäristön kasveihin ja eläimiin. Meriympäristöstä kerätään merivettä, perifytonia, rakkolevää, uposlehtisiä vesikasveja (tähtkä-ärviä), pohjaeläimiä, kaloja, pohjasedimenttiä sekä sedimentoituvaa ainesta. Meriympäristön näytteenottopisteet on esitetty kuvissa 9 ja 10.



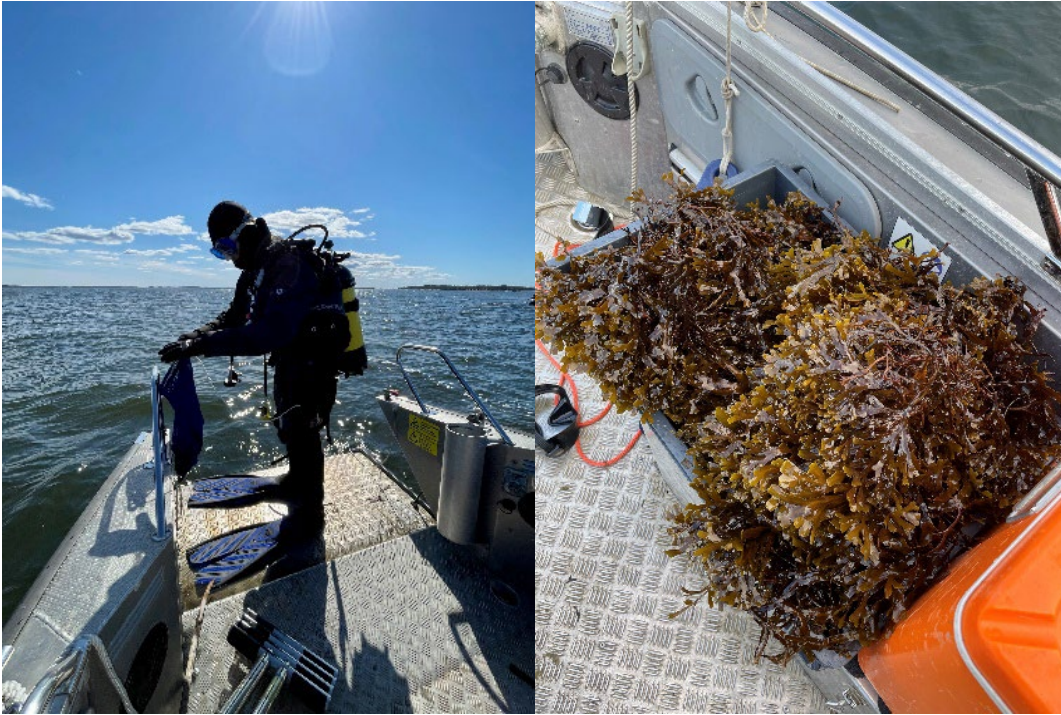
Kuva 9. Loviisan meriympäristön näytteenottoaikat 2023. Taustakartta © Maanmittauslaitos 5/2024.



Kuva 10. Olkiluodon meriympäristön näytteenottoaikat 2023. Taustakartta © Maanmittauslaitos 5/2024.

Merivesinäytteitä (pintavesi) kerätään useasta näytteenottopisteestä voimalaitosten ympäristössä. Lähinnä ydinlaitosta olevasta pisteestä otetaan näyte useammin ja muista pisteistä harvemmin.

Vesikasveista tutkitaan rakkohaurua eli rakkolevää ja tähtkä-ärviä. Nämä kasvit keräävät tehokkaasti radionuklideja vedestä ja toimivat siten hyvinä päästöjen indikaattoreina. Rakkolevänäytteitä otetaan useasta pisteestä useamman kerran vuodessa (kuva 11). Kasveja kerätään sekä jäähdytysvesien purkualueilla että kauempana voimalaitoksesta. Varsinkin Loviisassa yleiset ympäristöolosuhteiden muutokset (esim. vesien rehevöityminen) näkyvät voimalaitoksen lähellä rakkoleväkasvuston heikkenemisenä. Levänäytteinä kerätään myös perifytonia. Perifytonilla tarkoitetaan vedessä olevalle kiinteälle alustalle kiinnittynyttä eliöstöä, pääasiassa leviä. Perifytonia kerätään koko kasvukauden ajan (touko–marraskuu), 50 x 50 cm polykarbonaattilevyille. Loviisassa perifytonille on suoritettu myös talvikauden kattava keräysjakso (marras-huhtikuu). Perifytonin kasvuun vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi virtausnopeus, valoisuus ja veden laatu.



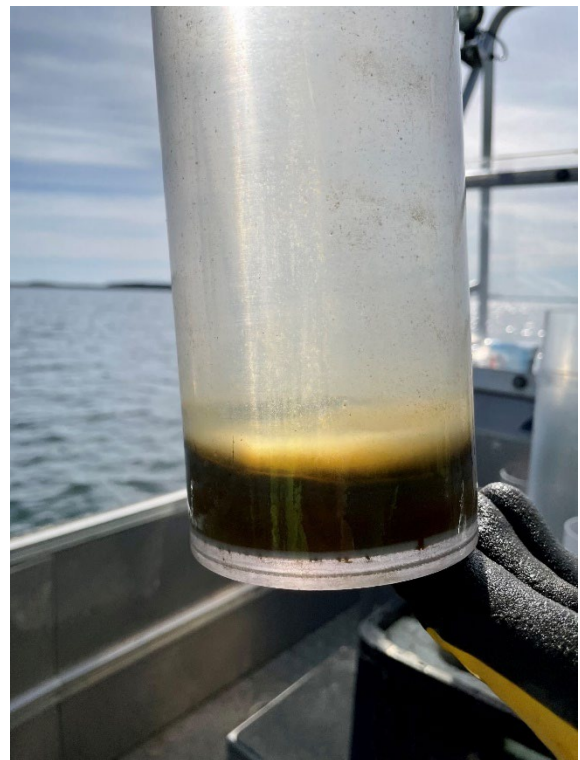
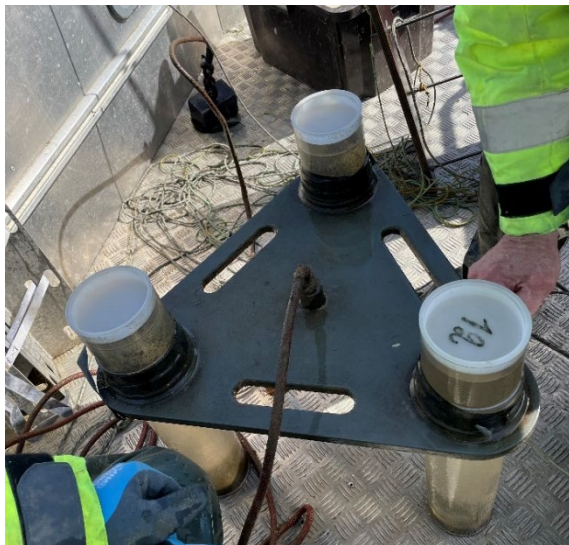
Kuva 11. Rakkolevänäytteenottoa laitesukelluksen avulla. Rakkohauru eli rakkolevä (oikealla).

Pohjaeläinnäytelajina kerätään sinisimpukkaa, alueille tulokaslajina ilmestynyttä rangiasimpukkaa tai kilkkiä saatavuuden mukaan. Loviisassa näytteinä kerättiin kilkkiä ja rangiasimpukkaa (*Rangia cuneata*). Olkiluodossa ei Iso Kaalonperän näytepisteeltä löytynyt sinisimpukkaa ja korvaavaksi näytteeksi otettiin myös rangiasimpukkaa. Näytteet kerätään yhdestä näytteenottopisteestä kerran vuodessa (kuva 12). Kalanäytteiden kalastus tehdään kerran vuodessa touko-lokakuussa ja näytelajeja on vähintään neljä joka vuosi, esim. silakkaa, haukea, ahventa tai lahnaa. Loviisasta tutkitaan myös läheiseltä kalan kasvattamolta saatu kalanpoikasnäyte. Olkiluodon lähellä ei ole kalanpoikaskasvatus-toimintaa. Analyysiin soveltuva silakkanäyte voidaan tarvittaessa hankkia lähiseudun kalaliikkeestä, mikäli normaali näytteenottokalastus ei anna saalista. Lisäksi otetaan vertailunäytteenä hauki, jonka kalastusalue ei ole voimalaitosten välittömässä läheisyydessä.

Sedimentoituvalla aineksella tarkoitetaan vedessä pohjaa kohti vajoavia hiukkasia, jotka koostuvat pääosin ulappa-alueella ja rantavyöhykkeellä tuotetusta orgaanisesta kiintoaineksesta, valuma- ja jokivesien tuomasta orgaanisesta ja epäorgaanisesta kiintoaineksesta sekä pohjasedimenteistä ajoittain veteen liettyvästä kiintoaineksesta. Sedimentoituvaa ainesta kerätään ympärivuotisesti useasta näytteenottopisteestä sylinterin muotoisiin keräysputkiin, jotka ankkuroidaan halutulle syvyydelle (kuva 13). Pohjasedimenttinäytteet kerätään vuosittain 5 – 6 pisteeltä ja näytteeksi otetaan pintakerros 0 – 5 cm. Pohjasedimenttinäyte otetaan siihen tarkoitettulla sylinterin muotoisella teräsrakenteisella sedimenttinoutimella (Gemini), joka oman painonsa tai lisäpainojen avulla painuu sedimenttiin ja sulkumekanismi lukitsee sedimenttipupun noutimen sisään.



Kuva 12. Rangiasimpukka (*Rangia cuneata*).



Kuva 13. Sedimentoituvan aineksen keräin ja keräysputki näytteenottojakson päätteeksi.

5.1.4 Ympäristön asukkaat

Ydinvoimalaitoksen ympäristön asukkaille järjestetään kerran vuodessa mahdollisuus osallistua mittaukseen, jossa selvitetään ihmiskehoon kertyneiden radioaktiivisten aineiden määrä. Mitattavaksi pyritään saamaan molempien voimalaitosten lähistöltä vuosittain vähintään 20 asukasta postitse lähetettävällä kutsukirjeellä. Kutsu lähetetään ensisijaisesti henkilöille, joilla on mittauksen järjestämivuotena asuinosoite 7 km säteellä ydinvoimalaitoksesta. Lisäksi kutsuttavien joukkoa täydennetään otannalla henkilöistä, joiden asuinosoite sijaitsee alle 10 km säteellä ydinvoimalaitoksesta. Nimi- ja osoitetiedot perustuvat Digi- ja väestötietoviraston väestötietorekisterin tietoihin. Mitattaviksi kutsutaan täysi-ikäisiä henkilöitä. Mittaukseen osallistuminen on vapaaehtoista ja mittaustuloksia käytetään sellaisessa muodossa, että tuloksia ei voi yhdistää yksittäisiin henkilöihin tai asuinosoitteisiin.

Ydinvoimalaitoksen ympäristön asukkaiden kehon sisältämät gammasäteilevät radionuklidit määritetään suoralla gammaspektrometrillä mittauksella kehon ulkopuolelta. Tämä niin kutsuttu kokokehomittaus tapahtuu erityisellä mittaustulostilalla, joka on rakennettu kuorma-autoon. Mittaus kestää noin 15 minuuttia, ja sen aikana mitattava istuu tuolissa taustasäteily-suojan sisällä. Mittauksen aikana mitattavan kehoon ei kohdistu säteilyä, eikä mitattavasta henkilöstä oteta näytteitä. Mittausten avulla saadaan selville, mikäli lähialueen asukkaisiin olisi kertynyt voimalaitosperäisiä radionuklideja. Henkilö saa oman mittaustuloksensa tietoonsa heti mittauksen jälkeen.

5.2 Valvontamenetelmät

Valvontaohjelman näytteenotot ja laboratorioanalyysit tekee ensisijaisesti STUKin Mittaukset ja ympäristön säteilyvalvonta -osasto. Maito-, vilja-, juures-, kalanpoikas-, riista- ja liete-näytteet tulevat ulkopuolisilta toimittajilta. Valvontaohjelman C-14 analyysit teetetään Helsingin yliopiston Ajoituslaboratoriossa. STUKin Mittaukset ja ympäristön säteilyvalvonta -osasto on FINASin akkreditoima testauslaboratorio T167, akkreditointivaatimus EN ISO/IEC 17025:2017.

5.2.1 Näytteiden käsittely ja analysointi

Näytteet toimitetaan STUKin laboratorioon analysoitavaksi. Näytteet puhdistetaan tarvittaessa niin, että ne sisältävät vain tutkittavaa näytelajia. Pilaantuneet tai muuten laatukriteerejä täyttämättömät näytteet hylätään esikäsittelyvaiheessa.

Elintarvikenäytteet käsitellään siten, että mittaukset tehdään syötävistä osista. Maito-näytteisiin lisätään säilöntäainetta pilaantumisen estämiseksi. Maitonäytteet haihdutetaan lämpölamppujen alla ja poltetaan uunissa tuhaksi. Maidon jodipitoisuus (I-131) määritetään erillisestä noin puolen litran näytteestä ilman esikäsittelyä suoralla gammaspektrometrillä mittauksella. Kuivattavat näytteet (jäkälä, sammal, neulaset, saniaiset, sienet, marjat, riista, laidunruoho, viljat, juurekset, liete, kalat, pohjaeläimet, rakkolevä, perifyton, vesikasvit) kuivataan lämpökaapissa, jonka jälkeen ne homogenisoidaan jauhamalla. Kalanpoikaset mitataan tuoreena ja kokonaisina. Sedimenttinäytteet ja sedimentoituva-aines kuivataan kylmäkuivurissa ja homogenisoidaan jauhamalla. Maaperänäytteet kuivataan lämpökaapissa ja seulotaan 2 mm seulalla. Merivesinäytteet haihdutetaan pienempään tilavuuteen lämpölamppujen avulla. Strontiumin radiokemiallisia analyyseja varten näytteet tuhataan gammaspektrometrin mittauksen jälkeen. Tritiumin määrittämistä varten vesinäytteet tislataan. Elintarvikkeiden- ja ympäristönäytteiden tulokset ilmoitetaan näytteen tilavuutta tai kuivapainoa (kp.) kohden lukuun ottamatta sienien, marjojen, juuresten, riistan ja kalojen

tuloksia, jotka ilmoitetaan tuorepainoa (tp.) kohden. Kuivattujen näytteiden aktiivisuuspitoisuudet painoyksikköä kohden ovat huomattavasti suurempia kuin tuoreiden näytteiden.

Kaikista näytteistä analysoidaan gammasäteilyä lähettävät radionuklidit, joita ovat esimerkiksi Co-60, I-131, Cs-134 ja Cs-137. Gammasäteilyä lähettävät radionuklidit tunnistetaan kullekin isotoopille tyypillisten gammasäteilyn energioiden avulla.

Radiokemiallisten menetelmien avulla analysoidaan näytteiden alfa- ja beetasäteilyä lähettävät radionuklidit (H-3, Sr-90 sekä Pu-238, Pu-239 ja Pu-240). Vuonna 2021 luovuttiin strontiumin lyhytikäisen isotoopin Sr-89 analyysistä. Näytteistä voidaan määrittää Sr-89, jos muualta ympäristövalvonnasta tulee indikaatio poikkeavasta ympäristöpäästöstä. Aikaisempien vuosien perusteella tiedetään, että Sr-89 aktiivisuuspitoisuudet ympäristönäytteissä ovat jääneet alle määritysrajojen.

Radiokemiallisessa analyysissä tehdään ensin tutkittavan alkuaineen kemiallinen erotus näytteestä. Strontium-määrittämissä näytteisiin lisätään ensin stabiilia Sr- ja Cs-kantajaa ja kiinteät näytteet saatetaan liuosmuotoon. Strontium erotetaan näytteestä ekstraktio-kromatografisella menetelmällä ja Sr-90 mitataan näytteestä nestetuikespektrometrilla. Strontium saalismääritys tehdään käyttäen induktiivisesti kytkettyä plasma-massaspektrometria (ICP-MS). H-3 määritetään suoraan tislatus vesinäytteestä nestetuikespektrometrilla. Plutoniumin analyysistä varten näytteisiin lisätään Pu-242-merkkiaine ja näytteet saatetaan liuosmuotoon ennen kemiallista erotusta. Plutonium erotetaan muista alfa-aktiivisista radionuklideista ioninvaihdon avulla ja mittausnäyte valmistetaan saostamalla ja mitataan alfaspektrometrilla. Alfaspektrometrin erotuskyky ei riitä erottamaan plutoniumin isotooppeja Pu-239 ja Pu-240 toisistaan, minkä vuoksi tuloksissa ilmoitetaan niiden yhteenlaskettu aktiivisuuspitoisuus näytteissä. C-14 määritetään kuivatuista näytteistä Helsingin yliopiston Ajoituslaboratoriossa.

Radiokemialliset menetelmät ovat työläitä ja aikaa vieviä verrattuna pelkästään gammasäteilyä lähettävien nuklidien määrittämiseen ja tästä syystä alfa- ja beetasäteilyä lähettäviä radionuklideja ei ole mahdollista määrittää jokaisesta näytteestä rutiininomaisesti. Radiokemialliset analyysit on valittu tehtäväksi näytelajeista, joissa niiden merkitys ihmisen säteilyaltistukselle on merkittävässä roolissa (esimerkiksi Sr-90 maidossa ja H-3 talousvedessä) tai joissa niitä mahdollisesti esiintyy (esimerkiksi H-3 merivedessä ja Pu-239 tai Pu-240 meriympäristön sedimenteissä). Mikäli valvontaohjelman tulokset viittaisivat joidenkin alfa- tai beetasäteilyä lähettävien radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksien kohoamiseen näytteissä, on radiokemiallisten analyysien laajuutta ja taajuutta mahdollista lisätä. Eri näytelajeista tehtävät analyysit on esitetty taulukossa 1.

Näytteiden mittausajat vaihtelevat näytteen mukaan ja saattavat yksittäisissä tapauksissa olla normaalia pidempiä esimerkiksi jätettäessä näyte viikonlopun ajaksi mittaukseen. Pidempi mittausaika saattaa olla syynä joidenkin yksittäisten näytteiden kohdalla raportoitavaan keskimääräistä alhaisempaan havaitsemisrajaan. Yksittäisistä näytteistä saatetaan myös tällöin havaita normaalia pienempiä määriä radioaktiivisia aineita. Radionuklidien lasketut aktiivisuuspitoisuudet vastaavat keräysjakson keskiarvoa, eivätkä aktiivisuuspitoisuudet täten kuvaa lyhytaikaisten päästöjen aikaisia, hetkellisesti suurempia aktiivisuuspitoisuuksia tarkasti. Tulosten epävarmuus on ilmoitettu 2σ tarkkuudella (95 % luottamusväli).

Taulukko 1. STUKin ympäristövalvonnan tarkkailukohteet ja tutkitut radionuklidit 2023.

Tarkkailukohte	Gamma	Sr-90	C-14	H-3	Pu-238, Pu-239, Pu-240
Ulkoilma	x				
Laskeuma (vuosinäyte)		x			
Poronjäkälä	x				
Karhunsammal	x				
Neulaset	x		x		
Saniaiset	x				
Sienet	x				
Marjat	x				
Riista	x				
Maito	x	x			
Laidunruoho	x		x		
Viljat	x	x			
Juures	x				
Talousvesi	x	x		x	
Pohjavesi	x				
Liete	x				
Merivesi	x	x		x	
Kalanpoikaset	x				
Perifyton	x				
Rakkolevä	x	x			x
Tähkä-ärviä	x				
Pohjaeläimet	x	x			
Kalat	x	x			
Pintasedimentti	x	x			x
Sedimentoituva aines	x				x
Ympäristön asukkaat	x				

6 Ympäristövalvonnan tulokset

Olkiluodon voimalaitoksen maa- ja meriympäristöstä kerättiin ja analysoitiin yhteensä noin 410 näytettä vuoden 2023 aikana. Näytteistä 130 oli STUKin valvontanäytteitä ja loput olivat osa luvanhaltijan omaa valvontaohjelmaa. Loviisan voimalaitoksen maa- ja meriympäristöstä tutkittiin yhteensä noin 410 näytettä vuoden 2023 aikana. Näistä 125 oli STUKin viranomaisvalvontanäytteitä. Näiden lisäksi mitattiin myös kummankin voimalaitoksen lähiympäristön asukkaiden kehoihin kertynyttä radioaktiivisuutta.

Vuoden 2023 näytteiden STUKin valvontamittausten yksityiskohtaiset analyysitulokset esitetään taulukoissa 2 – 23. Luvanhaltijoiden omien mittausten tuloksia käsitellään tekstissä. Kaikki radionuklidit, joita esiintyy tulostaulukoissa eivät ole peräisin Olkiluodon tai Loviisan voimalaitoksista. Ympäristönäytteissä ja ihmisessä esiintyy aina radioaktiivista kaliumisotooppia K-40, joka yleensä muodostaa suurimman osan näytteiden luontaisesta radioaktiivisuudesta. Maaympäristön näytteissä esiintyy myös Be-7:ää, jota syntyy yläilmakehässä kosmisen säteilyn vaikutuksesta. Lähes kaikissa näytteissä esiintyy pieniä määriä radionuklidia Cs-137:ää, joka on peräisin ilmakehässä tehdyistä ydinasekokeista ja Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuudesta. Tämä vanha Cs-137 muodostaa K-40 ohella osan ympäristönäytteissä havaittavasta taustapitoisuudesta. Tyypillinen Cs-137-taustapitoisuus ulkoilmassa on Suomessa luokkaa $0,1 - 4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ja Cs-137-laskeuma luokkaa $0,1 - 1 \text{Bq}/\text{m}^2$ kuukaudessa (Mattila ja Inkinen, 2023). Pohjanlahden ja Suomenlahden meriveden Cs-137-pitoisuus on yleisesti noin $10 - 20 \text{Bq}/\text{m}^3$ (HELCOM, 2022) ja Sr-90-pitoisuus noin $4 - 11 \text{Bq}/\text{m}^3$ (HELCOM, 2018). Cs-137-taustapitoisuus maa- ja meriympäristössä voi vaihdella voimakkaasti maantieteellisen sijainnin perusteella, kuten esimerkiksi Itämeren sedimenttien Cs-137-aktiivisuuspitoisuuksissa on havaittu (HELCOM, 2018). Mikäli valvontanäytteissä esiintyisi voimalaitoksesta peräisin olevaa Cs-137:ää voitaisiin tämä havaita kohonneina pitoisuuksina verrattuna alueelliseen taustapitoisuuteen sekä edellisten vuosien havaintoihin ja toisen, lyhytikäisemmän radionuklidin Cs-134:n ilmaantumisenä ympäristönäytteisiin.

6.1 Ulkoilma ja laskeuma

Ulkoilman radioaktiivisten aineiden jatkuva valvonta on luvanhaltijan vastuulla. STUK suorittaa luvanhaltijan mittauksia täydentävän ilmanäytteiden keräyksen ulkoilmasta laitosten vuosihuoltojen yhteydessä laitospaikoilta (taulukko 2). STUKin ottamista täydentävistä ilmanäytteistä ei havaittu voimalaitosperäisiä nuklideja ja niiden Cs-137-aktiivisuuspitoisuudet olivat pienet.

Loviisassa luvanhaltijan keräämissä ulkoilmanäytteissä voitiin havaita touko-kesäkuussa kolmelta eri keräysasemalta kerätyissä näytteissä pieniä pitoisuuksia keinotekoisia radionuklideja. Havaitut nuklidit olivat Co-60, Nb-95, Zr-95, Ru-103 ja Cs-134. Samana ajankohtana voitiin havaita näitä samoja nuklideja myös STUKin valtakunnallisessa ympäristövalvonnassa toimivilta asemilta kerätyistä näytteistä mm. Kotkassa, Imatralla ja Vantaalla. STUKin selvityksen mukaan havaitut radionuklidit eivät olleet peräisin kotimaisista ydinvoimalaitoksista. Lisäksi helmikuussa voitiin yhdessä Loviisan ulkoilmanäytteessä havaita pieni Co-60-pitoisuus (Keitala). Muissa luvanhaltijoiden omissa ulkoilmanäytteissä ei havaittu voimalaitosperäisiä radionuklideja ja niiden Cs-137-aktiivisuuspitoisuudet olivat pienet.

Taulukko 2. Luvanhaltijoiden valvontaa täydentävä ilmanäyte 2023.

Keräyspaikka	Keräysjakso	Co-60 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	Cs-137 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	Epävarmuus 2σ
Loviisa	17.8.-22.8.	<0,54	<0,42	
	11.9.-21.9.	<0,23	0,86	16 %
Olkiluoto	14.4.-21.4.	<0,43	0,64	32 %
	2.5.-12.5.	<0,36	0,63	32 %

Laskeumanäytteiden keräys ja valvonta kuuluu myös luvanhaltijoiden oman valvontaohjelman piiriin. Luvanhaltijan ohjelmassa määritetään laskeumanäytteistä gamma-säteilevät radionuklidit, ja Sr-90 määritetään näistä laskeumanäytteistä yhdistetystä vuosinäytteestä osana STUKin valvontaohjelmaa. Loviisassa laskeumanäytteiden koko vuoden yhteenlaskettu Cs-137 aktiivisuuskate vaihteli välillä 0,6 – 1,2 Bq/m². Ilmakehässä tehtyjen ydinasekokeiden jäljiltä ilmakehässä on ollut tritiumia ja tämä ns. taustapitoisuus on laskenut puoliintumisen myötä. Laitosperäiseksi havainnoksi voidaan katsoa yli 2 Bq/l olevat aktiivisuuspitoisuudet. Loviisan tritiumpitoisuudet vaihtelivat välillä 1,3 – 2,5 Bq/l tai olivat alle määritysrajan. Olkiluodossa vastaava vaihteluväli oli Cs-137:lle 0,5 – 0,9 Bq/m² ja tritiumille 1,2 – 2,2 Bq/l tai alle määritysrajan. Olkiluodossa havaittiin useasta laskeumanäytteestä Co-58:a ja Co-60:a sekä näiden lisäksi kahdesta näytteestä Mn-54:a. Havaitut Cs-137- ja H-3-aktiivisuuspitoisuudet vastaavat muualla Suomessa kerätyissä näytteissä havaittavia pitoisuuksia. Koko vuoden yhdistettyjen laskeumanäytteiden Sr-90 tulokset vaihtelivat välillä 0,02 – 0,07 Bq/m² (taulukko 3), mikä on samalla tasolla tai alhaisempi kuin STUKin tekemässä valtakunnallisessa ympäristön säteilyvalvonnassa havaitut Sr-90-pitoisuudet laskeumanäytteille eri paikkakunnilla Suomessa (Mattila ja Inkinen, 2023).

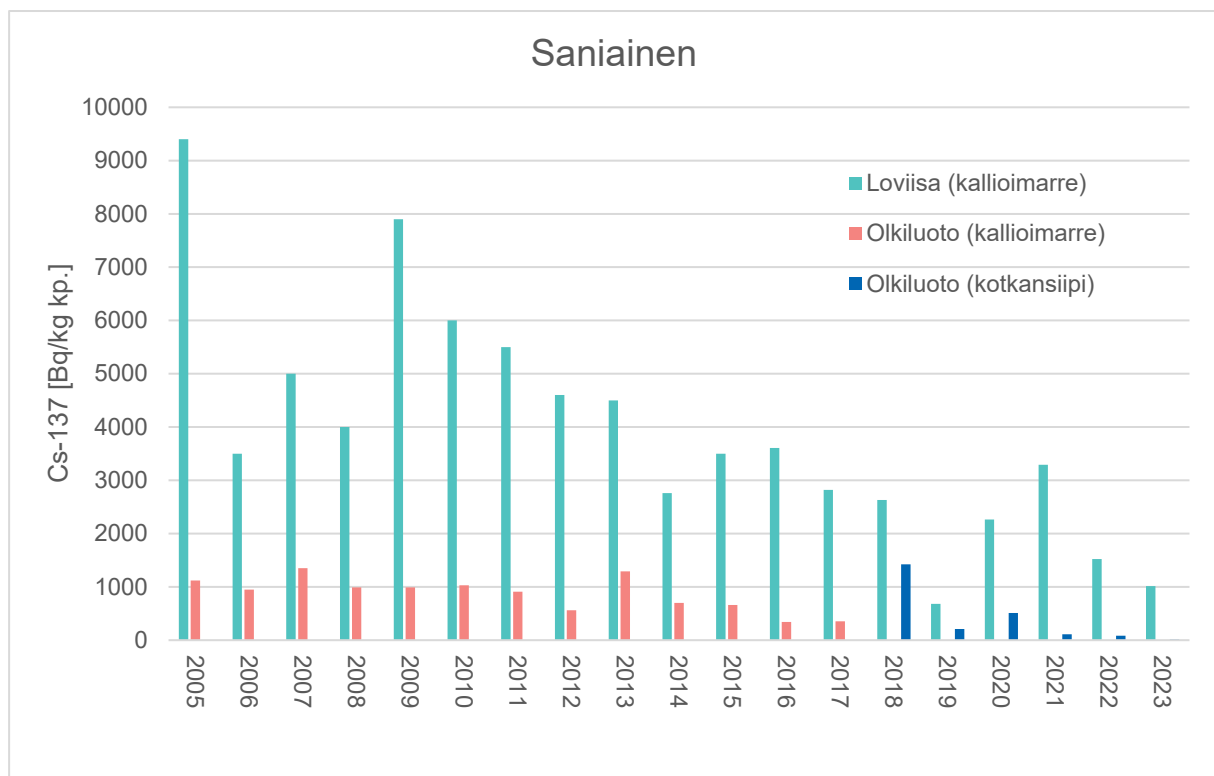
Taulukko 3. Laskeuman yhdistetyn vuosinäytteen Sr-90 tulokset 2023.

Paikka	Keräysjakso	Sr-90 Bq/m ²	Epävarmuus 2σ
Loviisa			
LPO	2.1.-29.12.2023	0,068	11 %.
Smoltti	2.1.-29.12.2023	0,023	24 %
Olkiluoto			
Säämasto	22.12.2022–20.12.2023	0,067	12 %

6.2 Maaympäristö

Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten maaympäristöstä kerätyistä näytteistä ainoastaan muutamista näytteistä (Loviisassa voimalaitosalueen jätevedenpuhdistamon liete ja Olkiluodossa kaatopaikan valumavesi) voitiin havaita joitakin voimalaitosperäisiä radionuklideja. Voimalaitosperäisiksi nuklideissa ei tässä lueta H-3, Be-7, C-14, Sr-90 tai Cs-137 eikä lietenäytteissä I-131. Kaikki nämä nuklidit esiintyvät myös voimalaitosten päästöissä, mutta niiden päälähte ympäristössä on muualta peräisin (ydinasekokeet ilmakehässä, Tšernobylin onnettomuus, kosmisen säteilyn vaikutus yläilmakehässä tai I-131 kohdalla käyttö myös radiolääkeaineena). Maaympäristön näytteiden Cs-137-pitoisuudet vaihtelivat eri näytteiden välillä. Radionuklidien pitoisuudet olivat kuitenkin pieniä, eikä niillä ole merkitystä ympäristön säteilyaltistukseen.

Sammal, saniainen ja jäkälä keräävät tehokkaasti ympäristön radionuklideja ja näissä kasveissa havaitaan paikoitellen korkeitakin pitoisuuksia pääasiassa Tšernobylin ydinonnettomuudesta peräisin olevaa Cs-137:ää. Saniasisissa havaitut Cs-137-aktiivisuus-pitoisuudet ovat esitetty kuvassa 14. Ydinvoimalaitokselta peräisin olevassa päästöissä on mukana myös lyhyempi-ikäistä Cs-134:ää, jonka puoliintumisaika on 2,06 vuotta. Saniainäytteissä havaittiin pieniä määriä Cs-134:ää aina 2010-luvun alkuvuosiin saakka. Isotooppien aktiivisuuspitoisuuksien suhteiden perusteella todennäköisin lähde oli Tšernobyli. Vaikka myöhemmin on havaittu taas korkeampia pitoisuuksia (vuonna 2021 yli 3000 Bq/kg), ei niissä ole pystytty havaitsemaan enää Cs-134:ää. Tämän perusteella saniasten korkeammat aktiivisuuspitoisuudet eivät olisi peräisin uudesta tuoreemmasta lähteestä. Saniasten aktiivisuuspitoisuudet Cs-137:n suhteen vaihtelevat myös suuresti pienelläkin alueella. Tästä esimerkkinä vuonna 2021 Loviisassa muutaman kilometrin välimatkalla otetuissa näytteissä, joissa oli noin 10-kertainen ero aktiivisuuspitoisuuksissa. Näytteenottoa on jouduttu Olkiluodossa vaihtelevaan kallioimarten huonon kasvun vuoksi ja vuonna 2018 näytelajiksi jouduttiin vaihtamaan kotkansiipi. (Taulukko 4.)



Kuva 14. Saniainäytteiden Cs-137-aktiivisuuspitoisuudet [Bq/kg kuivapainoa] Loviisassa ja Olkiluodossa vuosina 2005 – 2023.

Sekä Loviisasta että Olkiluodosta otettiin kuusenneulasista laadunvarmistusnäytteet. Kuusenneulasten laadunvarmistusnäyte otettiin samalla kertaa kuin varsinainen näyte, käsiteltiin tämän kanssa rinnakkain ja mitattiin samalla gammalmaisimella kuin varsinainen näyte.

Luvanhaltija keräsi Olkiluodon ympäristöstä karhunsammalnäytteen. Näytteessä havaittiin vain luonnonnuklideja ja Cs-137:ää. Karhunsammalnäytteen Cs-137-aktiivisuus-pitoisuus oli 30 Bq/kg. Loviisan voimalaitoksen ympäristöstä luvanhaltija keräsi saniainäytteen (kallioimarre), jossa ei havaittu voimalaitosperäisiä nuklideja. Saniainäytteen Cs-137-pitoisuus oli 1100 Bq/kg.

Taulukko 4. Jäkälä-, sammal-, neulas- ja saniaisnäytteiden valvontamittausten tulokset vuonna 2023. Loviisasta ei saatu kerättyä karhunsammalta ja se korvattiin saniaisella. Lisäksi poronjäkälänäyte jäi ottamatta Loviisasta.

Paikka	Keräyspäivä	Be-7 Bq/kg	Epävarm. 2σ	Cs-137 Bq/kg	Epävarm. 2σ	C-14 Bq/kg	Epävarm. 2σ
Kuusenneulaset							
Loviisa	1.6.	4,2	9 %	430	4 %	130	8 %
Loviisa*	1.6.	5,8	20 %	330	11 %	128	8 %
Olkiluoto	8.6.	12	13 %	140	10 %	130	8 %
Olkiluoto*	8.6.	8,7	12 %	110	10 %	-	-
Vertailu, Kimola, Kouvola	12.6.	15	11 %	410	9 %	130	8 %
Poronjäkälä							
Loviisa	ei näytettä						
Olkiluoto	23.5.	170	9 %	120	9 %	-	
Vertailu, Kimola	23.10.	300	10 %	180	10 %	120	8 %
Karhunsammal							
Loviisa	ei näytettä						
Olkiluoto	11.7.	290	10 %	380	10 %	-	
Saniainen							
Loviisa, Hästholmen (kallioimarre)	18.7.	30	11 %	1010	10 %	-	
Loviisa, Källa (kallioimarre)	18.7.	42	11 %	470	10 %	-	
Vertailu, Kirkkonummi (kallioimarre)	4.7.	45	10 %	68	7 %	-	
Olkiluoto (kotkansiipi)	11.7.	130	11 %	11	11 %	-	
Vertailu, Kirkkonummi (kotkansiipi)	4.7.	46	11 %	140	7 %	-	

*Laadunvarmistusnäyte

- Radionuklidia ei ole tutkittu näytteestä.

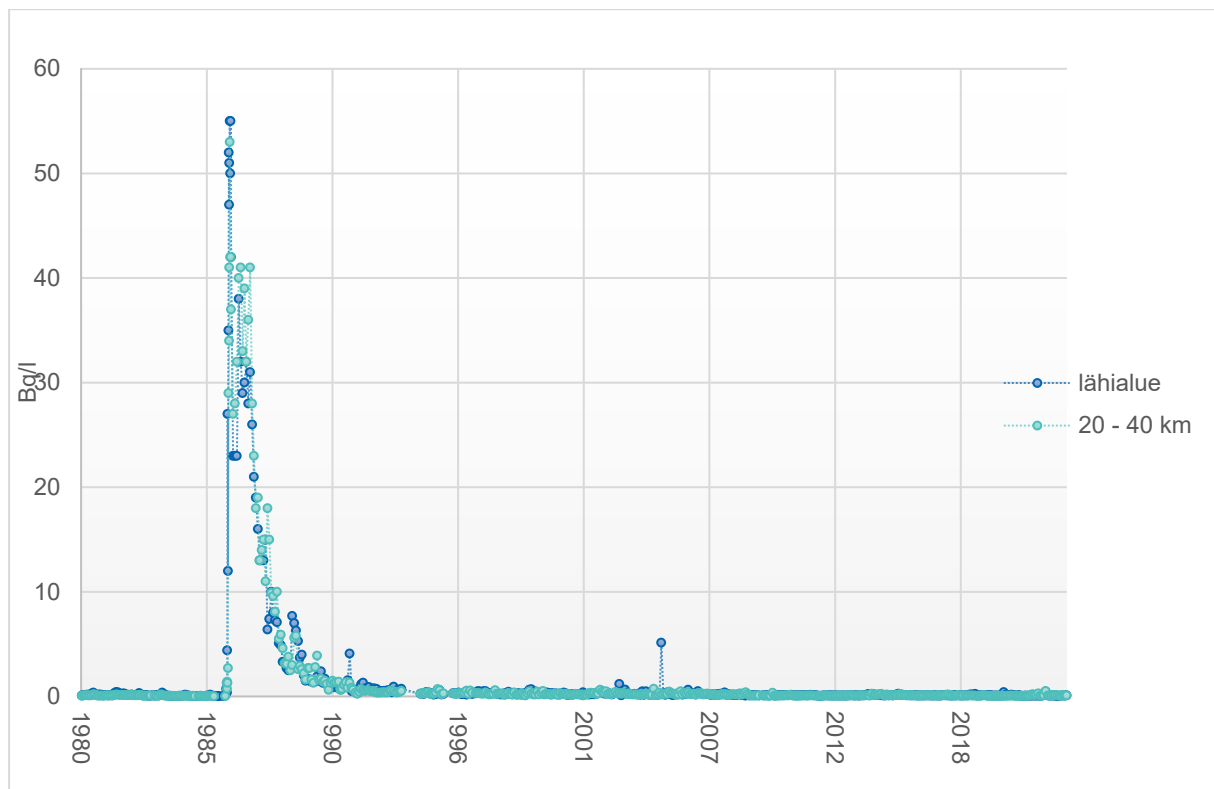
Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten lähistöltä kerättyjen sieninäytteiden Cs-137-aktiivisuus-pitoisuudet vaihtelivat välillä 17 – 640 Bq/kg tuorepainoa kohden (taulukko 5). Tšernobylin laskeuman jäljiltä sieninäytteissä voi esiintyä ajoittain kohonneita Cs-137-pitoisuuksia ja tiettyjen sienilajien (kuten rouskut) kohdalla voidaan havaita yleisesti 600 Bq/kg ylityksiä myös vähäisen laskeuman alueilla (Kostiainen ja Ylipieti, 2010). EU:n suosittama raja-arvo markkinoille saatettaville luonnon elintarvikkeille on 600 Bq/kg (EU-suositus 274/2003/EC). Olkiluodosta ei saatu vuonna 2023 riistanäytettä. Voimalaitosten lähialueilta kerättyjen marjanäytteiden ja Loviisassa paikallisilta metsästäjiltä saadun riistanäytteen (hirvenliha) aktiivisuus-pitoisuudet olivat alhaiset, alle 30 Bq/kg tuorepainoa kohden.

Taulukko 5. Sieni-, marja- ja riistanäytteiden valvontamittausten tulokset vuonna 2023.

Paikka	Keräyspäivä	Laji	Cs-137 Bq/kg tp.	Epävarmuus 2σ
Sienet				
Loviisa	30.8.	voitatti	81	7 %
	13.9.	karvarousku	170	7 %
	13.9.	kangasrousku	640	7 %
	13.9.	herkkutatti	120	8 %
Olkiluoto	13.9.	kantarelli eli keltavahvero	120	6 %
	24.8.	kantarelli eli keltavahvero	17	7 %
	24.8.	kehnäsieni	160	7 %
	24.8.	haaparousku	95	6 %
	24.8.	kangastatti	59	7 %
	24.8.	vaalea orakas	170	7 %
Marjat				
Loviisa	19.7.	mustikka	18	7 %
	13.9.	puolukka	15	12 %
Olkiluoto	6.9.	puolukka	3.1	8 %
Riista				
Loviisa	10.11.	hirvi	23	7 %
Olkiluoto	ei näytettä			

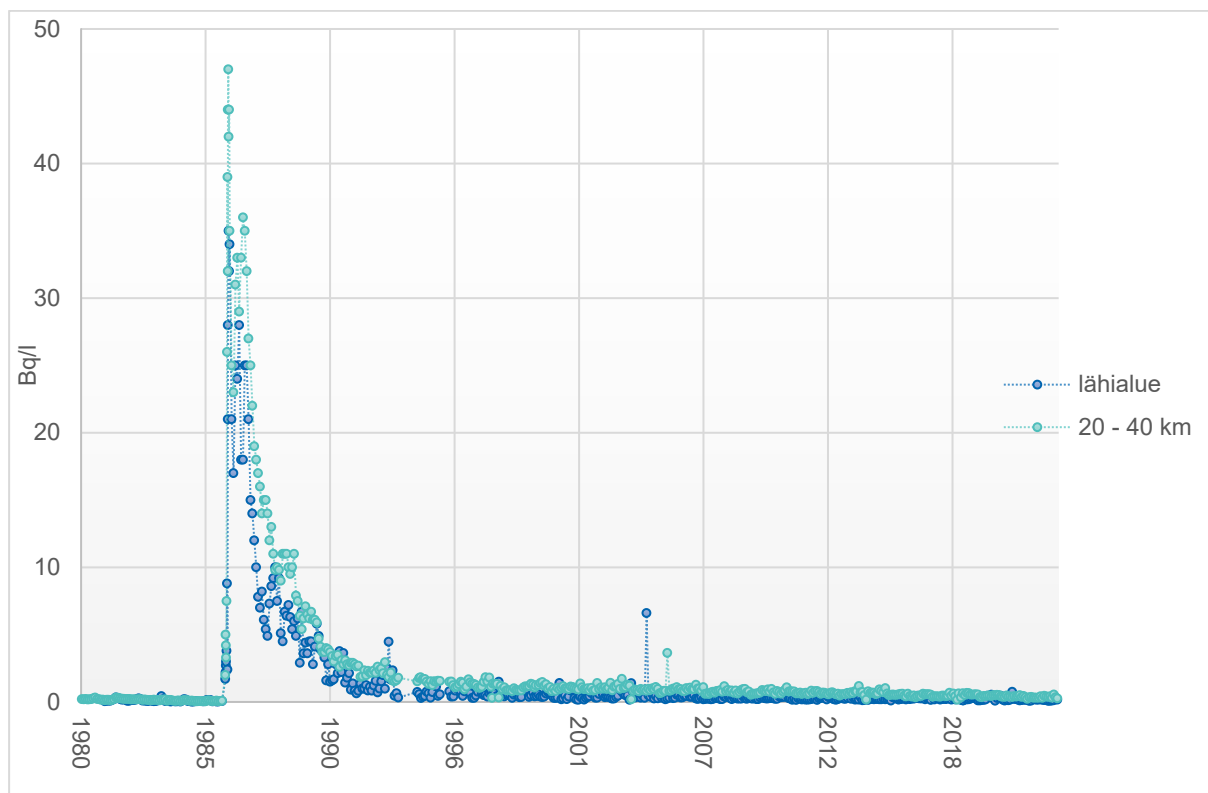
Ydinvoimalaitosten ympäristön säteilyvalvontaohjelman maitonäytteiden Cs-137-aktiivisuuspitoisuudet vaihtelivat välillä 0,05 – 0,66 Bq/l (taulukko 6). Koko vuoden näytteistä (20 – 40 km etäisyydellä voimalaitoksista) yhdistetyn maitonäytteen Sr-90-aktiivisuuspitoisuus oli Loviisan näytteessä 0,025 Bq/l ja Olkiluodon näytteessä 0,031 Bq/l. Aktiivisuuspitoisuudet vastaavat hyvin kansalliseen ympäristövalvonnan maitonäytteiden aktiivisuuspitoisuuksia, jotka olivat vuonna 2022 Cs-137:lle välillä 0,09 – 0,60 Bq/l ja Sr-90:lle välillä 0,015 – 0,027 Bq/l (Mattila ja Inkinen, 2023). Kuvissa 15 ja 16 on esitetty ydinvoimalaitosten ympäristön valvontaohjelman maitonäytteiden Cs-137-aktiivisuuspitoisuus vuosina 2010 – 2023. 20 km etäisyydeltä voimalaitoksista sijaitsevilta maitotiloilta toimitetuista näytteistä tutkittiin myös I-131. Tämä tehtiin viikoittaisista maitonäytteistä vuosihuoltojen aikaan sekä lisäksi muutamista muista maitonäytteistä muina aikoina. Missään maitonäytteessä ei havaittu I-131:tä (määritysraja 0,04 – 0,09 Bq/l).

Valvontaohjelman maaympäristön maataloustuotteiden (vilja ja juures) ja laidunruohon valvontamittauksissa ei havaittu voimalaitosperäisiä radionuklideja (taulukko 7). Näytteiden Cs-137-aktiivisuuspitoisuus oli alhainen. Viljanäytteiden (vehnä) Sr-90-aktiivisuuspitoisuus oli Olkiluodossa 0,11 Bq/kg ja Loviisassa 0,10 Bq/kg. Laidunruohon C-14-pitoisuus oli Olkiluodossa 110 Bq/kg ja Loviisassa sekä vertailunäytteessä (Jaala, Kimola) 120 Bq/kg. Luvanhaltijoiden valvontaohjelmissa Loviisan ympäristön omenanäytteessä ei havaittu voimalaitosperäisiä radionuklideja. Omenanäytteen Cs-137-aktiivisuuspitoisuus oli 0,027 Bq/kg. Olkiluodosta kerättyssä salaatinäytteessä ei havaittu voimalaitosperäisiä radionuklideja ja sen Cs-137-aktiivisuuspitoisuus oli 6,3 Bq/kg.



Kuva 15. Loviisan voimalaitoksen lähistön (tilojen etäisyys voimalaitokselta lähialue (0 – 20 km) tai 20 – 40 km) meijereiden toimittamien maitonäytteiden Cs-137 pitoisuus (Bq/l) vuosina 1980 – 2023.

6 YMPÄRISTÖVALVONNAN TULOKSET



Kuva 16. Olkiluodon voimalaitoksen lähistön (tilojen etäisyys voimalaitokselta lähialue (0 – 20 km) tai 20 – 40 km) meijereiden toimittamien maitonäytteiden Cs-137 pitoisuus (Bq/l) vuosina 1980 – 2023.

Taulukko 6. Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalaitosten ympäristöjen meijereiden maitonäytteiden radioaktiivisuusvalvonnan tulokset vuonna 2023.

Paikkakunta	Keräysjakso	0–20 km				20–40 km			
		K-40 Bq/l	Epävarm. 2σ	Cs-137 Bq/l	Epävarm. 2σ	K-40 Bq/l	Epävarm. 2σ	Cs-137 Bq/l	Epävarm. 2σ
Loviisa	26.12.2022- 29.1.2023	48	10 %	0,10	10 %	47	13 %	0,07	9 %
	30.1.-26.2.2023	49	9 %	0,09	11 %	47	11 %	0,06	15 %
	27.2.-19.3.2023	45	10 %	0,07	15 %	47	11 %	0,08	14 %
	27.3.-30.4.2023	48	10 %	0,05	20 %	47	12 %	0,09	14 %
	1.5.-28.5.2023	46	10 %	0,05	16 %	48	14 %	0,07	13 %
	29.5.-25.6.2023	47	14 %	0,07	14 %	48	10 %	0,10	12 %
	26.6.-30.7.2023	48	10 %	0,06	16 %	48	12 %	0,12	12 %
	31.7.-27.8.2023	48	13 %	0,15	10 %	49	11 %	0,08	16 %
	28.8.-24.9.2023	52	12 %	0,15	10 %	48	10 %	0,19	12 %
	25.9.-29.10.2023	48	14 %	0,11	12 %	50	11 %	0,25	10 %
	30.10.-26.11.2023	49	11 %	0,32	8 %	51	12 %	0,15	11 %
27.11.-31.12.2023	48	10 %	0,07	16 %	49	14 %	0,39	8 %	
Olkiluoto	26.12.2022- 29.1.2023	48	14 %	0,18	8 %	46	10 %	0,28	8 %
	30.1.-26.2.2023	49	10 %	0,18	12 %	47	8 %	0,38	8 %
	27.2.-26.3.2023	48	11 %	0,12	12 %	47	10 %	0,27	10 %

6 YMPÄRISTÖVALVONNAN TULOKSET

	27.3.-30.4.2023	49	8 %	0,19	11 %	47	13 %	0,33	8 %
	1.5.-28.5.2023	47	11 %	0,14	10 %	48	10 %	0,34	9 %
	29.5.-25.6.2023	48	9 %	0,19	13 %	48	10 %	0,43	9 %
	26.6.-30.7.2023	47	12 %	0,15	11 %	48	13 %	0,29	8 %
	31.7.-27.8.2023	49	10 %	0,22	11 %	48	11 %	0,30	10 %
	28.8.-24.9.2023	50	10 %	0,20	11 %	45	11 %	0,32	9 %
	25.9.-29.10.2023	53	10 %	0,19	9 %	47	11 %	0,45	9 %
	30.10.-26.11.2023	47	8 %	0,66	10 %	48	8 %	0,50	8 %
	27.11.-31.12.2023	49	12 %	0,25	11 %	49	13 %	0,39	8 %

Taulukko 7. Laidunruoho- vilja- ja juuresnäytteiden valvontamittausten tulokset vuonna 2023. Loviisasta ei saatu juuresnäytettä 2023.

Paikka	Keräyspäivä	Laji	K-40 Bq/kg	Epävarmuus 2σ	Cs-137 Bq/kg	Epävarmuus 2σ
Laidunruoho						
Loviisa	22.6.	laidunruoho	840	15 %	0,23	40 %
Olkiluoto	29.6.	laidunruoho	260	15 %	<0,06	
Vertailu, Jaala, Kimola	23.10.	laidunruoho	830	14 %	0,73	20 %
Vilja						
Loviisa	8.11.	vehnä	140	15 %	0,31	22 %
	8.11.	kaura	130	14 %	1,3	15 %
Olkiluoto	3.11.	vehnä	140	17 %	0,11	46 %
	3.11.	kaura	110	15 %	0,51	21 %
Juures						
Loviisa	ei näytettä					
Olkiluoto	8.9.	peruna	160	11	<0,06	

Rauman ja Loviisan kaupunkien talousveden H-3-, Sr-90- ja Cs-137-aktiivisuuspitoisuudet ja luvanhaltijoiden toimittamien voimalaitosten talousvesien Sr-90-aktiivisuuspitoisuudet olivat samaa tasoa kuin talousveden pitoisuudet muuallakin Suomessa (taulukko 8). Luvan- haltijoiden valvontaohjelmassa määritettiin voimalaitosten talousvesien gammasäteilyä lähettävät radionuklidit neljä kertaa vuodessa. Voimalaitosten talousvesissä ei havaittu voimalaitosperäisiä radionuklideja. Kaikkien talousvesinäytteiden H-3-aktiivisuuspitoisuudet olivat alle 2 Bq/l. Pitoisuudet vastaavat muualla Suomessa talousvesissä mitattuja H-3- pitoisuuksia. Loviisan ja Olkiluodon ympäristöistä otetuista pohjavesinäytteistä ei löytynyt keinotekoisia radionuklideja.

Taulukko 8. Rauman ja Loviisan kaupunkien talousveden valvontamittausten tulokset vuonna 2023.

Paikka	Keräyspäivä/jakso	H-3 Bq/l	Epävarm. 2 σ	Sr-90 Bq/m ³	Epävarm. 2 σ	Cs-137 Bq/m ³	Epävarm. 2 σ
Loviisa	27.4.	<1,1		-		<0,41	
	16.11.	<1,2		-		<0,31	
	27.4.-16.11.	-		1,9	11 %	-	
Loviisa voimalaitos*	28.2.-30.11.	-		3,8	10 %	-	
Rauma	18.4.	<1,1		-		0,95	30 %
	14.11.	<1,1		-		1,4	18 %
	18.4.-14.11.	-		4,3	10 %	-	
Olkiluoto voimalaitos*	24.1.-20.9.	-		3,7	9 %	-	

- Radionuklidia ei ole tutkittu näytteestä.

*Yhdistetty vuosinäyte, määritetään ainoastaan Sr-90.

Olkiluodossa lietenäyte otettiin tammikuussa ja toukokuussa vuosihuollon aikana UPM Rauman jätevedenpuhdistamolta. Näytteissä havaittiin keinotekoisista radionuklideista Cs-137:ää sekä lisäksi tammikuussa otetusta näytteestä I-131:tä. Jodia havaitaan myös Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta vuosittain otettavista näytteistä ja se on yleinen sairaaloiden isotooppihoidossa käytetty nuklidi, minkä takia se on todennäköisesti peräisin isotooppihoitoja saaneista potilaista. Loviisasta ei otettu valvontaohjelmaan kuuluvia lietenäytteitä vuonna 2023. Loviisassa tutkitaan lietenäytteet luvanhaltijan omassa ohjelmassa Loviisan voimalaitosalueen jätevedenpuhdistamolta neljä kertaa vuodessa, vuosihuoltojen aikana sekä näiden ajankohtien ulkopuolella. Näistä lietenäytteistä havaittiin voimalaitokselta peräisin olevia keinotekoisia radioaktiivisia aineita: Co-60 ja Ag-110m. Olkiluodossa luvanhaltija keräsi Olkiluodon kaatopaikan ilmastusaltaasta valumavesinäytteen, joka sisälsi vähäisen määrän Co-60:tä (3,4 Bq/m³). Kaatopaikan valumavesinäytteen Cs-137-aktiivisuuspitoisuus oli 2,0 Bq/m³ ja H-3-aktiivisuuspitoisuus 2,0 Bq/l.

STUKin valvontaohjelmaan kuuluvia maaperänäytteitä kerätään kahden vuoden välein voimalaitosten ympäristöistä. Loviisan ja Olkiluodon ympäristöstä ei kerätty maaperänäytteitä vuonna 2023.

6.3 Meriympäristö

Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten meriympäristöstä kerättyistä näytteistä havaittiin joitakin voimalaitosperäisiä radionuklideja. Radionuklidien pitoisuudet olivat kuitenkin pieniä, eikä niillä ole merkitystä ympäristön säteilyaltistukseen. Yleisin meriympäristössä havaittava keinotekoinen nuklidi on Cs-137, joka on pääosin peräisin Tšernobylin ydinvoimala-onnettomuudesta.

Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty merivesinäytteiden valvontamittausten tulokset vuonna 2023. Tulokset on esitetty etäisyysjärjestyksessä purkuaukosta, lähimpänä purkuaukkoa olevat tulokset ovat taulukoiden alussa.

Molempien voimalaitosten ympäristöstä kerättyissä merivesinäytteistä mitattiin 2 Bq/l ylittäviä H-3 aktiivisuuspitoisuuksia pitoisuuksien pysyessä kuitenkin alle 10 Bq/l yhtä näytettä lukuun ottamatta. Merivesinäytteitä ei oteta välittömästi laitosten uloslaskujen jälkeen. Itämeren

alueen merivedessä tritiumin tyypillinen pitoisuus vuosina 2011 – 2015 oli 1 – 2 Bq/l (HELCOM 2018). Perustuen Itämeren alueen pitkän aikavälin tuloksiin, Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ympäristön säteilytarkkailussa merivesi-, sadevesi- ja talousvesinäytteille tritiumpitoisuuden taustatasona pidetään alle 2 Bq/l. Tätä taustatasoa korkeampien tritiumpitoisuuksien katsotaan johtuvan voimalaitosten päästöistä. Merivesinäytteiden Sr-90 ja Cs-137 aktiivisuuspitoisuudet olivat normaalia Itämeren tasoa.

Pidemmissä aikasarjoissa (kuvat 17 ja 18) on nähtävissä, että merkittävin lähde Cs-137:lle merivedessä on Tšernobylin ydinvoimalaitosonnettomuus vuonna 1986. Laitosten normaalien päästöjen vaikutusta ei pystytä erottamaan Tšernobylin onnettomuudesta peräisin olevasta aktiivisuudesta meriveden Cs-137 pitoisuuksien vastatessa Itämeren yleistä Cs-137 aktiivisuuspitoisuutta (HELCOM 2018).

Luvanhaltijoiden ottamien merivesinäytteiden Cs-137 pitoisuudet vastasivat Itämeren yleistä Cs-137 aktiivisuuspitoisuutta. Meriveden H-3 pitoisuus oli luvanhaltijan mittauksissa Loviisassa toisessa näytteessä alle määrittärajän ja toisessa 2,3 Bq/l ja Olkiluodossa 1,8 – 5,7 Bq/l. Muilta osin luvanhaltijoiden ottamien merivesinäytteiden analyysitulokset vastasivat STUKin ottamien näytteiden tuloksia.

Taulukko 9. Loviisan merivesinäytteiden valvontamittausten tulokset vuonna 2023.

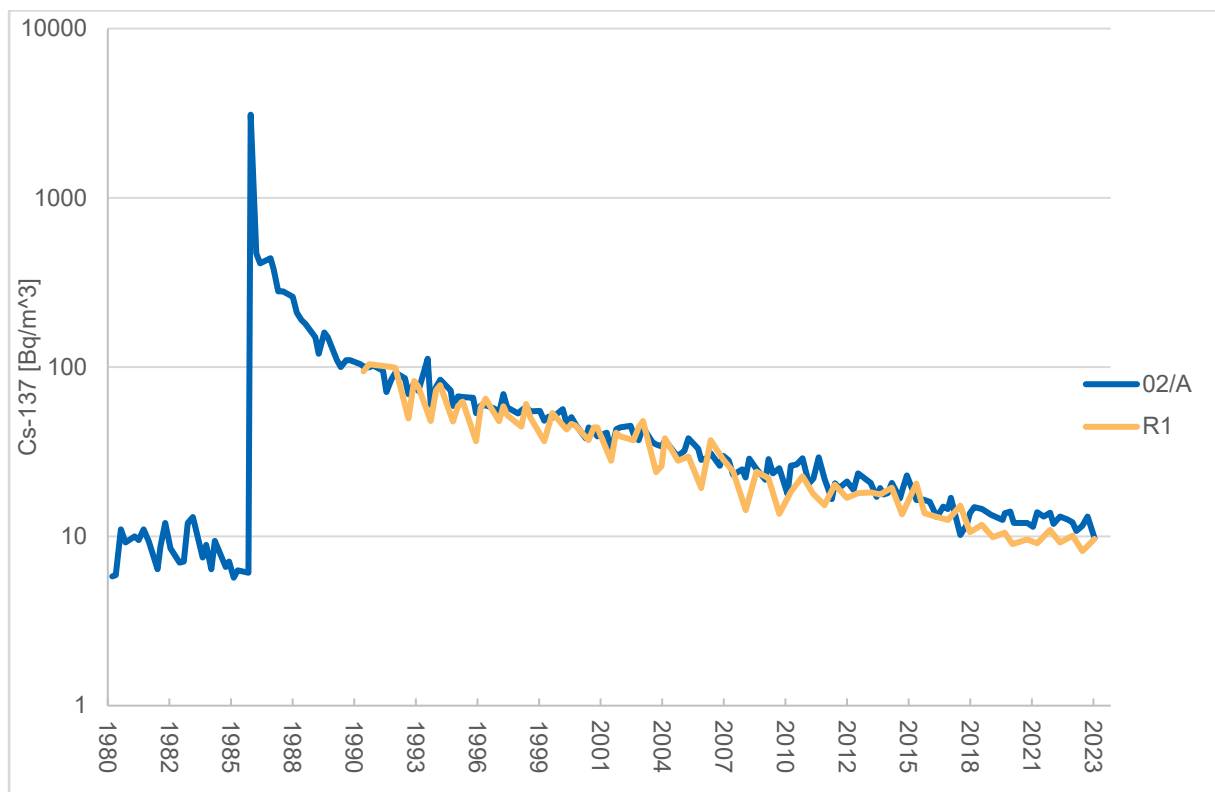
Paikka	Keräys-päivä	H-3 Bq/l	Epä-varmuus 2σ	Sr-90 Bq/m ³	Epä-varmuus 2σ	Cs-137 Bq/m ³	Epä-varmuus 2σ
Halkokari 02	18.1.	2,3	33 %	4,9	9,6 %	11	8 %
	25.4.	5,1	19 %	4,8	9,4 %	12	16 %
	18.7.	<1,1	67 %	5,1	9,4 %	13	12 %
	9.11.	1,9	40 %	4,3	9,8 %	9,8	18 %
Klobbfjärden 1	25.4.	10	14 %	-		9,1	15 %
	9.11.	2,8	30 %	-		17	10 %
Vådholmsfjärden 4	27.4.	4,3	21 %	-		11	11 %
	6.11.	1,2	60 %	-		10	16 %
Hudöfjärden 8	27.4.	2,3	33 %	-		9,8	18 %
	6.11.	<1,2		-		12	12 %
Påsalöfjärden R1	27.4.	1,6	46 %	4,7	9,5 %	8,2	13 %
	7.11.	<1,2		3,9	9,8 %	9,7	15 %

- Radionuklidia ei ole tutkittu näytteestä.

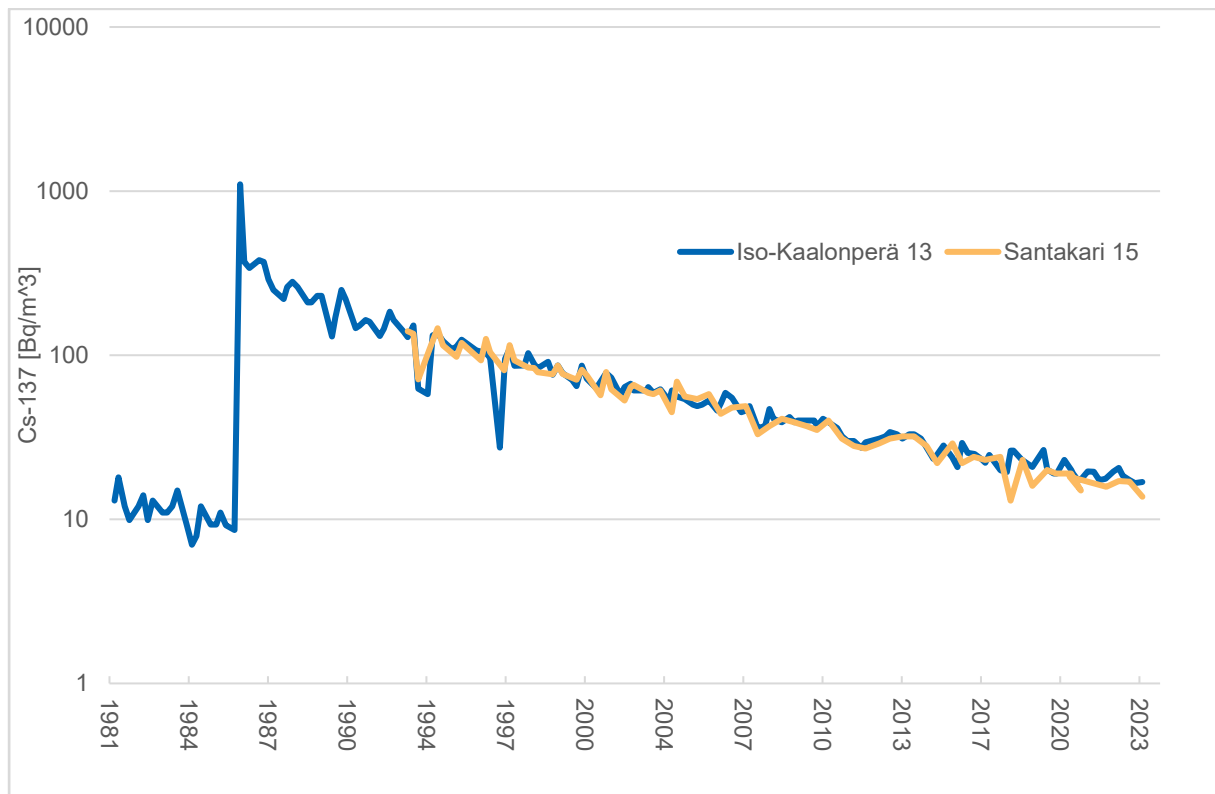
Taulukko 10. Olkiluodon merivesinäytteiden valvontamittausten tulokset vuonna 2023.

Paikka	Keräys-päivä	H-3 Bq/l	Epä-varmuus 2σ	Sr-90 Bq/m ³	Epä-varmuus 2σ	Cs-137 Bq/m ³	Epä-varmuus 2σ
Iso Kaalonperä 13	10.1.	<1,1		4,8	10 %	18	9,4 %
	20.4.	3,9	23 %	5,1	9,5 %	17	13 %
	12.7.	4,6	20 %	5,8	9,5 %	17	16 %
	1.11.	2,4	33 %	4,8	9,4 %	17	10 %
Liponluoto 2	20.4.	2,3	33 %	-		18	13 %
	31.10.	2,3	35 %	-		17	13 %
Rääpinkivet 3	20.4.	1,2	60 %	-		17	13 %
	2.11.	<1,2		-		16	12 %
Santakari 15	20.4.	<1,1		-		17	13 %
	2.11.	<1,2		-		14	17 %
Kylmäpihlaja 17	10.5.	<1,1		-		18	13 %
	1.11.	<1,2		-		16	14 %
Viikari 16	20.4.	<1,1		5,8	9,5 %	17	11 %
	2.11.	<1,2		4,6	10 %	17	13 %

- Radionuklidia ei ole tutkittu näytteestä.



Kuva 17. Cs-137 aktiivisuuspitoisuus merivedessä Loviisan voimalaitoksen lähimmällä (02/A, sininen) ja kauimmaisella (R1, keltainen) näytteenottoasteella esitettynä logaritmisella asteikolla vuosina 1980 – 2023.



Kuva 18. Cs-137 aktiivisuuspitoisuus merivedessä Olkiluodon voimalaitoksen lähimmällä (Iso-Kaalonperä 13, sininen) ja kauimmaisella (Santakari 15, keltainen) näytteenotto-pisteellä esitettyinä logaritmisella asteikolla vuosina 1981 – 2023.

Voimalaitosten lähialueelta kalastetaan kahdelta eri etäisyydeltä voimalaitoksesta, Loviisassa kalastusalueet ovat 0 – 2 km ja 2 – 10 km etäisyydellä laitoksesta ja Olkiluodossa 0 – 3 km ja 3 – 10 km etäisyydellä laitokselta. Silakat kalastetaan 0 – 10 km etäisyydeltä. Kalanäytteiden (silakka, säyne, ahven, hauki ja lahna) Cs-137 pitoisuudet vaihtelivat välillä 1,8 – 8,3 Bq/kg (tuorepainoa kohden, taulukko 11). Pitoisuudet olivat alhaiset ja vastasivat hyvin Itämeren alueen kalojen ja vertailunäytteiden Cs-137 aktiivisuuspitoisuuksia (HELCOM 2018, Mattila ja Inkinen, 2023). Kalanäytteiden Sr-90 pitoisuudet olivat myös alhaiset. Loviisan Smoltin kalankasvattamolta saadun kalanpoikasnäytteen Cs-137 aktiivisuuspitoisuus oli erittäin alhainen.

Pohjaeläinnäytteiden (rangiasimpukka ja kilkki) radioaktiivisuuspitoisuudet olivat alhaiset (taulukko 12). Loviisan ympäristön kilkinäytteessä havaittiin voimalaitoksesta peräisin olevaa Ag-110m:a ja Olkiluodon rangianäytteessä havaittiin Co-60:tä, mutta pitoisuudet ovat alhaiset, eivätkä vaikuta eliöstön säteilyaltistukseen.

Taulukko 11. Loviisan ja Olkiluodon meriympäristön kalanäytteiden valvontamittausten tulokset vuonna 2023.

Näytelaji	Paikka	Keräys-jakso	Cs-137 Bq/kg	Epä-varmuus 2 σ	Sr-90 Bq/kg	Epä-varmuus 2 σ
Silakka	Loviisa 0 – 10 km	27.4.	1,8	8,2 %	0,02	26 %
	Olkiluoto 0 – 10 km	25.5.	2,3	8,4 %	0,02	26 %
Ahven	Loviisa 0 – 2 km	14.6.	8,0	6,6 %	<0,005	
	Loviisa 2 – 10 km	14.9.	6,8	6,8 %	-	
	Olkiluoto 0 – 3 km	24.5.	8,3	6,5 %	0,007	40 %
	Olkiluoto 3 – 10 km	24.8.-6.9.	7,5	7,1 %	-	
Hauki	Loviisa 0 – 2km	30.5.-31.5.	6,9	7,2 %	-	
	Loviisa 2 – 10 km	5.10.	5,1	7,4 %	-	
	Olkiluoto 0 – 3 km	10.5.-26.5.	6,7	7,0 %	-	
	Olkiluoto 3 – 10 km	5.9.	6,0	7,7 %	-	
Lahna	Loviisa 0 – 2 km	27.4.-30.5.	1,9	8,0 %	-	
	Loviisa 2 – 10 km	14.6.	1,8	10 %	-	
	Olkiluoto 3 – 10 km	23.5.	2,3	8,1 %	-	
Säyne	Olkiluoto 0 – 3 km	10.5.	2,4	9,4 %	-	
Kalanpoikas-näyte (siika)	Loviisan Smoltti	9.11.	0,83	12 %	-	

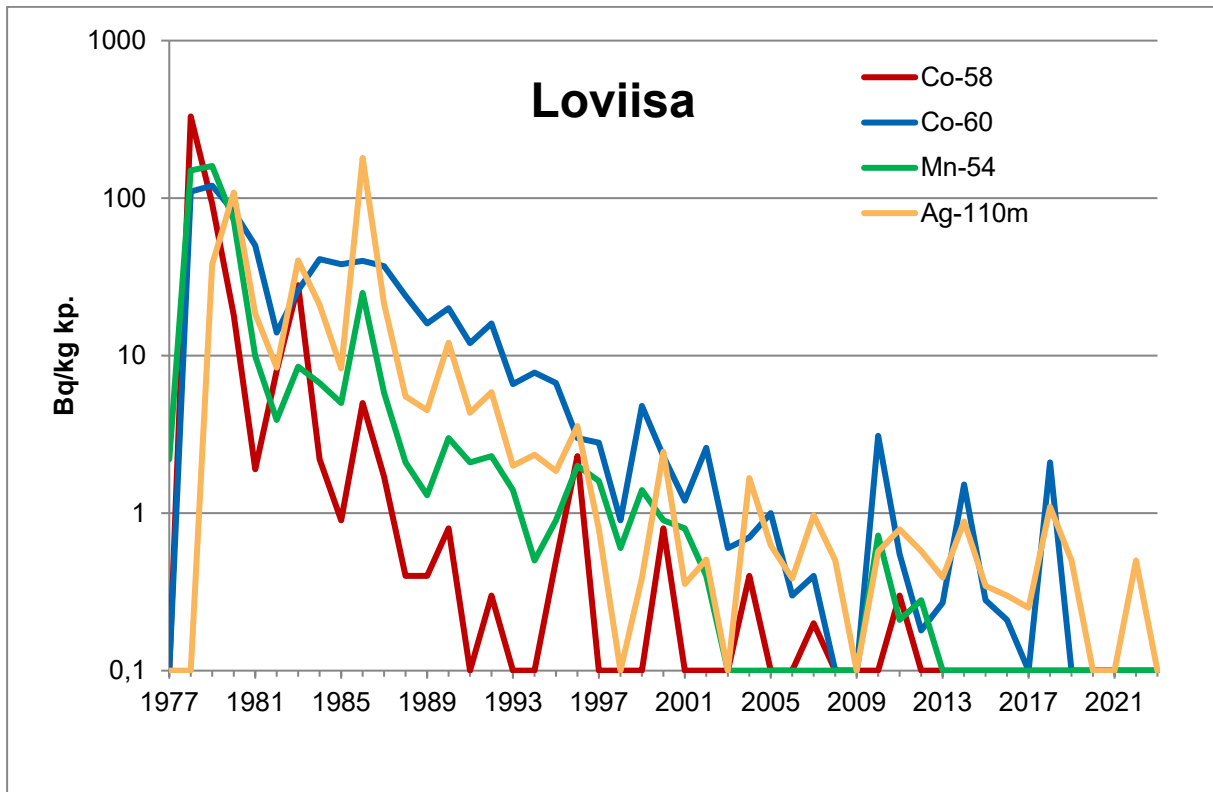
- Radionuklidia ei ole tutkittu näytteestä.

Taulukko 12. Loviisan ja Olkiluodon meriympäristöstä kerättyjen pohjaeläinten valvontamittausten tulokset vuonna 2023.

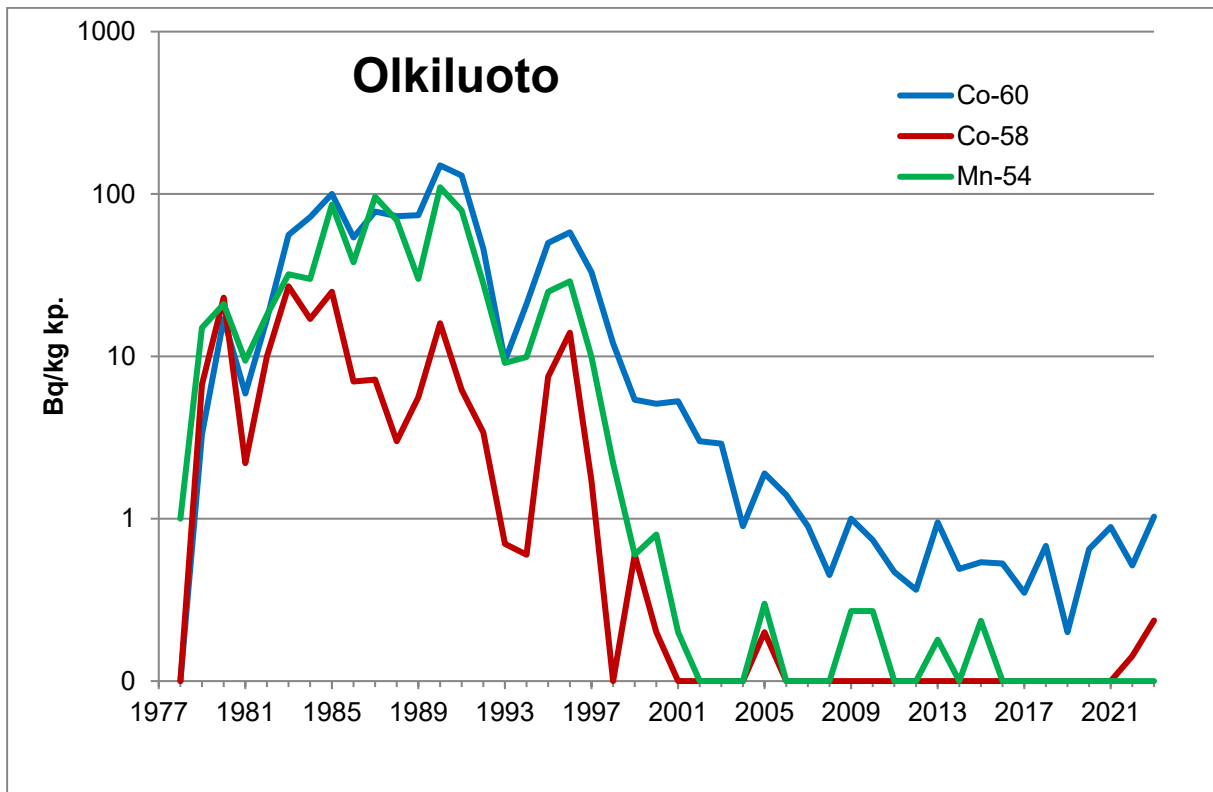
Näytelaji	Paikka	Keräys-jakso	Sr-90 Bq/kg	2 σ	Co-60	2 σ	Ag-110m Bq/kg	2 σ	Cs-137 Bq/kg	2 σ
Kilkki	Hästholmsfjärden, Loviisa	28.4.-13.6.	0,42	12 %	<0,58		0,77	25 %	8,3	9 %
Rangia-simpukka (liha)	Halkokari, Loviisa	14.8.	-		<0,34		<0,37		1,9	13 %
Rangia-simpukka (kuori)	Halkokari, Loviisa	14.8.	-		<0,16		<0,19		<0,18	
Rangia-simpukka (liha)	Iso Kaalonperä, Olkiluoto	19.9.	0,48	36 %	1,70	25 %	<0,94		3,5	18 %
Rangia-simpukka (kuori)	Iso Kaalonperä, Olkiluoto	19.9.	7,6	13 %	<0,12		<0,14		0,21	40 %

- Radionuklidia ei ole tutkittu näytteestä.

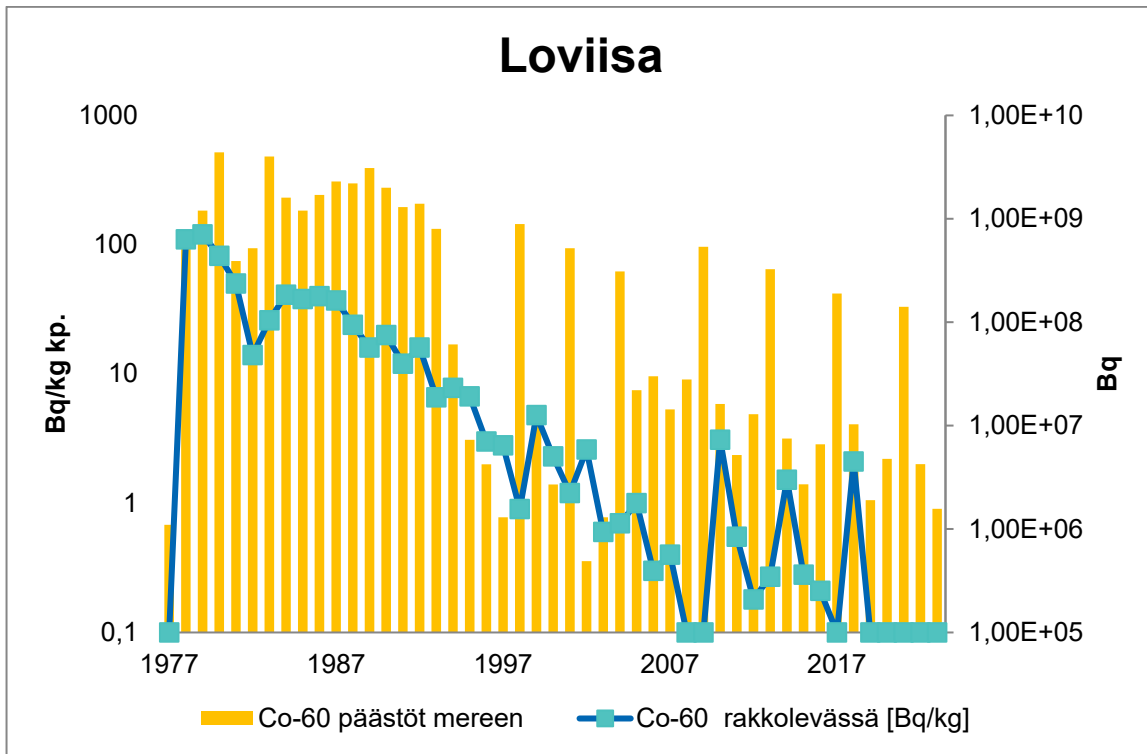
Voimalaitosten päästöjen indikaattoreina vesiympäristössä erityisen hyviksi ovat osoittautuneet perifyton, rakkolevä ja uposlehtisistä vesikasveista erityisesti tähkä-ärviä. Pisimmät havaintosarjat ovat olemassa rakkolevästä ja voimalaitosten päästöjen vaikutus havaitaan niissä selvästi. Rakkolevä on kuitenkin herkkä ympäristön muutoksille ja sitä ei ole joka vuosi saatu kerättyä vakiintuneilta näytepisteiltä. Kuvissa 19 ja 20 näkyy muutamien merkittävimpien voimalaitosperäisten nuklidien aktiivisuuspitoisuuksien vuosikeskiarvot lähimpänä voimalaitosta otetuista rakkolevänäytteistä. Voimalaitosperäisten nuklidien aktiivisuuspitoisuudet rakkolevänäytteissä ovat pienentyneet selvästi, kun voimalaitosten päästöt ovat pienentyneet. Kuvissa 21 ja 22 on esitetty rakkolevänäytteiden Co-60 aktiivisuuspitoisuuden ja voimalaitokselta mereen tapahtuvan Co-60 päästöjen välinen yhteys. Aktiivisuuspitoisuuksien muutokset seuraavat päästöjen muutoksia, Loviisan voimalaitoksen ympäristössä aktiivisuuspitoisuuksien muutoksessa näyttäisi olevan noin vuoden viive. Loviisan voimalaitoksella suoritetaan neljän vuoden välein Cs-erotetun haihdutuskonsentraattisäiliöiden pintavesien päästöjä, joista aiheutuu mm. Co-60 päästöjen kasvu. Nämä päästöt on ajoitettu loppuvuoteen päästöön sisältyvien ravinteiden aiheuttamien vaikutusten lieventämiseksi, ja tästä syystä päästöstä peräisin olevat radioaktiiviset aineet näkyvät vasta seuraavan kasvukauden näytteiden valvonnan tuloksissa. Viimeisin päästö tehtiin joulukuussa 2021, mikä näkyi jossain määrin vuoden 2022 valvontanäytteissä, mutta eivät enää vuoden 2023 näytteissä.



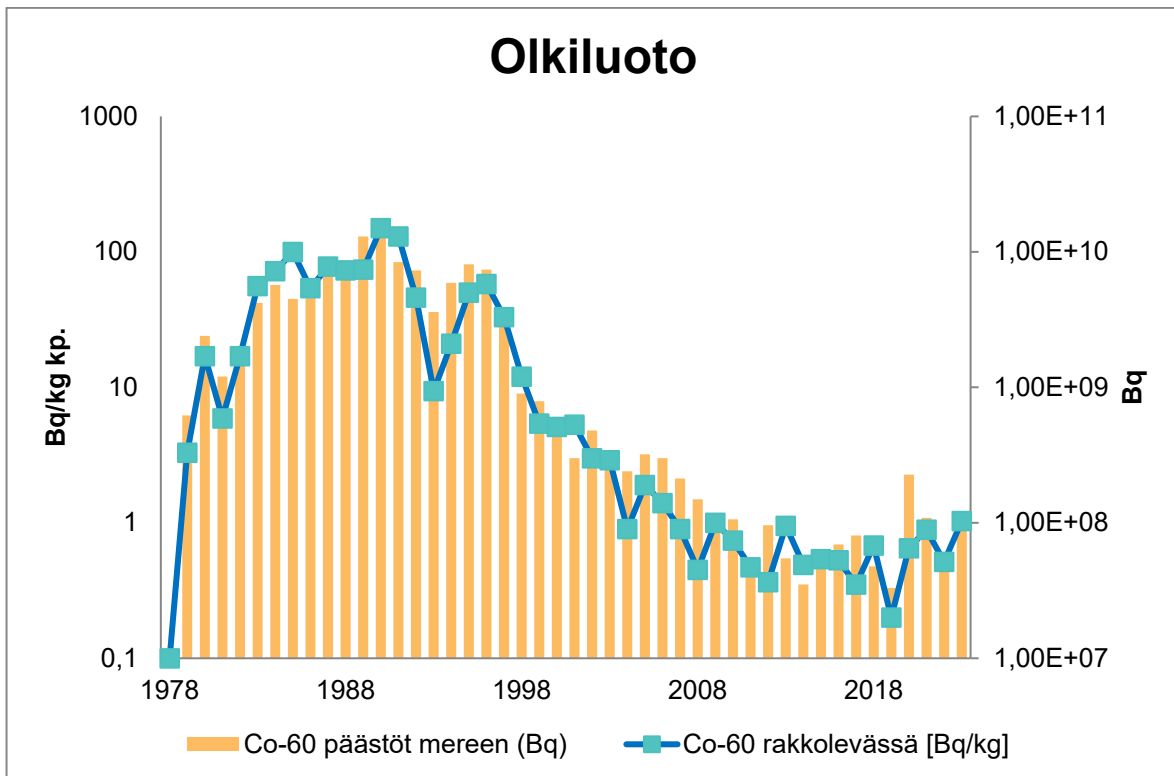
Kuva 19. Merkittävimpien voimalaitosperäisten radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksien keskiarvot rakkolevässä (Bq/kg kuivapainoa) logaritmisella asteikolla Loviisan voimalaitoksen lähimmällä näytteenottpisteellä vuosina 1977 – 2023.



Kuva 20. Merkittävimpien voimalaitosperäisten radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksien keskiarvo rakkolevässä (Bq/kg kuivapainoa) logaritmisella asteikolla Olkiluodon voimalaitoksen lähimmällä näytteenottpisteellä vuosina 1977 – 2023.



Kuva 21. Co-60 päästöt mereen ja Co-60 aktiivisuuspitoisuuden keskiarvo logaritmisella asteikolla voimalaitosta lähimmän näytteenottopisteen rakkolevänäytteissä Loviisan voimalaitoksella vuosina 1977 – 2023.



Kuva 22. Co-60 päästöt mereen ja Co-60 aktiivisuuspitoisuuden keskiarvo logaritmisella asteikolla voimalaitosta lähimmän näytteenottopisteen rakkolevänäytteissä Olkiluodon voimalaitoksella vuosina 1977 – 2023.

Perifytonnäytteiden tulokset on esitetty liitteessä 4. Perifytonnäytteissä havaittiin useita keinotekoisia radionuklideja, joiden pitoisuudet jäivät kuitenkin alhaisiksi. Loviisan perifytonnäytteiden havaitut keinotekoiset nuklidit olivat Co-60, Ag-110m, sekä Cs-137 ja Olkiluodossa havaitut olivat Mn-54, Co-58, Co-60 ja Cs-137. Perifytonnäytteiden lisäksi Olkiluodossa havaittiin myös rakkolevässä Co-58:aa ja Co-60:tä (taulukko 13 ja 14). Rakkolevien Cs-137 aktiivisuuspitoisuudet vaihtelivat Loviisassa välillä 8,2 – 15 Bq/kg ja Olkiluodossa välillä 7,4 – 15 Bq/kg kuivapainoa kohden. Perifyton- ja rakkolevänäytteissä on havaittu samoja voimalaitosperäisiä nuklideja kuin aiempina vuosina, eivätkä aktiivisuuspitoisuudet poikkea näytteissä edellisinä vuosina mitatuista pitoisuuksista. Näytteissä havaitut voimalaitosperäiset radionuklidit ovat samoja, joita voimalaitokset ovat meriveteen omien päästömittaustensa perusteella raportoineet päästäneensä.

Olkiluodossa tähkä-ärviästä (taulukko 15 ja 16) tehtiin havaintoja vähäisestä määrästä voimalaitosperäisiä radionuklideja. Olkiluodon purkualueen tähkä-ärviästä näytteissä havaittiin Co-58:aa ja Co-60:tä. Loviisan voimalaitoksen tähkä-ärviästä näytteestä havaittiin ainoastaan Cs-137, jonka aktiivisuuspitoisuudet olivat Loviisassa välillä 7,9 – 24,1 Bq/kg kuivapainoa ja Olkiluodossa välillä 3,7 – 23,8 Bq/kg kuivapainoa. Tähkä-ärviä vertailunäytteet kerättiin purkuaukosta kauempaa mutta kuitenkin voimalaitoksen lähietäältä (Strömslandet Loviisassa ja Aikonmaa Olkiluodossa), eikä näissä näytteissä enää havaittu Olkiluodossakaan voimalaitosperäisiä radionuklideja, mikä viittaa siihen, että radionuklidien aktiivisuuspitoisuudet ovat matalammat kauempana purkuaukosta.

Taulukko 13. Loviisan meriympäristöstä kerätyissä rakkolevänäytteissä havaitut radionuklidit vuonna 2023.

Näytepiste	Keräyspäivä	Cs-137 Bq/kg kp.	2 σ	Sr-90 Bq/kg kp.	2 σ
Stenörarna	3.5.	15	8 %	4,2	10 %
	17.8.	8,6	11 %	-	
Hästholmen SW	3.5.	14	8 %	-	
	16.8.	8,2	12 %	-	
Lilla Djupberget	3.5.	9,4	8 %	-	
	15.8.	9,4	11 %	-	
Boistö	16.5.	11	16 %	-	
	15.8.	11	10 %	-	
Storskarven	4.5.	9,2	8 %	3,4	10 %
	15.8.	8,4	14 %	-	

- Radionuklidia ei ole tutkittu näytteestä.

Taulukko 14. Olkiluodon meriympäristöstä kerätyissä rakkolevänäytteissä havaitut radionuklidit vuonna 2023.

Paikka	Keräys-päivä	Co-58 Bq/kg kp.	2σ	Co-60 Bq/kg kp.	2σ	Cs-137 Bq/kg kp.	2σ	Sr-90 Bq/kg kp.	2σ
Iso Kaalonperä 9	9.5.	0,27	29 %	0,50	23 %	14	16 %	8,8	9,7 %
	23.8.	<0,42		1,6	23 %	15	9 %	-	
Kalliopöllä	9.5.	0,30	23 %	0,25	29 %	14	7 %	-	
	23.8.	0,33	33 %	1,1	17 %	11	10 %	-	
Reimarkrunni	9.5.	<0,29		<0,30		14	7 %	-	
	22.8.	<0,17		0,62	21 %	11	12 %	-	
Iso-Siiliö	11.5.	<0,21		<0,24		11	11 %	-	
	7.9.	<0,14		<0,16		7,8	12 %	-	
Iso-Pietari	11.5.	<0,13		<0,17		8,8	7 %	-	
	7.9.	<0,16		<0,20		8,8	12 %	-	
Kylmäpihlaja 17	10.5.	<0,10		<0,13		9,6	7 %	-	
	22.8.	<0,12		<0,14		7,4	10 %	-	
Viikari 16	11.5.	<0,21		<0,24		13	11 %	4,6	10 %
	7.9.	<0,17		<0,20		9,7	10 %	-	

- Radionuklidia ei ole tutkittu näytteestä.

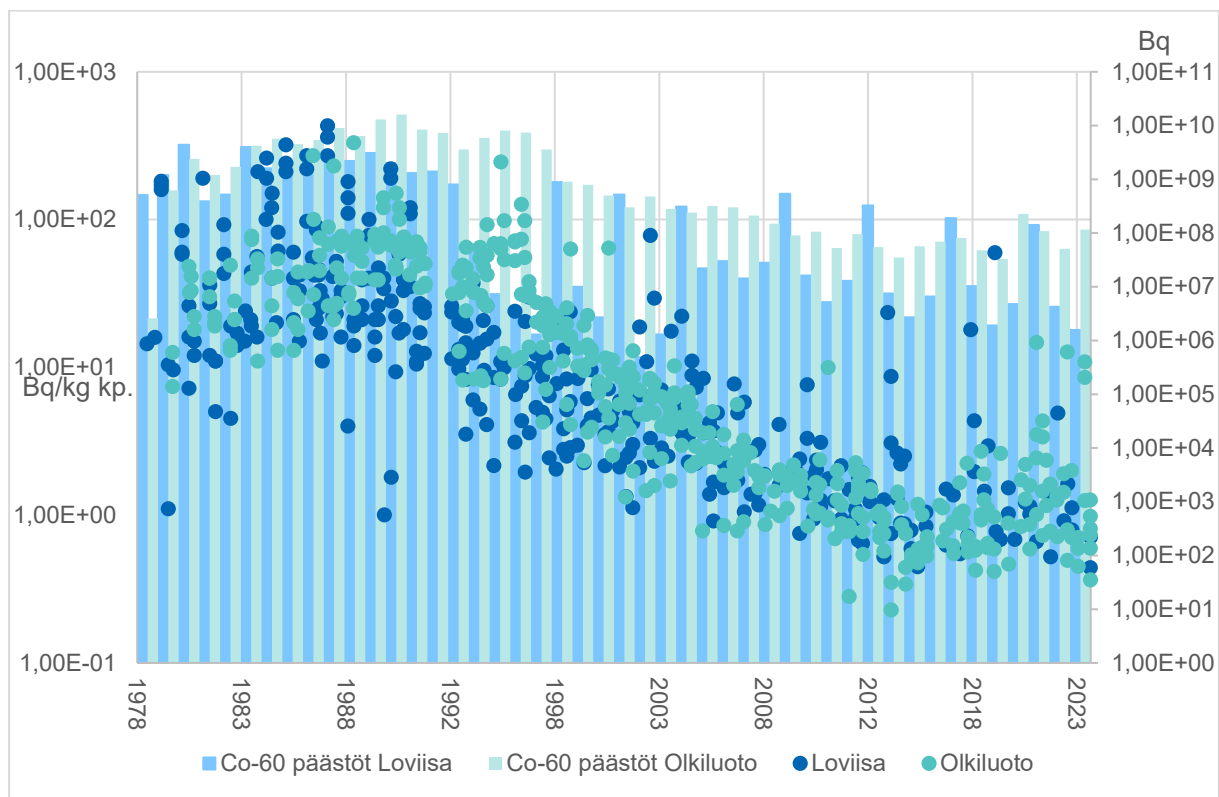
Taulukko 15. Loviisan meriympäristöstä kerätyistä tähkä-ärviänäytteistä havaitut radionuklidit vuonna 2023.

Paikka	Keräyspäivä	Cs-137 Bq/kg kp.	2σ
Halkokari	14.8.	24	8 %
Tallholmen	16.8.	9,3	11 %
Kasabergs-udden	16.8.	7,9	12 %
Strömslandet (vertailu)	17.8.	24	8 %

Taulukko 16. Olkiluodon meriympäristöstä kerätyistä tähkä-ärviänäytteistä havaitut radionuklidit vuonna 2023.

Paikka	Keräyspäivä	Co-58 Bq/kg kp.	2σ	Co-60 Bq/kg kp.	2σ	Cs-137 Bq/kg kp.	2σ
Iso Kaalonperä, purkukanavan suu	23.8.	0,54	34 %	4,4	10 %	14	7 %
Iso-Kaalonperä, saunaranta	23.8.	0,30	35 %	0,48	22 %	3,7	8 %
Aikonmaa (Vertailu)	19.9.	<0,53		<0,70		24	8 %

Voimalaitoksien ympäristöistä kerätyistä sedimentoituvan aineksen näytteistä havaittiin pieniä pitoisuuksia keinotekoisia radionuklideja (taulukko 17 ja 18). Loviisassa havaittiin Co-60:tä, Ag-110m:ää, sekä Cs-137:ää, ja Olkiluodossa havaittiin Mn-54:ää, Co-60:tä, Cs-137:ää ja Am-241:tä. Sedimentoituva aines on hyvä indikaattori voimalaitosperäisille päästöille, tätä on havainnollistettu kuvassa 23. Sedimentoituvassa aineessa havaittava Cs-137 on suurelta osin peräisin Tšernobylin ydinvoimalaitosonnettomuudesta. Yhdistetyistä sedimentoituvan aineksen näytteistä, rakkolevänäytteistä ja sedimentinäytteistä tutkittiin myös plutoniumin isotooppien Pu-238 ja Pu-239, 240-aktiivisuuspitoisuudet, jotka ovat esitetty taulukoissa 19, 20 ja 21. Sedimenteissä ja sedimentoituvassa aineksessa esiintyy pienenä taustapitoisuutena ilmakehän ydinasekokeiden globaalista laskeumasta peräisin olevia radionuklideja Pu-238, Pu-239 ja Pu-240. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitoksen ympäristön näytteiden Pu-238, Pu-239 ja Pu-240 aktiivisuuspitoisuudet ovat samalla tasolla kuin Itämeren alueen sedimenteissä yleisesti havaitaan (HELCOM, 2018).



Kuva 23. Co-60 havainnot sedimentoituvassa aineessa ja voimalaitosten vuosipäästöt 1978 – 2023.

Taulukko 17. Loviisan meriympäristöstä kerättyjen sedimentoituvan aineksen näytteissä havaitut radionuklidit vuonna 2023.

Paikka	Keräysjakso	Co-60 Bq/kg	2σ	Ag-110m Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ
Hästholmsfjärden 5S	17.11.2022-25.4.2023	<0,86		1,7	21 %	280	14 %
	25.4.-22.6.2023	<1,1		2,0	38 %	170	7 %
	22.6.-9.11.2023	0,71	20 %	1,4	19 %	240	7 %
Hästholmsfjärden 3	17.11.2022-25.4.2023	<0,85		<1,2		250	7 %
	25.4.-20.6.2023	<1,8		<2,3		150	8 %
	20.6.-6.11.2023	0,44	37 %	1,5	15 %	230	7 %
Klobbfjärden 1	17.11.2022-25.4.2023	<0,97		<1,4		270	7 %
	27.4.-20.6.2023	<1,1		<1,2		250	8 %
	20.6.-9.11.2023	<0,36		<0,53		290	7 %
Vådholmsfjärden 4	16.11.2022-27.4.2023	<0,90		<1,2		250	7 %
	27.4.-21.6.2023	<2,0		<2,3		140	7 %
	21.6.-6.11.2023	<0,90		<1,2		250	7 %
Påsalöfjärden R1	16.11.2022-27.4.2023	<0,72		<1,2		220	7 %
	27.4.-21.6.2023	<0,74		<1,1		170	7 %
	20.6.-7.11.2023	<0,49		<0,75		190	7 %

Taulukko 18. Olkiluodon meriympäristöstä kerättyjen sedimentoituvan aineksen näytteissä havaitut radionuklidit vuonna 2023.

Paikka	Keräysjakso	Co-60 Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ
Rääpinkivet 3	10.11.2022-20.4.2023	0,59	31 %	120	7 %
	20.4.-28.6.2023	1,3	19 %	120	7 %
	28.6.-2.11.2023*	0,84	30 %	110	7 %
Vähä Kivikkokari 12	8.11.2022-19.4.2023	0,45	48 %	150	7 %
	19.4.-28.6.2023	11	10 %	130	7 %
	28.6.-31.10.2023	0,60	30 %	140	7 %
Iso Kaalonperä 9	9.11.2022-19.4.2023	0,70	35 %	110	7 %
	19.4.-28.6.2023**	8,5	11 %	140	7 %
	28.6.-31.10.2023	1,3	19 %	140	7 %
Santakari 15	9.11.2022-20.4.2023	<0,54		140	6 %
	20.4.-29.6.2023	<0,95		130	7 %
	29.6.-2.11.2023	0,36	53 %	140	7 %
Kuuskajaskari 20	10.11.2022-10.5.2023	<0,70		130	7 %
	10.5.-28.6.2023	<1,7		140	8 %
	28.6.-1.11.2023	<0,47		140	7 %
Keskivedenkari 18	9.11.2022-20.4.2023	<0,30		130	7 %
	20.4.-29.6.2023	<0,53		120	7 %
	29.6.-2.11.2023	<0,44		120	7 %

* Näyte jaettu runsaan määrän takia kolmeen, tulos on kolmen näytteen keskiarvo.

** Sisälsi myös 0,56 Bq/kg Mn-54:ää

Taulukko 19. Loviisan Olkiluodon meriympäristöstä kerättyjen sedimentoituvan aineksen yhdistettyjen vuosinäytteiden plutoniumin isotooppien Pu-238 ja Pu-239 ja Pu-240 aktiivisuuspitoisuudet vuonna 2023.

Paikka	Paikka	Keräysjakso	Pu-238 Bq/kg	2 σ	Pu-239,240 Bq/kg	2 σ
Loviisa	Hästholmsfjärden 5S	17.11.2022-9.11.2023	<0,030		0,67	13 %
	Påsalöfjärden R1	16.11.2022-7.11.2023	<0,023		0,26	17 %
Olkiluoto	Rääpinkivet 3	10.11.2022-2.11.2023	<0,030		0,41	16 %
	Keskivedenkari 18	9.11.2022-2.11.2023	<0,030		0,41	15 %

Taulukko 20. Loviisan Olkiluodon meriympäristöstä kerättyjen rakkolevänäytteiden plutoniumin isotooppien Pu-238 ja Pu-239 ja Pu-240 aktiivisuuspitoisuudet vuonna 2023.

Paikka	Paikka	Näytelaji	Keräysjakso	Pu-238 Bq/kg	2 σ	Pu-239,240 Bq/kg	2 σ
Loviisa	Stenörarna	Rakkolevä	3.5.	<0,012		0,039	31 %
	Storskarven E	Rakkolevä	4.5.	<0,010		0,039	28 %
Olkiluoto	Iso Kaalonperä	Rakkolevä	9.5	<0,011		0,045	27 %
	Viikari 16	Rakkolevä	11.5	<0,012		0,020	48 %

Voimalaitosten meriympäristön pintasedimenteissä (taulukko 21) havaittiin keinotekoisia radionuklideja. Loviisassa havaittiin Co-60:tä ja Ag-110m:ää ja lähiympäristön (alle 5 km laitokselta) sedimenttien Cs-137:n pitoisuus oli välillä 200 – 320 Bq/kg. Olkiluodossa havaittiin Co-60:tä ja lähiympäristön sedimenttien Cs-137 aktiivisuuspitoisuus oli välillä 150 – 180 Bq/kg. Sedimenttien vertailunäytteet kerättiin kauempana voimalaitoksista ja näissä näytteistä ei havaittu voimalaitosperäisiä radionuklideja ja vertailunäytteiden Cs-137 aktiivisuuspitoisuus oli noin 180 – 200 Bq/kg kuivapainoa.

Taulukko 21. Meriympäristön sedimenttinäytteissä havaitut radioaktiiviset aineet vuonna 2023.

Paikka	Keräys-päivä	Co-60 Bq/kg	2σ	Ag-110m Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ	Sr-90 Bq/kg	2σ	Pu-239, 240 Bq/kg	2σ
Hästholmsfjärden 5, Loviisa	29.8.	0,43	20 %	1,7	11 %	280	7 %	0,57	14 %	0,52	31 %
Hästholmsfjärden 3, Loviisa	29.8.	0,44	21 %	<0,51		250	7 %	0,55	20 %	0,61	26 %
Klobbfjärden 1, Loviisa	29.8.	<0,36		<0,39		320	7 %	0,51	20 %	0,99	24 %
Hudöfjärden 10, Loviisa	11.9.	<0,41		<0,45		250	7 %	0,63	19 %	0,62	27 %
Påsalöfjärden R1, Loviisa	11.9.	<0,34		<0,47		200	7 %	0,44	16 %	0,19	45 %
Vähä Kivikkokari 12, Olkiluoto	6.6.	1,1	13 %	<0,29		150	7 %	0,46	28 %	0,46	28 %
Olkiluoto 9, Olkiluoto	6.6.	1,1	13 %	<0,36		150	7 %	0,53	29 %	0,53	30 %
Liponluoto 2, Olkiluoto	6.6.	0,74	33 %	<0,42		170	7 %	0,57	28 %	0,57	28 %
Tankarit 4, Olkiluoto*	8.6.	0,95	19 %	<0,40		170	7 %	0,63	26 %	0,63	26 %
Olkiluoto S8, Olkiluoto	7.6.	<0,43		<0,51		180	7 %	0,69	25 %	0,69	26 %

Näytteistä tutkittiin myös Pu-238, kaikki tulokset jäivät alle määrittämissä, lukuun ottamatta näytestä *Tankarit 4, jossa havaittiin 0,04 Bq/kg Pu-238

6.4 Ympäristön asukkaat

Voimalaitosten ympäristön asukkaissa ei mittauksissa havaittu voimalaitoksilta peräisin olevia radioaktiivisia aineita. Loviisassa mittauksessa kävi 19 ja Olkiluodossa 35 henkilöä.

7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Vuoden 2023 aikana sekä Loviisan että Olkiluodon voimalaitoksien maa- ja meriympäristöstä kerättiin ja analysoitiin yhteensä noin 410 näytettä. Vuonna 2023 molempien kotimaisten ydinvoimalaitosten meriympäristöstä kerätyissä näytteissä havaittiin pieniä määriä voimalaitoksista peräisin olevia radioaktiivisia aineita. Olkiluodossa uuden ydinlaitoksen käynnistymisellä ei ollut havaittavaa vaikutusta ympäristön radioaktiivisten aineiden määriin. Maaympäristöstä kerätyissä näytteissä havaittiin pääasiassa Tšernobylin ydinonnettomuudesta peräisin olevaa laskeumaa. Radioaktiivisten aineiden määrät vastaavat viime vuosina laitosten ympäristöstä havaittuja määriä sekä noudattavat pidemmän aikavälin laskevaa trendiä, johon vaikuttaa voimalaitosten päästöjen hallinnan kehittyminen. Havaitut radionuklidit eivät oleellisesti poikkea ympäristössä aiempina vuosina havaituista voimalaitosperäisistä nuklideista ja lisäksi meriympäristössä havaittiin samoja nuklideja kuin voimalaitokset olivat raportoineet ympäristöön päässeen.

Ympäristössä havaittujen radioaktiivisten aineiden määrät olivat niin pieniä, että niillä ei ole merkitystä ympäristön eikä ihmisten säteilyaltistukseen. Voimalaitoksien ympäristön asukkaissa ei mittauksissa havaittu voimalaitoksilta peräisin olevia radioaktiivisia aineita. Päästöjen perusteella laskettu säteilyannos ympäristön eniten altistuneelle yksilölle sekä Loviisan että Olkiluodon ydinlaitosten ympäristössä vuonna 2023 oli alle 1 % ydinenergia-asetuksessa (161/1988) asetetusta rajoituksesta, joka on 0,1 millisievertiä (Marttila, 2024).

Ulkoilmasta vuosihuoltojen yhteydessä kerätyissä hiukkasnäytteissä havaittu Cs-137 pitoisuus vastaa muualla Suomessa kerätyissä näytteissä havaittavaa, pääasiassa Tšernobylin ydinonnettomuuden laskeumasta peräisin olevan Cs-137:n pitoisuutta. Maaympäristön näytteissä havaittava Cs-137:n ja Sr-90:n määrä ei eroa merkittävästi muualla Suomessa kerätyistä vastaavista näytteistä ja erot eri näytteiden Cs-137 pitoisuuksissa laitospaikkojen välillä on selitettävissä alueellisilla eroilla Tšernobylin ydinonnettomuuden laskeumassa. Näytteissä havaitut Cs-137:n ja Sr-90:n määrät eivät myöskään eroa aiempina vuosina voimalaitosten lähialueen maaympäristön näytteissä havaituista määristä. Laitosten lähialueilta kerättyjen näytteiden C-14 pitoisuudet vastaavat muualta Suomesta kerättyjen vertailunäytteiden pitoisuuksia. STUKin keräämissä maaympäristön näytteissä ei vuonna 2023 havaittu muita mahdollisesti voimalaitoksesta peräisin olevia radionuklideja.

Luvanhaltijoiden tutkimista maaympäristön näytteistä havaitut Cs-137:n pitoisuudet vastaavat STUKin omassa valvonnassaan havaitsemia pitoisuuksia. Loviisassa voimalaitosalueen jätevedenpuhdistamon lietteestä ja Olkiluodossa kaatopaikan valumavedestä voitiin havaita vähäisiä määriä voimalaitosperäisiä radionuklideja. Luvanhaltijoiden maaympäristön näytteissä havaitsemat Cs-137:n pitoisuudet vastaavat myös muualla Suomessa ympäristönäytteissä havaittavaa, pääasiassa Tšernobylin ydinonnettomuuden laskeumasta peräisin olevan Cs-137:n pitoisuuksia.

Luvanhaltijoiden ottamien merivesinäytteiden analyysitulokset vastasivat STUKin ottamien näytteiden tuloksia.

STUKin suorittaman ydinlaitosten ympäristövalvonnan havainnot vastaavat luvanhaltijoiden suorittaman ympäristövalvonnan havainnoita.

8 Viitteet

Fortum Power and Heat Oy (2024), Loviisan voimalaitoksen ympäristön säteilyturvallisuuden vuosiraportti 2023.

HELCOM (2018), Thematic assessment of the radioactive substances in the Baltic Sea, 2011 – 2015. Baltic Sea Environment Proceedings No. 151.

HELCOM (2022), HELCOM Core Indicator: Radioactive substances: Caesium-137 in fish and surface seawater, <https://indicators.helcom.fi/indicator/radioactive-substances/>

IAEA (2005), Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection: safety guide, IAEA Safety series standards series No. RS-G-1.8, International Atomic Energy Agency, Wien, Itävalta.

Kostiainen, E. ja Ylipieti, J. (2010), Radioaktiivinen cesium Suomen ruokasienissä, STUK-A 240. Helsinki, Säteilyturvakeskus.

Mattila A. ja Inkinen S. (toim.) (2023), Ympäristön säteilyvalvonta Suomessa: Vuosiraportti 2022, STUK-B 304. Helsinki, Säteilyturvakeskus.

Siiskonen, T. (toim.) (2020), Suomalaisten keskimääräinen efektiivinen annos vuonna 2018, STUK-A 263. Helsinki, Säteilyturvakeskus.

TVO Teollisuuden Voima Oyj (2024), Olkiluodon ydinvoimalaitoksen ympäristön säteilyturvallisuuden vuosiraportti 2023.

Marttila, J. (toim.) (2024) Ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta: Vuosiraportti 2023, STUK-B 315. Helsinki, Säteilyturvakeskus.

9 Liitteet

- Liite 1** Ydinvoimalaitosten ympäristössä yleisimmin havaittavat radionuklidit
- Liite 2** Vähimmäisvaatimus luvanhaltijan tekemästä ydinvoimalaitoksen ympäristön säteily-valvontaohjelmasta (YVL C.7 ohje)
- Liite 3** STUKin valvontanäytteiden hankinta-aikataulu
- Liite 4** Perifytonnäytteiden valvontamittausten tulokset

LIITE 1

Ydinvoimalaitosten ympäristössä yleisimmin havaittavat radionuklidit

Nuklidi	Puoliintumisaika	Yleisin alkuperä ympäristönäytteissä	Esiintyminen ympäristönvalvonnassa
Tritium H-3	12,2 vuotta	Voimalaitoksen päästöt ja 50- ja 60-lukujen ydinasekokeet	Vesinäytteet (maa- ja meriympäristö)
Be-7 beryllium	53 päivää	Syntyy yläilmakehässä kosmisen säteilyn vaikutuksesta sekä voimaloissa (erityisesti OL3) primääripiirissä litiumin aktivoitumisesta.	OL3:lla litiumiin perustuva primääripiirin kemia, jolloin litiumista aktivoituu Be-7. Voi näkyä vesipäästöissä, jos puhdistusjärjestelmä ei toimi kunnolla.
C-14 hiili	5700 vuotta	Kosminen (luonnossa muutenkin esiintyvä) tai voimalaitosperäinen	C-14 voimalaitokselta kaasumaisessa muodossa (CO ₂ tai CH ₄), voi päätyä kasveihin fotosynteesin yhteydessä (jos CO ₂ päästö).
K-40 kalium	1.248×10 ⁹ vuotta	Luonnon radioaktiivinen aine	
Cr-51 kromi	27,7 vuotta	Voimalaitoksen päästöt	Ilma- ja meriympäristö
Mn-54 mangaani	312 päivää	Voimalaitoksen päästöt	Ilma- ja meriympäristö
Co-58, Co-60, koboltti	70 päivää 5,3 vuotta	Voimalaitoksen päästöt	Ilma- ja meriympäristö
Sr-89, Sr-90 strontium	51 päivää 28,8 vuotta	Voimalaitoksen päästöt. Sr-90 ympäristönäytteissä myös peräisin 1950-1960-lukujen ydinasekokeista	Meri- ja maaympäristössä
Ru-103 Ru-106 rutenium	39 päivää 372 päivää	Voimalaitoksen, tai muun ydinlaitoksen päästöt	Ilmanäytteissä
Ag-110m hopea	250 päivää	Voimalaitoksen päästöt	Ilma- ja meriympäristö
Sb-124 antimoni	60 päivää	Voimalaitoksen päästöt	Ilma- ja meriympäristö
I-131 jodi	8 päivää	Voimalaitoksen päästöt, käytössä myös sairaaloiden isotooppihoidoissa	Voidaan joskus havaita ilma- ja meriympäristön näytteiden valvonnassa, tutkitaan erikseen myös maidosta (ei havaintoja). Havaitaan myös vedenpuhdistamoiden lietenäytteistä, joihin jodia päätyy pääasiassa lääketieteellisen käytön seurauksena.
Cs-134, Cs-137 cesium	2,1 a 30 a	Cs-137 ympäristönäytteissä enimmäkseen peräisin Tšernobylin laskeumasta,	Maa- ja meriympäristö

LIITE 1

YDINVOIMALAITOSTEN YMPÄRISTÖSSÄ YLEISIMMIN HAVAITTAVAT RADIONUKLIDIT

		Cs-134 lyhytikäisempi fissionuote ja peräisin voimalaitoksen päästöistä	
Ce-141 Ce-144 cerium	33 päivää 284 päivää	Voimalaitoksen päästöt	Ilma- ja meriympäristö
Pu-238, Pu-239 Pu-240 plutonium	87,7 vuotta 24110 vuotta 6561 vuotta	Ympäristövalvonnassa näkyy pieniä pitoisuuksia, jotka ovat peräisin 1950–1960-lukujen ydinasekohteista	Sedimenteissä ja sedimentoituvassa aineksessa

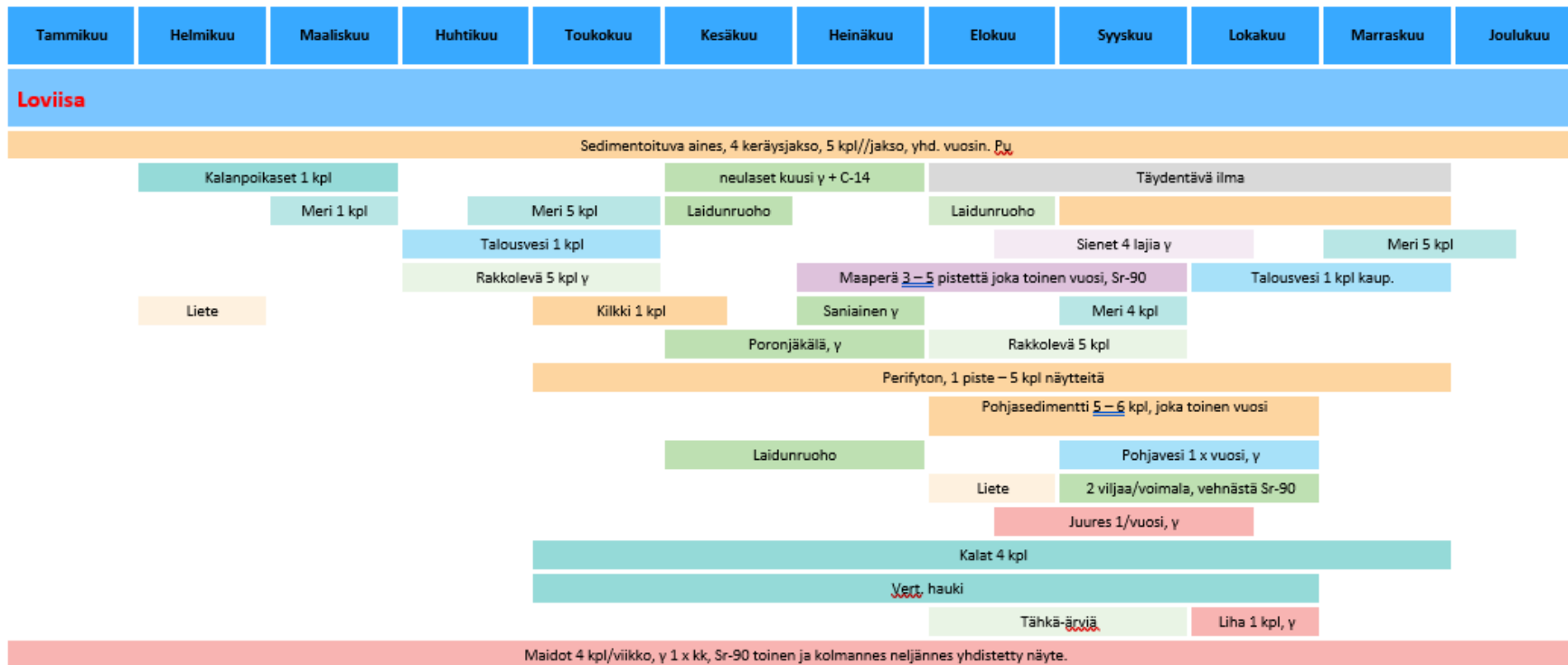
LIITE 2

Vähimmäisvaatimus luvanhaltijan tekemästä ydinvoimalaitoksen ympäristön säteilyvalvontaohjelmasta (YVL C.7 ohje)

Valvontakohte	Mittauslaitteistojen tai näytteiden lukumäärä sekä mittaus- tai näytteenottoaikat	Keräysfrekvenssi (lkm/aika)	Analyysi ja frekvenssi
B01. Ulkoisen säteily	Ulkoisen säteilyn annosnopeuden mittausasemia voimalaitosalueella (tai sen läheisyydessä) ja sen ulkopuolella n. 5 km:n etäisyydellä voimalaitoksesta	—	Jatkuva mittaus ja sen taltiointi
B02. Ulkoisen säteily	10–20 dosimetriasemaa sijoitettuna tasaisesti tärkeimpiin suuntiin voimalaitokselta 1–10 km:n etäisyydelle	Jatkuva keräys, dosimetrien vaihto 4 krt/vuosi	Gamma-annos 4 krt/vuosi
B03. Ilmassa hiukkasmuodossa olevat radioaktiiviset aineet ja jodi	4–5 ilmanäytteenkerääjää sijoitettuna voimalaitokselta 1–10 km:n etäisyydelle	Jatkuva keräys, suodattimet vaihdetaan 2 krt/kk, paitsi vuosihuoltojen aikana lähimmästä kerääjästä 1 krt/vko	Gammasäteilijät 2 krt/kk (1/vko)
B04. Laskeuma	3–5 sadevedenkerääjää sijoitettuna voimalaitokselta 1–10 km:n etäisyydelle	Jatkuva keräys, vaihto lähimmästä kerääjästä 1 krt/kk ja muista 4 krt/vuosi	Gammasäteilijät ja ³ H lähimmästä kerääjästä 1 krt/kk, muut gammasäteilijät ja ³ H 4 krt/vuosi.
B05. Maaympäristön indikaattori-organismit	Vähintään yksi indikaattorilaji, joka rikastaa radionuklideja	1–2 krt/vuosi	Gammasäteilijät 1–2 krt/vuosi
B06. Puutarhatuotteet	1–10 km:n etäisyydeltä voimalaitoksesta vähintään 1 laji	1–2 krt/vuosi	Gammasäteilijät 1–2 krt/vuosi
B07. Talousvesi	Voimalaitokselta	4 krt/vuosi	Gammasäteilijät ja ³ H 4 krt/vuosi
B08. Merivesi tai järvivesi riippuen laitospaikasta	Vähintään yhdestä paikasta purkuaukon läheisyydestä	2–4 krt/vuosi	Gammasäteilijät sekä ³ H lähimmästä pisteestä 4 krt/vuosi
B09. Erityiskohteita	Tarvittaessa voidaan valita valvontakohteiksi ydinvoimalaitoksen ympäristössä olevia erityiskohteita, joilla voi olla merkitystä ympäristön, eliöstön tai ihmisten säteilyaltistukseen. Erityiskohteista voivat olla esimerkiksi voimalaitosalueella olevan kaatopaikan valumavedet, jäteveden puhdistamon vedet sekä kasvatettavat ja viljeltävät tuotteet ydinlaitoksen läheisyydessä (esim. voimalaitoksen hukkalämmön hyötykäyttö elintarvikkeiden tuotannossa).		

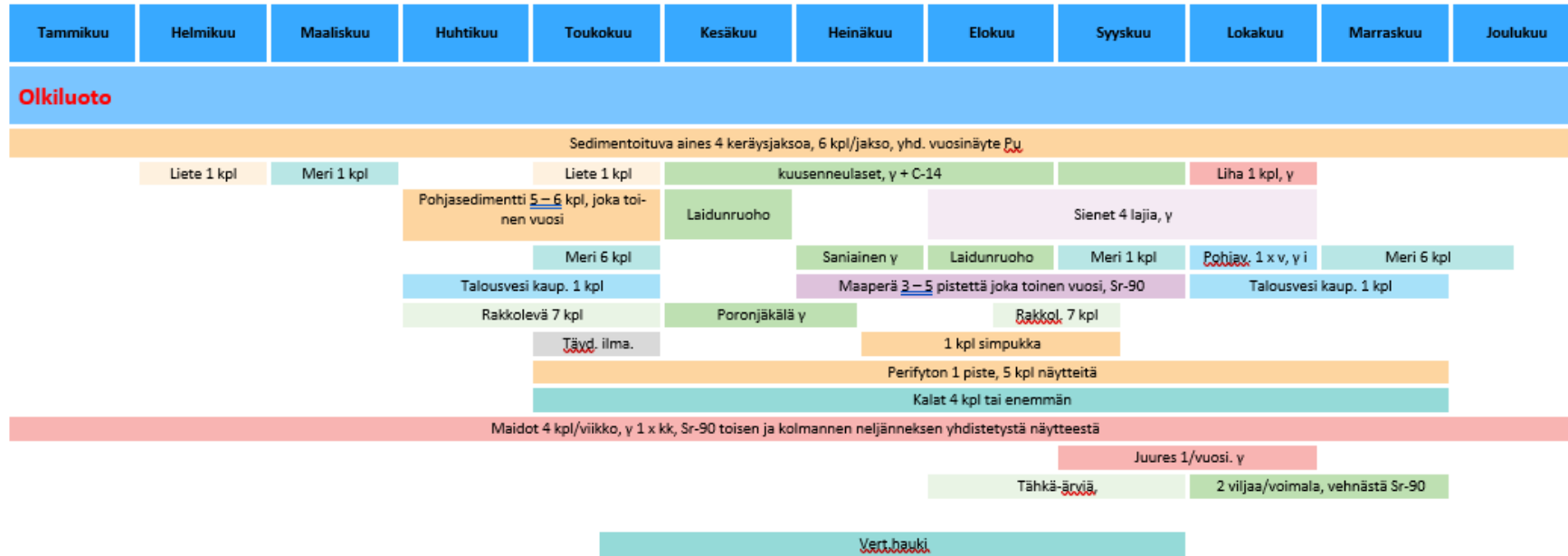
LIITE 3

STUKin valvontanäytteiden hankinta-aikataulu



LIITE 3

STUKIN VALVONTANÄYTTTEIDEN HANKINTA-AIKATAULU



STUKin valvontanäytteiden hankinta-aikataulusuunnitelma.

LIITE 4

Perifytonnäytteiden valvontamittausten tulokset

Taulukko 22. Loviisan perifytonnäytteiden valvontamittausten tulokset vuonna 2023.

Keräys-jakso	Be-7 Bq/kg	2 σ	K-40 Bq/kg	2 σ	Co-60 Bq/kg	2 σ	Ag-110m Bq/kg	2 σ	Cs-137 Bq/kg	2 σ
17.11.2022-25.4.2023	780	9 %	420	10 %	<0,42		<0,57		67	7 %
17.11.2022-25.4.2023*	670	9 %	410	10 %	<0,46		<0,67		63	7 %
25.4.-17.5.2023	310	7 %	530	10 %	<0,61		<0,72		79	7 %
17.5.-15.6.2023	140	8 %	850	11 %	<0,46		0,79	16 %	42	9 %
15.6.-19.7.2023	260	8 %	430	11 %	<0,46		<0,54		39	9 %
19.7.-17.8.2023	330	8 %	420	12 %	1,9	19 %	1,7	30 %	45	7 %
17.8.-15.9.2023	330	8 %	430	12 %	<1,4		6,1	21 %	50	8 %
15.9.-9.11.2023	470	8 %	390	11 %	<0,53		1,3	30 %	80	9 %

*Laaduntarkkailunäyte

LIITE 4

PERIFYTONNÄYTTEIDEN VALVONTAMITTAUSTEN TULOKSET

Taulukko 23. Olkiluodon perifytonnäytteiden valvontamittausten tulokset vuonna 2023.

Keräysjakso	Be-7 Bq/kg	2σ	K-40 Bq/kg	2σ	Mn-54 Bq/kg	2σ	Co-58 Bq/kg	2σ	Co-60 Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ
20.4.-11.5.	120	10 %	540	13 %	7,5	11 %	4,6	12 %	11	13 %	69	7 %
11.5.-8.6.	110	10 %	550	11 %	2,1	22 %	<0,87		5,5	11 %	68	7 %
8.6.-29.6.	140	9 %	640	10 %	2,4	19 %	<0,73		10	11 %	53	7 %
29.6.-12.7.	210	8 %	540	12 %	<0,63		<0,60		1,5	22 %	61	7 %
12.7.-24.8.	270	10 %	610	11 %	<1,7		<1,9		<1,7		30	11 %
24.8.-31.10.*	13	10 %	66	11 %	<0,11		<0,12		0,14	29 %	3,9	7 %

*Näytteessä oli runsaasti merirokkoa, eikä juuri muuta kasvustoa, tästä syystä tulos on poikkeava.