



BOORIANALYSAATTORILAITTEISTOON KIINTEÄSTI ASENNETUN UMPI- LÄHTEEN KÄYTTÖIÄN JATKAMISEN MAHDOLLISUUDET

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikka

2022

Axel Kämppe

Tarkastaja: TkT Elina Hujala

Ohjaajat: TkT Elina Hujala, FM Julia Viljanmaa

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Axel Kämppi

Boorianalyssaattorilaitteistoon kiinteästi asennetun umpilähteen käyttöön jatkamisen mahdollisuudet

Energiatekniikan kandidaatintyö

2022

30 sivua, 2 kuvaa, 3 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastaja: TkT Elina Hujala

Ohjaajat: TkT Elina Hujala, FM Julia Viljanmaa

Avainsanat: umpilähde, neutroniumpilähde, neutronisäteily, ydinvoimala, boorianalyssaattori, boorihappo, boori.

Työssä tutkitaan Loviisan voimalaitoksella olevien boorianalyssaattorien neutroniumpilähteen suositellun käyttöön jatkamahdollisuuksia, sillä niiden suositeltu käyttöikä on loppunut. Työssä pyritään selvittämään paras menettelytapa boorianalyssaattorin neutroniumpilähteen suositellun käyttöön pidentämiseen. Ongelmaa käsitellään pääasiassa säteilyturvallisuuden ja kustannusten näkökulmasta. Työ suoritettiin Loviisan voimalaitoksen säteilysuojeluorganisaatiolle.

Ensisijaisena vaihtoehtona käsitellään neutroniumpilähteen suositellun käyttöön pidentämistä tekemällä sille tiiveyden tarkastus. Tiiveyden tarkastuksen käsittely on jaettu kolmeen eri menettelytapaan, jossa kahdessa analyssaattorilaitteistoa joudutaan purkamaan joko osittain tai kokonaan ja yhdessä analyssaattoria ei pureta. Toissijaisena vaihtoehtona on umpilähteen vaihto, mitä verrataan tiiveyden tarkastuksen suorittamiseen säteilyturvallisuus- ja kustannusnäkökulmat huomioon ottaen.

Työssä todettiin, että kustannustehokkain ja säteilysuojelullisesti turvallisin menetelmä on ottaa pyyhkäisynäyte purkamattomasta analyssaattorista. Pyyhkäisynäytteen ja muiden tukkien perusteiden avulla voidaan todeta analyssaattorin neutroniumpilähteen olevan tiivis. Analyssaattoriyksikön purusta koituisi työntekijöille suuret säteilyannokset, mikä ei olisi ALARA-periaatteen mukaista.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Energy Technology

Axel Kämppi

Possibilities of continuing use of a permanently installed sealed radioactive source in boron analyzer

Bachelor's thesis

2022

30 pages, 2 figures, 3 tables and 1 appendix

Examiner: D.Sc. Elina Hujala

Supervisor: D.Sc. Elina Hujala, M.Sc. Julia Viljanmaa

Keywords: sealed radioactive source, neutron source, neutron radiation, nuclear power plant, boron analyzer, boric acid, boron.

This thesis examines possibilities of continuing the recommended working life of boron analyzer's sealed neutron sources at the Loviisa power plant, as their recommended working life has expired. The thesis aims to investigate best procedure to extend the recommended working life of the boron analyzer's neutron sources. The problem is mainly addressed from perspectives of radiation safety and cost effectiveness. The thesis was carried out for the Radiation Protection Organization of the Loviisa power plant.

The primary option is to extend the recommended working life of the neutron source by making a leak test. The leak test inspection is divided into three different procedures, where in two of the procedures the analyzer must be dismantled either partly or completely and in one of the procedures the analyzer will not be dismantled. A secondary option is replacing the sealed neutron source with a new one. The secondary option is compared to the leak test by considering the perspectives of radiation safety and cost effectiveness.

In the thesis it was discovered that the most cost effective and safest method from the perspective of radiation protection is to take a swipe sample from a non-dismantled analyzer. With the swipe sample and other supporting facts can be concluded that the neutron source of the analyzer is leak tight. The dismantling of the analyzer would result in large radiation doses, which would not be in line with the ALARA principle.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Kreikkalaiset

γ	gammasäteilyn annosnopeus	[mSv/h]
ε_s	lähteen efektiivisyys	[-]
ε_i	ilmaisimen havaitsemisherkkyys	[-]

Lyhenteet

ALARA	As Low As Reasonable Achievable (Säteilysuojelun optimointiperiaate)
IAEA	International Atomic Energy Agency (Kansainvälinen atomienergiajärjestö)
ISO	International Organization for Standardization (Kansainvälinen standardijärjestö)
RWL	Recommended Working Life (Suositeltu käyttöikä)
STUK	Säteilyturvakeskus
VVER	Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reaktor (Vesi-vesi-energiareaktori)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	8
1.1	Ydinreaktion hallinta.....	8
1.2	Boorin merkitys reaktorin toimintaan	8
1.3	Tutkimuksen lähtökohdat ja tausta.....	9
2	Säteily ja sen suureita	10
2.1	Ionisoiva säteily	10
2.2	Hiukkassäteily, sähkömagneettinen säteily ja neutronisäteily	10
2.3	Säteilyannos, -annosnopeus ja kontaminaatio.....	11
3	Säteilylähteet	12
3.1	Neutronilähde	12
3.2	Umpilähde	12
3.2.1	Umpilähteen rakenne	13
3.3	Umpilähteen suositeltu käyttöikä.....	15
3.4	Lainsäädäntö Suomessa umpilähteen käyttäjästä	15
3.5	Lainsäädäntö umpilähteen käytöstä poistosta	16
4	Umpilähteen tiiveyden tarkastus	17
4.1	Tiiveyden tarkastuksen lainsäädäntö.....	17
4.2	Boorianalysointilaitteen huollon turvallisuuslupa	18
4.3	Tiiveyden tarkastamiseen liittyvät standardit.....	18
4.4	Tiiveyden tarkastus vaihtoehto 1: Laitteistoa ei pureta.....	19
4.5	Tiiveyden tarkastus vaihtoehto 2: Laitteistoa puretaan osittain	20
4.6	Tiiveyden tarkastus vaihtoehto 3: Laitteisto puretaan kokonaan	20
4.7	Tiiveyden tarkastus vaihtoehtoja 1 ja 2 puoltavat tekijät.....	20
4.7.1	ALARA-periaate.....	20
4.7.2	Ympäristöolosuhteet	23
4.7.3	Kontaminaatiovuodon vakavuus.....	23
4.8	Analysointilaitteistojen tarvittava käyttöaika.....	24
4.9	Vaihtoehtojen kustannustehokkuus.....	24
5	Johtopäätökset	26

6 Yhteenveto.....	28
Lähteet	29

Liitteet

LIITE 1. Mittauspöytäkirja

1 Johdanto

Monikansallisen hankkeen tuloksena 1980-luvun vaihteessa käyttöönotettu Loviisan ydinvoimalaitos on Suomen ensimmäinen ydinvoimakäyttöinen voimalaitos. Laitosyksikkö koostuu kahdesta lähes identtisesti rakennetusta VVER-440 tyyppisestä painevesireaktorista. Käyttöhistorian aikana tehtyjen tehonkorotusten jälkeen laitosyksiköiden yhteenlaskettu sähköteho on nykyään reilu 1000 MWe. Laitosten vuosituotanto on yli 8 TWh, joka vuonna 2021 oli yli 10 prosenttia Suomessa tuotetusta sähköstä. (Fortum, 2022a.) Loviisan voimalaitos tuottaa merkittävän osan Suomen sähköstä, joten sen tehontuotantoa on ylläpidettävä sen vanhetessa.

1.1 Ydinreaktion hallinta

Ydinvoimalan tehontuotanto pohjautuu yleisesti käytetyn ^{235}U -isotoopin ydinten halkeamisesta eli fissioista aiheutuvaan ketjureaktioon. Reaktioketjussa ^{235}U -yttimeen törmäävä neutroni aiheuttaa ^{235}U -ytimen hajoamisen, samalla vapauttaen energiaa ja keskimäärin 2,4 neutronia. Osa reaktiossa vapautuneista neutroneista aiheuttaa uusia fissiota jatkaen ketjureaktiota. (Kalli, 2012, s. 2.) Reaktioketjua on kuitenkin pystyttävä hallitsemaan, jos ydinvoimalan lämpötehoa halutaan säätää tai pitää vakaana. Ketjureaktio on myös saatava kokonaan lopetettua vuosittain tehtävien huoltojen ajaksi. Tämä saavutetaan kaappaamalla neutroneja toiseen aineeseen, vähentäen tai kokonaan lopettaen uusien fissioiden syntyminen (Kalli, 2012, s. 60).

1.2 Boorin merkitys reaktorin toimintaan

Boori on erinomainen aine reaktorin tehonsäätötarkoituksiin sen suuren neutronien absorptiokyvyn vuoksi. Loviisan VVER-440 painevesireaktorien säätö on toteutettu booriteräksestä koostuvien säätösauvojen sekä jäähdytteeseen liuotetun boorihapon avulla. Säätösauvoilla ohjataan pääasiassa reaktorin nopeaa tehonsäätöä, mutta jos halutaan varmistua reaktorin alikriittisyydestä esimerkiksi vuosihuoltoseisokkien aikaan, muutetaan jäähdytteeseen liuotettavan boorihapon pitoisuutta. Jäähdytteeseen liuotetun boorihapon avulla

kompensoidaan myös polttoaineen palamaa eli polttoaineen tuotettua lämpöenergiaa suhteessa polttoaineen massaan. Säätosauvoja ja boorihappojärjestelmiä käytetään tehonsäädön lisäksi onnettomuuden sattuessa reaktorin äkilliseen pysäytykseen (Eurasto Tapani et al, 2003, s. 46–47, 58, 84.) Boorihappojärjestelmien ja säätosauvojen toimivuus on siis taattava ydinvoimalaitoksen toimivuuden ja turvallisuuden ylläpitämiseksi.

1.3 Tutkimuksen lähtökohdat ja tausta

Loviisan voimalaitoksella boorihappopitoisuutta monitoroidaan ja säädetään eri menetelmin riippuen järjestelmän sijainnista ja käyttötarkoituksesta. Tällaisia järjestelmiä löytyy kummaltakin laitossyksiköltä, joiden avulla mitataan liuotetun boorihapon pitoisuutta.

Järjestelmien vanhetessa niiden komponentit alkavat ikääntymään ja nyt vastaan on tullut laitteiston neutroniumpilähteen sertifiikatissa määritellyn suositellun käyttöiän (RWL) ylityminen. Sertifiikatissa määritetyllä käyttöiällä tarkoitetaan valmistajan takaamaa aikaa umpilähteen tiiveyden säilymisestä suunnitelluissa käyttöolosuhteissa. Laitteistojen sisältämien umpilähteen suositeltua käyttöikää on mahdollista jatkaa tekemällä lähteille tiiveyden tarkastus kontaminaatiovuodon varalta. Jos tiiveyttä ei ole mahdollista osoittaa, täytyy umpilähde vaihtaa uuteen.

Loviisan voimalaitoksella tämä on uusi haaste, sillä boorianalysointilaitteiden umpilähteen suositeltua käyttöikää ei ole vielä kertaakaan Loviisan voimalaitoksella jatkettu. Lähteen tiiveyden osoittaminen viranomaisten vaatimusten mukaisella tavalla on myös itsessään suuri haaste, jos halutaan noudattaa ALARA-periaatetta. ALARA-periaatteella tarkoitetaan säteilyannosta optimoivaa periaatetta, jonka mukaan säteilyaltistus tulisi olla niin pieni kuin kohtuudella on mahdollista saavuttaa (STUK, 2022d). Tässä työssä etsitään vastausta kysymykseen, kuinka jatkaa boorianalysointilaitteiston umpilähteen käyttöikää sekä viranomaisvaatimukset että ALARA-periaatteen täyttävällä tavalla. Työssä verrataan myös mahdollisten menetelmien kustannustehokkuuksia ja niiden eroja vaihtoehtoisena ratkaisuna pidettävään umpilähteen vaihtoon.

2 Säteily ja sen suureita

Luonnossa esiintyy monentyypistä säteilyä ja ne erotellaan vähempienergiseen ionisoimattomaan säteilyyn, sekä suurempienergiseen ionisoivaan säteilyyn. Erottelu säteilylajien välillä tapahtuu sen perusteella, onko säteily tarpeeksi energiatiheää irrottamaan atomista elektroneja tai rikkomaan molekyyliä. Ionisoimaton säteily on matalaenergistä sähkömagneettista aaltoliikettä, ja sitä lähettävät esimerkiksi matkapuhelimet ja radiot. (STUK, 2022a.) Ydinvoimalaympäristössä taas esiintyy ionisoivaa säteilyä, joka on peräisin reaktorin neutronisäteilyn seurauksena aktivoituneista radioaktiivisista nuklideista.

2.1 Ionisoiva säteily

Ionisoivaa säteilyä syntyy, kun atomin virittynyt eli radioaktiivinen ydin hajoaa spontaanisti vapauttaen jonkin hiukkasen ja energiaa (STUK, 2022b). Radioaktiivisia nuklideja esiintyy luonnossa tai niitä voi syntyä esimerkiksi fissiossa eli raskaan atominytimen halkeamisessa. Radioaktiivisten hajoamisten määrää jossakin aineessa eli aineen aktiivisuutta kuvastaa yksikkö becquerel [Bq] (STUK, 2022b). Yksi becquerel ilmaisee, että tietyssä määrässä ainetta tapahtuu yksi radioaktiivinen hajoaminen sekunnissa (STUK, 2022b). Mitä suurempi aktiivisuus aineella on, sitä enemmän vapautuu säteilyä lähettäviä hiukkaisia. Ionisoiva säteily voidaan luokitella hiukkassäteilyksi tai sähkömagneettiseksi säteilyksi riippuen siitä, miten säteily siirtää energiansa.

2.2 Hiukkassäteily, sähkömagneettinen säteily ja neutronisäteily

Sähkömagneettinen säteily jaetaan gamma- ja röntgensäteilyyn, jotka ionisoivat välillisesti eli ne eivät suoraan aiheuta säteilyä. Säteily aiheutuu, kun sähkömagneettisen säteilyn fotonit reagoi vastaan tulevan atomin ytimen, elektronikentän tai ydinvoimien aiheuttaman kentän kanssa. Ionisoivassa hiukkassäteilyssä taas säteilyn aiheuttaa radioaktiivisen hajoamisen yhteydessä vapautuva suurienerginen hiukkanen. Ionisoivaa hiukkassäteilyä ovat muun muassa alfa-, beeta- ja neutronisäteily. (Ikäheimonen, 2002a, s. 12, 38–50.) Hiukkassäteilyn ominaisuudet vaihtelevat sen lähettämän hiukkasen mukaan. Alfasäteily on hyvin

voimakkaasti ionisoivaa, mutta sen jarruuntuminen on hyvin suurta (Ikäheimonen, 2002a, s. 39–40). Alfahiukkanen ei suurella todennäköisyydellä läpäise paperinpalaa. Beetasäteily on taas alfasäteilyä vähemmän ionisoivaa, mutta sen jarruuntuminen on vähäisempää, ja siten se läpäisee väliaineita alfasäteilyä paremmin (Ikäheimonen, 2002a, s. 40–41).

Neutronisäteily on hiukkassäteilyä, mutta sen lähettämät varauksettomat neutronit ovat välillisesti ionisoivia sähkömagneettisen säteilyn tavoin. Neutronit reagoivat kohtaamansa aineen atomien ydinten kanssa aiheuttaen erilaisia ydinreaktioita ja mahdollisesti fissioita. Näistä reaktioista voi vapautua protoneja, alfahiukkasia, gammakvantteja tai neutroneja, jotka taas aiheuttavat alfa-, beeta- tai gammasäteilyä. Neutronisäteily on muista hiukkassäteilyn lajeista poiketen hyvin väliainetta läpäisevää. Ydinvoimalassa neutronisäteilyä aiheutuu reaktorissa tapahtuvista fissioreaktioista. (Ikäheimonen, 2002a, s. 12, 49–51.)

2.3 Säteilyannos, -annosnopeus ja kontaminaatio

Yleisesti säteilyä mitattaessa puhutaan saadusta säteilyannoksesta, säteilyn annosnopeudesta ja kontaminaatiosta. Säteilyannoksen laskennassa otetaan huomioon säteilylaji ja energia sekä säteilylle altistuneen kehonosan painotuskerroin. Säteilyannoksella pystytään arvioimaan säteilyn aiheuttamaa terveydellistä vaikutusta tietyssä kehon elimessä tai koko kehossa. Säteilyannoksen yksikkö on sievert [Sv], joka on hyvin suuri yksikkö ja siksi se yleisesti ilmaistaan milli- tai mikrosieverttinä. Toisinaan saatetaan puhua kollektiivisesta säteilyannoksesta [manSv], jolla tarkoitetaan usealle henkilölle kertynyttä yhteenlaskettua säteilyannosta. Annosnopeudella tarkoitetaan tietyssä ajassa kertyvää säteilyannosta. Annosnopeuden yksikkö on sievertiä tunnissa [Sv/h], joka yleisimmin ilmaistaan yksikössä milli- tai mikrosievertiä tunnissa. (Ikäheimonen, 2002b, s. 76–90.) Usein puhutaan myös kontaminaatiosta eli radioaktiivisesta saasteesta tai ei-toivotusta radioaktiivisesta aineesta jollakin pinnalla (STUK, 2022c). Kontaminaatiota voidaan mitata pintakontaminaatiomittareilla, jotka kertovat tuloksen yleensä yksikössä becquereliä neliösentissä [Bq/cm²]. Ydinvoimalassa käsitteet säteilyannos, annosnopeus ja kontaminaatio ovat osa jokaista valvonta-alueella suoritettavaa työtehtävää. Boorianalysaattorin tapauksessa on otettava huomioon, että laitteiston umpilähde säteilee paljon, eli on pystyttävä mittaamaan annosnopeus. Umpilähteen vuotaessa ja tehtäessä sille tiiveyden tarkastusta on pystyttävä mittaamaan kontaminaatiota.

3 Säteilylähteet

Suomen säteilylain (859/2018) ensimmäisen luvun 4 §:n kohdan 22 mukaan säteilylähteellä tarkoitetaan ”säteilylaitetta sekä radioaktiivista ainetta, jota käytetään sen radioaktiivisuuden vuoksi”. Säteilylähteet voidaan luokitella rakenteensa perusteella kolmeen eri kategoriaan, umpilähteisiin, avolähteisiin ja säteilylaitteisiin. Avolähde on nimensä mukaisesti avoin eli kontaminaation leviämistä ympäristöön ei ole estetty millään tavalla. Umpilähteessä radioaktiivinen materiaali on suojattu kuorella, joka estää kontaminaation leviämisen ympäristöön. Säteilylaitteella säteily tuotetaan sähkövirran tai radioaktiivisen aineen avulla. (Finlex, 2018)

3.1 Neutronilähde

Neutronilähteellä tarkoitetaan mitä tahansa neutroneita emittoivaa materiaalia (U.S.NRC, 2021). Neutronilähteiden toiminta perustuu useimmiten (α , n)-reaktioon, eli alfahiukkasen avulla tuotetaan neutroni. Yleinen tapa tuottaa kyseinen reaktio on sekoittaa alfasäteilijää ja berylliumia homogeeniseksi seokseksi. Tällöin saadaan aikaan neutroneita tuottava reaktio:



jossa berylliumatomi muuttuu hiiliatomiksi. Amerikium sopii hyvin käytettäväksi neutronilähteiden alfasäteilijänä, sillä sen puoliintumisaika on 432,7 vuotta. (Väisänen, 2002, s. 267–268.) Neutronilähteet ovat yleensä rakenteeltaan umpilähteitä.

3.2 Umpilähde

Umpilähteen on oltava tiivis ja pinnaltaan riittävän puhdas, jotta sen käyttöturvallisuus voidaan taata (Väisänen, 2002, s. 264). Umpilähteen radioaktiivista materiaalia ympäröivän kuoren valmistus on toteutettava huolella, joten valmistustekniikka ja suojakuoren materiaali on valittava tarkkaan parhaan mahdollisen kestävyuden takaamiseksi. Umpilähteiden on täytettävä standardien ISO 2919 ja ISO 9978 mukaiset rakenteelliset ja puhtausvaatimukset (Väisänen, 2002, s. 264). Itse radioaktiivisen materiaalin valinnassa on myös otettava

huomioon materiaalin liukoisuus (Väisänen, 2002, s. 264). Kontaminaation leviämisen kannalta materiaalin on hyvä olla mahdollisimman vähän liukeneva (Väisänen, 2002, s. 264). Kuva 1 havainnollistaa, miltä umpilähteet yleisesti näyttävät.

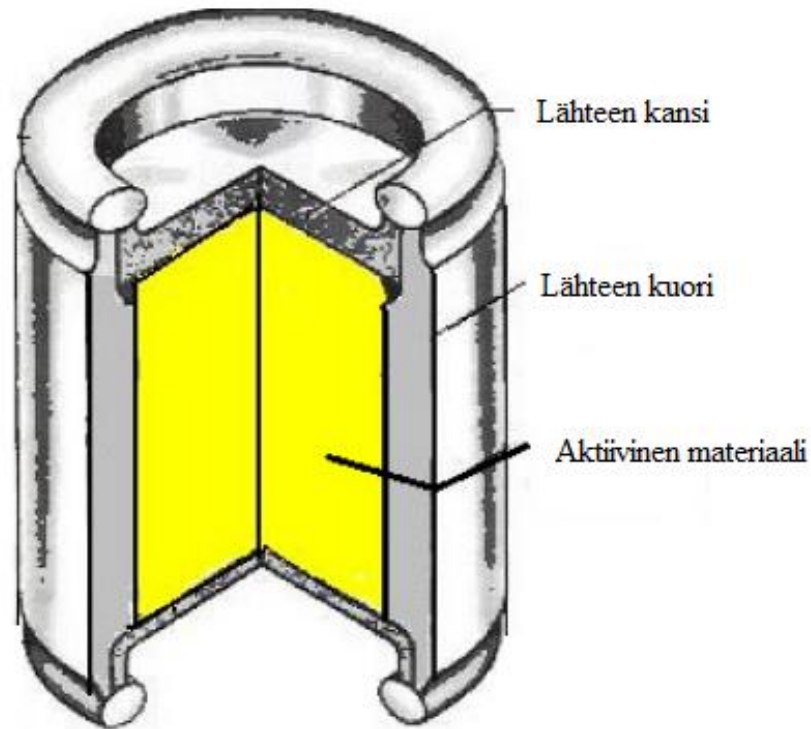


Kuva 1. Erilaisia umpilähteitä (ORS, 2017, s. 6).

3.2.1 Umpilähteen rakenne

Umpilähteet ovat usein pienikokoisia sylinterin muotoisia kapseleita, joiden halkaisija vaihtelee tyypillisesti 1–30 mm välillä. Sylinterigeometriaa käytetään yleisesti, koska se tekee suo- jakuoren hitsaamisesta helpompaa. Sylinterigeometrian ansiosta on myös helpompi löytää kapselille sopivat korkit ja rungot, sillä putkiosia on laajasti saatavilla. Itse radioaktiivinen materiaali on myös helpompi asetella sylinterigeometrian ansiosta tasaisesti kapselin sisään tasaisen säteilykeilan takaamiseksi, esimerkiksi pelletin muodossa. Muitakin kuoren geometrioita käytetään, mutta ne eivät ole niin yleisiä. (IAEA, 2012, s. 13.) Umpilähteiden

rakenne kuitenkin vaihtelee radioaktiivisten aineen mukaan (Väisänen, 2002, s. 264). Kuvassa 2 on esitetty tyypillisen umpilähteen rakenne.



Kuva 2. Tyypillisen umpilähteen rakenne (Muokattu lähteestä: IAEA, 2012, s. 10).

Kuorimateriaalin on oltava käyttökohteeseen ja radioaktiiviseen lähdeaineeseen sopiva. Yleisesti käytettyjä materiaaleja ovat metallit ja eri teräkset, mutta myös lasia ja eksoottisempia metalleja on käytössä. Matala-aktiivista lähdeainetta käytettäessä on otettava huomioon suojakuoriaineen absorptiokyky. Tämä tulee erityisesti ottaa huomioon, kun kyseessä on alfalähde. Tyypillisiä heikosti absorboivia aineita ovat alumiini ja zirkonium. Korkea-aktiivista lähdeainettä käytettäessä radioaktiivisesta hajoamisesta aiheutuva lämpö kasvaa korkeammaksi, jolloin suojakuoren ominaisuuksissa korostuu korroosionkesto. Hyvin korroosiota kestäviä materiaaleja ovat ruostumaton teräs, titaani ja nikkelseokset. (IAEA, 2012, s. 14–18.)

3.3 Umpilähteen suositeltu käyttöikä

Umpilähteen suositellulla käyttöiällä (RWL) tarkoitetaan valmistajan lupaamaa aikaa, jonka ajan lähteen odotetaan säilyttävän tiiveytensä suunnitelluissa käyttöolosuhteissa. RWL:n määritelmä ei ole yksiselitteinen ja siitä voi esiintyä erinäköisiä tulkintoja. Tulkintoja umpilähteen käyttöiästä voivat olla:

1. Aika, jonka jälkeen katsotaan umpilähteen tiiveys riittämättömäksi estämään kontaminaation leviäminen.
2. Aika, jonka jälkeen umpilähteen aktiivisuus ei vastaa vaadittua arvoa.
3. Aika, jonka jälkeen umpilähde on tarkastettava käyttöiän jatkamiseksi.

Ei ole olemassa mitään yleistä maailmanlaajuista ISO-standardia umpilähteen suositellusta käyttöiästä, mutta eri tahot ovat kuitenkin tehneet omia määräyksiä käyttöiästä. Lähteiden valmistajat ovat myös tehneet omia ohjeita RWL:n päättymisen jälkeisistä toimenpiteistä. (IAEA, 2012, s. 25–27.) Suomessa umpilähteiden suositellusta käyttöiästä määräykset on tehnyt säteily- ja ydinturvallisuutta valvova viranomainen Säteilyturvakeskus (STUK). Kansainvälisellä atomienergiajärjestöllä (IAEA) on myös olemassa yleispätevä määräys käyttöikään liittyen.

3.4 Lainsäädäntö Suomessa umpilähteen käyttöiästä

Säteilylaissa (859/2018) on määritelty karkeasti umpilähteen toimintakuntoon ja käytettävyyteen liittyvät rajoitukset. STUK on kuitenkin tehnyt asiasta tarkentavat määräykset. STUKin määräyksen (S/5/2019) 15 §:n mukaan: ”Umpilähteen on oltava standardin SFS-EN ISO 2919 vaatimusten mukainen.”. ISO 2919 -standardin mukaan umpilähteen suositellun käyttöiän päätyttyä lähde on vaihdettava uuteen tai sille on tehtävä tarkastus, joka sisältää tiiveyskokeen kontaminaatiovuodon varalta. Standardin mukaan umpilähteen käyttäjällä on vastuu suorittaa tarvittavat toimenpiteet umpilähteen käyttöiänjatkamisen varmistamiseksi. STUKin määräyksessä (S/5/2019) 30 §:ssä tarkennetaan vielä ISO 2919 -standardissa mainittuja kohtia liittyen umpilähteen tiiveyden tarkastuksen tarpeeseen ja sen suorittamiseen. (STUKlex, 2019 & ISO, 2012.)

Puhuttaessa umpilähteen käyttöiästä ja suositellusta käyttöiästä on huomioitava, että säteilylain (859/2018) 75 §:n mukaan umpilähde on viimeistään poistettava käytöstä, kun sen käyttöönotosta on kulunut 40 vuotta (Finlex, 2018). Lain mukaan termi ”umpilähteen käyttöikä” tarkoittaa siis umpilähteen käyttöajan ehdotonta takarajaa ja termi ”umpilähteen suositeltu käyttöikä” aikaa, jonka jälkeen lähde on tarkastettava tai vaihdettava uuteen.

3.5 Lainsäädäntö umpilähteen käytöstä poistosta

Säteilylain (859/2018) 83§:n mukaan: *”Toiminnanharjoittajan on poistettava tarpeettomaksi käyneet turvallisuusslupaa edellyttävät radioaktiivista ainetta sisältävät säteilylähteet palauttamalla ne valmistajalle tai toimittajalle taikka luovuttamalla ne muulle toiminnanharjoittajalle, jolla on asianmukainen turvallisuusslupa.”* (Finlex, 2018). Loviisan voimallaisella boorianalysointilaitteistosta irrotettu vanhentunut umpilähde siirretään voimallaisen jäteorganisaation haltuun, jolla on lupa hävittää vanhentunut umpilähde. STUKin määräyksen (S/5/2019) 30§:n mukaan vanhentuneelle umpilähteelle on myös tehtävä tiiveyden tarkastus eli pyyhkäisykoe kun lähde otetaan analysointilaitteistosta irti ja kun se luovutetaan kuljetettavaksi (STUKlex, 2019). Tämä voidaan toteuttaa yhdellä pyyhkäisykokeella, sillä umpilähteen irrotuksen jälkeen lähde viedään suoraan jäteorganisaatiolle.

4 Umpilähteen tiiveyden tarkastus

Ensisijainen toimenpidevaihtoehto boorianalyysaattoriyksikön vanhenevalle neutroniumpilähteelle on sen suositellun käyttöiän jatkaminen suorittamalla sille tiiveystarkastus. Umpilähteen tiiveyden tarkastus on mahdollista suorittaa laitteiston pinnalta pyyhkäisykokeella, jolloin laitteistoa ei tarvitse purkaa. Jos tiiveyden osoittaminen laitteiston pinnalta todetaan riittämättömäksi, on vaihtoehtoisena ratkaisuna ottaa pyyhkäisyinäyte umpilähteen pinnalta tai sen läheisestä ympäristöstä laitteiston sisältä, jolloin laitteisto joudutaan huonoimmassa tapauksessa purkamaan kokonaan. Tekemällä tiiveyden tarkastus ja todistamalla umpilähteen tiiveyden säilyminen välttyään sen vaihtamisesta täysin uuteen lähteeseen. Umpilähde joudutaan vaihtamaan uuteen, jos umpilähteen ehdotettu suositellun käyttöiän pidentäminen todetaan riittämättömäksi todistamaan umpilähteen tiiveyden säilyminen.

4.1 Tiiveyden tarkastuksen lainsäädäntö

STUKin määräyksen (S/5/2019) 30 §:n mukaan: ”*Toiminnanharjoittajan on huolehdittava siitä, että turvallisuuss lupaa edellyttävälle umpilähteelle tehdään standardin ISO 9978 mukainen tiiviyskoe:*

- 1. jos umpilähteen käyttöympäristöolosuhteet tai muut syyt ovat voineet vaikuttaa umpilähteen tiiviyteen haitallisesti;*
- 2. jos umpilähde on voinut vahingoittua jonkin tapahtuman tai käsittelyn vaikutuksesta;*
- 3. jos radiometrisen mittalaitteen tai muun vastaavasti kiinteästi asennetun umpilähteen käyttö- tai säilytyspaikka muuttuu ja edellisestä tiiviyskokeesta on kauemmin kuin yksi vuosi;*
- 4. kun umpilähde irrotetaan suojuksesta tai asennetaan suojukseen;*
- 5. kun umpilähteen viimeisimmästä vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta on kulunut 15 vuotta tai enemmän kuin valmistajan ilmoittama suositeltu käyttöikä ja sen jälkeen säännöllisesti, kuitenkin vähintään kolmen vuoden välein ottaen huomioon*

umpilähteen rakenne, käytötapa ja ympäristö sekä muut umpilähteen tiiviyyteen vaikuttavat seikat;

6. *kun käytöstä poistettu umpilähde luovutetaan kuljetettavaksi.” (STUKlex, 2019).*

boorianalysoijan umpilähteen tapauksessa olennaiseksi muodostuu pykälän viides kohta. Umpilähteen tiiveyden tarkastus on siis tehtävä ISO 9978 -standardin mukaisin menetelmin.

4.2 Boorianalysoijan huollon turvallisuuslupa

Turvallisuusluvalla tarkoitetaan säteilylain (859/2018) mukaan lupaa, jota edellytetään, jos käytetään säteilyä (Finlex, 2018). Loviisan voimalaitoksella on voimassa oleva turvallisuuslupa umpilähteiden käyttöön. Boorianalysoijan umpilähteen tiiveyden tarkastuksessa vaaditaan kuitenkin erillinen turvallisuuslupa huoltoon, jos laitteiston säteilysuojauksia puretaan. Sama turvallisuuslupa vaaditaan, jos umpilähde vaihdetaan uuteen, koska tällöin laitteistoa johdetaan myös purkamaan. Erillinen turvallisuuslupa pitää hankkia kuitenkin vain kerran, jos laitteistoja päätetään purkaa, ja se kattaa kaikki analysoijayksiköt. Erillistä turvallisuuslupaa ei tarvita, jos tiiveyden tarkastus suoritetaan analysoijan pinnalta.

4.3 Tiiveyden tarkastamiseen liittyvät standardit

Umpilähteen kuntoa määrittää standardi ISO 2919, jonka mukaan umpilähde on tarkastettava RWL:n päätyttyä (STUKlex, 2019). Umpilähteen tarkastusta määrittää taas standardi ISO 9978 (STUKlex, 2019). Standardissa esitetään monia eri umpilähteen tiiveyden tarkastukseen sopivia menetelmiä. Järkevimiksi boorianalysoijan tapauksessa osoittautuvat pyyhkäisykokeet eli kuivapyyhkäisykoe ja märkäpyyhkäisykoe.

Märkäpyyhkäisykokeen ideana on pyyhkiä umpilähde tai sen läheisyydessä oleva pinta kostutulla lapulla tai pyyhkeellä, saaden pinnalla ollut kontaminaatio talteen. Lapun tai pyyhkeen kostutus on toteutettava aineella, joka ei syövytä pyyhittävää pintaa. Jos märkäpyyhkäisykoe oletetaan sopimattomaksi, voidaan suorittaa kuivapyyhkäisykoe. Kuivapyyhkäisykoe voidaan suorittaa kuivalla lapulla tai pyyhkeellä, jolla saadaan talteen pyyhittävällä pinnalla olevan kontaminaation. (ISO, 2020, s. 7.)

Pyyhkäisykokeet olisivat standardin ISO 9978 mukaan määrä suorittaa itse umpilähteen pinnalta, jos työtä suorittavalle henkilölle ei koidu perusteetonta säteilyaltistusta. Standardin mukaan on tärkeää varmistaa, että säteilyaltistus on sallituissa rajoissa. Jos laitetta ei pystytä purkamaan tai sen purkaminen ei ole suotavaa siitä koituvan säteilyaltistuksen vuoksi, voidaan pyyhkäisykoe toteuttaa lähimmäksi päästävästä pinnasta, josta mahdollinen kontaminaatiovuoto saadaan selville. (ISO, 2020, s. 11–12.)

Pinnalta pyyhkäisylappuun jäävän aktiivisuuden on oltava pienempi kuin 200 Bq. Standardin ISO 9978 mukaan kuitenkin, jos aktiivisuutta löytyy mutta se on alle sallitun rajan, on varmistuttava lisäkokein, että umpilähde on tiivis ja aktiivisuuden määrä ei suurene. Standardissa myös määritetään, että pienimmän kontaminaatiovuodon havaitsemiskynnyksen olisi oltava 1–10 Bq. (ISO, 2020, s. 4, 7, 12.)

4.4 Tiiveyden tarkastus vaihtoehto 1: Laitteistoa ei pureta

Umpilähteen tiiveyden tarkastus laitteiston pysyessä purkamattomana voidaan suorittaa ottamalla pyyhkäisynäyte laitteiston ulkokuoresta ja/tai laitteiston ympäristöstä. Pyyhkäisynäytteet voidaan ottaa ISO 9978 -standardin mukaisesti joko märkäpyyhkäisynäytteenä tai pyyhkäisylapulla kuivapyyhkäisynäytteenä. Kuivapyyhkäisynäyte soveltuu boorianalysaattorin tapauksessa paremmin käytettäväksi, sillä sen aktiivisuuden analysointi voimalaitokselta löytyvillä laitteistoilla käy helpommin kuin märkäpyyhkäisyn. Kuivapyyhkäisynäyte voidaan analysoida voimalaitokselta löytyvillä pintakontaminaatiomittareilla tai voimalaitoksen laboratorion löytyvillä laitteistolla. Laboratorion laitteistoilla aktiivisuus saadaan selville paljon tarkemmin, ja lisäksi aktiivisuuden havaitsemiskynnys olisi pienempi. Pintakontaminaatiomittarilla pyyhkäisynäytteen analysointi käy helpommin ja nopeammin. Tosin pintakontaminaatiomittarilaitteisto ei ole yhtä tarkka kuin laboratorion laitteistot, mutta jos pyyhkäisynäytteestä löytyy jotain aktiivisuutta, on joka tapauksessa ryhdyttävä lisätoimiin ja tarkastuksiin.

4.5 Tiiveyden tarkastus vaihtoehto 2: Laitteistoa puretaan osittain

Tarkastus on myös mahdollista suorittaa, kun analysaattorilaitteistoa puretaan vain osittain. Tällöin mahdollisuutena olisi ottaa pyyhkäisynäyte analysaattorin sisäpinnoilta. Osittain puretusta analysaattorista otettu pyyhkäisynäyte voidaan analysoida pintakontaminaatiomittalaitteella tai laboratoriossa samalla tavoin kuin otettaessa pyyhkäisynäyte koko laitteiston pinnalta.

4.6 Tiiveyden tarkastus vaihtoehto 3: Laitteisto puretaan kokonaan

Umpilähteen tiiveyden tarkastus voidaan boorianalysaattorin tapauksessa suorittaa myös ISO 9978 -standardissa ensisijaisesti esitetyllä tavalla, eli ottamalla pyyhkäisynäyte suoraan umpilähteen pinnalta. Koko laitteiston purussa joudutaan poistamaan kaikki säteilysuojat, joten työstä saatavat säteilyannokset ovat muita vaihtoehtoja suuremmat. Itse umpilähdettä käsiteltäessä on oltava tarkkana, sillä se säteilee voimakkaasti ja voi aiheuttaa suuriakin paikallisia säteilyannoksia esimerkiksi käteen. Umpilähteen vaihdossa joudutaan myös huomioidaan nämä samat laitteiston purkamis- ja säteilyaltistusongelmat. Suoraan umpilähteen pinnalta otettu pyyhkäisynäyte voidaan muiden vaihtoehtojen tapaan analysoida pintakontaminaatiomittalaitteella tai laboratoriossa.

4.7 Tiiveyden tarkastus vaihtoehtoja 1 ja 2 puoltavat tekijät

Koko laitteiston purku itsessään voi myös olla riski umpilähteen kontaminaatiovuodolle, sillä umpilähde voi vahingoittaa laitteiston purun yhteydessä. Koko laitteiston purussa saattaa vahingoittaa myös itse laitteisto ja sen herkäät sähkökomponentit. On siis suotavampaa ottaa pyyhkäisynäyte laitteiston ulkopinnoilta tai vain uloimpien säteilysuojien alta, ettei purku aiheuta henkilö- tai laitteistovahinkoa.

4.7.1 ALARA-periaate

Vaikka pyyhkäisynäyte olisi suotavaa ISO 9978 -standardin mukaan ottaa umpilähteen pinnalta, on boorianalysaattorintapauksessa ALARA-periaatteen mukaista ottaa

pyyhkäisynäyte koko laitteiston pinnalta tai osittain puretusta laitteesta säteilyannoksen määrittämiseksi. Taulukosta 1 ja 2 voidaan vertailla säteilyannosnopeuksia umpilähteestä eri etäisyyksillä, kun laitteiston säteilysuojat ovat paikallaan ja poistettuna. Taulukoiden avulla voidaan myös arvioida tarkastusta suorittavien henkilöiden säteilyannoksia. Jos pyyhkäisynäyte otetaan laitteiston pinnalta, työhön riittää yksi henkilö ja aikaa kuluu arvioidusti 1–2 minuuttia laitteiston läheisyydessä, jolloin henkilön säteilyannokseksi kertyy arvioidusti enintään 3 μSv .

Taulukko 1. boorianalyssaattorilta mitatut annosnopeudet ja minuutteina lasketut annosarvot, kun säteilysuojat ovat paikallaan. Ensimmäinen mittapiste (5 cm) on otettu säteilysuojien päältä. Mittaus on toteutettu kolmesta eri suunnasta ja laskettu saatujen tulosten keskiarvo. Mittaushuoneessa taustasäteily oli 0,005 mSv/h.

Etäisyys lähteestä [cm]	Annosnopeus [mSv/h]	Työskentelyaika [min]			Saatu annosarvio [mSv/h]			
		1	2	5	10	30	60	120
5	0,326	0,005	0,011	0,027	0,054	0,163	0,326	0,653
10	0,165	0,003	0,005	0,014	0,027	0,082	0,165	0,330
20	0,084	0,001	0,003	0,007	0,014	0,042	0,084	0,169
50	0,030	0,000	0,001	0,002	0,005	0,015	0,030	0,060
100	0,012	0,000	0,000	0,001	0,002	0,006	0,012	0,024

Taulukko 2. Umpilähteen arvioidut annosnopeudet, joihin lisätty boorianalyssaattorin huoneen taustasäteily (0,005 mSv/h) ja minuutteina lasketut annosarviot. Annosarviot neutronumpilähteestä on tehty Loviisan voimalaitoksen omalla säteilylähdelaskurilla. Laskuri kuitenkin olettaa lähteen pistemäiseksi.

			Työskentelyaika [min]			Saatu annosarvio [mSv/h]			
			1	2	5	10	30	60	120
Etäisyys lähteestä [cm]	Laskettu Annosnopeus [mSv/h]	Laskettu Annosnopeus + huoneen tausta [mSv/h]							
1	509,000	509,005	8,483	16,967	42,417	84,834	254,502	509,005	1018,009
5	20,300	20,305	0,338	0,677	1,692	3,384	10,152	20,305	40,609
10	5,090	5,095	0,085	0,170	0,425	0,849	2,547	5,095	10,189
20	1,270	1,275	0,021	0,042	0,106	0,212	0,637	1,275	2,549
50	0,203	0,208	0,003	0,007	0,017	0,035	0,104	0,208	0,415
100	0,051	0,056	0,001	0,002	0,005	0,009	0,028	0,056	0,111

Jos laitteisto joudutaan purkamaan, on säteilyannosta vaikeampi arvioida. Työhön vaadittaisiin tällöin vähintään 2 henkilöä, laitteiston purkaja ja pyyhkäisynäytteen ottaja. Laitteiston purkamiseen ja kasaamiseen voidaan hyvin konservatiivisesti arvioida kuluvan 1–2 tuntia, jolloin henkilö voisi arviolta saada jopa 2 mSv:n suuruisen säteilyannoksen. Jos purkuun vaaditaan enemmän kuin yksi ihminen voi kollektiivinen säteilyannos olla tässä tapauksessa moninkertaisesti suurempi. On myös otettava huomioon pyyhkäisynäytteen ottajalle koitua säteilyannos. Umpilähteen pinnalta näytteenottajan käsille voi kertyä jopa 2–3 mSv säteilyannosta, kun umpilähdettä käsitellään pyyhkäisynäytteen ottamiseksi. Jos kaikki boorianalyssaattorit joudutaan purkamaan, on kollektiivinen säteilyannos noin tuhat kertaa suurempi kuin kollektiivinen säteilyannos, joka kertyisi laitteistojen pinnalta otettavista pyyhkäisynäytteistä. Jos umpilähde vaihdetaan uuteen, työstä saatavaa kollektiivista säteilyannosta voidaan pitää suurempana kuin umpilähteen pinnalta pyyhkäisynäytettä otettaessa. Voidaan todeta, että ALARA-periaatteen kannalta olisi parempi vaihtaa umpilähde uuteen ja käyttää sitä sen RWL:n verran tarkastamatta lähdettä kuin, tarkastaa umpilähde pyyhkäisynäytteellä sen pinnalta STUKin määräyksen (S/5/2019) 30 §:n kohdassa 5 mainitun kolmen vuoden välein.

Osittain puretusta laitteistosta on hankala arvioida työntekijöille kertyvää säteilyannosta, sillä se riippuu, kuinka paljon laitteistoa puretaan. Voidaan kuitenkin arvioida työntekijöille kertyvän kollektiivisen säteilyannoksen olevat huomattavasti pienempi kuin koko laitteiston purusta saatava kollektiivinen annos. Toisaalta osittain puretusta laitteistosta pyyhkäisynäytteen otosta saatava kollektiivinen säteilyannos on suurempi kuin laitteiston pinnalta otetussa pyyhkäisynäytteessä, koska laitteistosta joudutaan purkamaan vähintään joitakin säteilysuojia.

Koska pyyhkäisynäytteen ottaminen koko laitteiston pinnalta on vaihtoehtoista helpoin ja eniten ALARA-periaatteen mukainen, voidaan se suorittaa tiheämmin kuin määräyksessä (S/5/2019) 15 §:ssä mainittu kolme vuotta. Pyyhkäisynäytteen otto laitteiston pinnalta voitaisiin suorittaa esimerkiksi vuosittain ja tulokset voitaisiin kirjata ylös, joita vertailemalla voitaisiin perustella umpilähteen tiiveys.

4.7.2 Ympäristöolosuhteet

Korroosion kertymisen mahdollisuudet umpilähteeseen voidaan jättää huomiotta, sillä laite ei altistu sellaiselle ympäristölle, joka voisi aiheuttaa korroosiota. Umpilähde se ei ole minikäänlaisessa mekaanisessa rasituksessa eli mekaanisen kuluman mahdollisuus on pieni. Lähde ei myöskään vanhene, eli sen aktiivisuus ei heikkene, sillä sen puoliintumisaika on pitkä. Joissakin maissa RWL:lä tarkoitetaan aikaa, jonka jälkeen lähteen aktiivisuus ei vastaa vaadittua arvoa. On siis suotavampaa ottaa pyyhkäisynäyte koko laitteiston pinnalta, jos vedotaan umpilähteen korroosioon, vanhenemiseen tai kulumiseen.

4.7.3 Kontaminaatiovuodon vakavuus

Koska analysaattorit sijaitsevat ydinvoimalaitoksella, kontaminaatiovuoto umpilähteestä ei ole niin vakava asia kuin muualla teollisuudessa. Verrattuna muuhun teollisuuteen Loviisan ydinvoimalaitokselta löytyy tarvittavat välineet ja mittarit kontaminaation havaitsemiseen ja sen pois siivoamiseen. Kontaminaatiota seurataan voimalaitoksella säteilyvalvonnan johdolla esimerkiksi henkilömonitoreilla, joista viimeistään pystytään havaitsemaan kontaminaatiovuoto ympäristöön. Täten, jos analysaattorin umpilähde vuotaisi, ei kontaminaatio pääsisi leviämään pitkälle ennen kuin se huomattaisiin. Kontaminaatio pystyttäisiin myös

poistamaan asianmukaisin keinoin. Ei ole siis perusteltua purkaa koko analysaattorilaitteisto vedoten mahdollisen kontaminaatiovuodon leviämisen riskeihin.

4.8 Analysaattorilaitteistojen tarvittava käyttöaika

Loviisan reaktoriyksiköiden nykyiset käyttöluvut loppuvat vuosina 2027 ja 2030 (Fortum, 2022b). Nykyisillä käyttöluvilla on kannattavaa tehdä umpilähteille tiiveyden tarkastus käyttöluvien loppuun saakka. Umpilähteet olisivat käytössä tässä tapauksessa vielä 8 vuotta.

Voimalaitos saattaa kuitenkin tulevaisuudessa saada käyttöluvan jatkoa reaktoriyksiköilleen, jolloin analysaattorien neutroniumpilähteiden suositellun käyttöiän jatkoa on optimoitava. Toistaiseksi on kannattavaa pidentää umpilähteiden suositeltua käyttöikää, kunnes saadaan varmistus käyttöluvan jatkosta.

4.9 Vaihtoehtojen kustannustehokkuus

Taulukossa 3 on esitetty kustannusarviot ja eri vaihtoehtoista koituvat kulut, jos tarkastus suoritetaan yhdelle boorianalyssaattorille. Taulukossa 3 on myös esitetty kustannusarvio kuluista umpilähteen vaihdolle, johon tiiveyden tarkastusvaihtoehtojen kuluja voidaan verrata. Laitteiston purkuun tarvittava erillinen turvallisuuslupa tarvitsee hankkia vain kerran ja se on voimassa kaikille analysaattoriyksiköille. Laitteiston kalibrointi on ostettava ulkoiselta toimijalta ja se on suoritettava, kun umpilähde vaihdetaan uuteen, sekä mahdollisesti myös silloin kun analysaattoria puretaan mutta umpilähdettä ei vaihdeta. Kandidaatintyötä tehdessä ei saatu vastausta, tarvitseeko kalibrointia tehdä, jos laitteisto puretaan mutta umpilähdettä ei vaihdeta.

Taulukko 3. Eri vaihtoehtojen kustannusarviot yhdelle boorianalyssaattorille.

	Kulut [€]	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Umpilähteen vaihto
Uusi umpilähde					X
Erillinen turvallisuuslupa			X	X	X
Kalibrointi			Ehkä	Ehkä	X

Eri vaihtoehtojen kustannukset riippuvat siitä, kuinka paljon analyssaattorilaitteistoa joudutaan purkamaan. Pyyhkäisynäytteen otto analyssaattorin pinnalta tulee kaikista vaihtoehdoista halvimmaksi, sillä siitä ei koidu lainkaan ylimääräisiä kuluja. Pyyhkäisynäytteen otto osittain ja kokonaan puretusta laitteesta tulevat vaihtoehdoista toiseksi halvimmaksi, sillä niissä ainoana kuluna on erillisen turvallisuusluvan hankkiminen. Umpilähteen vaihto on selkeästi paljon kalliimpi verrattuna tiiveyden tarkastusvaihtoehtoihin. Jos analyssaattorilaitte joudutaan kuitenkin kalibroimaan, vaikka umpilähdettä ei vaihdeta, jää umpilähteen tiiveyden tarkastus lähteen pinnalta ja osittain puretusta analyssaattorista kannattamattomiksi vaihtoehdoiksi, koska STUKin määräyksen (S/5/2019) 30§:n kohdan 5 mukaan umpilähteen tiiveyden tarkastus on tehtävä vähintään kolmen vuoden välein RWL:n päättymisen jälkeen. Koska laitteiston purkamisen vuoksi tehtävä kalibrointi ja tarvittava turvallisuuslupa maksavat niin paljon, on näissä tapauksissa vain kannattavampi vaihtaa lähde uuteen ja käyttää sitä seuraavat 15 vuotta tarkastamatta lähdettä.

5 Johtopäätökset

Työtä aloittaessa oli tiedossa, että boorianalysoijalle on kaksi eri tapaa jatkaa sen käyttöä, joko pidentää analysoijin neutroniumpilähteen suositeltua käyttöä tai vaihtaa umpilähde uuteen. Umpilähteen suositellun käyttöä pidentämistä käsiteltiin ensisijaisena vaihtoehtona ja sitä verrattiin umpilähteen vaihtoon. Umpilähteen tiiveyden tarkastus osoitettiin tämänhetkessä tilanteessa kaikin puolin paremmaksi vaihtoehdoksi ALARA-periaatteen ja kustannustehokkuuden kannalta.

Tutkinnassa saatiin selville, että tiiveyden tarkastukseen on kolme vaihtoehtoista tapaa, tiiveyden tarkastus purkamatta laitteistoa sekä purkamalla laitteisto osittain tai kokonaan. STUKin määräyksen (S/5/2019) 30 §:n mukaan tiiveyden tarkastuksen on noudatettava standardia ISO 9978. ISO 9978 -standardissa mainituista tarkastusvaihtoehdoista parhaimmaksi osoittautui kuivapyyhkäisykoe, koska se pystytään paremmin analysoimaan Loviisan voimalaitokselta löytyvillä välineillä. Pyyhkäisykoe tulisi ISO 9978 -standardin mukaan suorittaa umpilähteen pinnalta, huomioiden kuitenkin näytteenottajan säteilyaltistus. Jos näytteenottajalle koituu liikaa perusteetonta säteilyaltistusta, voidaan pyyhkäisykoe suorittaa lähimältä pinnalta, jolta koe on mahdollista ja turvallista suorittaa. Pyyhkäisynäyte olisi siis otettava noudattaen ALARA-periaatetta ja tavalla, jolla umpilähteen tiiveys pystytään toteamaan.

Pyyhkäisykoe olisi ALARA-periaatteen kannalta paras suorittaa laitteiston pinnalta tai osittain purettuna laitteistosta, sillä kuten taulukoista 1 ja 2 voi huomata pyyhkäisynäytteenottajalle koituu huomattavasti pienempi säteilyannos, jos näyte otetaan laitteiston säteilysuojien pysyessä kokonaan tai edes osittain paikallaan. Arvioitu kollektiivinen säteilyannos, jos pyyhkäisynäyte suoritetaan kaikkien boorianalysoijalaitteistojen pinnalta, on maksimissaan 12 manµSv. Jos taas laitteistoa puretaan osittain ja pyyhkäisynäyte otettaisiin laitteiston sisältä, kollektiivinen säteilyannos olisi arviolta jonkin verran suurempi kuin laitteiston pinnalta otettaessa. Jos koko analysoijalaitteisto purettaisiin ja pyyhkäisynäyte otettaisiin umpilähteen pinnalta, olisi kollektiivinen säteilyannos arviolta noin tuhat kertaisesti suurempi. Jos umpilähde vaihdettaisiin uuteen, olisi työstä saatava arvioitu kollektiivinen säteilyannos suurempi kuin pyyhkäisynäytteen otettaessa umpilähteen pinnalta. Tosin on enemmän ALARA-periaatteen mukaisempaa vaihtaa umpilähde uuteen kuin purkaa koko

analysointia ja tehdä tiiveyden tarkastus umpilähteen pinnalta, koska umpilähde joudutaan vaihtamaan uuteen vain kerran viidentoista vuoden aikana toisin kuin tiiveyden tarkistaminen joudutaan tekemään kolmen vuoden välein.

Tutkinnassa todettiin monia muita eri syitä, miksi olisi perusteltua ottaa pyyhkäisynäyte analysointilaitteiston pinnalta tai osittain puretusta laitteistosta, eikä umpilähteen pinnalta. Samat perustelut pätevät mahdollisen umpilähteen vaihdon välttämiseen:

- Itse umpilähde ei vanhene, sillä sen puoliintumisaika on pitkä, eikä se myöskään koe mitään mekaanista rasitusta.
- Analysointiyksiköt sellaisissa paikoissa, joissa korroosiota ei todennäköisesti voi kertyä umpilähteeseen.
- Umpilähteen toiminta voidaan todentaa katsomalla mittausdataa.
- Laitteiston purku on itsessään suuri riski.
- Jos umpilähteessä sattuu olemaan kontaminaatiovuoto, ja se pääsee karkaamaan analysointilaitteen rakenteen ulkopuolelle, ei se pääse leviämään ydinvoimalaitoksella tehtävän kontaminaatioseurannan vuoksi.

Pyyhkäisykoetta suoritettaisiin pyyhkäisynäytelapulla. Pyyhkäisynäytelapun analysointi voitaisiin suorittaa joko pintakontaminaatiomittarilla tai Loviisan voimalaitoksen laboratorion laitteistolla. Standardissa ISO 9978 umpilähteen tiiveyden osoittamiseksi on annettu rajaksi kontaminaatiolle 200 Bq. Jos kuitenkin aktiivisuutta löytyy mutta se on alle sallitun rajan, on varmistuttava lisäpyyhkäisykokein, että umpilähde on tiivis ja vuotavan aktiivisuuden määrä ei suurene.

Kustannustehokkuuden kannalta parhaimmaksi vaihtoehdoksi muodostui pyyhkäisynäytteen otto analysointilaitteen pinnalta. Se on vaihtoehdoista selkeästi halvin, sillä sen suorittamiseen ei tarvita erillistä turvallisuuslupaa tai laitteiston kalibrointia. Pyyhkäisynäytteen otto suoraan umpilähteen pinnalta tai puoliksi puretusta laitteistosta osoittautuivat myös kustannustehokkuuden kannalta varsin varteenotettaviksi ratkaisuksiksi, jos laitteisto ei näissä tapauksissa vaadi kalibrointia. Jos laitteisto joudutaan kuitenkin kalibroimaan, jää tiiveyden tarkastus lähteen pinnalta ja osittain puretusta analysointilaitteesta kannattamattomiksi vaihtoehdoiksi, koska tarkastus tulisi STUKin määräyksen (S/5/2019) 30 §:n mukaan suorittaa enintään kolmen vuoden välein. Tässä tapauksessa kannattavammaksi osoittautuu uuden umpilähteen vaihtaminen.

6 Yhteenveto

Loviisan voimalaitoksen säteilysuojeluorganisaatiolle tehdyssä kandidaatintyössä selvitetiin Loviisan voimalaitokselta boorianalyssaattorinyksikön käyttöään pidentämisen mahdollisuuksia suositellun käyttöään loppuun tulleen neutronumpilähteen suhteen. Vaihtoehtona ongelman ratkaisuun käsiteltiin umpilähteen suositellun käyttöään pidentämistä tekemällä sille tiiveyden tarkastus. Vertailukohtana tiiveyden tarkastukselle käsiteltiin umpilähteen vaihtoa uuteen.

Tiiveyden tarkastuksessa käsiteltiin vielä kolmea eri vaihtoehtoista toteutustapaa, tiiveyden tarkastusta purkamatta laitteistoa ja tiiveyden tarkastusta puretusta analyssaattorilaitteesta suoraan umpilähteen pinnalta tai osittain puretusta analyssaattorilaitteesta lähempää umpilähdettä. Näistä vaihtoehtoista parhaimmaksi ALARA-periaatteen ja muiden tukevien perusteiden nojalla todettiin umpilähteen tiiveyden tarkastus analyssaattoriyksikön pysyessä purkamattomana tai analyssaattori yksikköä purettaessa osittain. Kustannustehokkuuden kannalta parhaimmaksi osoittautui tiiveyden tarkastus analyssaattoria purkamatta. Varsin hyväksi vaihtoehdoksi todettiin kuitenkin kustannustehokkuuden kannalta myös analyssaattorin osittainen purkamisvaihtoehto, jos sen yhteydessä ei tarvitse suorittaa analyssaattorilaitteiston kalibrointia. Kandidaatintyötä tehdessä ei saatu vastausta tarvitseeko sitä näissä tapauksissa tehdä.

Ylipäätään tarkoituksenmukaisimmaksi ja säteilysuojelullisesti turvallisimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui helposti toteutettava umpilähteen tiiveyden tarkastus analyssaattorilaitteiston pinnalta. Vaihtoehtoisen ratkaisuna tälle voidaan pitää tiiveyden tarkastusta osittain puretusta analyssaattorista, jos laitteiston kalibrointia ei tarvitse sen yhteydessä suorittaa. Muussa tapauksessa vaihtoehtoinen ratkaisu on umpilähteen vaihto uuteen.

Lähteet

- Eurasto Tapani et al, 2003. Ydinvoimalaitostekniikan perusteita. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.7.2022]. Saatavilla: [STUK, Kirjasarja V, Ydinturvallisuus 2](#)
- Finlex, 2018. Säteilylaki (859/2018). [Verkkoaineisto]. [Viitattu 30.7.2022]. Saatavilla: [Säteilylaki](#)
- Fortum, 2022a. Loviisan voimalaitos. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 25.7.2022]. Saatavilla: [Loviisan voimalaitos | fortum.fi](#)
- Fortum, 2022b. Loviisan voimalaitos. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.9.2022]. Saatavilla: [Ydinvoimalaitokset | fortum.fi](#)
- IAEA, 2012. Review of Sealed Source Designs and Manufacturing Techniques Affecting Disused Source Management (IAEA-TECDOC-1690). [Verkkoaineisto]. [Viitattu 31.7.2022]. Saatavilla: [IAEA](#)
- Ikäheimonen Tarja K. (toimittanut), 2002a. Säteily ja sen havaitseminen, luku 1 Ydin- ja säteilyfysiikan perusteet. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 28.7.2022]. Saatavilla: [STUK, Säteily ja sen havaitseminen luku 1](#)
- Ikäheimonen Tarja K. (toimittanut), 2002b. Säteily ja sen havaitseminen, luku 2 Suureet ja yksiköt [Verkkoaineisto]. [Viitattu 1.9.2022]. Saatavilla: [STUK, Säteily ja sen havaitsemisen luku 2](#)
- ISO, 2020. Radiation protection — Sealed sources — Leakage test methods (ISO 9978). [Standardi]. [Viitattu 15.8.2022].
- ISO, 2012. Radiological protection — Sealed radioactive sources — General requirements and classification (ISO 2919). [Standardi]. [Viitattu 8.8.2022].
- Kalli Heikki, 2012. Ydinreaktorien fysiikka, Osa 1. Lappeenrannan tekninen yliopisto. [Viitattu 27.7.2022].
- ORS (Office of Radiological Security), 2017. DOE/NNSA Off-Site Source Recovery Program. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 31.7.2022]. Saatavilla: [ORC](#)

STUK, 2022a. Mitä säteily on. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 27.7.2022]. Saatavilla: [STUK, Mitä säteily on](#)

STUK, 2022b. Ionisoiva säteily. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 27.7.2022]. Saatavilla: [STUK, Ionisoiva säteily](#)

STUK, 2022c. Sanasto. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 1.9.2022]. Saatavilla: [Sanasto - STUK](#)

STUK, 2022d. Terveyshaittojen ehkäiseminen säteilysuojelulla. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 13.9.2022]. Saatavilla: [Terveyshaittojen ehkäiseminen säteilysuojelulla - STUK](#)

STUKlex, 2019. Säteilyturvakeskuksen määräys säteilylähteiden käytön aikaisesta säteilyturvallisuudesta ja säteilylähteiden ja käyttötilojen poistamisesta käytöstä STUK (S/5/2019) [Verkkoaineisto]. [Viitattu 8.8.2022]. Saatavilla: [STUKlex](#)

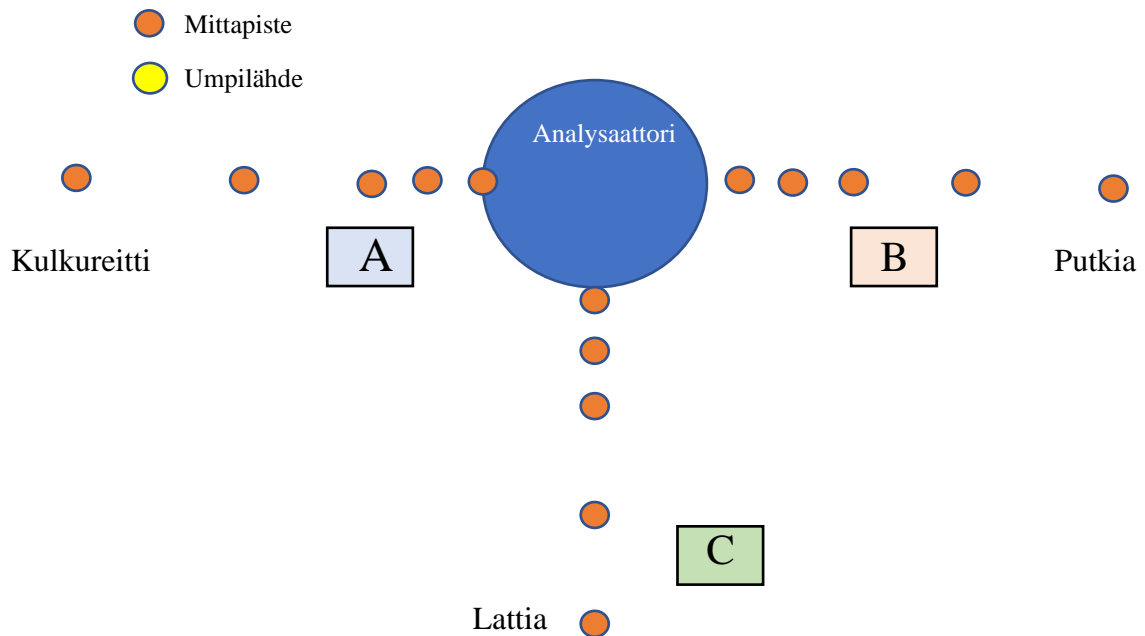
U.S.NRC (United States Nuclear Regulatory Commission), 2019. Neutron source. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 30.7.2022]. Saatavilla: [U.S.NRC](#)

Väisänen Seppo et al. 2002. Säteilyn käyttö teollisuudessa ja tutkimuksessa. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 30.7.2022]. Saatavilla: STUK, Säteilyn käyttö teollisuudessa ja tutkimuksessa

LIITE 1 MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Boorianalyssaattorin annosnopeuksien mittaaminen

Huone: -
Laite: -
Huoneen taustasäteily: 0,0045 mSv/h (γ)
 0,000 mSv/h (n)

Mittausjärjestely:**Mitatut annosnopeudet (neutroni ja gamma) eri suunnista:**

Etäisyys läh- teestä [cm]	A			B			C		
	A (n) [mSv/h]	A (γ) [mSv/h]	A (yht.) [mSv/h]	B (n) [mSv/h]	B (γ) [mSv/h]	B (yht.) [mSv/h]	C (n) [mSv/h]	C (γ) [mSv/h]	C (yht.) [mSv/h]
5	0,028	0,024	0,052	0,529	0,248	0,777	0,096	0,054	0,150
10	0,016	0,016	0,032	0,260	0,096	0,356	0,070	0,037	0,107
20	0,010	0,010	0,020	0,140	0,038	0,178	0,035	0,020	0,055
50	0,008	0,006	0,014	0,042	0,013	0,055	0,013	0,008	0,021
100	0,004	0,005	0,009	0,012	0,005	0,017	0,006	0,005	0,011

- Saaduissa tuloksissa on huomioitava huoneen taustasäteily.
- Mittaus toteutettiin kuvan 1 ja 2 mukaisilla annosnopeusmittareilla.