



# TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Iiro Lalu

## **Ydinvoimalaitosten käytöstäpoiston kustannukset**

Diplomityö

2020

92 sivua, 36 taulukkoa, 11 kuvaa ja 11 liitettä

Työn tarkastajat: Professori Juhani Hyvärinen ja apulaisprofessori Heikki Suikkanen

Työn ohjaajat: Professori Juhani Hyvärinen ja apulaisprofessori Heikki Suikkanen

Hakusanat: Ydinvoimalaitosten käytöstäpoisto, Nuclear decommissioning

Työssä tutkittiin ydinvoimalaitosten käytöstäpoiston kustannuksia laajana kokonaisuutena. Keskiössä olivat suomalaiset ydinvoimalaitokset. Tutkimuksessa käsiteltiin suomalaisia sekä ulkomaalaisia kustannusarvioita, taustateoriaa ja kahta kustannusten osa-aluetta. Työ oli laadullista tutkimusta. Suomalaisten arvioiden vertailua ja organisaatioiden kuvauksia tarkennettiin haastatteluilla.

Käytöstäpoistojen kustannusten arviointi on ollut aiemmin sekalaista, ja se on sitä edelleen. Yritysten ja maitten välillä on eroja kustannusten luokittelussa, mikä tekee vertailusta hankalaa. Erityisesti paikalliset lait luovat puitteet käytöstäpoistolle ja sen kustannuksille. Kansainvälistä vertailua pystytään tekemään ISDC-järjestelmällä, mutta se ei ole vielä saavuttanut standardisoitua asemaa. Tuleville tutkimuksille löydettiin vertailukohteita Ruotsin voimalaitoksista. Käytöstäpoisto on työvoimaintensiivinen projekti, jossa organisaation kustannukset ovat suuria. Organisaatiot muodostetaan vasta vuosikymmenien päästä, joten niihin liittyy paljon epävarmuutta.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta-Lahti University of Technology

School of Energy Systems

Energy Technology

Iiro Lalu

### **Cost of decommissioning nuclear power plants**

Master's Thesis

2020

92 pages, 36 tables, 11 figures and 11 appendices

Examiners: Professor Juhani Hyvärinen and assistant professor Heikki Suikkanen

Supervisors: Professor Juhani Hyvärinen and assistant professor Heikki Suikkanen

Keywords: Ydinvoimalaitosten käytöstäpoisto, nuclear decommissioning

In this study cost of nuclear decommissioning was studied in wide scale. Finnish nuclear power plants were at the focus. Cost estimates of foreign and Finnish origin, theory and two subdivisions of costs were researched. Research was done by qualitative methods. Interviews were used to specify cost comparison and organizations.

Cost estimates of nuclear decommissioning have been mixed field of study. Each company and country has its own method of listing costs, therefore comparison between countries and companies is difficult. Local law often defines decommissioning. With ISDC cost category system rough comparisons between countries can be done. But it has to be noted that ISDC is not recognized as standard by countries or companies. Swedish cost estimates were found for future comparisons. Other major finds were in decommissioning organizations. Nuclear decommissioning is labor intensive project, which makes cost of organization expensive. At the same time organization is vulnerable for changes, as it is formed decades later.

## ALKUSANAT

Haluan kiittää työni ohjaajia Juhani Hyväristä ja Heikki Suikkasta. Haastatteluita ja lausuntoja antaneita Mikko Lemmettyä, Linda Kumpulaa, Elina Kälviäistä, Pasi Kelokaskea ja Heikki Hinkkasta. Kiitän vanhempiani Minna ja Petteri Lalua henkisestä ja aineellisesta tuesta opiskeluni aikana.

Käytöstäpoistot sijoittuvat Suomessa pitkälle aikavälille. Tällaisen suuren aikaikkunan pohtiminen on mielenkiintoista ja herättää itsessä paljon kysymyksiä. Lähdeaineistossa suunnitelmien lähtökohtaisena oletuksena on ympäröivän yhteiskunnan vakaus, mille ei kuitenkaan voida antaa takeita. Ydinvoimalaitosten suunniteltua käyttöä ja käytöstäpoistoa on hyödyllistä peilata viime vuosisadan tapahtumiin, ihmisen toimintaan ja tietösten päätösten seurauksiin. Mielenlaadusta riippuen voi pohdinnassa päätyä joko toiveikkaaseen tai epätoivoiseen päätelmään.

Tuusulassa 31.3.2020 Iiro Lalu

# SISÄLLYSLUETTELO

**Tiivistelmä**

**Abstract**

**Alkusanat**

**Sisällysluettelo** **5**

**Symboli- ja lyhenneluettelo** **8**

**1 Johdanto** **11**

1.1 Suomalaiset projektit ..... 11

1.2 Käytöstäpoistot määrällisesti ..... 12

1.3 Tavoitteet, rajaus ja metodit ..... 13

1.4 Työn rakenne ..... 15

**2 Yleiskatsaus kustannusarvioihin** **17**

2.1 Kustannusarvioiden nykytila, tasot ja metodit ..... 17

2.2 Käytöstäpoiston laajuus ja rajaus ..... 20

2.3 Käytöstäpoiston strategiat ..... 21

**3 Laki, säädökset ja rahoitus** **24**

3.1 Kansainväliset säädökset ja suositukset ..... 24

3.2 Kotimainen lainsäädäntö ..... 26

3.3 Rahastot ..... 30

3.4 Esimerkki VTT:n käytöstäpoiston lupamenettelyistä ..... 33

**4 ISDC:n mukaiset työt** **36**

4.1 Pääaktiviteetit ja aktiviteettiryhmät ..... 38

4.2 ISDC:n käyttö ja hyödyllisyys ..... 43

**5 Käytöstäpoiston kustannusten arvioita** **45**

5.1 ISDC:n mukaisia arvioita NEA:n jäsenmaista ..... 46

5.2 Yhdysvaltojen arvioita ja toteutuneita lukuja ..... 50

5.3 Ruotsin arviot ..... 53

5.4	Suomalaiset arviot .....	58
<b>6</b>	<b>Jätteet</b>	<b>65</b>
6.1	Fortumin jätteet .....	66
6.2	TVO:n jätteet .....	69
6.3	VTT:n jätteet .....	70
6.4	Materiaali- ja jätekohtaisia kustannusarvioita .....	72
<b>7</b>	<b>Aikataulut ja organisaatio</b>	<b>79</b>
7.1	Aikataulut .....	79
7.2	Organisaatiot .....	83
7.3	Organisaation haasteet.....	86
7.4	Organisaation luonne.....	88
<b>8</b>	<b>Johtopäätökset</b>	<b>90</b>
<b>9</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>92</b>
	<b>Lähdeluettelo</b>	<b>93</b>
	Liite 1. ISDC:n pääaktiviteetit ja aktiviteettiryhmät	
	Liite 2. NEA:n ISDC:n mukaiset laitoskohtaiset jäsenmaa-arviot Yhdysvaltain dollareina 2013	
	Liite 3. NEA:n ISDC:n mukaiset yksikkökohtaiset arviot Yhdysvaltain dollareina 2013	
	Liite 4. Yhdysvaltalaisia arvioita ISDC muodossa vuoden 2013 dollareina	
	Liite 5. Toteutuneita kustannuksia Yhdysvalloista	
	Liite 6. Oskarshammnin alkuperäiset kustannukset kSEK vuonna 2009	
	Liite 7. Forsmarkin alkuperäiset kustannukset kSEK 2009	

Liite 8. Oskarshamnin kustannukset eriteltynä laitousyksiköittäin

Liite 9. Forsmarkin kustannukset eriteltynä laitousyksiköittäin

Liite 10. Oskarshamnin rakennusten purkamisen arviot laitousyksiköittäin

Liite 11. Forsmarkin rakennusten purkamisen arviot laitousyksiköittäin

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### Roomalaiset aakkoset

A	Työvoimakustannusten osuus vuoden 1986 kokonaiskustannuksista
B	Energian ja kuljetusten kustannusten osuus vuoden 1986 kokonaiskustannuksista
C	Jätteiden käsittelyn osuus vuoden 1986 kokonaiskustannuksista
E	Energian ja kuljetusten kasvutekijä
<i>i</i>	Inflaatioprosentti
J	Jätteiden käsittelyn kasvutekijä
K	Kustannukset
<i>n</i>	Aika vuosina
T	Työvoimakustannusten kasvutekijä

### Alaindeksit

<i>k</i>	Kokonaiskustannukset
<i>x</i>	Haluttu vuosi
<i>lä</i>	Lähtöarvo
<i>ny</i>	Nykyarvo
<i>1986</i>	Vuosi 1986

### Lyhenteet

BWR	Kiehutusvesireaktori
CH	Sveitsin maakoodi
CVM	Current Value Method
DR1	Tanskalainen tutkimusreaktori



DES	Decommissioning Engineering System
Euratom	Euroopan atomienergiayhteisö
ES	Espanjan maakoodi
F1	Forsmark 1 -voimalaitosyksikkö
F0	Forsmarkin voimalaitosalueen muut rakennukset
FI	Suomen maakoodi
FiR 1	VTT:n tutkimusreaktori
FR	Ranskan maakoodi
IAEA	International Atomic Energy Agency
ISDC	International Structure for Decommissioning Costing
ISOE	Information System of Occupational Exposure
KRR-2	Korealainen tutkimusreaktori
KPA	Käytetty polttoaine
LUT	Lappeenrannan teknillinen yliopisto
NEA	Nuclear Energy Agency
NRC	Nuclear Regulatory Commission
O1	Oskarshamn 1 -voimalaitosyksikkö
O0	Oskarshamnin voimalaitosalueen muut rakennukset
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OL1	Olkiluoto 1 -voimalaitosyksikkö

PNNL	Pacific Northwest National Laboratories
PWR	painevesireaktori
SIS	Svenska institutet för standarder
SE	Ruotsin maakoodi
SK	Slovakian maakoodi
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB
STM	Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö
STUK	Säteilyturvakeskus
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
VAL	Valmiusohjeet
VLJ	Voimalaitosjäte
VYR	Valtion ydinjäterahasto
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi
YVL	Ydinturvallisuusohjeet

## 1 JOHDANTO

Suomen ydinvoimateollisuus on tällä hetkellä käytöstäpoistojen kannalta mielenkiintoisessa tilanteessa. Kaikki suomalaiset laitokset poistetaan aikanaan. Viimeisenä tiedossa olevana on Hanhikivi 1:n käytöstäpoisto 2100-luvulla. Kaikkien laitosten käytöstäpoistotyöt tai kustannusarviot ovat myöskin alkaneet. Kustannusten arviointi on työtä, joka aloitetaan vuosikymmeniä ennen varsinaista käytöstäpoistoa.

Käytöstäpoistolla tarkoitetaan prosessia, jossa ydinvoimalaitoksen luvanhaltija vapautuu lupaan liittyvistä velvoitteista. Käytännössä tämä tarkoittaa voimalaitoksen radioaktiivisten osien purkamista ja radioaktiivisten jätteiden turvallista loppusijoitusta. (STUK 2015) Edellä esitetty määritelmä koskee Suomen lainsäädännön piirissä olevia laitoksia. Muualla maailmassa esimerkiksi haluttu lopputila voi olla vapautus muuhun teolliseen käyttöön tai täysin yleiseen käyttöön.

### 1.1 Suomalaiset projektit

Suomessa on tällä hetkellä käytössä neljä laitosta. Loviisassa Fortumin LO1 ja LO2, jotka ovat Neuvostoliitossa suunniteltuja VVER-painevesireaktoreita. LO1 otettiin käyttöön vuonna 1977 ja LO2 vuonna 1980. Sähkötehoa LO1:ssä on 507 MW ja LO2:ssa 502 MW, molemmissa reaktoreissa lämpötehoa on 1 500 MW. Loviisan laitokset puretaan välittömän käytöstäpoiston strategialla<sup>1</sup>. (Fortum 2018, s. 10–12)

Olkiluodossa on käytössä Teollisuuden Voiman (TVO) OL1 ja OL2, jotka ovat tyypiltään kiehausvesireaktoreita. Vuosina 1980 sekä 1981 käynnistyneet laitokset ovat ASEA-ATOM:n suunnitteleamia. Molempien reaktorien lämpötehot ovat 2 500 MW ja sähkötehot 890 MW. OL1 ja OL2 poistetaan viivästytyksen käytöstäpoiston strategialla. (TVO 2014, s. 13–17) VTT:n tutkimusreaktori FiR 1 ei enää ole varsinaisessa tutkimus- tai lääketiedekäytössä, ja sen käytöstäpoiston lupamenettelyt on jo aloitettu. Reaktori on vuonna 1962 käyttöön otettu Yhdysvaltalainen Triga Mark II -tutkimusreaktori, jonka fissioteho on 250 kW. (VTT 2017, s. 1; VTT & Pöyry Oy 2014, s. 11)

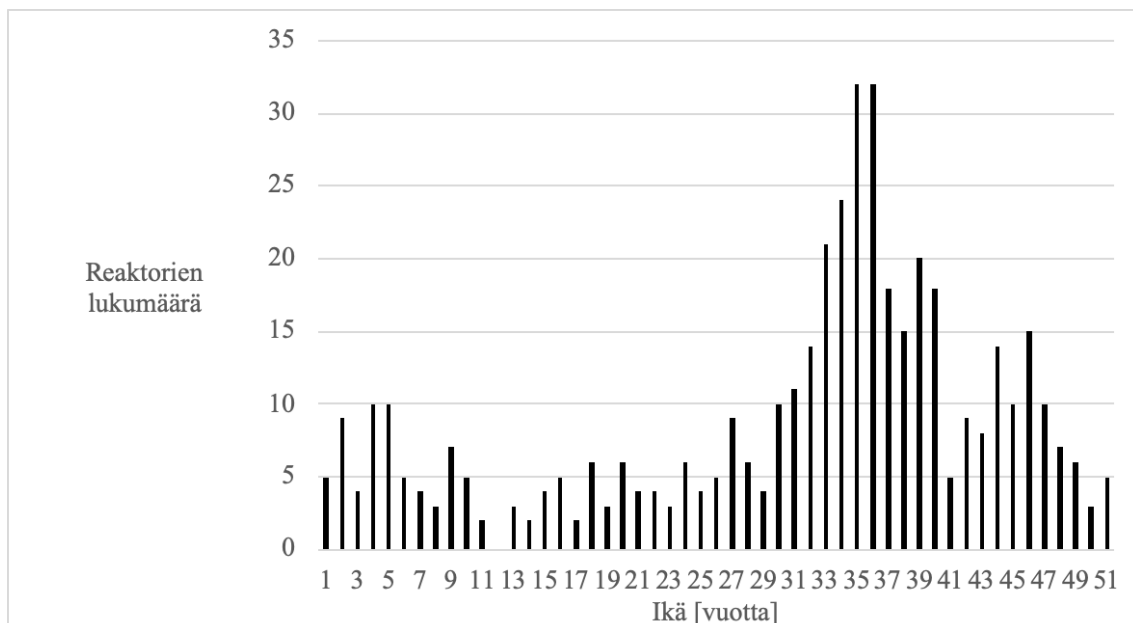
---

<sup>1</sup> Käytöstäpoistojen strategiat on selostettu työn alaluvussa 2.3.

Tulevia laitoksia ovat TVO:n Olkiluoto 3 (OL3) ja Fennovoiman Hanhikivi 1. Pian verkkoon kytkettävä OL3 on EPR-tyyppinen painevesireaktori, jonka lämpöteho on 4 300 MW. Hanhikivi 1:llä on vielä pitkä matka käyttöön. Tyypiltään se on AES-2006-painevesilaitos, joka on venäläisten VVER-reaktoreiden tuorein malli. Laitoksen lämpöteho on 3 200 MW ja sähköteho 1 200 MW. OL3 sekä Hanhikivi 1 poistetaan alustavasti välittömällä käytöstäpoistolla. (Fennovoima 2015, s. 8; TEM 2019(b), TVO 2015; Piipärinen & Lemmetty 2017, s. 8–9, 166–167)

## 1.2 Käytöstäpoistot määrällisesti

Laitoksen sulkemiselle ja sitä seuraavalle käytöstäpoistolle on yleensä kolme syytä. Yleisin on taloudellinen syy, joka korostuu laitoksen vanhetessa. Tällöin laitoksen vaatimat korjaukset ja päivitykset eivät ole perusteltuja verrattuna laitoksesta saataviin tuloihin. Ydinvoimalaitosten vanheneminen on yleismaailmallinen trendi. Iän mukaan ryhmiteltyjen reaktoreiden lukumäärä on esitetty **kuvassa 1**. (NEA 2016, s. 23–24; Laraia 2018, s. 5–6)



Kuva 1 Reaktoreiden lukumäärä iän mukaan (IAEA 2019)

Reaktorien ikä painottuu yli 30:een ikävuoteen. Näillä laitoksilla alkuperäinen suunniteltu käyttöaika oli noin 30 tai 40 vuotta. Suunniteltuihin käyttöaikoihin on kuitenkin saatu pidennyksiä. Esimerkiksi Suomessa ja Yhdysvalloissa ovat ajat pidentyneet 60 vuoteen, mikä on uusille reaktoreille suunniteltu käyttöikä. Toisaalta isot käytöstäpoistourakat ovat kuitenkin edessä 10–20 vuoden sisällä. Tällä hetkellä suljettujen laitosten määrä antaa hyvän kuvan tulevista käytöstäpoistoista. Laitoksista 12 on suljettu onnettomuuden takia, 37 poliittisista päätöksistä johtuen ja 122 täysinpalvelleina tai taloudellisista syistä. (NEA 2016, s. 23–24; World Nuclear Association 2019)

Käytöstäpoisto voidaan myös aloittaa onnettomuudesta tai poliittisesta päätöksestä johtuen. Voidaan myös ajatella, että käytöstäpoistolle ei välttämättä ole yksittäistä syytä. Esimerkiksi onnettomuuden aiheuttama vahinko voi olla korjattavissa, mutta laitoksen hetkinen ikä ja korjausten kustannukset eivät oikeuta käytön jatkamista. Poliittiset sulkemispäätökset seuraavat usein onnettomuuksia. Esimerkiksi Tšernobylin onnettomuus vuonna 1986 aiheutti alustavia poliittisia sulkemisia Saksassa, jossa koko teollisuutta koskeva alasajo päätettiin toteuttaa Fukushima vuoden 2011 onnettomuuden saattelemana. Onnettomuuksista seuraa tiukempia turvallisuusvaatimuksia, jotka tekevät laitoksen taloudellisesta käytöstä hankalampaa. Tiukempia vaatimuksia voi myös tulla kansainvälisen integroitumisen takia. Esimerkiksi useita Itä-Euroopan laitoksia joudutaan poistamaan käytöstä, läntisestä integraatiosta johtuvien turvallisuusvaatimusten takia. (NEA 2016, s. 23–25; Laraia 2018, s. 5–6)

### **1.3 Tavoitteet, rajausta ja menetelmät**

Kuten otsikosta voi päätellä, on työn aihe laaja. Yksinkertaisesti työtä voi kuvata suomalaisten ydinvoimalaitosten käytöstäpoistojen yleiskatsaukseksi. Vastaavaa tutkimusta on tehty aiemmin vuonna 2003 tehdyssä selvityksessä (Kyrki-Rajamäki & Vihavainen 2003). Vuoden 2003 jälkeen on kuitenkin tapahtunut muutoksia käytöstäpoiston teoriassa, suomalaisessa lainsäädännössä, laituskannassa sekä käyttöajoissa ja itse käytöstäpoistojen kustannusarvioissa.

Teoriaa tutkittaessa päätavoitteena on käytöstäpoistojen ja kustannusarvioiden tämänhetkisen tilannekuvan selvittäminen Suomessa ja maailmalla. Tilannekuvaan päästään avaamalla kustannusarvioiden metodeja, rajauksia ja käytäntöjä. Suomen lainsäädäntöä tarkastelemalla saadaan selville tilanne, johon ulkomailla tehtyjä arvioita voidaan verrata. Viimeisenä osana tilannekuvan selvittämiseen on kansainvälinen ISDC (International Structure for Decommissioning Costing) kustannustenluokittelukategoria. ISDC:n avulla vertaillaan tutkimus osiossa eri maiden arvioita. Myös ISDC:n käytettävyyttä arvioidaan.

Tilannekuvan pohjalta arvioidaan työn tutkimusvaiheessa laitosten arvioiden erilaisuuksien syitä ja arvioiden luotettavuutta. Vertailun ja tilannekuvan kautta pyritään löytämään kustannusarvioiden yleisiä ilmiöitä. Erityisesti suomalaisia arvioita pyritään vertaamaan sekä keskenään että kansainvälisten arvioiden kanssa. Tavoitteena on etsiä kansainvälisistä arvioista mahdollisia jatkotutkimuskohteita tarkemmalle vertailulle.

Purettavien jätteiden määrä ja laatu on tärkeä osatekijä kustannusarvioissa. Tavoitteena on löytää jätkekohtaisia arvioita, jotka ovat vertailukelpoisia suomalaisten laitosten kanssa. Arvioita löydettyessä selvitetään niiden käytettävyys karkealla tasolla.

Toinen tarkasteltava osatekijä on organisaatio. Organisaatioiden kokoa ja luonnetta arvioidaan. Organisaatiot on tarkoitettu muodostaa tarkasteltavasta laitoksesta riippuen vasta useiden vuosikymmenien päästä, jonka takia organisaatioita tarkastellaan yhdessä aikataulujen kanssa. Pitkän aikavälin tuomia uhkia ja haasteita pohditaan.

Työ käsittelee vain käytöstäpoistojen kustannuksia. Terminä käytöstäpoisto on laaja ja tässäkin työssä esitellään asioita, jotka kategoriasta riippuen kuuluvat käytöstäpoiston piiriin. Suomen ja usean muun maan lain kannalta vain radioaktiivisen materiaalin poistaminen on osa käytöstäpoistoa. Esimerkiksi painevesilaitoksissa konventionaalisen laitoksen poistaminen ei ole käytöstäpoistoa. Kovana rajauksena on käytetyn polttoaineen loppusijoitus, jonka kustannuksia työssä ei käsitellä. Polttoaineen poistamista ja käsittelyä tarkastellaan käytöstäpoiston aloittamisen edellytyksenä. Työssä keskitytään Suomen tilanteeseen ja suomalaisiin laitoksiin. Teorian osalta nojaututaan kansainvälisiin lähte-

siin. Mutta esimerkiksi vain Suomen lainsäädäntöä on avattu perusteellisesti. Jätekohtaisia kustannuksia tutkiessa esitellään joitain tekniikoista ja menetelmistä riippuvia kustannuksia. Syvällistä tekniikkavertailua ei tässä työssä tehdä.

Tutkimusmetodina on laadullinen kirjallisuustutkimus. Esimerkiksi kustannusten vertailut perustuvat pitkälti lähdeaineistoon. Haastatteluilla on tarkennettu yritysten käytöstäpoistosuunnitelmia ja -vertailuja. Haastatteluilla pyritään myös valottamaan käytöstäpoiston ja sen kustannuksien abstrakteja osa-alueita, kuten organisaation muodostamista. Haastattelut ovat kuitenkin vain asiantuntijapäätelmiä, joten kuvaillut tilanteet eivät välttämättä toteudu. Varsinkin kun tarkastellaan abstrakteja kokonaisuuksia, kuten vuosikymmenien päästä toteutuvan organisaation luonnetta. TVO:lta haastateltavana on ollut Mikko Lemmetty, Fortumilta Elina Kälviäinen ja Pasi Kelokaski sekä työ- ja elinkeinoministeriöstä Linda Kumpula. Fennovoiman Heikki Hinkkanen on antanut lyhyen lausunnon yrityksen tämänhetkisistä kustannusarvioista.

## 1.4 Työn rakenne

Työssä johdantoa seuraa Yleiskatsaus kustannusarvioista -luku, jossa tarkastellaan käytöstäpoiston ja erityisesti kustannusarvioiden teoriaa syvemmin. Teoria on kansainvälistä, mutta sen kautta selitetään suomalaisia valintoja käytöstäpoistoissa.

Seuraavana osiona on Laki, säädökset ja rahoitus -luku, jossa avataan pääasiassa suomalaista lainsäädäntöä. Ulkomaalaisten järjestöjen vaikutus kotimaiseen lainsäädäntöön otetaan myöskin huomioon. Laissa määriteltyä käytöstäpoiston lupamenettelyä havainnollistetaan VTT:n kooreaktorin käytöstäpoiston esimerkillä. Työ ja elinkeinoministeriön alaisen, käytöstäpoiston kustannuksiin varautuvan rahaston toimintaa selostetaan.

ISDC:n tarkastelu on saanut oman lukunsa. Järjestelmän käyttöä ja rakennetta avataan. Järjestelmää verrataan suomalaisiin yritysten sisäisiin kustannusten luokittelujärjestelmiin ja pohditaan yleisesti järjestelmän hyödyllisyyttä. ISDC-järjestelmän avulla voidaan käsitellä kustannuksia ja niiden arvioita. Tarkasteltavana on NEA:n keräämiä arvioita Euroopasta. Niissä on mukana myös Fortumin Loviisan voimalaitoksen ISDC-muotoon muunnetut arviot. Yhdysvalloista saatiin arvioita ja toteutuneita kustannuksia. Lukuja on

esitetty alkuperäisen luokittelujärjestelmän mukaan ja ISDC:ksi muunnettuina. Sama pätee Ruotsista saatuihin arvioihin. Ruotsin arviot perustuvat SKB:n julkaisemiin tutkimuksiin. SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) on ruotsalainen ydinjätteiden käsittelyyn ja loppusijoitukseen erikoistunut yritys. Viimeisenä ovat suomalaiset arviot Loviisan, Olkiluodon ja Hanhikiven projekteista. Nämä arviot esitetään omien luokittelujärjestelmiensä mukaan. Arviot ja kustannukset muunnetaan vuoden 2018 euromääräiseen rahan arvoon vertailun mahdollistamiseksi.

Seuraavassa luvussa käsitellään suomalaisten laitosten arvioituja jätemääriä, jätteiden käsittelyä ja jätteiden vaikutusta kustannuksiin. Tarkastelussa ovat Loviisan, Olkiluodon ja VTT:n laitokset. Luvun lopussa käsitellään ruotsalaisia jätkekohtaisia kustannusarvioita ja verrataan niitä Olkiluodon arvioihin.

Viimeisenä lukuna ennen johtopäätöksiä on käytöstäpoistojen aikataulujen ja organisaatioiden käsittely. Erityisesti tässä luvussa on pohdittu ajan vaikutusta kustannuksiin, sillä esimerkiksi organisaatiota ei voi suunnitella tarkaksi tällä hetkellä. Johtopäätöksiä seuraa vielä yhteenvetoluku.



## 2 YLEISKATSAUS KUSTANNUSARVIOIHIN

Tässä luvussa käsitellään kustannusarvioiden nykyistä tilaa, termejä, metodeja ja kustannusarvioissa tarvittavia taustatietoja.

### 2.1 Kustannusarvioiden nykytila, tasot ja metodit

Laitosten teknisestä käytöstäpoistosta on käytettävissä kokemukseen perustuvaa tietoa. Ensimmäiset purkamiset on tehty jo 1950-luvulla. Tuolloin purettavina oli ydinaseiden valmistukseen käytettyjä laitoksia. Ensimmäinen kaupallinen laitos purettiin 1970-luvulla Yhdysvalloissa. Teknisesti käytöstäpoiston työt ovat monialaisia. Osittain ne ovat säteilysuojelun ja dekontaminaation johdannaisia, eli töissä on käytetty hyväksi näiden alojen oppeja. Tekniikka on kehittynyt muun muassa erilaisten kauko-ohjattavien laitteiden ansiosta. Selkeästi parasta tapaa tekniikoissa ja metodeissa ei ole kuitenkaan nousnut esiin. Käytöstäpoiston tekniikat pitää räätälöidä laitoskohtaisesti. (Laraia 2018, s. 17–19, 29, 61–62)

Kustannuslaskelmien ja budjetoinnin kannalta kehitys ei ole ollut yhtä selkeää. Yleisesti kustannuslaskelmissa on ongelmana laitosten välinen vertailun vaikeus ja joissain tapauksissa toteutuneet kustannukset ovat ylittäneet arviot. Kustannuslaskelmissa vanhahtavana ajatuksena ovat olleet laitoskokoon tai rakentamisen kustannuksiin sidotut arviot. Rakentamiskustannuksiin sitoutunut oletus on ollut, että käytöstäpoiston kustannukset olisivat 10–15% toteutuneista rakentamiskustannuksista. Kehittyneemmät ja tarkemmat arviointimetodit perustuvat laitoskohtaisiin arvioihin. (Laraia 2018, s. 83–84)

Kustannusarviot voi jakaa tarkkuuden ja käyttökohteen mukaan ainakin kolmeen tasoon. Karkeimmat arviot ovat *suuruusluokka-arvioita*, jotka tehdään ennen tarkkaa tietoa. Niitä käytettäessä laitosta ei välttämättä ole vielä edes rakennettu. Suuruusluokka-arvioita käytettäessä kustannusten tarkkuus on luokkaa -15 %:sta aina +50 %:iin asti. Tarkemman tason arviot ovat *budjettiarvioita*. Tällä tasolla tarkempaa tietoa on saatavilla laitteista ja rakenteista, josta johtuen arviot ovat välillä -15 %...+30 %. Viimeisinä ovat *lopulliset ar-*

*viot*, jossa poistot on suunniteltu tarkasti. Esimerkiksi rakenteiden ja järjestelmien tarkastelussa on menty syvemmälle. Projektin laajuus on myös arvioitu. Lopulliset arviot ovat tarkkuudeltaan -5 %...+15 %. (Larsson et al. 2013(a)).

Kirjallisuudessa esitetään myös muunlaisia arviointitasoja. Pohjoismaiseen ydinturvallisuusyhteistyöhön tähtäävä NKS on omassa tutkimuksessa lainannut isojen kemianteollisuuden laitosten rakentamisen kustannusarviotasoja. (Andersson et al. 2006, s. 45).

Käytetyin kustannuslaskennan menetelmä on *työpohjainen kustannuslaskenta* (bottom-up-menetelmä). Menetelmän ideana on jakaa työ pienimpiin mahdollisiin osiin. Pienemässä osassa tehdään osan poistamiseen tarvittava kustannusarvio työn ja materiaalien osalta. Pienemmät osat kootaan yhteen. Kun kaikki osat on laskettu yhteen, saadaan koko projektin kustannusarvio. Edellytyksenä menetelmän soveltamiselle ovat yksityiskohtaiset tiedot ja dokumentit purettavasta laitoksesta. (NEA 2015, s. 13)

*Spesifin analogian menetelmässä* pyritään selvittämään yhden laitteen tai laitetyyppin poiston kustannukset. Nykyistä projektia verrataan aikaisempiin samankaltaisiin ja esimerkiksi vuosihuollon aikana tehtyihin töihin. Aikaisempien projektien pohjalta tehdään kustannusarvio. Arviossa otetaan huomioon erilaiset muutokset muun muassa projektin kokoon ja työn monimutkaisuuteen. Tällä menetelmällä voi päästä tarkkaan arvioon, mutta edellytyksenä on tarkka dokumentointi aikaisemmista töistä. (NEA 2015, s. 13)

*Parametrisella menetelmällä* pyritään saamaan laskennallisesti selville karkea kustannusarvio. Samankaltaisten systeemien käytöstäpoiston kustannuksia kootaan yhteen. Datasta saadaan laskennallisesti yhtälöitä, jotka kuvaavat muun muassa kustannusten ja purettavan materiaalin tilavuuden suhdetta. Menetelmällä pyritään tuottamaan purkamisen kokoluokka-arviointeja. Menetelmää voidaan käyttää ennen laitoksen varsinaista valmistamista, muun muassa alustaviin suunnitelmiin. (NEA 2015, s. 13)

Kaksi muuta menetelmää ovat *arvioiden päivitys* ja *asiantuntija-arviot*. Spesifi analogia ja asiantuntijamielipiteet ovat tavallaan alisteisia työpohjaiselle menetelmälle, jonka pienimpien osien kustannusarviot perustuvat juurikin näiden menetelmien tuottamalle tiedolle. (NEA 2015, s. 13) Suomessa kustannuslaskentaprosessi on luonteeltaan suunnitel-

mien päivitystä, koska laissa on määrätty tehtäväksi kuuden vuoden välein käytöstäpoiston suunnitelma (Ydinenergi laki 1987/990). Suunnitelmaa päivitetään yritysten oman tiedon pohjalta ja viranomaisen lisää siihen omat huomautuksensa.

Yhdysvalloissa on myös käytössä *yhtälöpohjainen menetelmä* NUREG-1307. Käytäntö perustuu vuoden 1986 ja sitä edeltäneisiin arvioihin, joiden perusteella eri kokoluokkien laitoksille on annettu kokonaiskustannusarvioita. Toisaalta tämänkin voi nähdä parametrisenä menetelmänä. **Taulukossa 1** on esitetty nämä arviot. Taulukossa  $P_t$  on laitoksen lämpöteho. (NRC 2019, s. 5–17; Laraia 2018, s. 83–84)

Taulukko 1 NUREG-1307 laitoksen koko kustannusarviot (NRC 2019 s. 9)

Laitoksen tyyppi ja koko	Kokonaiskustannukset vuonna 1986
PWR laitos $P_t$ on 3 400 MW tai enemmän.	105 M\$
PWR laitos $P_t$ on 1 200 MW–3 400 MW. $P_t$ ollessa alle 1 200 MW, on $P_t$ 1200 MW.	$(75 + 0,0088 \cdot P_t)$ M\$
BWR laitos $P_t$ on 3 400 MW tai enemmän.	135 M\$
BWR laitos $P_t$ on 1 200 MW–3 400 MW. $P_t$ ollessa alle 1 200 MW, on $P_t$ 1 200 MW.	$(104 + 0,009 \cdot P_t)$ M\$

Vuoden 1986 arvot muutetaan halutun vuoden arvioiksi **yhtälöllä 1**. Yhtälö on NRC:n (Nuclear Regulatory Commission) ja PNNL:n (Pacific Northwest National Laboratory) yhdessä laatima ja huomioi rahan arvon muutosta tavallista inflaatiolaskuria paremmin.

$$K_{kx} = K_{k1986}(AT_x + BE_x + CJ_x) \quad (1)$$

Jossa

$K_{kx}$  on kokonaiskustannukset haluttuna vuonna.

$K_{k1986}$  on kokonaiskustannukset vuonna 1986.

$A$  on työvoimakustannusten osuus vuoden 1986 kokonaiskustannuksista.

$T_x$  on työvoimakustannusten kasvutekijä haluttuun vuoteen.

$B$  on energian ja kuljetusten kustannusten osuus vuoden 1986 kokonaiskustannuksista.

$E_x$  on energian ja kuljetusten kasvutekijä haluttuun vuoteen.

$C$  on jätteiden käsittelyn osuus vuoden 1986 kokonaiskustannuksista.

$J_x$  on jätteiden käsittelyn kasvutekijä haluttuun vuoteen.

PWR- ja BWR-laitosten yhtälön tekijät A, B ja C ovat hieman erilaiset, mutta niissä voidaan käyttää keskiarvoja. Tällöin A on 0,65, B on 0,13 ja C on 0,22. Eri kustannusten kasvutekijöistä on koottu taulukoita NUREG-1307 uusimpaan päivitykseen (NRC 2019). Tavan käyttöä on avattu esimerkein päivityksen sivuilla 9–17. Käytäntö ei kuitenkaan tähtää tarkkaan arvioon. Pääasiassa se on lain vaatima varmistus purkamiseen vaadituista varoista. Tällä metodilla päästään vain kokoluokka-arvion tasolle. (NRC 2019, s. 5–17; Laraia 2018, s. 83–84)

## 2.2 Käytöstäpoiston laajuus ja rajaus

Käytöstäpoistot ovat suuria kokonaisuuksia, joita voi parhaiten arvioida jakamalla ne pienempiin osiin, kuten bottom-up-menetelmässä. Kirjoittajan oma näkemys on jakaa käytöstäpoiston tekijät kahteen pääryhmään, fyysisiin ja keinotekoisii tekijöihin. Tarkempi ohjeistus kustannusarvioiden aloituksesta, rajauksesta ja yleisestä suorittamisesta on muun muassa NEA:n julkaisemassa dokumentissa (NEA 2015).

Fyysiset tekijät ovat purettavan kohteen mitattavat ominaisuudet. Korkeimpana kokonaisuutena tässä on laitoksen fyysinen koko. Kuten jo edellä on mainittu, koko on hyvin karkea ja epätäydellinen tapa arvioida käytöstäpoistoa ja sen kustannuksia. Koon merkitystä on arvioitu laajemmin tämän työn kustannusluvussa 5. Purettavan materiaalin laadulla on merkitystä, erityisesti sen radioaktiivisuudella. Purettavan materiaalin aktiivisuus erottaa ydinvoimalaitosten käytöstäpoistot normaaleista purkutöistä. Aktiivisuuden takia tarvitaan erityisiä menetelmiä purkamiseen ja jätteidenkäsittelyyn, jotka ovat luonnollisesti tavanomaista purkamista kalliimpia. Käytöstäpoistot ovat myös hyvin työvoimaintensiivisiä projekteja, kuten edellä mainitusta NUREG-1307-yhtälöstä voi päätellä. Viimeisenä fyysisenä tekijänä kustannusten arvioimisessa on aika, eli esimerkiksi kuinka kauan kallista organisaatiota tarvitsee ylläpitää. Näitä tekijöitä käyttämällä voi jo saada yksinkertaisen arvion käytöstäpoiston kustannuksista. (NEA 2015, s. 14–17)

Käytöstäpoistoa ei tehdä tyhjiössä. Erityisesti käytöstäpoistoon liittyvässä kirjallisuudessa ovat paikalliset lait ja säädökset mainittu määrittelevinä tekijöinä. Voisi jopa sanoa, että laki ja viranomaiset määrittelevät mitä käytöstäpoisto on, ja miten se tulee tehdä. Esimerkiksi Suomen tapauksessa lopulta Säteilyturvakeskus (STUK) toteaa laitoksen käytöstäpoiston olevan riittävä. Myöskin jätteiden käsittelyä ohjaavat omat säädökset. Näin ollen arvioita tehdessä täytyy huomioida lakien ja säädösten aiheuttamat tekijät kustannuksiin. Koska säädökset ja lait vaihtelevat maittain tai jopa osavaltioittain, on kustannusten vertailussa tehtävä taustatutkimusta. (NEA 2016, s. 41–42; Ydinenergialaki 1987/990)

Vaikka kustannusarvioissa edellä olevat tekijät olisivatkin samat, voi eroja tapahtua arvioinnin metodeissa ja kustannusten luokittelussa. Kustannukset voidaan luokitella eri kategorioihin, mikä taas vaikeuttaa eri arvioiden vertailua. Esimerkiksi maiden sisäisesti eri yritykset voivat käyttää eri kategorioita. Vertailun parantamiseksi on esitetty muun muassa NEA:n laatiman ISDC-luokittelujärjestelmän käyttämistä (NEA 2016, s. 58).

ISDC:tä on avattu tämän työn luvussa 4. Lisäksi luvussa 5 on avattu hieman kahta erityyppistä ruotsalaista arviota.

### **2.3 Käytöstäpoiston strategiat**

Tässä työssä ja muussa kirjallisuudessa viitataan usein käytöstäpoistostrategioihin, jotka kuvailevat miten purkaminen toteutetaan. Yleisesti hyväksytyt strategiat ovat *välitön ja viivästytetty käytöstäpoisto*. Kolmantena strategiana on *hautaus* tai kuvailevammin kutsuttuna *pitkäaikainen säilytys*. (NEA 2016, s. 45–47; Tang & Saling 1990, s. 342–350; Kyrki-Rajamäki & Vihavainen 2003, s. 11)

Välittömässä käytöstäpoistossa purkaminen aloitetaan mahdollisimman pian sulkemisen jälkeen. Strategian etuna on ajankohtaisuus. Purkamisessa voidaan käyttää käyttöön osallistunutta organisaatiota, jolloin laitostuntemus on käytettävissä. Tämä tietysti riippuu siitä, onko henkilöstö motivoitunut ja halukas jäämään töihin tehtävään, jossa oma työpaikka suljetaan. Koska poisto tapahtuu heti, ei jälkipolville jää mittavia velvoitteita. To-

sin tämä riippuu laitosalueen suunnittelusta lopputilasta. Esimerkiksi Loviisan voimalaitoksessa jätetään aluksi purkamatta muun muassa nestemäisten jätteiden kiinteytyslaitos. Suomessa ei yleensä ole tarkoitus vapauttaa laitosalueita yleiseen käyttöön lyhyellä aikavälillä. Haasteena välittömässä käytöstäpoistossa on korkeampi aktiivisuustaso ja suurempi jätteiden määrä. Näin ollen on työnteko haastavampaa. Toisaalta lyhyellä aikavälillä rakenteiden materiaaleissa ei tapahdu korroosiota, joka voisi aiheuttaa arvaamattomia muutoksia aktiivisuuden siirtymisessä. IAEA pitää välitöntä käytöstäpoistoa toivottuimpana strategiana. NEA:n mukaan se on myös suosituin strategia. (NEA 2016, s. 45–47; Tang & Saling 1990, s. 342–350; Kyrki-Rajamäki & Vihavainen 2003, s. 11)

Viivästytyssä käytöstäpoistossa laitosta ei pureta heti. Laitos saatetaan valvottuun säilytykseen tilaan, jonka aikana rakenteiden ja järjestelmien aktiivisuustaso laskee luontaisesti. Tulevat työt eivät tämän johdosta ole säteilysuojelullisesti niin vaativia, myöskin jätteen määrä on pienempi. Toisaalta rakenteiden vanheneminen voi aiheuttaa rakenteellisia ja säteilysuojelullisia riskejä. Säilytysaika, joka voi olla useita kymmeniä vuosia aiheuttaa haasteita ja etuja. Ajalla voi hallita isoja kokonaisuuksia yrityksen tai jopa valtion tasolla. Yritykset voivat viivästytyllä käytöstäpoistolla sulkea useita eri ikäisiä laitoksia samalla laitosalueella peräkkäin. Tässä tilanteessa voidaan purkamisten välillä käyttää samoja laitteita ja organisaatiota. Tämän kaltaisia etuja on ajateltu TVO:n laitosten purkamisissa. Viivästytetty käytöstäpoisto voi myös olla ainoa mahdollinen poistamisen strategia. Esimerkiksi tilanteissa, joissa työvoiman ja purettavien projektien määrä eivät kohta, joudutaan laitoksen poistoa viivyttämään. Säilytyksen aikana voidaan onnistuneilla sijoituksilla kasvattaa poistoon tarvittavia varoja, varsinkin jos niitä ei ole välittömästi saatavilla. Purkamisen teknologiat ja metodit voivat myös kehittyä ajan myötä edullisempaan suuntaan. Aika tuo myös mukanaan haasteita. Ajan myötä rahan arvo laskee ja rahastojen sijoitukset eivät välttämättä tuota voittoa. Yllättävät elementit voivat aiheuttaa ajan myötä kustannuksia, esimerkiksi lainsäädäntö voi muuttua epäedullisempaan suuntaan. Huonosti hoidettuna tarpeellinen tieto voi kadota. Tätä uhkaa on tarkasteltu tarkemmin luvussa 7. (NEA 2016, s. 45–47; Tang & Saling 1990, s. 342–350; Kyrki-Rajamäki & Vihavainen 2003, s. 11)

Hautaus on poikkeuksellinen käytöstäpoiston strategia. Siinä laitosta ei alustavasti pureta lainkaan. Laitos ja erityisesti sen radioaktiiviset järjestelmät ja rakenteet eristetään ulkomaailmasta; aika tässä voi olla 100 vuotta tai enemmänkin. Eristysrakenteiden oletetaan kestävän 200 vuotta (Tang & Saling 1990, s. 342–350). Säilytyksen jälkeen purkamisen voisi tehdä normaalisti. Kansainvälisesti hautaus ei ole suositeltu strategia. Suomessa ydinenergialaki taas kieltää käytöstäpoiston perusteettoman lykkäyksen (Ydinenergialaki 1987/990). Poikkeuksena kansainväliseen konsensukseen on Yhdysvallat, jossa hautaus on hyväksytty käytöstäpoiston strategia (Laraia 2018, s. 21–25). Hautausta on kuitenkin mahdollista käyttää poikkeuksellisissa tilanteissa, kuten onnettomuuksissa. (NEA 2016, s. 45–47; Kyrki-Rajamäki & Vihavainen 2003, s. 11)

Edellä esitettyjen etujen ja haittojen perusteella valitaan tilanteeseen sopiva strategia. Tang & Saling (1990) mukaan välitön käytöstäpoisto on huomioitu edullisimmaksi strategiaksi ja viivästytetty käytöstäpoisto kalleimmaksi. Hautauksen kustannukset ovat näiden kahden strategian välissä. (Tang & Saling 1990, s. 342–350) Toisaalta kyseessä on melko teoreettinen arvio, jota tässä vaiheessa on vaikea varmentaa. Tähän työhön on löydetty lukuja vain toteutuneista projekteista, jotka on purettu välittömän käytöstäpoiston strategialla. Lisäksi kustannuksia voivat nostaa monet muut kuin yksinomaan strategiasta johtuvat tekijät. Esimerkiksi suomalaisissa arvioissa viivästytyksiä käytöstäpoistettavat Olkiluoto 1 ja 2 (OL 1 ja 2) on kokonaisuudeltaan arvioitu halvemmiksi purkaa kuin Loviisa 1 ja 2 (LO 1 ja 2). Syinä tähän ovat muun muassa vaikeammin purettava laitoksen rakenne. Tällä hetkellä tilanteen arviointi on hankalaa. Tarkempia arvioita saadaan, kun viivästytyksiä purkamisia on toteutettu. Tosin tässäkin vertailussa on huomioitava muut tekijät. Laitoksia ei pureta tyhjiydessä vaan osana lakien ja taloudellisten seikkojen vuorovaikutusta.

### 3 LAKI, SÄÄDÖKSET JA RAHOITUS

Tässä luvussa käsitellään käytöstäpoiston lainsäädäntöä ja hallintoa. Ympäröiviä säädöksiä, suosituksia ja sopimuksia tarkastellaan ensin kansainvälisellä tasolla, jolta laskeudutaan syvemmälle kohti kotimaista lainsäädäntöä. Lopussa käytetään esimerkkinä VTT:n FiR 1-reaktorin lupahakemusmenettelyä.

Laki ja säädökset luovat ydinvoiman käytölle ja käytöstäpoistolle toimintaympäristön. Vaadituista suunnitelmista ja ohjauksesta huolimatta vetovastuu suomalaisessa ydinvoimateollisuudessa on yrityksillä (Kumpula 2019). Vaikka yrityksillä on vastuu laitosten käytöstä ja purkamisesta, ne tuottavat sähköä markkinatalouden lainalaisuuksien puitteissa. Tämä on hyvä pitää muistissa, sillä lainsäädäntöä lukiessa voi esimerkiksi käytöstäpoiston suunnitelmia luulla virheellisesti suunnitelmatalouden asiakirjoiksi. Työ ja elinkeinoministeriöllä (TEM) ei myöskään ole suunnitelmien laatijan roolia.

#### 3.1 Kansainväliset säädökset ja suositukset

Ydinenergia-alalla on kansainvälisesti useita toimijoita ja sopimuksia, joista toiset ovat velvoittavia ja toiset neuvoa-antavia. Yksi merkittävin ulkoisista toimijoista on Kansainvälinen atomienergiajärjestö (IAEA), jolla on kaksi päätehtävää. IAEA:lla on valvova rooli ydinmateriaalin valvonnassa ja merkittävä rooli ydinturvallisuuden edistämässä. Tarkoituksena on estää ydinaseiden ja niiden valmistukseen tarvittavan materiaalin, laitteiston ja tiedon leviäminen. Tämä rooli on yhteyksissä käytöstäpoistoon, vaikka poistot katsotaan alkaneeksi vasta polttoaineen poistuttua laitoksesta. Käytöstäpoiston suunnitelmiin tulee ottaa huomioon polttoaineen ja muiden ydinjätteiden siirtojen byrokratia sekä niihin kuluva aika. (Sandberg et al 2004, s. 375–376)

IAEA:n toinen merkittävä rooli on ydinturvallisuuden edistäminen. IAEA julkaisee turvallisuussuosituksia. Suositukset eivät ole juridisesti velvoittavia. Sen sijaan niillä on osaamisen tuoma arvostus. Osaaminen perustuu asiantuntevaan organisaatioon ja laadintaprosessiin, jossa kuunnellaan useita jäsenmaita. Ohjeistukset ovat usein kotimaisten viranomaisten lähteinä muun muassa lainsäädännössä. (Sandberg et al. 2004, s. 364–365, 375–376)



Euroopan unionin sisällä toimijoina ovat itse Euroopan komissio ja Euroopan atomienergiayhteisö (Euratom). Suomi on EU-jäsenyydestä johtuen molempien vaikutuksen piirissä. Komissiolla on teoriassa perustamissopimuksen oikeuttama ylikansallinen viranomaisasema säteilysuojelussa ja ydinaseiden leviämisen estämisessä. Komissio ei kuitenkaan käytä valtaansa suorasti, vaan pyrkii tekemään yhteistyötä jäsenmaiden viranomaisten kanssa. Tässä keinoina ovat ohjeet, suositukset ja direktiivit. Direktiivi on EU:n määrittelemä tavoite, johon paikallisen lainsäädännön on yllettävä. Suomen ydinenergialakia on muutettu vuonna 2018 vuonna 2013 säädetyin nojalla. Kyseinen direktiivi 2013/59 on käytöstäpoiston kannalta merkittävä, sillä siihen perustuen käytöstäpoisto on määritelty luvanvaraiseksi (Ydinenergialaki 1987/990 § 20a). Direktiivit voivat vaikuttaa myös muihin alaa sivuaviin lakeihin, kuten säteilylakiin tai ympäristövaikutusten arviointiselvityslakiin. (Sandberg et al. 2004, s. 378–379; Neuvoston direktiivi 2013/59)

Euratom on EU:n alaisena toimiva itsenäinen järjestö, jonka vastuulla on jäsenien ydinmateriaalivalvonta ja yleinen ydinalan kehittäminen. Valvonnassa Euratom tekee yhteistyötä IAEA:n kanssa, mutta kummatkaan eivät ole toiselle alisteisia. Euratomin valvontavoitteet kohdistuvat jäsenmaiden laitoksiin, kun taas IAEA:n jäsenmaihiin kokonaisuutena. Euratomin perustana on sen perustamissopimus (allekirjoitettu 1957), joka käsittelee sektoria varsin suurpiirteisesti. Sopimusta kannattaa tarkastella historiallisessa kontekstissaan. Sen voimaan astuessa ydinenergiasektori oli vasta kehittyvä ala Euroopassa. Tällä on suuri ero nykytilaan, jossa useita laitoksia joudutaan sulkemaan seuraavina vuosikymmeninä. Sopimuksessa on kuitenkin käytöstäpoistoa koskevia osuuksia. Artikla 37:n mukaan jätteiden hävityksestä pitää ilmoittaa ja artikla 41:n nojalla uusista laitoksista ja muutoksista tulee myöskin ilmoittaa. (Euratom Treaty 1957, s. 37,41). (Sandberg et al. 2004, s. 337–338, 378–379)

Kansainvälisesti on myös yleissopimuksia ja kahdenvälisiä sopimuksia, mutta nämä keskittyvät pääasiassa onnettomuustilanteiden avunantoon, ilmoittamiseen ja vastuuseen. Ne eivät ole suoraan yhteyksissä käytöstäpoistoon, vaikka onnettomuudet ovat käytöstäpoistoissakin mahdollisia muun muassa kuljetuksissa. Kolmas merkittävä kansainvälinen organisaatio alalla on Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestön (OECD) alainen Nu-

clear Energy Agency (NEA). NEA on tutkinut käytöstäpoistoa ja sen kehittämää kustannusten luokittelujärjestelmää käsitellään luvussa 4. NEA:lla ei ole sopimusten tuomaa vastuuta tai valtaa. (Sandberg et al. 2004, s. 364–365, 377–378)

### **3.2 Kotimainen lainsäädäntö**

Suomessa ylin toimeenpanovalta on valtioneuvostolla, eli hallituksella. Se voi tehdä olemassa olevien lakien pohjalta tarkentavia asetuksia ja määräyksiä. Lisäksi se voi esittää eduskunnalle uusia lakeja tai voimassa olevien lakien muuttamista. Valtioneuvosto ja eduskunta eivät ole asiantuntijaorganisaatioita, joten erilaiset muutos- ja asetuspäätökset tehdään eri ministeriöiden tukemina. Ministeriöt ovat valtioneuvoston alaisia organisaatioita ja niiden hallussa on oman alansa ylin johto ja valvonta. Ydinvoiman ja käytöstäpoiston kannalta sosiaali- ja terveysministeriö sekä työ- ja elinkeinoministeriö ovat tärkeimmät ministeriöt. (Sandberg et al. 2004, s. 357, 366–367)

Työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM) kuuluu maassamme ydinalan korkein johto ja valvonta. TEM:llä on merkittävässä asemassa käytöstäpoiston suhteen. Sen alaisuudessa toimii Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR), ja ministeriöllä on yleinen vastuu ydinjätehuollosta. Lisäksi se toimii yhteysviranomaisena ympäristövaikutusten arviointiselvityksissä (YVA-selvitys). TEM:n muita tehtäviä ovat muun muassa laki- ja asetusvalmistelut ja lupakäsittelyt. (Sandberg et al. 2004, s. 368)

Säteilyn ja ydinvoiman turvallisuuden valvonta on eriytetty sosiaali- ja terveysministeriön (STM) alaiselle Säteilyturvakeskukselle (STUK). STUK valvoo kokonaisvaltaisesti ydinvoiman ja säteilyn turvallisuus- ja terveysuhkia. STUK voi itse antaa ydinturvallisuus- eli YVL-ohjeita tai se voi antaa asiantuntijaneuvoja asetuksia tai lakeja säädettäessä. STUK antaa lausuntonsa lupahakemuksista ja näin vaikuttaa käytöstäpoistoluvan etenemiseen. STUK:n ohjeet vaikuttavat myös käytöstäpoistoon, esimerkiksi YVL-ohjeet määrittävät jätteiden vapautumisrajat. Lisäksi radioaktiivisten aineiden kuljetukseen vaaditaan STUK:n lupa. (Sandberg et al. 2004, s. 369, 404)

Myös muiden ministeriöiden vastualueet käsittelevät ydinalaa ja käytöstäpoistoa. Ympäristöministeriöllä on painava lausuntoarvo käytöstäpoistossa ja jätehuollossa. Useat ministeriöt antavat muun muassa YVA-selvityksiin omia vastuualueitaan koskevia lausuntoja. (Sandberg et al 2004, s. 369–371)

Ydinenergiaan ja turvallisuuteen liittyvien lakien perusta on nähtävissä jo Suomen perustuslaissa. Sen mukaan viranomaisten tehtäviin kuuluu terveellisen elinympäristön mahdollistaminen. Jokaisella on myös oikeus vaikuttaa elinympäristöään koskeviin päätöksiin. (Perustuslaki 1999/731 § 20) Tähän pohjautuen on laadittu ympäristöä ja turvallisuutta koskevia lakeja. Käytöstäpoiston kannalta näistä tärkein on ydinenergialaki, joka käsittelee useita ydinenergian osa-alueita. Myös laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä on tärkeä käytöstäpoiston kannalta, sillä YVA-menettelyt täytyy laskea poiston aikatauluihin. Aihetta sivuavia lakeja ovat säteilylaki ja ydinvastuulaki. Näistä ensimmäinen käsittelee yleistä säteilyturvallisuutta ja määrittelee käytöstäpoistotyössä noudatettavia rajoja (Säteilylaki 2018/859). Ydinvastuulaki taas käsittelee muun muassa onnettomuuksien korvausvelvollisuuksia (Ydinvastuulaki 1972/484). Molemmat lait vaikuttavat vain välillisesti kustannuksiin, eivätkä kuvaile suoraan käytöstäpoiston velvollisuuksia. Toisaalta säteilylaki velvoittaa säteilytoiminnanharjoittajaa huolehtimaan syntyneistä radioaktiivisista jätteistä ja käyttötilojen käytöstäpoistamisesta. Säteilylaki katsoo asiaa ydinenergialakia laueammin, eli sen piirissä on muitakin säteilytoiminnanharjoittajia kuin ydinvoimalaitoksia. (Sandberg et al 2004, s. 356; Säteilylaki 2018/859; Ydinenergialaki 1987/990; Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 2017/252)

Ydinenergialain käsittelemät asiat on tiivistetty sen tarkoituksen kuvaukseen: ”Ydinenergian käytön pitämiseksi yhteiskunnan kokonaisedun mukaisena ja erityisesti sen varmistamiseksi, että ydinenergian käyttö on ihmisen ja ympäristön kannalta turvallista eikä edistä ydinaseiden leviämistä, säädetään tässä laissa ydinenergian käytön yleisistä periaatteista, ydinjätehuollon toteuttamisesta, ydinenergian käytön luvanvaraisuudesta ja valvonnasta sekä toimivaltaisista viranomaisista.” (Ydinenergialaki 1987/990 §1). Käytöstäpoiston kustannusten kannalta lain tärkeimmät osa-alueet ovat ydinjätehuollolle ja luvanvaraisuudelle asetetut ehdot.

Lait eivät itsessään määrittele kaikkia velvoitteita tarpeeksi tarkasti. Lakeja tarkennetaan asetuksilla. Perustuslain mukaan tasavallan presidentti, valtioneuvosto ja vastaavat ministeriöt voivat antaa asetuksia (Perustuslaki 1999/731 §80). Yleensä asetukset antaa valtioneuvosto, mutta niiden valmistelevat työt ovat vastaavilta ministeriöiltä. Nykyisin myös STUK:lla on oikeus antaa sitovia määräyksiä. Tämä muutos on tullut voimaan 15.12.2018 uuden säteilylain ja ydinenergialain muutoksen takia. Aiemmin STUK on avustanut asetusten laadinnassa. Säädösten hierarkiassa on alempana ei sitovia ohjeita, jotka ovat viranomaisohjeet ja teolliset standardit. Ohjeita ovat STUK:n antamat ydinturvallisuusohjeet (YVL-ohjeet) ja valmiusohjeet (VAL-ohjeet). Ohjeet eivät ole lain tavoin täysin sitovia. Niitä voidaan soveltaa eri tavoilla, jos voidaan osoittaa vaihtoehdoisen tavoin tuottavan ohjeella tavoitellun turvallisuustason. Käytöstäpoiston kannalta merkittävimpin ohje on YVL D.4 Matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden käsittely ja ydinlaitoksen käytöstäpoisto. (STUK 2019(b))

Suomessa ydinjätteisiin kuuluvat käytetyt polttoaineet sekä purkamisen jätteet. Yhteisesti nämä kuuluvat ydinjätehuollon piiriin. Koko Suomen ydinjätehuoltoa tarkastellaan TEM:n laatimassa kansallisessa ydinjätehuolto-ohjelmassa. Ohjelmassa esitetään muun muassa jätteen määrää, aikatauluja, sijoituspaikkoja ja kustannuksia. Vastuu jätehuollosta on luvanhaltijoilla, joilla on huolehtimisvelvollisuus jätteistä. Luvanhaltija huolehtii siis kaikista jätteenhuoltotoimenpiteistä. Luvanhaltija myös tiedottaa toimenpiteistään kolmi-vuotisella jätehuoltosuunnitelmalla ja kuusivuotisella voimalaitoksen käytöstäpoiston suunnitelmalla. Näiden tarkat vaaditut sisällöt on esitetty ydinenergia-asetuksen pykälissä 74 ja 79a. (Ydinenergialaki 1987/990; Ydinenergia-asetus 1988/161)

Huolehtimisvelvollisuudesta vapaudutaan kolmella tavalla. Velvollisuus voidaan siirtää toiselle tai ottaa pois valtion toimesta. Siirtoon tarvitaan TEM:n hyväksyntä. TEM voi myös todeta, että luvanhaltija ei ole toteuttanut tai ei kykene toteuttamaan huolehtimisvelvollisuuttaan. Valtioneuvos tekee päätöksen, otetaanko velvollisuus pois. Tällöin jätteet siirtyvät valtiolle tai valtion määräysvallan alaiselle yhteisölle. Jätteet voivat myös siirtyä Suomen lainsäädännön ulkopuolelle, tietysti noudattaen materiaalin valvontaan liittyviä sopimuksia. Kuitenkin Suomessa syntyneet jätteet on käsiteltävä ensisijaisesti kotimaisesti. Poikkeuksia ovat VTT:n tutkimusreaktorin käytetty polttoaine ja sen käsittelyyn menevät ydinjätteet, joiden radioaktiivisten aineiden määrä on vähäinen. Toivotuin

velvollisuuksista vapautuminen on jätteiden loppusijoituksen ja voimalaitoksen käytöstäpoiston toteutuminen. STUK määrittelee ovatko yritysten toimenpiteet olleet riittäviä velvollisuudesta vapautumiseen. Jätteitä voidaan myös vapauttaa valvonnasta. Tällöin jätteitä käsitellä tavallisina jätteinä, ohjeet vapautumisrajoista ovat STUK:n määräyksessä SY/1/2018 ja ohjeessa YVL D.4. Yleisesti rajat ovat materiaalikohtaisia, mutta pienempien jätemäärien rajat on ilmaistu yksinkertaisemmin. (Ydinenergialaki 1987/990; Ydinenergia-asetus 1988/161; SY/1/2018; YVL D.4/2019)

Suomessa ydinvoimalaitoksen käytöstäpoisto on luvanvaraista toimintaa. Luvan myöntää valtioneuvosto. Myöntämiselle on edellytyksenä, että luvanhaltijan turvallisuus, asiantuntemus ja tarvittavat varat ovat kunnossa. Hakuprosessi on myös aloitettava riittävien ajoissa, jotta viranomaisilla on aikaa käsitellä sitä. (Ydinenergialaki 1987/990) Luvanhakuprosessissa ensimmäinen askel on YVA-selvitys, joka tehdään kaikille ympäristöön vaikuttaville projekteille. Työ- ja elinkeinoministeriö on ydinlaitosten YVA-menettelyissä yhteysviranomainen. TEM vastaa siitä, että ympäristövaikutusten arviointimenetely järjestetään ja antaa siitä perustellun päätelmän. Hankkeen vastaava laatii yhteysviranomaiselle arviointiohjelman. Hankkeen vastaava voidaan rinnastaa ydinlaitosten tapauksissa luvanhaltijaan. Arviointiohjelmassa annetaan tietoa hankkeesta, sen toteuttamisvaihtoehdoista ja ympäristövaikutuksista. Yhteysviranomainen järjestää arviointiohjelmasta kuulemisen. Kuulemisen pohjalta laaditaan arviointiselostus, josta järjestetään myös kuuleminen. Selostuksesta yhteysviranomainen laatii perustellun päätelmän, selostusta täydennetään, jos siinä havaitaan puutteita. Arviointiselostus ja perusteltu päätelmä ovat lupahakujen edellytyksenä. (Laki ympäristövaikutusten arviomenettelystä 2017/252) Tulevaisuudessa on tarkoitus kehittää lainsäädäntöä, erityisesti käyttö- ja käytöstäpoistolupien rajapinnan suhteen. Mallia lainsäädäntöön on tarkoitus ottaa muun muassa Ruotsista (Kumpula 2019). Koko ydinjätehuollon lainsäädännön kehittämistä on tarkasteltu TEM:n loppuraportissa (Kumpula & Slant 2019).

Käytöstäpoiston lupaa haetaan kirjallisesti valtioneuvostolta. Hakemuksessa on mukana laitoksen yleiset tiedot, kuten laitoksen nimi ja sijainti. Liitteenä hakemuksessa on käytöstäpoistoon liittyviä selostuksia muun muassa jätteiden laadusta ja määrästä. Lisäksi mukana on edellä mainittu ympäristövaikutusten arviointiselostus ja perusteltu päätelmä. Vaadittavat tiedot on määritetty tarkemmin ydinenergia-asetuksen pykälissä 33a ja 34a.

STUK:lle on erikseen toimitettava tietoja käytöstäpoiston turvallisuudesta, nämä on lueteltu asetuksen pykälässä 36a. Näihin tietoihin pyydetään myös sisäministeriön lausunto. TEM pyytää taas lausuntoja koko käytöstäpoiston lupahakemukseen. Asetuksen mukaan lausuntopyynnöt esitetään ainakin sisäministeriölle, paikallisille elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskuksille, aluehallintoviranomaisille sekä asiaa koskeville kunnille. (Ydinenergialaki 1987/990; Ydinenergia-asetus 1988/161)

Myönnettyssä luvassa on esitetty luvan saajan ja laitoksen tiedot, osoite ja alue, jota lupa koskee, luvan oikeuttaman työn luonne ja laajuus sekä tarpeelliset lupaehdot. Lupaehtoihin kuuluu jätteiden määrän ja laadun rajat. TEM ilmoittaa luvan hyväksymisestä. Purkamisen aloittamiseen tarvitaan kuitenkin luvan saannin jälkeen vielä TEM:n hyväksyntä varallisuutta koskien ja STUK:n hyväksyntä turvallisuudesta, ydinmateriaalin valvonnasta ja vahinkovastuusta. (Ydinenergialaki 1987/990; Ydinenergia-asetus 1988/161)

### **3.3 Rahastot**

Ydinjätteiden kustannuksiin varaudutaan Valtion ydinjäterahastolla. Rahasto on TEM:n alaisuudessa oleva valtion talousarvion ulkopuolinen rahasto. Se jakautuu kolmeen osaan varautumisrahastoon, ydinturvallisuustutkimusrahastoon ja ydinjätetutkimusrahastoon. Varautumisrahasto on rahastoista suurin ja sen avulla varaudutaan ydinjätteiden kustannuksiin. Muut rahastot turvaavat pääasiassa viranomaisen tietämyksen saannin. (Ydinenergialaki 1987/990; TEM 2017, s. 7)

Suomessa ydinjätehuolto on integroitu, eli periaatteessa käytöstäpoisto ja esimerkiksi polttoaineiden loppusijoitus on osa yhtenäistä kokonaisuutta. Näin ollen rahastossa on varauduttu molempien kustannuksiin. Rahaston ja kustannuslaskennan oletuksena on Current Value Method -menetelmä (CVM). Menetelmässä oletetaan, että käytöstäpoisto ja loppusijoitus aloitetaan heti, tai itseasiassa kuluvan vuoden lopussa. (Kyrki-Rajamäki & Vihavainen 2003, s. 13–16) Tästä syystä on kustannusarvioissa huomioitu vain sen hetkisten jätteiden aiheuttamat kustannukset. Tässäkin menetelmässä joudutaan katsomaan tulevaisuuden kustannuksia, sillä purkamisoperaatiot eivät tapahdu hetkessä, vaan aikataulun mukaan. Esimerkiksi OL1 ja OL2 tapauksissa varsinainen purku tehdään vasta 30 vuoden päästä alasajosta. Kustannusten arvio on luonteeltaan koko ajan päivittyvä,

sillä joka vuosi tehdään rahaston tilinpäätös ja kuuden vuoden välein käytöstäpoiston suunnitelmat, joissa kustannuksia on arvioitu. Rahaston arvioiden piiriin kuuluvat vain ydinjätteet ja oletetut ydinjätteet. Alasajon kustannukset ovat osa käytön kustannuksia, joten ne eivät kuulu rahaston piiriin. (Ydinenergialaki 1987/990)

Ydinjäterahastoa tarkasteltaessa on syytä tuntea laissa ja tilinpäätöksissä käytetyt neljä termiä. *Vastuumäärä* tarkoitetaan siihenastisista jätteistä aiheutuvia menoja, tai menojen arvioita. *Rahastotavoite* on tarkasteltavana vuonna saavutettava varojen määrä. *Rahasto-osuus* on taas rahastossa olevien varojen määrä. Viimeisenä terminä on *ydinjätehuoltomaksu*, jolla rahasto-osuus saadaan rahastotavoitteen mukaiseksi. (Ydinenergialaki 1987/990; Kyrki-Rajamäki & Vihavainen 2003, s. 13–16)

Rahastoon kerätään varoja ydinjätehuoltomaksuilla, sijoituksilla ja lainojen korkotuotoilla. Ydinjätehuoltovelvolliset joutuvat yleensä maksamaan vuosittain ydinjätehuoltomaksun. Maksettava jätehuoltomaksu määritellään vuoden rahastotavoitteen mukaan, jonka on tarkoitus olla yhtä suuri, kuin edellisvuoden vastuumäärä, jos tavoite on jo saavutettu ei maksua tehdä. Vastuumäärä ei kuitenkaan täysin määrittele rahastotavoitetta. Mikäli vastuumäärään lukeutuu paljon jätemäärästä riippumattomia kustannuksia, voidaan rahastotavoite pitää pienempänä. Tässä tapauksessa pyritään keräämään varat vähitellen. (TEM 2017, s. 8, Ydinenergialaki 1987/990, Kyrki-Rajamäki & Vihavainen 2003, s. 13–16)

Rahaston tapa tehdä sijoituksia on mielenkiintoinen. Suurimmat sijoitukset tehdään yleensä jätehuoltovelvollisten toimesta. Jätehuoltovelvollisilla on oikeus lainata rahaston varoja, vakuuksia vastaan. Vakuuksien ehdot on määritelty ydinenergialain pykälässä 45. Laina voi olla enintään 75 % rahasto-osuudesta. Myös jätehuoltovelvollisen osakkeenomistajilla on oikeus vaatia tätä lainaa. Fortum ja TVO ovat yleisesti käyttäneet oikeuttaan, tosin Fortumilla lainaajat ovat olleet osakkeenomistajat ja TVO:n tapauksessa yritykset itse. Lainaoikeuden ideana on yritysten oman vastuun kasvattaminen, eli yritykset voivat itse sijoittaa varoja ja näin saada mahdollisesti parempaa tuottoa varoille. Lainoilla on kahdentoista kuukauden Euribor-korko, koroista saadut tulot kasvattavat rahaston varoja.

Lainoista saadut tuotot maksetaan rahastoon ydinjätehuoltomaksujen ja lainan palautuksen muodossa. (Kumpula 2019; Liukko et al. 2019, s. 12, 18–19; TEM 2017, s. 8, Ydinenergilaki 1987/990)

Osio, jota yritykset eivät lainaa on valtion käytössä. Määrä voi olla pienimmillään 25 %, mutta luvanhaltijoiden lainahalusta riippuen suurempikin. Esimerkiksi vuonna 2018 TVO lainasi vain 45 % rahasto-osuudesta. Valtiolla on periaatteessa kolme vaihtoehtoa ylijäämän kanssa. Se voi ottaa osuuden itse lainaksi tai siirtää sen valtiovarastoon. Kolmantena vaihtoehtona on tekemättömyys. Tällöin valtionkonttori sijoittaa jäljelle jääneen osuuden maltillisiin sijoituskohteisiin, yleensä joukkovelkakirjoihin. Valtio on ottanut viimeksi lainaa vuonna 2013. Valtiovarastoon siirtoa on harjoitettu vielä harvemmin, viime kerrasta on jo yli 20 vuotta. Näin ollen ylijääneet osuudet on sijoitettu pitkälti Valtiokonttorin toimesta. (Kumpula 2019; Liukko et al. 2019, s. 20, 27, 56)

TEM on pohtinut rahaston käytäntöjen muutoksia. Muutosten syinä ovat olleet rahaston laajuudessa ja ajassa tapahtuvat muutokset sekä käytännöissä havaitut puutteet. Myös rahaston luonne on aiheuttanut pohdintaa. Uusien laitosten myötä on rahastoon kerättävä enemmän varoja, tämä aiheuttaa jätehuoltomaksujen nostoja. Lisäksi varojen arvoa on turvattava rahanarvon laskulta odotettua kauemmin. Rahastoa perustettaessa 1980-luvulla (otettu käyttöön 1988) oletuksena oli, että silloin käytössä olevat laitokset LO1 ja 2 sekä OL1 ja 2 olisivat poistuneet käytöstä jo 2010-luvulla. Rahaston käytännön puutteina on ollut muun muassa valtion lainaoikeuden käyttö sekä laina-ajat. Nykyisen markkina-tilanteen takia valtio ei ole ottanut rahastosta lainaa. Rahoitusmarkkinoilta lainaa saa negatiivisella korolla, kun taas jäterahastossa on vähintään sääntöjen mukainen 0,5 % marginaalikorko. Näin ollen vähintään 25 % rahastosta on sijoitettu Valtiokonttorin toimesta. Tätä osuutta voitaisiin sijoittaa tuottavampiin kohteisiin. Rahastolle asetetut tavoitteet ovat myös hankalia. Arvo pitää säilyttää pitkälle tulevaisuuteen, johon riskialttiimmat sijoitukset voisivat olla parempia. Samalla sijoittamisen pitäisi olla maltillista. Rahaston vuoden mittainen tarkastelu aika aiheuttaa myös ongelmia. Lyhyet laina-ajat sulkevat pois joitain sijoituksia. Vuosittain huoltovelvollinen saattaa myös lainata eri määrän rahaa kuin edellisenä vuonna, näin ollen pitää Valtiokonttorin sijoituksissa olla riittävästi liikkumisvaraa. TEM on esittänyt useita parannusehdotuksia ja eri painotuksilla olevia mal-



leja. Eräitä ehdotuksia olivat tarkastelu- ja laina-aikojen kasvattaminen sekä lainaoikeusosuuksien muuttaminen. Tarkemmat ehdotukset voi lukea TEM:n loppuraportista. (Liukko et al. 2019, s. 12–13, 20, 66, 68–69)

Huolehtimisvelvollisilla täytyy myös olla riittävä omavaraisuus laitosta purettaessa. Purkamista ei ensisijaisesti tehdä rahaston varoilla. Purkamisen aikana ja loputtua rahastosta saadaan takautuvasti varoja. Kaikkia ei saada, koska varoja pitää olla vielä käytettyjä polttoaineita varten. TEM tarkastaa velvollisen varallisuutta käytöstäpoistoluvan myöntämisen jälkeen. Tilanne voi olla erilainen yllättävästä sulkemisesta johtuen. (Kumpula 2019; Liukko et al. 2019, s. 17)

### **3.4 Esimerkki VTT:n käytöstäpoiston lupamenettelyistä**

VTT teki vuonna 2012 päätöksen FiR 1-reaktorin käytöstäpoistosta. Käytöstäpoiston lupamenettelyt aloitettiin YVA-selvityksellä. Vuoden 2013 toukokuussa aloitettiin arviointiohjelman laadinta ja se toimitettiin TEM:lle saman vuoden lokakuussa. 18.11.2013 TEM pyysi lausuntoja ohjelmasta ja kokosi nämä lausuntoon, joka julkaistiin 7.2.2014. (VTT 2017, s. 1; TEM 2019(a); VTT & Pöyry Oy 2013, s. 12)

Lausunnoissa merkittävimmät huomiot koskivat jätteiden sekä polttoaineiden materiaalia, niiden varastointia ja loppusijoitusta. TVO, STUK, Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT) ja ympäristöministeriö olivat kiinnostuneet polttoaineen ja jätteiden koostumuksesta, esimerkiksi Flualtal-hidasteesta haluttiin lisää tietoa. TVO:lle ja Fortumille materiaaliset selostukset olisivat tarpeellisia polttoaineen ja jätteiden varastoinnista sekä loppusijoituksesta johtuen. Ne myös kritisoivat varastoinnin ja loppusijoituksen kesken eräisiä valmisteluja. Ohjelmassa TVO:n ja Fortumin polttoaineiden välivarastot sekä jätteiden väli- ja loppusijoituspaikat esitettiin mahdollisiksi kohteiksi. Tästä asiasta ei kuitenkaan tehty jatkoselvityksiä, joten lupa, sopimus, ja tekninen toteutus olivat puutteellisia. Esimerkiksi Fortum toivoi, että polttoaineen palautukset onnistuisivat Yhdysvaltoihin. Polttoaineen palautusta puolestaan arvosteli ympäristöministeriö, joka pitää Yhdysvaltojen sijoituspaikan kuvausta puutteellisena. (TEM 2014, s. 5–11)

STUK, LUT ja Fortum halusivat tarkemman kuvauksen toimenpiteistä. Liikenteen ja onnettomuuksien arvioinnissa lausuntoja esittivät muun muassa liikenneministeriö, sisäministeriö, Helsingin kaupunki ja Ahvenanmaan valtionvirasto. Kuljetuksissa haluttiin ottaa koko matkan ajalle kahden kilometrin tarkastelualue. Kuljetuksia varten haluttiin toimijoiden välille luoda yhteistyötä, kuten esimerkiksi VTT:n, STUK:n ja pelastuslaitoksen välillä. Aalto-yliopisto ja opetusministeriö toivat taas esille, että laitoksen rakennukselle ei ole ohjelmassa esitetty toimenpiteitä. Aalto-yliopisto toivoi rakennuksen purkua, koska yliopistolla ei ole käyttöä sille. Uudenmaan sairaanhoitopiiri ja yksityishenkilö toivat terveydellisen näkökulman esiin syövän hoidossa. Sairaanhoitopiiri puolsi niin sanottua nol-laratkaisua, jossa laitosta ei pureta. TEM on todennut lausunnossaan YVA-ohjelman suurilta osin asianmukaiseksi, se kuitenkin toivoi, että esitettyihin kysymyksiin annetaan tarkennuksia ja vastauksia. TEM:n toiveiden mukaisesti VTT on tehnyt erikseen vastaus-taulukon esitetyistä lausunnoista. Tähän dialogiin voi tutustua YVA-selostuksen sivuilla 31–40. Samanlainen taulukko on esitetty myös selostuksen lausunnoista käytöstäpoiston lupahakemuksen liitteessä 12. (TEM 2014, s. 5–14; VTT& Pöyry Oy 2014, s. 31–40; VTT 2017 liite 12)

Annettujen lausuntojen pohjalta tehtiin YVA-selostus, joka toimitettiin TEM:lle 24.10.2014. TEM antoi yhteysviranomaisen lausunnon 25.2.2015, tällöin YVA-menettely todettiin päättyneeksi. Annetut lausunnot olivat pitkälti samankaltaisia kuin aikaisemmat. Uusina lausuntoina tulivat puolustusministeriön lausunto mahdollisesta tahallises-ta vahingonteosta ja yksityishenkilön lausunto rakennuksen historiallisesta arvokkuudesta. Parannuksia tehtiin koskien toimenpiteiden ja jätteiden kuvauksia, mutta varastoinnin ja loppusijoituksen kohdalla esitettiin kysymyksiä. Osa lausunnoista oli myös luonteeltaan enemmän toiveita, kuin kysymyksiä. Esimerkiksi toivomus ilmoituksista ja yhteistyöstä. TEM:n mukaan selostus oli lain mukaan tarpeeksi hyvä, joistakin virheellisyyskistä ja puutteista huolimatta. Toiveena on, että tarkennusta tehdään vielä tuleviin asiakirjoihin. (TEM 2019(a); VTT 2017 liite 12)

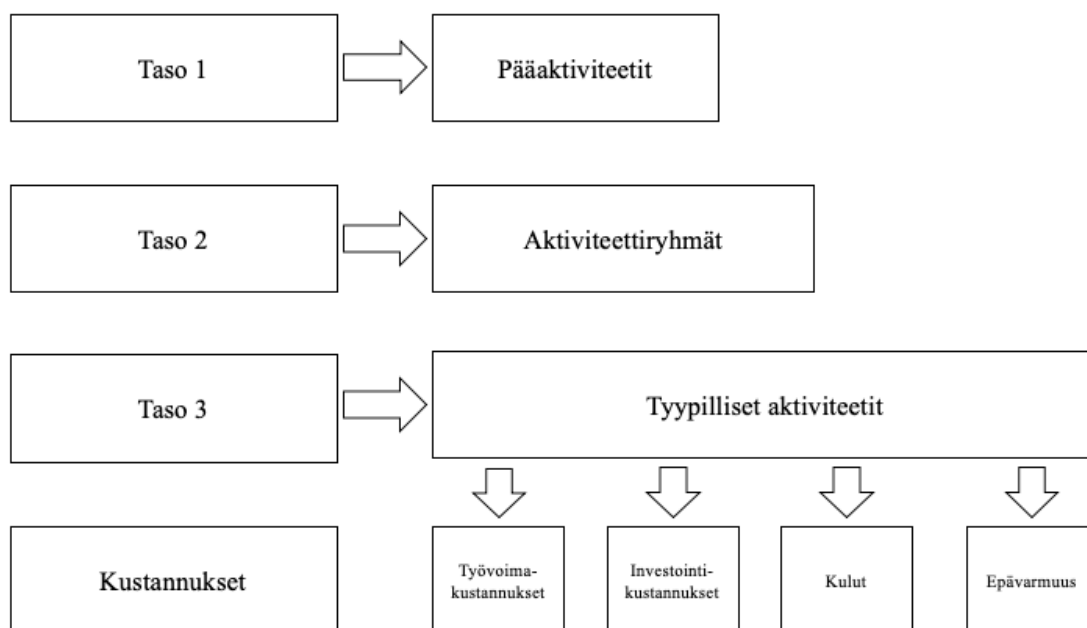
VTT toimitti ydinenergiain mukaisesti käytöstäpoiston lupahakemuksen valtioneuvostolle 20.6.2017. Tosin varsinaisesti kyseessä oli käyttölu-pahakemus käytöstäpoistoa varten, käytöstäpoiston lupahakemus on tullut lakiin vasta vuonna 2018. VTT täydensi ha-

kemustaan 1.2.2019 lähetetyllä asiakirjalla. TEM järjesti molemmista dokumenteista lausuntokierroksen. VTT toimitti myös STUK:lle tarvittavat turvallisuuteen liittyvät dokumentit. Tosin nämä eivät ole vielä lopullisia. STUK on asettanut lupaehdoksi lopullisen turvallisuusselosteen toimittamisen. STUK myös ehdotti, että TEM asettaa lupaehdoksi ydinjätehuollon varmistumisen. Eli jätteillä ja polttoaineella olisi oltava varmistettu sijoituspaikka. Ympäristöministeriö antoi lausuntonsa vain varsinaisesta hakemuksesta. Lausunnossaan ministeriö taipui polttoaineen palautukseen parhaana ratkaisuna, lisäksi se totesi Otaniemen alueen olevan huono paikka polttoaineen säilytykselle. TEM ei ole vielä julkaissut omaa lausuntoaan, ja käsittely on kesken. (TEM 2019(a); STUK 2019(a), s. 3–5; Ympäristöministeriö 2017)

## 4 ISDC:N MUKAISET TYÖT

ISDC (International Structure for Decommissioning Costing) on NEA:n julkaisema kustannusten luokittelujärjestelmä. ISDC:n tarkoituksena on harmonisoida kansallisia ja laitokohtaisia kustannuslaskentatapoja, yhteisen vertailu- ja tiedon ymmärryksen saavuttamiseksi. Järjestelmän laadinta on tehty yhteistyössä NEA:n, IAEA:n ja Euroopan komission kanssa. (NEA 2016, s. 29, 57–59; NEA 2012, s. 11–12)

Rakenteeltaan ISDC lajittelee kustannuskategoriat teeman mukaan. Ensimmäisenä ovat pääaktiviteetit, jotka tarkastelevat tiettyyn osa-alueeseen liittyviä kustannuksia. Pääaktiviteettiryhmät jakautuvat edelleen aktiviteettiryhmiin ja aktiviteettiryhmät tyypillisiin aktiviteetteihin. **Kuvassa 2** ryhmien jakautuminen on esitetty periaatteellisesti. Lisänä ovat myös kustannuskategoriat. Aktiviteetille on myös oma koodinsa. Pääryhmälle kaksinumeroinen, aktiviteettiryhmälle nelinumeroinen ja tyypilliselle aktiviteetille kuusinumeroinen. Esimerkiksi ensimmäisen tyypillisen aktiviteetin koodi on siten 01.0101, joka strateginen suunnittelu. **Liitteessä 1** on listattu aktiviteetteja koodeineen. Aktiviteetit on esitetty pää- ja aktiviteettiryhmän tasolla alkuperäisestä tekstistä. (NEA 2012, s. 11–12)



Kuva 2 ISDC:n perusrakenne. (NEA 2012, s.7–9)

ISDC:ssä on yhteensä 11 teemoittain jaettua pääaktiviteettiä, **taulukossa 2** on esitetty pääaktiviteetit.

Taulukko 2 ISDC:n pääaktiviteeteistä. (NEA 2012, s. 21)

ISDC vastaava luku	Aktiviteettiryhmän nimi
01	Käytöstäpoistoa edeltävät työt
02	Laitoksen alasajotyöt
03	Viivytetyn käytöstäpoiston- ja ”hautauksen” työt
04	Valvotun alueen purkaminen
05	Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus
06	Infrastruktuuri ja muu tuki
07	Tavanomainen purkaminen
08	Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt
09	Tutkimus ja kehitys (T&K)
10	Polttoaineen ja muun ydinmateriaalin hallinta
11	Muut työt ja kustannukset

ISDC:ssä kustannukset eritellään työvoimakustannuksiin, investointikustannuksiin, kuluihin ja epävarmuuteen. Työvoimakustannuksiin luetaan tyypilliset menot, kuten palkat, eläkemaksut ja sairausvakuutusmaksut. Investointikustannukset muodostuvat laitehankinnoista. Kuluihin lasketaan sekalaisia menoja, kuten sähkö, toimistotarvikkeet, verot ja työvoimakustannuksiin kuulumattomat vakuutukset. Epävarmuuden piiriin kuuluvat projektin sisäiset kustannusmuutokset, jotka voivat toteutua. Järjestelmän käyttäjä voi halutessaan lisätä perusteltuja kustannuskategorioita. (NEA2012, s. 72)

ISDC-järjestelmää käytetään Suomessa jossain määrin. Fortum käyttää ISDC:hen perustuvaa mallia haastattelun mukaan (Kälviäinen 2019). Loviisan vuoden 2018 käytöstäpoiston suunnitelman julkisessa versiossa on kustannuksia arvioitu yhdellä taulukolla, joka ei ole ISDC:n mukainen (Fortum 2018, s. 79). Toisaalta NEA:n 2016 raportissa esitettiin vuoden 2012 suunnitelman arvioita ISDC:n mukaisesti (NEA 2016) On myös huomioitava, että vuoden 2018 suunnitelma kustannuksia on käsitelty niukasti yhdellä sivulla. TVO:n arviot perustuvat osittain Fortumin Loviisan arvioihin ja näin ollen ISDC-järjestelmään. (Lemmetty 2019). Tämän perusteella voisi sanoa yleisesti, että ISDC tunnetaan Suomessa ja sitä sovelletaan omaan käyttöön, mutta standardimaista omaksumista ei ole

tehty. Suomessa tavanomaista purkamista ei lasketa käytöstäpoiston pariin, se on vain osana yrityksen omia arvioita (Ydinenergilaki 1987/990; Ydinenergia-asetus 1988/161). Myös muunkinlaisia eroja on. Nämä on mainittu myöhemmin tekstissä.

#### 4.1 Pääaktiviteetit ja aktiviteettiryhmät

Ensimmäinen pääaktiviteettiryhmä on käytöstäpoistoa edeltävät työt. Edeltävien töiden aktiviteettiryhmät on esitetty **taulukossa 3**.

Taulukko 3 ISDC:n 01 aktiviteettiryhmät. (NEA 2016, s. 26)

<b>ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt</b>
01.0100 Suunnittelu
01.0200 Laitoksen karakterisointi
01.0300 Turvallisuus ja ympäristö tutkimukset
01.0400 Jätehuollon suunnittelu
01.0500 Luvitus
01.0600 Projektin hallinnan aloitus

Käytöstäpoistoa edeltävien töiden vaiheessa tehdään vain alustavat suunnitelmat, esimerkiksi purkamisen organisaation kokoa voidaan suunnitella. Suomessa nämä työt eivät kuulu kokonaisuudessaan käytöstäpoistojen kustannusten alle. Osa töistä voidaan sulauttaa laitoksen alasajotöihin tai projektinhallinnan osioihin. Edeltävät työt käsittelevät paljolti töitä, jotka tehdään vuosia tai vuosikymmeniä ennen käytöstäpoistoa, joten ne on todennäköisimmin maksettu yrityksen omista varoista. Varsinkin, jos käytöstäpoiston suunnitelmalla arvioidaan projektin kustannuksia, on jo maksetun työn sisällyttäminen tarpeetonta. NEA:n yleinen oletus on, että nämä työt eivät kuulu rahastojen maksettavaksi. (NEA 2012, s. 26–30)

Toinen pääaktiviteettiryhmä 02 on laitoksen alasajotyöt. Aktiviteettiryhmät on esitetty **taulukossa 4**.

Taulukko 4 ISDC 02:n aktiviteettiryhmät (NEA 2012, s. 30-31)

<b>ISDC 02 Laitoksen alajotyöt</b>
02.0100 Laitoksen alasajo ja tarkastus
02.0200 Nesteiden poisto systeemeistä
02.0300 Dekontaminaatio
02.0400 Radiologinen karakterisointi
02.0500 Prosessinesteiden, käytön jätteiden ja turhan materiaalin poisto

Suomessa osio 02 on kustannusarvioiden ja ydinjäterahaston piirissä. Poikkeuksena on polttoaineiden poistaminen, joka on osana käytön kustannuksia. Kansainvälisesti tässä osiossa rahoituksen lähteitä voi olla useita. Pääaktiviteettiryhmä 03, joka käsittelee viivästytettyä käytöstäpoistoa ja ”hautausta” voidaan kansallisissa ja laitospohjaisissa arvioissa sekoittaa pääryhmään 02. Ryhmää 03 on avattu **taulukossa 5**. (NEA 2012, s. 30–39)

Taulukko 5 ISDC 03:n aktiviteettiryhmät (NEA 2012, s. 36-37)

<b>ISDC 03 Viivytetyn käytöstäpoiston ja ”hautauksen” työt</b>
03.0100 Valvotun säilytyksen valmistelu
03.0200 Rakenteellisia valmisteluita
03.0300 Hautaus

Suomessa OL1 ja OL2 valmistelevat työt on sulautettu pitkälti yhteen vuoden 2014 käytöstäpoiston suunnitelmassa (TVO 2014, s. 113).

Pääaktiviteettiryhmä 04 on valvotun alueen purkaminen, eli aktiivisten järjestelmien, rakenteiden ja komponenttien poisto. **Taulukossa 6** on esitetty aktiviteettiryhmät.

Taulukko 6 ISDC 04:n aktiviteettiryhmät (NEA 2012, s. 40)

<b>ISDC 04 Valvotun alueen purkaminen</b>
04.0100 Laitteistohankinnat
04.0200 Valmistelevat työ
04.0300 Purkamista edeltävä dekontaminointi
04.0400 Vaikeiden materiaalien poisto (esim. asbesti, eristeet...)
04.0500 Pääprosessien purkaminen
04.0600 Muiden systeemien purkaminen
04.0700 Kontaminaation poistaminen rakenteista
04.0800 Kontaminaation poistaminen ulkopuolelta
04.0900 Radioaktiivisuuden lopputarkastus

Pääaktiviteettiryhmä 04:n kaikki kulut on tarkoitus maksaa rahastoista niin Suomessa kuin ulkomaillakin.

Pääaktiviteettiryhmä 05 on jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus. Kategoriat jakautuvat jätteiden aktiivisuuden ja syntyperän mukaan. Aktiviteettiryhmät ovat alla **taulukossa 7**.

Taulukko 7 ISDC 05:n aktiviteettiryhmät (NEA 2012, s. 46-47)

<b>ISDC 05 Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus</b>
05.0100 Jätteiden hallintajärjestelmien järjestäminen
05.0200 Korkea-aktiivisten jätteiden käsittely (käyttö)
05.0300 Keskiaktiivisten jätteiden käsittely (käyttö)
05.0400 Matala-aktiivisten jätteiden käsittely (käyttö)
05.0500 Hyvin matala-aktiivisten jätteiden käsittely (käyttö)
05.0600 Vapautettujen jätteiden käsittely (käyttö)
05.0700 Korkea-aktiivisten jätteiden käsittely
05.0800 Keskiaktiivisten jätteiden käsittely
05.0900 Matala-aktiivisten jätteiden käsittely
05.1000 Hyvin matala-aktiivisten jätteiden käsittely
05.1100 Lyhytikäisen jätteen käsittely
05.1200 Vapautettujen jätteiden käsittely
05.1300 Valvotun alueen ulkopuolisten jätteiden käsittely

Taulukossa sanalla käyttö viitataan käytönaikana syntyneisiin jätteisiin. Suomessa kaikki nämä työt kuuluvat rahaston piiriin, mutta jätteiden loppusijoitusta ei varsinaisesti lasketa käytöstäpoistoon.



Pääaktiviteettiryhmä 07 on puhtaan- tai tavanomaisen laitosision purkaminen, riippuen purettavasta laitoksesta. Kuten aikaisemmin on mainittu Suomessa tavallisten laitosjärjestelmien purkaminen ei kuulu ydinjäterahaston maksettavaksi. **Taulukossa 8** on esitetty aktiviteettiryhmät.

Taulukko 8 ISDC 07:n aktiviteettiryhmät (NEA 2012, s. 59)

<b>ISDC 07 Tavanomainen purkaminen</b>
07.0100 Laitteistohankinnat
07.0200 Järjestelmien purkaminen
07.0300 Rakenteiden ja rakennusten purkaminen
07.0400 Loppupuhdistukset ja maisemointi
07.0500 Lopullinen radioaktiivisuuden kartoitus
07.0600 Alueen valvonta käytöstäpoiston jälkeen

Mikäli alue on tarkoitettu vapauttaa yleiseen käyttöön, tehdään alueella siivous-, maisemointi- ja palautustöitä. Suomessa alueita ei vapauteta ainakaan alustavasti yleiseen käyttöön, joten sovellettavana aktiviteettiryhmänä on alueen jatkuva valvonta ja huolto. VTT:n tapaus on asia erikseen ja alueen kohtalosta on käyty keskustelua luvuissa 3.4.

Käytöstäpoistoa tukevat pääaktiviteettiryhmät ovat 06 infrastruktuuri ja alueen ylläpito, 08 projektin hallinta ja insinöörityöt sekä 09 tutkimus ja kehitys. Ryhmien 06 ja 09 aktiviteettiryhmät on koottu yhdeksi **taulukoksi 9**. Ryhmä 08 esitetään itsenäisesti **taulukossa 10**.

Taulukko 9 ISDC 06 ja 09:n aktiviteettiryhmät (NEA 2012, s. 56–57, 65)

<b>ISDC 06 Infrastruktuuri ja muu tuki</b>
06.0100 Alueen valvonta ja turvallisuus
06.0200 Alueen operointi ja huolto
06.0300 Tukevat järjestelmät (sähkö, vesi...)
06.0400 Radioaktiivisuuden ja ympäristönturvallisuuden valvonta
<b>ISDC 09 Tutkimus ja kehitys (T&amp;K)</b>
09.0100 Tekniikoiden, laitteiden ja proseduurien tutkiminen ja kehittäminen
09.0200 Vaikeiden töiden simulointi

09 pääryhmä on kategoriana käytössä tilanteissa, joissa tarvitaan erityisiä välineitä, tekniikoita ja proseduureja. Esimerkiksi onnettomuuden jälkeinen käytöstäpoisto voi vaatia tapauskohtaista tutkimusta ja kehitystä. Seuraavassa luvussa esiteltävissä NEA:n arvioissa

T&K on esitetty kaikissa arvioissa lähes poikkeuksetta nollassi. Eli kategoriana se ei ole kovin käytetty. Toisaalta Loviisan käytöstäpoiston suunnitelmassa on simuloitu esimerkiksi paineastian nosto ja kuljetusta, mutta tämän kaltaiset suunnittelut on sisällytetty muihin kategorioihin (Fortum 2018, s. 31–33).

Taulukko 10 ISDC 08:n aktiviteettiryhmät (NEA 2012, s. 61–62)

<b>ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt</b>
08.0100 Mobilisaatio ja valmistelevat työt
08.0200 Projektin hallinta
08.0300 Tukevat työt
08.0400 Työturvallisuus
08.0500 Demobilisaatio
08.0600 Mobilisaatio ja valmistelevat työt (alihankkijat)
08.0700 Projektin hallinta (alihankkijat)
08.0800 Tukevat työt (alihankkijat)
08.0900 Työturvallisuus (alihankkijat)
08.1000 Demobilisaatio (alihankkijat)

Pääaktiviteettiryhmä 10 keskittyy ydinpolttoaineen käsittelyyn. Pääryhmä 02:ssa on huomioitu polttoaineen poisto, mutta ryhmä 10 tarkastelee tilannetta syvemmin. Aktiviteettiryhmät on esitetty alla **taulukossa 11**.

Taulukko 11 ISDC 10:n aktiviteettiryhmät (NEA 2012, s. 67)

<b>ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta</b>
10.0100 Polttoaineiden ja ydinmateriaalin poisto laitoksesta
10.0200 Välivaraston hallinta
10.0300 Välivaraston käytöstäpoisto

Suomessa nämä työt jakautuvat käytön, käytöstäpoiston ja loppusijoituksen piiriin. Tosin suurin osa kuuluu rahaston piiriin, käytön aikainen polttoaineen siirtely poissulkien. Välivarastojen loppusijoitus on huomioitu suunnitelmien aikatauluissa.

Viimeiseen pääaktiviteettiryhmään lasketaan menot, joita ei voi suoraan laskea muihin ryhmiin. Taulukossa 12 alla on eritelty aktiviteettiryhmät.

Taulukko 12 ISDC 11:n aktiviteettiryhmät (NEA 2012, s. 69-70)

<b>ISDC 11 Muut työt ja kustannukset</b>
11.0100 Omistajan kustannukset
11.0200 Verot
11.0300 Vakuutukset
11.0400 Materiaalien ja laitteiden palautus

Palautuksiin kuuluu omaisuuden myynti. Omaisuuden myyntiin sisältyy esimerkiksi tavallisesta laitososiosta saadun materiaalin hinta (NEA 2012, s. 69–71). Omaisuuden myynti on TVO:n laskelmissa osana tavanomaisen purkamisen laskelmia, jotka ovat osana yrityksen omaa kassavirtaa. TVO:n laskelmissa materiaaleista saadut tulot arvioidaan konservatiivisesti. (Piiparinen & Lemmetty 2016, s. 100–101) Fortumin suunnitelman julkisessa versiossa materiaalin myyntiä ei tarkasteltu (Fortum 2018, s. 79).

## 4.2 ISDC:n käyttö ja hyödyllisyys

ISDC:n käyttöä ja hyödyllisyyttä on syytä arvioida. Usein käytössä ovat omat kansalliset tai laitoskohtaiset kategoriat. Nämä kategoriat ovat usein työpohjaisia laskentoja, joiden osioita säätelevät omat kansalliset standardit ja lainsäädännöt. Jäsenmaat ovat kuitenkin suostuneet muuntamaan omat laskentansa ISDC:n mukaiseksi. Kyselyistä saadut vastaukset olivat hajanaisia, kaikkiin kategorioihin ei ole vastattu kansallisista standardeista johtuen. Esimerkiksi Saksa ei ole antanut kvantitatiivisia arvioita hankkeistaan. Tämä on merkittävä takaisku, koska Saksasta voisi saada jo toteutuneiden projektien kustannustietoja. Myöskään Yhdysvallat ei ole antanut ISDC:n mukaisia arvioita ja tuloksia. Tosin yhdysvaltalaisia arvioita on muunnettu ISDC-pohjaisiksi. (NEA 2016 s. 153) Parhaiten ISDC:tä on sovellettu ruotsalaisissa Oskarshamnin ja Forsmarkin arvioissa, joissa on esitetty oma työpohjainen arviointikategoria ja ISDC-pohjainen kategoria. Tosin ruotsalaiset ovat todenneet ISDC:n olevan hyvä laitosten keskeisissä arvioissa, mutta itse kustannusten arvioinnissa omat työpohjaiset kategoriat ovat parempia. (Larsson et al. 2013(a), s. 16–24)

Käytöstäpoisto on osa voittoa tavoittelevaa liiketoimintaa, siksi laitosten omistajat eivät halua julkaista liian tarkkoja tietoja projekteistaan. NEA:n oma arvio korostaa alan olevan kehityksen alla, joten tehokkain ja halvin tekniikka tai menetelmä ei ole vakiintunut.

Tästä johtuen toimijat haluavat pitää tietonsa itsellään. NEA arvioi myös toisen tiedonannon ongelman olevan laitosten omistajien ja kansallisten viranomaisten väliset tulehtuneet suhteet. Tämä koskee erityisesti maita, joissa on luovuttu ydinvoimasta poliittisista syistä, kuten edellä mainitussa Saksassa. (NEA 2016, s. 153)

Tiedonannossa ja ISDC:n käyttöönotossa on haasteita. NEA:n sisällä on pohdittu ratkaisuja ongelmiin. Tiedon ja erityisesti arkaluontoisen tiedon keruuta pyritään kehittämään. Esimerkkinä on IAEA:n ja NEA:n yhteinen ISOE-järjestelmä, jossa voidaan jakaa tietoa säteilysuojelusta jäsenten kesken. (NEA 2016, s. 155–156)

## 5 KÄYTÖSTÄPOISTON KUSTANNUSTEN ARVIOITA

Maailmalla laitosten käytöstäpoistoista on jo kertynyt kiitettävä määrä arvioita, erityisesti Yhdysvalloissa. Pääasiallisena ongelmana on, että kyse on arvioista, eikä toteutuneista projekteista, joita on huomattavasti vähemmän. Toinen ongelma on arvioiden ja oikeiden kustannusten vertailukelpoisuus. Yleinen nyrkkisääntö käytöstäpoistossa on, että laitosten välinen vertailu on kyseenalaista. Useampia arvioita vertaillessa voi löytää rajat, joihin useimmat arvioista asettuvat. Arvioiden osa-alueita voi käyttää varauksella vertailuissa.

Esitettävät arviot ja toteutuneet kustannukset ovat useimmissa tapauksissa muunnettu ISDC-kategorioiden mukaisiksi. Tätä työtä varten kaikki valuutat on muunnettu euroiksi vuoden 2018 tasossa. Tavoitteena on saada luvut mahdollisimman vertailukelpoisiksi keskenään. Inflaation vaikutus on laskettu vaikuttamaan kaikkiin kustannuksiin kokonaisuina, inflaatiolle herkempiä tai vähemmän herkempiä kustannuksia ei ole eritelty. Muunnokset on tehty alla olevalla **yhtälöllä 2**.

$$K_{ny} = K_{lä}(1 + i)^n \quad (2)$$

Jossa

$K_{ny}$  on kustannusten nykyarvo

$K_{lä}$  on kustannusten lähtöarvo

$i$  on inflaatioprosentti

$n$  on kulunut aika vuosina

Inflaatioprosenttina on käytetty Tilastokeskuksen rahanarvomuuntimen keskimääräistä vuotuista inflaatioprosenttia. Valuuttamuunnokset on tehty Euroopan keskuspankin pyöristetyllä vaihtokurssilla. Vaihtokurssi on koko mittausajan keskiarvo.

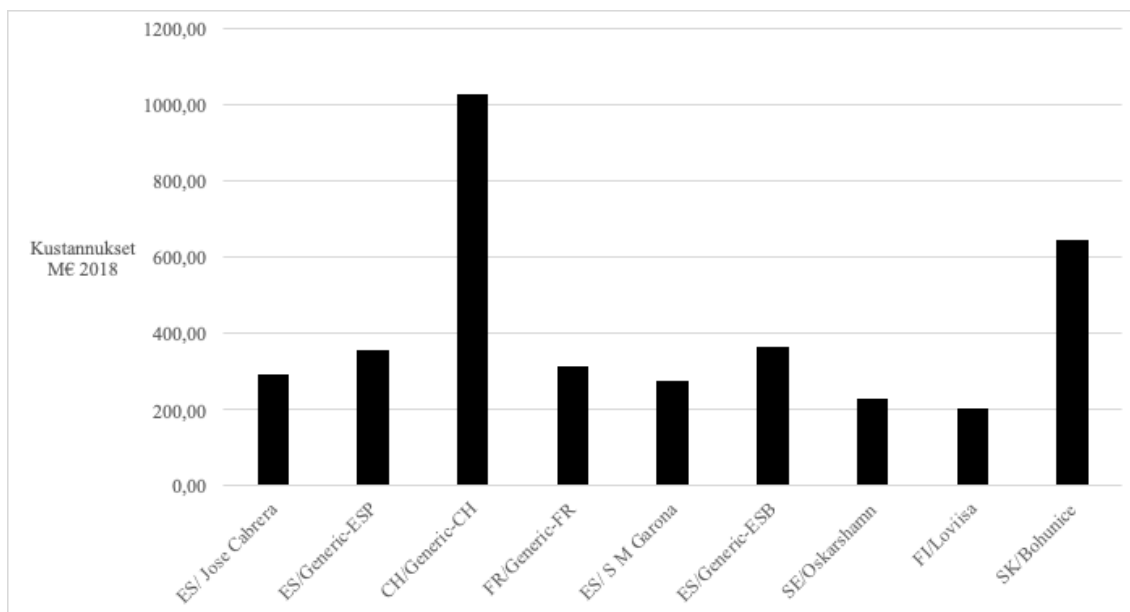
## 5.1 ISDC:n mukaisia arvioita NEA:n jäsenmaista

NEA on koontanut arvioita kyselemällä jäsenmaittensa käytöstäpoiston kustannuksista. Alla olevassa **taulukossa 13** on esitetty laitoksen nimi, koko ja yksiköiden määrä. Osa laitoksista on niin sanotusti geneerisiä eli yleisiä kuvauksia, jotka eivät perustu oikeaan laitokseen. Kustannukset on esitetty koko laitokselle. Taulukon valuutat on muunnettu vuoden 2013 Yhdysvaltojen dollareista. Valuuttakurssina on käytetty Euroopan keskuspankin antamaa keskiarvoa 1,2 ja inflaatioprosenttia 0,6 välillä 2013–2018 (Euroopan keskuspankki 2019; Tilastokeskus 2019).

Taulukko 13 NEA:n arvioita koko laitosta kohden (NEA 2016, s. 65)

Maa/laitos	Tyyppi	Yksiköiden määrä	Sähköteho MW <sub>e</sub>	Kustannukset Yht M€ 2018
ES/ Jose Cabrera	PWR	1	160	292,5
ES/ Generic-ESP	PWR	1	1 066	358,5
CH/ Generic-CH	PWR	1	1 000	1030,9
FR/ Generic-FR	PWR	4	3 600	1 253,30
ES/ SM Garona	BWR	1	466	277,7
ES/ Generic-ESB	BWR	1	1 092	364,9
SE/ Oskarshamn	BWR	3	2 576	692,9
FI/ Loviisa	VVER-213/PWR	2	976	406,5
SK/ Bohunice	VVER-230/PWR	2	880	1 293,0

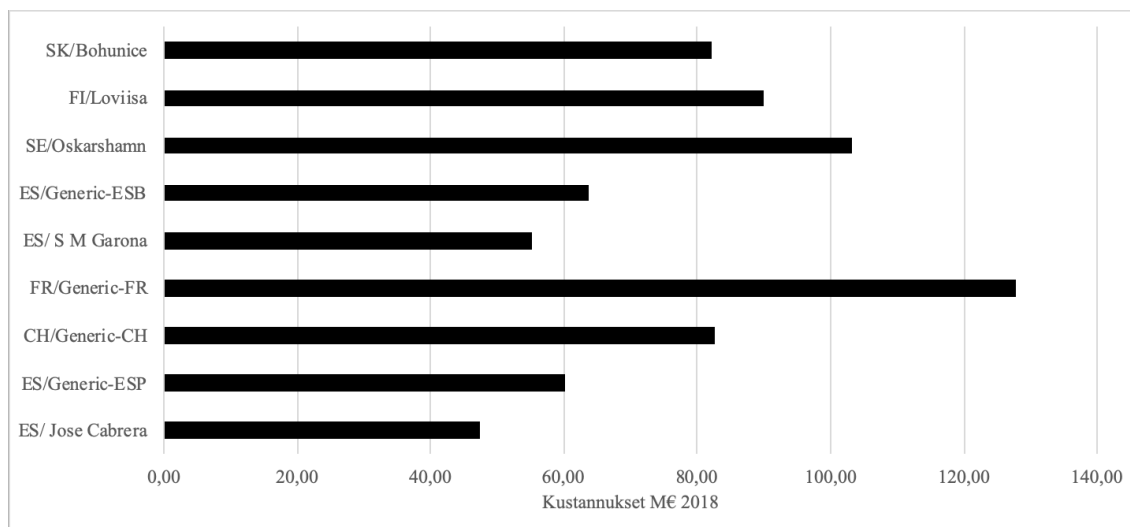
Taulukossa arvio on esitetty koko laitoksen purkamiselle. Neljän yksikkönsä takia Ranskan arvio on suurin. **Kuvassa 3** arviot on jaettu yksikkökohtaisesti. Ruotsin Oskarshamnin laitoksesta esitetään **liitteessä 8** tarkemmat yksikkökohtaiset arviot, sillä ne eivät jakaudu tasan laitostyksiköiden välillä. **Liitteessä 2** on alkuperäiset laitoskohtaiset arviot ja **liitteessä 3** alkuperäiset yksikkökohtaiset arviot.



Kuva 3 NEA:n arvioita laitosyksikköä kohden (NEA 2016, s. 66)

Kustannukset asettuvat välille noin 250–350 M€. Poikkeuksina ovat Sveitsin noin 1 000 M€ yleisarvio ja Slovakian Bohunicen laitoksen arvio. Sveitsin korkeata arviota selitettiin pitemmällä tarkasteluajalla ja työvoimakustannuksilla. On myös huomioitava, että kyseessä ei ole oikea laitos, vaan verrokkilaitos. Bohunicen laitoksen arviota nostavat organisaation ongelmat. Sen käytöstäpoisto on EU:n rahoittama ja ennenaikainen, mikä kasvattaa organisaation kustannuksia. Suomen Loviisan laitos esiintyy arvioissa kustannuksiltaan alhaisimpana. Syinä tähän ovat konventionaalisen purkamisen huomiotta jättäminen ja laitosalueen loppusijoituspaikat. Myöhemmissä arvioissa Loviisan kustannukset ovat kasvaneet. (NEA 2016, s. 68, 72–73)

Kun tarkastellaan pelkkiä radiologisen purkamisen arvioita, ovat Loviisan arviot melko suuria. Arviot on esitetty alla laitosyksikköä kohden **kuvassa 4**.

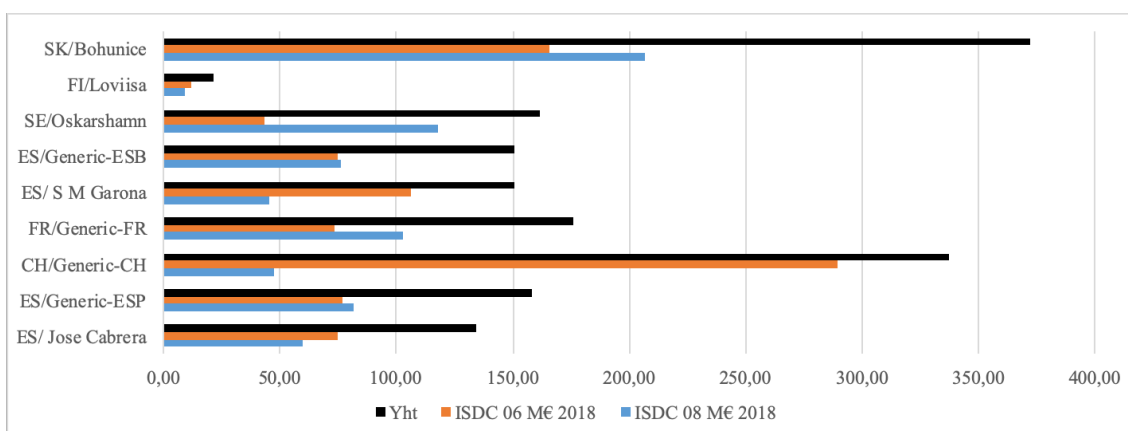


Kuva 4 NEA:n arvioita radiologisesta purkamisesta laitosyksikköä kohden (NEA 2016, s. 66)

NEA:n tutkimuksessa arvioitiin radiologista purkamista ja tavanomaista purkamista kokonaisuutena. Tässä joukossa Loviisan arviot ovat luonnollisesti pienimmästä päästä. Alhaisemmiksi kuitenkin arvioitiin kaikki Espanjan arviot, joissa Jose Cabreran laitoksen arviot ovat toteutuneet osittain. Espanjan oikeat laitokset (Jose Cabrera ja S M Garona) ovat kooltaan tarkasteltavista laitoksista pienimpiä, 160 MWe ja 466 MWe, mutta koon pohjalta tehdyt arvio ovat kuitenkin hyvin karkeita. Yhdysvaltojen osuudessa laitokseen ja kustannusten suhdetta avataan paremmin. (NEA 2016, s. 68–69)

NEA:n raportissa tarkasteltiin erikseen projektin hallinnan ja infrastruktuurin kustannuksia yhteisesti, sekä jätteiden käsittelyn kustannuksia. **Kuvassa 5** alla on esitetty projektin hallinnan ja infrastruktuurin kustannusarvioita koko laitokselle.

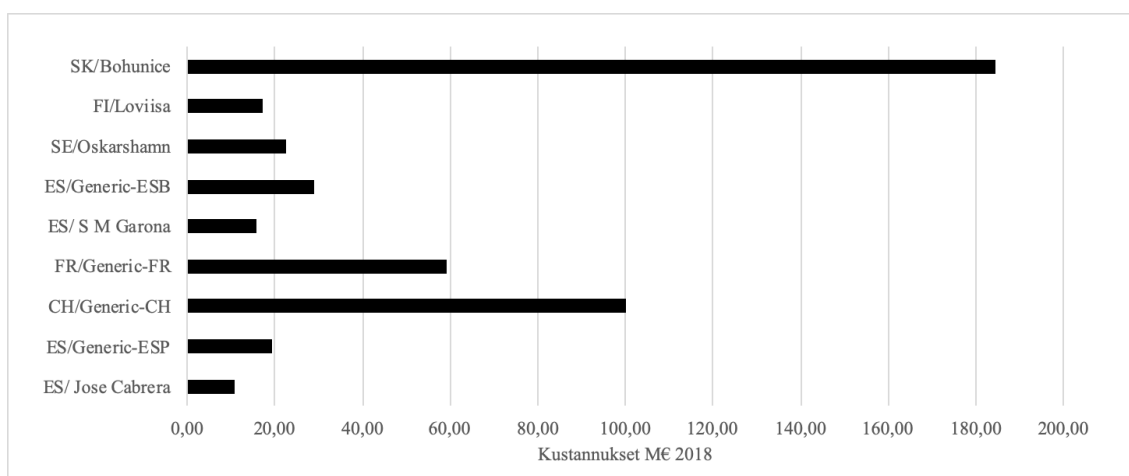




Kuva 5 NEA:n arvioita infrastruktuurin (06) ja projektin hallinnan kustannuksista (08) (NEA 2016, s. 65)

Loviisan arviot on esitetty kuvassa erittäin pieniksi. Syynä tähän on, että Fortumilla näitä kustannuksia esitetään muut kustannukset osiossa (Kelokaski 2019). Eli esimerkiksi henkilöstön hallinnassa on mukana vain hallitsevan organisaation kulut. Henkilöstökustannukset tai henkilöstön sivukustannukset, kuten vakuutukset ovat muissa kustannuksissa. Sama koskee myös muun muassa infrastruktuurin energiakustannuksia. Erityisesti tässä kategoriassa näkyvät Bohunicen ja Sveitsin laitoksen kustannusarviopiikit. Tämä kustannusten osa-alue on NEA:n mukaan riippumaton laitoksen koosta. Projektin tarkasteluajan laajuus taas kasvattaa arvioita, kuten Sveitsin tapauksessa. (NEA 2016, s. 69–72)

**Kuvassa 6** on jätteiden käsittelyn kustannuksia laitousyksikköä kohden. Tässä kategoriassa ilmoitetulla arvioilla on paljon eroja keskenään. Esimerkiksi kuljetukset tai lopullinen sijoitus on voitu jättää huomiotta, kuten Espanjan tapauksissa. (NEA 2016, s. 73–74) Suomen arvioita voi pitää tällä osa-alueella tarkkoina ja edullisina, sillä jätteet tullaan sijoittamaan laitosalueelle voimalaitosjäteluolaan (VLJ-luola). Luolan laajennuksesta on saatu kokemukseräistä tietoa, jotka ovat tarkentaneet arvioita (Kälviäinen 2019).



Kuva 6 NEA:n arvioita jätteiden käsittelykustannuksista laitoyksikköä kohden (NEA 2016, s. 66)

## 5.2 Yhdysvaltojen arvioita ja toteutuneita lukuja

Yhdysvalloissa tehtyyn Pacific Northwest National Laboratoryn tutkimukseen (PNNL) koottiin noin 60 laitoksen arviot ja neljän toteutuneen laitoksen kustannukset. Arvioissa täytyy ottaa huomioon, että ne eivät ole suoraan vertailukelpoisia ISDC-järjestelmän kanssa. Arvioiden keskinäinenkin vertailukin on hankalaa, sillä ne ovat kahden eri yrityksen laatimia (TLG Services ja Energy Solutions). Toisaalta suurempi osa arviosta on TLG Services:n tekemiä. (NEA 2016, s. 101–104; PNNL 2011, s. 11-1<sup>2</sup> s. 3-1–3-14)

PNNL on tehnyt kerätyistä arvioista havaintoja. Laitoksen kokonaiskapasiteetin ja kustannuksien välillä ei ole yhteyttä, kun tarkastellaan kaikkia kustannuksia. Esimerkiksi samankokoisilla laitoksilla voi olla eri kustannukset. Erityisesti hautauksella poistettavissa laitoksissa on suuriakin eroja. Jätteen määrällä on yhteys kasvaviin kustannuksiin, mutta valitulla sijoituspaikalla on väliä. Yhdysvalloissa on useita jätteensijoitus- ja käsittelypaikkoja, joiden kustannukset vaihtelevat, ja joista toiset suostuvat käsittelemään vain tiettyntyyppisiä jätteitä. Myös kuljetustavalla ja -matkalla on väliä. Henkilöstön hallintakustannuksilla ja laitoksen koolla havaittiin olevan yhteys. Toisaalta näihin kustannuksiin

<sup>2</sup> Lähteessä käytetään luvuittain juoksevaa sivunumerointia. Ensimmäinen numero tarkoittaa lukua jälkimmäinen sivunumeroa.

on liitetty urakoitsijoiden käytön kustannuksia. Mikäli katsotaan vain organisaation kustannuksia, on tilanne koosta riippumaton tai suhteessa kalliimpi pienemmälle laitokselle. (NEA 2016, s. 69; PNNL 2011, s. 3-13–3-32)

NEA muunsi joitakin Yhdysvaltojen arvioita ISDC-muotoon, luvut on esitelty **taulukossa 14**. Mukana on myös neljä toteutunutta projektia, jotka on merkitty punaisella. Kustannukset ovat kokonaiskustannuksia, ja ne on esitetty vuoden 2013 Yhdysvaltain dollareina ja vuoden 2018 euroina. Muunnokset on tehty samaan tapaan ja samoilla arvoilla kuten aikaisemmin. **Liitteeseen 4** on avattu arvioita aktiviteettiryhmittäin Yhdysvaltain dollareissa vuonna 2013.

Taulukko 14 ISDC-muotoon muunnettuja Yhdysvaltojen arvioita (NEA 2016, s. 106)

Laitos	Tyyppi	Koko MW <sub>e</sub>	Kustannukset Yht M\$ 2013	Kustannukset Yht M€ 2018
La Salle 1	BWR	1 138	616,7	529,5
La Salle 2	BWR	1 150	661,7	568,2
Comanche Peak 1	PWR	1 084	472,0	405,3
Comanche Peak 2	PWR	1 124	575,5	494,1
Duane Arnold	BWR	581	648,6	556,9
Kewaunee	PWR	556	460,3	395,2
Haddam Neck	PWR	619	997,2	856,2
Maine Yankee	PWR	900	557,5	478,7
Trojan NPP	PWR	1 130	259,3	222,6
Rancho Seco NPP	PWR	913	475,2	408,0

Yhdysvaltojen toteutuneiden purkujen purkutavat on koottu **taulukkoon 15**. Rancho Secon laitoksen strategia vaihtui purkamisen aikana viivästytyksestä välittömään käytöstäpoistoon.

Taulukko 15 Toteutuneiden laitosten poisto tavat (PNNL 2011, s. 4-118)

Laitos	Haddam Neck	Maine Yankee	Trojan NPP	Rancho Seco NPP
Strategia	Välitön käytöstäpoisto	Välitön käytöstäpoisto	Välitön käytöstäpoisto	Viivästytetty käytöstäpoisto (alun perin)
Höyrystimen poistaminen	Pilkottu kahteen osaan	Poistettu kokonaisuena	Poistettu kokonaisuena	Pilkottu kahteen osaan
Paineastian sisäosien poistaminen	Pilkottu osiin	Pilkottu osiin, osa sijoitettu astian sisään	Jätetty astian sisään	Pilkottu osiin
Paineastian poistaminen	Kokonaisuena	Kokonaisuena	Kokonaisuena	Pilkottu osiin

Laitosten kustannukset on esitetty **taulukossa 16**. Kustannuksista on esitetty toteutuneet ja arvioidut kustannukset, muunnettuna vuoteen 2018. Inflaatioprosenttina muunnoksissa on 1,34% (Tilastokeskus 2019). Arviot perustuvat luvussa 2 esitettyyn NUREG-yhtälöön. Rancho Secon kustannukset olivat osittain arvioita ja osittain toteutuneita, joten niitä ei esitetä tässä. Kategoriakohtainen erittely on nähtävissä **liitteessä 5**.

Taulukko 16 Toteutuneet ja arviot yhdysvaltalaisista käytöstäpoistoista. (PNNL 2011, s. 4-119)

Laitokset	Toteutuneet kustannukset M\$ 2010	Arvioidut kustannukset M\$ 2010	Toteutuneet kustannukset M€ 2018	Arvioidut kustannukset M€ 2018
Haddam Neck	918,7	414,0	851,6	383,8
Maine Yankee	575,0	448,9	533,0	416,1
Trojan NPP	328,8	371,1	300,1	344,1

Trojanin laitosta lukuun ottamatta ovat kustannukset paisuneet. Näin on tapahtunut erityisesti Haddam Neckin laitoksessa. Kustannusten kasvamisen syinä olivat pääasiassa projektinhallinnalliset muutokset ja tiukat vapautumisrajat. Laitos oli tarkoitus purkaa kokonaan ulkopuolisen alihankkijan toimesta. Kesken projektin kuitenkin siirryttiin käyttämään omaa organisaatiota, joka aiheutti viivästyksiä ja hallinnollisia ongelmia. Myös Maine Yankeeen purkamisessa törmättiin samanlaisiin ongelmiin, mutta pienemmillä kustannuksilla. Trojaniin verrattuna Haddam Neckin ja Maine Yankeeen purkamisen ja vapauttamisen standardit olivat tiukemmat. Trojanin laitoksen purkamisessa poistettiin vain aktiiviset rakenteet. Haddam Neckin ja Maine Yankeeen tapauksissa puhtaita rakennuksia

purettiin aktiivisena jätteenä, mikä vaati turhaa ulkopuolista käsittelyä ja sijoitusta. Hadam Neckin alueen palautukseen kiinnitettiin muita projekteja enemmän huomiota. Syynä oli laitoksen osavaltion Connecticutin tiukemmat säädökset. Tämä antaa hyvän kuvan Yhdysvaltojen käytöstäpoistojen tilasta, jossa liittovaltion vaatima taso on yksinkertainen radiologinen purkaminen, mutta osavaltiotason säädökset voivat olla tiukemmat. (PNNL 2011, s. 4-117–4-122; NEA 2016, s. 115)

### 5.3 Ruotsin arviot

Yhdysvaltojen arvioista siirrytään Ruotsin arvioihin. Arvioiden esittäminen tässä työssä on tarpeellista, koska Suomen ja Ruotsin käytöstäpoistoissa on maiden läheisyyden lisäksi myös muita samankaltaisuuksia. Molempien maiden käytöstäpoistoissa on periaatteena radiologinen purkaminen. Ruotsin arvioissa on myös poikkeuksellisesti esitetty tilavuus- ja painokohtaisia arvioita, joita muissa tutkimuksissa ei ole esitetty. Arviot esitetään luvussa 6. Käytöstäpoiston teorian mukaisesti arvioiden vertailussa pitää kuitenkin olla hyvin kriittinen. Esimerkiksi jätteiden loppusijoitus ei ole Ruotsissa yhtä hyvässä tilassa kuin Suomessa. Lyhytikäinen purku ja käyttöjäte on tarkoitus loppusijoittaa Forsmarkin laitosalueelle. Samalle alueelle on pohdittu myös polttoaineen loppusijoitusta. Muun, kuten pitkäikäisen purkujätteen loppusijoitusta ei ole suunniteltu yhtä pitkälle. (SKB 2019) Nämä voivat tuoda mukaan kustannuksia kasvattavia kuljetuksia ja viivästyksiä. Ruotsin suurempi laitosten määrä voi myös tuottaa ongelmia työvoiman kanssa ja vaatii tarkempaa kansallisen tason suunnittelua (SKB 2005, s. 1–8). Suomen ydinvoimateollisuus voi seurata Ruotsin toteutusta ja hyötyä siitä. TVO:n seuraavassa käytöstäpoiston suunnitelmassa otetaan huomioon Barsebäckin laitoksen kokemuksia (Lemmetty 2019). Useat Ruotsin purkamiset ajoittuvat ennen TVO:n projektien aloitusta, joten muiden kokemusten hyödyntäminen on mahdollista. Useat Ruotsin laitoksista ovat OL1:n ja 2:n tapaan ASEA-ATOM:n kiehutusvesireaktoreita, mikä voi tuoda tiedolle vielä enemmän lisäarvoa.

Ruotsin arviot eivät ole täysin yhtenäisiä. Arvioita on pääasiassa kahdenlaisia. Esimerkiksi Oskarshamnin ja Forsmarkin arvioiden pohjana on kotikutoinen laitospohjainen perustuva arvio, joka alun perin tehtiin esimerkkilaitoksen tapaan Oskarshamn 3 -laitoksesta. Tosin nykyisissä arvioissa on menty pitemmälle. Barsebäckin laitoksen arviot laati

yhdysvaltalainen yritys TLG Services. Ringshalsin arvioissa käytettiin taas pohjana toteutuneita Yhdysvaltojen kuluja, erityisesti Trojanin laitoksesta (Varley 2012 s. 3). Ringshalsin arviot on kuitenkin esitetty melko suppeasti, joten keskitymme kahteen edelliseen arvioon. (Hansson & Jönsson 2009, s. 3)

Barsebäckin ja Oskarshamn 3 laitoksen arvioita vertailtiin SKB:n suorittamassa tutkimuksessa (Hansson & Jönsson 2009). Tutkimuksessa esitettiin laadullisia ja määrällisiä vertailuja. Laadullisessa osiossa verrattiin arvioiden lähtöedellytyksiä. Huomattavina eroina olivat erilaiset strategiat ja poistettavien tilojen sekä rakennusten määrä. Barsebäckissä käytettiin viivästyttettyä käytöstäpoistoa ja Oskarshamnissa välitöntä. Oskarshamnin arviossa tarkasteltiin vain laitoksen kolmannen yksikön poistoa, kun taas Barsebäckissä arvioitiin koko kompleksin poistamista. Kokonaisvaltaisessa poistossa saavutetaan muun muassa työkoneiden hankintaetuja verrattuna yksittäisen laitoksen poistoon. Määrällisessä osiossa tarkasteltiin arvioita ISDC:n mukaan. Tosin kyseessä on ISDC:n vanhempi versio, joten kategoriat eivät ole täysin verrattavissa aiemmin esitettyihin ISDC-pohjaisiin lukuihin. Osiossa käytiin läpi mitä töitä arvioissa on otettu huomioon. Alla **taulukossa 17** on ISDC:n mukaiset arviot. Ruotsin kruunut on muunnettu euroiksi ja vuoden 2018 arvoon. Kurssina on käytetty Euroopan keskuspankin keskiarvon pyöristystä 9,3 ja muunnokset on tehty vuoden 2009 valuutasta 1,33:n vuotuisella inflaatioprosentin keskiarvolla (Euroopan Keskuspankki 2019; Tilastokeskus 2019). Täytyy myös huomioida, että arviot eivät ole alun perin olleet ISDC-muodossa. Ne on muunnettu tutkimuksessa työpohjaisista muodoista. Tutkimuksessa ei mainittu miltä vuodelta arvot on esitetty, oletuksena on tässä vuosi 2009. Alkuperäiset arviot ovat vuosilta 2006 (Oskarshamn 3) ja 2008 (Barsebäck). (Hansson & Jönsson 2009, s. 3, 24–26, 27–38)

Taulukko 17 Barsebäckin ja Oskarshamn 3 arvioita (Hansson &amp; Jönsson 2009 s. 27)

<b>ISDC kategoriat</b>	<b>Oskarshamn 3 M€ 2018</b>	<b>Barsebäck 1 M€ 2018</b>	<b>Barsebäck 2 M€ 2018</b>
01 Valmistelevat työt	0,4	14,6	6,2
02 Alasajo	4,4	0,0	0,0
03 Hankinnat	0,0	13,0	11,3
04 Purkaminen	70,5	38,4	30,4
05 Jätteiden käsittely	19,7	16,2	14,0
06 Turvallisuus ja infrastruktuuri	12,7	14,7	10,5
07 Alueen palautustyö	43,7	36,2	25,8
08 Projektin hallinta ja tuki	26,1	61,1	51,6
09 T&K	0,2	0,0	0,0
10 Polttoaine ja ydinmateriaali	0,0	0,0	0,0
11 Muut	9,3	27,9	23,3
Yhteensä	187,0	222,1	173,1

Tutkimuksessa tehtiin sama havainto, kuin PNNL:llä ja NEA:lla. Laitoskoko ei vaikuta suoraan käytöstäpoiston kustannuksiin. Lisäksi tutkimus osoittaa hyvin miten eri metodien ja strategioiden käyttö tulee huomioida arvioiden vertailussa. Tutkimusta voi käyttää ainakin yhtenä esimerkkinä vertailuiden laadinnassa. (Hansson & Jönsson 2009, s. 43–45)

Kotikutoista arviointimetodia paranneltiin. Oskarshamnin ja Forsmarkin koko laitosta koskevissa arvioissa käsiteltiin kattavammin jätteiden määrää. Lisäksi koko laitos apurakennuksineen otettiin huomioon. Arvioinnissa siirryttiin tyypilliseen bottom-up-menetelmään, mutta myös laskennallisia menetelmiä ja asiantuntijamielipiteitä käytettiin. (Larsson et al. 2013(a), s. 16–24; Larsson et al. 2013(b), s. 16–24) Oskarshamnin arviot ovat

**taulukossa 18** ja Forsmarkin **taulukossa 19**. Arvot on muunnettu samaan tapaan kruunuista kuten aiemmin. Alkuperäiset arvot perustuvat vuoden 2009 rahan arvoon. Arviot ovat päivitetyn ISDC:n mukaisia muunnoksia. Taulukoissa on esitetty vain pääaktiviteettitason arviot, **liitteissä 6 ja 7** ovat tarkemmat arviot. Tarkemmissa arvioissa on esitetty alkuperäiset luvut, avattu arvioita ISDC:n aktiviteettiryhmätasolle ja laskettu kategorian prosenttiosuus kustannuksista. **Liitteissä 8 ja 9** arviot on jaettu laitosyksikkökohtaisesti.

Taulukko 18 Oskarshamn arviot (Larsson et al. 2013(a), s. 111)

<b>ISDC kategoriat</b>	<b>Kustannukset M€ 2018</b>	<b>Epävarmuus+kustannukset M€ 2018</b>
ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt	8,8	9,6
ISDC 02 Laitoksen Alasajotyöt	14,3	16,4
ISDC 03 Viivytetyn käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt	0,0	0,0
ISDC 04 Valvotun alueen purkaminen	253,6	286,2
ISDC 05 Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus	54,8	62,1
ISDC 06 Infrastrukturi ja muu tuki	34,9	40,2
ISDC 07 Tavanomainen purkaminen	95,7	110,3
ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt	93,1	109,0
ISDC 09 Tutkimus ja kehitys (T&K)	0	0,0
ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta	0	0,0
ISDC 11 Muut työt ja kustannukset	3,5	4,5
Yhteensä	558,6	638,3



Taulukko 19 Forsmarkin arviot (Larsson et al. 2013(2), s129)

ISDC kategoriat	Kustannukset M€ 2018	Epävarmuus+kustannukset M€ 2018
ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt	7,4	8,1
ISDC 02 Laitoksen alasajotyöt	9,8	11,1
ISDC 03 Viivytetyn käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt	0,0	0,0
ISDC 04 Valvotun alueen purkaminen	291,5	325,2
ISDC 05 Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus	56,2	63,2
ISDC 06 Infrastruktuuri ja muu tuki	35,2	39,6
ISDC 07 Tavanomainen purkaminen	150,4	165,4
ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt	95,5	109,6
ISDC 09 Tutkimus ja kehitys (T&K)	0	0,0
ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta	0	0,0
ISDC 11 Muut työt ja kustannukset	2,2	2,8
Yhteensä	648,2	724,9

Molemmat laitokset ovat ASEA-ATOM:in BWR-reaktoreita ja molemmissa on purettavana kolme yksikköä ja apurakennukset. Forsmarkissa kuten Oskarshamnissa käytetään välitöntä käytöstäpoistoa. Ylimääräisestä yksiköstä johtuen kustannukset ovat heti Suomen laitoksia kalliimpia, mutta yksikkökustannukset eivät ole merkittävästi suurempia. (Larsson et al. 2013(a), s. 25; Larsson et al 2013(b), s. 25)

## 5.4 Suomalaiset arviot

Kohtuullisen aikaikkunan sisällä tapahtuvat purkamiset Suomessa ovat Fortumin Loviisan laitosten purkamiset ja VTT:n FiR 1-reaktorin purkaminen. VTT:n kustannusarvioita ei ole saatu työtä varten, joten niitä ei käsitellä. Asiaa on parempi tarkastella purkamisen toteuduttua noin kuuden vuoden päästä. Tulevaisuudessa mielenkiintoinen vertailukohde FiR 1:n purkamiselle voisi olla Tanskassa puretun DR1:n purkaminen. Kyseessä oli hyvin pieni 1 kW tutkimusreaktori. DR1:n ja FiR 1:n vertailussa pystyisi selvittämään purkutöiden skaalautumista, fissioteholtaan FiR 1 on 250 kW. DR1 purkamisen kustannuksia esitettiin NKS:n tutkimuksessa (Andersson et al 2006). Tutkimuksessa esitettiin toteutuneita kustannuksia, muttei kokonaisuudessaan. Tällä hetkellä projekti on jo toteutunut, mutta kustannuksia ei ole löydettävissä suppealla tiedonhaulla. (Andersson et al. 2006, s. 14, 48–55)

Kohtuullisella aikavälillä Loviisan arviot ovat merkittävimpiä, sillä niiden toteutumista päästään tarkkailemaan sopivan ajan sisällä, ainakin verrattuina muihin Suomen käytöstäpoistoihin. Fortumin arviointimetoodeja on jo käsitelty osittain aiemmissä luvuissa. Pääasiallisesti käytetään bottom-up-menetelmää. Vertailukohteina käytettiin omia tavanomaisia laitoksia, esimerkiksi Inkoon hiilivoimalaitosta (Kälviäinen 2019).

Loviisan tuoreimmat arviot ovat vuodelta 2018. Arvioita ei ole muunnettu, koska ne ovat valmiiksi vuoden 2018 tasolla. Arvonlisävero ei ole huomioitu kustannuksissa. Arviot on esitetty **taulukossa 20**.

Taulukko 20 LO1 ja LO2 käytöstäpoiston kustannusarviot (Fortum 2018, s. 79)

Käytöstäpoiston kategoriat	Kustannukset M€ 2018
Siirtymävaihe	46,5
Laite-, rakenne- ja materiaalihankinnat	20,3
Purkutyöt	135,8
Jätteiden käsittely ja loppusijoitus	33
Projektin hallinta ja suunnittelu	7,9
Muut kustannukset	113
Kustannukset yhteensä	356,5
10 %:n epävarmuus	35,7
Kustannukset + epävarmuus	392,2

Suurin osa kustannuksista on työkustannuksia. Kustannusarviot ovat tarkentuneet suunnitelmasta toiseen. Alla on **taulukko 21** kokonaiskustannusten kehityksestä vuoden 1987 suunnitelmasta lähtien.

Taulukko 21 LO1:n ja LO2:n kustannusarvioiden kehityksestä (NEA 2016, s. 169)

Vuosi	Kustannukset ilman epävarmuutta M€ 2012	Kustannukset epävarmuudella. M€ 2012	Kustannukset ilman epävarmuutta M€ 2018	Kustannukset epävarmuudella. M€ 2018
1987	278,8 M€	306,7	291,5	320,8
1993	261,8 M€	287,9	273,8	301,1
1998	258,8 M€	284,7	270,7	297,8
2003	263,1 M€	289,4	275,2	302,7
2008	312,4 M€	343,7	326,7	359,5
2012	326,4 M€	359,1	341,5	376,2

Alun perin arviot esitettiin vuoden 2012 hintatasossa. Nyt ne on muunnettu vuoden 2018 tasoon 0,75:n vuotuisella inflaatioprosentin keskiarvolla. Vuosien 2003 ja 2008 välisen ison muutoksen aiheutti jätteen vapautumisrajan tiukentuminen 10kBq/kg:sta 0,1kBq/kg:aan. Tämä kasvatti jätteenkäsittelyn kustannuksia. Vuosien 2012 arviota päivitettiin VLJ-luolan huoltojätehallin laajennuksesta saadun kokemuseräisen tiedon pohjalta. (NEA 2016, s. 169) Vuosien 2012 ja 2018 välillä arvioita kasvatti pidennetty valmisteluvaihe. Aikaisemmin se oli suunniteltu kaksivuotiseksi yksikköä kohden. Uudessa suunnitelmassa se on pidennetty kolmevuotiseksi. Syitä pidennykseen oli useita, esimerkiksi turvallisuusnäkökohtien parantaminen (Kälviäinen 2019).

Aiemmin esitetyssä NEA:n arvioinnissa Loviisan kokonaiskustannukset olivat alhaisimpia. Osittain syynä olivat edellä mainitut tarkastelusyypyt, pääasiassa pelkkä radiologinen purkaminen ja alueen pitäminen suljettuna. Arvioituihin alhaisiin kokonaiskustannuksiin ovat myös vaikuttaneet hyvät ratkaisut, joita ovat suurten komponenttien loppusijoitus kokonaisina ja pitkälle suunniteltu ydinjätehuolto. Erityisesti laitosalueilla sijaitsevat käytetyn polttoaineen välivarastot (KPA-varasto) ja VLJ-luola on huomioitu kansainvälisesti ja kotimaisesti kustannuksia alentavina seikkoina. Suunnitelmissa esitetyt tekniset ja kokemusperäiset tiedot ovat vahvistaneet kustannusarvioiden luotettavuutta. (Kyrki-Rajamäki & Vihavainen 2003, s. 35–36; NEA 2016, s. 170) Loviisan laitosta on verrattu myös IAEA:n 2000-luvun alkupuolella tehdyissä VVER-laitosten käytöstäpoistojen tutkimuksessa. Myös näissä arvioissa Loviisan kustannukset sijoittuivat alhaisiksi (IAEA 2000, s. 33, IAEA 2002, s. 79–80). Tosin verrokkikohteina käytettiin Itä-Euroopan ja entisten neuvostotasavaltojen laitoksia, joiden tilanne ja tulevaisuus olivat tuohon maailmanaikaan epäselviä. Esimerkiksi Slovakian Bohunicen VVER-laitoksen kustannusarviot ovat huomattavasti suurempia Loviisaan verrattuna.

TVO:n varsinaiset purkamiset ovat kaukaisia projekteja. Arviointimenetelmät ovat samoja, kuin Fortumilla ja arviot tulevat tarkentumaan ajan myötä. TVO:n arvioihin saadaan tulevaisuudessa tarkennusta maailmalta, Ruotsissa ja Suomessa toteutuneista käytöstäpoistoista. Lisäksi omien laitosten huoltotöistä saadaan arvokasta tietoa. Arvioita on myös tarkasteltu suunnitelman sisällä ajassa. Töiden kustannukset on diskontattu tapahtumaan suunnitelman sisäisen aikataulun mukaan, aikataulut esitetään luvussa 7. Lain-säädäntöä käsittelevän luvun 3 mukaisesti arviot perustuvat nykyarvomenetelmään. Metodien mukaisesti diskonttauksen lähtövuosi on arvion esitysvuosi. Tämä on hyvä huomioida varsinkin, kun tarkastellaan OL1:n ja OL2:n poistoja, joissa varsinaiset purkamiset tehdään alustavasti yli 30 vuoden päästä sulkemisesta. (TVO 2014, s. 108–113; Piiparinen & Lemmetty 2017, s. 100–107; Lemmetty 2019)

Alla on esitetty ensin **taulukossa 22** OL3:n kustannukset luokittain karkeasti, **taulukossa 23** ja **24** on OL1:n ja OL2:n karkeat arviot vuosilta 2013 ja 2002. Kustannukset on eritelty eri tavoin. OL3:n arviossa on eritelty materiaalihankinnat ja työnkustannukset erikseen.

Taulukko 22 OL3:n käytöstäpoiston kustannusarviot (Piiparinen &amp; Lemmetty 2017, s. 107)

<b>Käytöstäpoiston kategoriat</b>	<b>Kustannukset M€ 2017</b>	<b>Kustannukset M€ 2018</b>
Valmisteluvaihe	106,7	107,89
Valvotun alueen purkaminen	61,8	62,5
Materiaalihankinnat	17,5	17,7
Jätteen käsittely ja loppusijoitus	20,6	20,8
Muut kustannukset	65,5	66,2
Konventionaalisen laitoksen purkaminen	38,1	38,5
OL3 kokonaiskustannukset	310,2	313,6
Epävarmuus 15 % (konventionaalinen osa)	5,7	5,7
Epävarmuus 20 %	54,4	54,9
OL3 käytöstäpoisto epävarmuuksilla	370,3	374,3

Taulukko 23 OL1:n ja OL2:n käytöstäpoiston kustannusarviot vuonna 2013 (TVO 2014, s. 113)

Käytöstäpoiston kategoriat	Kustannukset M€ 2013	Kustannukset M€ 2018
Valvottuun säilytykseen valmistelut	17,8	18,3
Valvottu säilytys	7,9	8,1
Purkaminen	102,4	105,5
Purkujätteen loppusijoitus	61,7	63,6
Yhteensä	189,9	195,6
Yhteensä epävarmuudella (15%)	218,3	224,9

Taulukko 24 OL1:n ja OL2:n käytöstäpoiston kustannusarviot vuonna 2002 (Kyrki-Rajamäki &amp; Vihavainen 2003, s. 25)

Käytöstäpoiston kategoriat	Kustannukset M€ 2002	Kustannukset M€ 2018
Valvottuun säilytykseen valmistelut	10,2	12,7
Valvottu säilytys	3,9	4,9
Aktivoituneiden osien purkaminen	44,3	55,2
Kontaminoituneiden osien purkaminen	29,3	36,5
Muu purkutyö	12,0	14,9
Investoinnit purkujätteiden loppusijoitukseen	21,4	26,7
Loppusijoitustilojen käyttö	7,7	9,6
Loppusijoitustilojen sulkeminen	6,3	7,9
Muu loppusijoitus	3,8	4,7
Epävarmuus 15 %	20,8	25,9
Yhteensä	159,7	198,7

Arvot on muunnettu vuoden 2018 mukaisiksi. 2013 arviossa inflaatioprosenttina on ollut 0,6 %, 2017 arvioissa 1,08 % ja 2002 arvioissa 1,38 % (Tilastokeskus 2019). OL3:n arvioissa on yhdistetty kustannuksia, sillä joidenkin kustannusten arviot ovat arkoja julkisuudelle. OL1:n ja OL2:n kokonaisarviot ovat myös päivittyneet vuoden 2013 arviosta, 2016 jätettyyn OL3:n käyttölupahakemukseen. Siinä kokonaiskustannukset ovat vuoteen 2018 suhteutettuna noin 275 M€ ja alkuperäinen arvio oli 270 M€ (TVO 2016, s. 205).

**Taulukosta 22** voi havaita hyvin työn hinnan suuren osuuden kustannuksista. Hankinnat ja materiaalikustannukset ovat lopulta pieni osa kokonaiskustannuksia työhön verrattuna. Erityisesti suunnittelu- ja insinööri työ ovat kalliita. Esimerkiksi valmisteluvaiheen kokonaiskustannuksista suurin osa on kallista suunnittelutyötä. Kalliista työstä johtuen oman organisaation kustannukset ovat urakoitsijoiden kustannuksia kalliimpia. Konventionaalisen laitososan kustannuksiin on laskettu mukaan puretusta materiaalista saadut varat. Muut osioon on yhdistetty projektinhallinnan ja alueen ylläpidon kustannukset. (Piiparienen & Lemmetty 2017, s. 100–107)

OL1:n ja OL2:n erittelyä ei ole kirjattu suunnitelmiin yhtä tarkasti, kuin OL3:n suunnitelmissa. Mutta pääasiassa kustannukset ovat henkilökustannuksia. Materiaalikustannukset jakautuvat laitosten välillä, koska samoja laitteita pyritään jakamaan projektien välillä. **Taulukoiden 23 ja 24** välillä on kohtuullisen suuri arviointiero, joka kertoo arvioinnin tarkentumisesta. (TVO 2014, s. 108–113)

Loviisan ja Olkiluodon arvioissa on selkeitä eroja. Kokonaiskustannuksia verrattaessa erottuvat Loviisan kustannukset korkeammiksi. Syitä tähän on erityisesti kaksi. Konkreettinen syy on Loviisan voimalaitoksen vaikeammin purettava rakenne, esimerkiksi höyrystintila. Toinen on taas kustannuslaskentatekninen syy. On mahdollista että, OL1:n ja OL2:n yleiskustannukset ovat jakautuneet OL3:n käytön alle. Syyt on selvitetty kyseilyillä. TVO:n Mikko Lemmetty esitti ensimmäisen syyn ja Fortumin Pasi Kelokaski antoi jälkimmäisen, mutta tuki myös ensimmäistä syytä. Vastauksien järjestys on poikkeuksellinen, sillä syiden voisi olettaa tulevan toisinpäin. (Kelokaski 2019; Lemmetty 2019)

Fennovoimalla kustannusten arviointi on käynnissä. Rakennuslupahakemuksessa on esitetty teoreettinen kustannusarvio. Arviossa kustannukset ovat 3 € jokaista tuotettua megawattituntia kohden, arvioituna tuotantoaikana on 60 vuotta (Fennovoima 2015, s. 166). Arvio on hyvin karkea, mutta perustuu tavallaan käyttöön, eikä esimerkiksi rakennuskustannusten osuuteen. Hanhikiven laitoksen käytöstäpoistoon liittyviä ratkaisuja huomioidaan jo laitoksen suunnittelun ja rakentamisen aikana, kuten OL3:n tapauksessa (Hinkkanen 2019). Ajan myötä tämäkin arvio alkaa saamaan muotonsa.



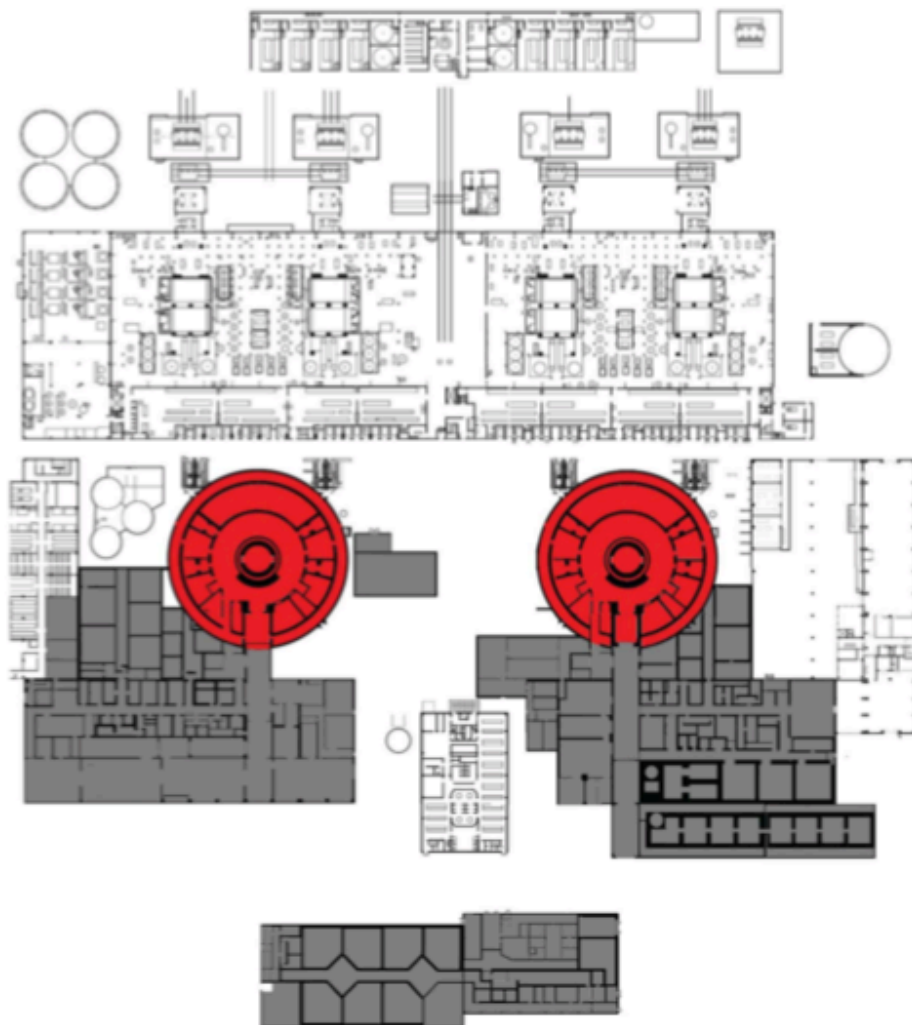
## 6 JÄTTEET

Radioaktiivisuus erottaa ydinvoimalaitosten käytöstäpoiston muusta purkamisesta. Pääasialliset vaikutukset kustannuksiin ovat työtä vaikeuttavissa säteilyturvallisuuskäytännöissä, jätteiden käsittelyssä ja loppusijoituksessa. Mikäli halutaan tarkastella vain käytöstäpoiston kustannuksia, on tiedettävä mistä jätteet ovat. Ovatko ne käytön jätteitä, käytettyjä polttoaineita vai purkamisen jätteitä? (Posiva 2019) Teoriassa vain purkamisen jätteet kuuluvat käytöstäpoistojen kustannusten alle, mutta esimerkiksi VLJ-luolan kustannukset jakautuvat käytöstäpoiston, käytön ja loppusijoituksen alle ja ovat osana integroitua ydinjätehuoltoa. Purkujätteille joudutaan rakentamaan oma tila, joka on aiheuttanut kustannusten nousuja muun muassa Fortumin arvioissa. Jätteiden määrää on arvioitu käytöstäpoiston suunnitelmissa, mutta kokonaismäärästä saadaan varmuus vasta purkamisen alettua.

Jätteitä voidaan luokitella monella tavalla. Yleisin luokittelutapa on aktiivisuuden mukaan korkea-aktiivisiin, keskiaktiivisiin ja matala-aktiivisiin jätteisiin. Korkea-aktiivisen jätteen aktiivisuuspitoisuus on yli 10 GBq/kg, keskiaktiivisen 1 MBq/kg ja 10 GBq/kg välillä. Matala-aktiivinen jäte on taas alle 1 MBq/kg. Toinen merkittävä tapa on luokitella jätteet aktivoituneisiin ja kontaminoituneisiin jätteisiin. Aktivoitunut jäte on muuttunut itse radioaktiiviseksi neutronikaappauksen takia, kun taas kontaminoituneet jätteet ovat radioaktiivisten aineiden tahrimia. Käytöstäpoistoissa reaktorin lähellä olleet materiaalit ovat aktivoituneita, kun taas kontaminoituneita ovat muun muassa prosessien pinnat kuten putket. (Sandberg et al. 2004, s. 272–274) Jätteitä voi luokitella myös muilla perusteilla, esimerkiksi olomuodon mukaan. Varsinainen aktiivisuuden luokittelu ei ole yksiselitteistä vaan perustuu aktiivisten radionuklidien materiaaliin. Terveysvaikutusten selvityksissä säteilyn laatu on taas tärkeää. Lain mukaista luokittelua on esitetty aiemmin luvussa 3 ja säteilyturvallisuusaspektiin voi tutustua muissa diplomitöissä (Oinonen 2018, Haapamäki 2018).

## 6.1 Fortumin jätteet

Fortumissa jätteiden karkein jakautumisaste on kiinteisiin- ja nestemäisiin jätteisiin. Kiinteät jätteet jakautuvat aktivoituneisiin ja kontaminoituneisiin jätteisiin. Nestemäinen jäte on kontaminoitunutta jätettä, tosin osa siitä voidaan vapauttaa valvonnasta normaaliksi jätteeksi. Loviisan laitoksen purkamisen perustuu radioaktiivisten osien, rakenteiden ja järjestelmien purkamiseen. Kaikkia valvotun alueen jätteitä käsitellään radioaktiivisina, kunnes niiden aktiivisuustaso on selvillä. Alla olevassa **kuvassa 7** on esitetty purettavien laitososoiden pääpiirteet.



Kuva 7 Loviisan voimalaitoksen purettavat osiot (Fortum 2018, s. 13)

Kuvassa on esitetty punaisella reaktorihalli ja sen järjestelmät, jotka puretaan vaihe yhden aikana. Suunnitelmien mukaan purku tapahtuu vuosina 2030–2036. Harmaat alueet puretaan myöhemmin vuosina 2066–2068. Tarkemmat kuvaukset aikatauluista ja vaiheista ovat luvussa 7. Harmaaseen alueeseen kuuluvat apurakennukset sekä nestemäisten jätteiden varasto ja kiinteytyslaitos. Ensimmäisessä vaiheessa harmaalta alueelta puretaan järjestelmiä, jotka eivät ole tarpeellisia. Valkoiset alueet ovat konventionaalinen laitososa ja erilaiset toimistotilat. (Fortum 2018, s. 10, 39)

Aktivoituneiden jätteiden määrä on eritelty ja esitetty **taulukossa 25**. Taulukossa on esitetty loppusijoitustapa, eli poistetaanko jäte kokonaisuena, pakattuna vai vapautettuna.

Taulukko 25 LO1 ja LO2 aktivoitunut jäte (Fortum 2018, s. 30–42)

Osat ja rakenteet	Paino ilman pakkausta (t)	Tilavuus pakkauksineen (m <sup>3</sup> )	Loppusijoitustapa
Paineastia, astian sisäosat, suojaus elementit ja astian yläosa.	866	424	Paineastia ja sen kansi kokonaisuena. Muut osat astian sisään.
Paineastian purkujäte	158	318	Pakataan betonilaatikkoihin
Säätösauvojen kärjet	42	368	Pakataan betonilaatikkoihin
Kuiva siilo (erilaiset reaktorin instrumentit ja niiden telineet)	57	203	Kokonaisuena
Biologiset suojat ja lämpöeristeet	1 230	1 989	Käsittely aktiivisuuden mukaan.
Höyrystin huoneen lattia	530	357	Käsittely aktiivisuuden mukaan
Yhteensä	2 883	3 648	

Jätteen määrä ja aktiivisuustaso on arvioitu laskennallisesti, käytöstäpoiston yhteydessä saadaan varmuus jätteen todellisesta määrästä ja tasosta. **Taulukossa 26** on arvioitu kontaminoituneen jätteen määrä.

Taulukko 26 LO1:n ja LO2:n kontaminoituneesta jätteestä. (Fortum 2018, s. 43)

Purettava alue ja kohde	Paino ilman pakkausta (t)	Tilavuus pakkauksineen (m <sup>3</sup> )
Reaktorihallin prosessijärjestelmät	4 292	5 242
Reaktorihallin rakenteet	9 692	7 282
Apurakennusten prosessijärjestelmät	960	2 694
Apurakennuksen rakenteet	165	139
KPA-varaston järjestelmät	346	1 204
KPA-varaston rakenteet	81	125
Muut jätteiden käsittely järjestelmät	150	460
Muut jätteiden käsittely rakenteet	52	38
Laboratorion rakenteet	6	6
Nestemäinen purkujäte	352	1 141
Muu purkujäte	392	600

Myös kontaminoituneen jätteen määrä perustuu laskennallisiin arvioihin. Määrästä saadaan varmuus vasta purkamisen yhteydessä tehtävillä mittauksilla. Isot kontaminoituneet komponentit, kuten höyrystimet ja paineistin loppusijoitetaan kokonaisina. Muut jätteet pakataan aktiivisuustason mukaan betoni- tai puulaatikoihin. Rakenteiden purusta syntynyt betonin ja veden velli taas kiinteytetään ja pakataan tynnyreihin. Purkamisesta syntyy myös jätettä, joka alittaa vapauttamiselle määritellyt rajat. Tätä jätettä voidaan käsitellä tavallisena jätteenä. Jättemäärää varten on arvioitu tarvittavan 1 571 puulaatikkoa, 480 betonilaatikkoa ja 480 tynnyriä. (Fortum 2018, s. 42–44)

Käytöstäpoistosta syntyy muuta nestemäistä jätettä, joita ovat prosessivedet ja viemäri-vesi. Prosessivettä tulee LO1:stä 2 690 m<sup>3</sup> ja LO2:sta 3 690 m<sup>3</sup>. LO2:n puolella on koko laitoksen yhteinen varavesisäiliö, jonka vedet on lisätty LO2:n prosessivesiin (Kelokaski

2019). Vedet käsitellään Fortumin omilla NURES©-tuotteilla. Käsitelyllä vesi voitaisiin saada tasolle, jossa se voidaan vapauttaa tavallisena jätteenä. Viemäriverdetkin pyritään suodattamaan NURES©-tuotteilla, mutta vapautumistasolle päätyemisestä ei olla yhtä varmoja kuin prosessivesien kohdalla. Mikäli vaadittua tasoa ei saavuteta, käsitellään nesteet jätteinä. Tällöin nesteet kiinteytetään ja loppusijoitetaan. (Fortum 2018, s. 43–44)

Fortumin jätteet loppusijoitetaan geologisesti laitosalueella olevaan VLJ-luolaan. Käytöstäpoistosta syntyvälle jätteelle on varattu kolme erillistä hallia. Kiinteytetty nestemäinen jäte ja purkamisesta syntynyt huoltojäte sijoitetaan jo käytössä syntyneiden samankaltaisten jätteiden halleihin. (Fortum 2018, s. 47–54)

## 6.2 TVO:n jätteet

TVO:n radioaktiiviset jätteet jaotellaan kolmeen luokkaan. Ensimmäinen luokka on aktivoituneille purkujätteille. Luokkaan kuuluvat paineastia ja sen sisäiset osat, sekä astiaa ympäröivät biologiset suojat ja eristeet. Toinen luokka on kontaminoitunut jäte, johon kuuluu pääasiassa prosessijärjestelmien purkujätettä. Viimeisenä on hyvin vähäaktiivinen purkujäte. Hyvin vähäaktiivista purkujätettä ovat biologisten suojien teräsbetoniset ulkokerrokset, pestyt polttoaine- ja säätelysautavatelit sekä purkamisen sekundäärijäte. Ylimääräisenä ryhmänä ovat vielä käytön aikana poistetut reaktorin sisäosat, mutta tämä on hallinnollinen luokitus, eikä kustannuslaskennalle tai työsuunnittelulle hyödyllinen jaottelu. Jaottelua käytetään hyväksi pakkauksen materiaalin ja koon valinnassa. Alla **taulukossa 27** luokkien vaatimat materiaalit ja mitat.

Taulukko 27 Taulukossa jätteiden luokittelusta (TVO 2014, s. 58)

Pakkaustyyppi	Pakkaukseen sijoitettava jäte	Seinämä (mm)	Ulkomitat (mm)	Sisämitat (mm)	Ulkotilavuus (m <sup>3</sup> )	Sisätilavuus (m <sup>3</sup> )	Paino tyhjänä (t)
F	<b>Aktivoitunut jäte</b> • Biologisen suojan sisäkerros, lämpöeristevyösten aktivoitunut osa, paineastioiden käsittelyn pienjäte	100 betoni	2500-1820-1540	2300-1620-1340	7	5	4,6
Tynnyri	• Aktivoitunut sahausjäte ja huoltojäte	1 hiiliteräs	875-D595	830-D572	0,24	0,21	0,02
L	<b>Kontaminoitunut jäte</b> • Prosessijärjestelmät, KPA-varaston purkujäte	100 betoni	5460-2730-1015	5260-2530-915	15,1	12,2	7,4
-	• Isot komponentit, polttoaine- ja säätösaavatelit						
Tynnyri	• Reaktorihallien altaiden pohjalevyt (pääosa)	1 hiiliteräs	875-D595	830-D572	0,24	0,21	0,02
K	<b>Hyvin vähäaktiivinen jäte</b> • Biologisen suojan ulkokerros ja muu hyvin vähäaktiivinen betonijäte, lämpöeristevyösten aktivoitumaton osa, reaktorihallien altaiden pohjalevyjen poistamisesta syntyvää jätettä (pieni osa)	15 vaneri	1900-1300-1300	1870-1270-1270	3,2	2,7	0,23

Kaikkia jätteitä ei pakata ylläolevan taulukon ohjeiden mukaan. Isot komponentit ja säätösauvat loppusijoitetaan ilman pakkausta. Reaktorin paineastiaa käytetään pakkauksena reaktorin sisäosille. Nestemäiset jätteet taas kiinteytetään ja pakataan tynnyreihin. Tynnyrit pakataan betoniastioihin. (TVO 2014, s. 53–58; Piiparinen & Lemmetty 2017, s. 44–49)

Loppusijoitus tapahtuu alustavasti VLJ-luolaan. KPA-varaston purkujätteet tullaan myöskin sijoittamaan VLJ-luolaan. Vähäaktiivisen jätteen maaperäsijoitusta on tutkittu. Tällä saataisiin aikaan säästöjä, geologisen sijoitukseen verrattuna. (TVO 2014, s. 11, 29; Piiparinen & Lemmetty 2017, s. 5, 20–21)

OL1:n ja OL2:n jätteiden määrä on koottu **taulukkoon 28**.

Taulukko 28 OL1 ja 2 jätteiden laatu ja määrä (TVO 2014, s. 53, 58)

Jätteiden laatu	Massa (t)	Tilavuus (m <sup>3</sup> )
Aktivoitunut jäte	4 000	4 400
Kontaminoitunut jäte	10 900	26 700
Yhteensä	14 900	32 400

OL3:n aktiivisten jätteiden tilavuus on 1 287 m<sup>3</sup> ja kontaminoituneen 10 028 m<sup>3</sup> (Piiparinen & Lemmetty 2017 s. 45–46). Suurempi jätteen määrä johtuu OL1:n ja OL2:n kahdesta laitostyypistä ja BWR-laitostyypistä, jossa useammat prosessijärjestelmät kontaminoituvat.

### 6.3 VTT:n jätteet

Muihin Suomen purkamisen projekteihin verrattuna VTT:llä on verrattain vähän jätettä. Tähän osioon lasketaan myös poikkeuksellisesti mukaan käytetty polttoaine, joka muiden laitosten osioissa on jätetty huomiotta. VTT:n tapauksessa polttoaineen loppusijoituksessa on ongelmia, joten myös niiden määrä on syytä huomioida. **Taulukkoon 29** on koottu jätteet määrineen. (VTT 2017, s. 2)

Taulukko 29 VTT:n jätteistä (VTT 2017 s. 2, liite 3 s. 1-2)

Jätteen laatu	Massa	Pakattu tilavuus
Käytetty polttoaine	22 kg	
Matala- ja keskiaktiivinen jäte	700 t	350 m <sup>3</sup>
Luonnon uraani	1,6 t	
Käyttöjäte		10 m <sup>3</sup>
Käyttämätön polttoaine	6 kg	
Ydinmateriaaliksi luokiteltu grafiitti	4,6 t	

Taulukossa esitettyjen jätteiden määrät ovat pyöristettyjä. VTT:llä on myös hallussaan pieniä määriä erilaisia kokeissa käytettyjä ja analysoituja jätteitä. Taulukossa esitetty matala- ja keskiaktiivinen jäte on arvioitu ilman valvonnasta vapautusta. Mikäli jätettä voidaan vapauttaa, on arvioitu jätemäärä 140 t ja pakattuna 100 m<sup>3</sup>. (VTT 2017, s. 2, liite 3, s. 1–2) VTT on huolehdittava jätteiden loppusijoituksesta itse tai ostettava loppusijoituspalvelua ulkopuoliselta palveluntarjoajalta.

Materiaaliltaan jätteet ovat erilaisia, muihin Suomen laitoksiin verrattuna. Polttoaineena ei ole tyypillinen uraanidioksidi vaan uraanin ja zirkoniumin seos. Erikseen luokitellun grafiitin lisäksi on matala- ja keskiaktiivisessä jätteessä grafiittia ja poikkeuksellista Fludental-hidastetta. Jätteissä on tietysti myös muiden laitosten tavoin betonia ja terästä. (VTT 2017 s. 2, liite 3, s. 1–2)

Jätteiden ja polttoaineen välivarastointi ja loppusijoitus eivät ole varmistuneet. Polttoaineen toivotuin varastointi- ja loppusijoituspaikka on Yhdysvalloissa. Reaktoria hankittaessa polttoaineelle on annettu palautusmahdollisuus, joka on osa Yhdysvaltojen liittovaltion ydinsulkupolitiikkaa. Palautus on aiemman sopimuksen mukaan lopetettu, viimeinen mahdollisuus palautukseen tämän sopimuksen kanssa olisi ollut 2019 toukokuussa. Palautuksen mahdollisuutta tutkitaan vielä. Mikäli neuvottelut pitkittyvät, voidaan väliva-

rastointi tehdä Suomessa. VTT:n YVA-selvityksessä ja käytöstäpoiston lupahakemuksessa Fortumin ja TVO:n välivarastot on katsottu mahdollisiksi säilytyskohteiksi. 26.9.2018 VTT on solminut esisopimuksen Fortumin kanssa jätteiden välivarastoinnista ja loppusijoituksesta, samaan sopimukseen sisältyy polttoaineen välivarastointi. Tätä varten vaaditaan teknisiä-, luvituksellisia- ja sopimusluontoisia selvityksiä. Myös polttoaineen välivarastointia Otaniemessä on tutkittu. VTT:llä on vuodelta 1990 periaatesopimus loppusijoituksesta Olkiluotoon, vuoden 1990 sopimus on solmittu TVO:n kanssa, ja se on siirtynyt Posivalle vuonna 1996. Posivan Onkaloa ei ole kuitenkaan luvitettu VTT:n jätteitä varten, joten niiden sijoitus vaatii lupamuutoksen. Periaatesopimus on voimassa vuoden 2020 kesäkuuhun asti, johon mennessä VTT:n on ilmoitettava haluaako käyttää Onkaloa. Fortumin kanssa sovitulla esisopimuksella voidaan myös säilöä purku- ja käyttöjätteitä. On myös mahdollista, että jätteitä välivarastoidaan Otaniemessä. Toisaalta VTT:n tilojen on katsottu olevan huono paikka polttoaineiden välivarastointiin (Kumpula & Slant 2019, s.49). (VTT 2019, s. 1–2; VTT 2017, s. 3, liite 12, s. 3)

#### **6.4 Materiaali- ja jätekohtaisia kustannusarvioita**

Materiaalin aktiivisuus, määrä ja rakenne vaikuttavat luonnollisesti purkamisen laajuuteen ja vaikeuteen. Paino- ja tilavuuskohtaisia kustannusarvioita on kuitenkin harvoin esillä julkisissa dokumenteissa. Esimerkiksi Fortumilla on tehty sisäisesti tämänkaltaisia arvioita. Tosin näitä ei ole saatu tätä työtä varten. Fortumin haastattelussa kerrottiin myös, että näillä arvioilla ei pystytä arvioimaan poistoja kokonaan. (Kälviäinen 2019) Esitettävät arviot tulevat Ruotsista, tosin nekin pohjautuvat tavanomaiseen purkamiseen kuten Fortumilla. Lopussa avataan hieman Korean tasavallassa tehtyä laskennallista arviota.

Taulukoissa **30** ja **31** on esitetty Oskarshamnin ja Forsmarkin laitosten paineastioiden ja reaktorin sisäosien purkamisien kustannukset.



Taulukko 30 Oskarshamnin paineastioiden ja niiden sisäosien poistojen kustannukset (Larsson et al. 2013(a), s. 101)

Reaktorin sisäosien poisto	Kustannukset MSEK 2009	Kustannukset M€ 2018
O1	109,0	13,0
O2	107,0	13,0
O3	123,0	15,0
Yhteensä	339,0	41,0
Paineastian poisto	Kustannukset MSEK 2009	Kustannukset M€ 2018
O1	110,0	13,0
O2	147,0	18,0
O3	204,0	25,0
Yhteensä	461,0	56,0
Paineastian ja sisäosien poisto yhteensä	800,0	97,0

Taulukko 31 Forsmarkin paineastioiden ja niiden sisäosien poistojen kustannukset (Larsson et al. 2013(b), s. 103)

Reaktorin sisäosien poisto	Kustannukset MSEK 2009	Kustannukset M€ 2018
F1	113,0	14,0
F2	113,0	14,0
F3	116,0	14,0
Yhteensä	342,0	42,0
Paineastian poisto	Kustannukset MSEK 2009	Kustannukset M€ 2018
F1	204,0	25,0
F2	204,0	25,0
F3	204,0	25,0
Yhteensä	612,0	75,0
Paineastian ja sisäosien poisto yhteensä	954,0	117,0

**Taulukossa 33** ovat paineastioiden painot ja mitat.

Taulukko 32 Forsmarkin ja Oskarshamnin paineastioiden mitat ja painot (Larsson et al. 2013(a) s. 26; Larsson et al. 2013(b), s. 26)

<b>Paineastian mitat</b>	<b>O1</b>	<b>O2</b>	<b>O3</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
Sisäinen korkeus (m)	17,6	20,3	21,1	21,2	21,2	21,1
Ulkoinen korkeus (m)	18,0	20,2	21,4	21,5	21,5	21,4
Sisähalkaisija (m)	5,0	5,2	6,43	6,4	6,4	6,43
Ulkohalkaisija (m)	5,3	5,5	6,75	7,2	7,2	6,75
Seinämien paksuus (mm)	125	134	156	159	159	156
Paino (t)	414	530	760	705	705	760

Kustannuksia ja mittoja vertaillessa huomaa koon vaikutuksen poiston hintaan. Poistojen kustannusarviot perustuvat aluksi työn määrälle työtunteina, tosin pienimmässä mittakavassa arvioidaan vain aikaa. Poisto pilkotaan bottom-up-menetelmän tapaan pienempiin kokonaisuuksiin, joille annetaan oma työryhmänsä. Pienemmissä osissa arvioidaan työn määrä fyysisten ominaisuuksien, kuten painon ja pituuden mukaan. Poisto suunnitellaan aluksi ideaaliolosuhteissa tehtäväksi, eli esimerkiksi radioaktiivisuutta ei oteta huomioon. Hankalat olosuhteet otetaan huomioon niin sanotulla paikkakertoimella (site factor), jolla ideaaliset olot saadaan vastaamaan työmaan haasteita. Esimerkiksi Forsmarkin kaikille yksiköille paikkakerroin on 2,7, jonka mukaisesti arvioituun poistoon kuluu 2,7-kertaisesti enemmän aikaa. Oskarshamnissa kertoimet eivät ole samat vaan O1:lle 3,3, O2:lle 3,0 ja O3:lle 2,75. Työaika kerrotaan vielä tiimien määrällä, joilla saadaan työn määrä selville. Arvioissa on mukana työn hinta- ja materiaalikustannuksia, mutta avustavia töitä ja kustannuksia ei oteta huomioon. Esimerkiksi reaktorihallin nosturinkuljettajan palkkausta ei ole erikseen huomioitu, vaan se osana koko käytöstäpoistoa avustavia töitä. (Larsson et al 2013(a) s.101; Larsson et al. 2013(b), s. 103)

Tässä työssä ainoat vertailtavat kohteet paineastioiden poistoille ovat TVO:n arviot. Karkeasti voidaan sanoa Ruotsin arvioiden olevan kustannuksiltaan korkeita. Tosin myös tehtävissä töissä on eroja. OL1:n ja OL2:n varsinaiset poistot tehdään valvotun säilytyksen jälkeen, jolloin töitä on oletettavasti helpompi tehdä. Ruotsissa reaktorin sisäosat lopuksi sijoitetaan erikseen, kun taas TVO:lla ne pyritään pakkaamaan paineastian sisään. On myös huomioitava, että tämän kokoluokan arvioissa aiheuttavat valuutta- ja rahanarvomuuunnokset jopa miljoonien eurojen virheitä. (TVO 2014, s. 53–58; Piiparinen & Lemmetty 2017, s. 44–49; Larsson et al. 2013(a), s. 101; Larsson et al. 2013(b), s. 1)

Ruotsissa on arvioitu myös rakenteiden purkamista painon ja tilavuuden suhteen. **Taulukossa 33** on reaktorihallin rakenteiden purkamisen arviota.

Taulukko 33 Ruotsalaisia reaktorihallin rakenteiden poiston arvioita (Larsson et al. 2013(a), s. 106)

Purettavat kohteet	Alkuperäiset arviot SEK 2009	Arviot € 2018
Isokokoisten teräsbetonirakenteiden purkaminen	33 000 SEK/t	4 000 €/t
Teräsrakenteiden purkaminen	17 500 SEK/t	21 000 €/t
Kontaminoituneen betonin purkaminen	30 000–45 000 SEK/m <sup>3</sup>	3 600–5 500 €/m <sup>3</sup>
Puhtaan betonin purkaminen	5 000–10 000 SEK/m <sup>3</sup>	600–1 200 €/m <sup>3</sup>
Suojarakennuksen teräslinerin purkaminen	32 000 SEK/t	3 900 €/t
Projektin jätteiden käsittely	200–3 000 SEK/m <sup>3</sup>	24–36 €/m <sup>3</sup>

**Taulukossa 34** on esitetty muiden rakennusten purkamisen arvioita.

Taulukko 34 Muita ruotsalaisia rakenteiden poiston arvioita (Larsson et al. 2013(a), s. 106)

Purettavat kohteet	Alkuperäiset arviot SEK 2009	Arviot € 2018
Betonin purkaminen (SS 10 02 53 mukaan)	100–200 SEK/m <sup>3</sup>	12–24 €/m <sup>3</sup>
Kontaminoituneet betonin purkaminen	39 000 SEK/m <sup>3</sup>	4700 €/m <sup>3</sup>
Puhtaan betonin purkaminen	6 500 SEK/m <sup>3</sup>	79 €/m <sup>3</sup>
Projektin jätteiden käsittely	200–3 000 SEK/m <sup>3</sup>	24–36 €/m <sup>3</sup>

Taulukossa esitettyä SS 10 02 53 mukaista standardia ei löydetty tätä työtä varten. Talonrakennukseen liittyvä SS 02 10 53 -dokumentti löydettiin, mutta kyseistä dokumenttia ei pystytty jäljittämään Ruotsin standardi-instituutin SIS:n kautta. Tästä johtuen kyseinen arvio kannattaa jättää huomiotta. Oletuksena on, että kyseessä on puhtaan betonin purkamisen teoreettinen arvio tai betonin pintakerroksen poisto. Oletus perustuu muihin purkamisten arvioihin, jotka ovat huomattavasti suurempia.

Taulukoiden arvioilla on laskettu rakennusten purkamiset Forsmarkin ja Oskarshamnin laitoksissa. Muita purkamisia, kuten putkistojen ja järjestelmien poistoja ei arvioilla pysty laskemaan. Paras kohde mihin arvioita voidaan käyttää, on biologisen suojan purkamisen laskeminen. **Taulukossa 35** on esitetty esimerkinomaisesti O1:n rakennusten purkamiset aiemmin esitetyillä arvioilla. **Liitteessä 10** sekä **11** on esitetty Oskarshamnin ja Forsmarkin kaikkien yksiköiden arviot.

Taulukko 35 O1:n rakennusten ja rakenteiden purkamisen kustannukset (Larsson et al. 2013(a), s. 106)

<b>Purkamisen kohteet</b>	<b>Peruskustannukset M€ 2018</b>	<b>Yleiskustannukset M€ 2018</b>
Reaktoria ympäröivät radioaktiiviset osat	1,94	0,87
Reaktoria ympäröivät puhtaat osat	2,23	1,01
Reaktorihallin radioaktiiviset osat	0,34	0,11
Reaktorihallin puhtaat osat	2,29	0,69
Turbiinin radioaktiiviset osat	0,00	0,0
Turbiinin puhtaat osat	1,10	0,39
Muun valvotun alueen radioaktiiviset osat	0,00	0,0
Muun valvotun alueen puhtaat osat	0,00	0,0
Muut rakennukset	3,91	1,57
Maan palautustyöt	0,79	0,32
<b>Yhteensä</b>	<b>12,60</b>	<b>4,95</b>

Purkamisen arviot pohjautuvat peruskustannuksiin ja yleiskustannuksiin. Radioaktiivisten ja puhtaiden jätteiden siirtoa, varastointia ja loppusijoitusta ei oteta huomioon. Peruskustannuksiin kuuluvat muun muassa työn hinta ja materiaalikustannukset. Yleiskustannukset on arvioitu olemaan 30–45 % peruskustannuksista. Yleiskustannuksiin kuuluu avustavien töiden kustannuksia, kuten koulutuksen ja johtamisen kustannukset. (Larsson et al. 2013(a), s. 104–106; Larsson et al. 2013(b), s. 106–108)

TVO:n ja SKB:n biologisen suojan poistamisen kustannuksia on vertailtu. Tähän pohjautuen voisi Ruotsin arvioita kuvata realistisiksi ja jopa edullisimmiksi. Aiemmin esitettyjen ISDC:n kokonaisarvioiden kannalta, voi ruotsalaisten arvioiden kokoluokkaa pitää

jokseenkin uskottavana. Toisaalta tässä työssä tehty arvio oli hyvin karkea. Ruotsissa arvioidaan koko reaktoria ympäröivää rakennelmaa, kun taas TVO:n arvioissa vain biologista suojaa (TVO 2014, s.113; Piiparinen & Lemmetty 2017, s. 106; Larsson et al. 2013(a), s. 106–107; Larsson et al. 2013(b), s. 108–109). Tästä syystä arvioitavat kohteet eivät ole täysin identtisiä keskenään. Tulevaisuudessa SKB:n esittämiä arvioita voi tutkia suomalaisten yritysten sisällä. Tällaisessa tutkimuksessa julkisuudelle herkkiä kustannusarvioita voisi vertailla yksityiskohtaisemmin. Lisäksi laadullista vertailua ja valuuttamuutoksia pitää tarkentaa. Jatkotutkimuskohteita on pohdittu tarkemmin yhteenvedossa.

Korealaisessa tutkimuksessa on tarkasteltu Decommissioning engineering system -järjestelmää (DES). Järjestelmällä voidaan laskea purettavalle laitokselle muun muassa massa-kohtainen työmäärä. Järjestelmän data perustuu Koreasta, Japanista ja Yhdysvalloista saatuihin tietoihin. Tutkimuksessa järjestelmän toimivuutta ja tarkkuutta on tarkasteltu antamalla sen laskea korealaisen KRR-2 Triga Mark-III -reaktorin arvoja. Tutkimuksessa todettiin järjestelmän olevan toimiva ja saavuttavan tarkkoja arvoja. Toisaalta tarkkuusluokkaa ei mainittu ja tarkastelun pääasiallisena kohteena on järjestelmän sisäisen datan käsittely eri alajärjestelmien kautta. Biologisen suojan purkamisen arvioita esiteltiin työssä, mutta niiden oikeellisuus on kyseenalainen. Järjestelmään syötetyt dimensiot olivat hypoteettisia, koska tarkoituksena oli pitää salaisena Triga-reaktorin oikeat mitat. Tosin näitäkin arvioita voisi verrata VTT:n FiR 1-reaktorin arvioihin, mikäli niihin pääsee käsiksi. (Park et al. 2016)

## 7 AIKATAULUT JA ORGANISAATIO

Tässä osiossa esitetään yhteisesti, Loviisan, Olkiluodon ja Fennovoiman aikatauluja ja käytöstäpoiston organisaatioita. Osiossa keskitytään pääosin Loviisan ja Olkiluodon tilaan, sillä niissä organisaation muutokset ovat mielenkiintoisempia. VTT:n oma organisaatio on pieni, joten sen muutokset eivät ole niinkään huomionarvoisia. Fennovoiman tapauksessa keskitytään vain aikatauluun. Organisaatiot ovat pääasiassa vielä teorian tasolla ja saavat lopullisen muotonsa vasta vuosikymmenien jälkeen.

### 7.1 Aikataulut

Kun katsotaan Suomen käytöstäpoistoja aikataulullisesti, on VTT:n FiR 1-tutkimusreaktorin purkaminen vuorossa ensimmäisenä. Käytöstäpoiston yksinkertainen aikataulu on esitetty käytöstäpoiston lupahakemuksessa. Lupahakemusta on edeltänyt luvitusprosessi, joka on alkanut 6.11.2013 jätetyllä YVA-ohjelmalla. Alustaville töille on mitoitettu kaksi vuotta, suunnitelmissa se tehdään aikana 2017–2019. Alustavan suunnitelman mukaan polttoaineet oli tarkoitus poistaa vuonna 2019 ja aloittaa purkaminen samana vuonna. Itse purkamiseen oli varattu kolme vuotta. Pääkomponenttien ja osien purkaminen kestää vuoden. Purkamisen viimeisenä vuotena aloitetaan jätteiden siirto välivarastoitavaksi. Tähän on varattu kaksi vuotta. Jätteiden poiston jälkeen tapahtuu alueen arviointi ja todetaan käytöstäpoiston tapahtuneen. Tähän on varattu myöskin kaksi vuotta ja tavoitteena oli saada työ päätökseen vuoteen 2023 mennessä. Käytöstäpoiston hakemuksen tarkennuksessa aikataulua on päivitetty ja tavoitteena on saada työ päätökseen vuonna 2025. (VTT 2019, s. 2; VTT 2017, s. 3)

LO1:n käyttölupa loppuu vuonna 2027 ja LO2:n vuonna 2030, reaktorit ajetaan alas näinä vuosina. Voimalaitoksen käyttöluvan pidennyksestä on puhuttu julkisesti, mutta varsinaista hakemusta sille ei ole vielä jätetty. Fortumin valitsema käytöstäpoiston strategia on välitön käytöstäpoisto, joten aikatauluun ja suunnitelmiin ei kuulu valvottua säilytystä. Käytöstäpoiston prosessi aloitetaan jo ennen alasajoja luvitusmenettelyillä. Näiden menettelyiden on arvioitu kestävän 5–7 vuotta. Alasajon jälkeen on siirtymisvaihe, jonka aikana tehdään purkamista valmistelevia töitä. Siirtymävaiheet on suunniteltu kolmevu-

tisiksi, kummallekin laitokselle. LO1:n primääripiiriin liittyvät järjestelmät puretaan vuosina 2031–2034, LO2:n purkaminen tehdään vuosina 2034–2037. Tämä on ensimmäisen vaiheen purku, jossa reaktorihallista ja apurakennuksista poistetaan primääripiirin kiertoon liittyvät systeemit ja komponentit. Kokonaisuudessaan ensimmäinen vaihe tapahtuu vuosien 2028–2037 välillä, eli yhdeksän vuoden aikana. Tarkemmalla tasolla operaatiota on arvioitu 8,5-vuotiseksi. Käytetyn polttoaineen ja nestemäisen jätteen varastointiin ja käsittelyyn liittyvät järjestelmät jätetään vielä paikoilleen. Nämä poistetaan toisen vaiheen purkamisessa alustavasti vuosina 2066–2068. (Fortum 2018, s. 27–39)

TVO:n käytöstäpoiston strategiat ovat viivästytetty ja välitön käytöstäpoisto. OL1 ja OL2 poistetaan käytöstä viivästetyllä käytöstäpoistolla. Suunnitelmissa on 30 vuoden säilytysaika, joka on avoin muutoksille. OL3:n suunnitelmien mukainen käytöstäpoisto tehdään välittömän käytöstäpoiston strategialla. **Kuvassa 8** on esitetty käytöstäpoistojen alustava aikataulu. OL3 käyttöönotto on korjattu alkamaan vuonna 2020.

Vuosikymmenet	2000	2020	2040	2060	2080	2100	2120
<b>Käyttö</b>							
<b>Olkiluoto 1-2</b>							
<b>Olkiluoto 3</b>							
<b>Ydinvoimalaitoksen</b>							
<b>Käytöstäpoisto</b>							
<b>Olkiluot 1-2</b>							
<b>Olkiluoto 3</b>							
<b>VLJ-loppusijoituslaitos</b>							
<b>käyttö ja sulkeminen</b>							
<b>Olkiluoto</b>							
<b>KPA-varaston</b>							
<b>käyttö ja käytöstäpoisto</b>							
<b>Olkiluoto</b>							
<b>KPA-loppusijoituslaitos</b>							
<b>käyttö ja sulkeminen</b>							
<b>Olkiluoto 1-2</b>							
<b>Olkiluoto 3</b>							
<b>Käytöstäpoisto ja sulkeminen</b>							

Kuva 8 TVO:n laitosten käytöstäpoiston aikataulu (TVO 2014, s. 22)



Aikataulujen mukaan lopulliset purkamiset tehdään toinen toisensa jälkeen ja tämä on osittain vaikuttanut strategioiden valintaan. Oletuksena on 60 vuoden käyttöikä, joka on OL1- ja OL2- laitoksilla 20 vuoden pidennys aikaisempaan 40 vuoden käyttöikään. OL3:n suunnitelmat perustuvat samaan 60 vuoden käyttöön, tosin käyttö lupa on myönnetty vasta vuoteen 2038, jolloin OL1:n alasajo aloitetaan (TEM 2019(b)). Edellä mainittu 30 vuoden säilytys on myöskin avoin muutoksille. OL1:n ja OL2:n käytöstäpoiston suunnitelmassa mainittiin, että säilöntää voi optimoida ajalla ja säteilysuojelukäytännöillä. Viimeisenä ennustettuna aikataulun muutossyynä ovat OL3:n valmistelevat työt. Suunnitelmassa se on arvioitu kokonaisuudessaan kuusivuotiseksi, mutta eurooppalaisten vertailujen perusteella tämä voi olla liian lyhyt aika. (TVO 2014, s. 21; Piiparinen & Lemmetty 2017, s. 13–14, 23–24)

**Kuvassa 9** on VTT:n kokoama aikajana Suomen käytöstäpoistoista. Kuvaan on lisätty Hanhikiven käyttö ja käytöstäpoisto. Lisäksi VTT:n omaa aikataulua on päivitetty, alkamisajankohtien osalta. Koska käytöstäpoistolle ei ole myönnetty lupaa, ovat aikataulu-muutokset mahdollisia.

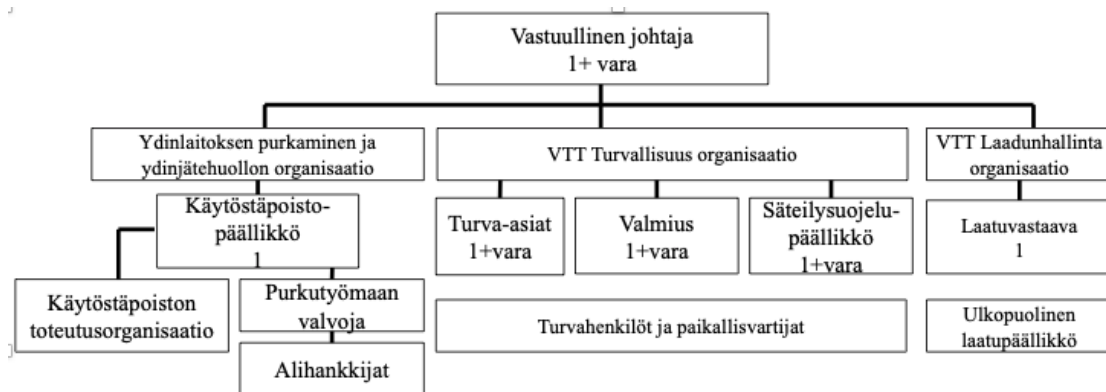
Vuosikymmenet	2000	2020	2040	2060	2080	2100	2120
<b>FIR- 1</b>							
Reaktorin käyttö	■	■					
Reaktorin käytöstäpoisto		■					
Purkujätteen välivarastointi ja loppusijoitus			■	■	■		
KPA välivarastointi ja loppusijoitus Suomessa			■	■	■		
<b>Loviisa 1 ja 2</b>							
Käyttö	■	■	■				
Käytöstäpoisto			■				
VLJ-luolan käyttö ja sulkeminen	■	■	■	■			
KPA-varaston käyttö ja käytöstäpoisto	■	■	■	■			
<b>Olkiluoto 1 ja 2</b>							
Käyttö	■	■	■	■			
Käytöstäpoisto					■		
VLJ-luolan käyttö ja sulkeminen	■	■	■	■	■	■	■
KPA-varaston käyttö ja käytöstäpoisto	■	■	■	■	■	■	■
<b>Olkiluoto 3</b>							
Käyttö		■	■	■	■		
Käytöstäpoisto					■		
<b>Posiva loppusijoituslaitos</b>							
Loviisa 1 ja 2		■	■	■			
Olkiluoto 1 ja 2		■	■	■	■		
Olkiluoto 3					■	■	
Käytöstäpoisto ja sulkeminen							■
<b>Hanhikivi 1</b>							
Käyttö			■	■	■	■	
käytöstäpoisto						■	

Kuva 9 Suomen käytöstäpoistot (VTT 2014, s. 81; Fennovoima 2015, s. 167)

Tämänhetkisten laitosten viimeiset velvoitteet jatkuvat seuraavalle vuosisadalle. Hanhikivi 1:n valmistuttua tulee poistojen katto vielä nousemaan. Koska Fennovoiman laitos ei ole vielä valmistunut, ovat aikataulun muutokset mahdollisia. Lupahakemuksessa on todettu, että suurien viivästyksien yhteydessä aikataulua päivitetään. (Fennovoima 2015, s. 166–167)

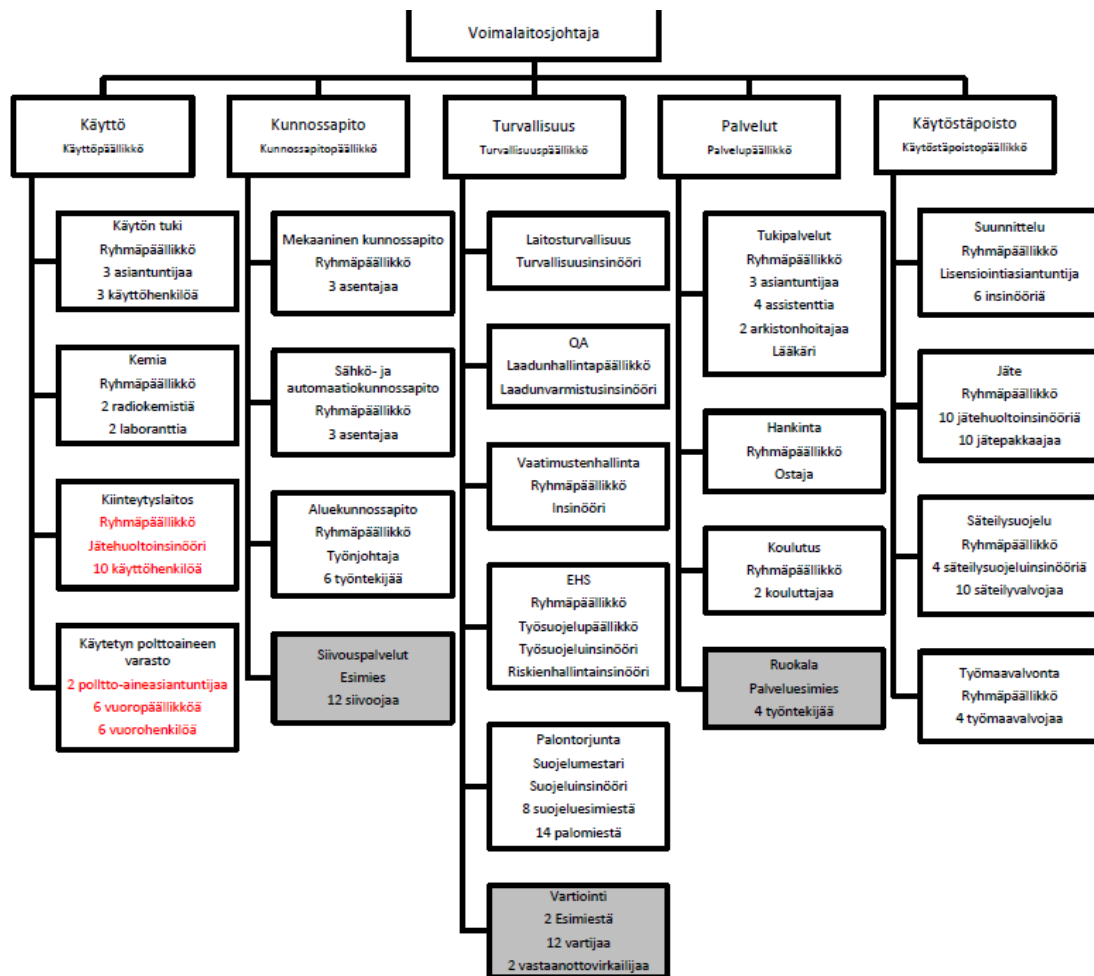
## 7.2 Organisaatiot

Käytöstäpoiston ja käytön kannalta VTT:n organisaatio on pienin. Lisäksi sen yhteiskunnalliset vaikutukset ovat myös pieniä verrattuna Loviisan ja Olkiluodon laitoksiin. **Kuvassa 10** on käytönorganisaatio, johon kuuluu käytöstäpoiston toteutusorganisaatio ja purkua tukevia organisaatioita. Käytöstäpoiston organisaation henkilövahvuutta ei ole avattu. Myöhemmin nähtävään Loviisaan organisaatioon verrattuna sen voisi olettaa pieneksi. Toisaalta siihen on voitu lisätä useita osa-alueita, jotka ovat kasvattaneet kokoa. Varsinaiset purkamiset tullaan tekemään alihankkijoilla. Aiemmassa organisaatiossa on mukana käytönhenkilöstöä, joka on osallistunut ydinmateriaalin poistoon ja valvoo sammutettua reaktoria. (VTT 2017 liite 3, s. 2–3)



Kuva 10 VTT:n käytönorganisaatio polttoaineen poistojen jälkeen (VTT 2017 liite 3, s. 3)

Fortumin organisaatio on huomattavasti suurempi ja käytöstäpoistossa se pienenee asteittain. Ensimmäiset harvennukset tapahtuvat, kun LO1:n siirtymävaihe alkaa. Tällöin koko laitoksen noin 449 työntekijästä vähennetään 70 henkilöä. Tästä saadaan 379 hengen organisaatio, jossa 66 työntekijää keskittyy LO1:n käytöstäpoiston valmisteluun. Loput organisaatiosta keskittyvät vielä LO2:n käyttöön. Valmistelevien töiden organisaatio muodostetaan käytönhenkilöstöstä. Sen tehtäviin kuuluvat muun muassa dekontaminaatio- ja säteilysuojelutyöt. LO2:n siirtymävaiheeseen tultaessa henkilöstö on vähentynyt 253:een. Näistä 58 työskentelee LO2:n siirtymävaiheen parissa, loput LO1 purkamisessa tai koko käytöstäpoistoa avustavissa töissä. Viimeisen muotonsa organisaatio saa LO2:n purkamisen alettua. **Kuvassa 11** on käytöstäpoiston lopullinen organisaatio.



Kuva 11 Loviisan käytöstäpoiston organisaatio, kun molemmat laitokset on ajettu alas (Fortum 2018, s. 24)

Kuvassa punaisella esitetyt työntekijät ovat käytön organisaation jäänteitä. Harmaalla pohjalla olevat osastot ovat emo-organisaatiolle alisteisia alihankkijoita. Kuvaa ei ole lisätty muita alihankkijoita. Alkuperäisdokumentissa kuva on englanniksi, suomennettu kuva on saatu Pasi Kelokaskelta.

Organisaation pääosat ovat kuvasta nähtävät ”käyttö”, kunnossapito, ydinturvallisuus, palvelut ja itse varsinainen käytöstäpoiston osasto. Tässä vaiheessa ”käytön” osasto työllistää 13 henkilöä ja 26 henkilöä on yhteisesti koko laitoksen käytössä. Sen vastuulla ovat vielä olemassa olevien järjestelmien hoitaminen. Se myös osallistuu käytöstäpoiston suunnitteluun ja sen vastuulla on järjestelmien tarkempi ymmärtäminen. Käytetyn polttoaineen kuljetus on myöskin ”käytön” vastuulla. Kunnossapito työllistää 30 henkilöä.

Osaston piiriin kuuluu tarvittavien järjestelmien ja laitteiden ylläpito. Se osallistuu myös KPA-varaston ja jätteiden kiinteytyslaitoksen itsenäisen käytön valmisteluihin. Ydinturvallisuudessa työskentelee arviolta 50 henkilöä. Sen piiriin kuuluvat turvallisuusasiat palosuojelusta aluevalvontaan. Palveluosastossa on 22 henkilöä. Siihen kuuluu muun muassa käytöstäpoistoa tukevia töitä, kuten koulutusta ja hankintoja. Varsinaisessa purkamisen osastossa työskentelee 50 henkilöä. Pääasiassa sen tehtävänä on toteuttaa käytöstäpoiston suunnitelmaa aikataulussa ja budjetissa. Osasto ohjaa purkamista suorittavia alihankkijoita. Lisäksi osaston alle on lisätty jätteiden hallinta ja säteilysuojelu. (Fortum 2018, s. 24–25)

Projektin aikana työn määrä ei ole vakio. **Taulukossa 36** on arvioitu työn tarvetta eri vuosina.

Taulukko 36 Loviisan käytöstäpoiston arvioitu vuosittainen työmäärä (Fortum 2018, s. 25)

<b>Vuosi</b>	<b>Oma organisaatio henkilötyövuosina</b>	<b>Urakoitsijat henkilötyövuosina</b>	<b>Koko organisaatio henkilötyövuosina</b>
2028	66	10	76
2029	66	15	81
2030	66	15	81
2031	253	87	340
2032	253	101	354
2033	253	131	384
2034	166	115	281
2035	166	86	252
2036	166	120	286
2037	83	33	116
2066	72	279	351
2067	72	242	314
2068	72	39	111
<b>Yhteensä</b>	<b>1 754</b>	<b>1 273</b>	<b>3 027</b>

Työn tarpeen suurimmat piikit ovat LO1:n purkamisen ja LO2:n siirtymävaiheen aikana. Myöskin LO2:n purkamisen jatkuessa tarvitaan runsaasti työvoimaa. Käytetyt polttoai-

neet siirretään loppusijoituslaitokseen alustavasti vuonna 2066: Niiden poistuttua tarvitaan työvoimaa muun muassa KPA-varaston ja kiinteystylaitoksen purkamiseen. (Fortum 2018, s. 25)

TVO:n purkamisen organisaatio muodostetaan vasta 2070-luvulla. OL1:n ja OL2:n tapauksessa alasajo tehdään jo 2030-luvulla, mutta purkamisen organisaatio luodaan vasta varsinaisia purkutöitä varten. Organisaatio perustuu OL3:n käytönhenkilöstöön. Kun organisaatio on luotu OL1:ä ja OL2:a varten, on sitä tarkoitus käyttää samankaltaisena OL3:n purkamisessa. Olkiluodon organisaation kehityksessä on samoja piirteitä kuin Loviisassakin. Käytönhenkilöstö vähenee rajusti, OL3:n kohdalla 800 henkilön käytön organisaatio pienenee noin 160 henkilön käytöstäpoisto-organisaatioon. Oma organisaatio hoitaa ohjaavia ja tukevia töitä, kuten Loviisassa ja purkamiset teetetään pääasiassa alihankkijoilla. (Piiparinen & Lemmetty 2017, s. 10)

### **7.3 Organisaation haasteet**

Käytöstäpoiston organisaatioiden haasteet ovatkin jo osittain tulleet esiin aiemmin tekstissä. Käytöstäpoisto on laitoksen elinkaaren viimeinen osa. Tästä johtuen oman organisaation työntekijämäärä laskee rajusti. Tämä voi aiheuttaa pahimmillaan osaavan työvoiman siirtymisen muihin töihin. Työvoiman siirtyminen voi johtaa tiedon häviämiseen ja henkilöstökustannuksien kasvamiseen. Projektit sijoittuvat ajallisesti pitkälle tulevaisuuteen, joten henkilöstön hallinnan suunnittelu on vaikeaa. TVO:n ja Fortumin ongelmiin varautumista on tässä työssä tiedusteltu haastatteluilla.

TVO:n kohdalla pyritään asteittaiseen työvoiman vähentämiseen jo ennen käytöstäpoistoa siirtämällä tiettyjä oman organisaation tehtäviä alihankkijoille ja konsulteille. Alustava pienennys tehtäisiin pääasiassa luonnollisen poistumisen ja pienennetyin rekrytoinnin kautta, eikä niinkään irtisanomisilla. Tämä pienentäisi poistettavien työntekijöiden määrää käytöstäpoistojen alkaessa. (Lemmetty 2019) Fortumilla tämänkaltaista alustavaa harvennusta ei ole ainakaan vielä harkittu. Toisaalta Fortumillakin henkilöstö voi vähentyä luontaisesti ennen käytöstäpoistoa. Fortumilla kannustusjärjestelmä tullaan tekemään aikanaan. Järjestelmässä luokitellaan tarvittavat henkilöt tehtävien mukaan. Haastattelussa muita tekijöitä ei mainittu. Esimerkiksi työntekijän iän vaikutusta kannustimien laatuun

kysyttiin. Vastauksena oli jyrkkä ei. (Kälväinen 2019) Tämä on luonnollista, sillä taidoista ja kokemuksesta riippumaton arviointi on laillisesti harmaalla alueella (Yhdenvertaisuuslaki 2014/1325). Toisaalta ikä voisi olla kriittinen arviointiperuste laitoksen aktiivisen käytön loputtua. Esimerkiksi pian eläköityvällä on todennäköisesti erilaiset prioriteetit, kuin työuraansa jatkavalla.

Teoriassa organisaation tiedon katoaminen on esitetty merkittävänä uhkakuvana. Erityisesti tämän on katsottu koskevan viivästyttettyä käytöstäpoistoa, jossa säilytysaika voi olla useita vuosikymmeniä. (NEA 2016, s. 45–47) TVO:n haastattelussa tätä ei ole nähty ongelmana. OL1:n ja OL2:n vaipuessa säilöön vieressä on OL3:n aktiivinen laitos, jonka organisaatio itsessään säilyttää tietoa ja osaamista. Kuten aiemmin mainittiin, rakentuu käytöstäpoisto-organisaatio käytönorganisaation henkilöstöstä. Näin ollen henkilöstöä ja organisaatiota ei tarvitse alkaa muodostaa nollassa, vaan jo kokeneet työntekijät voidaan muuntaa samankaltaisiin tehtäviin. Purkamista on usein kuvattu vuosihuollon kaltaiseksi. Kuitenkin purkamisessa ja vuosihuollossa tarvittava laitostuntemus on erilaista. Vuosihuollossa on tarpeen ajaa laitos seisokkiin sekä tarkastaa ja huoltaa laitosta. Tavoitteena on, että laitoksen tuleva käyttö olisi turvallista, tehokasta ja taloudellista. Tällaisessa tilanteessa järjestelmien tuntemus korostuu. Käytöstäpoistossa tavoitteena ei ole enää turvallinen jatkuva käyttö, vaan purkaminen, joka ei aiheuta vahinkoa ympäristölleen ja työntekijöilleen. Laitteistot ja järjestelmät muuntuvat tässä purettavaksi kohteeksi, jonka purkamisessa tarvitaan tietoa kohteen materiaalista ja aktiivisuuden tasosta. Tekniset dokumentit, käyttöhistorian tuntemus ja osaava henkilöstö ovat riittäviä tässä tilanteessa. TVO on panostanut yhdistettyyn dokumentointi- ja työnhallintajärjestelmäänsä, joka tallentaa muun muassa erilaisia huomautuksia ja muutoksia. Haastattelun mukaan järjestelmä on helppokäyttöinen, joten purkamisessa tarvittavat tiedot ovat saatavilla. (Lemmetty 2019) Yleensäkin voisi ajatella, että uhkana esitetty tiedon katoaminen on tapauskohtainen. Mikäli laitos puretaan ilman tukevia valmisteluja, on tiedon häviäminen mahdollista. Oikealla varautumisella kyseinen uhka saadaan minimoitua.

Ydinlaitosten käyttö ja käytöstäpoisto jatkuvat pitkälle tulevaisuuteen, joten arvaamattomiakin skenaarioita on hyvä pohtia. Koko alan tulevaisuutta onärkevintä tarkastella taloudellisuuden ja poliittisten päätösten kannalta. Näitä pohtiessa nousee esiin kaksi uhkakuva: Ensimmäinen on alan kuihtuminen, eli vanhaa laitostantaa ei uusita. Syynä tähän

voisi olla taloudellinen kannattamattomuus ja poliittiset päätökset. Toinen uhka on puhtaasti poliittinen päätös alan alasajosta, kuten Saksassa tai Ruotsissa. Tällaiset tapahtumat voisivat vähentää opiskelijoiden ja uusien työntekijöiden ohjautuvuutta alalle, mikä puolestaan nostaisi työvoimakustannuksia. Samankaltaista pohdintaa on tehty TEM:n loppuraportissa (Kumpula & Slant 2019, s.72). Esitetyt uhkakuvat eivät tällä hetkellä ole todennäköisiä Suomessa. Esimerkiksi TEM:n haastattelun mukaan ydinalan tulevaisuus on valoisa. OL3:n valmistuminen ja Hanhikivi 1:n projekti turvaavat hyvin teollisuuden tulevaisuutta (Kumpula 2019). OL4:n rakentaminen on ainakin teknisesti mahdollista, mikä toisi taas lisää turvaa alalle. Toisaalta kyseessä on hyvin kallis päätös, jota pitää harkita yrityksen sisällä. Laitoksia ei rakenneta, jotta edellisen laitoksen poistaminen olisi helppoa. Tietysti tämä voi olla osatekijä päätöksessä. Rakentamisen syynä on sähkön tuottaminen taloudellisesti.

Organisaation, käytön ja käytöstäpoiston uhkakuvia voi myös pohtia vieläkin laajemmin. Suunnitelmien mukaiselle käytölle ja käytöstäpoistolle on edellytyksenä sisä- ja ulkopoliittisesti vakaa yhteiskunta. Vakavia sisäisen ja ulkoisen turvallisuuden uhkiakaan ei voi sulkea pois. Maassamme on hieman yli 100 vuoden sisällä ollut yksi sisäinen konflikti ja kolme sotaa. Toisaalta käytöstäpoiston suunnitelmat ja rahastot ovat osa varautumista ja mahdollistavat laitosten ennen aikaisen sulkemisen. Lisäksi mitään yhteiskunnallista palvelua, infrastruktuuria tai liiketoimintaa ei voi rakentaa oletukseen, että esimerkiksi kymmenen vuoden päästä sen käyttäminen ei olisi mahdollista. Yllättävät tilanteet ovat ehkä suurempi uhkia itse käytölle, kuin käytöstäpoistolle.

#### **7.4 Organisaation luonne**

Edellä on jo esiintynyt käytöstäpoiston organisaation tyypillisiä piirteitä. Ne muodostuvat aiemmista käytönorganisaatioista, jotka vähentävät asteittain henkilöstöään. Suunnitelmissa organisaatio on esitetty varmuuden vuoksi vahvemmiksi mitä oikeasti tarvitaan (Lemmetty 2019). Tästä johtuen ovat arvioidut henkilöstökustannukset toteutuvia kustannuksia korkeampia. Edellytyksenä tähän on aikataulussa pysyminen. Varsinaiset purkamiset teetetään alihankkijoilla. Fortumin ja TVO:n suunnitelmissa mainittiin, että urakoitsijat ostetaan tekemään selkeitä kokonaisuuksia. Suunnitelmissa käytöstäpoistoa



luonnehditaan pidennetyksi vuosihuolloksi. Organisaatiot sisältävät soveltuvaa ja monialaista osaamista. Alihankkijat perehdytetään tehtäviin emo-organisaation kautta, mutta myös erikoistuneita urakoitsijoita hankitaan. Muunkinlaiset organisaatiot ovat mahdollisia. Esimerkiksi kustannusarvioita käsittelevässä luvussa esitetyt Maine Yankee ja Haddam Neckin laitokset yritettiin aluksi purkaa ulkoisesti johdetulla organisaatiolla. Nykyisin Fortum tarjoaa myös muille yrityksillä palveluita käytöstäpoiston suunnittelusta aina käytöstäpoiston avaimet käteen -periaatteen palveluihin (Fortum 2019).

Haastatteluista selvisi kuitenkin eroja organisaation johtavan aseman ja suunnittelutyön henkilöstössä. TVO:lla haastatellun Mikko Lemmetyn näkemys tulevasta organisaatiosta on, että henkilöstö on suurilta osin eläköityvää, jolle käytöstäpoiston organisaatio on jopa viimeinen tehtävä. Oletuksena oli myös, että käytöstäpoiston organisaatio ei ole nuoremmalle työntekijälle houkutteleva osasto, lukuun ottamatta aivan uransa alussa olevia henkilöitä, joille on olennaista saada työkokemusta edes joltain alalta. (Lemmetty 2019) Mikäli organisaatio muodostuu näin, voi olettaa sen olevan hyvin kokenut. Fortumin haastattelusta ei saatu samankaltaista näkemystä. Organisaatiossa ei pitäisi olla painotusta iän mukaan (Kälväinen 2019). Tämä on ymmärrettävää, koska kuten edellä on mainittu, on Fortumilla käytöstäpoistoon liittyviä palveluita. Tällaisessa tilanteessa kerätty kokemus on arvokasta palveluiden tarjonnassa.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä käsiteltiin laaja-alaisesti käytöstäpoistoa ja sen kustannuksia. Käytöstäpoistoa ja niiden kustannusarvioita voi edelleen pitää hyvin sekalaisena alana. Valtiot, yritykset ja laitokset arvioivat ja luokittelevat käytöstäpoistoa eri tavoin, minkä takia tarkat vertailut on tehtävä laitoskohtaisesti. Tässäkin työssä varsinainen laitosvertailu oli pitkälti erilaisen rajaus- ja lainsäädäntö erojen havainnointia. ISDC:n kustannusten luokittelujärjestelmä mahdollistaa kansainvälisellä tasolla karkean vertailun, jossa suomalaiset arviot ovat erottuneet edukseen. Järjestelmän varsinaisesta standardimaisesta käyttöönotosta ei voi kuitenkaan puhua, vaan ISDC toimii valtioiden ja yritysten omien arviointimenetelmien rinnalla. Lisäksi ISDC:tä käytetään osittain omien luokitteluiden mukaisesti, mikä vähentää vertailun tarkkuutta. Toisaalta järjestelmän käyttöön on tutustuttu ja omia lukuja halutaan muuntaa sen mukaisiksi.

Lainsäädännön tarkastelu on hyvä kohde puhtaasti akateemiselle tutkimukselle, sillä päätökset ja lait ovat julkista tietoa. Esimerkiksi muiden Euroopan maiden ydinenergialainsäädännön avaaminen olisi tulevaisuudessa hyödyksi, jos maista alkaa tulla enemmän arvioita ja aitoja purkamisen kustannuksia. Lainsäädännön rinnalla voisi tarkastella yleisesti ydinenergian tilaa, erityisesti niissä maissa, jossa koko ydinvoimateollisuus on ajettu alas.

Erityisesti Ruotsista löydettiin mahdollisia vertailukohteita jatkotutkimuksille. Forsmarkista ja Oskarshamnista löydettiin jätekohtaisia arvioita, joita verrattiin TVO:n arvioihin. Vertailun perusteella arviot olivat käyttökelpoisia. Edellytys jatkotutkimuksille on nykyistä tiiviimpi yhteistyö suomalaisten yritysten kanssa. Kustannusarviot ovat yrityksille kriittistä tietoa, jonka käsittely ulkopuolisena ei ole välttämättä mahdollista. Vertailua voisi tehdä kahdella tavalla, kokonaisuutena tai vain yhdestä osa-alueesta. Biologisen suojan purkaminen olisi paras kohde osa-aluearvioinnille. Jatkotutkimuksessa purkamisen tekniikoita voisi avata paremmin. Ruotsalaisissa dokumenteissa on esitetty tekniikoiden materiaalikustannuksia, jotka soveltuisivat tämänkaltaiseen tutkimukseen. Yrityksen välisen tiedonvaihdon lisäksi olisi ruotsalaisen luokittelujärjestelmän ja lainsäädännön

tarkempi avaaminen edellytyksenä hyvälle vertailuille. Laitoksen koko elinkaaren tarkastelu olisi myöskin hyvä vertailukohde, sillä tässä työssä tarkasteltiin käytöstäpoiston kustannuksia tyhjiydessä ilman sähköntuotannon tuottoja ja muun ydinjätehuollon menoja.

VTT:n reaktorin purkamisen ajallinen läheisyys tekee sen tutkimisesta erityisen. Onko esimerkiksi kustannusten tutkiminen nyt, vai vasta projektin toteuduttua mielekästä? Tässä tutkimuksessa on viitattu kahteen mahdolliseen vertailukohteeseen, jotka ovat tanskalainen DR1-koereaktori ja korealainen KRR-2-reaktori. FiR 1:n käytöstäpoiston toteuduttua on myös järkevää tehdä toimintakertomus YVA-selvityksistä käytöstäpoiston toteutukseen asti. Tällaisessa tutkimuksessa polttoaineiden palautuksen ongelmaa olisi hyvä tarkastella jälkikäteen.

Organisaatio on käytöstäpoiston kallein osa, sillä tehtävä on luonteeltaan työvoimaintensiivinen. Lisäksi organisaation liittyy tulevaisuudessa paljon epävarmuuksia, sillä sen lopullista muotoa ja käytöstäpoiston yhteiskunnallista tilannetta on vaikea arvioida. Ydinvoimateollisuuden alasajon vaikutuksi organisaation muodostamiseen kannattaa tutkia.

Käytöstäpoistojen aikataulut herättävät kokonaisuudessaan nöyryyttä ajan edessä. Varmaa on, että Hanhikivi 1:n aikataulun mukaista purkamista ei kukaan tähän työhön osallistunut tule näkemään. Käytön ja käytöstäpoiston aikataulut ovat kuitenkin jokaisen omaksuttavissa. Pohditut uhkakuvat ovat poliittiset päätökset ja organisaation taloudelliset tapahtumat, kuten sähköntuotannon kanattamattomuus ydinvoimalla. Myös yllättävät sisä- ja ulkopoliittiset kriisit ovat mahdollisia. Toisaalta uhkakuvat iskevät ensimmäisenä ydinvoimalaitosten käyttöön, mutta vaikuttavat myös käytöstäpoistoon ajan myötä. Eri-alaisten uhkakuvien tarkempi tarkastelu olisi mielenkiintoinen jatkotutkimuskohde.

## 9 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia käytöstäpoiston kustannuksia laaja-alaisesti. Tutkimuksessa käsitellään kustannusarvioita ja teoriaa useasta maasta, mutta keskiössä ovat suomalaiset ydinvoimalaitokset. Työssä avataan kustannuksiin vaikuttavia taustatekijöitä, kuten lainsäädäntöä ja kahta varsinaista kustannuksien osatekijää. Osatekijät ovat jätteiden määrä ja organisaatio. Suomalaisen ja ulkomaisten arvioiden vertailulla pyritään havainnoidaan käytöstäpoiston kustannuksien ilmiöitä ja löytämään jatkotutkimuskohteita.

Työ on luonteeltaan laadullista tutkimusta. Huomioitavana on yrityksille tehdyt haastattelut, joilla on tarkennettu muun muassa vertailuja ja tulevan organisaation luonnetta.

Käytöstäpoistoa ei ole rajattu tarkasti, eli esimerkiksi kustannuksiin vaikuttavia taustatekijöitä on huomioitu. Vertailuissa on kuitenkin huomioitu, että Suomen lainsäädännön mukaan vain radiologinen purkaminen on osa käytöstäpoistoa. Työssä ei käsitelty käytetty ydinpolttoaineen loppusijoituksen kustannuksia.

Työssä päähavaintona oli, että kustannusten vertailu on vielä sekalaista ja että, lainsäädäntö luo rajat käytöstäpoistolle. Yritysten maiden ja jopa laitosten välillä on runsaasti eroja, jotka syövät vertailun tarkkuutta. Teoriassa esitetyllä NEA:n ISDC-järjestelmällä voidaan harjoittaa karkeaa vertailua, mutta sillä ei ole Suomessa tai maailmalla standardinomaista asemaa. Vertailuissa suomalaiset laitokset erottuivat edukseen. Vertailuista kuitenkin löydettiin mahdollisia jatkotutkimuskohteita erityisesti Ruotsin Forsmarkin ja Oskarshamnin laitoksista. Jatkotutkimuksille on edellytyksenä asioiden käsitteleminen julkaisemattomana, sillä kustannusarviot ovat luonteeltaan liikesalaisuuksia. Myös ulkomaisten ydinenergiainsäädännön tutkimusta voi harkita, sillä niiden avaaminen helpottaisi tulevaa vertailua.

Käytöstäpoistojen organisaatiot ovat kalliita ja projektit työvoimaintensiivisiä. Organisaatioita ei myöskään ole suunniteltu loppuun asti, vaan ne saavat todellisen muotonsa vasta poistojen lähentyessä. Useimpien nykyisten laitoksien poistot toteutuvat vasta vuosikymmenien päästä. Siksi erilaisten tulevaisuuteen liittyvien kehityskulkujen ja uhkakuvioiden vaikutus kustannuksiin olisi mielenkiintoinen tutkimuskohde.

## LÄHDELUETTELO

Andersson et al. 2006. Cost Calculations for Decommissioning and Dismantling of Nuclear Research Facilities Phase 1. NKS. s90. ISBN 87-7893-209-2. Saatavilla: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/38/003/38003057.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/003/38003057.pdf)

Euratom Treaty 1957. Allekirjoitettu Roomassa 25.3.1957. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:11957A/TXT>

Euroopan keskuspankki 2019. Euro foreign exchange reference rates. [Verkkójulkaisu]. [Viitattu 5.10.2019]. Saatavilla [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/index.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/index.en.html)

Fennovoima. 2015. Ydinenergilain (990/1987) 18§:n mukainen rakentamislupahakemus Hanhikivi 1-ydinvoimalaitoksen rakentamiseksi. Fennovoima. s167. Saatavilla: <https://tem.fi/documents/1410877/2615913/C+Fennovoiman+päivitetty+rakentamislupahakemus+5.8.2015.pdf>

Fortum. 2019. Decommissioning and Waste treatment. [Verkkójulkaisu]. [Viitattu 17.1.2020]. Saatavilla: <https://www.fortum.com/products-and-services/power-plant-services/nuclear-services/decommissioning-and-waste-treatment>

Fortum. 2018. Decommissioning plan of Loviisa NPP. Fortum Power and Heat Oy. s98. LO1-T356-00032.

Hansson, Bertil. Jönsson, Lars-Olof. 2009. Comparative analysis of the Oskarshamn and Barsebäck site decommissioning studies. SKB. s44. R-09-55. Saatavilla: <https://www.skb.se/publikation/1975435/R-09-55.pdf>

Haapamäki, Anne. 2018. Säteilysuojelu ydinlaitosten käytöstäpoistoissa, case: Annosnopeuslaskenta FiR 1-tutkimusreaktorin purussa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan koulutusohjelma. s104. Saatavilla <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/156423>

Hinkkanen, Heikki. 2019. Sähköpostikeskustelu. Fennovoima Oy.

IAEA. 2018. Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Facilities. IAEA. s99. ISBN 978-92-0-104118-0. Saatavilla: <https://www.iaea.org/publications/12210/decommissioning-of-nuclear-power-plants-research-reactors-and-other-nuclear-fuel-cycle-facilities>

IAEA. 2000. The decommissioning of WWER type nuclear power plants. IAEA. s146. Saatavilla: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1133\\_prn.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1133_prn.pdf)

IAEA. 2002. Decommissioning costs of WWER-440 nuclear power plants. IAEA. s147. ISBN 92-0-117802-6. Saatavilla [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1322\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1322_web.pdf)

IAEA 2019. PRIS (Power Reactor Information System). IAEA. [verkkójulkaisu]. [Vii-tattu 16.1.2020]. Saatavilla <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/Operational-ByAge.aspx>

Kelokaski, Pasi. Sähköpostikeskustelu. Fortum Power and Heat Oy.

Kumpula, Linda 2019. Sähköpostitse suoritettu haastattelu. Työ- ja elinkeinoministeriö.

Kumpula, Linda. Slant, Outi. 2019. Kansallisen ydinjätehuollon yhteistyöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriö. s83. ISBN 978-952-327-435-8. Saatavilla <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161762>

Kyrki-Rajamäki, Riitta. Vihavainen, Juhani. 2003. Ydinjätehuollon vastuumäärälaskelmien evaluointi/ ydinvoimalaitosten käytöstäpoisto. Kauppa- ja teollisuusministeriö. s37. ISBN 951-739-745-319-75915-9.

Kälviäinen, Elina 2019. Sähköpostitse suoritettu haastattelu. Fortum Power and Heat Oy.

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017. Annettu Helsingissä 5.5.2017. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170252>

Laraia, Michele. 2018. Nuclear Decommissioning: Its History, Development and Current Status. Springer international publishing. ISBN 978-3-319-75916-6.

Larsson et al. 2013(a). Decommissioning Study of Oskarshamn NPP. SKB. s181. R-13-04. Saatavilla: <http://www.skb.com/publication/2625263/R-13-04.pdf>

Larsson et al. 2013(b). Decommissioning Study of Forsmark NPP. SKB. s193. R-13-03. Saatavilla: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/22144058>

Lemmetty, Mikko. 2019. Puhelinhaastattelu ja sähköpostikeskustelu. Teollisuuden Voima Oyj.

Liukko et al. 2019. Valtion ydinjätehuoltorahaston sijoitustoiminnan kehittäminen-loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriö. s101. ISBN 978-952-327-450-1. Saatavilla <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161764>

NEA. 2016. Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants. NEA. s260. Saatavilla: <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7201-costs-decom-npp.pdf>

NEA. 2015. The Practice of Cost Estimation for Decommissioning Nuclear Facilities. NEA. s90. Saatavilla: <https://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2015/7237-practice-cost-estimation.pdf>

NEA. 2012. International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations. NEA. s195. Saatavilla: <https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2012/ISDC-nuclear-installations.pdf>

NRC. 2019. Report on Waste Burial Charges Changes in Decommissioning Waste Disposal Costs at Low-Level Waste Burial Facilities. NRC. s19. Saatavilla <https://www.nrc.gov/docs/ML1903/ML19037A405.pdf>

Oinonen, Ville 2018. Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoiston säteilyturvallisuuksuunnitelma. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan koulutusohjelma. s86. Saatavilla <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/158373>

Park et al. 2016. A study of decommissioning procedure of an activated structure through an evaluation of the decommissioning cost for a research reactor. Progress in nuclear energy volume 91. s11.

Perustuslaki 731/1999. Annettu Helsingissä 11.6.1999. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990731>

Piiparinen, Ulla-Maija. Lemmetty, Mikko. 2017. Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitosyksikön käytöstäpoiston suunnitelma. TVO. s117. OL3-0002196613.

PNNL. 2011. Assesment of the Adequacy of the 10 CFR 50.75(c) Minimum decommissioning fund formula. NRC. s257.

Posiva. 2019. Mitä ydinjäte on? [verkkajulkaisu]. [viitattu 29.11.19]. Saatavilla: [http://www.posiva.fi/loppusijointus/ydinjatehuolto/mita\\_ydinjate\\_on#.XeEt-y0glTY](http://www.posiva.fi/loppusijointus/ydinjatehuolto/mita_ydinjate_on#.XeEt-y0glTY)

Sandberg, Jorma (toim). 2004. Ydinturvallisuus. Säteilyturvakeskus. s418, ISBN 951-712-507-0. Saatavilla: <https://www.stuk.fi/julkaisut/sateily-ja-ydinturvallisuus-kirjasarja/ydinturvallisuus>

SKB. 2005. Decommissioning of nuclear power plants. SKB. s8. Saatavilla [https://www.skb.se/publikation/1043658/RIVNING\\_ENG.pdf](https://www.skb.se/publikation/1043658/RIVNING_ENG.pdf)

STUK. 2019(a). Säteilyturvakeskuksen lausunto FiR 1-tutkimusreaktorin käytöstäpoistoa koskevasta lupahakemuksesta. Säteilyturvakeskus. s9. Saatavilla: <https://tem.fi/documents/1410877/12431716/STUKin+lausunto/b4ac167b-4dc5-9506-b524-493068a3ae87/STUKin+lausunto.pdf>

STUK. 2019(b). Säännöstö. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.1.2019]. Saatavilla <https://www.stuk.fi/saannosto>

STUK. 2015. Ydinvoimalaitosten käytöstä poisto [sic]. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.2.2019]. Saatavilla: <https://www.stuk.fi/aiheet/ydinjatteet/ydinlaitosten-kaytosta-poisto>



SY/1/2018. Säteilyturvakeskuksen määräys vapausrajoista ja vapautumisrajoista. Annettu Helsingissä 14.12.2018. Saatavilla: <https://www.stuklex.fi/fi/maarays/stuk-sy-1-2018>

Säteilylaki 2018/859. Annettu Helsingissä 9.11.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180859>

Tang, Y.S. Saling, James, H. 1990. Radioactive waste management. Hemisphere publishing corporation. s460. ISBN 0-89116-666-1.

TEM. 2019(a). Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n lupa reaktorin käytöstäpoistoon. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 16.2.2020]. Saatavilla: <https://tem.fi/t-eknologian-tutkimuskeskus-vtt-oy-n-lupa-reaktorin-kaytostapoistoon>

TEM. 2019(b). Valtioneuvosto myönsi käyttöluvan Olkiluoto 3-ydinvoimalaitokselle. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 19.3.2020]. Saatavilla: [https://tem.fi/artikkeli/-/asset\\_publisher/valtioneuvosto-myynsi-kayttoluvan-olkiluoto-3-ydinvoimalaitosyksikolle](https://tem.fi/artikkeli/-/asset_publisher/valtioneuvosto-myynsi-kayttoluvan-olkiluoto-3-ydinvoimalaitosyksikolle)

TEM. 2017. Valtion ydinjätehuoltorahaston tilinpäätös 2017. Työ- ja elinkeinoministeriö. s25. Saatavilla: <https://tem.fi/documents/1410877/2210058/Valtion+ydinjaterahaston+tilinpaaotos+2017/f734a4d5-a5b5-45d2-9161-7db03159c1ed/Valtion+ydinjaterahaston+tilinpaaotos+2017.pdf>

TEM. 2014. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma teknologian tutkimuskeskus VTT:n tutkimusreaktorin käytöstäpoistolle; yhteysviranomaisen lausunto. Työ- ja elinkeinoministeriö. s15. Saatavilla: <https://tem.fi/yva-ohjelma>

Tilastokeskus. 2019. Rahanarvonmuunnin. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 12.10.2019]. Saatavilla: <https://www.stat.fi/tup/laskurit/rahanarvonmuunnin.html>

TVO. 2014. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen käytöstäpoiston suunnitelma 2014. TVO. s122

Ydinenergialaki 1987/990. Annettu Helsingissä 11.12.1987. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1987/19870990>

Ydinenergia-asetus 1988/161. Annettu Helsingissä 12.2.1988. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1988/19880161>

Ydinvastuulaki 1972/484. Annettu Helsingissä 8.6.1972. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1972/19720484>

Yhdenvertaisuuslaki 1325/2014. Annettu Helsingissä 30.12.2014. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141325>

Ympäristöministeriö. 2017. Lausunto teknologian tutkimuskeskuksen VTT Oy:n tutkimusreaktorin lupahakemuksesta. s5. Saatavissa: <https://tem.fi/t-eknologian-tutkimuskeskus-vtt-oy-n-lupa-reaktorin-kaytostapoistoon>

YVL D.4. 2019. Matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden käsittely ja ydinlaitoksen käytöstäpoisto. Annettu 15.12.2019. Saatavilla: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLD-4>

Varley, G. 2012. Assesment of cost for dismantling of Ringhals 2 PWR. SSM. s38.

VTT. 2019. Lupahakemuksen täydennys, FiR 1-Tutkimusreaktorin käytöstäpoisto. s3. Saatavilla: <https://tem.fi/t-eknologian-tutkimuskeskus-vtt-oy-n-lupa-reaktorin-kaytostapoistoon>

VTT 2017. VTT:n FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoisto lupahakemus. VTT. s5. Liitteitä 14. Saatavilla: <https://tem.fi/t-eknologian-tutkimuskeskus-vtt-oy-n-lupa-reaktorin-kaytostapoistoon>

VTT & Pöyry Oy. 2014. Ympäristövaikutusten arviointiselostus FiR 1-tutkimusreaktorin käytöstäpoisto. VTT & Pöyry Oy s163. Saatavilla: <https://tem.fi/yva>

VTT & Pöyry Oy. 2013. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma arviointiselostus FiR 1-tutkimusreaktorin käytöstäpoisto. VTT & Pöyry Oy. s83. Saatavilla: <https://tem.fi/yva-ohjelma>

World Nuclear Association. 2019. Decommissioning Nuclear Facilities. [verkköjulkaisu]. [Viitattu 16.1.2020]. Saatavilla: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/decommissioning-nuclear-facilities.aspx>

2013/59/Euratom. Neuvoston direktiivi turvallisuutta koskevien perusnormien vahvistamisesta ionisoivasta säteilystä aiheutuvilta vaaroilta suojelemiseksi ja direktiivien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom ja 2003/122/Euratom kumoamisesta. Annettu 5.12.2013. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32013L0059>

## **Liite 1. ISDC:n pääaktiviteetit ja aktiviteettiryhmät (NEA 2012)**

### **ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt**

- 01.0100 Suunnittelu
- 01.0200 Laitoksen karakterisointi
- 01.0300 Turvallisuus ja ympäristö tutkimukset
- 01.0400 Jätehuollon suunnittelu
- 01.0500 Luvitus
- 01.0600 Projektin hallinnan aloitus

### **ISDC 02 Laitoksen alasajotyöt**

- 02.0100 Laitoksen alasajo ja tarkastus
- 02.0200 Nesteiden poisto systeemeistä
- 02.0300 Dekontaminaatio
- 02.0400 Radiologinen karakterisointi
- 02.0400 Prosessinesteiden, käytön jätteiden ja turhan materiaalin poisto

### **ISDC 03 Viivytetyn käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt**

- 03.0100 Valvotun säilytyksen valmistelu
- 03.0200 Rakenteellisia valmisteluita
- 03.0300 Hautaus

### **ISDC 04 Valvotun alueen purkaminen**

- 04.0100 laitteistohankinnat
- 04.0200 Valmistelevat työt
- 04.0300 Purkamista edeltävä dekontaminointi
- 04.0400 Vaikeiden materiaalien poisto (asbesti, eristeet..)
- 04.0500 Pääprosessien purkaminen
- 04.0600 Muiden systeemien purkaminen
- 04.0700 Kontaminaation poistaminen rakenteista
- 04.0800 Kontaminaation poistaminen ulkopuolelta
- 04.0900 Radioaktiivisuuden lopputarkastus

### **ISDC 05 Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus**

- 05.0100 Jätteen hallinta systeemin järjestäminen
- 05.0200 Korkea-aktiivisten jätteen käsittely (käyttö)
- 05.0300 Keski-aktiivisten jätteen käsittely (käyttö)
- 05.0400 Matala-aktiivisten jätteen käsittely (käyttö)
- 05.0500 Hyvin matala-aktiivisten jätteen käsittely (käyttö)
- 05.0600 Vapautettujen jätteen käsittely (käyttö)
- 05.0700 Korkea-aktiivisten jätteen käsittely
- 05.0800 Keski-aktiivisten jätteen käsittely
- 05.0900 Matala-aktiivisten jätteen käsittely
- 05.1000 Hyvin matala-aktiivisten jätteen käsittely
- 05.1100 Lyhytikäisen jätteen käsittely
- 05.1200 Vapautettujen jätteen käsittely
- 05.1300 Valvotun alueen ulkopuolisten jätteen käsittely

#### **ISDC 06 Infrastrukturi ja muu tuki**

- 06.0100 Alueen valvonta ja turvallisuus
- 06.0200 Alueen operointi ja huolto
- 06.0300 Tukevat järjestelmät (sähkö, vesi...)
- 06.0400 Radioaktiivisuuden ja ympäristönturvallisuuden valvonta

#### **ISDC 07 Tavanomainen purkaminen**

- 07.0100 Laitteisto hankinnat
- 07.0200 Systeemien purkaminen
- 07.0300 Rakenteiden ja rakennusten purkaminen
- 07.0400 Loppupuhdistukset ja maisemointii
- 07.0500 Lopullinen radioaktiivisuuden kartoitus
- 07.0600 Alueen valvonta käytöstäpoiston jälkeen

#### **ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt**

- 08.0100 Mobilisaatio ja valmistelevat työt
- 08.0200 Projektin hallinta
- 08.0300 Tukevat työt
- 08.0400 Työturvallisuus
- 08.0500 Demobilisaatio
- 08.0600 Mobilisaatio ja valmistelevat työt (alihankkijat)
- 08.0700 Projektin hallinta (alihankkijat)
- 08.0800 Tukevat työt (alihankkijat)
- 08.0900 Työturvallisuus (alihankkijat)

08.1000 Demobilisaatio (alihankkijat)

**ISDC 09 Tutkimus ja kehitys (T&K)**

09.0100 Tekniikoiden, laitteiden ja proseduurien tutkiminen ja kehittäminen

09.0200 Vaikeiden töiden simulointi

**ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta**

10.0100 Polttoaineiden ja ydinmateriaalin poisto laitoksesta

10.0200 Välivaraston hallinta

10.0300 Välivaraston käytöstäpoisto

**ISDC 11 Muut työt ja kustannukset**

11.0100 Omistajan kustannukset

11.0200 Verot

11.0300 Vakuutukset

11.0400 Materiaalien ja laitteiden palautus

**Liite 2. NEA:n ISDC:n mukaiset laitoskohtaiset jäsenmaa-arviot Yhdysvaltain dollareina 2013 (NEA 2016, s. 65)<sup>3</sup>**

Maa/laitos	Tyyppi	Yksiköiden määrä	Koko MWe	ISDC 1		ISDC 2		ISDC 3		ISDC 4		ISDC 5		ISDC 6		ISDC 7		ISDC 8		ISDC 9		ISDC 10		ISDC 11		Yht M\$
				M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	
ES/ Jose Cabrera	PWR	1	160	16,90	5,30	0,00	55,50	12,80	87,20	19,60	69,50	0,00	55,10	18,80	340,70											
ES/Generic-ESP	PWR	1	1066	18,20	1,50	0,00	70,30	22,60	89,70	108,60	95,30	0,00	0,00	11,30	417,50											
CH/Generic-CH	PWR	1	1000	57,80	481,20	0,00	96,40	116,90	338,10	46,80	55,80	0,00	0,00	7,60	1200,60											
FR/Generic-FR	PWR	4	3600	0,00	121,40	0,00	597,40	276,00	85,50	126,90	120,00	0,00	0,00	132,50	1459,70											
ES/ S M Garona	BWR	1	466	18,10	4,20	0,00	64,40	18,60	123,70	28,00	52,70	0,00	0,00	13,70	323,40											
ES/Generic-ESB	BWR	1	1092	17,90	1,50	0,00	74,40	34,00	87,30	109,90	88,70	0,00	0,00	11,20	424,90											
SE/Oskarshamn	BWR	3	2576	12,20	20,70	0,00	361,60	78,50	50,80	139,40	137,70	0,00	0,00	5,70	806,60											
FI/Loviisa	VVER-213/PWR	2	976	0,00	77,30	0,00	210,50	39,90	14,20	0,00	11,00	0,00	0,00	121,00	473,90											
SK/Bohunice	VVER-230/PWR	2	880	62,20	79,10	0,00	191,90	431,00	193,20	247,10	241,80	0,00	36,20	23,40	1505,90											

<sup>3</sup> Liitteiden arvot on laskettu yhteen Excel-taulukoissa, jonka takia esitettyjen ja alkuperäisten lukujen välillä on eroja.

**LIITE 3. NEA:n ISDC:n mukaiset yksikkökohtaiset arviot Yhdysvaltain dollareina 2013 (NEA 2016, s. 66)**

Maa/laitos	Tyyppi	Yksiköiden määrä	Koko Mwe	ISDC 1		ISDC 2		ISDC 3		ISDC 4		ISDC 5		ISDC 6		ISDC 7		ISDC 8		ISDC 9		ISDC 10		ISDC 11		Yht	
				MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
ES/ Jose Cabrera	PWR	1	160	16,90	5,30	0,00	55,50	12,80	87,20	19,60	69,50	0,00	55,10	18,80	340,70												
ES/Generic-ESP	PWR	1	1066	18,20	1,50	0,00	70,30	22,60	89,70	108,60	95,30	0,00	0,00	11,30	417,50												
CH/Generic-CH	PWR	1	1000	57,80	481,20	0,00	96,40	116,90	338,10	46,80	55,80	0,00	0,00	7,60	1200,60												
FR/Generic-FR	PWR	4	3600	0,00	30,40	0,00	149,40	69,00	21,40	31,70	30,00	0,00	0,00	33,10	365,00												
ES/ S M Garona	BWR	1	466	18,20	4,20	0,00	64,40	18,60	123,70	28,00	52,70	0,00	0,00	13,70	323,50												
ES/Generic-ESB	BWR	1	1092	17,90	1,50	0,00	74,40	34,00	87,30	109,90	88,70	0,00	0,00	11,20	424,90												
SE/Oskarshamn	BWR	3	2576	4,07	6,90	0,00	120,53	26,17	16,93	46,47	45,90	0,00	0,00	1,90	268,87												
FI/Loviisa	VVER-213	2	976	0,00	38,60	0,00	105,20	20,00	7,10	0,00	5,50	0,00	0,00	60,50	236,90												
SK/Bohunice	VVER-230	2	880	31,10	39,60	0,00	96,00	215,50	96,60	123,50	120,90	0,00	18,10	11,70	753,00												



**LIITE 4. Yhdysvaltalaisia arvioita ISDC muodossa vuoden 2013 dollareina (NEA 2016, s.106)**

Laitos	Tyyppi	Koko MWe	ISDC 1	ISDC 2	ISDC 3	ISDC 4	ISDC 5	ISDC 6	ISDC 7	ISDC 8	ISDC 9	ISDC 10	ISDC 11	Yht
			MS 2013	MS 2013	MS 2013	MS 2013	MS 2013	MS 2013	MS 2013	MS 2013	MS 2013	MS 2013	MS 2013	
La Salle 1	BWR	1138	18,90	21,30	0,00	107,40	134,40	101,60	44,70	167,10	0,00	0,00	21,30	616,70
La Salle 2	BWR	1150	7,90	16,30	0,00	118,30	139,70	119,90	63,90	178,10	0,00	0,00	17,60	661,70
Comanche Peak 1	PWR	1084	16,10	20,40	0,00	59,70	120,50	79,30	28,40	135,30	0,00	0,00	12,30	472,00
Comanche Peak 2	PWR	1124	6,90	16,60	0,00	77,30	125,30	117,70	63,20	159,80	0,00	0,00	8,70	575,50
Duane Arnold	BWR	581	13,90	56,00	0,00	97,90	136,20	179,50	28,20	110,40	0,00	0,00	26,50	648,60
Kewaunee	PWR	556	10,80	38,00	0,00	67,20	82,90	114,40	15,30	96,40	0,00	0,00	35,30	460,30
Haddam Neck	PWR	619	18,00	69,00	0,00	322,50	124,60	145,40	72,10	223,60	0,00	0,00	22,00	997,20
Maine Yankee	PWR	900	0,00	5,10	0,00	109,00	125,10	70,50	96,60	108,50	0,00	0,00	42,70	557,50
Trojan NPP	PWR	1130	0,00	1,70	0,00	53,40	44,30	44,70	46,40	68,80	0,00	0,00	0,00	259,30
Rancho Seco NPP	PWR	913	19,30	6,00	0,00	62,70	69,10	102,20	44,30	157,10	0,00	0,00	14,50	475,20

Punaisella toteutuneet ja osittain toteutuneet kustannukset.

**LIITE 5. Toteutuneita kustannuksia Yhdysvalloista (PNNL 2011, s. 28, 61, 86, 119)**

	Toteutuneet M\$ 2010	Arvioidut M\$ 2010	Toteutuneet M€ 2010	Arvioidut M€ 2010	Toteutuneet M€ 2018	Arvioidut M€ 2018
<b>Haddam Neck</b>						
Radiologinen purku ja dekontaminaatio	381,00	81,00	317,50	67,50	353,20	75,10
Jätteiden hallinta	121,30	278,60	101,10	232,20	112,50	258,30
Projektin hallinta	376,70	50,00	313,90	41,70	349,20	46,40
Vakuutukset	-13,80	4,10	-11,50	3,40	-12,80	3,80
Verot	20,40	0,00	17,00	0,00	18,90	0,00
Luvitukset	14,70	0,30	12,30	0,30	13,70	0,30
Loppu tarkastus	18,40	0,00	15,30	0,00	17,00	0,00
<b>Yht</b>	<b>918,70</b>	<b>414,00</b>	<b>765,60</b>	<b>345,00</b>	<b>851,60</b>	<b>383,80</b>
<b>Maine Yankee</b>						
Radiologinen purku ja dekontaminaatio	90,30	87,80	75,30	73,20	83,80	81,40
Komponenttien poisto	20,80	0,00	17,30	0,00	19,20	0,00
Alueen jälkihoito	59,00	0,00	49,20	0,00	54,70	0,00
Jätteiden hallinta	121,70	302,10	101,40	251,80	112,80	280,10
Projektin hallinta	228,00	54,20	190,00	45,20	211,30	50,30
Vakuutukset	8,60	4,50	7,20	3,80	8,00	4,20
Verot	16,80	0,00	14,00	0,00	15,60	0,00
Luvitukset	15,50	0,30	12,90	0,30	14,30	0,30
Loppu tarkastus	14,30	0,00	11,90	0,00	13,20	0,00
<b>Yht</b>	<b>575,00</b>	<b>448,90</b>	<b>479,20</b>	<b>374,10</b>	<b>533,00</b>	<b>416,10</b>
<b>Trojan NPP</b>						
Radiologinen purku, dekontaminaatio ja mai	90,30	87,30	75,30	72,80	83,80	81,00
Projektin hallinta	161,50	61,00	134,60	50,80	149,70	56,50
Jätteiden hallinta	60,20	222,80	50,20	185,70	55,80	206,60
Loppu tarkastus	11,80	0,00	9,80	0,00	10,90	0,00
<b>Yht</b>	<b>323,80</b>	<b>371,10</b>	<b>269,80</b>	<b>309,30</b>	<b>300,10</b>	<b>344,10</b>

## Liite 6. Oskarshamnin alkuperäiset kustannukset kSEK vuonna 2009

(Larsson et al. 2013(a), s. 111)

ISDC kategoriat	kustannukset kSEK	kustannukset %	Epävarmuus kSEK	Kustannukset+ epävarmuus kSEK
<b>ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt</b>	<b>72 496,00</b>	<b>2</b>	<b>7 058,00</b>	<b>79 554,00</b>
0100 Suunnittelu	25 599,00	35	2 560,00	28 159,00
0200 Laitoksen karakterisointi	10 868,00	15	845,00	11 713,00
0300 Turvallisuus ja ympäristö tutkimukset	12 397,00	17	1 250,00	13 647,00
0400 Jätehuollon suunnittelu	-	0	-	-
0500 Luvitus	-	0	-	-
0600 Projektin hallinnan aloitus	23 633,00	33	2 404,00	26 037,00
<b>ISDC 02 Laitoksen alajotyöt</b>	<b>117 686,00</b>	<b>3</b>	<b>17 737,00</b>	<b>135 423,00</b>
0300 Dekontaminaatio	115 693,00	98	17 323,00	133 016,00
0400 Radiologinen karakterisointi	1 994,00	2	414,00	2 408,00
<b>ISDC 03 Viivytetyn käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
0100 Valvotun säilytyksen valmistelu	0	0	0	0
<b>ISDC 04 Valvotun alueen purkaminen</b>	<b>2 094 389,00</b>	<b>45</b>	<b>268 837,00</b>	<b>2 363 226,00</b>
0200 Valmistelevat työt	14 172,00	1	3 342,00	17 514,00
0500 Pääprosessien purkaminen	1 273 082,00	61	107 326,00	1 380 408,00
0600 Muiden järjestelmien purkaminen	601 074,00	29	120 864,00	721 938,00
0700 Kontaminaation poistaminen rakenteista	22 300,00	1	4 322,00	26 622,00
0900 Radioaktiivisuuden lopputarkastus	183 762,00	9	32 982,00	216 744,00
<b>ISDC 05 Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus</b>	<b>452 287,00</b>	<b>10</b>	<b>60 574,00</b>	<b>512 861,00</b>
0100 Jätteiden hallinta systeemin järjestäminen	176 929,00	39	24 089,00	201 018,00
0800 Keski-aktiivisten jätteiden käsittely	24 580,00	5	1 546,00	26 126,00
0900 Matala-aktiivisten jätteiden käsittely	138 355,00	31	18 857,00	157 212,00
1200 Vapautettujen jätteiden käsittely	112 423,00	25	16 082,00	128 505,00
1300 Valvotun alueen ulkopuolisten jätteiden käsittely	-	0	-	-
<b>ISDC 06 Infrastrukturi ja muu tuki</b>	<b>288 076,00</b>	<b>6</b>	<b>43 989,00</b>	<b>332 065,00</b>
0100 Alueen valvonta ja turvallisuus	18 173,00	6	2 576,00	20 749,00
0200 Alueen operointi ja huolto	132 294,00	46	18 682,00	150 976,00
0300 Tukevat järjestelmät (sähkö, vesi...)	80 884,00	28	13 678,00	94 562,00
0400 Radioaktiivisuuden ja ympäristönturvallisuuden valvonta	56 725,00	20	9 054,00	65 779,00
<b>ISDC 07 Tavanomainen purkaminen</b>	<b>789 835,00</b>	<b>17</b>	<b>121 109,00</b>	<b>910 944,00</b>
0100 Laitteisto hankinnat	81 755,00	10	14 884,00	96 639,00
0200 Järjestelmien purkaminen	158 927,00	20	42 308,00	201 235,00
0300 Rakenteiden ja rakennusten purkaminen	414 521,00	52	45 306,00	459 827,00
0400 Loppupuhdistukset ja maisemointi	118 900,00	15	16 812,00	135 712,00
0500 Lopullinen radioaktiivisuuden kartoitus	15 732,00	2	1 800,00	17 532,00

<b>ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri ja tukevat työt</b>	<b>768 575,00</b>	<b>17</b>	<b>131 153,00</b>	<b>899 728,00</b>
0100 Mobilisaatio ja valmistelevat työt	-	0	-	-
0200 Projektin hallinta	435 891,00	57	64 083,00	499 974,00
0300 Tukevat työt	163 055,00	21	25 242,00	188 297,00
1000 Demobilisaatio (alihankkijat)	169 630,00	22	41 828,00	211 458,00
<b>ISDC 09 Tutkimus ja kehitys (T&amp;K)</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>0</b>
<b>ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>0</b>
<b>ISDC 11 Muut työt ja kustannukset</b>	<b>28 859,00</b>	<b>1</b>	<b>8 297,00</b>	<b>37 156,00</b>
0100 Omistajan kustannukset	-	0	-	-
0200 Verot	-	0	-	-
0300 Vakuutukset	28 859,00	100	8 297,00	37 156,00
<b>Yhteensä</b>	<b>4 612 203,00</b>	<b>100</b>	<b>658 754,00</b>	<b>5 270 957,00</b>

**Liite 7. Forsmarkin alkuperäiset kustannukset kSEK vuonna 2009 (Larsson et al. 2013(b), s. 113)**

ISDC kategoriat	Kustannukset kSEK	Kustannukset %	Epävarmuus kSEK	Kustannukset + epävarmuus kSEK
<b>ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt</b>	<b>61 272,00</b>	<b>1,1</b>	<b>5 916,00</b>	<b>67 188,00</b>
0100 Suunnittelu	24 633,00	40	2 463,00	27 096,00
0200 Laitoksen karakterisointi	10 385,00	17	797,00	11 182,00
0300 Turvallisuus ja ympäristö tutkimukset	12 075,00	20	1 214,00	13 289,00
0400 Jätehuollon suunnittelu	-	0	-	-
0500 Luvitut	-	0	-	-
0600 Projektin hallinnan aloitus	14 180,00	23	1 442,00	15 622,00
<b>ISDC 02 Laitoksen alajotyöt</b>	<b>81 206,00</b>	<b>1,5</b>	<b>10 095,00</b>	<b>91 301,00</b>
0300 Dekontaminaatio	79 046,00	97	9 791,00	88 837,00
0400 Radiologinen karakterisointi	2 160,00	3	304,00	2 464,00
<b>ISDC 03 Viivytetyn käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
0100 Valvotun säilytyksen valmistelu	-	0	-	-
<b>ISDC 04 Valvotun alueen purkaminen</b>	<b>2 406 981,00</b>	<b>45</b>	<b>278 630,00</b>	<b>2 685 611,00</b>
0200 Valmistelevat työt	16 692,00	1	2 825,00	19 517,00
0500 Pääprosessien purkaminen	1 350 350,00	56	133 585,00	1 483 935,00
0600 Muiden järjestelmien purkaminen	828 539,00	34	121 208,00	949 747,00
0700 Kontaminaation poistaminen rakenteista	29 600,00	1	5 920,00	35 520,00
0900 Radioaktiivisuuden lopputarkastus	181 800,00	8	15 092,00	196 892,00
<b>ISDC 05 Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus</b>	<b>463 838,00</b>	<b>8,7</b>	<b>57 778,00</b>	<b>521 616,00</b>
0100 Jätteiden hallinta systeemi	149 639,00	32	17 285,00	166 924,00
0800 Keski-aktiivisten jätteiden käsittely	27 300,00	6	1 365,00	28 665,00
0900 Matala-aktiivisten jätteiden käsittely	106 710,00	23	12 475,00	119 185,00
1200 Vapautettujen jätteiden käsittely	180 189,00	39	26 654,00	206 843,00
1300 Valvotun alueen ulkopuolisten jätteiden käsittely	-	0	-	-
<b>ISDC 06 Infrastrukturi ja muu tuki</b>	<b>290 875,00</b>	<b>5,4</b>	<b>35 905,00</b>	<b>326 780,00</b>
0100 Alueen valvonta ja turvallisuus	14 385,00	5	1 469,00	15 854,00
0200 Alueen operointi ja huolto	137 351,00	47	15 880,00	153 231,00
0300 Tukevat järjestelmät (sähkö, vesi...)	83 454,00	29	11 297,00	94 751,00
0400 Radioaktiivisuuden ja ympäristönturvallisuuden valvonta	55 686,00	19	7 260,00	62 946,00
<b>ISDC 07 Tavanomainen purkaminen</b>	<b>1 242 252,00</b>	<b>23</b>	<b>123 441,00</b>	<b>1 365 693,00</b>
0100 Laitteisto hankinnat	38 716,00	3	6 807,00	45 523,00
0200 Järjestelmien purkaminen	132 899,00	11	32 680,00	165 579,00
0300 Rakenteiden ja rakennusten purkaminen	868 225,00	70	57 286,00	925 511,00
0400 Loppu puhdistukset ja maisemointi	179 300,00	14	24 531,00	203 831,00
0500 Lopullinen radioaktiivisuuden kartoitus	23 112,00	2	2 138,00	25 250,00

<b>ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri ja tukevat työt</b>	<b>788 137,00</b>	<b>15</b>	<b>116 498,00</b>	<b>904 635,00</b>
0100 Mobilisaatio ja valmistelevat työt	-	0	-	-
0200 Projektin hallinta	471 468,00	60	58 913,00	530 381,00
0300 Tukevat työt	161 704,00	21	21 205,00	182 909,00
1000 Alihankkijoiden demobilisaatio	154 966,00	20	36 379,00	191 345,00
<b>ISDC 09 Tutkimus ja kehitys (T&amp;K)</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>ISDC 11 Muut työt ja kustannukset</b>	<b>17 795,00</b>	<b>0,3</b>	<b>5 116,00</b>	<b>22 911,00</b>
0100 Omistajan kustannukset	-	0	-	-
0200 Verot	-	0	-	-
0300 Vakuutukset	17 795,00	100	5 116,00	22 911,00
<b>Yhteensä</b>	<b>5 352 356,00</b>	<b>100</b>	<b>633 379,00</b>	<b>5 985 735,00</b>

**LIITE 8. Oskarshamnin kustannukset eriteltynä laitosyksiköittäin (Larsson et al. 2013(a), s. 193–196)**

<b>Oskarshamn 1 yksikön kustannukset</b>												
ISDC kategoriat	Kustannukset 2009 kSEK	Kustannukset % 2009 kSEK	Epävarmuus kustannukset 2009 kSEK	Epävarmuus+ kustannukset 2009 kSEK	Kustannukset 2009 M€	Kustannukset 2018 M€	Epävarmuus 2009 M€	Epävarmuus 2018 M€	Epävarmuus+ kustannukset 2018 M€			
ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt	20 424,00	2	1 972,00	22 396,00	2,20	2,47	0,21	0,24	2,71			
ISDC 02 Laitoksen alusajotyt	33 168,00	3	3 317,00	36 485,00	3,57	4,02	0,36	0,40	4,42			
ISDC 03 Viivytetty käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 04 Valvottu alueen purkaminen	461 929,00	43	39 337,00	501 266,00	49,67	55,94	4,23	4,76	60,71			
ISDC 05 Jätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus	105 445,00	10	15 932,00	121 377,00	11,34	12,77	1,71	1,93	14,70			
ISDC 06 Infrastruktuuri ja muu tuki	81 124,00	8	13 692,00	94 816,00	8,72	9,82	1,47	1,66	11,48			
ISDC 07 Tavanomainen purkaminen	166 473,00	15	30 098,00	196 571,00	17,90	20,16	3,24	3,65	23,81			
ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt	193 053,00	18	35 485,00	228 538,00	20,76	23,38	3,82	4,30	27,68			
ISDC 09 Tutkimus ja kehitys (T&K)	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 11 Muut työt ja kustannukset	12 884,00	1	3 704,00	16 588,00	1,39	1,56	0,40	0,45	2,01			
<b>Yht</b>	<b>1 074 500,00</b>	<b>100</b>	<b>143 537,00</b>	<b>1 218 037,00</b>	<b>115,54</b>	<b>130,13</b>	<b>15,43</b>	<b>17,38</b>	<b>147,51</b>			
<b>Oskarshamn 2 yksikön kustannukset</b>												
ISDC kategoriat	Kustannukset 2009 kSEK	Kustannukset % 2009 kSEK	Epävarmuus kustannukset 2009 kSEK	Epävarmuus+ kustannukset 2009 kSEK	Kustannukset 2009 M€	Kustannukset 2018 M€	Epävarmuus 2009 M€	Epävarmuus 2018 M€	Epävarmuus+ kustannukset 2018 M€			
ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt	20 424,00	2	1 972,00	22 396,00	2,20	2,47	0,21	0,24	2,71			
ISDC 02 Laitoksen alusajotyt	27 703,00	2	4 739,00	32 442,00	2,98	3,36	0,51	0,57	3,93			
ISDC 03 Viivytetty käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 04 Valvottu alueen purkaminen	653 486,00	52	120 275,00	773 761,00	70,27	79,14	12,93	14,57	93,71			
ISDC 05 Jätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus	127 984,00	10	16 473,00	144 457,00	13,76	15,50	1,77	2,00	17,49			
ISDC 06 Infrastruktuuri ja muu tuki	81 601,00	6	13 472,00	95 073,00	8,77	9,88	1,45	1,63	11,51			
ISDC 07 Tavanomainen purkaminen	145 437,00	12	26 293,00	171 730,00	15,64	17,61	2,83	3,18	20,80			
ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt	198 623,00	16	35 740,00	234 363,00	21,36	24,05	3,84	4,33	28,38			
ISDC 09 Tutkimus ja kehitys (T&K)	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 11 Muut työt ja kustannukset	5 975,00	0	1 718,00	7 693,00	0,64	0,72	0,18	0,21	0,93			
<b>Yht</b>	<b>1 261 233,00</b>	<b>100</b>	<b>220 682,00</b>	<b>1 481 915,00</b>	<b>135,62</b>	<b>154,32</b>	<b>23,73</b>	<b>26,73</b>	<b>179,47</b>			

<b>Oskarshamn 3 yksikön kustannukset</b>										
ISDC kategoriat	Kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset % 2009 KSEK	Epävarmuus kustannukset 2009 KSEK	Epävarmuus+ kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset 2009 ME	Kustannukset 2018 ME	Epävarmuus 2009 ME	Epävarmuus 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME	
ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt	31 648,00	2	3 114,00	34 762,00	3,39	3,82	0,33	0,38	4,20	
ISDC 02 Laitoksen alasaajotyöt	33 308,00	2	5 691,00	38 999,00	3,57	4,02	0,61	0,69	4,71	
ISDC 03 Viivytetyn käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ISDC 04 Valvotun alueen purkaminen	761 822,00	44	70 760,00	832 582,00	81,71	92,03	7,61	8,57	100,60	
ISDC 05 Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus	182 500,00	11	22 691,00	205 191,00	19,58	22,05	2,44	2,75	24,80	
ISDC 06 Infrastruktuuri ja muu tuki	97 374,00	6	12 052,00	109 426,00	10,44	11,76	1,30	1,46	13,22	
ISDC 07 Tavanomainen purkaminen	366 961,00	21	46 740,00	413 701,00	39,36	44,33	5,03	5,66	49,99	
ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt	256 180,00	15	37 293,00	293 473,00	27,48	30,95	4,01	4,52	35,46	
ISDC 09 Turkkimur ja kehitys (T&K)	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ISDC 11 Muut työt ja kustannukset	5 275,00	0	1 517,00	6 792,00	0,57	0,64	0,16	0,18	0,82	
Yht	1 735 068,00	100	199 858,00	1 934 926,00	186,11	209,61	21,49	24,20	233,81	
<b>Oskarshamn 0 yksikön kustannukset</b>										
ISDC kategoriat	Kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset % 2009 KSEK	Epävarmuus kustannukset 2009 KSEK	Epävarmuus+ kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset 2009 ME	Kustannukset 2018 ME	Epävarmuus 2009 ME	Epävarmuus 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME	
ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ISDC 02 Laitoksen alasaajotyöt	23 507,00	4	3 990,00	27 497,00	2,53	2,85	0,43	0,48	3,33	
ISDC 03 Viivytetyn käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ISDC 04 Valvotun alueen purkaminen	217 152,00	40	38 465,00	255 617,00	23,35	26,30	4,14	4,66	30,96	
ISDC 05 Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus	36 359,00	7	5 478,00	41 837,00	3,91	4,40	0,59	0,66	5,07	
ISDC 06 Infrastruktuuri ja muu tuki	27 977,00	5	4 774,00	32 751,00	3,01	3,39	0,51	0,58	3,97	
ISDC 07 Tavanomainen purkaminen	110 964,00	20	17 977,00	128 941,00	11,93	13,44	1,93	2,18	15,62	
ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt	120 719,00	22	22 634,00	143 353,00	12,98	14,62	2,43	2,74	17,36	
ISDC 09 Turkkimur ja kehitys (T&K)	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ISDC 11 Muut työt ja kustannukset	4 724,00	1	1 358,00	6 082,00	0,51	0,57	0,15	0,16	0,74	
Yht	541 402,00	100	94 676,00	636 078,00	58,22	65,57	10,18	11,46	77,03	

Laitosyksikkö 0:n lukeutuvat apurakennukset ja muut tilat.



## LIITE 9. Forsmarkin kustannukset eriteltynä laitosyksiköittäin (Larsson

et al. 2013(b), s. 205–209)

Forsmark 1 yksikön kustannukset												
ISDC kategoriat	Kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset %	Epävarmuus 2009 KSEK	Epävarmuus+ kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset 2009 ME	Epävarmuus 2009 ME	Kustannukset 2018 ME	Epävarmuus 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME
ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt	20 424,00	1	1 972,00	22 396,00	2,20	2,47	0,21	0,24	2,72	0,24	2,72	2,72
ISDC 02 Laitoksen alasjotyt	23 138,00	1	-	23 138,00	2,49	2,80	0,00	0,00	2,80	0,00	2,80	2,80
ISDC 03 Viivytetty käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ISDC 04 Valvottu alueen purkaminen	843 966,00	47	117 022,00	960 988,00	90,75	102,21	12,58	14,36	116,57	14,36	116,57	116,57
ISDC 05 Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus	189 060,00	11	23 209,00	212 269,00	20,33	22,90	2,50	2,85	25,74	2,85	25,74	25,74
ISDC 06 Infrastruktuuri ja muu tuki	95 834,00	5	11 869,00	107 703,00	10,30	11,61	1,28	1,46	13,06	1,46	13,06	13,06
ISDC 07 Tavanomainen purkaminen	350 835,00	20	30 498,00	381 333,00	37,72	42,49	3,28	3,74	46,23	3,74	46,23	46,23
ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt	256 350,00	14	37 549,00	293 899,00	27,56	31,05	4,04	4,61	35,65	4,61	35,65	35,65
ISDC 09 Tutkimus ja kehitys (T&K)	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ISDC 11 Muut työt ja kustannukset	5 247,00	0	1 509,00	6 756,00	0,56	0,64	0,16	0,19	0,82	0,16	0,82	0,82
Yht	1 784 854,00	100	223 628,00	2 008 482,00	191,92	216,15	24,05	27,36	243,60	24,05	243,60	243,60
Forsmark 2 yksikön kustannukset												
ISDC kategoriat	Kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset %	Epävarmuus 2009 KSEK	Epävarmuus+ kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset 2009 ME	Epävarmuus 2009 ME	Kustannukset 2018 ME	Epävarmuus 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME
ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt	20 424,00	1	1 972,00	22 396,00	2,20	2,47	0,21	0,24	2,71	0,24	2,71	2,71
ISDC 02 Laitoksen alasjotyt	23 298,00	1	4 014,00	27 312,00	2,51	2,82	0,43	0,49	3,31	0,49	3,31	3,31
ISDC 03 Viivytetty käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ISDC 04 Valvottu alueen purkaminen	811 749,00	49	75 000,00	886 749,00	87,28	98,31	8,06	9,08	107,39	9,08	107,39	107,39
ISDC 05 Jätteiden käsittely, varastointi ja loppusijoitus	161 218,00	10	20 009,00	181 227,00	17,34	19,52	2,15	2,42	21,95	2,42	21,95	21,95
ISDC 06 Infrastruktuuri ja muu tuki	92 347,00	6	11 447,00	103 794,00	9,93	11,18	1,23	1,39	12,57	1,39	12,57	12,57
ISDC 07 Tavanomainen purkaminen	311 655,00	19	25 969,00	337 624,00	33,51	37,74	2,79	3,15	40,89	3,15	40,89	40,89
ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt	245 222,00	15	36 143,00	281 365,00	26,37	29,70	3,89	4,38	34,07	4,38	34,07	34,07
ISDC 09 Tutkimus ja kehitys (T&K)	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ISDC 11 Muut työt ja kustannukset	4 948,00	0	1 423,00	6 371,00	0,53	0,60	0,15	0,17	0,77	0,15	0,77	0,77
Yht	1 670 861,00	100	175 977,00	1 846 838,00	179,66	202,35	18,92	21,31	223,66	18,92	223,66	223,66

<b>Forsmark 3 yksikön kustannukset</b>												
ISDC kategoriat	Kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset %	Epävarmuus 2009 KSEK	Epävarmuus+ kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset 2009 ME	Kustannukset 2018 ME	Epävarmuus 2009 ME	Epävarmuus 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME			
ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt	20 424,00	1	1 972,00	22 396,00	2,20	2,47	0,21	0,24	2,71			
ISDC 02 Laitoksen alajotyt	34 770,00	2	6 081,00	40 851,00	3,74	4,21	0,65	0,74	4,95			
ISDC 03 Viivytetyn käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 04 Valvotun alueen purkaminen	751 267,00	43	86 607,00	837 874,00	80,78	90,98	9,31	10,49	101,47			
ISDC 05 Jätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus	113 548,00	6	14 558,00	128 106,00	12,21	13,75	1,57	1,76	15,51			
ISDC 06 Infrastruktuuri ja muu tuki	100 415,00	6	12 359,00	112 774,00	10,80	12,16	1,33	1,50	13,66			
ISDC 07 Tavonomainen purkaminen	454 014,00	26	54 108,00	508 122,00	48,82	54,98	5,82	6,55	61,54			
ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt	271 709,00	16	39 084,00	310 793,00	29,22	32,91	4,20	4,73	37,64			
ISDC 09 Turkkimus ja kehitys (T&K)	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 11 Muut työt ja kustannukset	5 700,00	0	1 639,00	7 339,00	0,61	0,69	0,18	0,20	0,89			
<b>Yht</b>	<b>1 751 847,00</b>	<b>100</b>	<b>216 408,00</b>	<b>1 968 255,00</b>	<b>188,37</b>	<b>212,16</b>	<b>23,27</b>	<b>26,21</b>	<b>238,36</b>			
<b>Forsmark 0 yksikön kustannukset</b>												
ISDC kategoriat	Kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset %	Epävarmuus 2009 KSEK	Epävarmuus+ kustannukset 2009 KSEK	Kustannukset 2009 ME	Kustannukset 2018 ME	Epävarmuus 2009 ME	Epävarmuus 2018 ME	Epävarmuus+ kustannukset 2018 ME			
ISDC 01 Käytöstäpoistoa edeltävät työt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 02 Laitoksen alajotyt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 03 Viivytetyn käytöstäpoiston ja "hautauksen" työt	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 04 Valvotun alueen purkaminen	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 05 Jätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus	12,00	0	2,00	14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 06 Infrastruktuuri ja muu tuki	2 278,00	2	231,00	2 509,00	0,24	0,28	0,02	0,03	0,30			
ISDC 07 Tavonomainen purkaminen	125 748,00	87	12 437,00	138 185,00	13,52	15,23	1,34	1,51	16,74			
ISDC 08 Projektin hallinta, insinööri- ja tukevat työt	14 856,00	10	3 721,00	18 577,00	1,60	1,80	0,40	0,45	2,25			
ISDC 09 Turkkimus ja kehitys (T&K)	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 10 Polttoaineen ja ydinmateriaalin hallinta	-	0	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ISDC 11 Muut työt ja kustannukset	1 900,00	1	546,00	2 446,00	0,20	0,23	0,06	0,07	0,30			
<b>Yht</b>	<b>144 794,00</b>	<b>100</b>	<b>16 937,00</b>	<b>161 731,00</b>	<b>15,57</b>	<b>17,54</b>	<b>1,82</b>	<b>2,07</b>	<b>19,59</b>			

Laitosyksikkö 0:n lukeutuvat apurakennukset ja muut tilat.

**LIITE 10. Oskarshamnin rakennusten purkamisen arviot laitosyksiköittäin** (Larsson et al. 2013(a), s. 106–107)

<b>O1 purkaminen</b>							
<b>Purkamisen kohteet</b>	<b>Peruskustannukset kSEK 2009</b>	<b>Yleiskustannukset kSEK 2009</b>	<b>Peruskustannukset M€ 2009</b>	<b>Yleiskustannukset M€ 2009</b>	<b>Peruskustannukset M€ 2018</b>	<b>Yleiskustannukset M€ 2018</b>	
Reaktoria ympäröivät radioaktiiviset osat	16 000,00	7 200,00	1,72	0,77	1,94	0,87	
Reaktoria ympäröivät puhtaat osat	18 400,00	8 300,00	1,98	0,89	2,23	1,01	
Reaktorihallin radioaktiiviset osat	2 800,00	900,00	0,30	0,10	0,34	0,11	
Reaktorihallin puhtaat osat	18 900,00	5 700,00	2,03	0,61	2,29	0,69	
Turbiinin radioaktiiviset osat	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	
Turbiinin puhtaat osat	9 100,00	3 200,00	0,98	0,34	1,10	0,39	
Muun valvotun alueen radioaktiiviset osat	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	
Muun valvotun alueen puhtaat osat	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	
Muut rakennukset	32 300,00	13 000,00	3,47	1,40	3,91	1,57	
Maan palautustyöt	6 500,00	2 600,00	0,70	0,28	0,79	0,32	
<b>Yht</b>	<b>104 000,00</b>	<b>40 900,00</b>	<b>11,18</b>	<b>4,40</b>	<b>12,60</b>	<b>4,95</b>	
<b>O2 purkaminen</b>							
<b>Purkamisen kohteet</b>	<b>Peruskustannukset kSEK 2009</b>	<b>Yleiskustannukset kSEK 2009</b>	<b>Peruskustannukset M€ 2009</b>	<b>Yleiskustannukset M€ 2009</b>	<b>Peruskustannukset M€ 2018</b>	<b>Yleiskustannukset M€ 2018</b>	
Reaktoria ympäröivät radioaktiiviset osat	19 900,00	9 000,00	2,14	0,97	2,41	1,09	
Reaktoria ympäröivät puhtaat osat	3 800,00	1 700,00	0,41	0,18	0,46	0,21	
Reaktorihallin radioaktiiviset osat	4 100,00	1 300,00	0,44	0,14	0,50	0,16	
Reaktorihallin puhtaat osat	8 000,00	2 400,00	0,86	0,26	0,97	0,29	
Turbiinin radioaktiiviset osat	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	
Turbiinin puhtaat osat	34 800,00	12 200,00	3,74	1,31	4,21	1,48	
Muun valvotun alueen radioaktiiviset osat	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	
Muun valvotun alueen puhtaat osat	4 000,00	1 600,00	0,43	0,17	0,48	0,19	
Muut rakennukset	10 500,00	4 200,00	1,13	0,45	1,27	0,51	
Maan palautustyöt	6 500,00	2 600,00	0,70	0,28	0,79	0,32	
<b>Yht</b>	<b>91 600,00</b>	<b>35 000,00</b>	<b>9,85</b>	<b>3,76</b>	<b>11,09</b>	<b>4,24</b>	
<b>O3 purkaminen</b>							
<b>Purkamisen kohteet</b>	<b>Peruskustannukset kSEK 2009</b>	<b>Yleiskustannukset kSEK 2009</b>	<b>Peruskustannukset M€ 2009</b>	<b>Yleiskustannukset M€ 2009</b>	<b>Peruskustannukset M€ 2018</b>	<b>Yleiskustannukset M€ 2018</b>	
Reaktoria ympäröivät radioaktiiviset osat	14 600,00	6 600,00	1,57	0,71	1,77	0,80	
Reaktoria ympäröivät puhtaat osat	80 700,00	36 300,00	8,68	3,90	9,77	4,40	
Reaktorihallin radioaktiiviset osat	5 800,00	1 800,00	0,62	0,19	0,70	0,22	
Reaktorihallin puhtaat osat	3 100,00	1 000,00	0,33	0,11	0,38	0,12	
Turbiinin radioaktiiviset osat	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	
Turbiinin puhtaat osat	44 700,00	15 700,00	4,81	1,69	5,41	1,90	
Muun valvotun alueen radioaktiiviset osat	4 000,00	1 600,00	0,43	0,17	0,48	0,19	
Muun valvotun alueen puhtaat osat	13 700,00	400,00	1,47	0,04	1,66	0,05	
Muut rakennukset	13 700,00	5 500,00	1,47	0,59	1,66	0,67	
Maan palautustyöt	28 600,00	11 500,00	3,08	1,24	3,46	1,39	
<b>Yht</b>	<b>208 900,00</b>	<b>80 400,00</b>	<b>22,46</b>	<b>8,65</b>	<b>25,30</b>	<b>9,74</b>	

## LIITE 11. Forsmarkin rakennusten purkamisen arviot laitossyksiköittäin (Larsson et al. 2013(b) s. 108-109)

<b>F1 purkaminen</b>						
Purkamisen kohteet	Peruskustannukset kSEK 2009	Yleiskustannukset kSEK 2009	Peruskustannukset M€ 2009	Yleiskustannukset M€ 2009	Peruskustannukset M€ 2018	Yleiskustannukset M€ 2018
Reaktoria ympäröivät radioaktiiviset osat	17 200,00	7 800,00	1,85	0,84	2,08	0,95
Reaktoria ympäröivät puhtaat osat	94 800,00	42 700,00	10,19	4,59	11,48	5,17
Reaktorihallin radioaktiiviset osat	3 700,00	1 100,00	0,40	0,12	0,45	0,13
Reaktorihallin puhtaat osat	13 100,00	4 000,00	1,41	0,43	1,59	0,48
Turbiinin radioaktiiviset osat	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Turbiinin puhtaat osat	52 000,00	18 200,00	5,59	1,96	6,30	2,20
Muun valvotun alueen radioaktiiviset osat	2 300,00	900,00	0,25	0,10	0,28	0,11
Muun valvotun alueen puhtaat osat	22 200,00	8 900,00	2,39	0,96	2,69	1,08
Muut rakennukset	11 400,00	4 600,00	1,23	0,49	1,38	0,56
Maan palautustyöt	25 700,00	10 300,00	2,76	1,11	3,11	1,25
Yht	242 400,00	98 500,00	26,06	10,59	29,36	11,93
<b>F2 purkaminen</b>						
Purkamisen kohteet	Peruskustannukset kSEK 2009	Yleiskustannukset kSEK 2009	Peruskustannukset M€ 2009	Yleiskustannukset M€ 2009	Peruskustannukset M€ 2018	Yleiskustannukset M€ 2018
Reaktoria ympäröivät radioaktiiviset osat	15 200,00	6 900,00	1,63	0,74	1,84	0,84
Reaktoria ympäröivät puhtaat osat	87 600,00	39 500,00	9,42	4,25	10,61	4,78
Reaktorihallin radioaktiiviset osat	3 000,00	900,00	0,32	0,10	0,36	0,11
Reaktorihallin puhtaat osat	13 100,00	4 000,00	1,41	0,43	1,59	0,48
Turbiinin radioaktiiviset osat	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Turbiinin puhtaat osat	48 100,00	16 900,00	5,17	1,82	5,83	2,05
Muun valvotun alueen radioaktiiviset osat	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Muun valvotun alueen puhtaat osat	15 400,00	6 200,00	1,66	0,67	1,87	0,75
Muut rakennukset	6 100,00	2 500,00	0,66	0,27	0,74	0,30
Maan palautustyöt	15 100,00	6 100,00	1,62	0,66	1,83	0,74
Yht	203 600,00	83 000,00	21,89	8,92	24,66	10,05
<b>F3 Purkaminen</b>						
Purkamisen kohteet	Peruskustannukset kSEK 2009	Yleiskustannukset kSEK 2009	Peruskustannukset M€ 2009	Yleiskustannukset M€ 2009	Peruskustannukset M€ 2018	Yleiskustannukset M€ 2018
Reaktoria ympäröivät radioaktiiviset osat	6 120,00	2 800,00	0,66	0,30	0,74	0,34
Reaktoria ympäröivät puhtaat osat	76 900,00	34 600,00	8,27	3,72	9,31	4,19
Reaktorihallin radioaktiiviset osat	7 400,00	2 300,00	0,80	0,25	0,90	0,28
Reaktorihallin puhtaat osat	13 500,00	4 100,00	1,45	0,44	1,64	0,50
Turbiinin radioaktiiviset osat	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Turbiinin puhtaat osat	46 800,00	16 400,00	5,03	1,76	5,67	1,99
Muun valvotun alueen radioaktiiviset osat	3 600,00	1 500,00	0,39	0,16	0,44	0,18
Muun valvotun alueen puhtaat osat	8 400,00	3 400,00	0,90	0,37	1,02	0,41
Muut rakennukset	38 400,00	15 400,00	4,13	1,66	4,65	1,87
Maan palautustyöt	57 500,00	23 000,00	6,18	2,47	6,96	2,79
Yht	258 620,00	103 500,00	27,81	11,13	31,32	12,54