

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

**Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus:**

**Yucca Mountain**

**Disposal of Spent Nuclear Fuel:**

**Yucca Mountain**

Työn tarkastaja: Heikki Suikkanen

Työn ohjaaja: Heikki Suikkanen

Lappeenranta 15.5.2020

Petri Hyvärinen

# TIIVISTELMÄ

Opiskelijan nimi: Petri Hyvärinen

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Heikki Suikkanen

Kandidaatintyö 2020

26 sivua, 10 kuvaa, 1 taulukko

Hakusanat: ydinjäte, loppusijoitus, Yhdysvallat, Yucca Mountain, Posiva

Tämän työn tavoitteena on selvittää Yhdysvalloissa sijaitsevaan Yucca Mountainin vuoristoon suunnitellun ydinjätteenloppusijoituslaitoksen toiminta ja laitoskonsepti. Työssä kerrotaan loppusijoituslaitosprojektin historiaa ja nykytilannetta, mutta työssä kuvattava laitoskonsepti pohjautuu vuonna 2008 laadittuun malliin. Työn tavoitteena on myös verrata laitoskonseptia suomalaisen Posivan rakenteilla olevaan loppusijoituslaitokseen ja arvioida laitoksen Yucca Mountainin projektin mahdollista tulevaisuutta.

Loppusijoituslaitoksen sijoittamista Yucca Mountainin vuoristoon alettiin valmistelemaan 1970-luvulla alkaneilla tutkimuksilla Nevadassa. Laitoksen suunnittelu alkoi 2000-luvun alussa ja 2008 julkaistiin viimeisin suunnitelma laitokselle. Suunnitelman mukaan laitoksen on tarkoitus vastaanottaa ja säilöä 70000 tonnia ydinjätettä kaupallisilta energiayhtiöiltä ja Yhdysvaltojen valtion hallinnoimista varastoista. Loppusijoitus suoritettaisiin 200 metrin syvyyteen rakennettavissa tunneleissa ja laitoksen on tarkoitus pystyä valmistelemaan ydinjäte loppusijoitusta varten paikan päällä.

Suomalaisen Posivan käyttämään KBS-3 malliin verrattuna Yucca Mountainin laitos on suunniteltu täyttämään tarve loppusijoittaa suurempi määrä ydinjätettä ja täyttämään ydinjätteenhuoltotarve myös Yhdysvaltojen valtion hallinnoimille ydinjätevarastoille. Yucca Mountainin projektin eteneminen on kuitenkin lakannut poliittisista syistä ja projektin etenemisen kannalta suunnitelmiin ja projektinvetäjiin on tarve tehdä muutoksia.

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>Tiivistelmä</b>	<b>2</b>
<b>Sisällysluettelo</b>	<b>5</b>
<b>Symboli- ja lyhenneluettelo</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2 Laitoskonseptin historia ja nykytilanne</b>	<b>7</b>
2.1 Historia .....	7
2.2 2000-luku ja nykytilanne .....	8
<b>3 Sijainti ja maantieteelliset ominaisuudet</b>	<b>9</b>
<b>4 Säilöttävät jätemuodot ja kapselit</b>	<b>12</b>
4.1 Jätemuodot .....	12
4.2 Ydinjätteen säilöntä .....	13
4.3 Loppusijoituskapseli .....	14
<b>5 Laitoskonsepti</b>	<b>16</b>
5.1 Maanpäälliset rakennukset .....	16
5.1.1 Esikäsittelylaitos .....	17
5.1.2 Kapselointilaitos .....	17
5.1.3 Allasrakennus .....	17
5.1.4 Jäähdytys säilö .....	17
5.2 Maanalainen säilöntä .....	18
5.3 Ydinjätteen kuljetus .....	19
5.4 Laitoksen lopullinen sulkeminen .....	20
<b>6 Yucca Mountainin ja Posivan vertailu</b>	<b>22</b>
6.1 Posiva .....	22
6.2 Vertailu .....	22
<b>7 Johtopäätökset</b>	<b>24</b>
<b>8 Yhteenvedo</b>	<b>26</b>
<b>Lähdeluettelo</b>	<b>27</b>

## **SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO**

### **Lyhenteet**

BRC	Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future
CRCF	Canister receipt and closure facility
DOE	Department Of Energy
DPC	Dual purpose canister
IHF	Initial handling facility
NRC	Nuclear Regulatory Commission
TAD	Transport, aging and disposal
WHF	Wet handling facility

## 1 JOHDANTO

Toisen maailmansodan aikaisen Manhattan-projektin jälkeen useat eri valtiot ovat käyttäneet fissioista vapautuvaa ydinenergiaa energiantuotannossa ja ydinaseissa. Ydinreaktioissa syntyviä pitkäikäisiä fissioituotteita ja aktinideja on kertynyt ydinjätteeksi jo lähes 80 vuotta ilman jätteen lopulliseen käsittelyyn pyrkivää jätteenhuoltoa.

Ydinjäte on ihmisille vaarallista radioaktiivista materiaalia, jota syntyy ydinvoimaloissa. Ydinjäte voidaan jakaa kahteen tyyppiin niiden aktiivisuuden perusteella. Matala- ja keskiaktiivista ydinjätettä syntyy ydinvoimaloiden käytössä, kun huoltomateriaalit ja ydinvoimalaitoksen rakenteet muuttuvat radioaktiivisiksi käytössä. Keskiaktiivista ydinjätettä on myös voimalaitoksen prosessiveden puhdistustesi. Matala- ja keskiaktiivinen ydinjäte säilötään voimalaitoksen läheisyyteen rakennettuun maanalaiseen loppusijoitus laitokseen. (Posiva, 2020)

Korkea-aktiivista ydinjätettä on esimerkiksi käytetty ydinpolttoaine. Käytetty ydinpolttoaine on huomattavasti radioaktiivisempaan, kuin matala- ja keskiaktiivinen ydinjäte ja täten ei voida lopullisesti säilöä samoin. (Posiva, 2020)

Korkea-aktiiviselle ydinjätteelle ei ole kuitenkaan olemassa yhtään valmista pysyvää jätteenhuoltotoimea ja ydinjätettä säilötäänkin yleisimmin ydinvoimaloiden omissa tiloissa. Useat ydinvoimaa hyödyntävät valtiot ovat onneksi kehittämässä keinoja ydinjätteen loppukäsittelyyn.

Ydinjätteen turvallinen loppusijoitus on tarpeellista, sillä ydinjätteen säteilylle altistuminen voi aiheuttaa terveyshaittoja. Ydinjätteestä vapautuva voimakas ionisoiva säteily voi vaurioittaa perimää, tuhota soluja ja aiheuttaa kudolvaurioita. Säteilyannoksella ja sen imeytymisnopeudella on merkitystä terveysvaikutusten vakavuudessa. Korkealle yli sievertin säteilyannokselle nopeasti altistuminen aiheuttaa ihmiselle säteily sairauden, joka voi johtaa kuolemaan. Pienetkin säteilyannokset voivat kasvattaa syöpäriskiä, koska ionisoiva säteily vaurioittaa perimää. (STUK 2017)

Terveyshaitoista johtuen on tarpeellista minimoida normaalista taustasäteilystä eroava altistuminen. Ydinjätettä tämän voimakkaan säteilyn takia ei täten tulisi päästää leviämään ympäristöön. Tästä johtuen matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen lopulliseen säilömiseen on ydinvoimaloissa jo varauduttu ja korkea-aktiivisen ydinjätteen loppusijoitusta suunnitellaan ja valmistellaan ydinvoimaa käyttävissä maissa.

Työn tavoitteena on selvittää korkea-aktiivisen ydinjätteen loppukäsittely Yhdysvaltojen Yucca Mountainiin suunnitellussa loppusijoituslaitoksessa. Työllä on tarkoitus antaa lukijalle tietoa Yhdysvaltojen ydinjätteen nykyisestä tilasta, jätteen loppusijoituksen historiasta ja antaa tietoa mahdollisesta tulevaisuudesta. Työn tavoitteena on myös vertailla Yucca Mountainin laitoksen toimintaa suomalaisen Posivan Olkiluodon loppusijoituslaitokseen.

Työssä esitellään Yhdysvaltain energiaministeriön (United States Department of Energy, DOE) vuonna 2008 jättämän loppusijoituslaitoksenlupa-anomuksen mukainen laitoskonsepti, koska tämä on viimeisin malli loppusijoituslaitoksesta ennen, kuin projektin rahoitus lopetettiin. Työssä kerrotaan myös lyhyesti Yhdysvaltojen tämänhetkisestä ydinjätteensäilönnästä, mutta ydinjätettä säilöviin laitoksiin, kuten Hanfordiin ei tulla perehtymään tässä työssä syvemmin. Työn aiheesta johtuen tullaan työssä korkea-aktiiviseen ydinjätteeseen viittamaan yleisesti ydinjätteenä.

## 2 LAITOSKONSEPTIN HISTORIA JA NYKYTILANNE

Tämän luvun tarkoituksena on selvittää Yucca Mountainin loppusijoituslaitoksen historia ja nykytilanne.

### 2.1 Historia

Yhdysvalloissa Atomic Energy Commission (AEC) aloitti loppusijoitussijainnin etsimisen ydinjätteelle 1950 luvulla. Tällöin AEC:n pyynnöstä National Academy of Sciences (NAS) tutki mahdollisia vaihtoehtoja ja päätyi lopputulokseen, että maanalaiset suolaesiintymät olisivat lupaavia loppusijoituskohteeksi. 1970 loppusijoituskohteeksi alettiin tutkia hylättyä suolakaivosta Lyon, Kansasin lähetyvillä. Tutkimukset kuitenkin päättyivät lopputulokseen, että kaivos ei ole soveltuva ydinjätteen loppusijoitukseen. Kun tämä Lyonin projekti lakkautettiin, edotettiin Yhdysvaltain kongressille tilapäisen maanpäällisen säilön rakentamista, jossa ydinjäte säilyisi vähintään 100 vuotta. Tämä ehdotus sai vastaansa paljon kritiikkiä, sillä sen nähtiin vain poistavan lopullisen sijoituspaikan löytämisen kiireellisyyttä. Tämän kritiikin takia tilapäisen säilöntälaitoksen idea hylättiin. (Rechard et al. 2014, s.9-10)

Lyonin projektin jälkeen perustettu Energy, Research and Development Agency (ERDA) otti tehtäväkseen loppusijoituslaitoksen tutkimuksen. Tavoitteena oli saada loppusijoituslaitos pilotti vaiheeseen vuoteen 1985 mennessä. Vuonna 1976 ehdotettiin ensimmäisen kerran, että ydinjätettä voitaisiin säilöä Nevadassa sijaitsevalla Yhdysvaltain valtion omistamalle ydinasetestialueella. Syitä tähän oli sijainnin etäisyys sivistyksestä, alueen historia ydinasetesteissä ja alueen geologiset ominaisuudet. 1978 Yhdysvaltain energiaministeriö päätti, että loppusijoituslaitos voitaisiin perustaa vain testialueen lounaisosiin, jotta aseiden testaus ei häiriintyisi ja että loppusijoituslaitos voisi toimia itsenäisesti muusta testialueesta. (Rechard et al. 2014, s.10)

Testialueen tutkimuksissa keskityttiin alun perin Calico Hills, Wahmonie ja Yucca Mountain alueisiin näiden eroavien kivikoostumusten takia. Yucca Mountain päätyi päätutkimuskohteeksi 1979, kun vuoristossa oleva vulkaanisen tuffin havaittiin olevan hyvä johtamaan lämpöä ja vakaa rakenteeltaan. Tuffin hyväksi puoleksi nähtiin myös se, että tuffin seassa ei ollut malmiesiintymiä tai muita kaupallisia esiintymiä. (Rechard et al. 2014, s.10)

Vuonna 1983 Yhdysvaltain energiaministeriö pyysi mielipiteitä Nevadan kansalaisilta mahdollisesta loppusijoituslaitoksesta Yucca Mountainilla, saadakseen tarvittavaa tietoa lähialueen asukkaiden ongelmiin loppusijoituslaitosta koskien. Vaikka Nevadan senaattori Cannon ja lainsäädäntöelin olivat 1970-luvun puolella välissä ehdottaneet itse Nevadan testialuetta mahdolliseksi kohteeksi, oli nyt mielipiteet muuttuneet. Senaattori Bryanin mielestä oli epärealistista, että Nevada joutuisi ottamaan taakan loppusijoituksesta vastaan, vaikka osavaltio on jo ennestään ollut edistämässä ydintiedettä. Myös Las

Vegasin läheisyys herätti epäilystä loppusijoituslaitoksen sopivuuteen. Nevadan edustus vastusti Yucca Mountainin valintaa mahdolliseksi loppusijoituskohteeksi 80-luvulta 2000-luvulle saakka, kunnes 2002 presidentti Bush ja Yhdysvaltain kongressi ajoivat päätöksen Yucca Mountainin valinnasta loppuun Nevadan vastustuksesta huolimatta. (Rechard et al. 2014, s.13-15)

## 2.2 2000-luku ja nykytilanne

Vuonna 2008 Yhdysvaltain energiaministeriö julkaisi Yucca Mountainin loppusijoituspaikalle lupa-anomuksen, jota NRC alkoi käsittelemään. Presidentti Obaman hallituksen aikana energiaministeriö energiaministeri Chun johdolla kuitenkin päätti pyrkiä hylkäämään anomuksen vuonna 2010. Energiaministeriö pyysi myös hylkäyksen olemaan laillisesti lopullinen hylkäys, jonka johdosta Yucca Mountainin loppusijoituslaitosta koskevaa anomusta ei voitaisi enää ottaa käsittelyyn ja laitosta ei voitaisi enää perustaa. Anomuksen hylkäystä ei kuitenkaan hyväksytty. Kuitenkin budjettipuutteen takia Yucca Mountainin loppusijoituslaitoksen edistyminen pysähtyi. (Garvey 2012, s.7-19)

Presidentti Obaman käskystä energiaministeriön tuli perustaa ”Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future” niminen asiantuntijavaliokunta selvittämään vaihtoehtoisia loppusijoitustoimia käytetylle ydinpolttoaineelle. Valiokunnan tehtävänä ei kuitenkaan ollut ehdottaa sijainteja loppusijoitusta varten. 2012 valiokunta julkaisi loppuraportin. (Garvey 2012, s.5-7)

Loppuraportissa valiokunta ehdottaa merkittäviä muutoksia loppusijoitussijainnin valinta kriteereihin, loppusijoitusprojektista vastaavaan johtoon ja projektin rahoitukseen. Valinta kriteereissä tärkeäksi valiokunta näki sen, että loppusijoitus tullaan suorittamaan osavaltiojohdon ja laitoksen läheisten paikallisyhteisöjen hyväksymänä. Valiokunta näki myös tarpeelliseksi, että valtionjohto perustaa itsenäisen loppusijoitukseen erikoistuneen organisaation. Tämä uusi organisaatio tulisi olemaan vastuussa kaikesta loppusijoitukseen liittyvästä kuten laitosten rakentamisesta, ylläpidosta, ydinjätteen kuljetuksesta ja ydinjätehuollon tutkimisesta. Rahoitukseen valiokunta ehdotti, että valtionjohto korjaa virheen liittyen valtion ydinjäterahastoon. Tämän rahaston varat ovat käytännössä täysin ydinjätehuollolta pois. Valiokunta päätyi myös lopputulokseen, että maanalainen säilöntä on ainoa tapa lopullisesti säilöä ydinjäte. (BRC 2012, s. vii-xi)

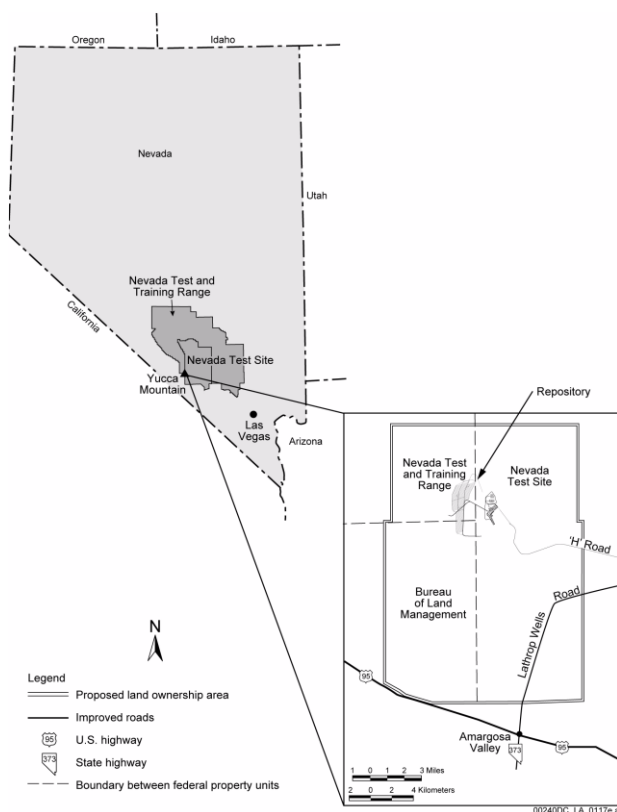
Obaman hallituksen aikana 2009 Yucca Mountainin projektin rahoitus ajettiin alas niin, että vain NRC:n lupa-anomus käsittely pystyi jatkuu. Myös seuraavina vuosina budjetti projektia varten jäi olemattomaksi ja projekti laitettiin käytännössä jäihin. (Garvey 2012, s.3-5) Presidentti Trumpin hallitus pyrki uudelleen aloittamaan Yucca Mountainin projektin edistämisen pyytämällä kongressilta 120 miljoonan dollarin rahoitusta projektille 2018 ja 2019 vuosien budjettiin. Kumpanakin vuonna rahoitusta ei myönnetty. (GOA, 2020) Myös vuoden 2020 budjettiin ei hyväksytty Yucca Mountainin rahoitusta (Martin, 2019).



### 3 SIJAINTI JA MAANTIETEELLISET OMINAISUUDET

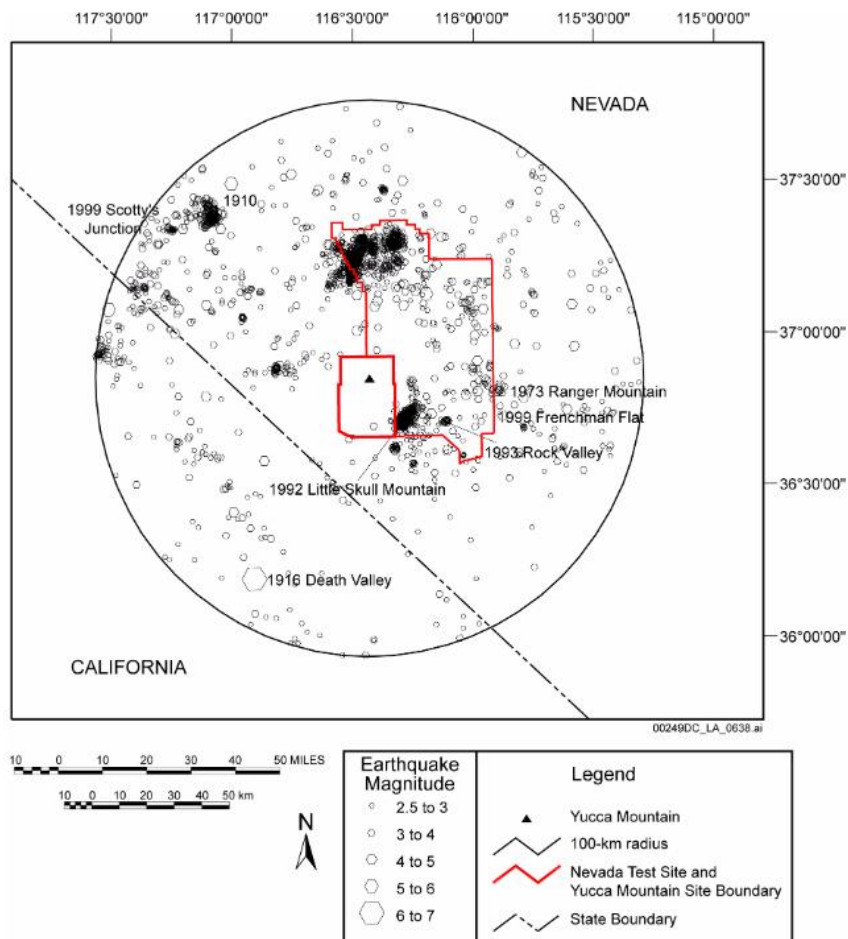
Tässä kappaleessa käsitellään loppusijoituslaitoksen suunniteltu sijainti ja sen maantieteellinen olemus.

Yucca Mountain on etelä-Nevadassa sijaitseva noin 35 km pitkä ja 1400-1500 m korkea vuoristo. Loppusijoituslaitos on suunniteltu rakennettavaksi vuoren itäiselle puolelle. Yucca Mountain sijaitsee noin 130 km luoteeseen Las Vegasista Yhdysvaltojen valtion omistamilla mailla kuvan 1 mukaisesti. (DOE 2008a s.1-2)



**Kuva 1.** Yucca Mountainin sijainti (DOE 2008a s.1-28)

Yucca Mountain ja sen lähiympäristö koostuu pääasiassa tulivuorenpurkauksista syntyneen tuhkan muodostaneesta tuffista. Yucca Mountain sijaitsee tektonisesti aktiivisella alueella ja ympäröivään alueeseen kohdistuu riski maanjäristyksistä. Yucca Mountainista muutaman kymmen kilometriä kaakkoon on hyvin seismisesti aktiivinen alue mutta itse Yucca Mountainin alla ei maanjäristyksiä ole havaittu kuten nähdään kuvassa 2. (DOE 2008a s.1-3, 5-26 - 5-40)



**Kuva 2.** Yucca Mountainin ympäröivän alueen maanjäristyshistoria 1904-1999 (DOE 2008b s.1.1-408)

Yucca Mountainilla keskimääräinen vesisade on 100-250 millimetriä vuodessa, mutta kesällä voi alueella muodostua monsuunimaisia myrskyjä. Myrskyn rankkasateen ansiosta laitokselle voi syntyä tulvimisista. Laitoksen maanalainen osio on suunniteltu niin, että laitos on noin 300 metriä alueen pohjaveden pinnasta. (DOE 2008a s.1-3, 5-40 - 5-59)

Sijainti on todettu turvalliseksi pitkäaikaisesti säilöttävälle ydinjätteelle DOE:n toimesta. Yucca Mountainiin sijoitettavan laitoksen häiriintyminen geologisista prosesseista, kuten maanjäristyksistä ja eroosiosta, on hyvin epätodennäköistä, vaikka alue onkin vulkaanista. Sade määrältään aavikkomainen ympäristö on vähäinen ja miljoonan vuoden aikana keskimääräinen vuotuinen vesisademäärän on arvioitu olevan noin 300 millimetriä. Aavikko ilmastoinen toimesta lähes kaikki sade haihtuu tai virtaa pois alueelta. Jäljelle jäävän veden tulisi kulkeutua usean sadan metrin läpi kiveä päästäkseen kosketuksiin laitoksen omiin suojauksiin. Tämä on ymmärrettävästi hyvin epätodennäköistä. Samalla laitoksen alla sijaitseva vesiallas on eristyksissä muusta vesistöstä ja ei virtaa ympäröiviin jokiin. (DOE 1998, s.10-11)

Laitoksen on todettu olevan myös turvallinen ympärillä asuvalla väestölle 10000 vuotta laitoksen sulkemisen jälkeen. Tällöin ympärillä asuvalle väestölle ei ole nähtävissä mitään normaalista taustasäteilystä poikkeavaa määrää säteilyä. (DOE 1998, s.2-3)

## 4 SÄILÖTTÄVÄT JÄTEMUODOT JA KAPSELIT

Loppusijoituslaitoksen on tarkoitus vastaanottaa yhteensä 70000 tonnia käytettyä ydinpolttoainetta ja radioaktiivijätettä eri lähteistä. 63000 tonnia jätettä on tarkoitus tulla kaupallisista lähteistä ja 7000 tonnia Yhdysvaltain energiaministeriön ja laivaston hallussa olevasta jätteestä. (DOE 2008b s.1.5.1-2)

Luvussa tullaan kertomaan mitä ydinjätettä laitoksella on tarkoitus säilöä, mistä lähteistä ydinjätettä tulee ja minkälainen on suunniteltu loppusijoituskapseli.

### 4.1 Jätemuodot

Kaupallinen käytetty ydinpolttoaine tulee koostumaan kiehutusvesi- ja painevesireaktoriin uraanidioksidia sisältävistä polttoainenipuista. Suurin osa kaupallisesta polttoaineesta tullaan kuljettamaan Yucca Mountainin loppusijoituslaitokselle Transport, Aging and Disposal (TAD) kapseleissa. Jos TAD kapselin käyttö ei ole mahdollista tai polttoainesauva niput ovat vaurioituneita tullaan niput kuljettamaan Yucca Mountainille vaihtoehtoisissa suojakapseleissa. (DOE 2008b s.1.5.1-8)

TAD kapselit ovat 4,7-5,4 metriä korkeita ruostumattomasta teräksestä valmistettuja lieriöitä. Kapselit ovat halkaisijaltaan 1,7 metriä. Yhteen kapseliin on tarkoitus säilöä 21 painevesireaktorin tai 44 kiehutusvesireaktorin polttoainennippua. Kapselin lastattu paino ei saa kuitenkaan ylittää 54,25 tonnia. Ulkopuolisen suojan lisäksi TAD kapselien tulee rajoittaa polttoainennippujen mahdollista kriittisyyttä. Tämä suoritetaan kapseleihin asennettavilla booria sisältävillä teräs levyillä taikka sauvoilla. Kun kapseli suljetaan lopullisesti, tullaan kapseli täyttämään vielä heliumilla. (DOE 2008b, s.1.5.1-13 - 1.5.1-17)

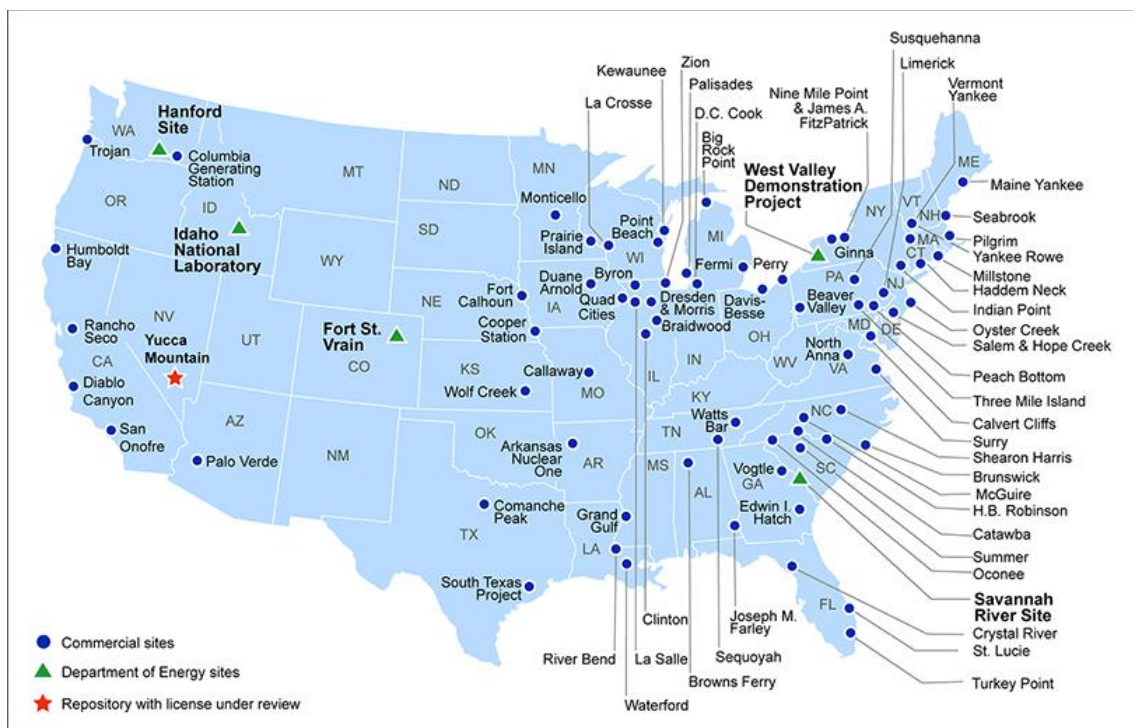
Vaihtoehtoisesti kaupallista käytettyä ydinpolttoainetta voidaan kuljettaa loppusijoituslaitokselle jo käytössä olevissa monitoimikanistereissa (Dual Purpose Canister, DPC). Nykyisin käytössä olevat DPC mallit eivät kuitenkaan sovellu loppusijoitusta varten, joten DPC:hin säilötyt polttoainenniput tullaan siirtämään loppusijoitusta varten TAD kapseleihin. Vaurioituneet polttoaine niput tulee lastata ensin yksitellen omiin kapseleihin ennen TAD kapseliin lastaamista. (DOE 2008b, s.1.5.1-12 - 1.5.1-13)

Loppusijoituslaitos tulee vastaanottamaan myös käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyssä ja ydinasevalmistuksessa syntyneitä korkea-aktiivista ydinjätettä. Jätettä vastaanotetaan Hanforin ja Savannah Riverin ydinjäte käsittely laitoksista, Idaho National laboratoriosta ja West Valleyn ydinjätēsäilöstä. Suurin osa jätteestä tullaan vastaanottamaan Hanfordin laitoksesta. Jäte tullaan lasittamaan ja sula lasi pakkaamaan kanisteriin. Hanfordin kansiteri on noin 4,6 metriä korkea ja halkaisijaltaan noin 0,6 metriä. Muiden sijaintien kanisterit ovat vain noin 3 metriä korkeita. (DOE 2008b, 1.5.1-29 – 1.5.1-33)

Koska Yhdysvaltojen laivastolla on käytössä ydinvoimalla toimivia sukellusveneitä ja lentotukialuksia, on loppusijoituslaitokseen suunniteltu säilöttävän 65 tonnia ydinjätettä näistä aluksista. Ydinjäte säilötään ulkohalkaisijaltaan 1,7 metriä olevaan sylinteriin. Riippuen aluksen reaktorikokoonpanosta sylinteri on joko 4,7 tai 5,3 metriä korkea. (DOE 2008b, 1.5.1-64 – 1.5.1-66)

## 4.2 Ydinjätteen säilöntä

Ydinjätettä säilytetään vielä tällä hetkellä Yhdysvalloissa ydinvoimaloissa ja energiaministeriön operoimissa tutkimuslaitoksissa kuvan 3 sijainneissa. Kaupallista ydinjätettä säilötään 63 käytössä olevan ydinvoimalan ja 9 suljetun ydinvoimalan tiloissa. Ydinvoimaloiden lisäksi ydinjätettä säilötään kuvan 3 kolmioiden kuvaamissa energiaministeriön laitoksissa. Lisäksi ydinjätettä on säilöttyä Illinoisin osavaltioon rakennetussa jätteen jälleenkäsittelylaitoksessa. Laitosta ei kuitenkaan koskaan otettu käyttöön ja laitoksen vastaanottama ydinjäte on jätetty säilöön laitokseen. (CRS, 2012, s.17)



Source: Department of Energy | GAO-17-174

**Kuva 3.** Yhdysvaltojen nykyiset ydinjätteen säilöntäpaikat. (GAO,2020)

Kaupallista ydinjätettä oli Yhdysvalloissa vuonna 2017 lopussa noin 80000 tonnia (NWTRB, 2017, s.3). Tämä kaupallinen jäte on säilöttyä ydinvoimaloiden jäädytysaltaissa taikka betonista valmistetuissa kapsleissa. Jätteestä kuitenkin vain 25 % on säilöttyä näihin betoniin kuiva säilöihin. Eniten ydinjätettä on säilöttyä Illinoisin, Pennsylvanian, Etelä- ja Pohjois-Carolinan ja New Yorkin osavaltioissa, joiden

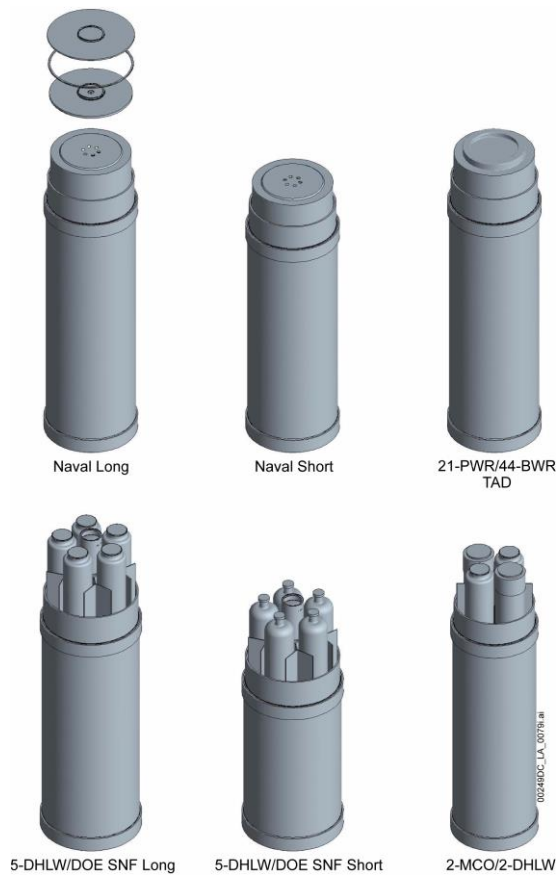
säilömän ydinjätteen osuus on noin 40% kaikesta Yhdysvaltojen ydinjätteestä. (CRS, 2012, s.17-25)

**Taulukko 1.** Kaupallisen ydinjätteen määrä osavaltioittain (2011) ja DOE:n hallinnoima jäte (2017)

	Kaupallista ydinjätettä (t)
Illinois	8961
Pennsylvania	6065
South Carolina	4015
New York	3577
North Carolina	3562
Muut osavaltiot	36653
	DOE ydinjätettä (t)
Hanford	2130
Idaho National Laboratory	325
Savannah River Valley	30
Fort St. Vrain	15

### 4.3 Loppusijoituskapseli

Suunniteltu loppusijoitus kapseli on kaksikerroksinen sylinteri, jota voidaan käyttää kaikkien edellisessä kappaleessa mainittujen jätemuotojen säilömiseen. Kapseli koostuu ruostumattomasta teräksestä valmistetusta sisäisestä sylinteristä, jonka sisälle eri käytetty ydinpolttoaine asetetaan TAD kapselissa ja muu ydinjäte omissa kokoonpanoissaan, ja ulkoisesta Alloy 22:sta valmistetusta korroosiolta suojaavasta ulkosylinteristä. Loppusijoituskapseli on suunniteltu toimimaan kuudessa eri asetelmassa riippuen jätemuodosta. Eri asetelmat ovat esitettynä kuvassa 4. (DOE 2008b, 1.5.2-1 – 1.5.2-5)



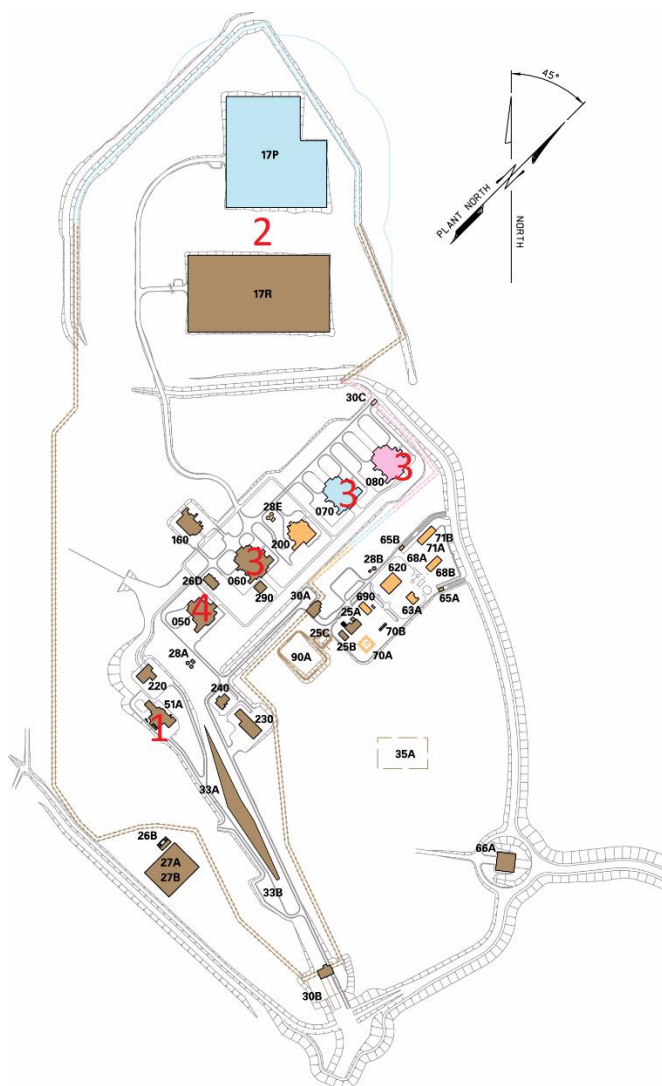
**Kuva 4.** Loppusijoituskapseli ilman kantta ja sen asetelmat eri jätemuodoille. Ylävasemmalta alkaen kaksi ensimmäistä ovat laivaston käytetylle polttoaineelle, seuraava kaupalliselle ja alarivissä ovat energiaministeriön hallussa olevalle jätteelle. (DOE 2008b, s.1.5.2-60)

## 5 LAITOSKONSEPTI

Luvussa tullaan selvittämään loppusijoituslaitoksen tärkeimmät rakenteet ja miten laitos tulee toimimaan.

### 5.1 Maanpäälliset rakennukset

Tässä luvussa tullaan esittelemään loppusijoituslaitoksen oleelliset maanpäälliset rakennukset ja niiden tehtävät. Laitoksen tärkeimpien maanpäällisten rakennusten sijainnit ovat esitetty kuvassa 5.



**Kuva 5.** Loppusijoituslaitoksen maanpäälliset rakennukset, jossa numeroituna punaisella 1: Esikäsitteilylaitos, 2: Jäähdytyskylä, 3: Kapselointilaitos, 4: Allasrakennus (DOE 2008a, s.2-15)



### 5.1.1 Esikäsitteilylaitos

Esikäsitteilylaitos (initial handling facility, IHF) vastaanottaa laitokselle saapuvaa säilytyskelpoista ydinjätettä. IHF on laitoksen ainoa rakennus, jossa käsitellään Yhdysvaltain laivaston käytettyä ydinpolttoainetta. IHF:n tehtävänä on pakata TAD tai laivaston kapseleihin pakattu ydinjäte loppusijoituskapseliin. Pakkauksen jälkeen loppusijoituskapseli tullaan tarkistamaan vuodoilta ja varmistetaan kapselin kelpoisuus sijoitukseen. IHF:n tehtävänä on myös puhdistaa ja tarkistaa kuljetuskapselit ennen niiden takaisin lähettämistä. IHF on täten myös oleellinen osa laitoksen radioaktiivista turvallisuutta, koska IHF vastaa omalta osaltaan siitä, että radioaktiivista materiaalia ja säteilyä ei pääse kulkeutumaan tai vapautumaan ympäristöön tai henkilöstöön. (DOE 2008b, s.1.2.3-1 – 1.2.3-4)

IHF sijaitsee laitoksen etelässä maanalaiseen säilönnän pääsisäänkäynnistä. IHF on sijoitettu niin, että tulvimisen vaikutukset minimoidaan ja maanjäristyksen sattuessa IHF on erillään muista laitoksen rakennuksista. IHF koostuu itse käsitteilyrakennuksesta ja lastausrakennuksesta. Kummatkin rakennukset ovat vahvistettua betonia ja niiden perustukset ovat erillään toisistaan maanjäristysten varalta. (DOE 2008b, s.1.2.3-1 – 1.2.3-4)

### 5.1.2 Kapselointilaitos

Kapselointilaitos (canister receipt and closure facility, CRCF) mahdollistaa laitoksella monipuolisemman käsittelyn eri polttoainekapseleilla kuin IHF. CRCF:iä on suunniteltu rakennettavaksi laitokselle kolme kappaletta. CRCF:n tehtävinä ovat vastaanottaa ydinjätettä, valmistella se säilöntää varten ja pakata jäte loppusijoitus kapseleihin. Tehtävänä on myös jäähtymistä vaativien polttoainekapselien kuljettaminen säilytykseen. Kuten IHF CRCF vastaa myös laitoksen radiologisesta turvallisuudesta. CRCF rakennukset vastaavat suurimmasta osasta loppusijoitukseen kulkeutuvasta ydinpolttoaineesta. (DOE 2008b, s.1.2.1-5)

### 5.1.3 Allasrakennus

Allasrakennus (wet handling facility, WHF) vastaanottaa laitoksella kapseloimattomia polttoainekokoonpanoja ja mahdollistaa niiden pakkaamisen loppusijoitusta varten. Tämä onnistuu rakennuksessa sijaitsevan vesialtaan ansiosta. Jäähdytystä vaativat kapseloimattomat polttoainekokoonpanot voidaan kapseloida WHF:ssä ja kuljettaa jäähdytykseen. Rakennuksessa on myös tarpeelliset työvälineet rikkoutuneitten kapselien ja polttoainepipujen korjaamiseen tai vaihtamiseen. (DOE 2008b, s.1.2.1-6)

### 5.1.4 Jäähdytys säilö

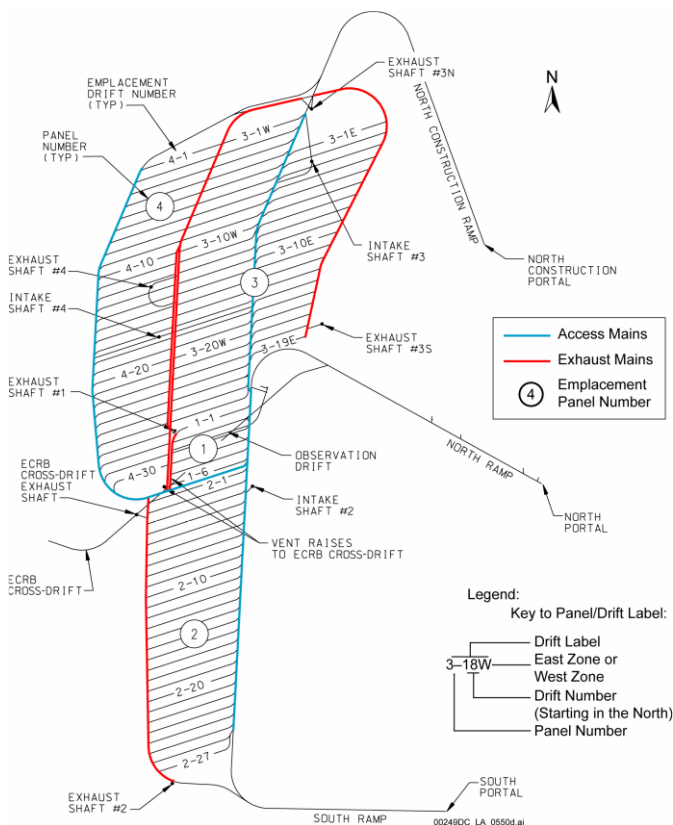
Jäähdytys säilö toimii laitoksella ydinjätteen tilapäisenä säilönä ennen loppusijoitusta. Ydinjäte kuljetetaan säilöön kapseleita suojaavan päällyskapselin sisällä. Kapselit asetetaan, joko pystyyn taikka poikittain säilöntäpaikasta riippuen. Aging Facility on

suunniteltu säilömään 2500 kapselia, joka vastaisi suurimmillaan 21,000 tonnia käytettyä ydinpolttoainetta. Säilö toimii samalla kuivana jäädytyspaikkana alempi lämpöiselle ydinjätteelle. (DOE 2008b, s.1.2.1-7)

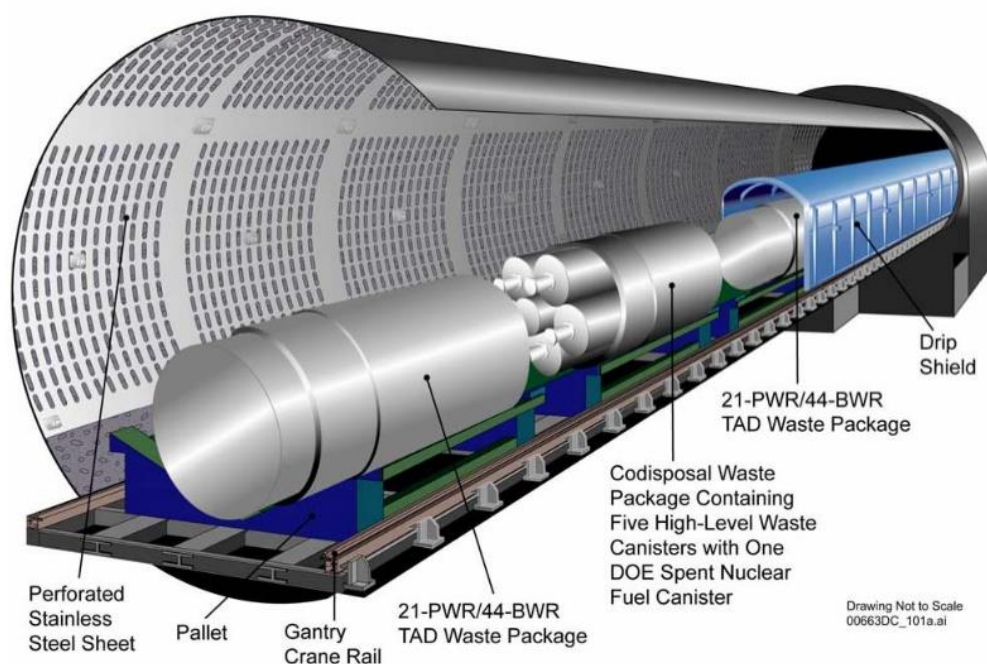
## 5.2 Maanalainen säilöntä

Loppusijoituslaitoksen maanalaisiin osiin on tarkoitus sijoittaa 70000 tonnia radioaktiivista jätettä yhteensä 11000 jätekapselissa. Laitoksen maanalaisen toiminnan on tarkoitus kestää 100 vuotta ensimmäisistä loppusijoitetuista jätekapseleista. Tänä aikana on tarkoitus 24 vuoden aikana kasvattaa maanalaisen säilönnän kapasiteetti suunniteltuun 70000 tonniin ja vastaanottaa jätettä 50 vuoden ajan. (DOE 2008b, s.1.3.1-1)

Jätekapselit ovat tarkoitus sijoittaa kuvan 6 mukaisesti yhdensuuntaisiin idästä länteen kulkeviin tunneleihin. Tunnelit ovat tarkoitus rakentaa yli 200 metrin syvyyteen 81 metrin välein. Tunnelit ovat halkaisijaltaan 5,5 metriä ja keskimääräisesti 604 metriä pitkiä. Yhteensä säilöntää varten tunneleita tullaan kaivamaan noin 65 kilometriä. Tunnelien seinät tullaan vahvistamaan teräspaneelilla, jotka suojaavat kapseleita mahdollisilta kalliosta irtoavilta kiviltä. Loppusijoitus tunnelissa on esitetty kuvassa 7. (DOE 2008b, s.1.3.1-1 - 1.3.1-5)



Kuva 6. Loppusijoituslaitoksen maanalaiset tunnelit (DOE 2008b s.1.3.1-49)



**Kuva 7.** Loppusijoitus tunnelissa. (DOE 2008c, s.13)

Säilöttävät jätekapselit kuljetetaan maanpäällisiltä käsittelyrakennuksilta tunneleihin raiteilla kauko-ohjattavalla ajoneuvolla. Kapselit asetetaan vaakasuoraan 10 senttimerin välein kapseleita tukeville paleteille. Loppusijoitettavista kapseleista vapautuva lämpöteho tulee olla alle 18 kW ja seitsemän jonossa olevan kapselien yhteinen lämpöteho pituutta kohden tulee olla alle 2 kW/m. (DOE 2008b, s.1.3.1-13 – 1.3.1-17)

### 5.3 Ydinjätteen kuljetus

Loppusijoituslaitoksen vuoden 2008 lupahakemus kertoo teknisesti kaiken tarpeellisen tiedon laitoksen toiminnasta. Kuitenkin hakemus ei syvenny siihen, miten ydinjätte tulaisiin kuljettamaan laitokselle. Hakemuksessa kerrotaan vain rakennettavan tarpeellinen infrastruktuuri rautatieliikenteelle. Tästä johtuen tässä kappaleessa käydään läpi, miten kuljetus tullaan mahdollisesti suorittamaan.

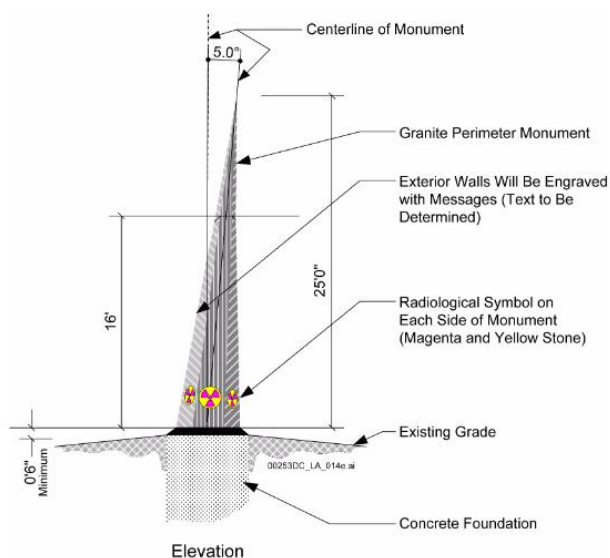
Itse kuljetusta ennen ydinjätteen tulee olla kuivattua ja pakattuna kuljetusta varten NRC:n hyväksymiin kapseleihin. Yksi näistä kapseleista on aiemmin työssä esitelty TAD. Yhteensä loppusijoituksen kuljetukseen sopivia suuria hyväksytyjä kuljetuskapseleita on noin 10, mutta yksikään kapselimalli ei ole vielä täysin valmis jätteenkuljetukseen. Kuljetukseen Yhdysvaltain energia ministeriö on todennut sopiviksi rautatie-, kuorma-auto- ja lauttaliikenteen. Loppusijoituslaitosta varten oli tarkoitus rakentaa rautateitä Nevadan osavaltioon noin 3 miljardilla dollarilla (DOE 2008c, s.27-28). Kuorma-autoilla ja lautoilla on aikaisemminkin jo kuljetettu pieniä määriä ydinjätettä. Kuitenkin maanlaajuiseen kuljetukseen energiaministeriö näkee käytännöllisimpänä vaihtoehtona rautatieliikenteen. (NWTRB, 2019, s.12-16)

Radioaktiivisen materiaalin kuljetusta varten Yhdysvaltain energiaministeriö on kehittämässä ”Atlas” junavaunua. Vaunun on tarkoitus pystyä kuljettamaan 17 eri kokoista kuljetuskapselia. Vaunulla voitaisiin täten kuljettaa kaikkea radioaktiivista materiaalia polttoaineesta ydinjätteeseen. Vaunu pohjautuu jo Yhdysvaltain laivaston käyttämään vaunuun, joka pystyy kuljettamaan vain yhden tyyppistä kapselia. (DOE 2019, s.25)

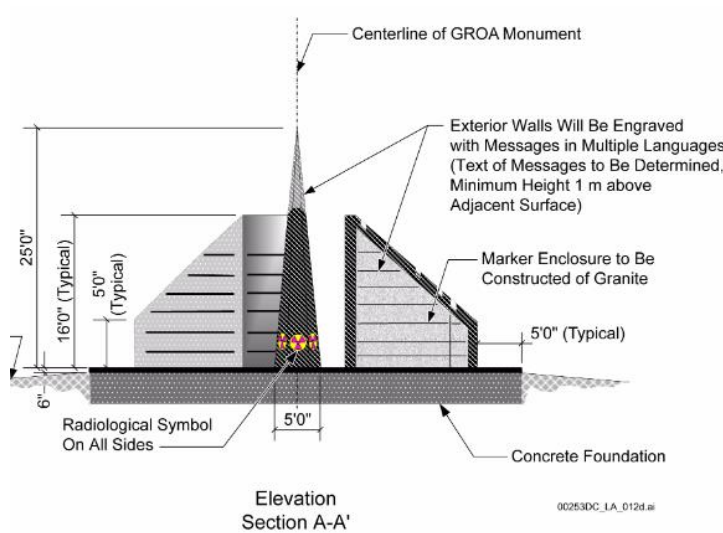
## 5.4 Laitoksen lopullinen sulkeminen

50 vuoden kuluttua laitoksen avaamisesta laitoksen on tarkoitus sulkeutua lopullisesti. Tällöin laitoksen maanpäälliset rakennukset tullaan purkamaan ja puhdistamaan radioaktiivisuudesta. Samalla loppusijoitustunneleihin tullaan asentamaan kuvan 7 mukaiset suojat (drip shield). Näillä suojataan kapselia sulkemisen jälkeen mahdollisesti putoavalta vedeltä ja kiviltä. Samalla maanalaiset ilmastointi kanavat tullaan purkamaan ja sisäänpääsy tunnelit tullaan täyttämään maa-aineksella. (DOE 2008a, s.1-9 – 1-10, 1-13)

Laitoksen sulkemisen jälkeen on myös tarkoitus asettaa laitoksen läheisyyteen maanpäällisiä merkkejä, joilla laitoksen olemassaolosta kerrotaan. Merkkejä asetetaan kahden tyyppisiä. Kuvassa 8 nähdään laitoksen raja-alueille sijoitettava merkki. Merkit valmistetaan graniitista ja asetetaan niin, että se on kallellaan laitoksen raja-alueen sisälle. Toinen merkki kuvan 9 näköinen. Näitä merkkejä on tarkoitus rakentaa 2 itse loppusijoituslaitoksen päälle. Kaikkiin merkkeihin tullaan kaivertamaan varoituksia ja tietoa säilytystä jätteestä. Viestit tullaan kirjoittamaan englanniksi, ranskaksi, espanjaksi, kiinaksi, venäjäksi, arabiaksi ja paikallisella intiaani kielellä. (DOE 2008b, s.5.8-10 – 5.8-11)



**Kuva 8.** Loppusijoituslaitoksen rajamerkki. (DOE 2008b, s.5.8-18)



**Kuva 9.** Laitosmerkki. (DOE 2008b. s.5.8-21)

DOE:n suunnitelma varottavien maamerkkien asettamisesta laitoksen sulun jälkeen on mielenkiintoinen, koska laitoksen sijainti ei sitä vaatisi. Koska laitos sijaitsee aavikon keskellä olevassa vuoristossa, jossa ei ole löydetty kaupallisia malmeja tai muita materiaaleja, voisi olettaa laitoksen olevan turvallinen purun jälkeen ilman mitään maanpäällisiä merkkejä. Kuitenkin ydinjätteestä syntyvä lämpö voidaan mahdollisesti havaita ja täten herättää kiinnostuksen tutkia. Tällöin on täysin perusteltua toimia varman päälle ja rakentaa varoituksia.

## 6 YUCCA MOUNTAININ JA POSIVAN VERTAILU

Tämän luvun tarkoituksena on selvittää merkittävimmät erot Yhdysvaltain Yucca Mountainiin suunnitellun loppusijoituslaitoksen ja Suomen Posivan suunnitteleman laitoksen välillä.

### 6.1 Posiva

Posiva on Teollisuuden Voiman ja Fortumin omistama ydinjätehuoltoyritys, joka perustettiin vuonna 1995. Posiva valitsi loppusijoituspaikaksi vuonna 1999 Eurajoen kunnassa sijaitsevan Olkiluodon saari, jossa sijaitsee Teollisuuden Voiman omistama ydinvoimala. Vuonna 2000 Eurajoen kuntavaltuusto hyväksyi laitoksen sijoittamisen ja 2001 eduskunta vahvisti valtioneuvoston myönteisen kannan. (Posiva, 2020)

Loppusijoituslaitos on suunniteltu säilyttämään 5500 tonnia uraania 2800 loppusijoituskapselissa. Ydinjäte säilötään 400-450 metrin syvyyteen loppusijoitustunneleihin. Tunneleiden yhteispituudeksi on suunniteltu 42 kilometriä. Loppusijoitus suoritetaan Posivaa vastaavan ruotsalaisen yrityksen SKB:n KBS-3-konseptin mukaisesti. Loppusijoituskapselit säilötään pääasiassa 6-8 metriä syviin pystysuoriin reikiin. Reiät täytetään bentoniitilla, jonka jälkeen tunneli reiän päältä täytetään savella ja bentoniitilla. (Posiva, 2020)

Laitokseen tullaan sijoittamaan Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimaloiden käytettyä ydinpolttoainetta. Säilöttävät polttoaineniput tullaan asettamaan kuvan 10 mukaisiin kapseleihin. Kapselit koostuvat sisäisestä pallografiittirautaisesta sylinteristä ja kuparisesta korroosiolta suojaavalta ulkokuorelta. Kapseleita on kolme eri kokoa vastaamaan käytössä olevia reaktorityyppejä. (Posiva, 2020)



Kuva 10. Posivan loppusijoituskapseli. (Posiva, 2020)

### 6.2 Vertailu

Laitokset eroavat alkuunsa niiden omistuksessa. Yhdysvaltain laitosprojekti on tällä hetkellä Yhdysvaltain energiaministeriön alaisuudessa ja laitosprojekti on 2010-luvulla ollut jäissä. Suomen yksityisomisteinen laitos saatiin pilotti vaiheeseen vajaassa 20

vuodessa Posivan perustamisesta. On myös hyvä huomioida, että Posiva on yksityinen yhtiö ja täten maksaa itse omat kustannuksensa, kun taas Yhdysvaltain energiaministeriö on riippuvainen kongressin hyväksymästä budjetista.

Laitosten kustannukset ovat myös täysin eri ulottuvuuksissa. Posivan kustannukseksi on arvioitu noin 3,5 miljardia euroa (Posiva 2016, s.6). Yucca Mountainin kustannusarvio vuoden 2008 mallin laitoksen eliniälle oli noin 64,7 miljardia dollaria. Yucca Mountain projektin laajuutta kuvaa myös se, että vuoteen 2008 mennessä Yucca Mountainin laitoksen tutkimiseen ja suunnitteluun oli käytetty jo noin 10 miljardia dollaria (DOE 2008c, s.16-33)

Eroavaisuutta löytyy myös tietenkin siinä, että Yhdysvaltojen loppusijoituslaitoksen on tarkoitus vastaanottaa yli kymmenkertainen määrä ydinjätettä useammasta lähteestä ja useammassa muodossa. Tästä johtuen loppusijoituskapselit eroavat kokoonpanoltaan. Perusrakenteeltaan kapselit koostuvat kuitenkin kummatkin sisäsynteristä ja ulkoisesta korroosiolta suojaavalta sylinteristä.

Merkittävin ero kuitenkin löytyy loppusijoitus menetelmästä. Yucca Mountainin laitokseen on tarkoitus säilöä ydinjätettä loppusijoitustunneleihin vaakatasoon kiskoille. Tunneleita ei tulla täyttämään kuten Posivan mallissa ja tunnelit ovat lähempänä maanpintaa. Koska Yucca Mountainin laitoksen tunnelit tullaan vain vahvistamaan kivenputoamisilta, on oletettavasti loppusijoituskapselien rikkoutumisessa suurempi riski Yucca Mountainissa, kuin Posivan KBS-3-konseptilla. Kuitenkin on hyvä huomioida laitosten sijainti, sillä keskellä aavikkoa oleva laitos onnettomuuden sattuessa ei aiheuta niin suurta vahinkoa, kuin kymmenen kilometrin päässä kaupungista oleva laitos.

Sijaintiin liittyen laitosten sijaintien geologiset ominaisuudet ovat erilaisia. Yucca Mountainin vulkaaninen tuffi eroaa suomalaisesta peruskalliosta, mutta säteilyä estäviltä ominaisuuksiltaan kumpikin toimii samoin. Geologisesti laitokset eroavat merkittävästi siinä, että Posiva sijaitsee Itämeren läheisyydessä. Koska Posivan laitos sijaitsee Yucca Mountainista poiketen suuren vesistön lähellä, on Posivan laitoksella suurempi riski saastuttaa onnettomuuden satuttua laaja alue. Samoin vesistön läheisyys luo Posivalle suuremman tulva riskin.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Yucca Mountainin loppusijoituslaitos on suurelle mittakaavalle suunniteltu loppusijoituslaitos. Laitos voi vastaanottaa usean maanpäällisen valmistelulaitoksensa toimesta useiden eri toimittajien eri muotoisia ydinjätteitä ja pakkaamaan ne sopiviin loppusijoituskapseliin. Loppusijoitus suoritetaan sijoittamalla useat loppusijoituskapselit vaakasuoraan paletille maanalaisiin tunneleihin. Tämä mahdollistaa suuren ydinjättemäärän sijoittamisen tiiviiseen tilaan, mutta tekee tarpeelliseksi ydinjätteestä vapautuvan lämmön säätelyn. Lämpöä tulee säädellä, jotta säilötty ydinjäte ei sulaa kapselistaan ulos. Laitoksen sulkemisen ja purun jälkeen ydinjätteestä tullaan varoittamaan monumenteilla, joka toimii varotoimenä vähintäänkin lähitulevaisuuteen laitoksen sulkeuduttua.

Laitosprojekti on kuitenkin seisoksissa, koska poliittinen vastustus Nevadan osavaltiossa ja Yhdysvaltain hallituksessa presidentti Obaman aikana aiheuttivat projektin rahoituksen poiston. Samalla projektia pyrittiin lakkauttamaan lopullisesti, mutta tässä epäonnistuttiin laillisista syistä johtuen.

Yucca Mountainin tulevaisuus vaikuttaa erittäin epävarmalta tällä hetkellä. Koska projektin rahoitus on ollut käytännössä olematon jo lähes vuosikymmenen, tulee projektin jatkaminen olemaan erittäin haastavaa. Erityisesti jatkamisesta tekee haastavan projektin vahva vastustus Nevadassa, vaikka Nyen piirikunta, johon laitos tultaisiin rakentamaan, on myönteinen projektista (Martin, 2019).

Haastavaksi projektin jatkamisen tekee myös se, että Yhdysvaltain energiaministeriö on vastuussa projektin edistämisestä usean eri viraston kanssa. Kuten BRC:n raportissa kehoitetaankin olisi huomattavasti tehokkaampaa keskittää loppusijoituksen toiminta itsenäiseen toimijaan, kuten lähes kaikissa muissa länsimaisissa ydinvoimaa käyttävissä maissa.

Poliittisesti projekti näyttää olevan jo täysin loppuun käsitelty. Yucca Mountainia on suunniteltu loppusijoituskohteeksi jo lähes 50 vuotta ja laitosta ei ole saatu rakennettua taikka aloitettu rakentamaan. Trump on nyt jo kolmena vuonna pyrkinyt jatkamaan projektia mutta rahoitusta ei ole myönnetty. 2020 vuoden presidentinvaalien kannalta demokraattien ehdokas Joe Biden vastustaa projektia ja vaikka Trump voittaisi vaalit ei projektin tulevaisuus näytä yhtään valoisammalta.

Projektin jatkuvuus tulevaisuudessa ei ole todennäköistä nykyisessä muodossa ja BRC:n (BRC 2012, s. vii-xi) ehdottamien toimien käyttöönotto olisi edullista loppusijoituksen kehityksen kannalta Yhdysvalloissa.

Posivan käyttämään KBS-3 konseptiin verrattuna Yucca Mountainin loppusijoituslaitos on merkittävästi suuremmalle ydinjättemäärälle sopiva laitos. Yucca Mountainin vahvuuksia Posivan laitokseen verrattuna on sen kapasiteetti ja sijainti. Kuitenkin Yucca Mountainia ei mitoitettu vastaanottamaan laitoksen käyttöönoton jälkeen syntyvää



ydinjätettä, jolloin ydinjätettä jäisi yhä tuhansia tonneja tilapäissäilöön. Yucca Mountainin heikkoudet pääpiirteittäin kiteytyvät sen asemaan valtiollisena projektina ja tästä seuraavana riippuvaisuutena politiikkaan.

Yucca Mountainin toiminta loppusijoituslaitoksena ei tule olemaan mahdollista lähitulevaisuudessa. Jos Yhdysvallat haluavat löytää ratkaisun ydinjätteeseen, projektin johtoon tulee tapahtua radikaali muutos. Omalta kannalta näen todennäköisempänä sen, että Yhdysvaltojen hallitus tai ydinvoimaloita pyörittävät yritykset alkavat toimiin vasta, kun kasaantuva ydinjäte muodostuu konkreettiseksi uhaksi ympäröivälle yhteiskunnalle.

## 8 YHTEENVETO

Yucca Mountainin loppusijoituslaitos on ollut tärkeä projekti Yhdysvalloissa jo 50-luvulta lähtien. Ydinenergiaa valjastaneet tahot tajusivat jo hyvin aikaisin tarpeen ydinjätteen lopulliselle säilömiselle. Tästä johtuen loppusijoituspaikan löytämiseen on käytetty Yhdysvalloissa paljon aikaa ja rahaa. 1970-luvulla ensin ehdotettuna Yucca Mountain osoittautui sopivaksi kohteeksi loppusijoitusta varten ja tutkimuksissa edistyi nopeasti. Kuitenkin vuosikymmenen vaihduttua projektin etenemistä alkoi hidastamaan yhdysvaltalainen politiikka. Poliittisista syistä johtuen projektin eteneminen hidastui, mutta lopulta presidentti Bushin johtamana projekti sai vauhtia. Lopulta vuonna 2008 saatiin aikaiseksi toimiva suunnitelma loppusijoituslaitokselle.

Laitoksen tulee vastaanottaa 70000 tonnia ydinjätettä 100 vuoden ajan ennen laitoksen sulkemista. Laitos tulee vastaanottamaan ydinjätteenä kaupallisten ydinvoimaloiden käytettyä polttoainetta ja Yhdysvaltain valtion hallussa olevaa ydinjätettä ja laivaston käytettyä ydinpolttoainetta. Ydinjäte tulnaisiin kuljettamaan laitokseen rautateitse taikka mahdollisesti osittain kuorma-autoilla. DOE suunnittelee ja testaa uutta radioaktiivisten aineiden kuljetukseen tarkoitettua junavaunua. Tällä voitaisiin mahdollisesti kuljettaa ydinjäte loppusijoitukseen. Ydinjäte tullaan sijoittamaan Yucca Mountainissa parin sadan metrin syvyyteen vaakasuoraan kiskoilla oleville paeteille. Sulkemisen jälkeen laitos puretaan loppusijoitukseen valmistavilta osilta ja tunneleihin pääsy estetään. Lopulta laitoksen olemassaolo merkitään ja maanalle säilötystä jätteestä varoitetaan.

Suomalaiseen Posivan rakenteilla olevaan loppusijoituslaitokseen nähden Yucca Mountainin laitos tulisi olemaan paljon suuremman kapasiteetin omaava ja mahdollistaa Yhdysvaltojen suuremman ydinenergiasektorin useamman reaktorikokoonpanon käytetyn ydinpolttoaineen ja Yhdysvaltain valtion hallinnoiman ydinjätteen säilömisestä. Laitoskonseptit omaavat sijainneilleen oleelliset turvatoimet ja on uskottavaa, että ydinjäte säilöttäisiin turvallisesti kauas tulevaisuuteen. Kuitenkin Posivan etuna on yksityisomistus, jonka ansiosta se on välttänyt Yucca Mountainin kokemat poliittiset esteet.

Yucca Mountainin projekti pysähtyi 2010 presidentti Obaman hallinnon toimesta. Projekti meinattiin estää lopullisesti lakitoimin, mutta lopulta projektilta meni vain rahoitus. Tästä seuraavan vuosikymmenen aikana projektin eteneminen on ollut olematonta. Presidentti Trump on pyrkinyt antamaan rahoitusta projektille budjeteissaan, mutta kongressi ei rahoitusta ole hyväksynyt. Yhdysvaltain Presidentin vaalien lähestyessä toivoa projektin edistymisestä mahdollisesti demokraatti johtoisesti ei myöskään ole.

Yucca Mountain on tilanteessa, jossa sen mahdollisen loppusijoituslaitoksen valmistuminen on lähes olematon. Jotta ydinjäte Yhdysvalloissa tulisi energiayhtiöiden ja valtion johtajien tulisi pyrkiä toteuttamaan turvallinen ydinjätteen loppusijoitus ilman valtakunnallista poliittista taakkaa mahdollisesti osavaltioittain tai energiayritysten kesken. Eduksi olisi myös ottaa mallia jo rakenteilla olevista projekteista.

## LÄHDELUETTELO

Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future (BRC), 2012, Report to the Secretary of Energy, Saatavissa:

[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/brc\\_finalreport\\_jan2012.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/brc_finalreport_jan2012.pdf)

Congressional Research Service (CRS), 2012, U.S. Spent Nuclear Fuel Storage, R42513

Department Of Energy (DOE), 1998, Viability Assessment of a Repository at Yucca Mountain Overview, Saatavissa: <https://www.nrc.gov/docs/ML0335/ML033580473.pdf>

Department Of Energy (DOE), 2008a, Yucca Mountain Repository License Application

GENERAL INFORMATION, Saatavissa: <https://www.nrc.gov/waste/hlw-disposal/yucca-lic-app/yucca-lic-app-general-info.html>

Department Of Energy (DOE), 2008b, Yucca Mountain Repository License Application SAFETY ANALYSIS REPORT Saatavissa: <https://www.nrc.gov/waste/hlw-disposal/yucca-lic-app/yucca-lic-app-safety-report.html>

Department Of Energy (DOE), 2008c, Analysis of the Total System Life Cycle Cost of the Civilian Radioactive Waste Management Program Fiscal Year 2007, Saatavissa: <https://www.nrc.gov/docs/ML0927/ML092710177.pdf>

Department Of Energy (DOE), 2019, Design and Prototype Fabrication of Railcars for Transport of High-Level Radioactive Material - Phase 3: Prototype Fabrication and Delivery, DE-NE0008390, Saatavissa: <https://www.energy.gov/ne/downloads/atlas-railcar-phase-3-final-report>

Garvey Todd, 2012, Closing Yucca Mountain: Litigation Associated with Attempts to Abandon the Planned Nuclear Waste Repository, Congressional Research Service, R41675

Martin Garry, 12.9.2019, No money for Yucca Mountain project in Senate budget, Las Vegas Review-Journal, [Viitattu 2.2.2020] Saatavissa:

<https://www.reviewjournal.com/news/politics-and-government/no-money-for-yucca-mountain-project-in-senate-budget-1847189/>

Posiva, 2020, Loppusijoitus, [Verkkokoaineisto] [Viitattu 2.2.2020] Saatavissa:

<http://www.posiva.fi/loppusijoitus#.XjdGhyNS-Uk>

Posiva, 2016, Loppusijoituksen taskutieto, Saatavissa:

[http://www.posiva.fi/tietopankki/julkaisut/esitteet/loppusijoituksen\\_taskutieto.2264.xml#.XmqD1EpS-Uk](http://www.posiva.fi/tietopankki/julkaisut/esitteet/loppusijoituksen_taskutieto.2264.xml#.XmqD1EpS-Uk)

Rechard Rob. Cotton Thomas, Voegele Michael, 2014, Site selection and regulatory basis for the Yucca Mountain disposal system for spent nuclear fuel and high-level radioactive waste

Säteilyturvakeskus (STUK), 2017, Säteilyn terveysvaikutukset [Verkkoaineisto] [Viitattu 12.5.2020] Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/sateilyn-terveysvaikutukset>

U.S. Nuclear Waste Technical Review Board (NWTRB), 2017, DOE-Managed Spent Nuclear Fuel, Saatavissa: <https://www.nwtrb.gov/scope/u-s-radioactive-waste>

U.S. Government Accountability Office (GAO), 2020, Disposal of High-Level Nuclear Waste [Verkkoaineisto] [Viitattu 2.2.2020] Saatavissa: [https://www.gao.gov/key\\_issues/disposal\\_of\\_highlevel\\_nuclear\\_waste/issue\\_summary#t=0](https://www.gao.gov/key_issues/disposal_of_highlevel_nuclear_waste/issue_summary#t=0)