

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

Tuotekehitystekniikka

2020

Teemu Heiskanen

**KAPSELOINTILAITOKSEN
KÄSITTELYKAMMION
JÄRJESTELMIEN
KESKINÄINEN
KÄYTTÖÖNOTTO
LAITOSTASOLLA**

– Posiva Oy

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Konetekniikka | Tuotekehitystekniikka

2020 | 63 sivua, 7 liitesivua

Teemu Heiskanen

KAPSELOINTILAITOKSEN KÄSITTELYKAMMION JÄRJESTELMIEN KESKINÄINEN KÄYTTÖNOTTO LAITOSTASOLLA

- Posiva Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli määritellä Posiva Oy:n kapselointilaitoksen käsittelykammion järjestelmien yksittäinen ja keskinäinen käyttöönotto, ja selvittää niiden vaikutukset toisiin samassa tilassa oleviin laitteisiin. Opinnäytetyössä kuvattiin käsittelykammion järjestelmien käyttöönoton eri vaiheita ja luotiin aikatauluhahmotelma järjestelmien keskinäisestä käyttöönotosta. Työn tarkoituksena oli lisätä tehokkuutta, turvallisuutta, toiminnallisuutta ja luotettavuutta käyttöönottokokeisiin sekä hyödynnettävyyttä käyttöönottoaikatauluihin.

Opinnäytetyön aineistona käytettiin Posiva Oy:n dokumenttikirjastoa, Säteilyturvakeskuksen YVL-ohjeita, Ydinenergialakia, SFS-EN-standardeja, IEC-standardeja sekä aiheeseen liittyviä tutkimusaineistoja ja kirjallisuutta. Työssä käsitellään kapselointilaitosta, ja erityisesti käsittelykammiota, sekä siihen liittyviä järjestelmiä, toimintaprosesseja, vaatimusmääritelmiä, kelpuutuksia, vikasietoisuuskykyä, laadunhallintaa, käyttöönottokokeita ja lopuksi käyttöönottoa laitostasolla. Työssä esitellään myös ydinlaitoksille asetetut lakisääteiset määräykset, ohjeistukset ja suositukset sekä laitoksen luvittaminen ja käyttöönotto aina suunnitteluperusteista lähtien tuotantoon asti.

Työn johtopäätöksenä oli, että käsittelykammion laitteet voidaan saattaa käyttöön halutulla tavalla. Järjestelmät ovat ensiluokkaisia prototyyppisiä, jotka suunnitellaan tuotantokäytön vaatimusmäärittelien pohjalta toimiviksi kokonaisuuksiksi. Posiva on edelläkävijä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisessa. Osaaminen näkyy esimerkiksi dokumentoinnin laadullisessa työnjäljessä ja kattavuudessa sekä toimintatavoissa yleisesti. Opinnäytetyön tuloksena on saatu Posiva Oy:n käyttöön käyttöönottoa koskevat aikatauluhahmotelmat, jotka lisäävät tehokkuutta ja hyödynnettävyyttä käyttöönottokokeissa.

ASIASANAT:

Posiva, kapselointilaitos, käsittelykammio, käyttöönotto, laitostaso

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering | Product Development Technology

2020 | 63 pages, 7 pages in appendices

Teemu Heiskanen

MUTUAL DEPLOYMENT OF ENCAPSULATION PLANT HANDLING CHAMBER SYSTEMS AT THE PLANT LEVEL

- Posiva Oy

The aim of the thesis was to define the individual and mutual deployment of the systems of Posiva Oy's encapsulation plant processing chamber and to investigate their impact on other devices at the same space. The thesis described the different stages of the implementation of the processing chamber's systems and created a schedule outline of the mutual deployment of the systems. The purpose of the work was to increase efficiency, safety, functionality, and reliability for commissioning tests, as well as usability for deployment schedules.

Posiva Oy's document library, STUK's YVL Guidelines, the Nuclear Energy Act, SFS-EN standards, IEC standards, and related research materials and literature were used as material for the thesis. The work covers the encapsulation plant, in particular the processing chamber, as well as related systems, operating processes, requirement definitions, qualifications, fault tolerances, quality management, commissioning tests, and finally commissioning at the plant level. The work also presents the statutory regulations, guidelines, and recommendations imposed on nuclear facilities, as well as the permitting and commissioning of the plant from the design bases to production.

The conclusion of the work was that the equipment in the processing chamber can be made available as desired. The systems are first-class prototypes which are designed to act as functional entities based on production requirement specification. Posiva is a forerunner in the final disposal of spent nuclear fuel. Competence can be seen, for example, in the qualitative work and coverage of documentation and in the operating procedures in general. As a result of the thesis, commissioning timetables have been made available for Posiva Oy, which increase the efficiency and usability in commissioning tests.

KEYWORDS:

Posiva, encapsulation plant, processing chamber, commissioning, plant level

SISÄLTÖ

SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 POSIVA OY	11
3 YDINLAITOSTEN VALVONTA SUOMESSA	12
3.1 Toiminta	12
3.2 Ydinturvallisuusohjeet	12
3.3 Turvallisuusluokat	14
4 YDINJÄTEHUOLTO SUOMESSA	16
5 LOPPUSIJOITUS KÄYTETYLLÄ YDINPOLTTOAINEELLE	18
5.1 Loppusijoituslaitos	18
5.2 Loppusijoitustoiminnan aikataulu	19
5.3 Kapselointilaitos	21
5.3.1 Kapselointilaitoksen toimintaprosessi	22
5.4 Käytetyn ydinpolttoaineen ympäröivä kapseli	25
5.4.1 Kapselien kokoluokka ja valmistus	26
5.5 EKA-projekti	27
5.6 Loppusijoitus Olkiluodossa	28
6 POLTTOAINEEN SIIRTOON LIITTYVÄT LAITTEISTOT	30
6.1 Käytetyn polttoaineen kuljetus loppusijoituslaitokselle	30
6.2 Laitteisto	32
7 YDINLAITOKSEN JÄRJESTELMIEN KELPUUTUKSET	34
7.1 Luvitus	35
7.2 Sähkö- ja automaatiojärjestelmät	36
7.3 Laitosautomaatio	37
7.4 Järjestelmien ja laitteiden vaatimukset	39
7.5 Tuotantoprosessin vaatimukset	40
7.6 Tuotantoon valmistautuminen	41

8 KÄSITTELYKAMMION JÄRJESTELMIEN KESKINÄINEN KÄYTTÖÖNOTTO	
 LAITOSTASOLLA	42
8.1 Käsittelykammio	42
8.1.1 Käsittelykammion järjestelmät	44
8.1.2 Rakenteiden vaatimukset	45
8.1.3 Vikasietoisuusvaatimukset	47
8.2 Toimintaprosessin kuvaaminen	48
8.3 Järjestelmien yksittäinen ja keskinäinen käyttö	50
8.4 Käyttöönotto	50
8.4.1 Testaus ja laadunhallinta	53
8.4.2 Asennusten aikataulu ja järjestys	55
8.4.3 Käyttöönoton aikataulu laitostasolla	56
8.4.4 Yhteistoimintakokeet	57
9 YHTEENVETO	59
LÄHTEET	60

LIITTEET

- Liite 1. Loppusijoituksen prosessikuvaus.
Liite 2. Käsittelykammion pääjärjestelmien asennusaikataulu.
Liite 3. Käsittelykammion muiden merkittävien järjestelmien asennusaikataulu.
Liite 4. Järjestelmien käyttöönottoaikataulu.

KUVAT

Kuva 1. Olkiluoto (Posiva Oy 2011).	11
Kuva 2. Etenemä kaavio ydinjätehuollosta (Posiva Oy 2012b).	17
Kuva 3. Havainnekuva loppusijoituslaitoksesta (Posiva Oy 2019c).	19
Kuva 4. OL1-3:n ja LO1-2:n ydinjätehuollon aikataulu (Posiva Oy 2012c).	20
Kuva 5. Vaiheistukset (Posiva Oy 2020a).	20
Kuva 6. Kapselointilaitoksen poikkileikkaus (Posiva Oy 2020c).	22
Kuva 7. Toimintaprosessia kuvaava prototyyppi (Nikula ym. 2012, 281).	23
Kuva 8. Kitkatappihitsausmenetelmä (Posiva Oy 2020d).	24
Kuva 9. Käytetyn polttoaineen loppusijoituskapseli (Rakennusteollisuus 2019).	26
Kuva 10. Polttoainekapselit (Posiva Oy 2019d).	27
Kuva 11. Tietopaketti kapselointilaitoksesta (Posiva 2020a, 24–40).	28
Kuva 12. Polttoaineen lastaus junaan (Posiva Oy 2020e).	32

Kuva 13. Kapselin tarkistuslaite (Posiva Oy 2014).	32
Kuva 14. Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon prototyyppi. Ajoneuvo koostuu vetoautosta ja puoliperävaunumaisesta kapselin asennuslaitteesta (Posiva Oy 2014).	33
Kuva 15. Kapselin siirtovaunun prototyyppi (Posiva 2013).	33
Kuva 16. Ohjelmiston turvallisuuden integroimis- ja kehityselinkaari (Metropolia 2017).	38
Kuva 17. Malli käsittelykammiosta (Posiva 2020h).	43
Kuva 18. Kuivausasema (Posiva 2020c).	49
Kuva 19. Loppusijoituksen prosessikuvaus.	1
Kuva 20. Päälaiteasennuksien suuruusluokat.	2
Kuva 21. Päälaitteiden asennusten edistymäennuste.	3
Kuva 22. Käsittelykammion muiden merkittävien järjestelmien asennuksien suuruusluokat.	4
Kuva 23. Muiden merkittävien järjestelmien asennusten edistymäennuste.	5
Kuva 24. Hahmotelma pääjärjestelmien käyttöönottamisesta.	6
Kuva 25. Hahmotelma muiden merkittävien järjestelmien käyttöönottamisesta.	7

SANASTO

Ajotunneli	Kallioperässä, loppusijoitusvyvydelle kaltevuudella 1:10 kulkeva ajotie.
Dekontaminointi	Esineen tai materiaalin osittainen tai perusteellinen puhdistaminen radioaktiivisista aineista, joko fyysikaalisella, kemiallisella tai biologisella prosessilla.
Determinismi	Lainalaisuusoppi.
EBW	Elektronisuihkuhitsaus.
EKA-projekti	Posivan antama nimi loppusijoitustoiminnan osaprojektille.
EYT	Ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu.
FAT	Tehdastesti. Dokumentoitu toiminnallinen tarkastusmenetelmä. Testaus osoittaa täyttääkö laitteet sille asetetut vaatimukset.
FOAK	Ensimmäinen laatuaan.
Fortum	Fortum Power & Heat Oy (entinen Imatran Voima).
FSAR	Lopullinen turvallisuusselosteasiakirja käyttöluvhakemuksen liitteeksi.
FSW	Kitkatappihitsaus.
IAEA	Kansainvälinen atomienergiajärjestö.
Kapselointilaitos	Laitos, jossa käytetty ydinpolttoaine asetetaan loppusijoituskapseliin.
Käsittelykammio	Tärkeä osa kapselointilaitosta ja kapselointiprosessia. Käsittelykammiossa suoritetaan polttoaineen siirtoja ja nostoja eri työvaiheiden mukaan.
Käytetty polttoaine	Reaktorista poistettu ydinpolttoaine.
Käytöstäpoisto	Ydinlaitoksen elinkaaren viimeinen vaihe. Rakennukset puretaan ja alue maisemoidaan.
LO1-2	Loviisa 1-2 ydinvoimalaitokset, painevesireaktori -tyyppi.
Loppusijoituskapseli	Käytetyn polttoaineen kupari-valuraudasta tehty tekninen vapautumiseste.
NDT	Rikkomaton aineenkoetus.
OL1-2	Olkiluoto 1-2 ydinvoimalaitokset, kiehutusvesireaktori -tyyppi.
OL3	Olkiluoto 3 ydinvoimalaitos, painevesireaktori tyyppi.

PAP	Valtioneuvoston periaatepäätös ydinlaitoksen rakentamiselle.
Polttoaine-elementti	Koostuu polttoainenipusta ja polttoainekanavasta.
Polttoainenippu	Ryhmä polttoainesauvoja, jotka on koottu yhdeksi rakenteelliseksi kokonaisuudeksi.
Polttoainesauva	Polttoainesauva muodostuu suojakuoresta ja sen sisään asetetuista polttoainetableteista.
PSAR	Alustava turvallisuusseloste. Sisältää tiedot laitoksen yleisistä suunnittelu- ja toteuttamisperiaatteista.
SAT	Hyväksymistestaus. Valmiin tuotteen kriteeristö tarkastetaan, jotta ne noudattavat sopimuksessa olevia määräyksiä.
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB.
STUK	Säteilyturvakeskus. Suomessa toimiva turvallisuusviranomainen, jonka lähtökohtana on säteily- ja ydinturvallisuutta koskeva lainsäädäntö, turvallisuusmääräykset ja ohjeistukset.
Säteilyannos	Kehoon tai väliaineeseen absorboitunut säteilyenergia massayksikköä kohti.
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö.
TVO	Teollisuuden Voima Oyj.
Validaatiotestaus	Prosessi, jonka avulla pystytään todentamaan, että prosessin kohde täyttää kaikki sille asetetut vaatimukset.
Vapautumiseste	Loppusijoitusjärjestelmän tärkeä osa, jonka tarkoitus on estää radionuklidien kulkeutuminen loppusijoitusjärjestelmässä.
Ydinjäte	Ydinjäte, esimerkiksi käytettyä polttoainetta, matala- tai keskiaktiivista jätettä tai muuta ydinainetta, jota ei voida enää hyötykäyttää.
YVA	Ympäristövaikutusten arviointimenetelmä.
YVL	Säteilyturvakeskuksen julkaisema viranomaisohje, joissa kuvataan säteily- ja ydinturvallisuusvalvonnan vaatimustasoja.

1 JOHDANTO

Käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitos on kokonaisuus, jotka muodostuvat toimintaa palvelevista maanpäällisistä rakennuksista ja rakennelmista sekä maanalaisista loppusijoitustiloista. Tässä työssä tarkastellaan laajemmin maanpäällä sijaitsevaa kapselointilaitosta, ja erityisesti käsittelykammiota sekä siihen liittyviä järjestelmiä, toimintaprosesseja, vikasietoisuuskykyä, laadunhallintaa ja käyttöönottoa laitostasolla.

Ydinenergialain ja ministeriön päätösten mukaisesti kaikki Suomessa syntyvä radioaktiivinen jäte tulee loppusijoittaa Suomessa (Ydinenergialaki 1987/990, 2:6.1). Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalaitoksilla sijaitsevat ja tulevaisuudessa Loviisa 1-2:n ja Olkiluoto 1-, 2- ja 3-laitosyksiköiltä kertyvä käytetty ydinpolttoaine loppusijoitetaan Suomen kallio-perään Posivan toimesta Olkiluodossa (Posiva Oy 2019a).

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittaminen alkaa 2020-luvulla ja suunniteltu kokonaiskesto on nykyisten arvioiden mukaan noin 100 vuotta. Yksi merkittävimmistä toiminnoista on kapselointilaitoksen käsittelykammio ja siihen liittyvät järjestelmät sekä laitteet. Järjestelmien laitostason käyttöönotto ja sen toimivuuden varmistaminen ovat kriittisessä roolissa kapselointiprosessin ja pitkäaikaisturvallisuuden tärkeyden vuoksi. Posiva osoittaa käyttöönoton, koekäyttöjen ja yhteistoimintakokeiden aikana Säteilyturvakeskukselle, että ohjeistukset, organisaatio ja menettelytavat tuottavat vaatimusmäärittelynmukaista lopputuotetta. Valmius käyttöluvan jälkeisiin tuotantovaiheisiin pitää myös osoittaa Säteilyturvakeskukselle. (Posiva 2019a.)

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda aikatauluhahmotelma kapselointilaitoksen käsittelykammioon liittyvistä järjestelmistä ja niiden keskinäisestä käyttöönotosta. Työssä käsitellään käsittelykammiota laajemmin, samalla lisäten tietoutta ydinvoimaan liittyvistä asioista ja loppusijoittamisen tärkeydestä. Käsittelykammiota käsitellään sekä yleisesti että yksityiskohtaisemmin. Työssä tarkastellaan yksityiskohtaisemmin käsittelykammion järjestelmiä. Käsittelykammioista tarkastellaan laajemmin järjestelmävaatimuksia ja suunnitteperusteita, vikasietoisuusvaatimuksia, toimintaprosessia, järjestelmien yksittäistä ja keskinäistä käyttöä, keskinäiseen käyttöön liittyviä prosessivaatimuksia sekä lopuksi käyttöönottoa ja sen osa-alueita.

Opinnäytetyössä kuvataan käsittelykammion järjestelmien eri vaiheita ja luodaan aikatauluhahmotelma järjestelmien keskinäisestä käyttöönotosta. Käsittelykammion keskinäisen käyttöönoton ja asennuksien aikatauluhahmotelmissa jätettiin inhimillisiä tekijöitä pois laskelmista. Näitä ovat esimerkiksi mekaanisten laitteiden valmistuksen kesto ja mahdolliset aikataululliset jättämät, henkilöistä johtuvat viivästykset, muun muassa sairastumiset ja kuljetuksista johtuvat viivästymät, sekä mahdolliset asennuksista koituvat aikatauluvenymät. Kapselointilaitoksen käsittelykammion suunnittelun, rakentamisen ja dokumentoinnin perusteella voidaan varmistua siitä, että suunnittelu, toteutus ja tuotannon vaatimusmääritteet täyttyvät ja että tuotantokäytön aikana ei pääse muodostumaan haitallisia vaikutuksia ympäristölle tai henkilöille. Opinnäytetyön sisällön teknisiä tietoja rajattiin Salassapitovelvollisuuden (2007/334) 9 luvun 57 §:n mukaisesti.

2 POSIVA OY

Teollisuuden Voima Oyj ja Imatran Voima, nykyinen Fortum Power and Heat Oy, perustivat yhteistyösopimuksena vuonna 1995 ydinjätehuollon asiantuntijaorganisaatio Posiva Oy:n huolehtimaan LO1-2- ja OL1-2-voimalaitoksen ja tulevaisuudessa myös OL3-voimalaitoksen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta, loppusijoitukseen liittyvistä kehitystöistä sekä loppusijoittamiseen kuuluvista tehtävistä. (Posiva Oy 2012a.) Posivan vastuulla oli ja on edelleen myös tarpeellisten lupien laatiminen, suunnittelu, toteutus, loppusijoitustilojen sulkeminen ja lopulta myös loppusijoituslaitoksen käytöstä poisto. Posivan tehtävänä on omistajien käytetyn ydinpolttoaineen turvallinen ja kustannustehokas loppusijoitus. Tärkeimpiä päämääriä ovat turvallinen tuottaminen, onnistunut EKA-projekti, jatkuva tuotannon ja konseptin kehitys, luottamus toimintaan ja kehittyvä työyhteisö. Posivalla tärkeisiin arvoihin lukeutuu vastuullisuus, avoimuus, pitkäjänteisyys ja luotettavuus. (Posiva Oy 2020a, 7–10.)

Posivan omistussuhteet jakautuvat seuraavasti: TVO 60 prosenttiyksikköä, ja Fortum 40 prosenttiyksikköä. Eurajoella sijaitsevalla Posivalla työskentelee aktiivisesti noin 90 henkilöä. Yhtiön liikevaihto vuonna 2019 oli noin 81,8 miljoona euroa. Palveluliiketoimintaan keskittyvä tytäryritys, Posiva Solutions Oy, perustettiin vuonna 2016. Posiva Solutions Oy tarjoaa asiantuntijapalveluita yhdessä laajan yhteistyöverkoston kanssa, ja sen asiakkaat saavat käyttöönsä Posivalle käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta kerääntyneen kokemuksen ja tietotaidon. (Posiva 2020a, 1–5.) Kuvassa 1 Posiva Oy:n toimitilat Olkiluodossa.



Kuva 1. Olkiluoto (Posiva Oy 2011).

3 YDINLAITOSTEN VALVONTA SUOMESSA

Säteilyturvakeskus varmistaa ja valvoo säteilyturvallisuutta Suomessa. Tavoitteena on pitää säteilyalttius mahdollisimman pienenä ja turvallisuus monipuolisena. Säteily- ja ydinonnettomuudet halutaan estää käytännöllisin ja tehokkain toimintatavoin. Valvonnan perustana toimii säteily- ja ydinturvallisuutta koskeva lainsäädäntö, turvallisuusmääräykset ja ohjeet. Valvontaa suoritetaan erityisesti ydinvoimalaitoksilla ja muilla ydinlaitoksilla. Myös ydinmateriaalia ja ydinjätteiden loppusijoitusta valvotaan tarkasti. (Säteilyturvakeskus 2017a.)

3.1 Toiminta

Säteilyturvakeskus valvoo säteilylain ja sen nojalla annettujen säännösten ja määräysten noudattamista. Myös muissa säädöksissä on ionisoivan säteilyn käyttöön ja loppusijoitustoimintaan liittyviä vaatimuksia. Säteilyturvakeskus antaa tarkentavia ohjeita YVL-ohjeissa. Näitä ovat esimerkiksi

- laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta (719/1994)
- työturvallisuuslaki (738/2002)
- työsuojelun valvontaa koskeva laki (131/1973)
- työterveyshuoltolaki (1383/2001).

3.2 Ydinturvallisuusohjeet

Ydinenergialain 1987/990 mukaan STUKin tehtävä on asettaa yksityiskohtaiset turvallisuustason toteuttamista koskevat turvallisuusvaatimukset (Ydinenergialaki 1987/990, 2a:7r.1). Ydinenergian käyttöä koskevat turvallisuusvaatimukset kuvataan YVL-ohjeissa eli ydinturvallisuusohjeissa. Ohjeita uusitaan aktiivisesti, tarpeen mukaan.

Ydinturvallisuusohjeet jakautuvat seuraaviin kategorioihin, jotka ovat (Säteilyturvakeskus 2020a)

- YVL A.1-12 - Ydinlaitoksen turvallisuuden hallinta
 - » A.1 Ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta
 - » A.2 Ydinlaitoksen sijaintipaikka

- » A.3 Turvallisuuden johtaminen ydinalalla
- » A.4 Ydinlaitoksen organisaatio ja henkilöstö
- » A.5 Ydinlaitoksen rakentaminen ja käyttöönotto
- » A.6 Ydinvoimalaitoksen käyttötoiminta
- » A.7 Ydinvoimalaitoksen todennäköisyysperusteinen riskianalyysi ja riskien hallinta
- » A.8 Ydinlaitoksen ikääntymisen hallinta
- » A.9 Ydinlaitoksen toiminnan raportointi
- » A.10 Ydinlaitoksen käyttökokemustoiminta
- » A.11 Ydinlaitoksen turvajärjestelyt
- » A.12 Ydinlaitoksen tietoturvallisuuden hallinta
- YVL B.1-8 - Ydinlaitoksen ja sen järjestelmien suunnittelu
 - » B.1 Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnitelma
 - » B.2 Ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu
 - » B.3 Ydinvoimalaitoksen deterministiset turvallisuusanalyysit
 - » B.4 Ydinpolttoaine ja reaktori
 - » B.5 Ydinvoimalaitoksen primääripiiri
 - » B.6 Ydinvoimalaitoksen suojarakennus
 - » B.7 Varautuminen sisäisiin ja ulkoisiin uhkiin ydinlaitoksessa
 - » B.8 Ydinlaitoksen palontorjunta
- YVL C. 1-7 - Ydinlaitoksen ja sen ympäristön säteilyturvallisuus
 - » C.1 Ydinlaitoksen rakenteellinen säteilyturvallisuus
 - » C.2 Ydinlaitoksen työntekijöiden säteilyturvallisuus ja säteilyaltistuksen seuranta
 - » C.3 Ydinlaitoksen radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen ja valvonta
 - » C.4 Ydinlaitoksen ympäristön väestön säteilyannosten arviointi
 - » C.5 Ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyt
 - » C.6 Ydinlaitoksen säteilymittaukset
 - » C.7 Ydinlaitoksen ympäristön säteilyvalvonta
- YVL D. 1-7 - Ydinmateriaalit ja jätteet
 - » D.1 Ydinmateriaalivalvonta
 - » D.2 Ydinaineiden ja ydinjätteiden kuljetus
 - » D.3 Ydinpolttoaineen käsittely ja varastointi

- » D.4 Matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden käsittely ja ydinlaitoksen käytöstä poisto
- » D.5 Ydinjätteiden loppusijoitus
- » D.6 Uraanin ja toriumin tuottaminen kaivos- ja malminrikastustoiminnassa
- » D.7 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen vapautumisesteet
- YVL E. 1-13 - Ydinlaitoksen rakenteet ja laitteet
 - » E.1 Auktorisoitu tarkastuslaitos ja luvanhaltijan omatarkastuslaitos
 - » E.2 Ydinpolttoaineen hankinta ja käyttö
 - » E.3 Ydinlaitoksen painesäiliöt ja putkistot
 - » E.4 Ydinvoimalaitoksen painelaitteiden lujuusanalyysit
 - » E.5 Ydinlaitoksen painelaitteiden rikkomattomat määräaikaistarkastukset
 - » E.6 Ydinlaitoksen rakennukset ja rakenteet
 - » E.7 Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet
 - » E.8 Ydinlaitoksen venttiilit
 - » E.9 Ydinlaitoksen pumput
 - » E.10 Ydinlaitoksen varavoimalähteet
 - » E.11 Ydinlaitoksen nosto- ja siirtolaitteet
 - » E.12 Ydinlaitoksen mekaanisten laitteiden ja rakenteiden testauslaitokset
 - » E.13 Ydinlaitoksen ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteet

3.3 Turvallisuusluokat

Kapselointilaitoksen ja loppusijoituslaitoksen järjestelmien turvallisuusluokitus määräytyy YVL B.2:n ja YVL D.5:n kuvattujen periaatteiden mukaisesti. Säteilyturvakeskuksen turvallisuusluokitusta koskeva YVL B.2 ydinturvallisuusohje käsittelee ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelua. (YVL B.2 2019.) Posiva laati turvallisuusluokitus ehdotuksen alustavalla turvallisuusluokitusasiakirjalla osaksi rakentamislupahakemuksen yhteydessä STUKille toimitettavaa aineistoa. STUK on hyväksynyt ehdotuksen osana lupahakemuksen aineiston käsittelyä.

Turvallisuusluokat yksilöivät käytännön menettelyt, joita noudatetaan laitoksen suunnittelussa, rakentamisessa, valvonnassa ja käytössä. YVL D.5:ssä käsitellään myös yleisesti turvallisuusluokitusta. Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden kannalta merkittäviä järjestelmiä, rakenteita ja laitteita voivat olla erityisesti jätepakkaukset ja niitä ympäröivät

röivät puskurimateriaalit, täyttö- ja sulkemISRakenteet sekä loppusijoituslaitoksen maan-
alaisia tiloja ympäröivä peruskallio eli lähikallio. Turvallisuusluokitus on perusteena mää-
ritettäessä STUKin valvontalaajuutta. (YVL D.5, 2018.)

Turvallisuusluokitus perustuu ensisijaisesti deterministisiin menetelmiin samalla replikoi-
den myös todennäköisyysperustaisen riskianalyysin tuloksia. Posivan turvallisuusluoki-
tus perustuu järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden käyttö- ja pitkäaikaisturvallisuusmer-
kitykseen. Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokituksessa noudatetut periaatteet
määräytyvät niiden turvallisuustehtävien perusteella. Järjestelmät luokitellaan järjestel-
män päätehtävän mukaiseen turvallisuusluokkaan. Rakenteiden ja mekaanisten laittei-
den turvallisuusluokat määräytyvät niiden toimintojen turvallisuusluokittelun perusteella,
joiden toteuttamiseen rakenne tai mekaaninen laite osallistuu. Rakenteella tai mekaani-
sella laitteella voi olla useita turvallisuustehtäviä, jolloin turvallisuusluokka määräytyy
vaativimman turvallisuustehtävän vastaamaa turvallisuusluokkaa. Rakenteiden ja me-
kaanisten laitteiden turvallisuusluokka voi olla korkeampi, sama tai alhaisempi kuin jär-
jestelmän turvallisuusluokka. (Posiva Oy 2015a.)

4 YDINJÄTEHUOLTO SUOMESSA

Voimassa olevaa oikeusministeriön määrittelemää ydinenergialakia täydennettiin vuonna 1994 niin, että käytön yhteydessä tai sen seurauksena Suomessa muodostuneet ydinjätteet on käsiteltävä, varastoitava ja loppusijoitettava pysyväksi tarkoitetulla tavalla Suomeen. (Ydinenergialaki 1994/1420, 2a:6.1.) Ydinenergian käytön on oltava turvallista ja siitä ei saa koitua vahinkoja ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle (Ydinenergialaki 1987/990, 2:6.1). Muualla kuin Suomessa ydinenergian käytön yhteydessä tai seurauksena syntyneitä ydinjätteitä, ei saa käsitellä, varastoida tai loppusijoittaa Suomessa (Ydinenergialaki 1994/1420, 2:6b.1).

Suomen säteilylainsäädäntö uudistui EU:n vuonna 2013 uudistaman säteilyturvallisuusdirektiivien vaatimusten mukaisesti. Säteilylainsäädännön uudistaminen koskee säteilylakia, asetuksia sekä STUKin säteilyturvallisuusohjeita, jotka korvataan sitovilla määräyksillä ja STUKin ohjeilla. Tasavallan presidentti hyväksyi 9.11.2018 esityksen uudesta säteilylaista, ja uusi laki tuli voimaan 15.12.2018. (Säteilyturvakeskus 2020b.) Sähkön- ja lämmön tuotannon yhteydessä ydinvoimalaitoksilla syntyy ydinjätettä, joka on radioaktiivista ja vaatii sen takia erityistoimenpiteitä. Ydinjätteellä eli radioaktiivisella jätteellä tarkoitetaan radioaktiivisia aineita sisältävää materiaalia ilman tehtävää. Radioaktiivisuutensa takia jäte pitää tehdä vaarattomaksi. (Säteilyturvakeskus 2015).

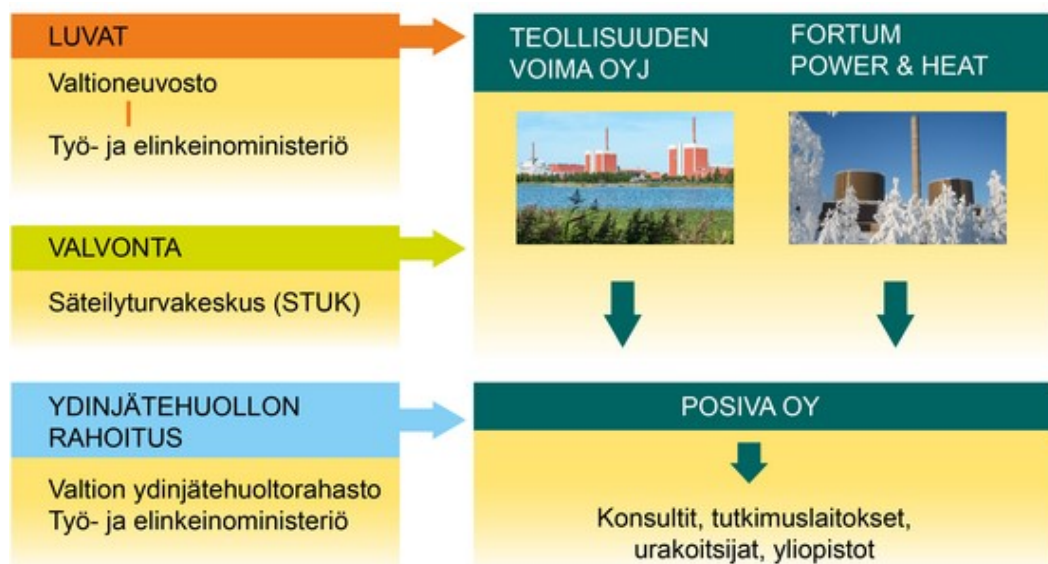
Kaikilla energiantuotantomuodoilla on ympäristövaikutuksia. Ydinvoiman ympäristövaikutukset ovat vähäisiä. Merkittävin yksittäinen ympäristövaikutus on lämmöntuotto merialueelle. Osa voimalaitosjätteestä on radioaktiivista, jonka vuoksi jäte pitää eristää niin, ettei siitä ole haittaa elolliselle luonnolle. Radioaktiivisuus laskee vähitellen merkityksetömälle tasolle. Tätä kutsutaan loppusijoitukseksi. (Posiva Oy 2016a, 4.) Pitkäaikaisturvallisuuden varmistaminen liittyy ensisijaisesti loppusijoituslaitoksen kalliotilojen kehitykseen, suunnitteluun ja rakennusvaiheeseen. Suunnittelun ja toteutuksen aikana varmistetaan siitä, että pitkäaikaisturvallisuuden kannalta kriittiset kalliooperän ominaisuudet säilyvät ennallaan ja toteutuneet kalliotilat täyttävät kaikki niille asetetut vaatimukset. Tärkeitä ominaisuuksia pitkäaikaisturvallisuuden osalta ovat (Posiva Oy 2015b.)

- teknisten vapautumisesteiden ja radionuklidien pidättymisen kannalta suotuisat pohjavesikemian olosuhteet
- vähäinen tai merkityksetön veden virtaus loppusijoitustilojen ympärillä
- mekaanisesti stabiilit olosuhteet tilanteesta riippumatta.

Vastuullinen ydinjätehuolto

International Atomic Energy Agency (IAEA) eli kansainvälinen atomienergiajärjestön laatima kansainvälinen sopimus pyrkii siihen, että radioaktiivinen jäte loppusijoitetaan siihen valtioon, josta se on peräisin. Sopimuksen allekirjoittaneet maat ovat Argentiina, Bulgaria, Kanada, Kroatia, Tšekki, Tanska, Suomi, Ranska, Saksa, Kreikka, Unkari, Islanti, Latvia, Marocco, Alankomaat, Norja, Puola, Romania, Slovakia, Slovenia, Espanja, Ruotsi, Itävalta, Ukraina ja Yhdistynyt kuningaskunta. (IAEA 2001.)

Suomessa syntynyt ydinjäte on loppusijoitettava Suomeen ja vastuu ydinjätteestä kuuluu tuottajille eli voimalaitosyhtiöille. Teollisuuden Voima Oyj ja Fortum Power and Heat Oy ovat vastuussa omistamiensa ydinvoimalaitoksien syntyneestä ydinjätteestä, niihin koskevista huoltotoimista, pysyvästä loppusijoituksesta, käytetyn ydinpolttoaineen ja purkujätteensä välivarastoinnista sekä kokonaisuudeltaan näihin liittyvistä kustannuksista. TVO:n ja Fortumin perustama Posiva Oy huolehtii molempien emoyhtiöidensä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta ja siihen liittyvistä tehtävistä. Suomen viranomaisten vastuulla on ydinjätehuollon periaatteet, turvallisuusvaatimukset ja säädösten noudattamisen valvonta. Lupien ja säädösten sektorilla vastuuviranomainen on työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) ja turvallisuusvalvonnan vastuu on sosiaali- ja terveysministeriön hallinnonalaan kuuluvalla säteilyturvakeskuksella (STUK). (Posiva Oy 2012b.) Kuvassa 2 etenemä kaavio ydinjätehuollosta.



Kuva 2. Etenemä kaavio ydinjätehuollosta (Posiva Oy 2012b).

5 LOPPUSIJOITUS KÄYTETYLLE YDINPOLTTOAINEELLE

Loppusijoituslaitoksen käyttötoiminnan aikana ja sen jälkeenkin arvioidaan loppusijoituksen turvallisuutta. Ennen varsinaista tuotantoajoa ja käyttöönottoa pitää varmistua, ettei ydinjätettä pääse elolliseen luontoon tai ihmisten ulottuville. Tämä on yksi tärkeimpiä asioita loppusijoituksessa. Ympäristövaikutusten arviointi (YVA) on osana prosessia. (Posiva Oy 2019b.)

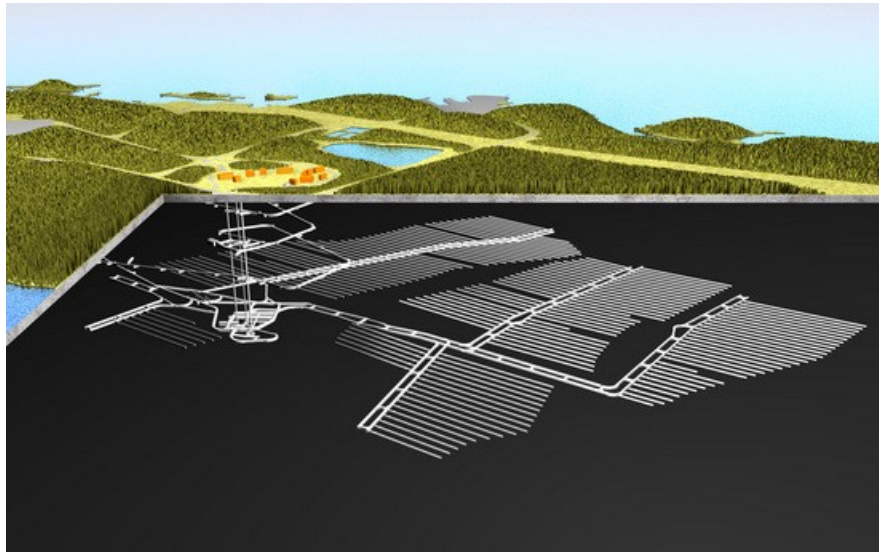
5.1 Loppusijoituslaitos

Loppusijoituslaitoksella tarkoitetaan kokonaisuutta, johon kuuluvat loppusijoitukseen tarkoitettut tilat, jotka koostuvat kahdesta osasta. Ensimmäinen osa on maanpinnalla oleva kapselointilaitos. Kapselointilaitoksen tehtävä on käytetyn polttoaineen pakkaus loppusijoituskapseleihin, kallioperään tapahtuvan pysyvän sijoittamisen edellyttämään muotoon. (Posiva Oy 2019c.) Loppusijoituksen prosessikuvaus on liitteessä 1. Posivan laitospokonaisuus on saanut tyyppinimen FOAK eli First of a Kind. Valmiita ratkaisuja ei ole. Posiva on edelläkävijä kyseisellä sektorilla. Toinen osa loppusijoituslaitoksesta on maan alla, ja se jakautuu kahteen osaan, jotka ovat (Posiva Oy 2019c)

- loppusijoitustilat, joihin sijoitetaan käytettyä ydinpolttoainetta sisältävät, loppusijoitettavaksi tarkoitetut kapselit
- muut maanalaiset tilat muun muassa keskustunnelit, tekniset tilat ja pystykuilut.

Maanpäälliselle kapselointilaitokselle toimitetaan ydinvoimalaitoksilla käytetty ydinpolttoaine. Välivarastoissa 30–50 vuotta säilytetyt polttoaineet on mahdollista loppusijoittaa, kun polttoaineiden lämpötila on laskenut riittävästi. Kuvassa 3 maanpinnalta alas johtaa

ajotunneli sekä neljä kuilua pystysuunnassa, henkilö- ja kapselikuilu sekä tuloilma- ja poistoilmakuilut. (Säteilyturvakeskus 2017b.)



Kuva 3. Havainnekuva loppusijoituslaitoksesta (Posiva Oy 2019c).

Laitosten käyttötoimintaan liittyy tärkeimpinä asioina polttoaineen vastaanotto, polttoaineen siirtosäiliön nosto, siirto ja kapselointi, kapselin sulkeminen, tarkastaminen ja siirto, kapselin asentaminen, täyttö ja sulkeminen, loppusijoitustilojen louhiminen sekä laitoksen huolto-, käyttö- ja ylläpitotoiminnot. Turvajärjestelyjen huomioiminen ja perusta muodostetaan YVL-ohjeista A.11 - Ydinlaitoksen turvajärjestelyt, A.12 - Ydinlaitoksen tietoturvallisuuden hallinta ja STUK Y/3/2016 - Säteilyturvakeskuksen määräys ydinenergian käytön turvajärjestelyistä. (Posiva Oy 2020b.)

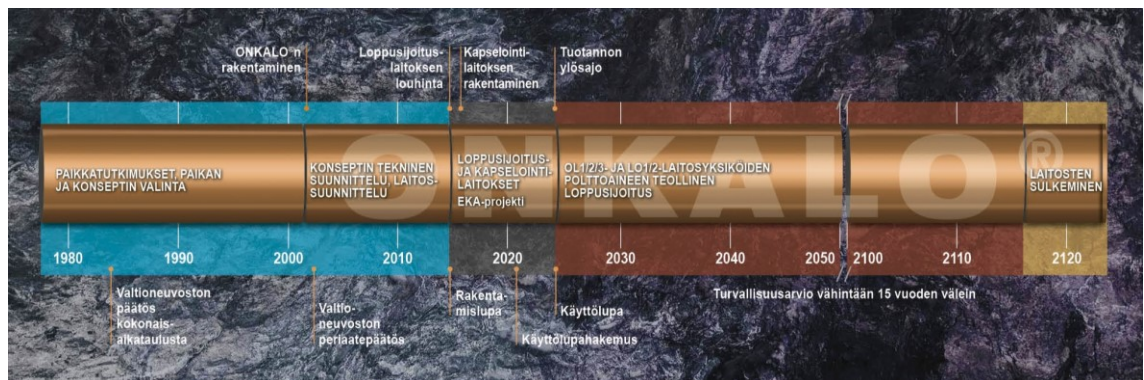
5.2 Loppusijoitustoiminnan aikataulu

Kuvassa 4 loppusijoituslaitoksen toiminta-aika ja kapasiteetti määräytyvät kahden aikarajoitteen perusteella. Lähtökohtana on, että loppusijoitustoiminta olisi mahdollista aloittaa 2020-luvulla. Toinen lähtökohta on se, että kunkin reaktorista poistetun käytetyn polttoaineen tulee olla vähintään 20 vuotta jälkijähdytyksessä, jotta yksittäisen elementin säteilytaso on alentunut käsittelyn kannalta kohtuulliseksi. (Posiva Oy 2012c.)



Kuva 4. OL1-3:n ja LO1-2:n ydinjätehuollon aikataulu (Posiva Oy 2012c).

Kuvassa 5 on käytetyn polttoaineen loppusijoittamisen aloittamiseen tähtäävän toimintaohjelman vaiheet alkaen vuodesta 1978 (Posiva Oy 2012c).



Kuva 5. Vaiheistukset (Posiva Oy 2020a).

Loppusijoituksen on määrä kestää nykyisellä aikataululla vuoteen 2120 asti. Mahdolliset uudet voimalaitokset lykkäävät loppusijoituslaitoksen päättymistä, mutta ei merkittävästi.

5.3 Kapselointilaitos

Käytetty polttoaine vastaanotetaan kapselointilaitoksessa. Maan alle louhitut loppusijoittamiseen tarkoitetut tilat on yhteydessä kapselointilaitokseen kapselihissillä. Kapselointilaitoksen keskimääräinen kapselointitehokkuus on noin 50 kapselia vuodessa. Kapselointilaitos suunnitellaan turvallisuusmääräyksiä noudattaen niin, että radioaktiivisten aineiden pääsy ympäristöön estetään. Turvallisen toiminnan tehtävä on mahdollistaa työvaiheiden suorittaminen turvallisesti ilman merkittäviä päästöjä. Henkilön saamat säteilyannokset eivät myöskään saa ylittyä. (Posiva Oy 2018.)

Kapselointilaitoksen tärkeimmät tilat ovat kuljetussäiliöiden vastaanottotila, uusien tyhjien kapselien vastaanotto- ja varastointitila, polttoaineen kuljetussäiliön ja kapselin siirtokäytävät, polttoaineen käsittelykammio (polttoaineen kapselointitila), hitsausasema (kapselin kannen hitsaus), kapselin sulkemishitsin tarkastusasema, kapselointiprosessin ohjaamo, kapselivarasto, kapselihissi, kapselointiprosessi-, valvonta-, viestintä-, LVIS-järjestelmät, prosessin tarvitsemat sähkö- ja automaatiotilat sekä palosuojelujärjestelmät. Kapselointilaitoksesta johtaa pystysuora kuilu sen alapuolella noin 400 metrin syvyydessä oleviin loppusijoitustiloihin. (Posiva Oy 2009.) Maan päällä sijaitsee kapselointilaitoksen lisäksi apu- ja oheistoimintojen tilat, joihin kuuluvat käyttörakennus, ilmanvaihtorakennus, tutkimusrakennus, varasto- ja korjaamotilat sekä LVIS-järjestelmien vaatimat tilat. Louheen ja murskeen varastoinnille varataan oma alueensa. (Posiva Oy 2020c.) Kapselointilaitos varustellaan monenlaisilla turvajärjestelyillä ja järjestelmillä laitoksen turvallisen toiminnan suojaamiseksi.

Kuvassa 6 on poikkileikkaus kapselointilaitoksesta, joka sisältää kuusi erilaista tilaa. Jokaisella tilalla on merkittävä tehtävä osana kokonaisuutta, jotka ovat (Posiva Oy 2020c)



Kuva 6. Kapselointilaitoksen poikkileikkaus (Posiva Oy 2020c).

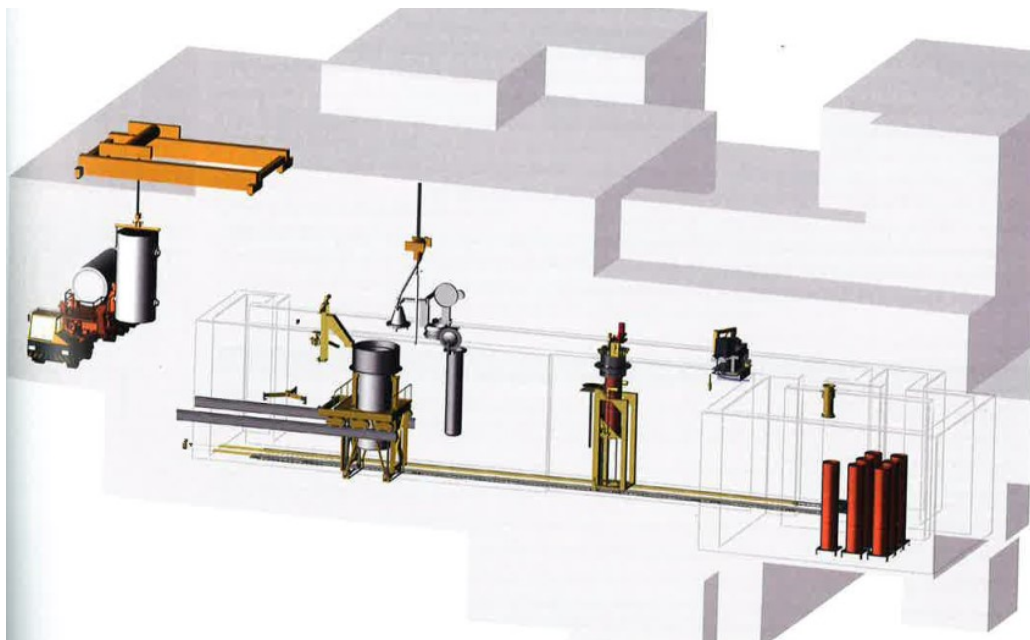
1. Uusien loppusijoituskapselien vastaanotto- ja varastotila
2. Polttoaineen käsittelykammio
3. Kuparikannen hitsauskammio
4. Hitsin tarkastuspaikat
5. Kapselin pinnan puhdistuspaikka
6. Kapselihissi kapselien siirtämiseksi loppusijoitustilaan.

Kapselointilaitoksen aktiivisen loppusijoitustoiminnan päätyttyä aloitetaan kapselointilaitoksen käytöstäpoisto. Käytöstäpoiston yhteydessä kapselointilaitoksen radioaktiiviset osat ja järjestelmät puretaan ja pakataan.

5.3.1 Kapselointilaitoksen toimintaprosessi

Kapselointilaitoksen aktiivinen toimintaprosessi alkaa, kun käytetty polttoaine saapuu ajoneuvolla kapselointilaitokselle kuljetussäiliössä. Polttoaine sijoitetaan ensimmäisenä vastaanottotilaan. Käytetyn polttoaineen siirtojen välissä mahdollisesti tapahtunut likaantuminen voidaan pestä pois vastaanottotilassa. Pesuvedet ohjataan lattiaviemäröintijärjestelmään. Vastaanottotilasta kuljetussäiliö lasketaan lattialuukun kautta kuljetussäiliön siirtokäytävään. Prosessin myöhemmässä vaiheessa kuljetussäiliö palautetaan tyhjänä takaisin lähtöpisteeseen eli vastaanottotilaan. Kapselia siirretään kapselointiprosessin edetessä erityisellä siirtovaunulla kapselointilaitoksen siirtokäytävässä.

Kuvassa 7 siirtokäytävässä suoritetaan kuljetussäiliön kannen pulttien avaus sekä tarvittavat näytteenotot. Käsittelykammion järjestelmiin, kuten telakointi- ja kuivausasemiin kuuluvia läpivientejä avataan vain kapselointiprosessin mukaisesti. (Posiva Oy 2017a.)

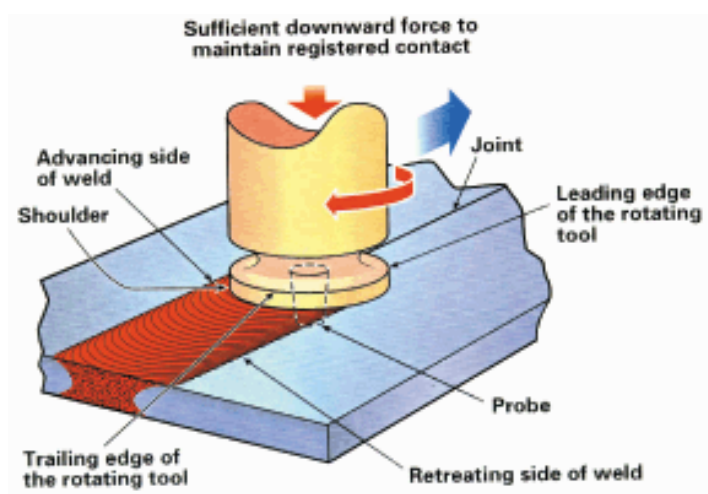


Kuva 7. Toimintaprosessia kuvaava prototyyppi (Nikula ym. 2012, 281).

Seuraavaksi aktiivinen prosessi käynnistyy kapselointilaitoksen käsittelykammiossa. Luvussa 8.2 on laajemmin käsitelty kapselointilaitoksen käsittelykammion toimintaprosessia. Käsittelykammiossa tehtävien prosessien jälkeen seuraa loppusijoituskapselin ulkokannen hitsaus ja tarkistus. Hitsin hyväksytyt tarkastuksen jälkeen loppusijoituskapseli lasketaan siirtokäytävään ja ajetaan siirtokäytävän päähän, josta kapseli siirretään kapselin siirtotrukin paletin päälle. Kapselin siirtotrukki vie loppusijoituskapselin kapselointilaitoksen kapselivarastoon, josta kapseli määrätyn ajan kuluttua siirretään siirtotrukilla kapselihissiin. (Posiva Oy 2012d.)

Kapselin kannen hitsaus ja tarkistus

Nykyinen ja käyttöön otettava hitsausmenetelmänä on kitkatappihitsaus FSW (Friction Stir Welding). Kuvassa 8 kitkatappihitsaus pohjautuu hitsattavan kappaleen kuuma-
muokkaukseen, jossa haluttu lämpötila syntyy suurella nopeudella muokattavaa kappa-
letta vasten pyörivästä työkalun synnyttämästä kitkasta. Kitkatappihitsausmenetelmällä
tarkoitetaan kiinteän tilan hitsausta, jossa materiaalit eivät sula hitsauksen aikana. Valittu
hitsausmenetelmä ei vaadi lisäainetta, mutta kapselin hitsauksessa käytetään Argon
suojakaasua. (Posiva Oy 2020d.)



Kuva 8. Kitkatappihitsausmenetelmä (Posiva Oy 2020d).

Kitkatappihitsauksen etuja ovat hitsiaineen pieni raekoko, tasainen ja suuntautumaton raerakenne sekä hyvät mekaaniset ominaisuudet. Kitkatappihitsin ominaisuudet ovat lähellä perusaineen eli tässä tapauksessa kuparin mekaanisia ominaisuuksia ja mikrorakennetta. Erittäin vaikutuksellisissa korroosio-olosuhteissa kitkatappihitsi on osoittautunut paremmaksi kuin esimerkiksi edellisten suunnitelmien pohjalta valittu elektronisuihkuhitsi. Vastaava pätee myös kapselin jännityskorroosioon ja virumiseen, joita koskeissa kokeissa kitkatappihitsauksessa on saatu ensiluokkaisempia tuloksia elektronisuihkuhitsaukseen verrattuna. Kapselin hitsausasema toimii itsenäisesti eikä sillä ole turvallisuustoiminnallisia riippuvuuksia muihin järjestelmiin. Hitsausprosessi on automaattinen, mutta kuitenkin hitsausoperaattorin varmistama ja aktiivisesti seuraama. (Posiva Oy 2020d.)

Kun hitsaus on tehty, loppusijoituskapseli irrotetaan hitsausasemasta. Kapseli siirtyy koneistusasemaan, jossa hitsauspinta koneistetaan vaatimusten mukaiseen mittaan. Hitsauspinta koneistetaan kauko-ohjatusti jyrsinlaitteella. Koneistamisen jälkeen kapseli kuljetetaan siirtovaunulla hitsin tarkastusasemaan. Hitsi tarkastetaan testausasemassa NDT-menetelmätarkastuksella käyttäen visuaalista-, ultraääni- ja pyörrevirtatarkastusta. Kannen hitsin hyväksyminen perustuu yksittäisten ja yhdisteltyjen NDT-menetelmien hyväksymisrajoihin. (Posiva Oy 2009.)

Hitsin tarkastuksen jälkeen loppusijoitusvalmis loppusijoituskapseli kuljetetaan siirtovaunulla kapselointilaitoksen maanpäälliseen kapselivarastoon. Varastossa säilytettävien kapselien polttoaineen jälkilämmönpoistosta varmistutaan erilaisesten jäähdytysjärjestelmien avulla. (Posiva Oy 2017a.) Tarvittavien toimenpiteiden jälkeen loppusijoitusvalmiit kapselit siirretään varastosta siirtotrukin avulla viimeiselle maanpäälliselle osiolle, kapselihissille, josta loppusijoituskapseli lasketaan maanalaisiin tiloihin loppusijoitusta varten. Vaihtoehtoisesti kapseli siirretään erikoisajoneuvolla ajotunnelia pitkin loppusijoitustiloihin. (Posiva Oy 2020c.)

5.4 Käytetyn ydinpolttoaineen ympäröivä kapseli

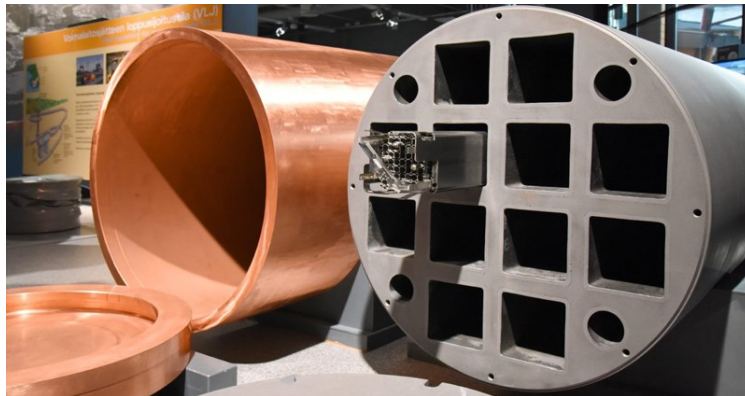
Loppusijoituskapselit ovat massiivisia metallisäiliöitä. Sisäosa on pallografiittivalurautaa ja ulkokuori kuparia. Kapseleita on kolmea eri mallia ja kokoluokkaa käytössä oleville tai suunnitteilla oleville polttoaine-elementtityypeille. Loppusijoituskapselin tärkein turvallisuustoiminto on varmistaa käytetyn ydinpolttoaineen pitkäaikainen turvallisuus sen suojarakenteiden sisällä. Kapselin tehtävänä on estää veden pääsy kapselin sisälle ja radionuklidien pääsy ulos kapselistä. Käytetty ydinpolttoaine vaikuttaa ympäristöön vain kapselin seinän läpäisevän lämmöntuottonsa sekä gamma- ja neutronisäteilynsä kautta. (Posiva Oy 2015c.)

Kapselin vaatimuslistan tärkeimpiä kohtia ovat (Posiva Oy 2015c)

- hyvä korroosionkestävyys
- riittävä materiaalilujuus kestämään mekaaniset kuormitukset.

Loppusijoituskapselin suunnitteluun käytetään tarkkaan lueteltuja määräyksiä ja ohjeita. Määräyksenä luokiteltu asiasisältö käskee, että teknisten vapautumisesteiden on estettävä ominaisuuksiltaan tehokkaasti radioaktiivisten aineiden vapautumista. Loppusijoitukseen valitun materiaalin toimintakyvyn pitää säilyä, vaikka loppusijoitustilojen olosuhteet

muuttuisivat. (STUK Y/4/2018 7:32.) Loppusijoituskapselin valmistusmateriaaleja, rakennetta, valmistustapaa ja sulkemistekniikkaa on tutkittu, jotta lopputuloksena olisi mekaanisesti ja kemiallisesti kestävä säiliö, joka säilyy syvällä kallioperässä tiiviinä vähintään 100 000 vuotta. Kapselin tiiveys varmistetaan asettamalla sen valmistukselle korkeat laatuvaatimukset ja kattavat tarkastukset. (Posiva Oy 2019d.) Kuvassa 9 olevan loppusijoituskapselin hankinnalla on keskeinen osa loppusijoituslaitoksen käyttökustannusten muodostumisessa ja niiden hillitsemisessä.



Kuva 9. Käytetyn polttoaineen loppusijoituskapseli (Rakennusteollisuus 2019).

5.4.1 Kapselien kokoluokka ja valmistus

Kupariputken valmistusmenetelmänä käytetään pursotusmenetelmää. Kupariputken pohja hitsataan. Kupariputkia on tehty Wyman-Gordonissa, Skotlannissa sijaitsevassa tehtaassa. Putken valmistusmenetelmän kehitystyö on tehty yhteistyössä SKB:n kanssa. (Posiva 2020a, 9–11.)

Loppusijoitukseen tulee kolme erilaista kokoluokkaa olevaa loppusijoituskapselia. Kuvassa 10 on polttoaineen sisältävän kapselin eri kokoluokat. Vasemmalta oikealle järjestyksessä ovat ensimmäisenä LO1-2:n, toisena OL1-2:n ja viimeisenä OL3:n kapselit.



Kuva 10. Polttoainekapselit (Posiva Oy 2019d).

5.5 EKA-projekti

Posiva suorittaa EKA-projektia ensimmäisenä maailmassa. Keskeisimpiä asioita ovat (Posiva 2020a, 24–40)

- kapselointilaitoksen rakentaminen, varustelu ja käyttöönotto
- loppusijoituslaitoksen tekninen varustelu, keskustunneleiden louhinta ja ensimmäiset loppusijoitustunnelit
- maanalaiset tuotantolaitteet
- vaatimusten mukaiset kapselit ja bentoniittikomponentit
- käyttöluoprosessi
- tuotantotoiminnan aloittaminen.

EKA-projektin kelpoistus osoittaa, että rakennettu tuote täyttää kaikki suunnitelluissa olosuhteissa turvallisuuteen liittyvät vaatimukset ja soveltuu määrättyyn käyttötarkoitukseen. Kelpoistaminen perustuu konfiguraationhallinnan, vaatimustenhallinnan sekä toteutussuunnitelman prosesseihin. Suunnitteluperusteet ovat (Posiva 2020a, 24–40)

- järjestelmäkuvaus ja tekniset vaatimusmääritteet
- rakennesuunnittelu
- valmistus ja rakentaminen
- asennus ja käyttöönotto
- käyttöluopahakemus ja sen hyväksyminen.

Kuvassa 11 tietoa kapselointilaitoksesta. Kapselointilaitoksesta tulee Turun linnan suuruinen.



Kuva 11. Tietopaketti kapselointilaitoksesta (Posiva 2020a, 24–40).

5.6 Loppusijoitus Olkiluodossa

Paikkatutkimuksia tehtiin 1980-luvulta aina 2000-luvulle asti. Yksityiskohtaiset jatkotutkimukset valmistuivat 2000-luvulla ja ympäristövaikutusten arviointimenetelmä (YVA) päätettiin toteuttaa neljällä loppusijoitukseen potentiaalisella alueella. Tutkimusten jälkeen neljä mahdollista paikkaa olivat (Posiva 2012e)

- Eurajoen Olkiluoto
- Kuhmon Romuvaara
- Loviisan Hästholmen
- Äänekosken Kivetty.

Paikkatutkimuksien, turvallisuusanalyysien ja ympäristövaikutusten arviointimenettelyn perusteella kaikki neljä vaihtoehtoa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen olisivat olleet soveltuvia. Eurajoella ja Loviisassa paikallinen hyväksyntä oli suurinta. Etuna Olkiluodossa on, että siellä on käytettävissä isokokoisempi maa-alue kuin Loviisan Hästholmenissa. (Posiva 2012e.)

Perusteellisten tutkimusten jälkeen Posiva päätti vuonna 1999 esittämässään valtioneuvostolle jättämässään periaatepäätöshakemuksessa loppusijoituslaitoksen asetta-

mista Olkiluotoon. Joulukuussa vuonna 2000 valtioneuvosto suoritti myönteisen periaatepäätöksen. Toukokuussa vuonna 2001 eduskunta hyväksyi valtioneuvoston myönteisen periaatepäätöksen. (Posiva 2012e.) Valtioneuvoston myönteisessä periaatepäätöksessä oli selvät rajat. Merkittävimmät ehdot olivat, että loppusijoitustiloja voidaan rakentaa vain sille määrälle käytettyä ydinpolttoainetta kuin kyseessä olevien voimalaitosyksikköjen voimassaolevien käyttöilupien perusteella arvioitu loppusijoitustarve edellyttää. Kuitenkin hakemuksessa mainittuun enimmäismäärään saakka. Periaatepäätös oli voimassa vuoteen 2016 saakka. Ehtona oli, että päätöksen määräajan loppuun mennessä oli esitettävä rakentamislupahakemus. (Nikula ym. 2012, 41–43.) Posivan tehtäviin kuului periaatepäätöksen hakeminen ja sitä edeltävät YVA-menettelyt.

Posiva ja viranomaiset ovat asettaneet turvallisuusvaatimukset loppusijoittamiselle. Loppusijoitus toteutetaan moniesteperiaatteen mukaisesti. Moninkertainen suojaus varmistaa loppusijoittamisen turvallisuuden. (Teollisuuden Voima Oyj n.d.) Loppusijoituskonseptin osa-alueita ovat loppusijoituskapseli, puskuri, täyttö ja tulppa (Posiva 2020a, 10). Kaikkien näiden loppusijoituskonseptien keskeisimmät asiat ovat suunnittelu, valmistustekniikat, asennustekniikat, kustannukset ja pitkäaikaisominaisuuksien toimintakyky. Tärkeimmät yksittäiset kohdat, jotka takaavat turvallisen ja tehokkaan loppusijoituksen, ovat paikkatutkimukset, laitekehitystyö ja teknisten vapautumisesteiden kehitys. (Posiva 2020a, 9–11.)

6 POLTTOAINEEN SIIRTOON LIITTYVÄT LAITTEISTOT

Tässä osiossa listattavia laitteita ja järjestelmiä ei yksityiskohtaisesti julkisteta. Listattavat kohteet ovat testattuja prototyyppisiä. Varsinaisten laitteiden valmistus on joko alkanut tai alkamassa. Turvajärjestelyiden ja turvasuunnitelmien yksityiskohtia ei myöskään julkaista turvallisuusyistä.

6.1 Käytetyn polttoaineen kuljetus loppusijoituslaitokselle

Ydinjättekuljetukset luvitetaan ydinenergialain ja YVL D.2:n mukaisesti, mutta erillään kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen luvituksesta. Kuljetusten turvajärjestelyt toteutetaan voimassa olevien säädösten mukaisesti, ja ne esitetään kuljetusten turvajärjestelyjä koskevassa turvasuunnitelmassa. (Posiva 2015b.) Käytettyä ydinpolttoainetta varastoidaan Loviisan ydinvoimalaitosten ja Olkiluodon ydinvoimalaitosten välivarastoissa, josta se siirretään Posivan loppusijoituslaitokseen erikoissäiliöissä. Käytetystä ydinpolttoaineesta pitää huolehtia niin, ettei siitä aiheudu vaaraa elolliselle luonnolle. Tästä on ehdottoman tärkeää huolehtia jo ennen kuin käytetty polttoaine saapuu kapselointilaitoksen vastaanottotilaan. Ennen varsinaista loppusijoitusta käytetty polttoaine pitää säilyttää välivarastoissa. Loppusijoittamisen aikatauluun vaikuttaa merkittävästi polttoaineen jäähdytysaika. OL1-2:n ja LO1-2:n käytössä olevan polttoaineen pitää jäähtyä keskimäärin noin 40 vuotta välivarastoissa, ennen kuin se voidaan loppusijoittaa turvallisesti Posivan toimesta loppusijoitustunneleihin. (Ympäristövaikutusten arviointimenettely 2008.)

Kun käytetyn polttoaineen lämpötila on määräysten mukaisella tasolla, voidaan aloittaa loppusijoitusprosessi. Välivarastoihin siirretyt, käytetyt polttoaineet pakataan siirron ajaksi törmäyksenkestävään erikoiskuljetussäiliöön. Kuljetussäiliöille, säiliön käsittelylle, onnettomuustilanteisiin varautumiselle ja dokumentaatiolle on asetettu korkeat vaatimukset. Pääperiaate on, että kuljetussäiliö ei saa menettää säteilysuojelumuinaisuuttaan pahimmassakaan ajateltavissa olevassa onnettomuudessa. Kuljetussäiliöissä olevan käytetyn polttoaineen tulee kuljetuksen aikana pysyä kaikissa tilanteissa alikriittisenä. (Posiva Oy 2020e.)

Kuljetussäiliöille asetetaan tavanomaista kuljetuskalustoa tiukemmat vaatimukset, ja niiden on täytettävä poikkeustilanteiden varalta tiukat vaatimukset. Kuljetussäiliön tulee kestää (Posiva Oy 2020e)

- pudotus yhdeksän metrin korkeudelta peräänantamattomalle alustalle, seurauksiltaan epä-edullisimmalla kohtaamiskulmalla
- vähintään 30 minuutin ajan tulipalon aiheuttama terminen ympäristö, kun liekkien lämpötila on 800 °C
- upotus veteen 200 metrin syvyyteen vähintään tunnin ajaksi.

Käytettyä ydinpolttoainetta voidaan kuljettaa säiliössä kuivana tai siten, että säiliö on täytetty kokonaan vedellä. Referenssimenetelmäksi on valittu märkäkuljetus, koska käytetyn polttoaineen lämpötila pysyy siten alempana kuin kuivakuljetuksessa, mikä taas pienentää riskejä merkittävästi. Märkäkuljetuksen etuutena on lisäksi se, että kuljetussäiliöön ei muodostu juurikaan ylipainetta, eikä tämän vuoksi tarvita erikoislaitteita paineenpurkautumiselle kannen avauksen yhteydessä. (Posiva Oy 2009.) Saapuminen kapselointilaitokselle ja polttoaineen vastaanottoon liittyvien prosessien tapahtumakulku menee seuraavasti: Kuljetussäiliöiden kuljetusajoneuvon sääsuoja pestään ulkona ja siirretään pois kuljetussäiliön päältä ennen ajoneuvon ajoa sisälle kapselointilaitokselle. Ajoneuvo ajetaan vastaanottotilaan, jossa kuljetussäiliöstä irrotetaan iskunvaimentimet. Kuljetussäiliö nostetaan pystyasentoon ja siirretään joko vastaanottotilan varastointipaikalle tai kuljetussäiliön siirtokäytävään. (Posiva Oy 2018.)

Käytetyn polttoaineen kuljetukseen on kolme mahdollista tapaa, jotka ovat (Posiva Oy 2020e)

- maantiekuljetus
- rautatiekuljetus
- merikuljetus.

Jokaista kuljetusta valvovat viranomaiset.

6.2 Laitteisto

Kuvassa 12 tehdään siirtosäiliön nosto junaan.



Kuva 12. Polttoaineen lastaus junaan (Posiva Oy 2020e).

Kuvassa 13 on kapselin tarkastuslaite, joka tarkistaa kapselin kokonaisuudessaan.



Kuva 13. Kapselin tarkistuslaite (Posiva Oy 2014).



Kuva 14. Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon prototyyppi. Ajoneuvo koostuu vetoautosta ja puoliperävaunumaisesta kapselin asennuslaitteesta (Posiva Oy 2014).

Kapselointilaitoksessa on hyvin paljon erilaisia järjestelmiä ja toimintoja. Järjestelmien prototyyppien toteutus edistyi merkittävästi vuoden 2013 aikana. Merkittävänä saavutuksena oli kapselin siirtovaunun prototyypin valmistuminen. Kuvassa 15 prototyyppi kapselin siirtovaunusta.



Kuva 15. Kapselin siirtovaunun prototyyppi (Posiva 2013).

7 YDINLAITOKSEN JÄRJESTELMIEN KELPUUTUKSET

Kelpoistamisella haetaan objektiiviseen näyttöön perustuvaa varmistettua tietoa siitä, että määritellyt vaatimukset on täytetty ja hyväksytty. YVL B.1:n mukaisesti, todentamisella osoitetaan järjestelmän, rakenteiden ja laitteiden jokaisen osa-alueen suunnittelu- ja toteutusvaiheen tuloksia. Tulokset täyttävät käyttötarkoituksen sopivuuden, määritellyt järjestelmävaatimukset ja turvallisuusvaatimukset. (Posiva 2017a.) Kelpoistussuunnitelman perusluonne laaditaan YVL-ohjeen B.1:n ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelun mukaisesti. Muita asiakirjoja täytyy myös mahdollisuuksien mukaan käyttää, esimerkiksi ydin- ja säteilyturvallisuusmääräyksiä. Projektin kelpoisuuksissa täytyy ottaa huomioon yleisesti seuraavia ohjeita, joita ovat (Posiva 2019a)

- YVL A.5 Ydinlaitoksen rakentaminen ja käyttöönotto
- YVL B.2 Ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu
- YVL B.7 Varautuminen sisäisiin ja ulkoisiin uhkiin ydinlaitoksessa
- YVL B.8 Ydinlaitoksen palontarjonta
- YVL E.1 Auktorisoitu tarkastuslaitos ja luvanhaltijan omatarkastuslaitos
- YVL E.3 Ydinlaitoksen painesäiliöt ja putkistot
- YVL E.6 Ydinlaitoksen rakennukset ja rakenteet
- YVL E.7 Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet
- YVL E.8 Ydinlaitoksen venttiilit
- YVL E.9 Ydinlaitoksen pumput
- YVL E.11 Ydinlaitoksen nosto- ja siirtolaitteet.

Yläpuolella on listattu yleisimmät ohjeistukset ja määritelmät. Muut kelpoisuuksissa noudatettavat ohjeet ja standardit ovat ennakkotarkastusaineistoissa, vaatimusmäärittelyissä, soveltuvuusarvioissa ja rakennesuunnitelmissa.

Järjestelmävaatimusten todentamistapoihin kuuluu erinäiset testaukset, esimerkiksi tehdastestaukset ja validaatiotestaukset. Kelpoistus toteutetaan järjestelmäkuvauksen, vaatimusmäärittelyjen sekä rakennesuunnitelmien avulla. Kaikille teknisille järjestelmille laaditaan YVL-ohjeiden mukaisesti järjestelmäaineistot. Kapselointilaitoksen käsittelykammion turvaluokitelluille rakenteille laaditaan kelpoistussuunnitelmat. Turvallisuusluokiteltujen laitteiden suunnitelmista on esitettävä säteilyturvakeskukselle hyväksyttäväksi rakennesuunnitelma ennen valmistuksen aloittamista. Valmistamista valvotaan ra-

kennesuunnitelmiin sisältyvän laadunvalvontasuunnitelman mukaisesti. Kelpoistusaineisto kuvataan järjestelmäkohtaisissa laatusuunnitelmissa. (Posiva 2017b.) Tietoturvalisuus on myös tärkeä osa kokonaisuutta. Posiva on laatinut tietoturvalisuussuunnitelmat sekä muita vaadittuja suunnitelmia ja ohjeita YVL A.12:n ohjeiden mukaisesti.

Sähkö- ja automaatiolaitteiden todentaminen tapahtuu järjestelmien, toiminnan ja komponenttien osalta suunnittelustandardien IEC 61508, IEC 61513, 62061 ja IEC 62138 mukaisesti. Todentaminen perustuu eheydelle ja toiminnalle asetettujen vaatimusten mukaisesti. YVL E.7:ssä määritellään myös sähkö- ja automaatiolaitteisiin kohdistuvien vaatimusten täyttymisen. (Posiva Oy 2019e.)

7.1 Luvitus

Ydinlaitoksen luvituksen elinkaari muodostuu seuraavasti (Posiva Oy 2019a)

1. ympäristövaikutusten arviointi
2. periaatepäätös
3. rakentamislupa
4. käyttölupa
5. käyttöönotto
6. käyttöluvun uusinta ja määräaikainen turvallisuusarviointi
7. käytöstäpoistolupa.

Posivan ydinlaitosten luvittaminen jaetaan kahteen osaan, laitostason luvittamiseen ja järjestelmätason luvittamiseen. Laitostason luvittamisella varmistetaan siitä, että laitokset rakentuvat turvallisiksi ja, että käytönaikainen toiminta on turvallista. Laitostasolla luvittamisen vaiheita on paljon, mutta tärkeimpiä asioita on YEL 1987/990 mukaisten rakentamis- ja käyttö lupien hakeminen sekä käytön aloitukseen liittyvien edellytysten varmistuminen. Kelpoistamisella, eli järjestelmätason luvittamisella varmistetaan jokaisen järjestelmän ja laitteen tehtävä ja turvallisuusmerkitys, jotta ne vastaavat määrättyjä edellytyksiä. (Posiva 2020f.) Posivan tapauksessa uuden ydinlaitoksen rakentamiselle laaditaan luvitussuunnitelma, jossa esitetään, miten ydin- ja säteilyturvallisuusvaatimusten täytyminen varmistetaan ja osoitetaan rakentamisen eri vaiheissa. Luvitussuunnitelma toimitetaan rakennuslupahakemuksen yhteydessä STUKille. Suunnitelmassa on hankkeen päävaiheet ja niiden suunniteltu aikataulu. YVL-ohjeissa määritetyt asiat,

suunnitelma järjestelmätason turvallisuusasioiden luvittamisesta, ohjeen YVL B.1:n luvussa 6 esitettyjen vaatimusten mukaisesti. Luvitus suunnitelmassa on myös suunnitelma YVL-ohjeiden mukaisesta laitetason turvallisuusasioiden käsittelystä sekä aikataulu suhteessa laitteiden suunnitteluun, valmistamiseen ja laitoksen rakentamiseen. (YVL A.5 2019a, 3.3:338–339.)

7.2 Sähkö- ja automaatiojärjestelmät

Käsittelykammiossa on paljon erilaisia automaatiojärjestelmiä, jotka ohjaavat, säätävät ja havainnoivat kokonaisuutta ja eri järjestelmien laitteiden toimintaa. Kaikkien mekaanisten laitteiden on täytettävä valtioneuvoston asetuksen vaatimus koneiden turvallisuudesta 400/2008 (Sosiaali- ja terveysministeriö 2008/400). Sähkö- ja automaatiojärjestelmien sekä laitteistoiden tulee täyttää voimassa olevan Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES) S10 -ohjeessa mainittujen standardien vaatimukset ja muut yleiset voimassa olevat määräykset soveltaen uusinta versiota (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016/1135). Prosessilaitosten ja prosessien riskejä voidaan vähentää monin tavoin hyödyntäen automaatiojärjestelmiä. Ensisijaisesti hyvällä prosessi- ja laitossuunnittelulla voidaan luoda turvallinen ympäristö. Turva-automaatio pysäyttää prosessin ja laitteiston tai vaihtoehtoisesti ohjaa kokonaisuuden turvalliseen tilaan. Painelaite- ja kemikaaliturvallisuussäädösten perustana on, että prosessilaitoksista tai niihin liittyvistä laitteista ja järjestelmistä ei saa aiheutua henkilö-, ympäristö- tai omaisuusvahinkoja lasketun elinkaaren aikana. (TUKES 2008.) Sähkö- ja automaatiojärjestelmien materiaaleihin pätevät ohjeen YVL E.7:n vaatimukset.

Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit, joiden perustana on sähköturvallisuuslaki 2016/1135, 33§ ja 84§. Standardeja ovat (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016/1135)

- SFS 6000 (2017)
- SFS 6001 (2018)
- SFS 6002 (2015) + A1 (2018)
- SFS-EN 60079-14 (2015) + AC (2016)
- SFS-käsikirja 604-2 (2017 luku 3)
- SFS-EN 50107-1 (2003)
- SFS-EN 50191 (2011)

- SFS-EN IEC 62485-2 (2018)
- SFS-EN 50119 (2010) + A1 (2013)
- SFS-EN 50122-1 (2011) + A1 (2011) + A2 (2016) + A3 (2016) + A4 (2017)
- SFS-EN 50122-2 (2011)
- SFS-EN 50124-1 (2017)
- SFS-EN 50341-1 (2014) + SFS-EN 50341-2-7 (2015).

Ylläpidon kannalta tietoturva on tärkeä osa sähkö- ja automaatiojärjestelmiä. Tietoturvaa koskevat yleiset vaatimukset on määritelty vaatimusmäärittelyissä. Suunnittelussa noudatetaan Posivan ja TVO:n tietosuojaohjeistusta. Sähkö- ja automaatiojärjestelmille tehdään myös mittavat tehdastestit, jotka suoritetaan erillisen testaussuunnitelman perusteella. FAT testauksen ja testausohjeiden tulee kattaa testin kuvaus, testistä odotettavissa olevat tulokset, testausmenetelmät, testilaitteistolle asetettavat vaatimukset, testissä käytettäviltä ohjelmatyökaluilta esitettävät vaatimukset sekä ohjelmistojen asennus- ja testausvaiheet. Erityisvaatimuksena on latteiston kokoonpano, monitorointiin ja mittauksiin käytettävä laitteisto, testien suoritus ja testausohjelman vaiheistus. (Posiva Oy 2016b.)

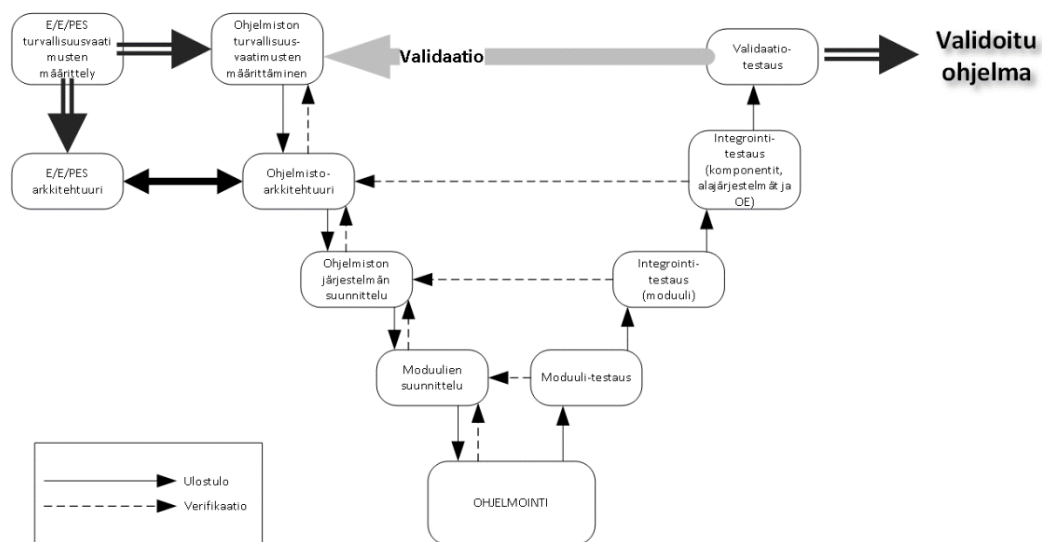
Sähkö- ja automaatiojärjestelmien FAT testisuunnitelmassa määritetään seuraavat asiat (Posiva Oy 2015, sisäinen asiakirja)

- selvitys testiohjelmasta
- testivaiheiden ja yksittäisten testien määrittelyt
- kuvaus testauslaitteista, testausympäristöstä ja olosuhteista
- kuvaus dokumenttien hallinnasta
- vaatimukset testin suorittamiseksi
- vaatimukset testien hyväksymiselle
- testausmenettelytapa
- testiohjeet
- testiraportin laajuus.

7.3 Laitosautomaatio

Posivan laitosautomaatio muodostuu järjestelmistä, jotka ovat ohjausautomaatiojärjestelmä 1, suoja-automaatio ja ohjausautomaatiojärjestelmä 2. Kapselointilaitoksessa on

valittu kuuden eri prosessijärjestelmätyypin kohdalla automaation toteutustavaksi erillinen ohjausjärjestelmä. Prosessin ohjaus tapahtuu prosessinäyttöjen tai ohjauspaneelien avulla. Hallittu järjestelmäläpää saavutetaan automaation toteutussuunnittelulla, joka on vaiheistettu ja ohjeistettu yksityiskohtaisesti osaprosessien ja laitteiden toimintojen integroimisen ansiosta. (Posiva Oy 2020g.) Suoja-automaatioon liittyviltä eri osa-alueiden komponenteilta vaaditaan suurta toleranssia vikaantumisille, koska suoja-automaation pitää luotettavasti pysäyttää tai muutoin ohjata kone tai prosessi turvalliseen tilaan häiriö- tai vaaratilanteissa. (Metropolia 2014.) Kuva 16 osoittaa perinteisen suoja-automaation toimintatavan.



Kuva 16. Ohjelmiston turvallisuuden integroimis- ja kehityselinkaari (Metropolia 2017).

Suoja-automaatio on kokonaisvaltaisesti turvallisen toiminnan keskus. Suoja-automaation tärkeyden vuoksi on erittäin tärkeää, että järjestelmät on verifioidusti toimivia ja päteviä ja, että ne täyttävät kaikki tarvittavat vaatimukset. Järjestelmäkehityksen eri vaiheissa todennetaan yhtenäisyyttä, vaatimusten täyttämistä ja turvallisuutta. Suoja-automaatiojärjestelmille asetettuja ehtoja ja vaatimusmääritteitä on paljon. Tärkeimpiä kohtia ovat: järjestelmän tulee olla itsenäinen automaatiojärjestelmä joka on käyttöautomaatiosta riippumaton. Järjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon prosessin tarkoitus ja järjestelmän vaadittava pätevyys, järjestelmän mekaaniset laitteet tulee olla CE-merkityt tyyppihyväksytyt laitteita. Laitteiden käyttöturvallisuus, luotettavuus ja soveltuvuus on mahdollista osoittaa. Aukottomassa suoja-automaatiossa pitää olla mistään järjestelmästä riippumaton, manuaalinen pysäytyksen mahdollisuus vaaratilanteissa. (TU-KES 2008.)

Jokaisessa suunnitteluvaiheessa on yksilölliset suunnitteluvaatimukset, tavoitteet, lähtötiedot ja tulosaineistot, jotka kuuluvat kokonaisuuden konfiguraation hallinnan piiriin. Suunnitteluvaihe koostuu eri vaiheista, jotka ovat (Posiva Oy 2016b)

- konseptisuunnittelu
- perussuunnittelu
- toteutussuunnittelu
- integrointi.

7.4 Järjestelmien ja laitteiden vaatimukset

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen teknisten järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden objektiiviseen näyttöön perustuvana varmistuksena käytetään kelpoistussuunnitelmaa ydinenergia-alan säädösten mukaisesti. Kapselointilaitoksen laajuus sisältää käytetyn ydinpolttoaineen kapselointitoiminnassa tarvittavien järjestelmien, laitteiden ja rakenteiden suunnittelun, hankinnan, valmistuksen, asennuksen, rakentamisen, kelpoistamisen sekä varsinaisen käyttöönoton. Ennen käyttöönottoa ja tuotannon alkamista täytyy suorittaa paljon erilaisia kokeita. Kunnossapitovaatimuksiin kuuluu muun muassa huoltoseisokkeja. Säännöllisiä huoltoseisokkeja pidetään suunnitelmien mukaisesti. Huoltoseisokin aikana käsittelykammio puhdistetaan ja kriittiset laitteet huolletaan tai tarvittaessa vaihdetaan kokonaan uusiin. Materiaalien käyttäytyminen palotilanteessa on myös otettu huomioon kapselointilaitoksen paloluokan vaatimusten mukaisesti. (Posiva Oy 2020b.) Käsittelykammion rakenteiden kunnossapitovaatimuksia ei esitetä tarkemmin tässä kokonaisuudessa.

Suunnitteluperusteiden määritelmä kattaa kaikki laitoksen, rakenteiden, järjestelmien tai laitteen suunniteluun ja toimintaan liittyvät oletamat, vaatimukset, määrittelyjät ja perusteet normaaleille käyttötilanteille ja onnettomuuksille. Suunnitteluperusteiden täyttämällä laitos on luvitettu käyttötarkoitukseensa. Suunnitteluperusteita ovat sovellettujen yleisten turvallisuusperiaatteiden tai käyttöteknisten näkökohtien mukaisesti muodostetut vaatimusmääritteet toiminnallisten tavoitteiden realisoimiseksi tai vastaavasti analyytisten tulosten perusteella muodostetut vaatimusmääritteet laitoksen, järjestelmän osan tai laitteen toiminnalle. Koska halutaan, että toiminta pysyy suunnitteluperusteellisesti määrättyjen ehtojen sisäpuolella ja vaadituissa laitostilanteissa normaalin käytön, käyttöhäiriötilanteiden ja onnettomuuksien aikana. Suunnitteluperusteet uudelle ydinlaitokselle hyväksytään vaiheittain. Järjestyksessä etenevät vaiheet ovat periaatepäätös eli

karkea konsepti- ja tavoitetaso, rakentamislupa eli teknisesti tarkentunut toiminnallinen taso ja käyttöluva eli todennettavissa oleva tekninen ja toiminnallinen tasoympäristö. Suunnitteluperusteet esitetään turvallisuusarviossa. (Posiva Oy 2020b.)

Ydinturvallisuus on laitoksen käytön turvallisuutta. Tärkeimpiä asioita käytön turvallisuudelle on kriittisyysturvallisuus sekä polttoaineen, jälkilämmön, ja säteilyn hallinta. Käytetyn polttoaineen kriittisyysturvallisuus on varmistettava kaikissa mahdollisissa olosuhteissa. Käyttöturvallisuus muodostuu kokonaisuudesta. Säteilyturvallisuus varmistetaan, polttoaineen eheydellä, alikriittisyydellä, jälkilämmön poistolla, ydinmateriaalin hallinnalla, turva- ja valmiusjärjestelyillä, paloturvallisuulla, pitkäaikaisturvallisuuden rakenteiden käyttökuntoisuudella ja pitkäaikaisturvallisuuskriittisillä toiminnoilla. (Posiva Oy 2020b.)

Ydinlaitosten rakentamistoiminnassa on keskeistä, että lainsäädännössä ja YVL-ohjeistossa esitettävät turvallisuusvaatimukset ymmärretään ja huomioidaan rakentamishankkeen kaikissa vaiheissa ja, että eri osapuolet sitoutuvat niiden täyttämiseen. Uuden ydinlaitoksen rakentaminen edellyttää mukana olevilta organisaatioilta merkittävää projektinjohdollista ja teknistä osaamista, jotta turvallisuuteen liittyvät tavoitteet toteutuvat. (YVL A.5 2019b, 1:103.) Ohjeistuksen ja standardien soveltamisessa noudatetaan säännöstöhierarkiaa. Ensisijaisesti noudatetaan Suomen perustuslakia, toisena noudatetaan ydinenergialakia, kolmantena Säteilyturvakeskuksen määräyksiä, neljäntenä YVL-ohjeistuksia ja viimeisenä tulee IAEA:n ohjeistus sekä muut ydinalan standardit ja Suomessa voimassa olevat tekniset standardit. (Posiva Oy 2017b.)

7.5 Tuotantoprosessin vaatimukset

Kaikki tuotantotoiminnot ovat prosessivaatimuksia ennen implementointia. Tuotantoimintojen päätoimiin kuuluvat kehittäminen ja kuljettaminen. Käytön päätoimiin kuuluvat kapselointi, kapselin siirrot, asennukset, laadunhallinta, kunnossapito ja muutostyöt. Luvituksen päätoimiin kuuluu YEL:n mukaan määritetyt luvat ja niiden hakeminen, FSAR laatiminen, lupaehtojen täyttäminen sekä uusinta- ja lisäluvitukset. Rakentamisen päätoimiin kuuluu rakennuttaminen, työmaa, laadunhallinta, tilojen louhinta ja rakennustekniset työt. Suunnittelun päätoimiin kuuluu kalliosuunnittelu, järjestelmät ja mekaaniset laitteistot. Tarkastuslaitoksen tehtäviä ovat FAT:n ja SAT:n suorittaminen ja ainetta rikkomattomat tarkastukset. Turvallisuuden päätoimia ovat YEL:n ja YVL:ien mukaisten lupien ja

asetusten mukaisesta toiminnasta hoitaminen, tutkimustyö ja vaatimustenhallinta. (Posiva 2009.) Tarvittavien henkilöiden määrä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tuotantotoimintojen hoitamiseen täytyy olla määritelty ennen koekäyttöä. Ennen tuotantotoimintojen aloittamista täytyy suunnitella ja määritellä organisaatio sellaiseksi, että se huolehtii seuraavista osa-alueista, jotka ovat ydin- ja säteilyturvallisuus, loppusijoituskonseptin hallinta, kehittäminen ja ylläpito, turvallisuusarvion laadinta ja ylläpito, luvituksen hallinta, laitostekniikan ylläpito ja laitossuunnittelu, rakentaminen ja investoinnit, hankinta ja logistiikka, käyttö ja kunnossapito, yritysturvallisuus, laatu ja ympäristö sekä tukitoiminnot. (Posiva Oy 2018.) Loppusijoittamisen turvallisuus määritetään turvallisuusperustelun mukaan. Turvallisuusperustelu pohjautuu teknistieteelliseen aineistoon, analyysihin, havaintoihin, kokeisiin ja testeihin mitkä yhdessä takaavat turvallisen loppusijoittamisen. (Posiva Oy 2020h).

7.6 Tuotantoon valmistautuminen

Ydintekninen käyttöönotto on Posivan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen tähtäävän hankkeen viimeinen vaihe. Siinä loppusijoitetaan ensimmäiset käytettyä ydinpoltoainetta sisältävät kapselit. Alustavien suunnitelmien mukaan ydinteknisen käyttöönoton aikana loppusijoitetaan yhteensä noin 30 kapselia ensimmäiseen loppusijoitusvalmiiseen tunneliin. Ydintekninen käyttöönotto on samalla varsinaisen loppusijoittamisen ensimmäinen vaihe. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksista tulee ydinlaitoksia. Ydinteknisen käyttöönoton aloittamisen jälkeen ydin- ja säteilyturvallisuuden merkitykset korostuvat. Ydintekninen käyttöönotto alkaa, kun ensimmäinen erä käytettyä ydinpoltoainetta pakataan siirtosäiliöön KPA-varastolla ja siirretään kapselointilaitokselle. (Posiva Oy 2019a.)

8 KÄSITTELYKAMMION JÄRJESTELMIEN KESKINÄINEN KÄYTTÖNOTTO LAITOSTASOLLA

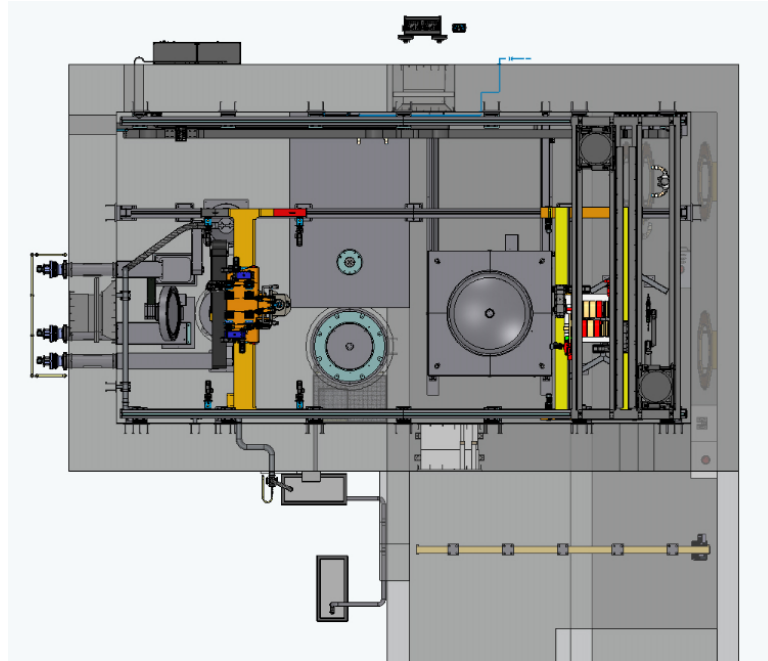
Tässä osiossa käsitellään kapselointilaitoksen käsittelykammion järjestelmien keskinäistä käyttöönottoa laitostasolla. Osiossa myös esitetään aikatauluhahmotelma asennusten aikataulusta ja järjestyksestä sekä koekäytöstä ja käyttöönotosta. Spesifejä tietoja järjestelmistä, turvallisuusaineistoista, suunnitteluperusteista ja vaatimuksista ei julkaista tässä opinnäytetyössä.

8.1 Käsittelykammio

Käsittelykammiolla on tärkeä tehtävä omalta osaltaan varmistaa turvallinen loppusijoitus. Kapselointiprosessin vaativimmat työvaiheet tehdään polttoaineen käsittelykammiossa ja kapselin hitsauskammiossa, jotka sijaitsevat maanpinnan tason tiloissa. Käsittelykammion mekaanisia pääjärjestelmiä ovat polttoaineen kuivausjärjestelmä, kuljetussäiliö ja kapselin telakointiasema, polttoaineen siirtokone ja manipulaattori. Käsittelykammiossa on myös tilavaraus polttoaine-elementtien mittauksiin. Käsittelykammio pitää sisällään kapselointilaitosrakennuksen rakenteita, jotka rajaavat erilleen kapselointilaitoksen muut tilat kapselointiprosessissa suojaamattomana käsiteltävän polttoaineen käsittelyyn tarkoitettusta käsittelykammioista. Järjestelmän tehtävänä on toimia radioaktiivisten aineiden päästöesteenä sekä suojata ympäröiviä tiloja ydinpolttoaineesta tulevalta suoralta säteilyltä. Käsittelykammion rakenteisiin tehdään käsittelykammiossa toimivien järjestelmien ja mekaanisten laitteiden vaatimat läpiviennit. Läpivientejä tarvitaan muun muassa kaapeleille ja putkistoille. Läpiviennit tehdään asetettujen tiiveys- ja säteilyvaimennusvaatimusten mukaisesti. (Posiva Oy 2017b.)

Polttoaineen käsittelykammio on vuorattu ruostumattomalla teräsverhouksella. Käsittelykammio on liitetty ilmastointijärjestelmiin, jotka pitävät käsittelykammion alipaineisena ympäröiviin tiloihin nähden. Käsittelykammio kytketään valvonta-alueen lattiaviemäröintijärjestelmään ja aktiivisten nesteiden käsittelyjärjestelmään. Käytettyä ydinpolttoainetta nostetaan ja siirretään käsittelykammiossa osaksi suojaamattomana. Suomen lainsäädännön, viranomaisten, Posivan ja Posivan omistajien asettamat vaatimukset kohdistuvat eritoten laitoksen ydinturvallisuuteen, säteilyturvallisuuteen, pitkäaikaisturvallisuuteen, käytettävyyteen, kustannustehokkuuteen ja suorituskykyyn. Käsittelykammio on

osa ydinlaitosta ja siihen kohdistuvat vaatimukset eivät kohdennu ainoastaan valmiiseen käsittelykammioon tai sen toimintaan, vaan muun ohella ohjaavat monin osin myös toteuttamiseen liittyviä menettelykäytäntöjä. (Posiva Oy 2019f.) Kuvassa 17 mallennus käytetyn polttoaineen käsittelykammioista.



Kuva 17. Malli käsittelykammioista (Posiva 2020h).

Käsittelykammion yläpuolella on dekontaminointikeskus ja laitteiden korjaamo. Dekontaminointikeskuksen tehtävä on mahdollistaa polttoaineen käsittelykammion laitteiden ja niihin liittyvien osien puhdistus radioaktiivisesta kontaminaatiosta. Ennen mekaanisen laitteen siirtämistä dekontaminointikeskukseen, määritetään sen kontaminaatiotaso ottamalla siitä pyyhkäisyinäyte, jota tutkimalla saadaan selvyys kontaminaation määrästä. (Posiva Oy 2018.)

8.1.1 Käsittelykammion järjestelmät

Käytetyn polttoaineen käsittelykammion järjestelmä muodostaa tiiviin rakenteen, joka estää prosessissa mahdollisesti vapautuvien radioaktiivisten aineiden leviämisen käsittelykammion ulkopuolelle. Käsittelykammion rakenteet eivät altistu ulkoilmaympäristölle. Käsittelykammion rakenteet toteutetaan siten, että ne vaimentavat ydinpolttoaineesta kammiota ulkopuolelle menevää suoraa säteilyä. Tällä estetään, ettei ulkopuolisilla alueilla sallitut säteilyannokset ylity olosuhteista riippumatta ja ettei laitoksen henkilöstön käyttämissä tiloissa ylity viranomais määräyksissä kuvatut suoran säteilyn raja-arvot. (Posiva Oy 2019f.)

Käsittelykammiota pidetään ilmastointijärjestelmien avulla alipaineisena ympäröiviin tiloihin nähden. Radioaktiiviset aineet poistuvat kammiosta hallitusti ja tehokkaasti ilmastoinnin suodatuksen, lattiaviemärijärjestelmien ja aktiivisen vedenkäsittelyn avulla. Käytetyn polttoaineen jälkilämpö poistetaan käsittelykammiosta jäähdytys- ja suodatusjärjestelmien sekä poistoilmastointijärjestelmien avulla. Normaalikäytössä saattaa ilmentyä ilma- ja pintakontaminaatiota, jonka vuoksi käsittelykammiosta on erilaisia apujärjestelmiä laitteiden, rakenteiden ja tilojen dekontamointiin radioaktiivisista aineista sekä mahdollisiin huoltoon liittyvissä toimenpiteissä. (Posiva Oy 2019f.)

Käsittelykammion järjestelmäryhmiä ovat

- sähköt, muun muassa valaistus
- ilmastointi
- palosammutus
- kaasusammutusjärjestelmä
- paineilma
- kaasujärjestelmä
- polttoaineen siirto
- polttoaineen siirtosäiliöön liittyvät järjestelmät
- kapseliin liittyvät järjestelmät
- apujärjestelmät.

Käsittelykammiosta löytyy myös tilat mittauskammiolle. Käsittelykammioon liittyy lisäksi lukuisia järjestelmiä muun muassa sähkönjakelu ja valaistus sekä prosessi- ja kulunval-

vonta. Polttoaineen käsittelykammion järjestelmien tietoturvaluustaso pidetään korkealla. Järjestelmää turvataan suojautumalla ulkopuolisilta uhilta ja haitallisen toiminnan aiheuttamilta viallisuuksilta fyysisin, teknisin ja hallinnollisin keinoin. Tietoturvaluustuksen varmistamiseksi noudatetaan Posivan tietoturvaluustuksen asiakirjakokonaisuutta. (Posiva Oy 2017b.)

8.1.2 Rakenteiden vaatimukset

Kapselointirakennuksen rakenteisiin kohdistuu eri tiloissa erilaiset olosuhteet, joiden takia huonetiloille on pakollista tehdä ympäristöolosuhdeluokitus. Toiminta ja käyttö laitoksen eri käyttötiloissa on määritelty kapselointiprosessille laadituissa käyttöturvaluustusanalyysissä, jotka rakentuvat normaalikäytön, käyttöhäiriöiden ja onnettomuustilanteiden mukaisesti. Normaalikäytössä eli tuotantokäytössä kapselointiprosessi toimii normaalisti, ja käsittelykammion rakenne pidetään tiiviinä. Tiiveys varmistetaan pitämällä kammion huoltoluukku ja muut ovet suljettuina. Käsittelykammion ilmaa suodatetaan tarpeen mukaan esimerkiksi mahdollisten kontaminaatioiden seurauksena.

Huoltoseisokki luokitellaan myös normaaliksi käyttötilanteeksi. Huoltoseisokin aikana kammio dekontaminoidaan ja puhdistetaan perusteellisesti. Radioaktiiviset materiaalit poistetaan aktiivisten jätteiden käsittelyyn. Huoltoseisokin loputtua käsittelykammion tiiveys palautetaan. (Posiva 2017b.) Polttoaineen käsittelykammion rakenteiden ydinteknisenä turvallisuustehtävänä on estää radioaktiivisten aineiden laajeneminen käsittelykammion ulkopuolelle. Polttoaineen käsittelykammion rakenteet altistuvat kapselointirakennuksen tiloissa vallitseville olosuhteille, jotka ovat erilaisia eri tiloissa. Huonetiloja on määritetty seuraavan listauksen mukaisesti (Posiva Oy 2017b)

- lämpötila- ja kosteusluokka
- säteilytasoluokka
- pintakäsittely- ja dekontaminoitavuusluokka
- lämpökuormaluokka
- palokuormaluokka
- sallittu melutaso
- paine-eroluokka
- valaistusvoimakkuusluokka
- tilaluokka sähkö- ja automaatiolaitteiden kannalta
- kotelointiluokka.

Käsittelykammion rakenne erottaa fyysisesti kapselointiprosessissa suojaamattomana käsiteltävän ydinpolttoaineen laitoksen muista tiloista. Polttoaineen käsittelykammion ja käsittelykammion ohjaushuoneen välillä on ikkunoita kapselointiprosessin visuaalista tarkkailua varten. Ikkunoiden tulee täyttää asetetut tiiveys- ja säteilyvarmennusvaatimukset. Rakenteet toteutetaan siten, ettei laitoksen henkilöstön käyttämissä tiloissa suoran säteilyn sallitut annosnopeudet ylity. (Posiva Oy 2017b.)

Kapselointiprosessin valvontatoimintoihin kuuluu kapselointiprosessin ohjaus sekä valvomosta, että kapselointilinjaston lähellä olevasta prosessin ohjaustilasta. Ohjaustilasta on suora näkyvyys käsittelykammioon vahvojen lyijyglasien läpi. Kapselointilaitoksessa noudatetaan YVL D.1:n mukaisia vaatimuksia ydinmateriaalivalvonnan osalta. Käytetyn polttoaineen kaikissa kapselointiprosessin vaiheissa ydinmateriaalivalvonta tapahtuu ydinmateriaalin kirjanpidolla sekä visuaalisilla ja teknisillä valvontamenetelmillä. (Posiva Oy 2009.)

Säteilysuojelun osalta otetaan huomioon säteilyturvakeskuksen ohjeet, jotka ovat

- YVL C.1 - Ydinlaitoksen rakenteellinen säteilyturvallisuus ja säteilymittaukset
- YVL C.2 - Ydinlaitoksen työntekijöiden säteilyturvallisuus ja säteilyaltistuksen seuranta
- YVL C.3 - Ydinlaitoksen radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen ja valvonta.

8.1.3 Vikasietoisuusvaatimukset

Automatisoinnista ei ole hyötyä, mikäli ratkaisu ei ole toimintavarmistettu. Toimimattomuus näkyy ylimääräisenä liiketoiminnan ylläpito- ja korjailutyönä sekä pahimmillaan liiketoimintaprosessien pysähtymisenä. Arkkitehtuuri suunnitellaan siten, että potentiaalisia ongelmapisteitä on mahdollisimman vähän, koska epävarma toiminta hidastaa tai pahimmillaan estää toimintaprosessin etenemisen. Tämän vuoksi on tärkeää, että vikasietoisuuteen varaudutaan monenlaisin eri keinoin, jotta järjestelmä pystyy jatkamaan toimintaprosessia mekaanisen tai sähköisen vian ilmetessä. Vikatyyppejä on monenlaisia. Virhe tarkoittaa poikkeamaa ohjelmiston tai järjestelmän määritellyistä asetuksista, vika on virheellisesti definioidun ohjelman tai järjestelmäkohdan suoritus ja häiriö on viasta tai tarkoituksellisesta haitanteosta johtuva ulkoisesti havaittava poikkeama. Kaikki virheet ja viat eivät välttämättä johda häiriötilanteeseen. Riskienarvioinneissa huomioidaan laitetoimittajien vastuu mekaanisten laitteiden turvallisuudesta käyttöönottoon asti, jonka jälkeen vastuu siirtyy Posivalle. (Posiva Oy 2016a)

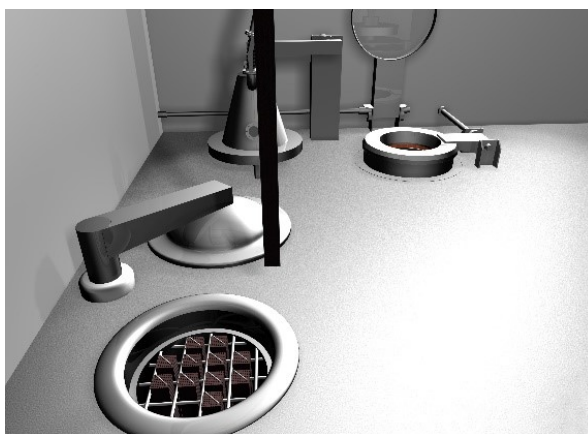
8.2 Toimintaprosessin kuvaaminen

Käsittelykammion pääprosessi on käytetyn polttoaineen käsittely suojaamattomana. Käsittelykammion osalta prosessi alkaa, kun kapselin siirtovaunu ajetaan polttoaineen käsittelykammion alapuolelle. Kuljetussäiliön telakointiasema toimii kapselointilaitoksella porttina polttoaineen käsittelykammion ja kuljetussäiliön siirtokäytävän välillä. Kuljetussäiliö nostetaan kuljetussäiliön siirtovaunun avulla käsittelykammion telakointiasemaan, joka telakoituu yläpäästään polttoaineen siirron ajaksi. Onnistuneen telakoitumisen jälkeen käytettyä polttoainetta sisältävä ja vedellä täytetty kuljetussäiliön läpivienni tiivistetään ja käsittelykammion sulkukansi avataan läpiviennin mahdollistamiseksi. (Posiva Oy 2019f.)

Kapselin telakointiaseman päätehtävänä on paikoittaa ja tiivistää loppusijoituskapseli käsittelykammion lattiassa olevaan reikään. Telakointiasema tarjoaa sopivat apuvälineet kapselin täytön ja sisäatmosfäärin vaihdon sekä teräskannen tiiveystarkastuksen suorittamiseksi niin, ettei kapselin pitkäaikasturvallisuus korroosion seuraksena vaarannu. (Posiva Oy 2019f.) Kapselin telakointiasema toimii myös porttina polttoaineen käsittelykammion ja kapselin siirtokäytävän välillä, mutta se toimii eri suuntaan kuin kuljetussäiliön telakointiasema. Onnistuneen telakoitumisen jälkeen kapseli liitetään tiiviisti telakoituna yläpäästään käsittelykammioon, jonka jälkeen loppusijoituskapselin sisäkansi avataan ja siirretään sivuun lastauksen ajaksi. (Posiva Oy 2009.) Kapselin telakointiaseman komponentteihin kuuluu telakointirengas, suojakansi, suojakartio ja kaasunvaihtokupu sekä kaasunvaihtoon liittyvä alipaineistustekniikka ja suojakaasun syöttölaitteet. Kapselin telakointiasema on yhteinen Loviisan ja Olkiluodon polttoaineelle. (Posiva Oy 2009.) Ennen käytetyn polttoaineen siirtoa, suojakaulus asennetaan kapselin tiivistepintojen suojaksi. Suojakauluksen asennuksen jälkeen käytettyä polttoainetta sisältävät polttoainesaumat nostetaan ja siirretään polttoaineen siirtokoneen avulla jatkokäsittelyyn. Samalla polttoaineelle suoritetaan loppusijoitusjärjestelmien vaatimusten mukaiset toimenpiteet. (Posiva Oy 2020h.)

Kuivausaseman laitteisto sijaitsee käsittelykammiossa. Polttoaineen kuivausjärjestelmän tärkein ominaisuus on vähentää polttoaine-elementin mahdollinen kosteus niin alhaiseksi, että polttoaine voidaan sulkea loppusijoituskapseliin. Kuivaus suoritetaan alipaineikuivauksena, jossa nippujen pinnalla oleva kosteus höyrystyy ja imeytyy pois. Tyhjiökuivauksen etuna on riskien vähentäminen mahdollisimman alhaiselle tasolle. Kui-

vauslaitteistosta ei käytetä nimeä autoklaavi, koska kuivausprosessi ei tarvitse autoklaaveille tyypillistä korkeaa lämpötilaa. Riskit polttoaineen vaurioitumiselle tai hiukkasten leviämiseksi kuivauksen aikana ovat erittäin vähäiset. Mahdollinen vesi, joka on jäänyt polttoainesauvoihin, saattaa aiheuttaa komplikaatioita tiiviisti suljetussa loppusijoituskapselissa pitkällä aikavälillä. Kammioista pois pumpattu vesihöyry kerätään hallitusti talteen ensin lämmönvaihtimella kondensoimalla sekä kylmäloukkuun jäädyttämällä. Alipainepumppujen poistoilma johdetaan valvonta-alueen ilmastoinnin poistokanavaan. Riittävä kuivaustulos varmistetaan alhaisella loppupaineella sekä riittävällä pitoajalla. Kammio on rakennettu sillä tavoin, että sen puhdistusprosessi olisi mahdollisimman mutkatonta, jos polttoainesauva rikkoutuisi kuivausprosessin, täytön tai tyhjennyksen aikana. (Posiva Oy 2019f.) Kuvassa 18 havainnollistetaan, miten polttoaineen siirtokoneen avulla käytettyä polttoainetta sisältävät polttoainesauvat siirretään yksitellen kauko-ohjautusti kuivausasemaan.



Kuva 18. Kuivausasema (Posiva 2020c).

Kuivausasemassa, polttoainesauvoista poistetun ylimääräisen veden jälkeen kuivatut polttoainepiput siirretään polttoaineen siirtokoneen avulla yksitellen käsittelykammioon tiiviisti telakoituun loppusijoituskapseliin. Kun kaikki käytettyä polttoainetta sisältävät polttoainesauvat on siirretty loppusijoituskapseliin, aloitetaan kapselin yläpään puhdistus mahdollisesta kontaminaatiosta. Puhdistuksen jälkeen sisäosan ilma täytetään argonkaasulla kaasunvaihtokuvun avulla, jonka jälkeen kapselin sisäkansi ruuvataan kiinni tiiviisti pallografiittirautaisella kannella, joka kestää mekaaniset rasitukset ja ääriolosuhteet. (Posiva Oy 2019f.)

Tiiveyden tarkistus suoritetaan sisäkannen sulkemisen jälkeen. Sisäkapselin tiiveyden tarkastuksen jälkeen kapseli lasketaan pois telakointiasemasta, jonka jälkeen kapselin

pinnasta otetaan pyyhkäisyinäyte kapselin pintakontaminaation havainnointia varten. Puhtaaksi todettu kapseli siirretään siirtovaunulla siirtokäytävässä kapselin hitsausaseman alapuolelle. Valmis kuparikansi tuodaan hitsauslaitteelle ennen kapselin telakointia hitsausasemaan. (Posiva Oy 2019f.) Sisemmän kannen sulkemisen jälkeen käsittelykammiossa täytetty loppusijoituskapseli siirretään siirtovaunulla kuparikannen hitsausasemaan (kts. luku 5.2.1). Mikäli kapselin pinnasta otetun pyyhkäisynäytteen rajat ylittyvät ja ilmoitus pintakontaminaatiosta tulee, täytyy suorittaa dekontaminointiprosessi, jolla pystytään saamaan kontaminaatio hallintaan ja vähentämään kontaminaation määrää.

8.3 Järjestelmien yksittäinen ja keskinäinen käyttö

Järjestelmäintegraatoratkaisussa pyritään saamaan muutoin keskenään yhteensopimattomat ja keskenään kommunikoidemattomat ratkaisut keskustelemaan toistensa kanssa. Järjestelmäintegraation koontivaiheessa täytyy ottaa huomioon seuraavia asioita (Tähtinen 2005, 48)

- informaation siirtäminen integroitavien järjestelmien välillä
- tietomuunnokset näiden järjestelmien sisäisten esitysmuotojen välillä
- kokonaisprosessin kontrolloiminen sekä tähän liittyvä valvonta ja raportointi.

8.4 Käyttöönotto

Käyttöönotto alkaa laite- ja järjestelmätason koekäytöllä. Käyttöönotto jakautuu kolmeen vaiheeseen, joita ovat laite- ja järjestelmätason koekäytöt, yhteistoimintakoe sekä ydintekninen käyttöönotto. Kapselointi- ja loppusijoituslaitosprojektikokonaisuudet vastaavat laite- ja järjestelmätason koekäytöistä omien laitospakettien osalta. Hankevaiheen jälkeen alkaa käyttövaihe, jolloin suoritetaan tuotantotoimintaa. Hankevaiheeseen kuuluu erittäin tärkeänä osana laitosten käyttöönotto, joka sisältää sekä kapselointilaitoksen, että maanalaisen loppusijoituslaitoksen yhteistoimintakokeet ja ydinteknisen käyttöönoton. (Posiva Oy 2019a.)

Käyttöönottoprojekti huolehtii yhteistoimintakokeen ja ydinteknisen käyttöönoton valmistelusta ja koordinoinnista. Käyttöorganisaatio vastaa niiden toteuttamisesta. Käyttöönoton aikana on varmistettava, että laitoksen järjestelmät, rakenteet ja mekaaniset laitteet

sekä niiden avulla toteutettavat prosessit täyttävät suunnitteluvaatimukset. Suunnitteluvaatimuksien todennus tapahtuu käyttöönottokokeilla, jotka suoritetaan koeohjelmien mukaisesti. Laitekohtaisissa kokeissa todetaan mekaanisen laitteen tai pienemmän komponentin tekninen toimivuus siinä määrin, kuin se on mahdollista ilman, että mekaaninen laite tai komponentti on täysin kytkettynä muihin samalla tasolla liittyviin laitteisiin tai komponentteihin. Hyväksytysti suoritettujen laitetestien jälkeen yksittäiset järjestelmät koestetaan omien koeohjelmien mukaisesti. Järjestelmätason koestuksien tarkoituksena on osoittaa järjestelmän toimivuus kokonaisuutena suunnitelmien mukaisesti erilaisissa käyttö- ja vikatilanteissa. (Posiva Oy 2019a.)

Käyttöönnotolle on laadittava kokonaisuussuunnitelma eli käyttöönottosuunnitelma. Käyttöönottosuunnitelmassa on esitettävä käyttöönottoon osallistuvat organisaatiot vastuualueineen, käyttöönottoon liittyvän dokumentaation rakenne, koekäytön suunnittelussa käytettävät menettelytavat ja ohjeet sekä muilta samantyyppisiltä laitoksilta saatujen kokemusten hyödyntäminen suunnittelussa. Suunnitelmassa on esitettävä myös luvanhaltijan toimet sen varmistamiseksi, että luvanhaltijan organisaatio on kyvykäs huolehtimaan ydinturvallisuuden kannalta tärkeistä tehtävistä. Suunnitelmassa tulee osoittaa myös koekäytön vaiheistus sekä kunkin vaiheen sisältö ja tavoitteet, tulevan henkilöstön koulutus, laitoksen käyttöohjeiden laatimisaikataulu ja suunnitelma koekäytön osuudesta. Sekä näiden ohjeiden oikeellisuuden ja riittävyyden varmistaminen ja koekäytön alustava aikataulu. Käyttöönottosuunnitelman laadinnan ja koonnin jälkeen suunnitelma täytyy kokonaisuudessaan toimittaa Säteilyturvakeskukselle hyväksyttäväksi yhtenä osatekijänä rakentamislupahakemusaineistoa. (YVL A.5 2019c, 4.2:409.) Käyttöönottosuunnitelma on päivitettävä ja täydennettävä ajan tasalle ennen käyttöönoton aloittamista ainakin seuraavilla tiedoilla (YVL A.5 2019d, 4.2:410)

- luettelo koekäyttöä varten laadittavista koeohjelmista
- selvitys PRA:n käytöstä koeohjelmien laadinnassa, ohjelmien kattavuuden ja tasapainoisuuden arvioiminen sekä koekäytön riskien pienentäminen (ohje YVL A.7, 325)
- koeohjelmien keskinäinen suoritusjärjestys
- ehdot etenemiselle vaiheesta toiseen ja muut koekäytön aikaiset tarkastuspisteet
- koekäytön aikataulu, jossa on määritelty eri koekäytön osien suunnitellut kestoajat
- erityishuomiota vaativien kohteiden yksilöinti ja yhteenvedot näille kohteille suunnitelluista kokeista

- koetulosten käsittelyn ja raportoinnin menettelyt sekä kuvaus menettelystä siinä tapauksessa, että jonkin kokeen tulokset eivät vastaa hyväksymiskriteereitä
- suunnitelma käyttöönoton aikaisesta kunnossapitotoiminnasta
- käyttöönottoon osallistuvan henkilöstön perehdytys tehtäviinsä.

Uusi versio käyttöönottosuunnitelmasta toimitetaan Säteilyturvakeskukselle hyväksyttäväksi tarvittavien päivityksien ja täydennysten jälkeen (YVL A.5 2019d, 4.2:410).

8.4.1 Testaus ja laadunhallinta

Laadunhallinta on ensiarvoisen tärkeää. Laadunhallinnan ja laadunvalvonnan tarkoituksena on varmistaa, että valmistettavat tuotteet ja rakenteet vastaavat niille asetettuja vaatimuksia. Posivalla on käytössä sertifioitu johtamisjärjestelmä, joka muodostuu johtamiskäsikirjoista ja aihekohtaisista käsikirjoista. Johtamisjärjestelmän tehtävänä on varmistaa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksille asetetut turvallisuusvaatimukset. Lisäksi se varmistaa toimintaan sisältyvät lainmukaisuudet, turvallisuusasiat ja kustannustehokkuuden. Posiva määrittelee toimintansa tavoitteellisuudet ja menettelytavat asetettujen päämäärien saavuttamiseksi. Erityisenä tavoitteena on turvallisuuden ja laadunhallinnan, yhteiskunnan ja sidosryhmien vaatimusten mukainen kehittämistyö. Posivan johtamisjärjestelmän kehitystyössä merkittävimmät tavoitteet on sekä johtamisjärjestelmän että menettelyiden integraatio ja koordinaatio TVO:n kanssa. Posivalla tulee säilymään oma laadunhallintajärjestelmä. Ympäristö- ja yritysturvallisuusjärjestelmien osalta pyritään yhteistoiminnalliseen, sertifioituun järjestelmään. Hyväksyttäväksi toimitettujen asiakirjojen laadinta, tarkastus ja hyväksyntä, jakelu sekä säilytys ja katselmointi on tehty ISO 9001:n sertifioidun Posivan suunnittelukäsikirjan johtamisjärjestelmän koostamien ohjeiden mukaisesti. (Posiva Oy 2020h.)

Testausmenetelmiä järjestelmille ja laitteille löytyy monia, nimityksiä on vielä enemmän, mutta testauksen pääperiaatteena on järjestelmien ja laitteiden oikea toiminnan osoittaminen, järjestelmän toimivuus, yhteensopivuus ja turvallisuusvaatimusten verifiointi.

Testaus on yksi käyttöönottoprosessin päälohkoista, ei pelkästään laadunvarmistuksen osalta, vaan myös turvallisuuden osalta. Käyttöönottoprosessia ja sitä edeltäviä merkittäviä vaiheita ovat (YVL A.5 2019e, 4.3)

- järjestelmille, rakenteille ja mekaanisille laitteille tehtävät valmistuksen aikaiset tarkastukset ja testaukset, sekä rakennesuunnitelma,- tarkastus ja tarvittavat soveltuvuusarviot
- järjestelmän kokoonpanon jälkeen tehtävät asennustarkastukset sekä tehdaskoeket (FAT), joiden päätarkoitus on varmistaa, että järjestelmä on valmistettu vaatimusten mukaisesti ja että toimintakyky on suunnitteluperusteiden mukainen.
- hyväksytyt FAT:n jälkeen järjestelmä toimitetaan laitokselle. Ensimmäinen testi laitospaikalla on vastaanottotarkastus, jossa tarkastetaan, että järjestelmän me-

kaaniset ominaisuudet eivät ole kärsineet esimerkiksi kuljetuksen aikana. Rakennetarkastus laitospaikalla voidaan suorittaa hyväksytyin vastaanottotarkastuksen ja järjestelmän asennuksen jälkeen.

- kaksivaiheinen käyttöönottotarkastus voidaan aloittaa, kun tarvittavat järjestelmakohtaiset YVL-ohjeiden vaatimukset on täytetty.

Yleisesti ensimmäinen tärkeä testi on Factory Acceptance Test, tehdastestaus, toimitusvalmiuden hyväksyntä. Laitteiden tehdastestillä on osoitettava niiden suunnitteluperusteinen toimintakyky käyttöalueilla ja kuormitustestauksella. Mikäli laitetta, sen eheydelle tai toimintakyvylle merkityksellisiä osia muutetaan tai vaihdetaan hyväksytyin tehdastestin jälkeen, testi on uusittava niin, että laitteen vaatimustenmukaisuus on yksiselitteisesti osoitettavissa. Tehdastesti tapahtuu pääsääntöisesti toimittajan tai valmistajan tiloissa. Tehdastesti on yleisesti rajattu tekniseen toimivuuteen. (Opetushallitus 2005.) Mikäli testattavaan laitteeseen liittyy testauksen kannalta olennaisia sähkö- ja automaatiojärjestelmiä tai -laitteita, luvanhaltijan on osoitettava ennen tehdastestiä, että niiden lopullinen soveltuvuusarvio on käsitelty ohjeen YVL E.7:n edellyttämällä tavalla. YVL E.7 koskee turvallisuusluokiteltuja sähkö- ja automaatiolaitteita. Tehdastestin tulokset verifioidaan rakennetarkastuksessa. (YVL E.7, 2019.) Mahdolliset epäkohdat, vikaantumiset ja häiriöt kirjataan. FAT testi täytyy suorittaa uudestaan, mikäli puutteellisuuksia on useita ja kaikki määrätyt vaatimukset ei täyty. (Metropolia 2017.)

Hyväksytyin tehdastestin jälkeen suoritetaan Site Acceptance Test eli hyväksymistestaus, joka pitää sisällään laitoskoestuksen, toimituksen, asennuksen ja käyttöönoton hyväksymisen. Hyväksymistestauksen perusteella voidaan päätellä, täyttääkö tilattu tuote kriteerit. SAT tapahtuu käyttöönoton yhteydessä, jolloin vaaditut kriteerit tarkastetaan, että ne noudattavat asettamia edellytyksiä. Testissä tullaan hyväksyttämään koko järjestelmän toimivuus ja yhteensopivuus sekä turvallisuusvaatimusten täytyminen. Ensisijainen tavoite ei enää ole virheiden löytyminen. Järjestelmätestissä etsitään virheitä ja epäsoveltuvia kohtia. (Tampereen teknillinen yliopisto 2011.)

YVL:n mukainen käyttöönotto turvallisuusluokitelluille mekaanisille laitteille määräytyy käyttöönottotarkastus 1 ja 2 mukaan. Käyttöönottotarkastus voidaan suorittaa, kun edellytykset siihen täyttyvät. Edellytyksiä ovat, että (YVL E.11 2019, 10)

- rakennesuunnitelma on hyväksytty
- nostolaitteyksikkö, sen kulkuratojen rajoittimet, apulaitteet ja apurakenteet sekä kulkuradat on asennettu lopulliselle paikalle

- nostolaiteyksikkö on hyväksytty rakennetarkastuksessa ja asennuksen rakennetarkastuksessa.

Käyttöönottotarkastuksen vaihe 1:ssä suoritetaan toteamistarkastus. Tarkastuksessa säteilyturvakeskus toteaa, että käyttöpaikalleen asennetun nostolaiteyksikön valmistusta ja asennusta koskeva rakennesuunnitelma on hyväksytty. Todetaan myös, että nostolaiteyksikkö on rakennetarkastuksissa todettu suunnitelman mukaiseksi. Käyttöönottotarkastuksen ensimmäisessä vaiheessa posiva osoittaa, että (YVL E.11 2019, 10)

- nostolaitteen rakennesuunnitelma, rakennetarkastus ja asennuksen rakennetarkastus on hyväksytty eikä tarkastushistoriassa ole sellaisia kohtia, jotka estäisivät koekäytön
- käyttö- ja kunnossapito-ohjeet ovat käytettävissä
- nostolaiteyksikkö on tarkastettavissa ja kunnossapidettävissä.

Käyttöönottotarkastuksen vaihe 2:ssa suoritetaan nostolaiteyksikön koekäyttö koekäyttösuunnitelman mukaisesti. Käyttöönottotarkastuksen toisessa vaiheessa todennetaan koekäytön tallenteista ja koekäyttöä valvomalla, että (YVL E.11 2019, 10)

- Posiva on suorittanut hyväksytysti sähkö- ja automaatiolaitteiden käyttöönottotarkastuksen
- koekäyttö on suoritettu koekäyttösuunnitelman määritetystä laajuudesta ja tulokset ovat hyväksyttävällä tasolla
- käytön aloittamisen esteenä poikkeamia ei ole.

8.4.2 Asennusten aikataulu ja järjestys

Asennusten aikataulussa ja järjestyksessä tavoitteena on edistää laitoksen koekäyttöä ja käyttöönottoa. Päämääränä on viedä osaprosessien kehityskaari loppuun limittäistä ajattelumallia hyödyksi käyttäen niin, että asennusten vielä jatkuessa toisella asennuskohteella, voidaan koekäyttöä valmistuneissa järjestelmissä viedä eteenpäin. Osaprosessien valmistusasteen ja nykyisen, uudistuneen menetelmän käyttäminen koekäyttöä ajatellen edellyttää muutostöitä nykyiseen asennusaikatauluun. Analyyttisiin tuloksiin pohjautuen asennusaikataulun muutostyöt ovat mahdollisia. Kapselointiprosessiin liittyvissä pääjärjestelmissä on suunnittelutöiden osalta viiveitä, joiden vaikutus kokonaisaikatauluun pyritään minimoimaan niin, ettei päätavoitteiden aikatauluun tule viivästyksiä.

(Posiva Oy 2020i.) Rakentamisen ja asennuksien kokonaisaikataulun kriittisyys on kapselointiprosessissa, joka pitää sisällään kapselikomponenttien valmistuksen, tarkastuksien kehittämisen ja kapselointilaitoksen rakennustyöt. Liite 2 sisältää aikataulun, jossa esitetään tärkeimmät virstanpylväät, resurssintarve ja riippuvuudet sekä aikataulun kriittinen polku. Kaikkia näkökulmia aikataulu ei tuo ilmi, mutta kootusti tietyillä virhemarginaaleilla toteutettuna tehokkuutta voidaan lisätä. Tehokkuutta saadaan Lean-ajattelumallilla. Lean-ajattelumallin perustana toimii pyrkimys tuottaa pienillä resurssivaatimuksilla mahdollisimman paljon tehokasta ja tuottavaa työtä sekä nopealla aikataululla laadukasta lopputulosta. Asennusten aikataulun kesto per laite lasketaan kuukausina virhemarginaalien kanssa. Aikataulu sisältää tehostetun sekä normaalin näkymän pylväskaa- viomaisena lopputuloksena, jossa jakson pituus mitataan kuukausina. Edistymäennuste sisältää korrelaatiokertoimen, jolla pystytään mittaamaan todennäköisyyttä ja lineaarista riippuvuutta laskelmissa. Pearsonin korrelaatiokerroin on numeerinen mitta satunnaisuuttujen väliselle lineaariselle riippuvuudelle.

8.4.3 Käyttöönoton aikataulu laitostasolla

Käsittelykammion tuotantojärjestelmien käyttöönotto suoritetaan vaiheissa, joista edetään laitostason käyttöön, joka kattaa koko kapselointiprosessin. Ennen varsinaista käyttöönottoa suoritetaan koekäyttöjä. Laitostason koekäyttö edellyttää pääjärjestelmien valmiuden teknisesti ja fyysisesti. Kaikkien apu- ja turvajärjestelmien pitää olla lisäksi samalla tasolla pääjärjestelmien kanssa. Tällöin on valmius suorittaa laitostason koekäyttö. Koekäyttöä ohjataan laitosautomaation avulla kapselointiprosessin ohjaamosta. Koekäytön edellytyksiä ovat esimerkiksi, että (Posiva 2020a, sisäinen asiakirja)

- asennukset ovat suoritettu loppuun
- tarkastustekniset edellytykset ovat suoritettu
- järjestelmä on koekäytön aloitushetkellä järjestelmän käyttöohjeistuksen käyttötilanteen mukaisessa tilassa
- tarvittavat mittalaitteet ja resurssit ovat käytettävissä
- koekäytön aloituskokous on pidettynä
- STUKin osallistumisen selvittäminen.

Hyväksytyin käyttöönottotestien jälkeen alkaa varsinainen käyttöönotto tuotannon näkökulmasta. Käyttöönottoon liittyvän aikataulun laatiminen ja aikataulun noudattaminen on

ensiarvoisen tärkeää kokonaisuuden kannalta. Käyttöönottoaikataulussa liite 4 esitetään tärkeimmät virstanpylväät, suunnittelutehtävät ja niiden kesto, resurssintarve ja riippuvuudet, suunnittelukatselmukset sekä aikataulun kriittinen polku. Aikataulun lähtötiedot implementoidaan yhdeksi taulukoksi ja esitetään kokonaisuutena. Aikataulua laadittaessa keskittyminen kiinnittyy käyttöönoton tehostamiseen. Käyttöönoton aikataulun kesto per järjestelmä lasketaan viikkoina, jotka sisältävät virhemarginaalit. Virhemarginaali on noin 5-7,5 prosenttiyksikkö. Aikataulu sisältää tehostetun näkymän Gantt-kaaviomaisena lopputuloksena, jossa jakson pituus mitataan viikkoina. Gantt-kaavio esittää käyttöönoton ja sen työvaiheiden edistymistä suhteessa aikaan.

8.4.4 Yhteistoimintakokeet

Yhteistoimintakokeet on edellytys käyttöluvalle. Edellytyksiä ovat, että (YVL A.5 2019e, 4.3)

1. loppusijoituskokonaisuus on hyväksytysti testattu ydinteknistä koekäyttöä varten
2. täydennykset käyttöluvhakemukseen on toimitettu
3. STUK on hyväksynyt koetulokset ja myöntää käyttöluvan.

Yhteistoimintakokeiden suorittaminen on merkittävä asia, koska ennen tuotantoon siirtymistä osoitetaan järjestelmien yhteistoiminnan pätevyys. Yhteistoimintakokeiden tavoitteena on osoittaa, että Posiva pystyy louhimaan loppusijoitustunnelin ja poraamaan loppusijoitusreiät teknisten vaatimusten ja kallion soveltuvuusluokittelun soveltuvuusarvion mukaisesti. Sekä johdattamaan kapselointi- ja loppusijoitusprosessit hyväksytyjen suunnitelmien mukaisesti. Yhteistoimintakoe eroaa varsinaisesta tuotantovaiheesta siten, että se suoritetaan ilman käytettyä polttoainetta. Kapselien käsittelytoimenpiteet sisältävät yhteistoimintakokeen aikana harjoitusnippuja, jotka simuloivat aitoa toimintaprosessia. Yhteistoimintakokeessa harjoitusniput siirtyvät kapselointiprosessin läpi, jonka päävaiheita ovat polttoaineaihioiden kuivaus, kapselin lataus, kannen hitsaus ja kapselin NDT-tarkastus. (Posiva 2019a.)

Loppusijoittamisessa vaadittavien mekaanisten laitteiden ja järjestelmien toimintakyky koestetaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksilla. Tämä suoritetaan erillään toisistaan omina laitoskokonaisuuksina. Yhteistoimintakokeet tehdään lopullisilla, käyttötarkoitukseen soveltuvilla sekä hyväksytyillä mekaanisilla laitteilla ja järjestelmillä todellisissa olo-

suhteissa. Yhteistoimintakokeen riittävän laajuuteen edellytyksenä on, että koko kapselointi- ja loppusijoitusprosessin läpikäymiseksi alusta loppuun käytetään vähintään neljä kapselia ja ettei vikatilanteita muodostu missään prosessivaiheen aikana. (Posiva 2019a.) Yhteistoimintakokeiden suunniteltu kesto on pitkäaikaisempi loppusijoituslaitoksen osalta, koska siihen kuuluu myös loppusijoitustilojen karakterisointi ja rakentaminen. (Posiva Oy 2020h.) Potentiaalinen aikataulullinen jättämä muodostuu loppusijoitustunneleissa, koska tunneleissa tapahtuvat toiminnot koestetaan vasta kun kapselointilaitoksen yhteistoimintakoe on suoritettu. Mahdollisen jättämän syntyvyysriski ja seuraus on vähäinen.

Yhteistoimintakokeen kapselointi- ja loppusijoitusvaiheiden suorittamisen edellytyksiä on monia, joita ovat (Posiva Oy 2019a)

- hyväksytyt YTK-alueen loppusijoitustunneli ja tarvittavien loppusijoitusreikien poraaminen
- käyttöön otetut järjestelmät
- käyttöön otetut EBS-asennuslaitteet
- järjestelmien käyttö- ja huolto-ohjeet sekä niiden käytettävyyttä
- käyttökäsikirja
- tuotannon ohjausjärjestelmä
- polttoaineen siirtosäiliö ja sen käytettävyyttä
- loppusijoituskapselit ja niiden saatavuuden varmistaminen
- polttoaineaihiot valmiina käyttöön
- puskurikomponentit valmiina käyttöön
- loppusijoitustunnelin täyttömateriaali valmiina käyttöön
- hyväksytyt tulppakonsepti ja sen suunnitelmat
- koulutettu organisaatio ja käyttöhenkilöstö
- säteilyturvakeskuksen hyväksymä YTK:n vaihekoeohjelma.

Yhteistoimintakoe alkaa loppusijoitustunnelin prototyypistä, jota seuraavat loppusijoitustunnelin louhinta ja rakentaminen, loppusijoitusreikien pilotit, loppusijoitusreikien poraukset, loppusijoitusreikien pohjan tasaukset sekä tulpan muodon louhinta. Kapselointi- ja loppusijoitusvaiheiden työt suoritetaan samassa järjestyksessä, jota myöhemmin käytetään loppusijoituksessa laitosten käyttövaiheessa. (Posiva Oy 2019a.)

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä luotiin aikatauluhahmotelma. Hahmotelmat tehtiin sekä asennusten että käyttöönottoa koskevan aikataulun osalta. Aikatauluhahmotelmissa kuvataan käsittelykammion järjestelmien eri vaiheita asennuksesta käyttöönottoon. Työssä käsiteltiin käsittelykammiota laajemmin, samalla lisäten tietoutta ydinvoimaan liittyvistä asioista ja loppusijoittamisen tärkeydestä.

Yleispätevä loppusijoittamiseen liittyvä prosessinkuvauskaavio liiteosiossa auttaa selkeyttämään loppusijoittamiseen liittyviä prosesseja. Inhimillisiä tekijöitä jätettiin pois käsittelykammion keskinäisten asennuksien ja käyttöönottoa koskevissa aikatauluhahmotelmalaskelmissa. Näitä ovat muun muassa mekaanisten laitteiden valmistuksen kesto ja mahdolliset aikataululliset jättämät, henkilöistä ja kuljetuksista johtuvat viivästymät sekä mahdolliset asennuksista koituvat aikataululliset jättämät. Kapselointilaitoksen käsittelykammion laajamittaisen dokumentoinnin ja laadukkaan toteuttamisen perusteella voidaan olettaa, että suunnittelu, toteutus ja tuotannon vaatimusmääritteet täyttyvät ja että tuotantokäytön aikana ei pääse muodostumaan haitallisia vaikutuksia ympäristölle tai henkilöille. Laajamittaisen turvallisuusperustelun lopputuloksena loppusijoittaminen on turvallista.

Käyttöönottoon liittyy monia eri vaiheita. Siihen liittyy myös paljon ohjeistuksia, suosituksia, määräyksiä ja lakeja, jotka liittyvät laitoksen luvittamiseen ja käyttöönottoon suunnitteluperusteista aina laitoksen elinkaaren loppupäähän asti. Kapselointilaitoksen käsittelykammion hyvin tehdyllä suunnittelulla, dokumentoinnilla ja rakentamisella voidaan varmistua siitä, että käsittelykammion järjestelmät toimivat suunnittelun ja tuotantoon liittyvien vaatimusmääritteiden mukaan. Tärkeintä järjestelmien keskinäisessä käyttöönotossa ja käytössä on se, että järjestelmät toimivat turvallisesti ja luotettavasti. Kun nämä asiat täyttyvät voi loppusijoittaminen alkaa.

LÄHTEET

Finlex - Sosiaali- ja terveysministeriö 2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Viitattu 28.10.2020. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080400>

Finlex - Työ- ja elinkeinoministeriö 2016/1135. Sähköturvallisuuslaki. Viitattu 28.10.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2016/20161135>

International Atomic Energy Agency 2001. Joint Convention Comes into Force. Viitattu 18.10.2020. <https://www.iaea.org/newscenter/news/joint-convention-comes-force>

Metropolia 2014. Vikasietoisuusvaatimukset. Viitattu 19.11.2020. <https://wiki.metropolia.fi/display/alykas/Vikasietoisuusvaatimukset>

Metropolia 2017. Testaus ja integrointi. Viitattu 16.10.2020. <https://wiki.metropolia.fi/display/alykas/Testaus+ja+integrointi>

Nikula, A.; Raumolin, H.; Ryhänen, V.; Seppälä, T.; Vira, J. & Äikäs, T. 2012. Kohti turvallista loppusijoitusta - Ydinjätehuollon neljä vuosikymmentä. Helsinki: Posiva Oy.

Opetushallitus 2005. Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/koneautomaatio/ohjelmistoviat.html>

Posiva Oy 2009. Sisäinen asiakirja. Laitoskuvaus. Viitattu 5.10.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2011. Ilmakuva Olkiluodosta. http://www.posiva.fi/media/kuvapankki?gfid_1359=84&gpid_1359=1867#gallery_1359

Posiva Oy 2012a. Posiva on ydinjätehuollon asiantuntija. Viitattu 5.10.2020. <http://www.posiva.fi/posiva>

Posiva Oy 2012b. Ydinjätehuolto Suomessa. Viitattu 06.10.2020. http://www.posiva.fi/loppusijoitus/ydinjatehuolto/ydinjatehuolto_suomessa

Posiva Oy 2012c. Ydinjätehuollon suunnitelmat ja vuosikertomukset. Viitattu 16.10.2020. http://www.posiva.fi/tietopankki/julkaisut/ydinjatehuollon_suunnitelmat_ja_vuosikertomukset/yjh-2012_olkiluodon_ja_loviisan_voimalaitosten_ydinjatehuollon_ohjelma_vuosisille_2013_2015.2266.xhtml#.X4IsFND2qUI

Posiva Oy 2012d. Sisäinen asiakirja. Laitoskuvaus 2012. Viitattu 22.10.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2012e. Paikanvalinta: loppusijoitus Olkiluotoon. Viitattu 12.10.2020. http://www.posiva.fi/loppusijoitus/paikanvalinta_olkiluoto

Posiva Oy 2013. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto. Yhteenveto vuoden 2013 toiminnasta. Viitattu 20.11.2020. http://www.posiva.fi/tietopankki/julkaisut/ydinjatehuollon_suunnitelmat_ja_vuosikertomukset/olkiluodon_ja_loviisan_voimalaitosten_ydinjatehuolto_-_yhteenveto_vuoden_2013_toiminnasta.2266.xhtml#.X7dfX80udaQ

Posiva Oy 2014. Kuvapankki. http://www.posiva.fi/media/kuvapankki?gfid_1359=85#gallery_1359

Posiva Oy 2015a. Sisäinen asiakirja. Posivan ydinlaitosten luokitusasiakirjan perusteet. Viitattu 23.11.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2015b. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2016-2018. Viitattu 25.11.2020. http://www.posiva.fi/tietopankki/julkaisut/ydinjatehuollon_suunnitelmat_ja_vuosikertomukset/yjh-2015_olkiluodon_ja_loviisan_voimalaitosten_ydinjatehuollon_ohjelma_vuosille_2016-2018.2266.xhtml#.X75L0M0udaQ

Posiva Oy 2015c. Sisäinen asiakirja. Työraportti 2015-53: Kapselointi- ja loppusijoituslaitossuunnitelmien yhteenvetoraaportti. Viitattu 26.10.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2015d. Yhteenveto vuoden 2015 toiminnasta. Viitattu 25.11.2020. http://www.posiva.fi/tietopankki/julkaisut/ydinjatehuollon_suunnitelmat_ja_vuosikertomukset/olkiluodon_ja_loviisan_voimalaitosten_ydinjatehuolto_-_yhteenveto_vuoden_2015_toiminnasta.2266.xhtml#.X75Ha80udaQ

Posiva Oy 2016a, 4. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus Suomessa. http://www.posiva.fi/tietopankki/julkaisut/esitteet/kaytetyn_ydinpolttoaineen_loppusijoitus_suomessa.2264.xhtml

Posiva Oy 2016b. Sisäinen asiakirja. Laatusuunnitelma. Viitattu 24.11.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2017a. Sisäinen asiakirja. Kapselointilaitos. Viitattu 21.10.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2017b. Sisäinen asiakirja. Polttoaineen käsittelykammio. Viitattu 23.11.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2018. Sisäinen asiakirja. Kapselointi- ja loppusijoituslaitossuunnitelmien yhteenvetoraaportti. Viitattu 25.11.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2019a. Sisäinen asiakirja. Tuotantosuunnitelma. Ydinjätelaitokset. Viitattu 20.11.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2019b. Monet esteet varmistavat, ettei ydinjätettä pääse elolliseen luontoon. Viitattu 22.10.2020. http://www.posiva.fi/loppusijoitus/loppusijoituksen_perusteet

Posiva Oy 2019c. Loppusijoituslaitos. Viitattu 14.10.2020. <http://www.posiva.fi/loppusijoitus/loppusijoituslaitos>

Posiva Oy 2019d. Loppusijoituskapseli. Viitattu 15.10.2020. http://www.posiva.fi/loppusijoitus/loppusijoituksen_perusteet/loppusijoituskapseli

Posiva Oy 2019e. Sisäinen asiakirja. Suoja-automaation soveltuvuusarvio. Viitattu 21.10.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2019f. Sisäinen asiakirja. Projektisuunnitelma: käsittelykammio. Viitattu 26.10.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2020a, 1-40. Sisäinen asiakirja. Yritysesittely: Käytetyn ydinpolttoaineen turvallinen loppusijoitus. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2020b. Sisäinen asiakirja. Vaatimukset, suunnitteluperusteet ja luokitusperiaatteet. Viitattu 18.11.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2020c. Kapselointilaitos. <http://www.posiva.fi/loppusijoitus/loppusijoituslaitos/kapselointilaitos>

Posiva Oy 2020d. Sisäinen asiakirja. Hitsausaseman toiminta. Viitattu 19.11.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2020e. Kuljetukset. <http://www.posiva.fi/loppusijoitus/kuljetukset>

Posiva Oy 2020f. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto. Yhteenveto vuoden 2019 toiminnasta. Viitattu 20.11.2020. http://www.posiva.fi/tietopankki/julkaisut/ydinjatehuollon_suunnitelmat_ja_vuosikertomukset/olkiluodon_ja_loviisan_voimalaitosten_ydinjatehuolto_-_yhteenveto_vuoden_2019_toiminnasta.2266.xhtml#.X7dkfc0udaR

Posiva Oy 2020g. Sisäinen asiakirja. Posivan automaatiojärjestelmät. Viitattu 17.11.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2020h. Sisäinen asiakirja. Tuotannon suunnittelu -projekti. Viitattu 4.12.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Posiva Oy 2020i. Sisäinen asiakirja. Kapselointilaitoksen päälaiteasennukset. Viitattu 26.11.2020. Vaatii käyttäjätunnuksen.

Rakennusteollisuus – INFRA 2019. <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/ajankoh-taista/tiedotteiden-kuvat/2019/kapseli.png>.

Säteilyturvakeskus - STUK Y/4/2018, 7:32. Säteilyturvakeskuksen määräys ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta. <https://www.stuklex.fi/fi/maarays/stuk-y-4-2018>

Säteilyturvakeskus - stuklex. Ydinenergialaki 1987/990, 2:6.1. <https://www.stuklex.fi/fi/ls/19870990#L2P6>

Säteilyturvakeskus - stuklex. Ydinenergialaki 1987/990, 2a:7r.1. <https://www.stuklex.fi/fi/ls/19870990#L2aP7r>

Säteilyturvakeskus - stuklex. Ydinenergialaki 1994/1420, 2:6a.1. <https://www.stuklex.fi/fi/ls/19870990#L2P6>

Säteilyturvakeskus - stuklex. Ydinenergialaki 1994/1420, 2:6b.1. <https://www.stuklex.fi/fi/ls/19870990#L2P6b>

Säteilyturvakeskus 2015. Mitä ydinjäte on. <https://www.stuk.fi/aiheet/ydinjatteet/mita-ydinjate-on>

Säteilyturvakeskus 2017a. STUKin tehtävä on valvoa säteilyturvallisuutta Suomessa. <https://www.stuk.fi/tietoa-stukista/stukin-tehtava-on-valvoa-sateilyturvallisuutta-suomessa>

Säteilyturvakeskus 2017b. Käytetyn polttoaineen loppusijoitus. <https://www.stuk.fi/aiheet/ydinjat-teet/kaytetyn-polttoaineen-loppusijoitus-suomessa>

Säteilyturvakeskus 2018. YVL-ohjeet. Viitattu 22.10.2020. <https://ohjeisto.stuk.fi/YVL/>

Säteilyturvakeskus 2019. STUKin historia. <https://www.stuk.fi/tietoa-stukista/historia>

Säteilyturvakeskus 2020a. Ydinturvallisuusohjeet (YVL-ohjeet). Viitattu 7.12.2020. <https://www.stuk.fi/saannosto/stukin-viranomaisohjeet/ydinturvallisuusohjeet>

Säteilyturvakeskus. 2020b. Säteilylainsäädännön uudistus. Viitattu 14.12.2020. <https://www.stuk.fi/saannosto/sateilylainsaadannon-uudistus>

Tampereen teknillinen yliopisto 2011. Hyväksymistestaus. Viitattu 20.10.2020. http://www.cs.tut.fi/~tie21201/s2011/luennot/OHJ-3060_2011_110-170.pdf

Teollisuuden Voima Oyj n.d. Moniesteperiaate. Viitattu 19.10.2020. <https://www.tvo.fi/tuo-tanto/ydinjatehuolto/kaytettyydinpolttoaine/moniesteperiaate.html>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKES 2008. Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. Viitattu 22.10.2020. <https://tukes.fi/documents/5470659/6409383/Turva-automaatio+prosessiturvallisuus-nessa/e159a62f-a1c2-4de9-a063-7050349d5081/Turva-automaatio+prosessiturvallisuus-nessa.pdf?version=1.0>

Tähtinen, S. 2005. Järjestelmäintegraatio. Jyväskylä: Talentum Media Oy.

Ympäristövaikutusten arviointimenettely 2008. YVA-raportti. Viitattu 5.10.2020. http://www.povisiva.fi/tietopankki/julkaisut/yva-raportit/ymparistovaikutusten_arviointiselostus.2265.xhtml#.X5AES9D2paQ

YVL A.5 2019a, 3.3:338-339, Ydinlaitoksen rakentaminen ja käyttöönotto. Luvitus suunnitelma. Viitattu 26.10.2020. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLA-5#a3.3>

YVL A.5 2019b, 1:103. Ydinlaitoksen rakentaminen ja käyttöönotto. Viitattu 18.11.2020. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLA-5>

YVL A.5 2019c, 4.2:409. Ydinlaitoksen rakentaminen ja käyttöönotto. Käyttöönottosuunnitelma. Viitattu 18.11.2020. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLA-5#a4>

YVL A.5 2019d, 4.2:410. Ydinlaitoksen rakentaminen ja käyttöönotto. Käyttöönottosuunnitelma. Viitattu 18.11.2020. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLA-5#a4>

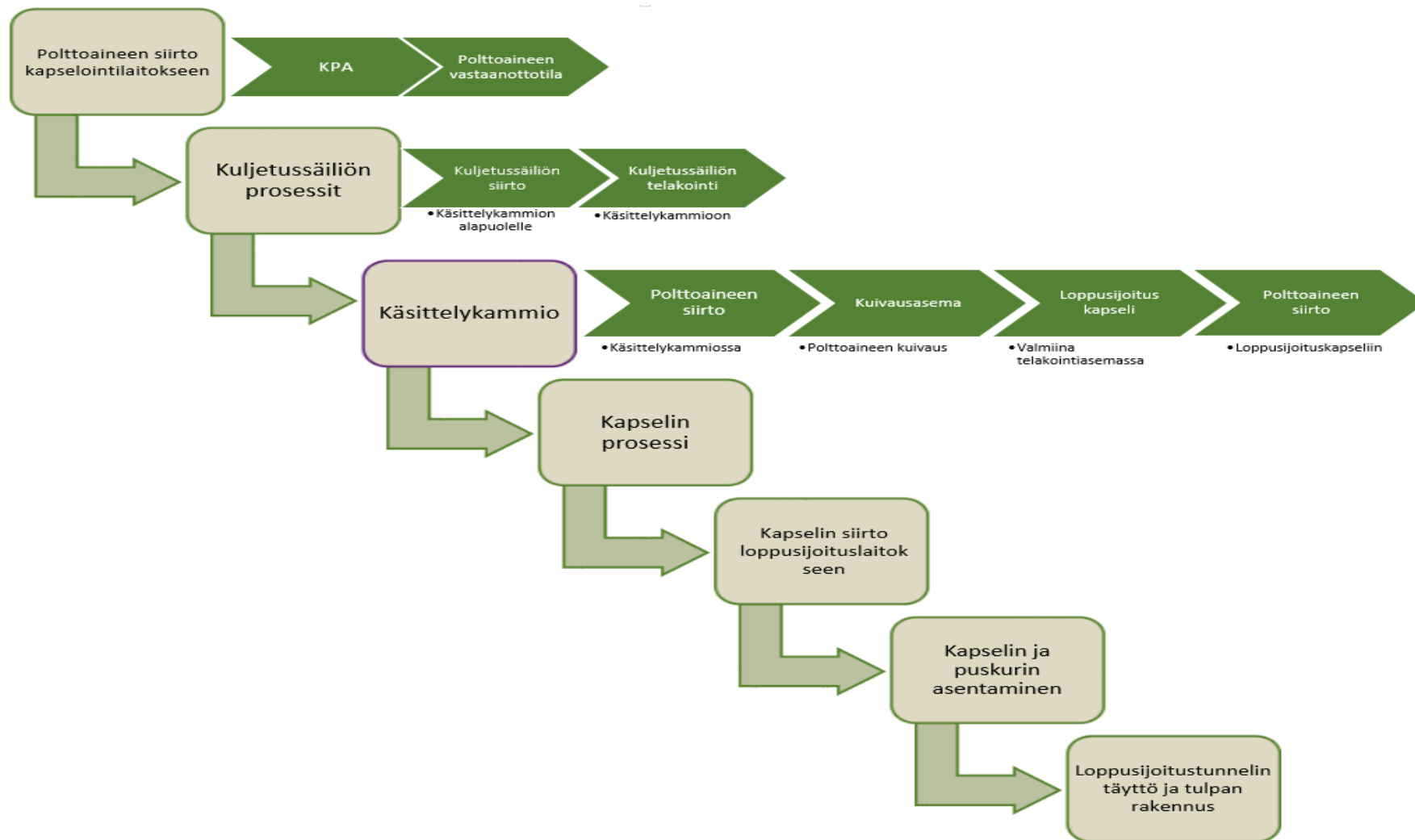
YVL A.5 2019e, 4.3. Ydinlaitoksen rakentaminen ja käyttöönotto. Koekäyttöä ja koeohjelmia koskevat vaatimukset. Viitattu 14.12.2020. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLA-5#a4.3>

YVL B.2 2019. Ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu. Viitattu 27.10.2020. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-2>

YVL D.5 2018. Ydinjätteiden loppusijoitus. Viitattu 14.11.2020. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLD-5>

YVL E.7 2019. Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet. Viitattu 28.10.2020. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-7>

YVL E.11 2019, 10. Ydinlaitoksen nosto- ja siirtolaitteet. Käyttöönotto. Viitattu 15.12.2020. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-11#a10>



Kuva 19. Loppusijoituksen prosessikuvaus.

Käsittelykammion pääjärjestelmät ja asennukset

PK.152 - Käsittelykammion ikkunat ja materiaaliluukku

PK.231 - Polttoaineensiirtokone

PK.232 - Kuljetussäiliön telakointiasema

PK.233 - Polttoaineen kuivausjärjestelmä

PK.234 - Kapselien telakointiasema

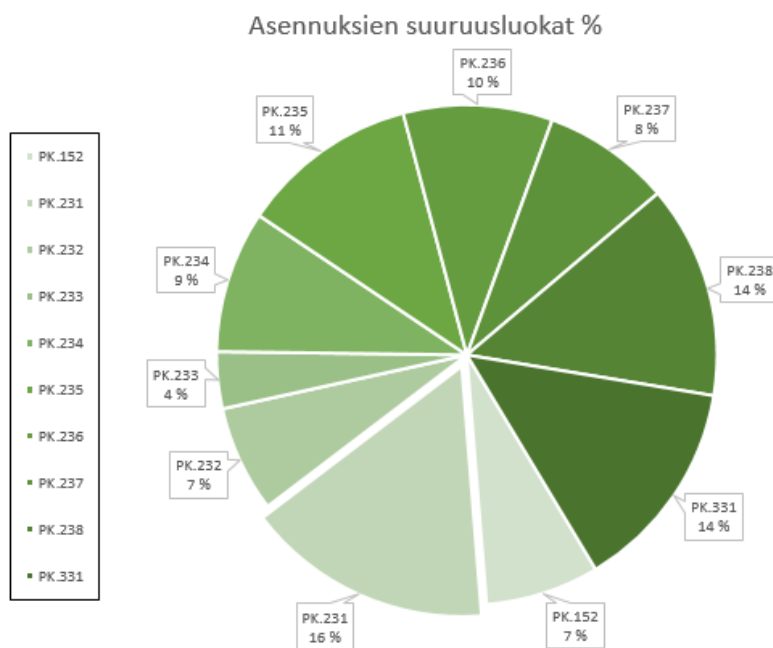
PK.235 - Käsittelykammion apujärjestelmät

PK.236 - Käsittelykammion huoltomanipulaattori

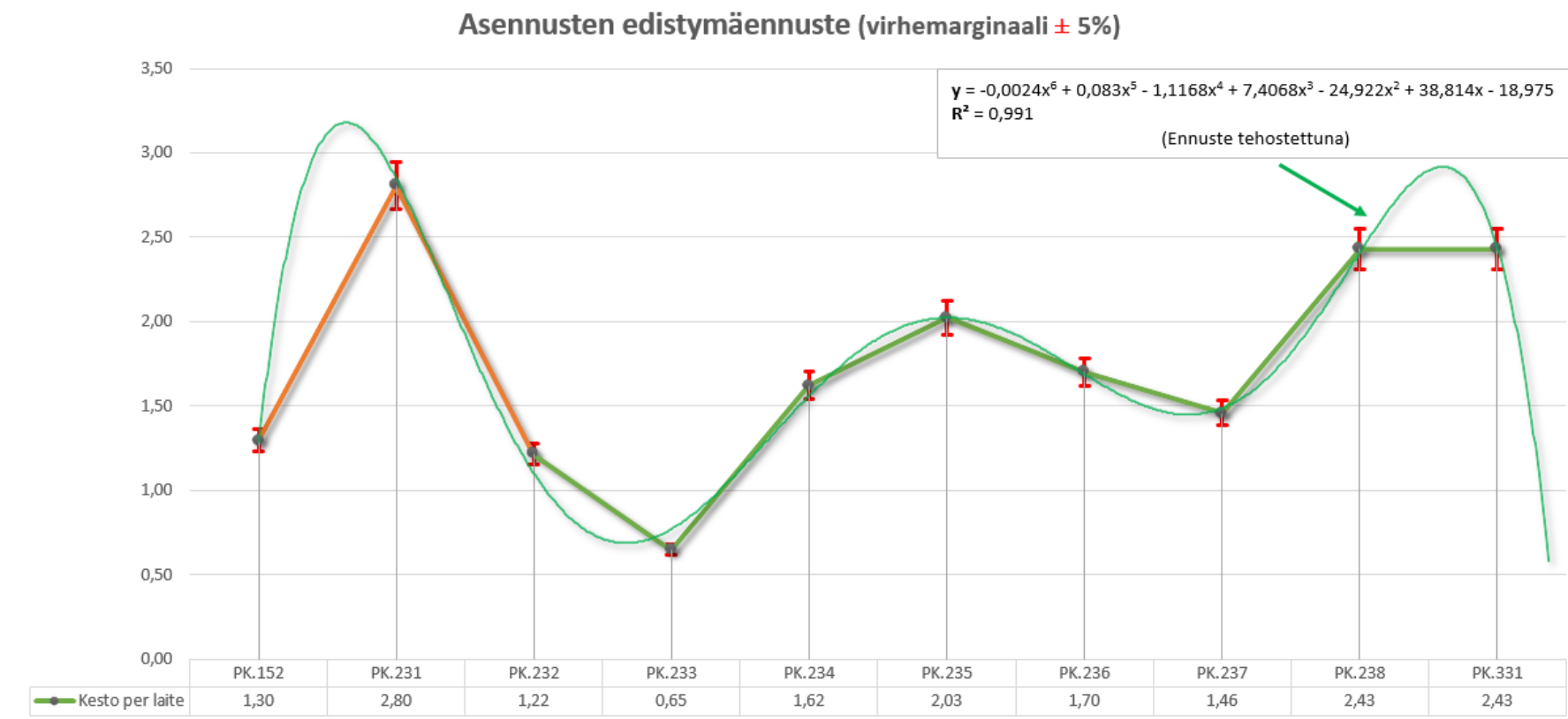
PK.237 - Kuljetussäiliön kannen nostin

PK.238 - Kuljetussäiliön valmisteluaseman laitteet

PK.331 - Dekontaminointikeskuksen dekontaminointijärjestelmä.



Kuva 20. Päälaiteasennuksien suuruusluokat.



Kuva 21. Päälaitteiden asennusten edistymäennuste.

Ennuste sisältää korrelaatiokerroimen. $R^2 = x \cdot \text{tehokkuus}$ (Pearsonin korrelaatio: *lähes täydellinen lineaarinen riippuvuus: 99,10%*)

Kesto per laite (x) = kuukausi.

Käsittelykammion muut merkittävät järjestelmät ja asennukset

PK.745 - Kapselointilaitoksen valvonta-alueen poistoilmastointijärjestelmä

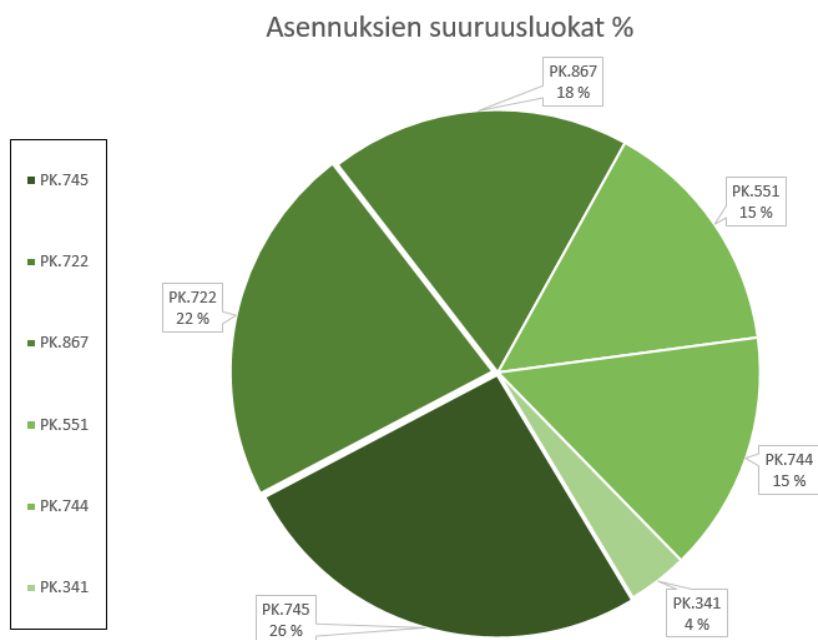
PK.722 - Polttoaineen käsittelykammion jäähdytys- ja suodatusjärjestelmä

PK.867 - Kaasusammutusjärjestelmät

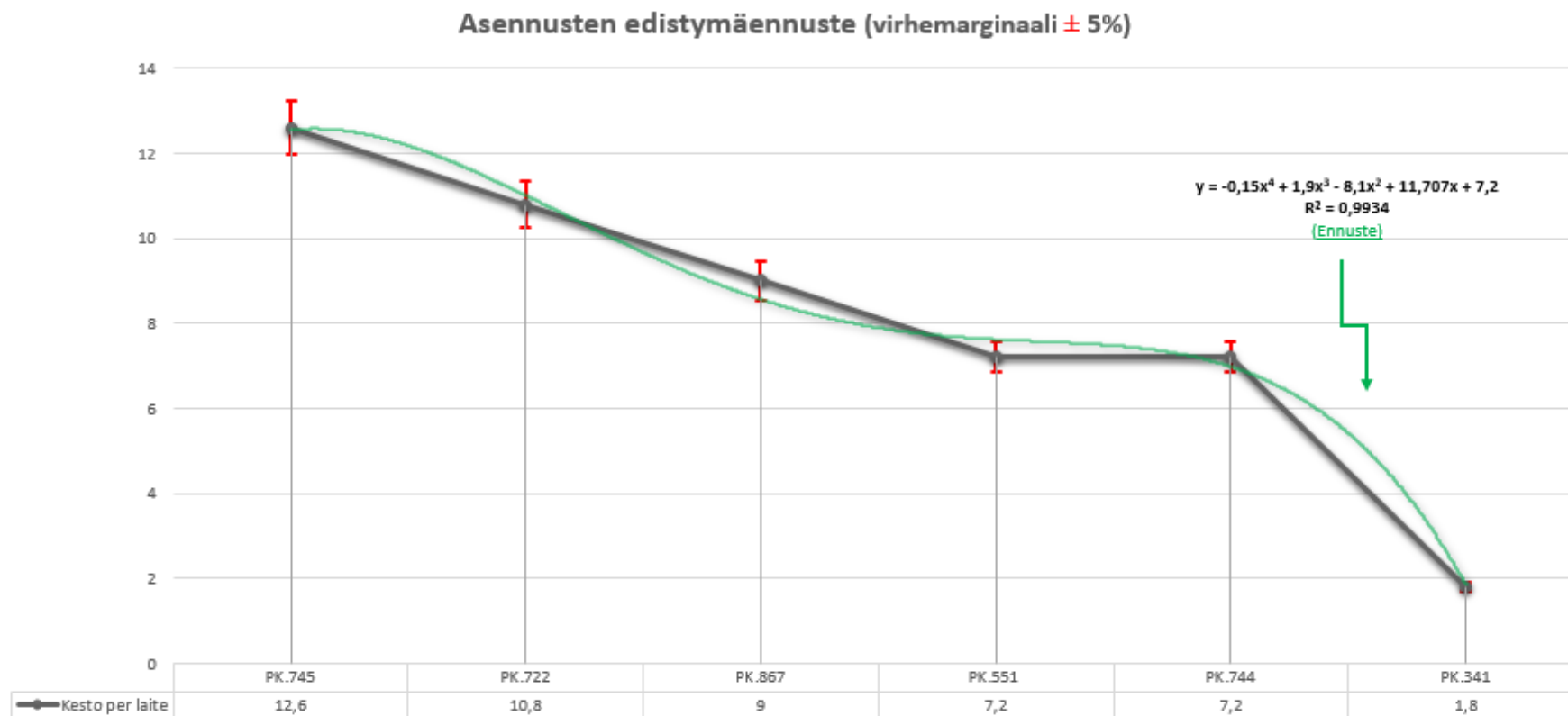
PK.551 - Käsittelykammion säteilymittausjärjestelmä

PK.744 - Kapselointilaitoksen tuloilmastointijärjestelmä

PK.341 - Valvonta-alueen viemäriveresien keruujärjestelmä.



Kuva 22. Käsittelykammion muiden merkittävien järjestelmien asennuksien suuruusluokat.

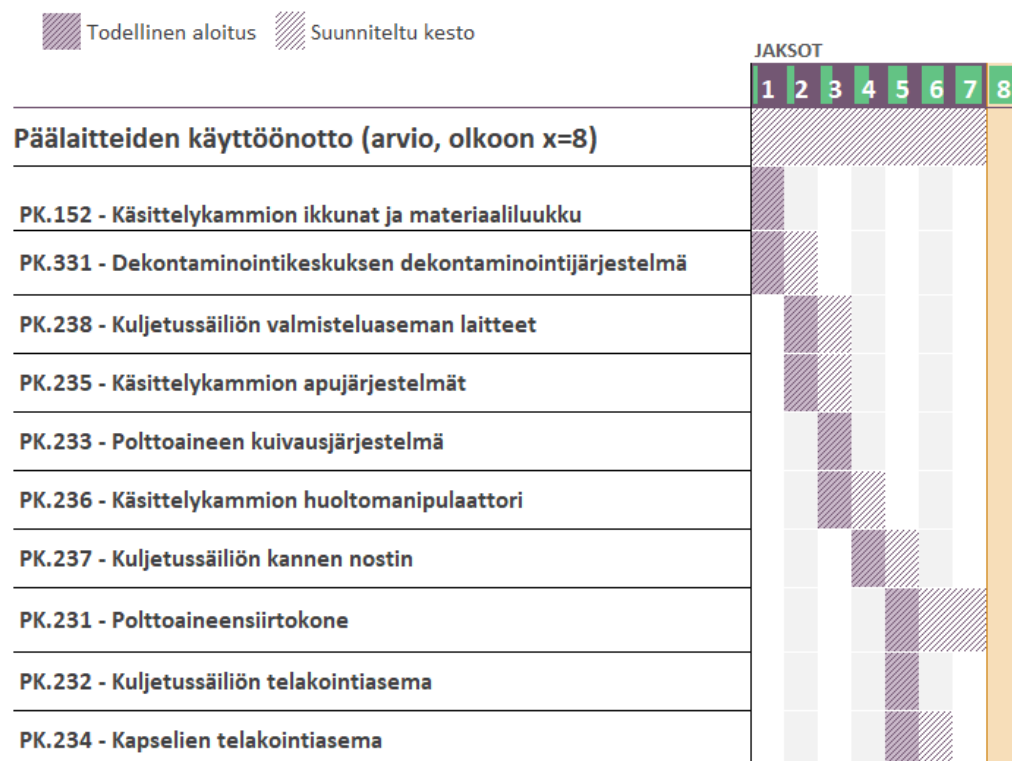


Kuva 23. Muiden merkittävien järjestelmien asennusten edistymäennuste.

Ennuste sisältää korrelaatiokertoimen. $R^2 = x +$ tehokkuus (Pearsonin korrelaatio: *lähes täydellinen lineaarinen riippuvuus*: **99,34%**)

Kesto per laite (x) = kuukausi.

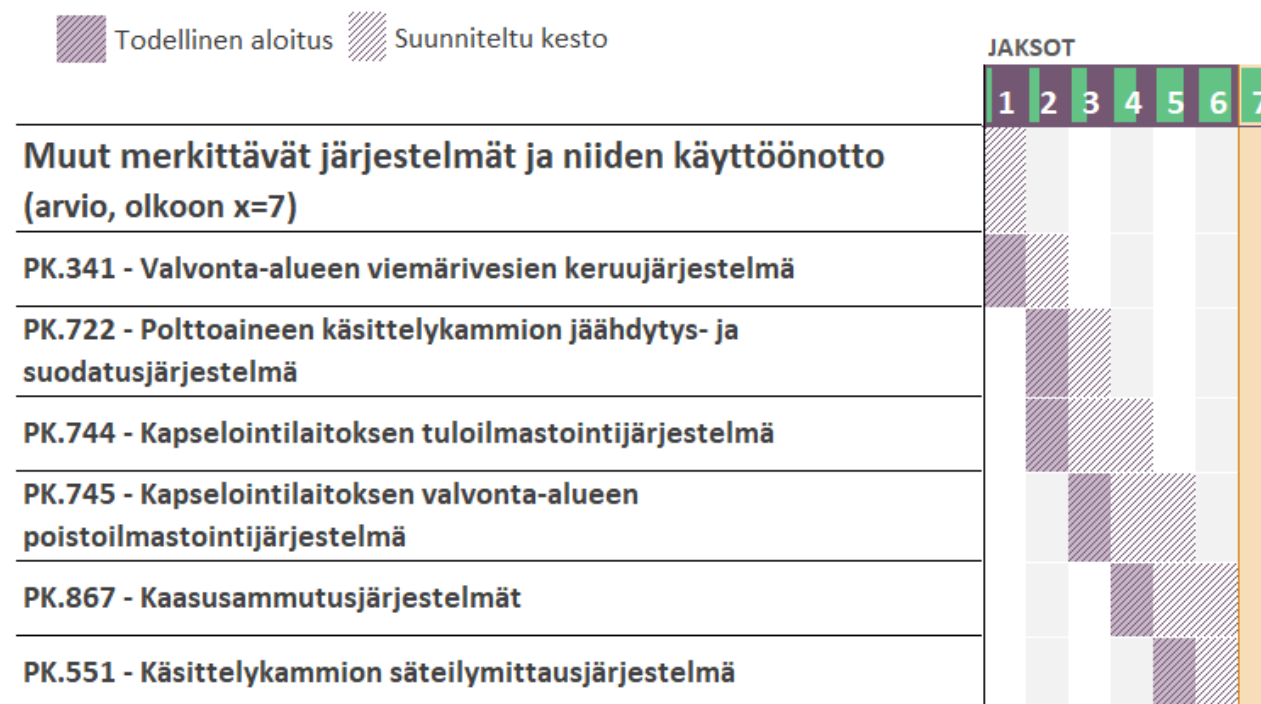
Käyttöönotto



Kuva 24. Hahmotelma pääjärjestemien käyttöönottamisesta.

Aikataulu on tehty ajanjaksoon sidottuna ei kalenteripäivinä. Jakso (x)=viikko.

Käyttöönotto



Kuva 25. Hahmotelma muiden merkittävien järjestelmien käyttöönottamisesta.

Aikataulu on tehty ajanjaksoon sidottuna ei kalenteripäivinä. Jakso (x)=viikko.