

**Riikka Sillanpää**

# **Ydinmateriaalivalvonnan tietokanta sekä hallintasovellus**

Tietotekniikan Pro-gradu tutkielma

5. helmikuuta 2024

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

**Tekijä:** Riikka Sillanpää

**Yhteystiedot:** riikka.k.sillanpaa@student.jyu.fi

**Ohjaaja:** Tommi Mikkonen

**Työn nimi:** Ydinmateriaalivalvonnan tietokanta sekä hallintasovellus

**Title in English:** Nuclear safeguards database and management application

**Työ:** Pro-gradu tutkielma

**Opintosuunta:** Ohjelmisto- ja tietoliikennetekniikan opintosuunta

**Sivumäärä:** 57+5

**Tiivistelmä:** Suomessa ollaan aloittamassa maailman ensimmäisenä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta. Loppusijoitettaviin nippuihin liittyy kuitenkin kansainvälisiä sopimuksia, joiden täyttymistä viranomaisten tulee valvoa. Ydinmateriaalivalvonnan kannalta tulisi varmentaa loppusijoitettavien polttoainennippujen vastaavan niistä annettuja tietoja. Samalla halutaan tietoenkin tietää, minne kukin käytetty polttoaine loppusijoitetaan. Käytetty polttoaine tarkastetaan ennen loppusijoitusta mittauksen avulla. Tätä helpottamaan tehtiin tässä tutkimuksessa tietokanta ja hallintasovellus, jonka kautta ydinmateriaalivalvonnan toimia voitaisiin suorittaa. Tietokanta myös säilyttäisi tulevaisuuden sukupolville tähdellistä tietoa loppusijoitetusta ydinmateriaalista. Web-pohjaisen hallintasovelluksen kehityksessä käytettiin apuna käytettävyyden konsepteja. Suunnittelututkimuksen mukaan loppukäyttäjien joukko arvioi kehityksen iteraatioita, ja jatkokehitystä tehtiin arvioinneissa ilmenneiden epäkohtien ja toiveiden perusteella. Tutkimuksessa saatiin kehitettyä artefakti, joka on tarpeeksi käytettävä ja sopii ydinmateriaalivalvonnan toimintaan. Arviointien mukaan tärkeimmiksi alueiksi artefaktin käytettävyydelle nousivat toiminnallisuuksien rajattu määrä, joka auttaa niiden omaksumisessa, sekä looginen rakenne ja informaation esitys visuaalisesti.

**Avainsanat:** ydinmateriaalivalvonta, suunnittelututkimus, käytettävyys, loppusijoitus

**Abstract:** The first of its kind geological disposal project of spent nuclear fuel is being started in Finland. These spent nuclear fuel assemblies are under international agreements

that must be upheld and monitored. From a nuclear safeguards point of view the disposable material should be verified to match its declarations and the locations of the disposed fuel recorded. The fuel is verified by measuring and using the results to analyze its content before geological disposal. To assist this the study created a database and a management application with which nuclear safeguards actions could be done. The database would also store the information about the disposed fuel for future generations. Concepts of usability were used as aid in the development of the web-based management application. According to the conventions of design science, an artefact that the end users evaluate was created and the feedback from the evaluations guide the development. The study resulted in an artifact usable and suitable enough for the uses of nuclear safeguards operations. According to the evaluations most contributing factors to the usability of the artefact were the limited and therefore easy to grasp amount of functionalities, logical structure and visualization of information.

**Keywords:** nuclear safeguards, design science, usability, geological disposal

## Termiluettelo

DA	Destructive assay, eli ainetta rikkova mittaus- ja analyysimenetelmä.
EC	European Commission.
IAEA	International Atomic Energy Agency, eli kansainvälinen atomienergiajärjestö.
ISO	International Organization for Standardization, eli kansainvälinen standardointiorganisaatio.
MVP	Minimum viable product, eli vähimmäistoiminnallisuuksilla varustettu tuote tai ensimmäinen käyttökelpoinen versio sovelluksesta.
NDA	Non-Destructive Assay, eli ainetta rikkomaton mittaus- ja analyysimenetelmä.
NPT	Non-Proliferation Treaty, eli ydinsulkusopimus.
PGET	Passive Gamma Emission Tomography, eli passiivinen gamma emissiotomografia on gammasäteilymääritteinen NDA-menetelmä.
PNAR	Passive Neutron Albedo Reactivity, eli passiivinen neutroni albedoreaktiivisuus on neutronimääritteinen NDA-menetelmä.
STUK	Säteilyturvakeskus, eli Suomen säteily- ja ydinturvallisuutta valvova turvallisuusviranomais.
Verifiointi	Ydinmateriaalivalvonnan prosessi, jossa varmistetaan ydinmateriaalin määrän vastaavan ilmoitettua (ks. Hooper 2003).

## Kuviot

Kuvio 1. ISO 9241-210 mukaiset toimenpiteet. ....	10
Kuvio 2. Käytettävyys osana järjestelmän hyväksyttävyyttä Nielsen (1994b) mukaan. ....	11
Kuvio 3. Suunnittelututkimuksen syklit. Mukailee Hevner (2007) kuviota 1. ....	17
Kuvio 4. Arviointistrategioiden viitekehys. Mukailee Venable, Pries-Heje ja Baskerville (2012) kuviota 2. ....	19
Kuvio 5. Prat, Comyn-Wattiau ja Akoka (2014) kuvion 1. arviointikriteerejä mukaileva listaus. Tutkimuksessa käytettävät kriteerit alleviivattu vihreällä. ....	21
Kuvio 6. Tietopohjan rakenne. ....	23
Kuvio 7. Suuniteltu tietokantarakenne suomennettuna. Kuviossa on esitetty vain pää- ja viiteavaimet tilarajoitteiden takia. ....	25
Kuvio 8. Niput-näkymä iteraatiossa 1. ....	30
Kuvio 9. Nipun tietojen näkymä iteraatiossa 1. ....	31
Kuvio 10. Raportointinäkymä Iteraatiossa 1. ....	32
Kuvio 11. Raportointilomake iteraatiossa 1 raportoitavat valittuna. ....	32
Kuvio 12. Raportointinäkymä iteraatiossa 2 onnistuneen raportin jälkeen. ....	36
Kuvio 13. Haku niput-näkymässä iteraatiossa 2. ....	37
Kuvio 14. Haku mittaukset-näkymässä iteraatiossa 2. ....	37

## Taulukot

Taulukko 1. Heuristiikat Nielsen (1994b) mukaan. ....	13
---	----

# Sisällys

1	JOHDANTO .....	1
2	YDINMATERIAALIVALVONTA.....	3
2.1	Valvonnan prosessit ja velvoitteet .....	3
2.2	NDA-menetelmät.....	5
2.3	Loppusijoituksen ydinmateriaalivalvonta .....	6
3	KÄYTETTÄVYYS.....	8
3.1	ISO-9241 standardit .....	8
3.1.1	Standardi 9241-11 .....	9
3.1.2	Standardi 9241-210.....	9
3.2	Nielsenin heuristiikat.....	11
4	TUTKIMUSASETELMA .....	14
4.1	Lähtökohdat .....	14
4.2	Tutkimuskysymykset.....	15
4.3	Suunnittelututkimus .....	15
4.3.1	Menetelmän teorialat tarkemmin.....	16
4.3.2	Menetelmän sovellus tutkimuksessa .....	19
5	TOTEUTUSPROSESSI .....	22
5.1	Tiedonhakuprosessi .....	22
5.2	Määrittelyn tulokset .....	24
5.3	Arviointiryhmä .....	27
5.4	Käytettävyyden kyselylomake .....	27
6	ARTEFAKTIN ESITTELY JA ARVIOINTI .....	29
6.1	Iteraatio 1 .....	29
6.1.1	Iteraatio 1 toteutus .....	29
6.1.2	Iteraatio 1 arviointi .....	32
6.2	Iteraatio 2 .....	34
6.2.1	Iteraatio 2 toteutus .....	35
6.2.2	Iteraatio 2 arviointi .....	37
7	TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI .....	39
7.1	Tutkimuskysymykseen vastaaminen .....	39
7.2	Pohdinta.....	40
7.3	Rajoitteet ja tulevaisuuden tutkimus.....	42
8	YHTEENVETO.....	44
	LÄHTEET .....	45
	LIITTEET.....	51

A	Appendix A.....	51
---	-----------------	----

# 1 Johdanto

Suomen ydinjätteen loppusijoitusohjelman on suunniteltu alkavan ensimmäisenä maailmassa vuosikymmenen puolivälissä (Posiva 2023b). Projektia on suunniteltu 1980-luvulta alkaen ja se on vastaus ydinjätteen pitkäaikaissäilytyksen ongelmaan (Litmanen ym. 2017; Martikka ym. 2018). Tämä käytetty ydinpolttoaine liikutetaan nippuina väliaikaisvarastoista kapselointikeskukseen, kapseloidaan, lasketaan loppusijoituslaitos Onkaloon ja viedään syvälle sen maanalaiseen tunneliin (Posiva 2023a). Ennen, kuin käytetty ydinpolttoaine voidaan kapseleissaan viedä Onkalon uumeniin, tulee niiden sisältö kuitenkin kansainvälisten sopimusten mukaan verifioida ydinmateriaalivalvonnan velvoitteiden mukaan.

Ydinmateriaalivalvonnan verifiointissa tarkastetaan ydinpolttoaineniippujen sisältävän ilmoitetun määrän ydinainetta. Verifiointia on tehty esimerkiksi laitoksen ulos ja sisään tulevien ydinmateriaalien kirjanpitoa tarkastamalla sekä laitostarkastuksilla (Hooper 2003). Näiden perinteisten metodien lisäksi ainetta rikkomattomia määrittämenetelmiä on kehitetty esimerkiksi uusien PGET ja PNAR mittausmenetelmien muodossa (Tobin, Peura, Bélanger-Champagne ym. 2018; Virta ym. 2020; Tobin, Peura, Honkamaa ym. 2018; Tupasela ym. 2021). Mittausdataa lukuun ottamatta tiedot on kuitenkin pitänyt manuaalisesti keräillä eri tiedostoista ja papereista. Loppusijoituksen tarpeiden tukemiseksi prosessia ollaan nyt automatisoimassa, keräämässä kaikki prosessille tähdellinen tieto uuteen tietokantaan ja kehittämässä tietokannan hallintasovellus verifiointin tueksi.

Suomen ydinjätteen loppusijoitusohjelma on ensimmäinen laatuaan, joten sitä tukevia sovelluksia tai prosessin kulkua voidaan kuvailla ainutlaatuisiksi. Aiheen tutkimuksen puutteen ja yhteiskunnallisen hyödyn takia on järkevää tutkia ydinmateriaalivalvonnan verifiointin päätöksenteon tukijärjestelmäksi suunniteltua tietokantaa ja sen hallintasovellusta Suomen loppusijoitusohjelman kontekstissa.

Tässä tutkimuksessa suunnitellaan ja toteutetaan loppusijoituksen ydinmateriaalivalvonnan verifiointiprosessia tukeva ja siihen tarvittavaa tietoa kokoava tietokanta, sekä sen hallintasovellus. Sovelluksen tulisi edesauttaa ja nopeuttaa valvontatoimintaa, joten tutkimus käsittelee myös käytettävyyden osa-alueita ja soveltaa niitä hallintasovelluksessa. Tutkimus



tehdään suunnittelututkimuksen keinoin.

Tutkimuksen rakenne on seuraavanlainen. Luvuissa 2 ja 3 siirrytään tutkimuksen tieteellisiä taustoja käsittelevään teoriaosioon ydinmateriaalivalvonnasta ja käytettävyydestä. Luvussa 4 käsitellään tutkimuksen motivaatiota, tutkimuksen rajausta ja lähtökohtia, tutkimuskysymyksiä sekä -menetelmiä; niin yleisen teorian tasolla, kuin tutkimuksen kontekstissa. Tutkimuksen toteutusprosessia sekä iteraatio nollan tuloksia käydään läpi tarkemmin luvussa 5, josta siirrytään lukuun 6 käymään läpi seuraavatkin iteraatiot. Luvussa 7 tarkastellaan tuloksia, arvioidaan niitä ja käydään läpi mahdollisia rajoitteita ja epäjohtonmukaisuuksia. Viimeisenä vielä vedetään tutkimus yhteen luvussa 8.

## 2 Ydinmateriaalivalvonta

Ydinmateriaalivalvonta on yksi Säteilyturvakeskuksen, lyhyemmin STUK, lakisääteisistä velvoitteista ja se keskittyy valvomaan erityisesti uraanin, plutoniumin ja toriumin määrää, käyttöä ja siirtoja. Kyseisiä ydinaineita valvotaan erityisesti, sillä niitä voidaan jalostaa lain vastaiseen aseelliseen käyttöön (Agency 1973). Näitä aineita löytyy yleisimmin ydinpolttoaineesta (Hooper 2003). Ydinpolttoaine on säilötty pieninä pelletteinä pitkän inertin sauvan sisälle. Sauvat taas muodostavat polttoainepun, jota ydinvoimalaitoksissa käsitellään ydinpolttoaineen perusyksikkönä (ks. Doyle 2011, luku 3B).

Tässä luvussa käsitellään alaluvussa 2.1 STUKin valvonnan velvoitteita ja prosesseja sekä erilaisia mittausmenetelmiä. Alaluvussa 2.2 syvennytään ainetta rikkomattomiin mittausmenetelmiin; niiden luokitteluun, suosituksiin loppusijoituksessa, sekä esimerkkimenetelmiin PNR ja PGET. Viimeisessä alaluvussa 2.3 käydään läpi loppusijoituksen prosesseja keskittyen erityisesti ydinmateriaalin verifiointiin ja kootaan aikaisemmin käsitellyt menetelmät loppusijoituksen valvontaan.

### 2.1 Valvonnan prosessit ja velvoitteet

Ydinmateriaalin valvonnan perusta Suomessa on IAEA:n, kansainvälisen atomienergiajärjestön, ydinsulkusopimus (eng. Non Proliferation Treaty) NPT ja sen perusteella laadittu IAEA:lle valvontaoikeuksia antava valvontasopimus sekä valvontaoikeuksia vahvistava lisäpöytäkirja (Agency 1970, 1973, 2005; Martikka ym. 2018). NPT velvoittaa allekirjoittaneita jäsenmaita ydinenergian rauhanomaisen käytön edistämiseen, ydinaseiden leviämisen estämiseen ja ydinaseriisuntaan. Valvontasopimukset ja sen lisäpöytäkirjat myös velvoittavat jäsenmaita valvomaan maansa sisäistä toimintaa sekä valvontaan liittyvien tietojen luovuttamiseen IAEA:lle (Agency 1970). Euroopan maana Suomi on myös Euroopan komission, lyhyemmin EC:n, eli Euroopan alueellisen ydinvoiman valvontaorganisaation valvonnassa (Agency 1973; Martikka ym. 2018). Suomessa tiedon keräystä ja luovutusta niin IAEA:lle kuin EC:lle, sekä ydinenergialain 55 §:n ja ydinenergia-asetuksen 118 §:n mukaista valvontaa hoitaa STUK.

Luovutettaviin tietoihin kuuluu informaatiota ydinaineliikenteestä, ydinaineiden käyttöhistoriasta, toimijoista ja heidän ydinaineinventaaristaan; ydinaineen määrästä ja käyttötarkoituksista. Lisäksi tietoa laitoksista ja niissä tehtävistä operaatioista luovutetaan. Myös suunnitelluista tulevista projekteista ja tietoaaineistoista sekä pyydettyä laitoksen ympäristön mittauksista tulisi ilmoittaa (Hooper 2003). Loppusijoitus on yksi ilmoitettavista projekteista ja polttoainepuille tehtävistä operaatioista. Tässä tutkimuksessa deklaraatioiksi kutsutaan juuri polttoainepuolittaisia ilmoituksia niiden rakenteesta ja käyttöhistoriasta.

Tietoa luovutetaan STUK:ille, EC:lle ja IAEA:lle (Martikka ym. 2018). Ilmoitetut tiedot verifioidaan, eli niiden oikeellisuutta tarkastetaan, muun muassa muihin tietoihin vertailun, yllätystarkastusten, mittauskampanjoiden ja ympäristömittausten avulla (Hooper 2003; Martikka ym. 2018). Ilmoitettuja tietoja voidaan vertailla esimerkiksi inventaario-, vienti-, tuonti- ja avointen lähteiden tietoihin, joista huomataan, jos ilmoitettu ydinaineliikenne ei täsmää (Hooper 2003; Martikka ym. 2018).

Ydinainedeklaraatioiden täydellisyyttä, niiden laatua ja määrää, todennetaan tarkemmin mittauksien avulla. Kyseiset mittaukset jaetaan kahteen kategoriaan. Mittauksia voidaan tehdä joko ainetta rikkovilla (eng. destructive assay) DA-menetelmillä tai ainetta rikkomattomilla mittausten menetelmillä (eng. non-destructive assay) NDA (Doyle 2011).

DA-mittausten menetelmät tarvitsevat pienen osan mitattavaa homogeenistä yhtenäistä materiaalia, joka yleensä tuhoutuu mittauksessa. Ne tuottavat tarkimpia mittaustuloksia, mutta eivät sovellu käytetyn ydinpolttoaineen todentamiseen aineen epäyhtenäisyyden takia (Doyle 2011). Myös mahdollisuus käytetyn ydinpolttoaineen voimakkaalle säteilylle altistumisesta käsittelyn yhteydessä on huomioitava (Reilly ym. 1991). Tämä aiheuttaa tässä käyttökontekstissa menetelmän käytölle rajoitteita.

NDA-menetelmät ovat Reilly ym. (1991) mukaan tapa määrittellä ydinmateriaalin tyyppin ja määrän esineessä muuttamatta tai tunkeutumatta esineeseen. Ainetta rikkomattomat menetelmät ovat nopeampia käyttää, vaikkakin vähemmän tarkkoja (Reilly ym. 1991). Tällaisia menetelmiä käytetään erityisesti käytetyn ydinpolttoaineen tarkasteluun, sillä sen rakenne on käytössä muuttunut epäyhtenäiseksi (Doyle 2011). Nämä menetelmät ovat siis loppusijoituksen kontekstiin käyttökelpoisempia.

## 2.2 NDA-menetelmät

NDA-menetelmät mittaavat joko passiivisesti tai aktiivisesti kohteesta säteilevää energiaa. Passiivisissa menetelmissä mitataan aineen itsestään luonnossa säteilevää ominaissäteilyä, josta voidaan sen lähettämän energian avulla tunnistaa säteilylähde. Aktiivisissa menetelmissä taas mitataan aineen ulkoisen gamma- tai neutronisäteilyllä stimuloitua ominaissäteilyä. Mittauksista vähennetään sitten stimulointiin käytetyn säteilyn energia mitattavan aineen tunnistamiseksi (Doyle 2011).

Pääasiallisia NDA-menetelmät perustuvat gamma- ja neutronimäärittämiseen tai kalorimetriaan. Nämä menetelmät perustuvat radioaktiivisten aineiden hajoamisessa vapautuvaan ominaiseen määrään gammasäteilyä, neutroneita ja lämpöenergiaa, joiden mukaan voidaan määrittellä säteilylähde. Gamma- ja neutronisäde määrittelyjä käytetään nimiensä mukaisesti gamma- ja neutronisäteilyn lähteiden tunnistukseen ja kalorimetri määrittely taas pohjautuu lämpöenergiaan (Reilly ym. 1991).

IAEA muodosti ”Ydinmateriaalivalvonnan soveltaminen geologisessa loppusijoituksessa”-työryhmän (eng. Application of Safeguards to Geological Repositories) selvittämään loppusijoitukselle potentiaalisesti hyödyllisiä tekniikoita. Työryhmän erillisen NDA kohderyhmän suositukset loppusijoituksen yhteydessä käytettäville NDA-järjestelmille on esitetty työryhmän laatimassa raportissa Tobin, Peura, Bélanger-Champagne ym. (2018) julkaisun mukaan seuraavasti:

- a) Yksittäisten sauvojen havainnoinnin tulisi olla mahdollista, vaikka siihen ei välttämättä pystytä kaikissa nipputyypin-, palama- ja jäähdytysaikaskaenaarioissa.
- b) Nipun deklaroidut ydinainetiedot tulisi pystyä todentamaan mittauksilla. Täten nipusta tulisi olla tarpeeksi informaatiota useampien nippujen mittaustuloksen ennustamiseksi kohtuullisella vaihteluvälillä. Ennustamisen jälkeen vertailu mitattujen ja ennustettujen arvojen välillä tulisi olla mahdollista ja jopa suositeltavaa.
- c) Neutronien monistumista tulisi olla mahdollista mitata. Nipun neutronien monistumista voidaan mitata neutronisignaalin ja monistumista tulisi olla mahdollista myös ennustaa ja laskea deklaraatioista. Monistuminen ominaisuutena valittiin, koska sillä on yhteys ydinaseisiin soveltuvien halkeavien materiaalien läsnäoloon.

- d) Kestävyyden, vähäisten korjaustarpeiden ja pieni väärien hälytysten riski tulisi olla NDA-järjestelmän ominaisuuksia. NDA-mittausten ei tulisi merkittävästi häiritä laitoksen toimintaa, joten luotettavien menetelmien sekä varajärjestelmien käyttöä suositellaan.
- e) Verifioinnin huijaaminen sauvoja vaihtamalla tulisi olla hankalaa. Koska kaikkia yksittäisiä NDA-järjestelmiä voidaan huijata hyvin suunnitellulla sauvan vaihdolla, eri NDA-järjestelmien yhdistelmien tulisi tehdä se erittäin vaikeaksi.
- f) Nipun kokonaispainon mittaaminen tulisi olla mahdollista. Nipun painon mittaaminen on vielä yksi lisätekiä, jota mahdollinen ydinainevaras joutuu ottamaan huomioon. Paino on myös suhteellisen yksinkertaista mitata.

PNAR-mittaus on esimerkki neutronisäteilymääritelmiin luokiteltavista NDA-menetelmistä. PNAR on lyhenne passiivisesta neutronialbedoreaktiivisuudesta (eng. Passive Neutron Albedo Reactivity). Tekniikalla selvitetään kohteen neutronien moninkertaistumista mittaamalla neutronivuota kahdessa eri mittaasetelmassa. Ensimmäisessä asetelmassa neutronien heijastumista tehostetaan, kun sitä toisessa taas ehkäistään. Menetelmän tulos, niin sanottu PNAR-luku tai PNAR-suhde, saadaan jakamalla tehostetun neutronialbedon mittaustulos hidastetun asetelman mittaustuloksella (Tobin, Peura, Bélanger-Champagne ym. 2018).

PGET-mittaus eli passiivinen gamma emissiotomografia (eng. Passive Gamma Emission Tomography) taas on esimerkki gammasäteilymääritelmäksi luokiteltavista NDA-menetelmistä. Gammailmaisimet mittaavat nipun sen joka kulmasta ja tulosten perusteella muodostetaan tomografisesta datasta algoritmisesti nipun poikkileikkausta mallintava kuva (Virta ym. 2020). Kuva on sauvatason mallinnus, josta tulisi nähdä yksittäisiäkin puuttuvia sauvoja (Virta ym. 2020; Tupasela ym. 2021).

### **2.3 Loppusijoituksen ydinmateriaalivalvonta**

Loppusijoitettavat polttoaineniput valitaan käytetyn ydinpolttoaineen välivarastosta, jossa ne ovat reaktorista poiston jälkeen jäähtyneet noin 40 vuotta. Tänä aikana nippujen aktiivisuus on laskenut noin yhteen tuhannesosaan verrattuna sen aktiivisuuteen heti reaktorista poistamisen jälkeen. Niput kuljetetaan välivarastosta kapselointilaitokselle, jossa ne kapseloidaan,

lasketaan Onkaloon ja viedään luolastoon osoitetulle loppusijoituspaikalleen (Posiva 2023a).

Ydinmateriaalivalvonta on loppusijoituksen kannalta kiinnostunut kahdesta asiasta. Ensin loppusijoitettavien ydinpolttoainenippujen deklaroitujen tietojen, kuten polttoaineen määrän, käyttöhistorian tai jäähdytysaikojen oikeellisuuden tarkastamisesta. Toiseksi siitä, että jäte pysyy häiritsemättömänä ja ilmoitetulla paikallaan loppusijoituksenkin jälkeen (Honkamaa ym. 2019). Täten informaatio loppusijoitetuista polttoaineista tulisi myös pitää tallessa, jotta tieto loppusijoitusluolan sisällöstä säilyy.

STUK (2013) mukaan IAEA velvoittaa loppusijoitettavan ydinmateriaalin verifiointin ennen niiden kapselointia. Ydinmateriaalien tarkastus kun muuttuu loppusijoittamisen jälkeen kohtuuttoman hankalaksi, joten kapselointia ennen tehtäviin mittauksiin tulee kiinnittää erityshuomiota (Martikka ym. 2018; Honkamaa ym. 2019). Myös kapseloinnin ja loppusijoituksen yhteydessä tehtävistä toimenpiteistä tulee ilmoittaa valvoville viranomaisille ja Onkalon ympäristöä tullaan valvomaan niin loppusijoituksen aikana kuin jälkeenkkin. Valvontaa tehdään muun muassa tarkastusten, muiden viranomaisten yhteistyön avulla ja tarkkailemalla kohteen ympäristöä (Honkamaa ym. 2019).

Deklaraatioiden verifiointin mittausmenetelmiksi ollaan valittu aikaisemmassa alaluvussa esitelty PGET- ja PNAR-mittausmenetelmät (Tupasela ym. 2021; Virta ym. 2020). Menetelmät valittiin, koska ne täydentävät toisiaan. PGET tunnistaa yksittäisiä puuttuvia sauvoja, kun PNAR taas varmistaa, että nippu sisältää halkeavaa materiaalia, eli ydinainetta (Tupasela ym. 2021). Lisäksi PGET- ja PNAR-menetelmiä varten on kehitetty erilliset laitteistot, joilla molemmilla pystytään mittaamaan myös kokonaisgammäsäteilyä. Kummassakin laitteistoissa käytetyt ilmaisimet ovat kuitenkin teknisesti ja toiminnallisesti erilaisia. Tämän erilaisuuden takia molempia on vaikeaa hämätä yhtäaikaisesti (Tupasela ym. 2021).

Mittauksen jälkeen tulokset analysoidaan valvontaviranomaisten toimesta. Analyysien perusteella tehdään johtopäätöksiä, annetaan lupa kapselointiin sekä loppusijoitusprosessin jatkamiseen. Jos mittauksissa tai analyysissa ilmenee puutteita, tehdään nipulle jatkoselvityksiä, uudelleenmittauksia ja kyseinen nippu voidaan siirtää karanteeniin (Virta ym. 2020).

### **3 Käytettävyys**

Käytettävyys viittaa usean käsitteen yhteisvaikutukseen kuten suoritusajaan, -kykyyn, käyttäjän tyytyväisyyteen ja opittavuuteen (Abran ym. 2003). Käytettävyys voi näyttäytyä eri asioina eri kohdeyleisöille. Näitä ovat esimerkiksi suorituskykyä loppukäyttäjille, osavaikeuttajana ostopäätöksiin johtoportaalille tai järjestelmän ominaisuuksina sovelluskehittäjille (Abran ym. 2003).

Vaikka käytettävyyden käsitteestä on eri määritelmiä, on siihen liitetty tiettyjä hyötyjä. Hyvä käytettävyys tulisi johtaa lisääntyneeseen tuottavuuteen, vähentyneisiin virheisiin, tarvittavan koulutuksen sekä tuen määrään. Myös tyytyväisyys tuotteeseen tulisi nousta ja sen maine parantua, sekä hyväksyntä käyttäjien keskuudessa kasvaa (Maguire 2001; Bevan ja Macleod 1994).

Luvussa käsitellään käytettävyyttä, hyvän käytettävyyden hyötyjä ja miten sitä rakennetaan. Aiheita käydään läpi lähdekirjallisuuden, suosittujen ISO standardien ja Jakob Nielsenin määritelmien avulla. Alaluvussa 3.1 esitellään käytettävyyteen liittyviä ISO 9241 standardeja ja mitä ne kertovat käytettävyyden konseptista. Alaluvussa 3.2 taas siirrytään Nielsenin käytettävyyden määritelmiin. Samassa alaluvussa katsotaan myös Nielsenin heuristiikkoja ja mitä lisäarvoa ne tuovat käytettävyyden rakentamiseen sekä evaluointiin.

#### **3.1 ISO-9241 standardit**

Kansainvälinen standardointiorganisaatio ISO (eng. International Organization for Standardization) on kehittänyt kansainvälisiä standardeja usealle osa-alueelle. Käytettävyyttä käsittelevistä standardeista ISO 9241-11 ”Käytettävyys; määritelmiä ja käsitteitä” pyrkii määrittelemään käytettävyyden käsitettä, kun ISO 9241-210 ”Ihmiskeskeisiä suunnitteluprosesseja vuorovaikutteisille järjestelmille” taas pyrkii antamaan suosituksia käytettävyyden aikaansaamiseksi 9241-11 standardin pohjalta ja sen määritelmiä käyttäen (Jokela ym. 2003; ISO 1998, 2019)

### **3.1.1 Standardi 9241-11**

ISO 9241-11-standardi määrittelee käytettävyyden ”tarkoituksenmukaisuudeksi, tehokkuudeksi ja tyytyväisyydeksi, jolla määritellyt käyttäjät saavuttavat määritellyt tavoitteet tietyssä kontekstissa” (ISO 1998). Käytettävyys on standardin mukaan siis aina riippuvainen käyttäjästä, käyttötarkoituksesta ja kontekstista (Abran ym. 2003).

Tarkoituksenmukaisuus on standardissa määritelty tarkkuudeksi ja täydellisyydeksi, joilla käyttäjä saa tehtävän hoidettua. Tehokkuus tarkoittaa käytettyjen resurssien suhdetta tehtävän suorittamisessa ilmenevään tarkoituksenmukaisuuteen. Tyytyväisyys taas tarkoittaa positiivista asennetta tuotteen käyttöä kohtaan sekä käyttöön liittyvä mukavuustasoa (ISO 1998).

Standardissa tarkoitetaan tietyllä kontekstilla organisaation, käyttäjän, fyysisen ja sosiaalisen ympäristön sekä työtehtävän ominaisuuksia. Tavoitteella tarkoitetaan haluttua tulosta tai seurausta ja tehtävällä tarkoitetaan tavoitteen saavuttamiseen tarvittavia toimia tai toimintaa. Standardissa käytetty ”tuote” taas tarkoittaa järjestelmiä, palveluita tai tuotteita (ISO 1998, 2018; Jokela ym. 2003).

Standardia on päivitetty vuosien aikana ja tarkoituksenmukaisuuden, tehokkuuden sekä tyytyväisyyden määritelmiä on muutettu (ISO 2018). Tarkoituksenmukaisuuden määritelmään on myöhemmin lisätty virheellisestä toiminnasta seuraavien kielteisten lopputulosten harmittomuus, joka ottaa huomioon mahdollisten virheiden seurausten vakavuuden. Tehokkuus määritellään päivitetyn standardin mukaan käytetyiksi resursseiksi saavutettuihin tuloksiin verrattuna. Tyytyväisyys taas on laajennettu käyttäjän tuotteen käytöstä seuraaviksi käsityksiksi ja vasteiksi.

### **3.1.2 Standardi 9241-210**

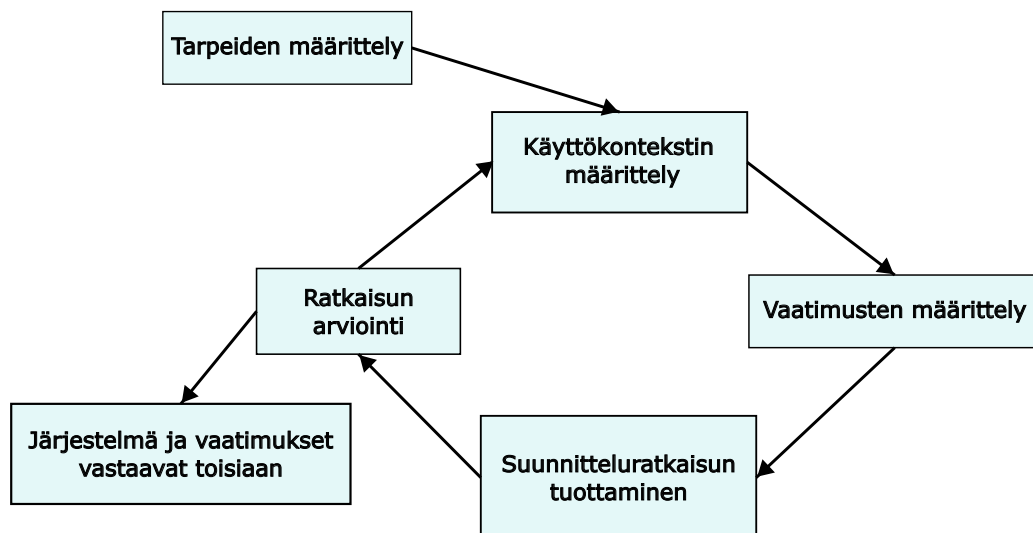
ISO 9241-210-standardi on vanhan ISO 13407 päivitetty muoto. Standardi on kohdennettu suunnitteluprosessin projektipäälliköille ja sen tarkoituksena on tarjota ohjeita ihmiskeskeiseen suunnitteluun järjestelmän koko elinkaaren ajan (ISO 2019; Thomas, Remy ja Bates 2017). Ohjeet antavat kokonaiskuvaa ihmisläheisestä suunnittelusta, mutteivat juuri tarjota yksityiskohtia (Jokela ym. 2003).



Standardi kuvailee käyttäjäkeskeistä suunnittelua neljästä eri näkökulmasta: järjelliset perustelut, suunnittelu, periaatteet ja toimenpiteet. Perustelut kuvailevat käytettävän järjestelmän hyötyjä. Suunnittelussa ohjeistetaan, kuinka käyttäjäkeskeisyys otetaan mukaan suunnittelu-prosessiin. Myös käyttäjien ja heidän palautteensa huomioimista, iteratiivista lähestymistapaa ja yhteistyötä korostetaan (Jokela ym. 2003).

Periaatteissa nostetaan esiin käyttäjäkeskeisen lähestymistavan pääperiaatteita. Pääperiaatteisiin kuuluu käyttäjien jatkuva osallistaminen koko kehitysprosessin. Heidän, ympäristön ja tehtävien tarpeita tulisi ymmärtää ja käyttäjät ottaa mukaan arviointiin. Suunnittelu- ja kehitysprosessit tulisi tehdä iteroivasti, sekä suunnittelussa tulisi huomioida monia eri perspektiivejä ja monitieteellisyttä (Maguire 2001; Jokela ym. 2003; Thomas, Remy ja Bates 2017; ISO 2019).

Toimenpiteet kuvaavat käyttäjäkeskeisiä suunnittelutoimintoja. Ne toiminnot ovat käytön kontekstin täsmennys, käyttäjien ja ympäristön vaatimusten täsmennys, ratkaisusuunnitelman tuottaminen ja suunnitelman arviointi verraten sitä vaatimuksiin (Maguire 2001; Jokela ym. 2003; ISO 2019). Toimenpiteiden kulku ja iteratiivinen käyttö havainnollistetaan kuviossa 1.

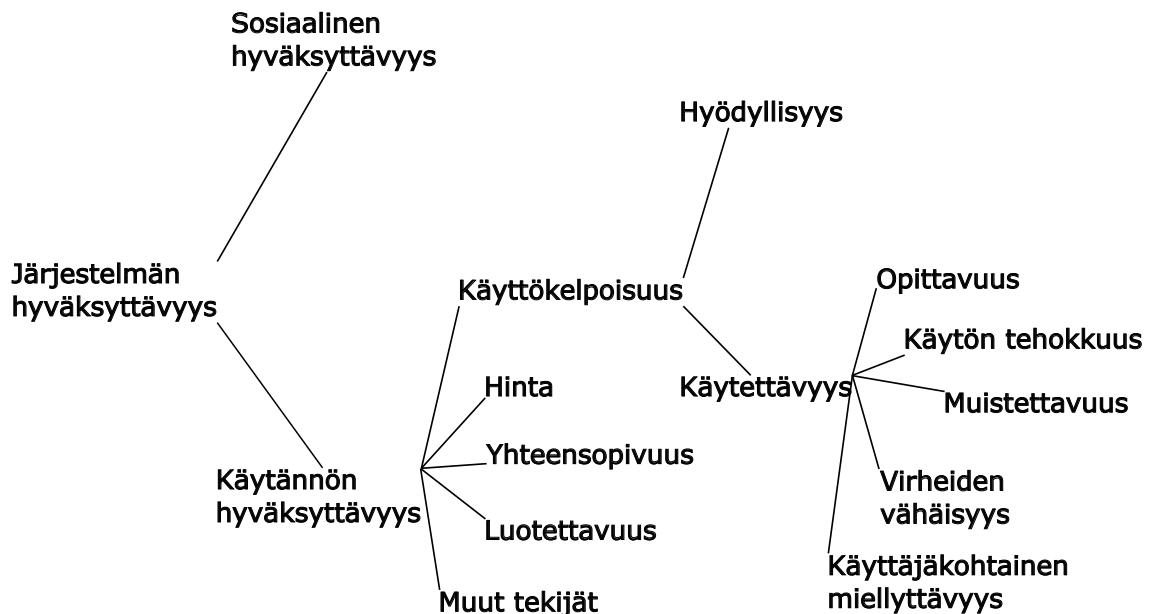


Kuvio 1. ISO 9241-210 mukaiset toimenpiteet.

### 3.2 Nielsenin heuristiikat

Käytettävyys on Nielsen (1994b) mukaan hyödyllisyyden kanssa osa käyttökelpoisuutta, eli pystyvyyttä käyttää järjestelmää saavuttamaan haluttu tavoite. Käytettävä järjestelmä ei esimerkiksi ole käyttökelpoinen, jos se ei ole hyödyllinen ja päinvastoin (Grudin 1992). Täten käytettävyys on siis pakollinen osa käyttökelpoista tuotetta, järjestelmää tai palvelua.

Kuten nähdään kuviosta 2, Nielsen jakaa käytettävyyden viiteen osa-alueeseen. Osa-alueet ovat virallisemmin opittavuus, tehokkuus, muistettavuus, virheettömyys ja miellyttävyys. Ne määritellään Nielsen (1994b) mukaan seuraavasti:



Kuvio 2. Käytettävyys osana järjestelmän hyväksyttävyyttä Nielsen (1994b) mukaan.

**Opittavuus:** Kuinka nopeaa ja vaivatonta järjestelmän käytön opettelu on uusille käyttäjille. Opittavuus auttaa käyttäjää saavuttamaan kohtalaisen pätevyyden järjestelmän käytössä lyhyessä ajassa.

**Tehokkuus:** Kuinka paljon järjestelmä tehostaa sujuvasti käyttävien normaalikäyttäjien työtehtäviä. Tehokkuus auttaa käyttäjää säästämään aikaa ja tuottamaan enemmän.

**Muistettavuus:** Kuinka nopeasti käyttäjä unohtaa oppimansa järjestelmän käytön ja kuinka helppoa sen käytön aloittaminen tauon jälkeen taas on. Yleisiä standardeja mu-

kaileva toiminta auttaa muistettavuudessa, sillä käyttäjä saa suuremman osan käyttötaidoistaan siirrettyä muista järjestelmistä. Tärkeämpi käytettävyyden osa järjestelmille, jota käytetään satunnaisesti.

**Virheettömyys:** Kuinka harvinaista virheiden ilmaantuminen on, ja kuinka vaivaton ta niistä toipuminen on virheiden tapahtuessa. Virheettömyys saa käyttäjiä tekemään vähemmän virheitä ja toipumaan niistä helpommin. Katastrofaalisia virheitä, jotka piilaavat työtuotteen, ei tulisi tapahtua ollenkaan.

**Miellyttävyys:** Kuinka tyytyväinen käyttäjä on järjestelmään käyttäessään sitä, ja kuinka miellyttävä käyttökokemus on. Miellyttävyys saa käyttäjiä pitämään järjestelmästä enemmän.

Nielsenin heuristiikat ovat Jakob Nielsenin ja Rolf Molichin käsialaa ja antavat ohjenuoran käytettävyyden toteuttamiseen sekä arviontiin (Nielsen ja Molich 1989; Molich ja Nielsen 1990). Myöhemmin Nielsen muokkasi heuristiikkoja niiden nykymuotoon (Nielsen 1994a, 2005). Nämä 10 heuristiikkaa ja niiden merkitykset esitetään taulukossa 1.

Heuristiikat eivät ole suoria käytettävyydsmääräyksiä, vaan enemmän yksinkertaistettuja käytännön ohjeistuksia käyttöliittymien suunnittelulle (Nielsen 2005). Ne tarjoavat helpon ja kustannustehokkaan tavan arvioida käyttöliittymää sekä löytää siitä käytävyyssongelmia. Tämä johtuu siitä, että heuristiikat ovat yksinkertaisia muistaa ja soveltaa (Nielsen 1994a).

<b>Heuristiikat</b>	<b>Kuvaus</b>
Tilan näkyvyys	Järjestelmän tulisi asianmukaisella palautteella ja kohtuullisen ajan sisällä pitää käyttäjä tietoisena siitä mitä tapahtuu.
Järjestelmä vastaa todellisuutta	Järjestelmän tulisi käyttäytyä käyttäjälle tutulla todellisuutta vastaavalla tavalla. Tiedot tulisi esittää käyttäjän kielellä.
Käyttäjän kontrolli ja vapaus	Järjestelmän tulisi mahdollistaa käyttäjälle poistuminen epämieluisasta tilasta. Esimerkkinä <i>peruuta</i> ja <i>tee uudelleen</i> toiminnot.
Yhteneväisyys ja standardit	Järjestelmän tulisi noudattaa alan käytäntöjä ja koko sovelluksessa yhteneväisiä ilmaisuja, tiloja sekä toimintoja.
Virheiden estäminen	Järjestelmän tulisi, hyvien virheviestien lisäksi, estää mahdollisuus tehdä virheitä niille alttiissa toiminnoissa. Esimerkiksi painike voidaan kytkeä viestin lähettämisen jälkeen pois päältä duplikaattien estämiseksi.
Tunnistaminen muistamisen sijaan	Järjestelmän tulisi esittää kaikki sivulle tai toimintoon tarvittavat tiedot sen yhteydessä käyttäjän muistin kuormituksen minimoimiseksi.
Käytön joustavuus ja tehokkuus	Järjestelmän tulisi antaa käyttäjän räätälöidä toistuvia toimintoja itselleen sopivimmiksi ja tarjota kokeneimmille käyttäjille oikopolkuja.
Esteettinen ja minimaalinen suunnittelu	Järjestelmän tulisi näyttää vain asiaankuuluvaa ja tarpeellista tietoa, sillä turha tieto kilpailee näkyvyydestä.
Virhetilojen tunnistus, ilmoitus ja korjaus	Järjestelmän tulisi esittää virheviestit selkokielellä, ilmaista ongelma täsmällisesti ja ehdottaa ratkaisuja. Virheviestissä ei tulisi esiintyä koodia tai numerokoodeja.
Opastus ja ohjeistus	Järjestelmän tulisi tarjota helposti haettavaa tehtäväkohtaista apua, joka esittää järkevän kokoisina kokonaisuuksina konkreettisia toimia.

Taulukko 1. Heuristiikat Nielsen (1994b) mukaan.

## 4 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen suunnitteluun ja toteutukseen vaikuttavat monet asiat. Tutkimuksen motivaatio ja lähtökohdat vaikuttavat tutkimuskysymyksiin ja aikaisemmin mainittujen pohjalta valitaan tutkimukselle sopivin suoritusmetodi. Jos tutkimusmetodia käytetään kohdennetulla tai muokatulla tavalla, olisi nämä yksilöllistämiset myös hyvä kommunikoida.

Luvussa käsitellään tutkimuksen asetelmia; sen lähtökohtia, tutkimuskysymyksiä ja tutkimusmetodia. Alaluvussa 4.1 käydään läpi tutkimuksen toimintatapoja, toimintaympäristöä ja sen rajoitteita. Tutkimuskysymyksiin ja niiden valinnan motivaatioihin siirrytään alaluvussa 4.2. Lopuksi alaluvussa 4.3 esitellään suunnittelututkimuksen teorioita yleisesti ja miten niitä sovelletaan tähän tutkimukseen.

### 4.1 Lähtökohdat

Tutkimus tehdään STUK:lle, joka turvallisuusviranomaisena valvoo säteily- ja ydinturvallisuutta Suomessa (STUK 2023). Se jatkaa ja toteuttaa kesällä 2022 tehtyä suunnitteluprojektia ja tutkimus tehdään tukemaan ydinmateriaalivalvontaa alkavassa loppusijoituksessa. Kehitys tapahtuu STUKin ympäristössä ja vaatii yhteistoimintaa toiminnanharjoittajien sekä muiden valvontavirastojen kanssa.

Työmäärän takia kehitetään ja arvioidaan sovellusta vain pienimpänä julkaisukelpoisena tuotteena MVP (eng. minimum viable product). MVP on keino säästää resursseja ja muokata sovellusta kehityksen aikana asiakkaiden tarpeisiin sopivammaksi (Ries 2011; Blank 2018). Se on siis pienimmällä vaivalla ja ajalla tehty toimiva sekä tärkeimpiä tarpeita vastaava tuote. Tämä lähestymistapa kehitykseen sopii myös hyvin yhteen suunnittelutieteen iteratiivisuuden kanssa. Koska artefakti on MVP, käsitellään sitä tässä tutkimuksessa vain kehitysympäristössä ja -muodossa.

Tutkimuksesta rajataan ulos salassa pidettävät tiedot. Tämä tarkoittaa salattavia tietoja ympäristöstä, tekniikoista, prosesseista ja työnantajan sekä sidosryhmien sisäisistä dokumenteista. Tutkimuksessa ei täten myöskään oteta huomioon lopulliselle toteutukselle tärkeitä

tietoturvakysymyksiä tai niiden toteutusta.

## **4.2 Tutkimuskysymykset**

Tutkimuksen ensisijainen ongelma on verifiointiprosessin automatisointi tietokannan ja hallintasovelluksen avulla. Tietokantaan tulisi koota ydinpolttoainepun verifiointiin tarvittava tieto. Sovelluksen taas tulisi esittää tiedot järkevästi ja tarjota toimintoja helpottamaan ja nopeuttamaan verifiointia.

Koska sovelluksen tulisi toimia apuna ja nopeuttaa verifiointiprosessia, käytettävyys nousee myös tutkimuksen osaongelmaksi. Käytettävyys kun perinteisesti osittain mittaa sovelluksen toimivuutta ja hyödyllisyyttä suunniteltuun tehtävään. Käytettävyyden ollessa heikko käyttötehtävien suorittamisesta tulee hankalaa tai mahdotonta (Bevan 1995; Shackel 2009).

Opittavuus otetaan myös tutkittavaksi osaongelmaksi. Koska sovellus tulisi tukemaan pakollista prosessia – ja on siksi miltei pakollista käyttää – tulisi sen olla mahdollisimman opittava. Muuten sovelluksen opetteluun kuluu enemmän aikaa ja resursseja (Nielsen 1994b), eikä se täten vastaa tutkimuksen ensisijaiseen ongelmaan.

Täten tutkimusongelmat voidaan koota seuraaviksi tutkimuskysymyksiksi:

TK1: Minkälainen artefakti tarvittaisiin käytettävyyden käytänteitä huomioiden automatisoimaan loppusijoituksen nippujen verifiointiprosessia ja säilyttämään niiden tietoja?

TK2: Mitkä tekijät vaikuttavat opittavuuteen?

TK3: Mitkä tekijät edistävät informaation esittämistä?

## **4.3 Suunnittelututkimus**

Suunnittelututkimus on ongelmanratkaisun lähestymistapa, joka pyrkii luomaan ja arvioimaan tutkittavaa ongelmaa ratkaisevia artefakteja. Myös iteratiivinen kehitystapa on suunnittelutieteelle luontaista (Hevner ja Chatterjee 2010). Tutkimuksen tuottamia ratkaisuja voidaan esittää muun muassa konkreettisina toteutuksina tai mallinnettuna prosessina, mutta yhteistä niille on pyrkimys ratkaisun hyödyllisyyteen (Hevner ym. 2004). Myöhemmin suunnit-

nittelututkimukseen otettiin mukaan myös pelkän suunnitelman käsittely ratkaisuna (Pries-Heje, Baskerville ja Venable 2008).

Suunnittelututkimus on erityisen sopiva Rittel ja Webber (1973) tutkimuksessa esitellyille niin sanotuille ”viheliäisille ongelmille” (Hevner ym. 2004). Tämän kaltaisia ongelmia voidaan Hevner ym. (2004) mukaan kuvata yhdellä tai useammalla seuraavista väitteistä:

- Vaatimukset ja rajoitukset, jotka perustuvat epävakaisiin vaatimuksiin ja kehnosti määriteltyihin ympäristöolosuhteisiin.
- Ongelman ja sen ratkaisun osakomponenttien välillä esiintyy monimutkaisia vuorovaikutussuhteita.
- Luontainen joustavuus, joka saattaa muuttaa suunnitteluprosessia sekä -esinettä.
- Kriittinen riippuvuus ihmisten kognitiivisista kyvyistä ratkaisun tuottamiseksi.
- Kriittinen riippuvuus ihmisten sosiaalisista kyvyistä ratkaisun tuottamiseksi.

#### **4.3.1 Menetelmän teoriat tarkemmin**

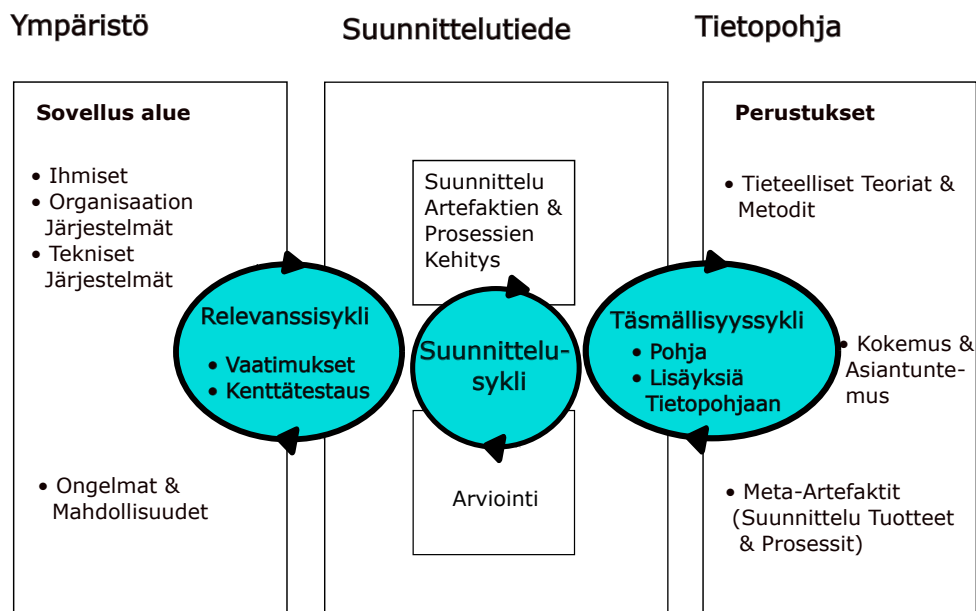
Suunnittelututkimuksen teoriakehystä tietotekniikan osalta työstettiin painottamaan syntyvää artefaktia sekä tutkimustoimintaa March ja Smith (1995) julkaisussa. Artefaktit voidaan jakaa rakenteiksi, malleiksi, menetelmiksi tai instansseiksi. Tutkimustoiminta taas jaoteltiin artefaktin luontiin, arviointiin, teorian rakentamiseen ja tutkimuksen perusteluun.

Myöhemmin muun muassa Hevner ym. (2004) ja Peffers ym. (2007) työstivät suunnittelutieteen kenttää omilla tunnetuilla artikkeleillaan. Hevner ym. (2004) korosti arvioinnin tärkeyttä ja lisäsi vaatimuksia ratkaisun laadukkuuden, hyödyllisyyden sekä tehokkuuden osoittamisesta teoriassa ja käytäntöön sovellettuna. Julkaisu antoi myös seitsemän kohdan ohjeistuksen suunnittelutieteen tutkimuksen tekemiseen. Peffers ym. (2007) taas kokosi aikaisempia suunnittelutieteen rakennetta käsitteleviä julkaisuja ja mallinsi niiden perusteella oman kuuden askeleen suosituksensa suunnittelutieteen käytöstä.

Peffers ym. (2007) mukaan suunnittelututkimuksen prosessi voidaan jakaa ongelman tunnistamiseen ja motivaation perusteluun, ratkaisun tavoitteiden esittelyyn, suunnitteluun ja kehitykseen, toiminnan esittelyyn, arviointiin ja tutkimuksesta kommunikointiin. Ongelman tunnistaminen ja motivaatio tarkoittaa Peffers ym. (2007) mukaan ongelman määrittelyä,

sen ratkaisemisen arvon ja valinnan perustelua. Ratkaisun tavoitteiden esittelyssä taas pitäisi kirjata miksi ratkaisu olisi olemassa olevia ratkaisuvaihtoehtoja parempi, tai miksi se vastaisi ongelmaan riittävän hyvin. Suunnittelu ja kehitys -askel viittaa artefaktin toiminnallisuuden ja arkkitehtuurin määrittämiseen sekä sen rakentamiseen. Toiminnan esittelyssä todistetaan artefaktin tarpeeksi tehokas toiminta esimerkiksi simulaation tai tapahtumatutkimuksien avulla. Arvostelussa tutkitaan, toteuttaako artefakti ratkaisuehdotuksen ja vastaako se tutkimusongelmaan. Lopuksi tutkimus, sen osa-alueet ja tulokset halutaan kommunikoida tieteellisen tutkimuksen yleisiä toimintatapoja käyttäen.

Artefaktin kehitys lähdekirjallisuuden, ympäristön vaatimusten ja arviointien ohjaamana on siis keskeinen osa suunnittelututkimusta (Hevner 2007; Iivari 2007; Peffers ym. 2007). Tämä kuvaillaan Hevner (2007) julkaisussa vastauksena Iivari (2007) kritiikkiin niin sanottujen tutkimussykliin; relevanssi-, suunnittelu- ja täsmällisyssyklin, avulla. Relevanssisykli yhdistää suunnitteluun ympäristötekijät, kuten ihmiset, organisaation toimintatavat, teknisen ympäristön sekä niiden haasteet ja mahdollisuudet. Suunnittelusykli kuvaa tutkimuksen ydintoimintaa. Se pyörii artefaktin suunnitelma- ja kehitysprosessien sekä sen arvioinnin välillä. Täsmällisyssykli taas yhdistää suunnitteluun tietopohjan, kuten tieteellisen pohjan, kokemuksen ja asiantuntemuksen (Hevner 2007; Hevner ja Chatterjee 2010).



Kuvio 3. Suunnittelututkimuksen syklit. Mukailee Hevner (2007) kuviota 1.



Suunnitteluprosessin erojen luonnollinen toteutus verrattuna keinotekoiseen (Venable 2006), ja arvioinnin ajoituksen käsittely, sekä niihin liittyvät toteutusstrategiat haluttiin koota arvioinnille suuntaa antavaksi viitekehukseksi (Pries-Heje, Baskerville ja Venable 2008; Venable, Pries-Heje ja Baskerville 2016). Viitekehys voidaan muotoilla kuvion 4 mukaan x-akselin luonnollisen ja keinotekoisien toteutuksen sekä y-akselin ennen ja jälkeen toteutusta jaotteluihin. Sen avulla voidaan suunnitella tutkimukselle sopivinta arviointistrategiaa; miten, mitä ja milloin arviointia tehdään (Pries-Heje, Baskerville ja Venable 2008; Venable, Pries-Heje ja Baskerville 2016). (Hevner 2007; Hevner ja Chatterjee 2010).

Luonnollista artefaktia käsitellään todellisilla ongelmilla, ympäristöillä ja käyttäjillä, kun keinotekoinen taas tehdään epätodellisilla parametreilla. Keinotekoisia parametreja voivat esimerkiksi olla teoreettiset ongelmat, keinotekoinen ympäristö tai simuloitujen loppukäyttäjien (Pries-Heje, Baskerville ja Venable 2008). Ex ante, ennen toteutusta, arvioi artefaktin suunnitelmaa, ja ex post, toteutuksen jälkeen, taas arvioi kehitettyä valmista artefaktia. Tutkimuksesta ja sen kohteesta riippuen voidaan arvio ajoittaa ennen toteutusta, toteutuksen jälkeen tai molempina aikoina. Luonnollinen lähestymistapa on resurssi-intensiivisempi, mutta tuottaa tarkempia, paremmin ongelmaan vastaavia ratkaisuja. Keinotekoisella lähestymistavalla on suurempi riski olla hyödytön, mutta sen voi toteuttaa nopeammin, halvemmin ja kontrolloidun ympäristön muuttujia (Pries-Heje, Baskerville ja Venable 2008; Venable, Pries-Heje ja Baskerville 2016).

Suunnittelututkimuksen arviointikriteereitä ja -menetelmiä on käsitelty usein hieman epämääräisesti (Prat, Comyn-Wattiau ja Akoka 2014; Pries-Heje, Baskerville ja Venable 2008; Venable, Pries-Heje ja Baskerville 2016). Prat, Comyn-Wattiau ja Akoka (2014) kuitenkin kokosivat muiden julkaisujen esittelemiä arviointikriteerejä järjestelmän ulottuvuuksien, arviointi- ja alikriteerien hierarkiaksi. Arviointimetodit taas jaettiin arviointimuotoon, osallistujiin, arviointitasoon ja verrattavuuteen (Prat, Comyn-Wattiau ja Akoka 2014). Myös aikaisemmin käsiteltyä arviointistrategioiden viitekehystä työstettiin Venable, Pries-Heje ja Baskerville (2016) julkaisussa antamaan neljä arviointityyppiä riippuen artefaktin luonnollisuudesta, muovaavuudesta tai summaavuudesta sekä arvioinnin suorituskerroista. Arviointityypeiksi nimettiin ”ihmisten riski ja hyödyllisyys”, ”nopea ja yksinkertainen”, ”tekninen riski ja tehokkuus”, sekä ”täysin tekninen” (Venable, Pries-Heje ja Baskerville 2016).

		Ex Ante	Ex Post
		<b>Suunnittelutieteen arviointistrategioiden valinta viitekehys</b>	
<b>Luonnollinen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Useita erilaisia sidosryhmiä</li> <li>• Merkittävä konflikti</li> <li>• Sosiaalisteknisiä artefakteja</li> <li>• Korkeampi kustannus</li> <li>• Hitaampi</li> <li>• Organisaatioon pääsy tarvitaan</li> <li>• Artefaktin hyötyä arvioidaan</li> <li>• Haluttu tieteellinenperustelu käytännön toiminta</li> <li>• Korkampi riski osallistujille</li> <li>• Pienempi riski vääristymään positiiviseen tulosten suhteen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oikeat käyttäjät, sekä ongelmat ja jokseenkin epäaidot järjestelmät</li> <li>• Pieni tai keskikokoinen kustannus</li> <li>• Keskikokoinen nopeus</li> <li>• Pieni riski osaanottajille</li> <li>• Suurempi riski vääristyneeseen positiiviseen tulokseen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oikeat käyttäjät, ongelmat ja järjestelmät</li> <li>• Suurimmat kulut</li> <li>• Paras arvioi hyödyllisyydestä</li> <li>• Sivuvaikutusten tunnistaminen</li> <li>• Suurin riski osallistujille</li> <li>• Pienempi riski vääristyneeseen positiiviseen tulokseen</li> </ul>
<b>Keinotekoinen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muutama samanlaista sidosryhmää</li> <li>• Vähän tai ei konfliktia</li> <li>• Puhtaan teknisiä artefakteja</li> <li>• Pienempi kustannus</li> <li>• Nopeampi</li> <li>• Artefaktin tehokkuuden arvioidaan</li> <li>• Haluttu tieteellinenperustelu muuttujia hallitsemalla</li> <li>• Pienempi riski osallistujille</li> <li>• Suurempi riski vääristymään positiiviseen tulosten suhteen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epäaidot käyttäjät, sekä ongelmat ja mahdollisesti järjestelmät</li> <li>• Pienin kustannus</li> <li>• Nopein</li> <li>• Pienin riski osaanottajille</li> <li>• Suurin riski vääristyneeseen positiiviseen tulokseen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oikeat käyttäjät, epäaidot ongelmat ja mahdollisesti epäaidot järjestelmät</li> <li>• Keskikokoisista suuriin kulut</li> <li>• Keskinopea</li> <li>• Pieni-keskikokoinen riski osallistujille</li> </ul>

Kuvio 4. Arviointistrategioiden viitekehys. Mukaillee Venable, Pries-Heje ja Baskerville (2012) kuviota 2.

#### 4.3.2 Menetelmän sovellus tutkimuksessa

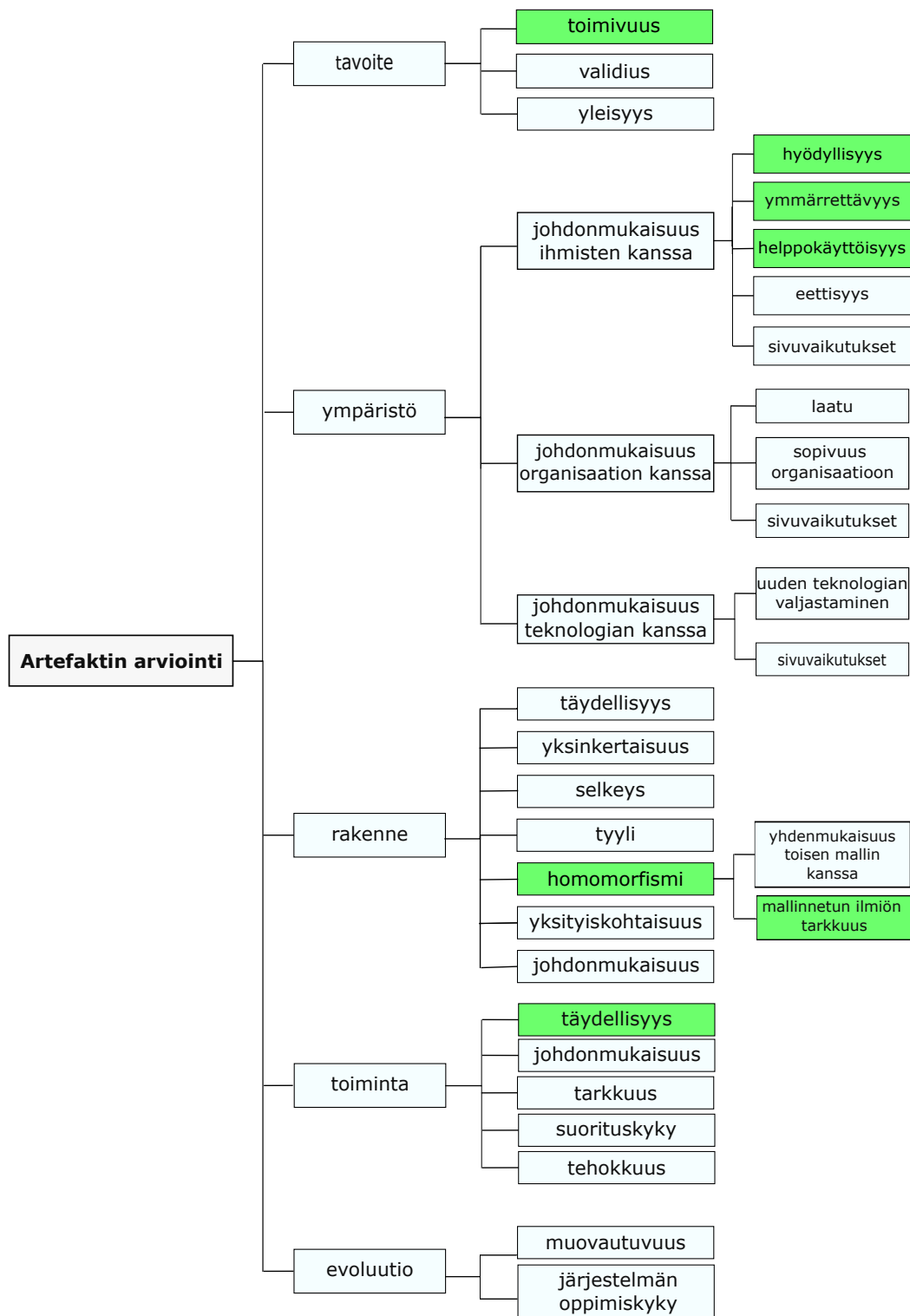
Tutkimuksessa käsiteltävä ongelma toteuttaa ainakin kaksi suunnittelututkimukselle soveltuvien ongelmien piirrettä (Hevner ym. 2004); huonosti määritelty ympäristö ja epävakaa vaatimukset sekä suunnitteluprosessiin ja -esineeseen vaikuttava joustavuudesta johtava muuttuvaisuus. Tutkimusongelma pyrkii tuottamaan kontekstissaan uniikin sovelluksen, joten sen kohtaamat vaatimukset ja ympäristö ovat vielä huonosti määriteltyjä ja epävakaita. Sovel-

luksen tulisi täten olla myös muuttuva ja joustava, jotta epävakaiden määritysten vaatimat muutokset olisivat mahdollisimman helppoja tulevaisuudessa implementoida. Tämä osoittaisi tutkimusongelman sopivan hyvin suunnittelututkimuksen ongelmaksi. Myös artefaktin tuottaminen ja iteratiivinen toimintatapa soveltuvat tutkimuksen tavoitteisiin.

Tutkimus suoritetaan Peffers ym. (2007) kuuden askeleen prosessin ja Hevner (2007) ja Hevner ja Chatterjee (2010) esittelemien syklien mukaisesti. Tutkimus etenee siis muuten prosessin mukaan, mutta ympäristön vaatimuksia ja tietopohjaa käsitellään osana suunnittelu- ja kehitys- sekä arviointivaiheita. Ympäristön ja tietopohjan asettamat vaatimukset vaikuttavat suunnittelu-, kehitys- ja arviointiprosessiin.

Koska pyritään valmistamaan artefakti todenmukaista käyttöä mahdollistavaksi, käsitellään sitä luonnollisena artefaktina. Rajallisen ajan ja resurssien takia suoritetaan vain kaksi sykliä. Tämä osoittaisi ”nopean ja yksinkertaisen” arviointistrategiatyyppin sopivan tutkimukselle hyvin, sillä se sopii parhaiten rajallisten resurssien, parin arviointikerran ja luonnollisen artefaktin tapauksille. Se johtaisi myös ex post summatiiviseen, eli iteraatiosyklin loppuun osuvaan, arviointiajankohtaan (Venable, Pries-Heje ja Baskerville 2016). Tässä tutkimuksessa varsinainen artefaktin arviointi tehdään tapaustutkimuksen keinoin, sillä se sopii hyvin luonnolliselle ex post arvioinnille Venable, Pries-Heje ja Baskerville (2012) mukaan. Tuotetaan siis instanssi, jota loppukäyttäjien testaajaryhmä käyttää tosielämän käyttöä ja ympäristöä simuloiden, sekä arvioidaan kyselylomakkeella. Kyselylomake on halpa, tehokas sekä haastatteluja nopeampi tapa toteuttaa arviointi. Paikalla olon tarpeettomuuden takia se myös mahdollistaa etätoiminnan (Preece, Sharp ja Rogers 2015).

Arviointikriteerit Prat, Comyn-Wattiau ja Akoka (2014) mukaan ja visualisoituna kuviossa 5 olisivat; toimivuus, hyödyllisyys, ymmärrettävyys, helppokäyttöisyys, toiminnan täydellisyys ja homomorfismi. Ne vastaavat parhaiten tutkimuskysymyksiin ja osaltaan kuvastavat käsiteltyjä käytettävyyden aspekteja. Artefaktin tulisi toimia määritellyllä ihmisillä auttavalla tavalla, mallintaa tietoaan oikein, sisältää määritellyt toiminnot, olla hyödyllinen, laadukas, ymmärrettävä ja helposti opittava. Saman artikkelin arviointimetodimallin mukaan tutkimuksessa verrataan artefaktia arvioinnissa aikaisempien artefaktien puutteeseen ja arvioinnin taso on oikean esimerkin instanssi. Lisäksi mallin mukaan osallistujina ovat loppukäyttäjät eli harjoittajat ja arvioinnin muoto on laadullinen.



Kuvio 5. Prat, Comyn-Wattiau ja Akoka (2014) kuvion 1. arviointikriteerejä mukaileva listaus. Tutkimuksessa käytettävät kriteerit alleviivattu vihreällä.

## 5 Toteutusprosessi

Vaatimusmäärittely on ohjelmistoprojektin onnistumiselle tärkeää, jotta osattaisiin laatia oikeanlainen asiakkaan tarpeita vastaava tuote (Robertson ja Robertson 2012; Chung ym. 2012). Vaatimukset voidaan sovelluksen kannalta jakaa toiminnallisiin ja laadullisiin vaatimuksiin (Chung ym. 2012). Määrittelyä tehdään usein ymmärtämään loppukäyttäjän tarpeita, esimerkiksi haastatteluiden avulla (Robertson ja Robertson 2012). Määritysten pohjalta muodostuvia suunnitelmia ja artefakteja on myös tärkeä arvioida (Robertson ja Robertson 2012). Tämä tapahtuu tutkimuksessa vasta myöhemmin luvussa 6.

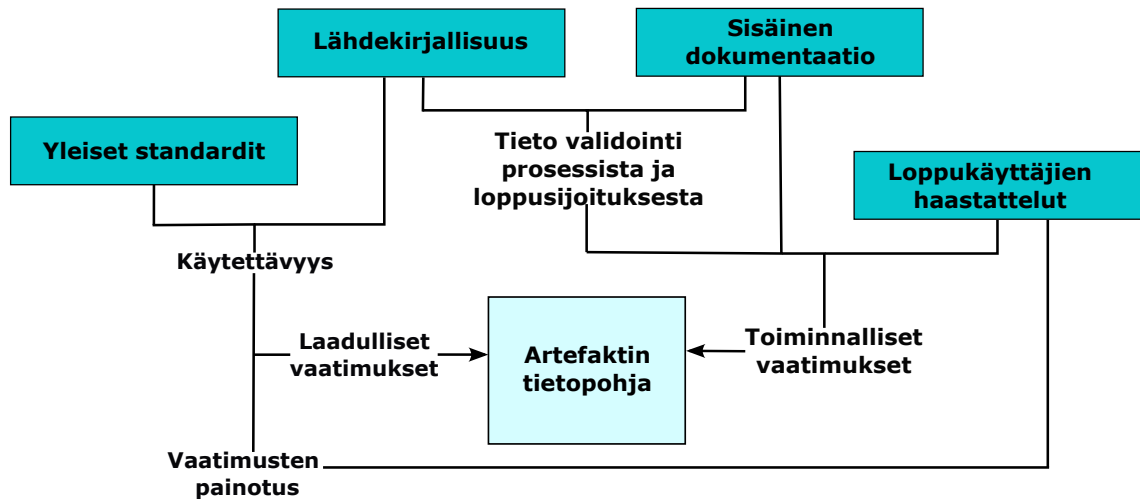
Tässä luvussa käsitellään suunnittelututkimuksen ensimmäistä, niin sanottua iteraatiota 0, jossa pohjustetaan tulevia iteraatioita. Alaluvussa 5.1 käydään läpi tiedonhakuprosessi, jonka avulla tutkimuksen tietopohja on hankittu. Alaluvussa 5.2 taas siirrytään määrittelyn tuloksiin, joiden pohjalta ensimmäinen iteraatio artefaktista toteutetaan. Kuvataan myös artefaktia arvioivaa käyttäjäryhmää alaluvussa 5.3. Lopuksi alaluvussa 5.4 esitellään vielä arviointilomaketta, jonka mukaan testaajaryhmä arvioi artefaktia, ja lomakkeen rakenne perustellaan.

### 5.1 Tiedonhakuprosessi

Ensin muodostettiin käsitys verifiointiprosessista ja sen tietotarpeista, sekä mistä tiedot saadaan kerättyä. Tämä tehtiin tieteellisen pohjakirjallisuuden kirjallisuuskatsauksen keinoin, loppukäyttäjää haastatteleamalla ja prosessia käsitteleviä dokumentteja läpikäymällä. Myös tiedon luovuttajien kanssa keskusteltiin tietotarpeista, tiedon siirtotekniikoista ja aikataulusta. Tämä vaikutti osaltaan kerättäviin tietoihin ja niiden rakenteeseen. Prosessin tarpeita kerättiin sisäisen dokumentaation ja kirjallisuuskatsauksella kerätyn aineiston avulla. Niitä käytettiin yhdessä loppukäyttäjien haastattelujen kanssa määrittelemään artefaktille toiminnallisia vaatimuksia. Laatuvaatimuksia kerättiin kirjallisuuden käytettävyyssstandardeista ja niiden pääpainotukset valittiin haastatteluiden pohjalta. Tietopohjan osa-alueita kuvataan kuviossa 6.

Koska pohjakirjallisuudesta haluttiin kattava kuva, valittiin sekä uudempia että vanhempia julkaisuja. Uutuutta painotettiin vallitseviin standardeihin ja teknologiaan liittyvien julkaisu-

jen valinnassa. Vanhempia artikkeleita suosittiin antamaan teorialle ja tutkimusmenetelmille pohjaa. Artikkeleiden valinnassa huomioitiin positiivisesti suurempia määriä viittauksia.



Kuvio 6. Tietopohjan rakenne.

Lähdekirjallisuutta haettiin Google Scholar- ja Scopus-hakukoneilla. Hakuja myös vyörytetään keräämällä viitatuimpia lähteitä löydettyjen artikkeleiden välillä ja käyttämällä Google Scholarin "aiheeseen liittyviä artikkeleita"-toimintoa. Tutkimukseen käytettiin vain maksuttomia julkaisuja, mutta muutama tarvittiin luku-oikeuksia. Käytetyimpiä hakusanoja olivat: "safeguards", "nuclear safeguards verification", "nuclear safeguards nda", "nuclear disposal finland", "design science", "design science artifact evaluation methods", "usability", "usability and learnability and benefit", "usability iso 9241" ja "nielsen usability". Lisäksi aikahaarukalla 2008-2023 haettiin erikseen suunnittelututkimukseen ja sen evaluatioon liittyviä hakuja, sekä 2016-2023 haarukalla nda-metodien, loppusijoituksen ja iso standardien hakuja, jotta saataisiin priorisoitua uudempaa tietoa.

Ydinmateriaalivalvonnan verifiointin prosessista löytyy verrattaen vähän tieteellisiä julkaisuja, sillä aiheeseen vihkiytyneiden organisaatioiden lukumäärä on melko suppea. Suomen ydinmateriaalien loppusijoitus on toinen asia, josta ei löydy useita riippumattomia tieteellisiä julkaisuja. Täten kerättiin niitä koskevaa aineistoa myös IAEA:n, säteilyturvakeskuksen ja Posivan julkaisemista artikkeleista, tiedotteista ja web-sivuilta. Näiden julkaisuiden valinnassa suosittiin ajankohtaisuutta, eli valittiin asiaa käsittelevästä aineistosta uudemmat, paremmin nykytilannetta kuvaavat julkaisut.

Haastatteluissa kyseltiin avoimen keskustelun muodossa loppukäyttäjiltä tuettavasta prosessista, sen tietotarpeista sekä tarkemmin heidän tarpeistaan ja toiveistaan toimintojen puolesta. Tietotarpeiden määrittelyyn vaikuttaneet keskustelut tietoa lähettävien toiminnanharjoittajien kanssa hoidettiin etäkokouksilla ja tietorakenteen alkuehdotusta palaverin aikana yhdessä muokaten.

Sisäistä dokumentaatiota käytiin myös läpi. Tämä dokumentaatio koski niin prosessia, aikaisemmin aiheesta tehtyjä vaatimusmäärittelyjä ja suunnitelmia, kuin käytössä olevia standardeja. Niiden käyttö suunnittelussa edistää yhtenäisyyttä yrityksen muiden ohjelmistojen ja prosessien kanssa.

## **5.2 Määrittelyn tulokset**

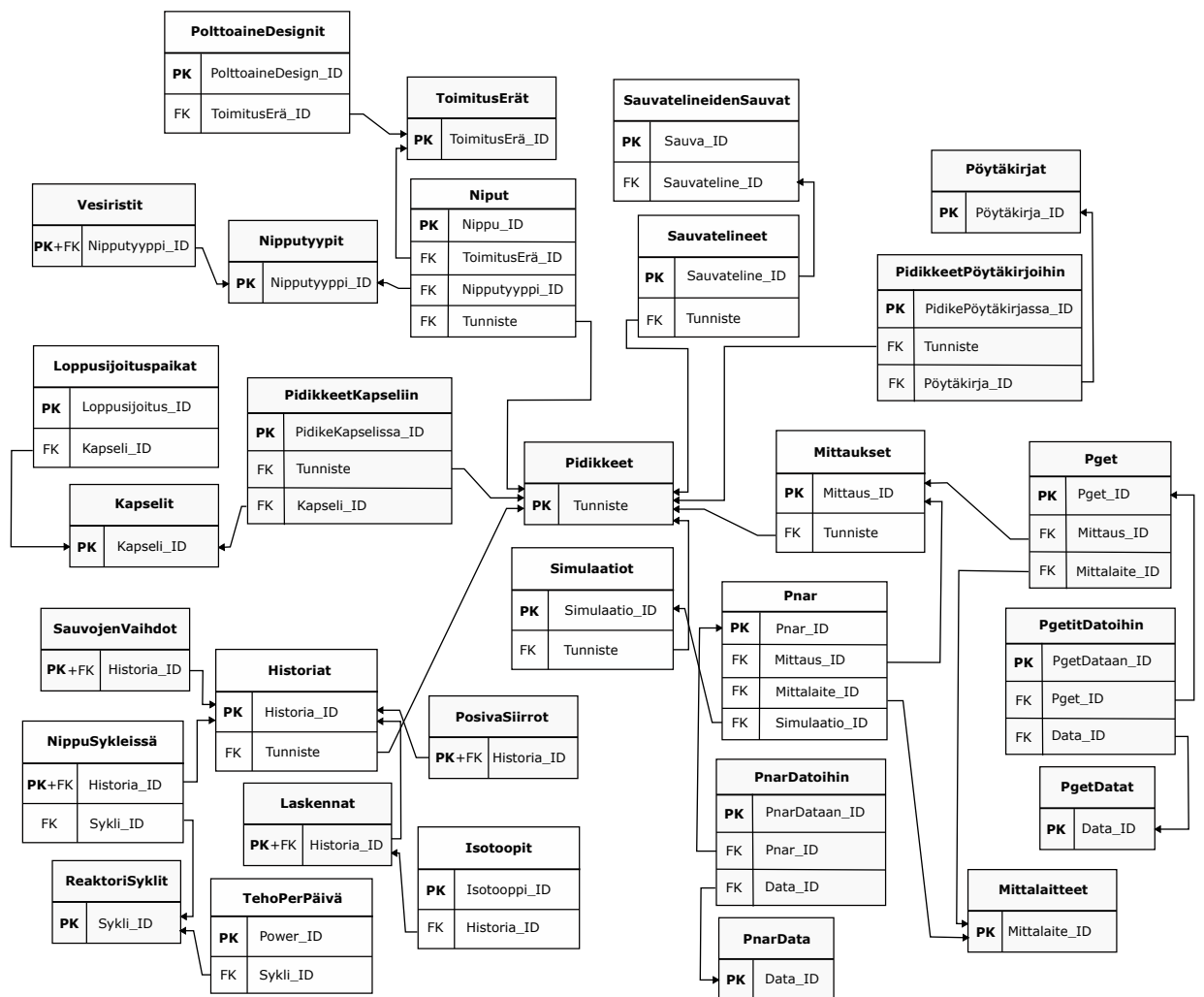
Nippujen ja niiden rakenteen tiedot, nipun käyttöhistoria, nippujen mittaukset, mittausten analyysit, niiden tulokset sekä mittalaitteet haluttiin verifiointitietona tietokantaan. Myös loppusijoituskohtaisia nippujen kapseleiden ja loppusijoituspaikan tietoja edellytettiin. Suunniteltu tietokantamalli näkyy kuvioista 7.

Tietokannan päävaatimuksiksi nousivat rakenteiden ja tietojen eheys sekä rakenteen muovautuvuus. Relatiorakenne valittiin, sillä sen mahdollistamat taulujen yhteydet pitävät tietorakenteet vakiona. Tauluissa tulisi siis myös aina esiintyä kaikki sen tietueiden tiedot. Samaan aikaan tauluperintää käyttämällä on pyritty mahdollistamaan tulevaisuuden uusien kategorioiden lisäys tietokantaan vanhoja rakenteita tai tietoja muuttamatta.

Niput, sekä tiedot sen rakenteesta perustuen nipputyyppiin ja eräkohtaiseen polttoainekonfiguraatioon ovat tietokannan keskiössä. Nippuun yhdistetään myös siitä tehdyt simulaatiot, mittaukset, sen historiatiedot ja mahdolliset kapselitiedot. Koska sauvatelineet, jonne nipuista poistettuja sauvoja säilötään, tarvitsevat myös nämä liitokset, on ne liitetty nipuja ja sauvatelineitä yhdistävän Pidikkeet-taulun kautta yhteen.

Mittaukset-taulu kokoaa koko mittaustapahtuman. Mittaustuloksiin liitetään viitteellä sen aikana tapahtuneiden PGET- ja PNAR-mittausten tulokset samannimisissä tauluissa sekä viite mitattuun nippuun tai sauvatelineeseen. Pget- ja Pnar-tauluihin tallennetaan siis tiedot

niiden tuloksista, viite mittauksen tehneeseen mittalaitteeseen, sekä mittaustapahtumaan ja oman tyyppiseensä mittauksen raakadataan välitaulun avulla. Tämä on, siksi että yhdestä mittaustapahtumassa otetusta mittausdatasta voidaan saada useita tuloksia riippuen esimerkiksi analyysiin käytettävistä parametreista ja tarkasteltavista aikajaksoista. Pnar-taulussa on myös viite nipusta tai sauvatelineestä tehtyihin simulaatioihin, joihin PNAR-mittaustulosten hyväksyttävyyden raja-arvot perustuvat.



Kuvio 7. Suunniteltu tietokantarakenne suomennettuna. Kuviossa on esitetty vain pää- ja viiteavaimet tilarajoitteiden takia.

Nippujen tai sauvatelineiden käyttöhistorian tietojen taulut kuvataan Historiat-taulun perintänä, joka antaa niille kaikille tapahtuma-ajan, viitteen oikeaan pidikkeeseen ja kokoaa perivät taulut. Nipun tai sauvatelineen reaktorihistoriasta halutaan tietää missä reaktorisykleissä se



on ollut, syklin yleistiedot ja reaktorisyyklin päiväkohtainen teho. Mahdolliset Posiva-siirtojen tiedot halutaan myös tietää. siirron ajankohdasta tai nykyhetkestä, sekä viimeisimmästä reaktorisyyklistä voidaan laskea nipun jäähtymisaika. Myös nipussa tapahtuvat sauvojen siirrot ja vaihdot on tärkeää kerätä, sillä ne saattavat näkyä puuttuvina tai poikkeavina sauvoina verifiointimittauksen yhteydessä. Myös lasketut arvot nipun isotooppikonsentraatiosta, niiden palamista ja nipun sisältämän ydinaineen kokonaismäärästä on tärkeä tietää.

Jos nipulle on annettu kapselointilupa, saadaan tiedot sen kapselista ja kapselointiajasta. Loppusijoituksen jälkeen tiedot nipun kapselin loppusijoituspaikasta ja ajasta kirjataan tietokantaan. Nämä tiedot on tärkeä säilyttää, jotta verifioidun ydinpolttoaineen olinpaikka pysyy tiedossa.

Rakenne ei ole tehokkain mahdollinen, mutta sen ei pitäisi taulujen kohtuullisen määrän ja mielekkäiden hakulausekkeiden takia hidastua merkittävästi. Hitaimpia haettavia kun ovat useamman taulun kautta haettavat tiedot, joiden suorahaku on artefaktissa harvinaisempaa. Niiden hakuun käytetään artefaktin suunnitelmissa jo haettuja tietoja, joita voidaan käyttää oikopolkuna pidemmän, usean taulun kautta kulkevan, hakuketjun lyhentämiseen. Täten näiden pidempien hakuketjujen ei tulisi verottaa tehokkuutta kohtuuttomasti.

Hallintasovelluksen tulisi olla mahdollista esittää tietokannan tiedot mittauksista ja nipuista. Nippu- ja mittaus-tyyppisiä tietoja tulisi voida hakea ja niitä valita uudelle sivulle tietojen tarkempaa tarkastelua varten. Niin nippu- kuin mittaustietojen kautta tulisi päästä hyväksymään nipun tiedot siitä otetun viimeisimmän mittauksen avulla. Hyväksymisestä tulisi myös automaattisesti laatia pöytäkirja, joka tarkastajan allekirjoituksen jälkeen virallistetaan, lähetetään dokumentinhallintajärjestelmään ja nippu hyväksytään kapseloitavaksi. Myös ajallisesti tulisi olla mahdollista hakea mittaustietoja.

Nippujen ja mittausten mahdolliset tilat (hyväksytty, hylätty ja odottaa tarkastusta) tulisi olla erotettavissa visuaalisesti värikoodauksen avulla. Nipun tai mittauksen tila saattaa olla hyväksytty, hylätty tai odottaa tarkastusta. Nipun tilan tulisi muuttua hyväksytyksi, jos sen viimeisin mittaus hyväksytään, riippumatta aikaisempien mittausten hylkäyksistä. Nipuilla on myös tila loppusijoituksen prosessissa, jonka mukaan niitä tulisi voida hakea.

### **5.3 Arviointiryhmä**

Kirjallisuus on monta mieltä testiryhmän osallistujien suositeltavasta määrästä. Dumas, Dumas ja Redish (1999) suosittelivat käytettävyydestä 6-12 osallistujan ryhmää, sillä lisäosallistujien lisäarvo alkaa 12 osallistujan jälkeen laskea huomattavasti. Nielsen (2000) taas suosittelee 5 osallistujaa, mutta Faulkner (2003) painottaa useamman osallistujan tuomia etuja. Kokonaisuudessaan julkaisuissa suositellaan kohdekäyttäjien suosimista osallistujien valinnassa (Dumas, Dumas ja Redish 1999; Faulkner 2003).

Faulkner (2003) julkaisun mukaan 10 osallistujan ryhmä löytää kuitenkin useimmiten yli 95% käytettävyysongelmista ja ainakin yli 80%. Täten 5-8 koehenkilön ryhmän tulisi riittää, sillä koehenkilöt olisivat sovelluksen kohdekäyttäjii. Mahdollisia epäkohtia löydetään aikaisemman tutkimuksen pohjalta tarpeeksi korkealla prosentilla ja ryhmän koko olisi koekäyttäjien ajan rajallisuuden takia järkevää.

### **5.4 Käytettävyyden kyselylomake**

Arviointilomake ei suoraan mukaile tiettyä arviointiin tarkoitettua lomaketta, vaan perustuu useaan yleiseen lomakkeeseen ja se on kohdennettu hallintasovelluksen, tutkimuskysymysten ja kuviossa 5 valittujen arviointikriteerien mukaan. Lomake löytyy kokonaisuudessaan liitteenä A. Arviointilomake tulisi täyttää rauhallisessa tilassa heti artefaktin kokeilun jälkeen tai jo koekäytön yhteydessä. Siihen on suunniteltu käytettävän noin 15-30 minuuttia aikaa.

Kohdat arvioidaan Likertin asteikolla, eli numeraalisesti yhdestä viiteen ja sanallisesti täysin eri mielipiteestä täysin samaa mielipiteeseen. Asteikko mahdollistaa mielipiteiden esittämisen numeerisesti tulosten vertailun helpottamiseksi (Norman 2010; Joshi ym. 2015). Jokaisen kohdan alapuolella olevaan tekstilaatikkoon tulee myös lyhyesti kertoa miksi, jotta ymmärrettäisiin paremmin mikä artefaktissa onnistui ja mitä tulisi vielä kehittää. Lomakkeen lopussa on myös vapaan palautteen osio lisähuomioille ja kehitysideoille.

Kohdat 2, 3, 9, 10 a-d ja 11 on valittu mittaamaan hyödyllisyyttä ja sitä, vastaavatko artefaktin toiminnot järjestelmävaatimuksia. Kohdat 4, 5 ja 7 taas selvittävät kuinka opittavuus on

onnistunut sovelluksessa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Tiedon esittämisen selkeyttä mittaa kohta 8 taas suoraan. Käytettävyyden aspektoja käsittelevät niin kohdat 1,2 ja 6 kuin 4, 5 ja 7:kin.

Valittujen evaluointikriteerien kannalta kohta 2 mittaa toimivuutta, 10 a-d toimintojen täydellisyyttä ja 11 molempia. Kohdat 2 ja 3 mittaavat ihmisille tuotua hyödyllisyyttä, kohdat 6, 7 ja 8 ymmärrettävyyttä ja 1, 4, ja 5 helppokäyttöisyyttä. Homomorfismia mitataan suoraan kohdalla 9.

## 6 Artefaktin esittely ja arviointi

Iteraatiot ovat suunnittelutiedetutkimuksen keskeisintä asiaa. Niiden aikana tutkimuksen alussa kerätty tieto kootaan yhdessä ympäristön vaatimusten ja rajoitteiden kanssa uudeksi tuotokseksi kuvion 3 mukaan. Tämä artefakti ja sen arvioinnista saadut johtopäätökset nähdään usein tutkimuksen tuloksina (Venable, Pries-Heje ja Baskerville 2016).

Luvussa käydään läpi iteraatiota; niiden tuottamaa ohjelmistoa ja arvioinnin tuloksia. Alaluvussa 6.1 tarkastellaan artefaktin ensimmäistä iteraatiota. Ensin 6.1.1 esittää mitä ominaisuuksia siinä on ja sitten 6.1.2 esittää tehdyssä arvostelussa esiin tulleet suurimmat epäkohdat ja onnistumiset. Alaluvuissa 6.2, 6.2.1 ja 6.2.2 tehdään sama toiselle iteraatiolle. Sen toteutuksessa esitellyt muutokset on rakennettu ensimmäisen arvioinnin pohjalta

### 6.1 Iteraatio 1

Iteraatio 1:ssä kehitetään ja arvioidaan alaluvun 5.2 määrittelyjä vastaava artefakti. Artefakti muodostuu PostgreSQL-tietokannasta ja Python web-hallintaohjelmasta. Sen back- ja front-end tehdään django-viitekehityksen avulla.

#### 6.1.1 Iteraatio 1 toteutus

Käyttöliittymä tarjoaa niput-, mittaukset-, nipun tiedot-, mittauksen tiedot-, raportointi- ja ohjeet-näkymät. Niihin johtavat linkit esitetään joka näkymän yläpalkissa. Lisäksi implementoitiin myös aloitusnäkyvä, jossa käyttäjälle linkataan uusimpia enintään viikon vanhoja mittauksia, validoimattomia mittauksia, hyväksytyjä ja hylättyjä mittauksia sekä esitetään niiden määrät. Niput ja mittaukset tarjoavat omat hakutoiminnot tietynlaisten nippujen tai mittausten hakemiseen. Nippu- ja mittaus-tiedot näkymissä haetaan kaikki nippuun tai mittauksiin liittyvät tiedot, joita voi tarkastella hallinnoimalla eri aihealueiden komponentteja joko valitsemalla ne näkyviksi tai piiloon. Raportointinäkyvä tarjoaa erilliset hyväksyntä- ja hylkäystoiminnot sekä raportointitoiminnon, jota voi käyttää useamman nipun käsittelyyn kerralla. Ohjeet-näkymästä löytyvät ohjeet sovelluksen ja toimintojen käyttöön.

Niput-näkymässä kuvion 8 mukaan haku voidaan tehdä nipputunnuksella sekä sen prosessi-tilan mukaan. Jos erillistä hakua ei ole syötetty, esittävät niput- sekä mittaukset-näkymät kaikki tietokannan kohdat 25:n kappaleen segmentteinä sivua kohden. Hyväksytyt niput korostetaan vihreällä ja hylätyt punaisella. Tarkastusta odottavilla nipuilla ei ole korostusväriä. Niput ovat myös lisäysajan mukaan järjestyksessä eli ensimmäisiksi sijoittuvat tietokantaan viimeiseksi lisätyt niput. Mittaukset-näkymässä voidaan mittauksia hakea mittauspäivän ja hyväksyntä-tilan avulla. Esitetyt mittaukset näytetään nippujen tavoin värikoodattuna ja yhtä sivua kohden 25:n segmenteissä, jos hakuparametrejä ei ole annettu. Mittaukset esitetään myös järjestyksessä niin, että vanhimmat mittaukset näkyvät ensimmäisinä.

LOST&FOUND [Holders](#) [Measurements](#) [Reports](#) [Help](#)

## Assemblies

All  [Filter](#)

Assembly id: 31102	Assemblytype: SVEA-100	U-Weight: 179230 g	Enrichment: 4.541 %	<a href="#">More information</a>
Assembly id: 12441	Assemblytype: SVEA-64	U-Weight: 162250 g	Enrichment: 2.511 %	<a href="#">More information</a>
Assembly id: 28420	Assemblytype: SVEA-96 OPTIMA	U-Weight: 170012 g	Enrichment: 3.215 %	<a href="#">More information</a>
Assembly id: 26081	Assemblytype: SVEA-96 OPTIMA	U-Weight: 169163 g	Enrichment: 3.446 %	<a href="#">More information</a>
Assembly id: 21427	Assemblytype: SVEA-64	U-Weight: 170123 g	Enrichment: 3.031 %	<a href="#">More information</a>
Assembly id: 21371	Assemblytype: SVEA-64	U-Weight: 170091 g	Enrichment: 3.003 %	<a href="#">More information</a>
Assembly id: 3301	Assemblytype: 8x8-1	U-Weight: 168704 g	Enrichment: 2.925 %	<a href="#">More information</a>
Assembly id: 822	Assemblytype: Atrium10	U-Weight: 172307 g	Enrichment: 3.635 %	<a href="#">More information</a>
Assembly id: 770	Assemblytype: 9x9-AB	U-Weight: 172700 g	Enrichment: 3.235 %	<a href="#">More information</a>
Pin Container id: T202 Dimensions: 8x8 Number of pins: 1 <a href="#">More information</a>				

Page 1 of 1.

© 2023 STUK

Kuvio 8. Niput-näkymä iteraatiossa 1.

Nipun tiedot-näkymässä näytetään ensimmäiseksi nipun lähtö- ja rakennetietoja. Nipuista tehdyt mittaustapahtumien tiedot, hyväksymis- tai hylkäyspöytäkirjojen, loppusijoitus eli loppusijoituskapselien ja -paikkojen, sekä käyttöhistorioiden tiedot esitetään alempana. Tämä näkyy kuviossa 9. Niitä voidaan esittää tai piilottaa tietojen tarkastelutarpeiden mukaan elementtien otsikkolohkoja klikkaamalla. Jokaisen mittaustapahtuman yhteydessä on mahdollisuus hyväksyä tai hylätä nippu valitsemalla arvo valintapainikkeista ja kommentoimalla päätöksen syitä.

## Information about the object

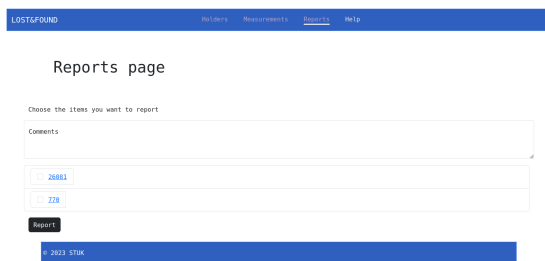
serial number	26081
status	disposed
initial uranium mass	169163 g
initial enrichment	3.446 %
estimated burnup	40218 MWd/tU
assembly has a fuelchannel	Yes
obligations	SW
country of origin	EU

Structure	▼
Measurements	▼
Reports	▼
Disposals	▼
Histories	▼

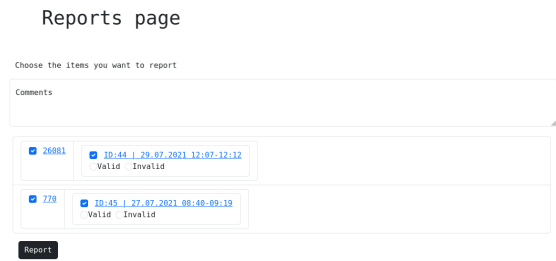
Kuvio 9. Nipun tietojen näkymä iteraatiossa 1.

Mittaustiedot-näkymässä voidaan tarkastella pelkän mittaustapahtuman tietoja, kuten mittauksen tapahtuma-aikaa, eri mittaustyyppien analyysien tuloksia, niiden raakadataa ja mittauksiin käytettyjen mittalaitteiden tietoja. Tietoja näytetään nipun tiedot-näkymän tavalla omissa rajatuissa elementeissään. Mittaustiedoissa on lisäksi linkki mitatun nipun kaikkiin tietoihin. Näkymän kautta voidaan myös hyväksyä ja raportoida mittauksia sekä niiden jatkeena nippuja.

Raportointi-näkymässä usea nippu ja sen mittaus voidaan raportoida samalla kertaa. Näkymässä esitetään vain niput, joille on tehtyjä mittaustapahtumia. Kun raportoitavaksi valitaan nippu, listaus sen mittauksista avautuu viereiseen segmenttiin yhdessä hyväksyntä- tai hylkäys-valintapainikkeiden kanssa. Kuviossa 10 esitetään vain raportointisivu, jossa nippuja ei olla valittu raportoitaviksi. Kuviossa 11 molemmat esimerkkinipuista ja niiden mittauksista on valittu. Raportointiin tarvitaan ainakin yhden nipun, yhden sen mittauksen ja mittauksen hyväksyntäarvon valinta sekä kommentti päätöksen syistä. Viimeiseksi tarkastetaan, että valitut tiedot halutaan varmasti raportoida, muodostetaan esimerkkitiedosto. Jos se näyttää hyvältä, lähetetään tiedosto tekijälle eteenpäin käsiteltäväksi.



Kuvio 10. Raportointinäkymä Iteraatioissa 1.



Kuvio 11. Raportointilomake iteraatioissa 1 raportoitavat valittuna.

Raportti muodostetaan nipun tunnuksesta, nipputyypistä, kokonaispalama-, ydinmateriaalin määrä-, sauvojen määrä- ja obligaatio-tiedoista, mittauksen alku- ja lopputiedoista sekä päätös hyväksymisestä tai hylkäyksestä. Tiedot raportin muodostusajasta sekä kommentti sen syistä laitetaan myös raporttikohtaisiin tietoihin. Jos raportti tehdään sauvatelineestä, tiedot sen tunnuksesta, mitoista, sen sauvojen paikoista telineessä sekä sauvojen paino, palama, tunnus ja aikaisemman nipputyypin tunnus kirjataan raporttiin nippukohtaisten tietojen sijaan. Raportti muodostuu esikatseluikkunaan pdf-muodossa sivulle, josta se voidaan tallentaa omalle koneelle allekirjoitettavaksi sähköisesti ja lähetettäväksi dokumentinhallintajärjestelmän kautta halutuille tahoille.

### 6.1.2 Iteraatio 1 arviointi

Arviointi tehtiin ohjelmaan suorittavan palvelimen selaimen kautta ottamalla palvelimeen etäyhteys. Kaikkia arviointiin osallistuneita ohjeistettiin käyttämään tarvitsemansa aika ohjelman toimintoihin tutustumiseen ja testaamiseen sekä arviointilomakkeessa esitettyihin kysymyksiin vastaamiseen. Arviointilomake tuli täyttää joko testauksen lomassa tai heti sen jälkeen, jotta testauksessa heränneet huomiot olisivat vielä mahdollisimman hyvin muistissa.

Arviointiryhmässä oli viisi loppukäyttäjää. He kaikki olivat loppusijoitusprosessin ja ydinmateriaalivalvonnan asiantuntijoita, jotta arvio ohjelman tuottamasta hyödystä loppusijoituksen ydinmateriaalivalvonnalle tuottamasta hyödystä olisi mahdollisimman tarkka. Loppukäyttäjät olivat osallistuneet suunnittelu- ja määrittelyosuuksiin eri panoksilla. Toiset olivat olleet määrittelyssä tiiviisti mukana, toiset taas hyvin vähän. Kaikki arviointiryhmästä olivat kuitenkin ensikertalaisia ohjelman käytössä ja heillä oli eritasoista teknistä osaamista.

Arvioinnin tuloksissa kehityskohdiksi esiin nousivat toiminnoista varsinkin hakutoiminto, raportointi sekä toimintojen riittävyys. Myös hyväksymistoiminnossa oli hieman viilattavaa. Itse käytettävyyden osa-alueista taas eniten parannettavaa oli arvioinnin mukaan miellyttävyydessä, helppokäyttöisyydessä, käytön selkeydessä sekä käytön ennako-oletusten vastaavuudessa sovelluksen toimintaan.

Hakutoimintoon toivottiin toiminnallisuutena lisää suodatusvaihtoehtoja ja esille nousivat etenkin nippujen haku loppusijoitustunnelilla, kapselilla tai siirtosäiliöllä sekä mittauksia säädettävällä aikavälillä. Edistyneille käyttäjille ehdotettiin jopa erillistä tarkennettua hakua omavalintaisilla hakukriteereillä Nielsenin ”käytön joustavuus ja tehokkuus”-heuristiikan mukaan. Selvyyden parantamiseksi taas toivottiin voimassa olevien hakuheitojen jäämistä esille hakukentässä, joka tukisi tilan näkymisen käytettävyyshauristiikkaa. Hakujen tietojen listaamiseen ehdotettiin jopa taulukkorakennetta, mutta yhdenkin nipun tiedon määrä tekisi rakenteen hankalaksi toteuttaa. Myös hakusyötteiden käyttö automaattisesti ilman erillistä painiketta tukee Nielsenin ”Yhteneväisyys ja standardit”-heuristiikkaa, sillä suurin osa käytössä olevien ohjelmien hakutoiminnoista toimivat niin.

Raportointiin toivottiin käytön tehostamista, sekä selkeämpää erottelua jo raportoitujen nippujen kanssa raportoinnin virheiden estämiseksi. Tehokkuutta voitaisiin parantaa esimerkiksi valitsemalla oletuksena nipun uusin mittaus raportoitavaksi, kun kyseinen nippu valitaan. Myös kaikkien raportoitamattomien nippujen valinta raporttiin yhdestä ”valitse kaikki”-napista nostaisi tehokkuutta. Raportoimattomien ja jo raportoitujen nippujen jaon selkeyttämiseksi ne taas voitaisiin siirtää erillisiin listauksiinsa. Raportoimattomat näkyisivät prosessin mukaan oletuksena, mutta raportoitujen listaukseen pääsisi tarvittaessa sen valitsemalla ja tämä tukisi ”järjestelmä vastaa todellisuutta”- sekä ”esteettinen ja minimaalinen suunnittelu”-käytettävyyshauristiikkoja. Myös raportin valmistuessa toivottiin ilmoitusta toiminnon onnistumisesta tilan näkymisen heuristiikan mukaan.

Hyväksyntätoimintoon toivottiin mahdollisuutta hyväksynnän nollaamiseen takaisin neutraaliin tilaan hyväksytyn ja hylätyn lisäksi. Tämä tukisi ”käyttäjän kontrolli ja vapaus”-heuristiikkaa ja lieventäisi hyväksyntävirheiden vakavuutta sekä edesauttaisi niistä toipumista. Hyväksynnän selventämiseen toivottiin värikoodauksen lisäksi myös sanallista tiedotusta nipun tai mittauksen automaattitarkastuksesta, joka tukee myös tilan näkyvyyden käytettä-



vyysheuristiikkaa. Ilmoitus kertoisi järjestelmän oletuksen verifiointin tuloksesta sekä mitkä kohdat aiheuttavat mahdollisia epäkohtia.

Myös erillisiä pieniä selkeyttä, käyttöä tehostavia ja ”tunnistaminen muistamisen sijaan”- sekä ”esteettinen ja minimaalinen suunnittelu”-heuristiikkoja tukevia viilauksia tuotiin esiin. Aktiivisen, yleensä viimeisimmän, pöytäkirjan korostaminen auttaisi määräävän päätöksen tunnistamisessa. Reaktorisyklin energiahistorioiden esittäminen myös visuaalisesti teho-päivä-graafilla tehostaisi informaation välitystä käyttäjille. Vain uusimman isotooppikonsentraatiolaskun näyttäminen, sekä aikaisempien piilottaminen, oletuksena nipun tiedot-näkymän historiat kohdassa auttaisi tilankäyttöä lyhentämällä pitkien isotooppilistausten viemää tilaa. Vanhempia isotooppikonsentraatiolaskuja kun ei yleensä verifiointiin tarvita, mutta erikoistapauksissa halutaan kyky tarkastella niitä.

Arvioinnissa löytyi myös muutama logiikkavirhe. Päällekkäiset hakutilat, kuten loppusijoitettu-tila, tulisi näkyä myös kapseloidut-tilaa haettaessa, sillä kuten todellisuudessaakin, ne ovat kapselissa loppusijoituksen aikana sekä sen jälkeen. Sama toistuu mitatut-tilassa, jossa tulisi näkyä myös kapseloidut sekä loppusijoitetut mitatut niput. Käsitteiden yhtenäistäminen ja selkeytys pitää myös suorittaa osalle käyttöliittymän käsitteistä kuten pöytäkirjat ja raportit, hyväksyntä ja verifiointi sekä pidikkeet ja niput. Nämä muutokset tukisivat Nielsenin ”yhteneväisyys ja standardit”-heuristiikkaa.

Parhaat arviot tulivat hyödyllisyydestä, sillä artefakti todettiin kokonaisvaltaisen hyödylliseksi täysin pistein. Myös toimintojen tehostus, käytön aloituksen helppous sekä vastaavuus prosessin kanssa saivat korkeita pisteitä. Toiminnoista parhaat pisteet sai tietojen esitys, sillä halutut tiedot olivat pääosin selkeästi odotetuissa paikoissa.

## **6.2 Iteraatio 2**

Iteraatio 2 alkoi miltei heti ensimmäisen iteraation arviointikierroksen loputtua. Aikaisemman iteraation arvioinneissa toivotut muutokset toimivat tämän iteraation toteutusvaiheen tavoitteina. Muutoksia artefaktin rakenteeseen ei tehty.

### 6.2.1 Iteraatio 2 toteutus

Aikaisemman iteraation arviointikierron palautteesta kerättiin ja implementoitiin toivotut muutokset. Työmäärän vuoksi rajattiin muutoksista ulos muihin järjestelmiin yhteyksien muodostusta edellyttävät kehitysehdotukset. Myös tutkimusongelman eli itse loppusijoitettavan ydinaineen verifiointin ulkopuoliset muutokset rajattiin ulos. Muutoksia tehtiin tiedon esitykseen, ilmoituksiin ja muuttujien nimeämiseen, raportointiin, hyväksymiseen sekä hakutoimintoihin.

Alkusivuille lisättiin mittauslinkkeihin värit auttamaan tehokkaampaa linkkien erottamista; noin viikon sisällä tehdyt uudet mittaukset ovat sinisiä, tarkastusta odottavat mittaukset keltaisia, hylätyt mittaukset punaisia ja hyväksytyt mittaukset vihreitä. Historiatiedot rajattiin omiksi kohdiksi helpottamaan eri käyttöhistoria kohtien erottelua sekä näytettävän tiedon hallintaa. Reaktorihistorian tehoarvoista muodostettiin myös graafi helpottamaan niiden ja varsinkin niiden erojen tarkastelua. Tehdyistä raporteista korostettiin aktiivinen raportti, vanhemmat raportit taas näytetään harmaana.

Ilmoituksia parannettiin kertomaan virheiden lisäksi myös onnistuneesta raportoinnista kuten kuviossa 12. Automaattisiin tarkistuksiin lisättiin värikoodauksen lisäksi myös sanalliset ilmoitukset siitä, onko mittaus alustavasti hyväksyttävä vai ei. Ilmoituksessa myös kerrotaan, missä mittauksessa, tai sen arvossa mahdollinen epäkohta ilmenee. Attribuuttien ja datatyypien nimiä selvennettiin, kuten historiatietojen operaatio aika-yleistyksen tilalle vaihdettiin mikä tapahtuma alkaa tai loppuu. Myös osittain päällekkäisiä termejä standardisoitiin yhteen termiin, kuten pidikkeet nippuihin ja pöytäkirjat raporteihin.

Raportointi-näkymässä jaettiin raportoitavat niput ja niiden mittaukset raportoimattomien ja raportoitujen listauksiin. Oletuksena näytetään raportoimattomat tiedot. Tämä selkeyttää näkymän kohteiden tiloja prosessissa erottelemalla raportoidut ja raportoimattomat tiedot selkeämmin toisistaan. Näin pienentäen myös epähuomiossa tapahtuvan kaksinkertaisen verifiointin riskiä. Raportoimattomien-listauksessa voidaan myös valita kaikki kohdat, mikä tehostaa kokonaisen loppusijoitettavan erän raportoimista yhdellä kertaa. Raportin esinäytössä ”lataa”- ja ”takaisin”-painikkeiden selitenimike muutettiin ”lataa ja tallenna”-, sekä ”hylkää raportti”-nimikkeiksi. Jos raportti ladataan, muuttuu hylkäyspainike ”takaisin”-napiksi

## Reports page

Report for 26081 was successfully added.

unreported  
reported

Choose the items you want to report

Comments

Select All

Report

© 2023 STUK Admin: YMA/Riikka Sillanpää

Kuvio 12. Raportointinäkömä iteraatiossa 2 onnistuneen raportin jälkeen.

ohjaamaan käyttäjää poistumaan sen avulla.

Hyväksynnässä lisättiin mahdollisuus muuttaa validoinnin tila takaisin neutraaliksi. Tästäkin muodostetaan raportti, jotta kaikista päätöksistä ja niiden perusteluista jäisi merkintä. Jo raportoitujen ja hyväksytyjen mittausten hyväksyntä-toiminto deaktivoidaan ja ne voidaan ottaa takaisin käyttöön ”muuta johtopäätöstä”-valintaruudusta. Tämä estää tahatonta uudeen raportointia sekä selkeyttää nipun ja sen mittauksen tilaa prosessissa.

Hakutoiminnoista poistettiin ”hae”-painike ja haku tehdään nyt automaattisesti jokaisen hakukentän syötteen jälkeen. Käytetyt hakutermit myös esitetään, jotta niitä olisi helpompi muistaa ja hallita. Niitä voidaan myös poistaa, jolloin hakukriteeri poistuu käytöstä. Mittaukset näkymän haku tapahtuma-ajankohdalla muutettiin hakuun aikavälimääreillä. Aikavälin lopetusajankohta-kenttä ilmestyy, kun aikavälin aloitusajankohta on syötetty. Oletuksena lopetusajankohdan arvo on sen hetkinen päivämäärä. Niput-näkymän hakuihin lisättiin lisähakukenttä valikko, josta valittuun hakukriteeriin voi syöttää halutun arvon, kuten kuvios- ta 13 näkee. Valittavia hakukriteereitä ovat nipun nipputyyppe, sen erä, nippujen loppusijoi- tuspaikan tunnelin tunniste, nipun loppusijoituskapselin tunniste ja nipun siirtoon käytetyn siirtosäiliön tunniste. Haut pinoavat, joten mitä enemmän hakutermejä annetaan, sitä sup- peammaksi hakua vastaava kohdejoukko käy. Muutetut haut näkyvät kuvista 13 ja 14.

Assembly id	Status	Assemblytype	U-Weight	Enrichment
20420	KYS	SVEA-76 OPTIMA	170512 g	3.215 %
20201	disposed	SVEA-96 OPTIMA	169163 g	3.446 %
21427	KYS	SVEA-54	170512 g	3.017 %
21371	KPA	SVEA-64	170091 g	3.003 %

Kuvio 13. Haku niput-näkymässä iteraatioissa 2.

Kuvio 14. Haku mittaukset-näkymässä iteraatioissa 2.

## 6.2.2 Iteraatio 2 arviointi

Toisen iteraation arviointi tehtiin samoissa olosuhteissa kuin ensimmäisen iteraation ja keskimäärin noin 6 viikkoa ensimmäisten iteraatioiden jälkeen. Arvioijina käytettiin myös samaa loppukäyttäjäjoukkoa. Standardisoimalla arviointitilannetta ja ryhmää pyrittiin iteraatioiden välisten arviointitulosten eroista poistamaan muut aiheuttajat kuin ohjelmistoon tehdyt muutokset. Arviointitapahtumista ei kuitenkaan saatu poistettua palvelimen kautta käytöstä johdettavaa ajoittain häiritsevää viivettä.

Kokonaisuudessaan tulokset nousivat yhteensä 88%:n kokonaismaksimista. Yksittäiset arviotulokset ovat 51 ja 68 välillä 70:n pisteen maksimista. Parhaat arviot saivat hyödyllisyys, toiminnan tehostaminen ja käytön aloituksen helppous täysillä pisteitä. Toiminnoista korkeimman arvostelutuloksen sai tietojen esitys. Eniten kehitettävää löytyi taas helppokäyttöisyydestä ja miellyttävyydestä sekä raportointia ja hakua koskevista toiminnoista, joissa käyttäjillä oli eriäviä käyttöpreferenssejä.

Raportointiin toivottiin integraatiota dokumentinhallintajärjestelmään sekä mahdollisuuksia tehdä raportteja muihinkin tarkoituksiin kuten vuosiraportointiin. Nämä toiveet kuitenkin menevät tutkimuksen rajauksen ulkopuolelle. Mietittiin myös raportin tämänhetkisten tietojen riittävyttä, muttei ilmoitettu varsinaisia puutteita. Lisäksi palvelimen viive raportin latauksessa varmasti vaikutti tulokseen, vaikkei siitä arviointilomakkeen kommentteissa erikseen mainittu.

Hakutoiminnossa ilmeni pieniä kehityskohteita. Toivottiin ”lisää hakukenttä”-valikon kautta muodostettujen hakukenttien nimeämistä omilla nimikkeillään muutenkin kuin valikon valinnan avulla ”tilan näkyvyys”-käytettävyyshauristiikan mukaan. Myös tiettyjen lisätie-

tojen, kuten kokonaisuraanimassan ja ydinaineiden kokonaismäärän, esittämistä hakujoukkoa kohden toivottiin. Kapseloidut-statusella haettaessa ilmeni myös virhe, jossa esiin jäävä hakutermin näkyminen loppusijoitettuna kapseloidut-tilan sijaan. Lisäksi arvioijilla oli eriäviä mielipiteitä siitä, pitäisikö hakuja tehdä tarkemmalla ”jokerimerkki”- vai vapaammalla ”sisältää syötteen”-tyylillä. Riippumattomuus "case-sensitiivisyydestä" todettiin kuitenkin suotavaksi. Haulle toivottiin myös tallennusmahdollisuutta ”käytön joustavuus ja tehokkuus”-käytettävyyshuone-ristiikan mukaan.

Käytettävyyden osa-alueista miellyttävyyden ja helppokäyttöisyyden huonoihin tuloksiin taas vaikuttivat kommenttien mukaan eniten palvelinongelmat. Ne ovat kuitenkin käsiteltävä tietohallinnon puolelta, eivätkä siis tutkimuksessa ole korjattavissa. Miellyttävyyden parantamiseksi toivottiin myös etusivulle lisää visuaalisia komponentteja.

## 7 Tulokset ja niiden arviointi

Luvussa käydään läpi tutkimuksessa saatuja tuloksia ja mitä ne tarkoittavat. Alaluvussa 7.1 mietitään ensin, miten tutkimuksen tulokset lopulta vastaavat esitettyihin tutkimuskysymyksiin, jonka jälkeen tuloksia pohditaan syvemmin alaluvussa 7.2. Lopuksi alaluvussa 7.3 mietitään vielä tutkimuksen rajoitteita, niiden vaikutuksia ja millaista tulevaisuuden tutkimusta aiheen pohjalta voi tehdä.

Tuloksina toimivat kehitetty artefakti ja sen arvioinnit. Likertin asteikon numeeriset vastaukset saatiin helposti muutettua kokonaistuloksiksi eri kategorioita kohden ja vertailtua toisensa kanssa. Kommenttikentistä taas saatiin yksityiskohtaisempaa tietoa arvostelijan mieltä sekä mahdollisista puutteista, onnistumisista ja kehitysehdotuksista. Tulosten käsittelyssä kommenttien sisältöön kiinnitettiin enemmän huomiota kuin niiden kohtaan arviointilomakkeessa, sillä vastauksen sisältö saattoi olla relevantti muihinkin kysymyksiin.

### 7.1 Tutkimuskysymykseen vastaaminen

Artefaktin arviointikriteerien mukaan jaoteltuina artefakti sai numeerisiksi tuloksikseen toimivuudesta 94%, hyödyllisyydestä 100%, ymmärrettävyydestä 88.7%, helppokäyttöisyydestä 89.3%, toiminnan täydellisyydestä 84.4% ja homomorfismista 88% täysistä pisteistä. Nämä ovat riittävän hyviä tuloksia, jotta artefakti voidaan todeta sopivan tarkoitukseensa. Suurin osan viimeisen iteraation arvioinneissa ehdotetuista muutoksista ovat ”nice to have” toiminnallisuuksia tai lisäyksiä, mutta ne eivät ole artefaktin käytölle välttämättömiä. Esiin tuli myös toiveita muutoksista, jotka laajentaisivat artefaktin toimintaa alkuperäisen ongelman rajauksen ulkopuolelle. Niitä ei tässä tutkimuksessa toteuteta.

Käytettävyyden puolesta toisen iteraation arviointitulokset taas ylsi 91.3%:iin maksimituloksesta. Suurimpia kehityskohteita käytettävyydelle olivat arvioinnin kommenttien mukaan palvelimen kautta suoritettujen testauksien aiheuttama käyttöhidaste. Tämä ei kuitenkaan johdu artefaktista vaan testausympäristön rajoitteista. Täten voidaan sanoa artefaktin vastaavan näiltäkin osin tutkimuskysymykseen.

Opittavuutta arvioitiin ja mitattiin arviointilomakkeen kohdilla 4 käytön aloituksen helpous, 5 helppokäyttöisyys ja 7 käyttöoletuksien mukaisuus, kuten toiminnan intuitiivisuus sekä standardien mukaisuus. Artefaktin opittavuutta tuettiin yleisiä käytettävyyssperiaatteita ja ohjelmistostandardeja seuraamalla ohjelmistoa suunnitellessa ja toteuttaessa. Tutkimuksen numeeristen tulosten ja kommenttien mukaan muutokset varsinkin haku- ja raportointitoimintoihin nostivat kategorian tuloksia. Myös käyttöliittymän selkeä ja looginen rakenne, ohje-näkymän käyttöohjeet ja muiden, käytössä olevien ohjelmien mukailu tukivat opittavuutta. Toisen iteraation arviointikohdan kommenttien mukaan myös aikaisemman iteraation käyttökokemus nosti huomattavasti opittavuuden tulosta. Testauspalvelimen aiheuttama hitaus taas ilmoitettiin helppokäyttöisyyttä ja näin myös opittavuutta eniten haittaavimmaksi seikaksi.

Informaation esittämistä mitattiin arviointilomakkeen kohdilla 8 tiedon esitys selkeästi. Sitä edistivät tutkimuksen numeeristen tulosten ja kommenttien mukaan erityisesti tiedon visualisointi ja värikoodaus. Tiedon esitys graafisena, kuvat, automaattitarkastuksen tuloksia indikoivat ja etusivun linkkejä erottelevat värit mainittiin arviointikommenteissa positiivisiksi tekijöiksi. Myös tiedon rajaukset omiin laskostuksella hallittaviin kokonaisuuksiinsa todettiin tukevan selkeää tiedon esitystä.

Kokonaisuudessa tulosten mukaan muodostettu artefakti vastaa nykyiseen tarpeeseen riittävän hyvin ja on käytettävä. Opittavuuteen ja informaation esittämiseen vaikuttavia tekijöitä saatiin myös identifioitua arviointilomakkeiden kommentteista. Täten myös vastataan tutkimuskysymyksiin.

## **7.2 Pohdinta**

Tutkimus lähti tarpeesta loppusijoituksen ydinmateriaalivalvonnan verifioinnin automatisoinnille, siihen tarvittavien tietojen tunnistamisesta ja keräämisestä yhteen paikkaan. Polttoainepun loppusijoitustiedot, kuten paikka ja kapseli, haluttiin myös säilyttää. Jotta sovellusta toisaalta voitaisiin käyttää laadukkaasti, haluttiin siitä tehdä käytettävä. Täten ensin selvitettiin prosessin tarpeita ja käytettävyyttä esimerkiksi kirjallisuuskatsauksen, loppukäyttäjien haastattelujen ja sisäisen dokumentaation avulla. Selvityksen perusteella saatiin suunnitelma

artefaktista sekä sen datarakenteesta, joka implementoitiin sovelluksen prototyyppiä. Toteutuksen kehitysiteraatioita arvioitiin loppukäyttäjien toimesta arviointilomakkeella antamaan artefaktin kehitykselle suuntaa ja validoimaan sen riittävyttä.

Suunnittelutiede soveltui tutkimukselle mainiosti, sillä se tuki niin konkreettisen artefaktin tuottamista kuin käytettävyyden ISO-9241-210-standardissa suositeltua iteratiivista kehitysprosessia. Peffers ym. (2007) mallin mukaan toteutetussa tutkimuksessa ongelma esitellään ja perustellaan johdannossa luvussa 1, ydinmateriaalivalvonnan luvussa 2 sekä 3 luvussa käytettävyys. Tutkimusasetelman luvussa 4 taas esitellään niin ratkaisun tavoitteet, kun suunnittelu. Kehitystä taas esitellään luvussa Toteutusprosessi luku 5 ja Iteraatiot luku 6. Myös toiminnan esittely ja arviointi tapahtuvat luvussa 6. Tutkimuksesta ja sen tuloksista pyritään kommunikoidaan sekä koko tutkimuksessa että erityisesti luvussa 7 ja 8. Koska sovellukselle ei ollut aikaisempaa referenssiä, arvioinnit auttoivat antamaan kehitykselle suuntaa. Myös tutkimuksen rajoitus kahteen iteraatioon ja arvioinnin hoitaminen lomakkeen avulla rajoittivat työmäärää kohtuulliseksi.

Tutkimuksen suurimmat haasteet liittyivät aikatauluun, sillä sen perusteella jouduttiin tekemään suurin osa tutkimukseen vaikuttavista kompromisseista. Esimerkiksi testaustietoa jouduttiin kesken tutkimuksen alkaa generoimaan, kun toiminnanharjoittaja ei toimittanut luvattua datapakettia ajallaan. Myös testaaminen jouduttiin tekemään palvelimen kautta työasemilta testaamisen sijaan, koska tietohallinto ei saanut tarvittavia yhteyksiä avattua järkevissä ajassa. Myös arviointiin osallistuvien loppukäyttäjien kiireiset kalenterit osaltaan pakottivat arvioinnit tehtäviksi tietyille aikaväleille.

Tutkimuksessa selvitettiin, että artefaktin tietokannan tietokaavio toimii loppusijoituksen ydinmateriaalivalvonnan verifioinnin tarpeisiin ja loppusijoitustiedon tallentamiseen. Myös yksinkertainen käyttösovellus, jossa voidaan tarkastella nippujen sekä niiden mittauksen tietoja, hyväksyä nippuja loppusijoitettavaksi mittauksen pohjalta ja muodostaa raportti, vastasi tutkimusongelman tarpeeseen. Toiminnan tehostamiseen todettiin mittauksen automaattitarkastusten ja raportoitavien tietojen massahyväksynnän olevan tarpeellisia toimintoja. Opiteavuus todettiin artefaktista myös hyväksi ja siihen vaikuttivat arviointien kommenttien mukaan eniten käyttöliittymän selkeä ja looginen rakenne, sovelluksesta löytyvät ohjeistukset, sovelluksen toimiminen edelliseltä käyttökerralta tutulla tavalla, sekä muita käytössä ole-



via sovelluksia mukailleen. Informaation esittämistä artefaktissa taas edistivät kommenttien mukaan erityisesti tiedon visualisointi ja tilojen esittäminen väreillä.

Tieteellinen kontribuutio ei tutkimuksella välttämättä ole kovin suuri. Tutkimuksen tulokset ovat hyvin kohde ja tutkimusympäristö spesifejä, eivätkä ne siis ole juuri yleistettävissä. Tutkimus kuitenkin kokoaa aiheen kirjallisuutta ja tarjoaa tulevaisuuden tutkimukselle ensimmäisen referenssin, johon verrata. Tutkimus on siis siihen nähden tieteellisesti arvokas.

### **7.3 Rajoitteet ja tulevaisuuden tutkimus**

Tutkimuksen rajoitteita olivat päämääräisesti käsittely-ympäristön ja arvostelujärjestelyiden rajoitteet. Tutkimuksen aikarajoitteet osaltaan johtivat niistä testattavan datasetin ja palvelimen kautta testaamisen puutteisiin, sillä kolmansien osapuolien toiminnassa kesti tutkimukselle liian kauan. Myös iteraatioiden rajaus kahteen rajoitti tutkimuksen laajuutta.

Tutkimuksen käsittely-ympäristön rajoitteina olivat aiheen spesifisyys sekä lähteiden ja artefaktin toteutuksen salassa pidettävän tiedon tuomat rajoitteet. Aiheen spesifisyyden takia kirjallinen aineisto oli suomen loppusijoituksen ydinmateriaalivalvonnan saralta hieman yksipuoleista. Lähteet olivat suurilta osin pienen joukon kirjoittamia, joten samat nimet esiintyvät lähteissä usein. Tämä ei suoraan edistä kirjallisuuden monipuolista vuoropuhelua, sillä mielipiteet ja lähestymistavat eivät välttämättä eroa toisistaan. Tutkimuksessa käytetty salattu tieto taas rajoitti artefaktin käsittelyn tarkkuutta.

Arvostelujärjestelyissä rajoitteita olivat aikaisemmin mainitut testidatan puutteet ja palvelimen kautta tehdyn testauksen hitaus sekä arviointijoukon koko ja arviointilomakkeen käytön tuomat rajoitukset. Testidataa oli hyvin rajallinen määrä, sillä se oli parsittu hieman työläästi rajallisesta todellisesta ja satunnaistuotetusta datasta. Alun perin tietojen olisi pitänyt tulla toiminnanharjoittajalta, mutta datapaketin viivästymisen takia jouduttiin siirtymään käytettyyn testidataan. Palvelimen kautta testauksen viive taas vaikutti molempien, mutta varsinkin toisen iteraation, arviointituloksiin negatiivisesti ja rajoitti käytettävyyttä. Lisäksi arviointijoukko ja täten mahdollisten eri näkemysten määrä oli rajallinen viidellä arvioijalla. Arviointilomake arviointitapana taas toi omat rajoitteensa, kuten mahdolliset puutteet kysymysten ja vastausten ymmärtämiselkeydessä (Preece, Sharp ja Rogers 2015).

Tulevaisuudessa tutkimusta voitaisiin aiheen osalta tehdä eri maiden loppusijoitussuunnitelmien ydinmateriaalivalvonnan, toiminnanharjoittajien tai IAEA:n ja EC:n kannalta. Aiheesta tutkimusta on tehty verrattaen vähän ja esimerkiksi valvontaviranomaisten ja toiminnanharjoittajien mielipiteitä yhdistävä haastattelututkimus olisi mielenkiintoinen tulevaisuuden tutkimusaihe.

Tuotetun ohjelmiston osalta taas lisätutkimusta voitaisiin tehdä keskittyen johonkin ulos rajatuista aiheista kuten tietoturvaan. Myös pidemmän aikavälin tutkimusta tyytyväisyydestä sekä loppusijoituksen alettua muuttuvista käyttö- ja toimintatoiveista voitaisiin tehdä. Lisäksi tutkimusta muutoksista loppusijoitusprosessin vaatimuksissa, verrattuna tutkimuksessa esitettyyn tietoon, voitaisiin tulevaisuudessa tehdä. Jo nyt artefaktia jatkokehitetään tutkimuksen ulkopuolella uusien ja muuttuneiden vaatimusten takia.

## 8 Yhteenveto

Suomen alkava ydinpolttoineen loppusijoitus herätti uusia tarpeita ydinmateriaalivalvonnan saralle. Tutkimuksessa kehitettiin onnistuneesti suunnittelutieteen avulla prototyypisovel- lus automatisoimaan loppusijoituksen ydinmateriaalivalvonnan verifiointia eli loppusijoitet- tavien polttoainien deklaraatioiden tarkastusta ja tallentamaan sen tietoja. Artefaktin suunnittelussa ja arvioinnissa huomioitiin erityisesti myös käytettävyyttä; sen konsepteja ja käytännön implementointia sovellukseen. Kehitys tehtiin suunnittelutieteen mukaan iteratii- visesti, jokaista iteraatiota erikseen arvioiden.

Tutkimus tehtiin yhdessä STUK:n kanssa heidän tarpeisiinsa ja siinä tuotettu artefakti todet- tiin käyttötarkoitukseensa riittävän toimivaksi ja käytettäväksi. Kehitystä jatketaan aktiivi- sesti vielä tutkimuksen jälkeen, esimerkiksi kytkennöillä muihin järjestelmiin, lisävaatimus- ten implementoinnilla ja käytön laajentamisella. Myös keskustelut tiedonsiirrosta ja formaai- teista sidosryhmien kanssa jatkuvat ja ne vaikuttavat artefaktin jatkokehitykseen.

## Lähteet

- Abran, Alain, Adel Khelifi, Witold Suryn ja Ahmed Seffah. 2003. "Usability meanings and interpretations in ISO standards". *Software quality journal* 11:325–338. <https://doi.org/10.1023/A:1025869312943>.
- Agency, International Atomic Energy. 1970. *TREATY ON THE NON-PROLIFERATION OF NUCLEAR WEAPONS*. Viitattu 20. maaliskuuta 2023. <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1970/infcirc140.pdf>.
- . 1973. *INFCIRC/193*. Viitattu 20. maaliskuuta 2023. <https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc193.pdf>.
- . 2005. *INFCIRC/193/Add.8*. Viitattu 20. maaliskuuta 2023. <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1973/infcirc193a8.pdf>.
- Bevan, Nigel. 1995. "Measuring usability as quality of use". *Software Quality Journal* 4:115–130. <https://doi.org/10.1007/BF00402715>.
- Bevan, Nigel, ja Miles Macleod. 1994. "Usability measurement in context". *Behaviour & Information Technology* 13 (1-2): 132–145. <https://doi.org/10.1080/01449299408914592>. eprint: <https://doi.org/10.1080/01449299408914592>. <https://doi.org/10.1080/01449299408914592>.
- Blank, Steve. 2018. *Why the lean start-up changes everything*. Viitattu 8. maaliskuuta 2023. <https://hbr.org/2013/05/why-the-lean-start-up-changes-everything>.
- Chung, Lawrence, Brian A Nixon, Eric Yu ja John Mylopoulos. 2012. *Non-functional requirements in software engineering*. Nide 5. Springer Science & Business Media.
- Doyle, James. 2011. *Nuclear safeguards, security and nonproliferation: achieving security with technology and policy*. Elsevier.
- Dumas, Joseph S, Joseph S Dumas ja Janice Redish. 1999. *A practical guide to usability testing*. Intellect books.

- Faulkner, Laura. 2003. "Beyond the five-user assumption: Benefits of increased sample sizes in usability testing". *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 35:379–383. <https://doi.org/10.3758/BF03195514>.
- Grudin, Jonathan. 1992. "Utility and usability: research issues and development contexts". *Interacting with Computers* 4, numero 2 (elokuu): 209–217. ISSN: 0953-5438. [https://doi.org/10.1016/0953-5438\(92\)90005-Z](https://doi.org/10.1016/0953-5438(92)90005-Z). eprint: <https://academic.oup.com/iwc/article-pdf/4/2/209/2054418/iwc4-0209.pdf>. [https://doi.org/10.1016/0953-5438\(92\)90005-Z](https://doi.org/10.1016/0953-5438(92)90005-Z).
- Hevner, Alan, ja Samir Chatterjee. 2010. "Design Science Research in Information Systems". Teoksessa *Design Research in Information Systems: Theory and Practice*, 9–22. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5653-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5653-8_2).
- Hevner, Alan R. 2007. "A three cycle view of design science research". *Scandinavian journal of information systems* 19 (2): 4. Viitattu 10. maaliskuuta 2023. <https://aisel.aisnet.org/sjis/vol19/iss2/4>.
- Hevner, Alan R., Salvatore T. March, Jinsoo Park ja Sudha Ram. 2004. "Design science in information systems research". *MIS Quarterly: Management Information Systems* 28 (1): 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>.
- Honkamaa, Tapani, Marko Hämäläinen, Elina Martikka, Mikael Moring, Olli Okko ja Topi Tupasela. 2019. *National Safeguards Concept for Encapsulation Plant and Geological Repository*, 235–239. Publications Office. <https://doi.org/10.2760/159550>.
- Hooper, Richard. 2003. "SAFEGUARDS". *IAEA BULLETIN* 45 (1): 8.
- Iivari, Juhani. 2007. "A paradigmatic analysis of information systems as a design science". *Scandinavian journal of information systems* 19 (2): 5. Viitattu 10. maaliskuuta 2023. <https://aisel.aisnet.org/sjis/vol19/iss2/5>.
- ISO. 1998. *Ergonomics of human-system interaction— Part 11: Usability: Definitions and concepts*. Standard. Geneva, CH: International Organization for Standardization.
- . 2018. *Ergonomics of human-system interaction— Part 11: Usability: Definitions and concepts*. Standard. Geneva, CH: International Organization for Standardization.

ISO. 2019. *Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems*. Standard. Geneva, CH: International Organization for Standardization.

Jokela, Timo, Netta Iivari, Juha Matero ja Minna Karukka. 2003. “The Standard of User-Centered Design and the Standard Definition of Usability: Analyzing ISO 13407 against ISO 9241-11”. Teoksessa *Proceedings of the Latin American Conference on Human-Computer Interaction*, 53–60. CLIHC '03. Rio de Janeiro, Brazil: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450343244. <https://doi.org/10.1145/944519.944525>. <https://doi.org/10.1145/944519.944525>.

Joshi, Ankur, Saket Kale, Satish Chandel ja D Kumar Pal. 2015. “Likert scale: Explored and explained”. *British journal of applied science & technology* 7 (4): 396. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>.

Litmanen, Tapio, Mika Kari, Matti Kojo ja Barry D. Solomon. 2017. “Is there a Nordic model of final disposal of spent nuclear fuel? Governance insights from Finland and Sweden”. *Energy Research & Social Science* 25:19–30. ISSN: 2214-6296. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.10.009>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629616302511>.

Maguire, Martin. 2001. “Methods to support human-centred design”. *International journal of human-computer studies* 55 (4): 587–634. ISSN: 1071-5819. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/ijhc.2001.0503>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581901905038>.

March, Salvatore T., ja Gerald F. Smith. 1995. “Design and natural science research on information technology”. *Decision Support Systems* 15 (4): 251–266. ISSN: 0167-9236. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167923694000412>.

Martikka, Elina, Tapani Hack, Marko Hämäläinen, Tapani Honkamaa, Paula Karhu, Mikael Moring, Olli Okko ja Kari Peräjärvi. 2018. “Technical Synergies Between Safeguards and Security”. Teoksessa *International Cooperation for Enhancing Nuclear Safety, Security, Safeguards and Non-proliferation—60 Years of IAEA and EURATOM*, 69–77. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-57366-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-662-57366-2_11).

- Molich, Rolf, ja Jakob Nielsen. 1990. "Improving a Human-Computer Dialogue". (New York, NY, USA) 33, numero 3 (maaliskuu): 338–348. ISSN: 0001-0782. <https://doi.org/10.1145/77481.77486>. <https://doi.org/10.1145/77481.77486>.
- Nielsen, J., ja R. Molich. 1989. "Teaching User Interface Design Based on Usability Engineering". *SIGCHI Bull.* (New York, NY, USA) 21, numero 1 (elokuu): 45–48. ISSN: 0736-6906. <https://doi.org/10.1145/67880.67885>. <https://doi.org/10.1145/67880.67885>.
- Nielsen, Jakob. 1994a. "Enhancing the explanatory power of usability heuristics". Teoksessa *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, 152–158. <https://doi.org/10.1145/191666.191729>.
- . 1994b. *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- . 2000. "Why you only need to test with 5 users". Viitattu 1. maaliskuuta 2023. <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>.
- . 2005. *Ten usability heuristics*. Viitattu 4. huhtikuuta 2023. <https://pdfs.semanticscholar.org/5f03/b251093aee730ab9772db2e1a8a7eb8522cb.pdf>.
- Norman, Geoff. 2010. "Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics". *Advances in health sciences education* 15:625–632. <https://doi.org/10.1007/s10459-010-9222-y>.
- Peppers, Ken, Tuure Tuunanen, Marcus A Rothenberger ja Samir Chatterjee. 2007. "A design science research methodology for information systems research". *Journal of management information systems* 24 (3): 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>.
- Posiva. 2023a. "Encapsulation plant". Viitattu 22. helmikuuta 2023. <https://www.posiva.fi/en/index/finaldisposal/encapsulationplant.html>.
- . 2023b. "Posiva submits application for operating licence for encapsulation and final disposal facility of spent nuclear fuel". Viitattu 22. helmikuuta 2023. <https://www.posiva.fi/en/index/news/pressreleasesstockexchangereleases/2021/posivasubmitsapplicationforoperatinglicenceforencapsulationandfinaldisposalfacilityofspentnuclearfuel.html>.

- Prat, Nicolas, Isabelle Comyn-Wattiau ja Jacky Akoka. 2014. “Artifact evaluation in information systems design-science research—a holistic view”. Teoksessa *PACIS 2014 Proceedings*. 23. <http://aisel.aisnet.org/pacis2014/23>.
- Preece, Jennifer, Helen Sharp ja Yvonne Rogers. 2015. *Interaction design: beyond human-computer interaction*. John Wiley & Sons.
- Pries-Heje, Jan, Richard Baskerville ja John R Venable. 2008. “Strategies for design science research evaluation”. Teoksessa *ECIS 2008 Proceedings*. 87. <http://aisel.aisnet.org/ecis2008/87>.
- Reilly, D, N Ensslin, H Jr Smith ja S Kreiner. 1991. *Passive nondestructive assay of nuclear materials*. Tekninen raportti. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (United States). Office of Nuclear Regulatory Research; Los Alamos National Lab., NM (United States), maaliskuu. <https://www.osti.gov/biblio/5428834>.
- Ries, Eric. 2011. *The lean startup: How today’s entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. Currency.
- Rittel, Horst WJ, ja Melvin M Webber. 1973. “Dilemmas in a general theory of planning”. *Policy sciences* 4 (2): 155–169. <https://doi.org/10.1007/BF01405730>.
- Robertson, Suzanne, ja James Robertson. 2012. *Mastering the requirements process: Getting requirements right*. Addison-wesley.
- Shackel, Brian. 2009. “Usability—Context, framework, definition, design and evaluation”. *Interacting with computers* 21 (5-6): 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2009.04.007>.
- STUK. 2013. *YDINMATERIAALIVALVONTA*. 358.
- . 2023. “Organisaatio”. Viitattu 21. joulukuuta 2023. <https://stuk.fi/stukin-tehtavat>.
- Thomas, Vanessa, Christian Remy ja Oliver Bates. 2017. “The Limits of HCD: Reimagining the Anthropocentricity of ISO 9241-210”. Teoksessa *Proceedings of the 2017 Workshop on Computing Within Limits*, 85–92. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450349505. <https://doi.org/10.1145/3080556.3080561>.



Tobin, SJ, P Peura, C Bélanger-Champagne, M Moring, P Dendooven ja Tapani Honkamaa. 2018. “Utility of including passive neutron albedo reactivity in an integrated NDA system for encapsulation safeguards”. *ESARDA Bulletin* 56:12.

Tobin, SJ, P Peura, Tapani Honkamaa, P Dendooven, M Moring ja C Bélanger-Champagne. 2018. “Passive neutron albedo reactivity in the Finnish encapsulation context”, <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-309-406-2>.

Tupasela, Topi, Peter Dendooven, Stephen J. Tobin, Vladyslav Litichevskiy, Pirkitta Koponen, Asko Turunen, Mikael Moring ja Tapani Honkamaa. 2021. “Passive neutron albedo reactivity measurements of spent nuclear fuel”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 986:164707. ISSN: 0168-9002. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2020.164707>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900220311049>.

Venable, John. 2006. “A framework for design science research activities”. Teoksessa *Emerging Trends and Challenges in Information Technology Management: Proceedings of the 2006 Information Resource Management Association Conference*, 184–187. Idea Group Publishing. <http://hdl.handle.net/20.500.11937/24049>.

Venable, John, Jan Pries-Heje ja Richard Baskerville. 2012. “A comprehensive framework for evaluation in design science research”. Teoksessa *Design Science Research in Information Systems. Advances in Theory and Practice: 7th International Conference, DESRIST 2012, Las Vegas, NV, USA, May 14-15, 2012. Proceedings 7*, 423–438. Springer. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-29863-9\\_31](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-29863-9_31).

———. 2016. “FEDS: a framework for evaluation in design science research”. *European journal of information systems* 25:77–89. <https://doi.org/https://doi.org/10.1057/ejis.2014.36>.

Virta, Riina, Rasmus Backholm, Tatiana A Bubba, Tapio Helin, Mikael Moring, Samuli Siltanen, Peter Dendooven ja Tapani Honkamaa. 2020. “Fuel rod classification from Passive Gamma Emission Tomography (PGET) of spent nuclear fuel assemblies”. *arXiv preprint arXiv:2009.11617*.

# **Liitteet**

## **A Appendix A**

## Arviointilomake

Arvioitava apusovellus löytyy osoitteesta \_\_ . Lomake tulisi täyttää testikäytön yhteydessä tai heti sen jälkeen.

1. Sovellusta on miellyttävä käyttää.      1. Täysin eri mieltä      2. Jokseenkin eri mieltä      3. En tiedä      4. Jokseenkin samaa mieltä      5. Täysin samaa mieltä
- 

Miksi?

2. Sovellus on hyödyllinen.                      1. Täysin eri mieltä      2. Jokseenkin eri mieltä      3. En tiedä      4. Jokseenkin samaa mieltä      5. Täysin samaa mieltä
- 

Miksi?

3. Sovellus tehostaa työtehtäviä.              1. Täysin eri mieltä      2. Jokseenkin eri mieltä      3. En tiedä      4. Jokseenkin samaa mieltä      5. Täysin samaa mieltä
- 

Miksi?

4. Sovellusta on helppoa alkaa käyttää.      1. Täysin eri mieltä      2. Jokseenkin eri mieltä      3. En tiedä      4. Jokseenkin samaa mieltä      5. Täysin samaa mieltä
- 

Miksi?

5. Sovellus on helppokäyttöinen.

1. Täysin eri mieltä    2. Jokseenkin eri mieltä    3. En tiedä    4. Jokseenkin samaa mieltä    5. Täysin samaa mieltä

Miksi?

6. Sovelluksen käyttö on selkeää.

1. Täysin eri mieltä    2. Jokseenkin eri mieltä    3. En tiedä    4. Jokseenkin samaa mieltä    5. Täysin samaa mieltä

Miksi?

7. Sovelluksen toiminta vastaa oletuksia. Ei siis epäjohdonmukaisia mekaniikkoja.

1. Täysin eri mieltä    2. Jokseenkin eri mieltä    3. En tiedä    4. Jokseenkin samaa mieltä    5. Täysin samaa mieltä

Miksi?

8. Tietoa on esitetty sovelluksessa selkeästi.

1. Täysin eri mieltä    2. Jokseenkin eri mieltä    3. En tiedä    4. Jokseenkin samaa mieltä    5. Täysin samaa mieltä

Miksi?

9. Esitetty tieto vastaa prosessimallia.

1. Täysin eri mieltä

2. Jokseenkin eri mieltä

3. En tiedä

4. Jokseenkin samaa mieltä

5. Täysin samaa mieltä

Miksi?

10. Vastaavatko toiminnot tarkoitusperiä?

a. Hakutoiminto on riittävä.

1. Täysin eri mieltä

2. Jokseenkin eri mieltä

3. En tiedä

4. Jokseenkin samaa mieltä

5. Täysin samaa mieltä

Miksi?

b. Tietojen esitys on riittävä.

1. Täysin eri mieltä

2. Jokseenkin eri mieltä

3. En tiedä

4. Jokseenkin samaa mieltä

5. Täysin samaa mieltä

Miksi?

c. Hyväksymistoiminto on riittävä.

1. Täysin eri mieltä

2. Jokseenkin eri mieltä

3. En tiedä

4. Jokseenkin samaa mieltä

5. Täysin samaa mieltä

Miksi?

d. Raportointi on riittävä.

1. Täysin  
eri mieltä

2. Jokseenkin  
eri mieltä

3. En tiedä

4. Jokseenkin  
samaa mieltä

5. Täysin  
samaa mieltä

Miksi?

11. Tarjotut toiminnot ovat riittäviä.

1. Täysin  
eri mieltä

2. Jokseenkin  
eri mieltä

3. En tiedä

4. Jokseenkin  
samaa mieltä

5. Täysin  
samaa mieltä

Miksi?

Muita huomioita tai parannusehdotuksia?