Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Tuotantotalouden tiedekunta

Tietotekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

Jukka Rötkönen

KUNNOSSAPIDON TYÖLUPAKÄYTÄNTÖJEN PARANTAMINEN MOBIILIJÄRJESTELMÄN AVULLA

Työn tarkastajat: Professori Jari Porras

Dosentti Jouni Ikonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Tuotantotalouden tiedekunta
Tietotekniikan koulutusohjelma

Jukka Rötkönen

Kunnossapidon työlupakäytäntöjen parantaminen mobiilijärjestelmän avulla

Diplomityö
2014
62 sivua, 22 kuvaa, 2 taulukkoa

Työn tarkastajat: Professori Jari Porras
Dosentti Jouni Ikonen

Hakusanat: mobiili, käyttöomaisuudenhallinta, älykäs kunnossapito
Keywords: mobile, enterprise asset management, e-maintenance

Viranomaisvaatimuksen mukaan ydinvoimalaitoksen toiminnan perustana tulee olla johtamisjärjestelmä, joka kattaa organisaation rakenteen ja prosessit, henkilöstön vastuut ja valtuudet sekä päätöksentekomenettelyt. Sen tulee myös tukea hyvää turvallisuuskulttuuria ja varmistaa että ydin- ja säteilyturvallisuuteen liittyvät vaatimukset täyttyvät kaikessa toiminnassa. Loviisan voimalaitoksen johtamisjärjestelmä ohjaa voimalaitoksen käyttötoimintaa ja se on kuvattuna voimalaitosohjeistossa joka käsittää voimalaitoksen politiikat, laadunvarmistuskäsikirjat sekä erilaiset ohjeet. Loviisan voimalaitoksen toimintaa seurataan ja arvioidaan säännöllisesti mm. auditoinneilla. Seurannan ja arvioinnin tarkoituksena on tunnistaa johtamisjärjestelmän mahdolliset kehittämisalueet ja varmistaa täyttääkö toiminta sille asetetut vaatimukset.

Tämä opinnäyte pohjautuu sisäisessä auditoinnissa havaittuun puutteeseen voimalaitoksen työlupakäytännöissä. Työssä toteutettiin mobiilijärjestelmä, jonka tarkoituksena on parantaa kunnossapitotöihin liittyvien työlupien jälkiseurantaa. Tällaisia työlupaa vaativia töitä ovat mm. tuli- ja säteilytyöt, joiden suorittamiseen liittyy riskejä kuten palo- ja räjähdysvaara tai tarpeeton altistuminen säteilylle. Mobiilijärjestelmä toteutettiin monikansallisena projektina osana laajempaa Loviisan voimalaitoksen laitostietojärjestelmän uusintaprojektia.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Industrial Engineering and Management
Degree Program in Information Technology

Jukka Rötkönen

Improvement of the maintenance work permit practices using a mobile system

Master's Thesis
2014
62 pages, 22 figures, 2 tables

Examiners: Professor Jari Porras
Associate Professor Jouni Ikonen

Keywords: mobile, enterprise asset management, e-maintenance

The nuclear authorities requires that the operation of a nuclear power plant must be based on the management system which covers the organizational structure and processes, personnel responsibilities and authorizations and decision making procedures. It should also support a good safety culture and ensure that nuclear and radiation safety requirements are adhered to in all activities. Loviisa power plant management system controls the operation of the power plant and it is described in the plant instructions which comprises a power plant policies, quality assurance handbooks and various instructions. The Loviisa power plant operations will be monitored and evaluated regularly e.g. by audits. Monitoring and evaluation is intended to identify potential areas for improvement and to ensure that operations are accordance with the requirements.

This thesis is based on the internal audit of observed deficiency of power plant work permit practices. In this thesis implemented a mobile system which is intended to improve traceability of the work permits. Such work permit demanding works are e.g. fire and radiation works which involves risks such as fire and explosion risk or unnecessary exposure to radiation. The mobile system was implemented in a multi-national project as a part of a broader Loviisa power plant asset management system renewal project.

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENTEET 6
1 JOHDANTO 7
1.1 Taustaa ja tavoitteet 7
1.2 Työn rakenne 8
2 FORTUM 9
2.1 Loviisan voimalaitos 9
3 YDINTURVALLISUUS 11
3.1 Ydinenergialainsäädäntö 11
3.2 Kansainväliset sopimukset 11
3.3 Ydinvoimalaitosohjeet 12
3.4 Ydinturvallisuus Loviisan voimalaitoksella 12
3.5 Loviisan voimalaitoksen johtamisjärjestelmä 13
3.6 Toiminnan seuranta ja arviointi 13
3.6.1 Sisäinen auditointi 14
3.6.2 Laadunvarmistus- ja turvallisuuskokous 14
4 KUNNOSSAPITO 16
4.1 Kunnossapito Loviisan voimalaitoksella 16
4.2 Työmääräinkäytännöt 17
4.3 Työlupakäytännöt 19
4.3.1 Tulityölupakäytäntö 19
4.3.2 Säteilytyölupakäytäntö 21
4.4 Puutteet nykykäytännöissä 23
4.5 Ohjeiden ja lupakäytäntöjen laiminlyöminen 23
5 ÄLYKÄS KUNNOSSAPITO 26
5.1 Kunnossapidon tietojärjestelmät 27
5.2 LOMAX-laitostietojärjestelmä 28
5.3 LORE-projekti 29
5.4 IBM Maximo for Nuclear Power 29
5.5 Konsernin palveluväylä 30
5.6 Mobiilijärjestelmät teollisuudessa 32
5.7 Mobiilijärjestelmät Loviisan voimalaitoksella 32

6 MOBIILIJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS 38
6.1 Menetelmän valinta 38
6.2 Esitutkimus 39
6.3 Määrittely 40
6.3.1 Vaatimukset 40
6.3.2 Käyttötapaukset 41
6.4 Suunnittelu 44
6.4.1 Arkkitehtuuri- ja moduulisuunnittelu 44
6.4.2 Mobiilisovellus 45
6.4.3 Mobiilitietokanta 47
6.4.4 Yhdyskäytäväsovellus 48
6.5 Toteutus 49
6.5.1 Sovelluskehitysympäristö 49
6.5.2 Mobiilisovelluksen toteutus 50
6.5.3 Yhdyskäytäväsovelluksen toteutus 51
6.6 Testaus 53
6.6.1 Mobiili- ja yhdyskäytäväsovelluksen testaus 53
6.6.2 Järjestelmätestaus 54
6.7 Käyttöönotto 55
6.8 Ylläpito 55
7 JOHTOPÄÄTÖKSET 57
LÄHTEET 58

LYHENTEET

CBus	Corporate Bus, konsernin palveluväylä
CITS	Corporate IT Services, konsernin IT-palvelut
CMMS	Computerized Maintenance Management System, kunnossapidon tietojärjestelmä
DSS	Decision Support System, päätöksenteon tukijärjestelmä
EAM	Enterprise Asset Management, käyttöomaisuudenhallinta
ERP	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjaus
IAEA	International Atomic Energy Agency, kansainvälinen atomienergiajärjestö
ICT	Information and Communications Technology, tieto- ja viestintäteknologia
LOMAX	Loviisan voimalaitoksen laitostietojärjestelmä
LORE	LOMAX Rebuild, laitostietojärjestelmän uusintaprojekti
MIF	Maximo Integration Framework, Maximon liityntärajapinta
QA	Quality Assurance, laadunvarmistus
QAS	Quality Assurance and Safety, laadunvarmistus ja turvallisuus
QC	Quality Control, laadunvalvonta
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus
STUK	Säteilyturvakeskus
TCS	Tata Consultancy Services
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
WSDL	Web Service Description Language, web-palvelun kuvauskieli
YVL	Ydinvoimalaitos

1 JOHDANTO

Ydinvoimalaitoksessa turvallisuus on aina etusijalla. Tähän velvoittavat niin Suomen lainsäädäntö kuin kansainväliset sopimuksetkin. Ydinenergialain mukaan ydinenergian käytön on oltava turvallista eikä siitä saa aiheutua vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle. Laissa velvoitetaan ydinvoimalaitoksen luvanhaltijaa ylläpitämään korkeaa turvallisuuskulttuuria ja sitoutumaan sen jatkuvaan kehittämiseen.

Fortumin Loviisan voimalaitos on tuottanut sähköä valtakunnan verkkoon jo yli 30 vuotta. Koko tämä ajan voimalaitoksen turvallisuuden parantamiseksi on tehty jatkuvaa kehitystyötä. Vuotuisilla huoltoseisokeilla ja mittavilla perusparannus- ja uudishankkeilla on varmistettu että voimalaitos täyttää viimeisimmätkin viranomaisen ydinvoimalaitoksille asettamat turvallisuusvaatimukset.

Loviisan voimalaitoksen toimintaa seurataan ja arvioidaan jatkuvasti ja siten varmistetaan että toiminta vastaa sille asetettuja vaatimuksia, varsinkin ydin- ja säteilyturvallisuuteen liittyvät toiminnot ovat keskeisiä. Itsearvioinneilla ja sisäisillä auditoinneilla sekä ulkopuolisilla riippumattomilla arvioinneilla pyritään tunnistamaan toiminnassa esiintyviä puutteita ja kehityskohteita. Tämä opinnäyte pohjautuu sisäisessä auditoinnissa havaittuun puutteeseen voimalaitoksen työlupakäytännöissä.

1.1 Taustaa ja tavoitteet

Voimalaitoksella tietyt kunnossapitotyöt kuten säteilytyö ja tulityö tarvitsevat erillisen työluvan. Työluvassa määritellään millaisia turvallisuustoimenpiteitä tulee suorittaa ennen varsinaisen työn aloittamista työkohteessa. Syttyvien kaasujen mittaukset ja annosnopeuksien- ja kontaminaatiotasojen määrittämiset ovat esimerkkejä tällaisista toimenpiteistä. Näillä toimenpiteillä varmistetaan se että työskentely työkohteessa on turvallista niin työntekijälle kuin ympäristöllekin. Työn voi aloittaa vasta kun luvanmyöntäjä on suorittanut tarvittavat turvallisuustoimet ja kuitannut hyväksynnän työmääräinpaperiin. Työmääräinpaperi tulee olla esillä työkohteessa koko työn keston ajan.

Aikaisempi käytäntö arkistoida työmääräimet poistui nykyisen laitostietojärjestelmän käyttöönoton myötä. Työmääräinpaperi on ainoa paikka missä myönnetty työlupa on todennettavissa, tietoa ei ole tallennettu sähköisesti. Jälkikäteen ei ole mahdollista varmistaa oliko työllä asianmukaista hyväksyttyä työlupaa. Tämä puute on havaittu voimalaitoksen sisäisessä auditoinnissa ja se on raportoitu voimalaitoksen toimenpiteiden seurantajärjestelmään.

Tämän opinnäytteen tavoitteena on löytää ratkaisu Loviisan voimalaitoksen kunnossapidon työlupakäytännössä havaittuun puutteeseen: miten kehittää käytäntöjä niin että työlupien jälkiseuranta olisi mahdollista.

1.2 Työn rakenne

Luvussa 2 esitellään Fortum-konsernia sekä Loviisan voimalaitosta. Luvussa 3 esitellään ydinturvallisuuteen liittyvää lainsäädäntöä ja säännöstöä sekä voimalaitoksella käytössä olevia lainsäädännön mukaisia turvallisuus- ja laadunhallintaprosesseja ja -käytäntöjä. Luvussa 4 esitellään voimalaitoksen kunnossapitotoimintaa. Luvussa 5 esitellään voimalaitoksen laitostietojärjestelmää sekä sen uusintaprojektia, konsernin palveluväyläkonseptia sekä käytössä olevia mobiiliratkaisuja. Luvussa 6 esitellään mobiilijärjestelmän toteutusprosessi. Luvussa 7 esitellään johtopäätökset.

2 FORTUM

Fortum Oyj on vuonna 1998 perustettu energiayhtiö, jonka toiminta on keskittynyt Pohjoismaihin, Venäjälle, Puolaan ja Baltian maihin. Yhtiö tuottaa, myy ja jakelee sähköä ja lämpöä sekä tarjoaa energia-alan asiantuntijapalveluita. Fortumissa työskenteli vuonna 2013 noin 10.000 henkilöä ja sen liikevaihto oli 6,1 miljardia euroa. Fortumin vuotuinen sähköntuotanto suomessa vuonna 2013 oli 4.528 MW ja lämmöntuotanto 1.915 MW. Yhtiöllä oli 642.000 sähkönjakeluasiakasta ja 16 % osuus suomen sähkönmyyntiasiakkaista. Vuonna 2012 Fortumin sähköntuotannosta 32 % katettiin ydinvoimalla. Fortum omistaa Suomessa Loviisan voimalaitoksen sekä osuuksia Teollisuuden Voima Oy:n ydinvoimalaitoksista. Lisäksi Fortumilla on omistusosuuksia Ruotsissa toimivista ydinvoimalaitoksista. [1][2]

2.1 Loviisan voimalaitos

Loviisan voimalaitos sijaitsee Loviisan kaupungissa, Hästholmenin saaressa, noin 90 kilometriä Helsingistä itään. Voimalaitos koostuu kahdesta voimalaitosyksiköstä, joista Loviisa 1 aloitti sähköntuotannon vuonna 1977 ja Loviisa 2 vuonna 1980. Laitosyksiköt ovat tyypiltään painevesireaktorilaitoksia. Loviisan voimalaitos tuottaa vuodessa 8 terawattituntia sähköä joka on kymmenesosa valtakunnan vuotuisesta sähköntuotannosta. Taulukossa 1 on esitetty muutamia tunnuslukuja voimalaitoksen toiminnasta vuodelta 2013. [2][3]

Taulukko 1. Loviisan voimalaitoksen tunnuslukuja vuodelta 2013 [2].

Loviisan voimalaitos 2013	*Loviisa 1*	*Loviisa 2*
Rakentaminen alkoi	1.5.1971	1.8.1972
Käyttöönotto	8.2.1977	4.11.1980
Lämpöteho	1500 MW	1500 MW
Sähköteho (netto)	496 MW	496 MW
Käyttökerroin	92,2 %	93,1 %
Sähköntuotanto	4,00 TWh	4,04 TWh

Loviisan voimalaitos on ollut käytössä jo yli kolme vuosikymmentä. Tuona aikana voimalaitoksen turvallisuutta ja käytettävyyttä on parannettu toistuvasti suurilla uudistushankkeilla. Käytettävyydeltään Loviisan voimalaitos on koko olemassaolonsa ajan ollut aina maailman kärkitasoa. Voimalaitoksen yksiköiden käyttöluvat ovat voimassa Loviisa 1:llä vuoteen 2027 sekä Loviisa 2:lla vuoteen 2030.

3 YDINTURVALLISUUS

Suomessa ydinenergian käyttö on luvanvaraista ja lupa myönnetään vain määräajaksi. Ydinenergian käyttöön liittyvät perusperiaatteet on säädetty ydinenergialaissa, sen nojalla säädetyissä asetuksissa sekä yksityiskohtaisemmissa ydinvoimalaitosohjeissa.

3.1 Ydinenergialainsäädäntö

Suomen ydinenergialainsäädäntö perustuu ydinenergialakiin (990/1987) ja ydinenergia-asetukseen (161/1988) [4][5]. Ydinenergialainsäädännön tarkoituksena on varmistaa, että ydinenergian käyttö on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista ja ettei siitä aiheudu vaaraa ihmisille eikä ympäristölle eikä se edistä ydinaseiden leviämistä. Ydinenergialaissa määritellään ydinenergian käyttöön liittyvät perusvaatimukset ja lupamenettelyt sekä ydinjätehuoltoon liittyvät velvoitteet kuten varautuminen ydinjätehuollon kustannuksiin. Ydinenergialakia ei sovelleta ainoastaan ydinvoimalaitoksiin vaan myös esimerkiksi kaivos- ja malminrikastustoimintaan (uraanin tai torium tuotanto), ydinaseisiin ja ydinjätteisiin (hallussapito, valmistus, tuottaminen, luovutus, käsittely, käyttäminen, varastointi, kuljetus, vienti ja tuonti). Lisäksi lakia sovelletaan sellaisiin materiaaleihin, laitteisiin ja tietoaineistoihin, joilla voi olla merkitystä ydinaseiden leviämiseen tai niihin kohdistuu kansainvälisiä sopimusvelvoitteita. [5][6]

3.2 Kansainväliset sopimukset

Ydinenergian käyttö ei ole vain kansallinen asia vaan siihen liittyy piirteitä, jotka ovat myös kansainvälisesti huomioitavia. Tällaisia ovat mm. ydinvoimalaitosten ja ydinjätehuollon turvallisuus, ydinpolttoaineen käsittely sekä ydinmateriaalien valvonta ydinaseiden leviämisen estämiseksi. Ydinturvallisuuden parantamiseksi on tehty kansainvälistä yhteistyötä jo 50-luvulta alkaen. Ydinturvallisuuden keskeiset periaatteet ja menetelmien kehittäminen niiden toteuttamiseksi perustuvat pääosin juuri kansainväliseen yhteistyöhön. Suomi on mukana eri kansainvälisten ydinenergiajärjestöjen toiminnassa kuten Euroopan atomienergiayhteisössä (Euratom),

Yhdistyneiden kansakuntien alaisessa kansainvälisessä atomienergiajärjestössä (IAEA) ja OECD:n ydinenergiajärjestössä (NEA). [7][8]

Suomi on ratifioinut useita kansainvälisiä sopimuksia kuten esimerkiksi kansainvälisen ydinturvallisuutta koskevan yleissopimuksen (74/1996) sekä käytetyn polttoaineen ja radioaktiivisen jätteen huollon turvallisuutta koskevan yleissopimuksen (36/2001) [9][10].

3.3 Ydinvoimalaitosohjeet

Ydinvoimalaitosohjeet eli YVL-ohjeet liittyvät ydinvoimalaitoksen turvallisuuden hallintaan, järjestelmien suunnitteluun, ympäristön säteilyturvallisuuteen, ydinmateriaalien ja jätteiden käsittelyyn, rakenteisiin ja laitteisiin [11]. Ohjeet kattavat ydinvoimalaitoksen koko elinkaaren sijaintipaikan valinnasta aina ydinvoimajätteiden loppusijoitukseen. Oheista vastaa ja niitä julkaisee Säteilyturvakeskus (STUK), joka myös valvoo niin ohjeiden kuin säteilylain ja muiden säännösten ja määräysten noudattamista [12].

3.4 Ydinturvallisuus Loviisan voimalaitoksella

Loviisan voimalaitoksen turvallisuuden perustana ovat parhaat suunnittelumenetelmät, laadukas suunnittelu, korkealaatuiset komponentin sekä asiantunteva henkilöstö. Jo suunnitteluvaiheessa mallina ollutta neuvostoliittolaista voimalaitoskonseptia muokattiin vastaamaan länsimaista turvallisuustasoa lisäämällä mm. jäälauhduttimilla varustettu suojarakennus sekä turvajärjestelmiä. Vuosien aikana turvallisuutta on edelleen parannettu mittavilla perusparannus- ja uudishankkeilla, joilla on varmistettu että voimalaitos täyttää viimeisimmätkin viranomaisen ydinvoimalaitoksille asettamat turvallisuusvaatimukset. [2][3]

Japanissa vuonna 2011 tapahtuneen maanjäristyksen ja sitä seuranneen tsunamin aiheuttaman Fukushiman ydinvoimalaitosonnettomuuden jälkeen tehdyissä kansallisissa ja EU-tasoisissa turvallisuusarvioinneissa todettiin Loviisan voimalaitoksen

turvallisuustason hyväksi ja turvallisuusmarginaalit ulkoisissa tapahtumissa riittäviksi. Arvioinneissa kuitenkin tunnistettiin asioita joissa turvallisuutta voitaisiin edelleen parantaa kuten reaktoreiden jälkilämmön poistaminen häiriötilanteissa mikäli merivettä ei esimerkiksi suuren öljyonnettomuuden seurauksena olisi käytettävissä. Tätä varten voimalaitokselle ollaan toteuttamassa ilmajäähdytystornijärjestelmää vuoden 2014 aikana. [2]

3.5 Loviisan voimalaitoksen johtamisjärjestelmä

Ydinvoimalaitosohjeen (YVL) A.3 mukaisesti ydinvoimalaitoksen johtamisjärjestelmän tulee kattaa kaikki organisaation toiminnot sekä organisaation rakenne, henkilöstön vastuut ja valtuudet sekä päätöksentekomenettelyt. Johtamisjärjestelmän tulee tukea hyvää turvallisuuskulttuuria ja varmistaa että ydin- ja säteilyturvallisuuteen liittyvät vaatimukset täyttyvät kaikessa toiminnassa. Koska johtamisjärjestelmä on koko organisaatiolle tarkoitettu tulee sen olla dokumentoitu selkeällä ja ymmärrettävällä tavalla. [13]

Johtamisjärjestelmää tulee arvioida ja parantaa jatkuvasti. Laatuun ja turvallisuuteen liittyvän tiedon kerääminen, seuranta ja analysointi sekä toiminnan arviointi, joko itsearviointina tai riippumattoman tahon suorittamana, toimivat perustana johtamisjärjestelmän ja menettelytapojen kehittämiselle. Loviisan voimalaitoksen johtamisjärjestelmä perustuu Fortumin konserni- ja divisioonatason johtamisjärjestelmiin sekä Fortumin luvanvaraisen ydinvoimatoiminnan johtamisjärjestelmään. Voimalaitoksen johtamisjärjestelmä on kuvattuna laitosohjeistossa, joka käsittää voimalaitoksen politiikat, laadunvarmistuskäsikirjat, hallinnolliset - ja menettelyohjeet. [13][14]

3.6 Toiminnan seuranta ja arviointi

Loviisan voimalaitoksen toimintaa seurataan ja arvioidaan säännöllisesti. Seurannan ja arvioinnin tarkoituksena on tunnistaa johtamisjärjestelmän mahdolliset kehittämisalueet ja varmistaa täyttääkö toiminta sille asetetut vaatimukset. Varsinkin ydin- ja

säteilyturvallisuuteen liittyviä toimintoja tulee korostaa. Käytössä olevia menetelmiä on useita kuten esimiestoimintaan liittyvä seuranta ja arviointi, itsearviointi, sisäiset - ja toimittaja auditoinnit sekä luvanhaltijan toimeksiannosta suoritettava ulkopuolinen riippumaton johtamisjärjestelmän arviointi ja ydintekninen turvallisuusvalvonta. Tämän lisäksi kaikki voimalaitoksella työskentelevät ovat velvoitettuja raportoimaan havaitsemansa poikkeamat viipymättä. [15]

3.6.1 Sisäinen auditointi

Auditointi on järjestelmällinen, riippumaton ja dokumentoitu prosessi jonka tarkoituksena on kerätä informaatiota ja arvioida sitä objektiivisesti suhteessa auditoitavan kohteen vaatimuksiin. Sisäinen auditointi voi olla joko organisaation itse suorittamaa tai sen toimeksiannosta suorittua. Auditoinnin tuloksia voidaan käyttää esim. johdon katselmuksissa sekä johtamisjärjestelmän arvioinneissa. [16]

Loviisan voimalaitoksella suoritettavat sisäiset auditoinnit kohdistuvat voimalaitoksen ympäristö-, työturvallisuus- ja laadunhallintajärjestelmän prosesseihin ja menettelyihin sekä muihin turvallisuuden kannalta merkittäviin toimintoihin. Auditoinnit perustuvat 3-vuotisohjelmaan, jonka aikana auditoidaan kaikki laitoksen johtamisjärjestelmän osa-alueet. Auditoitava alue auditoidaan siten pääsääntöisesti kolmen vuoden välein, poikkeuksena vuosihuolto (joka vuosi) ja johtaminen ja organisaatio (joka toinen vuosi). Tarvittaessa voidaan kohdistaa ylimääräisiä auditointeja laitoksen turvallisuuden ja käytettävyyden kannalta merkittäviin korjaus- ja muutostöihin sekä projekteihin. Auditoinnissa havaitut poikkeamat kirjataan voimalaitoksen toimenpiteiden seurantajärjestelmään. Sisäisten auditointien tulokset käsitellään laadunvarmistus- ja turvallisuuskokouksessa voimalaitoksen ohjeistoissa määriteltyjen menettelytapojen mukaisesti. [17]

3.6.2 Laadunvarmistus- ja turvallisuuskokous

Laadunvarmistus- ja turvallisuuskokous toimii laitoksen johdon tukena laadunhallintaan, turvallisuuteen sekä ympäristöön liittyvien asioiden katselmoinnissa,

seurannassa ja päätöksenteossa. Se tekee päätöksiä kokouksessa esiin tuotujen puutteiden korjaamiseksi ja kehitystoimenpiteiden käynnistämiseksi. Kuukausittain pidettävissä kokouksissa voimalaitoksen johto käsittelee laatuun ja turvallisuuteen liittyviä raportteja mm. tapahtuma-, auditointi- ja viranomaistarkastusraportteja. Kokouksen toimenpidepäätösten etenemistä seurataan QAS-kokouksessa kuukausittain. [18]

4 KUNNOSSAPITO

SFS standardi 13306 määrittelee kunnossapidon seuraavasti [19]:

”Kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suorittamaan halutun toiminnon.”

Kunnossapidon keskeisiä tavoitteita ovat tuotannon kokonaistehokkuus sekä hyvä käyttövarmuus. Käyttövarmuus tarkoittaa kykyä toimia vaadittaessa vaaditulla tavalla. Käyttövarmuus koostuu kolmesta osatekijästä, joita ovat toimintavarmuus, kunnossapidettävyys ja kunnossapitovarmuus. Näistä kaksi ensimmäistä ovat kohteen (koneen, laitteen, järjestelmän) ominaisuuksia. Toimintavarmuus kuvaa kohteen kykyä toimia vikaantumatta määritellyissä olosuhteissa määriteltynä ajankohtana. Kunnossapidettävyys kuvaa kohteen huollettavuutta. Kunnossapitovarmuus kuvaa kunnossapito-organisaation kykyä tuottaa tarvittaessa edellytykset kohteen kunnossapidolle. Muita kunnossapidon tärkeitä tavoitteita ovat turvallisuus, ympäristön huomioiminen ja kustannustehokkuus. [19][20]

Kehittynyt kunnossapito on keskeisessä roolissa parannettaessa yritysten kilpailukykyä. Koneiden ja laitteiden luotettavuus ja käytettävyys ovat ratkaisevasti kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä erityisesti aloilla joissa turvallisuus ja käytettävyys ovat tärkeitä. Edelläkävijöitä luotettavuuden, käytettävyyden ja käyttöiän hallinnan edistäjinä ovat olleet ydinenergiateollisuus sekä ilmailuteollisuus. Kehittämällä erilaisia menetelmiä kuten keskeisten toimintojen hajauttaminen ja kahdentaminen, on pystytty varmistamaan luotettavuutta. [21]

4.1 Kunnossapito Loviisan voimalaitoksella

Loviisan voimalaitoksen kunnossapitostrategiana on hyvin johdettu ja ammattitaitoisesti toteutettu kunnossapito joka tarjoaa parhaat edellytyksen ydinvoimalaitoksen turvalliselle ja taloudelliselle käytölle. Jatkuva turvallisuuden, käytettävyyden, suorituskyvyn ja kustannustehokkuuden parantaminen edesauttaa tavoitteiden saavuttamisessa. Voimalaitoksen kunnossapidon päätavoitteita ovat [22]:

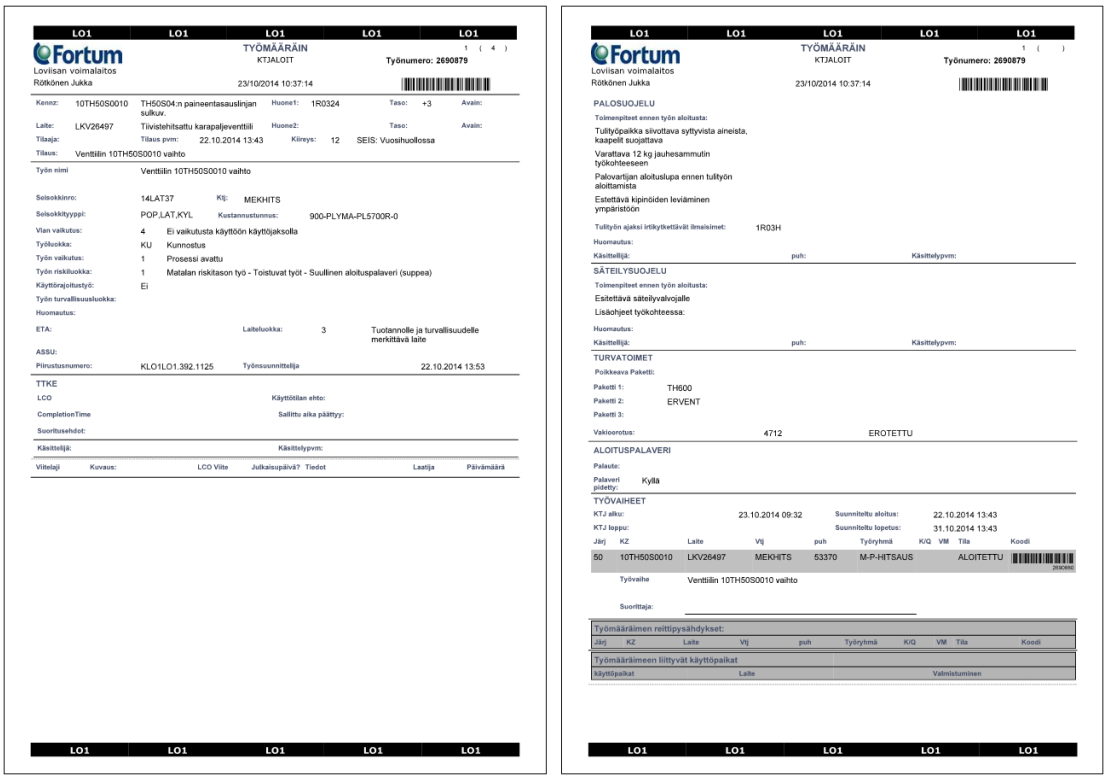
- Turvallisuuden parantaminen.
- Laitteiden, laitteistojen ja komponenttien käytettävyyden optimointi.
- Kunnossapidon suorituskyvyn optimointi.
- Uudelleenkorjauksien vähentäminen.
- Laitteiston kunnossapidettävyyden parantaminen.
- Organisaation suorituskyvyn parantaminen.
- Kunnossapitokustannuksien optimoiminen.
- Laitoksen taloudellisen käyttöiän pidentäminen.

Kunnossapitotoiminta jakaantuu ennakoivaan, ehkäisevään, korjaavaan sekä parantavaan kunnossapitoon. Kunnossapidossa tarvittava ja siinä syntyvä informaatio on tallennettuna laitostietojärjestelmään. Kunnossapitoinformaatiota analysoimalla voidaan kunnossapidon kattavuutta ja riittävyyttä arvioida ja tuloksien pohjalta suunnitella ja toteuttaa uusia vikakorjaus-, kunnostus- ja muutostöitä. Kunnossapitoinformaatiota hyödynnetään myös laitoksen ikääntymisen hallinnassa sekä ydinvoimalaitoksen todennäköisyyspohjaisessa riskianalyysissä (Probabilistic Risk Assessment, PRA). [22]

4.2 Työmääräinkäytännöt

Loviisan voimalaitoksella työmääräinkäytännöt perustuvat menettelyohjeisiin, joiden tarkoituksena on varmistaa että työt suunnitellaan ja tehdään hallitusti ja turvallisesti aikatauluja noudattaen. Tämän lisäksi menettelyohjeiden tarkoituksena on varmistaa että töihin liittyviä palautetietoja hyödynnetään tehokkaasti toiminnan suunnittelussa ja ohjauksessa. [23]

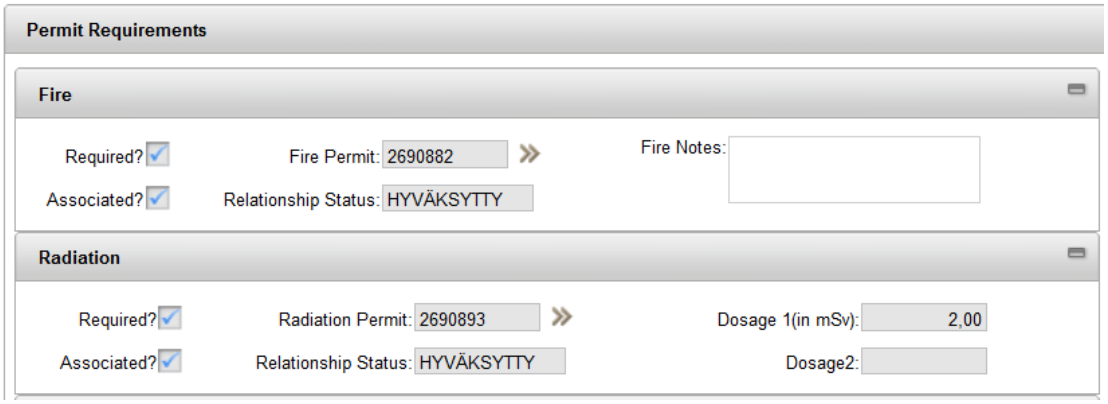
Huolto-, korjaus- ja muutostöiden tekeminen perustuu hyväksyttyyn työtilaukseen ja siitä tehtyyn työmääräimeen tai laitostietojärjestelmän ennakkohuoltosovelluksen automaattisesti generoimaan työmääräimeen [23]. Voimalaitoksen paperinen työmääräin on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Loviisan voimalaitoksen työmääräinpaperi (Loviisa 1).

Työtilaus tehdään havaittaessa laitevika, toimintohäiriö, puute tai vastaava poikkeama joka saattaa aiheuttaa vahinkoa laitteelle, prosessille, työ- tai laitosturvallisuudelle. Työtilaus laaditaan sähköisesti laitostietojärjestelmän töidenhallinta sovelluksella. Laitostietojärjestelmän ohjaa laaditun työtilauksen hyväksyttäväksi hyväksyntäoikeuden omaavalle henkilölle, yleensä henkilön esimiehelle. Hyväksyjä voi tarvittaessa täydentää työtilauksen tietoja ja ohjata työtilauksen edelleen lisähyväksyttäväksi. [23]

Hyväksytty työtilaus ohjautuu laitostietojärjestelmässä kyseisen vastuualueen (kone, sähkö, automaatio, jne.) työnsuunnittelijalle, joka tarkistaa työtilauksen tiedot ja mahdollisesti täydentää tietoja. Työnsuunnittelija laatii työtilauksen pohjalta työmääräimen sekä määrittää työn vaatimat työluvat (kuva 2). Tällaisia työlupia ovat mm. säteilytyölupa ja tulityölupa. [23]



Kuva 2. Työlupavaatimukset työmääräimellä.

Ennen työn aloittamista täytyy työlle saada aloituslupa koordinoivalta työnjohtajalta. Aloitusluvan jälkeen työmääräin voidaan tulostaa paperille. Työmääräinpaperi tulee säilyttää työkohteessa tai sen välittömässä läheisyydessä. Mikäli työhön liittyy työlupia tulee työmääräinpaperi esittää tarvittaessa säteilyvalvojalle tai palovartijalle. Työn valmistuttua työmääräinpaperi poistetaan työkohteesta, mahdolliset palautetiedot kirjataan järjestelmään ja työ kuitataan valmiiksi. [23]

4.3 Työlupakäytännöt

Voimalaitoksella on käytössä useita työlupakäytäntöjä mutta tässä keskitytään vain säteily- ja tulityölupakäytäntöihin . Työlupakäytäntöjen tarkoituksena on varmistaa jo etukäteen että työskentely työkohteessa on turvallista. Säteilytyölupakäytäntö varmistaa ettei työntekijä altistu tarpeettomasti säteilylle. Tulityölupakäytäntö varmistaa ettei työstä aiheudu räjähdys- tai palovaaraa ympäristölle.

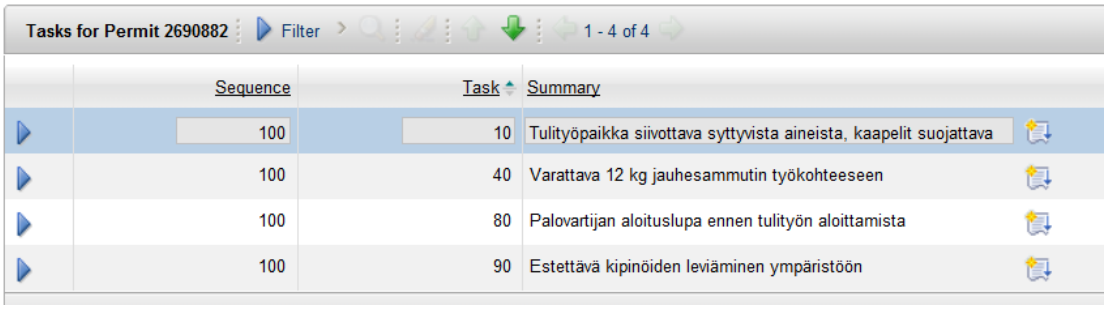
4.3.1 Tulityölupakäytäntö

Tulityön suojeluohje 2014 määrittelee tulityön seuraavasti [24]:

”Tulityöt ovat töitä, joissa syntyy kipinöitä tai joissa käytetään liekkiä tai muuta lämpöä ja jotka aiheuttavat palovaaraa.”

Tulitöitä ovat mm. sähkö- ja kaasuhitsaustyöt, kaasujuotostyöt, kuumailmapuhallintyöt, polttoleikkaustyöt sekä metallien hionta ja katkaisu laikkaleikkaimella. Tulityöt pyritään ensisijaisesti tekemään erityisesti tulitöille varatussa paikassa. Tämä ns. vakituinen tulityöpaikka voi olla joko palo-osasto tai jokin muu ympäristöstään rajattu alue, jossa tulitöiden tekeminen on turvallista. Vakituiselle tulityöpaikalle on tiettyjä vaatimuksia kuten esimerkiksi sen rakenteiden tulee olla palamattomia, siellä ei saa säilyttää eikä käsitellä palavia nesteitä tai kaasuja sekä sen tulee olla varustettuna tarvittavalla sammutuskalustolla. Mikäli tulityötä ei voi suorittaa vakituisessa tulityöpaikassa perustetaan tilapäinen tulityöpaikka, jossa tehdään tarvittavat turvatoimet kuten esimerkiksi syttyvien materiaalien poistaminen, rakenteiden, laitteiden ja varusteiden suojaaminen sekä tulityöpaikan varustaminen tarvittavalla sammutuskalustolla. Tilapäisellä tulityöpaikalla tehtäville tulitöille vaaditaan kirjallinen, määräaikainen tulityölupa. [24]

Voimalaitoksen tulityölupien käsittely on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa laitostietojärjestelmässä määritellään työlupaan tulityöhön liittyvät turvallisuustoimet eli toimenpiteet, jotka ovat tarpeellisia riittävän paloturvallisuuden saavuttamiseksi (Kuva 3). [25][26]

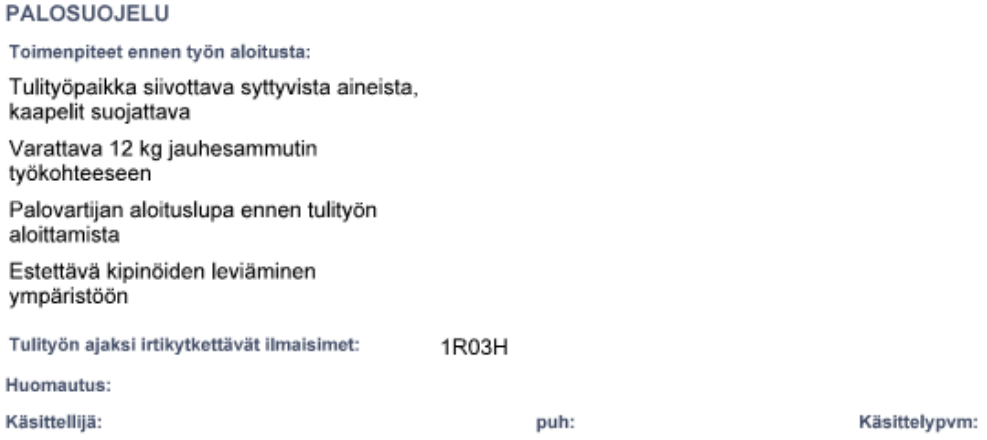


Kuva 3. Esimerkki tulityöluvan toimenpiteistä.

Toinen vaihe tehdään varsinaisessa työkohteessa, jossa tulityön aloitusluvan myöntää tähän oikeutettu henkilö varmistettuaan ensin että tulityöluvassa määrätyt turvallisuustoimet mm. riittävä alkusammutuskalusto ja tarvittavat suojaukset on

toteutettu asianmukaisesti ja olosuhteet kohteessa ovat muutoinkin sellaiset, että tulityö voidaan suorittaa turvallisesti.

Tulityön aloituslupa kirjataan ensimmäistä kertaa lupaa myönnettäessä työkohteessa olevaan työmääräinpaperiin. Työn suorittamisen jälkeen tehdään työkohteessa jälkitarkastus jossa varmistetaan, että tulityön jälkeiset turvallisuustoimet on suoritettu. Jälkitarkastus kirjataan suoritetuksi työmääräinpaperiin. Pitkäkestoisissa tulitöissä, joissa aloituslupa- ja jälkitarkastusmenettelyt toteutetaan päivittäin, vain ensimmäiset merkinnät tehdään paperiseen työmääräimeen. [25][26]



PALOSUOJELU

Toimenpiteet ennen työn aloitusta:

Tulityöpaikka siivottava syttyvista aineista, kaapelit suojattava

Varattava 12 kg jauhesammutin työkohteeseen

Palovartijan aloituslupa ennen tulityön aloittamista

Estettävä kipinöiden leviäminen ympäristöön

Tulityön ajaksi irtikytkettävät ilmaisimet: 1R03H

Huomautus:

Käsittellijä: puh: Käsittelypvm:

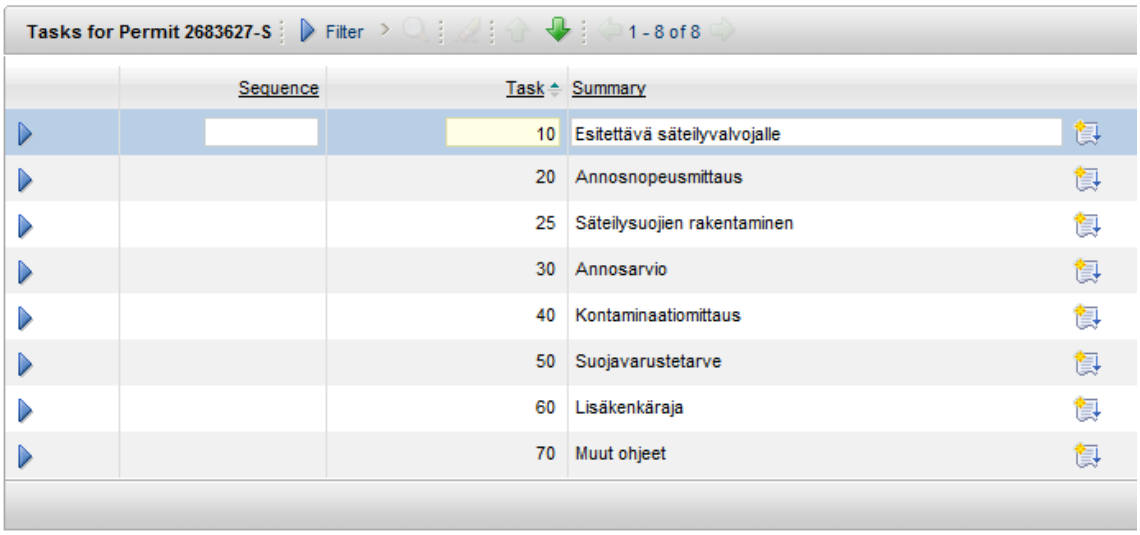
Kuva 4. Tulityöosio työmääräinpaperilla.

4.3.2 Säteilytyölupakäytäntö

Säteilytyöllä tarkoitetaan työtä joka tehdään voimalaitoksen valvonta-alueella. YVL 7.9 määrittelee valvonta-alueeksi vähintään ne tilat, joissa ulkoinen säteilyannosnopeus saattaa ylittää arvon 3 µSv/h tai joissa 40 tunnin viikoittaisesta oleskelusta voi aiheutua yli 1 mSv:n sisäinen säteilyannos vuodessa. Valvonta-alueella tehtäviin töihin liittyy seuraava vaatimus (YVL 7.9):

”Valvonta-alueella tehtäviä säteilytöitä varten tulee laatia säteilytyölupa. Rutiininomaisia, toistuvaisluonteisia käyntejä varten voidaan laatia pysyväisluonteinen lupa. Säteilytyöluvan myöntämistä koskevat menettelyt ja vastuut tulee määritellä laitoksen säteilysuojeluohjeissa.” [27]

Voimalaitoksen säteilytyölupien käsittely on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa säteilytöille suoritetaan säteilysuojelullinen ennakkotarkastus, jonka tarkoituksena on määrittää ne toimenpiteet joilla varmistetaan työntekijän säteilyturvallisuus työn suorituksen aikana sekä mahdollistetaan työn säteilysuojelullisen ennakkosuunnittelu. Ennakkotarkastustiedot tallennetaan työlupaan laitostietojärjestelmään ja niiden avulla voidaan arvioida työhön liittyviä säteilysuojelullisia riskejä (Kuva 5).



Kuva 5. Esimerkki säteilytyöluvan toimenpiteistä.

Toinen vaihe suoritetaan ennen varsinaisen työn aloittamista. Tällöin työn suorittajan on esitettävä työmääräinpaperi säteilyvalvojalle ennen työkohteeseen siirtymistä. Säteilyvalvoja varmistaa työkohteen säteilysuojelulliset olosuhteet ja määrittää vaadittavat säteilysuojelulliset toimenpiteet käyttäen apunaan ennakkotarkastuksessa työmääräimeen lisättyjä ohjeita. Säteilyvalvoja määrittää työkohteessa annosnopeus- ja kontaminaatiotasot, suorittaa tarvittavat säteilysuojelulliset toimenpiteen ja ohjeistukset ja antaa aloitusluvan. Säteilytyön aloituslupa kirjataan työkohteessa olevaan työmääräinpaperiin, joka tulee olla nähtävissä työkohteessa koko työn suorituksen ajan. [28]

4.4 Puutteet nykykäytännöissä

Osana voimalaitoksen tarkastustoimintaa on suoritettu työmääräinpaperien jälkitarkastusta laadunvarmistuksen (QA) toimesta. Tässä yhteydessä on tarkastettu onko työmääräimelle annettu säteilysuojelullinen aloituslupa mikäli sellainen on työlle vaadittu. [29]

Vuoden 2009 sisäisessä auditoinnissa havaittiin ettei työmääräinpapereita enää arkistoida kuten aikaisemmin on ollut tapana [30]. Syynä tähän on ollut uuden laitostietojärjestelmän käyttöönotto. Laitostietojärjestelmä tarjoaa sähköisen työmääräimen, jonne kaikki tarvittava tieto syötetään. Tämän on oletettu korvaavan työmääräinpaperin, joten niiden arkistoinnista on luovuttu. Työmääräinpapereihin kuitenkin tehdään työkohteissa kuittauksia, joita ei siirretä laitostietojärjestelmään. Nykykäytäntö ei siten mahdollista jälkikäteen tehtäviä tarkastuksia. Kyseinen puute on lisätty voimalaitoksen toimenpiteiden seurantajärjestelmään ja siten osaksi QAS-kokouksen päätösten seurantaa sekä LOMAX-laitostietojärjestelmän kehityslistalle [31].

4.5 Ohjeiden ja lupakäytäntöjen laiminlyöminen

Mitä ohjeiden ja lupakäytäntöjen laiminlyöminen sitten voi aiheuttaa? Seuraavassa muutama varoittava esimerkki maailmalta.

Väärät työkalut ja menettelytavat ovat pääosissa tässä käyttötapahtumassa ydinvoimalaitoksella Tšekissä vuonna 1996. Työntekijänryhmä oli suorittamassa korkeapainesäiliön sisäpuolista puhdistusta asetonilla. Yksi työntekijä suoritti puhdistusta säiliössä ja ryhmän esimies valaisi säiliötä halogeenitaskulampulla miesluukulta. Kolmas ryhmän jäsen työskenteli säiliön ulkopuolella. Kesken puhdistustyön asetonihöyry yllättäen syttyi ja räjähti aiheuttaen säiliön sisällä olleelle työntekijälle vakavia palovammoja. Räjähdyksen paineaalto aiheutti vammoja myös miesluukulla olleelle esimiehelle. Paineaallon sai tuntea myös ulkopuolella työskennellyt työntekijä, joka kuitenkin selvisi ilman vammoja suojakypäränsä ansiosta.

Jälkeenpäin suoritetuissa tutkimuksissa todettiin että räjähdyksen aiheutti huonokuntoinen taskulamppu, joka ei täyttänyt sähköteknisiä vaatimuksia eikä ollut suunniteltu käytettäväksi räjähdysvaaralisissa ympäristöissä. Tämän lisäksi työ oli suoritettu laitoksen työturvallisuusmääräysten vastaisesti ilman asianmukaisesti laadittua ja hyväksyttyä teknistä menettelyohjetta sekä ilman työsuojelun edellyttämiä turvatoimia. Käytetty menettelytapa oli tarkoitettu spriillä tapahtuvaan puhdistukseen eikä siten sisältänyt tarvittavia varotoimia, joita asetonia käsiteltäessä tulisi noudattaa kuten erityisesti palontorjuntaan liittyviä turvatoimia. Puhdistuksessa käytetty kemikaali, asetoni, ei omaa sellaisia turvallisuusominaisuuksia joita laitoksen työturvallisuusmääräykset vaativat eivätkä työntekijät tunteneet sen käyttöön liittyviä turvatoimia.

Puhdistusta suorittanut työntekijä oli kuitenkin onnekseen varustautunut suojanaamarilla, jota heidän käyttämänsä väärä menettelytapa ei edes vaatinut. Se luultavasti pelasti hänet henkensä. Räjähdyksestä ei aiheutunut vahinkoa säiliölle eikä muille laitoksen laitteille. [32]

Aikataulun merkityksestä ydinvoimalaitoksen vuosihuollossa kertoo puolestaan käyttötapahtuma ydinvoimalaitoksella Sveitsissä vuonna 2009. Huoltoseisokin aikana suoritettiin neutronivuo-anturin ulosveto aikaisemmin kuin aikataulussa oli ilmoitettu. Aikataulumuutoksesta oli puhuttu vain alustavasti. Toimenpiteen aikana annosnopeus nousi 1500 mSv/h reaktorin paineastian alapuolisissa tiloissa missä huoltoteknikko ja säteilyvalvoja olivat suorittamassa kamera asennusta. Ennen toimenpiteen alkua tilassa oli annosnopeudeksi mitattu 1,5 mSv/h. Reaktorirakennuksen säteilysuojelukoordinaattori havaitsi ongelman tarkastuskierroksellaan ja kehotti työntekijöitä välittömästi poistumaan alueelta. Huoltoteknikko sai tapahtumasta 37,8 mSv säteilyannoksen ja säteilyvalvoja 25,4 mSv. Kummankin työntekijän saama säteilyannos ylitti vuotuisen 20 mSv enimmäissäteilyannoksen.

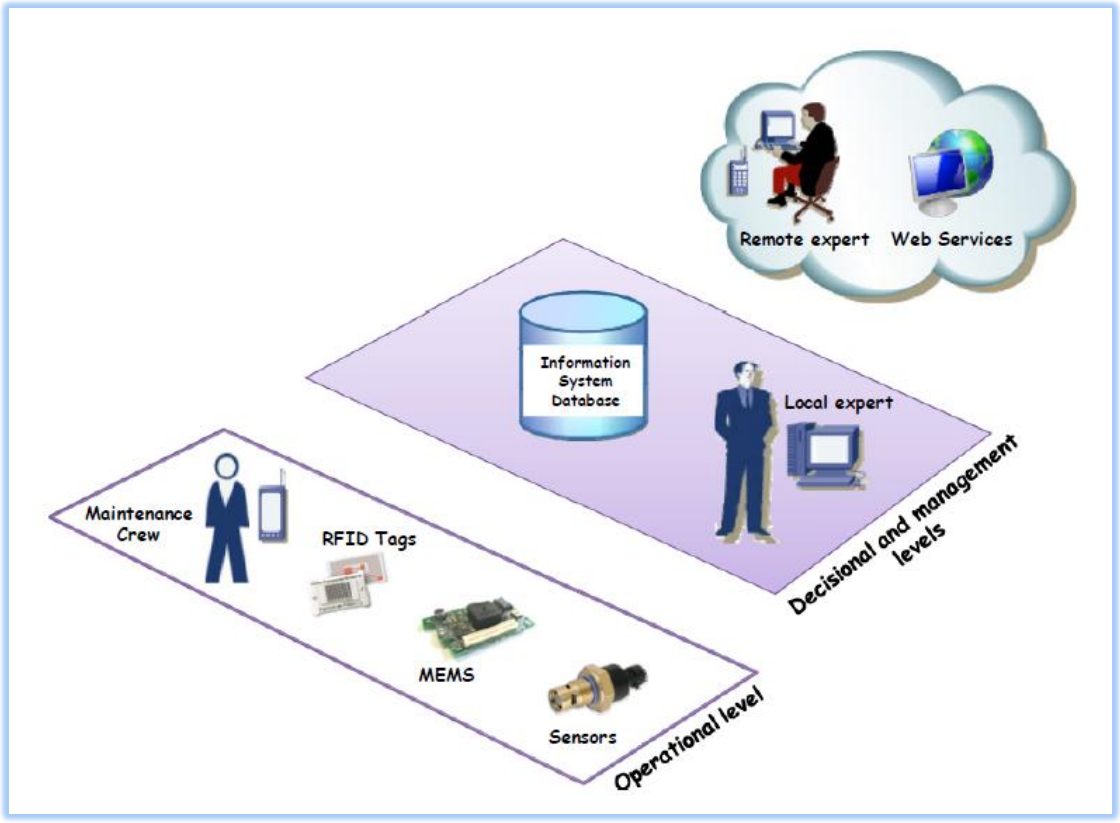
Kamera-asennus oli etukäteen sovittu ja aikataulun mukainen. Työkohteen säteilytaso oli mitattu ennen työn aloittamista. Ohjeissa oli erikseen mainittu ettei työtä voi suorittaa samanaikaisesti kun neutronivuo-anturin ulosveto on käynnissä. Johdon päätös aikaistaa neutronivuo-anturin ulosveto ei ollut kamera-asennusta suorittavien tiedossa eikä johto tiedostanut töiden välistä yhteyttä. Perimmäiset syyt tapahtuneeseen olivat

puutteet seisokkisuunnitteluprosessissa, joka ei tunnistanut eri toimintojen välisiä riippuvuuksia sekä riittämätön aikataulumuutoksesta tiedottaminen. [33]

5 ÄLYKÄS KUNNOSSAPITO

Älykäs kunnossapito (e-Maintenance) on 2000-luvun alkuvuosina syntynyt kunnossapidon hallintakonsepti, joka perustuu uusien teknologioiden hyödyntämiseen käyttöomaisuuden valvonnassa ja hallinnassa. Älykkään kunnossapidon syntyyn on vaikuttanut kaksi merkittävää tekijää: toisaalta kunnossapidon kasvava merkitys keskeisenä teknologiana tuottavuuden, käytettävyyden ja turvallisuuden lisääjänä niin teollisuudessa kuin liikenteessä ja toisaalta tieto- ja viestintäteknologian (Information and Communications Technology, ICT) erittäin nopea kehitys. Älykäs kunnossapito voidaan jakaa eri tasoihin kuvan 6 mukaisesti. [21]

Operatiivisella tasolla hyödynnetään uusia teknologioita kuten kehittyneitä mikroantureita, älykkäitä tunnisteita (Radio Frequency Identification, RFID), mobiiliteknologiaa ja langatonta tiedonsiirtotekniikkaa. [21]



Kuva 6. Älykkään kunnossapidon arkkitehtuuri [21].

Päätöksenteko- ja hallintotasoilta löytyvät informaatiojärjestelmät, joissa operatiivisella tasolla syntynyttä informaatiota hyödynnetään. Tällaisia järjestelmiä ovat kunnossapidon tietojärjestelmät (Computerized Maintenance Management System, CMMS) tai laajemmat yrityksen tuotannonohjausjärjestelmät (Enterprise Resource Planning, ERP) sekä erilaiset asiantuntijajärjestelmät kuten päätöksenteon tukijärjestelmät (Decision Support System, DSS). [21]

5.1 Kunnossapidon tietojärjestelmät

Kunnossapidon tietojärjestelmät ovat keskeisessä roolissa koordinoitaessa toimintoja, jotka liittyvät monimutkaisten järjestelmien käytettävyyteen, tuottavuuteen ja huollettavuuteen. Nykyaikainen tietotekniikka on parantanut dramaattisesti kunnossapidon tehokkuutta. Kunnossapidon tietojärjestelmiä on ollut olemassa eri muodoissa jo vuosikymmeniä, taulukossa 2 on esitelty tietojärjestelmien ominaisuuksia eri aikakausilta. [34][35]

Vuosien aikana ohjelmistot ovat kehittyneet suhteellisen yksinkertaisista keskustietokonepohjaisista kunnossapidon suunnittelujärjestelmistä monen käyttäjän Windows-pohjaisiksi järjestelmiksi, jotka kattavat monenlaisia kunnossapitotoimintoja. Nykyaikaisten kunnossapidon tietojärjestelmien kyky käsitellä suuria tietomääriä tarkoituksenmukaisesti ja nopeasti on avannut uusia mahdollisuuksia kunnossapidolle. Kunnossapidon tietojärjestelmän tarjoamia etuja ovat mm. resurssien tiukempi valvonta, parempi kustannusten hallinta, mahdollisuus ajoittaa monimutkaisia, nopeasti muuttuvia työkuormia, integrointi muihin liiketoiminnan järjestelmiin sekä vikojen vähentäminen parantamalla laitteiden luotettavuutta tehokkaiden kunnossapito-ohjelmien avulla. Kunnossapidon tietojärjestelmät voivat olla joko itsenäisiä järjestelmiä tai niitä vastaavat toiminnat omaavia ohjelmamoduuleja laajemmissa tuotannonohjausjärjestelmissä. [21][34]

Taulukko 2. Kunnossapidon tietojärjestelmien sukupolvet [35].

Aikakausi	*Sukupolvi*	*Ominaisuudet*
1970-luku	1. sukupolvi	Lähinnä rekisteröintiä ja tiedon hallinnointia
		Vähäinen tai täysin puuttuva prosessituki
		Matala prioriteettiset keskustietokonesovellukset
		Rajalliset ohjelmistomarkkinat, paljon sisäistä kehitystyötä
1980 - 1990	2. sukupolvi	Kustannusten- ja töidenhallinta
		MRO (Maintenance, Repair, Operation) hallinta useimmiten mukana
		Yhteydet yrityksen taloushallinnonjärjestelmiin
		Ensimmäinen johdon tietojärjestelmä (MIS) kunnossapitoon
		Useita itsenäisiä mikrotietokonesovelluksia
		Dynaamiset, mutta ei aina niin luotettavat, ohjelmistomarkkinat
1990 -	3. sukupolvi	Laajempia, mukana käyttöomaisuuden hyödyntäminen ja EHS-moduuli
		Ulkoisen viestinnän mahdollisuus, esim e-MRO
		Paremmat analyyttiset valmiudet
		Multimedia ja web ominaisuuksia
		Kypsät markkinat sulautetuille (osana esimerkiksi ERP järjestelmää)

5.2 LOMAX-laitostietojärjestelmä

Loviisan voimalaitoksella on käytössä järjestyksessä kolmas kunnossapidon tietojärjestelmä. Ensimmäinen tietojärjestelmä KUTI ja sen seuraaja LOTI, olivat keskustietokonejärjestelmiä, joihin käyttäjät olivat yhteydessä merkkipohjaisilla etäpäätteillä. Mikrotietokoneiden yleistyessä LOTI-laitostietojärjestelmän päätelaitteet poistuivat vaiheittain käytöstä. Päätelaitetta korvaamaan asennettiin mikrotietokoneeseen pääte-emulaattoriohjelma, jonka tarkoituksena oli jäljitellä päätelaitteen toimintaa.

Voimalaitoksen nykyinen laitostietojärjestelmä, LOMAX, on ollut käytössä vuodesta 2006 lähtien, jolloin se korvasi LOTI-laitostietojärjestelmän. Järjestelmä perustuu IBM Maximo Asset Management -käyttöomaisuuden hallintajärjestelmään, joka on vahvasti räätälöity voimalaitoksen tarpeisiin. Käyttöomaisuuden hallintajärjestelmä (Enterprise Asset Management, EAM) tarjoaa perinteisiä kunnossapidon tietojärjestelmiä enemmän toimintoja ja ominaisuuksia. Laitostietojärjestelmä kostuu moduuleista joita ovat

töidenhallinta, ennakkohuollot, varastonhallinta, käyttöpaikat ja laitteet, hankinnat, suunnitelmat, resurssit ja raportit. Järjestelmästä on lukuisia point-to-point tyyppisiä liityntöjä muihin konsernin tietojärjestelmiin mm. taloushallinnon järjestelmiin.

5.3 LORE-projekti

Vuonna 2011 on käynnistynyt LOMAX-laitostietojärjestelmän uusintaprojekti LORE (LOMAX Rebuild), jonka tarkoituksena on käyttöönottaa Maximon uusin versio IBM Maximo for Nuclear Power. Tässä versiossa on paljon sellaisia ominaisuuksia jo valmiina joita on räätälöity nykyiseen laitostietojärjestelmään. Tästä huolimatta ohjelmisto ei kuitenkaan sellaisenaan sovellu voimalaitoksen tarpeisiin vaan vaatii edelleenkin räätälöintejä. Osana LORE-projektia nykyiset point-to-point tyyppiset liitynnät on tarkoitus korvata käyttäen konsernin palveluväyläkonseptia.

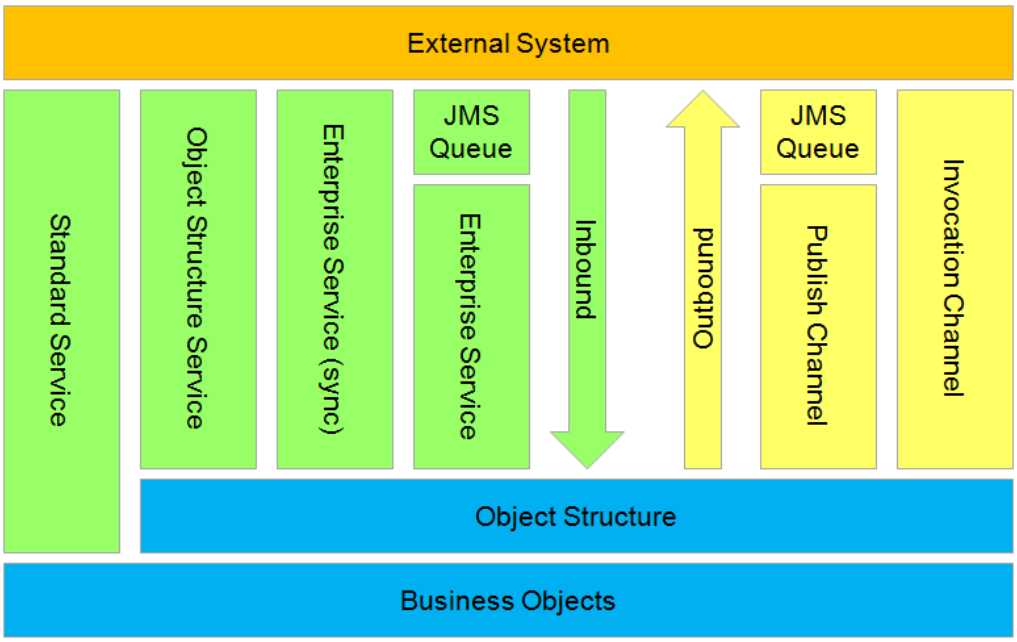
5.4 IBM Maximo for Nuclear Power

IBM tarjoaa yrityksen käyttöomaisuudenhallintaan tuoteperheen jossa on ratkaisuja teollisuuden eri aloille. Maximo for Nuclear Power on käyttöomaisuudenhallintaan ja toiminnanohjaukseen tarkoitettu ohjelmisto joka on erityisesti kehitetty ydinvoimateollisuuden tarpeisiin auttamaan ydinvoimaorganisaatioita käsittelemään tiukkoja turvallisuus- ja viranomaisvaatimuksia. Ohjelmisto tarjoaa yhtenäisen alustan eri tyyppisen käyttöomaisuuden hallintaan. Ohjelmiston avulla voidaan mm. hallita ydinvoimalaitoksen laitteita koko niiden elinkaaren ajan alkaen hankinnasta aina käytöstä poistoon asti. Ohjelmisto tarjoaa kohdennettuja sovelluksia ydinvoimalaitoksen tarpeisiin. [36]

Integraatioita varten Maximossa on oma moduuli, Maximo Integration Framework (MIF), joka mahdollistaa kaksisuuntaisen tiedonvaihdon ulkoisiin järjestelmiin joko reaaliaikaisina tai eräsiirtoina. MIF tukee synkronista ja asynkronista tiedonsiirtoa käyttäen erityyppisiä tiedonsiirtoprotokollia [37].

MIF-arkkitehtuurin (kuva 7) keskeisiä käsitteitä ovat [38]:

- Objektirakenteet, jotka määrittelevät viestien sisältöä kanaville. Objektirakenteet ovat kokoelma liiketoimintaobjekteja ja niiden välisiä suhteita.
- Palvelut, jotka vastaanottavat järjestelmään saapuvan tiedon.
- Kanavat, jotka lähettävät tiedon ulos järjestelmästä.



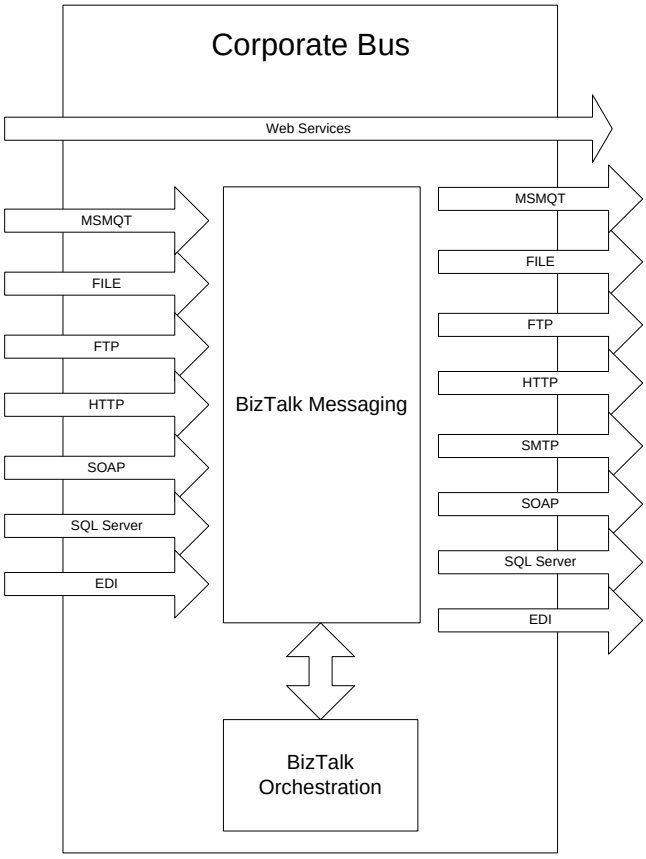
Kuva 7. MIF-arkkitehtuuri [38].

5.5 Konsernin palveluväylä

Palveluväylä on ohjelmistoarkkitehtuuri, joka tarjoaa peruspalvelut monimutkaisemmille arkkitehtuureille. Palveluväylä sisältää tarvittavat ominaisuudet toteuttaa palvelukeskeinen arkkitehtuuri, se perustuu avoimiin standardeihin ja tarjoaa luotettavan ja turvallisen tavan välittää tietoa sanomapohjaisesti eri palveluiden ja sovellusten välillä. Palveluväylä lisää liiketoiminnan joustavuutta, vähentää kustannuksia tarjoamalla nopean ja joustavan ratkaisun erilaisiin integraatiotarpeisiin ja se mahdollistaa uusien liiketoimintapalveluiden kehittämisen vaikuttamatta olemassa olevaan IT-infrastruktuuriin. [39]

Palveluväylän perusajatuksena on liittää kaikki yrityksen tietojärjestelmät yhteiseen väylään, jonka kautta järjestelmät voivat kommunikoida keskenään. Järjestelmien ei tarvitse olla tietoisia toisen osapuolen teknisestä toteutuksesta. Liittyminen palveluväylään toteutetaan adaptereilla, jollaisia on useilla järjestelmillä jo valmiina. Esimerkiksi IBM Maximossa on integraatioita varten Maximo Integration Framework (MIF), joka tarjoaa vaihtoehtoisia tapoja liittyä palveluväylään. Palveluväylän keskeisiä toimintoja ovat reititys, sanomamuunnos, sanoman täydentäminen, protokollamuunnos, palvelujen yhdistämisen, sanomakäsittely, liiketoimintaprosessien koordinointi, palveluorkestrointi, tapahtumahallinta ja turvallisuus. [38][40]

Fortumin palveluväyläkonsepti, Corporate Bus (CBus), tarjoaa konsernin eri järjestelmille keskitetyn mahdollisuuden toteuttaa eri järjestelmien välisiä integraatioita. CBus ei perustu vain yhteen teknologiaan vaan tarjoaa lukuisia vaihtoehtoisia tapoja liittää eri järjestelmiä palveluväylään (kuva 8). [41]



Kuva 8. Konsernin palveluväylän eri liityntäratkaisut [41].

5.6 Mobiilijärjestelmät teollisuudessa

Mobiililaitteiden hyödyntäminen teollisuuden tuotanto- ja kunnossapitotoiminnassa on edelleen vähäistä vaikka tarjolla on erilaisia mobiililaitteita ja –sovelluksia myös kunnossapidon tarpeisiin. Poikkeuksen tekevät kunnonvalvonnan mittausjärjestelmien kannettavat analysaattorit ja kalibrointijärjestelmien kenttäkalibraattorit. Kunnossapidon toimialoista vain liikkuva kunnossapito esim. kiinteistöhuolto hyödyntää yleisesti mobiilijärjestelmiä. [42]

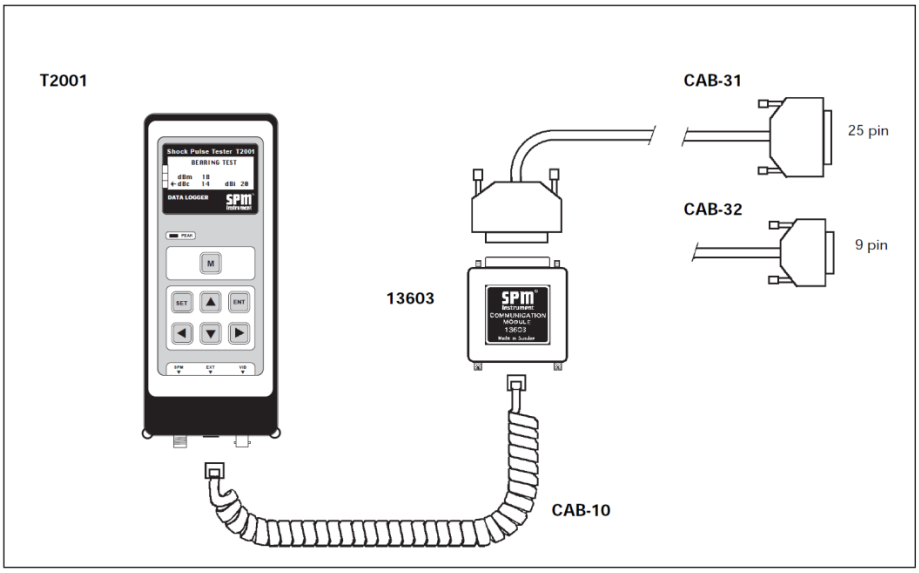
Mobiilijärjestelmät tarjoavat merkittäviä hyötyjä kunnossapitotoiminnalle. Mobiililaitteella voidaan olla suoraan yhteydessä kunnossapidon tietojärjestelmiin, jolloin vikailmoitukset ja työmääräykset voidaan suoraan vastaanottaa mobiililaitteeseen jo kentällä ja siten nopeuttaa toimenpiteiden aloittamista. Myös muu kunnossapidon tietojärjestelmien informaatio voi olla käytettävissä kuten esim. laitetiedot, ohjeet ja piirustukset. Suoritetut työtoimenpiteen ja mahdolliset havainnot voidaan kirjata suoraan mobiilisovellukseen jo työkohteessa. Tällöin kirjauksien tekijä ja tarkka ajankohta tallentuvat tietojärjestelmään ja siten lisäävät tietojen tarkkuutta ja luotettavuutta. Teollisuusympäristö asettaa haasteita mobiilijärjestelmälle. Mobiililaitteiden tulee kestää vaativiakin olosuhteita, pölyä, kosteutta, kuumuutta ja niiden tulee olla varmatoimisia. Mobiilisovellusten tulee olla helppokäyttöisiä, mielellään tehtäväkohtaisilla käyttöliittymillä varustettuja. [42]

5.7 Mobiilijärjestelmät Loviisan voimalaitoksella

Loviisan voimalaitoksella on ollut käytössä erilaisia mobiilijärjestelmiä jo useita vuosia. Käytössä olevat tai käytöstä jo poistuneet mobiilijärjestelmän edustavat eri aikakausia ja sukupolvia.

Voimalaitoksella otettiin käyttöön ensimmäinen kunnossapidon mobiilijärjestelmä 90-luvun alussa. CSI MasterTrend oli värähtelymittausten käsittelyyn tarkoitettu järjestelmä, joka koostui kannettavista värähtelyanalysaattoreista ja työasemaan asennettavasta analysointiohjelmistosta. Analysaattorit eivät olleet pelkkiä tiedonkeruulaitteita vaan ne sisältävät myös mahdollisuuden analysoida mittaustietoja jo

kohteessa, kuitenkin varsinainen analysointi suoritettiin analysointiohjelmistolla. Vastaava järjestelmä, AMS Machinery Health Manager, on edelleen käytössä. Voimalaitoksella on lisäksi käytössä iskusysäysmenetelmään perustuva järjestelmä SPM CondMaster, joka on otettu käyttöön 90-luvun lopulla. Järjestelmän mobiililaite on kuvassa 9. [43]



Kuva 9. SPM T2001 -iskusysäystesteri [44].

Voimalaitoksen automaatiokunnossapito siirtyi myös mobiiliaikaan 1990-luvun alussa, jolloin käyttöönotettiin ensimmäiset kannettavat kalibraattorit kentällä tapahtuviin kalibrointeihin. Suomalainen Beamex QCAL -järjestelmä koostui ohjelmistosta sekä painekalibraattorista, jota myöhemmin täydennettiin lämpötilakalibraattorilla. Vuosien varrella niin ohjelmisto kuin laitteetkin ovat uusiutuneet. Nykyisin on käytössä saman valmistajan viimeisin kalibrointijärjestelmä CMX varustettuna nykyaikaisilla helppokäyttöisillä MC6-kenttäkalibraattoreilla (kuva 10), jotka soveltuvat niin paineen, lämpötilan kuin erilaisten sähkösuureidenkin kalibrointiin. Tällainen monitoimilaite korvaa useampia eri laitteita ja siten vähentää kentällä tarvittavien laitteiden määrää. [45][46]

Kuva 10. Beamex MC6 monitoiminen kenttäkalibraattori [46].

2000-luvuna alussa käynnistyi hanke toteuttaa mobiilijärjestelmä työkalulainaukseen. Toteutukseen valittu laite, Dolphin 7200 RF (kuva 11), oli varustettu DOS-käyttöjärjestelmällä, merkkipohjaisella käyttöliittymällä sekä pelkistetyllä alfanumeerisella näppäimistöllä. Lisäksi laitteessa oli viivakoodinlukija sekä WLAN valmius. Laite oli varustettu työaseman yhteyteen liitetyllä telakointiasemalla, jonka kautta laiteen ja työaseman välinen tiedonsiirto tapahtui sarjaliikenneyhteydellä. Telakointiasema toimi samalla laitteen latauspaikkana. Laite oli aikaisemmin mainittuja analysaattorilaitteita ja kalibraattoreita yleiskäyttöisempi: siinä missä analysaattorilaitteet olivat vain tiettyyn käyttötarkoitukseen tarkoitettuja, Dolphin mahdollisti asiakaskohtaisten mobiilisovellusten toteuttamisen. [47]

Mobiilijärjestelmää ei kuitenkaan koskaan otettu tuotannolliseen käyttöön, syynä samoihin aikoihin käynnistynyt laitostietojärjestelmän uusintaprojekti. Tällöin arvioitiin että työkalulainaustoiminta voitaisiin toteuttaa uudella järjestelmällä.

MRO Maximo 5.1 -käyttöomaisuuden hallintajärjestelmä, johon uusi laitostietojärjestelmä LOMAX perustui, tarjosi sovelluksia myös mobiilikäyttöön. Maximo Mobile Suite sisälsi sovellukset varastonhallintaan, töidenhallintaan ja käyttöomaisuuden auditointiin. Sovellukset oli kehitetty Windows Mobile -käyttöjärjestelmälle. Laitteena oli Symbol PPT8846 varustettuna Windows Mobile -

käyttöjärjestelmällä, ¼ VGA -kosketusnäytöllä, 15-näppäimen näppäimistöllä sekä viivakoodinlukijalla (kuva 11). Latausta ja tiedonsiirtoa varten laite oli varustettu telakointiasemalla. [48]

Ongelmana näiden sovellusten käyttöönotossa oli LOMAX-laitostietojärjestelmään tehdyt lukuisat räätälöinnit, joiden seurauksena myös mobiilisovelluksiin jouduttiin tekemään suuria muutoksia. Sovellukset olivat monimutkaisia käyttää joten järjestelmän elinkaari jäi lyhyeksi.

Kuva 11. Vasemmalla Dolphin 7200 RF ja oikealla Symbol PPT8846. [47][48]

Vuonna 2010 käynnistyi hanke toteuttaa täysin räätälöityjä mobiilisovelluksia voimalaitoksen käyttö- ja kunnossapito-organisaatioiden eritystarpeisiin. Prosessierotukset, prosessin perustiloitukset sekä koestukset ovat toimintoja, joihin ei markkinoilta ole saatavilla valmiita mobiiliratkaisuja. Uusien mobiilisovelluksien toteuttajaksi valittiin suomalainen Finn-ID. Hieman myöhemmin samaa konseptia käyttäen toteutettiin laboratorion käyttöön sovellus näytteenottoja varten sekä varastotoiminnoille sovellus tarkoituksena parantaa voimalaitoksen sisäistä logistiikkaa.

Varastosovellus käsittää materiaalin vastaanottotoiminnon varustettuna laaduntarkastus (Quality Control, QC) ominaisuudella, varastotapahtumien kirjaukset kuten otot, palautukset ja siirrot, inventoinnit sekä lisäksi työkalulainaustapahtumien kirjaukset.

Prosessierotukset, perustiloitukset, koestukset sekä näytteenotot suoritetaan usein tiloissa, joissa ei ole käytettävissä langatonta lähiverkkoa (Wireless Local Access Network, WLAN). Tästä syystä mobiilisovelluksen tulee toimia itsenäisesti, tarkoittaen sitä että kaikki työkohteessa tarvittava tieto tulee ladata mobiililaitteeseen laitostietojärjestelmästä ennen työkohteeseen siirtymistä. Työkohteessa mobiililaitteeseen tallennettu tieto tulee vuorostaan siirtää laitostietojärjestelmään töiden päätyttyä. Tiedonsiirto tapahtuu telakointiasemalla varustetun työaseman kautta.

Varaston mobiilisovellus on ainoa joka hyödyntää langatonta lähiverkkotekniikkaa tiedonsiirrossa mahdollistaen reaaliaikaisen toiminnan. Koska mobiililaite on suoraan yhteydessä laitostietojärjestelmään, on mobiililaitteeseen haettava tieto aina ajantasaista kuten esimerkiksi varastosaldot. Mobiililaitteella suoritettavat varastotapahtumat kirjautuvat suoraan laitostietojärjestelmään, jolloin ajantasainen tieto on kaikkien käytettävissä välittömästi. Mobiilijärjestelmä hyödyntää myös viivakoodeja niin hyllykoodeissa, työkaluissa kuin henkilöiden tunnistamisessakin vähentäen näin virheiden määrää.

Käytössä olevat mobiililaitteet ovat kuvassa 12. Laitteet on suunniteltu käytettäviksi teollisuusolosuhteissa. Laitteet on suojattu pölyltä ja roiskevedeltä ja ne kestävät jopa putoamisen reilun metrin korkeudesta. Varaston mobiilaite on Honeywell Dolphin 9900 varustettuna Microsoft Windows Mobile 6.0 -käyttöjärjestelmällä, 3.5”-näytöllä (1/4 VGA, 240 x 320), 35-näppäimen näppäimistö, IP64-suojauksella (pölytiivis ja roiskevesisuojattu) ja 2D-viivakoodinlukijalla. [49]

Toinen mobiililaite on Honeywell Dolphin 6100 varustettuna Windows CE 5.0 -käyttöjärjestelmällä, 2.8”-näytöllä (1/4 VGA, 240 x 320), 28-näppäimen näppäimistöllä, IP54-suojauksella (pöly- ja roiskevesisuojattu), sekä 2D-viivakoodinlukijalla. [50]

Kuva 12. Nykyiset mobiililaitteet, vasemmalla Honeywell Dolphin 9900 ja oikealla Dolphin 6100. [49][50]

6 MOBIILIJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

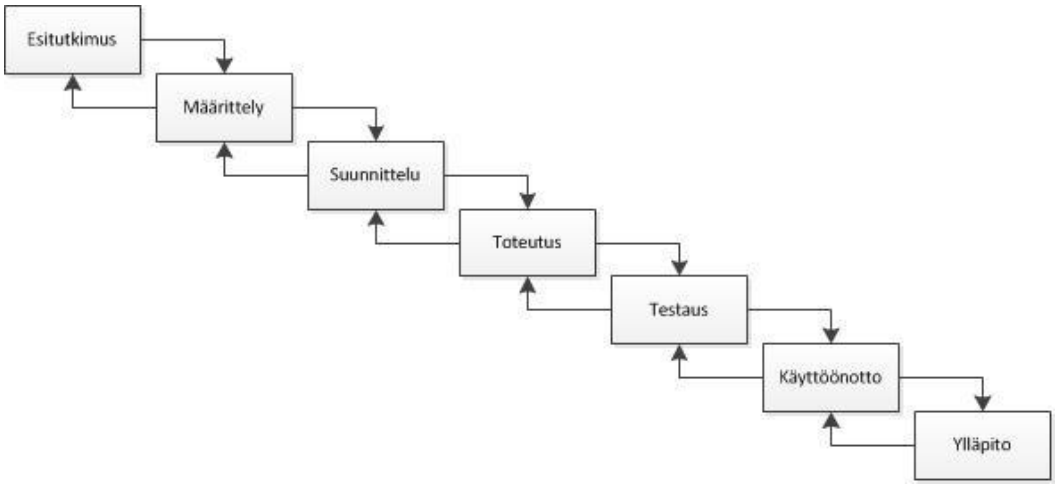
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa mobiilijärjestelmä voimalaitoksen palo- ja säteilysuojeluorganisaatioiden tarpeeseen. Mobiilijärjestelmä toteutettiin osana LORE-projektia. Projektiin osallistuu useita sidosryhmiä, sekä sisäisiä että ulkoisia tahoja, joiden toimintaan projektilla on vaikutusta. Sisäisiä sidosryhmiä ovat voimalaitoksen organisaatiot: kunnossapito, säteilysuojelu sekä suojelu. Ulkoisia sidosryhmiä ovat palveluväylästä vastaava konsernin tietohallinto sekä uuden laitostietojärjestelmän toimittaja Tata Consultancy Services.

Kunnossapitoyksikön vastuulla on voimalaitoksen kunnossapidon toteuttaminen huomioiden viranomaisten luvat ja määräykset sekä voimalaitoksen oma ohjeisto [51]. Säteilysuojelujaos kuuluu voimalaitoksen turvallisuusyksikköön ja sen vastuulla on säteilysuojelulainsäädännön asettamien velvoitteiden ja viranomaisten vahvistamien määräysten tunteminen sekä vaatimusten huomioiminen säteilysuojelutoiminnassa ja laitoksen toimintaa ohjaavassa ohjeistossa [52]. Suojeluyksiköllä on lukuisia tehtäviä mm. toteuttaa palosuojelujärjestelyt, ennaltaehkäisevät palontorjuntatoimet sekä pelastustoiminta [53]. Konsernin tietohallinto, Corporate IT Services (CITS) vastaa konsernin IT-infrastruktuuri-, sovellus- sekä sovellusten integraatiopalveluiden hankinnasta ja hallinnoinnista [54]. Tata Consultancy Services (TCS) on intialainen IT-palveluita, konsultointia ja liiketoiminnan sovelluksia tarjoava yritys, joka on osa kansainvälistä Tata Group monialayhtymää [55].

6.1 Menetelmän valinta

Ohjelmistokehitykselle on tarjolla lukuisia eri menetelmiä. Ohjelmistolla on elinkaari, joka tarkoittaa aikaa ohjelmiston kehitystyön aloittamisesta aina sen käytöstä poistamiseen asti. Osittamalla tämä elinkaari eri vaiheisiin voidaan ohjelmistokehitysprosessia yksinkertaistaa, sen hallintaa ja valvontaa helpottaa sekä optimoida resurssien käyttöä. Yksinkertaisimmillaan tällainen vaihejakomalli toteutuu vesiputousmallissa jossa kukin vaihe suoritetaan loppuun ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä. Todellisuudessa ohjelmistokehitys ei ole näin suoraviivaista koska vaatimukset lähes poikkeuksetta muuttuvat ja niitä syntyy lisää prosessin aikana.

Vesiputousmallista on lukuisia eri variaatioita. Kuvassa 13 on esitetty eräs variaatio vesiputousmallista. [56]



Kuva 13. Esimerkki vesiputousmallista.

Vesiputousmalli soveltuu suunnittelumalliksi ohjelmistoille joille asetetut vaatimukset ovat tarkkoja ja yksiselitteisiä, eivätkä ne muutu prosessin aikana. Mikäli asiakasvaatimukset ovat epäselviä ei vesiputousmalli ole oikea valinta suunnittelumenetelmäksi. Protoilumallit, erilaiset inkrementaaliset mallit tai ketterät menetelmät tarjoavat silloin paremman lopputuloksen. Mobiilijärjestelmän toteutukseen valittiin vesiputousmalli sen selkeyden ja helpon ymmärrettävyyden vuoksi. Myös asiakasvaatimusten selkeys oli yksi valintaperuste. [56]

6.2 Esitutkimus

Esitutkimuksen tarkoituksena on asettaa yleiset vaatimukset järjestelmälle tai ohjelmistolle. Nämä ns. asiakasvaatimukset määrittelevät asiakkaan tarpeen jonkin ongelman ratkaisemiseksi. Esitutkimuksen keskeisenä päämääränä on ongelman sekä asiakkaan todellisten tarpeiden ymmärtäminen. Esitutkimus antaa vastauksen kysymykseen miksi järjestelmä tai ohjelmisto pitäisi toteuttaa. Esitutkimuksen

perusteella tehdään päätös järjestelmän tai ohjelmiston toteuttamisesta tai toteuttamatta jättämisestä. [56]

Mobiilijärjestelmän osalta mitään varsinaista esitutkimus ei ole tehty. Hanke pohjautuu työlupakäytännössä havaittuun puutteeseen ja se on lisätty LOMAX-laitostietojärjestelmän kehityslistalle vuonna 2010. Tuolloin vaatimuksena on ollut saada työlupakuittaukset laitostietojärjestelmään, jotta ne ovat jälkikäteen tarkastettavissa. Vasta myöhemmin on syntynyt ajatus toteuttaa vaatimus mobiilijärjestelmällä.

6.3 Määrittely

Määrittelyvaiheessa esitutkimuksessa asetettuja asiakasvaatimuksia analysoidaan ja niistä johdetaan ohjelmistovaatimukset, jotka määrittelevät toteutettavan järjestelmän tai ohjelmiston. Asiakasvaatimuksien analysoinnin tarkoituksena on asiakasvaatimusten tarpeen ja tärkeyden määritteleminen sekä mahdollisten päällekkäisten tai ristiriitaisten vaatimuksien yhteen sovittaminen. [56]

6.3.1 Vaatimukset

Vaatimus on ehto tai toiminto, jonka järjestelmän tulee täyttää tai toteuttaa. Vaatimukset luokitellaan toiminnallisiin ja ei-toiminnallisiin vaatimuksiin. Lisäksi järjestelmän toteutukselle voi olla reunaehtoja ja rajoitteita. [56]

Toiminnalliset vaatimukset määrittelevät käyttäjän tarvitsemat toiminnallisuudet. Toiminnalliset vaatimukset määrittelevät mitä järjestelmän tulee tarjota, kuinka järjestelmän tulee reagoida eri syöttötietoihin ja kuinka järjestelmän tulee käyttäytyä eri tilanteissa. Toiminnallisia vaatimuksia ovat mm. järjestelmän rajapinnat ulkomaailmaan (käyttöliittymä, liittymät muihin järjestelmiin), järjestelmän käsittelemät ja tallentamat tiedot käsittelysääntöineen sekä järjestelmän toiminnot. Ei-toiminnalliset vaatimukset ovat yleisempiä vaatimuksia kuten esim. suorituskyky, luotettavuus, turvallisuus ja siirrettävyys. Reunaehtoja ja rajoitteita ovat tyypillisesti laitteistolle ja ohjelmistolle asetetut rajoitteet kuten hinta, toteutusaikataulu ja käytettävät työkalut. [56]

Mobiilijärjestelmän toiminnallisia vaatimuksia ovat:

- Käyttöliittymän tulee olla selkeä ja mahdollisimman yksinkertainen.
- Käyttöliittymän tulee olla suomenkielinen.
- Mobiililaitteen tulee lukea yleisempiä viivakoodeja.
- Mobiililaite ei saa olla henkilökohtainen vaan laite tulee olla siirrettävissä toiselle käyttäjälle esim. vuoron vaihtuessa.
- Tiedonsiirtoprosessin mobiililaitteen ja laitostietojärjestelmän välillä tulee olla helppokäyttöinen ja luotettava.

Ei toiminnallisia vaatimuksia ovat:

- Mobiililaitteen ja –sovelluksen tulee olla helppokäyttöisiä.
- Mobiililaitteen tulee toimia luotettavasti teollisuusympäristössä.
- Toimenpidekirjaukset eivät saa hävitä mobiililaitteesta.

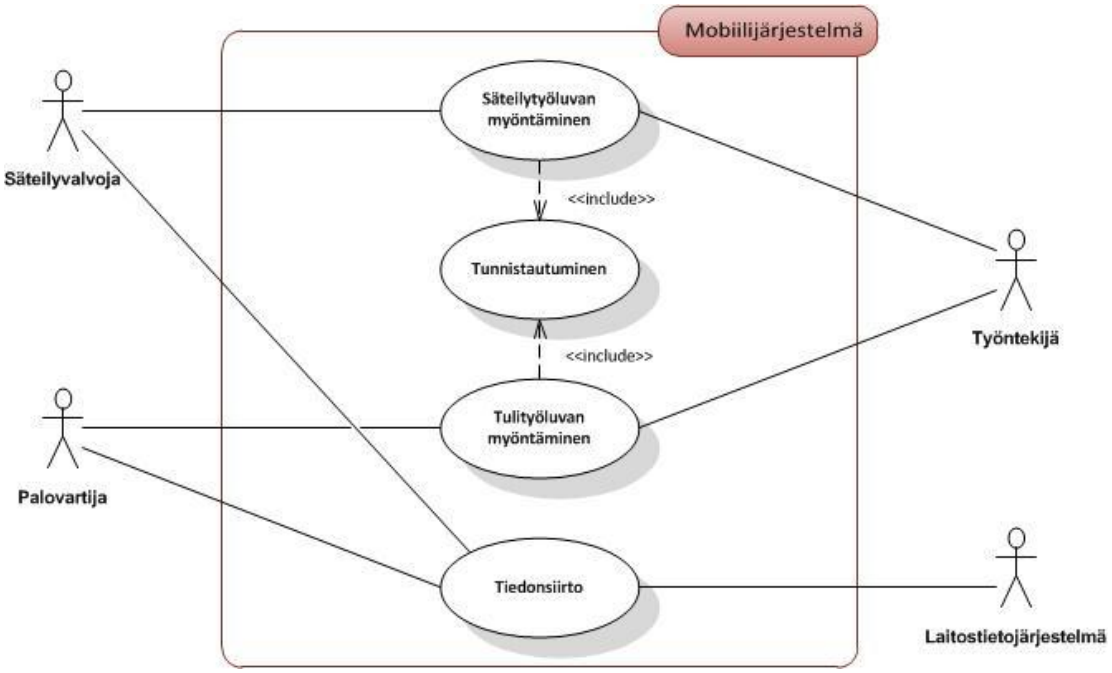
Reunaehtoja ja rajoitteita mobiilijärjestelmälle ovat:

- Sovelluksen tulee toimia nykyisessä mobiililaitteessa.
- Sovelluksen tulee toimia yhteydettömästi (Offline).
- Tiedonsiirron tulee tapahtua CBus-palveluväylää hyväksikäyttäen.

6.3.2 Käyttötapaukset

Käyttötapausten tarkoituksena on kuvata järjestelmän tai ohjelmiston toiminnallisuus käyttäjän näkökulmasta, käyttäjän suorittamina tapahtumasarjoina. Käyttötapaukset voidaan kuvata sekä sanallisesti että visuaalisesti käyttötapauskaaviossa. [56]

Mobiilijärjestelmän käyttötapauskaavio on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Mobiilijärjestelmän käyttötapauskaavio.

Käyttötapaus 1

Käyttötapauksen nimi: Tulityöluvan myöntäminen.

Tavoite: Myöntää työlle tulityölupa.

Toimijat: Palovartija, työntekijä.

Esiehdot: Hyväksytty työmääräin, jolla tulityölupa vaatimus.

Käynnistyminen: Työntekijä ottaa yhteyden palovartijaan.

Peruskulku: Työntekijä esittää työmääräinpaperin palovartijalle. Palovartija varmistaa että tulityöluvassa määrätyt turvallisuustoimet on toteutettu ja myöntää tulityön aloitusluvan kirjaamalla sen työkohteessa olevaan työmääräinpaperiin. Palovartija kirjautuu mobiilisovellukseen, lukee työntekijän henkilönumeron viivakoodin henkilökortista sekä työnumeron viivakoodin työmääräimestä, valitsee toimenpiteen valintalistalta, kirjaa tarvittaessa lisätietoja ja lopuksi tallentaa toimenpidekirjauksen.

Lopputulos: Työ on valmis aloitettavaksi. Toimenpide on kirjattu mobiililaitteeseen odottamaan siirtoa laitostietojärjestelmään.

Käyttötapaus 2

Käyttötapauksen nimi: Säteilytyöluvan myöntäminen.

Tavoite: Myöntää työlle säteilysuojelulupa.

Toimijat: Säteilyvalvoja, työntekijä.

Esiehdot: Hyväksytty työmääräin jolla säteilytyölupa.

Käynnistyminen: Työntekijä ottaa yhteyden säteilyvalvojaan.

Peruskulku: Työntekijä esittää työmääräinpaperin säteilyvalvojalle. Säteilyvalvoja varmistaa työkohteen säteilysuojelulliset olosuhteet ja myöntää säteilytyön aloitusluvan kirjaamalla sen työkohteessa olevaan työmääräinpaperiin. Säteilyvalvoja kirjautuu mobiilisovellukseen, lukee työntekijän henkilönumeron viivakoodin henkilökortista sekä työnumeron viivakoodin työmääräimestä, kirjaa tarvittaessa lisätietoja ja lopuksi tallentaa toimenpidekirjauksen.

Lopputulos: Työ on valmis aloitettavaksi. Toimenpide on kirjattu mobiililaitteeseen odottamaan siirtoa laitostietojärjestelmään.

Käyttötapaus 3

Käyttötapauksen nimi: Tiedonsiirto laitostietojärjestelmään.

Tavoite: Siirtää mobiililaitteeseen tallennetut toimenpidekirjaukset laitostietojärjestelmään.

Toimijat: Mobiilikäyttäjä (säteilyvalvoja, palovartija).

Esiehdot: Tiedonsiirron mahdollistava telakointiasemalla varustettu työasema käytettävissä.

Käynnistyminen: Sopiva ajankohta tiedonsiirrolle (tauko, työpäivä päättymässä).

Peruskulku: Mobiilikäyttäjä kirjautuu työasemaan ja asettaa mobiililaitteen telakointiasemaan. Työasemassa käynnistyy automaattisesti sovellus, joka siirtää

mobiililaitteessa olevat toimenpidekirjaukset työasemaan ja siitä edelleen laitostietojärjestelmään. Lopuksi sovellus poistaa toimenpidekirjaukset mobiililaitteesta.

Lopputulos: Mobiililaite on valmis uusia toimenpidekirjauksia varten.

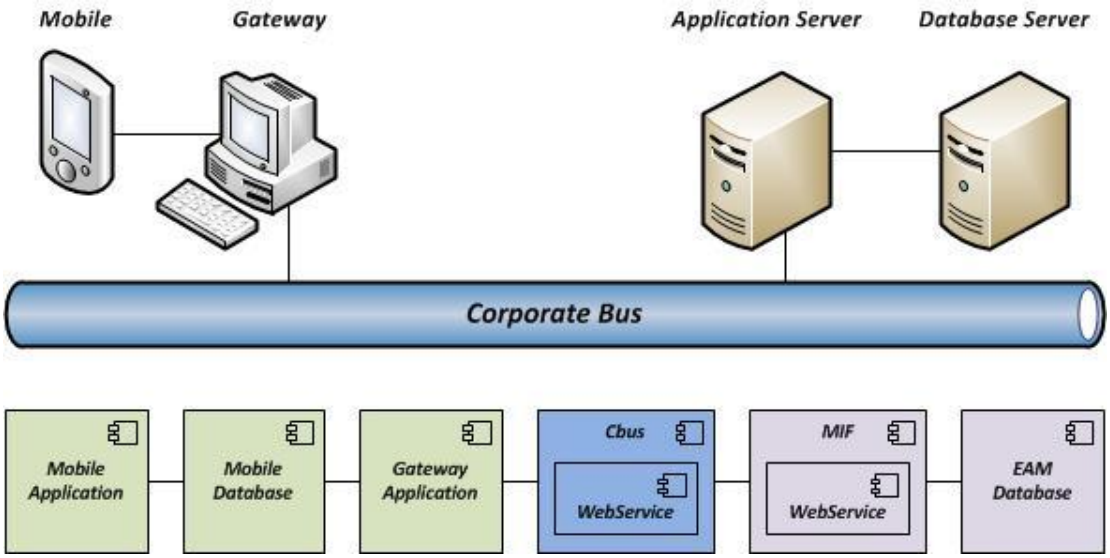
6.4 Suunnittelu

Suunnitteluvaiheessa määrittelyssä kuvatuille toiminnoille suunnitellaan toteutus. Suunnittelu jaetaan arkkitehtuurisuunnitteluun ja moduulisuunnitteluun. Arkkitehtuurisuunnittelun tarkoituksena on kuvata tulevan järjestelmän tai ohjelmiston yleinen rakenne ja osittaa se pienempiin itsenäisiin osakokonaisuuksiin eli moduuleihin sekä määritellä moduulien väliset rajapinnat. Moduulisuunnittelussa kunkin moduulin sisäinen rakenne määritellään. [56]

6.4.1 Arkkitehtuuri- ja moduulisuunnittelu

Mobiilijärjestelmän arkkitehtuuri on kuvattuna kuvassa 15. Mobiilijärjestelmä koostuu seuraavista moduuleista:

- Mobiilisovellus: Mobiililaitteessa käytettävä sovellus, jolla käyttäjä suorittaa toimenpidekirjauksia.
- Mobiilitietokanta: Mobiililaitteessa oleva tietokanta, jonne toimenpidekirjaukset tallennetaan.
- Yhdyskäytäväsovellus: Työasemasovellus, joka käynnistyy automaattisesti mobiililaitteen telakoinnin yhteydessä. Siirtää mobiilitietokannan työasemaan ja siirtää tiedot tietokannan ja palveluväylän web-palvelun välillä.
- Web-palvelu palveluväylässä: web-palvelu, joka reitittää viestit yhdyskäytäväsovelluksen ja sovelluspalvelimessa olevan web-palvelun välillä.
- Web-palvelu sovelluspalvelimella: MIF-rajapinnassa toteutettu web-palvelu joka hakee ja tallentaa tiedot laitostietojärjestelmän tietokannasta/-kantaan.

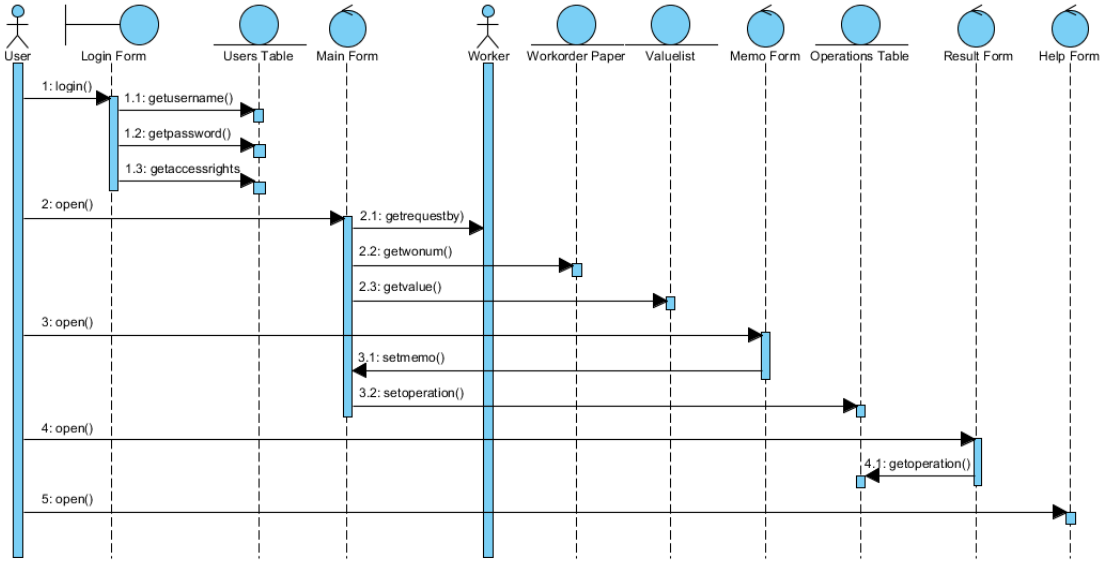


Kuva 15. Mobiilijärjestelmän arkkitehtuuri.

Mobiilisovelluksen, mobiilitietokannan sekä yhdyskäytäväsovelluksen toteutus sisältyvät tämän opinnäytetyön toteutukseen. TCS vastaa Maximo MIF web-palvelun toteutuksesta ja CITS palveluväylätoteutuksesta.

6.4.2 Mobiilisovellus

Mobiilisovelluksen tulee toteuttaa määrittelyvaiheessa kuvattu toimenpidekirjaus (käyttötapaukset 1 ja 2). Toimenpidekirjaukseen liittyvät vaiheet on kuvattu tapahtumasekvenssikaaviossa kuvassa 16.

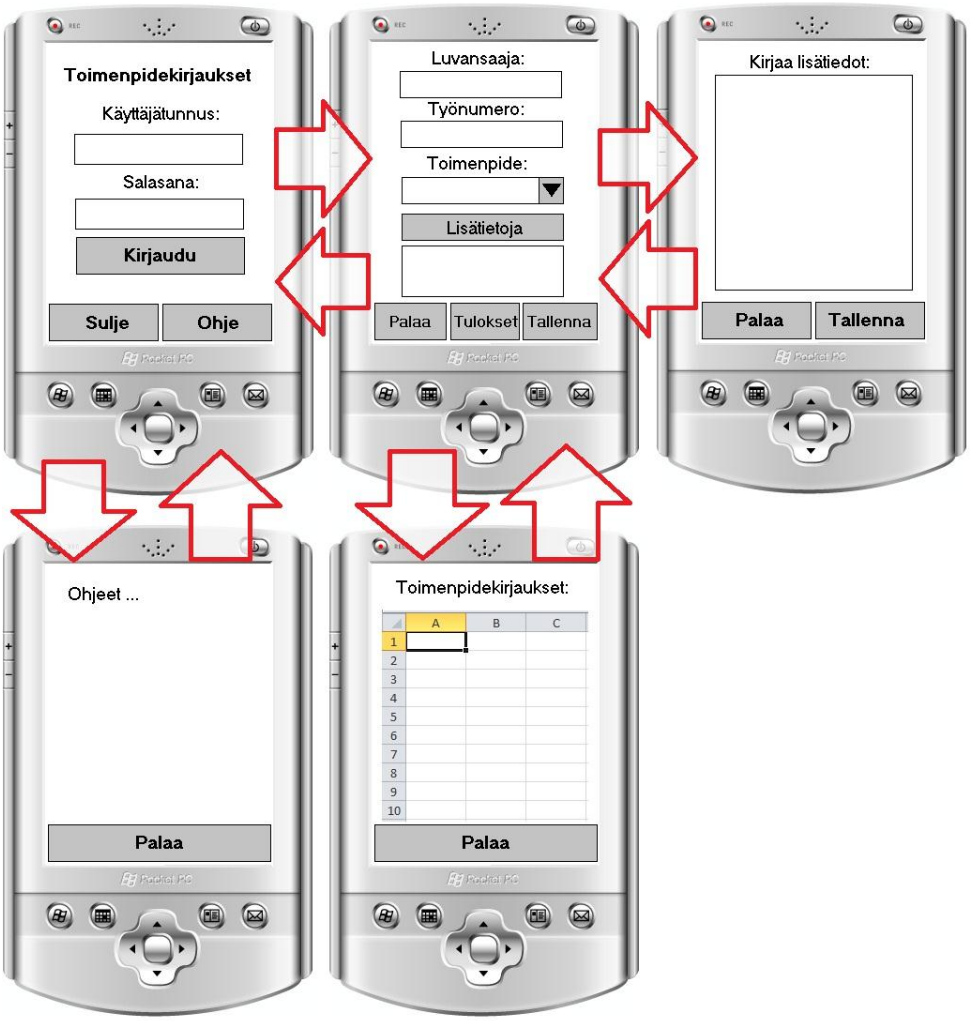


Kuva 16. Tapahtumasekvenssikaavio toimenpidekirjauksesta.

Mobiilisovelluksen käyttöliittymä koostuu viidestä eri näytöstä, joita ovat

- Kirjautumisnäyttö, josta käyttäjä kirjautuu sovellukseen.
- Päänäyttö, jossa toimenpidekirjaukset tehdään ja tallennetaan.
- Lisätietonäyttö, jossa kirjataan toimenpidekirjaukseen liittyvät lisätiedot.
- Ohjenäyttö, joka sisältää sovelluksen peruskäyttöohjeet käyttäjälle.
- Näyttö tallennetuille toimenpidekirjauksille.

Kuvassa 17 on esitelty mobiilisovelluksen käyttöliittymän eri näytöt ja siirtymät niiden välillä.

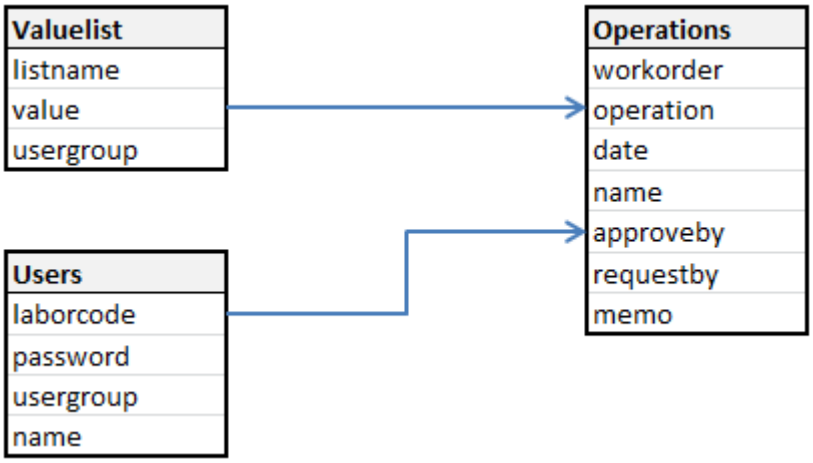


Kuva 17. Mobiilisovelluksen käyttöliittymän näyttömallit.

6.4.3 Mobiilitietokanta

Tietokannan rakenne on kuvattu kuvassa 18. Mobiilitietokanta koostuu kolmesta taulusta:

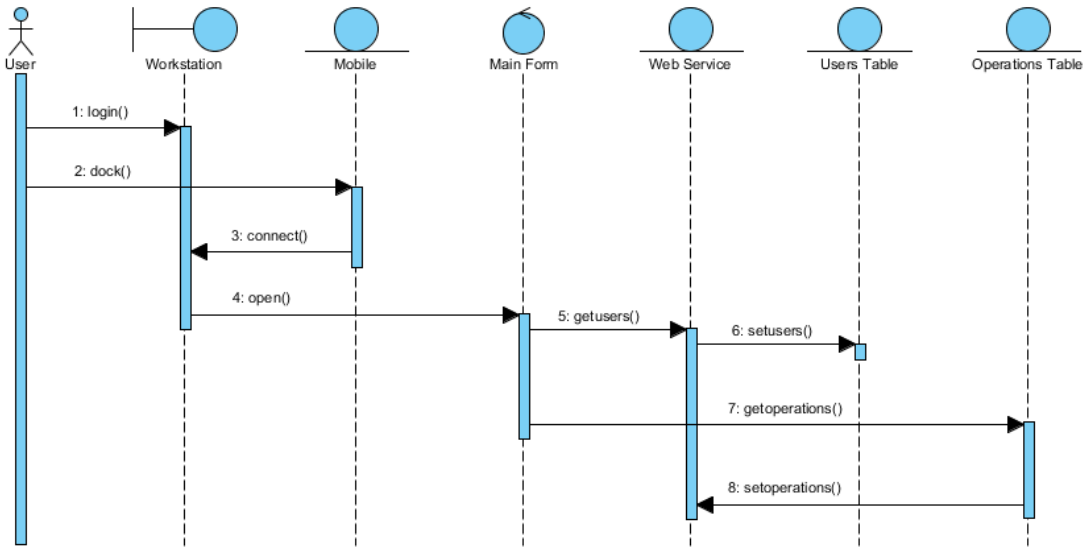
- Users: sisältää mobiilisovelluksen käyttäjät.
- Valuelist: sisältää valittavissa olevat toimenpiteet.
- Operations: sisältää tallennetut toimenpidekirjaukset.



Kuva 18. Mobiilitietokannan rakenne.

6.4.4 Yhdyskäytäväsovellus

Yhdyskäytäväsovelluksen tulee toteuttaa määrittelyvaiheessa kuvattu tiedonsiirto (käyttötapaus 3). Tiedonsiirtoon liittyvät vaiheet on kuvattu tapahtumasekvenssikaaviossa kuvassa 19.



Kuva 19. Tapahtumasekvenssikaavio tiedonsiirrosta.

6.5 Toteutus

Toteutusvaiheessa eri ohjelmistomoduulit toteutetaan valitulla ohjelmointikielellä. Lopuksi eri moduulit integroidaan toimivaksi kokonaisuudeksi [56].

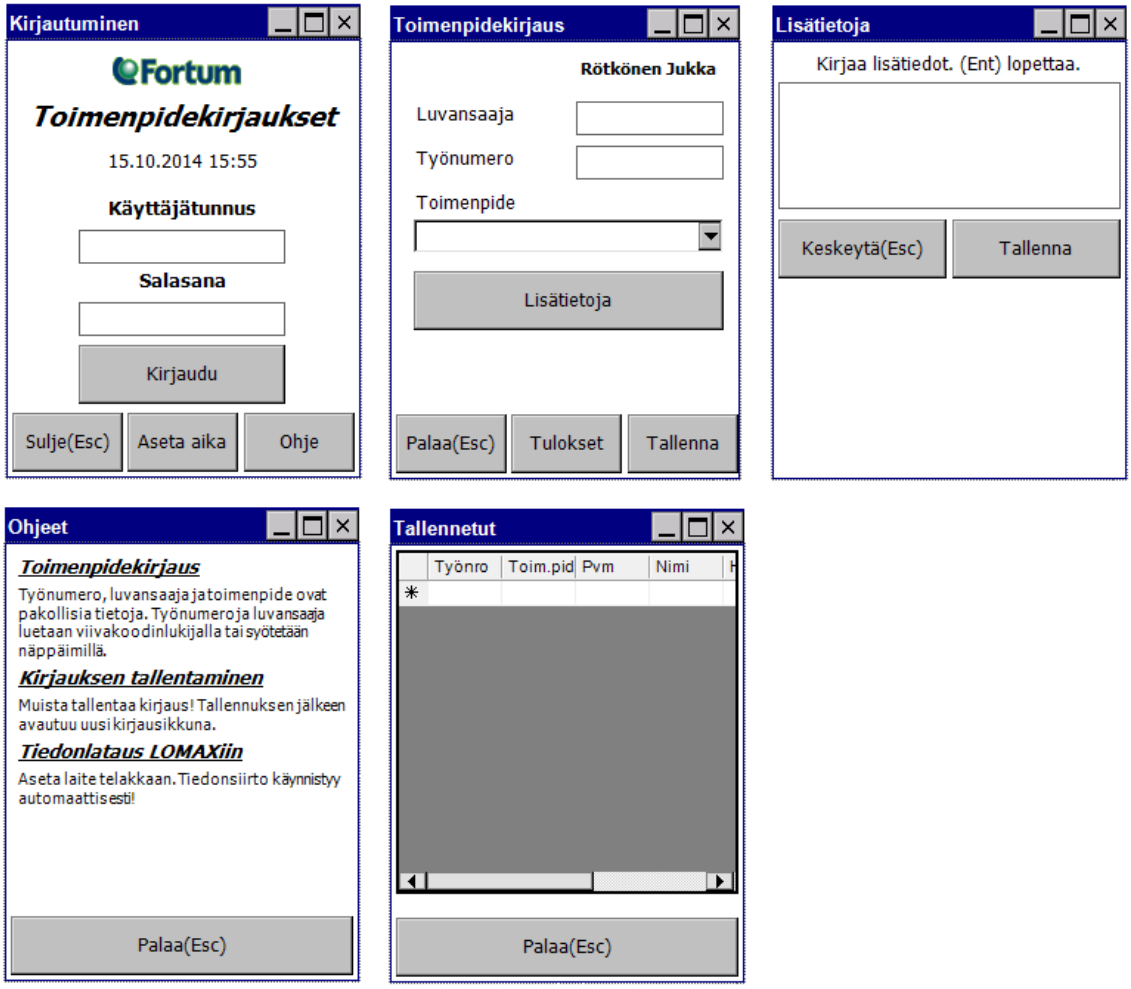
6.5.1 Sovelluskehitysympäristö

Sovelluskehitys toteutettiin Microsoft Visual Studio -sovelluskehitysympäristössä. Yhdyskäytävä sovellus toteutettiin versiolla 2010 mutta mobiilisovellus vanhemmalla 2008-versiolla, sillä uudemmalla versiolla ei ole enää mahdollista kehittää sovelluksia Microsoft Windows CE -käyttöjärjestelmään. Visual Studio on sovelluskehitysympäristö, jolla voidaan toteuttaa web-sovelluksia, web-palveluita, työasemasovelluksia sekä mobiilisovelluksia. Käytettävissä olevat ohjelmointikielet Visual Basic, Visual C# ja Visual C++ käyttävät samaa integroitua kehitysympäristöä (Integrated Development Environment, IDE), joka tarjoaa lukuisia työkaluja mm. ohjelmakoodin kirjoittamiseen, käyttöliittymäsuunnitteluun sekä ohjelmakoodin kääntämiseen ja vianjäljitykseen. Ohjelmointikielet myös hyödyntävät .NET Framework -toiminnallisuuksia. [57]

.NET Framework on sovellusten suoritusympäristö, joka tarjoaa erilaisia palveluita suoritettaville sovelluksille. Sen pääkomponentit ovat usean eri ohjelmointikielen samanaikaisen käytön mahdollistava ajoympäristö (Common Language Runtime, CLR) sekä .NET Framework -ohjelmakirjasto. Usean eri ohjelmointikielen samanaikainen käyttö perustuu siihen että lähdekielinen ohjelmakoodi käännetään ensin ns. välikielelle (Microsoft Intermediate Language, MSIL) joka vielä käännetään konekielelle JIT-kääntäjällä (Just In Time) sovelluksen suorituksen aikana. .NET Framework -ohjelmakirjasto tarjoaa suuren määrän uudelleenkäytettäviä luokkia, rajapintoja ja arvotyyppejä, joita voidaan käyttää sovelluksia ja palveluita kehitettäessä. [58]

6.5.2 Mobiilisovelluksen toteutus

Mobiilisovellus toteutettiin Microsoft Visual Studio 2008 -sovelluskehitysympäristössä käyttäen C#-ohjelmointikieltä. Mobiilisovelluksen käyttöliittymä koostuu viidestä näytöstä (kuva 20).



Kuva 20. Käyttöliittymän näytöt.

Mobiilisovellus käynnistyy kirjautumisnäytölle (*Kirjautuminen*). Samassa yhteydessä tarkistetaan mobiililaitteen kello. Tämä suoritetaan siksi että mobiililaitteelle mahdollisesti tehty uudelleenkäynnistys (Hard Reset) alustaa laitteen ja asettaa samalla kellon oletusaikaan, joka poikkeaa todellisesta ajasta. Jos vuosi on < 2014 avautuu käyttöjärjestelmän *Date and Time* –sovellus, jossa käyttäjä voi asettaa päiväyksen ja

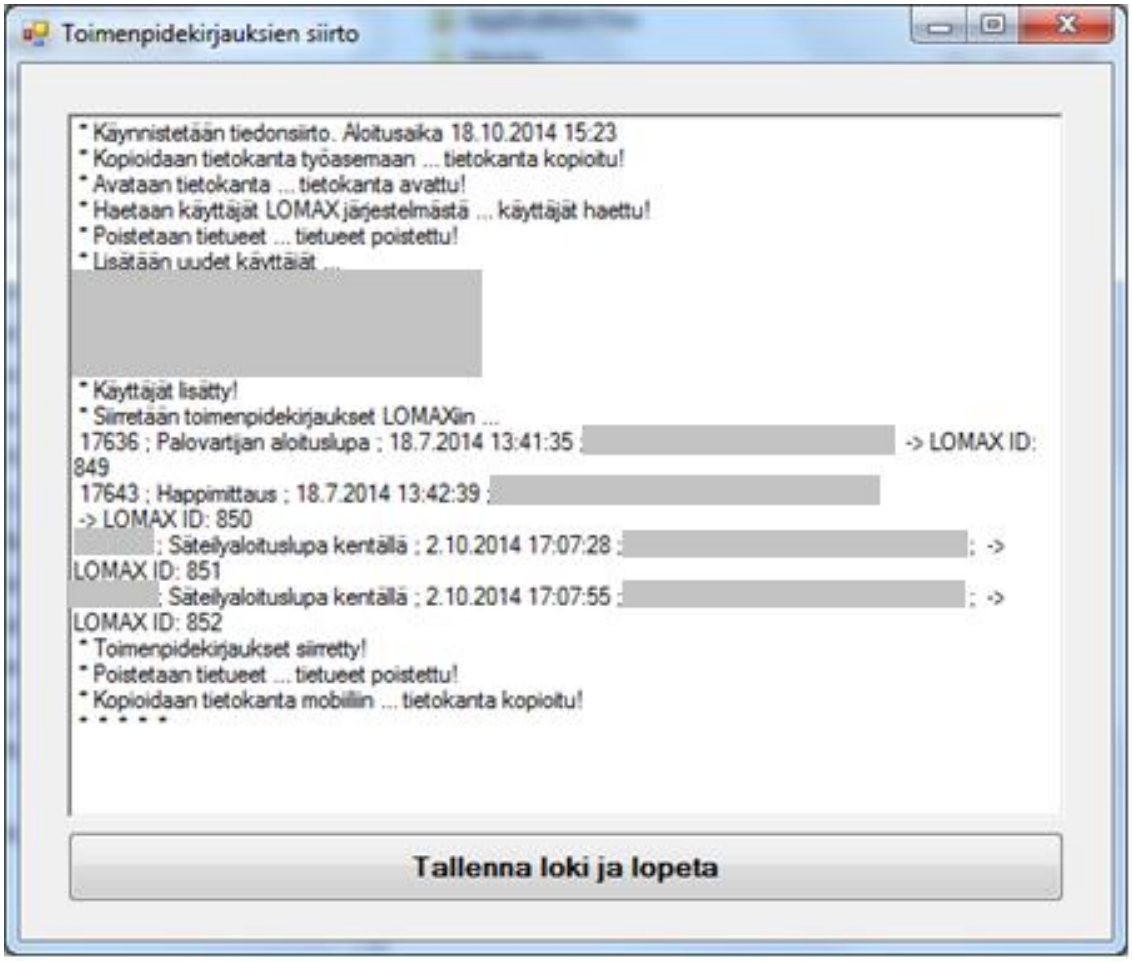
ajan. Aikaa voidaan tarvittaessa käydä muuttamassa muulloinkin. *Aseta aika* –painike avaa *Date and Time* –sovelluksen. *Ohje* –painike avaa näytön (*Ohjeet*) jonne on kerätty mobiilisovelluksen yleisohjeita.

Onnistuneen kirjautumisen jälkeen avautuu sovelluksen päänäyttö (*Toimenpidekirjaus*), jossa toimenpidekirjaukset suoritetaan. Näytön ylälaitaan tulostuu sovellukseen kirjautuneen käyttäjän henkilönumero ja nimi. *Luvansaaja* sekä *Työnumero* –kenttiin voidaan tiedot joko lukea viivakoodinlukijalla tai syöttää mobiililaitteen näppäimistöltä. *Toimenpide* valitaan valintalistalta. *Lisätietoja* –painike avaa näytön (*Lisätietoja*), jossa voidaan kirjata tapahtumakirjaukseen liittyvää lisäinformaatiota. Tapahtumakirjaus voidaan tallentaa (*Tallenna*), jolloin näytön kentät tyhjenevät uutta kirjausta varten tai näytöltä voi poistua tallentamatta (*Palaa*). Päänäytöltä voi myös siirtyä näytölle (*Tallennetut*), jossa voi tarkastella tallennettuja kirjauksia.

6.5.3 Yhdyskäytäväsovelluksen toteutus

Yhdyskäytäväsovellus toteutettiin Microsoft Visual Studio 2010 -sovelluskehitysympäristössä käyttäen C#-ohjelmointikieltä. Sovelluksen käyttöliittymän toteutus on esitetty kuvassa 21. Käyttöliittymä avautuu sovelluksen käynnistyessä ja samalla käynnistyy tiedonsiirtoprosessi, joka koostuu seuraavista vaiheista:

- Tulostetaan aloitusaika käyttöliittymään.
- Kopioidaan tietokanta mobiililaitteelta työaseman levylle.
- Avataan tietokanta.
- Haetaan käyttäjätiedot palveluväylän web-palvelusta.
- Poistetaan vanhat käyttäjätiedot tietokannasta.
- Lisätään uudet käyttäjätiedot tietokantaan.
- Lähetetään toimenpidekirjaukset palveluväylän web-palveluun.
- Poistetaan toimenpidekirjaukset tietokannasta.
- Suljetaan tietokanta.
- Kopioidaan tietokanta työasemasta mobiililaitteeseen.



Kuva 21. Yhdyskäytäväsovelluksen käyttöliittymä.

Mikäli tiedonsiirtoprosessin aikana havaitaan virhe, keskeytetään prosessi ja käyttöliittymään tallentuneet tiedot tallennetaan loki-tiedostoksi työaseman levylle virheen myöhempää analysointia varten. Loki-tiedoston voi myös tallentaa käyttöliittymän painikkeesta.

Yhdyskäytäväsovelluksen tietolähteitä ovat mobiilisovelluksen kanssa yhteinen mobiilitietokanta sekä konsernin palveluväylässä oleva web-palvelu. Palveluväylän web-palvelun tuottaman WSDL-tiedoston avulla on ohjelmaan luotu palvelureferenssi, jonka avulla web-palvelua voidaan käyttää. Palvelureferenssi sisältää seuraavat toiminnot:

- GetLaborsRequest: lähettää pyynnön käyttäjätiedoista web-palveluun.
- GetLaborsResponse: palauttaa käyttäjätiedot web-palvelusta.

- UpdateApprovalsRequest: lähettää tapahtumakirjaukset web-palveluun.
- UpdateApprovalsResponse: palauttaa kuittauksen siirrosta, myös mahdolliset virheilmoitukset.

6.6 Testaus

Testauksella tarkoitetaan suunnitelmallista virheiden etsimistä ohjelmistosta. Virheellä tarkoitetaan poikkeamaa määrittelystä eli ohjelma ei toimi toivotulla tavalla. Tämä korostaa määrittelyvaiheen merkitystä, mitä tarkemmin määrittely on tehty sitä vähemmän syntyy tulkinnallisia erimielisyyksiä toimittajan ja asiakkaan välillä. Testaus voidaan jakaa moduuli-, integrointi- ja järjestelmätestaukseen. Moduulitestauksessa testataan yksittäistä ohjelmamoduulia ja testauksen tuloksia verrataan moduulisuunnittelun määrittelyihin. Integraatiotestauksessa yhdistellään ohjelmamoduuleja ja testataan niiden yhteistoimintaa. Testaustuloksia verrataan arkkitehtuurisuunnittelun määrittelyihin. Järjestelmätestauksessa testataan koko järjestelmää ja tuloksia verrataan toiminnallisiin määrittelyihin. [56]

Mobiilijärjestelmän testausta varten oli käytettävissä testiympäristöt niin mobiili- ja yhdyskäytäväsovelluksille kuin palveluväylälle sekä laitostietojärjestelmälle.

6.6.1 Mobiili- ja yhdyskäytäväsovelluksen testaus

Mobiilisovelluksen testauksessa hyödynnettiin Visual Studio 2008 -sovelluskehitysympäristö tarjoamaa helppoa tapaa testata mobiilisovelluksia. Ohjelma voitiin ladata suoraan työasemaan liitettyyn mobiililaitteeseen testausta varten. Yhdyskäytäväsovellusta voitiin myös testata suoraan sovelluskehitysympäristössä. Samalla voitiin suorittaa integraatiotestausta yhdyskäytäväsovelluksen ja mobiilisovelluksen välillä.

6.6.2 Järjestelmätestaus

Järjestelmätestaus suoritettiin kehittäjien ja loppukäyttäjien toimesta testiympäristössä sen jälkeen kun eri moduulit olivat valmistuneet. Testaustapahtumaan osallistuin laitostietojärjestelmän toimittajan TCS:n edustaja, konsernin palveluväylän edustaja sekä voimalaitoksen loppukäyttäjien edustajia. Testaus suoritettiin seuraavan testitapauksen mukaisesti.

Testitapaus

Toimenpiteet laitostietojärjestelmässä:

- Luodaan työmääräin, jossa on työlupavaatimus.
- Luodaan työlupa.
- Tulostetaan työmääräin.
- Luodaan testauksessa tarvittavat henkilöt: työntekijä ja mobiilikäyttäjä.
- Lisätään mobiilikäyttäjä vaadittavaan käyttöoikeusryhmään (palovartija/ säteilyvalvoja).

Toimenpiteet yhdyskäytäväsovelluksessa:

- Telakoidaan mobiililaite tiedonsiirtoa varten.
- Varmistetaan että henkilötiedot siirtyvät mobiililaitteeseen.

Toimenpiteet mobiililaitteessa:

- Irrotetaan mobiilaite telakasta.
- Kirjaudutaan mobiilisovellukseen mobiilikäyttäjän tunnuksilla.
- Suoritetaan toimenpidekirjaus käyttäen edellä luotua työmääräintä ja työntekijää.
- Tallennetaan toimenpidekirjaus.

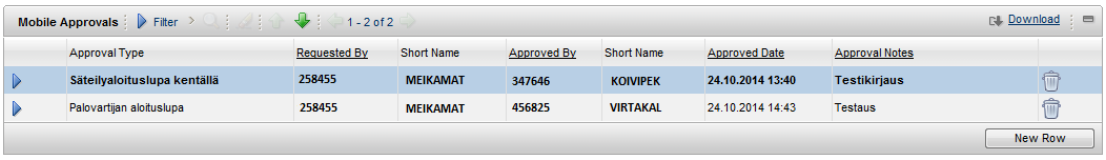
Toimenpiteet yhdyskäytäväsovelluksessa:

- Telakoidaan mobiililaite tiedonsiirtoa varten.
- Varmistetaan toimenpidekirjauksien siirtyminen laitostietojärjestelmään.

Toimenpiteet laitostietojärjestelmässä:

- Varmistetaan tapahtumakirjauksen tallentuminen järjestelmään.

Testaus onnistui niin säteilytyölupien kuin tulityölupienkin osalta. Kuvassa 22 on esimerkki laitostietojärjestelmään palautuneista ja tallennetuista toimenpidekirjauksista.



Kuva 22. Toimenpidekirjaukset laitostietojärjestelmään työmääräin sovelluksella.

6.7 Käyttöönotto

Mobiilijärjestelmän käyttöönotto on sidoksissa uuden laitostietojärjestelmän käyttöönottoon ja tapahtuu vuoden 2014 lopulla. Ennen käyttöönottoa suoritettavia toimenpiteitä ovat mm. tuotantoympäristön toteuttaminen niin laitostietojärjestelmän kuin palveluväylän osalta, mobiililaitteiden ja yhdyskäytäväsovelluksien asennukset sekä käyttäjäkoulutus.

6.8 Ylläpito

Ohjelmiston ylläpidolla tarkoitetaan ohjelmiston kehittämistä käyttöönoton jälkeen. Ylläpito jakautuu korjaavaan, mukauttavaan ja täydentävään ylläpitoon. Korjaava ylläpito kohdistuu ohjelman virheiden korjaamiseen, adaptiivisessa ylläpidossa tehdään muutoksia ohjelmaan ulkoisten vaatimusten muuttuessa ja täydentävässä ylläpidossa kehitetään ohjelmaa muuttamalla tai lisäämällä ohjelmaan uusia toiminnallisuuksia. [56]

Loviisan voimalaitoksella ohjelmisto- ja järjestelmäylläpito perustuu ylläpitosopimuksiin joissa asetetaan ylläpidolle tietyt vaatimukset. Ylläpitosopimuksessa määritellään sopimuksen piiriin kuuluvat palvelut ja palvelutasot

mm. milloin palvelua tarjotaan (esim. 24/7 tai normaali työaika 8-16), miten virheiden prioriteetti määräytyy ja millainen korjausaika sallitaan eri prioriteettisille virheille sekä mikä on järjestelmän tai ohjelmiston käytettävyysvaatimus (esim. 99,5%).

LOMAX-laitostietojärjestelmä ja palveluväylä on ympärivuorokautisen ylläpidon piirissä. Mobiililaitteilla on ylläpitosopimus, jonka puitteessa vialliset laitteet korjataan viiden vuorokauden kuluessa. Ylläpitovastuu mobiili- ja yhdyskäytäväsovelluksista kuulu voimalaitoksen tietohallinnolle.

7 JOHTOPÄÄTOKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa Loviisan ydinvoimalaitokselle mobiilijärjestelmä, jonka avulla turvallisuudelle tärkeiden työlupien jälkiseurantaa voitaisiin parantaa. Työlupakäytännön tarkoituksena on varmistaa jo etukäteen ennen työn aloittamista ettei siitä aiheudu vaaraa työntekijälle eikä ympäristölle. Työlupaan liittyvien turvallisuustoimenpiteiden tekemättä jättäminen voi aiheuttaa pahimmillaan ihmishenkien menettämisen ja koko tuotantoprosessin keskeytymisen. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi säiliötyössä jos turvatoimena suoritettava palavien kaasujen mittaus jätetään tekemättä, jolloin on vaarana että säiliössä tapahtuu räjähdys.

Voimalaitoksella on kokemusta erilaisista mobiilijärjestelmistä jo yli kahden vuosikymmenen ajalta. 2000-luvulla toteutetut ja osin jo haudatut mobiilijärjestelmät ovat todistaneet sen ettei teollisuusolosuhteissa tarvita monimutkaisia vaikeakäyttöisiä sovelluksia vaan yksinkertaisuus on valttia. Tehtäväkohtaiset ja helppokäyttöiset mobiililaitteet ja -sovellukset ovat käyttäjien mieleen. Tämä totuus toisaalta latisti hieman tämän opinnäytetyö toteutusta. Kuvitelmat hienosta monipuolisesta mobiilisovelluksesta karisivat jo määrittelyvaiheen aikana. Vanha sanonta *”Keep It Simple and Stupid”* on osuva termi kuvaamaan projektin tavoitetta.

Mobiilijärjestelmä toteutettiin monikansallisena projektina. Laitostietojärjestelmän toimittaja TCS, toteutti oman osuutensa Intiassa. Myös konsernin palveluväylätoteutusta tehtiin ulkomaalaisvoimin. Tämä toisaalta teki prosessista mielenkiintoisen mutta myös haastavan. Vaadittiin jokunen telekonferenssi ja liuta sähköposteja jotta päästiin yhteisymmärrykseen projektin tavoitteista. Kaikesta huolimatta mobiilijärjestelmä valmistui aikataulussa.

Mobiilijärjestelmän käyttöönotto tapahtuu uuden laitostietojärjestelmän käyttöönoton yhteydessä vuoden 2014 lopulla. Vasta sen jälkeen todella nähdään onko mobiilijärjestelmän toteutuksessa onnistuttu.

LÄHTEET

[1] Fortum lyhyesti. [www-sivut]. Fortum. Päivitetty: 2.9.2014. [viitattu 18.9.2014]. Saatavissa: http://www.fortum.com/fi/konserni/fortum-lyhyesti/pages/default.aspx.

[2] Ydinvoima. [www-sivut]. Fortum. Päivitetty: 6.5.2013. [viitattu 18.9.2014]. Saatavissa: http://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/ydinvoima/pages/default.asp.

[3] Voimalaitosesite. [verkkodokumentti]. Fortum. [viitattu 18.9.2014]. Saatavissa: https://www.fortum.fi/SiteCollectionDocuments/Energy%20production/106-voimalaitosesite_fin.pdf.

[4] Ydinenergialaki 11.12.1987/990. [www-sivut]. Finlex. [viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1987/19870990.

[5] Ydinenergia-asetus 12.2.1988/161. [www-sivut]. Finlex. [viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1988/19880161

[6] Koutaniemi P., Reponen H., Salminen P., Sandberg J. & Varjoranta T. Ydinenergialainsäädäntö ja –hallinto. [verkkodokumentti]. Säteilyturvakeskus. [viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/sv_FI/kirjasarja5/_files/12222632510012673/default/kirjasarjaV_ydinturvallisuus_9.pdf.

[7] Ydinenergia-alan kansainvälinen toiminta. [www-sivut]. Työ- ja elinkeinoministeriö. [viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: https://www.tem.fi/energia/ydinenergia/ydinenergia-alan_hallinto/ydinenergia-alan_kansainvalinen_toiminta.

[8] Ydinturvallisuus. [www-sivut]. Työ- ja elinkeinoministeriö. [viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: https://www.tem.fi/energia/ydinenergia/ydinturvallisuus.

[9] Ydinturvallisuutta koskeva yleissopimus 24.10.1996/74. [www-sivut]. Finlex. [viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsviite/1996/19960074.

[10] Käytetyn polttoaineen ja radioaktiivisen jätteen huollon turvallisuutta koskeva yleissopimus 18.6.2001/36. [www-sivut]. Finlex. [viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsviite/2001/20010036.

[11] Ydinvoimalaitosohjeet. [www-sivut]. Stuklex. [viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: http://plus.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/luettelo/ydinvoimalaitosohjeet.

[12] Säteilyturvakeskus. [www-sivut]. Päivitetty 14.3.2014. [viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/lainsaadanto.

[13] YVL A.3 Ydinlaitoksen johtamisjärjestelmä 2.6.2014. [www-sivut]. Stuklex. [viitattu 24.9.2014]. Saatavissa: http://plus.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVLA-3.

[14] Mäkinen P. 2014. Fortumin luvanvaraisen ydinvoimatoiminnan johtamisjärjestelmä. LO1-G1-00002. Fortum. Luottamuksellinen.

[15] Hämäläinen L. 2012. Laadunvarmistuskäsikirja. Toiminnan seuranta ja arviointi. LK-14-00001. Fortum. Luottamuksellinen.

[16] SFS-EN ISO 19011. 2011. Johtamisjärjestelmän auditointiohjeet. 2. Painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[17] Hämäläinen L. 2013. Sisäiset auditoinnit. MO-14-00001. Fortum. Luottamuksellinen.

[18] Aarnio-Wihuri L. 2014. Laadunvarmistus- ja turvallisuuskokouksen sekä johdon katselmuksen työjärjestys. HO-01-00023. Fortum. Luottamuksellinen.

[19] SFS-EN 13306. 2010. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 2. Painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[20] Ahonen T., Jännes J., Kunttu S., Valkokari P., Venho-Ahonen O., Välisalo T., Ellman A., Hietala J-P., Multanen P., Mäkiranta A., Saarinen H. & Franssila H. 2012. Käyttövarmuuden hallinta – standardista käytäntöön. VTT. ISBN 978-951-38-7905-1.

[21] Holmberg K., Adgar A., Arnaiz A., Jantunen E., Mascolo J. & Mekid S. 2010. E-maintenance. Springer. ISBN 978-1-84996-204-9.

[22] Laakso A., Leino M. & Riekkinen M. 2012. Kunnossapidon strategiat. MO-07-00005. Fortum. Luottamuksellinen.

[23] Hostikka J. 2013. Kunnossapitotoiminnassa noudatettavat työtilaus- ja työnsuunnittelukäytännöt. MO-07-00001. Fortum. Luottamuksellinen.

[24] Tulityöt suojeluohjeet 2014. [verkkodokumentti]. Finanssialan Keskusliitto. [viitattu 27.9.2014]. Saatavissa: https://www.fkl.fi/materiaalipankki/ohjeet/Dokumentit/Tulityot_suojeluohje_2014.pdf.

[25] Tonteri P. 2013. Palosuojelu ja pelastustoiminta. MO-13-00001. Fortum. Luottamuksellinen.

[26] Tonteri P. 2012. Tulityösuunnitelma. MO-13-00004. Fortum. Luottamuksellinen.

[27] YVL 7.9 Ydinlaitoksen työntekijöiden säteilysuojelu 21.1.2002. [www-sivut]. Stuklex. [viitattu 28.9.2014]. Saatavissa: http://plus.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL7-9.

[28] Kontio T. 2012. Työmääräimien säteilyturvallisuuskäsittely. S-03-00006. Fortum. Luottamuksellinen.

[29] Hellroos J-E. Laadunvarmistusinsinööri. Puhelinkeskustelu. 21.8.2014.

[30] Hellroos J-E. 2010. Tarkastusraportti 8/09: Säteilysuojelu. LO1-T231-00725. Fortum. Luottamuksellinen.

[31] Karvonen A. 2010. Laadunvarmistus- ja turvallisuuskokous 2/2010. Pöytäkirja. LO1-T232-00302. Fortum. Luottamuksellinen.

[32] Event Analysis Report. 1996. Personnel Injury Caused by an Explosion of Acetone Vapors During Cleansing Activities Inside a High-Pressure-Air Tank. WANO. Luottamuksellinen.

[33] Significant Event Report. 2012. Personnel Overexposure During In-Core Thimble Withdrawal. WANO. Luottamuksellinen.

[34] Labib A. 2008. Complex System Maintenance Handbook. Chapter 17: Computerised Maintenance Management Systems. Springer. ISBN 978-1-84800-010-0.

[35] Pintelon L. & Parodi-Herz A. Complex System Maintenance Handbook. Chapter 2: Maintenance: An Evolutionary Perspective. Springer. ISBN 978-1-84800-010-0.

[36] Maximo for Nuclear Power. [www-sivut]. IBM. [viitattu 7.10.2014]. Saatavissa: http://www-03.ibm.com/software/products/fi/maximofornuclearpower.

[37] Integration Guide. [verkkodokumentti]. IBM. [viitattu 7.10.2014]. Saatavissa: http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/tivihelp/v27r1/topic/com.ibm.itam.doc/reference/mam71_integration_guide.pdf.

[38] Introduction to Maximo Integration Framework (MIF). [www-sivut]. IBM. [viitattu 7.10.2014]. Saatavissa: http://maximodev.blogspot.fi/2012/11/introduction-to-maximo-integration-framework-mif.html.

[39] Enterprise Service Bus (ESB). [www-sivut]. TechTarget. [viitattu 8.10.2014]. Saatavissa: http://searchsoa.techtarget.com/definition/enterprise-service-bus.

[40] Richards M. The Role of the Enterprise Service Bus. [video]. Saatavissa: http://www.infoq.com/presentations/Enterprise-Service-Bus.

[41] Kadziolka a. & Mäkilä J. 2003. Corporate Bus Integration Guidelines. Fortum. Luottamuksellinen.

[42] Rauhala V. 2013. Käynnissäpidon tiedonkeruun tehostaminen. Uniprint. ISBN 978-952-5897-51-7.

[43] Varis M. Kunnonvalvonnan työnjohtaja. Sähköpostiviestit 8 – 10.9.2014.

[44] Shock Pulse Tester T2001. [verkkodokumentti]. SPM Instrument. [viitattu 10.9.2014]. Saatavissa: http://www.spminstrument.it/data/pdf/td/TD057B.pdf.

[45] Nissinen J. Automaatioasentaja. Sähköpostiviesti 17.10.2014.

[46] Beamex MC6 monitoiminen kenttäkalibraattori- ja kommunikaattori. [www-sivut]. Beamex. [viitattu 17.10.2014]. Saatavissa: http://www.beamex.com/beamex_products/MC6-monitoiminen-kenttakalibraattori--ja-kommunikaattori/1r3nk5q1/0d82056f-a198-43bc-b1f3-d67d79da8396.

[47] Dolphin 7200 Handheld Computer and HomeBase User's Guide. 2002. [verkkodokumentti]. Hand Held Products. [viitattu 11.10.2014]. Saatavissa: http://www.barcode4less-usa.com/PDF_manuals/HHP/Dolphin%207200%20Mobile%20Computer%20User%20Guide.pdf.

[48] PPT8800 Mobile Computer from Symbol. [www-sivut]. Motorola. [viitattu 11.10.2014]. Saatavissa: http://www.symbol.com/product.php?productID=250.

[49] Dolphin 9900 Mobile Computer. [www-sivut]. Honeywell. [viitattu 11.10.2014]. Saatavissa: https://www.honeywellaidc.com/en-

GB/Pages/Product.aspx?category=retired-products&cat=HSM&pid=Dolphin9900_.

[50] Dolphin 6100 Mobile Computer. [www-sivut]. Honeywell. [viitattu 11.10.2014]. Saatavissa: http://www.honeywellaidc.com/en-US/Pages/Product.aspx?category=hand-held-mobile-computer&cat=HSM&pid=Dolphin6100.

[51] Salonen P. 2013. Kunnossapidon organisaatio, tehtäväalueet. HO-01-00005. Fortum. Luottamuksellinen.

[52] Kuusisto J. 2013. Turvallisuusyksikön organisaatio. HO-01-00006. Fortum. Luottamuksellinen.

[53] Vanhanen O. 2013. Suojeluyksikön tehtäväkuvaus. HO-01-00007. Fortum. Luottamuksellinen.

[54] Corporate IT Services (CITS). [www-sivut]. Fortum. Luottamuksellinen.

[55] Corporate Facts. [www-sivut]. TATA Consultancy Services. [viitattu 11.10.2014]. Saatavissa: http://www.tcs.com/about/corp_facts/Pages/default.aspx.

[56] Haikala I. & Märijärvi J. 2006. Ohjelmistotuotanto. Talentum. ISBN 952-14-0850-2.

[57] Introducing Visual Studio. [www-sivut]. Microsoft. Päivitetty: 10.1.2014. [viitattu 30.9.2014]. Saatavissa: http://msdn.microsoft.com/en-us/library/fx6bk1f4(v=vs.90).aspx.

[58] .NET Framework Conceptual Overview. [www-sivut]. Microsoft. Päivitetty: 10.1.2014. [viitattu 30.9.2014]. Saatavissa: http://msdn.microsoft.com/en-us/library/zw4w595w(v=vs.90).aspx.