

Antti Postila

LOVIISAN YDINVOIMALAITOKSEN HÖYRYSTINTILOJEN VENTTIILIEN PAIKKAMERKINTÄLUETTELON KEHIT- TÄMINEN

Opinnäytetyö

Energiatekniikka

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkintonimike	Aika
Antti Postila	Insinööri (AMK)	toukokuu 2021
Opinnäytetyön nimi		
Loviisan ydinvoimalaitoksen höyrystintilojen venttiilien paikka-merkintäluettelon kehittäminen		49 sivua 0 liitesivua
Toimeksiantaja		
Fortum Power and Heat Oy		
Ohjaaja		
Kalle Tarhonen, Tapani Luoma		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyössä kehitettiin Loviisan voimalaitoksen höyrystintilojen paikkamerkintäluetteloa. Nykyinen paikkamerkintäluettelo on A6-kokoinen vihko, jossa on lueteltuna höyrystintilassa olevat venttiilit ja niiden sijainnit koordinaatteina sekä höyrystintilan pohjakartta. Pohjakartan päälle on piirretty koordinaatteja vastaava ruutukaava. Vihossa olevan höyrystintilan pohjakartan ja koordinaattien avulla venttiilien luokse pääsemistä pyritään nopeuttamaan.</p> <p>Loviisan voimalaitoksen reaktorit on varustettu terässuojakuorella, jonka tehtävä onnettomuustilanteessa on estää radioaktiivisten aineiden pääsy ulos suojarakennuksesta. Muilla samantyyppisillä ydinvoimalaitoksilla ei ole vastaavaa terässuojakuorta. Tämän eroavaisuuden vuoksi Loviisan voimalaitoksen höyrystintilat on jouduttu rakentamaan varsin ahtaiksi, mikä hankaloittaa höyrystintilassa liikkumista ja komponenttien löytämistä.</p> <p>Nykyisen paikkamerkintäluettelon päivittäminen on aikaa vievää ja se tarjoaa käyttäjille tietoa varsin suppeasti. Työ on toteutettu toiminnallisena opinnäytetyönä. Työn tavoitteena oli rakentaa paikkamerkintäluettelosovellus, jonka päivittämien olisi helpompaa ja joka palvelisi käyttäjiä aiempaa paremmin. Eri ohjelmavaihtoehtojen toimeksiantajan vaatimusten täyttymistä on arvioitu ja sen perusteella pisteytetty eri vaihtoehdot. Tällä on pyritty löytämään parhaiten työn toteuttamiseen soveltuva ohjelma.</p> <p>Työn tuloksena syntyi Microsoft Excel -ohjelmalla rakennettu sovellus. Sovellus tarjoaa aiempaa enemmän hyödyllistä tietoa käyttäjille. Sovelluksen tietokanta on myös suurempi, mikä mahdollistaa päivitysten tekemisen nopeammin ja sujuvammin. Venttiilin koordinaattisijainti esitetään sovelluksen visuaalisen toiminnon avulla, jolloin käyttäjä näkee koordinaatin omaavan venttiilin sijainnin höyrystintilassa. Sovelluksen testiversio on tarjottu käyttäjien kommentoivaksi. Käyttäjien haastattelujen perusteella tarjottavaa tietomäärää on lisätty ja molemmille laitosyksiköille on oma sovellus.</p>		
Asiasanat		
ydinvoima, painevesireaktori, höyrystintila		

Author (authors)	Degree	Time
Antti Postila	Bachelor of Engineering	May 2021
Thesis title Development of steam generator spaces valves location catalogue at the Loviisa nuclear power plant.		49 pages 0 pages of appendices
Commissioned by Fortum Power & Heat Oy		
Supervisor Kalle Tarhonen, Tapani Luoma		
<p data-bbox="164 763 300 795">Abstract</p> <p data-bbox="164 835 1465 1050">Subject of this thesis was the development of the location catalogue for the steam generator space valves at the Loviisa nuclear power plant. The current location catalogue is an A6 size booklet listing of the valves in the generator space and their locations in coordinates, as well as a floor map of the generator space. A grid pattern corresponding to the coordinates is drawn on the floor map. The floor map and coordinates of the generator space in the booklet are used to speed up access to the valves.</p> <p data-bbox="164 1093 1465 1308">The reactors at the Loviisa power plant are equipped with a steel shell. Function of the steel shell is to prevent radioactive material from escaping the containment in the event of an accident. Other nuclear power plants of the same type do not have a corresponding steel shell. Due to this difference, the generator space of the Loviisa power plant had to be built quite cramped, which makes it difficult to move around in the generator space and find components.</p> <p data-bbox="164 1350 1465 1599">Updating the current location catalogue is time consuming and provides users with rather limited information. The work has been implemented as a practice-based thesis. The objective of the thesis was to build a location catalogue application that would be easier to update and that would serve users better than before. The fulfillment of the commissioner's requirements of the different program options had been assessed and based on it the different options had been scored. The aim was to find the most suitable program for carrying out the work.</p> <p data-bbox="164 1641 1465 1890">The result of the thesis was an application built with Microsoft Excel. The application provides more useful information for users. The application database is also larger, allowing updates to be made faster and smoother than before. The coordinate position of the valves is displayed by a visual function of the application, whereby the user sees the position of the valve in the generator space. The test version of the application was provided to the users for commenting. Based on the user interviews application shows more information to the users and separated applications were made for both power plant units.</p>		
<p data-bbox="164 1937 320 1968">Keywords</p> <p data-bbox="164 2011 1174 2042">nuclear power plant, pressurized water reactor, steam generator space</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	YDINVOIMA JA LAITOSTYYPIT	6
2.1	Uraani ja fissio.....	8
2.2	Grafiittihidasteiset kaasujäähdytteiset reaktorit MAGNOX ja AGR	10
2.3	Grafiittihidasteinen kiehutusvesireaktori RBMK.....	12
2.4	Raskasvesireaktori CANDU	13
2.5	Painevesireaktori PWR	14
2.6	Kiehutusvesireaktori BWR.....	15
3	FORTUM JA LOVIISAN VOIMALAITOS	18
3.1	Sekundääripiiri	19
3.2	Primääripiiri	23
3.3	Turvajärjestelmät.....	24
3.4	Höyrystintila.....	26
4	LOVIISAN VOIMALAITOKSEN MERKINTÄJÄRJESTELMÄ	29
4.1	KZ-tunnuksen rakenne	29
4.2	Huonetilan merkitseminen	31
4.3	KZ-tunniste	32
5	HÖYRYSTINTILAN PAIKKAMERKINTÄLUETTELOON KEHITTÄMINEN	33
5.1	Paikkamerkintäluettelon kehittämisen vaatimukset	34
5.2	Ohjelman valinta.....	35
5.3	Excel-sovellus	37
5.4	Hakutoiminto	38
5.5	Visuaalinen sovellus.....	39
5.6	Lopputulokset.....	42
6	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	43
	LÄHTEET	46

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö suoritetaan toiminnallisena opinnäytetyönä, jossa kehitetään Loviisan voimalaitoksen höyrystintilojen venttiilien paikkamerkintäluetteloa. Nykyinen höyrystintilan paikkamerkintäluettelo on A6-kokoiseksi tehty vihko, eikä se ole voimalaitoksen päivitettävien asiakirjojen piirissä. Olemassa olevat poikkeamat ja mahdollisesti tulevat laitosmuutokset, eivät täten päivity paikkamerkintäluetteloon. Työn tavoitteena on rakentaa paikkamerkintäluettelosta sovellus, joka palvelee käyttäjiä nykyistä paikkamerkintäluetteloa paremmin ja jota on mahdollista päivittää nopeallakin aikataululla, jos siinä huomataan poikkeamia tai laitosmuutoksien vuoksi luetteloon tarvitsee lisätä venttiilejä. Näin sovelluksen käyttäjille voidaan tarjota ajantasaisempaa tietoa.

Loviisan ydinvoimalaitoksella on kaksi laitousyksikköä. Loviisa 1 otettiin käyttöön vuonna 1977 ja Loviisa 2 vuonna 1980. Laitokset ovat VVER-tyyppisiä painevesireaktoreita, joiden kapasiteetti on 507 MW. Molemmissa reaktoreissa on terässuojakuori, jonka tehtävä on onnettomuustilanteessa estää radioaktiivisten aineiden pääsy ulos suojarakennuksesta. Terässuojakuoren vuoksi Loviisa 1:n ja Loviisa 2:n höyrystintilat on jouduttu rakentamaan ahtaammin kuin muilla samantyyppisillä laitoksilla, joita ei ole varustettu vastaavalla rakenteella.

Höyrystintila on suojarakennuksen sisällä oleva tila, jossa sijaitsee laitoksen primääripiirin pääkomponentteja. Laitoksen käyttöjakson aikana höyrystintila pidetään suljettuna korkeiden säteilytasojen vuoksi. Vuosihuollossa laitoksen alasajon jälkeen höyrystintilan säteilytasot laskevat ja siellä voidaan suorittaa vuosihuollon toimenpiteitä. Vaikka vuosihuollossa säteilytasot laskevat höyrystintilassa, ne eivät kokonaan poistu. Loviisan voimalaitos on sitoutunut noudattamaan säteilylaissa olevaa optimointiperiaatetta, jossa säteilyturvallisuutta pyritään parantamaan ja henkilöstön altistuminen säteilylle on pidettävä niin pienenä kuin käytännöllisin toimin on mahdollista. Höyrystintilassa tapahtuvat

työt suunnitellaan ja toteutetaan tämän periaatteen mukaisesti. Paikkamerkintäluettelo on yksi työkalu, jota kehittämällä toimintaa on mahdollista parantaa.

Voimalaitoksen käyttöorganisaatio hyödyntää höyrystintilan paikkamerkintäluettelo voimalaitoksen vuosihuoltotöiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Venttiilien paikkamerkinnöissä on hyödynnetty höyrystintilan pohjapiirrosta, jonka päällä on ruutukaava. Paikkamerkintäluettelon käytöllä pyritään nopeuttamaan venttiilin luokse pääsemistä, joka vähentää työntekijöiden höyrystintilassa saamaa säteilyannosta sekä jouduttaa töiden valmistumista.

Opinnäytetyön teoriaosassa tutkitaan ydinvoiman historiaa ja ydinvoimalaitostyyppisiä, jolloin saadaan yleiskäsitys eri ydinvoimalaitostyyppien periaatteellisista ja rakenteellisista eroista. Teoriaosion lopuksi pureudutaan Loviisan voimalaitokseen ja siihen, kuinka ja miksi se eroaa muista samantyyppisistä ydinvoimalaitoksista. Näin luodaan tietopohja työn toteutusosaan.

2 YDINVOIMA JA LAITOSTYYPIT

Idea aineen sisältämisestä atomeista on lähtöisin jo Antiikin Kreikasta. Paljon myöhemmin 1700-luvulla aloitettu alkuaineiden etsiminen näytti ihmiskunnalle tien atomien maailmaan. Sata vuotta myöhemmin fyysikot havaitsivat, että atomi muodostuu ytimestä, jota elektronit kiertävät. 1900-luvun alkupuolella saatiin selville, että aiemmin yhtenäiseltä vaikuttava atomin ydin koostuikin kahdesta eri hiukkasesta, protoneista ja neutroneista. Löydön jälkeen tutkijat alkoivat pohtia, mitä tapahtuisi atomiytimen haljetessa. (Chaline 2013, 165–167.)

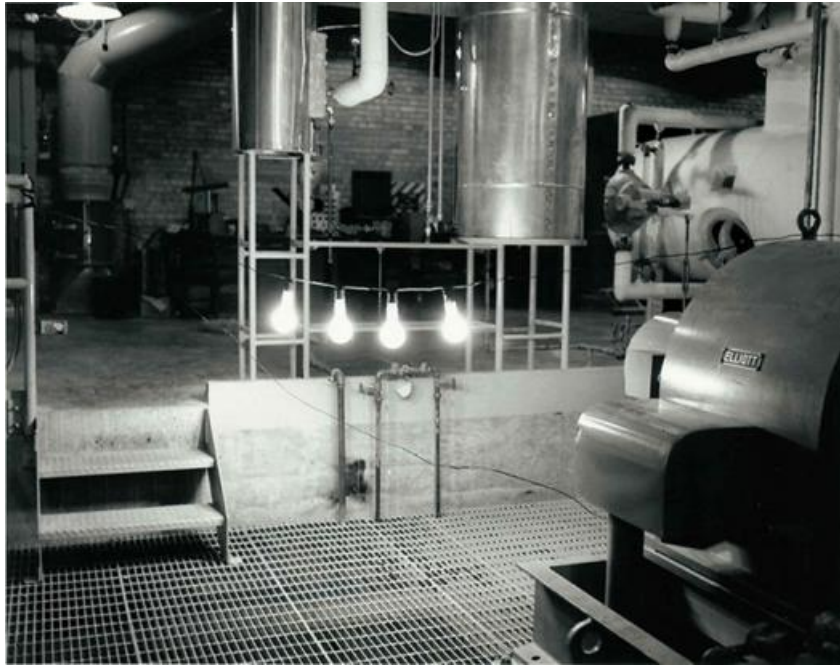
Albert Einstein sai selville vuonna 1905 julkaisemassaan suppeassa suhteellisuusteoriassa, että levossa olevalla hiukkasella on energiaa, jota hän kutsui sisäiseksi energiaksi. Tämä aivan uusi energiamuoto ei esiintynyt Isaac Newtonin 1600-luvun loppupuolella julkaistuissa teorioissa, jotka loivat perustan mekaniikalle ja joissa hän esitteli paino- ja liikevoiman lait. Einstein johti kaavan $E=mc^2$, jolla hän kuvasi tätä uutta energiamuotoa. E kuvaa energiaa, m on massa ja c^2 on valonnopeuden toinen potenssi. Tyhjässä avaruudessa valo

liikkuu aina vakionopeudella c , joka on suhteellisuusteorian perusta. Einstein osoitti suhteellisuusteoriallaan, että ”hyvin pieni massa voidaan muuttaa hyvin suureksi energiamääräksi ja päinvastoin”. Vuonna 1932 Einsteinin näkemys oli, että ”Ei ole pienintäkään oletusta siitä, että ydinenergiaa voitaisiin koskaan tuottaa. Se vaatisi atomin halkaisemista mielen mukaan”. (Chaline 2013, 165–167; Maalampi 2015.)

Albert Einsteinin todistettiin kuitenkin olleen väärässä, kun vuonna 1938 saksalaiset fyysikot Otto Hahn ja Friedrich Strassman todistivat atomiytimien halkaisemisen eli fission olevan mahdollinen. Hahnin ja Strassmanin kokeessa uraaniydintä pommitettiin neutroneilla. He otaksuivat ytimien halkaisemisen jatkuvan ketjureaktiona, jossa ytimien halkeaminen tuottaa lisää neutroneita, jotka taas halkaisevat lisää ytimiä aina siihen asti, kunnes uraani on kulutettu loppuun. Hallitulla reaktiolla uraania voitaisiin käyttää energianlähteenä ydinreaktorissa ja kontrolloimaton reaktio aiheuttaisi räjähdysten, jossa vapautuisi valtava määrä valo-, lämpö- ja liike-energiaa. Sodan uhka oli ilmassa, joten useat maat keskittyivät uraanin ja plutoniumin rikastamiseen atomipommia varten rauhanomaisen ydinenergian käytön sijaan. (Chaline 2013, 165–167.)

Ydinvoimalaitostyypit voidaan luokitella neutroneita hidastavan aineen eli moderaattorin ja reaktorin jäähdyttävän jäähdytteen mukaan. Erilaisia ydinvoimalaitostyyppejä on rakennettu ja suunniteltu useita, mutta harvat reaktortyypit on otettu laajempaan kaupalliseen käyttöön. (Säteilyturvakeskus 2020.)

Ensimmäinen ydinenergialla sähköä tuottava voimalaitos EBR-1 (Experimental Breeder Reactor 1) avattiin vuonna 1951 Yhdysvaltojen Idahossa. Kyseessä oli kokeellinen reaktori ja sillä onnistuttiin tuottamaan sähköä neljälle 200 watin hehkulampulle, jotka näkyvät kuvassa 1. (WNA 2020.)



Kuva 1. EBR-1 tuottamalla sähköllä valaistut 200 watin hehkulamput. (Office of Nuclear Energy 2019)

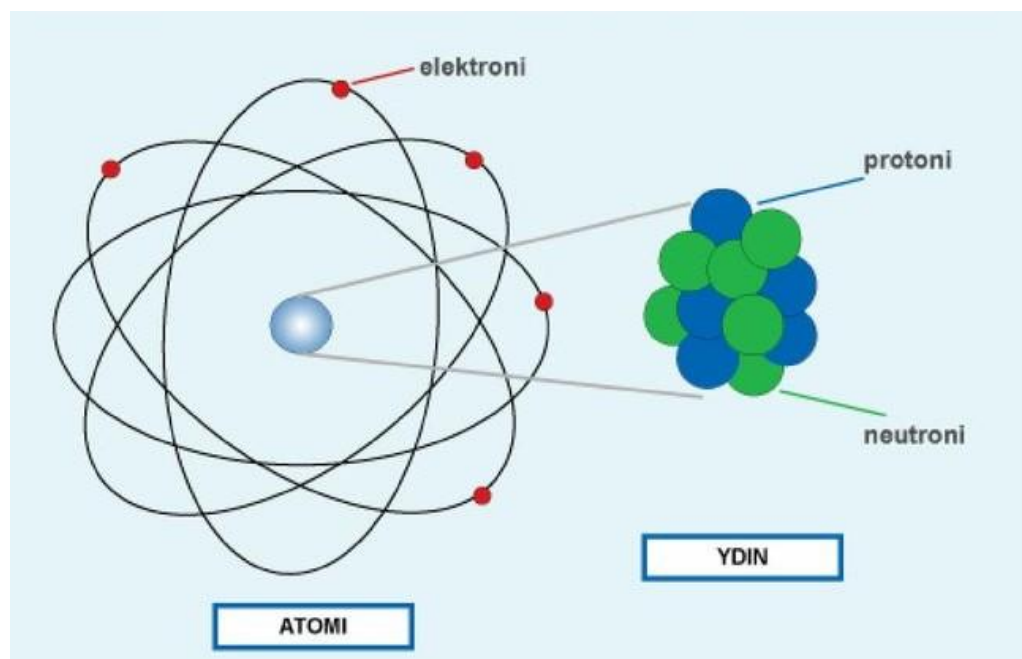
AM-1-reaktori Obninskissä entisessä Neuvostoliitossa oli ensimmäinen ydinvoimala, jonka tuottama sähkö johdettiin sähköverkkoon. AM-1 alkoi tuottaa sähköä vuonna 1954. Reaktorin lämpöteho oli 30 MW ja sähköteho 5 MW. AM-1-reaktorissa vesi toimi jäähdytteenä ja grafiitti hidasteena. Ensimmäinen kaupalliseen käyttöön tarkoitettu ydinvoimala otettiin käyttöön Calder Hallissa Isossa-Britanniassa vuonna 1956. Calder Hallin voimala oli Magnox-tyyppinen ja sen sähköteho oli 60 MW. Ensimmäiset Magnox-tyyppiset reaktorit eivät olleet täysin rauhanomaisessa käytössä, vaan sähköntuotannon lisäksi ne oli suunniteltu valmistamaan plutoniumia Ison-Britannian ydinaseohjelmaan. (Chaline 2013, 165–167.)

2.1 Uraani ja fissio

Ydinvoimaloiden polttoaineena käytetään uraania, joka on varsin yleinen alkuaine. Uraani on syntynyt neutronitähtien törmäyksissä ja supernovaräjähdyksissä. Luonnossa esiintyvistä alkuaineista uraani on raskainta ja kaikki uraanin isotoopit ovat radioaktiivisia. Radioaktiivisesti muiksi alkuaineiksi hajoavan uraanin määrä on pitkällä aikavälillä vähentynyt maapallolla huomattavasti. ^{238}U -isotoopin puoliintumisaika on 4,5 miljardia vuotta eli maan syntyessä 4,6

miljardia vuotta sitten ^{238}U :n määrä oli kaksinkertainen nykyiseen verrattuna. ^{235}U -isotoopin puoliintumisaika on 0,7 miljardia vuotta, joten sen määrä on vähentynyt huomattavasti ^{238}U :n nopeammin. Maan vaipan yläosan ja kuoren toistuvat osittaiset sulamiset ovat aiheuttaneet, että tehokkaasti erottuva uraani on rikastunut mantereiseen yläkuoreen, jossa on arviolta puolet kaikesta maapallon uraanista. Mantereisessa kuoressa uraanin pitoisuus on 1,4 ppm (0,00014 %) ja mantereisessa yläkuoressa 2,8 ppm (0,00028 %). (Pohjolainen 2017.)

Atomi sisältää ytimen ja ydintä ympäröivän elektroniverhon. Atomin ydin muodostuu protoneista ja neutroneista ja elektroniverhon muodostavat elektronit. Kuvassa 2 on havainnollistettu atomin rakenne. Protoneilla on positiivinen sähkövaraus, neutronit ovat varauksettomia ja elektroneilla varaus on negatiivinen. (Timonen 2021.)

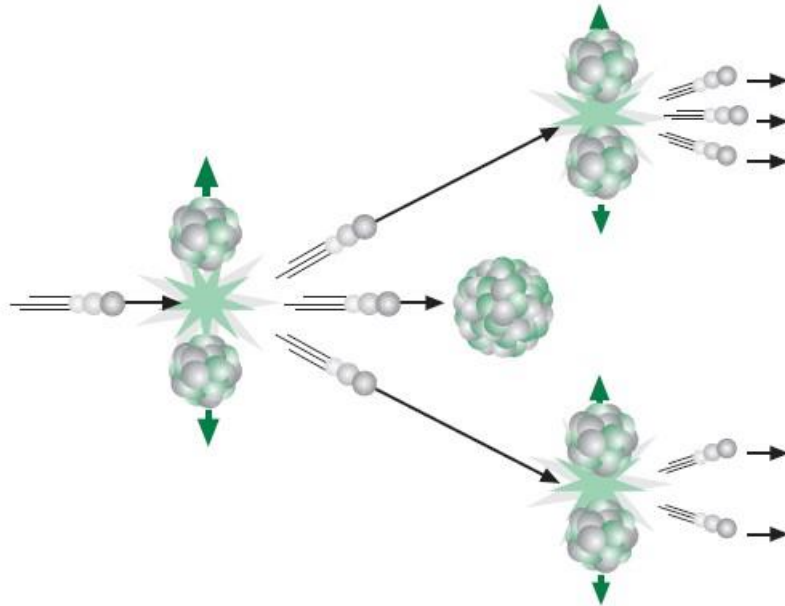


Kuva 2. Atomin rakenne. (Kyllönen 2021)

Raskaassa atomiytimessä, kuten ^{235}U :ssa, tapahtuu halkeamis- eli fissioreaktio, kun sitä pommitetaan neutroneilla. Fissioreaktiossa neutroni aiheuttaa uraaniytimen halkeamisen, jolloin syntyy kaksi kevyempää alkuainetta, joita kutsutaan fissiotuotteiksi. (Eurasto ym. 2004, 26.)

Fissioketjureaktiossa (kuva 3) neutronien törmäys halkaisee uraaniytimen

kahdeksi ytimeksi ja samalla syntyy kaksi tai kolme uutta neutronia, jotka voivat synnyttää uusia fissioreaktioita. Fissiossa vapautuu paljon energiaa, joka muuttuu nopeasti lämmöksi. (Eurasto ym. 2004, 26.)



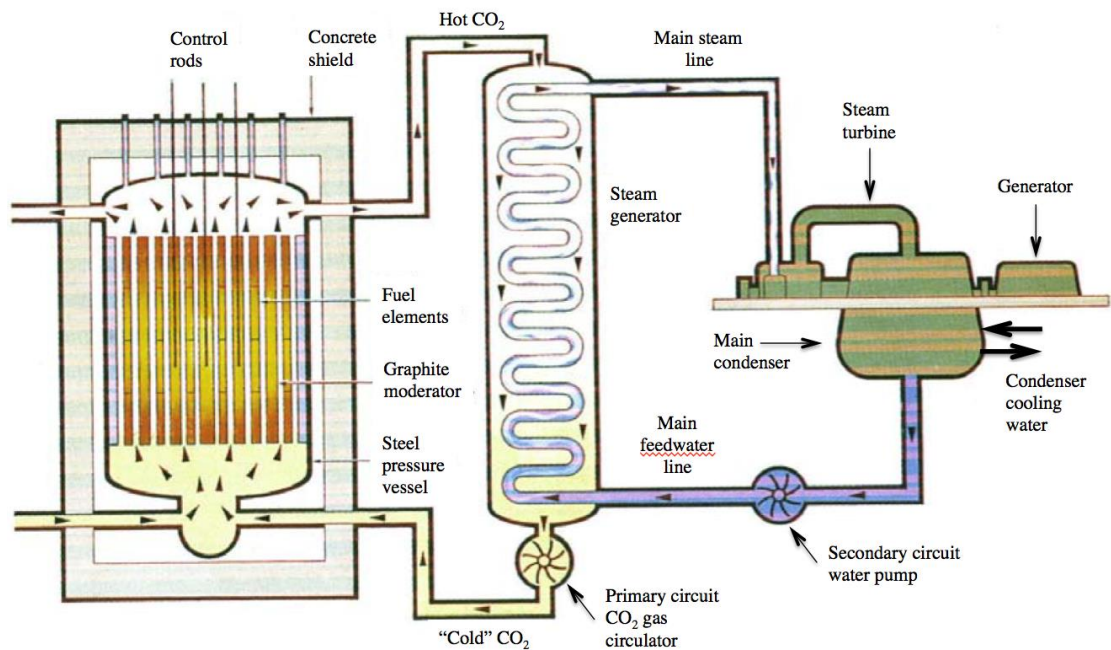
Kuva 3. Fissioketjureaktion havainnollistaminen. (Eurasto ym. 2004, 26)

2.2 Grafiittihidasteiset kaasujäähdytteiset reaktorit MAGNOX ja AGR

Magnox (Magnesium non-oxidising) on Isossa-Britanniassa kehitetty ensimmäisen sukupolven kaasujäähdytteinen reaktorityyppi. Polttoaineen suojakuumateriaali on Magnox-nimistä magnesiumseosta, josta reaktori on saanut myös nimensä. Magnox-reaktorissa hidasteena toimii grafiitti ja jäähdytteenä käytetään korkeapaineista hiilidioksidia. Reaktori käyttää polttoaineena luonnonuraania. Ne ovat Magnoxilla päällystetyissä polttoainesauvoissa grafiittirakenteessa, jota jäähdytetään hiilidioksidilla. Magnox-reaktori on suunniteltu siten, että se mahdollistaa polttoaineen vaihtamisen käyntijakson aikana reaktoria pysäyttämättä. Viimeinen Magnox-reaktori lopetti toimintansa vuonna 2015. (Huhtinen ym. 2011, 236; Nuclear decommissioning authority 2019.)

Kuvassa 4 on esitetty Magnox-reaktorien periaatekaavio. Ensimmäisissä reaktoreissa höyrystimet olivat reaktorirakennuksen ulkopuolella ja myöhemmin ra-

kennettujen voimaloiden höyrystimet sijoitettiin sisätiloihin säänsuojaan. Ensimmäisissä laitoksissa reaktorin paineastia oli tehty teräksestä, myöhemmissä laitoksissa käytettiin pääosin betonista valmistettuja paineastioita. Voimalaitoksella on primääripiiri, jossa kulkee hiilidioksidijäähdyte. Kaasumuodossa oleva hiilidioksidi siirretään pääkiertopuhaltimilla paineastian sisällä olevaan reaktoriin. Jäähdyte virtaa reaktorin polttoaine-elementtien välissä jäähdyttäen niitä, jolloin hiilidioksidi lämpenee. (Lobner 2016.)

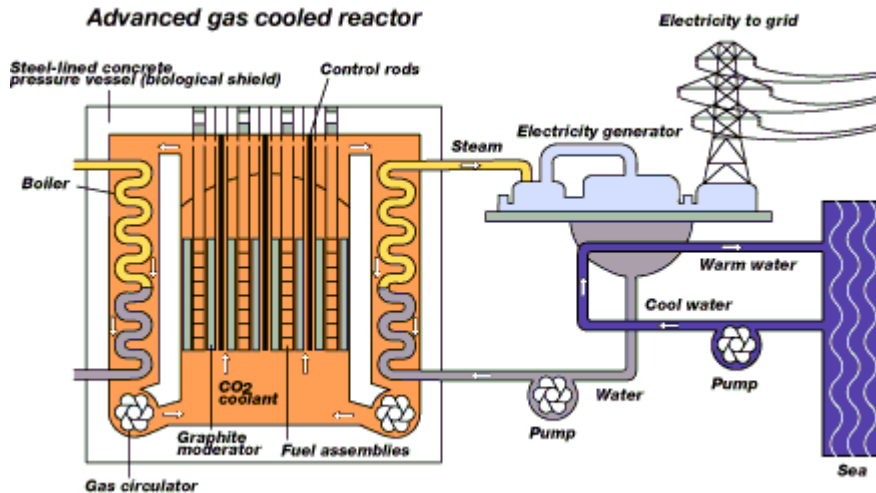


Kuva 4. Magnox-reaktorin periaatekuva (Lobner 2016)

Lämmennyt hiilidioksidi virtaa reaktorista höyrystimeen, jonka jäähdytyspuoli on yhteydessä sekundääripiiriin. Sekundääripiiriin syöttövesipumppu pumppaa veden höyrystimeen, jossa primääripiirin kovemmassa paineessa oleva hiilidioksidi höyrystää syöttöveden höyryksi. Höyrystimen jälkeen sekundääripiiriin höyry ohjataan turbiini-generaattorille, jossa höyryn lämpöenergia muutetaan liike-energiaksi ja siitä edelleen sähköksi. Turbiinin jälkeen höyry lauhdutetaan takaisin vedeksi lauhduttimessa ja sieltä takaisin syöttövesipumpulle, jolloin kierto alkaa alusta. (Lobner 2016.)

AGR (Advanced Gas-cooled Reactor) on toisen sukupolven reaktori, joka on kehittyneempi versio Magnox-reaktorista. Polttoaineen suojakuorimateriaali on ruostumatonta terästä, joka johti siihen, että polttoaineena käytettiin luonnon uraanin sijasta U-235:n suhteen 2–3 % rikastettua uraania. Reaktorin sydän ja

höyrystimet on sijoitettu betoniseen kuiluun. Grafiittisydämen ja betonisen paineastian suuren lämpökapasiteetin vuoksi Magnox- ja AGR-reaktoreissa ei ole erillistä suojarakennusta. AGR-reaktorin periaatekuva on esitetty kuvassa 5. (Huhtinen ym. 2011, 236–237.)

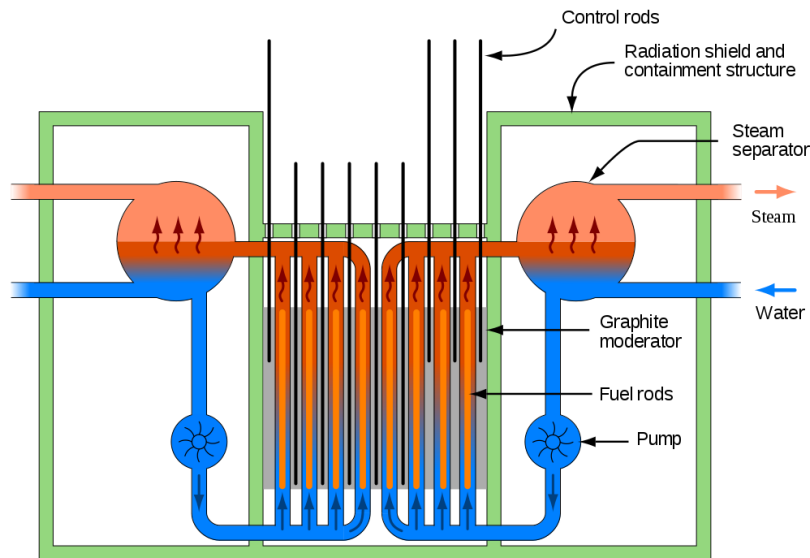


Kuva 5. AGR-reaktorin periaatekaavio. (The Virtual nuclear tourist 2005)

2.3 Grafiittihidasteinen kiehumusvesireaktori RBMK

RBMK (Reaktro Bolshoy Moshchnosty Kanaly) on Neuvostoliitossa suunniteltu grafiittihidasteinen kevytvesijäähdytteinen kanavatyyppinen kiehumusvesireaktori. Kuvassa 6 on esitettynä reaktorin periaatekaavio. Ydinpolttoaine on paksuseinämaisissä putkissa, jotka kulkevat pystysuunnassa paksujen grafiittiharkkojen läpi. Polttoaineputket muodostavat oman kanavan pumpattavalle jäähdytteelle. Kanavien ylä- ja alapuolisilla sulkuventtiileillä voidaan erottaa yksittäisiä kanavia, joka mahdollistaa polttoaineen vaihdon reaktorin käytössä. Jäähdyte virtaa reaktorin läpi höyryrumpuihin, josta höyry ohjataan turbiineille ja höyrystymätön vesi menee pääkiertopumppujen kautta takaisin reaktoriin. Turbiineilta höyry ohjataan lauhduttimiin ja höyry lauhtuu vedeksi, joka palautetaan takaisin jäähdytekiertoon. (Leppänen 2018.)

Kanavatyyppisissä reaktoreissa jäähdyte on fyysisesti erotettu neutroneita hidastavasta grafiittihidasteesta ja paineastiaa ei käytetä. Paineastiaa käyttävissä paine- ja kiehumusvesireaktoreissa jäähdytevesi virtaa polttoaineen läpi, toimien samalla myös neutronien hidasteena. (Leppänen 2018.)



Kuva 6. RBMK periaatekaavio. (Stephanus 2016)

Käytössä olevia RBMK reaktoreita on enää Venäjällä. Käytöstä poistettuja RBMK reaktoreita on Liettuassa ja Ukrainassa. (Eurasto ym. 2004, 54.)

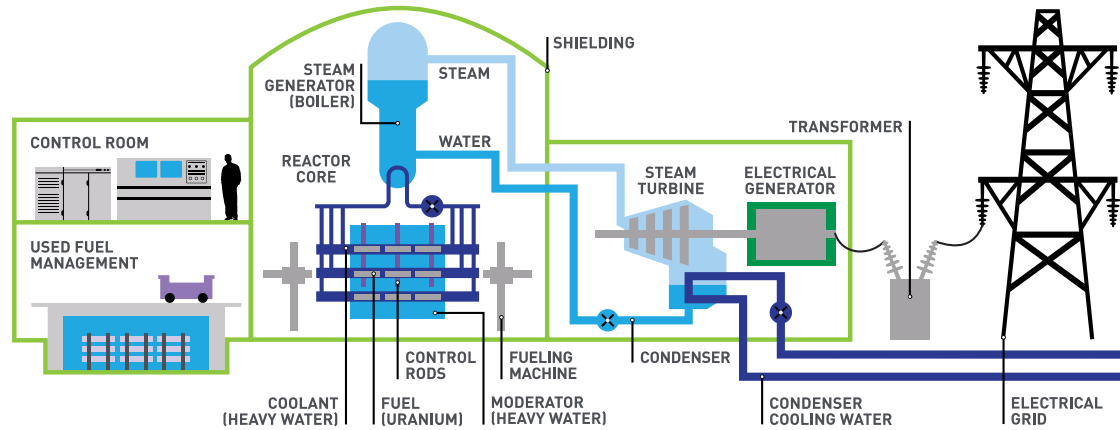
2.4 Raskasvesireaktori CANDU

CANDU (Canadian Deuterium Uranium Reactor) on Kanadassa kehitetty ainoa laajassa kaupallisessa käytössä oleva raskasvesireaktori. Kanadassa on suuret uraanimalmivarat, jotka haluttiin hyödyntää ilman kalliita väkevöintilaitoksia. Täten CANDU:n laitokset kehitettiin luonnonuraanipolttoainetta käyttäviksi. Tosin laitoksia on myös mahdollista käyttää lievästi väkevöidyllä uraanilla. (Eurasto ym. 2004, 51–52.)

Reaktorin jäähdytteenä sekä moderaattorina toimii raskas vesi, joka sisältää deuteriumia. Deuteriumin käyttö mahdollistaa ydinreaktion ylläpitämisen luonnon uraanilla. Polttoaineputvat ovat asetettu vaakatasossa oleviin paineputkiin. Paineputkia on 380–480 kappaletta ja ne kulkevat ison moderaattorisäiliön lävitse. Moderaattorisäiliö ja paineputkissa virtaava jäähdyte on raskasta vettä. Paineputkirakenne mahdollistaa polttoaineen vaihtamisen reaktorin ollessa tehokäytöllä. Luonnonuraanin U-235 osuus on pieni, jolloin polttoainetta on vaihdettava useammin kuin U-235 suhteen rikastetulla polttoaineella. Rakenne ja toimintaperiaate reaktoria lukuun ottamatta on CANDU-laitoksilla samanlainen

kuin painevesilaitoksilla. CANDU-laitoksen periaate on esitetty kuvassa 7. (Eurasto ym. 2004, 51–52.)

CANDU REACTOR SCHEMATIC



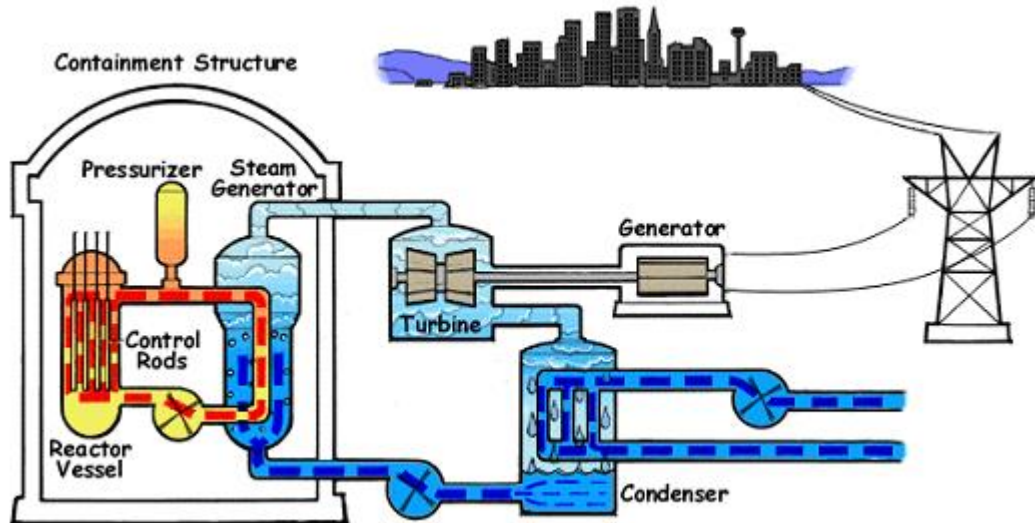
Kuva 7. CANDU-reaktorin periaatekuva. (Canadian Nuclear Association 2021)

2.5 Painevesireaktori PWR

Loviisan ydinvoimalaitosyksiköt ovat painevesireaktoreita. Painevesireaktorit ovat yleisin reaktortyyppi maailmanlaajuisesti. Painvesilaitoksessa vesi toimii moderaattorina ja jäähdytteenä. Vedessä oleva vety on tehokas neutronien hidastaja, mutta vety myös absorboi neutroneja, mikä pienentää reaktorin kasvukerrointa. Sen vuoksi polttoaineena on käytettävä U-235:n suhteen rikastetua uraania. U-235:n osuus polttoaineessa on tyypillisesti noin 3–5 %. Polttoainesauvat kootaan isommaksi kokonaisuudeksi polttoainenipuksi. Länsimaisessa PWR-laitoksessa polttoainenipussa on neliömäiseen hilaan sijoitettuna noin 250 sauvaa. Polttoainenippuja on PWR-laitoksessa tyypillisesti noin 150–300. Primääripiirin paine länsimaisissa painevesireaktoreissa on noin 150 baaria ja sekundääripiirin paine noin 70 bar. (Eurasto ym. 2004, 44–48.)

Painevesilaitoksessa on kaksi jäähdytyspiiriä: primääri- ja sekundääripiiri, periaatekaavio on esitetty kuvassa 8. Primääripiiri sisältää tyypillisesti kahdesta kuuteen pääkiertopiiriä, joissa reaktorista syntyvää lämpöä siirretään höyrystimiin pääkiertopumppujen pumpaaman jäähdytysveden avulla. Höyrystimissä lämmönsiirtoputkien avulla primääripiirin lämpö siirtyy sekundääripiiriin. Primääripiirin vesi on kovemmassa paineessa, kuin sekundääripiirin vesi, jolloin

sekundääripiirin vesi alkaa kiehumaan höyrystimissä. Höyrystimissä kehittyvä höyry ohjataan turbiinille. Turbiinissa höyryn lämpöenergia muutetaan turbiinin akselin liike-energiaksi. Generaattori muuttaa turbiinin akselin liike-energian sähköksi. Turbiinin läpi kulkenut höyry johdetaan lauhduttimiin, jossa höyry lauhtuu takaisin vedeksi. Lauhduttimesta vesi pumpataan syöttövesisäiliöön ja sieltä syöttövesipumppujen avulla takaisin höyrystimiin. (Eurasto ym. 2004, 44–48.)



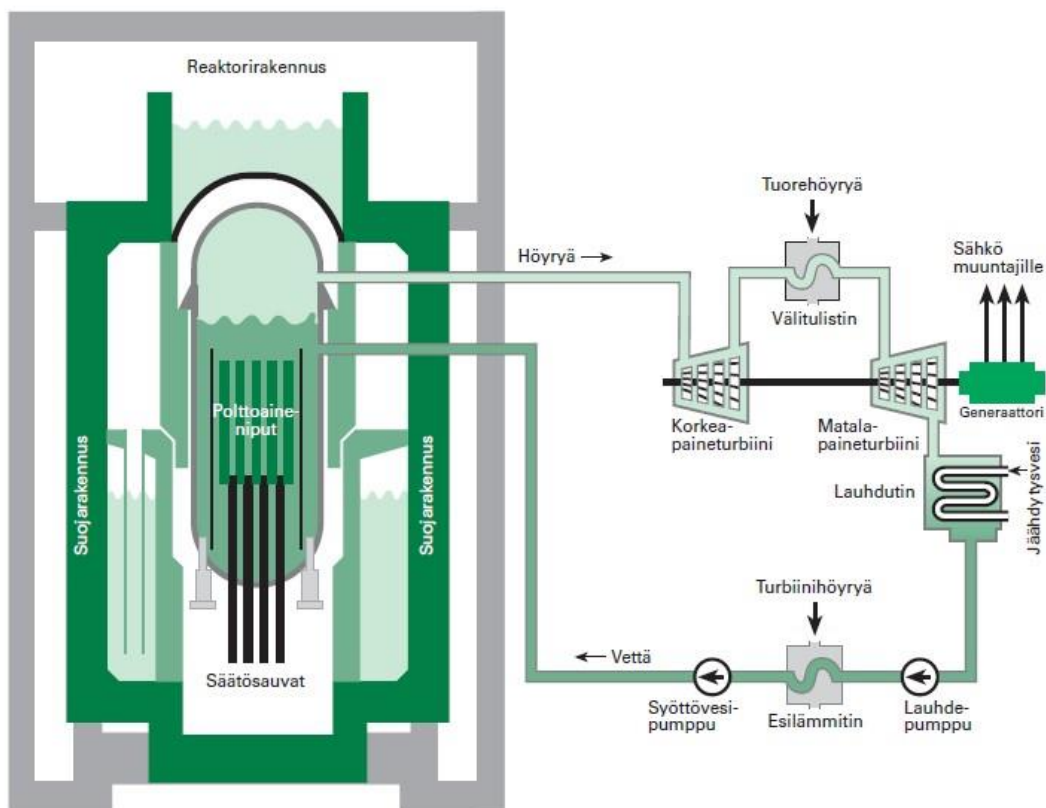
Kuva 8. PWR-laitoksen periaatekuva. (Renewable energy sources 2009)

2.6 Kiehutusvesireaktori BWR

BWR (Boiling Water Reactor) eli kiehutusvesireaktorit ovat toiseksi yleisin ydinvoimalaitostyyppi. Moderaattorina ja jäähdytteenä BWR-laitoksessa toimii vesi. BWR-laitoksessa osa jäähdytteestä kiehuu reaktorisydämen läpi virrattaen. Reaktorissa ei ole erillistä höyrystintä tai sekundääripiiriä, kuten painevesireaktoreissa. BWR-laitoksessa reaktorissa on höyrynerottimet ja -kuivaimet, joiden kautta höyry johdetaan turbiinille. Käyttöpaine BWR-laitoksessa on tyypillisesti noin 70 bar, ollen samaa suuruusluokkaa painevesireaktorien sekundääripiirin kanssa. (Eurasto ym. 2004, 48–49.)

BWR-laitoksen periaatekaavio on esitetty kuvassa 9. BWR-laitoksessa turbiinilta tuleva höyry lauhtuu tyypillisesti merivesijäähdytteisessä lauhduttimessa,

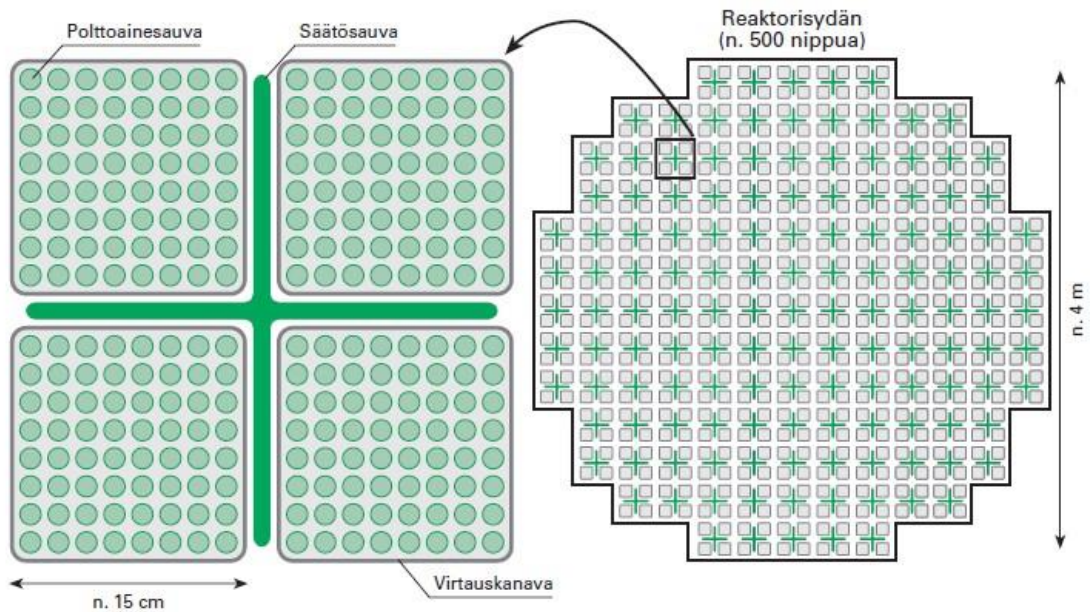
josta lauhtunut vesi pumpataan lauhdepumpuilla esilämmittimille. Esilämmittimillä veden lämpötilaa nostetaan turbiinin väliotoista otettavalla höyryllä. Esilämmittimistä vesi virtaa syöttövesipumppujen avulla reaktorin paineastiaan. Syöttövesi ja reaktorisydämen läpi tulevan veden paluukierto sekoittuvat reaktorisydämen ympärillä olevassa rengastilassa, josta pääkiertopumppujen tuottamaan paineen avulla vesi kulkeutuu reaktorisydämen läpi. Höyryputkiston varoventtiilit suojaavat reaktorin paineastiaa ylipaineelta ja tarvittaessa päästävät höyryä suojarakennuksessa olevaan lauhdutusaltaaseen. (Eurasto ym. 2004, 49.)



Kuva 9. Kiehuvesireaktorin periaatekaavio. (Eurasto ym. 2004, 48)

BWR-laitoksen reaktorisydämen yläosassa höyrymuodostus pyrkii painottamaan tehon reaktorisydämen alaosaan. Säätösauvat on BWR-laitoksessa sijoitettu reaktorin alaosaan säätämään tehoa. Hydraulisella pikasulkujärjestelmällä säätösauvat saadaan nopeasti reaktorisydämeen häiriö- ja onnettomuustilanteen nopeassa pysäytyksessä. (Eurasto ym. 2004, 49–51.)

Tyypillisesti BWR-laitoksessa yhdessä polttoainenipussa on 64–100 polttoainesauvaa ja yhteensä polttoainenippuja noin 500. Säätösauvat ovat BWR-laitoksessa ristin muotoisia poikkileikkaukseltaan ja ne liikkuvat neljän polttoainenipun välisessä vesitilassa. Polttoainenippujen ympärillä kulkee virtauskanava. Säättö- ja polttoainesauvojen poikkileikkaus on esitetty kuvassa 10. (Eurasto ym. 2004, 49–51.)



Kuva 10. BWR-laitoksen säättö- ja polttoainesauvojen poikkileikkaus. (Eurasto ym. 2004. 51)

Reaktiivisuutta BWR-laitoksessa säädetään säättösauvojen lisäksi pääkiertopumpeilla. Pienempi pääkiertovirtaus, kasvattaa sydämen höyrypitoisuutta ja neutronien moderointi huonontuu, jolloin reaktiivisuus laskee. Pääkiertovirtauksen lisääminen kasvattaa reaktiivisuutta. Painevesilaitoksilla jäähdytteen booripitoisuutta nostamalla tai laskemalla säädetään reaktorin tehoa. Boorisäätö ei sovellu BWR-laitokseen, koska jäähdytteen höyrystyessä boori jää reaktorissa olevaan veteen. Höyrystymisen jatkuessa boori väkevöityisi ja lopulta pysäyttäisi ketjureaktion. BWR-laitoksissa boorijärjestelmää käytetään, mikäli normaali pikasulku säättösauvoilla epäonnistuu. (Eurasto ym. 2004, 49–51.)

3 FORTUM JA LOVIISAN VOIMALAITOS

Fortum Oyj on suomalainen energiayhtiö, jolla on pääliiketoimintaa Pohjoismaiden ja Baltian maiden lisäksi Venäjällä, Puolassa ja Intiassa. Työntekijöitä on noin 8000. Fortumilla on noin 200 voimalaitosta ja 2,5 miljoonaa sähkön kuluttaja-asiakasta maailmanlaajuisesti. Vuonna 2019 Fortum tuotti sähköä 76,3 TWh ja lämpöä 26,4 TWh, sähköntuotannosta hiilidioksidipäästötöntä oli 59 %. (Fortum Oyj 2021b.)

Vuonna 2020 Fortumin liikevaihto oli noin 49 miljardia euroa ja vertailukelpoinen liikevoitto noin 1,3 miljardia euroa (Fortum Oyj 2021e). Valtioneuvoston Kanslia, joka vastaa Suomen valtionyhtiöiden omistajanhjauksesta omistaa Fortumista 50,76 % osuuden (Fortum Oyj 2021d).

Omia ydinvoimalaitosyksiköitä Fortumilla on Suomessa kaksi, Loviisa 1 ja Loviisa 2. Osakkuuslaitoksia on Suomessa Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2, joista Fortumin osuus on 27 %. Ruotsissa olevat osakkuuslaitokset ovat Forsmark 1, Forsmark 2 ja Forsmark 3, joissa Fortumin osuus on 22 %, lisäksi Oskarshamn 3 jossa osuus on 43 %. (Fortum Oyj 2021g.)

Fortumin tuulivoimakapasiteetti oli 243,4 MW vuonna 2019, joka käsittää yhteensä 78 tuuliturbiinia. Lisäksi kehitteillä on 800 MW kapasiteetin verran lisää tuulivoimaloita. (Fortum Oyj 2021f.)

Omia ja osaomisteisia aurinkovoimaloita Fortumilla on Venäjällä ja Intiassa, joiden kokonaiskapasiteetti on 470 MW. 2019 vuonna Fortum otti käyttöön Pavagada II aurinkovoimalan Intiassa, jonka kapasiteetti on 250 MW. (Fortum Oyj 2021a.)

Sähkön- ja lämmöntuotannon lisäksi Fortum tarjoaa erilaisia palveluita yrityksille ja kotitalouksille. Tarjontaan kuuluu sähköautojen latauspalvelut, kierrätys- ja jätepalvelut sekä tuotteet ja palvelut lämpö- ja ydinvoimalaitoksille. (Fortum 2021b.)

Loviisan ydinvoimalaitoksella on kaksi laitousyksikköä, Loviisa 1 (LO1) ja Loviisa 2 (LO2). Laitousyksiköt on otettu käyttöön vuosina 1977 ja 1980. Molemmat yksiköt ovat VVER-tyyppisiä painevesireaktoreita, kummankin kapasiteetti on 507 MW. (Fortum Oyj 2021c.)

VVER on lyhenne venäjän kielestä Vodo- Vodyanoi Energetichesky Reaktor eli vesi-vesi-energiareaktori. VVER ja muiden painevesireaktoreiden välillä on eroja materiaalien ja suunnittelun osalta. VVER-laitoksella käytetään vaakasuuntaisia höyrystimiä, pystymallisten sijaan. Polttoaine-elementit ovat poikkeukseltaan kuusikulmaisia, länsimaisessa suunnittelussa elementit ovat tyypillisesti neliön mallisia. (Rusatom Overseas 2021.)

3.1 Sekundääripiiri

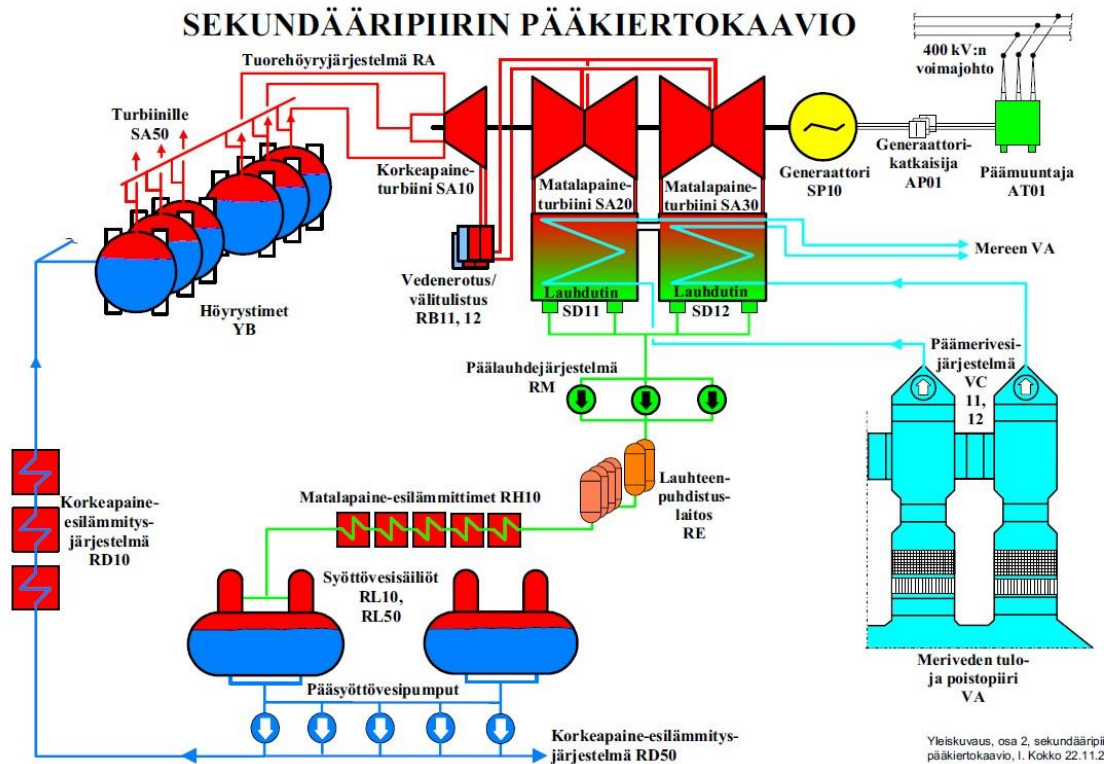
Loviisan voimalaitoksella on kaksi aksiaalilauhdutinturbiinia yhtä reaktoria kohden. Kaikki neljä turbiinia on sijoitettu poikittain samaan turbiinihalliin turvallisuuden vuoksi. Tällöin turbiinihallista on voitu myös tehdä lyhyempi kuin pitkittäin sijoitetuilla turbiineilla. Turbiinissa on yksijuoksuinen korkeapaineosa eli kp-osa ja kaksi kaksijuoksuista matalapaineosaa eli mp-osaa. Turbiineille tuleva höyry on suhteellisen kosteaa, jolloin höyryn ominaistilavuus on suuri lämpösisältöön verrattuna. Tästä johtuen turbiinit ovat kooltaan isoja. Kuva 11 on otettu Loviisan turbiinihallista, josta näkyy korkea- ja matalapaineosat, generaattori, pääejektorit sekä syöttöveden matalapaine- esilämmittimet. (Fortum Power & Heat Oy 2002.)



Kuva 11. Loviisan voimalaitoksen turbiinihalli (Fortum Power & Heat Oy 2002)

Höyrystimiltä tuleva höyry kulkee säätöventtiilien kautta korkeapaineturbiiniin. Kp-osan jälkeen höyrystä poistetaan kosteutta suurnopeuskosteuden erottimilta, jonka jälkeen on vedenerotus ja kaksivaiheinen välitulistus. Välitulistuksen jälkeen höyry ohjataan matalapaineturbiineille. Mp-osan jälkeen höyry ohjataan Mp-turbiinien alapuolella oleviin lauhduttimiin. Turbiineilla on kahdeksan väliottoa, joilta höyryä ohjataan syöttöveden esilämmitykseen ja muihin laitoksen omakäyttökohteisiin. (Fortum Power & Heat Oy 2002.)

Sekundääripiirin pääkiertokaavio on esitetty kuvassa 12. Matalapaineturbiineilta tuleva höyry ohjataan turbiinien alapuolella olevaan kahteen merivesijähdytteiseen lauhduttimeen. Lauhduttimen tehtävä on lauhduttaa höyry vedeksi mahdollisimman matalassa paineessa. Laitoksen käynnistysvaiheessa ejektoreilla poistetaan lauhduttimesta ilma eli muodostetaan lauhduttimeen tyhjiö. Tehokäytön aikana ejektoreilla poistetaan lauhduttimesta lauhtumattomat kaasut.



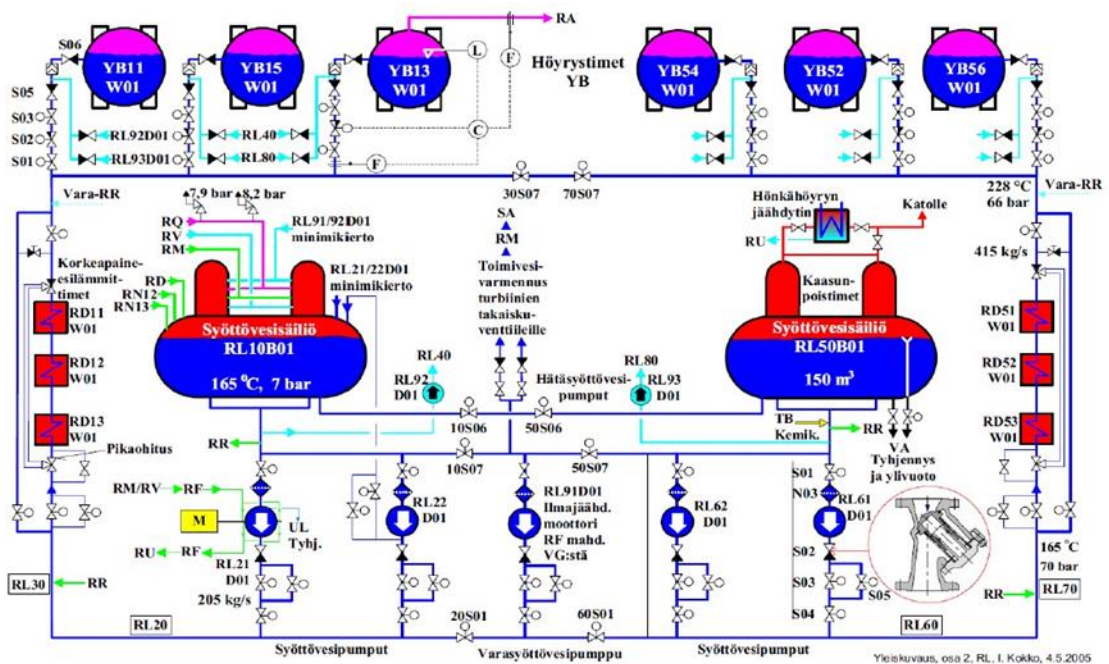
Kuva 12. Sekundääripiirin pääkiertokaavio. (Fortum Power & Heat Oy 2005)

Lauhduttimia jäähdyttäviä päämerivesipumppuja on neljä laitosyksikköä kohden. Päämerivesipumpun tuotto on varsin suuri 3,9–6,3 m³/s, mutta nostokorkeus on pieni 0,5–1 bar. Merivesi otetaan ja palautetaan vedenpinnan alla, jolloin voidaan hyödyntää lappoilmiota. Pumpuilla tarvitaan tuottaa vain putkiston ja lauhduttimien virtausvastusten voittamiseen tarvittava teho. (Fortum Power & Heat Oy 2017e, 1–2.)

Lauhduttimessa lauhtunut vesi kerääntyy lauhdekammioihin, joista vesi pumpataan päälahdepumpuilla lauhteenpuhdistuksen kautta matalapaine-esilämmittimiin. Matalapaine-esilämmittimiä on sarjassa viisi kappaletta turbiinia kohden, niissä vesi lämmitetään noin 25 °C lämpötilasta noin 150 °C lämpötilaan. Vaiheittainen esilämmitys parantaa hyötysuhdetta ja vähentää lämpörasitusta. Esilämmitykseen käytetään turbiinin väliotoista saatavaa höyryä. (Fortum Power & Heat Oy 2017c, 1–2.)

Matalapaine-esilämmittimiltä vesi ohjataan syöttövesisäiliöön. Pääsyöttövesijärjestelmä periaatekaavio on esitetty kuvassa 13. Syöttövesisäiliössä on kaksi kaasunpoistinta, joissa syöttövedestä poistetaan lauhtumattomia kaa-

suja. Syöttövesisäiliöt toimivat myös syöttöveden esilämmittiminä, jossa lämpötila nostetaan 150 °C lämpötilasta noin 165 °C lämpötilaan ja 7 baarin paineeseen. Syöttövesisäiliöt ovat tilavuudeltaan 150 m³ ja ne toimivat myös sekundääripiirin vesivarastona. Pääsyöttövesipumppuja on viisi kappaletta, joista neljä käy tehoajolla. Pääsyöttövesipumpput korottavat syöttöveden painetta ja pumpaavat veden kolmeen sarjassa olevaan korkeapaine-esilämmittimeen. Syöttöveden lämpötilaa nostetaan korkeapaine-esilämmittimissä vaiheittain, jolloin viimeisen esilämmittimen jälkeen lämpötila on noin 228 °C. Korkeapaine-esilämmittimien lämmityshöyry otetaan korkeapaineturbiinin väliotoista. Syöttövesisäiliön ja pääsyöttövesipumppujen päätehtävä on pumpata syöttövesi korkeapaine-esilämmittimien kautta höyrystimiin ja ylläpitää höyrystimien vesipintaa. (Fortum Power & Heat Oy 2017d, 1–2.)



Kuva 13. Pääsyöttövesijärjestelmän yleiskaavio. (Fortum Power & Heat Oy 2017d, 4)

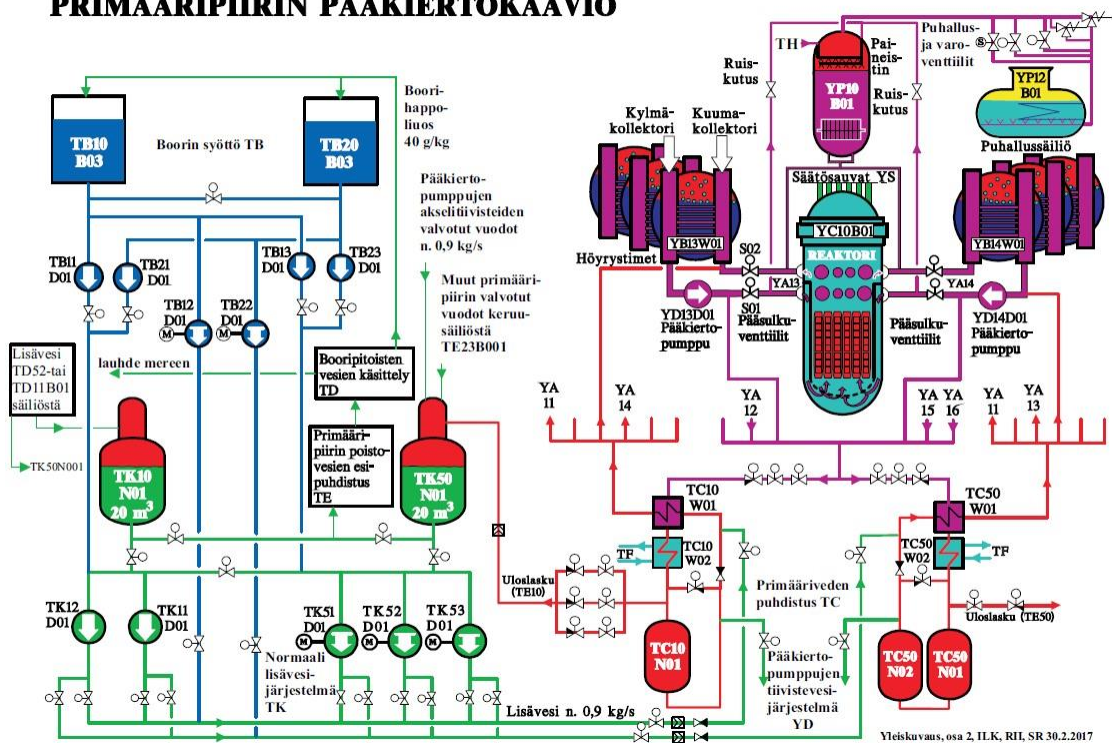
Höyrystiminä on kuusi kappaletta ja ne sijaitsevat reaktorin suojarakennuksen sisällä höyrystimitalassa. Höyrystimien tehtävä on siirtää reaktorin tuottama lämpöenergia primääripiirin jäähdytteenä olevasta vedestä sekundääripiiriin syöttövedeen. Höyrystimiin syöttövesi menee noin 225 °C:een lämpötilassa ja noin 66 baarin paineessa. Reaktorissa lämmennyt primääripiirin vesi tulee höyrystimiin noin 300 °C:een lämpötilassa ja noin 123 baarin paineessa. Höyrystimissä korkeampipaineinen primääripiirin vesi luovuttaa lämpöenergiaansa,

saaden sekundääripiiriin veden kiehumaan ja muodostamaan höyryä. Höyrystimien tuottama höyry ohjataan turbiinille. Höyrystimien ulospuhalluksella höyrystimistä poistetaan epäpuhtauksia sekundääripiiristä. Ulospuhalluksella suojataan höyrystimien materiaalien eheyttä ja ylläpidetään hyvää lämmönsiirto-kykyä. (Fortum Power & Heat Oy 2017f, 1–2.)

3.2 Primääripiiri

Primääripiiri on suljettu kiertopiiri, jossa pääkiertopumpuilla pumpataan jäähdytteenä toimivaa vettä reaktoriin ja sieltä höyrystimien kautta takaisin pääkiertopumppujen imuun. Pääkiertopumppuja on kuusi kappaletta, joilla ylläpidetään jäähdytevirtausta. Rakenteeltaan pääkiertopumput ovat pystysuuntaisia diagonaalipumppuja. Primääriveden puhdistusjärjestelmä, jolla puhdistetaan epäpuhtauksia primääripiiriin vedestä, ylläpidetään pääkiertopumppujen paine-eron avulla. Primääripiiriin pääkiertokaavio on esitetty kuvassa 14. (Fortum Power & Heat Oy 2017g, 1–2.)

PRIMÄÄRIPIIRIN PÄÄKIERTOKAAVIO

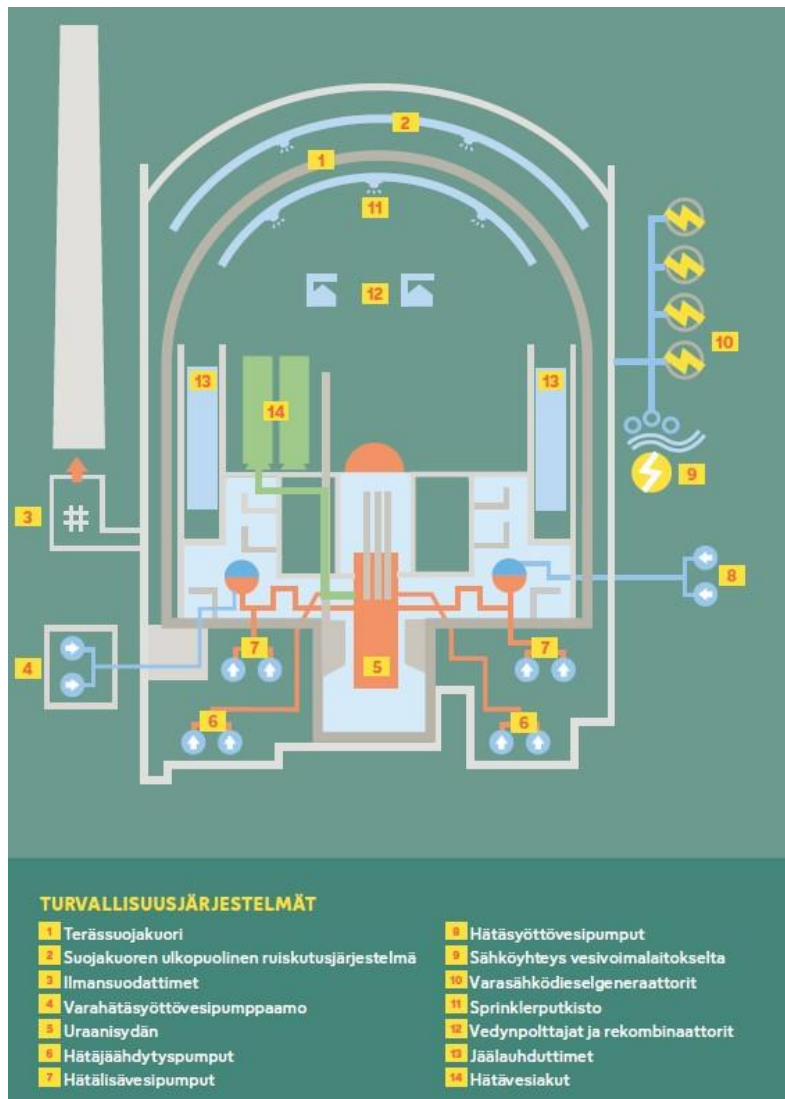


Kuva 14. Primääripiiriin pääkiertokaavio (Fortum Power & Heat Oy 2017a)

Primääripiirin valvottujen vuotojen korvaamiseksi primääripiiriin syötetään normaalin lisävesijärjestelmän mäntäpumpuilla noin 1 kg/s lisävettä. Valvotut vuodot koostuvat pääasiallisesti pääkiertopumppujen tiivistysvedestä ja näytteenottovalutuksista. Lisävesi primääripiiriin syötetään primääriveden puhdistusjärjestelmän kautta pääkiertoon. (Fortum Power & Heat Oy 2017g.)

3.3 Turvajärjestelmät

Loviisan voimalaitoksella on turvallisuusjärjestelmiä häiriö- ja onnettomuustilanteiden varalta. Kuvassa 15 on esitetty Loviisan voimalaitoksen tärkeimpiä turvajärjestelmiä. Turvallisuusjärjestelmät ovat onnettomuutta ehkäiseviä tai sen seurauksia hillitseviä. Toimintaperiaatteeltaan järjestelmät ovat joko aktiivisia tai passiivia. Turvajärjestelmien tehtävänä on varmistaa reaktorisydämen eheys tai estää vaurioituneesta reaktorista vapautuvien radioaktiivisten aineiden vapautuminen ulkoilmaan. (Fortum Power & Heat Oy 2014, 26–28.)



Kuva 15. Loviisan turvallisuusjärjestelmät. (Fortum Power & Heat Oy 2018, 29)

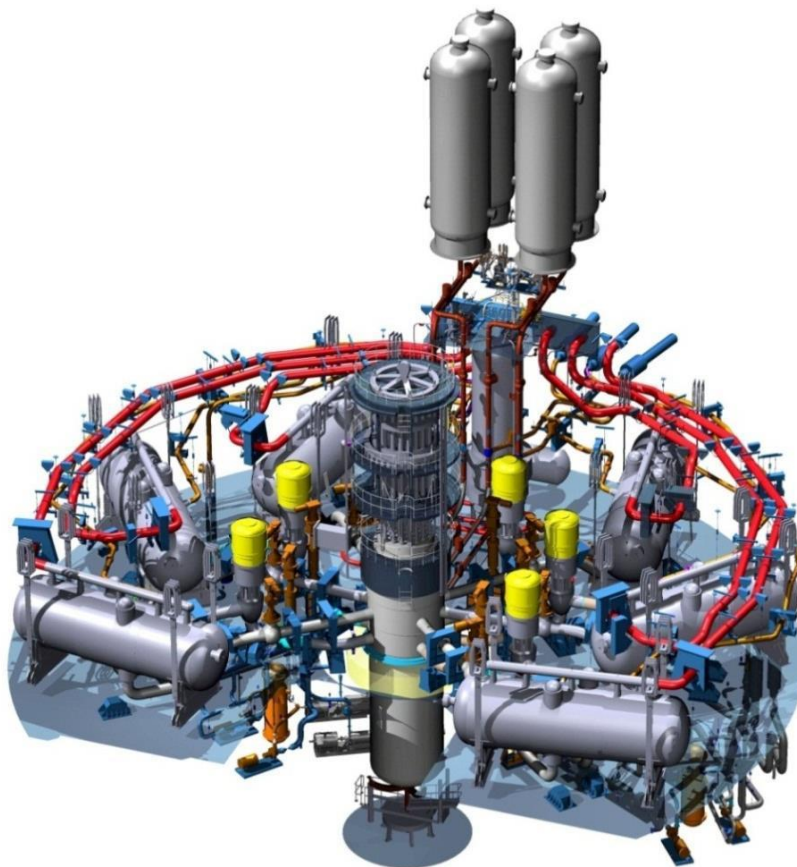
Terässuojakuoren ulkopuolella on betonista tehty reaktorin suojarakennus, jonka tehtävä on suojata terässuojakuorta säävaihteluilta, ulkoisilta missiileiltä eli törmääviltä esineiltä, sekä vaimentaa säteilytasoja onnettomuustilanteessa. Terässuojakuoren tehtävänä on onnettomuus- tai häiriötilanteessa kantaa siihen kohdistuvat yli- tai alipainekuormat siten, että terässuojakuoren tiiveys säilyy ja eristää radioaktiiviset aineet suojarakennuksen sisälle.

Kuvassa 15 on esitetty numerolla 13 jäälahduttimet, joiden tehtävä on varmistaa onnettomuustilanteessa, ettei paine suojarakennuksen sisäpuolella nouse yli terässuojakuoren suunnittelupaineen. Jäälahduttimissa on noin 900 tonnia booripitoista jäätä ja ne ovat yhteydessä höyrystintilaan alaovilla. Höyrystintilan primääripiirin putkirikkotilanteessa vuotava primääripiirin vesi höy-

rystyy ja muodostunut höyry ohjataan alaovien kautta jäälauhduttimiin. Jäälauhduttimissa oleva jää lauhduttaa sinne ohjatun höyryn vedeksi ja estää näin paineen nousemisen suojarakennuksen sisäpuolella.

3.4 Höyrystintila

Primääripiirin prosessilaitteet ja putkistot, sekä niihin liittyvät sekundääripiirin putkistot on pyritty sijoittamaan terässuojakuoren alaosaan erilliseen höyrystintilaan. Kuvassa 16 on esitetty Loviisan voimalaitoksen primääripiirin 3d-malli, joka havainnollistaa kuinka tiiviisti höyrystintila on rakennettu. Kuvassa keskellä näkyy reaktorin paineastia ja paineastiasta lähtevät primääripiirin putkistot höyrystimiin ja pääkiertopumpuille. Reaktorin paineastian takana on paineistin ja paineistimen yläpuolella on neljä hätäsisävesiakkua, joista on suora yhteys reaktorin paineastiaan.

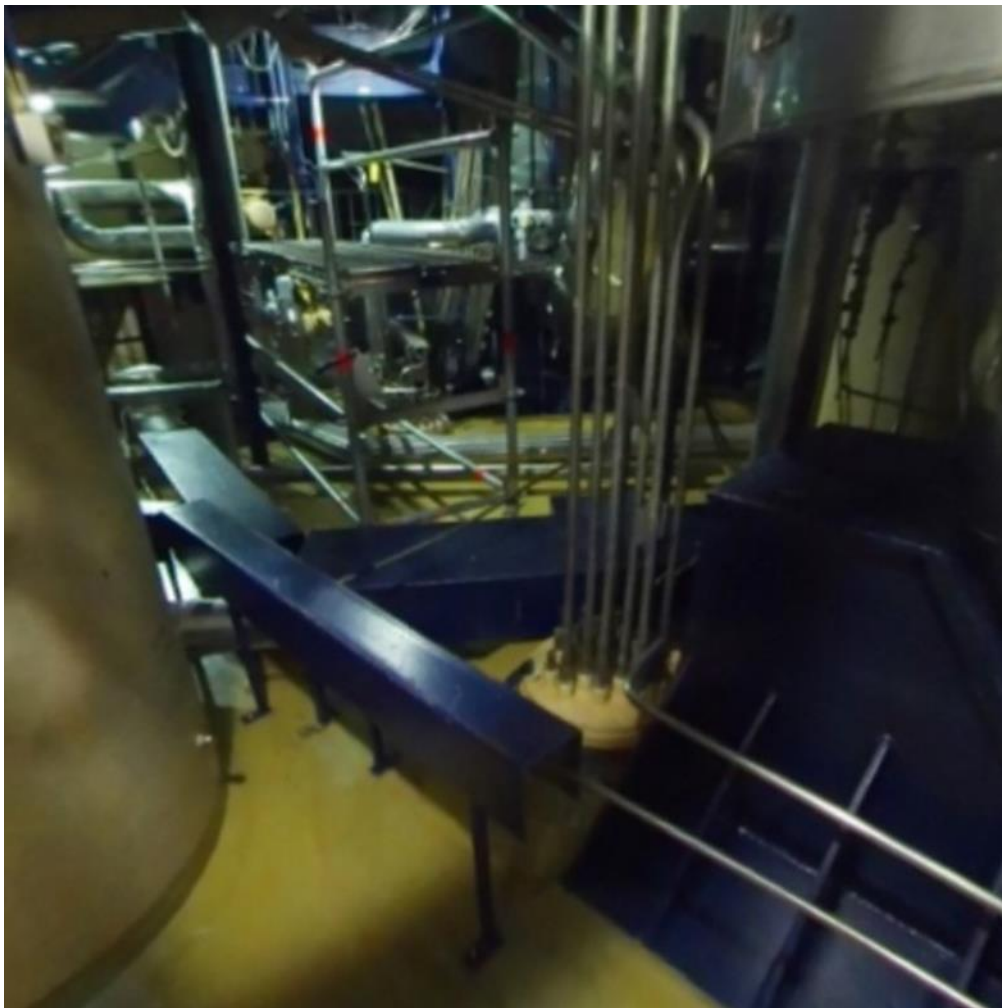


Kuva 16. Höyrystintilan 3d-mallinnus. (Fortum Power & Heat 2019, 14)

Loviisan ydinvoimalaitoksen molempien laitosisyksiköiden reaktorit ovat varustettu länsimaisen turvallisuusajattelun mukaisella terässuojakuorella. Muita

samantyyppisiä VVER-laitoksia ei ole varustettu vastaavalla terässuojakuorella. Tästä johtuen Loviisan voimalaitoksen höyrystintilat ovat jouduttu rakentamaan kompaktimmaksi kuin vastaavien ydinvoimalaitoksien, joita ei ole varustettu vastaavalla rakenteella.

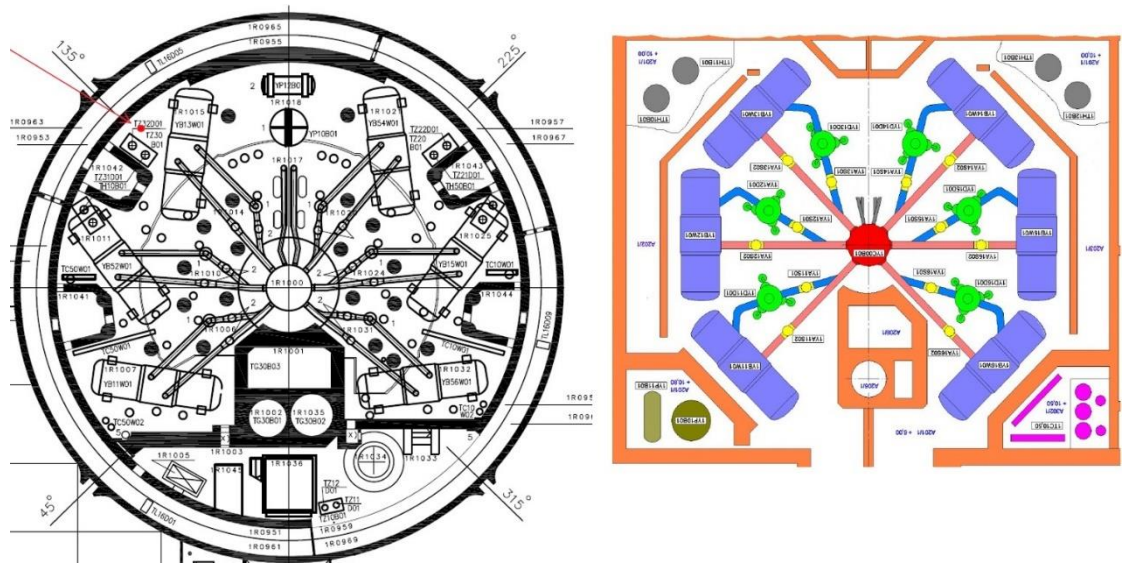
Kuva 17 on Loviisan voimalaitoksen höyrystintilasta. Huoltoja, kosteuksia, säteilysuojia ja erilaisia tarkastuksia varten höyrystintilaan rakennetaan väliaikaisia telineitä, jotka omalta osaltaan kaventavat kulkuväyliä ja hidastavat tilassa liikkumista.



Kuva 17. Loviisan höyrystintila. (Fortum Power & Heat 2021)

Kuvassa 18 näkyy vasemmalla Loviisan ja oikealla Tšekin tasavallassa sijaitsevan Dukovany voimalaitoksen höyrystintilojen pohjakartat. Molemmat voimalaitokset ovat samanlaisia VVER-tyyppisiä painevesireaktoreita, mutta Dukovanyn reaktoria ei ole varustettu terässuojakuorella. Pohjapiirrokset eivät

ole samassa mittakaavassa, niistä kuitenkin huomaa, että Dukovanyin höyrystintila on voitu rakentaa selkeästi väljemmäksi. Tämä on mahdollistanut höyrystimien kiertämisen höyrystintilan ulkokehän puolelta, jolloin säteileviä kohteita voidaan kiertää myös höyrystintilan ulkokehän kautta. Loviisan voimalaitoksella höyrystintila on rakennettu terässuojakuoren vuoksi tiiviimmin, jolloin höyrystintilan pääkulkuväylä on reaktorin paineastian ja höyrystimien välisellä sisäkehällä. Höyrystintilan sisäkehällä kulkemista hidastaa siellä olevat pääkiertoputkistot ja niihin liittyvät komponentit.



Kuva 18. Höyrystintilan pohjapiirroksista Loviisan ja Dukovanyin voimalaitoksista. (Kontio 2021, 35)

Primääripiirin ja siihen liittyvien järjestelmien pinnoilta irtoaa tehokäytön aikana materiaalia, joka aktivoituu reaktoriin kulkeuduttuaan ja kiinnittyy uudelleen primääripiiriin sekä siihen liittyvien järjestelmien putkistoihin, venttiileihin ja muihin komponentteihin. Nämä aktivoitumistuotteet primääripiirin putkistojen pinnalla ovat vuosihuollon aikana suurin säteilynlähde höyrystintilassa. Toiseksi isoin säteilynlähde ovat fissio- ja aktivoitumistuotteet primääripiirin vedessä. (Kontio 2021, 36–37.)

4 LOVIISAN VOIMALAITOKSEN MERKINTÄJÄRJESTELMÄ

Loviisan voimalaitoksella on käytössä AKZ-järjestelmä, joka on kehitetty KZ-järjestelmästä. Yleisesti Loviisan voimalaitoksella puhutaan KZ-järjestelmästä, joten tässä työssä puhutaan myös yleisnimityksellä KZ-järjestelmä. Höyrystintilan käyttöpaikat ovat myös merkitty KZ-järjestelmällä. Paikkamerkintäluettelo perustuu KZ-järjestelmällä merkittyjen käyttöpaikkojen avulla tapahtuvaan haakuun. Tässä osiossa esitetään, kuinka merkintäjärjestelmä toimii Loviisan voimalaitoksella.

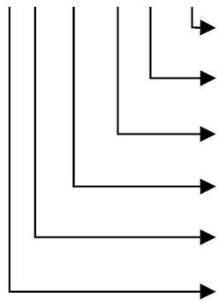
AKZ-järjestelmä (Anlagenkennzeichnungssystem) on kehitetty 1960-luvulla saksalaisten voimalaitostoimittajien toimesta. Kyseessä on nimeämisjärjestelmä, jossa voimalaitoksen prosesseille, laitteille sekä automaatio- ja sähköjärjestelmille luodaan yksilöivä KZ-tunnus. Järjestelmän käytöllä pyritään selkeyttämään ja helpottamaan voimalaitoksen käyttöä ja ylläpitoa. (Kelavirta 2020b, 3.)

Käyttöpaikka on komponentin tai signaalin paikka prosessissa, jolle annetaan oma KZ-tunnus. KZ-järjestelmä ulottuu voimalaitoksen kaikkiin laitosiin, järjestelmiin ja käyttöpaikkoihin, joihin voi suuntautua huolto-, seuranta- tai käyttötoimenpiteitä, jolloin niillä on oma KZ-tunnus. KZ-tunnukset eivät mene laite- ja laitealustalla liian yksityiskohtaiseksi, vaan esimerkiksi venttiilin ja toimilaitteen yhdistelmällä on yksi käyttöpaikka. Kun voimalaitoksella vaihdetaan laitteita, KZ-tunnus pysyy samana, sillä tunnus on käyttöpaikkakohtainen. (Kelavirta 2020, 3.b)

4.1 KZ-tunnuksen rakenne

KZ-tunnus koostuu 6 lohkoista. Tunnuksen rakenne on esitetty kuvassa 19. Lohko 1:ssä oleva laitostunnus kertoo mille laitokselle käyttöpaikka kuuluu. Vaihtoehtoina on 1 (Loviisa 1) ja 2 (Loviisa 2), lisäksi kirjaimilla on esitettyinä muita voimalaitoksella olevia rakennuksia, esim. S tarkoittaa koulutussimulaattoria.

1|0|RA|11|S|0001



Lohko 6, juokseva nro ja signaalinmuodostus

Lohko 5, laitekoodi

Lohko 4, prosessiosan tunnus

Lohko 3, järjestelmätunnus

Lohko 2, redundanssitunnus

Lohko 1, laitostunnus

Kuva 19. KZ-tunnusesimerkki ja rakenteen kuvaus. (Kelavirta 2020a, 1)

Lohko 2 ilmaisee käyttöpaikan redundanssin. Rinnakkaisista toisistaan riippumattomista ja toisiaan varmistavista turvajärjestelmän osista käytetään nimitystä redundanssi. Loviisan voimalaitoksella on kaksi redundanssia, mikäli KZ-tunnuksella ei ole redundanssia merkitään redundanssiksi nolla. (Kelavirta 2020a, 1.)

Järjestelmätunnus esitetään lohkoissa 3, joka muodostuu kahdesta kirjaimesta. Järjestelmätunnus kertoo mihin prosessiosaan tai järjestelmään laite kuuluu. Ensimmäinen kirjain kertoo, minkä kaltaisesta järjestelmästä on kyse. Esimerkiksi vesi-höyrykierto järjestelmät alkavat kirjaimella R ja toinen kirjain tarkentuu tiettyyn vesi-höyrykierron järjestelmään esim. RA, joka on tuorehöyryjärjestelmä. (Kelavirta 2020a, 2.)

Lohko 4 prosessiosan tunnus kertoo, mihin laitteiston osaan tai osaprosessin haaraan tunnus kuuluu. Prosessiosan tunnus on kaksinumeroinen luku 00 ja 99 väliltä. (Kelavirta 2020a, 2.)

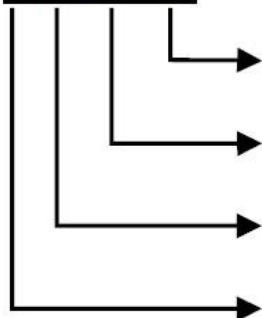
Lohko 5 on laitekoodi, joka kertoo laitteen tyypin yhdellä kirjaimella. Esimerkiksi B tarkoittaa säiliötä tai yleisesti laitetta. (Kelavirta 2020a, 2.)

Lohko 6 on nelinumeroinen juokseva luku 0001 ja 9999 väliltä. Se erittelee laitteen osaprosessin ja linjan sisällä yksilöivällä numerolla. (Kelavirta 2020a, 3.)

4.2 Huonetilan merkitseminen

Loviisan voimalaitoksen rakennukset ja huonetilat on myös merkitty KZ-järjestelmällä. Huonetilojen merkitseminen koostuu neljästä lohkokosta ja se on esitetty kuvassa 20.

1|V|03|21



Lohko 4, juokseva numero

Lohko 3, taso

Lohko 2, rakennustunnus

Lohko 1, laitostunnus

Kuva 20. Esimerkki huonetilan KZ-tunnuksesta. (Kelavirta 2020c, 1)

Lohko 1 ilmaisee mille laitokselle rakennus tai huone kuuluu. Esimerkkikuvassa 20 huomataan, että huone kuuluu Loviisa 1 laitokselle. (Kelavirta 2020c, 1.)

Lohko 2 on rakennustunnus, jossa kirjaimella yksilöidään rakennukset, esimerkiksi V-kirjain tarkoittaa valvomorakennusta. (Kelavirta 2020c, 1.)

Lohko 3 ilmaisee kahdella numerolla huonetilan lattian korkeuden merenpinnasta siten, että merenpinnan yläpuoliset tilat ovat merkitty 00 tai 01-89 väliltä. Tasonumero ilmaisee korkeuden metrilukeman kokonaisuosan. Esimerkkikuvassa 20, huonetila on kolme metriä merenpinnan yläpuolella. Merenpinnan alapuoliset tilat on merkitty 9-alkuisina ja seuraava numero ilmaisee, kuinka monta metriä merenpinnan alapuolella taso on. Esimerkiksi taso 94 ilmaisee tason olevan neljä metriä merenpinnan alapuolella. (Kelavirta 2020c, 2.)

Lohko 4 on juokseva numerointi huoneille. Luku voi olla kaksi- tai kolminumeroinen. (Kelavirta 2020c, 2.)

4.3 KZ-tunniste

KZ-tunnistekilvet on kiinnitetty laitoksen KZ-järjestelmän piirissä oleville laitteille ja komponenteille. Loviisa 1 -laitoksella tunnistekilvet ovat väriltään mustia (kuva 21) ja Loviisa 2 -laitoksella punaisia (kuva 22). Kilven materiaali on anodisoitua alumiinia paksuudeltaan 1 mm. Väkevien kemikaalien käyttökohteissa käytetään alumiinisten tunnistekilpien sijaan ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kilpiä (kuva 23), paremman kemikaalien keston vuoksi. (Leino 2020, 2-3.)

Tunnistekilvissä on käyttöpaikan lisäksi viivakoodi, joka voidaan lukea mobiililaitteella. Mobiililaitte varmistaa käyttäjälle, että hän on oikean käyttöpaikan luona. Osaan kilvistä on haluttu antaa lisätunnisteita, jotka helpottavat laitteiden tunnistamista ja kertovat käyttäjälle laitteen tärkeydestä turvallisuuden kannalta.



Kuva 21. Loviisa 1 KZ-tunniste. (Leino 2020, 2)



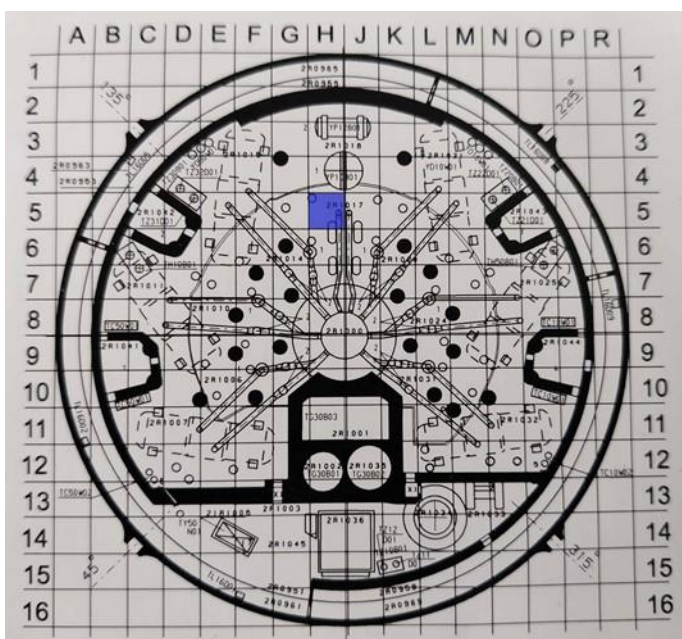
Kuva 22. Loviisa 2 KZ-tunniste. (Leino 2020, 3)



Kuva 23. Rosterinen KZ-tunniste väkevien kemikaalien tiloihin. (Leino 2020, 3)

5 HÖYRYSTINTILAN PAIKKAMERKINTÄLUETTELOON KEHITTÄMINEN

Nykyinen paikkamerkintäluettelo on 105 x 148 mm A6-kokoinen vihko. Vi-
hossa on lueteltuna järjestelmittäin höyrystintilassa sijaitsevia komponentteja
niiden käyttöpaikan mukaan. Käyttöpaikan lisäksi vihko tarjoaa kuvaustiedon,
joka kertoo kyseessä olevan komponentin tehtävän, koordinaatin ja koordi-
naatistopohjakartan höyrystintilasta. Koordinaatti kertoo käyttöpaikan sijainnin
höyrystintilan pohjakartalla, joka on esitettyä kuvassa 24. Käyttöpaikan koor-
dinaatti esitetään siten, että kartan yläosassa oleva kirjain tulee ensin ja sen
jälkeen oleva numero ilmaisee kirjaimella merkittyyn sarakkeeseen kuuluvan
ruudun. Kuvassa 24 on esimerkiksi merkittynä höyrystintilan koordinaattiruutu
H5.



Kuva 24. Höyrystintilan pohjakartta, jossa merkittynä ruutu H5.

Pohjakartan yläosassa kulkee vaakatasossa kirjaimet A:sta R:ään. Pohjakartan molemmilla sivuilla kulkee ylhäältä alaspäin juokseva numerointi yhdestä kuuteentoista. Vaakatasossa olevan kirjaimen ja pystytasossa olevan numeron yhdistelmällä saadaan höyrystintila jaettua 256:een eri koordinaattiruutuun. Kuten kuvasta 24 nähdään, höyrystintilan pohjan pyöreän muodon vuoksi, kaikki koordinaattiruudut eivät ole käytössä.

5.1 Paikkamerkintäluettelon kehittämisen vaatimukset

Toimeksiantajan vaatimukset paikkamerkintäluettelon kehittämiseen olivat seuraavat:

- Paikkamerkintäluettelon muuttaminen sähköiseen muotoon
- Tarjoaa vähintään samat tiedot kuin nykyinen paikkamerkintäluettelo
- Riippumaton pilvipalveluista
- Sovelluksen helppokäyttöisyys
- Sovelluksen ylläpidon ja päivittämisen vaivattomuus

Loviisan voimalaitoksella on meneillään projekti, jossa rakennetaan langaton verkko muun muassa höyrystintilaan. Langaton verkko tulee mahdollistamaan mobiililaitteiden käyttämisen höyrystintilassa ja sähköisessä muodossa olevalla paikkamerkintäluettelolla voitaisiin korvata nykyinen paikkamerkintäluettelo. Ohjelman vaatimuksena on, että se pystyy lukemaan Loviisan voimalaitoksen laitostietojärjestelmästä saatavaa tietoa.

Sovelluksen tulee tarjota käyttäjälle vähintään samat tiedot, nykyinen paikkamerkintäluettelo. Nykyinen paikkamerkintäluettelo tarjoaa käyttäjälle seuraavat tiedot:

- käyttöpaikka
- kuvaus
- koordinaatti
- höyrystintilan koordinaattipohjakartta

Käyttöpaikkaluettelossa oleva tieto käyttöpaikoista ja niiden sijainneista on sensitiivistä, joten sovelluksen tulee olla riippumaton pilvipalveluista. Sovelluksen tulee olla käyttäjäystävällinen, jotta kaikki nykyisen paikkamerkintäluette-

lon käyttäjien olisi mahdollisimman sujuvaa siirtyä käyttämään sähköistä sovellusta. Sovelluksen ylläpito ja tietojen päivittäminen tulee olla mahdollista rakentaa siten, että ne voidaan hoitaa tehokkaasti.

5.2 Ohjelman valinta

Paikkamerkintäluettelosovellus on suunniteltu toimeksiantajalta saatujen vaatimusten sekä paikkamerkintäluetteloä käyttävien henkilöiden haastattelujen pohjalta. Sovelluksen rakentamiseen käytettävä ohjelma perustuu toimeksiantajan vaatimukseen. Yhteensä neljä ohjelmaa valikoitui mahdollisiksi vaihtoehdoiksi sovelluksen rakentamiseen:

- Google Sheets
- Microsoft Access
- Open Office
- Microsoft Excel

Kuvassa 25 on esitetty pistetaulukko. Pistetaulukon avulla pisteytetään, kuinka hyvin ohjelmalla on mahdollista täyttää toimeksiantajan vaatimukset. Toimeksiantajan vaatimukset on numeroitu yhdestä viiteen. Vaatimuksen täyttyminen on esitetty vihreällä värillä ja mikäli vaatimusta ei täytetty väri on punainen. Kaikkien vaatimuksien painoarvo on sama, vaatimuksen täytymisestä sai yhden pisteen ja vaatimuksen täyttymättömyydestä sai nolla pistettä.

Toimeksiantajan vaatimukset:

1. Paikkamerkintäluettelo on mahdollista muuttaa ohjelmalla sähköiseen muotoon. Pystyy lukemaan laitostietojärjestelmästä saatavaa tietoa.
2. Ohjelmalla on mahdollista tarjota vähintään samat tiedot, kuin nykyisessä paikkamerkintäluettelossa.
3. Riippumattomuus pilvipalveluista.
4. Helppokäyttöisyys.
5. Ylläpidon ja päivittämisen vaivattomuus.

Vaatusmus	Google Sheets	Microsoft Access	Open Office	Microsoft Excel
1				
2				
3				
4				
5				
Pisteet yht.	3	4	4	5

Kuva 25. Pistetaulukko ohjelmistojen vaatimusten täyttämistä

Kaikki ohjelmat täyttivät vaatimukset yksi, kaksi ja viisi. Kaikki ohjelmat soveltuvat lukemaan laitos-tietokannasta saatavaa tietoa ja niillä on mahdollista rakentaa sovellus, joka tarjoaa vähintään samat tiedot kuin nykyinen paikkamerkintäluettelo, jolloin täytetään vaatimukset numero yksi ja kaksi. Sovelluksen päivittäminen ja ylläpito on kaikilla ohjelmavaihtoehdoilla mahdollista rakentaa hyvin samankaltaiseksi, joten voidaan todeta kaikkien ohjelmien täyttävän myös vaatimuksen numero viisi.

Google Sheets ohjelma täytti vaatimuksista kolme. Google Sheets on selain-pohjainen taulukkolaskentaohjelma, jonka tiedot tallentuvat pilvipalveluun, eikä se tältä osin täytä toimiksiantajan vaatimusta numero kolme pilvipalveluista riippumattomuudesta (Silmälä 2020). Google Sheets ei ole Loviisan voimallaitoksella käytettävien ohjelmistojen joukossa, jolloin ei voida olettaa, että se myöskään olisi tuttu ohjelmisto kaikille paikkamerkintäluetteloa käyttäville. Tällöin voidaan myös olettaa, että Google Sheets ohjelmalla tehty sovellus ei täytä toimiksiantajan vaatimusta numero neljä.

Microsoft Access on tietokantojen käsittelyohjelma, joka täytti vaatimuksista neljä. Open Office on avoimeen lähdekoodiin perustuva taulukkolaskentaohjelma, joka myös täytti vaatimuksista neljä. Microsoft Access ja Open Office eivät ole paikkamerkintäluettelon käyttäjien yleisessä käytössä, eikä kohde-ryhmän tarvitse käyttää päivittäisessä työssään kyseisiä ohjelmia. Tällöin ei voida varmistua tulisiko sovelluksesta kohde-ryhmälle helppokäyttöinen, joten Microsoft Access ja Open Office eivät täytä toimiksiantajan vaatimusta numero neljä.

Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelma valikoitui työssä käytettäväksi ohjelmistoksi. Excel täytti kaikki viisi toimeksiantajan vaatimusta. Paikkamerkintäluettelon käyttäjät tarvitsevat päivittäisessä työssään Excel-ohjelmaa useammassa eri sovelluksessa. Täten voidaan olettaa, että juuri tällä vaihtoehdolla on mahdollista parhaiten täyttää toimeksiantajan vaatimus numero neljä sovelluksen helppokäyttöisyydestä.

5.3 Excel-sovellus

Loviisan voimalaitoksen laitostietojärjestelmä LOMAX:sta saa Excel-ohjelmalle soveltuvaa dataa höyrystintilan komponenteista. Työn tietopohjana on laitostietojärjestelmästä saadut tiedot, molempien laitousyksiköiden höyrystintilojen komponenteista. Laitostietojärjestelmässä höyrystintilan käyttöpaikkojen koordinaattitieto on esitetty perustilan huomiot-kohdassa, jossa kerrotaan myös muita asioita kuin koordinaattitieto. Sovelluksen päivittämisen ja ylläpidettävyyden parantamiseksi käyttöpaikkojen koordinaattitiedot on siirretty manuaalisesti omaan koordinaattitietokenttään. Koordinaattitietokenttä mahdollistaa myös huomattavasti yksinkertaisempien hakujen tekemisen sovelluksen tietokannasta, jolla pyritään minimoimaan omalta osaltaan sovelluksen rakentajan mahdollisesti tekemiä virheitä.

Uuteen paikkamerkintäluetteloon valikoitui yhteensä yhdeksän eri tietoa jokaisesta komponentista:

- käyttöpaikka
- kuvaus
- laitelaji
- huone
- taso
- perustila
- koordinaatti
- perustilan huomiot
- höyrystintilan koordinaattipohjakartta

Käyttöpaikka on komponentin yksilöivä KZ-tunnus. Kuvaus kertoo käyttöpaikan tehtävästä, esimerkiksi mikäli käyttöpaikan venttiili on vesitys tai ilmaus, se kerrotaan kuvaustiedossa. Laitelaji ilmaisee, onko kyseessä oleva käyttöpaikka esimerkiksi käsi-, moottori- vai takaiskuventtiili. Tämä tieto helpottaa

osaltaan käyttöpaikan paikallistamista höyrystintilassa. Käyttöpaikan huonetila sekä taso auttavat paikallistamisessa niissä tapauksissa, joissa koordinaattitieto ei ole täsmällinen. Koordinaatti tarjoaa itsessään myös tasotiedon, mutta tason ilmaiseminen myös omassa tietokentässä selkeyttää käyttöliittymää.

Perustila ilmaisee venttiilin asennon auki tai kiinni, jossa sen tulee olla laitoksen tehokäytön aikana. Kun järjestelmä on erotettu esimerkiksi huoltoa varten ja otetaan takaisin käyttöön huollon jälkeen, on järjestelmä perustiloitettava eli linjattava putkistot siten, että järjestelmä on jälleen käytettävissä. Perustilan huomiot-tietokentässä annetaan lisätietoja perustilaan liittyen, esimerkiksi mikäli venttiili tulee lukita tai sinetöidä.

Excelillä tehtyjen sovellusten käytössä ilmenee ongelmia kolmesta syystä. Sovelluksen käyttäjän virhe, sovelluksen rakentajan virhe tai organisaatiolla ei ole hyviä ohjeita ja sääntöjä, kuinka Exceliä tulisi hyödyntää. Käyttäjän virhe on tyypillisesti sellainen, että hän syöttää taulukkoon epähuomiossa väärän luvun tai syöttää luvun kaavasoluun, jolloin kaava häviää eikä laskenta enää toimi. Käyttäjän tekemät virheet voidaan poistaa suojaamalla taulukon solut, jolloin niitä ei voi muokata. (Leino 2016, 16.)

Sovellus on suojattu siten, että vain hakuarkki on käyttäjän näkyvissä ja muut arkit ovat piilotettuina salasanalla. Lisäksi kaikki sovelluksen solut ovat suojattuja. Sovelluksen rakentajan tekemiä virheitä on pyritty eliminoimaan sovelluksen testiversiolla, jota on tarjottu käyttäjien kokeiltavaksi ja ilmi tulleita virheitä on korjattu lopulliseen versioon.

5.4 Hakutoiminto

Excel-sovellus koostuu kolmesta arkista: haku, taulukko ja aputaulukko. Sovelluksen selkeyden ja helppokäyttöisyyden vuoksi käyttöpaikkojen tiedot ovat erillisellä taulukkoarkilla, joka toimii sovelluksen tietokantana. Varsinainen käyttöpaikan hakeminen tapahtuu hakuarkilla. Hakuarkille tiedot haettavasta käyttöpaikasta tuodaan taulukkoarkilta.

Kuvassa 26 näkyy Loviisa 2 -laitosyksikön paikkamerkintäluettelosovelluksen hakuarkki. Hakukenttä on solussa A3, josta käyttöpaikkojen hakeminen tapahtuu. Haku on toteutettu Excelin datatyökalun tietojen kelpoisuuden tarkistaminen -toiminnolla. Tietojen kelpoisuuden tarkistaminen -toiminnolla luodaan sovellukseen avattava luettelo, jonka tietolähteenä käytetään taulukkoarkilla olevaa komponenttien käyttöpaikan sisältävää saraketta.

LOVIISA 2							
HAKU	Kuvaus	Laitelaji	Huone	Taso	Perustila	Koordinaatti	Perustilan huomiot
20XX0150001	tyhjennys	KÄSUVENT	2R1015	+10	kiinni	2R10D04	

Kuva 26. LO2 Höyrystintilan paikkamerkintäluettelon hakukenttä.

B3-H3-solujen tietojen hakemiseen käytetään Excelin PHAKU-funktiota. Haku perustuu A3 soluun valitun käyttöpaikan mukaan, jolloin PHAKU-funktio hakee käyttöpaikan mukaiselta riviltä tiedot B3-H3-soluihin. Esimerkiksi B3-soluun tuodaan käyttöpaikan mukainen kuvaustieto Excel-kaavalla =PHAKU(A3; Taulukko!A2:N2500; 2; 0). Kaavassa A3 on solun haettava arvo eli valitun käyttöpaikan KZ-tunnus. Taulukko!A2:N2500 on alue, josta hakuarvoa etsitään eli taulukkoarkilta A2 ja N2500 solujen alueelta. Kaavan osassa 2; 0, numero kaksi ilmaisee monenneltako hakualueen riviltä tieto tuodaan. Kaavan lopussa oleva nolla tarkoittaa, että PHAKU-funktio etsii hakualueelta tarkkaa hakuarvon vastinetta ja palauttaa valitulta riviltä löytämänsä tiedon B3-soluun, johon kaava on kirjoitettu.

5.5 Visuaalinen sovellus

Visuaalinen sovellus näyttää käyttäjälle värillisellä merkillä käyttöpaikan koordinaattia vastaavan ruudun pohjakartalla. Visuaalinen sovellus on esitetty kuvassa 27, käyttöpaikan koordinaattia vastaava ruutu B08 on värjätty merkillä.

	A	B	C	D	E	F	G
1	LOVIISA 1						
2							
3	Käyttöpaikka	Kuvaus	Laitelaji	Huone	Taso	Perustila	Koordinaatti
4	10XX62S0001	vesitys	KÄSUVENT	1R1011	+10	KIINNI	1R10B08
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							

Kuva 27. Loviisa 1 sovelluksen pistekaavio. Käyttöpaikan koordinaatti on B08.

Visuaalinen tieto käyttöpaikan sijainnista auttaa sovelluksen käyttäjää suunnittelemaan edullisimman kulkureitin käyttöpaikalle. Visuaalisen tiedon perusteella käyttäjän on mahdollisuuksien mukaan mahdollista kiertää säteilevimpiä alueita höyrystintilassa tai vähintään tiedostaa, että halutun käyttöpaikan luokse pääsemiseksi täytyy ohittaa kyseisiä alueita.

Sovelluksen visuaalinen tieto on rakennettu Excelin pistekaaviotoiminnolla, jonka pohjakuva on höyrystintilan pohjakartta. Pistekaavio esittää y- ja x-akselien leikkauskohdan merkillä. Tällöin pistekaaviolle soveltuvassa muodossa esitetty koordinaattitieto merkitsee vastaavan ruudun pohjakartalla. Kuvassa 27 on havainnollistava kuva sovelluksen pistekaaviosta.

Käyttöpaikan koordinaatti on seitsemän merkkiä pitkä, esimerkiksi 1R10B08, jossa 2R10 osa kertoo laitosyksikön, rakennuksen sekä tason. B08 on varsinainen koordinaatti, joka kertoo käyttöpaikan sijainnin pohjakartalla ja jotta tämä tieto voidaan esittää pistekaaviossa, niin se on muutettava numeromuotoiseksi. Pohjakartan vaakatasolla kulkevat kirjaimet A-R on muutettu järjestyksessä numeroiksi siten, että kirjain A vastaa numeroa yksi ja viimeisenä oleva kirjain R numeroa kuusitoista. Koordinaatin kirjainosan numeromuotoa käytetään pistekaavion x-akselin tietolähteenä.

Pohjakartan vasemmalla ja oikealla puolella ylhäältä alaspäin kulkevan koordinaatin juokseva numerointi on yhdestä kuuteentoista. Tämä tieto ei sellaiseen sovellu pistekaavioon y-akselin tiedon lähteeksi, vaan numerointi on muutettava käänteiseen järjestykseen. Tällöin esimerkiksi koordinaatti A16, y-akselin arvo on yksi ja vastaavasti A01-koordinaatin y-akselin arvo on kuusi-toista.

Pistekaavion merkki on muotoiltu samankokoiseksi neliöksi, kuin koordinaation ruudut ja merkin väri on säädetty hieman läpinäkyväksi, jolloin myös merkin alla olevat komponentit pysyvät käyttäjän näkyvillä. Pistekaavion x- ja y-akseleiden suuntaiset arvot ovat rajattu siten, että minimiarvo on nolla ja maksimi kuusitoista. Pistekaavio on sijoitettu hakuarkille käyttäjän näkyville, mutta kaavion käyttämät tiedot haetaan aputaulukkoarkilta.

Seitsemänmerkkisestä koordinaatista vain kolme viimeistä merkkiä ovat merkitseviä pistekaavion toiminnan kannalta. Pistekaaviota varten tieto haetaan kuvassa 27 olevan hakuarkin solusta G3 funktiolla =OIKEA(Haku!G3;3), jolloin saadaan solun kolme viimeistä merkkiä tuotua aputaulukkoarkille. Kuvassa 28 näkyy aputaulukkoarkin solu E2, johon tieto tuodaan.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		A	1				Kirjain	Kirjain numerona eli x-koordinaatti	Numero	Y-koordinaatti
2		B	2		N07		N	12,5	7	9,5
3		C	3							
4		D	4							
5		E	5							
6		F	6							
7		G	7							
8		H	8							
9		J	9							
10		K	10							
11		L	11							
12		M	12							
13		N	13							
14		O	14							
15		P	15							
16		R	16							

Kuva 28. Aputaulukkoarkki, josta sovelluksen pistekaavio saa tiedot.

Kuvassa 28 näkyvän pistekaavion x-koordinaatin arvon määrittämiseen soluun H2, käytetään PHAKU-funktiota, jonka hakuarvona käytetään solua G2. PHAKU-funktio etsii G2 solun kirjainta hakualueelta B1-C17 ja tuo kirjainta vastaavalta riviltä luvun H2-soluun, sekä vähentäen arvosta 0,5. 0,5 vähennys

tehdään, jotta pistekaavion merkki saadaan asemoitua vaakatasossa pohjakartan koordinaatistoruudun keskelle. G2-solun arvo saadaan irrottamalla E2-solusta ensimmäinen merkki funktiolla =VASEN(E2;1).

Kuvassa 28 E2-solun tiedosta irrotetaan kaksi viimeistä merkkiä ja tuodaan tieto soluun I2 kaavalla =OIKEA(E2;2)+0. Pistekaavion Y-koordinaatin tietolähde on solu J2, y-koordinaatin arvo määritetään kaavalla =17-I2-0,5. Myös pistekaavion y-koordinaatin tiedosta vähennetään 0,5, jotta merkki asemoituu pystysuunnassa pohjakartan koordinaatistoruudun keskelle.

5.6 Lopputulos

Sovelluksen testiversio annettiin valikoiduille nykyisen paikkamerkintäluettelon käyttäjille testattavaksi. Testiversion käyttäjien haastattelujen pohjalta sovelluksen lopulliseen versioon tehtiin muutamia muutoksia. Haastatteluissa tuli ilmi, että perustila ja perustilan huomiot olisivat myös sovelluksen käyttäjille hyödyllistä informaatiota, joten nämä tiedot on lisätty lopulliseen sovellukseen (Annala 2021). Lisäksi nähtiin tarpeelliseksi, että sovellus olisi laitossyksikkökohtainen, jolloin käyttöpaikan hakuluettelo olisi lyhyempi ja sovellus helpompikäyttöinen (Jokinen 2021). Laitossyksikkökohtaiset sovellukset on värikoodattu samalla tavoin, kuin laitoksen käyttöpaikkojen KZ-tunnukset. Loviisa 1 -sovelluksen päävärinä täten musta ja Loviisa 2 väri on punainen.

Sovelluksen käyttäjälle näkyvissä on vain hakuarkki, jolloin näkymästä on saatu selkeä. Kuvassa 27 näkyy Loviisa 1 -laitossyksikön sovellus, käyttöpaikan haku tapahtuu A4-solusta avautuvan luettelon kautta. Käyttäjä valitsee valikosta haettavan käyttöpaikan ja sovellus näyttää käyttöpaikkaa vastaavat tiedot käyttäjälle soluissa A4-H4. Lisäksi höyrystintilan pohjakartalle värjäytyy käyttöpaikan koordinaattia vastaava ruutu.

Sovelluksen ylläpitäjä pystyy salasanan avulla poistamaan arkkiensuojauksen ja tekemään sovellukseen muutoksia päivityksiä varten. Sovelluksen tietokannasta löytyy myös sellaisia komponentteja, joille ei ole vielä koordinaattia. Tällä on pyritty helpottamaan jatkossa tapahtuvaa sovelluksen päivittämistä ja

vähentämään ylläpitäjän tekemää manuaalista tiedonsiirtoa. Sovelluksen ha-
kuarkilla on esitettyä ylläpitäjän yhteystiedot, johon käyttäjien pyydetään ole-
van yhteydessä, kun sovelluksessa ilmenee päivitystarve.

Ylläpitäjän tarvitsee päivittää sovellusta ainakin seuraavissa tapauksissa:

- koordinaattitiedon lisääminen, sovelluksen tietokannassa olevaan käyt-
töpaikkaan, jolla ei ennestään ole koordinaattia
- uuden käyttöpaikan ja käyttöpaikkaan liittyvien muiden tietojen lisäämi-
nen tietokantaan
- virheellisen koordinaattitiedon korjaaminen
- käyttöpaikkaan liittyvien muiden kuin koordinaattitietoon liittyvien tieto-
jen päivittäminen

Koordinaattitiedon lisääminen sellaisen käyttöpaikan kohdalla, jolla ei vielä ole
koordinaattia, mutta joka kuitenkin löytyy sovelluksen tietokannasta, vaatii yllä-
pitäjältä koordinaattitiedon lisäämisen koordinaattisarakeeseen taulukkoar-
killa. Lisäksi ylläpitäjän täytyy päivittää solu A4, datatyökalun tietojen kelpoi-
suuden tarkistaminen -toiminnolla ja lisätä uuden koordinaatin omaava käyt-
töpaikka haun lähdealueeseen. Kokonaan uuden käyttöpaikan lisääminen tieto-
kantaan vaatii ylläpitäjältä edellisten lisäksi käyttöpaikan ja sen muiden tieto-
jen lisäämisen taulukkoarkin ensimmäiselle tyhjälle riville. Jo olemassa olevan
koordinaattitiedon tai muiden tietojen päivittäminen vaatii vain ylläpitäjän teke-
män muutoksen taulukkoarkilta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Loviisan voimalaitoksen höyrystintilojen
paikkamerkintäluettelo suuntaan, joka mahdollistaa helpomman päivittämi-
sen ja tarjoaa käyttäjille paremman työkalun höyrystintilassa tehtävien töiden
suunnitteluun ja suorittamiseen. Käyttäjille tuli tarjota vähintään yhtä paljon tie-
toa kuin aiemmin ja ilmi tulleiden käyttäjien tarpeiden mukaan lisätä tarjotta-
vaa tietomäärä.

Työn tuloksena syntyi Microsoft Excel -ohjelmalla tehty sovellus, jonka tieto-
kanta on merkittävästi aiempaa paikkamerkintäluettelo isompi ja tarjoaa käyt-
täjälle enemmän tietoa käyttöpaikasta sekä havainnollistavan visuaalisen so-

velluksen käyttöpaikan sijainnista höyrystintilassa. Sovelluksen jatkossa tapahtuvasta päivittämisestä ja ylläpidosta on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaista.

Koin onnistuneeni kehittämään paikkamerkintäluettelo parempaan suuntaan jokaisella paikkamerkintäluettelon kehittämisen tavoitealueella. Erityisen tyytyväinen olen sovelluksen helppokäyttöisyydestä ja visuaalisesta toiminnosta sekä sen rakenteesta. Sovelluksen rakentaminen vaati ison määrän manuaalista tiedonsiirtoa, joka helpottaa päivittämistä tulevaisuudessa.

Manuaalinen tiedonsiirto on kuitenkin altis sovelluksen rakentajan tekemille virheille. Vaikka sovellus oli käyttäjien testattavana, niin testijakso ei ollut luultavasti niin pitkä, että kaikki sovelluksessa olevat virheet olisi saatu korjattua. Testijakson ajankohta oli vuosihuollon ulkopuolella. Vuosihuollon aikana tapahtuva testaaminen olisi tarjonnut käyttäjäpalautetta sovelluksen toimivuudesta ja hyödyllisyydestä aidossa ympäristössä.

Sovelluksen päivittäminen on helppoa, jos sitä verrataan aiemman vihkomallisen käyttöpaikkaluettelon päivittämiseen. Nyt pienempien muutoksien tekeminen sovellukseen on mahdollista tehdä nopeasti. Aiemman vihkomallisen käyttöpaikkaluettelon päivittäminen ja uuden version toimittaminen käyttäjille oli varsin aikaa vievää ja yksittäisten muutosten tekeminen hidasta.

Sovelluksen tietojen päivittäminen tapahtuu manuaalisesti ja vaikka pyrkimyksenä on ollut tehdä siitä mahdollisimman yksinkertaista ja helppoa, niin manuaalinen päivittäminen vaatii sovelluksen suojausten hetkellistä poistamista, jotta tietokantaa on mahdollista päivittää. Tällöin sovelluksen ylläpitäjällä on iso vastuu siitä, että päivitettävät tiedot lisätään sovellukseen oikein, eikä solujen kaavoihin puututa kuin tarvittavilta osin. Päivittämisen jälkeen on mahdollista syntyä toinen riskitilanne, mikäli ylläpitäjä unohtaa suojata sovelluksen, joka mahdollistaa seuraavien käyttäjien tehdä epähuomiossa sovellukseen muutoksia. Päivittämisessä tapahtuvia virheitä ja sovelluksen suojaamisen unohtamisesta syntyviä riskejä voidaan vähentää varmuuskopioilla, mutta sekin ei poista riskejä kokonaan.

Sovellusta olisi mahdollista jatkokehittää siten, että sovelluksen tietokanta päivittyisi laitostietojärjestelmästä automaattisesti, jolloin manuaalisen päivittämisen riskeistä olisi mahdollista päästä eroon. Ongelmana automaattisessa päivittämisessä laitostietojärjestelmässä on se, että käyttöpaikan koordinaattitieto on sisällytetty perustilan huomiot -tietokenttään laitostietojärjestelmässä. Perustilan huomiot -tietokentässä on vaihteleva määrä muitakin tietoa. Sovellukseen joutuisi rakentamaan varsin monimutkaisen tiedonhakutoiminnon perustilan huomiot -tiedoista, jotta sieltä voitaisiin luotettavasti irrottaa koordinaattitieto.

Toinen vaihtoehto olisi, jos käyttöpaikan koordinaatilla olisi oma tietokenttä laitostietojärjestelmässä. Tällöin laitostietojärjestelmästä sovelluksen tietokantaan automaattisesti päivittyvien tietojen tuominen olisi huomattavasti helpompaa, eikä se vaatisi isoja muutoksia nykyiseen sovellukseen.

LÄHTEET

Annala, J. 2021. Primääripiirinprosessikäyttäjä. Haastattelu 12.5.2021. Fortum Power & Heat Oy.

Canadian Nuclear Association. 2021. How a Nuclear Reactor Works. 2021.WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://cna.ca/reactors-and-smrs/how-a-nuclear-reactorworks/> [viitattu 23.3.2021].

Chaline, E. 2013. 50 konetta jotka muuttivat maailmaa. Helsinki: Moreeni.

Eurasto, T., Hyvärinen, J., Järvinen, M., Sandberg, J. & Sjöblom, K. 2004. Ydinvoimalaitostekniikan perusteita 2. Säteilyturvakeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirjasarjaV_ydinturvallisuus_2.pdf/74b3643c-419f-4381-89ff-423e406f98b1 [viitattu 22.3.2021].

Fortum Oyj. 2021a. Aurinkovoimalaitokset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/aurinkovoimalaitokset> [viitattu 11.1.2021].

Fortum Oyj. 2021b. Fortum maailmalla. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/fortum-maailmalla> [viitattu 11.1.2021].

Fortum Oyj. 2021c. Loviisan ydinvoimalaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/loviisan-ydinvoimalaitos> [viitattu 30.3.2021].

Fortum Oyj. 2021d. Suurimmat osakkeenomistajat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/sijoittajille/osaketietoa/suurimmat-osakkeenomistajat> [viitattu 11.1.2021].

Fortum Oyj. 2021e. Toimimme puhtaamman maailman puolesta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/toimimme-puhtaamman-maailman-puolesta> [viitattu 11.1.2021].

Fortum Oyj. 2021f. Tuulivoima – hiilidioksidipäästötöntä sähköntuotantoa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/tuulivoima> [viitattu 11.1.2021].

Fortum Oyj. 2021g. Ydinvoima – hiilidioksidipäästötöntä energiaa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/ydinvoima-hiilidioksidipäästötöntä-energiaa> [viitattu 11.1.2021].

Fortum Power & Heat Oy. 2002. Yleiskuvaus osa 2: SA Höyryturbiini. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2005. Sekundääripiirin pääkiertokaavio. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2014. Tervetuloa töihin Loviisan voimalaitokselle. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2017a. Primääripiirin pääkiertokaavio. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2017b. Yleiskuvaus osa 2: TK Normaali lisävesijärjestelmä. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2017c. Yleiskuvaus osa 2: RH Matalapaine-esilämmitysjärjestelmä. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2017d. Yleiskuvaus osa 2: RL Pääsyöttövesijärjestelmä. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2017e. Yleiskuvaus osa 2: VC Päämerivesijärjestelmä. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2017f. Yleiskuvaus osa 2: YB Höyrystin. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2017g. Yleiskuvaus osa 2: YD Pääkiertopumppu. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2018. Tervetuloa töihin Loviisan voimalaitokselle. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2019. EHSQ- säteilysuojelu. Sisäinen koulutusmateriaali.

Fortum Power & Heat Oy. 2021. LoLayout Tool. Sisäinen työkalu.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2011. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus.

Jokinen, V. 2021. Ylikonemestari. Haastattelu 4.5.2021. Fortum Power & Heat Oy.

Kelavirta, T. 2020a. KZ- merkintäjärjestelmä Loviisan voimalaitoksella. T-01-00015liite3. Sisäinen suunnitteluohje.

Kelavirta, T. 2020b. KZ- tunnusten määrittely, varaus ja tunnisteiden tilaaminen. T-01-00015. Sisäinen suunnitteluohje.

Kelavirta, T. 2020c. Merkintäjärjestelmä laitosrakennuksille. T-01-00015liite4. Sisäinen suunnitteluohje.

Kontio, T. 2021. EHSQ-kurssi: Säteilysuojelu Loviisan voimalaitoksella. Sisäinen koulutusmateriaali.

Kyllönen, N. 2021. Atomin rakenne 8Ke. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://slideplayer.fi/slide/12861811/> [viitattu 18.3.2021].

Leino, M. 2020. KZ-tunnisteiden mallit, materiaalit ja mitoitus. T-01-00015liite6. Sisäinen suunnitteluohje.

Leino, T. 2016. Excel-käyttäjän käsikirja. 4. painos. Helsinki: Otava.

Leppänen, J. 2018. Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuus. Wordpress. Blogi. Saatavissa: <https://fissioreaktori.wordpress.com/2018/04/22/tsernobylin-ydinvoimalaonnettomuus/> [viitattu 22.3.2021].

Lobner, P. 2016. Farewell Magnox: 1956-2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://lynceans.org/all-posts/farewell-magnox-1956-2015/> [viitattu 21.3.2021].

Maalampi, J. 2015. Miten Einsteinin kuuluisa kaava $E=mc^2$ on johdettu? Suomen Akatemian viestintä. WWW-dokumentti. Päivitetty 26.3.2015. Saatavissa: <https://www.aka.fi/tietysti/kysy-tieteesta/mit/#b5ec21bc> [viitattu 11.1.2021].

Nuclear Decommissioning Authority. 2019. Final nuclear fuel removed from last Magnox reactor. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.gov.uk/government/news/final-nuclear-fuel-removed-from-last-magnox-reactor> [viitattu 20.3.2021].

Office of Nuclear Energy. 2019. 9 Notable Facts About the World's First Nuclear Power Plant – EBR-1. WWW-dokumentti. Päivitetty 18.6.2021. Saatavissa: <https://www.energy.gov/ne/articles/9-notable-facts-about-world-s-first-nuclear-power-plant-ebr-1> [Viitattu 19.3.2021].

Pohjolainen, E. 2017. Perustietoa uraanista. Geologian tutkimuskeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.geologia.fi/wp-content/uploads/2019/12/Perustietoa_uraanista.pdf [viitattu 18.3.2021].

Renewable Energy Sources. 2009. Pressurized Water Reactor (PWR). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://newenergyportal.wordpress.com/2009/11/01/pressurized-water-reactor-pwr/> [viitattu 23.3.2021].

Rusatom Overseas JSC. 2021. VVER tänään. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.fennovoima.fi/sites/default/files/media/documents/VVER%20t%C3%A4n%C3%A4n%20esite%20suomi_0.pdf [viitattu 30.3.2021].

Silmälä, P. 2020. Verkon uusi toimintaympäristö. Metropolia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/display/socialmedia/Google+Sheets> [viitattu 14.5.2021].

Stephanus, A. 2016. RBMK Reactors. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph241/stephanus2/> [Viitattu 22.3.2021].

Säteilyturvakeskus. 2020. Ydinvoimalaitostyytit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/ydinvoimalaitokset/miten-ydinvoimalaitos-toimii/ydinvoimalaitostyytit> [viitattu 21.3.2021].

The Virtual Nuclear Tourist. 2005. Gas Cooled & Advanced Gas Cooled Reactors. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.nuclear-tourist.com/type/gcr.htm> [viitattu 21.3.2021].

Timonen, M. 2021. Atomin rakenne. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://peda.net/p/Mika%20Timonen/jopo/kemia-8/atomi/atomin-rakenne2> [viitattu 18.3.2021].

World Nuclear Association. Outline History of Nuclear Energy. 2020. Saatavissa: <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx> [Viitattu 19.3.2021].