

Juha Salenius

Turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä syöttävien akustojen kuormituksen selvitys ja hallinta Loviisan voimalaitoksella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

25.4.2017

Tekijä(t) Otsikko	Juha Salonius Turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä syöttävien akustojen kuormituksen selvitys ja hallinta Loviisan voimalaitoksella
Sivumäärä Aika	58 sivua + 1 liitettä 25.4.2017
Tutkinto	Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Jarno Varteva Suunnittelupäällikkö Ari Kanerva
<p>Ydinvoimalaitosohjeiden muutoksesta johtuen Loviisan voimalaitoksen turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä syöttävien akustojen kapasiteetit tarkistettiin. Selvityksen perusteella yksi akustojärjestelmä tuli mitoittaa uudestaan. Uudestaan mitoitettavat akustot syöttävät Loviisa 1:n automaatiikka- ja säätölaitteita. Uusi toiminta-aikavaatimus on moninkertainen aiempaan toiminta-aikavaatimukseen verrattuna. Akustojen uudestaan mitoitusta varten otettiin tässä työssä käyttöön uusi aiempaa tarkempi mitoitusmenetelmä muuttuvalla kuormalle. Työssä käytettyä prosessia voidaan hyödyntää myös muiden akkujärjestelmien mitoituksessa. Näyttötöyön toinen osio piti sisällään uuden akkukuormien hallintajärjestelmän suunnittelun ja implementoinnin, koska nykyisessä toimintamallissa oli nähty kehittämisen tarvetta.</p> <p>Näyttötöyö tehtiin Fortum Engineering and Projects osastolla. Työn tilaaja oli Loviisan voimalaitos. Tutkimuksen päätavoite oli luoda uusi kuormien hallinta- ja dokumentointijärjestelmä. Uudestaan mitoitettavaa akustoa käytettiin esimerkkinä uuden mitoitusmenetelmän testaamisessa. Näyttötöyö oli kvalitatiivinen tutkimus, joka tehtiin toimintatutkimuksena. Työssä hyödynnettiin Benchmarking:a vertaamalla miten toisilla ydinvoimalaitoksilla akkujen mitoitus on tehty. Tietolähteitä yhdistämällä kehitettiin uusi prosessi akkujen mitoitusta varten. Uutta vaaditun akkukapasiteetin määrittämissä oli kuormasta tehtävä tarkka analyysi toiminta-ajan suhteen, josta rakentui kuormitusprofiili. Kuormitusprofiiliin avulla voidaan optimoida akku mahdollisimman sopivan kokoiseksi, jotta mitoitukselta ei tulisi ylikonservatiivinen. Työtä varten selvitettiin peruskuorman lisäksi alkutapahtuman aiheuttamat lisäkuormat ja niiden kestoajat. Akkujen huollettavuus ja laitoksen käytettävyyys olivat uudestaan mitoituksessa myös huomioitava.</p> <p>Akkukuormien hallintajärjestelmän suunnittelun ja toteutuksen tavoitteena oli luoda mahdollisimman yksinkertainen, selkeä, luotettava ja avoin dokumentointijärjestelmä. Järjestelmä tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Kuormien dokumentoinnin lisäksi ohjelma laskee kuinka paljon ylikapasiteettia järjestelmässä on ja sitä voidaan käyttää myös suunnittelun apuna akkujen mitoituksessa.</p> <p>Uudet akustot mitoitettiin näyttötöyössä luodun prosessin avulla ja uusi kuormien hallintajärjestelmä otettiin käyttöön onnistuneesti.</p>	
Avainsanat	Ydinvoimalaitos, turvallisuus, varavoima, akustojen mitoitus

Author(s) Title Number of Pages Date	Juha Saloniemi Safety important load analysis of battery secured supply systems and battery load management at Loviisa power plant 58 pages + 1 appendices 25 April 2017
Degree	Master's degree
Degree Programme	Automation and electrical degree programme
Specialisation option	Automation and electrical specialisation option
Instructor(s)	Jarno Varteva, Principal Lecturer Ari Kanerva, Planning Manager
<p>Due to the change in the nuclear power plant instructions, the capacities of the batteries that supply the systems important for the safety of the Loviisa power plant were revised. On the basis of the survey, one battery system had to be re-dimensioned. This battery system supplies Loviisa 1's automation and control equipment. The new operating time requirement is multiple times compared to the previous operating time requirement. For the re-dimensioning of the batteries a more accurate design method for a changing load was introduced. The new process can also be utilized in the measurement of other battery systems. The second part of the screening process included the design and implementation of a new battery load management system, as there was a need for development in the current operating model.</p> <p>The screening work was done at the Fortum Engineering and Projects department. The subscriber was the Loviisa power plant. The main objective of the study was to create a new load management and documentation system. The screening work was a qualitative research that was conducted as an action study. Benchmarking was used in the work by comparing how other battery dimensioning have been made with other nuclear power plants. By combining data sources, a new process for the sizing of batteries was developed. The new requirement for the required battery capacity had to be subjected to a precise analysis of the load on the operating time, from which a load profile was built. The load profile allows optimization of the battery to the best possible size so that dimensioning is not over-conservative. In addition to the basic load, the additional loads and duration of the initial event were studied for the work. The maintainability of the batteries and the usability of the plant had to be observed.</p> <p>The goal of designing and implementing the battery load management system was to create a simple, clear, reliable, open and transparent documenting system. The system was created using the Microsoft Excel spreadsheet program. In addition to documenting battery loads, the program calculates how much overcapacity is available in the system and it can also be used to help designers in battery sizing.</p> <p>The new batteries were dimensioned using a new process created in this research and the new load management system was successfully implemented.</p>	
Keywords	Nuclear power plant, safety, backup power, battery sizing

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Kohdeorganisaation kuvaus	1
1.2	Historiaa	2
1.3	Kehittämistehtävän lähtökohdat	2
1.4	Laitoksen sähköjärjestelmä	4
1.5	STUK:n selvityspyyntö	6
1.6	Kehittämistehtävän rajaus	7
2	Tutkimusongelma	7
2.1	Tutkimuskysymykset	8
2.2	Kehittämistehtävän tavoitteet	8
2.3	Kehitystehtävässä käytetyt mittarit	9
3	Tutkimusmenetelmä	11
3.1	Toimintatutkimus	11
3.2	Aineiston hankinta- ja analysointimenetelmät	12
3.3	Tutkimuksen reliabiliteetti ja valideetti	13
4	Teoreettinen viitekehys	14
4.1	Prosessin kehittäminen	14
4.2	Sisäinen viestintä	17
5	Kehitystehtävän toteutus	18
5.1	Kehitystehtävän lähtökohdat ja suunnittelu	18
5.2	Nykytila-analyysi	19
5.2.1	Akut	19
5.2.2	Kuormien hallintajärjestelmä	20
5.2.3	Dokumenttianalyysin tulokset	21
5.2.4	Haastatteluiden tulokset	22
5.2.5	Tutkittavana oleva järjestelmä nykytilanteessa	23
5.2.6	Mittaustulosten analysointi	24
5.3	Alkutapahtuman teoreettiset lisäkuormat	25
5.3.1	Alkutapahtuman laajuuden määrittäminen	26

5.4	Alkutapahtuman lisäkuormien tarkastelu	27
5.4.1	Pumppu	28
5.4.2	Sulkuventtiili	31
5.4.3	Säätöventtiili	32
5.4.4	Raja-arvovahdit ja vertailijat	32
5.5	Simulointi LOKS1	33
5.6	Akkuhuoneet	34
5.6.1	Tilantarve	34
5.6.2	Akkuhuoneiden ilmanvaihto	35
5.6.3	Akkutelineet	36
5.7	Akkutekniikat	38
5.8	Varautuminen lisäkuormiin	38
5.9	Esimerkkikohteen järjestelmävaihtoehdot	39
5.10	Dokumentointi ja kuormien hallinta	40
5.10.1	Uuden järjestelmän vaatimukset ja tavoitteet	41
5.10.2	Uuden järjestelmän rakenne	42
5.10.3	Järjestelmävaihtoehdot	46
5.10.4	Toimintatapa	47
5.11	Benchmarking ja opit toisista voimalaitoksista	50
6	Kehittämistehtävän tulokset	51
6.1	Vastaukset tutkimuskysymyksiin	51
6.2	Järjestelmään toteutetut muutokset	53
6.3	Uusi toimintamalli ja toiminnan ohjeistus	54
6.4	Järjestelmän käyttö uudessa toimintamallissa	54
6.5	Uuden toimintamallin vaikutus suunnitteluun ja dokumentointiin	55
7	Yhteenveto ja johtopäätökset	55
7.1	Kehittämistehtävän arviointi	55
7.2	Viitekehyyksen soveltuvuus kehittämistehtävän toteutukseen	56
7.3	Jatkotoimenpiteet	56
7.4	Itsearviointi	57
	Lähteet	59
	Liitteet	
	Liite 1. Kyselylomake tuloksineen (keskiarvot) näyttötyön onnistumisesta ja hyödyllisyydestä työn tilaajalle	

Lyhenteet ja määritelmät

SBO = station blackout (tilanne, jossa laitoksen kaikki vaihtosähkö on menetetty)

VVER = vesi-vesi-tehoreaktori ("Vodo Vodjanyi Energietitseskij Reaktor")

LOOP = ulkoisen sähköverkon menetys (Loss Of Offsite Power)

SAM = vakavien ydinonnettomuuksien hallintajärjestelmä (Sever Accident Management system)

I&C = instrumentointi ja ohjaus (instrumentation and control)

YVL = ydinvoimalaitosohjeet

STUK = Säteilyturvakeskus

ETA = viranomaiselle toimitettava ennakkotarkastusaineisto

YZ = laitossuojajärjestelmä

SUZ = reaktorisuojausjärjestelmä

FSAR = Lopullinen turvallisuusseloste (Final Safety Analysis Report)

TTKE = Turvallisuustekniset käyttöehdot

PTK = Prosessitietokone

DC = tasasähkö

LO1 = Loviisan voimalaitoksen 1 yksikkö

LO2 = Loviisan voimalaitoksen 2 yksikkö

DEC = Oletetun onnettomuuden laajennus (Design Extension Conditions)

S1, S2A & S2B = YVL:ssä esitettyjä maanjäristysluokkia kestävyysvaatimusten perusteella

SSD = turvallinen alasajo

MAMDBU= Manuaalinen onnettomuuksien hallinta, diverssi varmennus

U_n = nimellijännite

1 Johdanto

Tämä tutkimus- ja parannushanke on osa Loviisan voimalaitoksen jatkuvaa turvallisuuden kehittämistä. Näyttötyössä luotiin prosessi, jonka avulla voidaan luoda turvallisuudelle tärkeän tasasähköjärjestelmän pahimman kuormitustilanteen malli. Kuormitusmalli määrittää suurimman mahdollisen akkujen kuormitustilanteen vaadittuna toiminta-aikana. Kuormitusmallia tarvitaan esimerkiksi akustoja uudelleen mitoitettaessa ja tarvittavaa akkukapasiteettia määritettäessä. Uutta tässä mitoitusmenetelmässä oli akkukapasiteetin määrittäminen muuttuvalla kuormalla, joita ei oltu aiemmin tehty. Työssä luotiin myös turvallisuudelle tärkeiden akkujen kuormien hallinta- ja dokumentointijärjestelmä. Turvallisuusparannuksen lisäksi tämä kehittämistyö hyödyttää sähkö ja automaatio suunnittelua koska järjestelmällä voidaan paremmin hallita ja myös testata kuormitusmuutoksia turvallisuudelle tärkeissä akkusähköjärjestelmissä. Kuorman lisäyksiä suunniteltaessa suunnittelija voi ohjelmalla simuloida miten muutos tulisi vaikuttamaan akuston toiminta-aikaan. Tällä toimenpiteellä estetään se, että ydinvoimalaitosohjeiden vaatimusta akun toiminta-ajasta ei aliteta missään tilanteessa.

1.1 Kohdeorganisaation kuvaus

Tämän näyttötyön on tilannut Loviisan ydinvoimalaitoksen sähkösuunnittelujaos Engineering and Projects -osastolta ja kehittämistehtävän ohjaajana Fortumilla on toiminut suunnittelupäällikkö diplomi-insinööri Ari Kanerva. Itse työskentelen myös samalla osastolla suunnitteluinsinöörinä. E&P osaston tehtävänä on ydinvoimalaitosten tai niihin liittyvien laitosten ja järjestelmien automaation ja sähköistyksen suunnittelu ja lisensointi, hankinta, toimitus- ja asennusvalvonta sekä testaus ja käyttöönotto. Tärkeimmät asiakkaat ovat Loviisan voimalaitos (omistus 100%) ja konsernin osaomisteiset ydinvoimayhtiöt ja laitokset Suomessa (TVO 26,6%) ja Ruotsissa (Forsmark Kraftgrupp AB 22,2%, OKG AB 43,4%).

Loviisan ydinvoimalaitos on kahden ydinvoimalaitosyksikön kokonaisuus Hästholmenin saarella. Laitoksen luvanhaltija on Fortum Power and Heat Oy ja laitosten nykyiset käyttöluvut ovat voimassa vuoteen 2027 ja 2030. Ensimmäinen yksikkö otettiin käyttöön

vuonna 1977 ja toinen vuonna 1980. Laitoksen kevytvesireaktorit ovat painevesireaktoreita tyyppiä VVER-440. Tyyppimerkintä VVER tulee venäjänkielen sanoista "Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reaktor" ja numero lopussa ilmaisee sähkötehon.

Koko laitos tuottaa nykyään ilman hiilidioksidipäästöjä täydellä teholla 992 MW sähköä ja vuosituotanto oli vuonna 2015 noin 8,5 TWh, mikä vastaa noin 13% Suomen vuotuisesta sähköntuotannosta. (Fortum, Meidän ympäristömme 2015)

1.2 Historiaa

Alustava hankintasopimus Loviisa 1:stä allekirjoitettiin IVO:n ja V/O Technopromexportin kesken 9.9.1969. Alustavan rakennusluvan Kauppa- ja teollisuusministeriö myönsi yhtiölle 14.5.1970. Varsinaiset rakennustyöt alkoivat marraskuussa 1970 Hästholmenilla. 21.4.1971 tehdyllä sopimuksella Neuvostoliittolainen toimittaja sitoutui toimittamaan myös toisen ydinvoimalaitosyksikön, Loviisa 2:n. Valtioneuvosto myönsi Loviisa 1:lle käyttö- sekä turvallisuusluvan 18.11.1976. Lataus aloitettiin välittömästi ja saatettiin päätökseen joulukuun alussa 1976. Kriittiseksi reaktori saatiin ensimmäisen kerran 21.1.1977 ja ensimmäinen turbogeneraattori tahdistettiin valtakunnan voimansiirtoverkoon 8.2.1977 ja toinen 19.2.1977. Kaupallinen käyttö alkoi 9.5.1977. Loviisa 2 reaktori saatiin ensimmäisen kerran kriittiseksi 17.10.1980 ja täyden tehonsa se saavutti 15.12.1980.

Laitoksella yhdistettiin länsi- ja itämaista tekniikkaa. Primääripiiri on valmistettu Neuvostoliitossa kuten myös siihen liittyvä reaktorisuojausjärjestelmä. Pääkiertopumput ovat suomalaisvalmisteisia ja sähköjärjestelmät ovat silloisen Imatran Voima Oy:n itse suunnittelema. Automaatiojärjestelmä on silloisen länsisaksalaisen Siemensin toimittama. Käyttöhistorian aikana on tehty useita turvallisuus parannuksia kuten esim. SAM (Sever Accident Management system) ja joista uusin tulee olemaan vuonna 2018 valmistuva automaatiouudistus, mikä on ranskalaisen Rolls-Roycen toimittama järjestelmä.

(H. Lamroth, 2016)

1.3 Kehittämistehtävän lähtökohdat

Kehittämistehtävän lähtökohdaksi oli luoda prosessi, jolla varmistetaan turvallisuudelle tärkeitä laitteita syöttävien akustojen kuorman todellinen määrä pahimmassa mahdollisessa kuormitustilanteessa. Prosessin pohjalta luodaan kuormitus- ja dokumentointijär-

jestelmä, jolla hallitaan akkukuormia. Järjestelmä antaa käyttäjälle tiedon siitä miten paljon ylimääräistä akkukapasiteettia jokaisessa yksittäisessä DC-järjestelmässä on. Tällä järjestelmällä varmistetaan myös, että turvallisuudelle tärkeiden sähköjärjestelmämuutosten yhteydessä ei YVL:ssä vaadittua toiminta-aikavaatimusta aliteta.

Yksi voimalaitoksen akustojärjestelmistä oli suunnitelmissa vaihtaa ja se piti myös samalla mitoittaa uudelleen. Uudelleen mitoitusta pyrittiin samalla hyödyntämään luomalla uusi prosessi ja samalla kartoitettaisiin turvallisuudelle tärkeät akustot niiden kapasiteetin osalta. Uusittavan akustojärjestelmän kapasiteetti tuli mitoittaa niin, että akut kykenevät syöttämään sähköä tasasähköjärjestelmälle vähintään 2 h ajan pahimmassa mahdollisessa kuormitustilanteessa. Alkuperäinen suunnitteluperuste oli ollut 1/2 h, minkä mukaan nykyinenkin kapasiteetti oli mitoitettu. Nyt esitetty muutosvaatimus oli peräisin päivitetystä ydinvoimalaitosohjeista YVL B.1, 5.4.4 Katkottoman sähkönsyötön järjestelmät, #5443, minkä mukaan kapasiteettivaatimus näille uusitaville akustoille on 2 h.

Ydinvoimalaitoksen tärkeiden tasasähköjärjestelmien kapasiteettivaatimukset tulee Säteilyturvakeskuksen (STUK) Ydinvoimalaitosohjeista YVL B.1, mitkä käsittelevät Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelua. Uusin YVL-ohje tuli voimaan vuonna 2013 ja koski vain uusia tai suunnitteilla olevia ydinvoimalaitoksia Suomessa. Ohje saatettiin voimaan myös käyväillä laitoksilla erillisellä STUK:n päätöksellä 1.10. 2015. Uusi ohje kumoaa YVL 5.2 "Ydinlaitosten sähköjärjestelmät ja -laitteet", missä ensimmäisen kerran esitettiin turvallisuudelle tärkeitä sähköjärjestelmiä syöttävien akustojen uudet toiminta-aikavaatimukset.

Selvityksen "Loviisan voimalaitos 1 ja 2 turvallisuudelle tärkeiden akustojen kapasiteetin riittävyys" pohjalta Säteilyturvakeskus muutti vaatimusta koskien Loviisan voimalaitosta ja vaati Loviisan voimalaitokselta selvitystä siitä, miten se tulee toteuttamaan YVL B.1 vaatimuksen. Asiakirjalla "Toimenpidesuunnitelma SAM-järjestelmän sekä Loviisa 1 automaatiojärjestelmän akustojen kapasiteetin kasvattamisesta" oli vastattu STUK:lle muutosaiakataulusta, mutta ei sitä miten se tullaan toteuttamaan. (J. Eriksson, 2017)

Kuormien hallinnasta STUK pyysi selvitystä käytön C3-tarkastusohjelman tarkastuksen yhteydessä. STUK halusi tietää miten turvallisuusluokiteltujen tasasähkökeskusten kuormien hallintaa seurataan. Tarkastusraportin kohdassa 4.2 "Diesel- ja akustokuormien

hallinta muutostöissä" STUK toteaa, että akustojen kuormitustietojen hallinnassa se näkee kehittämisen tarvetta, mutta ongelma ei kuitenkaan ole akuutti. STUK ei esittänyt vaatimuksia tarkastuksessa, mutta ilmoitti, että se odottaa Fortumilta ensi vuoden (2016) KTO-tarkastuksessa konkreettista näyttöä kuormitustietojen asianmukaisuudesta ja kuormien hallinnasta. Jatkoselvitystyön yhteydessä STUK ehdotti, että Fortumin olisi harkittava käytännön varmistustoimia (mittauksia), joilla voidaan varmistaa teoreettisten laskelmien ja mallien oikeellisuutta. Fortum ilmoitti selvittävänsä tilannetta mm. opinnäytetyön avulla (tämä opinnäytetyö). (T. Koskiniemi, T. Eurasto 2015, 2)

STUK pyysi raportissaan Fortumia esittämään konkreettisia kuormitustietoja, joita voidaan mitata. Ongelmana mittauksissa on, että järjestelmän mittaustiedot vastaavat yleensä vain peruskuormaa laitoksen normaalin käynnin aikana. Tilanteet, joissa kuorma olisi kaikkein suurin, ovat vakavia häiriötilanteita ja ne voisivat pahimmassa tapauksessa vahingoittaa laitosta pysyvästi. Sellaisia tilanteita ei voida, eikä haluta todellisuudessa testata. Tästä syystä oli mittausten lisäksi tarpeen selvittää myös teoriassa pahin mahdollinen kuormitustilanne kaikissa turvallisuudelle tärkeissä taseasähköjärjestelmissä. Näiden yhdistelmien (mittaus + teoria) avulla voitiin arvioida minkälaiset lisäkuormat häiriötilanteessa taseasähköjärjestelmää ja akkuja peruskuorman lisäksi voisi pahimmillaan kuormittaa.

1.4 Laitoksen sähköjärjestelmä

Laitoksen sähköjärjestelmä on suunniteltu siten, että tehokäytön aikana omakäytön tarvitsema sähkö saadaan laitoksen päägeneraattoreilta. Generaattoreita on kaksi laitostyksikköä kohden. Sähköteho voidaan myös ottaa ulkoisesta 400 kV tai 110 kV verkosta. Lisäksi Ahvenkosken vesivoimalaitokselta on olemassa 6,3 kV varayhteys. Laitos voidaan myös laukaista saarekkeeksi ulkoisen verkon menetystilanteessa. Sähköä voi tarvittaessa syöttää myös toiselta laitostyksiköltä.

Mikäli syöttö laitoksen päägeneraattorilta ja ulkoisesta verkosta on menetetty käynnistetään hätädieselgeneraattoreita. Näitä 2,8 MW hätädieselgeneraattoreita on neljä kappaletta laitostyksikköä kohden mistä seuraa, että niitä on kaksi kappaletta laitostyksikön redundanssia kohden. Dieselgeneraattoreille sekä näiden automaatiikoille ja apujärjestelmille on turvallisuusteknisissä käyttöehdoissa (TTKE) esitetty vaatimuksia kunnossa ololle ja korvattavuudelle. (T. Sainio, 2014, 10)

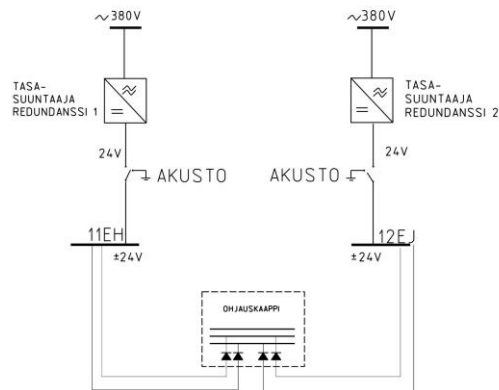
Dieselgeneraattorit syöttävät sähköä tasasuuntaajille, jotka lataavat akustoja. Käytännössä riittäisi, että yksi dieselgeneraattori neljästä käynnistyy, joka varmistaa jälkilämmön poiston ja primääripiirin eheyden sekä reaktorin säilymisen alikriittisenä. (T. Sainio 2014, 18)

Laitoksella on myös oma 10 MW dieselvoimalaitos, jolla voidaan tehdä sähköä. Vakavien reaktorionnettomuuksien varalta laitoksella on lisäksi kaksi dieselgeneraattoria, joilla voidaan myös ladata akkuja. (T. Sainio 2014, 32)

Laitoksen lukuisten vara- ja apusähköjärjestelmien viimeisenä sähkönsaannin varmistuskeinona on laitoksen akustot. Akustoja tarvitaan esimerkiksi voimalaitoksen turvalliseen alasajoon, jos kaikki muut apusähköjärjestelmät ovat häiriötilanteessa tai alkutapahtuman seurauksena menetetty.

Alkutapahtuma, jossa tutkittavana olevan järjestelmän akustojen tulee kyetä syöttämään sähköä 2,0 h ajan oli tässä työssä määritetty olevan ns. "Station blackout". Tämän lisäksi laitoksen toinen redundanssi olisi vielä menetetty ja ehjästäkin redundanssista olisi vain toiminnan kannalta välttämättömät akut kunnossa. Tilanne olisi selvityksen mukaan pahin ajateltavissa oleva tapaus akustojen kuormituksen kannalta. (J. Salenius, 2017, 9)

Kehitysprosessissa esimerkinomaisesti tutkittavana oleva Loviisa 1 tasasähköjärjestelmä keskuksiin EJ ja EH liittyen on toteutettu niin, että suurin osa kuormista on syötetty molemmista redundansseista yhtä aikaa kaksoisdiodien kautta. Diodeilla estetään yhden vian siirtyminen järjestelmän sisällä keskuksista toiseen (kuva 1). Molempien redundanssien akustot tulee näin ollen kyetä syöttämään yksin myös toisen redundanssin kuormat, jos toinen redundanssi menetetään. (J. Salenius, 2017, 5)



Kuva 1. Diodikaksoissyötön periaate.

Redundanssierotuksella tarkoitetaan kanavaa tai lohkoa, joka on erotettu fyysisesti toisesta samanlaisesta korvaavasta järjestelmästä. Tästä seuraa, että vika yhdessä redundanssissa ei pääsääntöisesti saa siirtyä toiseen redundanssiin.

Dokumenttianalyysissä selvisi, että aikanaan Loviisan laitosta suunniteltaessa nämä esimerkkitapauksena uudelleen mitoitettavat akustot mitoitettiin siten, että niiden kapasiteetti riittäisi 1/2 h, jos kaikkien EH- ja EJ-keskusten lähdöt olisivat käytössä. Todellisuudessa kuormat jäivät huomattavasti pienemmiksi ja akustokapasiteettia on siksi vähennetty myöhemmin. Vuonna 1985 ensimmäisten akustousintojen yhteydessä akkujen mitoitus muutettiin siten, että (+) ja (-) puolelta otettiin yhdet akustot pois molemmista redundansseista. (J. Kiri, 1985)

1.5 STUK:n selvityspyyntö

STUK:lle toimitettiin soveltuvuusarviot Loviisa 2 uusittavista akuista. Soveltuvuusarviolla osoitettiin uusittavien Loviisan nykyistä automaatiota syöttävien EK-akustojen soveltuvuus käyttötarkoitukseensa. Päätöksellään STUK hyväksyi soveltuvuusarviot uusittavista akustoista Loviisa 2:lle. Hyväksynnän yhteydessä STUK kuitenkin asetti alla olevan vaatimuksen:

"Fortumin on toimitettava Säteilyturvakeskukselle hyväksyttäväksi selvityspyynnön vastauksien yhteydessä päivitetyt selvitykset ja laskelmat Loviisan voimalaitoksen turvallisuusluokiteltujen akustojen kapasiteettien riittävydestä. Selvityksessä tulee huomioida uusien YVL ohjeiden akustojen purkausaikavaatimukset.

Säteilyturvakeskus käyttää näitä selvityksiä apunaan tehdessään täytäntöönpanopäätöstä uusista YVL -ohjevaatimuksista."

Fortum toimitti tähän pyyntöön liittyen 17.3 2015 STUK:lle selvityksen, jonka STUK hyväksyi, mutta se asetti edelleen lisävaatimuksia. Päätöskirjeessä STUK pyytää hyväksyttäväksi toimenpidesuunnitelman toteutusaikatauluineen kuinka Fortum tulee saattamaan Loviisa 1:n automatiikan ja säädön akustot vastaamaan YVL B.1 #5443 kahden tunnin purkausvaatimusta.

Tämä näyttötyö on osa STUK:lle laadittavaa toimenpidesuunnitelmaa liittyen turvallisuudelle tärkeitä kuormia syöttävistä akustoista ja niiden purkausajoista. Tämän työn tuloksia tullaan hyödyntämään myös Loviisa 1 uusien EK-akustojen mitoituksessa. Tutkimushanke on myös osa laitoksen jatkuvaa turvallisuuden parantamista.

1.6 Kehittämistehtävän rajaus

Alun perin oli tarkoitus, että näyttötyössä piti tutkia kaikki Loviisan 1 ja 2 turvallisuudelle tärkeät akustot, mutta aikatau- ja resurssisyistä ei tähän kuitenkaan nyt pystytty. Tästä syystä päädyttiin lopuksi siihen, että nyt tutkitaan vain tämä yksi uusittava akustojärjestelmä esimerkin omaisesti ja tätä prosessia tultaisiin myöhemmin soveltamaan muihin turvallisuusluokiteltuihin akustoihin, jotka nyt jäi selvityksen ulkopuolelle. Muiden myöhemmin tutkittavien akustojen selvitykset jäivät näin ollen erilliseksi projektiksi.

Erityisen laajaa käyttökokemustutkintaa ei mitoitusprosessista, eikä akkujen hallintajärjestelmästä ehditty myöskään suorittaa koska selvitystyö valmistui hieman alkuperäisestä aikataulusta myöhässä.

2 Tutkimusongelma

Aloitin selvitystyön tutkimalla ja rajaamalla ongelmaa. Tutkimusongelman tulisi määrätä tutkimusasetelma eli millaista aineistoa tarvitaan ja millä menetelmällä aineistoa analysoidaan.

2.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen kannalta on aluksi tärkeää määrittää tutkimuskysymykset, jotta tutkimuksen kohde selkeytyy. Jos tutkimusongelman voi yksinkertaisesti ensin määrittää helpottaa se hahmottamaan sille asetettuja tavoitteita. Kehittämistehtävän tutkimusongelman voi määrittellä alla olevalla lauseella:

"Miten selvitetään luotettavasti akustokuormien suurin kuormitusmalli ja miten kuormien muutoksia hallitaan ja dokumentoidaan tulevaisuudessa?"

Tutkimusongelman lisäksi määritettiin tutkimuskysymykset, jotka täsmentävät ja tarkentavat ongelmaa.

Näyttötyössä pyritään vastaamaan alla oleviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitä tutkitaan ja mitä halutaan tutkimuksella saavuttaa?
2. Mitä työkaluja on olemassa mitoituksen ja akkukuormien hallintaan?
3. Minkälainen akkukuormien hallintajärjestelmä sopisi parhaiten Loviisan voimalaitokselle (viranomaisen ja työn tilaajan näkökulmasta)?
4. Miten määrittellä YVL-vaatimuksessa esitetyn pahimman teoreettisen kuormitustilanteen ja mikä on tämän ajanjakson (mahdollisesti) muuttuva kuormitusvirta?
5. Minkä tyyppiset ja minkä kokoiset akut sopisivat parhaiten tutkittavaan esimerkkitapaukseen $\pm 24V$ DC-järjestelmän akuiksi?
6. Mikä on kokonaisuuden kannalta teknis- taloudellisin akku- ja tasasuuntaajakombinaatio järjestelmän uudelleen mitoituksen yhteydessä?
7. Miten dokumentoida ja hallita tasasähkökuormia tulevaisuudessa?

2.2 Kehittämistehtävän tavoitteet

Kehittämistehtävän ensimmäinen tavoite oli uudelleen mitoittaa mahdollisimman tarkasti erään turvallisuudelle tärkeän $\pm 24VDC$ järjestelmän suurin kuormitusvirta. Selvitystä varten piti luoda prosessi mitä voisi soveltaa myös kaikkiin muihin turvallisuudelle tärkeisiin akustoihin. Tämän akustonjärjestelmän uusi mitoitusvirtaa piti selvittää voimalaitoksella vuonna 2018 toteutettavaa akustousintaa varten. Tämän saman järjestelmän kuormitusvirrasta oli tehty viimeksi selvitys vuonna 1985, jolloin akustomäärää ja kapasiteettia muutettiin nykyisen mukaiseksi. Vanha selvitys oli melko suppea verrattuna tähän uuteen selvitykseen, eikä se ollut enää kaikilta osin ajan tasalla, eikä sitä voitu näin ollen hyödyntää uutta mitoitusta varten. Erityisesti minun oli vaikeata jäljittää alkutapahtuman

lisäkuormat siitä selvityksestä. Tästä syystä katsoin parhaaksi aloittaa 11EH ja 12EJ keskusten kuormien selvitystyön puhtaalta pöydältä.

11EH ja 12EJ keskusten akkujen mitoitukseen liittyen selvittävänä oli:

- mikä on pahin mahdollinen kuormitusilanne ja miten kuorma muuttuu?
- minkä kokoiset uudet akut pitää olla, jotta 2 h vaatimus täyttyy?
- kuinka monta akustoa järjestelmässä olisi hyvä olla?
- minkä tyyppiset akustot sopisivat tähän tiettyyn kohteeseen parhaiten?
- mitkä ovat käytön reunaehdot (huollettavuus ja vikakriteerit).

Akkujen mitoitukseen liittyen tämän järjestelmän tasasuuntaajien uusintaa selvitettiin myös samanaikaisesti. Tutkittavan järjestelmän uudelleen mitoitukseen liittyi myös mahdollisesti hankittavien tasasuuntaajien koon ja määrän määrittely.

Akustojen uuden kapasiteetin tulisi vastata YVL B.1 #5443 asettamaa vaatimusta 2 h sähkönsyötöstä. Toiminta-aikavaatimus on nelinkertainen aiempaan verrattuna, joten voitiin lähteä siitä oletuksesta, että akun fyysinen koko tulee kasvamaan merkittävästi. Tässä tutkittavan järjestelmän akustojen uudelleen mitoituksesta laadin myös erillisen selvityksen Loviisan voimalaitokselle.

Näyttötyön toinen tavoite koski akustokuormitustietojen asianmukaisuutta ja akkukuormien hallintaa varten suunniteltavaa järjestelmää. STUK oli KTO-tarkastuksen yhteydessä todennut, että sellaista tullaan vaatimaan ja STUK pyysi asiasta selvitystä tulevaan (2016) KTO-tarkastukseen mennessä. Tämän näyttötyön toisen osion tavoite oli suunnitella ja implementoida luotettava akkukuormien hallintajärjestelmä käytettävyyksensä huomioon ottaen, jolla voidaan varmistaa mitoituskapasiteetin riittävyys tulevaisuudessa. Tämä uusi hallintajärjestelmä tuli myös esitellä STUK:lle, joka arvioi sen soveltuvuuden suunniteltuun käyttötarkoitukseen.

2.3 Kehitystehtävässä käytetyt mittarit

Tämä näyttötyö on kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus, jolloin mittarin täytyy myös olla kvalitatiivinen. Tavoitteena on tuottaa teoreettisille käsitteille empiiriset vastineet, joita voidaan tarkastella tai mitata. Kvalitatiivinen tutkimus sopii hyvin tutkimukseen, jossa haetaan uusia näkökulmia tai perusteellista ymmärrystä kohteesta ja, jos otoskoko on

suppea. Tutkijalla tulee myös olla vahva ja näkyvä rooli tutkimuksessa. (Raja Halonen, 2015)

Näyttötyön ensimmäinen osio koostui uusittavan akuston selvityksestä ja suurimmista mahdollisista kuormista ja kehitettyä prosessia tulisi voida käyttää myös muihin myöhemmin tutkittavaiin akustoihin. Selvityksen tarkoitus oli myös selvittää tarvittavia lähtötietoja laadittavalle järjestelmäennakkotarkastusaineistolle, joka on suunnittelun ja hankinnan yksi edellytys toteutusta varten. Järjestelmäennakkotarkastusaineisto toimitetaan myös STUK:lle hyväksyttäväksi. Ennakkotarkastusaineisto, jonka tulen myös tekemään loppukeväästä 2017 tulee olla hyväksytty viimeistään syksyllä 2017, jolloin akustojen uusinta voidaan toteuttaa vuonna 2018. Ennakkotarkastusaineiston hyväksyntä viranomaisella ja siitä saatavat kommentit on esimerkiksi yksi työn kvalitatiivinen mittari.

Työn tilaajan organisaatiosta, ts. Loviisan voimalaitoksen sähkösuunnitteluosastosta tähän selvitykseen perehtyneet henkilöt jaospäällikkö Timo Rautio ja vanhempi sähkösuunnittelija Juha Eriksson, tasasuuntaajien uusinnan selvityksestä vastaava henkilö luotettavuuden hallinnan jaospäällikkö Esko Luukkonen, esimieheni ja työn valvoja ryhmäpäällikkö Ari Kanerva olivat näkemykseni mukaan parhaat henkilöt arvioimaan miten hyödyllinen, kattava tai laadukas tämä selvitys oli. Selvitystyön valmistuttua (kohtaa 7.1 lukuun ottamatta) pyysin palautetta kyselylomakkeen muodossa em. henkilöiltä. Kysymykset keskittyivät pääosin selvityksen laatuksymyksiin (liite 1).

Työn toinen osio koski akkukuormien hallintajärjestelmää. Kehitettävän järjestelmän lopputuloksen informatiivisuus, käytettävyys, yksinkertaisuus, laskennan luotettavuus ja siihen liittyvän ohjeistuksen laatu ovat kaikki kvalitatiivisia mittareita, joista pyysin myös palautetta. Edellisessä kappaleessa esitetyille henkilöille oli esitelty ohjelma ja sen toimintaperiaate, mutta he eivät valitettavasti olleet tässä vaiheessa vielä päässet sitä itse kokeilemaan.

Työn tilaaja kommentoi myös selvitystyötä sen edetessä. Tämä ohjasi työtä oikeaan suuntaan. Tiettyjen edistymisaskelten välein pyysin kommentteja Loviisasta sekä esimieheltäni, jolloin vältyin turhalta työltä. Tämä em. metodi osoittautui hyväksi työskentelytavaksi. Samalla he myös saivat tiedon siitä missä vaiheessa selvitystyö oli ja pystyivät samalla seuraamaan työn edistymistä. Meillä oli myös sovittu opinnäytetyön ohjaajan Jarno Vartevan kanssa, että raportoin säännöllisesti myös hänelle koulun suuntaan näyttötyön edistymisestä. Lähetin hänelle myös luettavaksi ja kommentoitavaksi tekstiä, mikä

edisti myös osaltaan työnvalmistumista. Lisäksi meillä oli työpaikallani muutama välitarkastelupalaveri ohjaajan ja valvojan kanssa.

3 Tutkimusmenetelmä

Koska tämä tutkimus oli laadullinen tutkimus oli siinä mielekästä käyttää kertomuksen rakennetta. Kertomuksen muotoon kirjoitetussa selosteessa voidaan aloittaa suoraan empiirisistä havainnoista, sitten siirtyä pohtimaan alkuperäistä ongelmanasettelua ja sen kehittymistä empiiristen havaintojen myötä, tulkita sen jälkeen havaintoja sekä miettiä niiden yleisempää merkitystä. Lopussa yleistyksen kootaan teoreettiseksi kuvaukseksi. Ongelman ratkaisu työn lopussa toimii ikään kuin kertomuksen huipennuksena. (Alasuutari 1999, 246-249)

3.1 Toimintatutkimus

Jorma Kanasen kirjan "Toimintatutkimus kehittämistutkimuksen muotona" (2014 s.34) mukaan tämä näyttötyö on kehittämistutkimus, joka tehdään toimintatutkimuksena. Kehittämistehtävä on selkeä ongelma, johon pyritään löytämään ratkaisun. Keskeistä on uudella tavalla ymmärretty prosessi, joka tähtää asioiden muuttamiseen ja kehittämiseen entistä paremmaksi. Toimintatutkimus ei ole kiinnostunut vain siitä miten asiat ovat vaan myös miten niiden tulisi olla. Toimintatutkimuksella pyritään entistä parempaan toimintatapaan. (Kananen 2014, 34)

Toimintatutkimuksen tarkoituksena on kehittää uusia taitoja tai uutta lähestymistapaa johonkin tiettyyn asiaan sekä ratkaista ongelmia, joilla on suora yhteys johonkin käytännölliseen toimintaan. Kuten nimikin kertoo, sen tarkoituksena on toteuttaa sekä toiminta että tutkimus samanaikaisesti. Se sopii hyvin tilanteisiin, missä toiminnan avulla pyritään muuttamaan jotakin ja samanaikaisesti lisäämään sekä ymmärrystä, että tietoa muutosta kohtaan. (Virtuaaliammattikoulu YAMK: Toimintatutkimus)

Toimintatutkimus muodostuu useista eri vaiheista. Prosessi on syklinen, josta voi seurata parannusehdotuksia, joita kokeillaan ja testaamisen jälkeen arvioidaan taas tuloksia. Kun toimintatutkimuksen ongelma ja tavoitteet ovat selvät on tehtävä nykytilan kartoitus minkä jälkeen tehdään ongelmatilanteen analyysi ja täsmennys. Tehdään katsaus kirjallisuuteen tai muuhun lähdemateriaaliin, jolla voidaan todeta onko saman tyyppistä ongelmaa tutkittu aiemmin. Määritetään testattavat ongelmat ja lähestymistavat selvästi

ja tarkasti. Seuraavaksi määritetään prosessit ja olosuhteet. Millaisia ovat ne erityiset seikat, joita tutkimusprosesseissa tulee toteuttaa, jotta tavoitteet saavutetaan? Mittausmenetelmät, arviointikriteerit ja muut palautteen saantimenetelmät pitää myös hyvissä ajoin määrittellä. Kun tietoinen on koottu ja analysoitu evaluoidaan tulokset. (A. Kuula 1999, 218)

Kun menetelmä oli kehitetty ja testattu piti prosessin luotettavuutta arvioida ja syntyneitä lopputulosta piti pystyä valvomaan ja muokkaamaan tarpeen mukaan. Tähän liittyi myös työssä kehitettävä kuormien hallintatyökalu.

Kuorman valvontaa varten piti luoda uusi selkeä ja ennen kaikkea luotettava toimintamalli. Mallia kehitettiin jatkuvasti koko selvitysprosessin ajan kuten myös mitoitusmenetelmää. Mallin tuli varmistaa, että akustolle vaadittua uutta toiminta-aikaa ei aliteta missään tilanteessa, jos järjestelmään tulevaisuudessa lisätään kuormaa. Prosessin piti myös olla joustava joten sen tuli myös toimia tosin päin. Jos järjestelmästä poistetaan kuormaa pitää kuormitustietoja myös dokumentoida vähennetyiksi ja päivittää tämä kuormitustietokanta koska kuorman väheneminen puolestaan luonnollisesti lisää käytävissä olevaa akuston toiminta-aikaa.

3.2 Aineiston hankinta- ja analysointimenetelmät

Tutkimusaineiston hankintaa suunniteltaessa oli huomioitava käytävissä oleva aika ja taloudelliset resurssit. Oli päätettävä, että millainen aineisto tarjoaisi parhaan näkökulman ja parhaat ratkaisuehdotukset asetettuun tutkimustehtävään ja määritettyihin ongelmiin. Minkälainen aineisto olisi kattava ja edustava tai mitä siitä voisi rajata? Oli pohdittava mikä on se menetelmä, jolla saisi kerättyä tutkimusongelman kannalta relevanttia aineistoa.

Jäsentelin aluksi mitä selvityksen kannalta tarvittavaa tietoa minulla jo oli olemassa ja minkälaista tietoa tarvitsisin lisää päästäkseni eteenpäin tutkimuksessa. Tässä vaiheessa heräsi esimerkiksi kysymys, että miten paljon aineistoa ylipäättänsä tarvitsen kyetäkseni tekemään tutkimuksen? Työssä oli ymmärrettävä ilmiö, johon yksikin esimerkitapaus voisi riittää. Esimerkiksi akkutekniikasta löytyy paljon tietoa, mutta oli päätettävä, että mikä tieto on tämän työn kannalta tärkeää ja mikä puolestaan on turhaa.

Toisaalta työn kannalta haasteita asetti esimerkiksi myös se, että näyttötyön aineiston osalta piti myös miettiä mitä tietoa voi ja mitä tietoa saa julkaista. Esimerkiksi laitoksen turvajärjestelyihin liittyvää materiaalia ei YVL A.11 mukaisesti saa julkaista. Piirustuksia ja kuvia julkaistiin työssä vain työn kannalta välttämätön minimi määrä turvallisuus syistä. Esimerkiksi monet tässä työssä olevat viitteet ovat myös turvallisuussyistä vain laitoksen sisäiseen käyttöön tarkoitettuja dokumentteja.

Kanasen kirjassa on lueteltu erilaisia tiedonhankintamenetelmiä. (J. Kananen 2014, 87) Aineiston hankintamenetelminä käytin esimerkiksi yksilöhaastatteluja, sähköpostikyselyjä, kirjallisuuden lähteitä ja internetiä. Kirjallinen aineisto muodostui muistioista, selvityksistä, raporteista, Fortum ja viranomaisen välisestä kirjeenvaihdosta sekä kurssi ja koulutusmateriaaleista. Nykytila-analyysiä varten käytin dokumenttien haussa pääasiassa Fortumin dokumenttiarkistoja. Tutkimuksen analyysimenetelmänä oli laadullinen analyysi.

3.3 Tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti

Reliabiliteetti ja validiteetti ovat käsitteitä, joilla mitataan mittaus- tai tutkimusmenetelmän luotettavuutta. Validiteetti ilmaisee sen miten hyvin tutkimuksessa käytetty mittaus- tai tutkimusmenetelmä mittaa juuri sitä tutkittavan ilmiön ominaisuutta, mitä on tarkoituskin mitata. Suurimman ongelman luotettavuuskäsitteiden käyttöön tuo laadullisen tutkimuksen tavoittelema muutos. Mittari on validi, jos se mittaa sitä mitä sen pitääkin mitata. Jos mittari on validi on sen reliabiliteetti myös kunnossa. (J. Kananen 2014, 126)

Tämä selvitystyö tähtäsi yksinkertaisen ja laadukkaan prosessin luomiseen akkujen mitoitusta varten esimerkkitapauksen mukaisesti. Prosessissa mitoitettiin vaatimukset täyttävät akut, jotka ovat laadukkaat, tekniikaltaan soveltuvimmat ja kapasiteetiltaan riittävän suuret ko. kohteeseen.

Prosessilla pyritään mm. siihen, että uudet hankittavat akut eivät olisi ylikonservatiivisesti mitoitettut. Ylikonservatiiviset akut olisi hyvin helppo mitoittaa, kunhan tilaa vain on runsaasti akkuhuoneessa, mutta optimaalisen kokoiset akut asettavat jo hieman enemmän haastetta.

Työn piti myös johtaa laadukkaana hallintajärjestelmän implementointiin, jolla voidaan varmistaa mitoitettun kapasiteetin riittävyys tulevaisuudessa ja järjestelmämuutosten yhteydessä. Tavoitteena oli myös kehittää koko laitoksen turvallisuusluokiteltujen akkujärjestelmien tiedon ajantasaisuutta. Esimerkiksi kuormitustietojen luotettavuutta pyrittiin lisäämään mittaamalla säännöllisin väliajoin DC-järjestelmien peruskuorman virtoja.

Eräässä vaiheessa kyseenalaisettiin kokonaan reliabiliteetti ja validiteettikäsitteiden käyttö ja tarpeellisuus kvalitatiivisessa tutkimuksessa. Jollakin tavalla laadullisen tutkimuksen laatua ja luotettavuutta on kuitenkin pystyttävä arvioimaan. On mahdollista, että avoimeksi jää kysymys muutoksen luotettavuudesta. Validiteettia ei voitaisi eräiden koulukuntien mielestä soveltaa laadulliseen tutkimukseen, sillä aineistolla voidaan tehdä tutkijakohtaisia tulkintoja.

Arviointiperusteiksi voidaan esimerkiksi valita seuraavia:

- aineiston riittävyys
- analyysin kattavuus
- analyysin arvioitavuus ja toistettavuus

Aineiston riittävyys tarkoittaa kyllästymistä eli saturaatiota. Kattavuus tarkoittaa sitä, ettei tutkija perusta tulkintojaan satunnaisiin aineoston osiin. Analyysin arvioitavuus liittyy tutkimusmateriaalin eri vaiheiden ja tulkintojen dokumentointiin. Tarkka dokumentointi mahdollistaa ratkaisujen ja päätelmien jälkikäteisen tarkastelun ulkopuolisen arvioijan toimesta. (J. Kananen 2014, 126-127; 131)

4 Teoreettinen viitekehys

4.1 Prosessin kehittäminen

Tutustuttuani aluksi useisiin eri ongelmanratkaisumenetelmiä käsitteleviin kirjoihin päädyin lopuksi siihen, että "Kehittämistyön menetelmät" sopisi tähän työhön ehkä kaikkein parhaiten. Ongelmanratkaisumenetelmänä käytin Ojasalo Moilanen Ritalahti (2014, 22) kirjassa esitettyä jatkuvan kehittämisen teoriaa "Tutkimuksellisen kehittämistyön prosessi" vaiheita.

Menetelmän ensimmäinen vaihe on ongelman tunnistaminen. Tunnistin tässä selvitystyössä kaksi ongelmaa, joihin hain ratkaisua. Seuraava vaihe on "Tietoperustan muodostaminen", jossa kootaan oleellinen olemassa oleva tieto kehittämistyötä varten (Ojasalo Moilanen Ritalahti 2014, 34). Siinä hankitaan esiyymmärrys tutkimuskohteesta. Tutkimuskohde oli minulle entuudestaan täysin vieras, enkä ollut esim. akkujen mitoituksen kanssa ollut aiemmin juurikaan tekemisissä. Erityisesti se, että juuri nämä akustot ovat erityisen tärkeitä turvallisuuden kannalta vaikutti siihen, että järjestelmään oli paneuduttava hyvin perusteellisesti ja erityisen huolellisesti.

Mikäli sellainen äärimmäisen epätodennäköinen alkutapahtuma ja vikayhdistelmä sattuisi, että laitoksen sähköt menetetään kokonaan akkuja lukuun ottamatta näkee valvon operattorit ainakin prosessin ja laitoksen tilan koska tärkeät mittalaitteet ja anturit saavat sähkönsä näistä nyt uudelleen mitoitettavista akustoista. Akustot kuuluvat laitoksen sähköjärjestelmien korkeimpaan turvallisuusluokkaan, joka on TL2 ja se on toiseksi korkein turvallisuusluokka laitoksen kaikista järjestelmistä. Se, että akustot ovat TTKE:n alaisia ja turvallisuusnäkökulmasta kriittisiä hankaloitti aluksi tutkimusta koska viranomaisen halusi todellisia mittaustuloksia käyvästä järjestelmästä, johon ei käynnin aikana saa juurikaan kytkeä mitään ylimääräisiä mittalaitteita kiinni.

Tutkimusmenetelmän seuraavassa vaiheessa "Lähestymistavan valitseminen" sopii konstrukttiivinen tutkimus (Ojasalo Moilanen Ritalahti 2014, 37) parhaiten työhöni. Tästä käytetään joissakin yhteyksissä myös nimitystä "design science". Menetelmä sopii moineen tieteen alaan. Konstrukttiivisessa tutkimuksessa tavoitteena on luoda artefakti. Käytännön ongelman ratkaisu luomalla uusi konstruktio kuten esim. järjestelmä, prosessi tai menetelmä. Työssä pyritään kehittämään uusi järjestelmä ja menetelmä.

Lähestymistavan valitsemisen jälkeen päätetään kehittämistyötä tukevien menetelmien käyttämisestä missä käytettiin enimmäkseen dokumenttianalyysiä. (Ojasalo Moilanen Ritalahti 2014, 43)

Analyysiä varten piti käydä läpi lukuisia käsikirjoja, kansioita, piirustuksia, ohjeita, vaatimuksia, toimintakuvauksia, selvityksiä ja dokumentteja automaatio ja sähköjärjestelmiin liittyen. Tässä vaiheessa pyritään myös ratkaisumallin konstruoimiseen ja ratkaisumallin testaamiseen. Ratkaisumallien kartoittamisessa hyödynnettiin myös Benchmarkingia (Ojasalo Moilanen Ritalahti 2014, 43) esimerkiksi tiedustelemalla toisista ydinvoimalaitoksista käytössä olevista kuorman määrittely menetelmistä.

Benchmarking koostuu neljästä eri vaiheesta (Pitkänen, 209). Tässä selvitystyössä pysyin siirtymään suoraan Benchmarking:n vaiheeseen kaksi parhaan käytännön etsimisessä. Tätä vaihetta varten olin yhteydessä toisiin pohjoismaisiin ydinvoimalaitoksiin selvittääkseni miten he mitoittavat heidän akustot ja minkälainen kuorman hallinta ja dokumentointijärjestelmä heillä on käytössä. Osallistuin Ranskassa Arrasissa 24-25.11.2015 Enersys:n järjestämään akkukoulutuskurssille, mikä oli suunnattu ydinvoimalaitoksilla työskenteleville henkilöille kehittämistyön aiheeseen liittyen. Suomessa olin lisäksi toisen laitetoimittajan Celltech Oy:n yhden päivän koulutustilaisuudessa TVO:n sähkösuunnittelijoiden kanssa Pitäjänmäessä Helsingissä. Loviisassa on käytössä näiden molempien akkutoimittajien akkuja. Tällaiset tapahtumat osoittautuivat erittäin hyviksi verkostoitumismahdollisuuksiksi ja sain paljon uutta tietoa mitoitusperiaatteista ja akkutekniikoista. Tällaisia vastaavia koulutustilaisuuksia voin lämpimästi suositella muillekin aiheesta kiinnostuneille tai akkujen parissa työskenteleville.

Benchmarkingin kolmas vaihe on toimintatapojen vertailu. Kun olin saanut riittävästi aineistoa kasaan tein vertailua siitä minkälainen hallinta tai mitoitusväkalu sopisi meidän käyttöön parhaiten. Mitoittamisesta sain paljon hyödyllistä tietoa toisista laitoksista, mutta kuorman hallintamallia ei suoraan löytynyt haastatelluilta henkilöiltä tai laitoksilta. Päätin laajentaa etsintää myös muualle ydinvoima-alan ulkopuolelle, missä akkuja käytetään varavoimakäytössä kuten sähköasemat, tukiasemat, ilmailu, puolustusvoimat, sukellusveneet jne. ja ajattelin, että ehkä sähköautotoimittajilta voisi myös tiedustella asiasta. Akkujen mitoitusväkaluja löytyikin useita käyttökelpoisia, mikä helpotti selvitystyötä. Kehittämisen viimeinen vaihe on oppiminen ja soveltaminen.

Re-engineeringin tavoitteena on mm. poistaa turhaa byrokratiaa ja säästää kuluja (Pitkänen, 217). Sitä pyrittiin myös soveltamaan tässä työssä, mutta siinä en kuitenkaan erityisen hyvin onnistunut. Trendi ydinvoima-alalla on pikemminkin juuri päinvastainen kuin mihin re-engineering:llä pyritään. Tällä tarkoitan sitä, että byrokratiaa tulee jatkuvasti vain lisää ja lisää mikä myös nostaa suunnittelu- ja käyttökustannuksia. Toisaalta ehkä esimerkiksi tietojärjestelmään siirtyminen, joka oli yksi tavoite akustokapasiteetin valvonnan suhteen taas laskee kuluja pitkällä aikavälillä koska siinä tietty työvaihe automatisoidaan ja tiedot on nopeammin saatavissa ja helposti käyttäjän muokattavissa. Tässä tapauksessa suurin osa R&D kuluista muodostuu tämän näyttötyön kautta, mutta kun työ saadaan 100% valmiiksi ei kuluja enää tämän jälkeen pitäisi tulla muualta kuin mittaamisesta ja uusittavista akuista.

Toisaalta tämän työn perimmäinen tarkoitus ei ollut säästää kuluja vaan parantaa turvallisuutta ja varmistaa se, että saamme uudet akut jollakin tapaa mahtumaan akkuhuoneisiin. Ongelma pyrittiin ratkaisemaan mahdollisimman järkevästi ja hallitusti saavuttaen parhaan teknistaloudellisen lopputuloksen. Re-engineeringiä voitiin kuitenkin hyödyntää vikakriteereiden ja suunnitteluperusteiden selkeyttämisessä, joissa mielestämme oli hie- man parantamisen varaa. Re-engineering auttoi suunnitteluperusteiden tulkinnassa ja mahdollisti esimerkiksi sellaisen vaihtoehdon, että voidaan tarvittaessa pienentää (-) puolen akustoja sekä tarvittaessa tasasuuntaajien kokoa.

Viimeisessä vaiheessa arvioitiin kehittämistyötä. Arviointia tehtiin myös aikaisemmissa vaiheissa työn edetessä. Esimerkiksi erillinen akustojen mitoitus selvitys ja mittaus suunnitelma aineistot, jotka itse laadin olivat useamman kerran kommenttikierrossa ennen kuin ne saavuttivat lopullisen hyväksynnän. Kommentit ja hyväksymiskierrot ohjasivat myös mitoitusprosessia oikeaan suuntaan. Loppuarvioinnin päätarkoitus on kuitenkin osoittaa miten kehittämistyössä onnistuttiin (Ojasalo Moilanen Ritalahti 2014, 47).

4.2 Sisäinen viestintä

Tarkoitus oli soveltaa jatkuvan kehittämisen "Tutkimuksellisen kehittämistyön prosessi" teoriaan (Ojasalo Moilanen Ritalahti 2014, 46) vaiheeseen 7, jossa työn edetessä painotetaan, että tuloksia prosessin etenemisestä olisi hyvä raportoida koko kehittämisprosessin ajan. Åberg ehdottaa kirjassaan "Johtamisviestintää!", että muutosprosessille tulisi tehdä omat verkkosivut, joita päivitetään. Niissä kerrotaan hankkeen tausta ja tavoitteet sekä hankkeen aikataulu ja nykytila. (L. Åberg 2006, 132)

Yllä mainittu kuulosti hienolta ja hyvältä tavalta, mutta käytännössä tätä ei nähty kuitenkaan tarpeelliseksi koska tämä selvitys koski niin pientä joukkoa ihmisiä, joille työn eteneminen selviäisi muutenkin yhteisissä kokouksissa ja sähköposti tai puhelin keskusteluissa. Osastomme kuukausipalavereissa asiasta tiedotettiin myös ja työn ohjaajalle raportoin myös työn etenemisestä säännöllisesti. Aluksi tein tätä enemmän, jotta sain työn nopeammin alulle ja loppua kohden raportointi luonnollisesti harveni.

Kuormien hallintaohjelman kehitystyöstä pyysin myös kommentteja tilaajalta, mutta siitä prosessista tai sen etenemisestä ei informoitu erikseen mihinkään. Tietysti nämä muut laitokset, joihin olin yhteydessä saivat tiedon siitä, että olin selvitystä tekemässä koska olin heihin myös yhteydessä tästä ko. aiheesta. Aihe herätti paljon kiinnostusta muissa

laitoksissa ja he pyysivät, että raportoisin heille minkälaiseen prosessiin me päädyimme. Ohjelman ollessa lähes lopullisessa muodossa se esiteltiin mahdolliselle käyttäjäryhmälle, jolta pyysin kommentteja ja parannusehdotuksia. Tilaisuuden lopussa oli lisäksi varattu aikaa keskustelulle selvitystyön aiheesta.

5 Kehitystehtävän toteutus

5.1 Kehitystehtävän lähtökohdat ja suunnittelu

Lähtökohtana oli mitoitus prosessin luominen, esimerkkiakuston uudelleen mitoitus suuremmiksi ja akustokapasiteetin hallintajärjestelmän kehittäminen. Työ pyrittiin aluksi rajaamaan ja aikatauluttamaan. Tämän jälkeen selvitettiin olisiko sattumalta aiheeseen liittyvää koulutusta tarjolla. Ranskassa järjestettiin sopivasti kahden päivän akkukoulutusta, johon sain työnantajalta luvan osallistua. Koulutus oli mielestäni hyödyllinen ja mukava alkusysäys selvitystyölle. Oli myös mukavaa päästä keskustelemaan saman alan ihmisten kanssa ja verkostoitumaan sekä tehdä tuttavauutta akkutoimittajiin. Heillä on kuitenkin se paras tekninen tuntemus tästä aiheesta.

Melko aikaisessa vaiheessa selvitystyötä totesin, että mittaussuunnitelmasta olisi hyvä jatkaa työtä. Ennen sitä perehdyin teknisen muutoksen edessä olevaan DC-järjestelmään. Laadin laitoksen sähköasentajille erillisen mittaussuunnitelman EH- ja EJ-keskuksiin liittyvien EK-akustojen peruskuormituksen selvittämiseksi. Tämä suunnitelma tarkastettiin ja hyväksyttiin voimalaitoksella muutaman iterointikierron jälkeen, jonka jälkeen työ voitiin suorittaa.

Keskuksessa on mittauskennoja ja niiden ovissa on hetkellisen virran ja tehon osoittavat analogiset mittarit, mutta halusimme varmistaa tarkat virta-arvot analysaattorilla ja dokumentoida ne samalla. Samaan aikaan kun mittauksia tehtiin perehdyin automaatiojärjestelmän toimintaan. Sitä kautta esimerkiksi selviäisi, mikä olisi pahin mahdollinen kuormitustilanne akuille ja miten pitkään se voi kestää ennen kuin virta mahdollisesti tasaantuu peruskuorman tasolle. Primäärisenä tavoitteena oli kuorman profiilin luominen koska sillä tiedolla olisi mahdollista mitoittaa juuri sopivat uudet akut ja esittää järjestelmän mahdolliset eri akustovaihtoehdot.

Akustokuormien hallintatyökalun kehittämiseksi olin toivonut, että Ranskassa järjestettävällä kurssilla olisi esitetty edes jokin valmis ohjelma tai tiedonkeruukaavakemalli, mutta sellaista ei valitettavasti ollut eikä esitetty. Yritin myös selvittää toisilta ydinvoimalaitoksilta Suomesta ja Ruotsista mitä järjestelmää he tähän tarkoitukseen ovat käyttäneet. Lisäksi yritin keksiä jonkin muun kriittisiä kuormia syöttävän akkujärjestelmän, jos ydinvoimalaitoksilta ei valmista järjestelmää löytyisi.

Suurin ongelma oli, että oli löydettävä menetelmä, mikä laskee muuttuvaan akkukuorman sopivat akut. Kohteissa, jossa on vakiokuorma ei tätä ongelmaa ole koska sopiva akku on yksinkertaista valita suoraan valmistajan taulukosta ja sieltä voi käytännössä suoraan laskea paljonko ylimääräistä akkukapasiteettia järjestelmässä on.

5.2 Nykytila-analyysi

11EH- ja 12EJ- kytkinlaitosten uudelleen mitoitus ja akkujärjestelmän ymmärtämistä varten oli ensin tehtävä nykytila-analyysi. Tämä oli yksi tärkeä työn alkutaipaleen vaihe, joka oli tehtävä huolellisesti koska sillä voidaan löytää ensimmäiset suuntaviivat kehittämiselle ja se auttaisi hahmottamaan tulevaa prosessia. Se antaa selvitykselle myös suunnan ja sen avulla voidaan valita tarvittavat oikeat työkalut työn etenemiseksi.

5.2.1 Akut

Laitoksen tasasähköjärjestelmä ei ollut minulle entuudestaan tuttu, joten aloitin nykytila-analyysin perehtymällä mitä laitteita ja muita järjestelmiä siihen liittyy ja miten se ylipääntänsä toimii ja miten se on rakennettu.

Paras tapa päästä eteenpäin ja opiskella järjestelmää oli tutkia Fortumin omia arkistoja ja kysellä sen jälkeen sähköosaston suunnittelijoilta ja Loviisan sähköpuolen käyttöhenkilökunnalta tutkittavasta 11EH sekä 12EJ järjestelmästä tarkemmin.

Arkistoja on Espoossa kolme kappaletta, joita ovat:

- pääarkisto
- ydinvoima osaston oma ns. käsiarkisto
- sähkö ja automaatiotekniikan osaston ns. käsiarkisto.

Lisäksi on olemassa yhteinen sähköinen arkisto, mihin osa dokumenteista on tallennettu, mutta tämä arkisto ei ole yksinään riittävän kattava tällaista selvitystä varten koska kaikkia dokumentteja ei toistaiseksi ole viety sinne.

Materiaalia tasasähköjärjestelmästä löytyi melko runsaasti. Suurin osa dokumentteja oli esim. raportteja, selvityksiä, ennakkotarkastusaineistoja, järjestelmäennakkotarkastusaineistoja, asennussuunnitelmia sekä tarjouskyselyitä ja tarjouksia akku ja järjestelmätoimittajilta. Löysin lisäksi myös vanhoja konferenssi- ja kurssimateriaaleja, joissa oli paljon teoriaa ja muuta akkutekniikkaan liittyvää hyödyllistä tietoa. Myös laitoksen rakentamisvaiheen dokumentit olivat osaksi hyödyllisiä ja mielenkiintoisia koska niistä sai paljon taustatietoa miksi oli esim. päädytty valittuun järjestelmään. Harmikseni moni dokumentti oli vain saksankielellä kirjoitettu, jota en itse juurikaan ymmärrä. Onneksi suurin osa oli kuitenkin suomeksi tai englanniksi.

Nykytilaa kuvasi ehkä kuitenkin kaikkein parhaiten laitoksen turvallisuusseloste "Final Safety Analys Report" (FSAR). FSAR dokumentti liittyy ydinvoimalaitoksen lupakäytännönmenettelyihin ja sen käyttöön. Ydinenergialain ja sitä täydentävän ydinenergia-asetuksen (luku 5) mukaan lupaa ydinlaitoksen käyttämiseen haetaan valtioneuvostolle osoitetulla kirjallisella hakemuksella. Käyttöluvan hakijan on toimitettava STUK:lle hyväksyttäväksi lopullinen turvallisuusseloste. YVL ohje B.1 edellyttää, että FSAR:a päivitetään jatkuvasti, jotta siellä olevat tiedot vastaavat laitoksen nykytilaa. Korjaus- tai muutostyön jälkeen on tehtävä asianmukaiset muutokset turvallisuusselosteeseen sekä toimitettava ne STUK:lle hyväksyttäväksi. (R. Immanen 2016, 3)

Tämä tutkittava DC-järjestelmä kuuluu turvallisuusluokkaan 2, mikä tarkoittaa että siihen tehtäville muutoksille pyydetään STUK:lta lupaa. Voimalaitos ei siis itsenäisesti saa tehdä muutoksia tähän järjestelmään. STUK käsittelee muutoksia koskevat ennakkotarkastusaineistot. Laitoksen lopulliseen turvaselosteeseen (FSAR) tehdään toteutettuja laitosmuutoksia vastaavat muutokset. (J. Sandberg 2013, 401)

5.2.2 Kuormien hallintajärjestelmä

Selvitin myös kuormien hallinta-asiaa ja sen nykytilaa. Muutoksia tasasähköjärjestelmään dokumentoidaan automaatiopuolen dokumentteihin ja ennakkotarkastusaineiston yhteydessä arvioidaan myös kuorman vaikutusta akkukuormiin.

Laitosta suunniteltaessa on tehty arvio alkuperäisten sähköjärjestelmien virroista ja toiminta-aikavaatimusten perusteella on suunniteltu akkujärjestelmä ja valittu sen tiedon perusteella sopivat akut. Myöhemmin asennettujen akustojen kohdalla on toimittu samoin tavoin esimerkiksi SAM-akustot. Noin kymmen vuoden kuluttua laitoshistorian alusta on EH ja EJ keskusten EK-akut mitoitettu uudelleen. (J. Kiri 1985)

Edellä mainittu J. Kirin akkukuormien tarkastelu tapahtui samassa yhteydessä kun akut uusittiin ensimmäisen kerran. Silloisen selvityksen jälkeen ei tähän yhteen tutkittavaan järjestelmään ole laajamittaista ja perusteellista uusintatarkastelua tehty, koska kuorman lisäykset ovat olleet niin vähäiset. Toiminta-aikavaatimusta ei ole ennen tätä muutettu alkuperäisestä, joten akuille asetettu mitoituspurkausvirta on myös ollut sama.

Tekemämme mittaukset osoittivat myös sen, että kuormitus on muuttunut tässä tutkittavassa järjestelmässä edellisen ja tämän selvityksen välillä hyvin vähän. Edellinen selvitys oli ilmeisesti hyvin teoriapohjainen tai ainakaan siinä ei mainittu erikseen, että virta-arvot olisi pohjautuneet todellisiin mittauksiin. YVL:n muutoksen takia oli tärkeää tutkia kuormitusta uudelleen sekä jatkossa valvoa muutoksia kokonaisvaltaisesti, hallitusti ja riittävän tarkasti tässä työssä kehitettävällä järjestelmällä.

5.2.3 Dokumenttianalyysin tulokset

Dokumenttianalyysistä oli merkittävää hyötyä akustojen uudelleen mitoituksessa, mutta kuormien ja kapasiteettivalvontajärjestelmän suunnittelussa siitä ei ollut apua. Aluksi tutkin STUK:n ja IVO:n kirjeenvaihdot liittyen tasasähköjärjestelmiin, jotta akustoihin liittyvä muutoshistoria tulisi ensin tutuksi. Eräs kiinnostava dokumentti oli selvitys, jolla akustojen määrää haluttiin pienentää. Selvitys vastasi esimerkiksi kysymykseen "miksi tasa-suuntaajia on eri määrä kuin akustoja on?".

Ensimmäisen akustouusimisen yhteydessä oli haluttu vähentää akustojen määrää koska akkukapasiteettia oli paljon enemmän kuin mitä oli tarpeen. Laitoksen suunnitteluvaiheessa oltiin arvioitu kuormat hyvin konservatiivisesti. Ensimmäiset akut oli laskettu sen mukaan, että kaikki automaatiokaapit tulisivat täyteen erilaisia elektroniikkakortteja ja ne sisältäisi maksimi määrän releitä.

Tutkittavan järjestelmän kuormituksena on automaatiojärjestelmä. Erityisesti tätä selvitystyötä varten kiinnostavaa oli automaatiojärjestelmän toiminta häiriötilanteessa koska

YVL B.1 #5443:ssä vaatimus koskee kahden tunnin purkausaikaa suurimmalla mahdollisella kuormituksella. Automaatiojärjestelmän eri osa-alueista kuten lukitus, ohjaus, säädöt ja mittaus löytyikin useita selvityksiä ja oppaita ja eri tietolähteitä yhdistämällä pääsimme hyvään arvioon mitä pahimmat mahdolliset kuormat sähkönmenetystilanteessa voisi olla ja miten pitkään ne ovat päällä. Lyhyesti voidaan todeta, että alkutapahtuman seurauksena laitossuojausjärjestelmä ja pumppujen jälleen käynnistysjärjestelmä aiheuttavat tutkittavalle DC-järjestelmälle lisäkuormaa. Näistä alkutapahtuman lisäkuormista on tarkemmin kerrottu kohdassa 5.4.

5.2.4 Haastatteluiden tulokset

Koska en ole varsinaisesti työskennellyt laitoksen automaatiojärjestelmän parissa aiemmin, oli tärkeää saada opastusta siihen liittyen. Erityisesti tarvittiin lisätietoa laitossuojausjärjestelmään liittyvästä automaatiosta ja pumppujen jälleenkäynnistysjärjestelmästä E&P:n suunnittelijoilta. Tässä asiassa sain apua Oiva Saariselta ja Mikko Pihlangolta, jotka ovat Simatic P asiantuntijoita. Pyrin selvittämään miten järjestelmä toimii, erityisesti siinä tilanteessa, kun sähköt menetetään ja laitossuojaussignaalit tulevat voimaan. Myös mm. alkutapahtuman määrittäminen vaati haastatteluja suunnittelukokouksen merkeissä, jotka tehtiin kahden eri kokouksen (16.5.2016, 16.8.2016) yhteydessä laitosturvallisuussuunnittelun kanssa. Tein kokousta varten kysymyksiä, joihin kaipaillin vastauksia ja jotka toimitin kokoukseen kutsutuille etukäteen. Haastattelujen tuloksista ja Simatic P:stä on tarkemmin kerrottu kohdissa 5.3 ja 5.4.

Kyselin myös Olkiluodosta ja Ringhalsista pahimman mahdollisen kuorman määrittämisestä. Olkiluodosta ehdotettiin, että voisi yrittää arvioida, mikä osuus kaikista kytketyistä kuormista olisi samaan aikaan päällä ja sen perusteella tehtäisi laskelmat. He myös ehdottivat, että mittauttaisimme todelliset kuormat normaali tehoajotilanteessa ja arvioisimme tuleeko tarvetilanteessa lisäkuormia. Jälleenkäyntiaika laskettaisi tämän yhteiskuorman mukaan. Tämä oli minun mielestä hyvä ajatus ja se oli samankaltainen lähestymistapa mitä olin itsekkin jo hieman hahmotellut. (S. Härmälä haastattelu)

Ruotsissa Ringhalsissa oli tehty pidempiaikaisia mittauksia sekä revisiossa ja ylös ajossa 15 s näytteenottotaajuudella. He olivat myös mittausten aikana kytkeneet päälle lisää ylimääräisiä kuormia. Näiden mittausten suurimmat arvot ovat olleet mitoituksen jatkuvan kuorman perustana. Mikäli kuormia on edellä mainittujen mittausten jälkeen lisätty on niistä tehty analyysi onko kyseessä oleva kuorma jatkuvaa vai satunnaista. Satunnainen, lyhyt tai harvoin päällä oleva kuorma on ajateltu kuuluvan konservatiivisesti

mitoitettuun peruskuorman. Jatkuvat uudet kuormat on lisätty peruskuorman päälle, mikä on sitten uudelleen arvioitu. He ovat laskeneet vanhenemiskertoimen akuille niin, että valmistajan purkaustaulukon arvot on kerrottu 0,8:lla. (J. Olsson haastattelu)

5.2.5 Tutkittavana oleva järjestelmä nykytilanteessa

Tasasähkökeskuksia EH ja EJ syötetään tasasuuntaajien kautta dieselvarmennetuista 0,4 kV jakokeskuksista. Jos dieselvarmennetun verkon jännite häviää, saavat tasasähkökeskukset dieselien käynnistymisaikana syöttönsä akustoista.

± 24 V järjestelmä koostuu P(+), N(-) ja M- kiskoista. Saman redundanssin ± 24 V keskusten M-kiskot on yhdistetty. Redundanssin toisen keskuksen M -kisko on maadoitettu. Piirissä on erotin, joka voidaan tarvittaessa avata. (T. Sainio 2014, 7)

Automaatiouudistusta edeltävät ± 24 V (2x24 V) päätasasähköjärjestelmät syöttävät pääasiassa laitoksen automatiikka- ja säätölaitteita. Automaatiouudistusta edeltävien päätasasähköjärjestelmien komponentit sijaitsevat kummallakin laitostyöyksiköllä valvomorakennuksessa. (T. Sainio 2014, 7)

± 24 V automatiikan päätasasähkökeskusten tunnuksia ovat LO1:llä 11EH ja 12EJ. LO1:llä ± 24 V järjestelmien eri redundanssien keskuksia syöttävät pareittain samoja kuormituksia. Vikojen leviäminen järjestelmän redundanssista toiseen on estetty diodien avulla, jotka ovat automatiikka ja säätökaappien sisäänmenoissa. Normaaliolosuhteissa kuormitusvirta jakautuu puoliksi keskusten kesken, joten niiden koko suorituskykyä ei tarvitse käyttää ja esimerkiksi akustojen latausta varten on runsaasti tasasuuntaajakapasiteettia. (T. Sainio 2014, 13)

LO1:llä kummankin keskuksen (EH, EJ) positiivista puolta syöttää viisi ja negatiivista puolta kolme 600 A tasasuuntaajaa. Dokumenttianalyyssissä selvisi, että alun perin akustoja oli yhtä monta kuin tasasuuntaajia. Koska kuormitusvirrat olivat todellisuudessa oleellisesti pienemmät kuin suunnitteluvaiheessa oli arvioitu vähennettiin akkujen määrää ensimmäisen akkuvaihdon yhteydessä. Akustojen vähentämisen pystyi myös havaitsemaan akkuhuoneessa, missä seinällä oli edelleen ylimääräiset tyhjät sulakekotelot paikallaan. Vain kaapelointi kotelolta akuille oli purettu, mutta keskukselta kotelolle on yhteys edelleen olemassa.

LO1 akustojen kapasiteetti on nyt valittu niin, että kummankin keskuksen positiivista puolta syöttää neljä akustoa ja negatiivista puolta kaksi. Vaikka sekä positiiviselta, että negatiiviselta puolelta vikaantuisi kaksi tasasuuntaajaa ja yksi akusto molemmista redundansseista on vielä olemassa 2 x 100 % syöttökapasiteetti ja yksittäisvikakriteeri on siis edelleen täytetty. (T. Sainio 2014, 13)

Kummankin laitosesikön pääkeskusten positiivisen ja nollakiskon nimellisvirta-arvo on 2000 A ja negatiivisen 1000 A. Syöttökennot on sijoitettu tasavälein keskukseseen, jotta saadaan aikaan tasainen kuormitusvirran jakautuminen jakokiskoissa. (T. Sainio 2014, 13)

Nykyisillä, Loviisan voimalaitos 1:llä voimassa olevilla, suunnitteluperusteilla kytkinlaitoksille 11EH ja 12EJ asennettujen tasasähkönsyöttöjärjestelmät varmistavien akustojen mitoitusarvot (vähimmäisvaatimuksen purkausajalle ollessa 0,5 h x 1,25) ovat 410 A x 0,63 h/akusto. (J. Tuominen 2015)

5.2.6 Mittaustulosten analysointi

Mittauksilla pyrittiin selvittämään 11EH ja 12EJ-keskusten käynnin aikainen peruskuorma. Valitettavasti kaikkia saman redundanssin tasasuuntaajia (8 kpl) ei voitu mitata samanaikaisesti koska käytössä olleessa analyyssaattorissa ei ollut riittävästi kanavia tai mittapäitä yhtäaikaista mittausta varten. Mittaus tehtiin tasasuuntaajasta lähtevästä syöttökaapelista kaapelin ulkopuolelta pihtimittapäällä, joka oli kytketty analyyssaattoriin tyyppiä DEWE 2600. Tämä mahdollisti mittaamisen koskematta itse sähkökeskuksiin, jota pyrittiin välttämään. Syöttökaapelit, joista mittausta suoritettiin syöttävät keskuksia 11EH tai 12EJ. Vaikka kaikkia tasasuuntaajia ei saatu mitattua samanaikaisesti ei se näkemyksemme mukaan silti vaikuta lopputulokseen summavirtojen osalta.

Laitosesikön tehoajon normaalin kuormituksen kuormitusvirta tasasähkökeskusten 11EH ja 12EJ selvittämiseksi mitattiin 20-30.6.2016 kaikkien kuudentoista (redundanssi 1 & 2) EK-tasasuuntaajan syöttämä huippuvirta. Mittausjakson huippuarvot tallennettiin analyyssaattoriin. Yhden mittausjakson pituus tasasuuntaajalla oli määritelty olevan vähintään 4 h. Kuorma oli mittausjakson aikana hyvin tasaista, ja huomioimme mittauksissa vain huippuarvot, jotta tulos olisi riittävän konservatiivinen.

Tasasähkökeskusta 11EH tai 12EJ syöttävät tasasuuntaajat (8 kpl / redundanssi) ovat kytketty yhdyskiskoihin, joko (+) tai (-) kiskoon keskuksessa. Tasasuuntaajien summavirta (plus ja miinus eroteltu) vastaavat akkujärjestelmän antamaa (+) ja (-) puolen virtaa, jos sähkönsyöttö siirtyisi tasasuuntaajilta akuille. Tämä suoritettu mittaustilanne ei kuitenkaan vastaa sitä tilannetta, jossa laitoksen kaikki vaihtosähkö olisi menetetty (SBO). Peruskuorman lisäksi pitää ottaa huomioon laitossuojausjärjestelmän aiheuttama lisäkuormat koska SBO-tilanteen seurauksena laitos ajetaan välittömästi alas reaktorin sekä turbiinien pikasululla, jolloin myös laitossuojaustoimintoja käynnistyy. Nämä suojaustoiminnot lisäävät hieman tasasähköjärjestelmän kuormaa.

Kuorma poikkesi mittaustulosten perusteella aiemmasta selvityksestä melko vähän. Aiemman selvityksen mittaustavasta tai tarkkuudesta ei tosin ole enää tarkempaa tietoa, joten toisaalta on myös vaikeata arvioida miten vertailukelpoisia nämä kaksi selvitystä ovat ylipäättänsä keskenään. (J. Kiri 1985)

12EJ- kytkinlaitoksen virtamittauksen tulokseksi saatiin 558 A (+) kiskosta ja 130 A (-) kiskosta. 11EH-kytkinlaitoksesta vastaavat mittaustulokset olivat 530 A (+) kiskosta ja 170 A (-) kiskosta. Yhteensä 11EH + 12EJ suurin summavirta oli 1088 A (+) kiskoille ja 300 A (-) kiskoille taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Tasasähkökeskusten 11EH ja 12EJ summavirrat.

Tasasähkökeskus	\hat{I} (+) kisko	\hat{I} (-) kisko
12EJ	558 A	130 A
11EH	530 A	170 A
$\Sigma \hat{I}$	1088 A	300 A

Aiemman selvityksen mukaan kuormavirrat 12EJ- kytkinlaitoksessa olivat 540 A (+) kiskossa ja 160 A (-) kiskossa ja 11EH-kytkinlaitoksessa 525 A + kiskossa ja 215 A - kiskossa. Yhteenlasketut kuormitusvirrat olivat aiemman selvityksen mukaan siis 1065 A (+) kiskoille ja 375 A (-) kiskoille. (J Kiri, 1985)

5.3 Alkutapahtuman teoreettiset lisäkuormat

E&P:n Sähkö- ja automaatio-osasto selvitti laitossuojausjärjestelmän vaikutusta lisäkuormaan SBO-tilanteessa. Laitossuojausjärjestelmä saa sähkönsä 11EJ ja 12EH keskuksista. Laitossuojausjärjestelmä käynnistää turvallisuustoimintoja SBO-tilanteessa,

mikä lisää akkujen kuormitusta. Kuormat johtuvat pääasiassa venttiileiden ohjausreleiden toiminnasta. SBO-tilanteessa laitossuojajärjestelmän lisäksi lisäkuormaa aiheuttaa myös pumppujen jälleenkäynnistysjärjestelmä.

5.3.1 Alkutapahtuman laajuuden määrittäminen

Selvityksessä oletettu häiriö tai tapahtuma koskee vain sähköjärjestelmiä, eikä laitoksella olisi samaan aikaan muita alkutapahtumia. Tarkasteltava tapahtuma on aluksi DEC B mukainen monimutkainen vikayhdistelmä, mutta koska siitä seuraa tässä selvityksessä täydellinen ulkoisen ja sisäisen sähköverkon menetys akustoja lukuun ottamatta on se pahempi tilanne kuin DEC B. Tiedustelimme tapahtumakategoriasta myös laitosturvallisuussuunnitteluosastolta, mutta hekään eivät olleet asiasta lyhyen keskustelun perusteella täysin varmoja, mutta olivat myös sitä mieltä, että vikayhdistelmä on enemmän kuin pelkkä DEC B. YVL B.7:ssä tällä määritelmällä tarkoitetaan onnettomuutta, jonka aiheuttaa todennäköisyysperusteisen riskianalyysin (PRA) perusteella merkittäväksi tunnistettu vikayhdistelmä. (YVL B.7, 2013)

Analyysissä on kuitenkin oletettu DEC B tapahtuman (=SBO) lisäksi, ettei mikään sähköjärjestelmien varasyöttöjärjestelmä ole käytettävissä. Tutkittava tapaus ylittää siis selkeästi YVL-ohjeiden asettamat suunnitteluperusteet.

YVL B.3 kohdassa #420 sanotaan, että "Samanaikaista ulkoisen sähköverkon menetystä ei oletettujen onnettomuuksien laajennusanalyseissa tarvitse yhdistää muuhun alkutapahtumaan, ellei se ole todennäköinen seuraus alkutapahtumasta."

Ydinvoimalaitosohjeen YVL B.1 #5443 mukaan: "Turvallisuudelle tärkeitä kuormia syöttävät akustot on mitoitettava kahden tunnin purkausajalle suurimmalla mahdollisella kuormituksella". Alkutapahtuman laajuus huomioiden EK-akkujen suurin mahdollinen kuormitustilanne on, jos kaikki varasähköjärjestelmät olisi menetetty laitoksen jäädessä pelkkien akkujen varaan reaktorin ja turbiinien pikasulun jälkeisessä alasajossa tiettyjen laitossuojajärjestelmän käskyjen tullessa voimaan.

IAEA:n (International Atomic Energy Agency) teknisessä dokumentissa ei oteta suoraan kantaa siihen miten pitkään SBO keskimäärin kestää. Aiheeseen liittyvässä selvityksessä todetaan vain, että vaihtosähkön palauttaminen riippuu alkutapahtumasta ja vika-tyypistä sekä laitoksen sisäisestä verkosta. IAEA:n selvityksellä ei tämän työn kannalta kuitenkaan ollut suurempaa merkitystä koska sähkökatkon kesto mihin me varaudumme

on YVL:ssä jo määritetty olevan 2 h. Olisi kuitenkin ollut mielenkiintoista tietää minkä pituisia SBO:t keskimäärin IAEA:n tilastojen mukaan ovat. (IAEA-TECDOC-1770, 2015)

Loviisa 1 riskitutkimuksen mukaan höyrystimien vesivaranto riittää 4...5 h, joten laitos voisi olla tämän ajan ilman sähköä. Jos ulkoinen verkko saadaan palautettua 5 tunnin kuluessa, laitos voidaan kytkeä verkkoon, sillä ohjauksiin tarvittavaa tasasähköä syöttävien akustojen kapasiteetti riittää kyseisen ajan. (K Jänkälä, M Biese, R Kleinberg, S Sirén 2016, 91)

Tässä selvityksessä oletettu alkutapahtumaketju etenee niin, että aluksi menetetään ulkoiset 400 kV kantaverkkoyhteydet, eikä laitos onnistu jäämään omakäytölle. 110 kV varayhteyttä ei saada kytkettyä. Kaikki neljä Loviisa 1:n hätädieselgeneraattoria ovat häiriötilassa. Ahvenkosken voimalaitoksen 6,3 kV varayhteys ei ole kytkettävissä. Kumpikaan SAM-dieseleistä ei myöskään käynnisty tai yhteyttä ei kytketä, eikä yhteys varavoimalaitoksesta olisi käytettävissä.

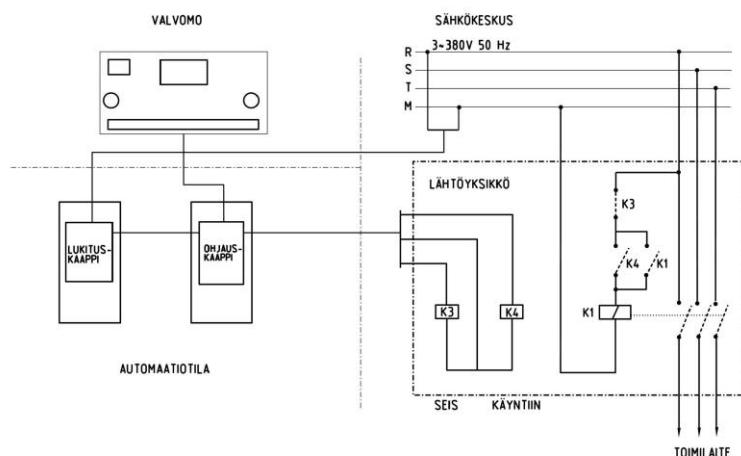
Sähkönmenetystilanteessa oletetaan, että riippumattomat Loviisa 1 tai 2 varahätäsyöttövesijärjestelmän pumppu on toiminnassa. Pumppuja voidaan ajaa ristiin eri laitosityksiköiltä, joten riittää, että niistä toinen käynnistyy. Pumpulla voidaan pumpata hätäsyöttövettä säiliöstä höyrystimiin tarpeen mukaan. Hätäsyöttövesijärjestelmä siirtää reaktorissa syntynyttä primääripiirin lämpöä (höyrynä) pois sekundääripiiri RA-varoventtiilien kautta.

5.4 Alkutapahtuman lisäkuormien tarkastelu

Lisäkuormien tarkastelussa selvitettiin mitä tapahtuu automaatiojärjestelmässä, jos laitos jäisi pelkkien akustojen varaan. Tarkastelu rajoittui laitossuojausjärjestelmän ja pumppujen jälleenkäynnistysjärjestelmän jännitteen valvonta ja -jälleenkäynnistysautomaatiikkaan sekä niihin liittyviin laitteisiin tai järjestelmiin. Nämä edellä mainitut järjestelmät voisivat aiheuttaa lisäkuormaa 11EH ja 12EJ keskuksille peruskuorman lisäksi tässä selvityksessä oletetussa alkutapahtumassa.

Laitossuojausjärjestelmän toimintaa selvitettiin FSAR:n pohjalta, automaatio- sekä laitosturvallisuussuunnitteluosaston asiantuntijoiden avustuksella ja automaatiojärjestelmätoimittajan laitekuvausten sekä korttien virtapiirikaavioiden avulla. (Siemens ohje, 1971)

Laitossuojausjärjestelmään liittyvät toiminnot sijaitsevat omissa kaapeissa ja jälleenkäynnistysautomaatiikkaan liittyvät toiminnot sijaitsevat niin kutsutuissa lukituskaapeissa. Näistä automaatiokaapeista signaalit kulkevat yksittäisohjauskaapeille, joista laitteen ohjaussignaalit jatkavat kytkinlaitoksen lähtöyksikössä sijaitseville ohjausreleille. Valvomosta voidaan ohjata toimilaitetta myös käsin (kuva 2).



Kuva 2. Pumppujen jälleenkäynnistysautomaatiikka (Selostus, Jälleenkäynnistysautomaatiikka 15.5.1978)

Laitossuojaussignaalilla on prioriteetti eli etuoikeus, joka on toteutettu erityisillä etuohjaskorteilla. Nämä prioriteetikortit estävät kaikki muut ohjaukskäskyt yksittäisohjaukskor-teille paitsi laitosuojauksen "käyntiin" tai "seis"-käskyt.

5.4.1 Pumppu

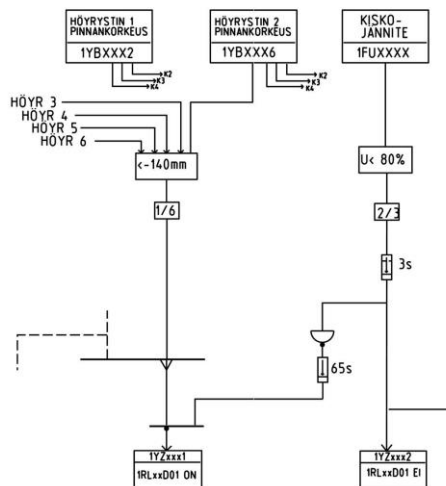
Tiettyjä tärkeitä redundanttisia pumppuja voidaan ohjata myös päälle sähköjen palaututtua laitosuojausjärjestelmällä. Tärkeimpien 0-redundanttisten pumppujen jälleenkäynnistysautomaatiikkaa ohjaa erillinen käynnistysjärjestelmä. (T. Juntunen, 1979)

Pumppujen jälleenkäynnistysajat ja pakko-ohjausten kestot on luettavissa laitosuojauksen signaalilogiikasta. (O. Saarinen, S. Matinaho, R. Kotola 2015)

Ohjausten kestoja tutkitaan koska ne vaikuttavat suoraan tutkittavana olevan akuston kuormaan sähkönmenetystilanteessa.

Laitossuojajärjestelmän ohjaamalla pumpuilla alijännitteestä tai sähkökatkosta tapahtuva poiskytkentä on aina viivästetty. Lähtöyksikön kontaktori ja apurele K3 pysyy kiinni 3 s ajan vaikka syöttöjännite laskisi alle $< 0,8 \times U_n$.

Laitossuojajärjestelmässä on tärkeille pumpuille jännitteenvälvonta (FSAR 7.3 kuvat), mikä estää pumpun käynnistyksen, jos syöttöjännite puuttuu. Kuvassa 3 on esimerkki tällaisesta em. ohjauksesta, missä on höyrystimen pinnan valvonta sekä syöttöjännitteen valvonta.

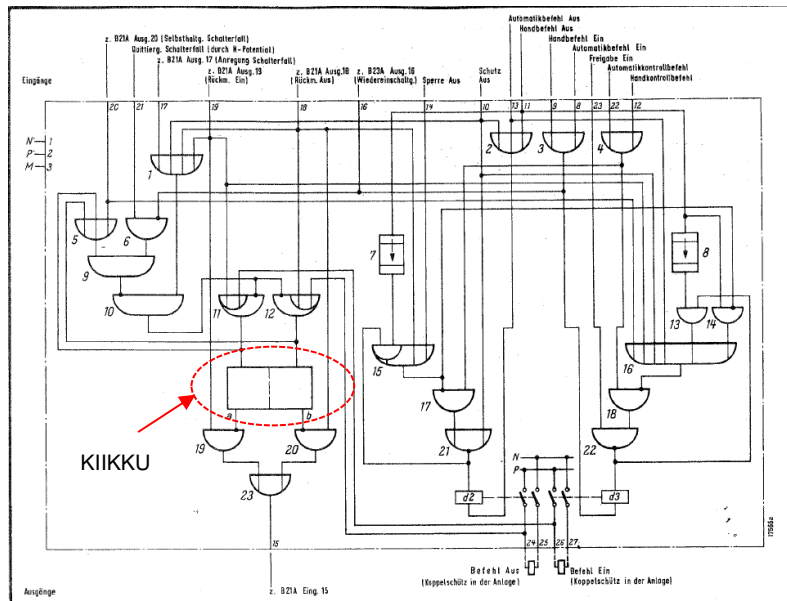


Kuva 3. Periaatekuva. Pumpun 1RLxxD001 käyntiin-käsky vaatii jännitteen syöttökiskossa.

Ilman syöttöjännitettä ja jännitteenvälvontaa oleva pumppu menee ns. "kytkinlaitosvika"-tilaan eli "schalterfall"-tilaan, jos sitä yritetään käynnistää. Kytkinlaitosvika estää pumpun uudelleen käynnistämisen kunnes vika on kuitattu.

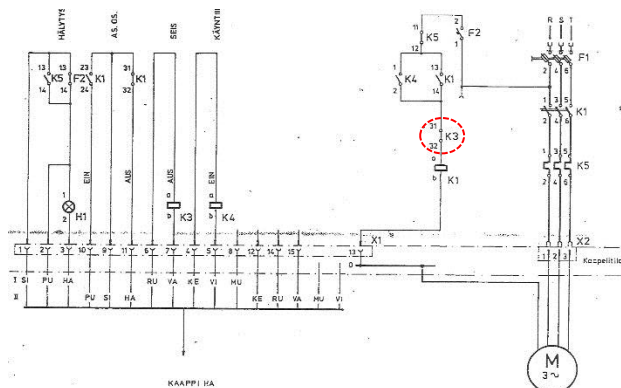
"Schalterfall" toiminto on toteutettu siten, että Simatic P kortissa on muistipiiri ns. kiikku (kuva 4), joka muistaa, mikä on viimeisin ohjaukskäsky. Kortti vertaa lähtöyksiköltä tulevaa paluuviestiä. Jos nämä kaksi tietoa ovat ristiriidassa niin kortti menee "kytkinlaitosvika"-tilaan.

Jos edellä mainitun pumpun ohjausjännite tulee 220VDC verkosta (akkuvarmennettu) jää ohjauksen pitopiiri päälle. Automaatiojärjestelmä tulkitsee, että pumppu on käynnissä, jolloin K4 ei jää vetämään käynnistyspulssia pidempään.



Kuva 4. Simatic yksittäisohjaukskortilla B21B oleva muisti (kiikku).

Tiettyjen tärkeiden 0-redundanssin pumppujen syöttöjännitettä valvoo jälleenkäynnistysjärjestelmä. Alijännitteen havaittuaan jälleenkäynnistysjärjestelmä antaa kortille käskyjä, jotka ovat voimassa enimmillään 30 s. Näistä signaaleista "Schuz aus" -käsky saa seisreleen (K3) vetämään (kuva 5) ja estää samalla käynnistysreleen (K4) päälle-ohjauksen. Automatiikan ohjaama jälleenkäynnistys tai varapumpun käynnistys on mahdollista ainoastaan em. 30 s aikana. Jos alijännite tai sähkökatko kestää pidempään kuin 30 s (= valvonta-aika T3), ohjauksortit menevät "schalterfall" tilaan estäen uudelleen käynnistysten, kunnes häiriö on kuitattu pois.



Kuva 5. Kun rele K3 vetää katkaisee se kontaktorin K1 jännitteen ja pumppu pysähtyy.

Jos jännite on $< 0,8 \times U_n$, on pumppua ohjaava apurele K3 vetäneenä enintään 30 s ajan niillä pumpeilla, jotka jälleenkäynnistysjärjestelmässä on kytketty lisä(aika)korttiin. Tämä lisäosa mahdollistaa ajan T3 aikana jälleenkäynnistysten, jonka jälkeen piiri nolaa it-

sensä. Kaikki pumput eivät ole kytketty lisäaikakortin kautta. Osa pumpuista, jotka saavat "Schutz aus" käskyn ohjausyksikön yksittäisohjauskortille ohjauskaapissa suoraan jälleenkäynnistysjärjestelmän moduulin pinnin 17 kautta jää K3 rele vetämään niin kauan kunnes jännite palaa koska mikään toiminto kortilla ei nollaa ja vapauta "Schutz aus"-toimintoa ennen jännitteiden palautumista.

Jälleenkäynnistysjärjestelmän valvomia pumppuja on yhteensä 139 kpl, joista 62:ssa K3 voi teoriassa jäädä vetämään koko jännitekatkon ajaksi.

5.4.2 Sulkuventtiili

Redundanttisten sulkuventtiilien syöttöjännitettä ei valvota laitossuojausjärjestelmän kautta. (O. Saarinen, S. Matinaho, R. Kotola 2015)

Venttiilin ohjauskortilla ei ole muistia, eikä releeltä tai kontaktorilta tuoda paluuviestä venttiilin moottoritoimilaitteen käyntitiedosta. Venttiilin asentoa valvoo momentti- ja tierajat.

Askelohjelmat voivat estää tai antaa luvan venttiilille avautua tai mennä kiinni. Laitossuojauksen suojausjärjestelmässä on kuitenkin ideana, että toimilaite saadaan ajettua haluttuun tilaan minkään muun ohjauksen tai suojauksen sitä estämättä. Askelohjelmissa on yleensä valvonta-aika askeleiden toimintojen suorittamiselle.

Laitossuojausjärjestelmä voi pakko-ohjata tiettyjä tärkeitä venttiilejä auki tai kiinni. Laitossuojauksen toimintakaaviossa (FSAR 7.3 kuvat) on esitetty, onko ohjaus ennalta määrätyn pituinen pulssi vai jatkuuko käsky koko laitossuojaussignaalin voimassaolon ajan.

Jos venttiilin ohjaus on jatkuva kunnes venttiili saavuttaa toivotun tilan, on auki tai kiinni ohjaava rele jatkuvasti vetäneenä kunnes momentti tai tieraja saavutetaan. Venttiilin ohjausrele saattaa jäädä vetämään koko sähköjen menetyksen ajaksi, koska venttiili ei saavuta ilman syöttöjännitettä auki tai kiinni rajaa, riippuen mihin suuntaan venttiili on saanut käskyn toimia. Jos venttiilillä on akkuvarmennettu syöttö ei tätä edellä mainittua ongelmaa ole. Jos venttiili on jo valmiiksi laitossuojauksikäskyn pyytämässä tilassa, ei kiinni- tai auki-rele vedä.

Kaikkien päälle jäävien venttiilitoimilaitteiden 48 V releiden kuormitusvirta olisi yhteensä 30 A, jos oletetaan releen ottamaksi tehoksi noin 5 W. Määrätyn pituisella ”pulssilla” pakko-ohjatut venttiilit on esitetty laitossuojauksen toimintakaavioissa. Näiden ”pulssien” kestot ovat 30 s - 5 min.

Taulukko 2. Taulukossa on eritelty toimilaitteiden pakkokäynnistyspulssien kesto ja kappale määrä.

käyntiaika (s)	30	120	300
määrä (kpl)	18	33	16

Edellä esitetyt lisäkuormat ovat erittäin konservatiiviset, koska niissä on oletuksena, että kaikki laitossuojauuskäskyt ovat samaan aikaan päällä, mikä on erittäin epätodennäköistä. Tässä selvityksessä ei oletettu olevan muuta alkutapahtumaa kuin SBO, minkä lisäksi estettiin kahden varadieselin (ruisku) ja varavoimalaitoksen kytkeytyminen tasa-suuntaajille, jotka voivat ladata akkuja.

5.4.3 Säätoventtiili

Automatiikan ohjaamia säätoventtiilejä ei käytetä turvallisuudelle tärkeissä järjestelmissä, joten laitossuojausjärjestelmä ei valvo, eikä ohjaa säätoventtiileitä. Mahdollisten säätoventtiilien ohjausten kuormat sisältyvät kohdan 8.2 mittauksiin.

5.4.4 Raja-arvovahdit ja vertailijat

Laitossuojauksen raja-arvomittauksissa tai vertailijoissa kuorma ei kasva laitossuojaus-signaalin tullessa voimaan. Raja-arvovahtien ja vertailijoiden kuorma on huomioitu mittauksissa. Raja-arvomittauksissa tai vertailijoissa mittaus on jatkuvasti päällä neljässä eri kanavassa. (O. Saarinen, S.Matinaho, R. Kotola 2015)

Laitossuojaukseen liittyvien raja-arvovahtien havahtumisesta voi seurata laitteen lähtöyksikön releen toimiminen. Pumppujen kohdalla tämä on vain lyhyt pulssimainen käynnistys- tai pysäytyssignaali ohjausreleelle. Venttiilin moottoritoimilaitteen rele voi jäädä vetämään sähköjen menetyksessä, jos laitteen rajakytkin ei ole valmiiksi käsketyssä asennossa tai jos $< 0,8 \times U_n$ tilanteessa toimilaitte oli avautumassa tai sulkeutumassa.

Raja-arvovahdit, jotka eivät liity laitossuojauksen kuluttajiin kuluttavat peruskuormaa, joka on huomioitu perusmittauksissa. Tällaisten kuorma vaihtelee riippuen siitä onko vahti havahtunut vai ei. Nämä kuormat kuuluvat normaalin toiminnan piiriin, eikä niitä tässä selvityksessä ole huomioitu alkutapahtuman lisäkuormana.

5.5 Simulointi LOKS1

Loviisan ydinvoimalaitoksella on käytössä koulutussimulaattori, jolla voidaan harjoitella toimintaa häiriö- ja alkutapahtumatilanteissa. Henkilökunnalle järjestetään jatkuvaa kertauskoulutusta sekä laitoksen tekniikan ja toimintatapojen kehittymisen vaatimaa täydennyskoulutusta.

Simuloimme Loviisan koulutussimulaattorilla 18.8.2016 "Station blackout" (SBO)-tilanteen oletetusta sähkönmenetystilanteesta. Laitoksen koulutussimulaattori simuloi laitoksen toimintaa. Simulaattori on kopio Loviisa 1:n valvomosta ja siellä esimerkiksi koulutetaan operaattoreita. Simulointia ohjasi simulaattorikouluttaja ryhmäpäällikkö Pekka Kettunen. Simulaation avulla selvitettiin mitä laitossuojaustoimintoja kytkeytyy tai yrittää kytkeytyä päälle SBO-tilanteessa. Simulaattorilla ei voi simuloida akkujen kestoa. Simulaatiota ajettiin yksi tunti, jonka jälkeen ei enää nähty tarpeelliseksi jatkaa sitä. Noin 15 minuutin kuluttua pikasulusta prosessi toimi jo syklistä jäähdyttäen primääripiiriä. Varahätäsyöttövesipumput (riippumaton järjestelmä) pumppasi jäähdytysvettä höyrystimiin sitä mukaan kun pinta niissä laski alle raja-arvon ja RA-varoventtiilit päästivät höyrystimien sekundääripuolelta puhdasta höyryä säännöllisin väliajoin ulos. RA-varoventtiilit voivat tarvittaessa toimia ilman sähköä. Em. toiminto siirtää reaktorin jälkilämpöä primääripiiristä pois.

Simulointi LOKS1:llä aloitettiin kytkemällä laitos ensin irti 400 kV valtakunnan verkosta, minkä jälkeen laitos jäi omakäytölle. Sähköjärjestelmien nopeata alasajoa varten tehtiin reaktorin pikasulku, josta seurasi generaattorien pikasulut.

Koska pikasulun seurauksena laitoksen sähkön syöttö siirtyy 110 kV syötön perään avattiin 110 kV kytkinkentän katkaisijat. Ahvenkosken varayhteyttä ei kytketty kiinni, eikä varavoimalaitosta käynnistetty. Edellä mainitut toimenpiteet vaativat operaattorin sekä käyttöhenkilökunnan toimintaa. Kaikki LO1:n neljä hätädieseliä oli asetettu häiriötilaan, muuten ne käynnistyisivät automattisesti alijännitteestä tai sähkökatkosta.

Normaalisti LOKS1:n koulutussimulaattorissa ruiskun hätädiesel käynnistyy noin 15 s kuluttua vaihtosähköjen menetyksen alusta. Tästä syystä simulaattori on suunniteltu niin, että akkukapasiteetti on ikuinen koska ruiskun hätädiesel pystyy syöttämään EK-tasasuuntaajia, jotka lataavat myös akkuja.

Ruiskun hätädieselin käynnistystä ei simulaatiossa saatu estettyä, mutta sen toiminta estettiin siten, että se ei voinut syöttää tasasuuntaajille sähköä, jolloin ei akutkaan lataudu. Kytkeminen tasasuuntaajille vaatisi oikeassa tilanteessa myös käsin kytkennän, jota ei simulaatiossa suoritettu. Lopuksi olimme suunnitellussa SBO-tilanteessa, jossa laitoksen akustot olivat ainoat jäljellä olevat sähkölähteet.

Simuloinnilla nähtiin yrittääkö automaatiojärjestelmä kytkeä päälle toimilaitteita tai käynnistää pumppuja sen jälkeen kun muita kuormia on pudotettu pois vai jääkö se odottamaan jälleenkäynnistystoimintojen osalta, että sähköt palaa. Tutkittavat EK-akustot antavat pääasiassa sähköä mitta-antureille, lähettimille, ohjaus- ja logiikkakorteille, raja-arvovahdeille sekä valvomon laitteille/näytöille, joilla voidaan seurata laitoksen tilaa sähkökatkon aikana. Tallensimme simulaation toiminta- ja hälytyslokin ja siitä suodatettu laitossuojaussignaaliilistan. Listan avulla voitiin seurata mitä laitossuojauskäskyjä suojausjärjestelmän automaatio antoi laitteille. Listan alkupäässä olevat laitossuojausjärjestelmän hälytykset liittyivät reaktorin suojausjärjestelmään. Vain kahdeksan laitossuojaussignaalia tuli voimaan SBO-tilanteessa, mikä on paljon vähemmän kuin mitä laskuissa otimme huomioon.

5.6 Akkuhuoneet

EH ja EJ keskuksiin liittyville EK-akuille on varattu omat huoneet valvomorakennuksesta keskusten läheisyydestä. Huoneissa on koneellinen ilmanvaihto, mikä on jatkuvasti päällä.

5.6.1 Tilantarve

Standardissa SFS-EN 50272-2 kohdassa 10.1 a) sanotaan "Lattian on kestävä akuston painoa". Selvityksen alussa näytti ensin siltä, että akkuhuoneiden pinta-alat ja erityisesti lattian kestävyys, tulevat asettamaan mahdollisia rajoituksia YVL:n kapasiteettivaatimukseen osalta. Tarkempi tarkastelu ja tutkiminen rakennesuunnittelijoiden kanssa kuitenkin osoitti, että lattia kestää paljon suurempiakin massoja. Redundanssin 2 akkuhuoneen pinta-ala on noin 60 m² ja redundanssin 1 on noin 50,0 m². Akkuhuoneissa lattian

kantavuus on määritelty olevan 1440 kg/m², joten huoneet kestävät vähintäänkin 72 t kokonaispainon.

Selvityksessä ehdotetut akustovaihtoehdot painavat yli 1300 kg/m² tavanomaisesti asennettuna. Rinnankytkemällä pienempiä akkuja voidaan akustojen painoa hieman hajauttaa laajemmalle pinta-alalle, mutta tässä kyseessä olevassa tapauksessa se ei ollut tarpeen. Akkujen oman painon lisäksi on myös huomioitava akkutelineiden paino. Akkujen ollessa näin suuria on tehtävä laskelmat miten akkuteline jakaa pistemäistä painoa huoneen lattialle. Akkutelineiden jalkojen alle voidaan tarvittaessa laittaa esim. U-palkkia jakamaan pistemäistä painoa laajemmalle lattiapinta-alalle, mutta muitakin vaihtoehtoja on olemassa kuten esimerkiksi painoa jakavia levyjä tai vastaavia.

Jos järjestelmään kohdistuu myöhemmin maanjäristysvaatimuksia (toistaiseksi ei tiedossa) niin lattiaan kohdistuva sallittu paino pitää arvioida uudelleen koska silloin myös lattiarakenteen mahdollinen vahvistaminen voisi tulla kyseeseen. Tätä asiaa selvitettiin rakennesuunnittelijan kanssa. Lattian vahvistaminen on poikittaispalkein mahdollista koska betonilattia on nostettu ylös kerrokseen muuhun lattiatasoon nähden ja akkuhuone on oma rakennelma suuremman rakennuksen sisällä.

Akun tarkastamista, huoltoa ja kennojen vaihtamista varten vaaditaan riittävä työskentelytila. Standardin mukaan vähintään 600 mm levyinen poistumistie on pidettävä koko ajan esteettömänä hätätilanteita varten, mutta käytännössä 700-900 mm olisi suositeltavampi leveys huollon kannalta. (SFS-EN 50272-2)

5.6.2 Akkuhuoneiden ilmanvaihto

Akkuhuoneiden ilmanvaihto huoneissa tulee vastata standardin SFS-EN-50272-2 vaatimuksia. Huoneiden poistoilmapuhaltimet vaihtavat kukin ilmaa 400 m³/h ja ilmanvaihtokoneet ovat jatkuvasti päällä.

Standardissa sanotaan, että jos riittävää ilmanvaihtoa ei muuten saavuteta, käytetään koneellista ilmanvaihtoa. Lisäksi järjestelmän ilmanvaihdosta sanotaan, että ilmanvaihtojärjestelmän vikaantuessa pitää siitä tulla hälytys. (SFS-EN 50272-2)

Koneellinen ilmanvaihto auttaa myös pitämään lämpötilaa vakaampana ja akulle sopivana, siirtämällä akkujen tuottamaa lämmintä ilmaa ulos huoneesta. Opimme Enersysin

akkukoulutuksessa, että akkujen käyttölämpötilalla on suuri vaikutus akun elinikään. Ympäristön lämpötilan korotus +10 °C pudottaa akun eliniän puoleen, joten mitä lämpimämpi akkuhuoneessa on sitä lyhempi on akun elinikä. Akkuvalmistajalta ja akun käyttö- tai huolto-oppaasta saa parhaan tiedon mikä on valitun akkutyypin optimaalinen säilytys- ja käyttölämpötila sen elinikään nähden.

5.6.3 Akkutelineet

Akkujen paino ja myös niiden vaatima tila tulee uudesta YVL:n vaatimuksesta johtuen muuttumaan suuremmaksi, joten akkutelineiden tulee myös olla vahvarakenteiset. Laitokselle on hankittu ajan saatossa useita akkutelineitä eri toimittajilta. Telineitä on hankittu sekä maanjäristyksen kestäviä, että ei maanjäristyksen kestäviä. Telineistä on tästä edellä mainitusta syystä saatu paljon asennus- sekä käyttökokemuksia, jota voidaan hyödyntää uusia akkutelineitä hankittaessa EH ja EJ keskusten EK- akuille.

Akkujen käsitteleminen tulee vaatimaan oman nosto/siirtolaitteen akkujen suuren painon takia. Uusi nostolaite hankitaan akkutoimittajalta akkujen hankinnan yhteydessä. Valitettavasti esimerkiksi kattoon ei nykyisellään ole mahdollista kiinnittää suoraan mitään kiskoa nostolaitetta varten. Jos akkuhuoneissa on tilaa riittävästi voidaan akustot esim. jakaa vielä kahteen rinnakkain kytkettyyn jonoon helpomman käsiteltävyyden takia. Tätä vaihtoehtoa saattaa jossain määrin rajoittaa huoneiden pienehkö pinta-ala. Loviisan voimalaitoksen sähkösuunnitteluosasto tutki vaihtoehtoisia akustokombinaatioita ja niiden sijoituksia, joilla saavutettiin mahdollisimman hyvä lopputulos.

Tutkittavana olevien akkujen telineet eivät ole maanjäristyksen kestäviä. YVL-ohjeen B.2 täytöntöönpanopäätöksen kohdassa 6a) STUK on pyytänyt Fortumia määrittämään maanjäristystilanteessa turvalliseen alas-ajoon vaadittavat laitteet ja rakenteet, sekä laitteet ja rakenteet, jotka vaurioituessaan voivat aiheuttaa radioaktiivisten aineiden merkittävän leviämisen laitoksen sisälle tai sen ulkopuolelle. Kohdassa 6b) sanotaan, että kyseisille laitepaikoille tulee antaa maanjäristysluokka sekä arvioida laitteiden ja rakenteiden kestävyys maanjäristystilanteessa.

YVL B.2 kohdassa 3.4 on esitetty eri maanjäristysluokat. Päätöksen kohdassa 6d) sanotaan, että kun näihin laitteisiin tai rakenteisiin kohdistuu muutostöitä, muutettavan osan maanjäristysluokka tulee ottaa huomioon. Muutostyössä otetaan kuitenkin huomioon olemassa olevien laitteiden ja rakenteiden aiheuttamat rajoitukset. Päätöksen kohdan

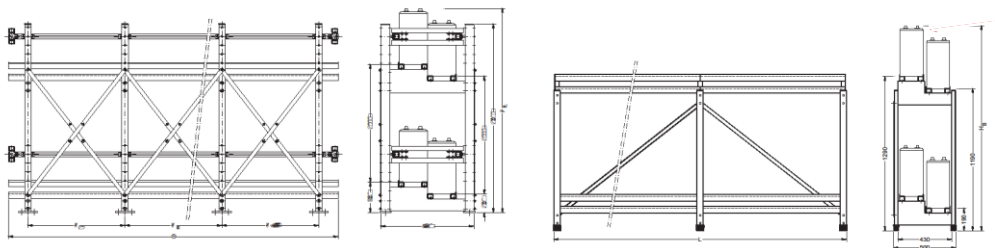
6a) selvitys tulee toimittaa STUK:n hyväksyttäväksi 31.12.2017 ja 6e) kohdan selvitys tiedoksi 31.1.2018 mennessä. (YVL-ohjeen B.2 täytäntöönpanopäätös)

Fortum on laatinut suunnitelman, joka on STUK:ssa arvioitavana. Siinä on esitetty millä laitteilla maanjäristystilanteessa saavutetaan turvallinen tila. Laitteet, jotka kuuluvat SSD-MAMDBU alitehtäväkategoriaan ovat kyseessä olevia laitteita, mutta laitoksen turvalliseen tilaan ajamiseen liittyvät sähköjärjestelmät eivät kuulu SSD-MAMDBU laajuuteen vaan ajatuksena on ollut, että sähköt saadaan palautettua.

Jos STUK hyväksyy Fortumin ehdotuksen, että $\pm 24\text{VDC}$ sähköjärjestelmä ei kuulu S1 luokkaan niin tarkoittaisi tämä sitä, että akut mahdollisesti esitetään maanjäristysluokkaan S2B. Varmaa tässä vaiheessa on vain se, että luokkaan S2A akkuja ei ainakaan tulla esittämään koska ne eivät voi vaurioittaa maanjäristyksessä S1 laitteita akkujen ollessa omissa akkuhuoneissaan, erillään automaatiokaapeista.

Ennen kuin STUK on arvioinut Fortumin suunnitelman on mahdotonta ottaa kantaa kumpaan maanjäristysluokkaan S1 vai S2B nämä uusittavat EK-akustot tullaan määrittämään.

S1 luokka vaatisi akkuhuoneisiin maanjäristyksen kestävätkä akkutelineet, jotka hankaloittavat entisestään akkujen käsittelyä koska ne vievät enemmän tilaa leveys ja syvyys suunnassa kuin tavalliset akkutelineet (ks. kuva 8). S2B-luokkaan kuuluville laitteille ei vaadita maanjäristyskestävyyttä, jolloin tavanomaiset telineet riittäisivät.



Kuva 8. Vasemmalla maanjäristyksen kestävä ja oikealla tavanomainen akkuteline.

5.7 Akkutekniikat

Kahden eri kotimaisen akkutoimittajan (Energys ja Celltech) haastattelujen perusteella "Flat plate" on parempi kuin nykyään käytössä olevat Tubular OPzS akut vain siinä tapauksessa, että mitoitus purkausaika olisi < 2 h. Mikäli akkuja oltaisiin vain uusimassa, eikä purkausaikaa oltaisi pidentämässä voisi "Flat Plate" tekniikka olla eräs toinen vaihtoehto uusittaville akkutyypeille.

Flat Plate:lla on kokonsa nähden suurempi kapasiteetti, mutta hinta on OPzS kalliimpi. Flat Plate soveltuu hyvin esim. käynnistysakuksi kun halutaan lyhyessä ajassa suuri purkausvirta. Sähkökatkot oletetaan laitoksella ovat melko lyhyitä, johon Flat Plate soveltuisi hyvin. Nyt varaudutaan kuitenkin poikkeuksellisen pitkään vaihtosähkön menetykseen, jolloin Flat Plate ei ole yhtä hyvä vaihtoehto kuin esimerkiksi OPzS. OPzS akuista on laitoksella muutenkin hyviä kokemuksia ja ne ovat lisäksi oikein säilytettynä ja huollettuna pitkäikäisiä ja luotettavia.

5.8 Varautuminen lisäkuormiin

11EH- tai 12EJ-tasasähkökeskuksiin mahdollisesti tulevaisuudessa lisättäviä kuormia kartoitettiin suunnitteluosastoilta Loviisan voimalaitoksella sekä Keilanimen Engineering & Projects osastolta. Molemmilta osastoilta saatiin kysyttäessä sama vastaus, että ei ole tiedossa, eikä ole suunnitteilla näihin keskuksiin uusia kuormia. Sieltä ohjeistettiin kuitenkin, että lisäkuormiin olisi silti aina hyvä varautua.

Akustojen mitoitusarvojen muuttuessa ja akustoja uusittaessa olisi suositeltavaa varautua myös siihen, että tulevaisuudessa kuorman lisäyksiä saattaa tulla. Esimerkiksi vähintään 3-5 % ylimääräinen kapasiteettivaraus positiiviselle ja negatiiviselle puolelle olisi näkemykseni mukaan riittävä tällä hetkellä tähän kyseessä olevaan järjestelmään vastaten vähintään noin 35 A kuormaa. Suunnitteilla olevan ohjausreleiden vaihdon jälkeen vapautuu lisää akkukapasiteettia, minkä takia nyt huomioitava kapasiteettivaraus tulee olemaan myöhemmin vielä hieman suurempi. On myös hyvä huomioida, että kaikki laskut ja mitoitus tehdään konservatiivisesti ja vaaditun minimiakkumäärän ollessa toiminnassa, joten normaali tilanteessa kapasiteettia on vähintäänkin tuplamäärä.

Mikäli järjestelmään silti tulisi uutta kuormaa myöhemmin enemmän kuin mihin nyt varaudutaan, ehdotin, että tässä uusinnassa olisi hyvä pitää sama akustomäärä kuin mitä nykyisellään on (4+2). Silloin voitaisi tarpeen mukaan myöhemmin lisätä vielä uusia

akustoja helposti tarvittavan kapasiteetin lisäämiseksi. Suuret akut ovat kuitenkin voimailaitoksella käytännössä todettu niin hankaliksi käsitellä, että vanhassa 4+2 järjestelmässä ei enää haluttu pysyä.

5.9 Esimerkkikohteen järjestelmävaihtoehdot

Mitoituksen kannalta huomioitavia lisäkuormia (+) ja (-) puolelle EH ja EJ keskuksissa ovat laitossuojajärjestelmästä mahdollisesti aiheutuvat sulkuventtiilien ohjauksien ottama virta 60 A sekä pumppujen jälleenkäynnistysjärjestelmästä aiheutuva virta 14 A, jotka teoriassa voisivat olla jatkuvasti päällä. Näiden lisäksi on pumppujen jälleenkäynnistysjärjestelmän jännitteen valvonta-aika T3, joka pisimmillään vedättää 77 kpl pumppujen ohjausreleitä 30 s ajan odottaessa jännitteen palaamista. Näiden releiden yhteiskuorma on 785 W vastaten 16 A /30 s. Laskuissa on huomioitu varaus tulevaisuuden kuormille 35 A, joita ei välttämättä tulla koskaan tarvitsemaan, mutta tämä mahdollistaa lisäkuorman lisäyksen myöhemmin.

Keskusten EH ja EJ yhteiset jatkuvat kuormat ovat mittausten mukaan (+) puolella 1088 A ja (-) puolella 300 A. Yhteensä mitatusta, arvioiduista ja varalla olevista virroista tulee (+) puolelle noin 1197 A ja (-) puolelle 409 A jatkuvaa kuormitusta. Jos akustojen lukumäärä säilytetään ennallaan riittäisi akustojen uudeksi mitoitusarvoksi (+) puolella:

$$1,25 \cdot (1197 \text{ A} : 3) \cdot 2 \text{ h} = 1,25 \cdot 399 \text{ A} \cdot 2 \text{ h} = 399 \text{ A} \cdot 2,5 \text{ h}$$

ja (-) puolella:

$$1,25 \cdot 409 \cdot 2 \text{ h} = 409 \text{ A} \cdot 2,5 \text{ h}$$

Yllä esitettyssä laskelmassa on huomioitu kaikki mahdolliset laiteohjaukset ja lisäksi jäisi varaus lisäkuormille, joten laskelma on hyvin konservatiivinen. Laitossuojajärjestelmän pakko-ohjatut toimilaitteet on huomioitu kapasiteetilaskelmissa, jossa on pakko-ohjausten portaat 30 s, 120 s ja 300 s on laskettu 10,2 W relekuormalla taulukon 2 mukaisesti. Myös pumppujen jälleenkäynnistysjärjestelmän valvonta-aika T3 on huomioitu laskuissa vastaten noin 16 A / 30 s kuorma, jolloin K3 on vetäneenä.

Jos käsiteltävyyden kannalta on mahdollista olisi suositeltavaa pysyä samassa akustomäärässä kuin mitä nykyiset ovat. Sopiva akku tämän selvityksen mukaan olisi sekä (+) ja (-) puolelle 13x13 OPzS 1625, joka painaa 140 kg/kenno.

Painoa voisi myös vaihtoehtoisesti jakaa laajemmalle pinta-alalle. Silloin kytketään kaksi pienempää akustoa rinnan, jolloin akun koko pienenee, mikä olisi etu akkuja käsitellessä. Tässä vaihtoehdossa sopiva koko (+) -puolelle olisi $2 \cdot 13 \cdot 8$ OPzS 800, minkä paino on 61,3 kg/kenno ja (-)- puolelle tulisi isommat $2 \cdot 13 \cdot 9$ OPzS 900 akut.

Jos nykyisessä akustomäärässä ei haluta pysytä ja otetaan käyttöön alkuperäinen akustojen määrä (5+3), on uusi mitoitusarvo (+) puolella:

$$1,25 \cdot (1197 \text{ A}:4) \cdot 2 \text{ h} = 1,25 \cdot 299 \text{ A} \cdot 2 \text{ h} = 299 \text{ A} \cdot 2,5 \text{ h} \text{ ja } (-) \text{ puolella.}$$

$$1,25 \cdot (409 \text{ A}:2) \cdot 2 \text{ h} = 1,25 \cdot 205 \text{ A} \cdot 2 \text{ h} = 205 \text{ A} \cdot 2,5 \text{ h}$$

Tässä tapauksessa TTKE-ehtoja pitäisi päivittää niin, että (+) puolella pitää olla neljä akustoa toimintakunnossa ja (-) puolella kaksi, jolloin yksittäisvikakriteeri olisi myös täytetty. (+)-puolelle sopiva akustokoko olisi $13 \cdot 12$ OPzS 1200, joka painaa 88 kg/kenno ja (-)-puolelle riittäisi $13 \cdot 8$ OPzS 900, joka painaa 70,9 kg/kenno. Tässä vaihtoehdossa olisi mahdollisuus vaihtaa pelkät (+)-puolen akut uusiin ja käyttää vanhoja akkuja (-)-puolella. Redundansseissa 1 ja 2 on vuosina 2013 ja 2014 vaihdettu akkuja 3 kpl/redundanssi, jotka voisi edelleen käyttää ja laskelmien mukaan ne olisivat myös riittävän suuret. (J. Salenius 2017, 24-25)

5.10 Dokumentointi ja kuormien hallinta

Kuormitushallintajärjestelmän tarkoitus oli dokumentoida nykytilan kuormat sekä osoittaa paljonko järjestelmässä on vielä vapaata akkukapasiteettia. Käytettävyydeltään järjestelmän tuli olla mahdollisimman helppokäyttöinen, yksinkertainen, selkeä sekä laskennan läpinäkyvä ja luotettava. Näkemykseni oli, että hyvän lisän ohjelmaan toisi myös tieto siitä miten pitkään akut toimivat silloin kun kaikki akut ovat toiminnassa, mikä on normaali tilanne.

Valmiin voimalaitoksen tarpeisiin soveltuvan tietojärjestelmän löytyminen osoittautui erityisen hankalaksi tehtäväksi. Olin odottanut, että tämä osuus selvityksestä olisi ollut helppompina kuin mitä se lopuksi osoittautui olevan. Olin asiasta yhteydessä useaan eri ydinvoimalaitokseen pohjoismaissa ja siellä sähkösuunnittelun parissa työskenteleviin henkilöihin, mutta siitä ei ollut maittavaa hyötyä. Sellaista tähän työhön valmista järjestelmää ei mistään löytynyt. Tavoitteena oli tässä osiossa hyödyntää benchmarking:a, mutta valitettavasti tulos jäi tältä osin siis kovin heikoksi. Suppean otannan perusteella voidaan

kuitenkin todeta, että tässä työssä kehitetyllä menetelmällä voisi ehkä olla käyttöä myös muuallakin kuin Loviisan voimalaitoksella.

Vastausten perusteella toisilta laitoksilta selvisi, että useimmat olivat ylimitoitaneet akut varmuuden vuoksi niin konservatiivisesti, että ei varmasti jäisi epäilystä siitä toimiiko ne vaaditun toiminta-ajan vai ei. Näin voidaankin hyvin tehdä erityisesti, jos vaadittu toiminta aika on lyhyt, mutta pitkällä toiminta-aikavaatimuksella se on epätaloudellista ja johtaa turhan ylikonservatiiviseen lopputulokseen. Toinen syy, miksi suurta ylimitoitusta ei voi suositella on se, että akkuhuoneet voivat olla melko pienet ja täyttämällä ne liian ahtaiksi hankaloitetaan kunnossapito- ja huoltotyitä. Erityisesti, jos huoltotyöt sijoittuvat vuosi-huoltojen yhteyteen olisi tämä huono asia.

Kuormitusprofiileja oli haastatteluiden perusteella muilla voimalaitoksilla kyllä tehty. Myös perusteellisia peruskuorman mittauksia oli Ruotsin laitoksella tehty, jolloin saadaan hyvä kuva vallitsevasta normaalitilanteen kuormasta.

Meidän tavoitteena oli saada mahdollisimman tarkkaan mitoitettua akut, jotta voisimme mahdollisimman tarkasti laskea paljonko akuissa on ylikapasiteettia. Aiemmin ei Loviisassa ole muuttuvaa kuormaa tarkemmin eritelty. Tässäkin järjestelmässä on vain arvioitu huippuvirta ja oletettu, että se on päällä koko vaaditun 1/2 h ajan.

Aiemmassa selvityksessä (J. Kiri, 1985) oli kyllä kerrottu montako ohjausrelettä on pahimmassa tapauksessa vetäneenä, mutta siinä ei kerrottu mistä tämä johtuu tai missä kaapeissa nämä ko. releet sijaitsee. Ilmeisesti tieto oli ollut selvityksen tekijälle itsestään selvä asia, mutta en itse onnistunut täysin jäljittämään mistä kaikista releistä oli kyse ja tämän selvityksen tekijä oli jäänyt jo kauan sitten eläkkeelle, eikä häntä enää tavoitettu. Releet oli myös ilmoitettu noin määrinä mikä hankaloitti selvitystä. Vanha selvitys oli tämänkin takia myös osin puutteellinen.

5.10.1 Uuden järjestelmän vaatimukset ja tavoitteet

STUK:n alkuperäinen kommentti Fortumille oli, että akustojen kuormitustietojen hallinnassa se näkee kehittämisen tarvetta. STUK ilmoitti, että se odottaa Fortumilta seuraavassa KTO-tarkastuksessa konkreettista näyttöä kuormitustietojen asianmukaisuudesta ja kuormien hallinnasta. Ongelma ei kuitenkaan STUK:n näkemyksen mukaan ollut akuutti.

Tavoitteena oli osoittaa miten suuret akkukuormat ovat ja paljonko akuissa on ylimääräistä kapasiteettia suhteessa kuormaan. Nykytilan ja mahdolliset kuorman muutokset tuli pystyä dokumentoimaan luotettavasti. STUK ei esittänyt minkälaista dokumentointitapaa he suosittelivat akkukuormille, joten meidän oli itse kehitettävä ja suunniteltava sellainen. Järjestelmän tuli myös luoda dokumenttipohja (paperinen), joka olisi tähän tarpeeseen sopiva. Suunnitelmaan kuului, että STUK ottaisi kantaa meidän suunnittelemaan järjestelmään seuraavan KTO-tarkastuksen yhteydessä tai järjestelmän olisi voinut vaihtoehtoisesti esitellä heille myös erikseen.

Tärkeä järjestelmästä saatava tieto olisi pahimmassa kuormitustilanteessa (minimimäärän akkuja ollessa toiminnassa) akuston toiminta-aika. Hyödyllistä olisi myös tietää mikä on toiminta-aika järjestelmän ollessa normaalissa toimintakunnossa, eli silloin kun kaikki akut molemmissa redundansseissa ovat toimintakunnossa. Käytännössä tämä onkin se vallitseva tilanne suurimman osan ajasta, eikä se, että vain vähimmäisvaatimusmäärä akkuja on toiminnassa. Mitoitettaessa järjestelmää huomioidaan vain vähimmäismäärä akkuja toiminnassa eli niin sanottu "worst case"-tilanne. Tätä edellä mainittua tietoa, missä kaikki akut ovat kunnossa, ei STUK meiltä pyytänyt, mutta esimerkiksi laitoksen operaattoreita tämä tieto varmasti kiinnostaisi siinä tilanteessa, jos sähköt menetettäisi. Osa valvomossa näkyvistä prosessin mittaustiedoista saavat sähkönsä näistä keskuksista.

Muuttuvalla virralla laskemisessa on haasteena se, että tarvittava ampeerituntimäärä muuttuu kuorman profiilin mukaisesti. Ei myöskään ole yhdentekevää missä vaiheessa akun purkaussykliä jokin tietyn suuruinen virta akusta otetaan ulos. Muuttuvaa kuormaa varten on olemassa esimerkiksi IEEE standardissa esitetty laskentamenetelmä (kaava 1), jota päädyimme testaamaan tähän selvitystyön osioon. (IEEE Std 485-2010)

5.10.2 Uuden järjestelmän rakenne

Olin yhdestä DC-järjestelmästä (EH ja EJ) aiemmin teettänyt peruskuormitusmittaukset ja lisännyt peruskuormaan teoreettiset lisäkuormat minkä pohjalta pystyin melko tarkasti rakentamaan kuormitusprofiilin. Tämä profiili vastasi pahinta kuormitustilannetta vaadittuna toiminta-aikana. Kuormitusprofiilin ampeerituntien määrittämiseksi löytyi laskenta-kaava, joten tätä samaa sabluunaa voisi kopioida myös muihin turvallisuudelle tärkeisiin tasasähköjärjestelmiin. Tutustuin myös erääseen tieteelliseen tutkielmaan tästä samasta aiheesta, jonka otsikko oli "Kt Factor analysis of Lead-Acid Battery for Nuclear Power

Plant", mikä käsiteli lyijyakkujen mitoitusta muuttuvalla kuormalla. Tutkielman luettuani vahvistui ajatus siitä, että olen oikeilla jäljillä ja tätä soveltaen voimme ratkaista kapasiteettiin liittyvät kysymykset. (Daesik Kim Hanju Cha, 2013)

Uutta menetelmässä oli kuorman profiilin rakentaminen, jolloin akkujen koko voidaan optimoida mahdollisimman sopiviksi. Jos akkujen mitoitus tehdään vain huippukuormitusvirran mukaan tulee akuista ylisuuret. Lisäsin myös kuormitusprofiilin kuvaajan dokumentointijärjestelmään koska se auttaa mielestäni ymmärtämään mikä on huippukuorman ja muuttuvan kuorman ero. Tutkin miten muuttuvaan kuormaan (tiettyyn kuormitusprofiiliin) valitaan em. menetelmällä sopiva akku EH ja EJ-keskusten akkujärjestelmän uudelleen mitoituksen yhteydessä. Lisäksi tutkin monia eri lähteitä ja haastattelin eri akkutoimittajia siitä miten muuttuvaan kuormaan valitaan sopiva akku, mutta loppujen lopuksi IEEE 485-2010 standardin esittämä tapa oli mielestäni suoraviivainen ja selkeä, joten päädyin käyttämään siinä esitettyä mitoitusmenetelmää tässä työssä.

$$F = \max_{S=1}^{S=N} F_S = \max_{S=1}^{S=N} \sum_{P=1}^{P=S} [A_P - A_{(P-1)}] K_t \quad (\text{Kaava 1})$$

Yllä olevan kaavan (kaava 1) avulla saadaan laskettua järjestelmään tarvittavat minimi ampeeritunnit muuttuvalla kuormalla. Laskettua ampeerituntimäärää voidaan verrata olemassa olevien akkujen ampeerituntimäärään, minkä avulla voidaan selvittää paljonko on varalla olevat ampeeritunnit järjestelmän minimivaatimukseen verrattuna. (IEEE Std 485-2010)

EK-akkuja uudelleen mitoitettaessa käytimme apuna "Enersysin Battery sizing" ohjelmaa, mikä ehdottaa sopivaa akkua ja kertoo paljonko ylimääräistä kapasiteettia akuissa on Ah %. "Battery size"-ohjelman laskenta antaa myös purkausvirtaprofiilin mukaan tulokseksi mikä on (pienin) järjestelmään riittävä akkukoko ja ilmoittaa paljonko siinä on ylimääräisiä ampeeritunteja minimimäärään verrattuna IEEE standardin mukaisesti. Tässä ohjelmassa tosin on yksi vaaratekijä. Meillä akut mitoitetaan 1,85 V loppujännitteeseen, mutta ohjelma mitoittaa akun 1,8 V loppujännitteeseen, vaikka käyttäjän olisi syöttänyt ohjelmaan minimi loppujännitteeksi 1,85V! Tästä seuraa, että jos akkujen mitoituksen tekee "Battery size" - ohjelmalla niin on olemassa riski, että tulee valittua ainakin yhtä kokoa liian pienet akut.

IEEE standardi 485-2010 sisältää muuttuvan kuorman laskentaa varten kaiken muun tarvittavan ohjeistuksen lukuun ottamatta ns. akun K_T -arvoa, joka on tärkeä purkauskerroin kapasiteettilaskutoimitusta varten. K_T -arvo "Capacity rating factor" on akun kapasiteettikerroin (kuva 9).

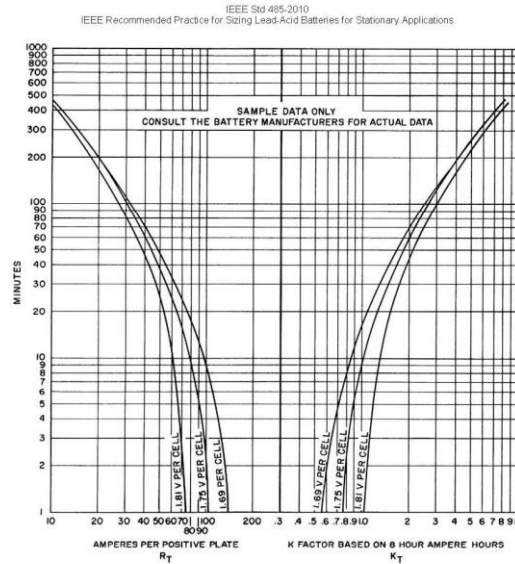


Figure A.3—Hypothetical composite rating curve for XYZ cell manufactured by ABC Company

Kuva 9. "Capacity rating factor"-kuvaaja.

Standardissa kerrotaan, että tämä arvo saadaan akkuvalmistajalta. Luonnollisesti "Battery size"-ohjelmassa nämä K_T -arvot ovat sisäänrakennettuja koska ohjelma tarvitsee niitä kapasiteettilaskentaa varten, mutta käyttäjälle ei näitä arvoja ohjelmassa näytetä vaan ne pyörivät jossakin ohjelman taustalla piilossa. Tämä on meidän kannalta ongelmallista koska me haluaisimme nähdä kaiken mitä ohjelmassa tapahtuu ja mistä lähtöarvot tulevat.

Koska IEEE 485-2010 standardissa esitetty laskentamethodi on verrattain suoraviivaista päätimme, että teemme oman työkalun Excelillä, joka laskee DC- järjestelmälle vaaditut ampeeritunnit standardin mukaisesti. Tämän jälkeen emme olisi riippuvaisia esimerkiksi akkutoimitajien selainpohjaisista ohjelmista. Tekemällä ja hallinnoimalla ohjelmaa itse tiedämme myös tarkkaan mitä ohjelman suorittaman laskentamenetelmän taustalla on ja voimme itse hallita ohjelmaan tehtäviä muutoksia. Laskentaa varten standardista saatavien laskentakaavojen ja akkuvalmistajalta saatavien K_T -arvojen lisäksi tarvittiin vielä tiedot mitoitettavan tai dokumentoitavan järjestelmän kuormitusprofiilista.

Testasimme aluksi tätä uutta menetelmää LO1 EH ja EJ keskuksia syöttäviin EK-akustoihin, jonka jälkeen teimme johtopäätöksen siitä, onko oma työkalumme käyttökelpoinen suunniteltuun tarkoitukseensa. Suurin menetelmän käytettävyyteen liittyvä epävarmuustekijä oli, että miten luotettavaan tulokseen tällä laskentamenetelmällä voidaan päästä. IEEE 485-2010 standardi ei suoraan ota laskentamenetelmän luotettavuuteen (tarkkuuteen) kantaa. Tavoite oli, että luotettavuus saataisi riittävän korkealle tasolle ja, että ohjelmaa voitaisi hyödyntää kaikissa tutkittavissa tärkeissä akkujärjestelmissä. Yksi tapa miten laskentamenetelmän virhettä (epätarkkuutta) voidaan kompensoidaan on ylimitoitus mikä olisi suhteessa laskentatuloksen epätarkkuuteen, jolloin minimi kapasiteettivaatimusta ei aliteta.

Tietokanta rakentuu siten, että jokainen tutkittava järjestelmä saa oman Excel-tiedoston ja tiedostot laitetaan Loviisan verkkolevyn kansioon. Tämän alle tehdään laitospohjaiset alikansiot "LO1" ja "LO2". LO1 alle tehdään alikansiot, jotka nimetään keskuksen (DC-järjestelmän) mukaan, jota akut syöttävät ja näihin kansioihin tallennetaan akustokohtaiset tiedostot. Tiedostot nimetään akustojen nimien mukaan. Yksi tiedosto (+) puolelle ja yksi (-) puolelle koska mitoitusvirrat ovat pääsääntöisesti eri (+) ja (-) puolella.

Ohjelma rakentui Excel-tiedostossa usealle eri välilehdelle. Tämä johtui käytännössä siitä että, käyttäjän ei tarvitse (jos ei halua) nähdä ohjelmasta muuta kuin sen välilehden, johon hän syöttää kuormaprofiilin tiedot ja, joka antaa laskennan tuloksen. Samalta välilehdeeltä tulostetaan myös arkistokappale. Käyttäjä voi halutessaan tarkistaa laskentavälilehdeeltä mitä ohjelman taustalla on. Periaatteena on, että kaikki ohjelman taustalla tapahtuva operointi ja laskentatoimet ovat täysin avointa ja kaikki tieto on jäljitettävissä.

Akkutoimittajien mitoitusohjelmissa suurin osa laskenta- ja taustatiedosta on sellaista, että käyttäjä ei näe niitä vaikka haluaisi. Tämä onkin ehkä niiden suurin ongelma. Ongelmaksi muodostui käytännössä myös se, että kun esitin akkutoimittajalle kysymyksiä heidän ohjelmasta niin he eivät yleensä itse tienneet ohjelmasta kovinkaan paljoa vaan heidän piti aina ensin olla yhteydessä ohjelman tekijään, mikä teki epäselvien asioiden selvittämisestä hidasta ja monimutkaista. Myöskään ihan kaikkiin heille esittämäni kysymyksiin ei aina saatu virallista vastausta, mutta onneksi suurimpaan osaan kuitenkin saatiin.

5.10.3 Järjestelmävaihtoehdot

Selvitystyön alussa kuvittelin, että käymällä läpi keskusten kojeluetteloita voisin jokaisen keskuksen komponentin tarkkuudella kirjata kaikki kuormat ja dokumentoida ne. Tämän jälkeen olisi ollut samalla helppo komponentteja kuten elektroniikkakortteja, releitä ym. lisättäessä luetteloon myös päivittää järjestelmän kuormitustiedot. Tämä lähestymistapa osoittautui melko nopeasti täysin epärealistiseksi tavoitteeksi ja lisäksi hankalaksi toteuttaa. Lähtötietojen määrä, mitä olisi luettelointia varten pitänyt käydä tätä selvitystä varten läpi, olisi ollut mahdottoman suuri. Tiedon perkaaminen automaatio-osaston järjestelmäkansioista ja laitetoimittajien esitteistä olisi vienyt aivan liian paljon aikaa siihen nähden mitä projektille oli varattu tunteja tai mikä olisi ollut kohtuullista tai edes järkevää.

Edellä esitetyssä kuormituskartoitusongelman lähestymistavassa ongelma olisi ollut myös se, että automaatiokaappien komponenttitietoja ei löytynyt suoraan sähköisessä muodossa, minkä takia se olisi ollut erittäin aikaa vievää työtä. Jos kaikki tiedot olisi ollut valmiiksi Excel tai muussa vastaavassa taulukkolaskentamuodossa olisi tilanne ollut ehkä hieman toinen.

Tähän edellä mainittuun lähestymistapaan liittyvä ongelma oli myös esimerkiksi se, että vaikka tietäisimme komponentin aiheuttaman kuorman niin emme välttämättä tiedä sen kuormitusaikaa akkujen vaadittuna toiminta-aikana. Pumppujen jälleenkäynnistysjärjestelmä tai laitossuojausjärjestelmän tapauksessa tieto oli jäljitettävissä toimintakaavioista, mutta mikä on tilanne myöhemmin tutkittavissa DC-järjestelmissä? Ehkä kaikista ei löytyisi tietoa aivan samalla tarkkuudella tai yhtä helposti. Jokin komponentti saattaa esimerkiksi olla vain hyvin harvoin päällä, jolloin sen merkitys on pieni kuorman profiilissa tai sitten se voisi olla jatkuvasti päällä, jolloin merkitys on suuri. Tällä ei ole kovin suurta merkitystä yhden yksittäisen komponentin kohdalla, mutta mitä suuremman määrän laitteita laskuihin sisällytetään mukaan niin sitä suurempi on virhe arvioidussa kuormassa.

Järjestelmävaihtoehdot punnittaessa ensimmäiseksi nousi esiin yhteinen näkemys siitä, että olisi hyvä kehittää oma työkalu mitoitus ja dokumentointi tarkoitukseen. Selvitystyön edetessä tämä tosin alkoi myös vaikuttamaan ainoalta vaihtoehdolta.

Akkutoimittajan valmiissa ohjelmassa meidän olisi lisäksi pitäisi seurata tarkasti ohjelmaversioiden muutoksia, jotta olisimme tietoisia onko ohjelmasta tullut uusia versioita. Jokainen päivitys pitäisi lisäksi tarkistaa ja selvittää mitä siinä on muutettu ja vaikuttaako

se meidän laskelmiin. Ohjelmistossa saattaa myös olla piileviä virheitä "bugeja", joista emme ehkä olisi tietoisia. Olisi ehkä myös mahdollista, että päätettyämme käyttää jotakin ohjelmaa sen käytöstä alettaisi myöhemmin veloittaa käyttömaksua tai ohjelman käyttöehtoja voidaan jollakin tapaa muuttaa. Ohjelman käyttöohjeet voivat olla huonot tai puutteelliset mikä voi pahimmassa tapauksessa johtaa virheisiin kuten esimerkiksi järjestelmän mitoitusvirheisiin. Mikä takaa sen, että ohjelma on esimerkiksi seuraavat kolmekymmentä vuotta olemassa internetissä?

Käyttämässämme mitoitusohjelmissa oli todella vähän opastusta ohjelman käyttöön, tai voisi ehkä jopa sanoa, että ei ollut mitään opastusta. Tämäkin oli toinen hyvä syy tehdä oma ohjelma ja järjestelmä. Koska ohjeiden niukkuus mitoitusohjelmassa oli näin suurta päätin korjata asian meidän omassa ohjelmassa. Lisäsin ohjelmaan näkyville mahdollisimman paljon informaatiota, ohjeita, viitteitä ja lähteitä, joihin käyttäjä voi itse perehtyä.

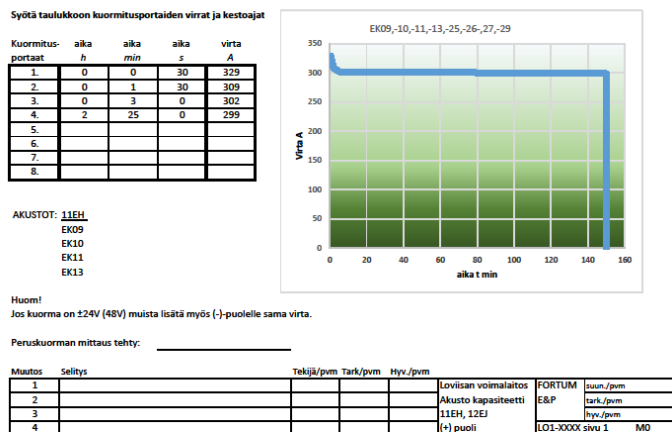
5.10.4 Toimintatapa

Ohjelmalla on kaksi eri funktiota. Ohjelman on tarkoitus olla suunnittelun aputyökaluna DC-järjestelmän akkukuormia mitoitettaessa ja tutkittaessa ja myös ohjelmana, jolla voidaan dokumentoida yksilöidysti jokaisen DC-järjestelmien kuormat.

Tarkoitus on, että peruskäyttäjä voi pienen perehdytyksen jälkeen itse simuloida ohjelmalla eri suuruisia kuormia ja tehdä uuden muutoksen DC-hallintajärjestelmän tiedostoon. Käyttäjän tekemä muutos tietokantaan tulee myös aina muistaa tulostaa, jolloin siihen tarvitaan myös tarkastajan ja hyväksyjän allekirjoitukset. Paperinen versio on tois-
taiseksi ainoa virallinen versio dokumentista ja se vastaa järjestelmän sen hetkistä kuormitusta. Kun dokumentti on allekirjoitettu täydentää suunnittelija allekirjoitukset sekä päivämäärät myös Excel-tiedostoon. Jos DC-järjestelmä on turvallisuudelle tärkeä ts. turvallisuusluokiteltu liittyy dokumentin muokkaamiseen paljon muitakin työvaiheita kuin pelkästään tulostus ja allekirjoitukset. Turvallisuusluokiteltuihin järjestelmiin tehtävät muutokset vaativat mm. laitoksen laatu ja turvallisuusorganisaatiosta hyväksynnän ja myös STUK hyväksynnän tai vähintäänkin tiedoksiannon ennen muutoksen toteutusta riippuen toteutuksen laajuudesta. Lisäksi viranomaisen voi vaatia myös muita lisäselvityksiä.

Ohjelmasta saatuja laskelmia voidaan käyttää näiden edellä mainittujen laadunvalvonta ja viranomaisdokumenttien liitteinä, jolloin voidaan melko yksinkertaisesti osoittaa, että suunniteltu muutos ei aiheuta rajoituksia akkukapasiteetin puolesta.

Excelin ensimmäiselle välilehdelle (alla oleva kuvakaappaus) käyttäjä syöttää ohjelmassa pyydytyt lähtö- ja kuormitustiedot. Ohjelma piirtää samalla taulukon viereen ko. järjestelmän kuormitusprofiilin annettujen lähtötietojen perusteella.



Ohjelma suorittaa laskennan ja ilmoittaa käyttäjälle paljonko järjestelmä vähintään vaatii ampeeritunteja sekä paljonko järjestelmässä on ylikapasiteettia laskettuun minimivaatimusmäärän verrattuna. Nämä laskelmat ovat nähtävissä toisella välilehdellä (alla oleva kuvakaappaus).

Kapasiteettilaskenta IEE Std 485-2010 mukaisesti				Järjestelmän akusto: 11 OPzS 1375			
P	t	I	A-A(p-1)	S			
t askel nro	aika	virta	kuorman muutos	jakson kesto	65,837	nim Positiiven (Ah)	nim negatiivinen (Ah)
1	0:0:30	329	329	2:30:00	4,78	1572,08	
2	0:1:30	309	-20	2:29:30	4,77		-95,42
3	0:3:0	302	-7	2:28:00	4,75		-33,24
4	2:25:0	299	-3	2:25:00	4,70		-14,11
5	00:00:00	0	0	0:00:00	2,86	0,00	
6	00:00:00	0	0	0:00:00	2,86	0,00	
7	00:00:00	0	0	0:00:00	2,86	0,00	
8	00:00:00	0	0	0:00:00	2,86	0,00	
Yhteensä						1572,08	-142,76
Tarvittavat Ah						1429,32	

Ohjelman antaman laskentatuloksen tulee olla positiivinen luku. Mitä pienempi lukuarvo on sitä vähemmän ylimääräistä kapasiteettia järjestelmässä on. Jos arvo muuttuu negatiiviseksi ei suunnittelija voi toteuttaa uutta kuorman lisäystä akkujärjestelmään ilman, että akkuja ensin suurennetaan eli akut täytyy siinä tapauksessa uudelleen mitoittaa.

Tässä on tietenkin hyvä huomioida onko mitoituksessa jo mukana jokin varalle suunniteltu ampeerituntimäärä. Suosittelen ohjelmaa käytettäväksi myös suunnittelun apuna sen lisäksi, että sillä voidaan hallita ja dokumentoidaan järjestelmän DC-kuormia. Suunnittelijan tulisikin aina ennen suunniteltua muutosta syöttää ohjelmaan järjestelmän uusi oletettu DC-kuormaprofiili ja todentaa riittääkö suunnitellulle muutokselle järjestelmän nykyiset akut vai eivät.

Ohjelman kuormatietojen päivittämiseen liittyy muutama tärkeä käytännön asia, jolla varmistetaan, että muutostiedot rekisteröidään ohjelmaan oikein. Käyttäjän on yksinkertaista lisätä, vähentää tai poistaa peruskuormasta yksittäisiä kuormia toisin sanottuna muuttaa kuormitusvirtaa, mutta järjestelmän luotettavuuden takia peruskuorma tulisi kaiken varalta mittaattaa analysaattorilla säännöllisesti esimerkiksi 3-5 vuoden välein. Mittauksen seurauksena on mahdollista, että peruskuorma saa uuden arvon. Edellisen mittauksen välissä lisätyt teoreettiset peruskuormat tulee muistaa integroida uuteen mitattuun peruskuormaan.

Uutta muutosta tehtäessä käyttäjän tulee tietää tai hänen tulee selvittää mihin kuormituskategoriaan muutos vaikuttaa. Kuormituskategorioita on nimetty kolmea erilaista, joita ovat:

- satunnainen lisäkuorma
- teoreettinen alkutapahtumasta johtuva lisäkuorma
- peruskuorma.

Huomioitavaa on, että "peruskuorma" -kategoriaan vietyt teoreettiset lisäkuormat eivät saa jäädä sinne sen jälkeen kun uusin peruskuorman mittaaminen on viety järjestelmään ja tasasähkökuormaprofiili on päivitetty. Kategoriassa "satunnainen"- tai "teoreettinen lisäkuorma" vietyä tietoa ei puolestaan saa poistaa peruskuormamittauspäivityksen yhteydessä koska nämä eivät ole osa mitattua peruskuormaa.

Tämä edellisessä kappaleessa esitetty tarkastelu koskien säännöllistä mittaamista tulee tehdä kaikille tärkeille tasasähköjärjestelmille, joita eri akustot syöttävät ja, jotka ovat uuden kuormienhallintajärjestelmän piirissä.

Käyttäjän on järjestelmään lisättäessä tai poistettaessa kuormaa myös ymmärrettävä miten lisättävä kuorma kuormittaa akkuja ja mitä akkuja kuorma kuormittaa. Kuorman yli oleva jännite vaikuttaa siihen miten akut kuormittuu. Esimerkiksi EH ja EJ \pm 24V kuormat

otetaan (+) eli P-puolen ja (-) eli N-puolen välistä, jolloin kuorman yli oleva jännite on 48V. Tällaiset kuormat kuormittavat molempia sekä (+) ja (-) puolen akkuja yhtä suurella virralla. +24V kuormat otetaan (+) P ja M (maa tai 0) kiskon välistä ja sitä kutsutaankin P_M -jännitteeksi, mikä kuormittaa vain (+) P-puolen akustoja.

5.11 Benchmarking ja opit toisista voimalaitoksista

Benchmarking:a varten olin yhteydessä kahteen muuhun pohjoismaissa sijaitsevaan ydinvoimalaitokseen. Yksi voimalaitos sijaitsi Suomessa ja toinen Ruotsissa ja laitokset olivat kiehutusvesilaitoksia erona Loviisan painevesilaitokseen. Vertailukohteet eivät näin ollen olleet ehkä parhaat mahdolliset, mutta näissäkin laitoksissa on myös vastaa- vat akustot ja DC-järjestelmiä, mittauksia ja ohjauksia kuten Loviisassakin. Ruotsissa ydinvoimalaitosten vaatimukset määrittää "Strålsäkerhetsmyndigheten" (The Swedish Radiation Safety Authority) ja Suomessa Säteilyturvakeskus (STUK).

Tiedustelin näistä toisista laitoksista miten he ovat mitoittaneet omat turvallisuudelle tärkeät akustot ja miten he valvovat, että järjestelmän kapasiteettia ei ylitetä tulevaisuudessa. Kummalakaan ei ollut esittää mitään valmista juuri tähän tarkoitukseen rakennettua järjestelmää, jota olisimme voineet hyödyntää. Näillä kahdella laitoksella oli saman tyyppinen dokumentointi tapa, eli kuormien kirjaus ja hallinta oli liitetty osaksi FSAR:a.

Valmiita vaihtoehtoja akusto-ohjelman alustaksi en löytynyt ensimmäistäkään. Teollisuudelle Suomessa akkuja toimittavista yrityksistä kahdella oli valmis mitoitusohjelma olemassa ja joihin sain myös käyttöoikeudet, mutta ne eivät sopineet dokumentointikäyttöön. Kumpikaan ohjelmista ei soveltunut suoraan meidän käyttötarpeeseen. Tutkin tätä dokumentointi ongelmaa laajemminkin. Ilmailupuolelta löysin joitakin dokumenttipohjia DC-kuormien dokumentointiin, joista olisi ehkä saanut rajusti muokkaamalla jotakin, mutta ei nekään missään nimessä suoraan olisi meille sopineet. Tiedustelin myös eräältä pääkaupunkiseudun sähkölaitokselta vara-akuista ja niiden dokumentoinnista ja kuormien hallinnasta. Sieltä vastattiin, että kyseisellä sähköasemalla, josta me keskustelimme ovat akut reilusti ylimitoitettuja odotettavissa oleviin sähkökatkojen kestoihin nähden.

Yhteenvetona voidaan todeta, että Benchmarking ei tuottanut sellaista lopputulosta hallintaohjelman suhteen, jota olin toivonut. Uudelleen mitoitukseen sain kyllä Benchmarking:sta hieman apua niistä laitoksista, joihin olin yhteydessä.

6 Kehittämistehtävän tulokset

6.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Näyttötyössä pyrittiin vastaamaan alla oleviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitä halutaan tutkimuksella saavuttaa?

Halusimme löytää keinon mitoittaa akustoa kuormitusprofiiliin mukaisesti koska aiemmin mitoitus on tehty tasaisen kuorman mukaan. Kuormitusprofiili huomioi mitatun kuorman johon lisätään vielä teoreettista alkutapahtuman aiheuttamaa lisäkuormaa. Tämä johtaa siihen, että hankittavat akut tulevat sopivamman kokoisiksi kuin vakiokuormalla laskettaessa turvallisuudesta tinkimättä. Laskelmat osoittivat, että ilman uuden tyyppistä lähestymistapaa mitoitukseen akuista tähän tutkittavana olevaan kohteeseen olisi tullut hyvin suuret pääasiassa korkeat ja painavat, jolloin ne olisi myös ollut erittäin hankalat käsitellä.

Suurin vaikutus oli teoreettisen lisäkuorman tarkalla analyysillä, jossa voitiin todeta, että SBO-tilanteessa osa näistä kuormista ei ole päällä kuin vain tarkasteltavan ajanjakson alkuosassa.

2. Mitä työkaluja on olemassa mitoitukseen ja akku kuormien hallintaan?

Mitoitukseen on olemassa useita työkaluja, joita akkuvalmistajat antavat ilmaiseksi asiakkaiden käyttöön, mutta testaamani ohjelmat eivät soveltuneet suoraan meidän käyttöömmme eräiden puutteiden ja epäselvyyksien takia. Esimerkiksi erään akkuvalmistajan ohjelmassa ei voinut tallentaa laskelmia ja toisen taas pystyi, mutta ne voitiin tallentaa vain heidän palvelimelle. Me puolestamme haluamme pitää tiedot akuista omissa järjestelmissämme ja hallita tietoja itse. Tästä syystä päätimme rakentaa oman Excel-ohjelmalla tehdyn tietokannan, jonka laskentaosuus pohjautui IEEE- standardiin 485-2010. Myös akkuvalmistajien ohjeiden puutteet ja ohjelmapäivitysten seuranta koettiin ongelmallisiksi.

3. Minkälainen akku kuormien hallintajärjestelmä sopisi parhaiten Loviisan voimalaitokselle (viranomaisen ja työn tilaajan näkökulmasta)?

Viranomaiselle tätä kehittämääni ohjelmaa sekä tietokantaa ei oltu esitelty siihen mennessä kuin näyttötyön piti valmistua, joten en onnistunut saamaan viranomaisen kommenttia suunnitellusta järjestelmästä. Järjestelmän laskenta pohjautui IEEE standardissa 485-2010 esitettyihin laskentamenetelmiin ja dokumentoinnin osalta meitä oli ainoastaan pyydetty parantamaan dokumentointi ja kuormien hallintaa, joka tässä työssä myös toteutui.

4. Miten määritellä YVL-vaatimuksessa esitetyn pahimman teoreettisen kuormitustilanteen ja mikä on tämän ajanjakson (mahdollisesti) muuttuva kuormitusvirta?

Kysymykseen "miten määritellä pahin teoreettinen kuormitustilanne?" oli aluksi hieman vaikeata löytää täsmällistä vastausta. Määritetyn pahimman mahdollisen tilanteen perusteella määritettiin, mitä prosessissa tapahtuu ja sen jälkeen mitä releitä on vetäneenä ja miten pitkään. Laitosturvallisuussuunnitteluosaston kanssa pidettyjen kokousten ja IAEA:n selvityksen (IAEA-TECDOC-1770) perusteella saimme lopuksi rajattua alkutapahtuman seurauksena olevan SBO-tilanteen laajuuden. SBO-tilanne, jonka lisäksi esitimme manuaalisesti kytkettävät varajärjestelmät ja yhteydet, oli hieman hankala sijoittaa YVL:ohjeen antamiin DEC- määritelmän raameihin. Päädyimme lopulta siihen, että tämä on DEC B:tä pahempi tilanne, saatuamme tässä asiassa konsultointia laitosturvallisuusosastolta. DEC B on todennäköisyysperusteisen riskianalyysin perusteella tunnistettu viikayhdistelmä, joka vastaa SBO- tilannetta.

Ajanjakson (mahdollisesti) muuttuva kuormitusvirta selvitettiin esimerkinomaisesti yhden $\pm 24\text{VDC}$ järjestelmän osalta, joka piti mitoittaa uudelleen (EH ja EJ). Tässä luotiin prosessi, jolla pyrittiin selvittämään kaikki mahdolliset kuormat ja voidaan luoda kuormitusprofiili. Prosessia voidaan käyttää myöhemmin toisia DC-järjestelmiä tutkittaessa.

5. Minkä tyyppiset ja minkä kokoiset akut sopisivat parhaiten tutkittavaan esimerkkitapaukseen $\pm 24\text{V DC}$ -järjestelmän akuiksi?

Tähän kysymykseen saatiin vastaus erillisessä laatimassani selvityksessä, jossa ehdotin kolmea eri vaihtoehtoa, joilla riittävä kapasiteetti voidaan toteuttaa. Lopuksi päädyttiin yhteen esittämistäni vaihtoehtoista pienellä lisä parannuksella. Akustoja tullaan lisäämään yksi (+) ja yksi (-) puolelle. Tällä tavalla saimme hieman pienemmät akut akustoihin. Akkutekniikan vaihtamiseen ei nyt tämän selvityksen perusteella nähty syytä EH ja EJ keskusten akkujen osalta, koska OPzS akuissa on juuri ne ominaisuudet mitä vara-

akuilta toivotaan. Tämän tyyppiset akut ovat pitkäikäiset ja soveltuvat pitkiin purkaus-aikoihin sekä ovat luotettavia.

6. Mikä on kokonaisuuden kannalta teknistaloudellisin akku- ja tasasuuntaajakombinaatio järjestelmän uudelleen mitoituksen yhteydessä?

Tähän työhön liittyi myös mahdollisesti uusittavien tasasuuntaajien kappalemäärän määrittäminen. Asiasta pidettiin kaksi suunnittelukokousta, jonka seurauksena päädyttiin siihen, että tasasuuntaajien määrä on hyvä säilyttää samana kuin mitä ne on tähänkin asti ollut. Eräs vaihtoehto olisi ollut, että vähennämme yhden tasasuuntaajan + ja - puolelta mikä olisi pienentänyt hankintakustannuksia, mutta se olisi myös voinut rajoittaa laitoksen käytettävyyttä vikatilanteessa. Nykymäärä mahdollistaa yhden tasasuuntaajan huoltamisen käynnin aikana.

7. Miten dokumentoida ja hallita tasasähkökuormia tulevaisuudessa?

Dokumentointia varten luotiin oma Excel-tietokanta, jonka sisään tein akuston kapasiteetilaskentaohjelman. Jokaisella (+) tai (-) puolen akustolla on oma tiedosto, johon on laitettu järjestelmässä olevan akuston tyyppin lähtötiedot. Kansiossa on myös yksi testikanta, jossa voi testata erikokoisia OPzS akkuja 1,85 V loppujännitteeseen. Ohjelma perustui IEEE-standardissa 485-2010 esitettyihin laskentakaavoihin ja akkujen lähtö ja Kt-arvot saatiin akkuvalmistajilta. Kuormitusprofiili, jota tarvittiin akun ampeeritunnin määrittämisessä luotiin omien selvitysten perusteella.

6.2 Järjestelmään toteutetut muutokset

EH ja EJ keskusten uusien akkujen koot määritettiin uudelleen kestämään 2 h sähkömenetystilanne vähimmäismäärän akkuja ollessa käytössä. Akkukokoa saatiin hieman rajoitettua lisäämällä yhden uudet akustot (+) ja (-) puolelle, mutta valitettavan suurikokoiset niistä tästäkin huolimatta tuli. Akkujen lisäyksestä seuraa, että TTKE-ehtoihin on tehtävä muutos koskien käytössä olevien akkujen minimimäärää, mikä jatkossa tulee olemaan 4+2 sen aiemmin ollessa 3+1 kpl. Tämä vaadittava muutos tullaan käsittelemään ennakkotarkastusaineiston yhteydessä, mikä laaditaan ennen kesää 2017. Myös FSAR:n päivitetään akkujen määrän ja kapasiteetin osalta. Erona aiempaan toimintatapaan verrattuna kapasiteettia tarkasteltiin ensimmäisen kerran muuttuvan kuorman suhteen tässä akustousinnassa. Muita akustoja ei uudelleen mitoitettu koska ne täyttivät jo YVL vaatimukset.

Dokumentointitavasta luotiin uusi järjestelmä tärkeiden DC-kuormien valvontaa varten, joka kokoaa yhteen paikkaan kaiken akkusyötön kannalta tärkeän tiedon. Tästä seuraa, että muutoksia on tulevaisuudessa helpompi hallita ja järjestelmä on selkeä ja yksinkertainen.

6.3 Uusi toimintamalli ja toiminnan ohjeistus

Ohjelman käyttöä ja jalkauttamista varten pidin perehdytyksen Fortumin ydinvoimatoimintojen sähkösuunnitteluosaston koulutuspäivän yhteydessä Porvoon Sannäsissä 31.3.2017. Tilaisuudessa oli läsnä sekä Loviisan voimalaitoksen, että E&P:n (Keilaniemen) sähkösuunnittelijat. Tilaisuudessa esittelin ohjelman tavoitteet, toimintaa ja mikä tulee olemaan jatkossa dokumentoinnin ja hallinnan toimintatapa. Laadin ohjelman käytöstä myös pikaohjeen, mikä tulee löytymään samasta kansioista missä itse ohjelma myös on. Tietokannasta löytyy tarvittavat ohjeet ohjelman käyttöön ja dokumentointiin ja opastan tietokannan käyttäjiä tarpeen mukaan. Järjestämme vielä erillisen pienimuotoisen koulutustilaisuuden ohjelman käytöstä vuoden 2017 aikana.

Tätä näyttötyötä sekä siihen liittyvää erillistä selvitystä voidaan käyttää apuna määrittäessä uusia akustoja tai tarkastellessa vanhojen akustojen kapasiteettia. Käymällä läpi samat prosessivaiheet mitä selvityksessä tehtiin saavutetaan lopputulos, joka täyttää YVL-vaatimukset olematta ylikonservatiivinen.

Peruskuormamittausta emme ehtineet tässä selvityksessä tekemään kuin vain yhdestä järjestelmästä (EH/EJ). Kaikista turvallisuudelle tärkeistä akkujärjestelmistä pitäisi vielä mitata peruskuormat ja arvioida onko niissä muuttuvia kuormia. Selvitys pitäisi tehdä siksi, että voimme tarkemmin arvioida paljonko tutkittavassa järjestelmässä on ylikapasiteettia dokumentointi ja hallintaohjelmaa varten. Tietokantaan lisätään tiedot niiden tietojen pohjalta mitä meillä nykyisellään on käytössä, mutta tarkoitus on, että nykytiedot vielä tulevaisuudessa täsmentyvät ja tarkentuvat sitä mukaan kun järjestelmiä tutkitaan.

6.4 Järjestelmän käyttö uudessa toimintamallissa

Järjestelmän käyttö on tehty mahdollisimman käyttäjäystävälliseksi ja yksinkertaiseksi. Melkein riittää se, että osaa syöttää taulukkolaskentaohjelman soluihin kuorman virran

ja kestoajan. Ohjelma tekee tarvittavat ampeeritunti laskelmat ja piirtää kuvaajan kuorman profiilista. Lisäksi on muistettava lisättäessä tai poistettaessa 48 VDC kuormaa ($\pm 24\text{VDC}$) lisätä tai poistaa se sekä miinus, että plus puolen tiedoista. 24 VDC kuormat on otettu maan ja plussan välistä, joten riittää, että niissä tapauksissa operoi pelkän plus puolen tietojen kanssa. Peruskuormalisäykset integroidaan perusmittaukseen 5 vuoden välein (mittausväli ei vielä vahvistettu) ja teoreettisten lisäkuormien lisäykset pysyvät aina mukana laskuissa.

Tietokantaan ei luonnollisesti saa tehdä muutoksia ilman, että ymmärtää mitä on tekevässä. Muutoksista pitää myös tehdä muutosversio ja tulostaa dokumentti, joka arkistoidaan. Järjestelmän dokumenteille on varattu arkistotunnukset. Vanhat versiot säilytetään tietokannassa. Kansiossa on yksi testi-tiedosto, johon voi testata mielivaltaisen järjestelmä muutoksia.

6.5 Uuden toimintamallin vaikutus suunnitteluun ja dokumentointiin

Ohjelman on tarkoitus olla suunnittelun apuna ja selkeyttää kuormien hallintaa ja dokumentointia. Suunnittelija voi tehdä testi-tiedostossa simulointeja kuorman lisäyksistä tai poistoista tai ottaa kopion itselleen tutkittavasta järjestelmästä ja simuloida tällä kopiolla kuormia. Suunnittelijan voi myös testata eri akuilla samaa kuormaa, jolloin voidaan helposti saavuttaa toivottu ylikapasiteetti % tai Ah-määrä järjestelmän uudelleen mitoituksen tai esim. suurten kuormien lisäysten tai poiston yhteydessä.

Kuormien muutosta on tämän tietokannan avulla helppo valvoa. Järjestelmällä vältytään siltä tilanteelta, että kapasiteettia ei olisi järjestelmän akuissa vaadittua määrää. Tietokannalla on versionumero, mutta se on eri versio tai asiakirjatunnus mikä esim. yhdellä plus tai miinuspuolen akustolla on. Tämä versiotunnus täytyy olla olemassa, jos tai kun ohjelmaa joudutaan päivittämään. On hyvin todennäköistä, että kun ohjelmaa päästään enemmän käyttämään niin myös parannusehdotuksia syntyy tai muusta syystä voi olla tarvetta päivittää ohjelmaa.

7 Yhteenveto ja johtopäätökset

7.1 Kehittämistehtävän arviointi

Koska kyseessä oli kvalitatiivinen tutkimus oli tärkeätä luoda joitakin mittareita onnistumiselle. Helpointa tämä oli toteuttaa kyselykaavakkeen muodossa.

Pyysin työn tilaajalta ja ohjaajalta kommentteja siitä miten heidän mielestä tehtävässä onnistuttiin. Loviisasta kaksi henkilöä vastasi kyselyyn ja Keilaniemestä yksi. Kysymykset ovat liitteessä 1. Ympyröin liitteessä jokaisen kysymyksen vastauksen keskiarvon saamani palautteiden pohjalta.

Kyselyn tulokset olivat pääasiassa myönteiset. Parhaiten onnistuin selvityksen tavoitteiden, laajuuden, laadun ja hyödyllisyyden alueilla. Heikoiten onnistuin budjetin ja aikataulun osalta, mikä on tulkintani mukaan liityttävä pääasiassa aikatauluongelmiin koska en ylittänyt työlle varattua tuntimäärää. Aikataulu valitettavasti venyi useilla kuukausilla, joten palaute on siltä osin täysin perusteltua. Viestinnästä ja informoinnista tuli ristiriitaista palautetta. Loviisassa viestintä oli koettu onnistuneen, mutta Keilaniemessä ei oltu. Tämä johtunee siitä, että kommunikoin ehkä jonkin verran enemmän Fortumilla tilaajan kanssa kuin ohjaajan kanssa työn etenemisestä.

7.2 Viitekehyksen soveltuvuus kehittämistehtävän toteutukseen

Mielestäni viitekehys ei loppujen lopuksi ollut valittu parhaalla mahdollisella tavalla. Tämä tutkimus ei ehkä ollut niinkään paljon toimintatutkimus kuin olin alun perin ajatellut. Uskon, että tälle työlle olisi voinut löytyä paremminkin soveltuva tutkimustyyppi, mutta en loppumetreillä sitä enää alkanut muuttamaan joksikin toiseksi. Moni työvaihe kuitenkin toimi prosessissa oikeastaan ihan hyvin, joten ei tämä tutkimus ihan pieleenkään mennyt.

7.3 Jatkotoimenpiteet

Tässä työssä kehitettiin kaksi aihiota, joita tullaan kehittämään edelleen. Aihiot olivat prosessi akkujen mitoitukselle ja akkukuormien dokumentoinnin hallinta. Selvitystyöllä luotiin vähintäänkin suuntaviivat tulevaisuuden mitoitusmenetelmälle ja pohja dokumentointi ja hallintajärjestelmälle, jota voidaan jatkojalostaa. Loppujen lopuksi ei varsinaista kehitettävää enää oikeastaan jäänyt kesken, mutta käytännön toimet pitää vielä viedä loppuun asti kuten esimerkiksi tärkeiden akustojen mittauttaminen ja tarkempi tutkiminen, jolloin voidaan parhaiten hyödyntää kapasiteetin arvioimiseen luotua järjestelmää ja siihen liittyvää laskentamenetelmää.

Olen myös lupautunut pitämään toisen koulutustilaisuuden ohjelman käyttöön liittyen ja ainakin yksi suunnittelupalaveri pitää vielä järjestää hallintajärjestelmään tarvittavien teknisten tietojen kartoittamiseksi. Olen itse lisännyt ohjelmaan omasta mielestä tärkeät tiedot, mutta tämä kyseessä oleva välilehti täytyy vielä tilaajan kanssa yhdessä suunnitella lopulliseen muotoonsa. Annan myös teknistä tukea ohjelman käyttöön ja otan vastaan siihen liittyviä parannusehdotuksia.

7.4 Itsearviointi

Selvitystehtävä oli mielenkiintoinen koska pääsin tutustumaan laitoksen automaatiojärjestelmään, johon en sähkösuunnittelijana yleensä näin yksityiskohtaisesti muuten pääse tutustumaan. Tehtävä oli myös vaikea koska selvitystyö oli laaja sekä monilta osin yllättävänkin haastava ennako-odotuksiini nähden. Mielestäni sain melko paljon hyvää aikaiseksi tässä työssä, mutta aikatauluissa pysyminen oli välillä hieman vaikeata. Ehkä olin työvaiheiden kestot arvioinut hieman väärin ja ehkä omaa aikaa olisi pitänyt käyttää vieläkin enemmän tähän työhön, jotta aikataulussa olisi pysytty. Mielestäni sain työn tilaajalta riittävästi työtunteja työn tekemiseen, joten siitä ei ainakaan myöhästymisessä ollut kysymys.

Akkujen mitoitusprosessia luodessa haasteena oli saada apua vanhan automaatiojärjestelmän toimintojen ymmärtämisessä. Suurin osa suunnittelijoista olivat kiireisiä tai työskentelivät uuteen tulevaan automaatioon liittyen, eikä heillä ollut aikaa paneutua tähän minun selvitykseeni. Lopulta sain onneksi apua muutamalta kokeneelta suunnittelijalta ja asiat alkoivat sitten etenemään välillä ihan hyvinkin.

Näyttötyö on mielestäni lopputulokseltaan melko onnistunut, jos katsotaan kokonaisuutta. Se on monipuolien ja siinä mentiin riittävän syvälle asioita tutkittaessa. Uskon että EH ja EJ järjestelmän osalta ei jäänyt kovin montaa kiveä kääntämättä. Se, että tässä työssä on kaksi eri osiota ei ollut niin onnistunutta, mutta toisaalta aiheet linkittyivät melko hyvin yhteen ja liittyivät molemmat laitoksen akustoihin. Oli myös mukava päästä kansainväliselle koulutusmatkalle Ranskaan, jossa sai tavata saman alan ihmisiä. Ydinvoiman parissa työskentelevät on melko pieni joukko, jos rajoitetaan vain suomen rajojen sisälle.

Hallintatyökalun kehittämisen kanssa olin aluksi hieman hukassa, enkä tiennyt miten edetä sen asian kanssa. Siinä tuli alkuvuodesta 2017 yksi aivan liian pitkä tauko työn

edistymisessä. Työ ei edennyt koska en riittävän nopeasti löytänyt ratkaisua miten muuttuvan kuorman kapasiteettia lasketaan, enkä keksinyt tai onnistunut löytämään mitään valmista tai edes jollakin tasolla hyödynnettävää dokumentointijärjestelmää. Kun työ ei edennyt niin olisi pikaisesti pitänyt järjestää jokin workshop-tyyppinen palaveri, jossa monta ihmistä yrittää ratkoa samaa ongelmaa. Onneksi asiat kuitenkin lopuksi loksahitivat kohdalleen ja toimiva ohjelma ja järjestelmä voitiin rakentaa.

Lähteet

P. Alasuutari, 1999, Laadullinen tutkimus. Vastapaino, Tampere

Daesik Kim Hanju Cha, 2013, "Kt Factor analysis of Lead-Acid Battery for Nuclear Power Plant", Busan, Korea

J. Eriksson, 2017, Lisäaikapyyntö SAM-järjestelmän sekä Loviisan 1 automaatiojärjestelmän akustojen kapasiteetin kasvattamiseen, versio 1.0

R. Halonen, 2015, Johdatus tutkimustyöhön luentomoniste,
<https://www.google.fi/#q=johdatus+tutkimusty%C3%B6h%C3%B6n+oulun+yliopisto&spf=1>,
luettu 11.12.2016

S. Härmälä TVO 21.10.2016, sähköposti

R. Immanen 2016, FSAR , Turvallisuusseloste, versio 3.2.

T. Juntunen 1979, Muistio LO 0,4 kV jälleenkytkentä- ja vaihtoautomaatiikkojen jänniterajojen asettelu

K Jänkälä, M Biese, R Kleinberg, S Sirén 2016, Loviisa 1 Riskitutkimus, Pääraportin luku 2: Alkutapahtumat, versio 3.0

J. Kananen, 2014. Toimintatutkimus kehittämistutkimuksen muotona. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja.

J. Kiri, 1985, Loviisa 1 ja 2 muutokset tasasähköjärjestelmissä

T. Koskiniemi, T. Eurasto, 2015, STUK Tarkastuspöytäkirja 37/A45551/2015

A. Kuula 1999, Toimintatutkimus: kenttätyötä ja muutospyrkimyksiä. Vastapaino, Tampere

H. Lamroth, 2006, FSAR 1.3 Loviisan rakennusprojekti ja suunnittelun vertailu eräihin muihin VVER- voimalaitoksiin, versio 2.0

K. Ojasalo, T. Moilanen, J. Ritalahti, 2014. Kehittämistyön menetelmät - Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 3. painos. Sanoma Pro Oy, Helsinki.

J. Olsson Ringhals 15.11.2016, sähköposti

O. Saarinen, S. Matinaho, R. Kotola 2015, Laitossuojaus, LO1 & 2 FSAR 7.3, versio 2.4

T. Sainio, 2014, FSAR 8.4 Varmennetut vaihtosähköjärjestelmät, versio 2.2

T. Sainio 2014, FSAR 8.5. Tasasähköjärjestelmät, LO1 & 2, versio 2.2

J. Salonius, 2017, LO1 EK-akuston mitoitus YVL B.1#5443 mukaisesti, versio 1.0

J. Sandberg 2013, Säteilysuojakeskus ydinturvallisuuden valojana, Laitosmuutokset, Bookwell Oy Porvoo

J. Tuominen, 2015, Loviisan voimalaitos 1 ja 2 turvallisuudelle tärkeiden akustojen kapasiteetin riittävyys, versio 1.0

Åberg Leif 2006. Johtamisviestintää!. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä

Fortum esite, Meidän ympäristömme 2015 Loviisan voimalaitos,
http://apps.fortum.fi/meidanymparistomme/meidanymparistomme_netti_suomi.pdf

IAEA-TECDOC-1770, Design Provisions for Withstanding Station Blackout at Nuclear Power Plants, Vienna 2015

IEEE Std 485-2010, Recommended practice for sizing lead-acid batteries for stationary applications, NY USA, 15.3.2011

Siemens Simatic P 1971, Control System Power Generating Plant Control, Catalogue ERS 41.1, January 1971

Standardi SFS-EN 50272-2, Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset, SESKO. 16.11.2012

Virtuaaliammattikorkeakoulu, YAMK, Toimintatutkimus
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/0709019/1193463890749/1193464158778/1194360111832/1194360447229.html>
Luettu 12.8.2016

YVL B.7, Varautuminen sisäisiin ja ulkoisiin uhkiin ydinlaitoksessa 15.11.2013, Määrtelemät, Helsinki 2013

Liitteet

1. Kyselylomake vastauksineen (keskiarvot ympyröity) näyttötyön onnistumisesta ja hyödyllisyydestä työn tilaajalle

Kysely liittyen näyttötyön "Turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä syöttävien akus-
tojen kuormituksen selvitys ja hallinta Loviisan voimalaitoksella" tuloksiin.

1. Saavutettiin selvityksellä sille asetetut tavoitteet?

☹ 1 2 3 4 5 ☺

2. Oliko selvitys riittävän laaja ja laadukas?

☹ 1 2 3 4 5 ☺

3. Oliko selvityksestä hyötyä voimalaitokselle?

☹ 1 2 3 4 5 ☺

4. Voidaanko selvitystä hyödyntää myös muilla tavoin kuin alun perin oli tarkoitus?

☹ 1 2 3 4 5 ☺

5. Saavutettiin työllä sille asetettu turvallisuusparannustavoite?

☹ 1 2 3 4 5 ☺

6. Saavutettiin/voidaanko selvityksellä turvallisuusparannuksen lisäksi myös taloudel-
lista tai muuta hyötyä?

☹ 1 2 3 4 5 ☺

7. Miten yhteistyö tilaajan ja selvityksen tekijän välillä koettiin?

☹ 1 2 3 4 5 ☺

8. Pysyikö selvitystyö kustannusten osalta budjetoidussa ja miten aikatauluissa pysyttiin?

☹ 1 2 3 4 5 ☺

9. Pystyttiinkö työn tuloksia myös hyödyntämään tasasuuntaajausinnassa riittävässä määrin?

☹ 1 2 3 4 5 ☺

10. Miten työn etenemisen viestintä ts. informoinnissa tilaajan suuntaan onnistuttiin?

☹ 1 2 3 4 5 ☺

11. Työssä kehitetystä mitoitusmenetelmästä ja dokumentointi ja hallintatyökalusta oli ensimmäinen koulutustilaisuus Porvoossa. Miten tässä uuden järjestelmän jalkauttamisessa onnistuttiin ja onko tähän liittyen mitään parannusehdotuksia? (Tietokannan valmistuttua ja STUK:lle esittelyn jälkeen olisi hyvä pitää vielä toinen tilaisuus aiheesta esim. pienimuotoisen workshopin muodossa.)

☹ 1 2 3 4 5 ☺

12. Onko muita parannusehdotuksia liittyen tähän työhön, työtapaan, työn sisältöön tms.?

