



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

TEEMU JUHOLA

Selvitystyö sairaalan sähköjärjestelmistä

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA
2020

Tekijä(t) Juhola, Teemu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä maaliskuu 2020
	Sivumäärä 31	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Selvitystyö sairaalan sähköjärjestelmistä		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
<p>Työn tavoitteena oli laatia selvitys Satasairaalan eri sähköjakelujärjestelmistä. Selvitystyön tarkoituksena oli tuottaa järjestelmien eri laitteista ja sijainneista luettelointi ja merkitä sijainti myös aluekuvaan.</p> <p>Luettelointi tehtiin normaalista, varmennetusta ja katkeamattomasta jakeluverkosta sekä myös hisseistä ja valvonta-alakeskuksista tehtiin omat luettelonsa. Luettelointi toteutettiin Excel-taulukointiohjelmaa käyttäen.</p> <p>Kaikista edellä mainituista aiheista tehtiin CADS-suunnitteluohjelmistolla Satasairaalan aluekuvaan merkinnät niiden sijainneista.</p> <p>Projektin lopputuloksena saatiin raportoitu tietopankki sairaalan sähköjärjestelmistä. Tietopankin avulla saadaan tehostettua huoltotoimenpiteitä yhdessä luetteloiden ja pohjakuvien kanssa. Raportin lopussa on avattu kehittymismahdollisuutta, johon panostamalla voidaan tulevaisuudessa tehostaa sähkötekniisiä huoltotoimenpiteitä huomattavasti.</p>		
Asiasanat: Sähköjakelu, sähköverkot, varavoimalat, muuntajat, sähköjärjestelmät		

Author(s) Juhola, Teemu	Type of Publication Bachelor's thesis	Date March 2020
	Number of pages 31	Language of publication: Finnish
Title of publication Research on electrical systems of hospital		
Degree programme Electrical and automation engineering		
<p>The goal of the thesis was to do research on different electricity distribution systems in hospital and to produce a listing about these various equipment and locations of the systems, and also to mark the locations on the hospital's area plan.</p> <p>The listing was done of the normal-, secured- and uninterrupted distributing network, as well as elevators and control sub-centers. The listing was implemented by using an excel-spreadsheet.</p> <p>Markings to the area plan of locations of all the topics mentioned above were made with CADS design software.</p> <p>Outcome of this project was a reported databank of electrical systems in Satasairaala which can be used with the listing and area plans to boost maintenance procedures. At the end of this report there is described an opportunity to improvements, that in case of investing in, can significantly improve effectiveness of any maintenance procedures in the future.</p>		
Key words:Distribution of electricity, electrical power systems, reserve power stations, transformers, electric systems		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 SATASAIRAALAN PIENJÄNNITESÄHKÖVERKKO	7
2.1 Sähkönjakeluverkko	7
2.2 Standardit ja määräykset	7
2.3 Sähkönjakelujärjestelmät.....	8
2.3.1 Normaali sähköverkko	8
2.3.2 Varmennettu sähköverkko	8
2.3.3 Katkeamaton sähköverkko.....	8
3 NORMAALI SÄHKÖVERKKO	9
3.1 Normaali sähkönjakelu.....	9
3.2 Yleistietoa.....	10
3.3 Komponentit.....	10
3.3.1 Keskiännitekojeisto.....	10
3.3.2 Muuntaja	11
3.3.3 Estokelakondensaattoriparisto	12
4 VARMENNETTU SÄHKÖVERKKO.....	14
4.1 Varmennettu sähkönjakelu	14
4.2 Varavoimakone	16
4.2.1 Yleistietoa	16
4.3 Varavoimakoneen pääkomponentit.....	18
4.3.1 Dieselmoottori.....	18
4.3.2 Generaattori.....	19
4.3.3 Polttoainesäiliö.....	20
4.3.4 Ohjaus- ja hallintalaitteisto	20
4.4 Toiminta	21
5 KATKEAMATON SÄHKÖVERKKO	22
5.1 Katkeamaton sähkönjakelu.....	22
5.2 UPS-laite (Uninterruptible Power Supply).....	23
5.2.1 Komponentit	23
5.3 Yleistietoa.....	24
5.4 Tekniikka.....	25
5.4.1 On-Line-kaksoismuunnos	25
5.4.2 Redundanttisuus.....	26
6 VALVONTA-ALAKESKUKSET.....	28

7 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS	29
7.1 Tavoite.....	29
7.2 Työvaiheet ja tulokset	29
7.2.1 Selvitystyö.....	29
7.2.2 Luettelointi.....	30
7.2.3 Raportointi	30
8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	31

LÄHTEET

LIITTEET

1 JOHDANTO

Tässä työssä selvitetään Satasairaalassa käytettyjen sähköjärjestelmien käyttötarkoitusta ja toimintaperiaatteita. Selvityksen pohjalta on laadittu luettelointi ja pohjakuvat, joista käy ilmi jokaisen järjestelmän laitteiden ja keskusten sijainti. Luetteloinnin ja pohjakuvien lisäksi opinnäytetyön raportointiosuuden on tarkoitus toimia yleishyödyllisenä tietopankkina sairaalaympäristössä käytetyistä sähköjärjestelmistä.

Tietopankin tavoitteena ei ole kuvata jokaisen eri järjestelmään kuuluvan komponentin toimintaa yksityiskohtaisen tarkasti. Ennemmin tavoitellaan yleiskäytännöllistä mielikuvaa toimintaperiaatteista ja käyttötarkoituksista.

Tämän tyyppinen informatiivinen raportti on hyödyllinen etenkin sairaalan ulkopuolisen henkilökunnan käytössä, jotka eivät välttämättä aiemmin ole päässeet tutustumaan sairaalaympäristön sähkölaitteistoihin ja niiden toimintaan. Opinnäytetyönä tuotettujen luetteloiden ja pohjakuvien ansiosta myös henkilö, jolle Satasairaalan rakennus on entuudestaan täysin tuntematon, pystyy paikantamaan kohteet.

Ensiksi opinnäytetyössä perehdytään koko sairaalan pienjänniteverkon kokonaisuuteen omassa luvussaan, jonka jälkeen avataan sähköjärjestelmä kerrallaan niiden toimintaa. Sähköjärjestelmistä on omissa luvuissaan käyty läpi muun muassa niiden käyttötarkoitusta sairaalaympäristössä sekä selitetty kunkin järjestelmän muodostaman verkon rakenne ja kerrottu pääkomponenttien toiminnasta osana isompaa kokonaisuutta. Sähköjärjestelmiin sisältyvät normaali-, varavoima- sekä UPS-verkko ja lisäksi myös valvonta-alakeskuksista on lyhyt lukunsa.

2 SATASAIRAALAN PIENJÄNNITESÄHKÖVERKKO

Ensimmäisen aiheen ideana on perehdyttää lukija Satasairaalan sähköverkon kokonaisuuteen ja siihen mistä eri järjestelmistä sähköverkko muodostuu, ja mikä näiden järjestelmien tavoite on sähköverkon luotettavuuden ja käytännöllisyyteen kannalta.

2.1 Sähköjakeluverkko

Satasairaalan pienjännitesähköverkko muodostuu kolmesta eri sähköjakelujärjestelmästä. Näihin järjestelmiin lukeutuvat normaali-, varmennettu- ja katkeamaton sähköjakelujärjestelmä ja jokaisella näistä järjestelmistä on tietty merkitys ja käyttötarkoitus osana isompaa yhteistä kokonaisuutta.

Sähköjakeluverkon toteutustavan ansiosta lyhytaikaisten vikatilanteiden sattuessa on mahdollista tuottaa katkeamaton sähkönsyöttö niille sairaalan osille kuin se on katsottu tarpeelliseksi. Samainen toteutustapa tarjoaa myös esim. mahdollisen kriisitilanteen aiheuttaman pidemmän sähkökatkoksen aikana jatkuvan sähkönsyötön sairaalan varmennetun verkon alueille.

2.2 Standardit ja määräykset

Sairaalaympäristössä tarve toissijaisen sähköjärjestelmän turvaamalle jakeluverkolle tulee tilaluokitukseen liittyvien vaatimusten perusteella. Lääkintätilojen kohdalla kyse on aina potilasturvallisuudesta. Toinen määrittävä tekijä voi olla esimerkiksi tietojärjestelmät.

Laitteiden ja kokonaisuuksien varmentamisen vaatimuksista kertoo standardi SFS 6000-7-710, sekä standardia SFS 4372 sovelletaan vanhoihin asennuksiin. Tilaluokituksen ohella pitää aina erikseen kartoittaa kunkin tilan todellinen käyttötarkoitus ja tällä tavoin pohtia onko varajärjestelmälle tarvetta.

Standardissa on määritelty sähköön takaisinkytketymisaikoja siten, että <0,5s on lyhyt katkos, <15s on keskipitkä katkos ja >15s on pitkä katkos. Sairaalaympäristössä on

määrätty, että sähkökatkoksen alkamisesta saa kulua enemmillään 15 sekuntia varmennetun verkon kytkeytymiseen. Standardissa SFS 6000-7-710 määrätään lääkintätiloissa käytettäväksi myös muita erityisominaisuuksia liittyen virtapiirien suojaukseen ja rakenteeseen sekä luokitellaan laitteita kytkeytymisajan perusteella eri kategorioihin.

Myös sairaalassa tehtävien sähköasennusten vaatimuksenmukaisuudesta on erikseen olemassa standardi. Esimerkiksi kaikki sairaalassa käytettävät kaapelit pitää olla standardin mukaisia halogeenivapaita kaapeleita.

2.3 Sähkönjakelujärjestelmät

2.3.1 Normaali sähköverkko

Normaaliverkko toimii Satasairaalan ensisijaisena sähkönjakelujärjestelmänä joka normaalitilassa vastaa kuormien sähkönsyötöstä. Kyseisen sähköverkon sisältämät pääkeskushuoneet ja muuntajat on sijoitettu rakennuskohtaisesti ympäri sairaalaa.

2.3.2 Varmennettu sähköverkko

Varmennettu sähkönjakelu käsittää normaalin sähköverkon rinnalla ja vikatilanteessa toimivan itsenäisellä sähköntuotantojärjestelmällä varustetun jakeluverkon. Tämän jakeluverkon tavoite on varmistaa niin lyhyiden kuin myös pidempienkin sähkökatkoksten aikana sairaalan sähköverkon toimivuus siltä osin kuin siihen on varauduttu.

2.3.3 Katkeamaton sähköverkko

Kolmas sähkönjakeluverkko, joka toimii osana koko sairaalan pienjännitesähköverkkoa, on katkeamaton UPS-laitteilla toteutettu sähköjärjestelmä. UPS-verkko toimittaa näistä kolmesta isointa ja tärkeintä roolia kun ajatellaan potilasturvallisuutta ja kriittisten toimilaitteiden jatkuvaa toimintaa myös häiriötilanteen aikana.

3 NORMAALI SÄHKÖVERKKO

Normaalipuolen sähköverkko on sairaalan ensisijainen sähkönjakelujärjestelmä. Normaalia sähkönjakelua ei kuitenkaan varavoima- ja UPS-järjestelmän tapaan ole turvattu sähkökatkoksilta. Kriittisiä kuormia ei näin ollen ole pelkästään kytketty normaaliin jakeluverkkoon, vaan ne ovat aina varavoimapääkeskuksien takana.

3.1 Normaali sähkönjakelu

Yleensä pääkeskuksille tulee syöttö kiskosillan kautta muuntajalta. Niiden rakennusten kohdalla, joissa ei ole ns. omaa muuntamoaa tulee pääkeskukselle syöttö joltakin muulta keskukselta. Muuntamon jälkeen pääkeskukset syöttävät sekä vastaavia varavoimapääkeskuksia että alakeskuksia kuten nousukeskuksia, joiden jälkeen sähkö saadaan jako- ja ryhmäkeskuksien kautta kuormille.

Pääsähkökeskushuoneet sijaitsevat yleensä kunkin rakennuksen muuntamon vieressä lukuun ottamatta joitakin tapauksia, joissa ei ole rakennuskohtaista muuntamoaa. Sähkökeskukset, jotka kuuluvat normaaliin jakeluverkkoon ovat väritykseltään vihreitä kuten kuvassa 1 tai vaaleita. Keskusten tai laitteiden nimessä, jotka kuuluvat normaalipuolen sähkönjakeluun, ei ole mitään etu- tai takaliitettä ja ovat näin tunnistettavissa.



Kuva 1. Normaaliiverkon sähköpääkeskus, Satasairaalan O-rakennus 2020.

3.2 Yleistietoa

Koko Satasairaalan normaalipuolen sähköjärjestelmä on liitetty sairaalan omaan pääjakeluverkkoon, joka on rakenteeltaan rengasverkko. Rengasverkossa syöttö on jaettu muuntamoiden varokeuormaerottimien kautta muuntajille renkaan omaisesti ja kaapeleilla on monta eri kulkuyhteyttä. Tällä tavoin voidaan varmistaa, että häiriötilanteessa ei tule koko sairaalan kattavaa sähkökatkosta.

Sähköverkkoon on liitetty myös verkon tehohäviöiden ja yliaaltojen kompensointi kondensaattoriparistoilla. Kompensointi on Satasairaalassa toteutettu keskitetysti sijoittamalla estokelakondensaattoriparistoja muuntajien jälkeisiin pääkeskuksiin.

3.3 Komponentit

3.3.1 Keskijännitekojeisto

Rengasverkko ja muuntajille tulevat syötöt tuodaan keskijännitekojeiston kautta, joka koostuu erityyppisistä kennoista. Näitä kennoja kutsutaan liityntä-, muuntaja-, mittaus- ja katkaisijakennoiksi. Jokaisella kennolla on oma tehtävänsä kuten sähköenergian mittaaminen, syötön jakaminen renkaaksi, muuntajan suojalaitteena ja pääkatkaisijana toimiminen. Kuvassa 2 on muuntamossa sijaitseva pieni keskijännitekojeisto.



Kuva 2. Keskijännitekojeisto, Satasairaalan O-rakennus 2020.

3.3.2 Muuntaja

Jakelumuuntaja on sähkömagneettinen laite, joka vaikuttaa muuntajalta lähtevän sähkön jännitetasoon. Muuntajia on olemassa erityyppisiä ja riippuen onko kyseessä, yksi- vai kolmivaiheinen muuntaja on sillä rautasydämen ympärillä kaksi tai kolme käämiä. Käämejä kutsutaan joko ensiö- tai toisiopuolen käämeiksi. Sähköenergia siirtyy käämien välillä siten, että ensiökäämin tuottama magneettivuo indusoi toisiokäämiin sen kierroslukua vastaavan jännitteen.

Satasairaalassakin käytössä olevat jakelumuuntajat ovat kolmivaiheisia ja suurin osa kuvan 3 kaltaisia. Näiden ensiöpuolelle tuodaan 20 kV:n syöttö ja kuormat saavat toisiopuolelta muunnoksen jälkeen 0,4kV:n jännitteen. Useat näistä ovat Schneider Electricin trihal-muuntajia 500-1000 kVA:n kokoluokassa. Muuntajien kytkentätapana on käytetty kytkentäryhmää Dyn11, joka tarkoittaa:

D = ensiökäämityksen kolmiokytkentä,

y = toisiokäämityksen tähtikytkentä,

n = nolapisteen kytkentä toisiopuolella,

11 = vaihesiirtoa kuvaava luku, jota kelloon vertaamalla saadaan selville, kuinka paljon alajännite on yläjännitettä edellä. Esimerkkinä yläjännitevektorin ollessa kello 12 on alajännite silloin 30 astetta edellä ollessaan kello 11



Kuva 3. Tyypillinen Satasairaalassa käytetty kolmivaihemuuntaja, Schneider Electric www-sivut 2020.

3.3.3 Estokelakondensaattoriparisto

Kolmivaiheinen kondensaattoriparisto käsittää kolmen kolmioon kytketyn kondensaattorin kokonaisuuden. Tämä kokonaisuus varustetaan ohjaus- ja suojalaitteilla kuten kontaktoreilla ja varokkeilla. Kompensointiin tarvitsee mahdollisesti verkossa esiintyvien yliaaltojen takia käyttää estokelallista kondensaattoriparistoa tavallisen sijasta. Estokelaparisto on rakenteeltaan muuten täysin samanlainen kuin tavallinenkin kondensaattoriparisto mutta siinä on kytketty jokaisen kondensaattorin kanssa sarjaan estokela.

Laite ohjautuu loistehosäätimellä, joka kontaktorien kautta kytkee kompensointiportaita joko käyttöön tai pois käytöstä, riippuen siitä kuinka suuri kompensoinnin tarve milloinkin on. Suurempia kompensointitehoja saadaan rinnankytketyillä kondensaattoriparistoilla.

Estokelakondensaattoripariston avulla kompensoidaan tehohäviöiden lisäksi myös sähköverkkoon liitettyjen laitteiden tuottamia yliaaltovirtoja. Tuotetuista yliaaltovirroista muodostuu keskenään eri suuruisia yliaalto-jänniteitä verkon impedanssin määrän perusteella ja yhdessä niistä muodostuu jännitesäröä.

Kompensointi tapahtuu kondensaattoripariston tuottaman kapasitanssin sekä verkon resonanssiipiirin laskemisella riittävän alas. Siten yliaaltovirtoja ei pääse muodostumaan ja näin ollen myöskään jännitesäröilyä ei ole.

Verkon muut sähkölaitteet voivat vikaantua verkossa esiintyvistä jännitesäröilyistä, vaikka yliaaltoja tuottava laite ei siitä välttämättä itse häiriintyisikään. Yliaaltoja tuottavia laitteita ovat esimerkiksi: AC- ja DC-käytöt, UPS-laitteet, tasa- ja vaihtosuuntaajat, elektroniset liitäntälaitteet.

Kuvassa 4 on esitetty Tampereen kondensaattorintehtaan valmistama estokelakondensaattoriparisto.



Kuva 4. Estokelakondensaattoriparisto, Tampereen kondensaattoritehdas [www-sivut](http://www.sivut) 2020.

4 VARMENNETTU SÄHKÖVERKKO

Varavoimakoneilla mahdollistetaan Satasairaalan varmennetun verkon kuormille jatkuva sähkönsyöttö myös pidempiaikaisten sähkökatkosten aikana. Varmennettu sähköverkko ei kuitenkaan ole täysin katkeamaton poiketen siten UPS-verkosta, joka puolestaan pystyy syöttämään kuormaa ilman minkäänlaista katkosta tai häiriötä jännitteensyötössä. Sähkökatkostilanteessa tai jännitteenvaihtelun ollessa tarpeeksi merkittävää, siirtyy kuormien syöttö varavoimageneraattorin kautta toteutettuun varmennetun sähköverkon alle.

Generaattorisyöttö on yhdistetty sairaalan kriittisimpien toimien osalta UPS-järjestelmään ja näin ollen saadaan turvattua näille osin katkeamaton ja häiriösuojattu sähköverkko.

4.1 Varmennettu sähköjakelu

Varmennetun sähköverkon rakenne on jokaisen varavoimajärjestelmän ja rakennuksen kohdalla samanlainen. Normaalitylanteessa sähköverkko syöttää normaalipuolen ja varavoimapuolen sähköpääkeskuksia. Sähkökatkoksen sattuessa varavoimakone käynnistyy lyhyen ajan kuluttua (1-15s) ja alkaa syöttämään varavoimapäätöstä normaalien sähköverkon sijasta. Näin varmennetun verkon kuormilla on sähköä myös katkoksen aikana. Katkoksen tapahtuessa normaalipuolen pääkeskus ja tähän kytketyt jako- ja ryhmäkeskukset sekä niihin liitetyt kuormat jäävät ilman sähköä.

Varavoimakoneen vikaantumisen varalle on Satasairaalassa yksi varavoimakone, joka toimii muille koneille ns. varakoneena. Tällaisen vikaantumisen tapahtuessa voidaan varakone kytkeä toimimaan vikaantuneen koneen sijasta ja tällä varmistetaan, että varmennettu verkko ei menetä toimintakykyään yhden varavoimakoneen ollessa pois pelistä.

Varavoimajärjestelmään kuuluvat sähkökeskukset on merkitty VV-tunnuksella ja keskusten värityksenä on pääsääntöisesti käytetty sinistä ja sen eri sävyjä kuten kuvasta 5 voidaan huomata. Laitteet ja pistorasiat, jotka kuuluvat varavoimajärjestelmän taakse

ovat niin ikään merkitty VV-tunnuksella, ja VV-pistorasioita onkin syytä käyttää niiden laitteiden osalta, joilla on tarve olla toiminnassa myös sähkökatkoksen aikana. Osa sairaalan valaistuksesta on myös kytketty varavoimajärjestelmän taakse, mutta niitä ei ole erikseen merkitty, vaan riippuen paikasta, on käytetty jonkinlaista sääntöä normaali- ja VV-puolen valaistuksen ryhmittelyssä. Sääntö voi olla esimerkiksi käytävävalojen kohdalla, että kolme valoa on normaaliverkossa ja yksi varavoimaverkossa.

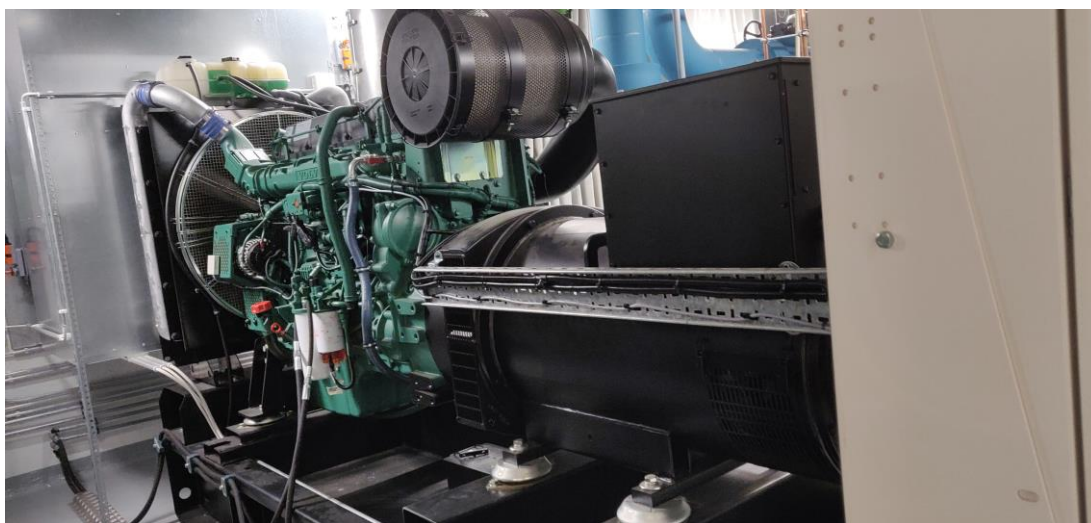


Kuva 5. VV-pääkeskus Satasairaalan O-rakennus 2020.

4.2 Varavoimakone

Kuvassa 6 oleva polttomoottorikäyttöinen varavoimakone on osa itsenäistä sähkön-
tuotantojärjestelmää, jolla turvataan sähköstä riippuvien toimintojen jatkuva sähkön-
saanti vikatilanteissa. Varavoimajärjestelmiä on olemassa muutamalla eri tavalla to-
teutettuja ja niillä on toisistaan eroavia ominaisuuksia.

Varavoimajärjestelmää on koekäytettävä kerran kuukaudessa ja tätä varten on ole-
massa automatiikka, joka pystyy suorittamaan varavoimakoneen koekäytön ilman säh-
kökatkosta kummassakaan suunnassa.



Kuva 6. Varavoimakone. Satasairaalan E-rakennus 2020.

4.2.1 Yleistietoa

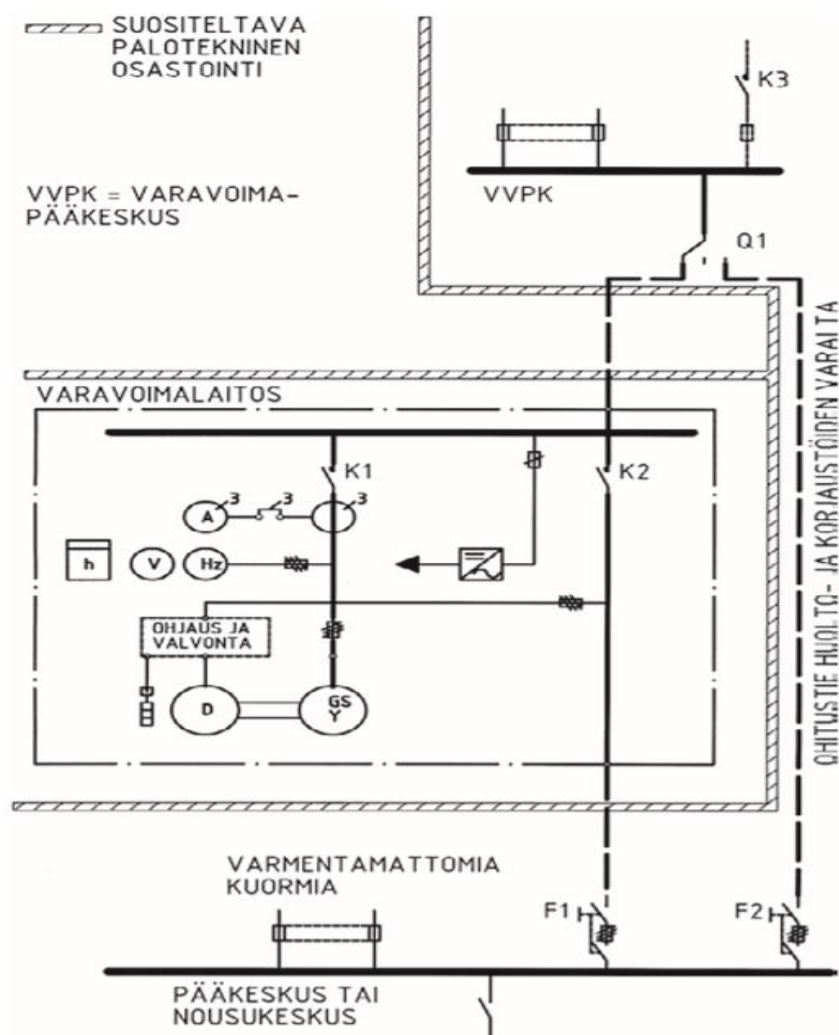
Perusjärjestelmä on ns. saarekkeellinen varavoimajärjestelmä, jonka toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7. Sen nimitys tulee siitä, että varavoimakoneen toimiessa ja syöt-
täessä kuormia, se muodostaa oman syötettävän saarekkeensa. Saarekkeellisia vara-
voimajärjestelmiä käytetään yleisesti pienemmissä ja koosta riippumattomissa koh-
teissa. Sähköverkossa tapahtuu aina lyhyt katkos syötön vaihdon yhteydessä.

Satasairaalassakin käytössä oleva järjestelmätyyppi on kuvassa 8 esitetty ilman kat-
kosta takaisin normaaliin sähköverkkoon palautuva järjestelmä. Palautuminen on to-

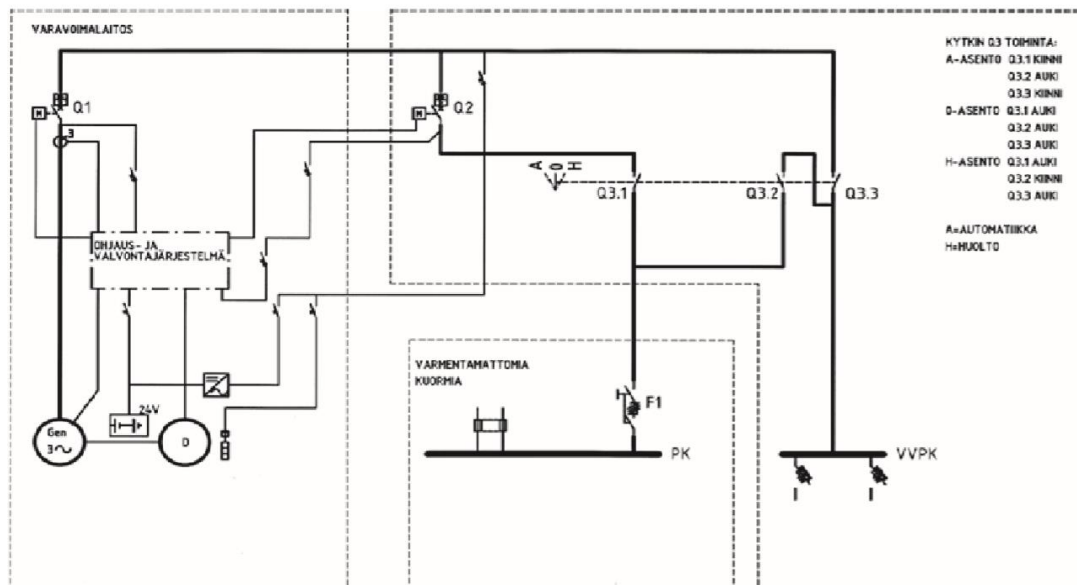
teutettu koneen tahdistamisella verkkoon ja muutaman minuutin mittaisella rinnankäynnillä sähköverkon kanssa. Tämän jälkeen kone hiljalleen pysähtyy ja jää valmiustilaan odottamaan seuraavaa käyttökertaa. Kuormien syöttämien tapahtuu kuitenkin tavalla, joka aiempänä jo kuvattiin eli omana saarekkeenaan. (Satasairaala tekniset dokumentit, varavoimakoneet 2020)

Kahden edellä mainitun järjestelmän lisäksi on vielä normaalin jakeluverkon rinnalla toimiva varavoimajärjestelmä. Sen ominaisuuksia ovat sekä varavoimakoneen käyttäminen että koekäytön suorittaminen verkon rinnalla. Tällainen järjestelmä vaatii laitteistolta lisätoimintoja kuten: tahdistus, pätötehon säätö, loistehon säätö, takateholaukaisu generaattorille sekä kytkentä, jolla estetään sähkönsyöttö väärään suuntaan.

Osalla Satasairaalan varavoimajärjestelmissä on edellä mainittuja lisätoimintoja ja niillä voidaankin koekäyttö suorittaa kahdella eri tavalla ja ajaa esimerkiksi huippuja.



Kuva 7. Saarekkeellisen järjestelmän periaatekaavio, ST käsikirja 20, 2020.



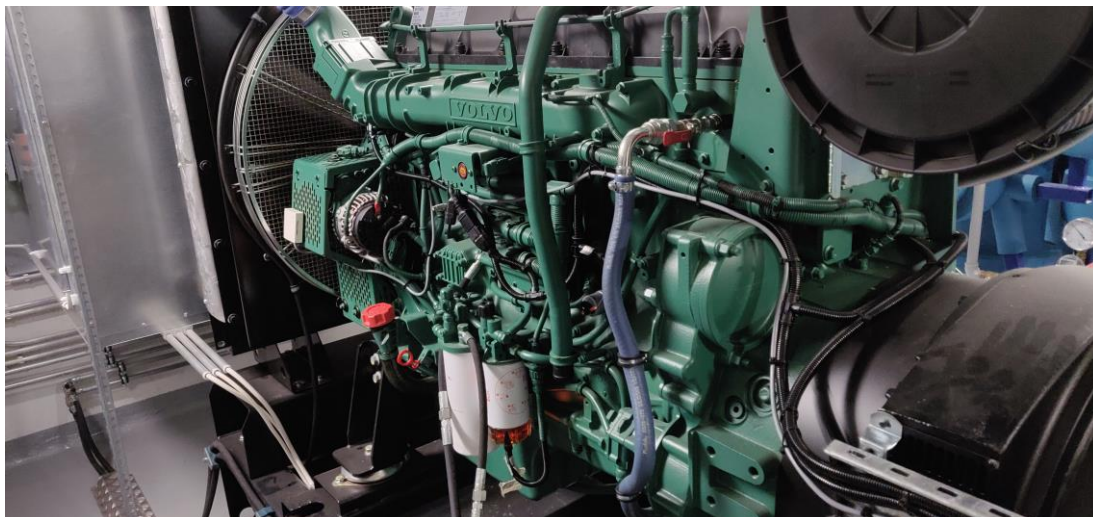
Kuva 8. Katkotta normaaliin sähköverkkoon palautuvan järjestelmän periaatekaavio, ST käsikirja 20, 2020.

4.3 Varavoimakoneen pääkomponentit

4.3.1 Dieselmoottori

Dieselmoottorin tarkoituksena on sen käydessä siirtää mekaanista energiaa vaihtovirtageneraattorille. Satasairaalassa on käytössä isoja pääasiassa Scanian valmistamia dieselmoottoreita. Kuvassa 9 on esitetty yksi Satasairaalassa käytetty dieselmoottori-tyyppi.

Moottoreille on asetettu suoritusvaatimuksia varavoimakäytössä. Nämä vaatimukset tulevat suoraan ISO 8528-1 standardista ja käsittävät ainakin seuraavanlaisia asioita: ilmanpaine, lämpötila, suhteellinen kosteus. Näiden lisäksi on paljon varusteluun ja rakenteeseen liittyviä suosituksia. Näillä pyritään optimoimaan moottorin suorituskyky osana varvoimajärjestelmää.



Kuva 9. Dieselmoottori, Satasairaalan E-rakennus 2020.

4.3.2 Generaattori

Generaattoreina käytetään kolmivaiheisia vaihtovirtageneraattoreita, jotka vastaavat varavoimakoneen sähkön tuotosta. Vaihtovirtageneraattorin toiminta perustuu mekaanisen liike-energian muuttamiseen staattorin ja roottorin avulla sähköenergiaksi eli tässä tapauksessa vaihtovirraksi. Vaihtovirran suunta ja suuruus vaihtelevat koko ajan riippuen generaattorin pyörimisestä.

Satasairaalassa on käytössä 10 generaattoria, jotka ovat pääosin Stamford Oy:n valmistamia, joka on generaattorivalmistukseen keskittyvä monikansallinen yhtiö. Generaattorien nimellistehot vaihtelevat 250kVA:n ja 400kVA:n välillä. Kuvassa 10 näkyy Stamford Oy:n valmistama generaattori.



Kuva 10. Vaihtovirtageneraattori, Satasairaalan O-rakennus 2020.

4.3.3 Polttoainesäiliö

Polttoainesäiliöön varastoidaan dieselmoottorille pidempiaikaisia sähkökatkoksia varten polttoainetta. Säiliöt varustetaan sekä ylivuoto- että vähissä-hälytyksillä ja ylitäytön estäjällä. Hälytykset menevät suoraan varavoimakoneen ohjauslaitteistolle ja siitä eteenpäin yhteishälytyksenä kaukovalvonnalle.

4.3.4 Ohjaus- ja hallintalaitteisto

Varavoimakoneella on oma ohjaus- ja hallintalaitteisto. Näihin sisältyy laitteita, jotka voidaan jakaa seuraavanlaisiin ryhmiin: ohjaus-, suoja-, hälytys-, mitta-, valvonta- ja pääpiirilaitteet. Kuvan 11 mukainen ohjaus- ja hallintalaitteisto kojeineen päivineen saattaa käsittää osalla Satasairaalan generaattoreilla yhtä varavoimakoneen päätyyn asennettua laitekaappia ja puolestaan osalla saattaa laitekaappeja olla enemmänkin.

Laitekaapista voidaan ohjata varavoimakonetta halutulla toimintatavalla ja valvoa mitareiden avulla järjestelmän taajuutta sekä jokaiselta vaiheelta erikseen jännite- ja virta-arvoja. Toimintatapoja ovat esimerkiksi käsikäyttö, automatiikka ja koekäyttö. Laitteisto pitää sisällään myös muita ohjattavia toimintoja kuten moottorin esilämmitin, starttiakuston varaaja, ilmanvaihdon säätö ja hätäseis-painike.



Kuva 11. Varavoimajärjestelmän ohjaus- ja hallintalaitteisto, Satasairaalan O-rakennus 2020.

4.4 Toiminta

Yleiskäytännöllinen varavoimakoneiden toimintaperiaate Satasairaalassa. Normaalissa verkonvalvontatilassa ohjaus pidetään automaattilla. Näin ollen varavoimakone käynnistyy vain verkkohäiriön tapahtuessa. Sähköverkon ollessa normaali ja koneen ollessa pysähtyneenä, on verkkokatkaisija kiinni ja generaattorikatkaisija auki. Tässä tilanteessa normaalipuolen verkko syöttää kuormia. Ohjaus- ja hallintalaitteisto mittaa kaikkien kolmen vaiheen jännitettä ja mikäli niissä tapahtuu raja-arvoista poikkeava vaihtelu niin ohjauslaitteisto antaa verkkokatkaisijalle avauskäskyn. Tämän jälkeen generaattorikatkaisija menee kiinni hetken päästä generaattorin käynnistymisestä ja varavoimakone alkaa syöttää kuormia. (Satasairaala tekniset dokumentit, varavoimakoneet 2020)

Verkon palautuessa normaalitilaan ja pysyttyä häiriöttömänä tietyn asetellun ajan verran, alkaa generaattori tahdistumaan verkkoon. Generaattorin tahdistuttua, antaa ohjauslaitteisto kiinniohjauskäskyn verkkokatkaisijalle ja generaattori siirtyy käymään verkon kanssa rinnan, jolloin sekä sähköverkko että generaattori syöttävät kuormaa. Tämän jälkeen generaattori alkaa portaittain luovuttamaan kuormia normaalille sähköverkolle. (Satasairaala tekniset dokumentit, varavoimakoneet 2020)

Kun generaattorin teho on laskenut nolnaan, generaattorikatkaisija avautuu ja kuormia syöttää ainoastaan normaali sähköverkko. Generaattori käy tämän jälkeen lyhyen jäädytyskäynnin ja jää valmiustilaan odottamaan seuraavaa verkkohäiriötä. (Satasairaala tekniset dokumentit, varavoimakoneet 2020)

Varavoimakoneen ollessa käsikäytöllä, kaikki käynnistykset, pysäytykset ja kuormien ohjaukset ovat kokonaan käyttäjän ohjattavissa ohjauslaitteiston painikkeista.

Koekäyttötilanteessa suoritetaan kuormitettu koekäyttö joko verkon rinnalla tai saarekkeena riippuen järjestelmän toteutuksesta.

5 KATKEAMATON SÄHKÖVERKKO

UPS-laitteilla muodostetaan sairaalan kriittisille osa-alueille täysin katkeamaton ja häiriötön sähkön jakelu. Sähköverkko ei koskaan ole täysin häiriötön ja ajoittain siihen voi tulla vika tai jopa sähkökatko johtuen esimerkiksi ulkoisesta tekijästä tai laiteviasta.

Vikatilanteiden sattuessa on tärkeää, että kriittiset laitteet ja niitä edellyttävät toiminnot saavat jatkua keskeytyksettä. Muussa tapauksessa lyhytkin sähkökatko tai pieni häiriö sähkön laadussa saattaa johtaa sairaalaolosuhteissa vakaviin vahinkoihin tai jopa potilaan menehtymiseen. UPS-laitteella ja sen tuomalla sähköverkon toiminnan takaamisella poissuljetaan tällaisten vakavien vahinkojen mahdollisuus.

5.1 Katkeamaton sähkönjakelu

Katkeamaton sähköverkko on toteutettu samalla periaatteella jokaisen UPS-laitteen ja rakennuksen kohdalla. Laitetta syöttää varmennetun verkon pää-, jako- tai nousukeskus, jonka jälkeen itse UPS-laite syöttää pääsääntöisesti UPS-pää- tai nousukeskusta, josta puolestaan jaetaan syöttö eri UPS-jako-/ryhmäkeskuksille ja kuormille. (Satasairaala tekniset dokumentit, keskuskaaviot 2020)

Vikatilanteessa eli sähkökatkoksen tai tarpeeksi merkittävän jännitteen vaihtelun aikana UPS-laitteen syöttö vaihtuu tietyn lyhyen ajan kuluttua normaalipuolen syötöltä varavoimakoneen syötölle. Tämän vaihdoksen aikana UPS-kuormalla on akuston varassa katkeamaton sähkönsyöttö. Johtuen generaattorikäytöllä tuotetun sähkön laadussa tapahtuvista vaihteluista kuin myös tasa- ja vaihtosuuntaajien aiheuttamista laadun häiriöistä, UPS-laitteen taajuuskorjain takaa kuormalle koko ajan vakaan sähkön laadun.

UPS-keskuksien tunnuksiin on liitetty lyhenne UPS sekä niillä on kuvan 15 mukainen muista poikkeava oranssi väritys. Keskuksista pää- ja jakokeskukset ovat väritykseltään kirkkaan oransseja sekä nousukeskukset viinin punaisia, joten ne ovat todella helppo erottaa muista. Kaikki laitteet ja pistorasiat ym. kojeet on merkitty UPS-

tunnisteella. Kaikki laitteet, jotka eivät saa sähkökatkoksen aikana lopettaa toimintaansa on syytä kytkeä aina UPS-tunnisteella merkattuihin pistorasioihin.

5.2 UPS-laite (Uninterruptible Power Supply)

5.2.1 Komponentit

Tasasuuntaaja

Laitteelle tuleva verkkosyöttö syöttää tasasuuntaajaa, jossa vaihtosähkö muutetaan akustoa varaavaksi tasasähköksi.

Akusto

Akusto on laitteen energiapankki, joka muodostuu monesta yksittäisestä sarjaan ja rinnan kytketystä akusta.

Vaihtosuuntaaja

Normaalitilanteessa verkko syöttää tasasuuntaajan kautta vaihtosuuntaajaa ja vika tilanteessa sitä syöttää akusto, joka muuntaa tasasähkön vaihtosähköksi ja syöttää sitä lähtösuodattimen läpi kuormalle.

Lähtösuodatin

Ennen vaihtosähkön syöttämistä kuormalle, se menee lähtösuodattimen läpi, jonka avulla sähkön laatu pidetään tasaisena.

Staattinen ohituskytkin

UPS-laitteen vikaantuessa staattinen ohituskytkin siirtää kuorman sähkönsyötön automaattisesti verkkosyötölle

Sisäinen huoltokytkin

Sisäänrakennettu ohituskytkin, jolla voidaan huollon ajaksi siirtää kuorman syöttö sähköverkolle

Ulkoinen huoltokytkin

Ulkoinen huoltokytkin toimii täysin samalla tavalla kuin sisäinenkin vastaava mutta se on vain asennettu laitteen ulkopuolelle

5.3 Yleistietoa

UPS-laitteita on kolmella eri tekniikalla varustettuja: Off-Line-, Line-Interaktiivi- ja On-Line-kaksoismuunnostekniikka. Näillä kolmella tekniikalla on toisistaan poikkeavia ominaisuuksia ja aina laitetta valittaessa on otettava huomioon kohteen tarve ja mitä UPS-järjestelmällä halutaan saavuttaa.

Offline-tekniikka tarjoaa vain perus ominaisuudet kuten ylijännitesuojauksen ja akkuvarmennuksen mutta sillä ei esimerkiksi voi saavuttaa katkeamatonta tai häiriötöntä sähkönsyöttöä. Nykypäivänä onkin suurilta osin luovuttu Offline-tekniikan käyttämisestä ja suositaan paremmilla ominaisuuksilla varustettuja Line-Interaktiivi- ja On-Line-UPS-laitteita.

Line-Interaktiivi on UPS-tekniikka, joka pystyy pitämään sähkönsyötön ilman katkosta. Taajuuskorjainta siinä ei ole, joten sitäkään ei voi Off-line-tekniikan tapaan käyttää häiriöttömän verkon muodostamiseen. Se sopii hyvin käytettäväksi sellaisilla yksinkertaisilla kuormilla, jotka eivät suuresti välitä taajuuden muutoksista.

On-Line-UPS-laitteet ovat paras valinta, kun tarve vaatii täysin jännitteestä ja taajuudesta riippumatonta sähkönsyöttöä turvaamaan sähköverkosta riippuvaisia toimintoja. Tämä pätee varsinkin silloin kun vikatilanteessa on käytössä varavoimageneraattoreita, joiden tuottamaa sähkön laatua ei voi taata. Kuvassa 14 on esitetty On-Line-UPS-laite ja sen akusto.

5.4 Tekniikka

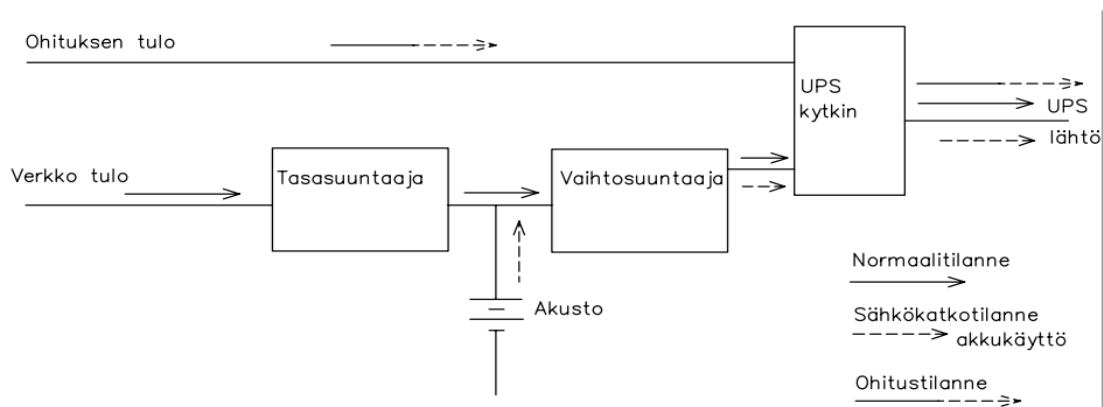
5.4.1 On-Line-kaksoismuunnos

On-Line-kaksoismuunnos-tekniikka, jolla Satasairaalankin UPS-järjestelmän laitteet on varustettu, tarkoittaa sitä, että laitteen vaihtosuuntaaja syöttää aina kytkettynä olevaa kuormaa riippumatta laitteelle tulevan syötön tilasta. Laitteelle kytketyllä kuormalla on näin ollen koko ajan katkeamaton ja tasalaatuinen sähkönsyöttö. Kuvassa 12 on esitetty On-Line-tekniikan toimintaperiaate.

Siirtyäkseen akustokäytölle, laite ei vaadi mitään ulkoisia toimenpiteitä vaan sähkökatkoksen sattuessa laitteen akkupankki syöttää vaihtosuuntaajaa, josta edelleen syötetään kytkettyjä kuormia. Laitteen sisäisillä parametreilla on mahdollista säätää, kuinka suurella jännitevaihtelulla UPS siirtyy käyttämään akkupankkia.

Sähkökatkoksen jälkeen laite palaa automaattisesti normaalitilaan ja normaali sähköverkko syöttää jälleen tasasuuntaajan kautta vaihtosuuntaajaa ja lataa akustoa.

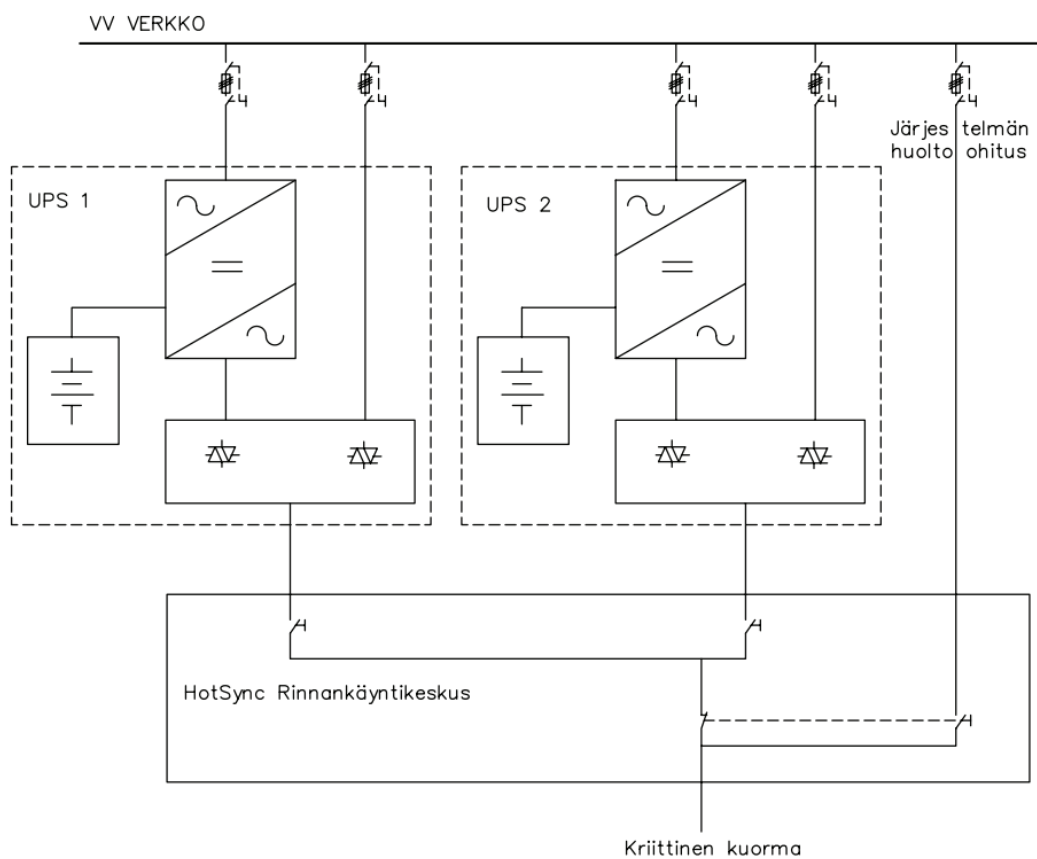
UPS:n mahdollisessa ylikuormitus- tai vikatilanteessa normaali sähköverkko syöttää kuormaa staattisen ohituskytkimen kautta edelleen katkeamattomasti. Huoltotilanteessa käytetään huoltokytkintä, joko sisäistä tai ulkoista jos sellainen on asennettu. Huoltokytkin toimii samalla tavalla kuin staattinenkin ohituskytkin eli normaali sähköverkko ohittaa UPS-laitteen ja syöttää suoraan kuormaa. Erona kuitenkin se, että huoltokytkimet ovat käsikäyttöisiä.



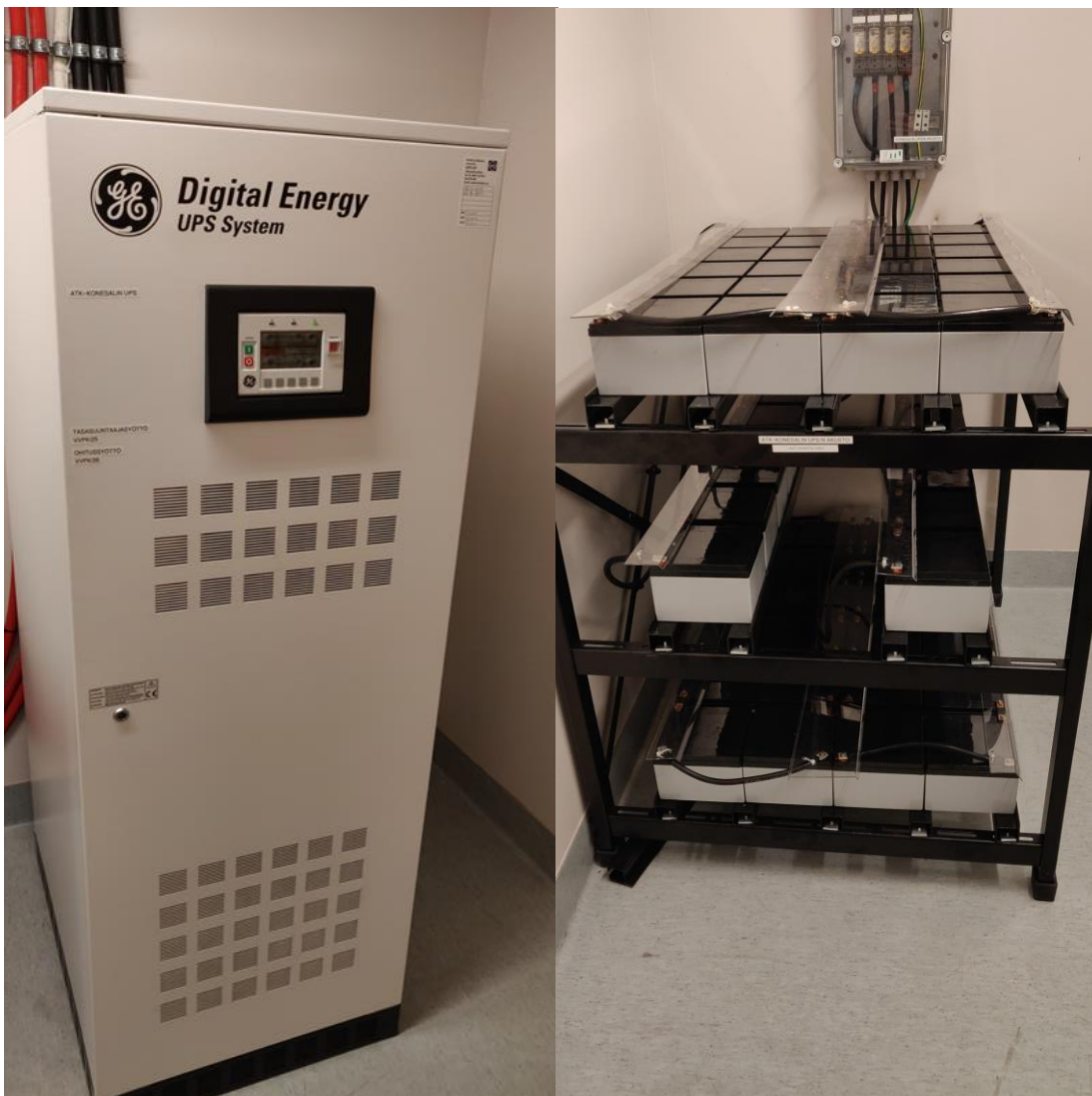
Kuva 12. On-Line/kaksoismuunnos UPS:n periaatekaavio, ST käsikirja 20, 2020.

5.4.2 Redundanttisuus

UPS-järjestelmä voi käsittää myös kahden tai useamman UPS:n rinnan käyntiä kuten kuvan 13 periaatekaaviossa ja ollen ns. redundanttinen järjestelmä. Redundanttisella järjestelmällä saavutetaan entistäkin varmempi sähköverkko. Yhden UPS:n vikaantuminen tämän tyyppisessä järjestelmässä ei vielä vaikuta kuorman sähkönsyöttöön sillä jäljelle jäävä UPS-laite pystyy vastaamaan yksinään kytketyn kuorman vaatimasta sähkön tarpeesta.



Kuva 13. Rinnan käyvän redundanttisen UPS-järjestelmän periaatekaavio, ST käsikirja 20, 2020.



Kuva 14. UPS-laite sekä akusto, Satasairaalan O-rakennus 2020.



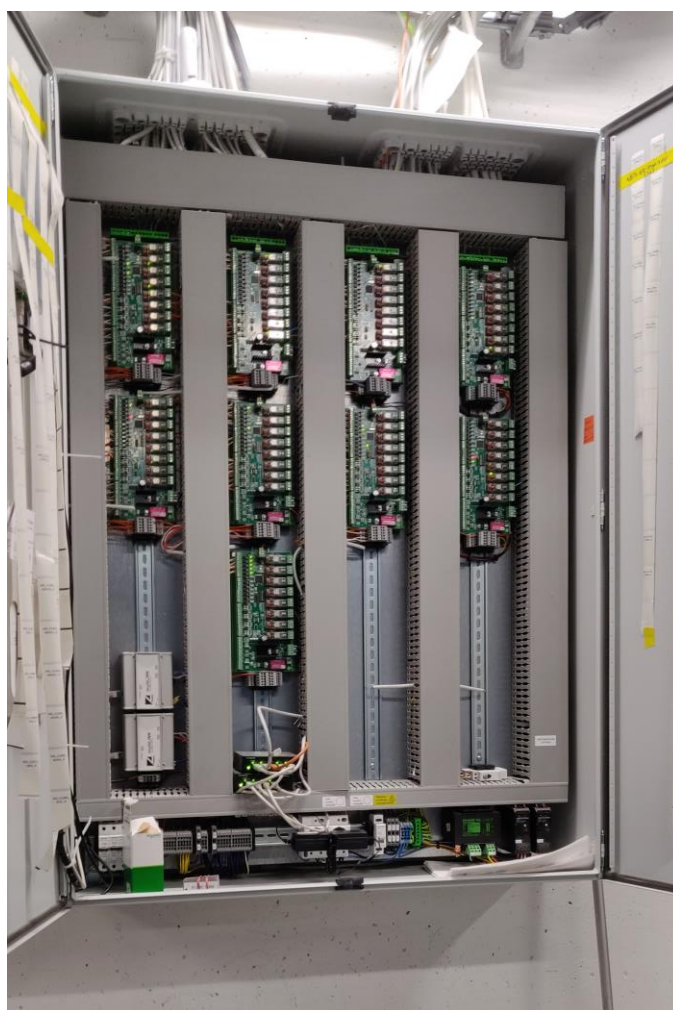
Kuva 15. UPS-keskus, Satasairaalan E-rakennus 2020.

6 VALVONTA-ALAKESKUKSET

Rakennusautomaatioon liitettävä kuvassa 16 näkyvä valvonta-alakeskus eli lyhyemmin VAK on laitekaappi, johon asennettujen ohjelmoitavan logiikan tyyppisillä moduuleilla pystytään ohjaamaan sekä säätämään kiinteistön kenttälaitteita.

Satasairaalassa on useita valvonta-alakeskuksia ja ne on sijoitettu pääsääntöisesti lämmönjakohuoneisiin sekä sähkötiloihin. Keskukset on liitetty valvomoon, josta voidaan keskitetysti tehdä säätöä eri järjestelmiin sekä saada hälytyksiä erilaisilta laitteilta.

Laitteita, joita valvonta-alakeskusten ja keskitetyn valvomon avulla voidaan ohjata ovat esimerkiksi taajuusmuuttajakäytöt, ilmanvaihtoon liittyvät puhaltimet ja pumput. Lähes kaikki laitteet on mahdollista kytkeä rakennusautomaation piiriin ja näin ollen saada anturitietoja esimerkiksi lämpötilasta, kosteudesta tai vain laitteen toimintatilasta.



Kuva 16. Valvonta-alakeskus, Satasairaalan E-rakennus 2020.

7 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

7.1 Tavoite

Projektin tavoitteena oli tehdä Satasairaalan sähkötekniikalle luettelo sairaalan eri sähköjärjestelmistä, joista käy ilmi jokaiseen järjestelmään kuuluvat laitteet. Tämän lisäksi luettelosta tulee käydä ilmi, missä laite sijaitsee, mitä keskusta se syöttää ja missä syötettävä keskus sijaitsee. Taulukko on pääasiallisesti toteutettu pää- ja nousukeskus- tasolla UPS-tilukkoa lukuun ottamatta, josta käy osittain myös ilmi pää- ja nousu- keskusten jälkeinen kuorma.

Luetteloa tukemaan olit tarkoitus piirtää Satasairaalan pohjakuvaan kunkin järjestel- män laitteiden sijainti ja tunnuksot, joilla viitataan taulukosta löytyvään samaan tun- nukseen. Sähköjärjestelmien lisäksi tehtiin sekä taulukko että pohjakuva myös hissien ja valvonta-alakeskusten tunnuksista ja sijainneista. Taulukoiden ja pohjakuvien rin- nalle oli myös tavoitteena raportoida hyvä informatiivinen ja yleiskäytännöllinen tie- topankki kaikista kolmesta sairaalan pienjännitesähköverkosta.

7.2 Työvaiheet ja tulokset

7.2.1 Selvitystyö

Luetteloiden tuottaminen vaati laajaa järjestelmäkohtaista selvitystyötä. Selvitystyön tarkoituksena oli selvittää ja kirjata tietoja kaikista edellä mainituista aiheista. Selvi- tystyötä suoritettiin tutkimalla kohteita sekä paikan päällä että käymällä laajasti läpi sähkökuvia. Osaltaan selvitystyöhön liittyi myös henkilökunnan haastattelua.

Selvitettävien tiedon hakeminen sähkökuvista osoittautui odotettua haastavammaksi johtuen siitä, että dokumentaatiota ei oltu kaikkien laitteiden ja keskusten osalta päi- vitetty ajan tasalle tai joissakin tapauksissa saattoi olla montakin eri kuvaa eikä tietoa- kaan siitä mikä pitää paikkansa ja mikä ei. Dokumentaation puutteellisuuden vuoksi selvitystyötä on osassa kohteista tehty myös kaapeleita seuraamalla ja päättelemällä.

Luetteloon lisättävien tietojen hankkimisen lisäksi selvitystyö kohdistui kunkin järjestelmän toiminnan ja rakenteen ymmärtämiseen. Tähän sisältyviä asiakokonaisuuksia olivat esimerkiksi järjestelmien rakenne, toimintaperiaatteet, pääkomponentit ja niiden tarkoitus. Näillä tiedoilla sai hyvän pohjan tietopankin raportointiin.

7.2.2 Luettelointi

Luettelot on tehty Excel-ohjelmistoa käyttäen ja ovat siten helposti muokattavissa jälkikäteen järjestelmämuutosten yhteydessä. Luettelot on pyritty saamaan järkevään ja helposti luettavaan muotoon.

7.2.3 Raportointi

Raportointia suoritettiin aina yksi järjestelmä kerrallaan sen mukaan mitä saatiin selvitystyötä valmiiksi. Samassa yhteydessä hankittiin kustakin aiheesta lisää tietoa eri lähteistä. Lähteistä hankitun sekä itse selvitetyn tiedon paikkaansa pitävyyttä on myös arvioitu ja opinnäytetyöhön on hankittu vain oikeaa paikkaansa pitävää informaatiota.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työ oli kokonaisuudessaan mielenkiintoinen ja opettavainen kun mietitään sitä, että kuinka paljon järjestelmiin tutustumista lopputuloksen saaminen edellytti. Projekti ei toki vaatinut niin syvällistä ja yksityiskohtaista perehtymistä laitteistojen komponenttitason toiminnan selvittämiseen mutta jo tällä yleiskäytännöllisellä tasolla tästä selvitystyöstä ja koko opinnäytetyöstä jää varmasti käteen sellaista tietoa, jota voi tulevaisuudessakin hyödyntää.

Yksi iso parannettava satasairaalan sähkötekniisiin järjestelmiin kohdistuva asia on sähköjärjestelmien dokumentaatio. Dokumentaatio eli taso- ja keskuskuvat niin kuin kaikki muutkin sähkötekniiset kuvat ovat todella tärkeässä osassa sähköjärjestelmien ylläpitäviä huoltotoimenpiteitä.

Tämä pätee varsinkin silloin kun mietitään, että jotain työtehtävää pitäisi lähteä suorittamaan mutta mistään ei löydetä miten esimerkiksi jännitteen saa kohteesta katkaistua. Pahimmillaan tällaiseen sähkönsyötön selvittämiseen saattaa tuhlaantua useampia tunteja johtuen pelkästään siitä, että ei ole olemassa kuvia tai niitä ei ole päivitetty, joista asian voisi nopeasti selvittää.

Sähkökuvien vaillinaisuus on iso ongelma varsinkinkin vanhempien rakennusten kohdalla, joista saattaa löytyä viisikin eri kuvaa samasta kohteesta ja mikään ei välttämättä ole paikkaansa pitävä. Toki kun ajatellaan tätä asiaa uudempien rakennusten kohdalla niin tämä ei lainkaan ole niin iso ongelma. Mikä johtuu siitä, että linjauksena kuitenkin on nykyään se, että tehdyt muutokset päivitetään heti kaikkiin olemassa oleviin kuviin.

Ratkaisu tähän ongelmaan on tietenkin sähködokumentaation päivitys. Päivittäminen ei kuitenkaan onnistu vakituiselta henkilökunnalta muun työn ohessa sillä tämän tyyppisen asian korjaaminen vaatii todella laajaa ja tarkkaa selvitystä.

Mielestäniärkevin ratkaisu dokumentaation päivittämiseen olisi se, että palkattaisiin yksi tai useampi henkilö, jotka keskittyvät pelkästään kuvien päivittämiseen. Henkilön/henkilöiden tarkoituksena olisi suorittaa selvitystyön avulla tehtävää kuvien päivittämistä suunnitteluohjelmistolla. Lisäksi yhteistyön tekeminen sähkötekniikan

oman henkilökunnan kanssa edesauttaisi tätä urakkaa. Sähkötekniikan henkilökunnalta kuitenkin löytyy sitä kokemusperäistä tietoa eri kohteista, jota taas edelleen pystytään hyödyntämään.

LÄHTEET

ABB www-sivut. Viitattu 10.2.2020. www.new.abb.com

Aura, L. ja Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY Porvoo.

Canada Transformers www-sivut. Viitattu 3.3.2020. www.canadatransformers.com/transformer-phase

Flanagan, William M. 1993. Handbook of Transformer Design and Applications. McGraw-Hill Professional.

Ouman www-sivut. Viitattu 5.3.2020. www.ouman.fi

Satasairaalan tekniset dokumentit 2020. Julkaisemattomia dokumentteja.

Schneider Electric www-sivut. Viitattu 3.3.2020. www.se.com/fi/fi

ST 52.16. Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. 2004. Sähkötieto ry. Espoo: sähköinfo. Viitattu. 18.2.2020. www.sahkoinfo.fi/severi

ST 53.11. Kuluttajamuuntamot. 2018. Sähkötieto ry. Espoo: sähköinfo. Viitattu. 2.3.2020. www.sahkoinfo.fi/severi

Stamford www-sivut. Viitattu 26.2.2020. www.stamford-avk.com

ST-käsikirja 20. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. 2005. Sähkötieto ry. Espoo: sähköinfo. Viitattu. 10.2.2020. www.sahkoinfo.fi/severi

ST-käsikirja 31. Varavoimakoneet- ja laitokset. 2019. Sähkötieto ry. Espoo: sähköinfo. Viitattu. 26.2.2020. www.sahkoinfo.fi/severi

Tampereen Kondensaattoritehdas www-sivut. Viitattu 17.2.2020. www.tkf.fi

Vehkaniemi.M. 2020. Keski-jännitejakelujärjestelmä kiinteistöissä. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu.