



# **Dieselaggregaatin syöttämän saarekekäyttöisen pienjänni- tesähköverkon suojausten tar- kastelu**

Ossi Kuisma

OPINNÄYTETYÖ  
Joulukuu 2019

Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikka

KUISMA, OSSI:

Dieselaggregaatin syöttämän saarekekäyttöisen pienjännitesähköverkon suojauksien tarkastelu

Opinnäytetyö 52 sivua, joista liitteitä 11 sivua  
Joulukuu 2019

---

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin erään yleiseen sähköjakeluverkkoon kuulumattoman leirikeskuksen sähköjärjestelmän suojauksen säädöstenmukaisuutta. Kohteen sähkösyöttöön käytetään polttomoottorikäyttöistä aggregaattia. Kohteen sähköasennuksiin on tehty muutostöitä vuosien varrella, eikä niiden ajankohdista, tekijöistä tai asennushetkellä voimassa olevista laeista tai standardeista ole varmuutta.

Työssä tarkasteltiin laitteiston vikasuojauksen, ylikuormitussuojauksen ja oikosulkusuojauksen toimivuutta. Suurimman haasteen suojauksien toteutukselle aiheuttaa syöttävän generaattorin magnetointitapa. Magnetointi on toteutettu niin, että generaattori ei pysty syöttämään riittävää jatkuvaa oikosulkuvirtaa. Kaikki kohteen suojalaitteet olivat ylikuormitussuojaukseen soveltuvia ja oikein mitoitettuja, mutta käytössä olevien gG-tyyppin kahva- ja tulppasulakkeiden toimivuudesta vika- ja oikosulkusuojina ei voitu varmistua.

Työssä kerättyjen tietojen perusteella tehtiin korjausehdotuksia nykyisen järjestelmän suojauksien parantamiseksi. Näitä ovat muun muassa vikavirtasuojakytkimien lisääminen keskuksiin sekä tulppa- ja kahvasulakkeiden vaihtaminen johdonsuojakatkaisijoihin.

Työssä tarkasteltiin myös laitteiston mahdollista liittämistä yleiseen jakeluverkkoon. Kohteessa on kaksi mahdollista pistettä, johon liittymä olisi kannattavaa tuoda. Kummastakin tapauksesta tehtiin laskelmat vähimmäisoikosulkuvirrasta liittymäpisteessä, jotta nykyiset suojalaitteet riittävät suojausten toteutumiseen.

---

Asiasanat: sähköturvallisuus, saarekekäyttö, vikasuojaus, oikosulkusuojaus

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Option of Electrical Power Engineering

KUISMA, OSSI:

Protective devices in an off grid low voltage electrical installation powered by a diesel-powered generator

Bachelor's thesis 52 pages, appendices 11 pages  
December 2019

---

The purpose of this thesis was to examine the compliance of protective devices in an electrical wiring that is not connected to a power grid. The site is powered by a diesel-powered generator. The wiring has been modified several times over the years and neither the exact dates nor information on who had carried out the work were not available. Nevertheless, it was possible to gather a sufficient amount of information of the wiring on site for this thesis.

The wiring's fault protection, overcurrent protection and short circuit protection were inspected for this thesis. In order to make these protections functional, the biggest challenge was that the generator is self-excited. This leads to the generator not being able to sustain a sufficient short circuit current. All the protection devices in place were suitable for overcurrent protection. The suitability for fault and short circuit protection was not confirmed for the gG class NH and D-type fuses used in the wiring.

Based on the information gathered in this thesis, some proposed fixes were planned to make the current wiring safer. These fixes include adding residual current devices in distribution circuits and replacing the NH and D-type fuses with circuit breakers.

Some calculations were also made to assess the possible requirements for connecting the installation to a power grid. The installation has two feasible points to which the feed could be connected. For both of these points, calculations for minimum short circuit current required in the feed to make the old protection devices work were made.

---

Key words: electrical safety, island mode, fault protection, short circuit protection

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	SÄHKÖTURVALLISUUSMÄÄRÄYKSET .....	7
	2.1 Suojausmenetelmät .....	7
	2.1.1 Suojaus sähköiskulta .....	7
	2.1.2 Ylivirtasuojaus .....	10
	2.1.3 Pienjännitteiset generaattorilaitteistot .....	12
3	TAHTIKONE JA SUOJALAITTEET .....	13
	3.1 Tahtikone .....	13
	3.2 Suojalaitteet .....	14
4	SUOJAUSMENETELMÄT KÄYTÄNNÖSSÄ.....	19
	4.1 Vikasuojauksen toiminnan tarkastaminen silmuikkaimpedanssimittauksella .....	19
	4.2 Oikosulkuvirran laskeminen .....	19
	4.3 Maadoittaminen.....	20
5	TUTKITTAVA LAITTEISTO .....	22
	5.1 Laitteiston yleisrakenne.....	22
	5.2 Dieselaggregaatti .....	23
	5.3 Laitteistossa tehdyt mittaukset .....	25
	5.4 Oikosulkuvirtojen selvittäminen laskemalla .....	25
	5.4.1 Generaattorin pitkittäisreaktanssien laskenta .....	26
	5.4.2 Kaapelien impedanssien määrittäminen .....	26
	5.4.3 Oikosulkuvirtojen laskenta .....	28
	5.5 Suojauksien tarkastelu .....	29
	5.5.1 Syötön automaattisen poiskytkennän toiminnan tarkastaminen vikatilanteessa .....	29
	5.5.2 Ylikuormitussuojauksen tarkastelu .....	30
	5.5.3 Oikosulkusuojaus .....	30
	5.6 Kohteen nykyinen maadoitusjärjestelmä .....	33
6	KORJAUSEHDOTUKSET .....	34
	6.1 Vikasuojaus.....	34
	6.2 Oikosulkusuojaus .....	35
	6.3 Muita huomioita.....	35
7	YLEISEEN JAKELUVERKKOON LIITTYMISEN TARKASTELU .....	36
	7.1 Liittymispiste 1. Nykyinen pääkeskus.....	36
	7.2 Liittymispiste 2. Päärakennuksen keskus.....	37
8	YHTEENVETO JA POHDINTA .....	39

LÄHTEET .....	40
LIITTEET .....	42
Liite 1. gG-sulakkeen toimintavirrat (ENSTO) .....	42
Liite 2. Eri tyyppin vikavirtasuojien toiminta-aikoja ja –virtoja (SFS 6000-5-53:2017, liite 531A) .....	43
Liite 3. FG Wilson P27P2 dieselaggregaatin datalehti .....	45
Liite 4. Mittauspöytäkirja .....	52

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan erään leirikeskuksen sähköjärjestelmän suojausien määräystenmukaisuutta. Kohteesta tekee erikoisen sen, että sitä ei ole liitetty yleiseen sähköverkkoon, vaan sähkö tuotetaan polttomoottorikäyttöisellä aggregaatilla. Kohteen sähköjärjestelmä on melko laaja ja sisältää pitkiä kaapeliveitoja, mikä jo itsessään tekee suojausien toteuttamisesta haasteellista. Lisäksi sähkön tuottamiseen käytettävän generaattorin magnetointitapa on sellainen, että generaattori ei pysty tuottamaan jatkuvaa oikosulkuvirtaa. Tämä tuo lisää haasteita oikosulku- ja vikasuojauksien toteuttamiseen.

Työssä käydään läpi sähköturvallisuutta koskevia lakeja, määräyksiä ja standardeja suojausien osalta, sekä sovelletaan niitä. Lisäksi nykyisestä sähkölaitteistosta tehtiin oikosulkuimpedanssilaskelmia ja tarkastellaan oikosulkuvirran arvoja verkon eri pisteistä. Tarkkoja laskelmia ei kuitenkaan pystytty tekemään, sillä tutkittavasta generaattorista ei ollut tarkkoja suoritearvoja saatavilla. Saatavilla olleiden tietojen perusteella tehtiin korjausehdotuksia, joilla laitteistosta saataisiin turvallisempi.

Lisäksi laitteistosta tehtyjen impedanssilaskelmien avulla tarkasteltiin vähimmäisvaatimuksia liittymän oikosulkuvirrasta yleiseen jakeluverkkoon liityttäessä. Mikäli laitteiston omistaja tulevaisuudessa päättää liittyä yleiseen jakeluverkkoon, ei nykyisen laitteiston suojauksiin välttämättä tarvitse tehdä muutoksia.

## **2 SÄHKÖTURVALLISUUSMÄÄRÄYKSET**

Suomessa sähkölaitteiden ja –laitteistojen turvallisuus on varmistettu 1.1.2017 voimaan astuneella sähköturvallisuuslailla. Laissa on sen 88§ momentissa noudattamisen valvonnasta vastaavaksi viranomaiseksi määritelty Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Tukes on omassa julkaisussaan Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit (S10-2019) listannut standardeja, joita noudattamalla sähköturvallisuuslaissa esitetyt oleelliset turvallisuusvaatimukset täyttyvät. Kyseiseltä listalta löytyy myös standardisarja SFS 6000 (2017) Pienjännitesähköasennukset. Tämän standardin määrittämiin perehdytään seuraavassa.

### **2.1 Suojausmenetelmät**

Standardi SFS 6000 (2017) käsittelee osassa 4-41 sähkölaitteistoja ja –laitteita koskevia vaatimuksia ihmisten ja kotieläinten suojaamiseksi sähköiskulta. Osassa 4-43 esitetään vaatimukset jännitteisten johtimien suojaamisesta ylivirran vaikutuksilta. Näitä osia käsitellään soveltuvin osin opinnäytetyön tässä luvussa. Standardista käsitellään vain niitä osia, jotka koskevat sähkölaitteistoa, joka koostuu eristetyistä kaapeleista ja vähintään IP2X koteloiduista sähkölaitteista sekä on maallikoiden käytettävissä.

#### **2.1.1 Suojaus sähköiskulta**

Standardi SFS 6000-4-41:2017 määrittää, että sähköiskulta suojaavan menetelmän pitää koostua joko sopivasta yhdistelmästä, jossa on perussuojaus ja erillinen vikasuojaus tai lisätystä suojausmenetelmästä, joka saa aikaan sekä perussuojauksen että vikasuojauksen. Tässä opinnäytetyössä tarkastelu kohdistuu ensimmäiseen menetelmään, joka sisältää perussuojauksen ja erillisen vikasuojauksen.

## **Perussuojaus**

Perussuojaus on määritelty Sähkö- ja teleurakoitsijaliiton STUL ry:n julkaisemassa D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista –teoksen luvussa 41.1 seuraavasti: ”Perussuojauksella tarkoitetaan suojausta, jonka avulla estetään ihmisiä joutumasta kosketuksiin jännitteisten osien kanssa sähkölaitteiden ollessa normaalissa tilassa (ei viallisia).” Käsikirjassa myös esitetään suojauksen täyttäväksi menetelmäksi asennuksen jännitteisten osien eristystä ja kotelointia (vähintään IP2X tai IPXXB).

## **Vikasuojaus**

Vikasuojauksen määritelmä D1-2017-käsikirjan 41.2 luvun mukaan on seuraava: ”Vikasuojauksella tarkoitetaan suojausta, jonka avulla estetään ihmisiä tai kotieläimiä koskettamasta vian seurauksena jännitteiseksi tulleita johtavia osia niin, että siitä aiheutuisi vaaraa”. Käsikirja myös esittää yhdeksi vikasuojauksen menetelmäksi syötön automaattista poiskytkentää sovellettavaksi TN-järjestelmässä.

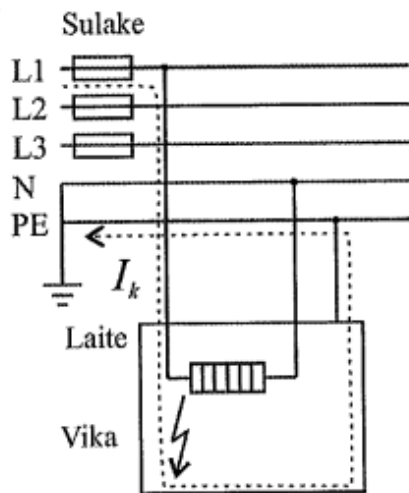
### **Vikasuojaus syötön automaattisen poiskytkennän avulla**

Käsikirja D1-2017 määrittelee luvussa 41.2.1 seuraavasti:

Suojaus syötön automaattisen poiskytkennän avulla on yleisimmin asennuksissa käytetty vikasuojausmenetelmä. Suojausmenetelmän avulla on tarkoitus estää ihmistä (tai kotieläintä) joutumasta koskettamaan eristysvian aiheuttamaa vaarallista kosketusjännitettä niin kauan, että siitä aiheutuisi vaaraa.

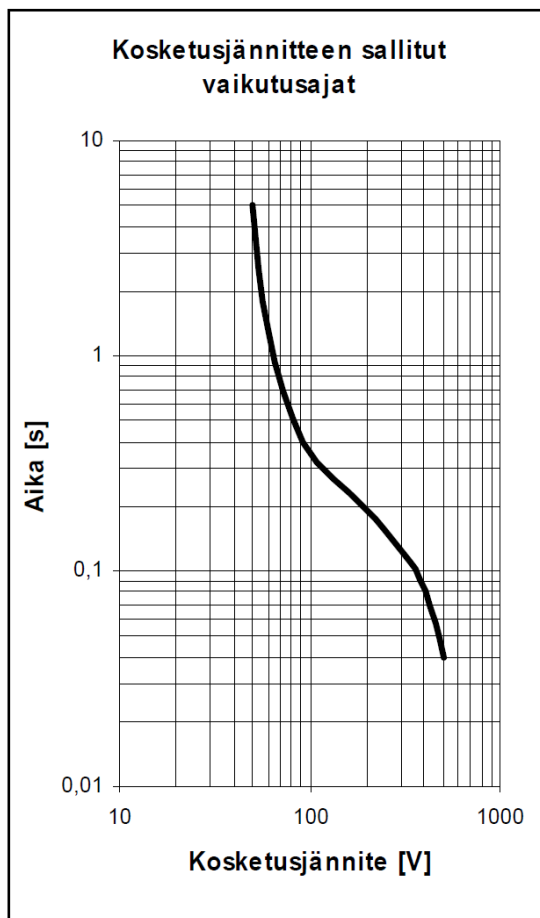
Suojaukseen tarvitaan suunniteltu vikavirtapiiri ja sopiva suojalaite (D1-2017, 84). TN-S-järjestelmässä jännitteelle alttiit ja muut johtavat osat on kytketty suojajohdinten ja suojaavien potentiaalintasausjohtimien avulla päämaadoituskiskoon. Täten, mikäli vian sattuessa jokin johtava osa joutuu kosketuksiin jännitteisen osan kanssa, muodostuu vikavirtapiiri. Kuviossa 1 on esitetty esimerkki vikata-pauksesta, jossa TN-S-järjestelmään kytkettyyn sähkölaitteeseen tulleen vian johdosta laitteen sähköä johtava runko joutuu jännitteiseksi.





KUVIO 1. Yksinkertaistettu kuva vikatapauksesta TN-S-järjestelmässä (Hietalahti 2013, 36)

Kuvion 1 esimerkkitapauksessa laitteeseen sattuneen vian johdosta laitteen sähköä johtava runko joutuu kosketuksiin jännitteisen osan kanssa. Täten jännitteisen laitteen rungon ja maapotentiaalin välille voi muodostua vaarallinen kosketusjännite. Kosketusjännitteen sallitut vaikutusajat on esitetty kuviossa 2.



KUVIO 2. Kosketusjännitteen suurimmat sallitut vaikutusajat (D1-2017, 85)

Käytännössä olisi kuitenkin turhan työlästä laskea vaaditut poiskytkentäajat suurimman esiintyvän kosketusjännitteen avulla. Standardin SFS 6000-4-41:2017 kohdassa 411.3.2.2 määritellään 230 V vaihtojännitteen suurimmaksi sallituksi poiskytkentäajaksi 0,4 sekuntia, lukuun ottamatta tiettyjä tapauksia, joissa sallitaan pidempi poiskytkentäaika.

### **Vikasuojaus vikavirtasuojaa käyttäen**

Standardissa SFS 6000-4-41:2017 kohdassa 411.4.5 mainitaan että TN-järjestelmässä voidaan vikasuojaukseen käyttää myös vikavirtasuojia. Huomiona samaisessa kohdassa mainitaan lisäksi, että mikäli vikasuojaukseen käytetään vikavirtasuojaa, piiri pitää suojata myös ylivirtasuojalla. Vikavirtasuojia ei kuitenkaan saa käyttää TN-C -järjestelmässä. SFS 6000-4-41:2017 kohdan 411.4.4 huomautuksen mukaan TN-järjestelmässä vikavirrat ovat huomattavasti suuremmat kuin 5 kertaa vikavirtasuojan mitoitustoimintavirta. Sen takia SFS 6000-4-41:2017 taulukon 41.1 mukaiset poiskytkentäajat saavutetaan, kun on asennettu SFS-EN 61008-1, SFS-EN 61009-1 tai SFS-EN 63423 mukainen vikavirtasuojia mukaan lukien selektiivinen ja viivästetty tyyppi.

### **2.1.2 Ylivirtasuojaus**

Standardi SFS 6000-4-42:2017 esittää vaatimukset jännitteisten johtimien suojaamisesta ylivirran vaikutuksilta ylikuormitus- ja oikosulkuilanteissa. Yleisvaatimuksena standardin kohdassa 430.3 on esitetty seuraava:

On käytettävä suojalaitteita poiskytkemään piirin johtimissa esiintyvä ylivirta ennen kuin ylivirran aiheuttamat termiset tai mekaaniset ilmiöt voivat aiheuttaa vaaraa vahingoittamalla eristystä, jatkoksia, liittimiä tai johtimia ympäröiviä materiaaleja.

Poiskytkennän mitoituksen perusteena on siis mitoittaa suojalaitteet suojaamaan kiinteitä sähköasennuksia, ei välttämättä niihin liitetyjä laitteita. Yleisesti käytetyt suojalaitteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

### **Suojalaitteet, jotka suojaavat sekä ylikuormitus- että oikosulkuvirroilta**

Useimmiten sama suojalaite toimii sekä ylikuormitussuojana että oikosulkusuojana. Tämän lisäksi sama ylivirtasuojalaite toimii yleensä myös vikasuojauksessa. Käytettäessä samaa suojalaitetta sekä oikosulku- että ylivirtasuojaukseen, tulee laite mitoittaa siten, että se suojaa johtoa ylikuormitukselta ja kykenee katkaisemaan suurimman prospektiivisen oikosulkuvirran. (D1-2017, 135) Tällaisia suojalaitteita voivat olla:

- Ylikuormituslaukaisijalla varustetut katkaisijat
- Katkaisijat yhdessä varokkeiden kanssa
- gG-tyyppisillä sulakkeilla varustetut varokkeet (SFS 6000-4-43:2017 432.1)

### **Ylivirtasuojaja, joka toimii vain ylikuormitussuojana**

Pelkästään ylikuormitussuojalaitteena käytettävä suojalaite on mm. moottorisuojakytkin. Myös johdonsuojakatkaisija tai sulake voi toimia pelkästään ylikuormitussuojana. (D1-2017, 135) Tällaisen suojalaitteen katkaisukyky voi olla pienempi kuin verkon prospektiivinen oikosulkuvirta suojalaitteen asennuskohdassa. (SFS 6000-4-43:2017 432.2)

### **Ylivirtasuojaja, joka toimii vain oikosulkusuojana**

Vain oikosulkuvirralla suojaava suojalaite pitää asentaa silloin, kun ylikuormitussuojaus hoidetaan muulla tavalla tai kun ylikuormitussuojaus voidaan jättää pois. Tällaisten suojalaitteiden on kyettävä katkaisemaan ja katkaisijoiden myös kytkeämään oikosulkuvirta asennuspaikalla esiintyvään prospektiiviseen oikosulkuvirtaan asti. (SFS 6000-4-43:2017 432.3) Pelkästään oikosulkusuojaksi soveltuva suojalaite on mm. aM-tyyppinen sulake, jota käytetään moottorien oikosulkusuojana. Pelkästään oikosulkusuojana toimivan sulakkeen nimellisvirta ei saa olla suurempi kuin ylikuormitussuojaan merkitty suurin sallittu etusulakkeen nimellisvirta. (D1-2017, 135)

### 2.1.3 Pienjännitteiset generaattorilaitteistot

Standardin SFS 6000-5-55:2017 luvun 551 vaatimukset koskevat pienjännitteisiä ja pienenjännitteisiä sähköasennuksia, joihin sisältyvä generaattori syöttää joko jatkuvasti tai ajoittain koko sähköasennusta tai asennuksen osaa. Luvussa käsitellään generaattorilaitteistoja, joissa käytetään tehonlähteinä polttomoottoreita, turbiineja, sähkömoottoreita, aurinkosähköpaneeleja, sähkökemiallisia akkuja tai muita soveltuvia tehonlähteitä (SFS 6000-5-55:2017 551.1.1). Luku sisältää paljon erityisvaatimuksia, jos käytössä on useampia syöttöjärjestelmiä, kuten generaattori yleisen jakeluverkon rinnalla, joihin ei tässä tarkastelussa perehdytä.

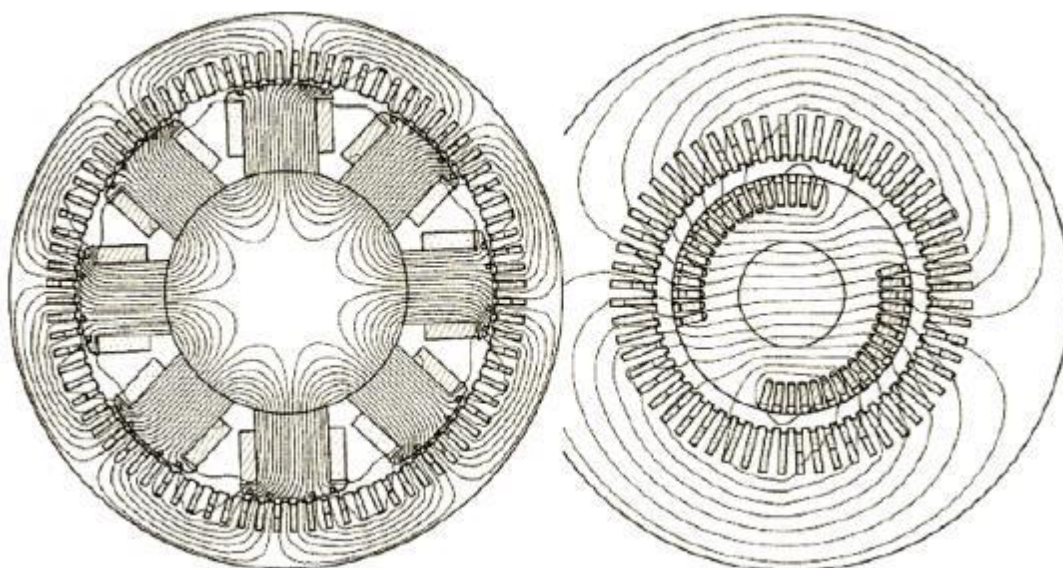
Yleisinä vaatimuksina generaattorilaitteistolle, jota ei ole liitetty yleiseen jakeluverkkoon, mainitaan että on oltava käytössä laitteet, joilla voidaan generaattorin kuormitettavuuden ylittyessä automaattisesti kytkeä pois tarvittavia sähköasennuksen osia (SFS 6000-5-55:2017 551.2.3). Standardin SFS 6000-5-55:2017 liite 55C esittää lisävaatimuksia tapauksiin, joissa erillinen generaattori syöttää asennusta, jota ei ole liitetty verkkosyöttöön.

Mikäli kyseisen liitteen 55C esittämiä vaatimuksia sovellettaisiin tässä opinnäytetyössä tarkasteltavana olevan kohteen kaltaiseen laitteistoon, olisi kustannusvaikutus melko suuri. Tästä syystä asiaan kysyttiin tarkennusta SESKO ry:n tekniseltä johtajalta Tapani Nurmelta. Nurmi sanoi puhelinhaastattelussa (7.3.2018), että luvun 55C määräykset eivät koske kiinteää asennusta, vaan on suunnattu tilapäisiin käyttöihin, kuten palokunnan varavoimakäytöt.

### 3 TAHTIKONE JA SUOJALAITTEET

#### 3.1 Tahtikone

Tahtikone on vaihtosähkökone, jonka roottori pyörii staattorin synnyttämän pyörivän magneettikentän kanssa tarkalleen samalla nopeudella eli tahdissa. Periaatteessa tahtikoneen staattorin rakenne on samanlainen kuin epätahtikoneessa, mutta roottorin rakenne on erilainen (Aura & Tonteri 2005, 214). Tahtokoneet jaetaan yleisesti roottorirakennetarkoituksien mukaisesti kahteen konetyyppiin: umpinapakoneisiin ja avonapakoneisiin. (Hietalahti 2013, 46). Kuviossa 3 on esitetty roottorirakenteiden poikkileikkaukset.



KUVIO 3. Avon- (vasemmalla) ja umpinapaisen (oikealla) tahtikoneen poikkileikkaukset (Hietalahti 2013, 47)

Avonapaisessa rakenteessa käämitys on kierretty roottorin rungossa olevien varsienvälisille. Tätä rakennetta käytetään yleisesti hitaasti pyörivissä koneissa. Umpinapaisessa rakenteessa on käämitys kierretty sylinterimäisessä roottorissa oleviin uriin. Roottori on tyypillisesti tehty massiivisesta rautarakenteesta koneistamalla. Tätä roottorityyppiä käytetään yleisesti nopeakäyntisissä tahtikoneissa. Staattori ja roottori on rakennettava samalle napalukumäärälle. (Hietalahti 2013, 47, Aura & Tonteri 2005, 214)

Tahtikonetta voidaan käyttää sekä moottorina että generaattorina. Molemmissa käytöissä koneen roottoriin pitää tuottaa magneettivuo. Tämä vuo toteutetaan joko kestopagneeteilla tai magnetointikämin avulla.

Moottorikäytössä koneen pääkäämeihin tuodaan sinimuotoinen vaihtovirta, jonka aiheuttama magneettivuo pyörittää roottoria. Generaattorikäytössä koneen roottoria pyöritetään ulkoisella voimanlähteellä ja roottorin pyörivä magneettivuo indusoi pääkäämeihin sinimuotoisen vaihtojännitteen. Magnetoimismenetelmien perusteella koneet voidaan jakaa harjallisiin ja harjattomiin tahtikoneisiin (Hieta-lahti 2013, 47, Aura & Tonteri 2005, 214, Korpinen 1998)

Harjallisessa magnetoinnissa magnetointikäämityksen tarvitsema tasavirta johdetaan pyörivään roottorikäämiin akselille sijoitettujen liukurenkaiden ja niitä laa-haavien metalligrafiittiharjojen kautta. Generaattorin magnetoimisvirta voidaan tuottaa tasasuuntaamalla generaattorin vaihtojännite ja johtamalla se takaisin roottoriin. Näin magnetoitua generaattoria kutsutaan itseherätteiseksi generaattoriksi. (Korpinen 1998)

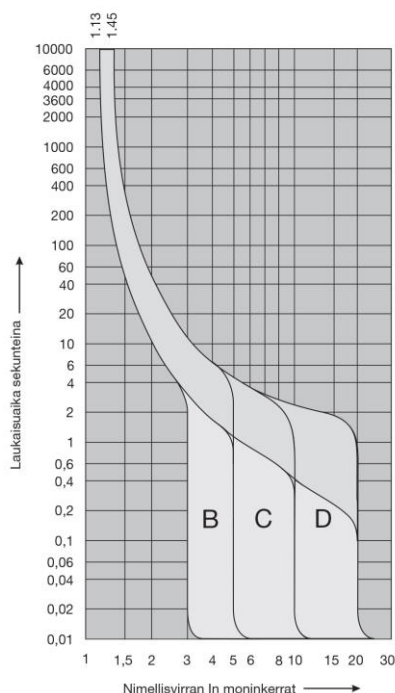
Tarvittava tasavirta voidaan myös tuottaa esimerkiksi generaattorin kanssa samalle akselille sijoitetulla ulkonapaisella vaihtosähkögeneraattorilla, jossa magneettinaavat ovat staattorissa ja käämitys, johon lähdejännite indusoituu, on roottorissa. Magnetointigeneraattorin tuottama vaihtojännite syötetään tasasuuntauksen jälkeen pääkoneen roottorikäämiin. Tällöin ei liukurenkaita ja metalligrafiittiharjoja tarvita. (Korpinen 1998)

## **3.2 Suojalaitteet**

### **Johdonsuojakatkaisijat**

Johdonsuojakatkaisijoita käytetään suojaamaan kaapeleita ja johtimia ylikuormitukselta ja oikosuluilta. Niissä on kaksi erilaista laukaisumekanismia, hidastettu terminen laukaisu ylivirtasuojana ja magneettinen laukaisu oikosulkusuojana (Hager 2011). Johdonsuojakatkaisijoita on saatavilla useilla eri laukaisukäyrillä. Kuviossa 4 on esitetty johdonsuojakatkaisijoiden B-, C- ja D-laukaisukäyrät.

Laukaisukäyrät: B / C EN 60 898  
D IEC 947-2



KUVIO 4. Johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyriä (Hager 2011)

Laukaisukäyrän yläosassa on esitetty termisen laukaisun pitorajavirta ja laukaisurajavirta, jotka ovat kaikille kuvion 4 laukaisukäyriille samat. Pitorajavirta on 1,13 kertaa johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta, joka katkaisijan on ylläpidettävä vähintään 60 minuutin ajan. Laukaisurajavirta on 1,45 kertaa johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta, joka katkaisijan on kytkettävä pois päältä 60 minuutin sisällä. (ABB)

Kuvion 4 laukaisukäyrissä magneettisen laukaisun rajat vaihtelevat. Pienempi raja-arvo, eli pitorajavirta, on B-käyrässä 3 kertaa johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta. Johdonsuojakatkaisijan on kestettävä tämän suuruinen sysäysvirta vähintään 0,1 sekunnin ajan. Suurempi raja-arvo, eli laukaisurajavirta, on B-käyrässä 5 kertaa nimellisvirta. Tämän suuruinen sysäysvirta virta on johdonsuojakatkaisijan kytkettävä pois alle 0,1 sekunnissa. (ABB)

## Sulakkeet

Sulakkeen toiminta perustuu sen sisällä olevaan metallilankaan tai -nauhaan, joka sulaa ja aiheuttaa virtapiirin katkeamisen virran lämmittäessä liikaa. Sulak-

keet toimintaan siis vaikuttavat sekä ylivirran suuruus että virran kesto-aika. Sähkökeskuksissa käytetään sulakkeita, joissa on kuumuutta kestävä posliinikuori. Yleisimmin on käytössä joko tulppasulakkeet tai kahvasulakkeet. (Harsia 2009)

Sulakkeiden toimintaan vaikuttaa sen nimellisvirta ja tyyppi, jota kuvataan kirjaintunnuksilla. Kirjaintunnusten selitykset on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Sulakkeiden toimintaa kuvaavien kirjaintunnusten selitykset (Harsia 2009)

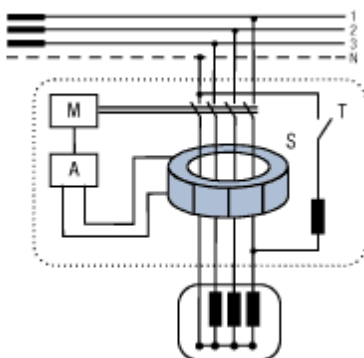
<b>Ensimmäinen kirjain</b>	<b>Toiminta</b>
g	Koko alueen kattava katkaisukyky, sekä oikosulku- että ylikuormitussuojaksi soveltuva
a	Osa-alueen kattava katkaisukyky, vain oikosulkusuojaksi soveltuva
<b>Toinen kirjain</b>	
G	Johdon suojaukseen tarkoitettu sulake
M	Moottorin suojaukseen tarkoitettu sulake

Kunkin sulaketyypin sulamisajat on määritelty standardeissa erikseen. Yleiskäyttöisimmän gG-sulakkeen toiminta-ajat on esitetty liitteessä 1.

### **Vikavirtasuojakytkimet**

Vikavirtasuojakytkin on kehitetty lisäämään turvallisuutta tilanteissa, joissa kosketaan suoraan jännitteistä osaa tai joissa sähkölaitteen vian vuoksi sen koskeltavat osat ovat tulleet jännitteiseksi. Vikavirtasuojan avulla voidaan myös estää vikaantuneiden laitteiden aiheuttamaa palovaaraa. Se valvoo eristysvikoja ja katkaisee mahdolliset liian suuret vuotovirrat automaattisesti. (Harsia 2008) Vikavirtasuojan perusrakenne on esitetty kuviossa 5.









KUVIO 5. Vikavirtasuojan perusrakenne (SFS 6000-5-53:2017, liite 531A)

Vikavirtasuoja mittaa vaihe- ja nollajohtimien summavirtaa summavirtamuuntajalla S. Jos summavirta poikkeaa nolasta vikavirtasuojan toimintavirran verran, tuntoelin A havaitsee sen ja toimintamekanismi M avaa vikavirtasuojan koskettimet. Tämä voi tapahtua esimerkiksi maasulun tai liian suuren vuotovirran takia. Vikavirtasuojan toimintaa voidaan testata testipainikkeella T, jolla saadaan aikaan keinotekoinen vikavirta. (SFS 6000-5-53:2017, liite 531A)

Vikavirtasuojan toiminta edellyttää, että sen suojaamassa virtapiirissä käytetään suojajohdinta ja nolla- ja suojajohdinsiirit ovat erillään. TN-järjestelmässä tämä tarkoittaa puhdasta TN-S-järjestelmää. (SFS 6000-5-53:2017, liite 531A)

Taulukossa 2 on esitetty eri tyyppien vikavirtasuojien ominaisuuksia vikavirran luonteen perusteella. Taulukossa esiintyvän AC-tyypin vikavirtasuojan käyttöä ei hyväksytä Suomessa (SFS 6000-5-53:2017 kohta 531.3.3).

TAULUKKO 2. Vikavirtasuojien ominaisuudet vikavirran luonteen perusteella (SFS 6000-5-53:2017, taulukko 531A.1)

Tyyppi	Suojalaitteen toiminnan aiheuttava vikavirta	Tunnus
AC	Äkillisesti tai hitaasti kasvava sinimuotoinen vaihtovirta	
A	Äkillisesti tai hitaasti kasvava sinimuotoinen vaihtovirta tai pulssimuotoinen tasavirta	
F	Kuten A-tyypillä ja lisäksi <ul style="list-style-type: none"> <li>- äkillisesti tai hitaasti kasvava yhdistelmävikavirta, joka esiintyy vaiheen ja nollan tai vaiheen ja maadoitetun keskipistejohtimen syöttämässä piirissä</li> <li>- tasoitettun tasavirran päälle lisätty pulssimuotoinen tasavirta</li> </ul>	
B	Kuten F-tyypillä ja lisäksi <ul style="list-style-type: none"> <li>- sinimuotoinen vaihtovirta 1000 Hz taajuuteen saakka</li> <li>- tasoitettun tasavirran päälle lisätty vaihtovirta</li> <li>- kahdesta tai useammasta vaiheesta johtuva pulssimuotoinen tasavirta</li> <li>- äkillisesti tai hitaasti kasvava tasoitettu tasavirta napaisuudesta riippumatta</li> </ul>	

Kullekin vikavirtasuojatyypille on standardeissa määritelty minimi- ja enimmäis-toimintavirrat, sekä toiminta-ajat vikavirtasuojan nimellistoimintavirralla ja sen tietyillä kertoimilla. Näitä arvoja on esitetty liitteessä 2.

## 4 SUOJAUSMENETELMÄT KÄYTÄNNÖSSÄ

### 4.1 Vikasuojauksen toiminnan tarkastaminen silmukkaimpedanssimittauksella

TN-järjestelmässä vikavirtapiiri muodostuu johtavasta piiristä sisältäen vianalaisen vaihejohtimen sekä suojajohtimen, joka on yhdistetty suoraan jännitelähteen keskipisteeseen (PE tai PEN-johdin, sen mukaan onko kyseessä TN-S- vai TN-C-järjestelmä). (D1-2017, 86)

Toteutettaessa asennuksen vikasuojaus TN-järjestelmässä syötön automaattista poiskytkentää käyttäen, on suojauksen toiminta tarkastettava. Yksi vaihtoehto tähän on vikavirtapiirin impedanssin mittaaminen. (SFS 6000-6:2017 kohta 6.4.3.7.1) Vikavirtapiirin impedanssin avulla voidaan laskea vian aiheuttama oikosulkuvirta. Mittausten jälkeen on varmistettava, että oikosulkuvirta riittää laukaisemana suojalaitteen vaaditussa ajassa.

### 4.2 Oikosulkuvirran laskeminen

Oikosulkuvirran laskentamenetelmät on esitetty mm. standardissa IEC 909. Mikäli laskentaan on käytettävissä soveltuvia laskentaohjelmia, voi oikosulkuvirran määrittää melko tarkasti laskemalla. Tällöin tulee ottaa huomioon myös oikosulkuvirran vaihekulma. (D1-2017, 94)

D1-2017 -käsikirja esittää luvussa 41.2.1.1 yksinkertaistetun menetelmän oikosulkuvirran laskentaan. Esitettyä menetelmää käytettäessä virhe voi olla yleensä korkeintaan 10 %. Menetelmää voidaan kuitenkin käyttää vikasuojauksen toiminnan tarkastamiseen, sillä virheet tapahtuvat aina turvallisempaan suuntaan, eli laskettu oikosulkuvirta on pienempi kuin todellinen. Tämän takia menetelmä ei sovellu esim. suojalaitteen katkaisukyvyyn tarkastamiseen. Yksivaiheisen oikosulkuvirran yksinkertaistettu laskentakaava on esitetty yhtälössä 1.

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_k}, \quad (1)$$

jossa

$I_k$  on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta,

$c$  on taulukon 2 mukainen kerroin,

$U$  on pääjännite,

$Z_k$  on virtapiirin kokonaisimpedanssi.

Taulukossa 3 on esitetty IEC 60909 –standardin mukaiset jännitekertoimen  $c$  arvot eri jännitetasoissa. Tämä korjauskerroin ottaa huomioon jännitteenaleneman liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne.

TAULUKKO 3. IEC 60909 –standardin mukainen jännitteenaleneman kerroin  $c$

Nimellijännite $U_n$	Maksimioikosulkuvirta $C_{max}$	Minimioikosulkuvirta $C_{min}$
Pienjännite 100 V–1000 V		
a) 230 V / 400 V	1.00	0.95
b) muut jännitteet	1.05	1.00
Keskijännite 1 kV – 35 kV	1.10	1.00
Suurjännite 35 kV – 230 kV	1.10	1.00

Virtapiirin kokonaisimpedanssin määrittämiseen tarvitaan yleensä myös kaapeleiden impedanssiarvoja. D1-2017 –käsikirjan taulukossa 41.6 on esitetty kaapeleiden impedanssien likimääräisarvoja. Tarkempia arvoja saa kaapeleiden valmistajilta.

### 4.3 Maadoittaminen

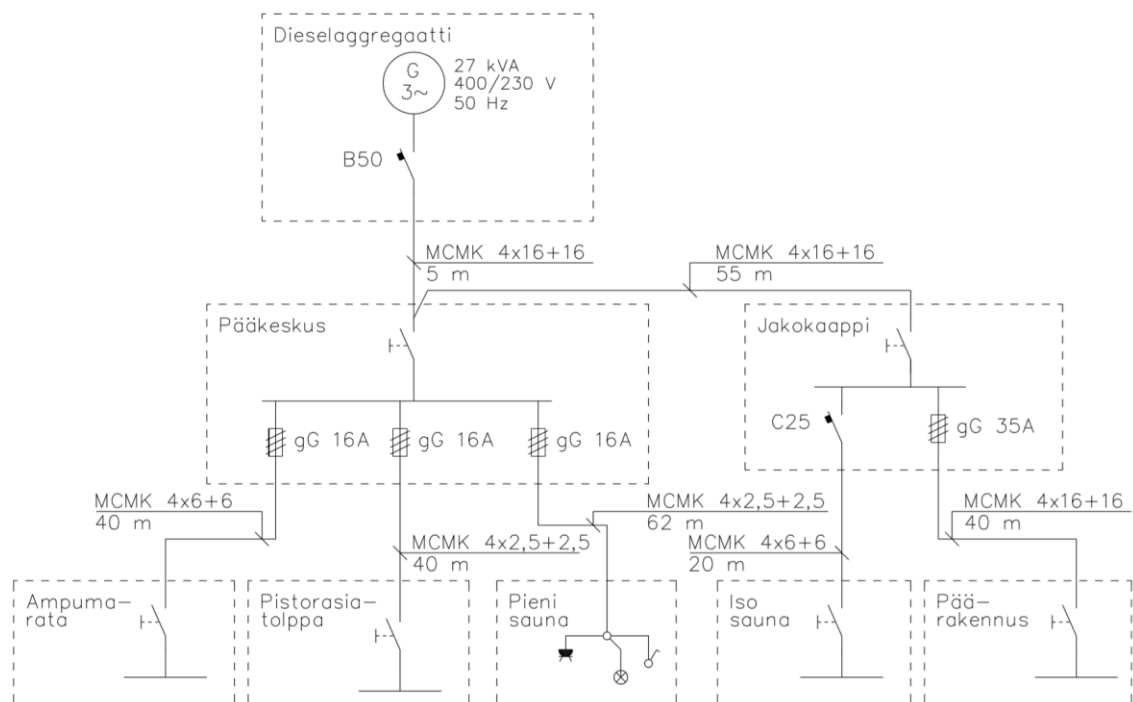
Standardin SFS 6000-4-41:2017 kohdassa 411.4.2 sanotaan yksiselitteisesti, että tehonsyöttöjärjestelmän nolllapiste tai keskipiste pitää maadoittaa. Kohdassa

olevassa kansallisessa lisävaatimuksessa mainitaan myös, että jos sähköliittymää syötetään verkosta, jossa on käytössä PEN-johdin, on sähköliittymään tehtävä SFS 6000-5-54 luvun 542 mukainen maadoitusjärjestelmä, joka sisältää maadoituselektrodin.

Maadoituselektrodin rakenteesta on annettu velvoittavia yleisiä rakennevaatimuksia standardin SFS 6000-5-54:2017 liitteessä 54C. Liitteen mukaan tietyissä tilanteissa voidaan maadoituselektrodina käyttää kahta eri suuntiin sijoitettua vähintään 20 m pitkää vaakaelektrodia tai mieluummin yhtä vähintään 40 m pitkää renkaan muotoista elektrodia. Maadoituselektrodi on liitettävä maadoitusjohtimella päämaadoituskiskoon (SFS 6000-5-54:2017 kohta 542.1.2).

## 5 TUTKITTAVA LAITTEISTO

Työn tekeminen aloitettiin tutustumalla laitteistoon, sen rakenteeseen ja suojauslaitteisiin. Laitteistoa on laajennettu vuosien varrella useaan otteeseen, eikä tekijöistä tai muutosten ajankohdista ole tarkkaa tietoa. Myöskään minkäänlaista dokumentointia laitteiston rakenteesta ei ollut saatavilla. Laitteisto on kuitenkin rakenteeltaan hyvin yksinkertainen ja selkeä, joten sen rakenne saatiin luotettavasti selvitettyä. Kuviossa 6 on esitetty tutkitavan laitteiston pääkaavio.



KUVIO 6. Kohteen pääkaavio, jossa esitetty nykyiset kaapeloinnit ja suojalaitteet

Keskusten väliset kaapelit olivat pääasiassa asennettu maahan, joten niiden pituudet ovat oletetun asennusreitien mukaan arvioituja.

### 5.1 Laitteiston yleisrakenne

Kohteen sähkönsyötön hoitaa FG Wilsonin 27 kVA dieselaggregaatti. Aggregaatissa itsessään on ainoana sähköisenä suojalaitteena 4-napainen B-käyrän 50 ampeerin johdonsuojakatkaisija. Aggregaatti sijaitsee omissa, sille tarkoitetussa rakennuksessaan tontin keskellä. Samassa tilassa aggregaatin kanssa on pieni

tulppavarokekeskus toimittamassa pääkeskuksen virkaa. Pääkeskuksen tulppavarokkeilta lähtee nousukaapelit kolmelle pienemmälle rakennukselle. Pääkeskuksen pääkytkimen etupuolelle on kytketty tontilla olevalle katujakokaapille lähtevä nousukaapeli. Katujakokaapista lähtee nousukaapelit kahdelle rakennukselle, jotka on suojattu kahvavarokkeella ja johdonsuojakatkaisijalla.

Kaikissa rakennuksissa on hyvin pienet kuormitukset, pääasiassa valaistus- ja pistorasiakuormaa. Keskusten ryhmäjohtot on suojattu joko tulppavarokkeilla tai johdonsuojakatkaisijoilla. Suuruudeltaan suojalaitteet ovat 6 – 16 ampeeria. Laitteistossa ei ole asennettuna yhtään vikavirtasuojakytkintä.

## 5.2 Dieselaggregaatti

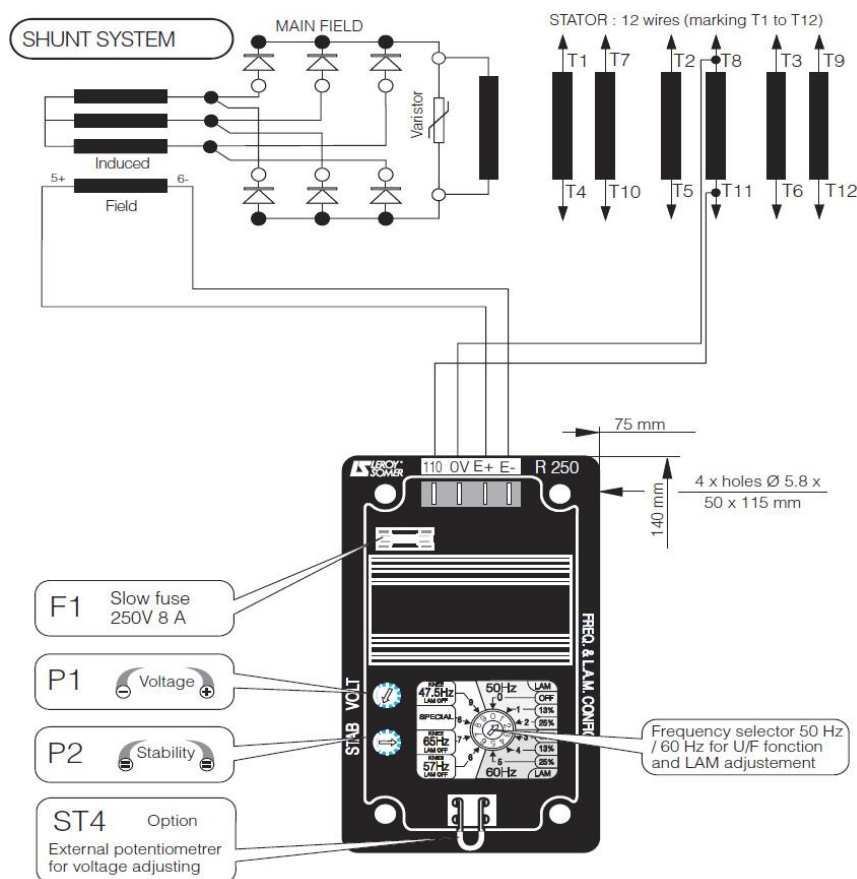
Kohteen sähkönsyötön hoitavasta dieselaggregaatista ei ollut kohteessa saatavilla muuta tietoa kuin koneen kyljessä oleva tyyppikilpi. Tyyppikilven avulla ja konetta tutkimalla saatiin kuitenkin selville, että generaattorin käämit on kytketty tähteen ja tähtipisteestä lähtee erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet koneen kytkentäliittimille. Lisätietoja kuitenkin tarvittiin, jota saatiin valmistajan edustajalta. Ote aggregaatin tyyppikilvestä on esitetty taulukossa 4 ja aggregaatin generaattorin datalehti on esitetty liitteessä 3.

TAULUKKO 4. Ote aggregaatin tyyppikilvestä

Manufacturer	FG Wilson (Engineering) Ltd
Model	P27P2
Year of manufacture	2010
Ambient temp.	27 °C
Rated power	
- Prime	27.0 kVA
	21.6 kW
Rated voltage	400/230 V
Rated power factor	0.80 Cos $\Phi$
Rated frequency	50 Hz
Rated current – Prime	39 A
Excitation voltage	39 V
Excitation current	2 A
AVR	R250

Suojauksen tarkastelun kannalta tärkeä tieto dieselaggregaatista on sen kyky tuottaa oikosulkuvirtaa, johon vaikuttaa generaattorin magnetointitapa. Datalehdessä selviää, että kyseisen generaattorin magnetointi on shuntattu generaattorin napajännitteestä.

Generaattorin jännitesäätöyksikkö on Leroy Somer R250. Sen datalehdessä on esitetty kyseisen komponentin kytkentäkuva. Siitä käy ilmi, kuinka jännite shuntataan pääkäämityksestä magnetointikäymykseen. Datalehdessä on myös mainittu, että shunttimagnetointi ei takaa kykyä tuottaa oikosulkuvirtaa. (Leroy-Somer.) Tämä johtuu siitä, että oikosulkutilanteessa generaattorin pääkäämityksen jännite laskee, joka johtaa magnetointijännitteen laskemiseen. Magnetointijännitteen laskiessa laskee myös pääkäämityksen jännite, jne. Jännitesäätöyksikön kytkentä on esitetty kuviossa 7.



KUVIO 7. Jännitesäätöyksikön kytkentäkuva (Leroy-Somer 2018)



### 5.3 Laitteistossa tehdyt mittaukset

Laitteistoon tehtiin silmukkaimpedanssimittauksia laitteiston jokaisesta keskuksesta ja pisimpien ryhmäjohtojen päistä. Mittaukset tehtiin Amprobe Telaris 0100-plus –asennustesterillä verkon kuormituksen ollessa hyvin pieni. Mittaustuloksissa havaittiin suurta hajontaa samasta pisteestä otettujen peräkkäisten mittausten kesken. Tämän voidaan olettaa johtuvan verkon jännitteen heilunnasta generaattorin vähäisen kuormituksen takia.

Silmukkaimpedanssin avulla saadun oikosulkuvirran arvoa voitaisiin normaalitilanteessa käyttää vika- ja oikosulkusuojauksen toiminnan tarkastamiseen vertaamalla sitä esimerkiksi D1-2017 käsikirjasta löytyviin taulukoihin 41.4a, 41.4b tai 41.5. Näissä taulukoissa on esitetty minimivaatimukset oikosulkuvirrasta, jotta vikasuojaus syötön automaattisella poiskytkennällä toimisi vaaditussa ajassa. Näiden taulukoiden arvot soveltuvat parhaiten käytettäväksi verkossa, joka pystyy syöttämään tasaista jatkuvaa oikosulkuvirtaa. Kohteessa, jossa sähkönsyötön hoitaa pienehkö aggregaatti, joka ei kykene tuottamaan jatkuvaa oikosulkuvirtaa, ei näiden taulukoiden arvojen käyttäminen ole luotettava tapa varmistaa vika- tai oikosulkusuojauksen toimivuutta.

Mittauksista saatiin kuitenkin suuntaa antavia silmukkaimpedanssiarvoja, joita voidaan käyttää verkon mallintamiseen. Mittauspöytäkirja on esitetty liitteessä 4.

### 5.4 Oikosulkuvirtojen selvittäminen laskemalla

Kohteen sähköverkosta laskettiin suuntaa antavat oikosulkuimpedanssit eri pisteissä. Generaattorin datalehdessä saatiin arvot pitkittäiselle tahtireaktanssille  $X_d$  ja pitkittäiselle alkureaktanssille  $X'_d$ . Reaktanssien arvot on annettu datalehdessä suhteessa nimellisimpedanssiin. Näitä arvoja käytettiin laskennassa jännitelähteen oikosulkuimpedanssin arvoina jatkuvassa tilassa ja oikosulun alkuhetkellä.

Kaapelien resistanssi- ja reaktanssiarvot saatiin D1-2017 käsikirjan taulukosta 41.6. Nämä arvot ovat kuparijohtimille, likimääräisiä ja ilmoitettu johtimen lämpötilan ollessa 80°C. Tarvittavat arvot on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Kohteessa käytettyjen kaapelien resistanssi- ja reaktanssiarvot (D1-2017, taulukko 41.6)

Johtimen lukumäärä ja poikkipinta-ala (mm <sup>2</sup> )	Resistanssi, $r$ (Ω/km)	Reaktanssi, $x$ (Ω/km)
4x2,5	8,770	0,110
4x6	3,660	0,100
4x16	1,415	0,090

#### 5.4.1 Generaattorin pitkittäisreaktanssien laskenta

Pitkittäisreaktanssien arvot on generaattorin datalehdessä annettu suhteellisina arvoina generaattorin nimellisimpedanssista. Nimellisimpedanssi laskettiin kaavalla

$$Z_n = \frac{\left(\frac{U}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{S_n}{3}} = \frac{\left(\frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{27000 \text{ VA}}{3}} = 5,93 \Omega. \quad (1)$$

Nimellisimpedanssin jälkeen voitiin laskea reaktanssiarvot

$$X_d = 1,97 \cdot 5,93 \Omega = 11,67 \Omega \quad (2)$$

ja

$$X''_d = 0,055 \cdot 5,93 \Omega = 0,326 \Omega. \quad (3)$$

#### 5.4.2 Kaapelien impedanssien määrittäminen

Kaapelien impedanssien määrittämiseen käytettiin D1-2017 käsikirjassa taulukoituja likimääräisiä resistanssi- ja reaktanssiarvoja. Nämä arvot on taulukossa

ilmoitettu ohmeina per kilometri, joten kaapelien pituus tulee tuntee. Lyhyet kaapelipituudet arvioitiin kohteessa silmämääräisesti, pidemmät laseretäisyysmittarilla. Kaapelipituudet on esitetty kuviossa 6.

Koska kaikissa kaapeleissa suojajohtimen poikkipinta-ala on yhtä suuri kuin äärijohtimissa, käytetään samoja arvoja myös vikavirran paluureitin impedanssin määrittämiseen. Esimerkiksi pääkeskuksen ja ampumaradan ryhmäkeskuksen välinen kaapeli on tyypiltään MCMK 4x6+6 ja sen pituus on 40 metriä. Tämän kaapelin resistanssiksi saadaan siis

$$R_{kaapeli} = 3,66 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,04 \text{ km} \cdot 2 = 0,29 \Omega \quad (4)$$

ja reaktanssiksi

$$X_{kaapeli} = 0,1 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,04 \text{ km} \cdot 2 = 0,008 \Omega . \quad (5)$$

Kaapelien lasketut reaktanssi- ja resistanssiarvot on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Kaapelien resistanssit ja reaktanssit

Kaapeli	Resistanssi ( $\Omega$ )	Reaktanssi ( $\Omega$ )
Generaattori – Pääkeskus	0,014	0,0009
Pääkeskus – ampumarata	0,293	0,008
Pääkeskus – pieni sauna	1,087	0,014
Pääkeskus – pistorasiatolppa	1,140	0,014
Pääkeskus – katujakokaappi	0,156	0,010
Katujakokaappi – iso sauna	0,146	0,004
Katujakokaappi – päärakennus	0,113	0,007

### 5.4.3 Oikosulkuvirtojen laskenta

Kun kaapelien impedanssit oli saatu selvitettyä, voitiin oikosulkuvirrat laskea verkon eri pisteistä. Laskennassa käytettiin yhtälöä 1. Yhtälössä käytetyn oikosulkuimpedanssin  $Z_k$  arvo lasketaan generaattorin vikapiirin resistanssin ja reaktanssin sekä joko pitkittäisen tahtireaktanssin tai pitkittäisen alkureaktanssin avulla käyttäen yhtälöä 2.

$$Z_k = \sqrt{R_{kaapeli}^2 + (X_d + X_{kaapeli})^2} \quad (2)$$

Seuraavassa on laskettu yksivaiheinen jatkuvan tilan oikosulkuvirta pisto-  
rasiakeskuksella käyttäen kaavaa 6.

$$I_k = \frac{0,95 \cdot \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0,014 \Omega + 1,14 \Omega)^2 + (11,67 \Omega + 0,0009 \Omega + 0,014 \Omega)^2}} \quad (6)$$

$$= 18,67 \text{ A}$$

Saman pisteen alkuoikosulkuvirta lasketaan seuraavasti:

$$I_k'' = \frac{0,95 \cdot \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0,014 \Omega + 1,14 \Omega)^2 + (0,326 \Omega + 0,0009 \Omega + 0,014 \Omega)^2}} \quad (7)$$

$$= 198,47 \text{ A}$$

Lasketut alku- ja jatkuvan tilan oikosulkuvirrat on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Laskennalliset oikosulkuvirtojen arvot kohteessa

Piste	$I_k$ (A)	$I''_k$ (A)
Pääkeskus	18,8	671
RK ampumarata	18,8	483
Pieni sauna	18,7	189
Pistorasiatolppa	18,7	182
Katujakokaappi	18,7	536
RK iso sauna	18,7	463
RK päärakennus	18,7	441

## 5.5 Suojauksien tarkastelu

Tässä kappaleessa käsitellään laitteiston rakennetta ja olemassa olevien suoja-laitteiden valintoja ja mitoituksia SFS 6000 -standardin vaatimusten kannalta. Suojauksien tulee olla riittävät sekä normaalissa käyttötilanteessa että vikatilanteessa, ettei sähköstä aiheudu haittaa henkilöille tai laitteistolle.

### 5.5.1 Syötön automaattisen poiskytkennän toiminnan tarkastaminen vikatilanteessa

Tarkasteltavasta generaattorista ei ollut saatavilla riittävästi tietoa sen toiminnasta oikosulkutilanteessa, jotta olemassa olevien suojalaitteiden poiskytkennän toiminta henkilösuojaukseen vaadittavassa 0,4 sekunnissa voitaisiin varmistaa. Esimerkiksi vaiheen ja kulutuskojeen johtavan rungon välinen oikosulku voi aiheuttaa laitteen runkoon vaarallisen kosketusjännitteen, jonka sallittu suuruus ja vaikutusaika on esitetty kuviossa 2. Koska generaattorin kyvystä tuottaa oikosulkuvirtaa ei voida varmistua, ei johdonsuojakatkaisijan tai sulakesuojauksen toimivuudesta vaaditussa ajassa voida varmistua. Kohteen vikasuojaukseen hoitamaan ehdotetaan vikavirtasuojakatkaisijoita.

## 5.5.2 Ylikuormitussuojauksen tarkastelu

Laitteiston jokaista pää- ja ryhmäjohtoa suojataan joko sulakkeella tai johdonsuojatkaisijalla. Näiden suojalaitteiden mitoittamiseen vaikuttaa niiden suojaaman kaapelin kuormitettavuus. Kaapelin kuormitettavuuteen vaikuttavia tekijöitä on useita, kuten ympäristön lämpötila, kaapelin asennustapa ja kaapelissa käytetty eristemateriaali. Standardin SFS 6000-5-52:2017 luku 523 käsittelee kaapelin kuormitettavuuden laskentaa.

Kohteen pääjohdot on pääasiassa asennettu pintaan tai maahan, ilman ympäröiviä kaapeleita. Heikoin kohteessa käytetty asennustapa on asennustapa C. Tarkastettavat kaapelit ovat joko MMJ- tai MCMK-tyyppisiä, jolloin niiden sallitut kuormitettavuudet löytyvät standardin SFS 6000-5-52:2017 taulukosta B.52.4. Taulukossa 8 on esitetty kohteessa käytettyjen kaapeleiden suurimmat sallitut kuormitettavuudet johtimen poikkipinta-alan mukaan.

TAULUKKO 8. Kohteessa käytettyjen kaapeleiden suurimmat sallitut kuormitettavuudet (taulukko B.52.4, SFS 6000-5-52:2017)

Johtimen poikkipinta-ala (mm <sup>2</sup> )	Asennustapa C:n mukainen suurin sallittu kuormitettavuus
2,5	24
6	41
16	76

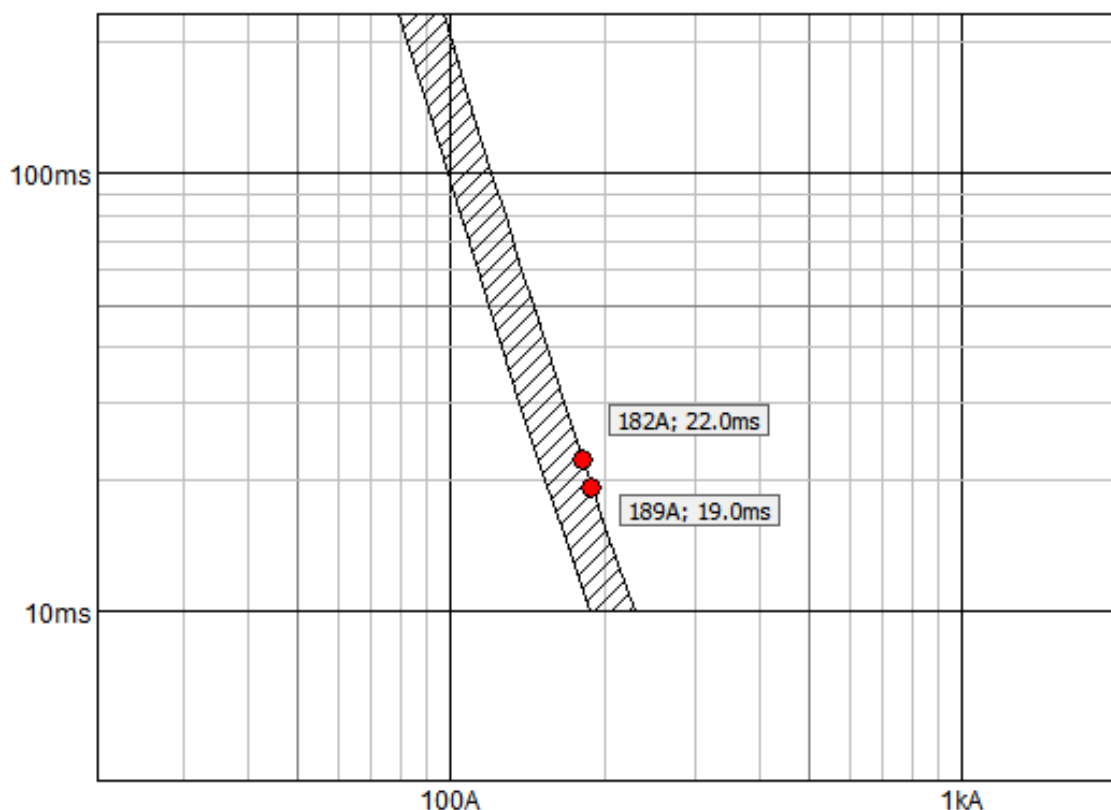
Kohteessa 2,5 mm<sup>2</sup> kaapeleita suojataan korkeintaan 16 A, 6 mm<sup>2</sup> kaapeleita 25 A ja 16 mm<sup>2</sup> kaapeleita 50 A tulppasulakkeella tai johdonsuojatkaisijalla. Suojalaitteiden mitoitus on siis riittävä suojaamaan kaapeleita ylikuormitukselta.

## 5.5.3 Oikosulkusuojaus

Tässä laitteistossa haasteellisin vika havaita ja kytkeä pois on oikosulku. Palo-vaaran lisäksi oikosulku voi myös teoriassa pahimmillaan aiheuttaa generaattorin napajännitteen romahtamisen lähes nolnaan ennen kuin yksikään olemassa oleva suojalaite ehtii kytkeä vikaa pois. Tällöin generaattori voi jäädä syöttämään matalaa jännitettä ja pientä virtaa oikosulkupiiriin, mikä voi vaurioittaa generaattoria.

Aggregaatissa itsessään ei ole jännitteensäätöyksikön lisäksi muita suojalaitteita kuin 50 ampeerin B-käyrän johdonsuojakatkaisija. B-käyrän johdonsuojakatkaisijan magneettisen laukaisun raja on 5 kertaa nimellinen toimintavirta, eli tässä tapauksessa 250 ampeeria. Vertaamalla tätä arvoa taulukossa 7 esitettyihin laskennallisiin alkuoikosulkuvirtoihin huomataan, että pienellä saunalla tai pistorasiatolpalla tapahtuvan oikosulun synnyttävän oikosulkuvirta on liian pieni laukaisemaan tätä johdonsuojaa.

Kumpaakin johtohaaraa suojaa lisäksi oma 16 ampeerin gG-tyyppin tulppasulake. Kyseisen sulaketyypin toimintakäyrää tarkasteltiin ABB:n Curves-ohjelmalla ja virta-arvoja vertailtiin kohteen laskennallisiin oikosulkuvirtoihin. Pistorasiatolpan laskennallisen alkuoikosulkuvirran 182 ampeeria tulisi vaikuttaa sulakkeeseen 22 millisekunnin ajan, jotta sulakkeen lanka palaisi. Pienelle saunalle lasketun alkuoikosulkuvirran 189 ampeeria tulisi kestää 19 ms sulakesuojauksen toimimiseen. Kuvakaappaus ohjelmasta on esitetty kuviossa 8.



KUVIO 8. Kuvakaappaus ABB Curves -ohjelmasta. Kuvassa gG 16 A sulakkeen toimintakäyrä.

Nämä toiminta-ajat eivät ole yleensä merkityksellisiä normaalissa valtakunnan verkkoon liitetystä kiinteistön sähköasennuksessa, mutta kun sähkönsyötön hoitaa pieni generaattori, kasvaa sen merkitys. Kohteessa olevasta generaattorista ei ollut saatavilla tarkkaa virtakäyrää oikosulkutilanteessa, mutta suuntaa-antavaa tietoa haettiin vastaavanlaisista muiden valmistajien koneista.

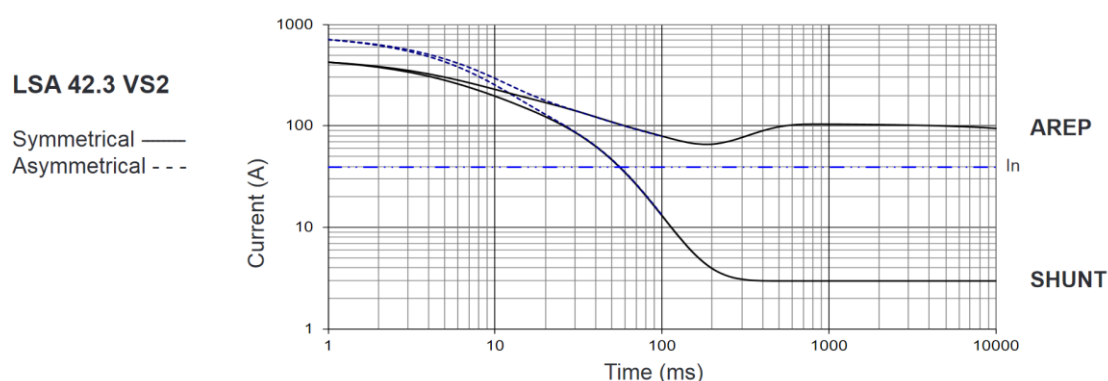
Leroy-Somerin valikoimasta löytyi lähes vastaava generaattori kuin tutkittava. Suurin osa sen sähköteknisistä ominaisuuksista, kuten nimellisteho, jännite, napaluku, pyörimisnopeus ja vaihelukumäärä olivat samat kuin tutkittavassa koneessa. Merkittävä tekijä, joka vaikeuttaa vertailua, kuitenkin on ero pitkittäisessä tahtireaktanssissa ja pitkittäisessä alkureaktanssissa. Lisäksi ilmoitetuissa magnetointivirroissa ja -jännitteissä on eroa. Koneiden teknisten ominaisuuksien merkittävimmät erot on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Tutkittavan ja vertailukoneen teknisiä suoritearvoja

	FG-Wilson P27P2	Leroy-Somer LSA 42.3 VS2
X <sub>d</sub>	197 %	249 %
X'' <sub>d</sub>	5 %	8,2 %
Magnetointivirta	2 A	1,72 A
Magnetointijännite	39 V	29,2 V

Vertailukoneen virtakäyrä oikosulkutilanteessa on esitetty kuviossa 9.

### 3-phase short-circuit curves at no load and rated speed (star connection Y)



KUVIO 9. Vertailugeneraattorin oikosulkuvirtakäyrä ajan funktiona (Leroy-Somer 2019)



Kuvion 9 oikosulkuvirtakäyrästä tarkastellaan shunttimagnetoitua epäsymmetrisen oikosulun käyrää. LSA 42.3 VS2 -tyypin generaattorin alkuoikosulkuvirta on noin 700 ampeeria ja 19 ms kohdalla noin 130 ampeeria, eli noin 19% alkuhetkestä.

Käyttämällä taulukkoon 7 kerättyjä laskennallisia oikosulkuvirtoja, voidaan tehdä suuntaa-antavia laskelmia mahdollisesta generaattorin syöttämästä oikosulkuvirrasta. Pistorasiatolpan laskennallinen oikosulkuvirta oikosulun alkuhetkellä on noin 182 ampeeria. Jos oikosulkuvirran käyrämuodon oletetaan olevan samanmuotoinen kuviossa 9 esitetyn vertailukäyrän kanssa, olisi oikosulkuvirta 19 ms kohdalla parhaimmillaan vain noin 34 ampeeria.

Vaikka vertailussa käytetyn generaattorin ominaisuudet poikkeavatkin rajusti tutkittavasta generaattorista, on näiden tietojen valossa syytä epäillä sulakesuojauksen toimivuutta oikosulkutilanteessa pienen saunan ja pistorasiatolpan osalta. Jos tämä virta käyttäytyy vertailukäyrän kaltaisella tavalla, ei 16 ampeerin gG-tyypin sulake pala.

## **5.6 Kohteen nykyinen maadoitusjärjestelmä**

Kohteen pääpotentiaalintasauskisko sijaitsee pääkeskuksessa. Kiskosta lähtee kolme Cu 16 -johdinta rakennuksen ulkopuolelle maahan elektrodiksi. Näistä yhden oletetaan kulkevan ampumaradan nousukaapelin kanssa samassa ojassa, ja yhden katujakokaapin nousukaapelin kanssa samassa ojassa. Nämä johtimet riittävät täyttämään standardin vaatimukset maadoituselektrodista.

Lisäksi päämaadoituskiskosta lähtee MK 16 tyypin johtimet sekä pääkeskukselle että generaattorin runkoon. Maadoitusjärjestelmässä ei siis havaittu puutteita.

## 6 KORJAUSEHDOTUKSET

Laitteistoon asennettujen suojalaitteiden valinnassa huomattiin puutteita. Niiden toiminnasta standardin vaatimusten mukaisesti ei saatu varmuutta.

### 6.1 Vikasuojaus

Vikasuojauksen toiminnassa nykyisessä laitteistossa havaittiin puutteita. Laitteisto on rakenteeltaan sellainen, että ainoa mahdollinen vikasuojauksen menetelmä on syötön automaattinen poiskytkentä. Puutteet johtuvat laitteistoa syöttävän generaattorin heikosta kyvystä syöttää jatkuvaa oikosulkuvirtaa. Nykyiset suojalaitteet on ilmeisesti valittu sillä oletuksella, että oikosulkuvirta käyttäytyisi samalla tavalla kuin yleiseen jakeluverkkoon liitetyssä laitteistossa. Tässä kohteessa täytyy syötön automaattisen poiskytkennän toiminnan varmistamiseksi tehdä lisäyksiä.

Standardi SFS 6000-4-41:2017 määrittelee kohdassa 411.4.5, että TN-järjestelmässä voidaan vikasuojaukseen käyttää vikavirtasuojia. Myös ST-kortiston ST 52.40 Siirrettävän, pienjännitteisen moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon luvussa 2.7 mainitaan vikasuojauksen toteutusvaihtoehdoksi vikavirtasuojakytkin. Kyseinen ST-kortti myös antaa lisäohjeita vikavirtasuojakytkimen valintaa koskien ja suosittelee käytettäväksi riittävän suuren toimintavirran ja viivästetyn mallin (S-tyyppi) vikavirtasuojakytkintä.

Laitteiston pääkeskukseen ehdotetaan asennettavaksi jokaista alakeskusta syöttävää kaapelia suojaamaan vikavirtasuojakytkin. Laajassa verkossa saadaan virhelaukaisujen määrää vähennettyä asentamalla useampi vikavirtasuojakytkin.

## 6.2 Oikosulkusuojaus

Myös oikosulkusuojauksen osalta havaittiin nykyisissä suojalaitteissa puutteita. Tarkasteltavalta verkon osuudelta pistorasiatolpalla tai pienellä saunalla tapahtuva yksivaiheinen oikosulku ei välttämättä kytkeydy pois nykyisillä suojalaitteilla. Kustannustehokkain ratkaisu olisi korvata näitä ryhmäjohtoja suojaavat tulppavarokkeet B-käyrän johdonsuojakatkaisijoilla. Niiden pikalaukaisu tapahtuu 5-kermaisella oikosulkuvirralla nimellisvirtaan nähden. Käytettäessä 16 ampeerin johdonsuojia, tapahtuisi poiskytkentä jo 80 ampeerin oikosulkuvirralla, joka on riittävä herkkyys tähän asennukseen. Muissa tutkituissa pisteissä alkuoikosulkuvirta on reilusti yli 250 ampeeria, joka riittää aggregaatin B50 johdonsuojakatkaisijan toimimiseen. Selektiivisyyden kannalta olisi parempi, jos muitakin nykyisiä gG-tyyppin sulakkeita vaihdettaisiin B-käyrän johdonsuojakatkaisijoihin.

## 6.3 Muita huomioita

Laitteiston nykyinen pääkeskus on vanha tulppavarokekeskus. Johdonsuojakatkaisijoiden ja vikavirtasuojakytkimien asentaminen nykyiseen keskukseen olisi erittäin työlästä, joten kustannustehokkain ratkaisu olisi uusia koko keskus. Samalla katujakokaapille lähtevä nousukaapeli voitaisiin kytkeä oman sulakelähdön taakse suojalaitteiden selektiivisyyden parantamiseksi. Nykyinen pääkeskus on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Kohteen nykyinen pääkeskus

## 7 YLEISEEN JAKELUVERKKOON LIITTYMISEN TARKASTELU

Kohteen liittyminen yleiseen jakeluverkkoon on myös mahdollista tulevaisuudessa. Mikäli liittymän oikosulkuvirta pääkeskuksella on riittävän suuri, ei ehdotetut muutokset ole tarpeellisia suojausien toteutumiseksi. Liittymäpiste nykyiseen laitteistoon on todennäköisesti rakennusten sijainnin takia joko nykyisellä pääkeskuksella tai päärakennuksessa. Tässä luvussa tarkastellaan näitä kahta vaihtoehtoa.

Kummassakin tapauksessa generaattoritallassa olevaan nykyiseen pääkeskukseen tulisi tehdä muutoksia. Katujakokaapin nousukaapeli on tällä hetkellä kytketty pääkeskuksen pääkytkimen etupuolelle. Pääkeskukseen tulisi rakentaa tälle oma, vähintään 35 ampeerin, lähtö pääkytkimen jälkeen. Tarkastelu on tehty oletuksella, että pääkeskukselta katujakokaapille lähtevää nousukaapelia suojaa 35 ampeerin gG-sulake.

### 7.1 Liittymispiste 1. Nykyinen pääkeskus

Nykyisellä verkon rakenteella oikosulkuvirran kannalta hankalin piste on ison saunan keskus. Sen nousukaapelia suojaa tällä hetkellä 25 ampeerin C-käyrän johdonsuojakatkaisija. D1-2017 käsikirjan taulukon 41.4a mukaan tämän tyyppin suojalaite vaatii 250 ampeerin laskennallisen oikosulkuvirran, jotta vikasuojaus toimisi nousujohdoille vaaditussa 5 sekunnissa. Oikosulkuimpedanssin kaava voidaan johtaa yhtälöstä 1. 250 ampeerin oikosulkuvirralla impedanssi olisi

$$Z_k = \frac{0,95 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 250 \text{ A}} = 0,878 \Omega. \quad (6)$$

Kaapeloinnin osuus impedanssista koostuu pääkeskuksen ja katujakokaapin välisestä 55 metriä pitkästä MCMK 4x16+16, sekä katujakokaapin ja ison saunan välisestä 20 metriä pitkästä MCMK 4x6+6 kaapelista. Näiden kaapeleiden lasketut resistanssi- ja reaktanssiarvot on esitetty taulukossa 6. Tämän kaapeloinnin impedanssiksi muodostuu siis

$$Z_{kaapeli} = \sqrt{(0,156 \Omega + 0,146 \Omega)^2 + (0,010 \Omega + 0,004 \Omega)^2} = 0,302 \Omega.$$

Pääkeskuksella vaadittava oikosulkuimpedanssi on näiden erotus,

$$Z_{k_{PK}} = Z_k - Z_{kaapeli} = 0,878 \Omega - 0,302 \Omega = 0,575 \Omega.$$

Liittymän oikosulkuvirran tulisi siis olla 381 ampeeria.

Ison saunan nousujohtoa suojaava C25 johdonsuojakatkaisija on tässä tapauksessa hieman huono valinta. Nousujohto lähtee katujakokaapilta, jossa on vapaana yksi kahvarokelähtö. Mikäli ison saunan nousujohto kytkettäisiin siihen, ja sulakkeeksi valittaisiin esim. gG 25 kahvasulake, putoaisi vaadittava oikosulkuvirta 110 ampeeriin. Tässä tilanteessa heikoimmaksi pisteeksi oikosulkuvirran kannalta muodostuisi pistorasiatolpan nousukaapeli.

Pistorasiatolpan nousukaapelia suojaa 16 ampeerin gG-tyypin tulppasulake. Kaapelin kulutuspäässä on pieni pistorasiakeskus, jossa on 1- ja 3-vaiheisia pistorasioita. Keskuksessa on näille pistorasioille omat tulppasulakkeensa. 3-vaiheisiä pistorasioita kuitenkin suojataan myös 16 ampeerin gG-sulakkeella. Täten vikasuojauksen tulee toimia 0,4 sekunnissa. 16 A gG-sulakkeelle vaadittu laskennallinen oikosulkuvirta on 110 ampeeria.

Jotta pistorasiatolpalle vaadittu 110 ampeerin oikosulkuvirta toteutuu, saa liittymän oikosulkuimpedanssin olla enintään 0,86 ohmia. Tämä tarkoittaa 255 ampeerin oikosulkuvirtaa.

## 7.2 Liittymispiste 2. Päärakennuksen keskus

Toinen vaihtoehto tontin liittymäpisteeksi on päärakennuksessa oleva keskus. Siinä tapauksessa oikosulkuvirran kannalta hankalin piste olisi pistorasiatolppa. Ison saunan oikosulkuvirta olisi tässä tapauksessa 258 ampeeria, mikä riittää 25

ampeerin C-käyrän johdonsuojakatkaisijan toimintavirraksi. Jotta pistorasiatolpalle saataisiin tässä tapauksessa vaadittu 110 ampeerin oikosulkuvirta, tulisi liittymän oikosulkuimpedanssin olla 0,59 ohmia, eli oikosulkuvirran 372 ampeeria.

## 8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työn aikana havaittiin, että suojalaitteiden valintaa suunniteltaessa on pienen generaattorin syöttämässä sähköasennuksessa enemmän huomioon otettavia seikkoja verrattuna asennukseen, joka on liitetty valtakunnan verkkoon. Jännitelähteen kyvyllä tuottaa oikosulkuvirtaa on suuri merkitys suojauksia suunniteltaessa. Yleisesti sähköasennusalalla työskentelevillä työ on rutiininomaista, ja täten helposti myös työssä tutkitun kohteen kaltaisissa erikoisemmissa kohteissa sovelletaan samoja määräyksiä ja ohjeita, kun valtakunnan verkkoon liitetyssä asennuksessa.

Tutkittavana olleessa laitteistossa havaittiin puutteita oikosulku- ja vikasuojauksen toteutumisessa. Puutteet pystytään korjaamaan pienillä muutostöillä, joista suunniteltu ehdotus esitettiin työn tilaajalle. Heidän selvitettäväksi jää kuitenkin ensin mahdollinen yleiseen jakeluverkkoon liittyminen, joka vaikuttaa korjaustöiden tarpeellisuuteen.

## LÄHTEET

ABB Oy, Pienjännitekojeet, Esite S200\_1FI 05\_01. Luettu 3.8.2018. [https://library.e.abb.com/pub-lic/26b7051f45e4e9ccc125707300247ed9/s200\\_1fi05\\_01.pdf](https://library.e.abb.com/pub-lic/26b7051f45e4e9ccc125707300247ed9/s200_1fi05_01.pdf)

Aura, L. & Tonteri, A. 2005. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. 3.-5. painos. Helsinki: WSOY.

D1-2017 käsikirja rakennusten sähköasennuksista, 24.painos, 2017, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Espoo: Sähköinfo Oy.

Ensto. 2009. Sulaketaulukko. Luettu 19.3.2018. [http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0705016/5hZP4C31v/Sulaketaulukko\\_0904.pdf](http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0705016/5hZP4C31v/Sulaketaulukko_0904.pdf)

Hager. 2011. Johdonsuojakatkaisijat. Luettu 19.3.2018. <https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/johdonsuojakatkaisijat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>

Harsia, P. 2008. Vikavirtasuojat. Ensto Oy. Luettu 19.3.2018. <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594518400/1210595439547.html>

Harsia, P. 2009. Sulakkeet. Ensto Oy. Luettu 19.3.2018. <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594509783/1210594789763.html>

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1.painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Korpinen, L. 1998, Sähkövoimatekniikkaopus, sähkökoneet osa 2. Luettu 7.12.2019, [http://leenakorpinen.com/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_2osa.pdf](http://leenakorpinen.com/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf)

Leroy-Somer. 2018. R250 Installation and maintenance. Luettu 19.4.2019. [https://www.leroy-somer.com/documentation\\_pdf/4067\\_en.pdf](https://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/4067_en.pdf)

Leroy-Somer. 2019. LSA 42.3 Electrical and mechanical data. Luettu 19.4.2019. [http://www.leroy-somer.com/documentation\\_pdf/4802\\_en.pdf](http://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/4802_en.pdf)

Nurmi, T. Tekninen johtaja. 2018. Haastattelu 7.3.2018. Haastattelija Kuisma, O. Puhelinhaastattelu.

SFS 6000. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osat 4-6. SFS-käsikirja 600-1-1 1. painos, Helsinki, Suomen standardoimisliitto SFS ry.

ST 52.40. Siirrettävän, pienijännitteisen moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon. Laadittu 15.11.2012, Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135



Tukes. 2019. Luettelo S10-2019. Luettu 7.12.2019. <https://tukes.fi/documents/5470659/8178747/Luettelo+S10-2019+Sähkölaitteistojen+turvallisuutta+ja+sähkötyöturvallisuutta+koskevat+standardit/aac8d149-4409-7c08-2e5b-f67c33def1b4/Luettelo+S10-2019+Sähkölaitteistojen+turvallisuutta+ja+sähkötyöturvallisuutta+koskevat+standardit.pdf>

## LIITTEET

## Liite 1. gG-sulakkeen toimintavirrat (ENSTO)

Johdon ylikuormitusuojaus			
<b>gG-sulakkeen toimintarajavirrat (SFS-EN 60269-1)</b>			
Mitoitusvirta $I_n$	Alempi toimintarajavirta	Ylempi toimintarajavirta = $I_2$	Aika
2 A ja 4 A	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1 h
6 A ja 10 A	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1 h
$13 A \leq I_n \leq 63 A$			1 h
$63 A < I_n \leq 160 A$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$160 A < I_n \leq 400 A$			3 h
$400 A < I_n$			4 h

Automaattinen poiskytkentä		
<b>gG-sulakkeen toimintavirrat automaattisen poiskytkennän vaatimilla toiminta-ajoilla</b>		
Mitoitusvirta $I_n$ (A)	Pienimmät toimintavirrat (A) Toiminta-aika $\leq 0,4$ s	Toiminta-aika $\leq 5,0$ s
2	16	9
4	32	18
6	46,5	28
10	82	46,5
16	110	65
20	145	85
25	180	110
32	270	150
35		165
40	315	190
50	470	250
63	550	320
80	840	425
100	1000	580
125	1450	715
160	1600	950
200	2100	1250
250	2800	1650
315	3700	2200
400	4800	2840
500	6400	3800
630	8500	5100

Diagram illustrating the operating time curve for a gG fuse. The y-axis represents current (Ylivirta) and the x-axis represents operating time (Toiminta-aika). The curve shows that at 1.5 times the rated current ( $1,5 I_n$ ), the fuse operates for 1 hour. At 2.1 times the rated current ( $2,1 I_n$ ), it operates for 1 hour. At 1.9 times the rated current ( $1,9 I_n$ ), it operates for 1 hour. At 1.25 times the rated current ( $1,25 I_n$ ), it operates for 2 hours. At 1.6 times the rated current ( $1,6 I_n$ ), it operates for 3 hours. At 400 A, it operates for 4 hours. The diagram also indicates that at 5 s, the fuse can handle a short-circuit current (5 s:n toiminta-aikaa vastaava oikosulkuvirta), and at 0.4 s, it can handle a short-circuit current (0,4 s:n toiminta-aikaa vastaava oikosulkuvirta).

Liite 2. Eri tyyppien vikavirtasuojien toiminta-aikoja ja –virtoja (SFS 6000-5-53:2017, liite 531A)

1 (2)

### Vikavirtasuojan toiminta sinimuotoisella vikavirralla

Vikavirtasuojan pitää toimia taulukossa 531A.2 esitetystä ajassa sinimuotoisella vikavirralla, joka on suurempi mitoitusvirran  $I_{\Delta n}$ . Sinimuotoisella vikavirralla vikavirtasuojaa ei saa toimia vikavirralla, joka on pienempi kuin puolet mitoitusvirran ajasta ( $< 0,5 I_{\Delta n}$ ).

Taulukossa 531A.2 esitetään AC, A, F ja B-tyyppisten vikavirtasuojien pisimmät toiminta-ajat ja lyhimmät ajat, joilla vikavirtasuojaa ei toimi, kun vikavirta on sinimuotoista vaihtovirtaa.

**Taulukko 531A.2 Vikavirtasuojan toiminta-ajat vikavirran ollessa sinimuotoista vaihtovirtaa (SFS-EN 61008-1: 2013 taulukko 1)**

Tyyppi	$I_n$ A	$I_{\Delta n}$ A	Vikavirtasuojien toiminta-ajat (s), kun vikavirta on sinimuotoista vaihtovirtaa						
			$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$ tai 0,25 A	5A – 200 A	500 A	
Yleinen tyyppi	Kaikki arvot	< 0,03	0,3	0,15		0,04	0,04	0,04	Maksimilaukaisuajat
		0,03	0,3	0,15		0,04	0,04	0,04	
		> 0,03	0,3	0,15	0,04		0,04	0,04	
S-tyyppi	$\geq 25$	> 0,03	0,5	0,2	0,15		0,15	0,15	Minimiajat, jolloin laite ei toimi
		> 0,03	0,13	0,06	0,05		0,04	0,04	

### Vikavirtasuojan toiminta pulssimuotoisella vikavirralla

A-, F- ja B-tyypin vikavirtasuojalla toimintavirran ollessa pulssimuotoista tasavirtaa, riippuvat toimintavirran ala- ja ylärajat viivekulmasta (testivirran kytkentähetken kulmasta  $\alpha$ ) taulukon 531A.3 mukaisesti.

**Taulukko 531A.3 Vikavirtasuojan toimintavirtojen raja-arvot pulssimuotoisella tasavirralla (SFS-EN 61008-1:2013 taulukko 20)**

Viivekulma $\alpha^\circ$	Toimintavirta (A)	
	Alempi raja-arvo	Ylempi raja-arvo
0	$0,35 I_{\Delta n}$	$1,4 I_{\Delta n}$
90	$0,25 I_{\Delta n}$	$(2 I_{\Delta n}$ kun $I_{\Delta n} < 30$ mA)
135	$0,11 I_{\Delta n}$	

(jatkuu)

## 2 (2)

Pulssimuotoisella tasavirralla toimintavirtojen vaihteluväli on varsin suuri, ja riippuu testivirran kytkentähetken viivekulmasta ( $\alpha$ ). Käytettäessä 30 mA vikavirtasuojalla pulssimuotoista puoliaaltotasasuunnattua testivirtaa esim. kulmalla  $0^\circ$ , voi laukaisuvirta vaihdella välillä 10,5 – 42 mA

Taulukossa 531A.4 esitetään A, F ja B-tyyppisten vikavirtasuojien pisimmät laukaisuajat, kun vikavirta on pulssimuotoista tasavirtaa.

**Taulukko 531A.4 Vikavirtasuojan toiminta-ajat vikavirran ollessa pulssimuotoista tasavirtaa (SFS-EN 61008-1: 2013 taulukko 2)**

Tyyppi	$I_n$ A	$I_{\Delta n}$ A	Vikavirtasuojien maksimitoiminta-ajat (s), kun vikavirta on pulssimuotoista tasavirtaa.							
			$1,4 I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$2,8 I_{\Delta n}$	$4 I_{\Delta n}$	$7 I_{\Delta n}$	0,35 A	0,5A	350 A
Yleinen tyyppi	Kaikki arvot	< 0,03		0,3		0,04			0,04	0,04
		0,03	0,3		0,15			0,04		0,04
		>0,03	0,3		0,15		0,04			0,04
S-tyyppi	$\geq 25$	> 0,03	0,5		0,2		0,15			0,15

## Liite 3. FG Wilson P27P2 dieselaggregaatin datalehti

1 (7)



# FG WILSON ALTERNATOR

ELECTRICAL DATA - 3PH						FRAME LL 1014 Q								
Rev3 - 16 March 1999						Ref : T20W599								
<b>COMMON DATA</b>														
Insulation class	H					Excitation system	SHUNT							
Winding pitch - Code	2/3 -( N°6 )					A.V.R.model	R230/A							
Terminals	12 Wires					Voltage regulation ( steady state)	± 0,5%							
Drip proof	IP 23					Total harmonic content LL/LN	< 4%							
Altitude	<= 1000m					Wave form : NEMA = TIF	< 50							
Overspeed	2250 rpm					Wave form : I.E.C. = THF	< 2%							
Air flow 50/60 Hz	0,15 m³/s / 0,18 m³/s													
<b>RATING AT 0,8 PF</b>														
Frequency / Speed	50 Hz / 1500 rpm					60 Hz / 1800 rpm								
Line to line	Y	V	380	400	415	440	1	380	400	416	440	460	480	
Voltages	Δ	V	220	230	240	254		220	230	240				
	YY	V		200	208	220			200	208	220	230	240	
Base Ratings	BR	kVA	27,0	27,0	27,0	24,5		30	30	30	30	30	30	
		kW	21,6	21,6	21,6	19,6		24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	
Peak Ratings	PR	kVA	30,0	30,0	30,0	28,5		33,75	33,75	33,75	33,75	33,75	33,75	
		kW	24,0	24,0	24,0	22,8		27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	
Efficiencies	BR	%	88,6	88,8	88,8	88,6		88,5	89,0	89,4	89,7	89,9	90,0	
		PR	%	88,0	88,4	88,4	88,3		87,8	88,4	88,8	89,3	89,6	89,7
Heat rejection	BR	W	2779	2721	2719	2511		3113	2953	2853	2746	2695	2681	
		PR	W	3258	3165	3144	3016		3746	3530	3391	3235	3150	3110
Excitation voltage	NL	V	12,5	13,9	15,2	18,0		9,5	10,2	10,7	11,7	12,7	13,8	
	BR	V	38,4	38,8	39,7	39,7		36,8	35,9	35,4	35,0	35,0	35,4	
		PR	V	42,1	42,4	43,3	44,3		41,0	39,9	39,2	38,6	38,5	38,8
Excitation current	NL	A	0,49	0,54	0,59	0,70		0,37	0,40	0,42	0,46	0,50	0,54	
	BR	A	1,50	1,52	1,55	1,55		1,44	1,40	1,38	1,37	1,37	1,38	
		PR	A	1,65	1,66	1,69	1,73		1,60	1,56	1,53	1,51	1,50	1,51
Short circuit ratio	Kcc	p.u.	0,52	0,60	0,68	0,94		0,36	0,40	0,44	0,51	0,58	0,65	
	Xd	p.u.	2,19	1,97	1,83	1,48		2,92	2,63	2,43	2,17	1,99	1,83	
	X'd	p.u.	0,12	0,11	0,10	0,08		0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	
	Saturated reactances	X"d	p.u.	0,060	0,055	0,051	0,041		0,081	0,073	0,067	0,060	0,055	0,050
		Xq	p.u.	1,09	0,99	0,92	0,74		1,46	1,32	1,22	1,09	0,99	0,91
	X"q	p.u.	0,085	0,077	0,071	0,058		0,113	0,102	0,095	0,085	0,077	0,071	
	X2	p.u.	0,073	0,066	0,061	0,049		0,097	0,088	0,081	0,072	0,066	0,061	
	Xo	p.u.	0,005	0,005	0,005	0,005		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
Reactances and short circuit ratio are given for Base Ratings														
1 : No overvoltage tolerance for 440V 50HZ														
<b>COMMON DATA</b>														
Time constant	T'd	ms	25				Stator Line to Line - Y series		Ω	0,416				
	T" d	ms	3				Resistance	Main field	Ω	3,35				
	T'do	ms	452					20°C	Exciter field	Ω	25,6			
		Ta	ms	4										
Voltage recovery time	Tr	ms <	500											

According to: I.E.C. 34.1/34.2 - U.T.E. : NF C 51.111 - V.D.E. 0530 - B.S. 4999 & 5000 - NEMA : MG 1 - 22  
The values indicated are typical values.

This range of alternators is supplied by F.G. WILSON.  
In line with our policy of continuous product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.

(jatkuu)



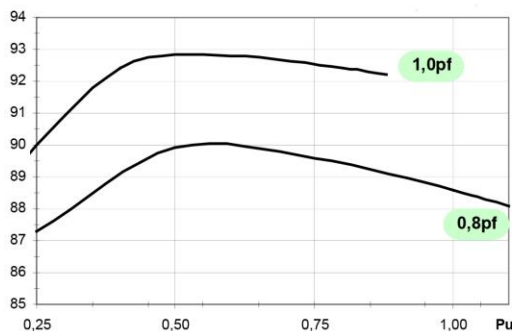
# FG WILSON ALTERNATOR

## ELECTRICAL DATA - 3PH FRAME LL 1014 Q

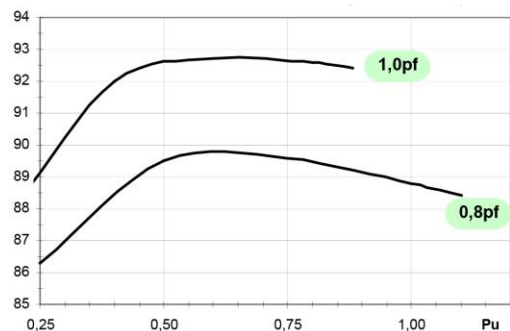
Rev3 - 16 March 1999 Ref : T20W600/A

### EFFICIENCY CURVES 50Hz

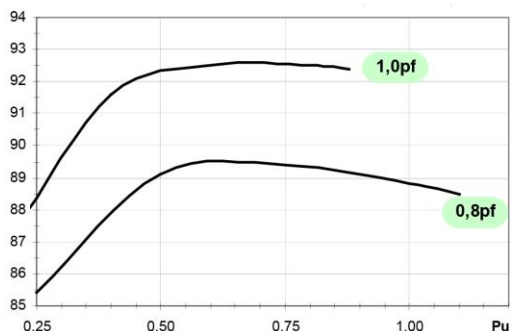
27,0 kVA 380 V



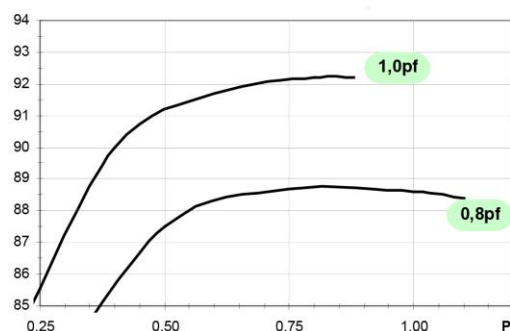
27,0 kVA 400 V



27,0 kVA 415 V



24,5 kVA 440 V



According to: I.E.C. 34.1/34.2 - U.T.E. : NF C 51.111 - V.D.E. 0530 - B.S. 4999 & 5000 - NEMA : MG 1 - 22  
The values indicated are typical values.

This range of alternators is supplied by F.G. WILSON.  
In line with our policy of continuous product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.



# FG WILSON ALTERNATOR

## ELECTRICAL DATA - 3PH

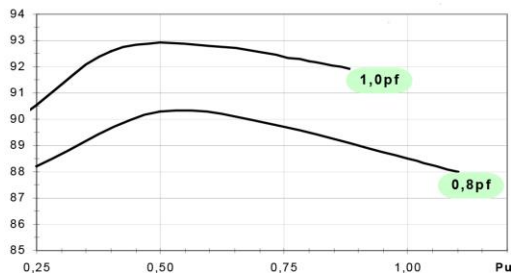
## FRAME LL 1014 Q

Rev3 - 16 March 1999

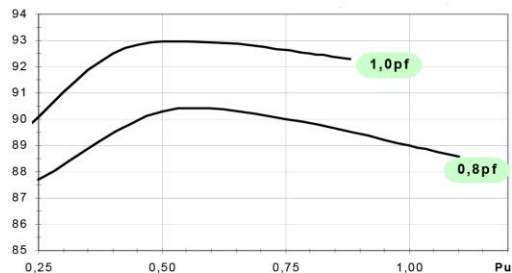
Ref :T20W600/B

### EFFICIENCY CURVES 60Hz

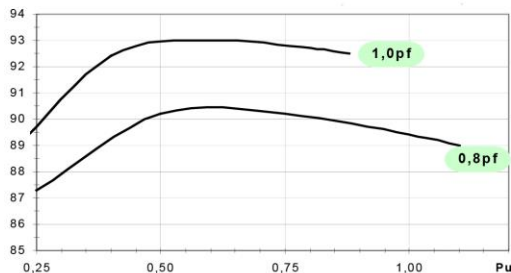
30,0 kVA 380 V



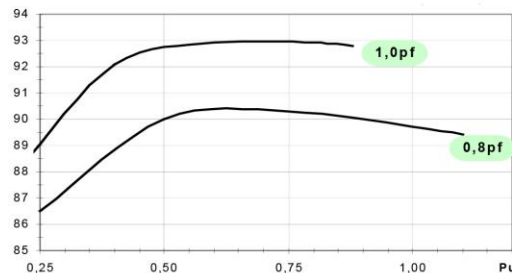
30,0 kVA 400 V



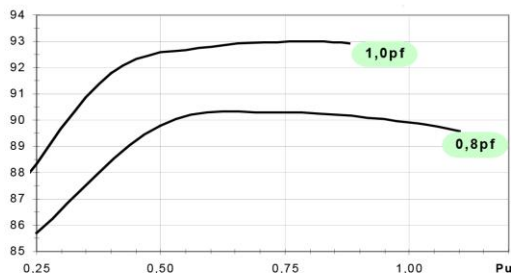
30,0 kVA 416 V



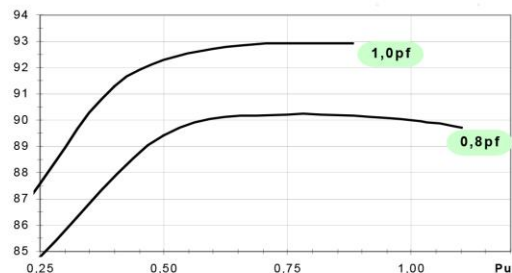
30,0 kVA 440 V



30,0 kVA 460 V



30,0 kVA 480 V



According to: I.E.C. 34.1/34.2 - U.T.E. : NF C 51.111 - V.D.E. 0530 - B.S. 4999 & 5000 - NEMA : MG 1 - 22  
The values indicated are typical values.

This range of alternators is supplied by F.G. WILSON.

In line with our policy of continuous product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.



# FG WILSON ALTERNATOR

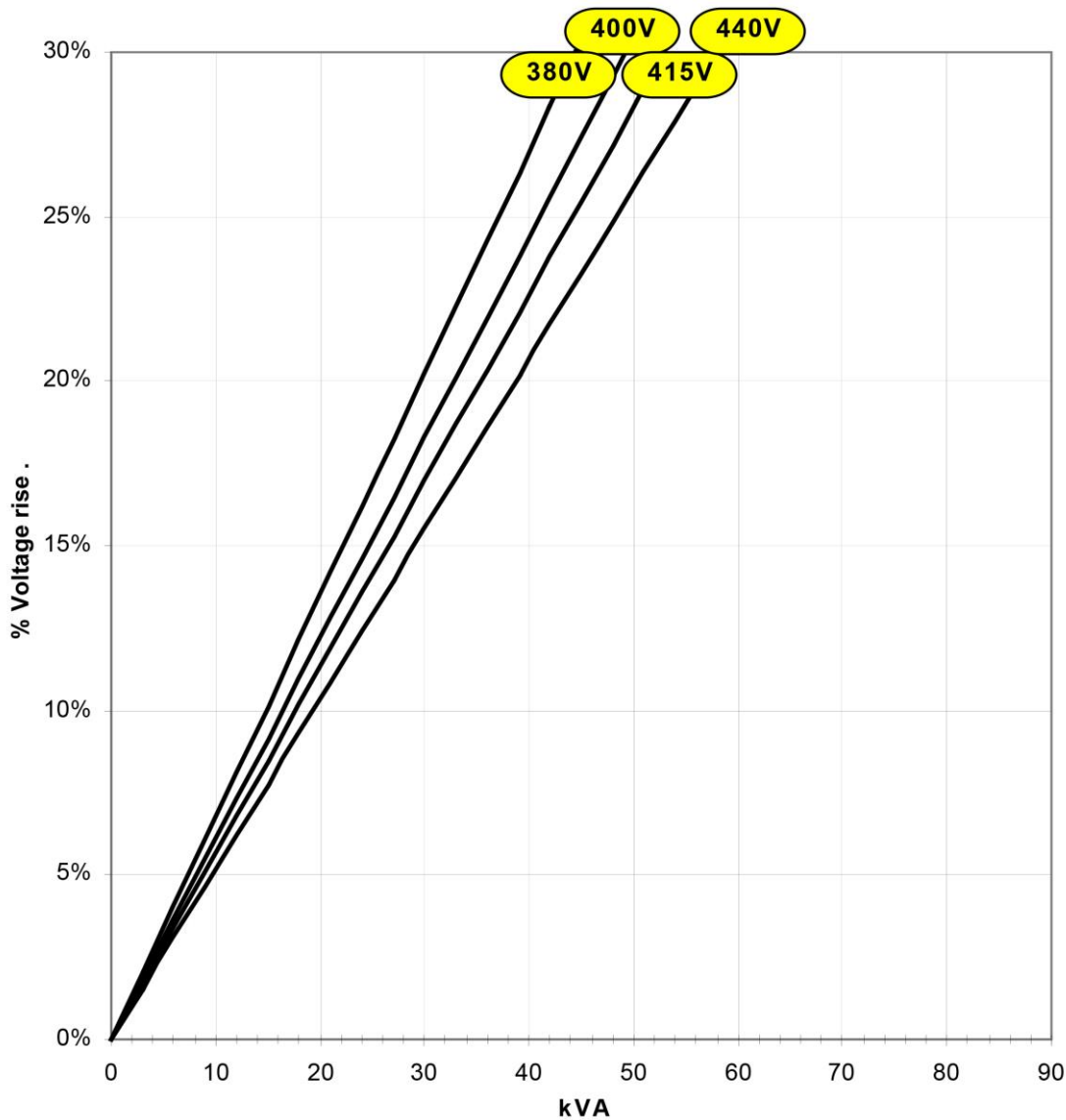
**ELECTRICAL DATA - 3PH**

**FRAME LL 1014 Q**

Rev3 - 16 March 1999

Ref : T20W602/A

**VOLTAGE RISE CURVES 50Hz** at 0,8 power factor



According to: I.E.C. 34.1/34.2 - U.T.E. : NF C 51.111 - V.D.E. 0530 - B.S. 4999 & 5000 - NEMA : MG 1 - 22  
The values indicated are typical values.

This range of alternators is supplied by F.G. WILSON.

In line with our policy of continuous product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.



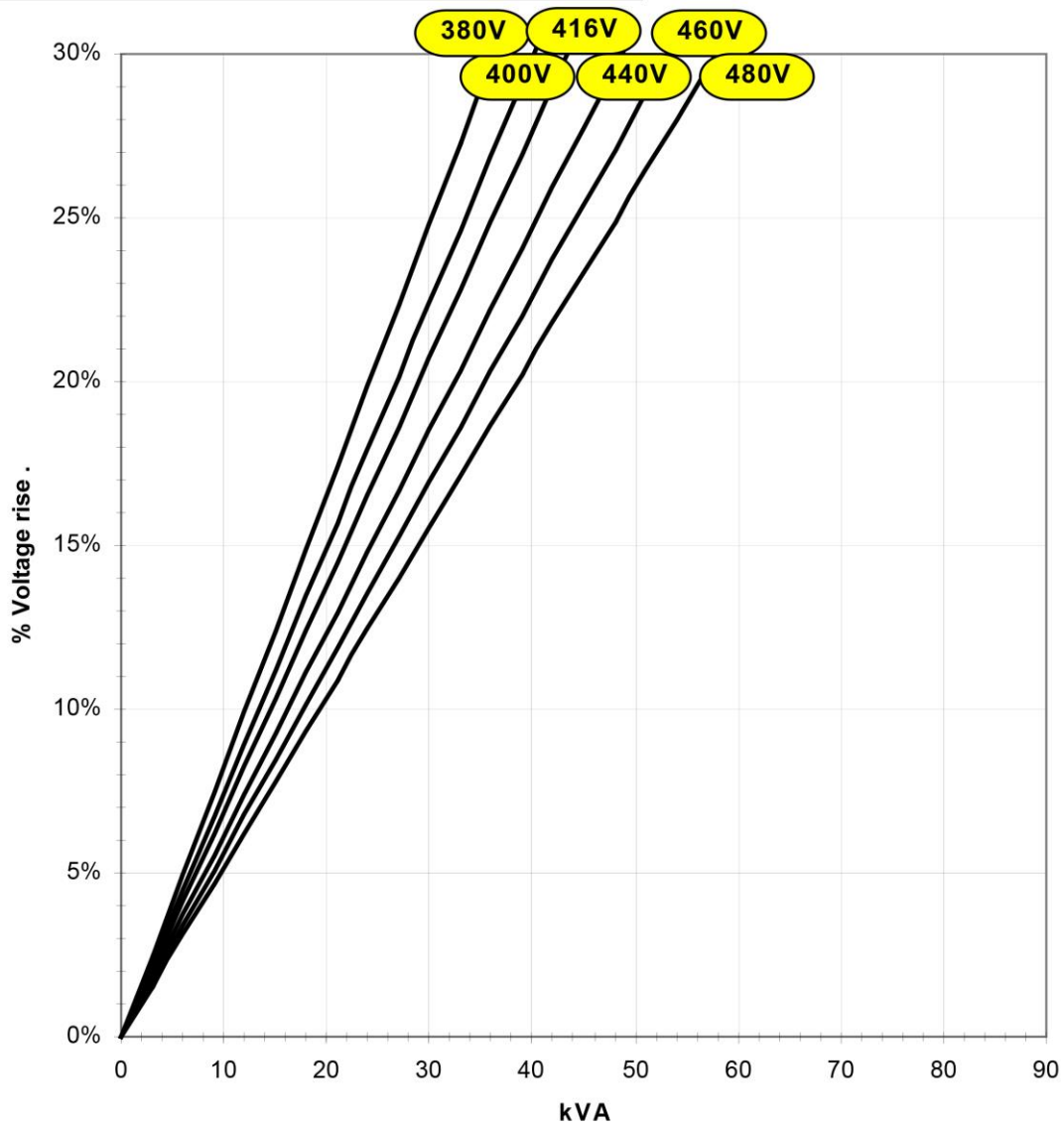


# FG WILSON ALTERNATOR

**ELECTRICAL DATA - 3PH**      **FRAME LL 1014 Q**

Rev3 - 16 March 1999 Ref : T20W602/B

**VOLTAGE RISE CURVES 60Hz** at 0,8 power factor



According to: I.E.C. 34.1/34.2 - U.T.E. : NF C 51.111 - V.D.E. 0530 - B.S. 4999 & 5000 - NEMA : MG 1 - 22  
The values indicated are typical values.

This range of alternators is supplied by F.G. WILSON.  
In line with our policy of continuous product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.



# FG WILSON ALTERNATOR

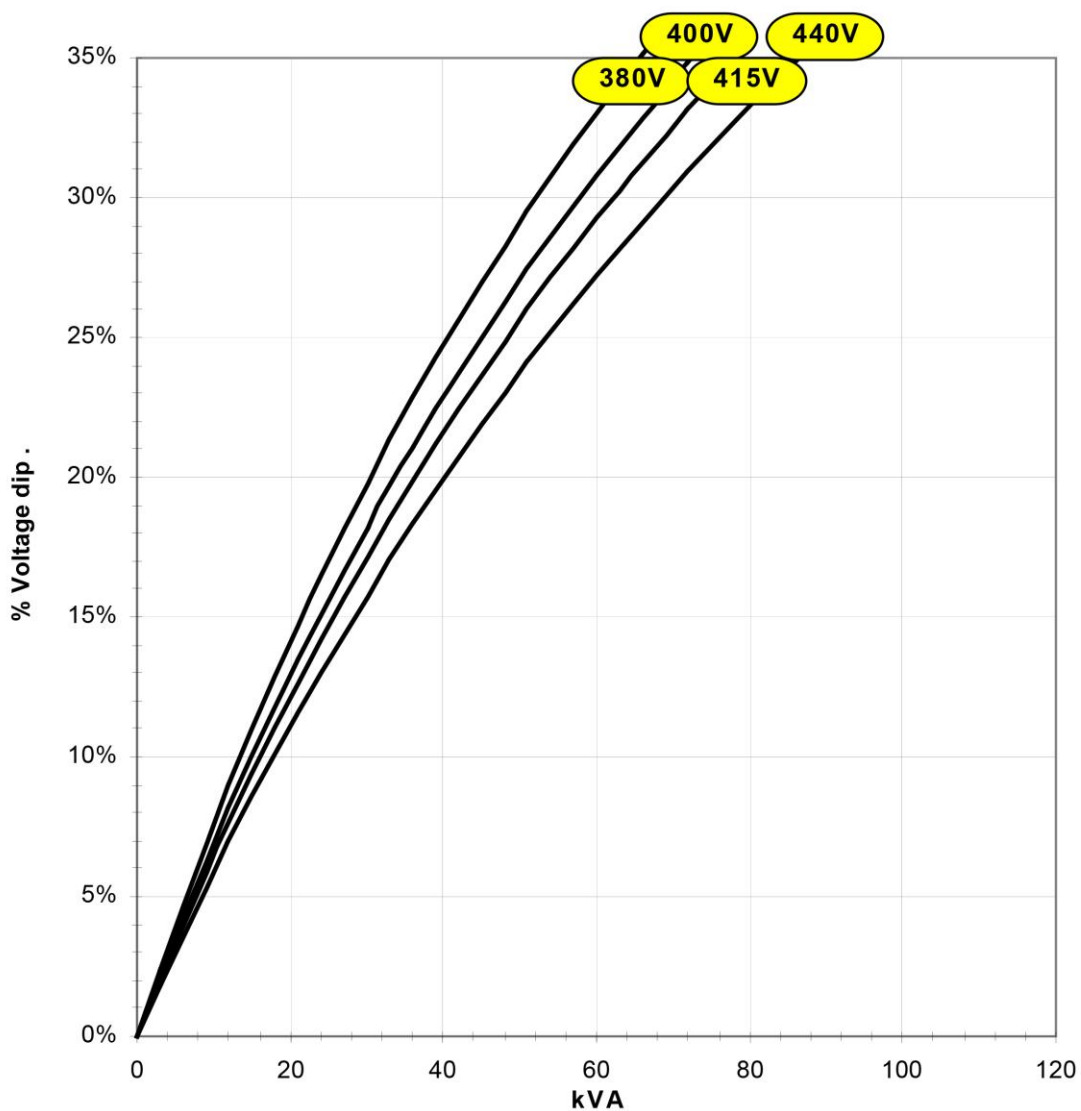
**ELECTRICAL DATA - 3PH**

**FRAME LL 1014 Q**

Rev3 - 16 March 1999

Ref : T20W603/A

**LOCKED ROTOR MOTOR STARTING CURVES 50Hz at 0,6 power factor**



According to: I.E.C. 34.1/34.2 - U.T.E. : NF C 51.111 - V.D.E. 0530 - B.S. 4999 & 5000 - NEMA : MG 1 - 22  
The values indicated are typical values.

This range of alternators is supplied by F.G. WILSON.

In line with our policy of continuous product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.



# FG WILSON ALTERNATOR

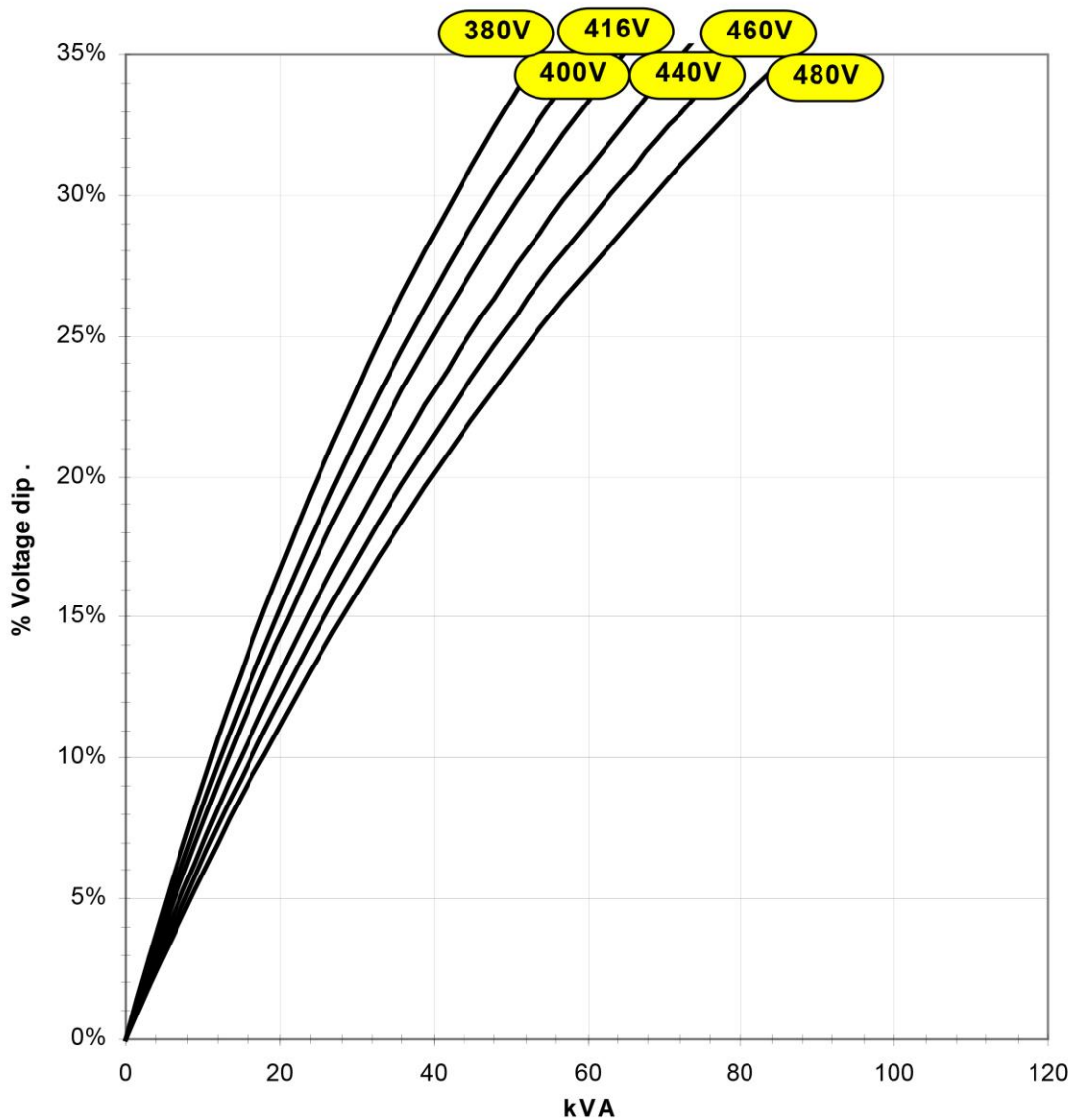
**ELECTRICAL DATA - 3PH**

**FRAME LL 1014 Q**

Rev3 - 16 March 1999

Ref : T20W603/B

**LOCKED ROTOR MOTOR STARTING CURVES 60Hz at 0,6 power factor**



According to: I.E.C. 34.1/34.2 - U.T.E. : NF C 51.111 - V.D.E. 0530 - B.S. 4999 & 5000 - NEMA : MG 1 - 22  
The values indicated are typical values.

This range of alternators is supplied by F.G. WILSON.

In line with our policy of continuous product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.

## Liite 4. Mittauspöytäkirja

Pääkeskus		
L1	1,64 kA	0,14 $\Omega$
L2	767 A	0,3 $\Omega$
L3	1,15 kA	0,2 $\Omega$
Katujakokaappi		
L1	885 A	0,26 $\Omega$
L2	511 A	0,45 $\Omega$
L3	1,35 kA	0,17 $\Omega$
Sauna (iso)		
L1	434 A	0,33 $\Omega$
L2	426 A	0,54 $\Omega$
L3	411 A	0,56 $\Omega$
Pikkusauna		
	230 A	1 $\Omega$
PR Keskus		
L1	183 A	1,26 $\Omega$
L2	206 A	1,1 $\Omega$
L3	228 A	1,01 $\Omega$
Ampumarata RK		
L1	371 A	0,62 $\Omega$
L2	442 A	0,52 $\Omega$
L3	434 A	0,53 $\Omega$
Päärakennus		
L1	426 A	0,54 $\Omega$
L2	307 A	0,75 $\Omega$
L3	885 A	0,26 $\Omega$