

Santeri Nurmi

**SARJAKOMPENSOINTIPARISTON
SUOJAUS- JA
OHJAUSJÄRJESTELMÄN
ELINKAAREN HALLINTA**

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Santeri Nurmi
Työn nimi	Sarjakompensointipariston suojaus- ja ohjausjärjestelmän elinkaaren hallinta
Toimeksiantaja	Siemens Energy Oy
Vuosi	2024
Sivut	50 sivua, liitteitä 4 sivua
Työn ohjaajat	Kalle Pesonen, Riku Naukkarinen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tiettyjen Siemens Energy Oy:n toimittamien sarjakompensointiparistojen suojaus- ja ohjausjärjestelmän elinkaarentila sekä tutkia keinoja elinkaaren pidentämiseksi. Sarjakompensointiparisto on sähköverkkoon kytkettävä laitteisto, jolla pyritään parantamaan linjan tehonsiirtokapasiteettia ja verkon stabiiliutta.

Työssä perehdyttiin suojaus- ja ohjausjärjestelmän komponenttien elinkaarenvaiheeseen valmistajien ilmoittamien tietojen pohjalta. Komponenteista selvitettiin toimintavarmuuden kannalta merkittävät tunnusluvut. Asiantuntijahaastatteluilla kartoitettiin laitteiston haltijan toimia laitteiston elinkaaren ylläpitämiseen ja pidentämiseen varautumiseen. Uuden sukupolven sarjakompensointiparistojen suunnitelmien pohjalta selvitettiin, miten nykyisiä suojaus- ja ohjausjärjestelmiä voisi kehittää.

Valtaosa tarkastelluista komponenteista on elinkaarensa loppupuolella valmistajan näkökulmasta. Merkittävimmät elinkaarensa loppupuolella olevat komponentit voidaan jakaa neljään kategoriaan: TDC-järjestelmä, Simatic S7 -automaatiojärjestelmä, laserkommunikointijärjestelmä sekä kaukokäytön alaseaman protokollamuunnin ja häiriötallennin.

Tutkimuksen tulosten perusteella perehdyttiin järjestelmän merkittävimpiin haavoittuvuuksiin, ja työssä esitellään keinoja, miten suojaus- ja ohjausjärjestelmää voitaisiin kehittää haavoittuvuuksien vaikutusten minimoimiseksi. Lisäksi tarkastellaan keinoja kyberuhkilta suojautumiseen aiheen ajankohtaisuuden vuoksi. Mahdollisuutta pidentää protokollamuuntimen elinkaarta siirtämällä toiminnot virtuaalikoneelle on laajennettu yleisluontoiseksi ohjeeksi, jotta sitä voidaan mahdollisesti soveltaa myös muihin sarjakompensointiasemalla oleviin tietokoneisiin.

Asiasanat: kompensointi, sarjakondensaattori, elinkaarianalyysi, sähkönsiirto

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Santeri Nurmi
Thesis title	Fixed Series Capacitor Control and Protection System's Lifecycle Management
Commissioned by	Siemens Energy Oy
Time	2024
Pages	50 pages, 4 pages of appendices
Supervisors	Kalle Pesonen, Riku Naukkarinen

ABSTRACT

The aim of this thesis was to determine the lifecycle status of the protection and control systems of certain fixed series capacitors supplied by Siemens Energy Oy. Ways to extend lifecycle were also investigated. A fixed series capacitor is a system connected to the electrical grid which improves the power transmission capacity and network stability.

The lifecycle phase of the components in the protection and control system was studied based on the information provided by the manufacturers. The key performance indicators of the components were identified in terms of operational reliability. Expert interviews were conducted to map out the fixed series capacitor owner's actions to maintain and extend the lifecycle of the equipment. Based on the plans for future-built systems, it was investigated how current protection and control systems could be developed.

Most of the examined components are in the latter part of their lifecycle from the manufacturer's perspective. The most significant components at the end of their lifecycle can be divided into four categories: TDC system, Simatic S7 automation system, laser communication, and industry computers used as the substation's remote-control protocol converter and the fault recorder.

Based on the results of the study, the main vulnerabilities of the system were identified, and the paper presents ways to minimize the impact of the vulnerabilities. Furthermore, ways to protect the system against cyber threats were also examined due to the current relevance of the subject. Extending the life cycle of the protocol converter by transferring functions to a virtual machine has been expanded into a general guideline so that it can be applied to other computers on the serial compensation station as well.

Keywords: compensation, serial capacitor, life cycle analysis, transmission of electrical energy

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TOIMEKSIANTAJAESITTELY.....	7
3	KOMPENSOINNIN TEORIA.....	8
3.1	Tehonsiirron perustaa.....	8
3.2	Kompensoinnin keinot.....	11
3.2.1	Rinnakkaiskompensointi.....	11
3.2.2	Kompensointi reaktoreilla.....	12
3.2.3	Tasasähköyhteydet.....	13
3.3	Sarjakompensointi.....	13
3.4	Kompensointikerroin sarjakompensoinnissa.....	14
3.5	Vikatilanteet ja niiltä suojautuminen.....	16
3.6	Sarjakompensointipariston rakenne ja komponenttien toiminta.....	17
3.6.1	Kondensaattorit.....	20
3.6.2	Ohituskatkaisija.....	20
3.6.3	MOV – Metallioksidivaristori.....	20
3.6.4	Kipinäväli.....	22
3.6.5	Vaimennuspiiri.....	22
3.6.6	Suojaus- ja ohjausjärjestelmän yleiskuvaus ja toimintaperiaate.....	22
4	ELINKAAREN VAIHEEN SELVITTÄMISEN METODIT.....	24
5	SUOJAUS- JA OHJAUSJÄRJESTELMÄN ELINKAAREN TILA.....	27
6	TOIMET ELINKAAREN PIDENTÄMISEKSI.....	32
6.1	Tulevaisuuden suojaus- ja ohjausjärjestelmä.....	33
6.1.1	Olemassa olevan järjestelmän laserit elinkaarensa päässä.....	33
6.2	Simatic S7 phase-out-vaikutukset.....	34
6.3	Tietokoneiden siirto virtuaalikoneille.....	35
6.4	Kybertoimintaympäristön huomioiminen sarjakompensointiparistossa.....	37
6.4.1	Kyberturvallisuuden parantaminen sarjakompensointiparistoissa.....	39

7	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET	
	Liite 1. Käsiteltyjen komponenttien nimitykset	
	Liite 2. Suojaus- ja ohjausjärjestelmän elinkaariselvityksen tulokset	

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on selvittää sarjakompensointipariston suojaus- ja ohjausjärjestelmän elinkaaren tila. Elinkaaren tilan pohjalta luodaan katsaus elinkaaren pidentämisen tarpeeseen ja keinoihin.

Suojaus- ja ohjausjärjestelmän teknologiat kehittyvät alati, kun taas muut järjestelmän laitteet ovat pysyneet kohtuullisen muuttumattomina ja ovat perin toimintavarmoja, näin ollen työ rajautuu käsittelemään suojaus- ja ohjausjärjestelmää. Suojaus- ja ohjausjärjestelmän toimintojen ymmärtäminen ja analysointi edellyttävät pariston toiminnan hahmottamista kokonaisuutena.

Työ pyrkii vastaamaan laitevalmistajan kunnossapitosopimusten kanssa kohdattuihin tai ennustettaviin käytännön toteutuksen haasteisiin. Laitteistotuntemuksen kehittäminen sekä kokoaminen nykyistä yhtenäisemmäksi kokonaisuudeksi mahdollistaa tehokkaan, oikea-aikaisen ja tarkoituksenmukaisimman kunnossapidon järjestämisen.

Energia-alan muuttuessa ennennäkemättömällä tavalla uusien energiamuotojen sekä sähkönkulutuksen lisääntyessä syntyy tarve vahvistaa kantaverkkoa [1, s.5]. Kantaverkkoa voidaan vahvistaa joko rakentamalla uusia linjayhteyksiä tai parantamalla nykyisien linjojen siirtokapasiteettia [1, s.98, 23]. Sarjakompensointi on yksi mahdollinen tapa parantaa siirtolinjan kapasiteettia, sen avulla voidaan kustannustehokkaasti parantaa johdon siirtokapasiteettia. Sarjakompensointilaitteilla saadaan kumottua osa induktiivisesta reaktanssista johdossa. Kompensoinnilla voidaan parantaa johdon jännitteenalenemaa ja sillä saadaan myös kuoletettua sähköntuotantolaitosten tehonvaihtelun vaikutuksia. [1, s.123.] Ennakoiva kunnossapito ja laitteistotuntemus ovat merkittäviä tekijöitä sähköverkon tehonsiirtovarmuuden parantamisessa sekä käyttökatojen minimoimisessa. Tämän työn pohjalta on mahdollista luoda uusia keinoja ennakoivan kunnossapidon toimien ja laitteistotuntemuksen parantamiseksi sarjakompensointiparistojen osalta.

Tässä työssä elinkaaren vaiheella tarkoitetaan valmistajan näkökulmaa ja elinkaaren tilalla komponentin tai laitteiston todellista elinkaarentilaa.

2 TOIMEKSIANTAJAESITTELY

Siemens Energy on yksi maailman johtavista energiasektorin toimijoista [2]. Yritys suunnittelee, valmistaa, rakentaa ja ylläpitää laajasti energian tuotantoon ja siirtämiseen liittyviä ratkaisuja maailmanlaajuisesti. Jopa kuudesosa maailman energiantuotannosta perustuu Siemens Energyn teknologioihin. Siemens Energy haluaa olla eturintamassa kehittämässä entistä ympäristöystävällisempää ja hiilineutraalimpaa energiakenttää. Yrityksen toiminta on jaettu neljään päätoimialaan, jotka ovat Gas Services, Grid Technologies, Transformation of Industry ja Siemens Gamesa Renewable Energy. [3.]

Siemens Gamesa renewable energy on Siemens Energyn vuonna 2022 kokonaisuudessaan ostama uusiutuviin energiaratkaisuihin, erityisesti tuulivoimateknologiaan erikoistunut yhtiö [4]. Siemens Gamesa syntyi 2017 Siemens Wind Powerin ja Gamesa Oy:n yhdistyessä yhdeksi itsenäiseksi yhtiöksi [5].

Siemens Energy AG työllisti 97 000 työntekijää yli 90 eri maassa vuonna 2023. Sen myynti vuonna 2023 oli 50,4 miljardia euroa. Yritys investoi tutkimukseen ja tuotekehitykseen vuosittain noin miljardi euroa [2.] Suomen maa-yhtiö Siemens Energy Oy työllistää yli 90 työntekijää, ja yhtiö toimii Suomessa ja Baltiassa. Suomessa toimipisteitä on Espoossa ja Seinäjoella. Siemens Energy Oy:n liikevaihto vuonna 2023 oli 81,2 miljoonaa euroa. [6.]

Tämä opinnäytetyön toimeksiantaja on Siemens Energy Oy:n Service-liiketoimintayksikkö. Liiketoimintayksikkö toimii Grid Technologies -toimialan alla. Yksikön tehtäviin kuuluvat asiakaspalvelu, takuuasiat, kunnossapidon suunnittelu ja toteutus, järjestelmien elinkaarenhallinta, palvelusopimukset, vianselvitys ja -korjaus, varaosat sekä laajennukset [7, s.2].

Vuonna 1847 saksalainen Werner von Siemens perusti lennättimiä rakentaneen yhtiön Telegraphen-Bauanstalt von Siemens & Halske. Tämän yhtiön perustamista voidaan pitää saksalaisen teknologiajätti Siemensin tarinan alkupisteenä. [8.] Siemens on ollut mukana kehittämässä uusia energian tuotanto- ja siirtoratkaisuja aina vuodesta 1866 lähtien, jolloin Werner von Siemens kehitti dynamon [9, s.40].

Siemens Energy perustettiin vuonna 2020 Siemens Osakeyhtiön ”Gas and Power” -liiketoimintayksikön erkaantuessa omaksi yhtiökseen. Siemens pyrki päätöksellä rajaamaan omaa toimintaansa kohdennetummaksi, jolloin toiminta on kustannustehokkaampaa ja joustavampaa. ”Gas and power” -liiketoimintayksikön erillisen johdon katsottiin mahdollistavan paremmat edellytykset toiminnan kehittämiseksi ja tuottavammalle liiketoiminnalle. Siemens Osakeyhtiö säilyi merkittävänä osakkeenomistajana kuitenkin ilman osake-enemmistöä. [10.] Siemens Energy -nimi valittiin työntekijöiden ehdotusten perusteella [11]. Yhtiö nauttii edelleen vahvasta Siemens-brändistä jo nimensä avulla. Siemens Energy onkin yksi kahdeksasta Suomessa toimivasta Siemens-yhtiöstä. Suomessa toimivat Siemens-yhtiöt ovat Siemens Osakeyhtiö, Siemens Energy, Siemens Financial Services, Siemens Healthineers, Siemens Industry Software, Siemens Mobility sekä Siemensin tytäryhtiö VIBECO (Virtual Buildings Ecosystem Oy). [12.]

3 KOMPENSOINNIN TEORIA

Tässä luvussa käsitellään tarvittava määrä sähkönsiirron teoriaa, jotta voidaan ymmärtää tarve kompensoinnille sähköverkossa. Lisäksi esitellään yleisimpiä käytössä olevia keinoja loistehon kompensointiin. Lopuksi perehdytään syvällisemmin sarjakompensoinnin teoriaan ja käytännön toteutukseen paristo- ja toimilaittekohtaisesti. Sarjakompensointipariston suojaus- ja ohjausjärjestelmästä on esitetty yleiset toimintaperiaatteet sekä niiden sovellus tutkimuksen kohteena olleista laitteistoista.

3.1 Tehonsiirron perustaa

Sähköverkon tehtävä on yhdistää sähköntuotanto ja -kulutus. Verkkoa suunniteltaessa on pyrittävä kustannustehokkuuteen, sähkönsiirron ja -jakelun luotettavuuteen, turvallisuuteen sekä siihen, etteivät sähkönsiirto ja -jakelu kuormita kohtuuttomasti ympäristöä. Nämä tavoitteet edellyttävät käytetyiltä komponenteilta pitkäikäisyyttä ja luotettavuutta verkossa esiintyvistä mekaanisista ja sähköisistä rasituksista huolimatta. Yleisimpiin vikatilanteisiin on varauduttava niin, ettei sähköntoimitukseen tule keskeytyksiä. Muihin vikoihin reagoimisen tulee olla suunnitelmallista ja tehokasta. Häviöiden minimoiminen on merkittävä osa edellä mainittuihin tavoitteisiin pääsemistä. [13, s. 73; 14, s. 54–55.]

Linjahäviöt koostuvat pätö- ja loistehohäviöistä. Johdon resistanssi aiheuttaa pätötehohäviöitä ja johdon induktiivinen reaktanssi loistehohäviöitä. Pienjännitejohdon ($U \leq 1 \text{ kV}$) tapauksessa voidaan johdon olettaa olevan pelkästään resistiivinen. Suurilla jännitteillä ($U \geq 110 \text{ kV}$) puolestaan johdosta ottaa huomioon reaktanssi resistanssin sijasta. Tähän väliin jäävillä jännitetasoilla molemmat sekä resistanssi että reaktanssi ovat yhtä merkittäviä, ja ne on molemmat huomioitava. [13, s. 90–91; 15, s. 218–219.]

Tehon siirtyminen siirtojohdolla on riippuvainen johdon päiden jännitteiden itseisarvoista, jännitteiden välisestä kulmaerosta ja johdon reaktanssista. Tämä on johdettavissa niin sanotusta tehokulmayhtälöstä, kaavassa 1. [15, s. 220.]

$$P = \frac{U_1 U_2}{X_L} \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (1)$$

jossa	P	pätöteho	[W]
	U_1	johdon alkupään jännite	[V]
	U_2	johdon loppupään jännite	[V]
	X_L	johdon induktiivinen reaktanssi	[Ω]
	δ_1	johdon alkupään jännitteen kulma	[$^\circ$]
	δ_2	johdon loppupään jännitteen kulma	[$^\circ$]

Puolestaan jos johdonpäiden välillä ei ole jännitteiden kulmaeroa, siirtyy linjassa vain loistehoa. Johdon kuluttaman loistehon määrä saadaan kaavasta 2. [13, s. 92–93; 14, s. 218–221.]

$$Q = \frac{U_1^2}{X_L} + \frac{U_2^2}{X_L} - \frac{2U_1 U_2 \cos \delta}{X_L} \quad (2)$$

jossa	Q	loisteho	[var]
	U_1	johdon alkupään jännite	[V]
	U_2	johdon loppupään jännite	[V]
	X_L	johdon induktiivinen reaktanssi	[Ω]
	δ	kulmaero	[$^\circ$]

Teoreettisesti suurin teho saadaan kulmaeron ollessa 90 astetta. Loistehon määrä tulisi tällöin olla lähes kaksinkertainen pätötehon määrään verrattuna. Yhdistämällä kaavat 1 ja 2 on saatu johdettua, että käytännössä suurin teho saavutetaan kulmaeron ollessa noin 30°. Tällöin kulutettu loisteho on noin puolet siirretystä pätötehosta. Kulmaeron on myös pysyttävä alle 90 asteen jatkuvassa käytössä, jotta verkon kulmastabiilius säilytetään. Muutostiloissa kulma voi käydä raja-arvon yläpuolella ilman, että stabiilius menetetään.

Kaavan 1 yhteydessä todettiin kulmataajuuksien eron synnyttävän pätötehon siirtymistä suurjänniteverkossa. Taajuudenmuutokset ovat vahvassa yhteydessä vaihekulman muutokseen. Tätä suhdetta havainnollistetaan kaavassa 3. Pätötehon ja taajuuden säädön voidaankin nähdä olevan vahvasti sidoksissa toisiinsa. Taajuuden ja pätötehon muutoksiin liittyvät vaikutukset jännitteeseen pysyvät yleensä hyvin pieninä, jolloin niitä käsitellään jännitteensäädöstä erillisenä. Loistehon tasapainon muutokset näyttäytyvät jännitteen muutoksina. Loistehotasapainon hallinta onkin siis merkittävä tekijä verkon jännitestabiiliuden ylläpitämisessä. [13, s.107; 14, s.246.]

$$\omega = \frac{d\delta}{dt} \quad (3)$$

jossa	ω	kulmataajuus	[rad/s]
	$d\delta$	vaihekulman muutos	[°]
	dt	ajan muutos	[s]

Vaihtosähköyhteyksissä pätötehon siirtokapasiteetti pienenee likimain johdon tuottaman induktiivisen reaktanssin kasvaessa kaavan 4 osoittamalla tavalla. Kaava on yksinkertaistus ilmiön havainnollistamiseksi, joten kaavan tulokset ovat suuntaa antavia. Johdon tuottama induktiivinen reaktanssi kasvaa johdon pituuden kasvamisen myötä, joten se voidaan mieltää etäisyytenä eli vaihtosähköyhteyden kustannustehokkuus pienenee etäisyyden kasvaessa. [14, s. 301.]

$$P \sim \frac{1}{X_L} \quad \text{eli} \quad P \sim 1/\text{etäisyys} \quad (4)$$

jossa	P	pätöteho	[W]
	X_L	johdon induktiivinen reaktanssi	[Ω]

3.2 Kompensoinnin keinot

Kompensoinnilla pyritään optimoimaan verkon merkittävien parametrien tasapainoa vaikuttamalla verkossa esiintyvän loistehon määrään. Pätötehonsiirtokapasiteettia pyritään parantamaan rinnakkaisilla johdoilla, väliasemilla ja kompensoimalla [14, s. 301].

Siirto johdolla syntyvien häviöiden ehkäisyyn yleisimmin käytettäviä järjestelmään lisättäviä laitteita ovat reaktorit, sarjakondensaattorit ja rinnakkaiskondensaattorit. Niiden lisäksi häviöiden syntymistä voidaan vähentää käyttämällä tasasähköyhteyksiä. [14, s. 77.]

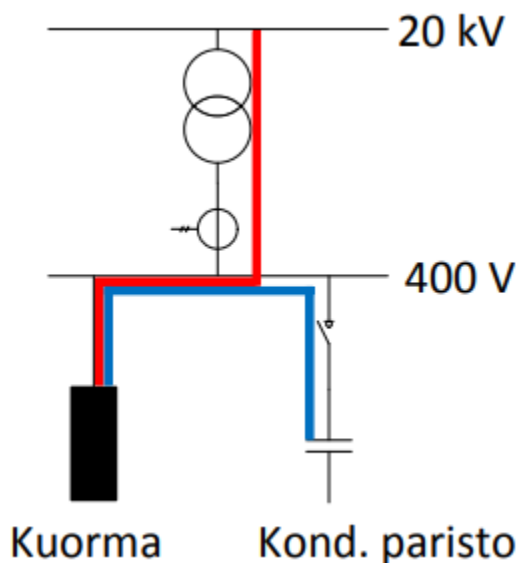
3.2.1 Rinnakkaiskompensointi

Rinnakkaiskondensaattoriparisto koostuu useista sarjaan ja rinnan kytketyistä standardikokoisista kondensaattoriyksiköistä sekä ohjaus- ja suojausjärjestelmästä. Kondensaattoriyksikkö koostuu useista sarjaan ja rinnan kytketyistä käämeistä. Rinnakkaiskondensaattoriparisto voidaan suojata sisäisillä tai ulkoisilla sulakkeilla. Ulkoisessa suojauksessa jokainen kondensaattoriyksikkö suojataan omalla sulakkeellaan. Suomessa käytetään sisäistä suojausta, jossa jokainen käämi suojataan omalla sulakkeellaan. Lisäksi suurjännitekondensaattoriyksikkö sisältää purkausvastuksen. Rinnakkaiskompensoattoriparisto kytketään rinnan siirto johdon kanssa. [15, s.227–232; 13, s. 288–291.] Rinnakkaiskompensoattorin tuottama loisteho saadaan kaavasta 5.

$$Q = \omega C U^2 = \left(\frac{U}{U_R}\right)^2 Q_R \quad (5)$$

jossa	Q	loisteho	[var]
	ω	kulmataajuus	[rad/s]
	C	kapasitanssi	[F]
	U	verkonjännite	[V]
	U_R	kondensaattorin mitoitusjännite	[V]
	Q_R	kondensaattorin mitoitusteho	[var]
		[15, s.229–230]	

Rinnakkaiskompensointi on huomattavasti sarjakompensointia yleisempää, ja sitä käytetään suur-, keski- ja pienjännitetasoilla. Keskijänniteverkossa rinnakkaiskompensointiparisto kytketään tavallisesti kiskostoon keskitetysti katkaisijan avulla. Kuvassa 1 on havainnollistettu rinnakkaiskompensoinnin periaate. Kuvassa 1 sininen viiva kuvastaa loistehon kulkua järjestelmässä ja punainen pätötehon kulkua. [16, s. 50; 13, s. 288.]



Kuva 1. Rinnakkaiskompensoinnin periaate [16, s.50]

3.2.2 Kompensointi reaktoreilla

Reaktoreita käytetään kompensoimaan johtojen tuottama ylimääräinen kapasitiivinen loisteho kuorman ollessa vähäinen. Suomessa reaktorit kytketään yleensä muuntajien tertiäärikäämeihin. Reaktorit voidaan myös kytkeä suoraan kiskoon tai jopa kiinteästi pitkiin linjoihin. [16, s.59; 13, s.289.] Reaktorin kuluttama loisteho saadaan kaavasta 6.

$$Q = \left(\frac{U}{U_c}\right)^2 Q_c \quad (6)$$

jossa	Q	loisteho	[var]
	U	verkonjännite	[V]
	U_c	reaktorin mitoitusjännite	[V]
	Q_c	reaktorin mitoitusteho	[var]

[15, s.227]

3.2.3 Tasasähköyhteydet

Tasasähköyhteyden etu on sen riippumattomuus taajuudesta ja kulmaeroista. Kaavasta 4 havaittiin vaihtosähköyhteyden kustannustehokkuuden heikentyvän siirtolinjan etäisyyden kasvaessa. Tasasähköjohdot ovat investoinneiltaan vaihtosähköjohtoja halvempia, mutta sähköasemat tulevat merkittävästi kalliimmiksi. Näin ollen erittäin pitkillä etäisyyksillä vaihtosähköyhteys voi tulla kysymykseen. Etäisyyden raja-arvon arvellaan olevan 600–800 kilometrin välillä tapauskohtaisesti. Tätä suuremmilla etäisyyksillä tasasähköyhteys on edullisempi. [14, s. 301.] Tasasähköyhteyttä käytetään myös yhdistämään kaksi erillistä verkkoa. Tasasähkö on ainoa vaihtoehto yhdistää kaksi eritaajuista tai eri tavalla taajuussäädeltä verkkoa juuri tasasähköyhteyden taajuusriippumattomuuden ansiosta. Tasasähköyhteyttä käytetään myös merikaapeleissa, koska vaihtosähköyhteyden vaatimaa kompensointia ei voida toteuttaa merenpohjassa. [14, s. 302.]

3.3 Sarjakompensointi

Sarjakompensointiparisto kytketään nimensä mukaisesti sarjaan siirto johdon kanssa [SIIV, s. 226]. Pitkillä siirtolinjoilla sarjakondensaattorien päätehtävä on tehonsiirtokapasiteetin kasvattaminen. Pitkillä etäisyyksillä johdon aiheuttama induktanssi kasvaa merkittäväksi, jolloin se suurentaa jännitteen ja virran välistä vaihekulmaa ja pätötehon siirtokapasiteetti pienenee [16, s. 52.] Suomessa sarjakondensaattoreita on käytössä pitkillä pohjois-eteläsuuntaisilla siirto johdoilla sekä Suomen ja Ruotsin välisellä voimajohtoyhteydellä [15, s. 226].

Sarjakompensointipariston tuottama loisteho on verrannollinen laitteiston läpi kulkevaan kuormitusvirtaan, joten kompensointi säätyy portaattomasti verkon olosuhteiden mukaan. Sarjakondensaattorin tuottama loisteho määräytyy kaavalla 7.

$$Q_{sc} = 3 * X_{sc} * I^2 \quad (7)$$

jossa	Q_{sc}	sarjapariston tuottama loisteho	[var]
	X_{sc}	sarjapariston reaktanssi	[Ω]
	I	virta	[A]

Kaavasta 7 voidaan päätellä sarjakompensointin läpi kulkevien mahdollisista vikatilanteista aiheutuvien ylivirtojen synnyttävien ylijännitteitä. Tämän takia sarjakompensointiparistot vaativat monimutkaisia suojausjärjestelmiä ylijännitteitä vastaan. [15, s.232.] Suojausmenetelmiä kuvataan tarkemmin luvussa 3.5.

Sarjakompensointiparisto lisää linjalle kapasitiivista reaktanssia kompensointilinjan tuottamaa induktiivista reaktanssia. Kokonaisreaktanssi on näin ollen $X = X_L - X_{sc}$. Kaavassa 1 esitettiin pätötehon siirtyminen ilman kompensointia. Kaava 1 voidaan muuttaa alla olevaksi kaavaksi 8, kun vähennetään sarjakompensointipariston kapasitiivinen reaktanssi (X_{sc}) johdon induktiivisesta reaktanssista (X_L).

$$P = \frac{U_1 U_2}{X_L - X_{sc}} \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (8)$$

Sarjakompensointipariston sijoituspaikka linjalla vaihtelee tapauskohtaisesti. Tyypillisesti paristo sijoitetaan linjan keskelle, jolloin saadaan paras hyöty tehonsiirron muutokseen linjan reaktanssin ollessa korkealla. Kompensoiva reaktanssi voidaan myös jakaa kahteen kompensointiparistoon ja sijoittaa kyseiset kaksi paristoa lähemmäs johdon kutakin päätä. [17, s. 106.]

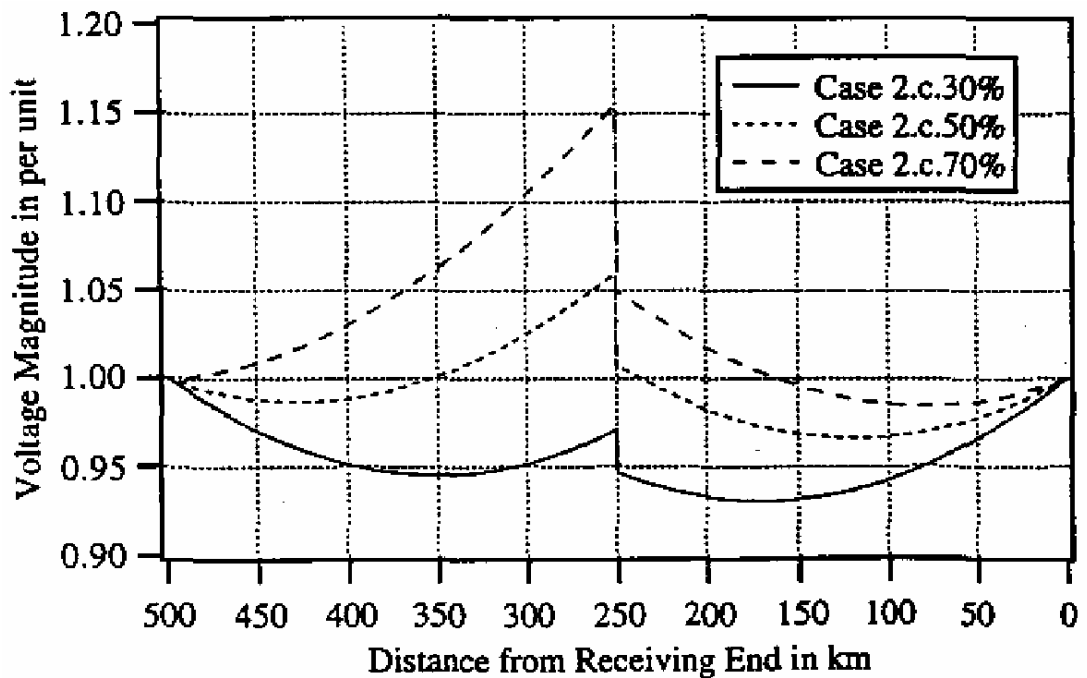
3.4 Kompensointikerroin sarjakompensoinnissa

Sarjakompensoinnin yhteydessä puhutaan kompensointiasteesta tai -kertoimesta. Niillä tarkoitetaan osuutta, jonka sarjakompensointiparisto kykenee kompensoimaan johdolla aiheutuvasta induktiivisesta reaktanssista. Kompensointiaste on tyypillisesti 40–70 % pitkällä siirtolinjoilla. [15, s.232–233.] Käytännössä siis kompensointiaste saadaan siirtolinjan induktiivisen reaktanssin suhteesta kondensaattorin kapasitiiviseen reaktanssiin kaavalla 9.

$$k = \frac{X_{sc}}{X_L} \quad (9)$$

jossa	X_{sc}	sarjapariston kapasitiivinen reaktanssi	[Ω]
	X_L	johdon induktiivinen reaktanssi	[Ω]
	k	kompensointiaste	[-]

Kompensointiastetta määritettäessä on pidettävä mielessä verkon suurin käyttäjännite. Sarjakompensointipariston kohdalla jännite maahan verrattuna nousee äkillisesti ja resurtoiva jännite kasvaa. Jännite kasvaa askelmaisesti, mikä on kuvattu kuvassa 2. [17, s. 122.]



Kuva 2. Siirtolinjan jänniteprofiilin muutos linjan keskelle asetetun kompensointipariston vaikutuksesta [17, s. 122]

Kuvassa 2 havainnollistuu kompensointiasteen (c.30 %; c.50 %; c.70 %) vaikutus linjan jänniteprofiilin muutukseen. Kompensointiasteen määritys onkin tehokas tapa hallita siirtolinjan jänniteprofiilia. Kuva 2 kuvaa tilannetta johdolla raskaan kuormituksen aikana, ja kompensointiparisto on kuvan esimerkkitalanteessa sijoitettu siirtolinjan keskelle. Kompensointiparisto aiheuttaa askelmaisesta jännitteen nousun. Kuvaaja edustaa resurtoivan jännitteen muutosta linjan jännitteeseen jänniteyksikköä kohden. Linjan päitä lähestyttäessä jännitetaso

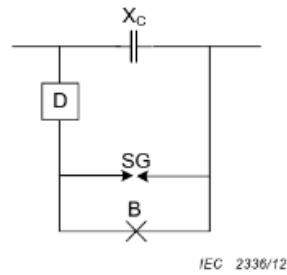
palaa takaisin lähettävän pään jännitteen tasolle johtuen muun verkon tehonsiirrosta. Teho liikkuu kuvassa vasemmalta oikealle. Kuvasta voidaan huomata kompensointiasteen 50 % olevan tehokkain jänniteprofiilin kannalta, vaikka korkeampaa astetta voidaan tarvita muista syistä. [17, s. 116, 121.]

Kompensointiasteen määrittämisessä tulee lisäksi ottaa tarkasti huomioon sen vaikutus verkon resonanssiin. Sarjakompensointiparisto vaikuttaa koko johdon reaktanssiin, joten on mahdollista, että se yhdessä muiden toimilaitteiden, esimerkiksi turbogeneraattorin, kanssa aiheuttaa verkkoon niin kutsutun aliharmonisen resonanssin. Suuri kompensointiparisto lähellä suurta voimalaitosta voi muuttaa verkon taajuutta niin, että se osuu generaattorin ominaistajuuksille. Mikäli verkko generoi esimerkiksi tyristorisuuntaajalla herätesignaalin, joka vastaa verkon ja generaattorin yhteistä ominaistajuuksia, syntyvä resonanssi voi rikkoa kalliin turbogeneraattorin akselin. [15, s. 232–233.]

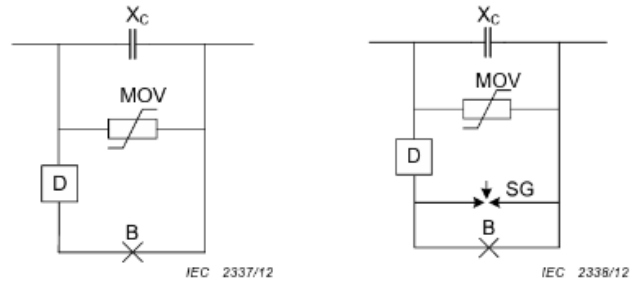
3.5 Vikatilanteet ja niiltä suojautuminen

Sarjakompensointipariston viat voidaan jakaa kahteen ryhmään: sisäisiin ja ulkoihin vikoihin. Ulkoiset viat kantautuvat kauempaa verkkoa pitkin paristoon ja sisäiset viat tapahtuvat kompensoidulla johto-osuudella. Sisäisissä vioissa vikavirrat kohoavat tyypillisesti merkittävästi suuremmiksi ulkoihin verrattuna. [15, s.233–234.]

Sarjakompensointiparistoa suojataan kytkemällä kondensaattorin kanssa rinnan suojaavia laitteita. IEC-standardi luokittelee sarjakompensointiparistot neljään luokkaan yleisesti käytettyjen ylijännitesuojausmenetelmien perusteella. Luokat ovat K1, M1, M2 ja T1. Luokat ja niiden periaatepiirustukset esiteltä kuvassa 3. [18, s.17.] Luokan K1 paristo on suojattu kipinävälillä. Kipinävälissä nouseva jännite purkautuu läpilyöntinä kipinävälin yli näin ohittaen kondensaattorin. Luokissa M1 ja M2 suojaukseen käytetään metallioksidivaristoria (MOV). M2-luokassa on varistorin lisäksi käytössä kipinäväli, kuten K1-luokassa. Luokassa T1 suojaus toteutetaan tyristorilla ja metallioksidivaristorilla. Kaikissa luokissa on käytössä vaimennuspiiri virran hillitsemiseksi ja ohituskatkaisija kondensaattorin ohittamiseksi. [18.] Edellä mainittujen komponenttien toimintaa tarkastellaan tarkemmin luvussa 3.6.

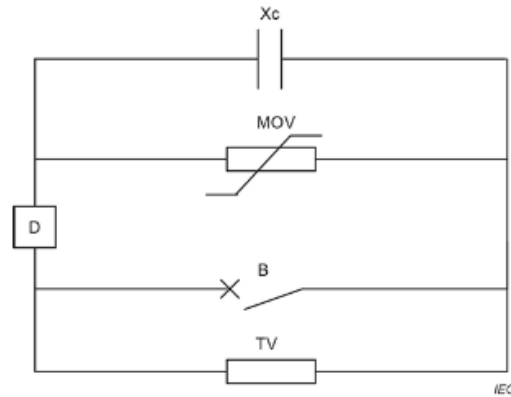


2a) Single gap (type K1)



2b) MOV (type M1)

2c) MOV + bypass gap (type M2)



2d) Varistor with thyristor valve (type T1)

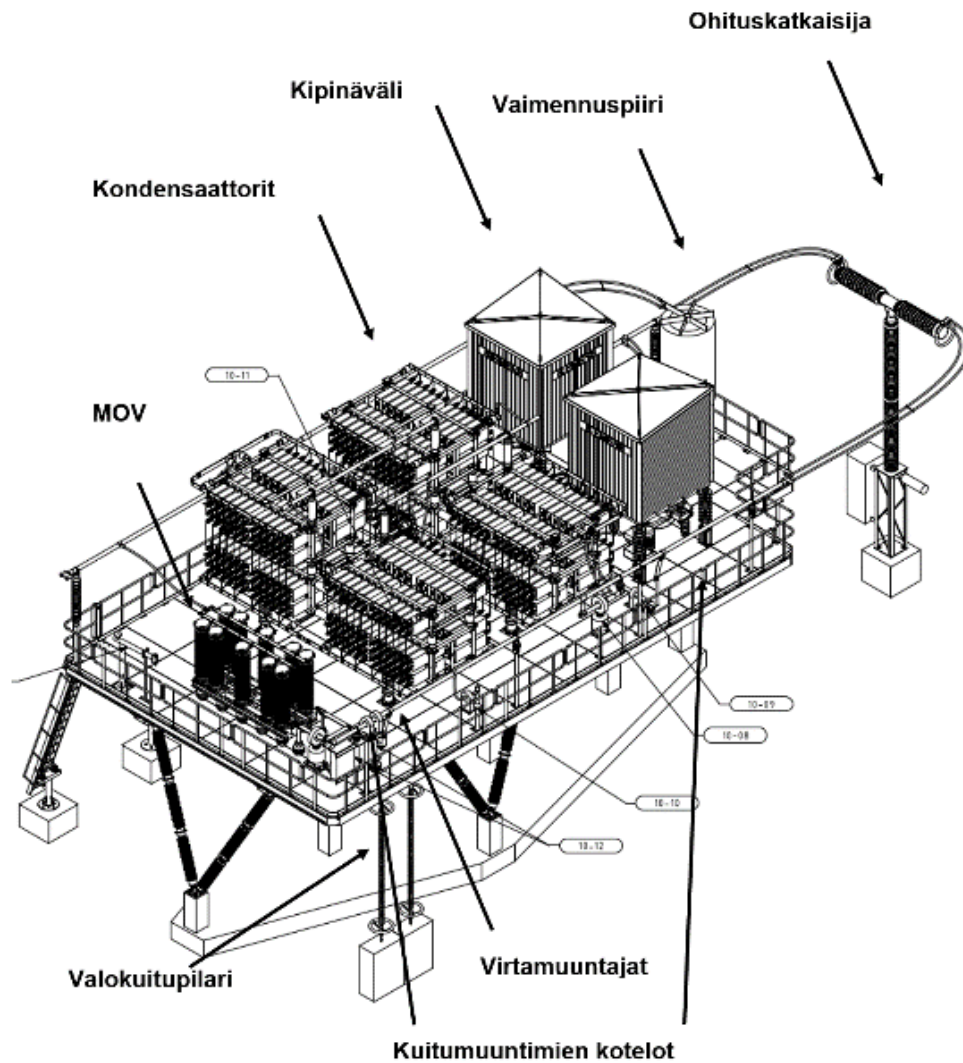
Key

X_c	Capacitor
SG	Spark gap
D	Current-limiting damping circuit
B	Bypass switch
TV	Thyristor valve

Kuva 3. Sarjakompensointipariston luokat [18, s. 17]

3.6 Sarjakompensointipariston rakenne ja komponenttien toiminta

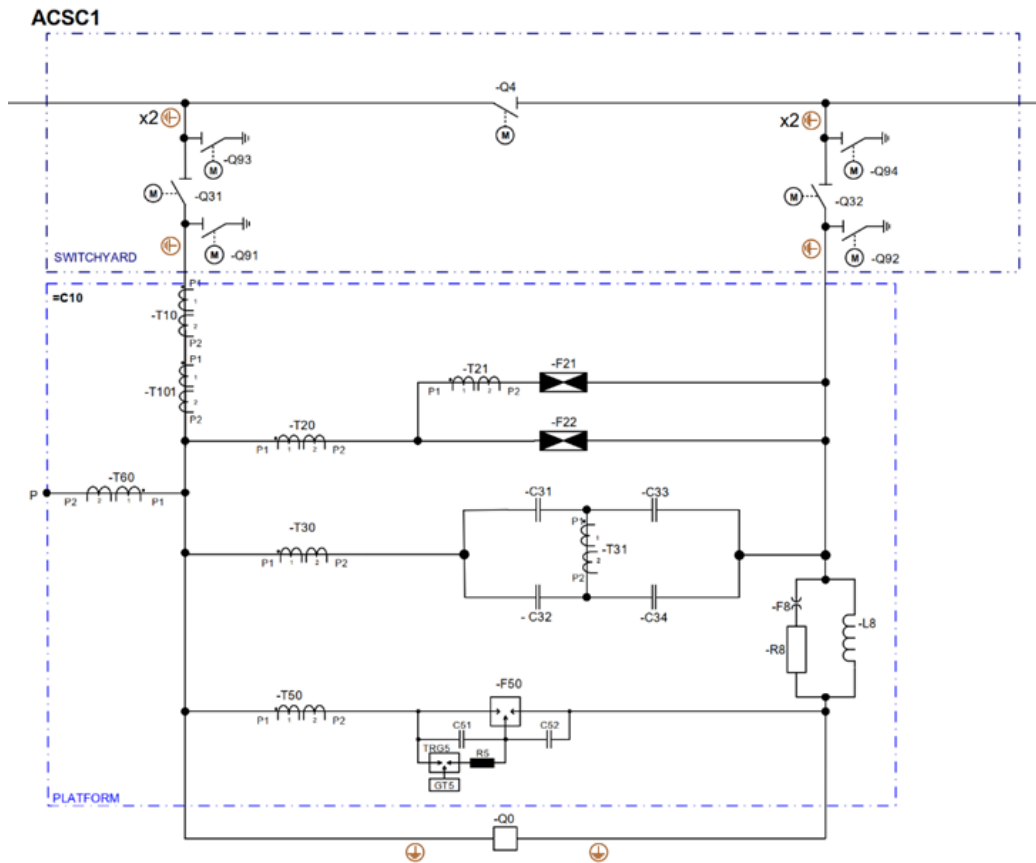
Tässä aluvussa käsitellään sarjakompensointipariston rakennetta ja perehdytään pariston merkittävien komponenttien toimintaan yksitellen. Sarjakompensointiparisto kytketään nimensä mukaisesti sarjaan siirtojohdon kanssa, joten paristo on siirtojohdon potentiaalissa ja verkossa syntyvät viat vaikuttavat merkittävästi kompensointiparistoon. Näin ollen pariston sekä sen suojaus- ja ohjausjärjestelmän rakenne on verrattain monimutkainen. [15, s.233–234.]



Kuva 4 Yhden yksivaiheisen sarjakondensaattorilavan kokoonpanokuva [19]

Sarjakompensointi voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvan 4 kaltaisilla yksiköillä. Kun sarjakompensointiparisto kytketään jännitteeseen linjaan, kaikki pariston osat ovat johdon potentiaalissa. Paristot onkin siis rakennettava tukieristimien varaan irti maasta. Jokainen vaihe tarvitsee oman paristonsa. Ohjausautomaatiikka on käytännöllistä sijoittaa korkeassa potentiaalissa olevan lavan ulkopuolelle maantasoon sisätiloihin. Potentiaalieron vuoksi ei ohjaussignaaleja voida siirtää tavanomaiseen tapaan sähköisesti, vaan on käytettävä muita kommunikointitapoja. Aikaisemmin viestien välittämiseen on käytetty mekaanisia, magneettisia ja pneumaattisia keinoja. Nykyisin käytetään lähinnä optista yhteyttä. Ohjaussignaalit on siirrettävä valokuitupilareiden avulla potentiaalitasosta toiseen. [17, s.430; 15, s. 234.] Suojaus- ja ohjausjärjestelmän toimintaa sekä signaalitekniikkaa kuvattu tarkemmin alaluvussa 3.6.6.

Kuvassa 5 on esitetty yhdenlaisen sarjakompensointipariston yleispääkaavio. Yleispääkaaviosta voidaan tulkita pariston toimintaperiaate ja komponenttien. Taulukossa 1 on selitetty kuvassa 5 esiintyvät komponentit käytettyjen lyhenneiden mukaan.



Kuva 5. sarjakondensaattorin yleispääkaavio [19]

Taulukko 1. sarjakompensaattorin yleispääkaavion symbolien selitteet [19]

-Q0	Ohituskatkaisija
-Q4	Ohituserotin
-Q31, -Q32	Paristoerottimet
-Q91, -Q92	SC-pariston maadoituskytkimet
-Q93, -Q94	Johdon maadoituskytkimet
-F21, -F22	MOV - Metallioksidivaristori
-C31, -C33 -C32, -C34	Kondensaattorit
-F50	Kipinäväli
-L8	Vaimennusreaktori
-R8	Vaimennusvastus
-T10...-T101	Virtamuuntajat

3.6.1 Kondensaattorit

Kondensaattoriparisto koostuu useista sarjaan ja rinnan kytketyistä standardikokoisista kondensaattoriyksiköistä. Tarvittava yksiköiden määrä ja kytkentätapa riippuu tarvittavasta nimellistehosta. Jokainen yksikkö suojataan omalla sulakkeellaan, näin taataan kondensaattoripariston toiminnan jatkuvuus, vaikka yksittäinen yksikkö vikaantuisi. Kondensaattoriyksikkö koostuu useista sarjaan ja rinnan kytketyistä käämeistä. [17, s. 330; 19, s. 10; 15, s.227–232; 13, s. 288–291.] Kondensaattoriyksiköt ovat pääkomponentti, jolla pyritään parantamaan sähköverkon stabiilisuutta sekä nostamaan siirtolinjan tehonsiirtokapasiteettia [18; 19, s.10; 15, s. 233].

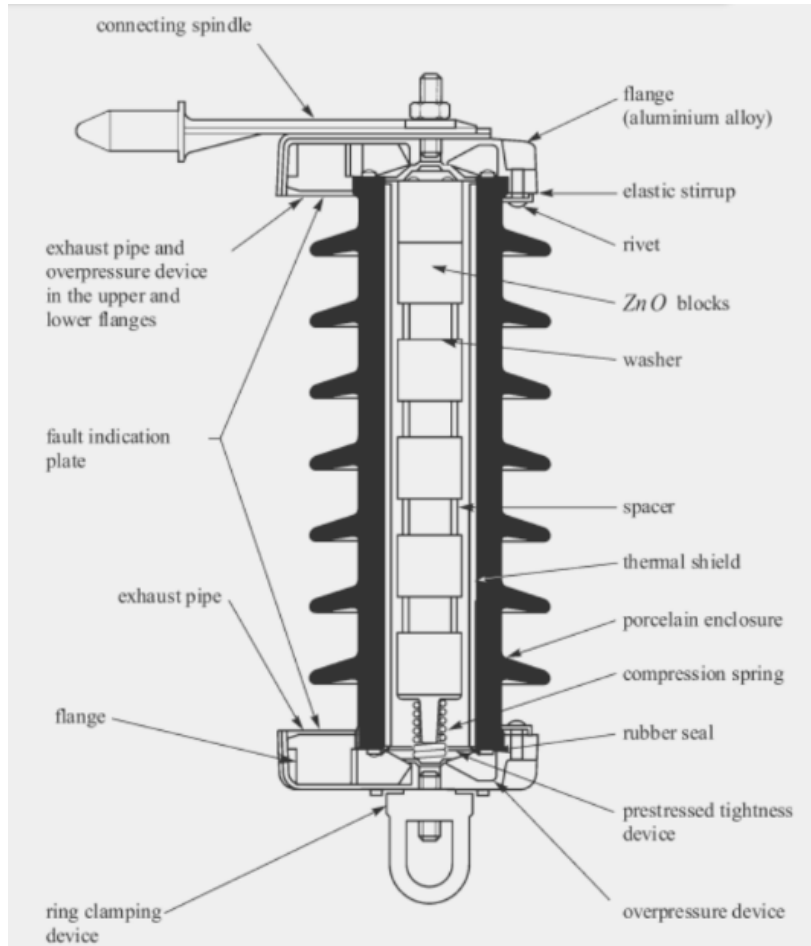
3.6.2 Ohituskatkaisija

Ohituskatkaisijaa käytetään suojausjärjestelmänä kondensaattoreiden ohittamiseen hetkellisesti. Ohituskatkaisija on kuvassa 5 symboli Q0. Kun ohituskatkaisija on auki, on kondensointiparisto käytössä. Katkaisija siirtää viasta johtuvat ylivirrat eteenpäin johdolla, jolloin kondensaattorit eivät nosta ylijännitettä entisestään. Ohituskatkaisijalla myös suojataan kondensaattoriparistoa ylijännitteeltä muita suojausmenetelmiä pidemmät jaksot. Katkaisijan ollessa kohtuullisen hidas suojaustapa paristoa on suojattava ensin nopeammin reagoivilla järjestelmillä. Ohituskatkaisijaa voidaan ohjata valvomosta paikallis- tai kaukokäyttönä sekä käsikäytöllä katkaisijan ohjaimella. [17, s. 338–339; 19, s.17; 15, s. 233.]

3.6.3 MOV – Metallioksidivaristori

Metallioksidivaristori eli MOV suojaa verkon vikatilanteissa kondensaattoriparistoa ylijännitteiltä. MOV-yksiköt on kytketty rinnan kondensaattoriyksiköiden kanssa, kuvassa 5 symbolit F21 sekä ja F22. MOV-yksikkö koostuu päällekkäin ladotuista sarjaan kytketyistä sylinterinmallisista metallioksidiekiekoista, jotka on suljettu posliiniseen tai polymeeristä valmistettuun eristinkuoreen. Kuvassa 6 on esitetty yksi tapa toteuttaa MOV-yksikkö. Eristinkuoren sisällä on pinottuna useita metallioksidiekiekoja, ZnO. Kuoren pinnan materiaali ja muoto valitaan sijoituspaikan likaisuuden mukaan. Eristinkuori on kuvattu kuvassa 6 mustana. MOV-yksikössä on lisäksi paineenpurkausaukko paineen tasaukseksi suuren vikavirran tapauksessa, kuvassa 6 exhaust pipe. Eristinkuoren

sisällä voi myös olla useita rinnakkaisia vastuspilareita, mikä kasvattaa entisestään energianpurkamiskykyä. Varistoriryhmässä on sarjaan ja rinnan kytkettyjä MOV-yksiköjä tarvittava määrä suojaustarpeen mukaan. [15, s.237–239; 19, s.11.]



Kuva 6. Metallioksidivaristorin läpileikkauskuva [20, s. 53]

Ylijännitesuojan toiminnan varmistamiseksi jännitteen tulisi jakautua tasaisesti ylijännitesuojan ylitse. Suojan jännitteinen pää voidaan varustaa jännitteenohjauselektrodilla, jonka tehtävä on ohjata jännitteen jakaumaa kapasitiivisesti. Tämä voi myös asettaa vähimmäisetäisvaatimuksia muihin laitteisiin. [15, s. 240.]

Varistorin mitoituksessa pyritään kattamaan ulkoisten vikojen aiheuttamat jännitteet ja virojen aiheuttaman energian, jotta paristo voi jatkaa toimintaansa heti ulkoisen vianpoistuttua. Tässä on huomioitava myös mahdolliset jälleenykytkentäjaksot. Sisäisissä vioissa jännitteet puolestaan kasvavat niin suuriksi,

että kondensaattorit ja varistorit on ohitettava kipinävälillä jo vian aikana. [15, s. 234.]

3.6.4 Kipinäväli

Kipinäväli toimii ylijännitesuojana kondensaattoreille. Se kytketään rinnan kondensaattoreiden ja varistorien kanssa, mutta sarjaan vaimennuspiirin kanssa. Kipinäväli toimii eräänlaisena ohjauskytkimenä. Kipinävälin synnyttäessä valo-kaaren kondensaattori purkautuu kipinävälin ja siihen kytketyn vaimennuspiirin kautta. Kipinäväli voidaan liipaista liipaisulaitteella GT5 (kuvassa 5) laukaisu-signaalilla tarvittaessa. Liipaisua ohjaa rele, joka laskee varistorien ylipurkautuvaa energian määrää ja suurimman sallitun purkausenergian lähestyessä rele liipaisee kipinävälin. Kipinävälin liipaisun yhteydessä annetaan myös käsky ohituskatkaisijalle sulkeutua. [19, s. 11; 15, s. 234–235.]

Kipinävälit ovat alttiita ilmastollisille ylijännitteille sekä pölyn ja esimerkiksi pakaslumen tunkeutumiselle. Näiden vuoksi ne suojataan esimerkiksi kuvassa 4 näkyvällä koteloinnilla. Toisaalta kipinävälin riittävästä ilmanvaihtuvuudesta on pidettävä huolta, jotta syntynyt purkauskanava poistuu, eikä uudelleenliipaistumista tapahdu tarpeettoman herkästi. [13, s. 197; 19, s. 9.]

3.6.5 Vaimennuspiiri

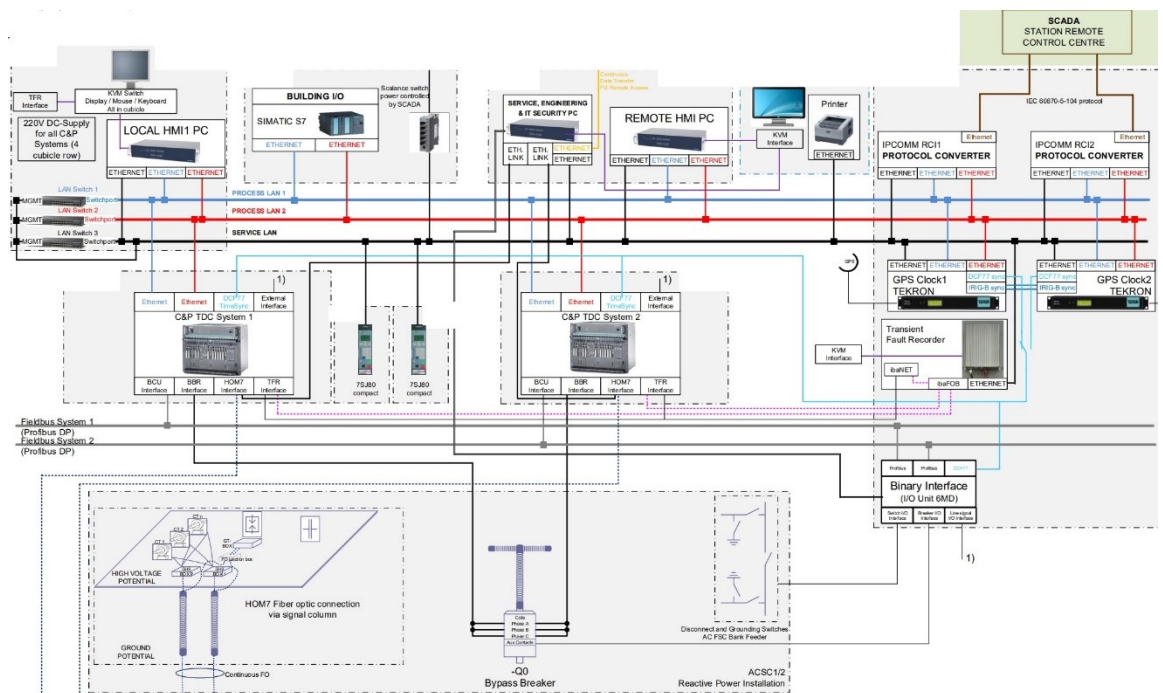
Vaimennuspiiri sisältää ilmasydämisen kuristimen (L8) ja sen rinnalla sarjaan kytketyt vastuksen (R8) sekä pienen kipinävälin (F8), kuvan 5 mukaisesti. Vaimennuspiiri rajoittaa paristonohitustilanteessa kulkevan purkausvirran tajuutta ja amplitudia. Vaimennuspiiri kytkeytyy sarjaan kipinävälin tai ohituskatkaisijan kanssa kulloisenkin käyttötilanteen mukaisesti. Joissain tapauksissa vaimennuspiiri voidaan kytkeä sarjaan kondensaattoreiden kanssa, mutta tällöin on otettava huomioon vaimennuspiirin aiheuttamat häviöt normaalia käyttötilannetta mitoitettaessa. [19, s.13; 21, s.57.]

3.6.6 Suojaus- ja ohjausjärjestelmän yleiskuvaus ja toimintaperiaate

Tässä alaluvussa on kuvattu suojaus- ja ohjausjärjestelmän toiminnan yleiset periaatteet sekä miten periaatteita on sovellettu tämän tutkimuksen kohteena olevissa sarjakompensointiparistoissa.

Suojaus- ja ohjausjärjestelmä vastaa kompensattorilavalla tapahtuvien toimintojen ohjauksesta. Suojaus- ja ohjausjärjestelmän voi nähdä olevan yhdistävä tekijä lavalla tapahtuville ohjauksille, asemarakennuksen toiminnoille sekä yhteydelle muuhun verkkoyhtiön sähköverkkoon ja sen ohjaukseen. [22; 19.]

Kuvassa 7 on esitelty suojaus- ja ohjausjärjestelmän rakenne. Kuvasta voidaan havaita järjestelmän moninkertainen luonne esimerkiksi laitteiden ja kommunikointiväylien esiintyessä useaan kertaan. Suojaus- ja ohjausjärjestelmä on rakennettu kahdennetuksi. Laitteistoa voidaan ohjata paikallisesti tai kaukokäyttönä valvonta- ja ohjausjärjestelmän, scadan (Supervisory Control And Data Acquisition), välityksellä. Asemalla on kolme tietokonetta: remote HMI pc; service, engineering & IT security PC sekä local HMI. HMI lyhenne tarkoittaa yleisesti käyttöliittymää (Human Machine Interface).



Kuva 7. Sarjakondensaattoripariston suojaus- ja ohjaukskaavio [19]

Sarjakondensaattoriparistojen suojaus sekä ohjaus on toteutettu Siemensin Simatic TDC-moniprosessoriautomaatiojärjestelmällä. TDC eli Technology and Drives Control on digitaalinen automaatiojärjestelmä, joka on optimoitu nopeille ohjausfunktioille. Järjestelmä on modulaarinen, joten se voidaan rää-

tälöidä soveltuvaksi monenlaisiin tarpeisiin. Simatic TDC-järjestelmään on valittavissa yli kolmesataa erilaista ohjainkorttia tarpeen mukaan. [23.] Mittaus-tiedot kerätään omilla I/O-yksiköillä (Input/Output). Ohjaus- ja suojausfunkti-oille sekä tarvittaville väyläkommunikoinneille on omat korttinsa. Yhdessä TDC-moduulissa on 21 kytkentäpaikkaa ohjainkortteille.

Suojaus- ja ohjausjärjestelmä on toteutettu kahdennettuna eli käytössä on kaksi TDC-laitteistoa samanaikaisesti. Molemmat suojausjärjestelmät toimivat itsenäisesti käyttämällä omia apusähkönsyöttöjä sekä mittauskanavia. [22, s.17.]

Kondensaattoriyksiköt ja kaikki kondensaattorilavalla olevat toimilaitteet ovat siirtojohdon käyttöjännitteen potentiaalissa. Tällöin mittaussignaalit on muutet-tava optiseksi signaaleiksi ja siirrettävä lavalta maan tasoon valokuitupilareiden avulla. [19, s.14.] Kondensaattorilavalla virtamuuntajien toisiokäämit kytketään rinnakkaisvastuksiin. Rinnakkaisvastuksen jännitesignaalit muutetaan optiseksi signaaleiksi optisen muuntimen avulla. Mittausjärjestelmä on kahdennettu, kummankin järjestelmän mittaukset on kytketty erillisiltä virtamuuntajan mit-tauskäämeiltä kyseisen järjestelmän lavakaappiin.

Simatic S7 on modulaarisesti muokattava ohjelmoitava logiikka (PLC) [24]. Tutkimuksen kohteena olivissa sarjakompensointiparistoissa simatic S7 -auto-maatiojärjestelmään on koottu sähköasema-automaatioon liittyvät ohjaustar-peet. Järjestelmä on kytketty aseman sisäverkkoon, jotta hälytykset saadaan siirrettyä eteenpäin paikallis- ja kaukokäyttölaitteille. Järjestelmään on kytketty aseman toimintaan liittyviä toimintoja kuten DC/AC-invertterin vika, palohäly-tys tai ilmastoinnin vika. [22; 25.]

4 ELINKAAREN VAIHEEN SELVITTÄMISEN METODIT

Suojaus- ja ohjausjärjestelmän komponenteille pyrittiin selvittämään valmis-tukseen ja varaosien saatavuuteen liittyvä elinkaaren vaihe ja komponentin toimintavarmuuteen liittyvät merkittävät tunnusluvut kuten MTBF-luku (Mean Time Between Failures). MTBF-luku kuvaa keskimääräistä aikaa laitteen vika-tilanteiden välillä [26]. Mahdollisiin vikatilanteisiin varautumisen helpottamiksi

selvitettiin varaosien hankinta-ajat ja saattavuusprosessien luonteet. Näin osataan hankkia optimaalinen määrä varaosia varastoon ja varautua ylläpitämään varastoa tarpeen mukaan.

Käsitellyt komponentit esitellään liitteessä 1. Liite sisältää tässä elinkaariselvityksessä käsitellyt komponentit sekä niiden yleisesti ymmärrettävät nimitykset. Liitteessä Simatic S7 -automaatiojärjestelmän komponentit ovat keltaisella pohjalla, TDC-järjestelmän komponentit sinisellä pohjalla ja laserkommunikointijärjestelmän komponentit harmaalla pohjalla.

Suojaus- ja ohjausjärjestelmää tarkasteltiin kokonaisuutena tavoitteena tunnistaa ne komponentit, joiden vaikutus kompensointipariston toimintaan on merkittävin joko komponentin toiminnan luonteen vuoksi tai sen vikaantuessa. Suurjännitekomponenttien rikkoutumisten vaikutuksiin suojaus- ja ohjausjärjestelmän toimivuuteen perehdyttiin pintapuolisesti laitteiden pitkäikäisyyden ja varmatoimisen luonteen vuoksi. Ison kuvan haasteita ja ensiöpuolen rajapintaa pyrittiin tutkimaan yksittäisillä asiantuntijahaastatteluilla.

Haastatteluissa pureuduttiin aluksi laitteiston nykytilaan, minkä jälkeen käsiteltiin mahdollisia tulevaisuuden uhkakuvia. Asiantuntijahaastatteluja toteutettiin kolme: laitteiston haltijan edustaja, Siemens Energyn edustaja sekä IT-asiantuntija. Laitteiston haltijan kyseisten laitteiden kunnossapidosta vastaavan henkilön kanssa kartoitettiin laitteiston haltijan toimia elinkaaren hallitsemiseksi aina ratkaisun määrittelyvaiheesta käytönaikaisiin ja sen jälkeisiin toimenpiteisiin. Siemens Energyn uuden sukupolven sarjakompensointiparistojen hankemäärittelyistä vastuullisen henkilön kanssa käytiin läpi, miten nykyistä suojaus- ja ohjausjärjestelmää voisi kehittää vastaamaan tulevaisuuden laitteistoja. IT-asiantuntijan osaamista hyödynnettiin syventämään ymmärrystä suojaus- ja ohjausjärjestelmän virtualisoinnista sekä suojaamisesta kyberuhkia vastaan.

Asiantuntijahaastattelut toteutettiin yksilöllisinä teemahaastatteluina. Asiantuntijoille toimitettiin etukäteen alustavat haastattelukysymykset, jotta valmistautuminen on mahdollista ja aihepiirin raja-
aus kävisi ilmi ennalta. Haastattelutilanteissa keskustelu pyrittiin pitämään vapaana. Alustaviin kysymyksiin turvaututtiin vain tarvittaessa. Tallennettiin nauhoittamalla kokoukset videomuotoon,

josta havainnot raportoitiin tähän työhön. Laitteiston haltijan haastattelu äänitettiin, Siemen Energyn edustajan ja IT-asiantuntijan haastatteluista tehtiin muistiinpanot suoraan haastattelujen aikana. Haastatteluissa saatuja tietoja hyödynnettiin työn kyseisissä kappaleissa.

Komponenttien elinkaaren vaihetta lähdettiin selvittämään laitevalmistajien antamien tietojen pohjalta. Valmistajat ilmoittavat tuotteilleen elinkaarisuunnitelmia tai viestivät elinkaaren vaiheen muutoksissa. Valmistajan tuotteelleen tai komponentilleen ilmoittama elinkaaren vaihe oli merkittävä osa kompensointipariston suojaus- ja ohjausjärjestelmän elinkaaren selvitystä.

Poistuvien tuotteiden vaikutus järjestelmään oli tutkittava tarkkaan, jotta niiden korvaamisen vaikutukset pystytään tunnistamaan ajoissa sekä niitä osataan tilata varastoon varaosiksi riittävä määrä. Komponentin korvaaminen muulla kuin vastaavalla tuotteella voi mahdollisesti vaatia suurempia muutoksia laitteistoon pariston toiminnan ylläpitämiseksi.

Siemens on merkittävin ohjaus- ja suojausjärjestelmän komponenttien toimittaja. Siemensin tuotetiedot on koottu SiePortaliin [27], joka on asiakkaille tarkoitettu työkalu. Sinne on koottu keskeistä tutkimustietoa ja julkaisuja tuotteista. Portaali toimii myös alustana tuotteiden tilaukseen niille yhtiölle, joilla on jo solmittu asiakassuhde Siemensin kanssa.

Siemens automaatiotuoteperhe Simatic on jaettu elinkaaren mukaan viiteen luokkaan: PM300, PM400, PM410, PM490, PM500. PM300-vaihe kuvaa normaalin toimituksen vaihetta, jolloin tuote on aktiivisessa valmistuksessa ja varaosia on saatavilla uusista tuotteista. PM400-vaiheessa tuote ilmoitetaan poistuvaksi. Ilmoituksesta alkaa kymmenen vuoden varaosatakuu. Tässä vaiheessa tuotetta voidaan vielä tilata uutena osana, mutta sitä ei kuitenkaan enää aktiivisesti markkinoida. Vaiheessa PM410 tuotetta ei enää valmisteta. Mikäli uudet varaosat uhkaavat loppua ryhdytään korjaamaan vanhoja vastaavia tuotteita varaosiksi. PM490-vaiheeseen siirryttäessä tuotteen varaosatakuu päättyy. Ainoastaan todelliset takuukorjaukset suoritetaan. PM500-vaihe tarkoittaa tuotteen elinkaaren loppua valmistajan näkökulmasta. Kuvassa 8 on esitelty tarkemmin elinkaariluokat ja niiden aiheuttamat toimet. [28.]

Description of the major milestones for SIMATIC Panels

- **Start of product delivery (P.M 300)**
From this date, the product is available for up to 12 years, that means it can be ordered as usual. During this period, it is actively marketed. As from milestone, P.M300 prices for new part and spare parts may differ.
In general, only prices for new parts are shown in the Mall. Spare parts prices are always available from the Siemens contact person. If a pure Service Mall is available, the spare parts price can also be taken from here.
- **Product phase-out announcement (P.M 400)**
With this milestone, the 10-years spare parts warranty starts. The product can still be ordered as new part. It is only no longer marketed actively. Here you can find a current overview of all Panels with P.M400 or higher.
- **Product cancellation (P.M 410)**
With this milestone, the spare parts phase starts. With few exceptions, the product will then only be available as spare part. When ordering spare parts, observe the spare part identification. It gives information about availability and possible credits for returns of defective parts.
After setting P.M 410, new parts can no longer be purchased.
- **Product discontinuation (P.M 490)**
With this milestone, the 10-years spare parts obligation ends (Panel, 5 years IPC) . The product is no longer available and support is discontinued. The PLM of the SIMATIC HMI accessories for this product also ends, the parts are no longer available. Only real warranty cases will be processed.
- **End of Product lifecycle (P.M:500)**
By setting this milestone, the product is completely discontinued. All entries in databases (e.g. PMD, etc.) are frozen, not deleted!
It will then no longer be possible to purchase spare parts, carry out repairs or provide advice on this product. Advice on successors can still be obtained via the Siemens contact person.
For accessories below the value limit of the list price, it is possible that P.M 490 and P.M 500 are set simultaneously if there are compatible successors. This shall reduce the cost of unnecessary checks, returns and internal credits which is very often higher than the product price itself.

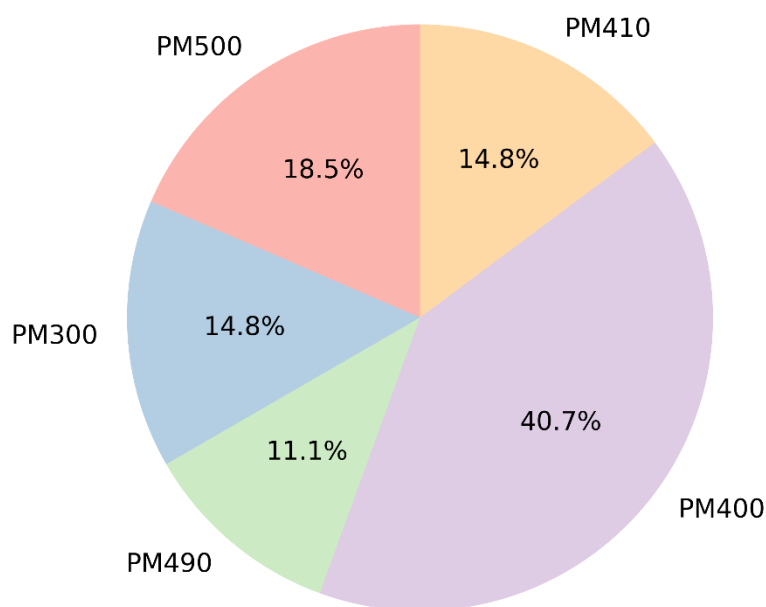
Kuva 8. Simatic-tuoteperheen elinkaarikoodien kuvaukset [28]

Vertaamalla varastoon hankittujen varaosien määrää käytössä olevien laitteiden määrään voidaan komponenttikohdaisesti nähdä, miten komponentin viikaantumiseen on varauduttu verrattuna muihin komponentteihin. [29; 30.] Varautumisen tason riittävyttä varastossa olevien varaosien osalta voidaan arvioida tarkastelemalla edellä mainittua suhdelukua yhdessä kyseisen komponentin elinkaaren vaiheen sekä MTBF-luvun kanssa.

5 SUOJAUS- JA OHJAUSJÄRJESTELMÄN ELINKAAREN TILA

Yleisesti voidaan todeta merkittävän osan käsitellyistä suojaus- ja ohjausjärjestelmän komponenteista olevan valmistajien näkökulmasta ikääntyneitä. Kuva 9 havainnollistaa laitteiston komponenttien jakautumista eri elinkaari- luokkiin. Huomattavaa on, että tarkastelluista komponenteista vain 14,8% on aktiivisia, edelleen valmistuksessa ja kehityksessä olevia tuotteita (PM300). Merkittävän osan tuotteista valmistus tulee loppumaan lähitulevaisuudessa (PM 400). Kuvassa 9 myös muiden laitevalmistajien komponentit on lisätty Siemensin määrittelemiin elinkaari luokkiin komponentin elinkaaren vaiheen perusteella.

Komponenttien jakautuminen elinkaari luokkiin



Kuva 9. Suojaus- ja ohjausjärjestelmän komponenttien jakautuminen eri elinkaari luokkiin.

Merkittävimmät elinkaarensa loppupuolella olevat komponentit voidaan jakaa neljään kategoriaan: TDC-järjestelmä, Simatic S7 -automaatiojärjestelmä, laserkommunikointijärjestelmä sekä kaukokäytön ala-aseman protokollamuunnin ja häiriötallennin.

Tulokset on esitetty tarkemmin taulukkona liitteessä 2. Taulukko koostettiin tarkasteltavien sarjakompensointiparistojen suojaus- ja ohjausjärjestelmän laiteluetteloiden pohjalta. Luettelot olivat sähkökeskuskohtaisia, joten ensimmäiseksi yksittäiset listat yhdistettiin yhdeksi ja komponenttikohdaiset määrät tulkittiin komponentin määrästä erillisissä keskuskohtaisissa laiteluetteloissa. Taulukosta poistettiin ilmeiset helposti korvattavissa olevat komponentit, kuten tietokoneiden näppäimistöt ja hiiret. Taulukossa on komponentista projektin aikana käytetty nimitys sekä tilausnumero. Taulukosta käyvät ilmi laitevalmistajien ilmoittamat tämänhetkiset komponenttien elinkaaren vaiheet sekä tulevaisuuden näkymät komponenttien elinkaarenvaiheen muutoksille. Taulukkoon on koottu sarjakompensointiparistossa käytössä olevien komponenttien määrä sekä jo varastossa olevat varaosat ja varaosien määrän suhde käytössä oleviin komponentteihin. Lisäksi taulukosta käy ilmi komponentin MTBF-luku.

TDC-järjestelmän komponentit ovat elinkaaren vaiheissa PM400 tai PM410. Niihin on vielä mahdollista tilata varaosia ja saada teknistä tukea valmistajalta. Erityisen huomionarvoista kuitenkin on, että varaosavaihe päättyy TDC-järjestelmän teollisuustietokoneelta (IPC) jo vuonna 2026. Muut järjestelmän komponentit poistuvat varaosavaiheesta liukuvasti vuoteen 2033 mennessä. [27.]

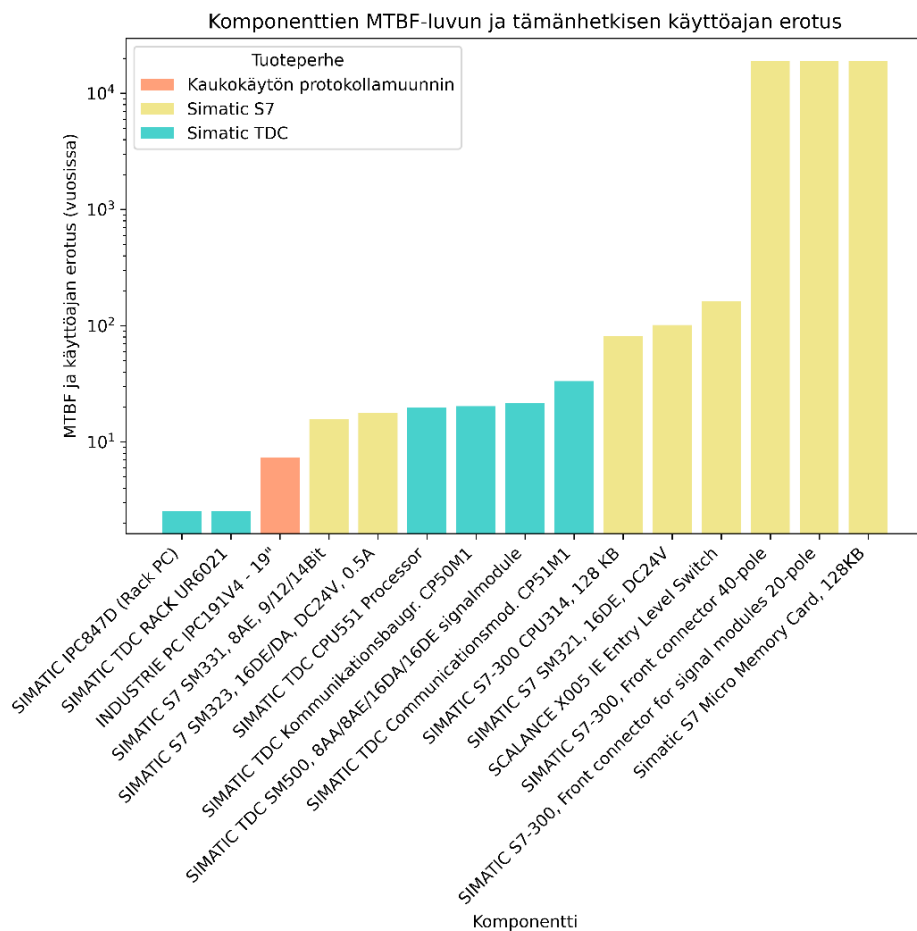
Simatic S7 -järjestelmä on elinkaaren vaiheessa PM400. Sen komponentteja on mahdollista tilata uutena tuotteena vielä vuoden 2025 lokakuuhun asti. Sen jälkeen tuotteita on mahdollista tilata varaosina ja saada teknistä tukea valmistajalta. Varaosavaihe päättyy Simatic S7 -järjestelmän vuonna 2033. [27.]

Laserkommunikointijärjestelmä muodostaa yhden merkittävimmistä, ellei merkittävimmän tulevaisuuden haasteen suojaus- ja ohjausjärjestelmän elinkaaren tilaa tarkasteltaessa. Laitteet ovat valmistajan näkökulmasta elinkaarensa päässä eikä niille tarjota enää teknistä tukea tai huolto- ja korjauspalveluja. [27.] Laitteistojen haltija on määritellyt muiden laitteistojensa käyttökokemusten perusteella laserkommunikointilaitteet ja toisilaitteiden virtalähteet vika-alttiiksi ja täten erityisesti seurattaviksi komponenteiksi. Tämän tutkimuksen laitteistoissa ei ole vielä ilmennyt suurempia vikoja kyseisten komponenttien osalta. [31.] Näille laitteille on kuitenkin tarjolla suhteessa muihin laitteisiin kohtuullinen määrä (100 %) varaosia hankittuna varastoon lukuun ottamatta optista muunninta SH8 (33 %). Optisia muuntimia on myös lukumäärällisesti moninkertaisesti verrattuna muiden komponenttien määriin keskimäärin. Tätä kyseistä komponenttia on syytä seurata erityisellä tarkkuudella, ja mikäli vikaantumisia ilmenee, niihin on reagoitava viipymättä.

Kaukokäytön ala-aseman protokollamuunnin (INDUSTRIE PC IPC191V4 - 19") ja häiriötallennin (IBA RACKLINE SAS XEON E3 WIN10 PCIe, SSD) sekä niihin liittyvät komponentit ovat suojaus- ja ohjausjärjestelmän komponenteista elinkaarensa päässä olevista tuotteista ainoita, joiden toimittaja ei ole Siemens. Niiden elinkaaren vaiheen kuvaukset eivät siis ole yhteneviä muihin järjestelmän tuotteisiin verrattuina. Myös teknisen tuen ja varaosien saaminen voi olla työläämpää, jos kyselyjä joudutaan lähettelemään useille eri tahoille. Asiakassuhteen ylläpitäminen aktiivisena laitteiden toimittajiin helpot-

taa oikean henkilön tavoittamista ja näin viiveiden minimoimista. Protokollamuuntoon on tarjolla teknistä tukea vuoteen 2027 asti. Häiriötallentimen valmistaja lupasi teknistä tukea toistaiseksi.

Tarkasteltaessa MTBF-lukuja nousevat esiin SIMATIC IPC ja SIMATIC TDC RACK. Niiden MTBF-luku on alle kymmenen vuotta. Muiden komponenttien MTBF-luku on muutamasta vuodesta useisiin tuhansiin vuosiin. Luvussa 4 MTBF-luvun käsitettä on avattu tarkemmin. Kuvassa 10 havainnollistuu suojaus- ja ohjausjärjestelmän komponenttien MTBF lukujen erot. Huomion arvoista toki on, ettei kaikille komponenteille ole ilmoitettu MTBF-lukua, joten ne on jätetty pois kuvasta 10. Erityisesti on syytä huomioida laserkommunikointijärjestelmän komponentit ja häiriötallennin (IBA RACKLINE SAS XEON E3 WIN10 PCIe, SSD).



Kuva 10. Suojaus- ja ohjausjärjestelmän komponenttien MTBF-lukujen havainnollistus

SIMATIC IPC:lle on hankittu hyvällä suhteella (100 %) varaosia ja TDC RACKille puolestaan hieman keskiarvoa huonommalla (50 %). Tästä syystä

TDC RACK on syytä ottaa tarkkaan seurantaan. Protokollamuuntimelle on hankittu selvästi parhaalla suhteella varaosia, kun yhtä käytössä olevaa laitetta kohden hyllyssä on kaksi varaosakappaletta. Yleisesti voidaan todeta suunnittelun aikaisten varaosahankintojen määrien mukailevan kohtalaisesti MTBF-lukua. Toki etupistokkeiden MTBF-luku on tuhansia kertoja muita suurempi, joten näiden osalta varaosasuhde verrattuna keskimääräiseen vikataajuuteen on huomattavasti muita parempi. On muistettava, että MTBF-luku on vain laskennallinen työkalu, joka ottaa huomioon vain normaalissa käytössä syntyvät tekniset viat, eikä esimerkiksi asentajan kovakouraisen tai väärän työtavan seurauksia, joten yksi varaosakappale kumpaakin neljää kytkentämoduulia kohden lienee perusteltu.

Tuloksista voidaan todeta valtaosan suojaus- ja ohjausjärjestelmän komponenteista olevan valmistajien näkökulmasta elinkaarensa ehtopuolella. Tämä on syytä ottaa huomioon, jotta laitteistolle asetettu toiminta-aikatavoite saavutetaan. Kyseisten laitteistojen haltija on asettanut sarjakompensointipariston suojaus- ja ohjausjärjestelmälle 15 vuoden käyttöiän, lisäksi varaosavalmiutta on taattava laitteistoille viidentoista vuoden ajalle laitteiston käyttöönotosta. Sarjakompensointiparistolle ei ole kokonaisuutena asetettu käyttöikä, vaan laitteistoja päivitetään ja lopulta korvataan uusilla tarpeen mukaan. [31; 32.]

Seuraavassa luvussa käsitellään merkittävimpien havaintojen pohjalta mahdollisuuksia varautua tulevaisuuden haasteisiin ja pyrkiä saavuttamaan asetettu toiminta-aikatavoite sekä mahdollisesti jopa pidentää laitteiston elinkaarta asetetun tavoitteen yli.

Laitteiston haltija pyrkii saavuttamaan asetetut toiminta-aikatavoitteet vaati- malla, että laitteistoissa käytetyille komponenteille on tarjottava varaosia ja teknistä tukea vähintään kymmenen vuoden ajan sopimuksen allekirjoittami- sesta. Tästä voidaan tarvittaessa tiettyjen komponentin kohdalla joustaa, esi- merkiksi tietokoneille laitteiston haltija hyväksyy viiden vuoden tuen, toki tällöin laitteen olisi hyvä olla helposti vaihdettava osa kokonaisuutta. Laitteiston hal- tija pyrkii hankkimaan vaihdetun varaosan tilalle uuden, jotta varaosavaraston

saldot säilyvät samoina koko laitteiston käyttöiän ajan. Näin edesautetaan laitteiston käyttöiän mahdollista jatkumista asetetun tavoitteen jälkeen, lisäksi kyky reagoida toistuviin vikatilanteisiin ei heikkene. [31.]

Laitteiston haltijan edustaja oli erityisesti huolissaan asiantuntijuuden vanhoista järjestelmistä katoavan, jolloin iäkkäämpiin järjestelmiin ei ole välttämättä tarjolla riittävää teknistä tukea tulevaisuudessa. He toivovat laitetoimittajien viestivän rehellisesti ja hyvissä ajoin komponenttien elinkaaren muutoksista ja haavoittuvuuksista. Laitteiston haltija pyrkii tulevaisuudessa entisestään selkeyttämään toimintaansa laitevalmistajien suuntaan solmimalla kunnossapitosopimuksia heidän kanssaan. Sopimuksilla pyritään lohkomaan selkeitä vastuualueita ja osoittamaan niitä oikeiden tahojen vastuulle. Sopimukset myös helpottavat tiedonkulkua, kun oikeat yhteyshenkilöt kullekin osa-alueelle nimetään sopimusprosessin aikana. Sopimuksilla saadaan myös sovittua tarvittava ylläpidettävän valmiuden taso laitteistojen kunnossapitoon ja vikakorjauksiin. [31.]

6 TOIMET ELINKAAREN PIDENTÄMISEKSI

Tulosten pohjalta on ilmeistä, että ohjaus- ja suojausjärjestelmän elinkaarta on mahdollista sekä tarpeellista kehittää. Tässä luvussa luodaan katsaus edellisessä luvussa todettujen neljän merkittävimmän suojaus- ja ohjausjärjestelmän haavoittuvuuden vaikutuksiin sekä esitetään mahdollisia keinoja tilanteen parantamiseksi, jotta asetetut elinkaaritavoitteet on mahdollista saavuttaa.

Edellä esiteltyjen haavoittavuuksien lisäksi tarkastellaan keinoja suojautua kyberuhkilta aiheen ajankohtaisuuden vuoksi. Näkökulmavalintaa perustellaan tarkemmin kyseisessä alaluvussa 6.4. Mahdollisuutta pidentää protokollamuuntimen elinkaarta siirtämällä toiminnot virtuaalikoneelle on laajennettu yleisluontoiseksi ohjeeksi, jotta sitä voidaan mahdollisesti soveltaa myös muihin sarjakompensointiasemalla oleviin tietokoneisiin.

6.1 Tulevaisuuden suojaus- ja ohjausjärjestelmä

Siemens Energy siirtyy tulevaisuudessa tietokonepohjaiseen ohjausteknologiin. Ohjausjärjestelmät vaativat kykyä nopeaan ohjaukseen. Sulautetut tietokoneet ja Ethernet I/O-terminaalit täyttävät nämä vaatimukset. Nykyisillä prosessoreilla yhdessä TwinCAT-automaatiojärjestelmän kanssa on mahdollista saavuttaa jopa 250 mikrosekunnin toimintataajuus. [33.] TwinCAT on Beckhoff Automation GmbH & Co:n kehittämä tietokonepohjainen automaatiojärjestelmä. TwinCat on modulaarinen ohjelmisto, johon voidaan lisätä käyttökohteen mukaan tarvittavia toiminnallisuuksia. Ohjelmisto jakautuu kahteen osaan TwinCAT XAE (eXtended Automation Engineering) ja TwinCAT XAR (eXtended Automation Runtime). XAE mahdollistaa toimilaitteiden ohjelmoimisen ja konfiguroinnin yhdellä työkalulla. XAR välittää ohjelmistokoodin ohjauskomennot toimilaitteille. [34.]

Vanha käytössä oleva ohjausohjelmisto on pienillä muutoksilla siirrettävissä uuteen digitaaliseen muotoon. Vanhan järjestelmän toiminnot on mahdollista muuntaa käyttäen Simulink- ja Matlab-ohjelmistoja ja sitten siirtää sulautettuun tietokoneeseen. Näin pystytään myös lisäämään käytettävissä olevien komponenttien valikoimaa. Saman mallin mukaan muunnettuja ohjelmistoja on mahdollista käyttää laajasti samoilla laitteilla, eivätkä käytettävät laitteet rajaudu niin tiukasti kuin perinteisemmät suljetut automaatiojärjestelmät. [33; 35.]

6.1.1 Olemassa olevan järjestelmän laserit elinkaarensa päässä

Optiset muuntimet ja niihin liittyvät komponentit on suositeltava vaihtaa viimeistään suojaus- ja ohjausjärjestelmän saneerauksen yhteydessä järjestelmää tukevaan optiseen muuntimeen. Uudenlaiseen tietokonepohjaiseen ohjausjärjestelmään laitteiden liittäminen on toki joustavaa, mikäli käytetään yleisiä virallisia kommunikointiprotokollia. Mikäli vikaantumisten ja varaosien tai teknisen tuen puuttumisen vuoksi järjestelmä jouduttaisiin korvaamaan uudella, olisi optimaalista huomioida järjestelmän yhteensovitettavuus tietokonepohjaisen järjestelmän kanssa.

Mikäli optiset muuntimet joudutaan vaihtamaan ennen suojaus- ja ohjausjärjestelmän saneerausta, voisi yksi vaihtoehto olla Siemensin Simatic Net Pro-

fibus -tuoteperheen laitteet. Siemens-ekosysteemin sisällä uudenlaisen laitteiston liittäminen onnistuu joko TDC-laitteistoon muuntimen avulla suoraan tai Simatic S7 -yksiköiden kautta. [36, s.50.]

Tarpeen vaatiessa korvaavaa toteutustapaa on suositeltava konsultoida tulevista Siemens Energyn rakentamista sarjakompensointiparistoista. Järjestelmä on vielä kehitteillä, joten siitä ei ole vielä saatavilla tarkempia tietoja. Käyttämällä samanlaisia järjestelmiä saneeraus- ja uudiskohteissa saavutetaan synergiaa niin tietotaidon kuin resurssien näkökulmasta. Myös laitteiston haltijan prosessit helpottuvat, kun laitteistot ovat keskenään mahdollisimman samanlaisia.

6.2 Simatic S7 phase-out-vaikutukset

Simatic S7 on näissä laitteistoissa sarjakompensointipariston standardiratkaisuun lisätty järjestelmä, jolla yhdistetään asemarakennuksen ohjaustiedot. Mikäli sarjakompensointiparisto rakennettaisiin olemassa olevan sähköaseman yhteyteen ei todennäköisesti tällaista järjestelmää tarvittaisi, vaan tiedot yhdistettäisiin sähköaseman automaatiojärjestelmästä sarjakondensaattorin suojaus- ja ohjausjärjestelmään. Vaatimus on siis TDC-järjestelmää matalampi, joten markkinoilta löytyy useita soveltuvia ratkaisuja. Korvatessa on otettava huomioon sillä hetkellä käytössä olevan suojaus- ja ohjausjärjestelmän muiden komponenttien yhteensopivuus uuteen järjestelmään. Käytännössä tämä todennäköisesti tarkoittaa fyysisten liittimien uusintaa ja mahdollisesti väylä-kommunikoinneissa joudutaan käyttämään protokollamuuntimia. Laitteiston haltija on hyväksynyt käytettäväksi Siemensin A8000-sarjan laitteet tulevaisuudessa [32]. Jatkossa A8000-sarjaa käytetään uuden tietokonepohjaisen suojaus- ja ohjausjärjestelmän osana I/O-yksikkönä, jolla yhdistetään ja ohjataan tulevia sekä lähteviä signaaleja digitaaliseen järjestelmään [37]. Tämän pohjalta on järkevää käyttää A8000-järjestelmää Simatic S7 -järjestelmän korvaajana, mikäli tarve ilmenee tulevaisuudessa ennen suojaus- ja ohjausjärjestelmän täysimittaista saneerausta.

A8000 kuuluu Siemensin Sicam-tuoteperheeseen. Sicam-tuoteperhe on modulaarinen niin ohjelmistojen kuin laitteistojen automaatiojärjestelmä. Sicam A8000 on erityisesti energian tuotannon kauko-ohjaukseen ja automaatioon

räätälöity järjestelmä. Järjestelmä tukee jopa 200 000 datapistettä. Järjestelmä soveltuu käytettäväksi vaikeissa ympäristöolosuhteissa sekä suoraan sähköasemalla. Sicam-tuoteperhe sopii hyvin integroitavaksi edellä esiteltyyn digitaaliseen ohjausjärjestelmään. [35; 39; 37.]

6.3 Tietokoneiden siirto virtuaalikoneille

Virtuaalikoneelle siirretyt toiminnot ovat lähes riippumattomia fyysistä komponentista. Täten käytetty tietokone voidaan vaihtaa niiden ympäriltä uudempaan ja jatkaa saman vanhan ohjelmiston käyttöä. Tämä mahdollistaa tietokoneen ympärillä olevan järjestelmän säilyttämisen ennallaan, vaikka fyysinen tietokone jouduttaisiin vaihtamaan. Virtuaalikoneen hyödyntäminen tuo merkittävää etua sarjakompensointipariston suojaus- ja ohjaus järjestelmän vaihteeseen uusimiseen tulevaisuudessa. Lisäksi tietyissä tapauksissa virtuaalikoneilla voidaan suojautua tietoturvahaukilta, siitä lisää alaluvussa 6.4. [40; 41.]

Laitteiston haltija on antanut mahdollisuuden toteuttaa uusille sarjakompensointiparistoille ohjausjärjestelmän virtuaalisena ESXi-ympäristössä. Jatkossa käsitellään huomioitavia seikkoja siinä tapauksessa, että nykyiset sarjakompensointipariston tietokoneet siirrettäisiin kyseiseen virtuaaliseen ympäristöön. Käytettävien komponenttien on tuettava ESXi 7.x tai uudempaa versiota siitä. Järjestelmä on kahdennettava eli rakennettava vähintään kahden eri serverin varaan. Kummallakin serverillä tulee olla samat tiedot ja niiden tulee toimia yhtäaikaisesti toisistaan riippumatta. Muille kuin kriittisille tiedoille ja toiminnoille, joita ei tarvitse kahdentaa, varataan oma ESXi-palvelimensa. Tällaisia ovat esimerkiksi varmuuskopiot. [42, s.11.] Olemassa olevan laitteiston siirtämien virtuaaliympäristöön on suositeltavaa tehdä yksi tietokone kerrallaan, jotta järjestelmän toimintavarmuus säilyy hyvänä ja järjestelmien vaihtumisen prosessi pysyy sujuvana. Näin toimitaan muissa laitteiston haltijan laitteistoissa [43].

ESXi on VMwaren kehittämä hypervisor, virtuaalikonemonitori, sitä käytetään virtuaalikoneiden luomiseen ja pyörittämiseen. Hypervisorit mahdollistavat sen, että yksi isäntäkone jakaa resursseja usean virtuaalikoneen kanssa. Hypervisorin avulla siis ikään kuin erotetaan sovellukset ja käyttöjärjestelmä fyysisistä laitteista. [41.]

Virtuaalikone toimii samalla periaatteella kuin muutkin tietokoneet. Se lainaa prosessointitehoa ja muistikapasiteettia fyysiseltä isäntäkoneelta. Jokaisella virtuaalikoneella on oma määrätty määränsä muistia ja prosessoritehoa käytössään. Virtuaalikoneet ovat siis ohjelmistopohjaisesti rakennettuja tietokoneita. Isäntäkoneen näkökulmasta ne ovat tiedostoja, joten yhdessä isäntäkoneessa tai -serverissä voi olla monta virtuaalikonetta isännän resurssien puitteissa. [40.]

Käytössä olevien komponenttien yhteensopivuutta ESXi-version kanssa voi tarkistella VMwaren Compatibility-työkalulla [44]. Sillä voi myös etsiä sopivia komponentteja kulloisiinkin tarpeisiin.

Uusia virtuaalikoneita ESXi-ympäristöön voi luoda VMwaren Workstation-sovelluksella. Jo olemassa olevat ohjelmistot ja tietokoneet voidaan puolestaan muuntaa ESXi-virtuaalikoneiksi vCenter Converter -sovelluksella. Erilliset virtuaalikoneet, kolmansien osapuolten sovellusten järjestelmän näköistiedostot ja fyysiset tietokoneet muokataan yhtenäiseksi VMwaren ekosysteemiin soveltuviksi yhtenäisen kokonaisuuden osiksi käyttäen vCenter convertter -ohjelmistoa [45]. Järjestelmän redundanttisuuden varmistamiseksi luodut ESXi-serverit on yhdistettävä yhdeksi klusteriksi [46]. Tämä voidaan toteuttaa vSphere Client tai vSphere Web Client -sovelluksilla. Klusteri mahdollistaa korkean saatavuuden servereille, se hallinnoi serverien keskinäistä toimintaa ja varmistaa resurssien jakautumisen jokaisella virtuaalikoneelle tarpeen mukaan. Virtualisoinnissa vikasietoinen tallennusjärjestelmä on myös tärkeä [46]. Myös tallennusjärjestelmän yhdistäminen klusteriin voidaan tehdä vSphere-sovelluksella. Klusteri tarvitsee toimiakseen jaettua muistia. Klusteri hallitsee muistin jakamista ja järjestelmän varmuuskopioimista, jotta vikatilanteista palautuminen on mahdollisimman sujuvaa. Jaettu muisti muodostetaan moninkertaiseksi ja varmennetuksi, jolloin järjestelmän toimintavarmuus voidaan pitää mahdollisimman hyvänä. [47, s.6–9; 48.]

Siirrettäessä sarjakompensointipariston suojaus- ja ohjausjärjestelmän tietokoneita virtuaalikoneille keskeisimmät huomioitavat käytännönseikat jakautuvat kahteen osa-alueeseen: rajapinta fyysiseen maailmaan ja sovellusten siir-

täminen virtuaalikoneelle. On varmistettava, että käytettävässä isäntäkoneessa on tarvittavat ulkoset liittimet ja kommunikointiprotokollat. Muussa tapauksessa kommunikoinnin siirtämisessä on käytettävä erillistä protokollamuunninta, joka muuttaa tarvittavat signaalit sopivaan muotoon.

Sovellusten siirtämiseen virtuaalikoneeseen on suositeltavaa konsultoida komponenttien valmistajia. Sarjakompensointipariston suojaus- ja ohjausjärjestelmän tietokoneiden valmistajat kertoivat kaikki kyseisten sovellusten olevan siirrettävissä virtuaaliympäristöön ilman suurempia ponnisteluja. Ala-aseman protokollamuuntimen valmistaja IPCOM tarjoaa palvelua nykyisten järjestelmien siirtämiseksi virtuaaliympäristöön [49]. Ala-aseman kommunikoinnissa käytetty Ethernet-protokollia sekä projektista riippuen IEC60870-5-101 tai IEC60870-5-104-protokollia. Häiriötallentimen valmistaja IBA ei tarjoa suoraan virtualisointia palveluna, mutta tarjoaa apua järjestelmänsä käyttöönottoon virtuaaliympäristössä [50]. Heillä käytössä Wibu-Systems AG:n CodeMeter Runtime -ohjelmisto [51], jolla huolehditaan tarvittavien lisenssien jakaminen käynnistettävillä sovelluksilla määritellyssä ympäristössä [52]. Siemensin Simatic TDC IPC:n varmuuskopioimiseen ja ohjelmiston siirtämiseen on kehitetty Image & Partition Creator V3.6 -ohjelmisto (tilausnumero: 6ES7648-6AA83-6YA0), jota voidaan käyttää työkaluna sovellusten järjestelmän näköistiedoston luomiseen ohjelmistosta siirrettäessä sitä virtuaaliympäristöön. [53.]

Vanhan järjestelmän toimivuuteen ei kuitenkaan tule tuudittautua, vaan järjestelmän jokainen toiminnallisuus on syytä testata ja varmistaa muunnosprosessin sujuneen ongelmitta [46].

6.4 Kybertoimintaympäristön huomioiminen sarjakompensointiparistossa

Valtioneuvosto on uusimmassa kyberturvallisuusstrategiassa vuodelta 2019 linjannut keskeiseksi, että ”*kyberturvallisuus saadaan tärkeäksi osaksi myös muiden kuin kyberturvallisuustuotteita, -palveluita ja ratkaisuja tuottavien yritysten toimintaa*”. Erityisesti asia tulisi huomioida yrityksissä, joiden toimintaan kyberturvallisuus ja siihen liittyvät uhat vaikuttavat merkittävästi. Tällaisiksi aloiksi on katsottu muun muassa tietoliikenne, energiantuotanto ja -jakelu, fi-

nanssi- ja vakuutusala ja terveydenhuolto. [54.] EU:n päivitetty kyberturvallisuusdirektiivi ja Suomen hallitusohjelma asettavat vaatimuksia kyberturvallisuusstrategialle ja valtioneuvosto onkin asettanut työryhmän Suomen kyberturvallisuusstrategian päivittämiseksi vielä vuoden 2024 aikana. [55.] Tämä tulee varmasti vaikuttamaan yritysten, erityisesti valtiollisten toimijoiden, vaatimustason toimittajille kyberturvallisuuden osalta.

EU:n päivitetty kyberturvallisuusdirektiivi (NIS2) tulee voimaan 18.10.2024. Huomionarvoisia muutoksia aiempaan direktiiviin ovat ilmoitusvelvollisuus kyberpoikkeamasta sekä ennalta määritellyt sanktiot yritykselle varautumisen ja ilmoitusvelvollisuuden laiminlyömisestä. Taulukossa 2 on esitetty NIS2-direktiivin vaatimukset kiertopoikkeamasta ilmoittamiseen toimivaltaiselle viranomaiselle. [56, §. 23.]

Taulukko 2. NIS2-direktiivin velvoitteet kyberpoikkeamasta raportoinnille [56, §. 23]

Vaadittava toimi	Aikamääre
Ennakkovaroitus poikkeamasta	24 tunnin kuluessa hetkestä, kun poikkeama havaitaan
Raportti poikkeaman vakavuudesta ja vaikutuksista	72 tunnin kuluessa poikkeamasta
Lopullinen raportti poikkeaman luonteesta ja juurisyistä.	Kuukauden kuluessa poikkeamasta

Jatkossa yrityksen johdon on valvottava kyberuhkilta varautumisen keinojen riittävyttä. Vastaava viranomainen arvioi poikkeamasta tehtyjen raporttien perusteella, olivatko tehdyt toimet poikkeaman ja sen seurausten välttämiseksi riittävät. Sanktioista säädetään seuraavasti. Keskeisille toimijoille määrätään enimmillään vähintään 10 000 000 euroa tai enimmillään vähintään 2 prosenttia sen yrityksen vuotuisesta kokonaisliikevaihdosta sen mukaan, kumpi näistä määristä on suurempi. Tärkeille toimijoille luvut ovat 7 000 000 euroa tai 1,4 prosenttia liikevaihdosta. Ilmoitusvelvollisuuden laiminlyömisestä tai puutteellisesta toteuttamisesta sovelletaan samoja perusteita sanktion määräytymisessä. Vaatimukset ja sanktiot koskevat laitteiston haltijaa. Laitteistotoimittajille NIS2 ei aseta merkittäviä vaatimuksia. EU:n parlamentti valmistelee parhaillaan kyberkestävyyslainsäädöstä, Cyber Resilience Act (CRA), joka asettaa

vaatimuksia myös laitevalmistajille. Sen tarkoituksena on parantaa valmistettävien tuotteiden kyberturvallisuutta sekä velvoittaa valmistajat parantamaan suojattujen tuotteiden kyberturvallisuutta tuotteen elinkaaren loppuun saakka. Lisäksi luodaan yhtenäinen kehys kyberturvallisuuden noudattamiselle EU:ssa. [56, §. 34; 57.] Cyber Resiliense Act ei ole kuitenkaan vielä saavuttanut viimeistä muotoaan ja sen työstäminen jatkuu edelleen. Direktiivin valmistamisesta yrityksille annetaan 36 kuukautta aikaa, kunnes velvoitteet astuvat voimaan. Raportointivelvollisuus on sitova jo 21 kuukauden kuluttua. [58.]

6.4.1 Kyberturvallisuuden parantaminen sarjakompensointiparistoissa

Kyberuhkilta suojautumisen voi kansantajuistaa laitteiston digitaalisen toimintavarmuuden ylläpitämisenä. Ensin tunnistetaan laitteiston todennäköisesti haavoittuvat kohdat, minkä jälkeen suojataan laitteisto mahdollisimman hyvin tunnettujen uhkien perusteella kattavasti haavoittuvuuksia vastaan.

Sarjakompensointipariston suojaus- ja ohjausjärjestelmän kyberuhkat voidaan tunnistaa ja niiltä suojautua tässä kappaleessa kuvatuin keinoin. Luodaan kattava listaus laitteistoissa käytetyistä tietoteknisistä komponenteista, ohjelmista ja kommunikointistandardeista. Selvitetään, onko käytetyistä komponenteista, ohjelmista ja kommunikointistandardeista löydetty haavoittuvuuksia ja jos on, selvitetään, miten niiltä suojaudutaan. Seurataan saatavilla olevia tietoturva-päivityksiä ja asennetaan ne viipymättä. Haavoittuvuuksia voidaan myös korjata erikseen tätä varten suunnitellulla ohjelmistolla. Tällaisia palveluita voi ostaa tietoturva-alan yrityksiltä ja usein myös laitevalmistajilta tänä päivänä. [59; 60.]

Siemens Energy on räätälöinyt sähkönsiirron ratkaisuilleen kolmitasoisien patch management -palvelun. Palvelun kolme tasoa ovat pronssi, hopea ja kulta. Edellisen tason palvelut kuuluvat korkeamman palvelun sisältöön. Pronssitasolla laitteistotiedot kerätään yhteen ja laitteiston haltijalle toimitetaan säännöllisesti uutiskirje koskien laitteiston osien tietoturvallisuuteen liittyviä muutoksia ja päivityksiä. Hopeatasolla laitteiston kestoisuutta kybervaikuttamiselta testataan yleisen testimallin avulla tai asiakaskohtaisen laitteistokopion avulla. Kultatasolla haavoittuvuustestit suoritetaan todelliselle laitteistoille suunniteltujen käyttökeskeytysten aikana. [60.]

Tuotteen elinkaaren päättymisen jälkeen valmistajat eivät todennäköisesti enää tarjoa tietoturvapäivityksiä. Näin ollen kyseisten tuotteiden kyky kestää kyberuhkia ei ainakaan parane, mutta niitä vastaan on mahdollista kehittää uusia haittaohjelmia. Elinkaarensa päässä olevista tuotteista on tutkittava erityisen tarkkaan, miten niiden kyberturvallisuustaso saadaan pidettyä vähintään entisellään. [60.]

Hyvä esimerkki kyberturvallisuustason takaamisesta vanhentuneelle komponentille on tietokoneen korvaaminen virtuaalikoneella, jolloin mahdollisen haavoittumisuhkan alainen järjestelmänosa tulee suojatuksi ulkoisia uhkia vastaan sitä ympäröivän virtuaalikoneen suojauksella. Eli Vanhat ohjelmistot ikään kuin eristetään virtuaalikoneen sisään ja virtuaalikoneet omaan verkkoonsa. Toisaalta tähän ei pidä tuudittautua täysin, sillä mikäli virtuaalikone on yhteydessä verkkoon voivat haavoittuvuudet levitä verkon kautta muihin laitteisiin tai saattaa virtuaalikoneen alttiiksi uhkille. Yleisestikin liittynät suljetun virtuaalisen ympäristön ulkopuolelle ovat erityisen riskialttiita paikkoja. [61; 46.]

7 YHTEENVETO

Sarjakompensointipariston suojaus- ja ohjausjärjestelmän menestyksekkään elinkaaren hallinnan takaamiseksi kommunikoinnin on oltava avointa ja viiveetöntä laitteistojen haltijoiden ja laitetoimittajan välillä. Laitteiston elinkaarentilan perusteella tiettyjä komponentteja on syytä seurata erityisellä tarkkuudella. Näiden komponenttien vikaantumiseen on reagoitava ripeästi ja tiedon siirtyminen laitteiston haltijalta laitevalmistajalle viipymättä on nähtävissä molempien osapuolien eduksi. Käytettävien ohjelmistojen ja tietoteknisten komponenttien tietoturvapäivityksiä on syytä seurata aktiivisesti ja asentaa ne viipymättä.

Laitteiston elinkaaren tilasta tehtiin seuraavat merkittävimmät huomiot:

1. Kondensaattorilavan ja ohjausjärjestelmän väliseen kommunikaatioon käytettävät laserit ovat poistuneita tuotteita.
2. Simatic TDC IPC -teollisuustietokoneen varaosavaihe päättyy vuonna 2026.
3. Kaukokäytön ala-aseman protokollamuuntimeen on tarjolla teknistä tukea vuoteen 2027 asti.

Tutkimusta suunniteltaessa luonnollisesti pyrittiin keskittämään resursseja laitteiston siihen osa-alueeseen, jossa todennäköisesti mahdollisia puutteita on eniten. Tarkasteltavat laitteet painottuvatkin kriittisiin laitteisiin, joten laitteiston elinkaaren tila saattaa näyttäytyä tämän tutkimuksen pohjalta hälyttävämpänä kuin mikä se todellisuudessa on. Lisäksi tutkimusmenetelmät painottivat tarkastelun lähinnä komponenttien elinkaaren vaiheeseen valmistajan näkökulmasta, ottamatta juuri kantaa laitteiston todelliseen elinkaarentilaan tai jäljellä olevaan todelliseen käyttöaikaan. Laitteistoilla onkin siis vielä runsaasti elinkaarta jäljellä erityisesti, jos sitä ylläpidetään järkevästi.

Tuotteista, joiden elinkaari on jo valmistajan näkökulmasta päättynyt (Siemensillä PM500) oli vaikea löytää tietoja. Tuotteen valmistajan edustajakaan ei aina osannut auttaa, koska kyseisistä tuotteista ei ollut enää dokumentteja saatavilla [62]. Jatkossa olisi hyvä seurata käytössä olevien komponenttien elinkaaren vaihetta jo ennen kuin niiden elinkaari päättyy ja selvittää korvaavat tuotteet ja korvaamisen vaikutukset hyvissä ajoin.

LÄHTEET

1. Fingrid Oy. Kantaverkon Kehittämissuunnitelma 2024–2033. PDF-dokumentti. 2023. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid_kehittamissuunnitelma_2024-2033.pdf [viitattu 18.02.2024].
2. Siemens Energy Oy. About us. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/company/about.html> [viitattu 7.3.2024].
3. Siemens Energy Oy. Company Presentation. 2024. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/company/about.html> [viitattu 6.3.2024].
4. Siemens Gamesa Oy. About us. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.siemensgamesa.com/about-us> [viitattu 6.3.2024].
5. Siemens Gamesa Oy. Siemens Gamesa history. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.siemensgamesa.com/en-int/about-us/company-history> [viitattu 6.3.2024].
6. Fonecta. Finder. Siemens Energy. Taloustiedot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finder.fi/Tukkuliike/Siemens+Energy+Oy/Espoo/yhteystiedot/3336472> [viitattu 7.3.2024].
7. Naukkarinen, R. Muuntajaöljyn regenerointi. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikka. Opinnäytetyö, ylempi ammattikorkeakoulututkinto. 2018.
8. Siemens Oy. 1847: The company's founding. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.siemens.com/global/en/company/about/history/company/1847-1865.html> [viitattu 7.3.2024].
9. MÜNZEL, M. SIEMENS – a technology company since 1847. Berlin. Siemens Historical Institute. 2022. Saatavissa: <https://www.siemens.com/global/en/company/about/history/siemens-historical-institute.html> [viitattu 7.3.2024].
10. Siemens Oy. Siemens to build focused energy powerhouse and further boost performance. Lehdistötiedote. 2019. Saatavissa: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/press-releases/siemens-build-focused-energy-powerhouse-and-further-boost-performance.html> [viitattu 7.3.2024].
11. Siemens Oy. New energy company to be called Siemens Energy. Lehdistötiedote. 2019. Saatavissa: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/press-releases/new-energy-company-to-be-called-siemens-energy.html> [viitattu 7.3.2024].
12. Siemens Oy. Siemens Suomessa ja Baltiassa, liiketoiminta-alueet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.siemens.com/fi/fi/yhtio/siemens-suomessa-ja-baltiassa/liiketoiminta-alueet.html> [viitattu 7.3.2024].

13. Elovaara, J. & Laiho, Y. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki: Valopaino Oy. 2001.
14. Elovaara, J. & Haarla, L. Sähköverkot I, järjestelmäteknikka ja sähköverkonlaskenta. 2. painos. Helsinki: Gaudeamus. 2011.
15. Elovaara, J. & Haarla, L. Sähköverkot II, verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Gaudeamus. 2011.
16. Vitikka, V.(toim.) Yliaallot ja kompensointi. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto: Espoo. 2006.
17. Anderson, P.M. & Farmer R.G. Series Compensation of Power Systems. California: PBLSH! Inc. 1996.
18. IEC 60143-2. Series capacitors for power systems – Part 2: Protective equipment for series capacitor banks. 2021.
19. Kantanen, J. 2023. 400 kV sarjakondensaattori järjestelmäkuvaus. Siemens Energy Oy. Word-dokumentti. Siemens Energyn sisäinen dokumentti.
20. Aalto-yliopisto teknillinen korkeakoulu. OVERVOLTAGES INSULATION COORDINATION Lecture 6 ELECE 8409 High Voltage engineering. Luento-koalvo. Saatavissa: <https://slidetodoc.com/overvoltages-insulation-coordination-lecture-6-elece-8409-high/> [viitattu 22.05.2024].
21. IEC 60143-1 Series capacitors for power systems – Part 1: General. 2023.
22. 2020. Borovkov, S., Kopiloff, M. & Kantanen, J. 400 kV sarjakondensaattorit, JÄRJESTELMÄKUVAUS, Ohjaus ja suojausjärjestelmän saneeraus. Siemens Oy. Word-dokumentti. Siemens Energyn sisäinen dokumentti.
23. Siemens Oy. SIMATIC TDC multiprocessor control system. Tuotokuvaus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/9990124> [viitattu 29.04.2024].
24. Siemens Oy. SIMATIC S7-300 - Proven and available until 2033. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-300.html> [viitattu 30.04.2024].
25. 2020. Siemens Oy. Design Specification 4, Plant Control. Liite 4, S7-300 Unit I/O list. PDF-dokumentti. Siemens Energyn sisäinen dokumentti.
26. Siemens Oy. Reliability consulting. PDF-dokumentti. Saatavissa: [Mean Time Between Failures \(MTBF\) - list for SIMATIC products - ID: 16818490 - Industry Support Siemens](https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-300.html) [viitattu 16.04.2024].
27. Siemens Oy. Sieportal. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://sieportal.siemens.com/en-fi/home> [viitattu 22.04.2024].

28. Siemens. Description of the product lifecycle for SIMATIC HMI products (PLM). WWW-dokumentti. Saatavissa: [Description of the product lifecycle for SIMATIC HMI products \(PLM\) - ID: 91688124 - Industry Support Siemens](#) [viitattu 16.04.2024].
29. Kantanen, J. CP-sparepart. Siemens Energy Oy. Excel-dokumentti. Siemens Energyn sisäinen dokumentti.
30. Kantanen, J. Deviceinformation form. Siemens Energy Oy. Excel-dokumentti. Siemens Energyn sisäinen dokumentti.
31. Karhu, J. Erikoisasantuntija FACTS-kunnossapito. Haastattelu 07.05.2024. Fingrid Oy.
32. Liljelund, M. 2024. Project Management Team Leader, tender management. Haastattelu 02.05.2024. Siemens Energy Oy.
33. Johannsen, N., Zenkner, A. & Wallner, P. Automation in the high-voltage range. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.1.2024 Saatavissa: <https://www.computer-automation.de/feldebene/stromversorgung/automation-im-hochvolt-bereich.213413.html> [viitattu 02.05.2024].
34. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. TwinCAT automation software. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.beckhoff.com/en-en/products/automation/twincat/?pk_campaign=BingAds_twincat_twinsafe_dyn_en&pk_kwd=twincat [viitattu 21.05.2024].
35. Dietrich, J. Siemens Energy Helps Drive Global Energy Transition with Model-Based Design - The Approach Reshapes Development and Testing of Energy Systems. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: [Advancing Carbon-Neutral Energy at Siemens - MATLAB & Simulink \(mathworks.com\)](#) [viitattu 02.05.2024].
36. Siemens Oy. SIMATIC NET Network components - PROFIBUS Optical link module. PDF-dokumentti 2022. Saatavissa: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109476821/simatic-net-network-components-profibus-optical-link-module?dti=0&lc=en-DE> [viitattu: 03.05.2024].
37. Schneider W. 2023. PLUS 2x VSC C150 Branch Open Rack Design Redundant Control. Siemens Energy Oy. PDF-dokumentti. Siemens Energyn sisäinen dokumentti.
38. Siemens Oy. SICAM A8000. Tuotekuvaus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10510087> [viitattu: 03.05.2024].
39. Siemens Oy. SICAM A8000. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://xcelerator.siemens.com/global/en/all-offerings/products/s/sicam-a8000.html> [viitattu 02.05.2024].
40. Microsoft. What is a virtual machine (VM)?. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-a-virtual-machine/> [viitattu 07.05.2024].

41. VMware. What is a hypervisor?. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/hypervisor.html> [viitattu: 07.05.2024].
42. Fingrid Oy. 2023. Operational Technology and Cybersecurity. PDF-dokumentti. Siemens Energyn sisäinen dokumentti.
43. Fingrid Oy. 2023. Follow-up meeting on lifetime management of C&P. Pöytäkirja. Siemens Energyn sisäinen dokumentti 28.11.2023.
44. VMware. VMware Compatibility Guide. WWW-sovellus. Saatavissa: <https://www.vmware.com/resources/compatibility/search.php> [viitattu 07.05.2024].
45. VMware. vCenter Converter. WWW-dokumentti. 2024. Saatavissa: <https://www.vmware.com/products/converter.html> [viitattu: 08.05.2024].
46. Ceder, A. 2024. Asiakkuuspäällikkö. Haastattelu 09.05.2024. e-IT Oy.
47. VMware inc. VMware Infrastructure Architecture Overview. PDF-dokumentti. 2006. Saatavissa: https://www.vmware.com/pdf/vi_architecture_wp.pdf [viitattu 10.05.2024].
48. Seget, V. 2016. VMware High Availability (HA) cluster – Storage configuration. Blogi. Päivitetty: 04.07.2016. Saatavissa: [VMware High Availability \(HA\) cluster – Storage configuration – 4sysops](#) [viitattu 10.05.2024].
49. Kreidl, H. 2024. Myyntiedustaja. Sähköpostiviesti 30.04.2024. IPCOM GmbH.
50. Collheim, J. 2024. Myynti-insinööri. Sähköpostiviesti 03.05.2024. Begner Agenturer AB, IBA AG:n edustaja Pohjoismaissa.
51. Wibu systems AG. CodeMeter Runtime Installation Guide. PDF-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.wibu.com/support/manuals-guides.html> [viitattu 08.05.2024].
52. Wibu systems AG. CodeMeter Runtime. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.wibu.com/products/codimeter/runtime.html> [viitattu 08.05.2024].
53. Siemens. Delivery release of SIMATIC IPC Image & Partition Creator V3.6. WWW-dokumentti. Päivitetty 08.05.2020. Saatavissa: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109781271/delivery-release-of-simatic-ipc-image-amp-partition-creator-v3-6?dti=0&lc=en-NL> [viitattu 08.05.2024].
54. Turvallisuuskomitea. Suomen Kyberturvallisuusstrategia 2019. PDF-dokumentti. 2019. Saatavissa: <https://turvallisuuskomitea.fi/suomen-kyberturvallisuusstrategia-2019/> [viitattu 03.05.2024].

55. Valtioneuvosto. Kansallinen kyberturvallisuusstrategia uudistetaan valtion kyberturvallisuusjohtajan johdolla. WWW-dokumentti. Päivitetty: 08.03.2024. Saatavissa: [Kansallinen kyberturvallisuusstrategia uudistetaan valtion kyberturvallisuusjohtajan johdolla - Valtioneuvosto](#) [viitattu 06.05.2024].
56. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2022/2555. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L.2022.333.01.0080.01.FIN&toc=OJ%3AL%3A2022%3A333%3AFULL> [viitattu 14.05.2024].
57. Heiskanen, K. 2023. Cyber Resilience Act – mitä siitä pitäisi tietää?. Blogi. Päivitetty: 29.11.2023. Saatavissa: https://blog.knowit.fi/cyber-resilience-act-mita-siita-pitaisi-tietaa?hs_amp=true [viitattu 14.05.2024].
58. Ostrowska, J. The EU Cyber Resilience Act proposal What You Need to Know. Blogi. Päivitetty: 04.01.2024. Saatavissa: <https://www.aoshearman.com/en/insights/ao-shearman-on-tech/the-eu-cyber-resilience-act-proposal-what-you-need-to-know> [viitattu 14.05.2024].
59. Siemens Energy Oy. Cyber security services. WWW-dokumentti Saatavissa: [Cyber Security Services \(siemens-energy.com\)](#) [viitattu 06.05.2024].
60. Cyber Security for HVDC & FACTS. Siemens Energy Grid Technologies Service. PDF-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/service/cyber-security-services.html> [viitattu 06.05.2024].
61. Huoltovarmuuskeskus. Tietoturvaa huoltovarmuuskriittisille yrityksille. PDF-dokumentti. 2013. Saatavissa: https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/98c0c5fa192bd46c730e9542f182b7666562a775/2013_teosummary_www.pdf [viitattu 08.05.2024].
62. Nurmi, M. 2024. Head of Sales Specialist Digital Industries. Sähköposti-viesti 23.04.2024. Siemens Oy.

KÄSITELTYJEN KOMPONENTTIEN NIMITYKSET

Simatic S7		
Simatic TDC		
Laserkommunikointijärjestelmä		
ITEMNUM.	ASSET.DESCRPTION	TUOTTEEN KUVAUS
DGE-528T	Gigabit Ethernet Adapter PCI DGE-528T	Verkkokortti
BES-540C	INDUSTRIE 24 V DC PC-Power	Virtalähde
HP.V4L.BHF0-1.1	INDUSTRIE PC IPC191V4 - 19"	Kaukokäytön protokollamuunnin
6GK5005-0BA10-1AA3	SCALANCE X005 IE Entry Level Switch	Ethernetkytkin
6ES7971-0BA00	BACKUP BATTERY 3,6V/2,3AH F. PS 405/407	Muistin varaparisto
7SJ80 compact	OVERCURRENT PROTECTION RELAY	Ylivirtasuojarele
6GK7343-1EX30-0XE0	SIMATIC S7 Communications processor CP 343-1	Ethernetkortti
6GK6015-0BM21-0DC0-Z	RUGGEDCOM RX1501	Ethernetkytkin
6ES7953-8LG31-0AA0	Simatic S7 Micro Memory Card, 128KB,	Muistikortti
6ES7392-1AM00-0AA0	SIMATIC S7-300, Front connector 40-pole	Etupistoke 40 liitintä
6ES7392-1AJ00-0AA0	SIMATIC S7-300, Front connector 20-pole	Etupistoke 20 liitintä
6ES7331-7KF02-0AB0	SIMATIC S7 SM331, 8AE, 9/12/14Bit	Analogiatulokortti
6ES7323-1BL00-0AA0	SIMATIC S7 SM323, 16DE/DA, DC24V, 0,5A	Digitaalitulo/lähtökortti
6ES7321-1BH02-0AA0	SIMATIC S7 SM321, 16DE, DC24V	Ditaalitulokortti
6ES7314-1AG14-0AB0	SIMATIC S7-300 CPU314, 128 KB	Keskusyksikkö
6DD1661-0AE1	SIMATIC TDC Communicationsmod. CP51M1	Kommunikointikortti, Ethernet, TCP/IP ja/tai UDP
6DD1661-0AD1	SIMATIC TDC Kommunikationsbaugr. CP50M1	Kommunikointikortti 2 PROFIBUS
6DD1640-0AH0	SIMATIC TDC SM500, 8AA/8AE/16DA/16DE signalmodule	Digitaali/analogia tulo/lähtökortti
6AG4114-2KH32-4EX0	SIMATIC IPC847D (Rack PC)	
6DD1682-0CH3	SIMATIC TDC RACK UR6021	TDC-moduuli
6DD1600-0BA3	SIMATIC TDC CPU551 Processor	Keskusyksikkö

6DD7070-0AA01	MM MULTI-PURPOSE MEASURING MODULE ELECTRONIC PLUG-IN MODULE FOR OPTI- CALLY OPERATED MEASURING SYSTEM	Optisen komminu- konnin mittausyk- sikkö
6DD7070-0AA02	MX MEASURING EXPANSION MODULE ELECTRONIC PLUG-IN MODULE FOR OPTI- CALLY OPERATED MEASURING SYSTEM	Mittausyksikön laa- jennusosa
6DD7070-0AA06	LC LASER CONTROL MODULE ELECTRONIC PLUG-IN MODULE FOR OPTICALLY OPERATED MEASURING SYSTEM	Laser-ohjaussyk- sikkö
7TM7570-0AA08	OPTICAL CONVERTER SH8	Optinenmuunnin
60000302	IBA HDD COLD-SPARE BAY	Häiriötallentimen ver- kosta irroitettut vara- muistit
40004327	IBA RACKLINE SAS XEON E3 WIN10 PCIe, SSD	Häiriötallennin

SUOJAUS- JA OHJAUSJÄRJESTELMÄN ELINKAARISELVITYKSEN TU- LOKSET

ITEMNUM.	ASSET.DESCRPTION	Product lifecycle		QTY	Org. spare parts	Spare part ratio	MTBF
		PLM		PCS	PCS		YEAR
DGE-528T	Gigabit Ethernet Adapter PCI DGE-528T	End of Life	Hardware and software engineering support is no longer provided	4	2,00	50 %	
BES-540C	INDUSTRIE 24 V DC PCPower	Active product	Active product	1	1,00	100 %	
HP.V4L.BHF0-1.1	INDUSTRIE PC IPC191V4 19"	Discontinued product	End of support and re- pair is planned at 2027.	1	2,00	200 %	11,4
6GK5005-0BA10-1AA3	SCALANCE X005 IE Entry Level Switch	PM300	active product	2	1,00	50 %	167,1
6ES7971-0BA00	BACKUP BATTERY 3,6V/2,3AH F. PS 405/407	PM300	active product	4	2,00	50 %	-
7SJ80 compact	OVERCURRENT PROTECTION RELAY	PM300	active product	2			
6GK7343-1EX30-0XE0	SIMATIC S7 Communications processor CP 343-1	PM400	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	1,00	25 %	
6GK6015-0BM21-0DC0-Z	RUGGEDCOM RX1501	PM400	pm490 in 01/10/2024	2	2,00	100 %	
6ES7953-8LG31-0AA0	Simatic S7 Micro Memory Card, 128KB,	PM400	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	1,00	25 %	19000
6ES7392-1AM00-0AA0	SIMATIC S7-300, Front connector 40-pole	PM400	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	1,00	25 %	18837,5
6ES7392-1AJ00-0AA0	SIMATIC S7-300, Front connector for sig- nal modules 20-pole	PM400	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	1,00	25 %	18837,5
6ES7331-7KF02-0AB0	SIMATIC S7 SM331, 8AE, 9/12/14Bit	PM400	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	1,00	25 %	19,6
6ES7323-1BL00-0AA0	SIMATIC S7 SM323, 16DE/DA, DC24V, 0,5A	PM400	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	1,00	25 %	21,8
6ES7321-1BH02-0AA0	SIMATIC S7 SM321, 16DE, DC24V	PM400	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	1,00	25 %	105,3
6ES7314-1AG14-0AB0	SIMATIC S7-300 CPU314, 128 KB	PM400	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	1,00	25 %	85
6DD1661-0AE1	SIMATIC TDC Communicationsmod. CP51M1	PM400	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	2,00	50 %	37,3
6DD1661-0AD1	SIMATIC TDC Kommunikationsbaugr. CP50M1	PM400	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	2,00	50 %	24,3
6DD1640-0AH0	SIMATIC TDC SM500, 8AA/8AE/16DA/16DE sig- nalmodule	PM410	pm 490 in 01/10/2022	4	2,00	50 %	25,7
6AG4114-2KH32-4EX0	SIMATIC IPC847D (Rack PC)	PM410	pm 490 in 01/10/2026	2	2,00	100 %	6,54
6DD1682-0CH3	SIMATIC TDC RACK UR6021	PM410	pm410 in 01/10/2025 pm490 in 01/10/2033	4	2,00	50 %	6,54
6DD1600-0BA3	SIMATIC TDC CPU551 Processor	PM410	pm 490 in 01/10/2030	4	2,00	50 %	23,7

6DD7070-0AA01	MM MULTI-PURPOSE MEASURING MODULE ELECTRONIC PLUG-IN MODULE FOR OPTICALLY OPERATED MEASURING SYSTEM	PM500	Hardware and software engineering support is no longer provided	4	4,00	100 %	
6DD7070-0AA02	MX MEASURING EXPANSION MODULE ELECTRONIC PLUG-IN MODULE FOR OPTICALLY OPERATED MEASURING SYSTEM	PM500	Hardware and software engineering support is no longer provided	4	4,00	100 %	
6DD7070-0AA06	LC LASER CONTROL MODULE ELECTRONIC PLUG-IN MODULE FOR OPTICALLY OPERATED MEASURING SYSTEM	PM500	Hardware and software engineering support is no longer provided	4	4,00	100 %	
7TM7570-0AA08	OPTICAL CONVERTER SH8	PM500	Hardware and software engineering support is no longer provided	12	4,00	33 %	
60000302	IBA HDD COLD-SPARE BAY	Discontinued product	Hardware and software engineering support is provided until further notice	4	1,00	25 %	
40004327	IBA RACKLINE SAS XEON E3 WIN10 PCIe, SSD	Discontinued product	Hardware and software engineering support is provided until further notice	2	1,00	50 %	