

MUUNTAMON VALVONTA

Ylijääskö Janne

Opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Janne Ylijääskö	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Ins. (YAMK) Heikki Isometsä		
Toimeksiantaja	Outokumpu Chrome Oy Ins. (YAMK) Katri Hast Ins. Juha Nevalainen		
Työn nimi	Muuntamon valvonta		
Sivu- ja liitesivumäärä	53 + 22		

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin tapoja, joilla Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksen jakelumuuntamoiden valvontaa voidaan lisätä. Työssä keskityttiin 266-puistomuuntamon valvonnan parantamiseen.

Työhön sisältyi 266-puistomuuntamon valvonnan tämänhetkiseen toimintaan tutustuminen sekä kehittämis ehdotusten määrittäminen ja niiden valikoitu toteuttaminen. Toteuttamisella tarkoitetaan näiden ehdotusten saattamista toiminnalliseen tilaan. Valvonnan parantamisen tarkoituksena on varmistaa muuntamon toiminta ja taata keskeytymätön tuotanto.

Opinnäytetyön lopputuloksena toimeksiantaja sai ehdotuksia 266-puistomuuntamon valvonnan parantamiseksi. Osa niistä toteutettiin tämän opinnäytetyön osana. Toimeksiantaja tulee soveltamaan näitä parannusehdotuksia myös muille kaivoksen muuntamoille.

Avainsanat Outokumpu, Kemin kaivos, ohjelmoitavat logiikat, puistomuuntaja

Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Janne Ylijääskö	Year	2023
Supervisor	Heikki Isometsä, M. Eng		
Commissioned by	Outokumpu Chrome Ltd. Katri Hast M.Eng. Juha Nevalainen E&M foreman		
Subject of thesis	Transformer Monitoring		
Number of pages	53 + 22		

The purpose of this thesis was to find ways to monitor distribution transformers at Kemi mine. The thesis focused on a 266-distribution transformer, but specified improvements will be also used in other transformers at Outokumpu.

The thesis included determining a starting point of the monitoring, coming up with suggestions for improvement and implementation of the selected measures. The aim was to improve the state of monitoring at the 266-distribution transformer.

Determined changes have been made to the 266-distribution transformer and monitoring level of the transformer has increased. Suggestions for improvement will also be implemented to other distribution transformers at Outokumpu Kemi mine.

Key words

Outokumpu, Kemi mine, programmable logic, distribution transformer

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	OUTOKUMPU	9
2.1	Ferrokromitehdas.....	12
2.2	Kemin kaivos	12
2.2.1	Maanalainen kaivos.....	13
2.2.2	Rikastamo	14
3	MUUNTAMO.....	15
3.1	Muuntaja	15
3.1.1	Yksivaiheinen muuntaja	15
3.1.2	Kolmivaiheinen muuntaja	17
3.2	Keskijännitekojeisto	19
3.3	Pääkeskus	21
4	MUUNTAMON VALVONTA.....	22
5	AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT.....	24
6	KAIVOKSEN AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ	25
6.1	Ohjelmistot.....	25
6.2	Järjestelmän rakenne.....	25
7	KÄYTETYT VÄYLÄLAITTEET	28
7.1	SIMATIC S7-400.....	28
7.2	ET 200SP hajautettu I/O	28
7.3	PAC3200 verkkoanalysointilaite.....	29
7.4	Profibus OLM.....	30
7.5	Profibus FC.....	31
8	266-PUISTOMUUNTAMO	33
8.1	Nykytilanne	33
8.2	Kehitysideat	34
8.2.1	Verkkoanalysointilaite.....	34
8.2.2	Muuntamon tilatiedot	35
8.2.3	Katkaisijalähtöjen tilatiedot.....	35
8.2.4	20/0.69kV muuntajan lämpötilanmittaus.....	36

8.2.5	Keskuksen lämpötilanmittaus	37
8.3	Toteutettavat muutokset	37
8.3.1	Automaatiokeskus RK-266	38
8.3.2	Kaapeloinnit	39
8.3.3	Väyläliitännät	40
9	OHJELMOINTIOSUUS	42
9.1	AS6 järjestelmän kokoonpano	42
9.2	Ohjelmat	43
9.3	Simatic HMI	46
10	TULOKSET	48
11	POHDINTA	50
	LÄHTEET	51
	LIITTEET	53

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivokselle. Työn aiheesta haluan kiittää maanalaisen kaivoksen kunnossapitoinsinööri Katri Hastia sekä ohjauksesta maanalaisen kaivoksen sähkökunnossapidon työnjohtajaa Juha Nevalaista. Lapin ammattikorkeakoulun puolelta työn ohjaajana toimi Heikki Isometsä, jota haluan kiittää neuvoista ja ohjeista opinnäytetyöhön.

Kiitokset myös opinnäytetyön dokumentoinnin avustamisesta Jani Kiiskilälle sekä automaatio-ohjelmoinnista Jari Pellolle.

Torniossa 20.04.2023

Janne Ylijääskö

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AI	Analogia tulo (Analog Input)
AO	Analogia lähtö (Analog Output)
AS	Automaatiojärjestelmä (Automation System)
CPU	Keskusyksikkö (Central Processing Unit)
DC	Tasajännite (Direct current)
DCS	Hajautettu ohjausjärjestelmä (Distributed Control System)
DI	Digitaalinen tulo (Digital input)
HMI	Käyttöliittymä (Human-Machine Interface)
I/O	Tulo/lähtö (Input/Output)
IN	Tulo (Input)
OLM	Optinen moduuli (Optical link module)
PCS	Prosessin ohjausjärjestelmä (Process control system)
PLC	Ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller)
PROFIBUS	Prosessikenttäväylä (Process Field Bus)
PS	Virtalähde (Power supply)
PT-100	Resistanssi lämpötila ilmaisin (Resistance temperature detector)
PVC	Polyvinyylikloridi (Polyvinyl chloride)
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal
WLAN	Langaton lähiverkko (Wireless local area network)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Outokumpu Chrome Oy, ja sen aiheena on selvittää tapoja muuntamoiden valvonnan lisäämiseksi Kemin maanalaisessa kaivoksessa. Työssä keskitytään 266-puistomuuntamoon, selvitetään sen nykytilanne ja määritellään keinoja, joilla sen valvontaa voitaisiin lisätä. Parhaimmaksi koetut kehitysideoita tullaan toteuttamaan yhdessä yhteistyötahon kanssa osana opinnäytetyötä.

Tarkoituksena on lisätä 266-puistomuuntamon valvontaa opinnäytetyössä määritettävien kehitysideoiden avulla. Valvontaa lisäämällä pyritään parantamaan muuntamon huoltotöiden suunnittelua, käyntivarmuutta sekä helpottamaan poraverkon suunnittelua tulevaisuudessa. Yhteistyötaho pystyy myös soveltamaan opinnäytetyössä syntyneitä kehitysideoita muihin muuntamoihin.

Aloitin 266-puistomuuntamoon tutustumisen kyselemällä kaivoksen sähkökunnossapidon henkilöstöltä. Heiltä sain peruskäsityksen muuntamon tilanteesta ja jatkoin tutkimista kenttäkierroksilla ja muuntamon materiaaleihin perehtymällä. Tällä tavoin sain kattavan käsityksen muuntamon nykytilanteesta ja lähtökohdat opinnäytetyön suorittamiselle.

Tämä opinnäytetyö on kehityspainotteinen ja se pohjautuu konkreettiseen ongelmaan ja ratkaisuun. Tämä opinnäytetyö pohjautuu seuraaviin kolmeen tutkimuskysymykseen:

1. Miten muuntamon valvontaa tehdään nyt?
2. Kuinka muuntamon valvontaa voidaan kehittää?
3. Mitä hyötyä valvonnan lisäämisestä on?

2 OUTOKUMPU

Outokummun tarina alkoi siitä, kun vuonna 1910 Itä-Suomen Kuusjärven kunnan alueelta löydettiin lupaava kupariesiintymä. Ensimmäinen kuparitehdas aloitti tuotannon vuonna 1913. Suomen valtio ja malmialueen omistaja Hackman & Co. perustivat vuonna 1914 avoimen yhtiön nimeltä Outokumpu Kopparverk vastamaan kuparin tuotannosta. Kupari sulatettiin ja jalostettiin pienessä tehtaassa kaivoksen läheisyydessä. Kuparia riitti myös vientiin. Vuosina 1917–1920 yhtiö vuokrattiin norjalaiselle Hybinette-yhtiölle. Outokumpu käytti Hybinette yhtiön tuotantomenetelmää kuparinjalostamisessa. Hybinette perusti vuonna 1916 Outokumpu Kupari Oy:n ja nimi vaihtui seuraavana vuonna Ab Outokumpu Oy:ksi. Vuonna 1921 norjalaisten kausi päättyi ja toimintaa jatkettiin suomalaisosakkaiden voimin. Sodanjälkeisessä Euroopassa haluttiin taata valtiollisen itsenäisyyden lisäksi taloudellinen itsenäisyys ja omavaraisuus. Torjuttuaan ulkomaisen pääoman Suomen valtio kansallisti Outokummun vuonna 1924. (Outokumpu 2021a.)

Ensimmäisen maailmansodan jälkeen mm. talouslama, omistajien väliset erimielisyydet, talousvaikeudet ja pääoman saanti hidastivat tuotannon kehitystä ja laajennussuunnitelmia. 1920-luvun lopulle tultaessa kaivos oli jo laajentunut nykyaikaiseksi tuotantolaitokseksi ja uudet tuotantolaitokset otettiin käyttöön elokuussa 1928. Päätuote oli yhä rikaste, mutta Outokumpu suunnitteli jo laajentamista eteenpäin kuparin tuotantoketjussa ja oman kuparitehtaan rakentamista. (Outokumpu 2021a.)

1930-luvulla Outokumpu kasvoi merkittäväksi kuparintuottajaksi ja viejäksi. Valtion omistaman yhtiön liiketoimintaa parannettiin muuttamalla se yksityiseksi yhtiöksi ja vuonna 1932 Outokumpu muutettiin osakeyhtiöksi. Suomen valtio jatkoi merkittävänä osakkeenomistajana. Yhtiömuutoksen jälkeen toiminta laajeni nopeasti kuparin tuotantoketjussa elektrolyyttikupariin, tankoihin, lankoihin, levyihin ja putkiin. 1930-luvulla Outokumpu rakensi kaikkiaan kuusi uutta tuotantolaitosta: Imatralle nousi tuolloin maailman suurin kuparisulatto ja Poriin kuparitehdas. Suomen nopea teollistuminen tuki Outokummun laajennettua toimintaa ja kehitystä ja näin ollen Outokummusta kasvoi yksi Euroopan johtavista kuparintuottajista. (Outokumpu 2021a.)

1940-luvulla toisen maailmansodan seurauksena Imatran kuparisulatto siirrettiin pois sodan jaloista Harjavaltaan. Tehdas oli vajaassa puolessa vuodessa taas toiminnassa ja sen tuotantokapasiteetti kaksinkertaistettiin. Imatralla Outokumpu oli hyödyntänyt vesivoimaa, mikä taas ei ollut Harjavallassa mahdollista ja sen seurauksena sähkön hinta oli huipussaan, koska Suomi oli menettänyt sähkön-tuotantokapasiteettiaan sodassa. Outokumpu alkoi suunnitella uutta tuotantopro-sessia malmin sulattamiseen sen omaa polttoarvoa hyväksi käyttäen. Näin teh-den säästyttäisiin sekä sähkön että kivihiilen käytöltä. Metallurgiassa ns. auto-geeninen prosessi oli teoriassa tunnettu, mutta sen tuotannollisesta sovelluk-sesta ei löytynyt esikuvia. Uusi sulatusmenetelmä, liekkisulatus, otettiin käyttöön vuonna 1948. Tämä ainutlaatuinen menetelmä herätti mielenkiintoa maailman-laajuisesti. Liekkisulatusmenetelmä oli myös Outokummun teknologiadivisioonan (ja myöhemmin Outotecin) alku. Samaan aikaan yhtiö laajeni ja hankki uusia esiintymiä – kuparia, nikkeliä ja kultaa. (Outokumpu 2021a.)

1950-luvulla Outokumpu oli yksi Euroopan johtavista kaivosyhtiöistä, joka jalosti omien kaivostensa malmeja. 1950- ja 1960-luvulla Outokummun uudet nikkeli-, sinkki- ja kuparikaivokset aloittivat toimintansa. Suomessa käynnistettiin myös ensimmäinen kobolttitehdas. Kaivostoiminnasta oli siirrytty erilaisiin monimutkai-siin metallurgisiin prosesseihin, ja innovaatiot ja päämäärätietoinen tutkimus- ja kehitystyö olivat tarpeen, jotta köyhiä malmeja saatiin jalostettua. 1950-luvulla Outokumpu aloitti teknologiansa myynnin ulkopuolisille ja ensimmäinen Outo-kummun teknologialla rakennettu liekkisulatto käynnistettiin Japanissa. (Outo-kumpu 2021a.)

Suurin käänne Outokummun historiassa tapahtui vuonna 1959 Kemissä, kun sukeltaja Martti Matilainen löysi kromilohkareen makeavesikanavasta. Vuonna 1960 Outokumpu sai oikeudet esiintymän jatkotutkimukseen, ja kaivostoiminta alkoi valmistavilla töillä jo 1964. Ferrochromisulatto rakennettiin Tornioon, jossa ferrokromin tuotanto alkoi vuonna 1968. Kromi tekee teräksestä ruostumattoman ja nikkeli kestävän, joten Outokummulla oli nyt hallussaan kaksi ruostumattoman teräksen raaka-ainetta. Ruostumattoman teräksen tuotannon kannattavuutta alettiin tutkia vuonna 1960 eli samana vuonna, kun Outokumpu alkoi tutkia kro-miesiintymää. (Outokumpu 2021a.)

Vuonna 1976 ensimmäinen sulatuserä valmistui uudella teknologialla varustetulla Tornion ruostumattoman teräksen tehtaalla. Tehdas oli yksi maailman tehokkaimmista ruostumattoman teräksen tehtaista ja ainoa, jonka tuotantoketjuun kuului myös oma kromikaivos ja ferrokromituotanto samalla tehdasalueella. Tornion tehdas tuotti alkuun 50 000 tonnia ruostumatonta terästä, mikä oli Outokummun koko jaloteräskapasiteetti. Myöhemmin valmistuneet kuumavalssaamo ja kylmävalssaamo täydensivät ruostumattoman teräksen integraation, ja Outokumpu pystyi laajentamaan tuotevalikoimaansa. (Outokumpu 2021a.)

1970-luvulle saakka Outokummun tehtaat olivat riippuvaisia omista kaivoksistaan. Malmiesiintymien ehtymisen myötä Outokumpu aloitti kansainvälisen toimintansa. Ensin metalleja hankittiin kansainvälisiltä markkinoilta, ja 1980-luvulla Outokumpu hankki malmiesiintymiä ja kaivosyhtiöitä ulkomailta, kuten Taran sinkkikaivoksen Irlannista, Viscarian kuparikaivoksen Ruotsista ja puolituotteita valmistavia tuotantolaitoksia Espanjasta, Ruotsista ja Yhdysvalloista. Outokumpu myi ulkomaille myös teknologiaa, jonka olimme kerryttäneet omissa kaivoksissa ja tuotantolaitoksissamme esimerkiksi liekkisulatukseen ja ferrokromin valmistukseen. 1980-luvulla merkittävä osa kupari- ja ferrokromisulatoista ympäri maailmaa hyödynsivät Outokummun teknologiaa. Vuonna 1988 Outokumpu liitettiin Helsingin pörssiin. (Outokumpu 2021a.)

1990-luvulla Outokummun liiketoiminta jakautui perusmetalleihin, kupariin, ruostumattomaan teräkseen ja teknologiaan. Investoinnit Tornion ruostumattoman teräksen tuotannon kaksinkertaistamiseen valmistuivat vuonna 1991. Muutaman vuoden kuluttua teräksen tuotantoa tuplattiin jälleen, koska ruostumattoman teräksen valmistaminen oli kannattavaa ja teräksen kysyntä maailmalla kasvoi. Ensimmäisen kerran johto harkitsi keskittymistä ruostumattomaan teräkseen vuonna 1997, koska sen kysyntä jatkoi kasvuaan. 2001 Outokumpu yhdistyi Avesta Sheffieldin kanssa ja uuden yhtiön nimeksi tuli AvestaPolarit. Polarit oli Tornion tuotemerkki ja Avesta Ruotsin ja Iso-Britannian. Sopimuksen myötä AvestaPolaritista tuli maailman toiseksi suurin jaloteräsyhtiö. Edellä oli vain myös kahdesta kilpailijasta yhdistynyt saksalainen ThyssenKrupp. Vuonna 2004 Outokummun johto päätti keskittyä kokonaan ruostumattoman teräksen tuotantoon luopuen muista metalleista, kaivostoiminnasta ja teknologiasta. Tarkoituksena oli nousta maailman ruostumattoman teräksen valmistajan ykkössijalle. Vuonna

2012 Outokumpu osti saksalaisen Inoxum GmbH:n ThyssenKruppin. Vuosituhannen vaihteessa Outokumpu oli kansainvälinen monimetalli- ja kaivosyhtiö, jolla oli oma raaka-ainepohja ja 21 000 työntekijää ympäri maailmaa. (Outokumpu 2021a.)

Kun Outokumpu aloitti ruostumattoman teräksen valmistuksen, Euroopassa oli 21 ruostumattoman teräksen tuottajaa. Outokummun ostettua Inoxumin suuria toimijoita oli käytännössä vain kolme – Outokumpu, Acerinox ja Aperam. Tällä hetkellä Outokummulla on markkinoiden laajin tuotevalikoima, kustannustehokkaat ja nykyaikaiset tehtaot, oma kromikaivos ja 100 vuoden kokemus metalleista, teknologiasta ja kaivosteollisuudesta. (Outokumpu 2021a.)

2.1 Ferrokromitehdas

Tornion ferrokromitehtaalla valmistetaan ferrokromia Kemin kaivokselta saatavasta rikasteesta. Ferrokromitehdas koostuu useammasta tuotantoyksiköstä, joihin kuuluvat koksiasema, sintraamot ja kolme ferrokromiuunia sekä murskaamo. (Outokumpu 2022a.)

Koksiasemalla kuivataan koksia sulattojen ja sintraamoiden tuotantotarpeisiin, ja sintraamoilla valmistetaan Kemin kaivoksen rikasteesta pellettiä valokaariuuneille sulatusprosessiin. Ferrokromiuuneilla tuotettu ferrokromi toimitetaan sulana ruostumattoman teräksen valmistukseen terässulatolle raaka-aineeksi. Osa ferrokromista toimitetaan tuotteenkäsittelyyn, jossa se murskataan asiakkaan tilaamaan raekokoon ja lähetetään edelleen asiakkaalle. (Outokumpu 2022a.)

2.2 Kemin kaivos

Kemin kaivos on Outokumpu Oyj:n tytäryhtiön Outokumpu Chrome Oy:n omistama kaivos, joka sijaitsee Kemin kaupungin pohjoispuolella Keminmaan kunnan alueella, Elijärvellä. Kemin kaivos on ainoa kromikaivos Euroopan unionin alueella. (Kaivosvastuu 2021.)

Kaivos on osa Outokummun omistamaa integroitua ferrokromin ja ruostumattoman teräksen valmistusketjua Kemi-Tornion alueella. Kemin kaivoksen tehtävänä pitkässä tuotantoketjussa kromimalmista ruostumattomaksi teräkseksi on tuottaa kromimalmista tehtyjä kromirikasteita Torniossa sijaitsevan ferrokromitehtaan raaka-aineeksi ferrokromin valmistusta varten. Ferrokromitehtaan tuotteena syntyvän ferrokromin sisältämä kromi tekee Tornion terästehtaalla valmistettavasta teräksestä ruostumatonta. (Kaivosvastuu 2021.)

2.2.1 Maanalainen kaivos

Kemin kaivos avattiin vuonna 1968, vajaa kymmenen vuotta malmin löytymisen jälkeen. Kromimalmia louhittiin vuoteen 2005 asti avolouhintana. Avolouhinnalla päästiin noin 200 metrin syvyyteen. Vuonna 2003 aloitettiin maanalainen louhinta ja vuodesta 2005 on kaikki malmi louhittu maanalaisesta kaivoksesta. Malmin louhinta on aloitettu tasolta 500, josta edetään ylöspäin kohti avolouhoksen pohjaa. Tyhjäksi louhitut yksittäiset louhokset täytetään sivukivellä. Louhoksista malmi kuljetetaan maanalaiselle murskaamolle, mistä murskattu malmi nostetaan nostokuilun kautta maanpäälliseen rikastusprosessiin. (Kaivosvastuu 2021.)

Maanalaisessa kaivoksessa louhinta suoritetaan alhaalta ylöspäin käyttäen louhintamenetelmänä poikittaista pengerlouhintaa. Pengerlouhinta on välitasolouhinnan sovellus, jossa louhinta etenee yksi penger eli tasoväli kerrallaan. Eteneminen voi tapahtua joko ylhäältä alaspäin tai päinvastoin ja siinä voidaan käyttää apuna louhostäyttöä tai pilareita. Parhaiten pengerlouhinta soveltuu massiivisille tai jyrkkäkaateisille ohuille juonimalmeille ja se voidaan jakaa poikittaiseen sekä pitkittäiseen pengerlouhintaan. Poikittaista pengerlouhintaa kutsutaan myös jälkitäyttölouhinnaksi. Siinä eteneminen tapahtuu samalla tavalla kuin välitasolouhinnassakin, ensimmäisen ja toiseen vaiheen louhosten välillä. Työturvallisuuden vuoksi ja etenkin epävakaisissa kallio-olosuhteissa, louhokset lujitetaan pultituksilla, ruiskubetonoinnilla sekä verkotuksella. (Karinen, Peronius & Toppila 2018, 63)

Outokumpu on investoinut lähes 300 miljoonaa euroa kaivoksen DeepMine-projektiin, jossa maan alle tulee 1000-tasolle uusi päätaso, uudet murskaus- ja

malminkäsittelylinjat sekä nostokuilu. Investoinneilla pidennetään kaivoksen käyttöikää 2040-luvun alkupuolelle asti. Projektin käyttöönottovaihe on aloitettu 2022 ja pyritään saamaan valmiiksi vuoden 2023 alussa. (Outokumpu 2021b.)

2.2.2 Rikastamo

Rikastamolla esimurskattu malmi rikastetaan pala- ja hienorikasteeksi. Ensin malmi murskataan edelleen jatkoprosessia varten. Palarikastamolla malmista erotetaan raskasväliaine-erotuksella palarikaste. Hienorikastamolla malmi jauheetaan tankomyllyllä ja rikastetaan ominaispainoon perustuvilla spiraalierottimilla hienorikasteeksi. Kuviossa 1 esitetään pala- ja hienorikasteet. Rikasteet kuljetaan kuorma-autoilla Tornion ferrokromitehtaalle. Hienorikastamolta rikastusprosessissa syntyvä rikastushiekka pumpataan läjitettäväksi rikastushiekka-altaaseen, mistä kiintoaineista puhdistettu vesi pumpataan selkeytysaltaiden kautta takaisin rikastamolle prosessivedeksi. (Kaivosvastuu 2021.)



Kuvio 1. Kemin kaivoksen tuotteet (Outokumpu 2021c.)

3 MUUNTAMO

Muuntamalla tarkoitetaan sähkötilaa, johon on aseteltu muuntaja, muuntajan kytkentään tarvittavat kojeistot, mahdollinen sähkökeskus sekä muut apujärjestelmät ja kytkentäkomponentit (Orrberg 2022, 43). Muuntajalla siirretään sähköenergiaa kahden eri vaihtosähköpiirin välillä. Muuntajia käytetään sekä heikkovirta- että vahvavirtatekniikassa (Ahoranta 2009, 291.) Muuntamot ovat tavallisesti, pylväs-, koppi-, kellari- tai puistomuuntamoita.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään tason 266-puistomuuntamoon. Puistomuuntamo on kokonaisuus, joka koostuu muuntajasta, keskijännitekojeistosta ja pääkeskuksesta. Puistomuuntamot on suunniteltu kestämaan vettä sekä pölyä ja ovat käyttökelpoisia myös kaivosolosuhteissa.

3.1 Muuntaja

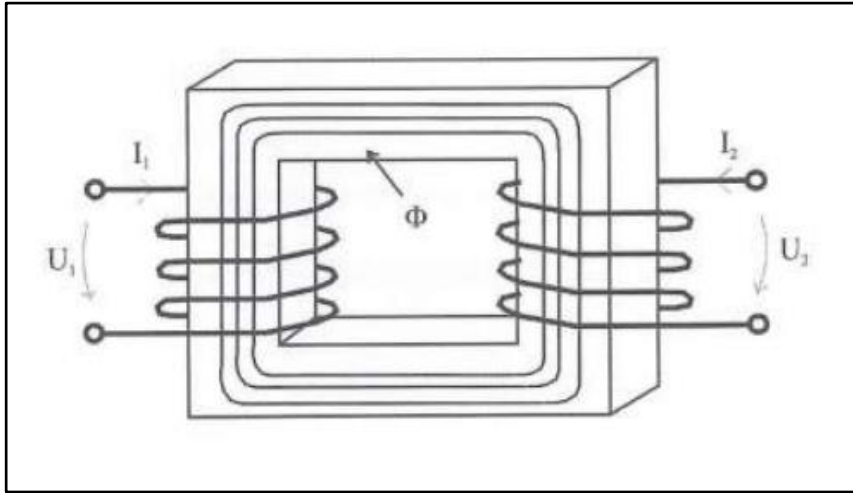
Muuntaja on sähkölaite, joka vaihtosähköjärjestelmässä muuntaa ja säätää jännitteitä ja virtoja kahden tai useamman käämityksen välillä käyttäen hyväksi sähkömagneettista induktiota. Kolmivaihemuuntaja voidaan rakentaa kolmesta yksivaiheyksiköstä tai suoraan kolmivaiheyksiköksi (Elovaara & Haarla 2011, 141.)

Muuntajia on niin isoja kuin pieniäkin ja niitä käytetään monissa erilaisissa paikoissa ja laitteissa, kuten kännyköissä, tietokoneissa, kodinkoneissa, tehtaissa, sairaaloissa ynnä monissa muissa paikoissa (Saintola 2018). Tässä työssä keskitytään jakelumuuntajiin, joilla on tärkeä osa sähkönsiirrossa. Muuntajien avulla jännitetasoa nostetaan siirtoverkossa häviöiden minimoimiseksi ja toisaalta myös lasketaan jännitetaso sähkönkäyttäjälle turvallisiksi.

3.1.1 Yksivaiheinen muuntaja

Kuviossa 2 esitetään yksivaiheinen muuntaja, jossa vasemmalla on ensiö- ja oikealla toisiokäämi. Muuntajan toiminta perustuu ensiökäämin synnyttämään magneettivuohon ja magneettivuon indusoimaan toisiokäämin jännitteeseen. Ensiökäämin magneettivuon suuruus on riippuvainen ensiökäämin kierrosten lukumäärästä ja virran suuruudesta. Toisiokäämiin indusoituvan jännitteet suuruus

riippuu toisiokäämin magneettivuon suuruudesta ja käämin kierrosten lukumäärästä. (Hietalahti 2011, 6.)



Kuvio 2. Yksivaiheinen häviötön muuntaja (Hietalahti 2011,12.)

Häviötön muuntaja noudattaa kaavaa 1. Jännitteen suuruus riippuu molempien käämitysten lukumäärästä. Ensiökäämissä ollessa enemmän kierroksia kuin toisiokäämissä, on toisiokäämin jännite pienempi kuin ensiökäämissä. Tällöin on kyseessä jännitettä alentava muuntaja. Käämityksen suhteen ollessa päinvastainen on kyseessä jännitettä nostava muuntaja. Muuntajan käämitykset voivat olla myös samassa suhteessa, jolloin ensiö- ja toisiopuolen jännitteet ovat samansuuruisia. Tällaista muuntajaa käytetään galvaanisen erotuksen luomiseksi. (Hietalahti 2011, 13.)

Muuntosuhde voidaan laskea seuraavan kaavan avulla

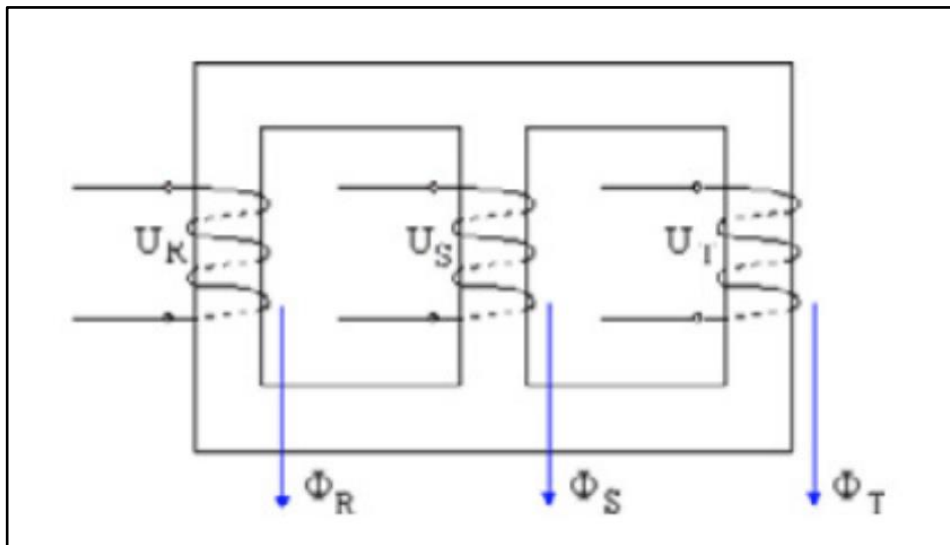
$$\mu = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

jossa

μ	on muuntosuhde
E_1	on ensiökäämin jännite
E_2	on toisiökäämin jännite
N_1	on ensiökäämin kierrosten lukumäärä
N_2	on toisiökäämin kierrosten lukumäärä

3.1.2 Kolmivaiheinen muuntaja

Kolmivaiheinen muuntaja voidaan yksinkertaisuudessaan rakentaa kytkemällä kolme yksivaihemuuntajaa tähteen, kolmioon tai hakatähteen. Tällöin jokainen yksivaihemuuntaja muodostaa yhden kolmivaihemuuntajan vaiheen. Kuitenkin todellisuudessa kolmivaihemuuntajat rakennetaan siten, että muuntajalla on rautasydän, jossa on kolme pylvästä, joille käämit on käämitty. Kuviossa 3 ei näy toisiokäämejä. Ensiö- ja toisiokäämit ovat käämitty toisistaan eristettyinä samalle pylväälle. (Korpinen 2008.)



Kuvio 3. Kolmivaihemuuntaja (Korpinen 2008.)

Kolmivaihemuuntaja voidaan kytkeä, joko tähteen, kolmioon tai hakatähteen. Nämä kytkentätavat ovat esiteltynä kuviossa 4. Tähtikytkentä on näistä yleisin ja sitä käytetään sekä ala- että yläjännitepuolella. Tähtikytkentään käyttäessä saadaan erikseen vaihe- ja pääjännite. (Trafomic 2023.)

KOLMIVAIHEMUUNTAJEN OSOITIN- JA KYTKENTÄPIIRROKSET					
Kytkentäryhmä IEC:n mukaan	Osoitinpiirros		Kytkentäpiirros		Toision Nollapiste
	Ylä- jännite	Ala- jännite	Ylä- jännite	Ala- jännite	
0	Dd 0				Ei saatavissa
	Yy 0				n. 10% kuormitettavissa.
	Dz 0				100% kuormitettavissa
5	Dy 5				100% kuormitettavissa
	Yd 5				Ei saatavissa
	Yz 5				100% kuormitettavissa
6	Dd 6				Ei saatavissa
	Yy 6				n. 10% kuormitettavissa
	Dz 6				100% kuormitettavissa
11	Dy 11				100% kuormitettavissa
	Yd 11				Ei saatavissa
	Yz 11				100% kuormitettavissa

Kuvio 4. Kolmivaihemuuntajan kytkentätavat (Trafomic 2023.)

Opinnäytetyössä keskityttävässä 266-puistomuuntamossa on 1600 kVA 20/0, 69 kV kolmivaiheinen kuivamuuntaja. Kuivamuuntajat kestävät hyvin kosteutta ja epäpuhtauksia, joten ne sopivat hyvin kaivosolosuhteisiin. Kuviossa 5 on Eatonin Ulosoy kuivamuuntaja, joita on nimellisteholtaan aina 5000 kVA:iin asti saatavilla. (Eaton 2023.)



Kuvio 5. Eaton Ulosoy-kuivamuuntaja (Eaton 2023.)

3.2 Keskijännitekojeisto

Keskijännitekojeisto on rakennekokonaisuus, joka sisältää kytkentä-, suojaus-, ohjaus- ja valvontalaitteita. Keskijännitekojeistoa käytetään sähkönjakelun solmukohtissa, joissa tarvitaan suojausta, ohjausta, katkaisua ja erotusta. Keskijännitekojeistot voivat olla ilmaeristeisiä, muussa kuin normaalipaineessa olevia eristyskaasueristeisiä tai hartsieristeisiä. Kojeistot voi kalustustavan mukaan jakaa ulosvedettäviin vaunukojeistoihin ja kiinteillä kalusteilla varustettuihin kojeistoihin. (Elovaara & Haarla 2011,117.)



Kuvio 6. Siemens 8DJH 24 kojeisto (Siemens 2023.)

Keskijännitekojeistot varustetaan tilaajan tarpeen mukaan. Yleisimpiä käytettyjä kennoja ovat liitântä-, katkaisija-, mittaus- ja muuntajakennot. Kuviossa 6 on Siemensin 8DJH 24 kojeisto, jossa on kaksi katkaisijakennoa ja oikealla yksi muuntajakenno. (Siemens 2023.)

Keskijännitekojeiston tarkoitus on jakaa keskijännitettä eri kennojen välillä. Kenno rakenne mahdollistaa yksittäisen kennon erottamisen tarvittaessa, mikä mahdollistaa huolto- ja korjaustoimenpiteiden toteuttamisen turvallisesti.

3.3 Pääkeskus

Muuntajan välittömässä läheisyydessä sijaitsee pääkeskus. Muuntajan muunnettua keskijännite pienjännitteeksi syötetään se useimmiten virtakiskoja pitkin pääkeskukselle. Pääkeskukselta voidaan jakaa pienjännitettä suoraan käyttökohteisiin tai eteenpäin ryhmäkeskuksille. Pääkeskuksen tärkein komponentti on pääkatkaisija, jolla suojataan pääkeskusta oikosulku- ja ylikuormitustilanteissa. Pääkeskukset rakennetaan käyttökohteen mukaan. Teollisuudessa tarvitaan keskimäärin suurempia lähtöjä, mutta pienempiäkin lähtöjä tarvitaan esimerkiksi yleis-sähköistykseen liittyen.

Pääkeskuksen tehtävä on jakaa jännite mahdollisimman erotetusti erikäyttökohteille, jotta mahdollisissa vikatilanteissa ainoastaan vikaantunut laite jäisi jännitteettömäksi. Tätä jaottelua jatketaan entisestään ryhmäkeskuksilla. Tämä jaottelu helpottaa huoltotoimenpiteiden suorittamista ja mahdollisten vikojen paikantamista.

4 MUUNTAMON VALVONTA

Teollisuudessa käytettävät muuntajalaitteet ns. teollisuusmuuntajat ovat yleensä suurempia ja ne ovat tavallisesti öljyeristettyjä. Vaativamman käytön takia teollisuusmuuntajat ovat alttiina suuremmalle rasitukselle kuin sähkölaitosmuuntajat. Rasituksen määrä vaikuttaa oleellisesti teollisuusmuuntajan vikaherkkyyteen ja elinkaareen. Säännöllisellä kunnonvalvonnalla voidaan pelastaa muuntaja enenaikaiselta rikkoutumiselta. (Mononen 2020, 36.)

Tyypillisesti teollisuudessa muuntajat syöttävät tiettyä teollisuusprosessia tai prosessilaitteistojen kuormia. Osa teollisuusmuuntajista rakennetaan kokonaan prosessin vaatimusten mukaisesti. Silloin muuntaja saadaan teknisesti täysin yhteensopivaksi prosessin kanssa. (Mononen 2020, 36.)

Vikatilanteessa muuntaja vaurioituu usein pahoin, joten seurauksena on yleensä kallis korjaustyö ja sen takia teollisuusprosessi todennäköisesti seisahtuu osittain tai kokonaan. Mikäli on tilattava uusi muuntaja, sen saamiseen saattaa kulua jopa vuosi. Pitkien toimitusaikojen vuoksi ennakoiva kunnossapito ja seuranta korostuvat. Tällä hetkellä teollisuudessa muuntajien kunnonvalvonnan merkitystä ei ole vielä tiedostettu tarpeeksi. (Mononen 2020, 36.)

Muuntajan vikaantumisella voi olla myös laajempia seurauksia. Esimerkiksi muuntajapalo voi kaiken lisäksi levitä aiheuttaen muitakin tuhoja, kuten henkilövahinkojakin. Muuntajapalo on lähinnä seuraus jostain muusta ongelmasta, jonka vuoksi muuntaja lämpenee. Myös uudehkot muuntajat voivat rikkoutua, joten etenkin kriittisissä paikoissa sijaitsevien muuntajien kuntoa tulisi seurata säännöllisesti. (Mononen 2020, 36.)

Muuntajien kuntoa seuraamalla niiden huoltoa voidaan optimoida, mahdollisesti ajoittamalla huollot laajempien huoltoseisokkien yhteyteen. Ajoissa havaitut vakavat ongelmat ja niihin nopeasti reagoiminen voi estää muuntajan rikkoutumista kokonaan. (Mononen 2020, 38.)

Muuntajien riskianalyysia varten on kehitetty erilaisia ohjelmistoja, joilla muuntajat voidaan toimintakuntonsa mukaisesti asettaa paremmuusjärjestykseen, viimeksi saatujen mittaustietojen perusteella. Usein teollisuudenmuuntajiin

hankitaan hyviäkin laitteita, jotka pystyvät seuraamaan hälytysrajojen ylittämistä ja siirtämään hälytyksiä valvomoihin. Toisinaan tällaisia laitteita ei kuitenkaan ole osattu käyttää kunnolla. Laitteista voisi saada enemmän irti. (Mononen 2020, 39.)

Muuntajien viat voivat johtaa suuriin ongelmiin. Vikoja voidaan kuitenkin ennakoida ja ehkäistä etukäteen hyvän suunnittelun ja jatkuvan valvonnan avulla. Muuntajat ovat sähköverkkojen yksi arvokkaimmista osista. Jatkuva valvonta maksaa itsensä moninkertaisesti takaisin, kun se ennaltaehkäisee vikoja. (Kouvalainen 2019.)

Yksittäisten muuntajien käyttöikä vaihtelee. Huonosti huolletun muuntajan käyttöikä voi olla 25 vuotta, kun taas hyvin huollettu voi kestää jopa 55 vuotta. Jatkuvalle valvonnalle voidaan vaikuttaa merkittävästi käyttöikänsä, kun se yhdistetään ennakoivaan kunnossapitotoon. Muuntajan kuntoa ja suorituskykyä pystytään arvioimaan kerättyjen tietojen avulla. Vikoja voidaan tunnistaa aiemmin ja huoltoa pystytään priorisoimaan. (Kouvalainen 2019.)

Muuntajien kuormitus saattaa vaihdella suuresti, ollen välillä erittäin suurta ja joskus taas kevyttä. Näin ollen jaksottaisella valvonnalla ei saada tarkkaa käsitystä muuntajien kunnosta. Jatkuvalle valvonnalle voidaan mahdollisiin ongelmiin reagoida jo ennen ilmenemistä. (Kouvalainen 2019.)

5 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT

Automaatiolla tarkoitetaan ohjelmoitua, itsenäisesti toimivaa laitetta tai järjestelmää. Automaatio on esimerkiksi vesihanasta tulevan veden lämpötilan kontrollointi, hissien ovien toiminta tai ovien automaattinen avautuminen ja sulkeutuminen. Automaatiojärjestelmä voi olla yksittäinen ohjelmoitava laite tai koko tehtaan toiminnan ohjauksen kattava kokonaisuus. (Valmistaja 2020.)

Automaatiojärjestelmä toimii sille annettujen parametrien mukaisesti. Esimerkiksi lämminvesivaraaja pitää veden lämpötilan 60°C:ssa. Lämpötilan laskiessa alle 60°C:een lämminvesivaraaja alkaa lämmittämään vettä sähkövastuksilla. Pidemmälle viedyssä automaatoratkaisussa lämminvesivaraaja voisi pyrkiä pienentämään veden lämmittämisen kustannuksia seuraamalla sähkön spot-hintaa.

Teollisuudessa automaatiolla pyritään tehostamaan toimintaa ja vapauttamaan henkilöstöä muihin tuottavampiin työtehtäviin. Teollisuudessa automaatiota pystytään soveltamaan suurimpaan osaan toistuviin samankaltaisiin työtehtäviin. Automaatioinvestoinnit ovat kuitenkin kalliita ja niiden toteuttamiseen liittyy riskejä, kuitenkin niistä saatava hyöty kantaa usein vuosikymmenten päähän. Investointi on hyvin etupainotteinen ja saatu hyöty näkyy asteittain, kun automaatiojärjestelmää optimoidaan käyttökohteeseen.

Yleisimpiin automaatiojärjestelmiin lukeutuu PLC ja HMI. PLC on prosessori, joka toimii sen ohjelmoinnin mukaisesti. PLC saa tiedot I/O:n kautta ja tekee niiden pohjalta sen ohjelmoinnin mukaisia ratkaisuja. HMI:llä tarkoitetaan käyttöliittymää, jonka avulla ihminen pystyy kommunikoimaan tietokoneen kanssa. (Valmistaja 2020.)

Yleisimpiä automaatiojärjestelmien valmistajia maailmalla tällä hetkellä ovat Siemens, Omron, Valmet, Schneider Electric, Mitsubishi Electric, Rockwell Automation, ABB, GE. Näiltä valmistajilta voi tilata yksittäisiä laitteita tai kokonaisia automaatioprojekteja ”avaimet käteen”-ratkaisuina. Nämä toimittajat myyvät myös kunnossapito- ja tukipalveluita kyseisiin laitteisiin. (Valmistaja 2020.)

6 KAIVOKSEN AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Outokumpu Chrome Oy:n omistamalla Kemin kaivoksella on käytössä Siemensin PCS7- prosessinohjausjärjestelmä. PCS7-järjestelmä on suunniteltu kokonaisten tehtaiden kattavaksi DCS järjestelmäksi, johon integroidut ohjelmat tarjoavat laajat mahdollisuudet prosessien ohjauksille.

6.1 Ohjelmistot

SIMATIC Manager on PCS7 -järjestelmän ohjauskeskus, johon on integroituna kaikki työkalut, mitä projektin määrittämiseen ja suunnitteluun tarvitaan. Nämä ohjelmat ovat asennettuna ES tietokoneille, joiden kautta projektin konfigurointi hoidetaan. Ohjelmistoon kuuluu seuraavat ohjelmat:

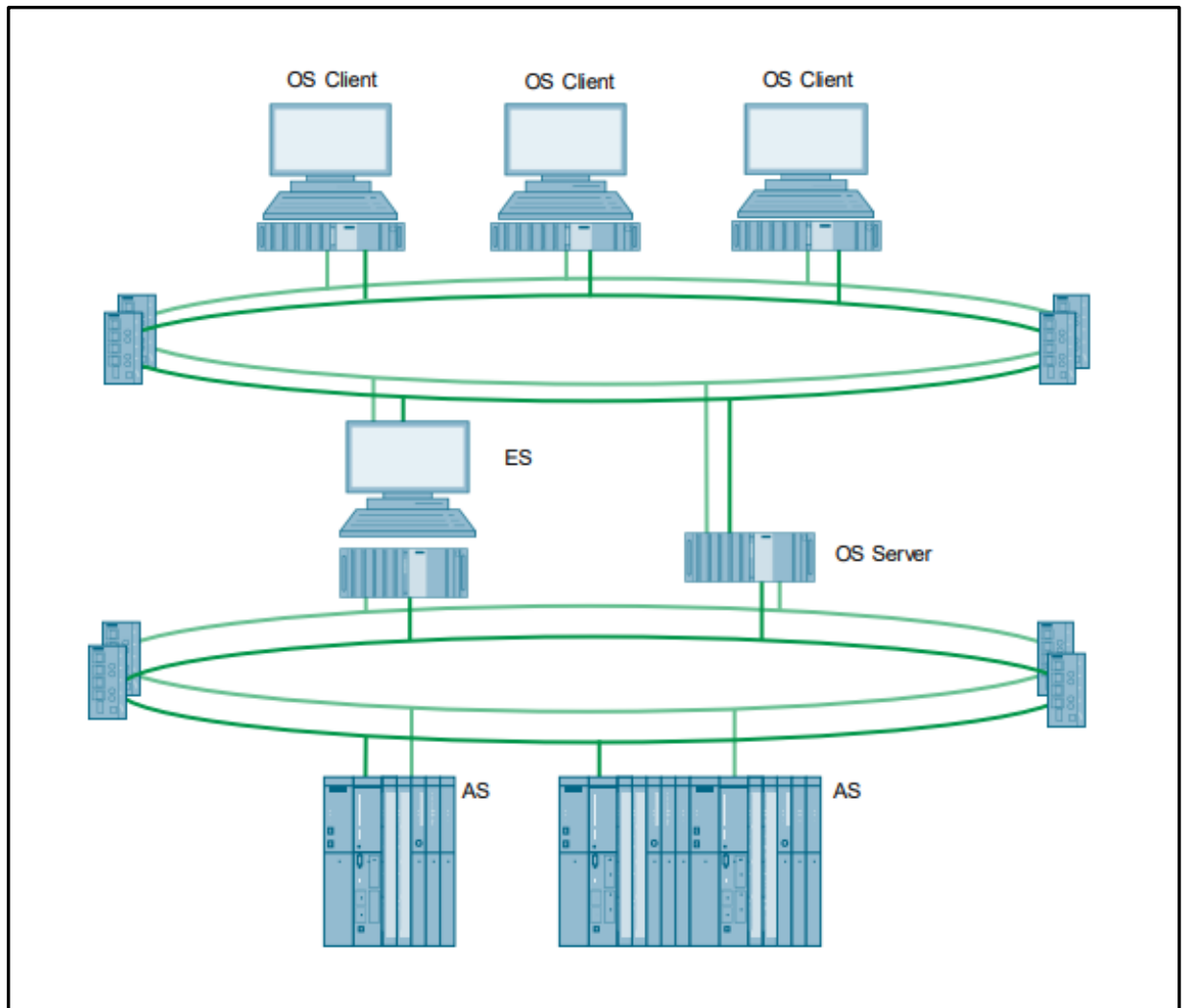
- HW Config
- WinCC Explorer
- Graphics Designer
- Import/Export Assistant (IEA)
- Control Module Type (CMT)
- Process Historian (PH)
- Plant Device Management
- SIMATIC BATCH.

Nämä ohjelmistot kattavat kaiken tarpeellisen aina laitteiston konfiguroinnista valvomon käyttöliittymän luomiseen asti.

6.2 Järjestelmän rakenne

Kemin kaivoksella automaatiojärjestelmä on kolmessa päätasossa, jotka ovat toimistoverkko, prosessitietokoneverkko ja kenttäväyläverkot. Toimistoverkossa on

ohjaamot, prosessitietokoneverkossa on ohjelmointitietokoneet ja kenttäväyläverkoissa ovat kaikki kenttälaitteet.



Kuvio 7. Rengsrakenteinen verkko (Siemens 2019.)

Kaivoksen prosessitietokoneverkko on toteutettu rengasmaisesti kuten kuviossa 7 näkyy, jolloin järjestelmä on toimintavarmempi. Yksittäisen yhteyden katkeaminen tai laitteiden vioittuminen ei pysäytä koko verkon kommunikointia. Kommunikointi laitteiden välillä tapahtuu Siemensin SCALANCE kytkimien avulla, jotka ovat kuviossa 7 vasemmassa ja oikeassa laidassa.

Rengsrakennetta ei kuitenkaan ole enää kenttäväylätasolla, koska kaivoksen väylälaitteiden välimatkat saattavat olla useiden kilometrien pituisia, jolloin rengas rakenteen toteuttaminen on haastavaa.

Kenttälaitetaso on jaettu kahdeksaan automaatioasemaan AS1-AS8. Jokaisella asemalla on oma CPU ja ne voivat toimia myös itsenäisesti. Järjestelmä jako on tehty siten, että mahdollisissa vikatilanteiden vaikutus jäisi rajalliseksi. Järjestelmä jako on tehty seuraavasti:

AS1	Maanpäällinen murskaamo
AS2	Maanalainen murskaamo
AS3	Palarikastamo
AS4 ja AS5	Hienorikastamo
AS6	Maanalaiset tuuletukset sekä pumppaukset
AS7	Sideaineliettäjä
AS8	IVN10 ja Surmaoja.

7 KÄYTETYT VÄYLÄLAITTEET

7.1 SIMATIC S7-400

Siemensin S7-400-sarjan logiikkaohjaimet on suunniteltu ratkaisemaan haastavia automaatiotehtäviä teollisuudessa. Tehonsa ansiosta ne sopivat vaativan prosessiohjauksen päälogiikaksi. Kuviossa 8 esitetään esimerkki S7-400 laitteiston kokoonpanosta. Niillä on monipuoliset kommunikointikyvyt ja niihin on tarjolla suuri määrä erilaisia integroituja kommunikointiportteja. S7-400 ohjaimissa voidaan käyttää paikallista I/O:ta tai etä-I/O:ta. Etä-I/O:t voidaan toteuttaa ET 200-sarjantuotteilla. (Siemens 2022.)

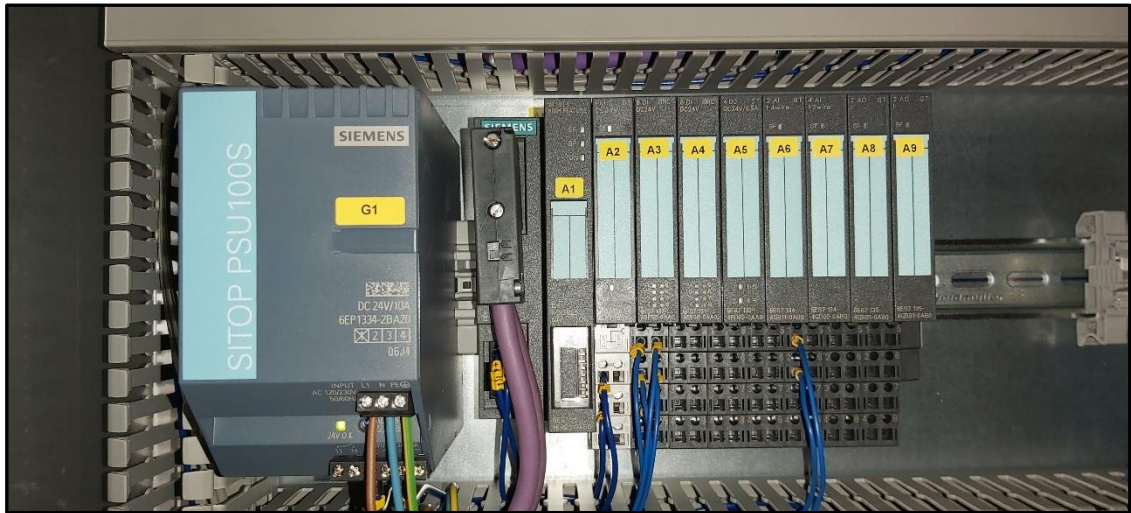


Kuvio 8. SIMATIC S7-400-sarjan laitteita (Siemens 2022.)

7.2 ET 200SP hajautettu I/O

Simatic ET 200SP hajautettu I/O on suunniteltu mahdollisimman käyttäjäystävälliseksi, mutta silti riittävän tehokkaaksi. Sen pieni koko mahdollistaa kenttäkoteloiden koon pienentämisen, joka taas pienentää järjestelmän kokonaiskustannuksia. Yhtein I/O-asemaan pystyy liittämään jopa 64 moduulia ja sen käyttö mahdollistaa ”hot swapping” eli rikkoutuneen moduulin voi vaihtaa uuteen muuta prosessia keskeyttämättä. (Siemens 2022.)

Simatic ET 200SP mahdollistaa I/O tietojen keräämisen kenttäväylään lähempänä prosessia. Tällä tavalla säästetään kaapelointi kustannuksissa, koska itse CPU:lle täytyy viedä ainoastaan Profibus-kaapeli. Instrumentointikaapeloinnit vedetään kenttäkotelolle, johon I/O-asema on sijoitettu.



Kuvio 9. ET200S I/O-asema

Kommunikointi keskusyksikön kanssa tapahtuu liitäntämoduulien kautta. Liitäntämoduulille tuodaan kenttäväyläyhteys keskusyksiköltä, joka toimii I/O-aseman järkenä. Kuviossa 9 on esitetty 6 ET200S I/O-asema virtalähteineen.

7.3 PAC3200 verkkoanalysointilaite

Sentron PAC3200 on verkkoanalysointilaite, joka näyttää kaikki olennaiset sähköverkkoparametrit pienjänniteverkoissa. Kuviossa 10 esitetään Sentron PAC3200. Se sopii yksi-, kaksi- tai kolmivaihemittauksille ja sitä voidaan käyttää kaksi-, kolmi- ja nelijohdin sekä TN, TT ja IT verkoissa (Siemens 2008.)



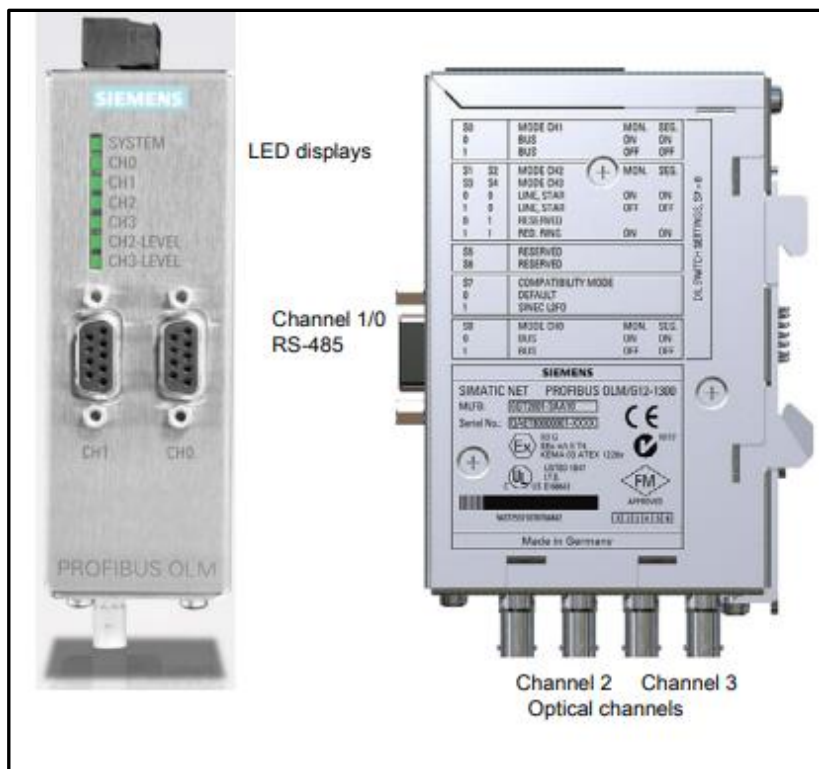
Kuvio 10. SENTRON PAC3200 verkkoanalysaattori (Siemens 2022.)

PAC3200 laitteessa on valikoima hyödyllisiä valvonta-, diagnostiikka- ja palvelutoimintoja, kaksitariffi pätö- ja loisenenergia laskurit sekä yleis- ja käyttötuntilaskuri kytkettyjen kuormien käyttöajan valvontaan. (Siemens 2008.)

7.4 Profibus OLM

Profibus OLM on suunniteltu käytettäväksi optisessa Profibus-kenttäväyläverkossa. OLM mahdollistaa sähköisten Profibus-liitännöiden (RS-485) muuttamisen optisiksi Profibus-liitännöiksi (valokuitu) ja päinvastoin. (Siemens 2022.)

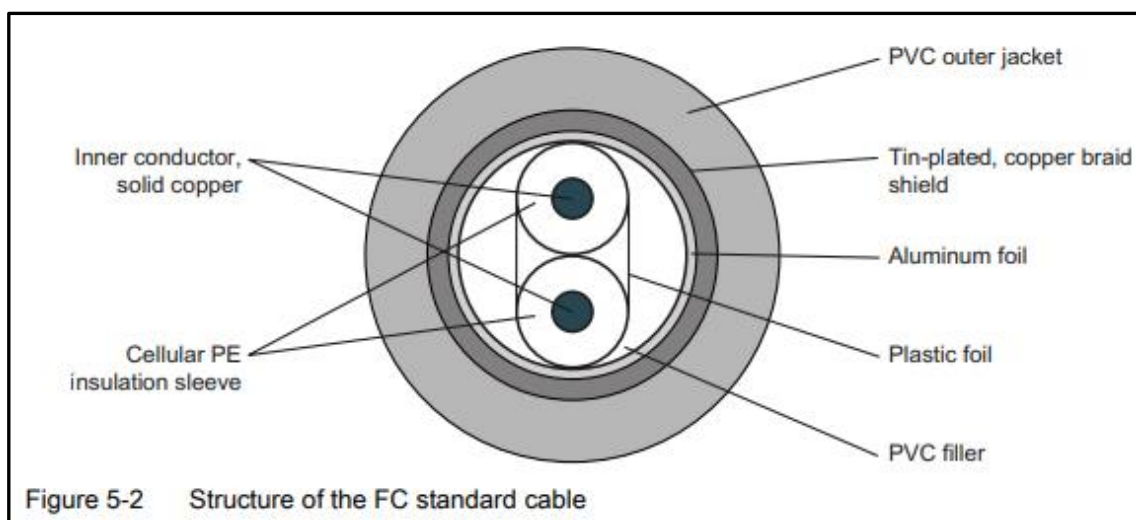
Optinen Profibus mahdollistaa jopa 15 km välimatkat kenttäväylälaitteiden välille, kun taas sähköisen Profibus-kenttäväylän laitteiden maksimi välimatka vaihtelee 100–1200 m riippuen verkon siirron nopeudesta. OLM:ssa on mallin mukaan 1–2 sähköistä ja 1–2 optista kanavaa. Kuviossa 11 on OLM, jossa on kanavat 0–1 ovat sähköisiä ja kanavat 2–3 optisia.



Kuvio 11. Profibus OLM/G12-1300. (Siemens 2013.)

7.5 Profibus FC

Profibus FC on automaatiokaapeli, jota käytetään kenttävylyissä. Se on suunniteltu käytettäväksi teollisuudessa ja suodattaa rakenteensa vuoksi hyvin sähkömagneettisia häiriöitä. (Siemens 2009.)

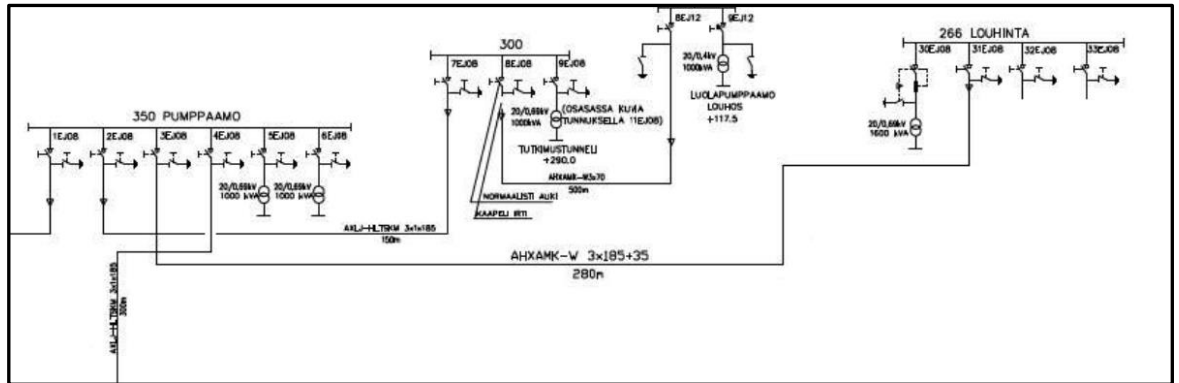


Kuvio 12. Profibus FC kaapelin rakenne (Siemens 2009.)

Kuvion 12 mukaisesti Profibus FC:n ulkokuori on PVC muovia, jonka alla on tinattu kuparipunos. Tämän alla on alumiinifolio, jonka alla olevat kuparijohtimet on kääritty muovifolioon. Johdin pari kiertää kaapelin sisällä vähentäen näin mahdollisia häiriöitä entisestään. (Siemens 2009.)

8 266-PUISTOMUUNTAMO

266-puistomuuntamo on 1600 kVA 20/0,69 kV muuntaja, joka nimensä mukaisesti sijaitsee tasolla 266. Puistomuuntamo sisältää 20 kV kojeiston, muuntajan sekä 690 V pääkeskuksen 30EJ08. Syöttö muuntamon 20 kV kojeistoon tulee 350-pumppaamolta kuvion 13 mukaisesti.

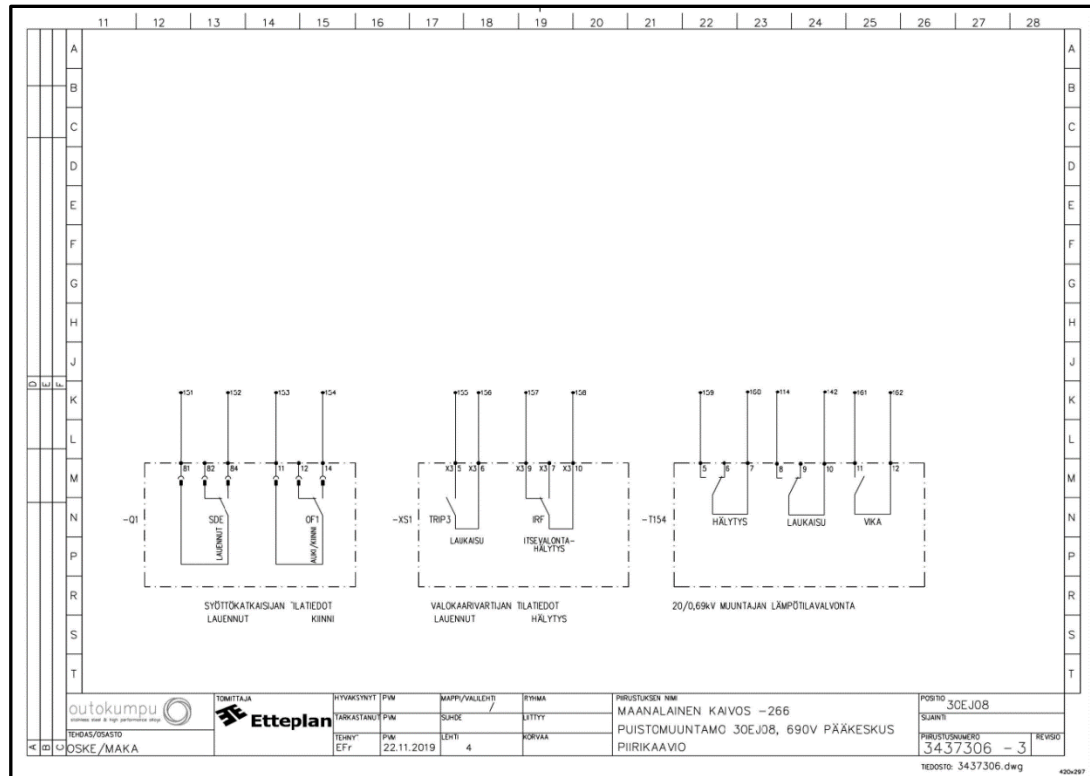


Kuvio 13. Ote kaivoksen 20 kV sähköjaketulukaaviosta (Outokumpu 2022b.)

8.1 Nykytilanne

Opinnäytetyön alkaessa 266-muuntamolta ei tullut mitään tietoja kaivoksen automaatiojärjestelmään. Muuntamo toimii itsenäisesti paikallisten turvalaitteiden varassa. Muuntamolla olevan vian voi havaita ainoastaan sen syöttämien kohteiden jännitteettömyydestä, jos muuntamoon syöttämällä alueilla ei juuri silloin ole toimintaa voi vika jäädä havaitsematta, joka aiheuttaa ongelmia kaivoksen pumpauksien ja tuuletuksien kanssa.

Sähkökeskuksen 30EJ08 katkaisija E2N16 laukaisee 690 V keskuksen syötön ylikuormitus- tai oikosulkutilanteessa (liite 1). Valokaarivartija REA101 laukaisee pääkytkimen, jos se havaitsee valo- ja virtapiikin pääkeskuksella samanaikaisesti (liite 1). Muuntajan lämpötilan valvontayksikkö T154 valvoo 20/0,69 kV muuntajan lämpötilaa ja laukaisee pääkeskuksen 30EJ08 syötön, jos muuntajan lämpötila nousee yli laukaisurajan (liite 1). Näiden turvalaitteiden tilatiedot voi nähdä tällä hetkellä ainoastaan paikallisesti muuntamolla. Keskusvalmistaja on valmiiksi johdottanut näiden laitteiden tilatiedot riviliittimille (Kuvio 14).



Kuvio 14. 266-muuntajan 690 V pääkeskuksen tilatiedot (Outokumpu 2022b.)

Muuntamon kulutus käydään lukemassa kuukausittain. Tämä vaatii aina erillisen käynnin muuntomolla ja kulutuksen seuranta on ainoastaan suuntaa antava, koska kuukauden vaihdoksen osuessa esimerkiksi viikonlopuille, siirtyy mittarinluku seuraavalle arkipäivälle.

8.2 Kehitysideat

266-muuntamon valvonnan lisäämiseksi tutkittiin erilaisia vaihtoehtoja. Halutessa voitaisiin kaikki mahdolliset tiedot tuoda automaatiojärjestelmään, mutta niiden aiheuttamat kustannukset eivät välttämättä ole linjassa niiden tuoman hyödyn kanssa. Tarkoituksena on kartoittaa mahdollisia parannustapoja ja niistä valikoiden toteuttaa parhaimmiksi koetut.

8.2.1 Verkkoanalysaattori

Muuntamon verkkoanalysaattorin lisäämien kaivoksen kenttäväylään on yksinkertaisin ja helpoin tapa lisätä muuntamon valvontaa (liite 1). PAC3200 verkkoanalysaattorilla voidaan lukea yli 50 suuretta maksimi- ja minimiarvoineen. Näistä

olennaisimpina pidimme kuormitus-, kulutus- ja jännitearvoja. Tämä lisäys vähentäisi myös manuaalisen työn määrää, koska muuntamon kulutusta ei tarvitsisi enää käydä lukemassa paikan päällä.

Alle on listattu muutoksen keskeiset pääkohdat:

- kulutuksen etäluku
- reaaliaikaiset mittausarvot
- valittuja mittauksia voi muuttaa suoraan ohjelmasta.

8.2.2 Muuntamon tilatiedot

Keskusvalmistaja on johdottanut valmiiksi riviliittimille katkaisijan, valokaarivartijan sekä lämpötila valvontayksikön tilatiedot kuvion 14 mukaisesti. Niiden vieminen eteenpäin automaatiojärjestelmään nopeuttaisi vian havaitsemista ja etsimistä. Muuntamon lähettyvillä ei ole I/O-asemaa, joten näiden saaminen automaatiojärjestelmään vaatisi I/O-aseman lisäämisen muuntamon läheisyyteen.

Alle on listattu muutoksen keskeiset pääkohdat:

- tilatietojen etäluku
- vikatiedot tulisivat hälytyksinä automaatiojärjestelmään
- vaatii I/O-aseman rakentamisen.

8.2.3 Katkaisijalähtöjen tilatiedot

30EJ08:n katkaisijalähdöt 01, 02, 03 ja 05 syöttävät tasojen 275–350 louhintakeskuksia (liite 1). Näihin katkaisijoihin on hankittavissa kosketinpaketti, jonka avulla voitaisiin katkaisijoiden tilatietoja seurata automaatiojärjestelmästä. Tällä

tavalla voitaisiin muuntamon yksittäisen katkaisijälähdön tilaa seurata ja vikatilanteet tulisivat hälytyksenä järjestelmään.

Alle on listattu muutoksen keskeiset pääkohdat:

- muuntamon lähtöjen seuranta
- louhintakeskusten jännitteettömyys tulisi hälytyksenä automaatiojärjestelmään
- vaatii I/O-aseman rakentamisen.

8.2.4 20/0.69kV muuntajan lämpötilanmittaus

Muuntamolla on lämpötilanvalvontayksikkö T154, joka seuraa 20/0,69 kV muuntajan lämpötilaa. T154 poistaa muuntajan kuormituksen laukaisemalla keskuksen 30EJ08 pääkatkaisijan, jos lämpötila nousee liian korkeaksi (liite 1). Valvontayksiköstä saadaan kosketintietona hälytys- ja laukaisutiedot. Käämien ja muuntajan ytimen lämpötiloja voidaan seurata paikallisesti T154 näytöstä, mutta niitä ei saa ulostulona valvontayksiköstä. Vaihtamalla lämpötilavalvontayksikkö TecSystemin NT935:een voitaisiin itse lämpötilanvalvontayksikkö liittää kenttäväylään käyttämällä Modbus to Profibus muuntajaa. Tällä tavalla saataisiin vikatiетоjen lisäksi myös 20/0,69 kV muuntajan lämpötilat suoraan näkyviin automaatiojärjestelmään.

Alle on listattu muutoksen keskeiset pääkohdat:

- T154 vaihdetaan NT935 lämpötila valvontayksikköön
- muuntajan lämpötilat reaaliajassa
- vaatii Modbus to Profibus muuntimen
- antaa lämpötilojen vertailukohteen kaivoksen muille muuntamoille.

8.2.5 Keskuksen lämpötilanmittaus

Muuntamon lämpötilaa pystytäisiin valvomaan muutaman lämpötila-anturin avulla. Keskuksen tai puistomuuntamon sisälle muutamaaan paikkaan sijoitettavat anturit voisivat antaa tietoa keskuksen lämpötilan vaihtelusta kuormituksen vaihdellessa. Tämä mittaus olisi tosin vain suuntaa-antava ja sitä voitaisiin verrata aikaisempiin mittaustuloksiin.

Mittaus ei olisi ohjaava mittaus eli se ei laukaisisi keskusta lämpötilan noustessa. Kyseessä olisi vain informatiivinen mittaus, jonka mittaustuloksen perusteella voitaisiin tehdä jatkotutkimuksia tarpeen vaatiessa.

Alle on listattu muutoksen keskeiset pääkohdat:

- muuntamon lämpötilat reaaliajassa
- antaa lämpötilojen vertailukohteen kaivoksen muillekin muuntamoille
- vaatii I/O-aseman rakentamisen.

8.3 Toteutettavat muutokset

Toteutettaviksi muutoksiksi valikoitui muuntajan verkkoanalysointin, muuntamon tilatietojen ja suuntaa antava lämpötilamittauksen lisääminen kaivoksen automaatiojärjestelmään. Suuntaa antava lämpötilan mittaus valikoitui 20/0,69 kV muuntajan käämilämpötilojen yli, koska se on helpommin ja edullisemmin toteutettavissa. Valitut muutokset vaativat kenttäväyläyhteyden sekä I/O-aseman lisäämistä muuntamon läheisyyteen.

Muuntamon verkkoanalysointin PAC3200 tullaan lisäämään kenttäväylään. Verkkoanalysointin lisääminen kenttäväylään mahdollistaa verkkoanalysointin tietojen lukemisen kaivoksen automaatiojärjestelmään. Muuntamon lähetyvillä ei ole kenttäväylää, johon liittäytyä. 266-muuntamolta on kuitenkin suora valokuitukaapeli yhteys 350-sähkötilaan, jossa AS6 CPU sijaitsee.

Valokuitukaapelissa on vapaita kuitupareja, joita voidaan hyödyntää kenttäväylässä OLM moduulien avulla.

Kuviossa 14 näkyy keskusvalmistajan valmiiksi riviliittimelle johdotetut muuntamon tilatiedot. Näiden tietojen johdottaminen lähimmälle I/O-asemalle olisi työlästä ja kaapeli joutuisi kulkemaan vinotunnelia pitkin useita satoja metrejä, jossa se on alttiina vikaantumiselle. Helpommaksi vaihtoehdoksi koettiin lisätä uusi I/O-asema 266-muuntamolle. Jatkoa ajatellen I/O-asema myös mahdollistaa paremmin uudet mahdolliset muutostyöt alueella. Puistomuuntamossa ei kuitenkaan ole tilaa I/O-asemalle. Näin ollen muuntamon läheisyyteen lisätään automaatiokeskus RK-266, jonka ET200S I/O-asemalle voidaan johdottaa muuntajan tilatiedot. Myös suunniteltu lämpötilanmittaus tullaan lisäämään tälle I/O-asemalle.

Keskuksen PAC3200 verkkoanalysointilaite ja RK-266:n I/O-asema lisätään kaivoksen automaatiojärjestelmään AS6:n alle. Valikoimme verkkoanalysointilaitteelta luettaviksi tiedoiksi 30EJ08:n jännite, vaihevirratt sekä kulutus. Arvioimme näiden olevan tärkeimpiä seurattavia arvoja, joita voidaan hyödyntää myös vikatilanteita selvitetessä. Näitä tietoja voi kuitenkin tarvittaessa vaihtaa automaatiojärjestelmästä.

8.3.1 Automaatiokeskus RK-266

Automaatiokeskus RK-266 lisätään muuntamolle, jotta muuntamon tilatiedot saadaan kaivoksen automaatiojärjestelmään näkyviin. Automaatiokeskuksen 24VDC virtalähteen syöttö otetaan WLAN-keskuksen varavirtalähteeltä, jotta se pysyy jännitteisenä myös sähkökatkon tai vikatilanteen aikana. WLAN-keskuksesta saadaan myös valokuituyhteys 350-pumppaamon sähkötilaan, jossa AS6 CPU sijaitsee. Kenttäväyläyhteys toteutetaan OLM moduuleiden avulla.



Kuvio 15. RK-266

Kuvion 15 mukaisia automaatiokeskuksia on käytetty aiemmin kaivoksella tasojen tuuletuksien yhteydessä. Tätä valmista automaatiokeskuskokoonpanoa hyödynnetään tässä opinnäytetyössä.

8.3.2 Kaapeloinnit

Automaatiokeskuksen I/O-aseman virtalähteen syöttö ja keskuksen työvalo kaapeloidaan WLAN-keskuksen sisäiselle varavirtalähteelle. WLAN-keskuksen OLM:lta kenttäväylää jatketaan Profibus FC kaapelilla RK-266 I/O-asemalle ja siitä eteenpäin 266-muuntamon 690 V pääkeskuksen verkkoanalysointirille. Pääkeskuksen tilatiedot tuodaan I/O-asemalle kahdella Jamak kaapelilla. Muuntamon sisätilaa mittaava Pt-100 kaapeloidaan MMJ:llä myös RK-266:lle (liite 2).

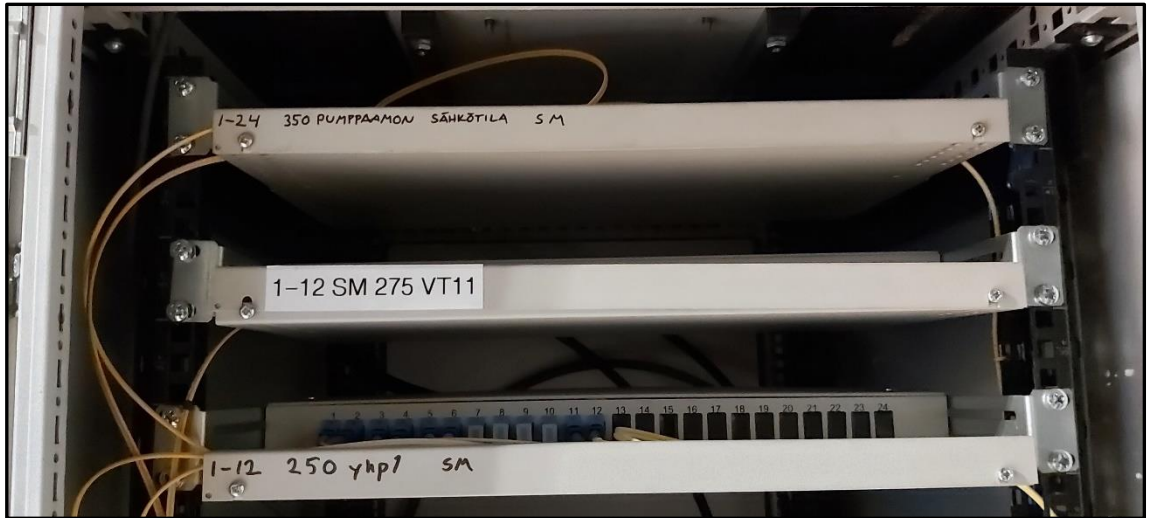
Taulukko 1. Kaapelivedot

Mistä	Mihin	Kaapeli	Pituus (m)	Mille
RK-266	266 Wlan-keskus	MMJ 3x1,5 S	15	Virtalähde
RK-266	266 Wlan-keskus	MMJ 3x1,5 S	15	RK-266 valo
RK-266	266 Wlan-keskus	Profibus FC	15	ET 200SP
RK-266	30EJ08, 690V Pääkeskus	Profibus FC	30	PAC3200
RK-266	30EJ08, 690V Pääkeskus	Jamak 4x(2+1)x0.5	30	Muuntamon tilatiedot
RK-266	30EJ08, 690V Pääkeskus	Jamak 4x(2+1)x0.5	30	Muuntamon tilatiedot
RK-266	30EJ08 keskustila	MMJ 3x1,5 S	35	Muuntajan sisälämpötila

Kaikki taulukon 1 kaapelivedot ovat lyhyitä ja tehtävissä ilman henkilönostimia. Kaapeloinnit toteutetaan maanalaisen kaivoksen sähkökunnossapidon henkilöstöllä. Kytkennät tehdään liitteiden mukaisesti.

8.3.3 Väyläliitännät

Väyläliitännät tapahtuvat Profibus FC väyläkaapelilla, joka ketjutetaan WLAN-keskuksen OLM:lta eteenpäin automaatiokeskukselle ja siitä eteenpäin verkko-analysointilaitteille. Järjestelmäliitäntä tapahtuu 350-pumppaamon sähkötilassa asemalle AS6. Profibus tuodaan 350-pumppaamolta 266-muuntamolle valokuitua pitkin OLM moduuleilla, joilla sähköinen kenttäväyläsignaali muutetaan valopulssiksi ja sitten takaisin sähköiseen muotoon. Tämä tapa mahdollistaa pidemmät kaapelointi matkat. Jos veto suoritettaisiin pelkästään Profibus-kaapelilla, pitäisi signaalia vahvistaa useampaan kertaan väylälaitteiden välillä. Kuviossa 16 näkyy 266-Wlan keskuksen kuitupaneeli, josta kenttäväylä jatkaa OLM:lle kytkentäkuidulla.



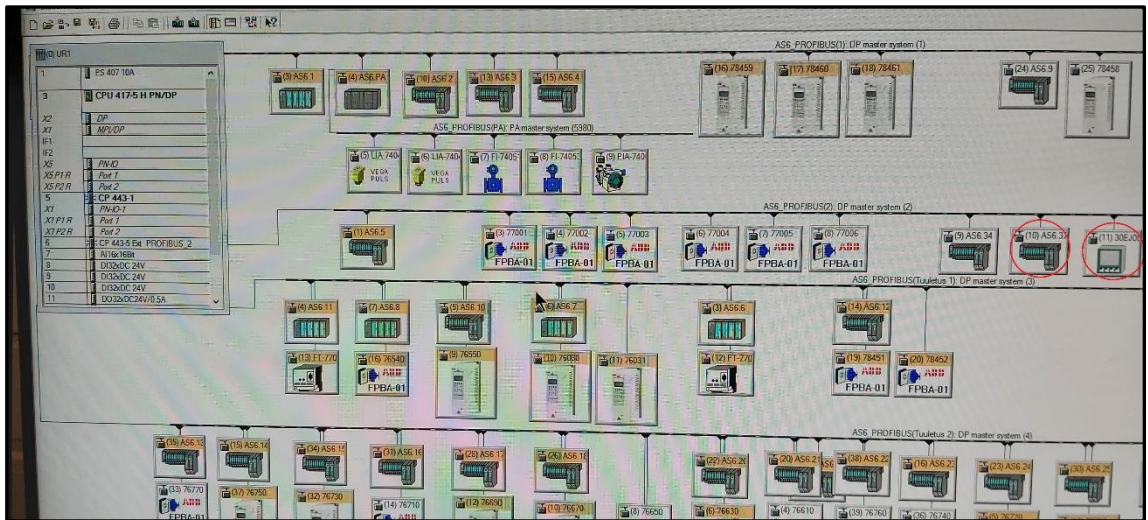
Kuvio 16. 266-Wlan keskuksen kuitupaneelit

9 OHJELMOINTIOSUUS

Verkkoanalyysoija ja I/O-asema tulee lisätä kaivoksen AS6 järjestelmän kokoonpanoon. Tämä muutos vaatii AS6:n kaikkien laitteiden käyttämistä alhaalla hetkellisesti hardware latauksen yhteydessä. Tämän jälkeen tehtävät muutokset, kuten ohjelmien tekeminen ja lataaminen CPU:lle voidaan suorittaa prosessin ollessa käynnissä.

9.1 AS6 järjestelmän kokoonpano

Kuviossa 17 on AS6:n kokoonpano. AS6:n prosessorina toimii CPU 417-5 H PN/DP. RK-266:n I/O-asema AS6.37 ET200S ja 266-muuntajan verkkoanalyysoija PAC3200 lisättiin AS6:n profibus_2 väylään CP 443-5 kommunikointi kortin orjalaitteiksi. AS6.37 ET200S sai väyläosoitteen 10. PAC3200 sai väyläosoitteen 11. Kuviossa 17 näkyvät punaisella ympyröitynä lisätyt väylälaitteet.



Kuvio 17. AS6 järjestelmän kokoonpano

Verkkoanalyysoijalle määriteltiin luettaviksi tiedoiksi (Kuvio 18) kulutus kWh, L1-L2 jännite V ja L1-L3 vaihevirratt A. Nämä tiedot tuli määritellä järjestelmän kokoonpanoon. Jännite- ja virtamittaukset tulevat järjestelmään DWORD eli tuplasananana. Kuormitusmittaus tulee järjestelmään kahtena tuplasananana.

Slot	DP ID	Order Number / Designation	I Address	Q Address	Comment
0	66	Active Energy Imp. Tariff 1 (D)	1137...1144		
1	66	Voltage L1-L2	1145...1148		
2	66	Current L1	1149...1152		
3	66	Current L2	1153...1156		
4	66	Current L3	1157...1160		
5					
6					
7					

Press F1 to get Help.

Kuvio 18. PAC3200 verkkoanalysaattori

Kuviossa 19 on AS6.37:n määrytykset. I/O-asemaan tuli PM-E eli tehomodulin lisäksi seisemän korttia. Kaksi digitaalista tulokorttia (DI), yksi digitaalinen lähtökortti (DO) sekä kaksi analogista tulo- ja lähtökorttia (AI ja AO).

Slot	Module	Order Number	I Address	Q address	Diagnostic address
1	PM-E DC24V	6ES7 138-4CA01-Q4A0			
2	8DI DC24V/SRC ST	6ES7 131-4BF50-Q4A0	54.0...54.7		
3	8DI DC24V/SRC ST	6ES7 131-4BF50-Q4A0	55.0...55.7		
4	4DO DC24V/0.5A ST	6ES7 132-4BD02-Q4A0		30.0...30.3	
5	2AI 14WIRE ST	6ES7 134-4GB11-Q4B0	1004...1007		
6	4AI 12WIRE ST	6ES7 134-4GD00-Q4B0	1008...1015		
7	2AO 1 ST	6ES7 135-4GB01-Q4B0		600...603	
8	2AO 1 ST	6ES7 135-4GB01-Q4B0		604...607	

Kuvio 19. AS6.37 ET200S

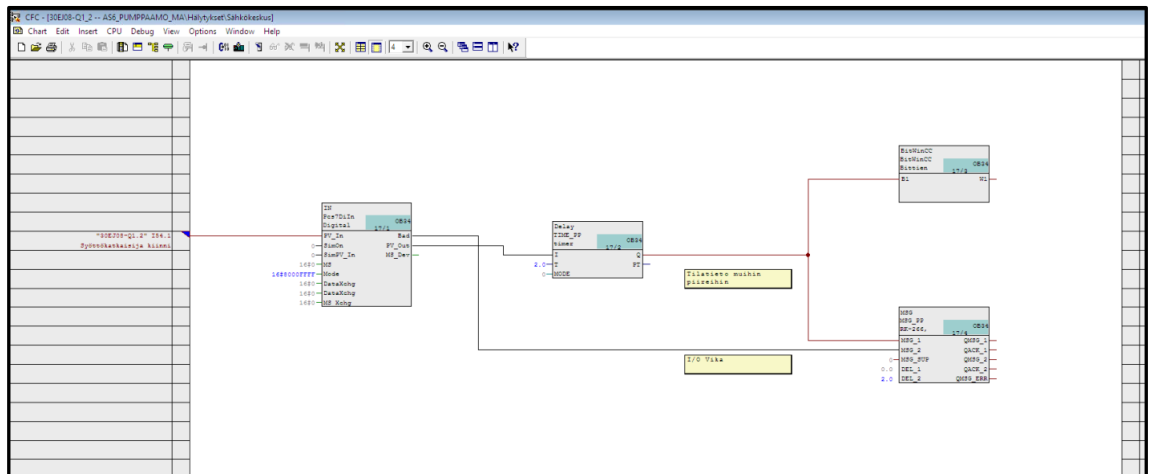
9.2 Ohjelmat

30EJ08 tilatiedot johdotettiin AS6.37:n kortin A3 kanaville 0–5. Kortin kanavat määriteltiin ohjelmassa osoitteille 54.0–54.7 (Kuvio 19). Tiedot tuli määrittää CPU:n symbolitaulukkoon, jotta niitä voidaan käyttää ohjelmissa (Kuvio 20).

Status	Symbol	Address	Data type	Comment
	30EJ08-Q1.1	54.0	BOOL	Syöttökatkaisija lauennut
	30EJ08-Q1.2	54.1	BOOL	Syöttökatkaisija kiinni
	30EJ08-XS1.1	54.2	BOOL	Valokaarivartija lauennut
	30EJ08-XS1.2	54.3	BOOL	Valokaarivartija hälytys
	30EJ08-T154.1	54.4	BOOL	20/0,69kV Muuntaja lämpötilavalvonta hälytys
	30EJ08-T154.2	54.5	BOOL	20/0,69kV Muuntaja lämpötilavalvonta vika

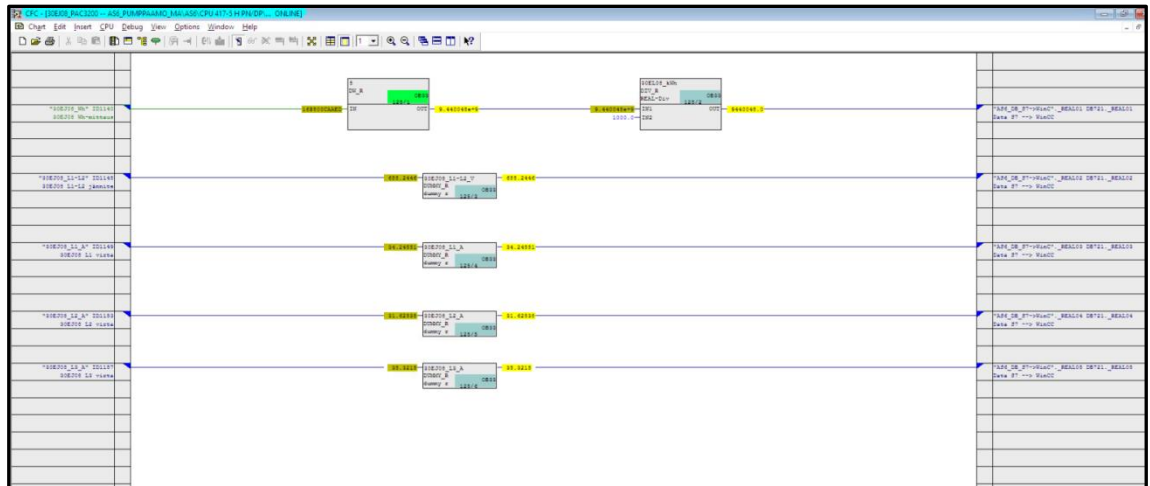
Kuvio 20. AS6 symbolitaulukon osoitteet 54.0–54.5

Muuntamontilatietojen ohjelmat ovat kaikki kuvion 21 mukaisia. Tilatieto tuodaan digitaalituloajurin (Pcs7DiIn) portin pinnille PV_In. Tiedon ollessa aktiivisena kahden sekunnin ajan, menee hälytys WinCC:lle. Digitaalinen tuloajurin käyttäminen mahdollistaa aikaleiman saamisen tilatiedot muuttuessa. Digitalisella tuloajurilla voidaan myös valvoa väylädiagnostiikkaa, mutta tätä ominaisuutta ei otettu käyttöön tässä työssä. MSG-lohkokalla määritellään ilmoitukset.



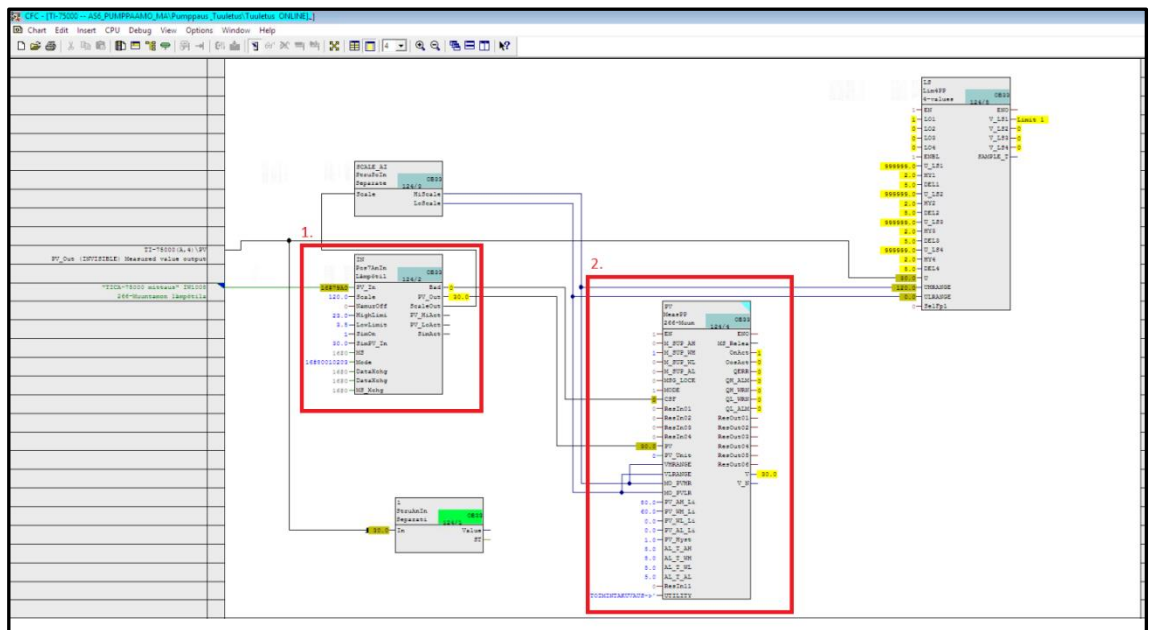
Kuvio 21. Muuntamontilatietojen ohjelma

PAC3200 verkkoanalysaattorin jännite ja virta mittaukset viedään suoraan WinCC:lle. Kuviossa 22 DUMMY_R-lohkot ovat ohjelmassa ainoastaan seuraamisen helpottamiseksi. DUMMY_R-lohko kopioi IN-portin REAL-tiedon OUT-porttiin. Wh-mittaus tulee ohjelmaan kahtena DNORD:nä, jotka lasketaan yhteen ja saatu DWORD muutetaan REAL-tiedoksi DW_R-lohkon avulla. Mittaus on tässä vaiheessa Wh-muodossa, jonka jälkeen se jaetaan 1000 DIV_R-lohkon avulla, jotta se tulee kWh-muotoon.



Kuvio 22. PAC3200 verkkoanalysointiohjelman ohjelma

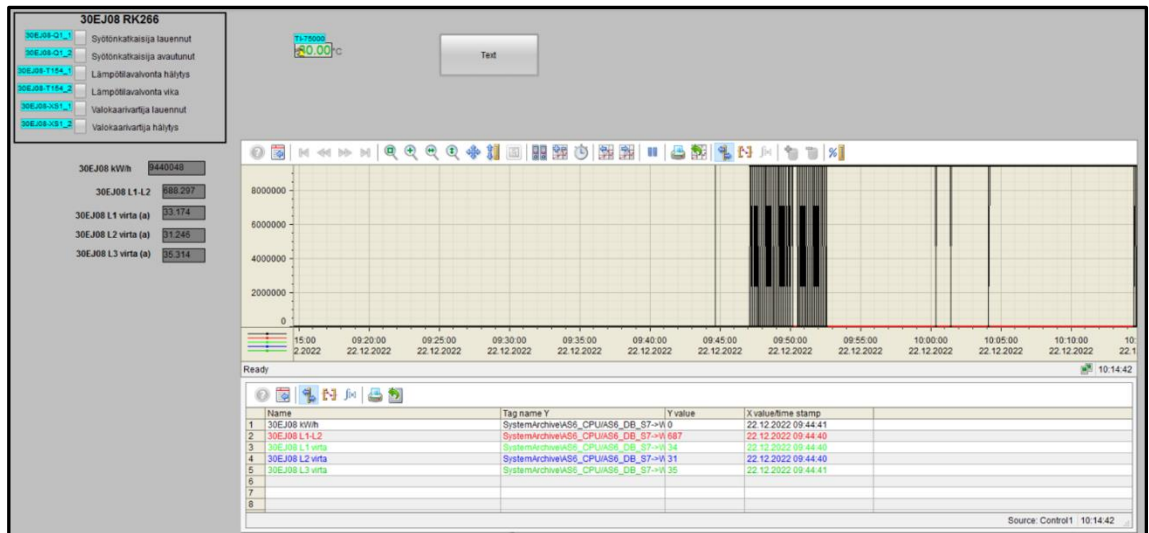
Kuviossa 23 on muuntamon lämpötilanmittauksen ohjelma. Analoginen tieto tuodaan kohdassa 1 analogiatuloajurille (Pcs7AnIn), josta se vietään eteenpäin kohdassa 2 toimintalohkon MeasPP PV-pinnille. Tällä loholla voidaan määrittää lämpötilan raja-arvot sekä hälytysrajat, jotka tulevat näkyviin visualisoinnissa.



Kuvio 23. Muuntamon lämpötilanmittauksen ohjelma

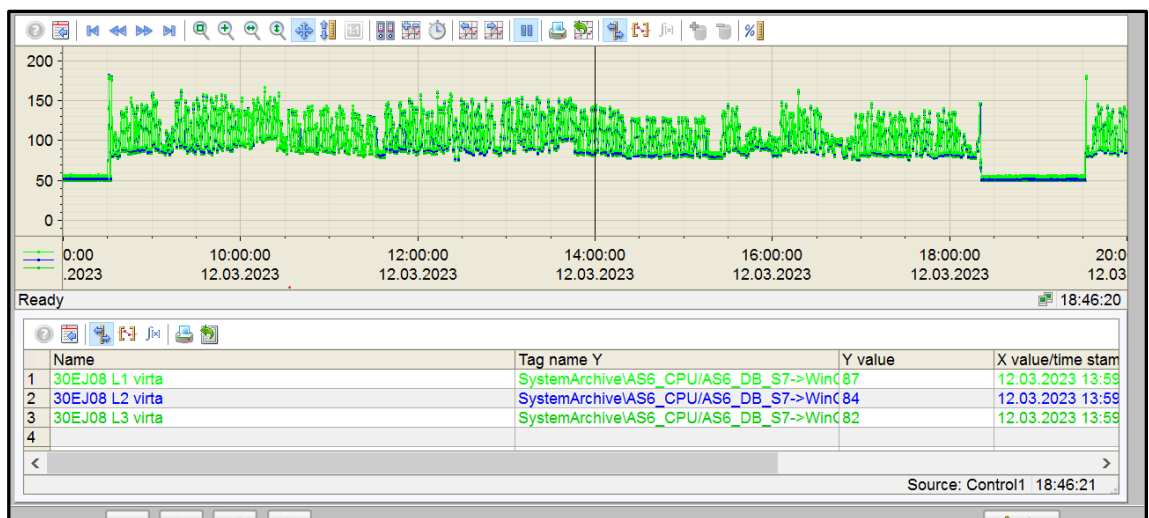
9.3 Simatic HMI

Muuntajan pääkeskuksen 30EJ08 tiedot visualisoitiin WinCC:llä kaivoksen prosessinkäyttöliittymään. Visualisointiin luettiin 30EJ08:n tilatiedot yksitellen, jotta niiden seuraaminen olisi mahdollisimman helppoa (Kuvio 24). Verkkoanalysaattorin ja lämpötilanmittauksen TI-75000 visualisointiin samaan näyttöön.



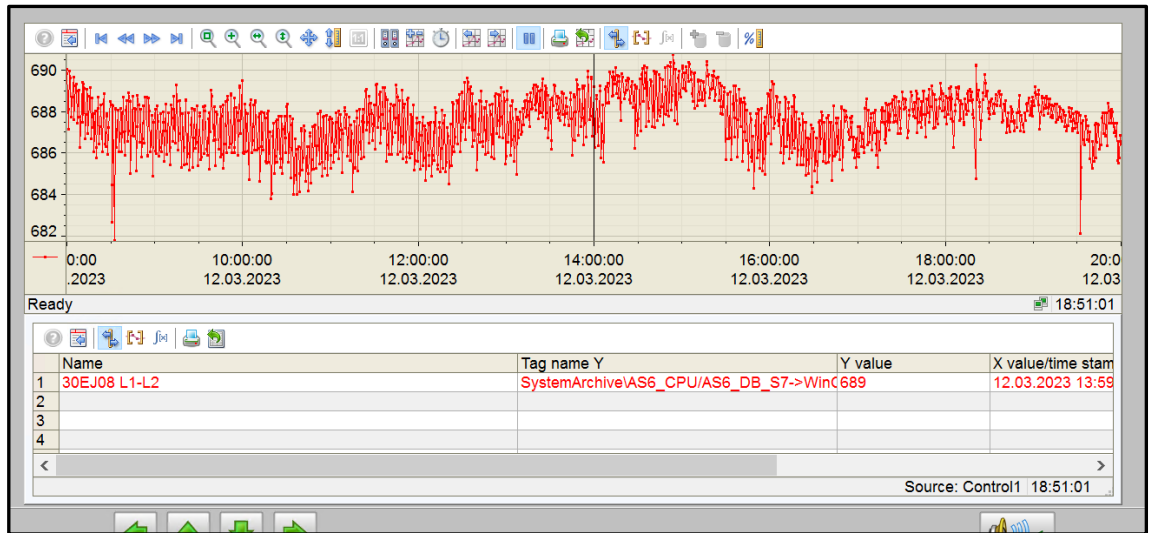
Kuvio 24. 30EJ08:n valvonnan visualisointi

Verkkoanalysaattorin jännitteen ja vaihevirtojen mittaukselle luotiin myös trendit, jotta historiallista kuormitusta voidaan seurata (Kuvio 25). Trendit helpottavat viikatilanteiden tutkimista, koska niistä saa selville tarkat arvot sekä ajankohdat.



Kuvio 25. 30EJ08 vaihevirtojen trendit

Jännitetason vaihtelu ei aiheuta ongelmia sen ollessa maltillista kuten kuviossa 26. Hetkellinenkin 10 % jännitepudotus voi keskeyttää kaivoskoneen työskente-lyn sen alijännittekelan lauetessa. 12.03.2023 kuormitus on ollut koko päivän mal-tillista, jolloin jännitetaso on pysynyt vakaana.



Kuvio 26. 30EJ08 pääjännitteen trendi

10 TULOKSET

Opinnäytetyön tuloksena määritettiin 266-muuntamon valvonnan nykytilanne ja selvitettiin tapoja, kuinka valvontaa voidaan lisätä. Näistä parhaimmaksi koetut toteutettiin yhdessä yhteistyötahon kanssa.

Opinnäytetyön tutkimuspainotteisena tavoitteena oli tuoda esiin syitä miksi muuntamoita tulisi valvoa ja kuinka valvontaa voidaan lisätä. Opinnäytetyötä ohjattiin tutkimuskysymyksillä, joihin vastattiin 266-puistomuuntamon näkökulmasta.

Tutkimuksella saatiin vastaukset alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten muuntamon valvontaa tehdään nyt?

Lähtötilanteessa 266-puistomuuntamoa valvottiin paikallisten valvontalaitteiden avulla. Suojalaitteet eivät indikoineet tilaansa taikka toimintaansa mitenkään muuntamon ulkopuolelle. Lämpötilanvalvonta tapahtui ainoastaan laukaisurajan mukaan eli lämpötilan noustessa liian korkeaksi lämpötilavalvontayksikkö katkaisee sähkön syötön. Tästä ei käy ollenkaan ilmi, kuinka lämpötila on muuntamolla kehittynyt. Automaatiojärjestelmään liitetyn verkkoanalysointin kautta pystytään seuraamaan muuntamon kuormitusta ja kulutusta. Automaatiojärjestelmään tallentuu muuntamon mittausten historiatiedot, joita hyödynnetään huoltotöiden suunnittelussa.

2. Kuinka muuntamon valvontaa voidaan kehittää?

Opinnäytetyössä määritettiin viisi erilaista tapaa parantaa 266-muuntajan valvontaa, joista kolme toteutettiin osana opinnäytetyötä. Nämä kolme olivat muuntajan verkkoanalysointin, tilatietojen ja sisälämpötilanmittauksen liittäminen kaivoksen automaatiojärjestelmään. Nyt 266-muuntajan vikatilanteet tulevat hälytyksinä kaivoksen automaatiojärjestelmään ja muuntajan trendejä voidaan tarkastella suoraan WinCC:ltä.

3. Mitä hyötyä valvonnan lisäämisestä on?

Valvonnan lisäämisen myötä muuntamon kunnossapitotöiden suunnittelu helpotui sekä toimintavarmuus parani. Kerättävä historiadata toimii vertailukohteena

nykytilanteelle sekä muille muuntamoille. Tämän datan pohjalta voidaan suunnitella huoltotoimenpiteiden toteutus ajankohdat sekä havaita poikkeuksia.

Opinnäytetyötä voidaan soveltaa sellaisenaan tai osittain Kemin kaivoksen muille muuntamoille. Työssä tehtyjä piirikaavioita ja automaatio-ohjelmia voidaan hyödyntää pienin muutoksin, jos Outokumpu päättää toteuttaa samankaltaisia muutoksia muillekin muuntamoille.

11 POHDINTA

Opinnäytetyö oli minulle varsin haastava. Oma kokemukseni on hyvin rajallinen ja jouduin opinnäytetyössä tutustumaan moniin laitteisiin, joiden toiminta oli minulle entuudestaan täysin tuntematonta. Onnekseni kuitenkin, Kemin kaivos oli minulle työpaikkana entuudestaan tuttu, osasin ja tiesin kaivoksen toimintamallit, koska olen ollut siellä kesätöissä.

Opinnäytetyön lopputulos oli Outokummun ohjaajani Juha Nevalaisen odotusten mukainen. Määritin mahdollisia toimenpiteitä ja sain 266-muuntajan tiedot näkyviin kaivoksen automaatiojärjestelmään, joka mahdollistaa vikatilanteiden syiden tarkemman selvittämisen. Työtä voidaan käyttää mallina kaivoksella vastaavalaisten toimenpiteiden toteuttamisessa tulevaisuudessa.

Epäonnistuin opinnäytetyön jaksottamisessa, koska työ painottui suurimmaksi osaksi aikamäärään loppuosioon. Alkuperäisessä aikataulussa opinnäytetyön oli tarkoitus olla täysin valmis 31.12.2022 mennessä. Opinnäytetyö ajautui heti alussa hieman sivuraiteille, kunnes Heikki jälleen ohjasi minut takaisin aiheeseen.

Ohjelmointi osuus osoittautui vaikeammaksi, kuin osasin odottaa ja jouduin turvautumaan ASES OY:n henkilökunnan apuun enemmän kuin olin odottanut opinnäytetyön alku vaiheessa. Koulussa saamani ohjelmointi kokemus ja itseopiskelu eivät riittäneet työn toteuttamiseen itsenäisesti. CFC ohjelmointikieli tuli minulle täysin uutena, koska koulussa olin tutustunut ainoastaan FBD ohjelmointikielen.

LÄHTEET

Ahoranta, J. 2010. Sähkötekniikka. 1–10. painos. Helsinki: WSOY pro Oy

Eaton 2023. Ulusoy-kuivamuuntajat. Viitattu 28.4.2023

<https://www.eaton.com/fi/fi-fi/catalog/medium-voltage-power-distribution-control-systems/ulusoy-dry-type-transformer.html>

Elovaara, J.& Haarla, L. 2011. Sähköverkot 2: verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto Helsinki University Press

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. 1. painos. Vantaa: AMK Kustannus Tammertekniikka

Kaivosvastuu. 2021. Outokumpu Chrome Oy. Viitattu 12.11.2022
<https://www.kaivosvastuu.fi/yrityskortti/outokumpu-chrome-oy/>

Karinen, J., Peronius, A. & Toppila, R. 2018. Suomen kaivostoiminnan toimialakatsaus 2017. Lapin amkin julkaisuja. Sarja B. Tutkimusraportit ja kokoomateokset 4/2018. Viitattu 12.11.2022.

<https://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=991d1f2b-52bc-470c-9cf356269005111>

Korpinen, L. 2008. Sähkövoimatekniikkaopetus. Muuntajat ja sähkölaitteet. Viitattu 23.4.2023.

http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf

Kouvalainen, E. 2019. Jatkuva kunnonvalvonta takaa, etteivät valot sammua. <https://www.vaisala.com/fi/blog/2020-01/jatKuvio-kunnonvalvonta-takaa-etteivat-valot-sammu>

Mononen, A. 2020. Teollisuusmuuntajien toimintakunto valvontaan. Enertec 3+4/2020.

<https://www.publicomedia.com/magazine/pdf/921.pdf>

Orrberg, M. 2022. Sähköasennukset 3. 5., uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy

Outokumpu Oy 2021a. Historia. Viitattu 8.11.2022.

<https://www.outokumpu.com/fi-fi/about-outokumpu/history-of-outokumpu>.

Outokumpu Oy 2021b. DeepMine-projekti. Viitattu 23.4.2023. Outokummun sisäinen viestintä.

Outokumpu Oy 2021c. Kemin kaivoksen esitysmateriaali. Viitattu 23.4.2023. Outokummun sisäinen dokumentti.

Outokumpu Oy 2022a. Tuotannon prosessitehtävät. Viitattu 23.4.2023.

<https://www.outokumpu.com/fi-fi/careers/students-and-graduates/job-description-tuotannon-prosessitehtavat>

Outokumpu 2022b. Kemin kaivoksen 20 kV jakelukaavio. Viitattu 24.4.2023. Outokummun sisäinen dokumentointi.

Saintola, R. 2018. Muuntaja ja sen toiminta. Viitattu 27.04.2023
<https://peda.net/p/Reijo%20Saintola/qas/mjst#:~:text=Muantaja%20on%20isoja%20ja%20pieni%C3%A4,tutkimuslaitok-sissa%20ynn%C3%A4%20monissa%20muissa%20paikoissa.>

Siemens 2009. SIMATIC NET PROFIBUS Network Manual.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/591/35222591/att_105793/v1/mn_pbnets_76.pdf

Siemens 2013. Simatic Net Profibus Optical Link Module.
<https://adegis.com/media/asset/a506247ad0b54ac-cdf89449dba97c306513e28bc7d3dee2f48d32ed788fe0aac.pdf>

Siemens 2019. SIMATIC PCS 7 Standard Architectures.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/791/109751791/att_1032137/v1/109751791_PCS_7_Architectures_V90_en.pdf

Siemens 2022. Network components - PROFIBUS Optical link module.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/821/109476821/att_1105855/v1/BA_OLM4_76.pdf

Siemens 2022. Reliable and precise monitoring of electrical power systems.
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:b04397ec-aa37-4d72-aa7e-0512ad99c16d/pcpm-p3200-0411lowres.pdf>

Siemens 2022. Simatic ET 200SP. Viitattu 23.4.2023.
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/io-systems/et-200sp.html>

Siemens 2023. 8DJH 24 – blue GIS. Viitattu 23.4.2023
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:b085361e-f2be-4b57-a4a4-5ff4727b56c5/8DJH24-blue-GIS-brochure-EN.pdf>

Trafomic Oy 2023. Muuntaja yleisesti. Viitattu 23.4.2023.
<https://trafomic.fi/tuotteet/muuntaja-yleisesti/>

Valmistajat.fi 2020. Automaatio ja automaatiojärjestelmät. Viitattu 27.04.2023.
<https://valmistajat.fi/menetelmat/elektroniikka/automaatio-ja-automaatiojarjestelmat>

