

Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 2

Sisällysluettelo

Osa 1. (Kunnossapitokoulu 47)

1. Sähkökunnossapidosta käynnissäpitoon
2. Kunnossapitostrategian valinta
3. Kunnossapidon toimintatavat
 - 3.1 Kunnossapitotavat
 - 3.2 Kunnossapidon organisointi
 - 3.3 Sähkölaitteiden viat
 - 3.4 Sähkölaitteiden eristykset
 - 3.4.1 Eristysten vanhenemisilmiöt
 - 3.4.2 Eristysten kunto
 - 3.5 Vika-analyysi
4. Prosessisähköistyksen suunnittelu
 - 4.1 Sähköistysprojekti
 - 4.2 Sähköistysohjeet ja suositukset
 - 4.3 Esisuunnittelu
 - 4.4 Perussuunnittelu
 - 4.5 Hankintasuunnittelu
 - 4.6 Toteutussuunnittelu
 - 4.7 Kunnossapitosuunnittelu
5. Tietojärjestelmät kunnossapidon perustana
 - 5.1 Kunnossapidon toiminnan ohjausjärjestelmä
 - 5.2 Suunnittelun tietojärjestelmät ja CAD
 - 5.3 Muut tietojärjestelmät
6. Ennakoiva kunnossapito
 - 6.1 Ennakkohuolto
 - 6.3 Kunnonvalvonta

Osa 2.

7. Sähköjakoverkko	3
7.1 Sähköjakoverkkojen ominaisuudet	3
7.2 Sähköverkkojen rakennevaihtoehdot	4
7.3 Sähköjakelun automaatio	5
7.4 Prosessikäyttöjen automaatio	5
8. Sähköistyksen ennakoiva kunnossapito	6
8.1 Tehomuuntajat	7
8.1.1 Tehomuuntajien viat	7
8.1.2 Tehomuuntajien kunnonvalvonnan menetelmät	8
8.2 Katkaisijat	9
8.2.1 Katkaisijoiden ominaisuudet	9
8.2.2 Katkaisijoiden kunnonvalvonnan menetelmät	9
8.3 Sähkötilat ja kojeistot	10
8.4 Relesuojaus	10
8.4.1 Koestusmenetelmät	11
8.4.2 Käyttöönottokoestukset	11
8.4.3 Kunnonvalvonta	11
8.5 Jakelumuuntajat ja muuntamot	12
8.6 Sähköverkon tila ja sähkön laatu	12
8.7 Sähkömoottorit	12
8.8 Valaistushuolto	14
9. Näkymiä	15
Lähdeluettelo	15

Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 2

Prosessien sähköistyksen tavoite on saada mahdollisimman edullinen ja kilpailukykyinen työkalu tuotteen valmistajan käyttöön. Kaksiosaisessa KUNNOSSAPITOKOULUSSA esitellään prosessien sähköjakelun periaatteet ja sähkösuunnittelun vaiheet sekä kunnossapitotoiminnan periaatteet ja toimintamallit. Tavoitteena on luoda lukijalle yleiskäsitys prosessisähköistyksen toteutusperiaatteista ja monimuotoisuudesta.

Tässä toisessa osassa kerrotaan sähkökunnossapidon menetelmistä käsittelemällä esimerkein prosessisähköistyksen osa-alueiden, kuten muuntajien, sähkötilojen, katkaisijoiden ja sähkömoottoreiden ennakoivia kunnossapitomenetelmiä.

DI Jaakko Etto

DI Jaakko Etto työskentelee nykyisin Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulun Tekniikan Koulutusyksikössä (Kemin teknillinen oppilaitos) sähkövoimatekniikan lehtorin virassa. Aikaisemmin hän on toiminut suunnitteluinsinöörinä Kemira Engineering:in sähköosastolla ja Metsä-Botnian Kemin tehtaiden sähkö- ja automaatio-osaston kunnossapitoinsinöörinä.

email: jaakko.etto@tokem.fi

7. Sähköjakeluverkko

7.1 Sähköjakeluverkon ominaisuudet

Teollisuuden sähköverkot ovat laajuudeltaan pieniä, mutta niissä siirrettävät tehot ovat suuria. Ylivoimaisesti suurin osa sähköenergiasta käytetään sähkömoottoreiden pyörittämiseen, joten prosessin sähkökäyttöjen nimellistehot ja lukumäärät vaikuttavat ratkaisevasti teollisuuslaitoksen sähköjakeluverkon rakenteeseen ja nimellisjännitteiden valintaan.

Sähkömoottorikäyttöjen lisäksi teollisuusprosesseihin tarvitaan valaistusta, lämmitystä ja automaatiota varten 400 V pienjännitteinen sähköjakelu. Eri sähkölämpötekniikat, kuten valokaariuunit, infrakuivaimet voivat myös vaikuttaa sähköjakeluverkon rakenteeseen merkittävästi.

Tyypillisesti raskaassa prosessiteollisuudessa liityntä kantaverkkoon tapahtuu 110 kV jännitteellä, pienten teollisuuslaitosten liityntä on sähkölaitoksesta riippuen 10 tai 20 kV. Jännitteen jakeluun käytetään 20 kV, 10 kV tai 6 kV jännitteitä riippuen kyseisen laitoksen rakentamisajankohdasta ja käytettävien suurimpien moottoreiden yksikkötehoista. Nykyisin 110 kV jännitetasoa käytetään myös tehdasalueiden sisäisessä jakelussa. 20 kV jännite on sopiva laitoksen keskijännitejakeluun ja sopii sellaisenaan laitoksen varayhteydeksi esim. paikalliseen sähkölaitokseen.

Moottorijännitteinä ovat laajasti käytössä 10 kV ja 6 kV jännitteet muutamasta sadasta kW:sta aina yli 10 MW moottoritehoihin. 10 kV sopii myös jakelijännitteeksi ja 6 kV käytetään jakelijännitteenä muutamissa vanhemmissa laitoksissa. Generaattorijännitteinä on käytössä 6 - 10 kV, mikä suuritehoisten moottoreiden lisäksi on vaikuttanut teollisuuslaitosten jännitevalintoihin.

Moottorijännitteinä teollisuudessa ovat käytössä 10 kV, 6 kV, 3 kV, 690 V, 525 V ja 400/230 V. Suurjännitemoottoreiden jännitteinä ovat yleisesti käytössä 10 kV ja 6 kV. 3 kV moottorijännitettä käytetään enää muutamassa laitoksessa. Prosessiteollisuuden moottorikeskusten jännitteenä on käytetty aikaisemmin 525 V ja nykyisin 690 V sekä yleisesti pienemmissä laitoksissa ja pienillä moottoritehoilla 400/230 V jännitettä. Valaistus- ja kunnossapitoverkkoihin tarvitaan aina 400/230 V jännitettä. Tasa- ja vaihtovirtakäyttöjen jännite valitaan tapaus- ja laitoskohtaisesti. Teollisuuslaitoksen jakelu- ja moottorijännitteiden valinta on teknistaloudellinen optimointitehtävä.

Samassa teollisuusyrityksessä sähköverkon komponentit voivat olla hyvin eri ikäisiä. Edelleen on käytössä 50-luvulla rakennettuja kojeistoja, toki teollisuudelle hyvin tyypilliseen tapaan useimmat kojeistojen lähdeistä on uusittu tämän jälkeen, osa useaan kertaankin. Uusinnoissa muutetaan useimmiten releistys, virtamuuntajat, mittaukset ja ohjaukset sekä kaapelointi. Teollisuuslaitoksen sähköverkon uusinta tapahtuukin yleensä laitososittain.

Sähköverkon laitteiden ja johtojen eristykset, toimintakyvyt ja kunto vanhenevat käytännössä 20...40 vuoden kuluessa. Vanheneminen voi perustua teknisiin, taloudellisiin, sähköturvallisuus- tai käytettävyystekijöihin. Seurauksena verkostossa on enenevässä määrin maasulkuja, oikosulkuja, toimintahäiriöitä ym. vikoja, jotka keskeyttävät sähköjakelun ja mikä pahinta pysäyttävät prosessin, jonka uudelleen käynnistys saattaa kestää useita tunteja jopa vuorokauden. Taloudelliset menetykset tuotantohäiriöstä ovat lyhyessäkin häiriössä miljoon-

nien markkojen luokkaa, syynä menetetty tuotanto ja tuotteen laatuhäiriöt. Sähköverkon käytettävyys onkin tärkeysjärjestyksessä ensimmäinen prosessiteollisuuden sähköverkon uusinnan peruste.

Sähköverkostoon liittyvät viat ovat teollisuuslaitoksissa melko harvinaisia, kattavaa vikatilastointia ei useimmissa teollisuuslaitoksissa ole. Teollisuuden sähköverkkojen suojeleisuus on eri-ikäistä, joten käytössä on vielä paljon sähkömekaanisia suojeleita ja niitä uudempia staattisia suojeleita. Pyrittäessä sähköverkon tehokkaampaan suojaukseen ja valvontaan uusitaan releistystä ja valvontajärjestelmiä, jolloin useimmiten käytetään numeerista suojeleita tai kennotermiinaalia.

7.2 Sähköverkkojen rakennevaihtoehdot

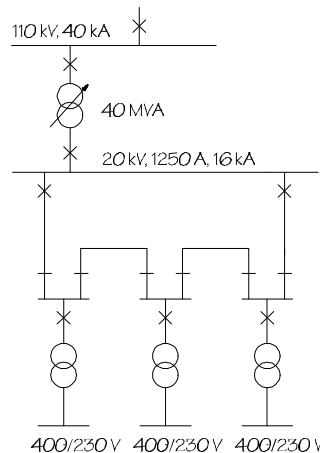
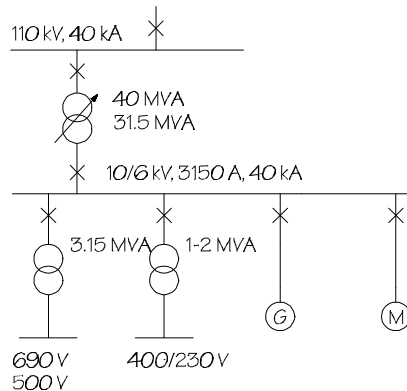
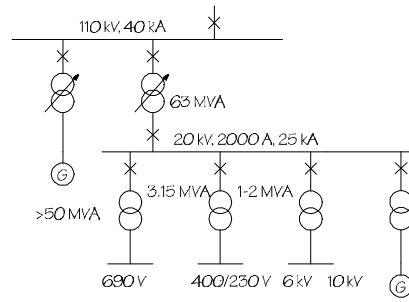
Prosessiteollisuudessa jakeluverkot on rakennettu ja niitä käytetään säteittäisesti. Tällöin suojausjärjestelmät ovat yksinkertaisemmat, ja oikosulkutehot jäävät pienemmiksi. Huolto- ja varayhteyksien mahdollistamiseksi käytetään myös rengasmaisia sähköverkon rakenteita.

Päämuuntajia on teollisuuslaitoksen suuruudesta riippuen yksi tai useampia. Päämuuntajat syöttävät keskijännitejakeluverkkoa (20...6 kV), nykyisin myös suuritehoinen generaattori saattaa olla liitetty blokkimuuntajalla suoraan 110 kV verkkoon, koska muutoin jakeluverkon oikosulkutehot kasvaisivat liian suuriksi. Vanhemman teollisuuslaitoksen tapauksessa saattaa esiintyä useampaa eri jakelujännitettä, kuten 6 kV ja 20 kV.

Sähköverkkojen rakenteita havainnollistavia yleiskaavioita on esitetty kuvassa 6, jossa on esitetty kolme perusratkaisua. Toteutuksen valinta riippuu teollisuuslaitoksen prosessin sähkökäyttöjen ominaisuuksista ja tehoista.

Keskijännitejakeluverkko yhdistää teollisuuslaitoksen eri laitososat säteittäisellä kaapeliverkolla. Suuremmissa laitososissa sijaitsee omat keskijännitekojeistot, jotka ovat kyseisen laitoksen rakentamisaikankohdan mukaista tekniikkaa.

Kojeistojen välinen kaapelointi on yleensä muutamia satoja metrejä ja toteutettu joko kolmivaihekaapelilla tai suuren siirtotehon kyseessä ollessa yksijohdinkaapelijärjestelmällä. Yleensä kaikki laitososan prosessien moottorikeskukset syötetään kyseisestä kojeistosta ja muuntajakoot on standardoitu laitos- tai projektiokohtaisesti



Kuva 6. Teollisuuslaitoksen sähkönjakelun toteutuksen periaatteet.

esim. 2500 kVA tai 3150 kVA. Moottorijännitteenä on uusissa laitoksissa 690 V ja joissakin vanhoissa 525 V, myös 400 V on käytössä jos suuria moottoritehoja ei tarvita. Valaistus- ja kunnossapitoverkon 400/230 V syöttö tapahtuu eri muuntajilla (500-2000 kVA) kuin prosessin ja pyrkimyksenä on ainakin osittaisen varasyötön järjestäminen.

Jakelujännitteen ollessa 20 kV on suurjännitemoottorit liitetty omaan yleensä 6 kV kojeistoon, jota syötetään 20/6 kV tehomuuntajalla. Moottoreiden lukumäärä kojeistoissa vaihtelee yhdestä jopa kymmeneen. Osa moottoreista voi olla varalla ja prosessin eri ajomalleilla käytettävien moottoreiden lukumäärä vaihtelee.

Suurjännitemoottoreiden kaapeloinnin pituus vaihtelee muutamasta kymmenestä metrillä satoihin metreihin. Jakelujännitteen ollessa 10 kV tai 6 kV on moottorit ja jakelumuuntajat kytketty samoihin kojeistoihin. Tällöin saatetaan joutua rajoittamaan oikosulkutehoja kuristimella, erityisesti jos kojeistoon on liitetty myös generaattoreita.

Prosessilaitoksessa on laitteistoja, joiden on pysyttävä käynnissä myös normaalin sähkönjakelun katkettua. Sähkönjakelun ja automaation apusähköverkot toteutetaan yleensä tarpeen mukaan varmennettuina:

- dieselvarmennettu verkko (yleensä 400/230V, joskus myös 525 tai 690 V)
- paristovarmennettu tasasähköjakelu
- paristovarmennettu vaihtosähköjakelu (UPS, no-break).

Dieselvarmennettuun verkkoon liitetään yleensä:

- varavalaistus
- paristojen varaajat
- hissit
- palopumput
- säätö- ja tiivisteöljypumput
- tärkeimmät moottorikäyttöiset toimitteet
- prosessin keskeytyminen saattaa myös vaatia jonkun pumpun tms. käynnistystä.

Tasasähköverkkojen energialähteenä on tasajännitesuuntaaja ja akusto, joka tavallisesti koostuu tarvittavasta määrästä liiyyakkuja, mutta muiden akkujen käyttö on myös lisääntynyt. Vaativissa kohteissa voi koko järjestelmä tai varaaja olla kahdennettu. Jakelu toteutetaan säteittäisenä ja suojataan selektiivisesti. 110 V (220 V) tasasähköverkot ovat maastaeristettyjä ja 48/24 V tasasähköverkoissa on mahdollista käyttää keskipistettä maadoitettuna. Järjestelmien käyttötarkoitus:

- kytkinlaitoksien ohjaukset ja suoja-releet (yleensä 110 V, joskus 220 V)
- automaatiojärjestelmät ja instrumentointi (48 / 24 V).

UPS- verkkoon, joka voi olla suuritehoinen keskitetty verkko tai laitekohtainen järjestelmä, liitetään laitos- ja prosessikohtaisesti rajattuja osia tai kaikki laitteistot:

- kenttäinstrumentointi
- valvomoiden monitorit
- häiriöpiirtimet ja -kirjoittimet
- tietokoneet
- laskimet, analysaattorit
- suojaukset, ohjaukset.

7.3 Sähkönjakelun automaatio

Sähkönjakelun toimivuus ja käyttövarmuus perustuu joustavien verkkoratkaisujen ohella luotettaviin sähköjake-luverkon primäärikomponentteihin ja niiden ympärille rakentuvaan auto-maatioon. Sähköasemien ja kojeisto-jen suojaus, mittaus, valvonta ja ohjaus voivat perustua erillisiin järjestelmiin tai sähkölaitosautomaatioon, joka voi olla keskitetty tai hajautettu järjes-telmä.

Prosessiteollisuuslaitoksen sähkölai-tosautomaatio muodostuu käytännös-sä seuraavista kokonaisuuksista:

- kaukokäyttöjärjestelmät
- energianhallintajärjestelmä
- sähköasema-automaatio
- kuormien hallintajärjestelmä.

Sähkölaitosautomaation perinteinen osa on kaukokäyttö, jonka avulla käyt-tilanteissa kerätään tietoa sähköver-kon tilasta ja suoritetaan ohjauksia verkkotilanteen vaatimalla tavalla.

Sähköasemien paikallisautomaatio eli sähköasema-automaatio on toteutettu aikaisemmin perinteiseen tekniikkaan perustuvilla laitteilla ja relelogiikoilla (mm. hälytyskeskukset, lukitukset ja jännitteen säätäjät). Nykyisin mikro-prosessoritekniikalla lisätään paikallis-automaatiotoimintoja integroimalla kaukokäyttö, paikallisautomaatio, hä-lytyskeskukset ja suojaus toisiinsa.

Sähkönjakelun valvontajärjestelmä voidaan jakaa seuraaviin toimintoihin:

- suojaus
- ohjaus
- mittaus
- valvonta
- raportointi
- tiedonsiirto.

Nykyisillä sähkönjakeluverkon suoja-ukseen käytettävillä suoja-releillä on aikaisempaa monipuolisemmat omi-naisuudet ja toiminnot, jotka on keski-tetty kennoterminaaliin, kuva 7.

KENNOTERMINAALIN TOIMINNOT
SUOJAUSTOIMINNOT - Oikosulku - Maasulku - Ylikuorma - Sähköverkon jännite
KÄYTTÖTOIMINNOT - Mittaus - Asennonosoitus - Ohjaus
LÄHTÖKOHTAINEN AUTOMATIikka - PJK - AJK - Lukitukset
REKISTERÖINTI - Vikatiedot - Toiminnot - Mitatut maksimiarvot
TIEDONSIIRTO - Mittaustiedot - Tilatiedot - Asettelut
ITSEVALVONTA - Suojareleen toiminnot - Mittauspiirit - Ohjauspiirit

Kuva 7. Sähkönjakeluverkon toimintoja ohjaava kennoterminaali.

7.4 Prosessikäyttöjen automaatio

Teollisuuden sähköenergian kulutuk-sesta enin osa menee sähkömootto-reiden pyörittämiseen. Tyypillisesti sähkömoottorikäyttö muodostuu syöttä-västä sähköverkosta, moottorilähdön komponenteista, mahdollisesti taa-juusmuuttajasta tai tasasuuntaajasta, sähkömoottorista, työkoneesta ja niitä

käyttävistä ohjausjärjestelmästä ja laitteista. Sähkökäyttö on sovitettava syöttävään sähköverkkoon, ohjausjär-jestelmään, työkoneeseen ja teolli-suusympäristöön.

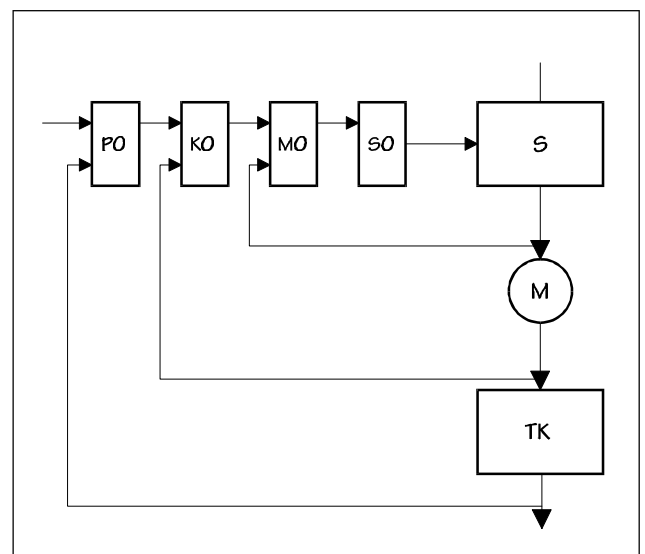
Suunnittelun tavoitteena on sähkö-käyttö, joka

- ei lämpene liikaa, mutta lämpenee sopivasti
- kestää sopivasti sähköiset rasituk-set
- ei salli liiallista ylikuormitusta
- ei ole herkkä oikosuluille ja suoja-tuu tehokkaasti oikosulkutilanteissa
- on suojaissa ympäristöön nähden eikä ole itse vaaraksi ympäristölle.

Ohjaushierarkiassa on erotettu toimin-nan tasot, kuva 8, prosessi ohjaa käyt-töä (TK), käyttö ohjaa moottoria (M), moottori ohjaa suuntaajaa (S), joka asettelee käyttötehoa. Teollisuuden sähkökäyttöjen ohjaustarve vaihtelee yksinkertaisesta moottoriohjauksesta erittäin vaativiin linjakäyttöihin. Ohjaus-hierarkian tasot muodostavat käytön teknillisen toteutuksen:

- suuntaajan ohjaus (SO), optimoi suuntaajan ohjauksen
- moottorin ohjaus (MO), ohjaa käy-tön dynamiikkaa
- käytönohjaus (KO), sähkökäytön sisäisen toiminnan ohjaus
- prosessin ohjaus (PO), koko toimin-nan ohjaus.

Prosessilaitoksen sähkönjakelussa suurjännitemoottoreiden ohjaukset ovat osa prosessin ohjausta ja ne liite-tään yleensä prosessin automaatiojär-jestelmään. Liityntä on perinteisesti to-teutettu kaapeloinnilla ja väyläliityntö-jen käyttö moottoriohjauksissa yleisty-nee lähivuosina. Suojareleiden toimin-taindikaatiot on toteutettu vaihtelevilla tavoilla ja ne on liitetty suoraan pro-



Kuva 8. Sähkökäytön toiminnallinen rakenne.

sessia ohjaavaan automaatiojärjestelmään tai sähkönjakelua valvovaan järjestelmään sekä osittaisesti molempiin, koska suojaileistyksen toiminta vaikuttaa sekä prosessi- että sähkölaitosautomaatioon.

Alle 1000 V sähkömoottorikäyttöjen ohjaus tapahtuu suoraan prosessia ohjaavasta valvomosta automaatiojärjestelmällä. Koneohjaukset voidaan joissakin tapauksissa toteuttaa logiikkajärjestelmällä tai erillisillä digitaalisilla säätäjyksiköillä. Yksinkertaisissa ohjauspiireissä voi olla perinteinen kytkin- ja releohjaus. Yleensä liitännä ohjausjärjestelmään tehdään joko 24 V tasajännitteellä tai 230 V vaihtojännitteellä. Jos moottorikäyttö ei ole liitetty automaatiojärjestelmään on käynti- ja häiriötiedon ilmaisu yleensä toteutettu merkkilampuilla.

Prosessikeskuksen moottorilähdön rakenne on sellainen, että sitä voidaan ohjata ohjausjärjestelmästä ja siitä saadaan tarpeelliset tiedot oikeiden käyttötoimenpiteiden ja vikaselvitysten tekemiseksi, kuva 9. Samoin ohjausjärjestelmän ohjelmat on laadittava siten, että ohjausjärjestelmä kaikissa tapauksissa ilmoittaa käyttäjälle mootto-

rin pysähtymisestä tai käyntivalmiudesta. Useimmiten ohjausjärjestelmä valvoo myös moottorin käynnistyksen onnistumisen tietyn ajan (5 s) kuluessa.

Moottorilähdöstä saatavat lukitukset tai häiriötiedot ovat tyypillisesti:

- käy
- seis
- keskushäiriö
- kenttähäiriö.

Moottorikäytöstä ominaisuuksista ja ohjaustarpeesta riippuen voidaan tarvita myös seuraavia tietoja:

- pyörimissuunta
- pyörimisnopeus
- paikka ym. toimintaa ohjaavia rajakytkintietoja (voivat olla kaapeloitu myös suoraan ohjausjärjestelmään)
- moottorin kuormitusvirta tai teho mA viestinä (yleensä 4-20 mA)
- pyörimisnopeustieto takometritiltä
- moottoria ja käyttöä suojaavan vahdin releen kosketintieto, esim. alikuormituksesta (higna poikki)
- lämpöreleen toimintatieto
- ohjausjännitteen laukeaminen
- kytkinvarokkeen asentotieto
- turvakytkimen asentotieto.

Ohjaustavan valinta riippuu ohjattavasta prosessista ja on harkittava tapauskohtaisesti onko käytössä jatkuva ohjaus vai pulssiohjaus:

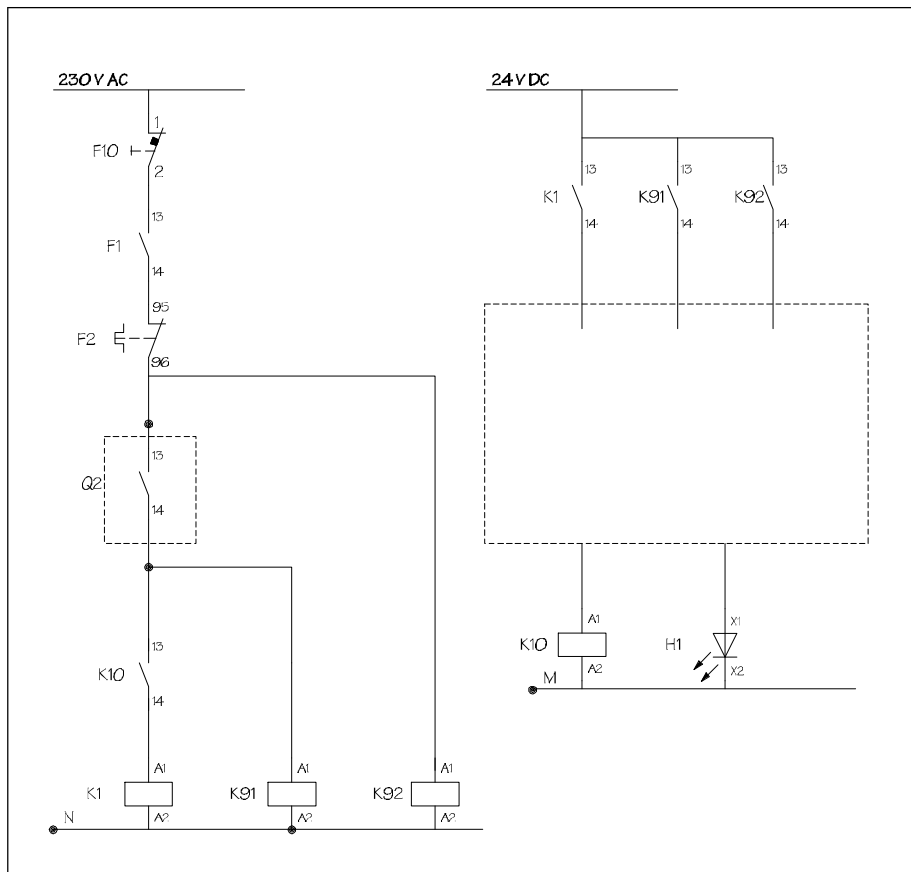
• **Jatkuvassa ohjauksessa** ohjausjärjestelmä pitää ohjausvälireleen jatkuvasti vetäneenä. Ohjausvälireleen apukosketin pitää moottorikontaktorin kiinni niin kauan kuin ohjaus on voimassa. Moottorikontaktorin asentotieto (käy-tieto) tuodaan automaatiojärjestelmään.

• **Pulssiohjauksessa** ohjausjärjestelmä antaa välireleelle lyhyen pulssin ja välirele on vetäneenä vain tämän pulssin ajan. Moottorikontaktorilla on omalla apukoskettimella itsepito. Ohjausjärjestelmä antaa auki-ohjauksen omalle välireleelle, joka katkaisee kontaktorin pitopiirin.

Yleensä liitännä ohjausjärjestelmään tehdään 24 V tasajännitteellä, harvemmin 230 V vaihtojännitteellä. Prosessiteollisuudessa käytetään yleisesti jatkuvaa ohjaustapaa, jolloin moottorit pysähtyvät, jos automaatiojärjestelmän tulo- ja lähtökorttien jännite katkeaa. Pulssiohjattua ohjaustapaa käytetään kun halutaan välttää moottorin pysähtyminen ohjauspiiriin häiriöissä, sillä pysähtyminen voi aiheuttaa vaaratilanteen, tuotantokatkoksen tms., joka olisi voitu välttää.

Ohjausjärjestelmässä käytettävät väli-releet voidaan sijoittaa omiin ohjauskaappeihin tai moottorikeskukseen, joko kaapelikuiluihin, kennon ylä/alosaan tai kuhunkin moottorilähtöön. Väli-releinä voidaan käyttää kiinteitä, pistokantaisia tai riviliitinreleitä ja ne tulisi varustaa mekaanisella tai lednäyttöisellä releen tilan osoituksella.

Ohjausjärjestelmän liityntä moottorilähtöön on perinteisesti toteutettu väli-releillä, mutta tulevaisuudessa väli-releet ja kaapelointi tullaan korvaamaan kenttäväylällä ja älykkäällä liityntälaitteilla.



Kuva 9. Sähkomoottorikäytön piirikaavio, jossa on käytetty 24 V DC jatkuvaa ohjausta ja moottorin käynnistyminen lisäksi havaitaan erikseen sähkökeskuksen käyttöpaikan häiriöt.

8. Sähköistyksen ennakoiva kunnossapito

Seuraavassa on lyhyesti esitelty lyhyesti sähkönjakeluverkon komponenttien tärkeimmät ominaisuudet kunnossapidon kannalta ja ennakoivan kunnossapidon menetelmiä.

Pyrittäessä sähköjakeluverkon korkeaan käyttövarmuuteen ja hyviin käyttö ja kunnossapito ominaisuuksiin vaaditaan mm. seuraavia toimenpiteitä:

- sähköverkon rakenne on pidettävä tarkoituksenmukaisena, jolloin vaurio pysäyttää vain tietyn prosessin
- säännöllisesti sähköverkon relesuojauksen tarkastukset, vikavirtojen laskenta, sähkö laadun ja kuormituksen (P,Q) mittaus
- laitteiden ympäristöolosuhteet, sähkötilojen ilmastointi, taulukko 2.
- sähköjakeluverkon komponenttien suunnitelmallinen ennakkohuolto ja kunnonvalvonta.

8.1 Tehomuuntajat

Teho- eli voimamuuntajat voidaan käytännössä jakaa jakelu- eli pientehomuuntajiin ja suurtehomuuntajiin. Lähes kaikki tehomuuntajat ovat öljyristeisiä, pieni osa jakelumuuntajista on valuhartsieristeisiä. Tyypillisesti jakelumuuntajiksi luetaan muuntajat, joiden yläjännitepuolen nimellisjännite on U_{1N} on 6 - 20 kV ja alajännitepuolen nimellisjännite U_{2N} on 400 - 690 V sekä S_N on enintään 3150 kVA. Tätä nimellisjännitteiltään ja nimellistehoiltaan suuremmat muuntajat luetaan suurtehomuuntajiin sekä voimalaitoksissa ja teollisuudessa käytettäviin tehovälimuuntajiin.

Muuntajaöljyn tehtävänä on toimia sähköisenä eristeenä, eristyspaperin impregointiaineena ja johtaa häviölämpö jäähdytyslementteihin. Lisäksi

öljy suojaa paperieristystä ilman kosteudelta. Muuntajaöljy on orgaaninen aine ja sen ominaisuudet muuttuvat iän, kosteuden, lämpötilan ja sähköisten ilmiöiden vaikutuksesta. Öljyyn sekoittuu ja imeytyy ilmasta pölyä ja kosteutta. Vanhenemisreaktioiden seurauksena öljyyn syntyy saostumia, johtavia epäpuhtauksia, vettä ja happamia yhdisteitä.

Muuntajan käyttöä ja käytön seurantaan varten muuntajiin asennetaan varusteita ja suojakomponentteja. Niillä suojataan öljyä kosteudelta ja liialta sekä valvotaan öljyn ja käämin lämpötilaa.

Muuntajan tärkeimmät varusteet ovat:

- paisuntasäiliö
- kaasurele
- ylipaineventtiili
- öljynkorkeuden osoitin
- lämpömittarit
- käämin lämpötilan kuvaaja
- sulkuventtiili
- ilmankuivain.

Muuntajien suojauksen toteutustapaan vaikuttaa muuntajan nimellisteho, jännitteet ja käyttötarkoitus.

Tehomuuntajien suojareleistys sisältää seuraavia osia:

- ylivirtasuojaus
- maasulkusuojaus
- käämi- ja kierrossulkusuojaus
- ylikuormitussuojaus
- ylijännitesuojaus
- käämikytkinsuojaus.

8.1.1 Tehomuuntajien viat

Tehomuuntajien käytönaikaisella kunnonvalvonnalla voidaan varmistaa muuntajien luotettava toiminta ja ennakoida huoltoa ja korjausta vaativat vauriot. Muuntajien kunnonvalvonta voidaan jakaa tarkastuksiin ja mittauksiin. Osa vioista voidaan havaita syntyvaiheessa ennen suurempia seurauksia.

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty IEEE:n keräämien tilastojen mukaiset 262 muuntajavauriota sekä niiden jakumat. Selvästi on nähtävissä tehomuuntajien vikojen osalta käämityksien erilaisten vaurioiden keskeinen merkitys ja täten niiden kunnonseurannan tärkeys.

Taulukko 2. Esimerkki ympäristöolosuhteista ja kotelointiluokista teollisuuslaitoksessa.

Ympäristöolosuhteet teollisuuslaitoksessa.		
Ulkona	lämpötila	-30...+35 °C
	suhteellinen kosteus	0...100 %
Prosessitilat sisällä	lämpötila	+5...45 °C
	lämpötilan muutosnopeus	8 C/h
	suhteellinen kosteus	10...90 %
Sähkö- ja valvomotilat	lämpötila	+5...40 °C
	24 h keskiarvo max	+ 35 °C
	suhteellinen kosteus	20...80 %

Kotelointiluokat teollisuusympäristössä		
Moottorit	rakenteellinen	IP54
	kytkentäkotelo	IP55
Kesukset, ohj.kotelot	prosessitilat	IP55
	sähkötilat	IP20
Kenttälaitteet	kenttäinstrumentointi	IP65
	asennoitin	IP54
	paikalliskytkimet	IP65
	turvakytkimet	IP54

Taulukko 3. Muuntajien vikojen jakautuma.

Vikapaikka	Vikoja	
	kpl	%
käämitys	134	51
käämikytkin	49	19
klskosilta	41	15
läpiviennit	19	7
muuntajan sydän	7	3
muut	12	5
Yhteensä	262	100

Taulukko 4. Muuntajien käämityksen vikojen jakautuminen.

Käämitysviat	Vikoja	
	kpl	%
klerrrossulku	32	24
salama	18	13
kosteus	16	12
ulkopuolinen vika	10	7
ylikuumentuminen	5	4
käämikatkos	4	3
vanheneminen	4	3
väärä kytkentä	3	2
runkosulku	3	2
käämisulku	2	2
mekaaninen helkkous	1	1
muut	36	27
Yhteensä	134	100

8.1.2 Tehomuuntajien kunnonvalvonnan menetelmät

Jotta eristysrakenteen suoriutuisi tehtävästään, on sen sähkölujuuden ja mekaanisen lujuuden oltava riittäviä. Näitä molempia tekijöitä voitaisiin pitää eristysrakenteen kunnon arvioinnin kriteereinä, mutta näiden suureiden mittaaminen käytössä olevasta laitteesta on kuitenkin mahdotonta. Kunnon seurantaan onkin käytettävä sellaisia epäsuoria suureita, jotka voidaan mahdollisimman yksinkertaisesti ja luotettavasti mitata. Tällaisia eristyksen toimintakykyä kuvaavia epäsuoria suureita ovat mm. eristysresistanssi, häviökerroin $\tan\delta$, vesipitoisuus, vuotovirta ja osittaispurkausten suuruus.

Epäsuorien suureiden käytön ongelmaksi on, että mitatun suureen yhteys kriittiseen ominaisuuteen on tulkinnanvarainen. Tarvitaan tutkimus- ja kokeusperäistä tietoa siitä miten mitattavan suureen muuttuminen on yhteydessä eristysrakenteen vanhenemiseen ja toimintakuntoon. Näin mitattaville suureille voidaan valita eri toimenpiteisiin johtavat kriittiset arvot. Vanhenemisen ja kunnon seurantaan soveltuva suure ja käytettävä diagnostinen menetelmä on valittava eristysrakenteen ja kohteen mukaan.

Yleisimpiä suurjännite-eristysten kunnonvalvontamenetelmiä ovat eristysresistanssin mittaaminen, osittaispurkausmittaus, häviökertoimen mittaaminen, öljyn kaasuanalyysi ja vuotovirtamittaukset, joita käytetään myös muuntajien kunnonseurantaan. Muuntajan öljypaperieristeestä voidaan ottaa näytteitä ja analysoida eristemateriaalin ominaisuuksia ja kuntoa.

Muuntajan kunnonvalvonta voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin:

- määrävällein tehtävät tarkastukset
- muuntajaöljyn tutkiminen
- kiinteiden eristeiden tutkiminen
- mittaukset.

Tärkeää on, että tutkimukset suoritetaan säännöllisesti ja tulokset kirjataan. Pitemmältä ajalta saadut tulokset antavat varmemman kuvan öljystä ja muuntajan eristyksistä kuin yksittäiset koetulokset. Tuloksista saadaan tällöin kehitystrendi, josta nähdään muutosten ajankohta, mittaustulosten arvojen muutokset ja kehityssuunta.

Tehomuuntajien kunnonvalvonnassa käytettävistä menetelmistä ovat tärkeimmät muuntajien määrävällein tapahtuvat silmämääräiset tarkastukset, suojalaitteiden toiminnan tarkastukset, öljyanalyysi, lämpökuvaukset. Muuntajille tehdään myös säännönmukaisia huoltotoimenpiteitä, joilla pyritään ehkäisemään vikojen syntymistä. Eräille kää-

mikytkintyypeille on myös tehty huoltajan yhteydessä tyyppivikoja estäviä muutoksia.

Öljyanalyysi

Muuntajassa öljy toimii sähköisenä eristysaineena ja jäähdytysaineena, joka siirtää lämmön käämityksistä. Muuntajan öljy laajenee lämmetessään, joten ne on varustettu paisuntasäiliöillä, jotka ovat ilmankuivaimella yhteydessä ulkoilmaan. Muuntajan öljystä otetaan määrävällein öljynäyte, jonka ottamisessa on noudatettava tarkoin annettuja ohjeita. Eri öljytyyppejä ei saa sekoittaa keskenään. Käytössä muuntajaöljyyn sekoittuu ilmasta pölyä ja kosteutta, jotka heikentävät sen sähköisiä ominaisuuksia. Kiinteiden epäpuhtauksien poistaminen tapahtuu suodattamalla. Kaasut ja kosteus poistetaan alipaine- ja lämpökäsittelyllä.

Öljylle suoritetaan määrävällein seuraavia laboratorioissa tehtäviä analyyssejä:

- sähkönlujuus
- häviökerroin
- kiinteät aineet (roskapitoisuus)
- neutraloimisluku
- rajapintajännitys
- inhibiittipitoisuus
- kaasuanalyysi.

Muuntajan vioittuessa öljy hajoaa muodostaen vialle luonteenomaisia kaasuja. Vikojen analysointi tapahtuu tehokkaimmin eri kaasujen ja kaasusuhteiden esiintymisen perusteella. Aikaisempien näytteiden perusteella voidaan päätellä vian kehittymisen nopeus ja määritellä tarvittavat toimenpiteet ja niiden kiireellisyys.

Kaasuja esiintyy eri tyyppisissä voioissa seuraavasti:

- termiset viat: metaani, etaani, etyleeni
- osittaispurkaukset: vety, metaani, etyleeni
- valokaari: asetyleeni
- paperin hajoaminen: hiilimonoksidi, -dioksidi ja furfuraali.

Kaasuanalyysin tulosten tulkinta perustuu kaasusuhteiden laskentaan, ja näiden suhteiden avulla määritetään vikatyyppi. Absoluuttisia kaasupitoisuuksia oleellisempaa on eri kaasupitoisuuksien kehittyminen. Tämä selvittäminen on mahdollista vain säännöllisen näytteenoton avulla.

Kaasuanalysointiin on kehitetty myös jatkuvatoimisia laitteita, jotka analysoivat ennaltaohjelmoidusti esim. kerran vuorokaudessa tai useammin yhtä tai useampaa kaasukomponenttia. Kunnonvalvontajärjestelmän ominaisuuksia ovat mm. muuntajaöljyn kaasupitoisuuden seuranta ja sen kuormitus- ja lämpötilariippuvuus, muuntajan lämpötilojen seuranta, käämikytkimen

huoltotarpeen määrittäminen, muuntajan kuormitettavuuden määrittäminen, eliniän laskenta sekä tilatietojen tallennus häiriötä edeltäneeltä ajalta häiriöselvityksen mahdollistamiseksi.

Tarkastukset

Muuntajille tehdään seuraavia huoltotoimenpiteitä, joilla pyritään ehkäisemään vikojen syntymistä. Muuntajille tehtävät huollot ovat sisällöltään yksilöllisiä ja ne voidaan jaotella seuraavasti:

- tarkastushuolto
- käämikytkinhuolto
- perushuolto.

Muuntajan tarkastushuolto tehdään vuosittain tai tarpeen mukaan. Huollon aikana ja avulla määritetään muuntajan tämänhetkinen kunto ja huoltotarve, tarkastusten ja historiatietojen avulla.

Muuntajan tarkastushuolto sisältää tarkastuksia ja koestuksia:

- muuntajan suojalaitteiden tarkastus ja koestus (toiminta, laukaisu/hälytys)
 - kaasurele
 - käämikytkimen virtaus/painerele
 - yllipaineventtiili
 - öljyn lämpömittarit ja käämin lämpötilankuvaajat
 - öljynkorkeusmittarit
 - suojakytkimen hälytykset
 - ulkoinen johdotus
- muuntajan jäähdytyslaitteiden tarkastus ja koestus (puhaltimet ja pumput)
- muuntajakannen ja läpivientieristimien puhdistus ja tarkastus
- ohjaukskaappien laitteiden toiminnan tarkastus ja tarvittaessa korjaus (kytkimien ja releiden toiminta, liitosten ja kuivatus/lämmitys tarkistus)
- yleistarkastus (mm. öljyvuo-dot, öljymäärät, putkistot, venttiilit, ilmaukset, kaapelit, ilmankuivain, jne.)
- mahdollisten pienten vuotojen korjaukset (kirstelyt, hitsaus, tiivistävähdot)
- kosteusnäytteen otto ja dp-luvun määrittäminen eristeestä erikseen sovittaessa
- tarkastuksen raportointi ja huoltotoimenpide-ehdotukset.

Varsinaisten huollon toimenpiteiden lisäksi on tehtävä:

- sopivan huoltoajankohdan valinta
- tarvikkeiden hankinta (varaosat, öljyt, astiat, pesuaineet ym.)
- huoltopöytäkirjan tekeminen
- jälkityöt (varaosien ja tarvikkeiden tilaus, jäteöljyjen kuljetus).

Lämpökuvaukset tehdään muuntajan ollessa kuormitettuna, jolloin sisäinen ja ulkoinen lämpeneminen tarkistetaan, lisäksi kuormitusvirrat on mitattava ja auringon vaikutus huomioitava. Esi-merkki lämpökuvauksen tärkeydestä ja havaituista vioista on taulukossa 5.

Taulukko 5. Lämpökuvauksella havaitut muuntajien viat vuonna 1996.

MUUNTAJAT Virhetyyppi	virheitä 1996	
	kpl	%
Ulkoinen liitäntä pienjännite	29	34,1
Ulkoinen liitäntä suurjännite	34	40,0
Sisäinen liitäntä pienjännite	21	24,7
Sisäinen liitäntä suurjännite		
Muut virheet		
Yhteensä virheitä	85	100,0
Virheellisiä muuntajia yhteensä	76	2,9
Tarkastettuja muuntajia yhteensä	2581	ETAB

Häiriötilanteet

Muuntajan käytössä tulee väistämättä tilanteita, joissa muuntajan suojaus hälyttää tai laukaisee muuntajan verkosta. Pääsääntöisesti muuntaja on tarkastettava paikanpäällä ennen muuntajan kytkemistä takaisin verkkoon. Vioittuneen muuntajan kytkennästä voi seurauksena olla muuntajan räjähdys tai muuntajapalo.

Muuntajan suojen hälyttäessä tai laukaistessa riippuu suojasta, miten tulisi toimia. Suojauksen toiminta voi aiheutua todellisesta muuntajan viasta, normaalista poikkeavasta kuormituksesta, suojauksen viasta, virheellisestä asettelusta tai virheellisestä ohjauksesta. Käyttöpaikalla tehtävillä havainnoilla voi heti selvittää laukaisun aiheettomuus esimerkiksi paikanpäällä olleiden käyttö- tai kunnossapitohenkilöstön toimesta. Toisaalta yleensä suojauksen toiminnan selvittely vaatii henkilöstön lähettämistä paikanpäälle tilanteen arviointiin. Suojauksen toiminnan selvitys etenee samalla tavalla, oli kyseessä todellinen muuntajavika tai virheellinen suojauksen toiminta, koska varmaa syytä suojauksen toimintaan ei etukäteen tiedetä.

Muuntajan suojauksen toimiessa on selvítettävä ja dokumentoitava (todellinen vika):

- tapahtuman ajankohta
- muuntajasuojien ja muun suojarleistyksen indikointi ja toiminnot
- oliko sähköverkossa samanaikaisesti meneillään kytkentöjä tai häiriöitä
- kuormitustilannetiedot edeltävältä ajalta ja tapahtumahetkeltä
- käämikytkimen toiminta-asema tapahtumahetkellä ja tapahtumaa edeltänyt toiminta
- käämin ja öljyn lämpömittareiden lukemat ja huippuosoitukset
- muuntajalaatikon, läpivientien, jäädyttimien, ym. vauriot
- valokaarijäljet kannella, läpivientneissä, kiskoissa, ym.
- läpivientien, muuntajan, kiskoston

Tiedot tarvitaan vika-analyysin tekoon, jotta tiedettäisiin millainen muuntajan vaurio on kyseessä. Näiden tietojen perusteella päätetään voidaanko muuntaja kytkeä takaisin verkkoon. Jos se on selkeästi vaurioitunut, määritetään tarvittavat jatkotoimenpiteet.

Vian paikannusmittaukset

Osittaispurkaustyyppisissä vioissa on vikapaikka mahdollista paikallistaa akustiseen emissioon perustuvalla menetelmällä. Muuntajan laatikon ulkopinnalle asennetaan neljä anturia, jotka mittavat muuntajan sisällä olevan vikapaikan aiheuttamia akustisia signaaleja. Lähin anturi havaitsee vian ensimmäisenä ja anturien paikkoja muuntelemalla saadaan vikapaikka määritettyä useimmiten parinkymmen sentin tai vielä paremmalla tarkkuudella.

Vianpaikannusmittauksilla, jotka vastaavat uuden muuntajan käyttöönotto- mittauksia, saadaan vikapaikka paikallistettua mahdollisesti vaiheen ja jänniteportaan tarkkuudella.

Lämpökuvauksella havaittavat sisäiset lämpenemiset ja ulkoiset liityntäpisteiden viat saadaan paikannettua hyvin.

8.2 Katkaisijat

8.2.1 Katkaisijoiden ominaisuudet

Katkaisijat ovat sähkönjakelu- ja siirtojärjestelmässä tärkeitä komponentteja ja niiden tarkistus- ja huoltotoimenpiteisiin on kiinnitettävä suurta huomiota. Katkaisijavalikoima on sangen laaja, yleisimmät katkaisijatyypit katkaisuväliaineen perusteella lajiteltuina ovat:

- öljykatkaisijat

- ym. puhtaus
- vieraat esineet, eläimet muuntajan kannella, kiskostoissa, ym.
- mahdolliset havainnot valoilmiöstä, epätavallisista äänistä, ym.
- rekisteröidyt ylijännitteet, venttiilisuojien toiminnot
- hälytys- ja/tai tapahtumaraportit
- häiriöpiirtureiden ja rekistereiden raportit
- säätiedot, ym. olosuhteet
- muu tapahtumaan liittyvä informaatio.

- vähäöljykatkaisijat
- tyhjökatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- kaasukatkaisijat (SF₆-kaasu)
- magneettipuhalluskatkaisijat.

Täysin huoltovapaita katkaisijoita ei ole vielä kehitetty ja huoltoväleihin vaikuttaa valmistajan lisäksi:

- katkaisijan rakenne
- katkaistava teho ja virran laatu
- toimintamäärät
- ympäristöolosuhteet
- huoltotyön laatu.

Eri katkaisijatyypeillä esiintyy seuraavia kulumistapoja:

Mekaaninen kuluminen

Kaikissa katkaisijatyypeissä on runsaasti liikkuvia osia, etenkin ohjainlaitteistossa, jossa yleisimpiä kuluvia osia ovat: hammaspyörät, laakeroinnit, säpät, jouset, pääkoskettimet, liuku- ja rullakoskettimet, apukoskettimet. Uusilla katkaisijoilla on esiintynyt mikrokytkimien toimintahäiriöitä (asennus).

Vanhentuminen

Katkaisijoissa on komponentteja, joissa voi esiintyä vanhentumisilmiöitä katkaisijan eliniän aikana. Näitä ovat esimerkiksi:

- vähäöljykatkaisijoissa öljy
- ohjaimissa hydraulioöljy
- voiteluaineet
- eristeet magneettikeloissa ja viritysmoottoreissa sekä erilaiset väliristeet
- erilaiset synteettiset vaimenninpalat.

Väsyminen

Aineen väsyminen on lähinnä seurausta lukuisista toiminnoista tai epänormaaleista rasituksista. Tyypillisiä rasitukselle alttiita komponentteja ovat:

- vetojousien päät
- lehtijouset
- erilaiset vivut ja tangot
- vaimentimet
- akselit.

Sähköinen kuluminen

Katkaisussa syttyvä valokaari kuluttaa tai heikentää katkaisupilarissa seuraavia osia:

- pääkoskettimet tai valokaarikoskettimet
- katkaisijaöljy
- SF₆-kaasu
- sammutuselimet (katkaisukammiot).

8.2.2 Katkaisijoiden kunnonvalvonnan menetelmät

Perinteisesti on katkaisijoiden huoltotoimenpiteet tehty määrävällein huoltotarvetta tutkimatta. Nykyisin on kiinnitetty huomiota yhä enemmän laitteiden tarkistuksiin ja kunnonmittauksiin.

Tarkastukset

Yleisin tarkastusmuoto on silmämääräinen tarkastus, joka tehdään samalla koko kojeistolle.

Katkaisijoiden tarkastukseen kuuluu mm. seuraavien kohteiden tarkastus:

- puhtaus
- eristeiden eheys
- öljymäärä ja vuotojen havainnointi
- kaasun paine ja vuodot
- turvalaitteet, lukitukset
- indikoinnit
- toimintalaskurin lukemat (erityisesti vikavirtojen katkaisut)
- pintakäsittely
- kannatusrakenteet (ulkokytkinlaitokset).

Tarkastuskierrosten yhteydessä on suositeltavaa tehdä toimintakokeita, jos mahdollista. Samoin varakatkaisijat on muistettava tarkistaa.

Kunnonmittaukset

Kunnonmittauksilla pyritään selvittämään katkaisijan kunto ja määrittelemään onko akuuttia huolto- tai korjaustarvetta vai voidaanko huoltotoimenpiteet siirtää toteutettavaksi myöhemmin. Jo muutamalla mittauskerralla huoltovälejä voidaan optimoida, yleensä huoltovälit pitenevät, mutta löytyy myös välittömiä toimenpiteitä vaativia kohteita.

Mittausmenetelmiä ja -kohteita, joita käytetään ovat:

- lämpökuvauus
- ylimenovastuksen mittaus
- eristysvastusmittaus
- toiminta-aika ja nopeus
- viritysaika
- viritysmoottorin virtakäyrä
- ohjausmagneettien toimintajännite
- öljyn läpilyöntilujuus (isot katkaisijat)
- kaasun paine (SF₆-kaasu)
- öljyn vuototarkastus (silmämääräinen)
- SF₆-kaasu vuototarkastus vuotoilmaisimella
- kosketinpainemittaus (vaunukatkaisijan erotuskoskettimet)
- hohtopurkausmittaus
- eristimien tarkastus ultraäänimittauksella.

Mittaus tulokset merkitään mittauspöytäkirjaan ja niitä vertaillaan aikaisempiin ja säilytetään tulevia mittauksia varten. Osaa edellä luetelluista mittauksista tehdään myös varsinaisten huoltotöiden yhteydessä.

8.3 Sähkötilat ja kojeistot

Sähkökeskuksen, kojeiston, sähkötilan ja sen laitteiden tarkastus tulee tehdä määräaikoina. Tarkastus kannattaa tehdä yhtenäisen käytännön mukaisesti ja tarkastaa koko sähkötila

kaikkine laitteineen samalla kertaa. Tarkastuksen tehtävänä on varmistaa ja ylläpitää sähköturvallisuutta, työturvallisuutta, palosuojelua ja sähkölaitteiden käyttövarmuutta. Tarkastuksen tulokset on kirjattava lomakkeelle tai kunnossapidon tietojärjestelmään.

Sähkötilan määräaikaistarkastukseen sisältyvät ainakin seuraavien asioiden ja laitteiden kunnon tarkastukset:

- sähkötilan yleinen tarkastus (likimain palotarkastus): yleinen siisteys, sammutin, ovet ja niiden lukot, kulutit, ilmastointi, sähkötilan lämpötila ja sen vaihtelualue, ylipaine, sähkökaapeleiden läpiviennit (seinät, lattiat, katot), varsinainen ja varavalaistus
- sähkökeskus ja sen varusteet: keskuksen arvokilpi, koteloointi, ovien kunto, sulakkeiden vaihtotarvikkeet, vaihtosulakkeet, sisäosien ja katon siisteys, kiskoston ja eristimien kunto, maadoitusten ja maadoituserotimen/maadoituspisteiden tarkastus, syöttö- ja mittauskentän tarkastus, ohjausjännitteen jakelun tarkastus
- muut yhteiset laitteet: paineilmalaitos, hälytyskeskus, tms.
- kojeistokohtaisesti on tarkistettava: eristimien puhtaus, kiskojen kunto, kaapelipäätteet, mittarit, ovet, luukut, lukot, kilvet, valot ja kennohuoltojen suoritusajankohdat.
- dokumentit: kaappi, hyllyt, pääkaavio, johdotus- ja piirikaaviot.

Sähkökeskuksen moottori-, alakeskus ja muut lähdöt (lämmitys, valaistus, ym.) sekä käyttämättömien ja varalähtöjen tarkastus. Tarkastus voi perustua keskuslähtöluetteloon, johdotus- ja piirikaavioihin ja muuhun dokumentointiin. Tarkastuksen suorittaminen dokumentoidaan lomakkeisiin tai kunnossapidon tietojärjestelmään.

Keskuksen lähdöt tarkastetaan yksitellen ja niistä tarkastetaan seuraavia asioita:

- sähkökeskuslähtöjen yleinen tarkastus (siisteys, kennojen väliseinät)
- keskuksen komponenttien ja dokumentoinnin yhteneväisyys
- keskuslähtöjen kilpien merkinnät, maadoitusten tarkastus
- kontaktorien kunnon arviointi
- lämpöreleiden asettelujen tarkastus
- sulakkeiden kunto (ehjät, korroosion vaikutukset) ja nimellisarvot, sulakopohjien ja kytkinvarokkeiden kunnon tarkastus
- väli/ohjausreleiden tarkastus (yksikölähtö, kennokohtaiset, relekaappi)
- kaapeleiden merkinnät ja tuonti keskuslähtöön, liitokset, riviliittimet, sisäisen johdotuksen merkinnät ja maadoitukset (TE, PE).

Tarkastuksen päämäärät ovat:

- keskuksen ja komponenttien kunto
- komponenttien mitoituksen tarkastus
- keskuksen jännite ja kuormitus
- dokumentoinnin paikkansapitävyys

- mahdolliset puutteet ja ristiriidat
- kunnossapidon tietojärjestelmän tai ennakkohuoltojärjestelmän tietojen tarkastus.

Tarkastuksista osa tehdään keskuksen ollessa jännitteetön ja osa voidaan tehdä keskuksen normaalin käytön aikana. Tehtävien tarkastusten ajankohdat on suunniteltava etukäteen. Komponenttien tyyppien ja nimellisarvojen tarkastus voidaan yhdistää lämpökuvaukseen, koska tällöin on joka tapauksessa tarkistettava jokainen (kuormitettu) lähtö.

Lämpökuvauksen yhteydessä on myös mahdollista mitata ja dokumentoida kaikkien lähtöjen kuormitus. Kuitenkin lämpökuvauksen tärkein tehtävä on löytää eri sähkölaitteiden viat. Lämpökuvauus tehdään vain kuormitetuille sähkölaitteille, joiden osuus esimerkiksi moottorilähdöistä voi jäädä alle kolmannekseen. Lämpökuvauksella havaituista vioista on esitetty esimerkiksi taulukoissa 6 ja 7, joissa on esitetty erään yrityksen lämpökuvauksella havaitsemien vikojen määrää ja vikojen sijainnit pien- ja suurjännitelaitteilla.

Sähkökaapeleiden asennusten osalta tulee huolehtia määrävällein:

- kaapelimerkinnät ja dokumentointi tarkastaminen
- kaapelihyllyjen päälle ja kaapelikavaniin kerääntyneet roskat ja pöly poistettava
- kaapeliläpivientien tiivistämisen tarkastus
- vanhat käytöstä pois kytketyt kaapelit poistettava
- johtojen kuormitusolosuhteet ja kuormitukset tarkastettava olosuhteiden muuttuessa
- tilapäisten ja siirrettävien asennusten määrä pidettävä mahdollisimman vähäisenä
- kojeistoliityntöjen lämpökuvauus mahdollisimman useasti.

8.4 Relesuojaus

Sähkömekaanisten ja staattisten suojausreleiden kunnossapito perustuu käyttöönotto- ja sääntötoimenpiteisiin ja releiden toiminnan seurantaan. Viime vuosina vanhojen asennusten saneeraus- ja uusissa asennuksissa on käytetty yleensä mikroprosessoripohjaisia releitä, joiden ominaisuuksiin kuuluvat seuraavat edut:

- toimintanopeus ja -tarkkuus
- itsediagnostiikka, joka kattaa lähes kaikki releen sisäiset toiminnot
- kaukokäytön kautta tapahtuva toimintakoestus ja asettelujen muuttaminen (ei yleinen teollisuudessa)
- normaalityön ja vian aikaisten mittaussuureiden rekisteröinti releellä (ja siirto kaukokäyttöjärjestel-

Taulukko 6. Lämpökuvauksella havaitut pienjännitelaitteiden viat.

PIENJÄNNITEKESKUKSET Virhetyyppi	virheitä 1996	
	kpl	%
Erotin kosketinpiste	43	2,8
Erotin liittämä	11	0,7
Kaapelipääte, liittämä		
Kaapelipääte, sisäinen vika	2	0,1
Kaapelikengän puristus	122	8,0
Kaapelivika	1	0,1
Katkaisijan kosketinpiste	15	1,0
Katkaisijan liittämä	80	5,3
Katkaisijan sisäinen vika	71	4,7
Kiskoliittännät ja liittokset	72	4,7
Kontaktorin kosketinpiste	3	0,2
Kontaktorin liittämä	117	7,7
Kontaktorin sisäinen virhe	72	4,7
Releen liittämä	100	6,6
Releen sisäinen virhe	1	0,1
Riviliitin	41	2,7
Varoke kosketinpiste	276	18,1
Kytkevaroke kosketinpiste	268	17,6
Kytkevaroke sisäinen virhe	91	6,0
Varoke liittämä	88	5,8
Virtamuuntaja liittämä	3	0,2
Virtamuuntaja sisäinen virhe	1	0,1
Muut virheet	43	2,8
Yhteensä virheitä	1523	100,0
Virheellisiä lähtöjä yhteensä	1190	1,9
Tarkastettuja lähtöjä yhteensä	63590	ETAB

Taulukko 7. Lämpökuvauksella havaitut suurjännitelaitteiden viat.

SUURJÄNNITEKYTKINLAITOKSET: Virhetyyppi	virheitä 1996	
	kpl	%
Erotin kosketinpiste	87	52,7
Erotin liittämä	1	0,6
Kaapelipääte, liittämä	3	1,8
Kaapelipääte, sisäinen vika		
Kaapelikengän puristus	8	4,9
Kaapelivika	13	7,9
Katkaisijan kosketinpiste	12	7,3
Katkaisijan liittämä	1	0,6
Katkaisijan sisäinen vika	10	6,0
Kiskoliittännät ja liittokset	8	4,9
Varoke kosketinpiste	4	2,4
Varoke liittämä		
Virtamuuntaja liittämä	8	4,9
Virtamuuntaja sisäinen virhe	6	3,6
Muut virheet	4	2,4
Yhteensä virheitä	165	100,0
Virheellisiä kenoja yhteensä	124	1,9
Tarkastettuja kenoja yhteensä	6341	ETAB

mään ja/tai sähköasema-automaatiojärjestelmään)

- releen suorittama muiden laitteiden (esim. katkaisija, muuntaja) kunnonvalvonta.

Mikroprosessoripohjaiset releet antavat runsaasti tietoa sähköverkon komponenttien normaalin tilanteen kuormituksista ja mm. katkaisijoiden ja muun-

tajien vikavirroista, jolloin niiden toimintakuntoa voidaan tulevaisuudessa arvioida tarkemmin. Koestuksista ei tulla kuitenkaan koskaan luopumaan vaikka itsediagnostiikan avulla niitä varmasti voidaan harventaa.

8.4.1 Koestusmenetelmät

Suojareileitä varten on laadittava ennalta kunnossapito-ohjelmat. Suojareileitä edellytetään asettelujen ja toiminnan tarkistusta sekä kunnan tarkistusta (enintään) kolmen vuoden välein. Käytännössä toiminta tarkistetaan relekoestuksella, jolla on erilaisia toteutustapoja reletyyppistä, olosuhteista ja kojeistosta riippuen. Seuraavia koestustapoja käytetään:

- **Suojauksen ensiökoestus:** Mittamuuntajien ensiön tai ensioreleen liittimien kautta syötetään koestusvirta ja -jännite. Järjestelmän toiminta on tarkastettava katkaisijan toimimiseen saakka.
- **Suojauksen toisiökoestus:** Mittamuuntajista irrotettuihin toisiopiireihin syötetään koestusvirta ja -jännite. Järjestelmän toiminta tarkastetaan katkaisijan toimimiseen saakka tai mitataan laukaisupiirin kunto, jos käyttökäytännössä haitat katkaisijan toiminnasta ovat merkittävät.
- **Suojauksen valehäiriökoestus:** Tehdään tarkoituksella ensiöpuolen vika esimerkiksi maasulku jännitteeseen johtoon ja todetaan suojauskoestuksen toiminta tai mittamuuntajien toisiöpuolen johtimien kytkentämuutoksella aiheutetaan vika esim. epäsymmetria moottorisuojareleelle.
- **Suojareleen koestus:** Suojarele irrotetaan suojauspiiristä ja kytketään koestuslaitteistoon, jonka koestusvirroilla ja -jännitteillä mitataan releen toiminta-arvot ja -ajat.

Suojauksen koestustavoista ensiökoestus on luotettavin. Se kattaa kaikki suojauspiirissä mukana olevat kojeet. Käytännössä ensiökoestus jää teknisistä ja turvallisuussyistä usein tekemättä. Tällöin jää mm. suojauspiirien kytkentävirheitä havaitsematta ja ne tulevat esille vikatapausten yhteydessä. Varsinaisten suojausreleiden lisäksi suojausjärjestelmään kuuluu lukuisia erilaisia kojeita, kuten mittamuuntajat, erottimet, katkaisijat, apuenergiälähteet, hälytys- ja valvontajärjestelmät sekä mittaus-, laukaisu- ja tiedonsiirtoyhteydet.

Relekoestuksen yhteydessä on hyvä koestaa myös hälytyskeskukset. Kunnonvalvonnassa on tunnettava kaikki relesuojaukseen kuuluvat kojeet sekä suojausfilosofia, jotta pystytään määrittelemään, toimiiko suojaus selektiivisesti oikein.

8.4.2 Käyttöönotto-koestukset

Käyttöönottokoestuksessa kokeillaan käytännön toimintoja ja eri laitteiden toimintaa, mitataan releiden ja säätimien suureita ja simuloidaan niin käyttö- kuin vikatilanteitakin.

Käyttöönoton yhteydessä on relekoestuksen lisäksi tarkastettava ja koestettava mm.

- omakäyttökeskus ja -jakelu (teollisuudessa ei omakäyttömuuntajia)
- tasasähkökeskus ja -järjestelmä
- hälytyskeskus ja valvontajärjestelmä
- lukitusjärjestelmät
- sekvenssiohjukset
- mittamuuntajat
- relesuojaus.

Käyttöönottokoestus tulee suorittaa mahdollisimman hyvin todellista tilannetta vastaavana ensiökoestuksena, jotta voidaan todeta kaikkien toisiinsa liittyvien suojauseliimien todellinen toiminta tai toimimattomuus. Virtamuuntajiin on syötettävä ensiövirta koestuslaitteella, jolloin nähdään mm. seuraavat asiat:

- toisiopiirin eheys ja kytkennän oikeellisuus
- löysät liittokset
- muutosuhteen oikeellisuus
- toision mittareiden ja mittamuuntimien toiminta
- releen toiminta
- katkaisijan toiminta
- hälytyksien ja lukitusten toiminta
- ohjausjärjestelmän toiminta.

Releet koestetaan niiden asettelualueen alimmilla ja ylimmillä arvoilla huomioiden eri releiden koestusohjeet. Käyttöönottaja ei määrittele releiden asetteluarvoja vaan vastuu niistä on laitoksen käyttäjällä ja asetteluarvot olisi määriteltävä hyvissä ajoin ennen käyttöönottoa. Teollisuudessa kojeistojen lähtöjä uusitaan usein. Tällöin muilta osin käytössä olevan kojeiston uusitun lähdön käyttöönottokoestus ei ole useinkaan yhtä kattava, jolloin myöhemmin saattaa esiintyä suojauskoestuksen virhetilanteita, vaikka suojausreleessä ei ole vikaa.

8.4.3 Kunnanvalvonta

Teollisuudessa suojausreleille tehdään määrävälein relekoestukset ja uusituille lähdöille käyttöönottokoestukset. Useimmissa teollisuuslaitoksissa relekoestukset tehdään laitoksen ulkopuolisen palveluyrityksen toimesta. Samoin muutostöiden suunnittelu ja asennustyöt teetetään alan muilla yrityksillä. Täten töitä tekevien yritysten valinta sekä suunnittelu- ja asennustyön valvonta olisi tehtävä huolella. Käyttöönottokoestukset tulisi tehdä mahdollisimman laajoina vikojen havaitsemiseksi. Käyttöönoton jälkeen

relesuojaus niin kuin muutkin sähkölaitteet siirtyvät suunnitelmallisen kunnonvalvonnan kohteiksi.

Suojauksen kunnonvalvontaan käytetään seuraavia keinoja:

- suojauksen määräaikaistarkastukset
- suojauksen toiminnan tarkkailu
- suojauksen vikojen korjaus, häiriöiden tapahtuma- ja syy selvitys, virhelaukaisujen syiden etsiminen
- käyttötapahtumien, reletointien ja mittarilukemien kirjaaminen sekä merkinantojen kuittaaminen
- releasettelujen ja niiden selektiivisyyden johdonmukainen tarkastelu määräajoin
- koestusten suorittaminen mahdollisuuksien mukaan ensiö- tai toisio-koestuksina
- mittamuuntajien taakkojen mittaaminen (eritoten vanhat laitokset)
- suunnitelmallinen kunnossapitotoimintojen ajankohtien suunnittelu
- suojausfilosofian, releasettelujen ja käyttöohjeiden dokumentointi
- henkilökunnan koulutus
- suojauksen parantaminen ja varasuojien hankinta
- itsediagnostiikka nykyaikaisissa suojauslaitteissa.

Normaaliin kunnossapitotoimintaan kuuluvat kojeiston visuaaliset tarkastukset, jolloin tarkastetaan mm. seuraavat asiat:

- kojeistotilan lämpötila ja sen vaihtelualaue
- poikkeavien äänien, hajujen, kosteuden ja veden esiintyminen
- releindikoinnit ja niiden kuittaukset
- mittareiden, merkkilamppujen kunto
- hälytysindikoinnit ja niiden kuittaukset
- turvallisuuslaitteiden kunto ja olemassaolo
- apusähköjärjestelmän toimintakunto
- releasettelukaavion päiväys, asettelujen tarkastus.

Suojauslaitteiden visuaalisessa tarkastuksessa on kiinnitettävä huomiota mm. seuraaviin asioihin:

- merkkeihin mekaanisista vaurioista releen pistoyksiköissä, liittimissä tai kotelossa
- merkkeihin kerääntyvästä pölystä tai liasta kannen sisäpuolella, piirilevyillä tai kotelossa, pölyn poisto varovasti paineilmalla
- merkkeihin alkavasta hapettumisesta tai syöpymisestä liittimissä, kotelossa tai releen sisäosissa.

Tarkastukset voivat perustua lomakepohjaisiin tarkastuslistoihin, joissa on määritelty eri toimenpiteet ja niiden ajankohdat. Kojestokohteisesti ylläpidetään kansioita, joissa on kirjaukset säännöllisten tarkastusten ja huoltojen huomioista ja toimenpiteistä sekä myös merkinnät laitevikojen aiheuttamista toimenpiteistä.

Tarkastuksien ajankohta ja tarkastustoimenpiteet voivat olla myös kunnossapidon tietojärjestelmiin perustuvia. Teollisuuslaitoksissa tehdyt havainnot yhä yleisemmin kirjataan kunnossapidon tietojärjestelmään ja havaituista puutteista tehdään vikailmoitukset ja/ tai työmääräimet. Tietojärjestelmään kertyy historia laitteiden vioista ja tarvituista korjaus- ja huoltotoimenpiteistä ajankohtineen.

Mikroprosessoripohjaisissa moderneissa suojauslaitteissa on suojausohjelmien ym. lisäksi itsetestausohjelmisto, joka valvoo jatkuvasti suojauslaitteen toimintaa. Itsetestauksen havaitessa pysyvän vian jossain toiminnossa ulostulojen toiminta estetään välittömästi ohjelmallisesti ja ulkoisella signaalilla.

Vikatilanteessa tulostetaan näyttöön viasta kertova vikakoodi ja relemanuaalista löytyvät tarkemmat vianetsintäohjeet. Vikaantunut releyksikkö on helposti vaihdettavissa vastaavaan ja vikaantunut yksikkö lähetetään korjattavaksi.

8.5 Jakelumuuntajat ja muuntamot

Jakelumuuntajien määräaikaistarkastukset tehdään prosessiteollisuudessa yleensä systemaattisesti kaksi kertaa vuodessa. Tarkastukset on hyvä tehdä kesä- ja talviaikana erikseen, jotta nähdään vuodenajan vaikutukset muuntamotilaan ja kuormitukseen. Tulokset kirjataan tarkastuslomakkeeseen tai suoraan kunnossapidon tietojärjestelmään.

Määräaikaistarkastus sisältää ainakin seuraavat tarkastukset ja toimenpiteet:

- muuntajan öljymäärä ja mahdolliset öljyvuodot
- eristimien kunto, mahdolliset vauriot ja puhdistustarve
- ilmankuivaimen kunto
- kaapelipäätteet, erottimet, alajännittekiskosto
- muuntajahuoneen ovet ja lukko
- suojauslaitteiden ja varoituskilvet
- muuntajahuoneen kunto, siisteys
- jäähdytyspuhallimet, tuuletusaukot
- muuntajan alajännitteen arvo.

Määräaikaishuollossa, joka tehdään 3 - 5 vuoden välein huolletaan mahdollinen käämikytkin ja tarkistetaan muuntajan suojauslaitteet. Suojauslaitteiden yhteydet katkaisijan ohjaukseen ja hälytyskeskukseen koestetaan myös. Puhdistustarvetta saattaa ilmetä likaisissa olosuhteissa jopa vuoden välein.

Työt tehdään muuntajan ollessa jännitteetön ja määräaikaishuolto voi sisältää seuraavia toimenpiteitä:

- väliottokytkimen ohjain

- öljyn lämpötilasuojan asettelu (hälytys 85 °C ja laukaisu 100 °C)
- öljyn pinnankorkeuden ylä- ja alarajat
- kaasureleen hälytys ja laukaisu
- säiliön maalaus
- kilvet
- suojauslaitteiden
- jakelumuuntajan öljyn lämpötilasuojus
- sähkölaitteiden puhdistus.

8.6 Sähköverkon tila ja sähkön laatu

Teollisuuslaitoksen sähköverkkoon tehdään muutoksia jatkuvasti, uusia prosesseja ja sähkökäyttöä otetaan käyttöön ja syöttävä sähköverkko muuttuu. Tehoelektroniikan sovelluksia otetaan yhä laajemmin käyttöön. Teollisuuslaitoksen sähköverkon osalta tulisi aika ajoin suorittaa seuraavat laskelmat, mittaukset ja tarkistukset:

- sähkönjakeluverkon vikavirtalaskenta eri kytkentätilanteissa min ja max vikavirtojen selvittämiseksi.
- sähkönjakeluverkon komponenttien oikosulkukestoisuudet ja mitoitus (kaapelit, katkaisijat, erottimet, virtamuuntajat, kiskotot)
- sähköverkon kuormitusten ja häviöiden laskenta verkon eri kytkentämalleilla optimaalisen kytkentätilanteen löytämiseksi eri ajomalleilla sekä loistehon kompensointitarpeen ja kompensoinnin vaihtoehtoisien toteutustapojen arvioimiseksi
- sähköverkon kuormitusvirtojen, pätö- ja loistehojen, jännitteen ja virran yliaaltojen mittaaminen, tavoitteena loistehon kompensoinnin ja yliaaltojen suodatuksen tarpeellisuuden arviointi ja toteutus.
- sähköverkon jännitteen laadun ja mahdollisesti esiintyvien häiriöiden selvitys
- sähköjakeluverkon rakenteen ja maadoitusratkaisujen ja muutostarpeiden selvitys.

8.7 Sähkömoottorit

Sähkömoottoreiden kunnossapito voi käyttökohteesta riippuen perustua:

- jatkuva kunnonvalvonta (esim. paperikonekäytöt)
- määrävälein tehtäviä kunnonvalvonnan mittauksia
- määräaikaishuolto
- korjaava kunnossapito.

Mikä moottorin kunnossapitostrategia valitaan riippuu sähkömoottorin tärkeistä prosessin ja tuotannon kannalta sekä moottorin tyypistä, nimellijännitteestä ja tehosta. Normaalisti valottavan koneen koko ja hinta ovat suoraan verrannollisia käytettävään suoja-

usjärjestelmän laajuuteen. Perustoi-
minnot ja periaatteet ovat samat sekä
moottoreiden että generaattoreiden
suojauksessa, mutta suojauksen kat-
tavuutta lisätään käytön tehon ja jännit-
teen kasvaessa. Laajimmat suojaus-
järjestelmät ovat suuritehoisilla ja no-
peasti pyörivillä turbogeneraattoreilla.

Suojauksen tärkein tavoite on mootto-
rin käämityksen liiallisen lämpenemi-
sen estäminen. Käämitykset on jaettu
suurimpien sallittujen lämpötilojen
mukaisesti tiettyihin (A, B, F, H) luok-
kiin, joiden lämpötilojen ylittäminen
pienentää käämityksen eli sähkömoottorin
elinikää ylityksen suuruudesta
riippuen. Sähkömoottoreiden vikojen
syyt on esitetty kuvassa 10.

Normaalisti toisiokojeisiin perustuvas-
sa pyörivien sähkökoneiden suojauk-
sessa voidaan suojaustoiminnot jakaa
toimintatavoiltaan kolmeen ryhmään:

- koneen eristystason valvonta
- koneen käyttö
- syöttävä sähköverkko.

Eristystason valvonta

Sähkökoneen eristysten riittävä eris-
tyskyky on edellytys sähkömoottorin
toiminnalle. Eristyksien vikaantuessa
on aina uhka vakavasta vauriosta, jo-
ten eristystasoa valvovien suojojen toi-
minnan on oltava nopeita. Normaalisti
eristystasoa valvotaan mittaamalla säh-
kökoneen jännitteitä ja virtoja, jolloin
valvottavana ovat seuraavat suureet:

Maasulku

Eristyksen vanhetessa saattaa hetkel-
linen jänniterasitus ylittää eristyksen
jännitekestoisuuden, jolloin seurauk-
sena on läpilyönti. Tavallisesti läpi-
lyönnistä seuraa maasulku, jolloin
staattorin jännitteinen johdin joutuu
johtavaan yhteyteen koneen runkoon.
Sähköverkon maadoitus- ja käyttöta-
vasta riippuen suojaus toteutetaan eri
tavoin. TN-S verkossa maasulku aihe-
uttaa suojauksen (releen tai sulak-
keen) toiminnan suuren vikavirran
johdosta. Maastaerotetussa IT-verkos-
sa vika havaitaan suojareleillä tai erik-
seen mittaamalla. Suurjännitemoottorilla
maasulkusuojaus toteutetaan
nollavirtaa mittaavalla suojareleellä.

Kierrossulku

Kierrossululla tarkoitetaan käämin eri
johdinkierrosten oikosulkeutumista.
Normaalisti kierrossulku on harvinais-
nen vika. Vikaantunut moottori vaurioi-
tuu vikakohdan lämpenemisen johdos-
ta pian lisää. Suurjännitekoneilla kier-
rossulku voidaan valvoa käyttämällä
ylivirran pikalaukaisua ja suurilla tah-
tikoneilla käytetään differentiaalireleitä
kierrossulun havaitsemiseen.

Eristysvastusmittaukset

Käämityksen eristysvastus koostuu
pinta- ja tilavuusvastuksesta. Sähkö-
koneille voidaan tehdä myös eristys-

vastusmittaukset koneiden valmistuk-
sen, käyttöönoton, huollon ja korjauk-
sen yhteydessä. Eristysvastusmittauk-
set antavat käsityksen käämityksen li-
kaisuuden ja kosteuden määrästä. Tas-
savirtamoottoreille on eristysvastus-
mittaus tehtävä rutiininomaisten hiili-
harjojen ja puhdistushuoltojen yhtey-
dessä.

Suojaus sähköverkosta aiheutuilta häiriöiltä

Jännite-epäsymmetria, jännitteen ja
taajuuden vaihtelu sekä yliaallot aihe-
uttavat sähkökoneelle lisärasituksia,
joita vastaan sähkökoneet suojataan
niiden koosta riippuen eri tavoin. Jän-
nite-epäsymmetrialta suojaus on erityis-
esti käytössä suurjännitemoottoreilla,
joilla suojaus on toteutettu moottori-
kohtaisilla suojareleillä. Suojauksen
toiminta on sitä nopeampi mitä suu-
rempi on epäsymmetria.

Sähkömoottoreita voidaan käyttää
pienellä yli- tai alijännitteellä. Ylijänni-
te aiheuttaa moottorissa koneen läm-
penemistä ja alijännitteellä moottorin
antama momentti pienenee, jolloin
vaarana on koneen ylikuormitus ja
lämpeneminen. Pienjännitteellä suo-
jaukseen voidaan käyttää erillisiä jän-
nitettä, virtaa ja pyörimisnopeutta mit-
taavia releitä.

Suurjännitemoottoreita syöttävä verk-
ko varustetaan yli- ja alijännitereleillä.
Releet kytkvät moottorit pois verkos-
ta, jos jännite kasvaa liian suureksi,
pienenee liikaa tai sähköön syöttö kat-
keaa. Lyhytaikaisia ylijännitteitä vas-

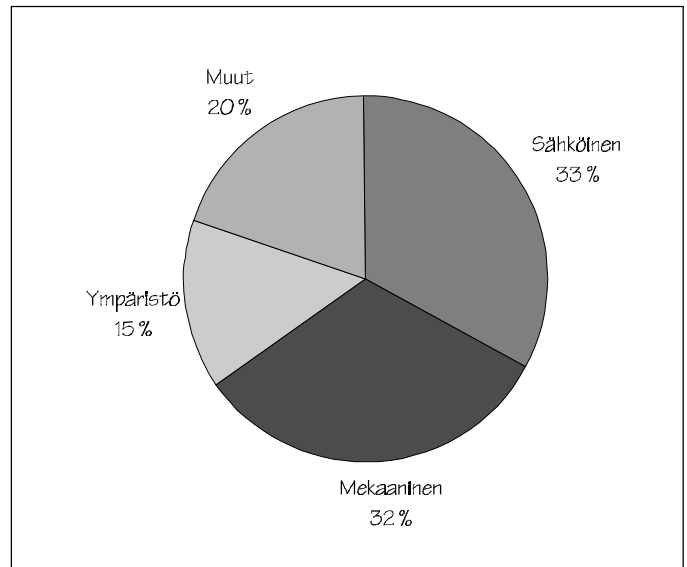
taan voidaan suojautua, joko varisto-
reilla tai maadoittamalla maastaerotet-
tu verkko suuriresistanssisen vastuk-
sen kautta.

Käytön valvonta

Käyttöä valvovien toimintojen tarkoi-
tuksena on estää koneen käyttöolo-
suhteista tai käytötavasta aiheutuvien
vaurioiden syntyminen. Koneelle käy-
töstä aiheutuvat rasitukset nostavat
normaalisti koneen lämpötilaa ja no-
peuttavat eristyksen vanhenemista.
Koneen lämpötilaa nostavia tilanteita
ovat käynnistyksen, käyttö ylikuormalla
ja epäsymmetrisellä jännitteellä sekä
ympäristön lämpötilan noususta tai
jäähdytyslaitteen viasta aiheutuva ko-
neen jäähdytyksen huononeminen.

Käyttöä valvovat toiminnot käsitetään
joskus sähkölaitteiden vioiksi, vaikka
ne itse asiassa suojaavat sähkömoottorin
ja työkonetta vaurioitumiselta.
Luotettava ja tarkka suojaus sallii ko-
neiden käyttämisen mahdollisimman
tehokkaasti. Moottoreiden suurta ylimi-
toitusta ei tarvita, jos voidaan luottaa
suojauksen sallivan koneen tehok-
kaan käytön nimelliskuormalla ja estä-
vän ylikuormituksen.

Nykyisin ylimitoitus on sangen yleistä,
koska siten on helppo varmistaa lait-
teiston moitteeton toiminta. Täsmälli-
sempi mitoitus sallisi halvempien käyt-
töjen hankinnan ja paremman hyöty-
suhteen.



Kuva 10. Oikosulkumoottoreiden vikojen syiden jakautuminen eri tekijöihin.

Sähkökoneen terminen suojaus

Kaikki sähkökoneen käyttöä valvovat suojaustoiminnot pyrkivät suojaamaan konetta liialta termiseltä rasitukselta, koska kaikki virhetilanteet aiheuttavat koneen vaarallista lämpenemistä. Seuraavassa on esitelty normaalisti sähkökoneissa käytettyjä suojaustointoja:

Käynnistyksen valvonta

Sähkökoneiden käynnistysvirta on normaalisti 5...7 kertaa nimellisvirta. Suojareleistyksellä tai suojalaitteilla valvotaan moottorin käynnistysaikaa, jolloin pitkittynyt käynnistys laukaisee moottorin pois verkosta. Suojaukseen voi liittyä myös jumitilanteen valvonta ja erityisesti jos työkonen pyöriminen voidaan lukita ja lukituksesta saadaan tieto, voidaan estää käynnistysyritys.

Peräkkäiset käynnistykset

Sähkömoottorin staattorin ja roottorin lämpeneminen ja jäähtyminen ovat aikavakioiltaan erilaisia. Kylmällä ja käyntilämpimällä moottorilla peräkkäisten käynnistysten lukumäärä rajoittuu joko staattorin tai roottorin lämpenemän johdosta. Teollisuuslaitoksissa pienjännitteinen moottori saa usein tarpeetonta termistä rasitusta vikakorjausten yhteydessä toistuvilla käynnistyksillä, jolloin muun vian selvittelystä aiheutuu moottorin palaminen.

Ylikuorma

Pieni ylikuorma ei ole koneelle vaarallista muutoin kuin sen eliniän kannalta. Jaksottaisessa käytössä alikuormalla käyttö kompensoi ajoittaisen lievän ylikuorman aiheuttamaa eliniän pienenemistä. Ylikuorma saattaa olla myös merkki prosessissa olevasta viasta. Suojaus on mahdollista järjestää kaksipuoliseksi, jolloin ensimmäinen porras hälyttää pienestä ylikuormasta ja toinen porras laukaisee suuresta ylikuormasta, esimerkiksi koneen jumiutuessa.

Muita kunnonvalvonnan menetelmiä

Värähtelymittaukset

Koneen mekaaninen värähtely on seurausta koneeseen vaikuttavista voimista. Tämän takia mekaanisten värähtelyjen mittaamisella on mahdollista selvittää monia koneeseen vaikuttavia tekijöitä. Pyörivän sähkökoneen mekaanisten värähtelyjen mittaaminen ja tulosten tulkinta on vastaavaa kuin muillakin pyörivillä koneilla, joita sähkömoottorit pyörittävät joko suoraan tai vaihteiston välityksellä. Yleensä sähkömoottoreiden värähtelymittaukset kuuluvat konekunnossapidon piiriin.

Käytössä on siirtymä-, nopeus-, kiihtyvyyssantureita. Anturit voivat olla sijoitettu paikalleen kiinteästi tai mittauspisteet on kannettavan mittalaitteen yhteydessä merkitty selvästi. Mittauksissa saadaan tuloksina mittauslait-

teesta riippuen värähtelyjen kokonaistaso, spektri, ratakäyrä, tms. Vikoja joita havaitaan ovat: mekaaninen epätasapaino, linjausviat, laakeriviit ja erilaisia sähköisiä vikoja.

Virranmittaus

Sähkömoottorin kuntoa voidaan arvioida mittaamalla moottorin kuormitusvirran spektriä. Moottorin kuormitusvirran spektrin sivunauhat kertovat roottorivaurioista ja niiden vakavuudesta.

Lämpötilan mittaus

Käämien lämpötilaa voidaan mitata asentamalla jo valmistusvaiheessa moottorin käämeihin lämpötila-anturit, joina yleisesti käytetään termistoreja ja Pt-100 vastuksia. Lämpötilan mittaus kertoo todellisen lämpötilan sähkökoneessa, suojareleillä mallinnetaan lämpötila kuormitusvirran perusteella. Lämpötilan mittaus kertoo lämpötilan anturin sijoituspaikassa, ei välttämättä kaikkein kuumimman kohdan lämpötilaa.

Lämpötilan mittausta käytetään käämien, laakereiden ja jäähtytyksen lämpötilan seurantaan, jolloin mittausjärjestelmästä saadaan hälytykset ja laukaisuohjaukset. Lämpötilan mittaus voidaan liittää myös suojareleeseen, jolloin suojareleen toimintoja ohjaa sen lämpenemämalli ja takaisin kytkentänä mitattu lämpötila.

Paineen mittaaminen

Paineen mittausta käytetään jäähtytysjärjestelmän suodattimen kunnon tarkkailuun, nestejäähdytyksen yhteydessä jäähtytimen kunnon tarkkailuun ja laakerin öljynpaineen seurantaan kiertovoitelun yhteydessä.

Osittaispurkausten mittaus

Usein sähkökoneiden sähköisten vikojen havaitsemiseen voidaan käyttää eristeiden sähköisten osittaispurkausten mittausta, koska ennen eristeen lopullista läpilyöntiä osittaispurkausten lukumäärä kasvaa huomattavasti. Osittaispurkauksia voidaan mitata radioteitse erilaisilla antureilla tai kapasitanssien välityksellä sähköverkosta. Molemmilla menetelmillä mittaustulokset vaativat analysointia, mutta on odotettavissa osittaispurkauksen perustuvien mittalaitteiden kehittyminen ja käytön yleistäminen.

8.8 Valaistushuolto

Tehdaslaitoksen eri tiloissa valaistusvoimakkuus pienenee jatkuvasti, ellei valaistusasennuksille tehdä mitään. Säännöllisellä suunnitellulla valaistushuollolla on mahdollista pitää tilojen valaistusvoimakkuus ja valaistusasennusten kunto mahdollisimman hyvin uutta vastaavana.

Valaistusvoimakkuutta pienentäviä tekijöitä ovat:

- lamppujen valovirran pieneneminen niiden ikääntyessä
- lamppujen loppuunpalaminen
- valaisimien likaantuminen
- lamppujen likaantuminen
- valaisimien materiaalien vanheneminen
- ilkkivalta
- huonepintojen likaantuminen
- ikkunoiden likaantuminen
- ympäristön lämpötila
- verkkojännitteen poikkeaminen nimellisestä.

Valaistushuolto tulee tehdä koko teollisuuslaitoksessa suunnitelmallisesti. Eri tilojen osalta on selvitettävä niissä olevien valaisimien, lamppujen ja niiden liityntälaitteiden tyypit sekä tilojen olosuhteet ja valaistuksen laatuvaatimukset. Vain ennakkohuoltoperiaatteella tapahtuvalla huoltotyöllä saavutetaan teknisesti ja taloudellisesti edullisin tulos. Valaistuksen huoltosuunnitelma tulee tehdä tilakohtaisesti ja siinä on lueteltava huoltotoimet, niiden suoritusajankohta ja suoritustapa, kuka tekee huoltotyöt, mitä tarvikkeita ja apuvälineitä tarvitaan.

Yksityiskohtaisessa huoltosuunnitelmassa tulee ilmetä:

- valaistusasennusten valaistusvoimakkuuden ja laadun vaatimukset sekä valaistuksen käyttö kyseisessä tilassa
- valaistusvoimakkuuden ja asennusten kunnonseuranta
- lamppujen ja tarvittaessa syyttimien ohjeellinen vaihtoväli ja vaihtotapa
- valaisimien ohjeelliset puhdistusjaksot
- rikkoutuneiden valaisinosien vaihto ja korvaava valaisin
- syöpyneiden tai muuten vanhentuneiden valaisinosien vaihto
- vaihtolamppujen ja varaosien tekniset tiedot ja hankinta
- puhdistusaineiden ja -välineiden tekniset tiedot ja hankinta
- työnjohdon ja työntekijöiden tai os-topalveluiden varaus
- huollossa tarvittavien apuvälineiden, kuten nosturien varaukset.

Tarkoituksenmukaisinta ja taloudellista on suorittaa lamppujen vaihto ryhmävaihtona. Oikea ajankohta riippuu valaisin- ja lamputyyppistä sekä tilan käyttötarkoituksesta. Ryhmävaihtoon kannattaa liittää myös valaisimien puhdistus ja muut huoltotyöt.

Valaistushuoltojen yhteydessä tulisi mitata valaistusvoimakkuus tilassa ennen ja jälkeen valaistushuollon ennalta sovitulla menetelmällä (mittari, paikka, korkeus, ym.). Tällöin olisi syytä tarkastaa myös tilojen nykyinen käyttötarkoitus, sillä valaistusvoimakkuuden, valon laadun ja valaistuksen ohjauk-

sen tarpeet ovat saattaneet muuttua. Ryhmävaihtojen välillä saattaa olla tarpeen vaihtaa yksittäisiä palaneita lamppuja liiallisen valaistusvoimakkuuden laskun tai pimeiden paikkojen johdosta. Vaihtolamppuina kannattaa tällöin käyttää hyväkuntoisia ryhmävaihdosta vapautuneita lamppuja.

Vanhojen valaistusasennusten osalta valaistus osoittautuu varsin usein määrältään, laadultaan ja kunnoltaan riittämättömäksi. Valaistuksen keho taso voi haitata työtehtävien luotettavaa suorittamista ja se ei täytä nykypäivän työturvallisuus- ja viihtyisyysnäkökohtia.

Valaistusasennusten uusinnassa voi käyttökelpoinen ratkaisu olla vanhan asennuksen täydentäminen uusilla valaisimilla, valaisimien vaihto tai kokonaan uusi asennus. Suunnitellussa valaistuksen kunnossapidossa tiedetään eri tilojen valaistusasennusten elinkaari.

Valaistusasennusten kunnonvalvonta perustuu visuaalisiin tarkastuksiin, rikkoutuneiden, sammuneiden ja välkkyvien valaisimien havaitsemiseen. Mittaavan kunnonvalvonnan menetelmänä voidaan käyttää valaistusvoimakkuuden (lx) säännöllistä mittausta.

9. Näkymiä

Sähkökunnossapidon tehtäväkenttä on laaja ja kokonaisuuden hallitseminen vaatii jatkuvaa koulutautumista ja monipuolista osaamista. Kunnossapidon työtehtävät muuttuvat yhä vaativammiksi ja yhä enemmän erityisosaamista vaativiksi sekä laitekannan uusiutuessa on hallittava uudet ja edelleen vielä kymmeniä vuosia käytössä olevat sähkölaitteet ja -järjestelmät. Kunnossapitoalan henkilöstö hallitsee nykyisellään sekä vanhat että uudet laitteet, mutta ongelmaksi saattaa tulla alan selkeä ukkoutuminen.

Teknisen alan oppilaitokset ovat selvästi havainneet kunnossapitoalan koulutuksen tärkeyden ja lisänneet koulutusta. Kunnossapitoalan koulutuksessa on huomattava alan laajuus ja toisaalta alan periaatteiden yhteneväisyys. Osaamisalueet vaihtelevat eri laitteiden eri menetelmillä tehtävästä ennakkohuollosta ja kunnonvalvonnasta tuotantolaitoksen prosessin käynnissäpitoon ja tehokkaaseen vikadiagnostiikkaan. Kunnossapitoalan koulutuksessa on painottunut konekunnossapito, mutta sähkölaitteistojen ja -järjestelmien jatkuva kehittyminen korostaa sähkö/automaatiokunnossapidon merkitystä tuotantolaitosten tehokkuusvaatimusten kasvaessa.

Sähkökunnossapidon työtehtäviä ostetaan yhä suuremmissa määrin alan palveluyrityksiltä. Ostettavat palvelut voivat kattaa koko kunnossapidon tehtäväkentän tai erilaista alan erikoisosaamista. On tärkeää varmistaa tehtaan laitteiden kunnossapitotiedon säilyminen jatkuvasti tuotantolaitoksen hallussa. Tällöin kunnossapitotöitä voidaan jatkossa kilpailuttaa todellisen laitteiden huolto- ja kuntotietouden perusteella.

Sähkö- ja automaatiolaitteiden toiminnot ja ominaisuudet tulevat yhä enemmän huomioimaan huollon, kunnonvalvonnan ja vikojen etsinnän. Laitteiden oma älykkyyks kasvaa ja tiedon siirtomenetelmät kehittyvät sekä prosessin ohjauksessa että kunnossapidon alalla.

Sähkölaitteiden- ja järjestelmien sisäinen diagnostiikka kehittyi, jolloin miellellään puhutaan tuotantolaitteiston tai mekatronisen laitteen kunnonvalvonnan ja vikadiagnostiikan kehittämistä. Tuotantolaitteen vikadiagnostiikka sisältää laitteen mekaanisten ja sähköisten järjestelmien toimintojen ja kunnonvalvonnan joko sen ohjauksjärjestelmän ja anturoinnin avulla tai erillisten laitteeseen liitettävien diagnostiikan apuvälineiden avulla.

Sähkölaitteiden kunnonvalvonnan mittaavat menetelmät, kuten lämpökuvaus, värähtelyjen mittaaminen, öljy/kaasu-analyysi, osittaispurkausmittaukset ja sähkön laadun mittaus kehittyvät jatkuvasti. Kehitystä tapahtuu mittausantureiden, laitteiden, mittausjärjestelmien, tulosten analysoinnin ja diagnostiikkaohjelmistojen alueella. Tietotekniikan ja elektroniikan voimakas kehittyminen ja uudet sovellukset parantavat ja tuovat esille uusia kunnonvalvonnan menetelmiä ja tuloksia jo lähitulevaisuudessa.

Kunnossapidon tietojärjestelmien käyttäjäliityntä kehittyi edelleen, yhteydet muihin tietojärjestelmiin ja kentän laitteisiin paranevat, tiedon tallennus ja informaation analysointimahdollisuudet paranevat. Laitteiston historia, sähköiset dokumentit, vianhakuohjeet esim. multimediasovelluksena löytyvät tietojärjestelmästä tai sen avulla ja ne on käytettävissä kentällä laitteen luona ennakkohuoltoa tehtäessä tai toimintahäiriötä selvitettäessä.

Tulevaisuudessa voidaan ehkä esim. katkaisijakennon toimintaongelmia tutkittaessa ottaa kannettavalta mikro-tietokoneelta yhteys valmistajan tietämysjärjestelmään, joka analysoi katkaisijakennon vikatietoja. Analysointi voi perustua kennon toimintaa seuraavan modulin ja/tai vianetsijän antamiin tietoihin. Tiedot voivat olla tila- ja toiminta-arvoja tai esimerkiksi videokuvaa. Tietojärjestelmien kehittämiseen vaikuttavat keskeisesti kunnossapidon

toimintamallien muutostarpeet sekä ohjelmistotyökalujen ja tietokoneiden erittäin nopea kehittyminen.

Lähdeluettelo

Lähdeluettelo

1. Kunnossapitotekniikan perusteet, Heikki Aalto, Kunnossapitoyhdistys 1994. 96 s.
2. Koneautomaation kunnossapito, Risto Heinonkoski, Helsinki 1993. 129 s.
3. Ennakoiva kunnossapito konepajassa, Ahti Rossi, MET, Tekninen tiedotus 5/93. 127 s.
4. Kunnossapidon johtaminen, talous ja kehittäminen, Veli Siekkinen, lisen-siaattiseminaari, 1996. 105 s.
5. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät, PSK6201 Standardi, 1994. 11s.
6. Kapitaleffektiva underhållsstrategier, Ahlman Hans, STF Ingenjörsut-bildning, 1985.10 s.
7. Käyttövarmuuskäsikirja, Antti Lyytikäinen, VTT Tiedote 678, Espoo 1987, 147 s.
8. Handbook of Condition Monitoring, Rao B.K.N.1996, 603 s.
9. Käyttövarmuuden tekniikat, Holmberg Kenneth, Ronkainen Helena (toim.), VTT Tiedote 1557, 96 s.
10. Kunnossapidon käsitteet ja terminologia, Jalo Pirhonen. Kunnossapito 5(1990), 12 s.
11. Käyttöhäiriötietojen järjestelmällinen jatkoanalyysi, Kari Laakso. Kunnossapito 7(1994), 3 s.
12. Käyttövarmuuden tekniikat, Kenneth Holmberg, Helena Ronkainen. Espoo 1994, VTT 1557. 96 s.
13. Käyhän! Käyttöhäiriöiden analyysimenetelmä prosessilaitoksen ja sen käytön jatkuvaan kehittämiseen. Espoo 1990, VTT 1178. 59 s.
14. Kunnossapidon kehitystrendit maailmalla, Kurt Rönqvist. Tehdas-palvelu 95 kongressi, Lahti, Kunnossapitoyhdistys, 1995, 12 s.
15. Kunnossapitoliketoiminnan kehitysnäkymiä, Jarmo Heinonen. Energiapäivät 96 kongressi, Tampere, Kunnossapitoyhdistys, 1996, 11 s.

16. Kunnossapidon kehittymisen seuranta ja tulosten havainnollinen esittäminen, Jorma Järviö. Kunnossapitopäivät 95, Kunnossapitoyhdistys ry. 1995, 12 s.
17. Teollisuuden kunnossapidon organisointi-näköaloja tietojärjestelmien kehittyessä, Seppo Väyrynen, Jouko Leinonen, Salla Paldanius. Kunnossapito 5(1994), 7 s.
18. Kunnossapidon tietojärjestelmät, Jaakko Etto. Sähkölaitosalan uudet tekniikat III, raportti 8-96, Tampereen teknillinen korkeakoulu. Tampere 1996, 29 s.
19. Kunnonvalvonnan värähtelymitaukset, Petri Nohynek, Veli-Erkki Lumme. Kunnossapitoyhdistys 1996, 159 s.
20. TEKUS-järjestelmä, Oy Metsä-Botnia Ab, Kemin tehtaas. Käyttöohje ja toimintaesimerkit, 1996.
21. Kunnossapitokustannusten seuranta- ja laskentajärjestelmä osana kunnossapidon ohjausjärjestelmää, Harri Pehkonen. Diplomityö, Oulu 1994, 147 s.
22. Kunnossapidon tietojärjestelmän käyttöönotto, Kari Vekara, Juha Lamberg, Pekka Nissi, Juha Vainikka, Kunnossapito 1(1993), 11 s.
23. Kunnossapidon hallinnan ATK-ohjelmistot Suomen markkinoilla 1996, Kari Vekara. Kunnossapitoyhdistys, Tampere 1996, 61 s.
24. Sähköasennuksien ja laitteiden korjaus, Ammattikasvatushallitus. Helsinki. 221 s.
25. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto, Ahponen, Kasurinen, Timonen. Sähköinfo, 1996. 301 s.
26. Relesuojaustekniikka, Jorma Mörsky, Hämeenlinna 1992. 459 s.
27. Prosessilaitoksen sähkönjakelun toteutus tämän päivän tekniikalla, Kari Bovellan, Kunnossapitolehti 1 1995. 4 s.
28. Teollisuuslaitoksen sähköverkon uusiminen, Kalevi Pitkänen, Kunnossapitolehti 1/1995. 3 s.
29. Prosessiteollisuuden sähkönjakeluverkoston perusvalinnat, Kalevi Pitkänen, INSKO 104-86. 23 s.
30. Toisiojakelujärjestelmän muoto, Paavo Sääski, INSKO 104-86. 25 s.
31. Teollisuuden sähköverkkojen relesuojauksesta, Jaakko Etto, Sähköverkkojen relesuojaus osa I, LTKK EN C-84, Lappeenranta 1995, 25 s.
32. Moottorikeskusten vakiokytkennät enintään 1000 V nimellisjännitteelle, SFS käsikirja 16, Suomen standardoimisliitto SFS, 1990.140 s.
33. ST teollisuussähköistyskansio, 1997. 6 s.
34. Suurjännitetekniikka, Aro M., Elovaara J., Karttunen M., Nousiainen K., Palva V., Espoo 1996. 483 s.
35. Sähkökoneiden eristykset, Paloniemi Paavo, Keskinen Eero, Otaniemi 1996. 63 s.
36. CIGRE Working Group 33/15.08: Dielectric diagnosis of electrical equipment for AC applications and its effects on insulation coordination. State of the art Report. CIGRE Session 1990, Paris, 34 s.
37. Teollisuuden sähköverkkojen kunnonvalvonta ja huolto, Timo Honkanen, Sähkökunnossapitopäivät '95, Lahti. 18 s.
38. Kytkinlaitoksen modernisointi, Juha Lehtonen, Sähkökunnossapitopäivät '95, Lahti. 9 s.
39. Sähkö- ja automaatiojärjestelmien ennakkohuollot ja kunnonvalvonta, Kari Heinonen, Erkki Tuohiniemi, Tehdaspalvelu kongressi 1997, Lahti 15 s.
40. Sähkökäyttö, Matti Mård. Otaniemi 1995/10, 275 s.
41. Sähkökäyttöjen kunnonvalvonnan tarve ja toteuttamismahdollisuudet, Antti Vinko. Diplomityö, Otaniemi 1987, 96 s.
42. Tasavirtamoottorikäyttöjen ehkäisevä kunnossapito, Vesa Karri. Diplomityö Tampere, 1986, 58 s.
43. Pyörivän sähkökoneen käytönäikaisen kunnonvalvonnan ja suojausten toteuttamismahdollisuudet, Haikonen Juha. Diplomityö Otaniemi 1992, 89 s.
44. Oikosulkumoottorin vikadiagnosi, Helakorpi T. Diplomityö Otaniemi 1993, 62 s.
45. Analysis of failure and maintenance experiences of large electrical motors, Seppo Hänninen, Licenciate Thesis, Otaniemi 1991, 73 s.
46. Condition Monitoring of Electrical Machines, Tavner Peter J., Pehman James, 1987, 286 s.
47. Sähköaseman kunnonvalvonta, Kari Heinonen, INSKO 105-88. 17 s.
48. Oikosulkusuojaus, Tapio Hakala, INSKO 183-89. 16 s.
49. Oikosulkuvaikutusten huomioonottokytkinlaite-, kojeisto- ja kiskostovalinnoissa, Esko T. Haaparanta, INSKO 183-89. 29 s.
50. Maasulkusuojaus, Tapio Hakala, INSKO 131-85. 16 s.
51. Oiko- ja maasulut teollisuusverkossa, Jaakko Lehtonen, INSKO 131-85. 23 s.
52. Suojeluohjekansio, suojeluohjeet, Teollisuusvakuutus. Helsinki.
53. Sähkön siirtoverkon tehokas kunnossapito, Jari Helander. Energiapäivät 96 kongressi, Tampere, Kunnossapitoyhdistys, 1996, 23 s.
54. Katkaisijat, Leif Ågren, INSKO 88-89. 18 s.
55. Sähköasemien elinjaksokustannukset ja kunnonhallinta, Timo Kiiveri. Sähkö-Tele (1996)2, 3 s.
56. Teollisuusverkon jännitevalintojen ja rakenteen teknistaloudellinen merkitys suuren puunjalostusyrityksen mittakaavassa, Lehtonen Jaakko. Licensiaattityö. Lappeenranta. 1997, 94 s.
57. Teollisuussähköjärjestelmien käytöntukitoimintojen määrittäminen, Lindh Tuomo. Diplomityö. Lappeenranta. 1997. 100 s.
58. Teollisuuden sähköverkkojen suunnittelun perusteet, Koskinen Timo. Diplomityö. Tampere. 1996. 120 s.
59. Teollisuuslaitoksen sähköverkon toiminta ja siihen kohdistuvat vaatimukset, Joensivu Leena. Diplomityö. Tampere. 1997. 76 s.