

# Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 1

# Sisällysluettelo

## Osa 1.

1. Sähkökunnossapidosta käynnissäpitoon .....	3
2. Kunnossapitostrategian valinta .....	4
3. Kunnossapidon toimintatavat .....	5
3.1 Kunnossapitotavat .....	5
3.2 Kunnossapidon organisointi .....	6
3.3 Sähkölaitteiden viat .....	7
3.4 Sähkölaitteiden eristykset .....	8
3.4.1 Eristysten vanhenemisilmiöt .....	8
3.4.2 Eristysten kunto .....	8
3.5 Vika-analyysi .....	8
4. Prosessisähköistyksen suunnittelu .....	9
4.1 Sähköistysprojekti .....	9
4.2 Sähköistysohjeet ja suositukset .....	9
4.3 Esisuunnittelu .....	9
4.4 Perussuunnittelu .....	9
4.5 Hankintasuunnittelu .....	10
4.6 Toteutussuunnittelu .....	10
4.7 Kunnossapitosuunnittelu .....	11
5. Tietojärjestelmät kunnossapidon perustana .....	11
5.1 Kunnossapidon toiminnan ohjausjärjestelmä .....	11
5.2 Suunnittelun tietojärjestelmät ja CAD .....	13
5.3 Muut tietojärjestelmät .....	13
6. Ennakoiva kunnossapito .....	13
6.1 Ennakkohuolto .....	13
6.3 Kunnonvalvonta .....	14

## Osa 2. (Kunnossapitokoulu 48)

7. Sähköjakeluverkko	
7.1 Sähköjakeluverkon ominaisuudet	
7.2 Sähköverkkojen rakennevaihtoehdot	
7.3 Sähköjakelun automaatio	
7.4 Prosessikäyttöjen automaatio	
8. Sähköistyksen ennakoiva kunnossapito	
8.1 Tehomuuntajat	
8.1.2 Tehomuuntajien kunnonvalvonnan menetelmät	
8.1.1 Tehomuuntajien viat	
8.2 Katkaisijat	
8.2.1 Katkaisijoiden ominaisuudet	
8.2.2 Katkaisijoiden kunnonvalvonnan menetelmät	
8.3 Sähkötilat ja kojeistot	
8.4 Relesuojaus	
8.4.1 Koestusmenetelmät	
8.4.2 Käyttöönottokoestukset	
8.4.3 Kunnonvalvonta	
8.5 Jakelumuuntajat ja muuntamot	
8.6 Sähköverkon tila ja sähkön laatu	
8.7 Sähkömoottorit	
8.8 Valaistushuolto	

## 9. Näkymiä

### Lähdeluettelo

# Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 1

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

Toisessa osassa seuraavassa KUNNOSSAPITOKOULUSSA esitellään sähkökunnossapidon menetelmiä 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

## 1. Sähkökunnossapidosta käynnissäpitoon

Kunnossapidon organisaatio on prosessiteollisuudessa yrityskohtaisesti erilainen ja trendien mukaan muuttuva. Kehityssuuntana on viime vuosina ollut teollisuuslaitosten oman kunnossapito-organisaation yhtiöittäminen, jolloin teollisuuslaitoksen omaan palvelukseen jää laitoksen käynnissäpitohenkilöstö tai vain palvelut tilaava henkilöstö. Kunnossapitopalveluita otetaan näin yhtiöitetyltä organisaatiol-

ta ja muilta kunnossapitoalan erityisosaamisalueiden yritysiltä.

Sähkö- ja automaatiolaitteiden kehityksessä viime vuosikymmeninä ja erityisesti viime vuosina on eri alojen erikoisosaamisen tarve kasvanut. Erityisosaamista vaativien laitteistojen huolto- ja korjaustöihin käytetään niihin erikoistuneita palveluyrityksiä tai myyjien huolto-organisaatioita. Useissa yrityksissä teollisuuslaitoksen omaan henkilöstöön on jäänyt sähkökunnossapidon henkilöstöstä vain suoraan tuotantolaitteiden käynnissäpidosta vastaava henkilöstö.

Teollisuuslaitoksen sähkökunnossapito käsittää teollisuuslaitoksen sähköjärjestelmien, sähkökoneiden ja sähkölaitteiden osalta:

- korjaava kunnossapito
- ennakkohuolto
- kunnonvalvonta
- sähkön laadun seuranta
- sähköenergian ja tehojen mittaustoitminnat
- sähkölaitteiden kuormituksen seuranta
- sähkölaitteiden suojaustarkastelut
- konedirektiivin noudattaminen
- kunnossapidon tietojärjestelmän ylläpito
- sähkölaitteiden ja -käyttöjen dokumentoinnin ylläpito
- seisokkityöt ja modernisaatiot
- sähkösuunnittelu
- kunnossapidon suunnittelu
- modifikaatioiden toteutus
- huoltosopimusten ja ostopalveluiden valvonta
- asennusvalvonta ja uusien asennusten käyttöönotto tai siihen osallistuminen.

Sähköjärjestelmät ja -laitteet voidaan jakaa toiminnallisesti seuraaviin osiin:

- sähköjakelun käyttö ja kunnossapito (110 kV - 400 V)
- prosessisähköistys
- UPS, akustot ja varavoima
- sähkölaitteistot, kuten hissit, nosturit, nosto-ovet ja sähkösuodattimet
- ohjauslaitteet, -järjestelmät ja anturit
- rakennussähköistys: LVI-, valaistus- ja huoltosähköverkko
- korjaamotoiminnot.

Sähkökunnossapidon eri osa-alueiden toiminnan tavoitteista on seuraavassa esimerkkinä sähköverkon rakentamisen tavoitteet (mm. paperitehtaat):

1. Keskeytymätön kolmivuorotyö asettaa korkeat vaatimukset sähköjakelun käyttövarmuudelle. Kojeistoja ja muuntajia ei ole yleensä varmennettu. Sähköjakelu on suurelta osin toteutettu varmentamalla päämuuntajat ja kojeistojen väliset kaapeliyhteydet, jolloin yhden vaurion jälkeen on lähes täysi tuotanto mahdollinen.
2. Sähköverkon investoinnit pitkäikäisiä.
3. Verkon käyttö ja ylläpito mahdollista kohtuullisilla kustannuksilla.

## 2. Kunnossapitostrategian valinta

Kunnossapidon strategiaksi voidaan sanoa niitä toimintoja ja keinoja, joilla asetetut tavoitteet pyritään saavuttamaan mahdollisimman hyvin yrityksen yleisen toimintastrategian puitteissa. Kun tavoitteet saavutetaan minimaalisin kunnossapidon kustannuksin, puhutaan optimaalisesta kunnossapidon strategiasta.

Tehokas kunnossapitotoiminta ei tarkoita mahdollisimman pieniä kunnossapidon kustannuksia. Tärkeintä on kunnossapidon vaikutus tuotantoprosessiin ja -tuloksiin. Parantuneen kunnossapidon tehokkuuden ansiosta tuotantokatkoksien lukumäärä vähenee ja niiden kesto aika lyhenee. Tuloksena on käytettävissä olevan tuotantokapasiteetin parantunut hyödyntäminen.

Kunnossapitostrategiat voidaan jakaa kahteen pääluokkaan, *ennakoivaan* eli aktiiviseen ja *korjaavaan* eli passiiviseen kunnossapitoon. Kuvassa 1 on esitetty kunnossapidon kokonaistrategia. Ennakoivassa kunnossapidossa pyritään huoltotoimenpitein ylläpitämään laitteen käyttöominaisuuksia sekä erilaisin mittaus- ja valvontamenetelmin seuraamaan laitteen toimintakuntoa ja ennalta ehkäisemään vikojen syntymistä. Korjaavassa kunnossapidossa korjataan jo syntyneet viat eli laite palautetaan vikaa edeltäneeseen toimintakuntoonsa.

Ennakoivan ja korjaavan kunnossapidon lisäksi puhutaan *parantavasta* kunnossapidosta, jolla tarkoitetaan sellaisia korjaustoimenpiteitä, joilla parannetaan laitteen toimintaominaisuuksia tai vähennetään huollon tarvetta.

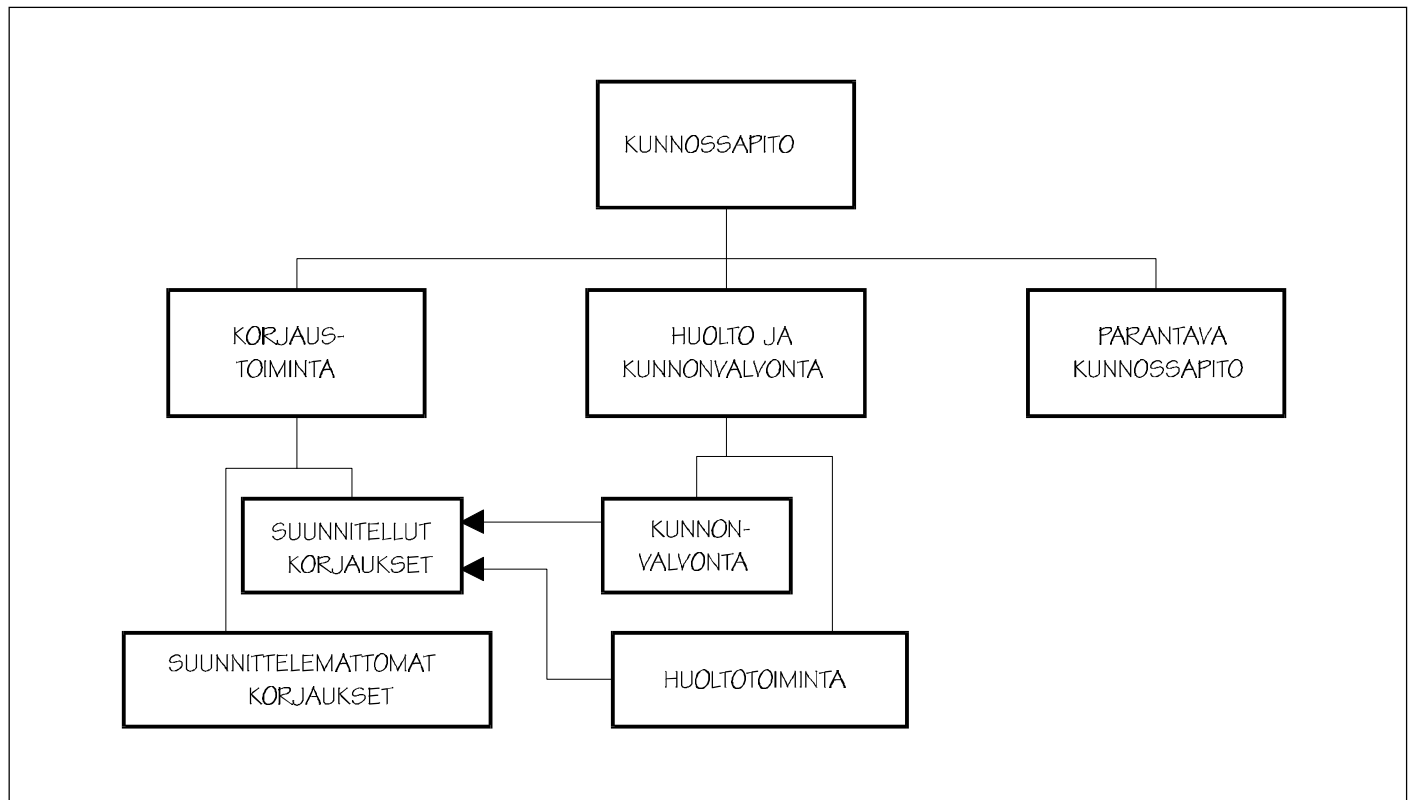
Kunnossapidon strategiavalintaan vaikuttavat tekijät ovat toimiala- ja yritys-kohtaisia. Useilla toimialoilla (esim. metsäteollisuus) asetetaan käyttövarmuustavoitteet mahdollisten häiriöiden aiheuttamien vahinkoriskien perusteella, kun käyttöhäiriöistä voi olla seurauksena suuria henkilö-, ympäristö- tai taloudellisia vahinkoja. Toisaalta tietyillä toimialoilla on myös lakisääteisiä velvoitteita, jotka pakottavat alalla toimivat yritykset tietyntasoiseen kunnossapitotoimintaan (esim. ydinvoimat).

Yrityskohtaisia tekijöitä ovat:

- kilpailutilanne ja asema markkinoilla
- valmiiden tuotteiden kysyntä
- tuotteen ja tuotantokoneiden teknologinen taso ja elinkaari
- valmistusprosessin monimutkaisuus
- tuotannon pääomavaltaisuus/työvaltaisuus
- tuotantokapasiteetin käyttöaste
- turvallisuusriskit ja mahdolliset ympäristöhaitat
- yrityksen likviditeetti.

Optimaalinen kunnossapitopolitiikka yrityksessä on sellainen käyttövarmuuden ja kunnossapidon optimistategian yhdistelmä, jolla käyttövarmuuden alaisuudesta johtuvien kustannuksien (puutekustannusten) ja kunnossapidon kustannusten (panoskustannusten) summa on suunnitellun käytön aikana mahdollisimman pieni.

Kyky tehdä kunnossapitotöitä sopivalta ajanhetkellä alhaisin kustannuksin on merkinä *kunnossapidon sisäisestä tehokkuudesta*. Pitkällä tähtäimellä tämä ei riitä turvaamaan yrityksen jatkuvaa toimintaa vaan yrityksen menestys riippuu sen kyvyistä mukauttaa toimintansa sekä suunnitella, muotoilla, markkinoida ja huoltaa asiakkaitensa haluamia tuotteita eli *ulkoisesta tehokkuudesta*. On jo kauan tiedetty, että oikean kunnossapidon avulla voi-



Kuva 1. Kunnossapidon kokonaistrategia.

daan parantaa sisäistä tehokkuutta. Sen sijaan on toistaiseksi vähemmän tunnettua ja käytännössä koettua, että hyvin toimiva kunnossapito ja korkea käyttövarmuus ovat huomattavia kilpailuetuja tuotteita markkinoitaessa.

Tuotteita valmistavissa yrityksissä on yleisesti tapana pitää kunnossapitoa kustannuksia vaativana, mutta valitettavasti välttämättömänä toimintana, jonka tehostamista voidaan toteuttaa vain kustannuksia alentavien toimenpiteiden avulla. Tällainen yksipuolinen ajattelutapa johtaa kuitenkin kunnossapidon merkityksen vakavaan aliarvostukseen yrityksen kokonaistulosta tarkasteltaessa. Usein jätetään huomiotta kunnossapidon yrityksen tuloista parantava vaikutus, joka ilmenee toiminnassa olevan laitoksen kasvaneena tuotantovolyymina tai parantuneena kilpailukykyinä nopeampien läpimenoaikojen sekä toimituksien ja tuotteiden tasaisemman laadun seurauksena. Kunnossapitoa ei pidä nähdä vain kustannustekijänä vaan myös voittoa tuottavana toimintana.

### 3. Kunnossapidon toimintatavat

Yrityskohtaisen kunnossapitostrategian valintaan vaikuttavien tekijöiden lisäksi on jokaisen laitteen ja laiteryhmän kunnossapitomenetelmä valittava. Kuvassa 2 on esitetty laitteiston kunnossapitoperiaatteen valintakaavio, jossa sähkölaitteen kunnossapito on jaettu kahteen osaan, korjaavaan ja ennakoivaan kunnossapitoon. Yleensä kone tai laitteisto sisältää osia, joiden kunnossapitoperiaate on erilainen. Kahden samanlaisenkin laitteiston kunnossapitostrategia voi perustellusti vaihdella:

- koneen, laitteen tai järjestelmän merkitys yritykselle ja tuotannolle
- vakuutuksen, lainsäädännön tai viranomaisten vaatimukset
- konedirektiivi, riskianalyysit
- takuu

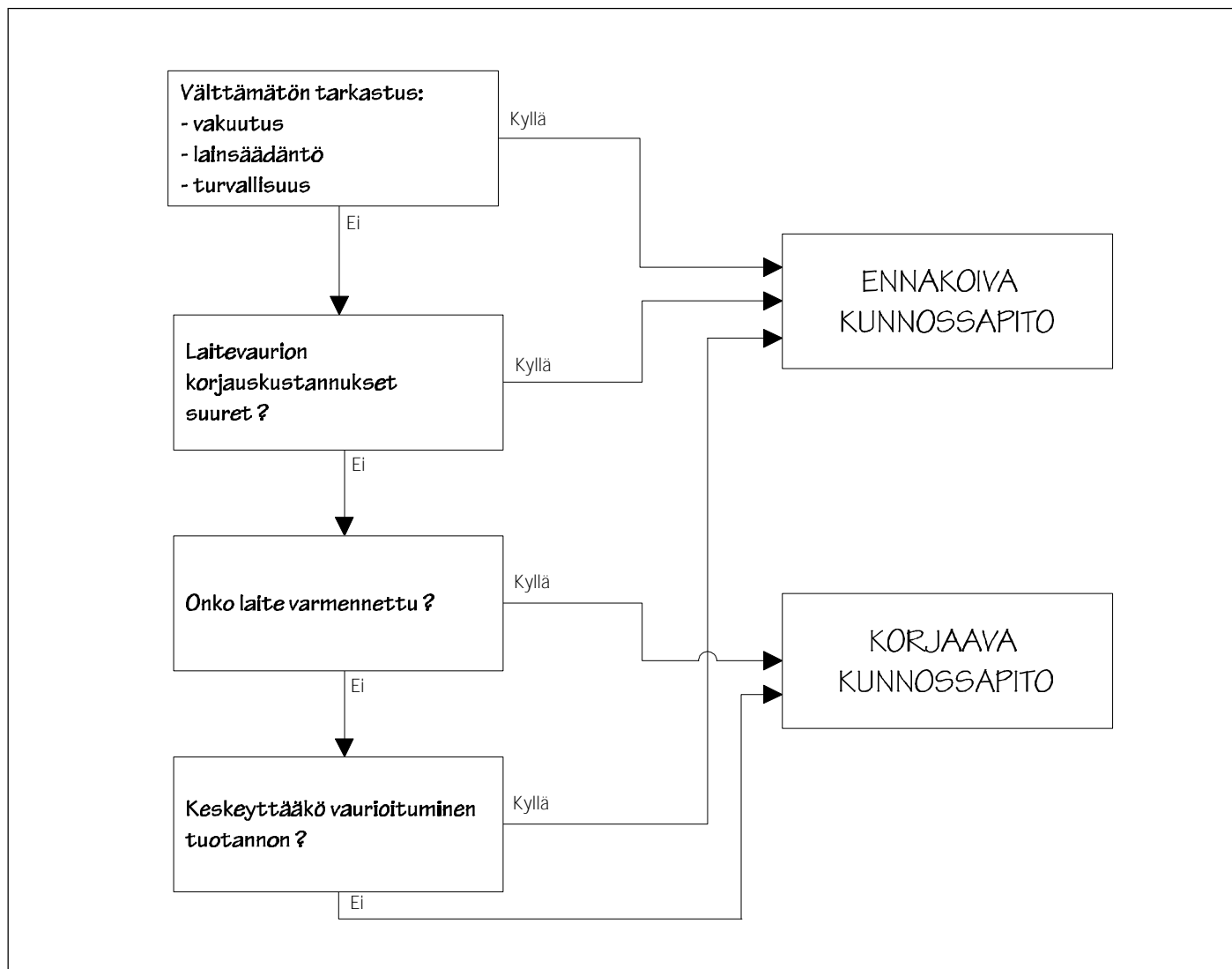
- kunnossapito- ja seisokkikustannukset
- kunnossapidon organisointi
- ympäristö- ja käyttöolosuhteet.

#### 3.1 Kunnossapitotavat

Sähkölaitteiden niin kuin muidenkin laitteiden kunnossapitotoiminta on niiden pitämistä toimintakunnossa mahdollisimman tehokkaasti ja taloudellisesti. Kunnossapitotavat voidaan ryhmitellä useilla eri tavoilla.

Kunnossapitotoimenpiteet voidaan toimintaperiaatteiden tasolla luokitella seuraavasti:

- **Ehkäisevä kunnossapito:** Kaikki ne tarkastus-, testaus- ja huoltotoimenpiteet, jotka tehdään ilman, että laitteessa olisi tiedossa vikaa.
- **Käyttöseuranta:** Tuotantohenkilöstön suorittamaa tarkkailua, hoitoa ja huoltoa.



Kuva 2. Laitteen kunnossapitoperiaatteen valinnan arviointikaavio.

- **Kunnonvalvonta:** Kohteen toimintaa tarkkaillaan ja mitataan joko jatkuvasti tai määrävälein. Tavoitteena on alkavan vikaantumisen havaitseminen ja korjaaminen ennen kuin se estää kohteen halutun toiminnan toteutumisen.
- **Jaksotetut huollot:** Perinteinen käytöaikaan, toimintakertoihin tai vastaavaan perustuva huoltotoimenpide, joka tehdään kohteen tilasta riippumatta.
- **Korjaava kunnossapito:** Suoritetaan, kun kohde on vikaantunut. Vikaantuminen voi olla kokonais- tai osittaisvika.

Varsinaiset kunnossapitotoimenpiteet voidaan luokitella seuraavasti:

- **Tarkastus:** Kohteen toimintakyvyn tarkastus (ei yksilöityjä mittauksia tai päätelmiä).
- **Testaus:** Kohteen toimintakyvyn tarkastaminen vertaamalla saatuja mittaustuloksia kohteelle spesifioituihin arvoihin. Sisältää mittaustuloksiin liittyvät päätelmät.
- **Huolto:** Kohteelle suoritetaan ennalta laaditun ohjelman ja toimenpidesuunnitelman mukaiset kunnonvalvonta ja huoltotoimenpiteet.
- **Korjaus:** Toimenpide, jonka tarkoituksena on poistaa kohteesta paikannettu vika.
- **Käytöstä poisto:** Osan tai kohteen

käytöstä poistaminen spesifioidun eliniän täyttymisen, taloudellisesti kannattamattoman korjauksen tai kohteen modifioinnin vuoksi. Sisältää myös kohteen tai osien asianmukaisen hävittämisen.

Mitä kunnossapitostrategiaa eri sähkölaitteilla noudatetaan riippuu niiden tuotannollisesta tärkeydestä, vauriokustannuksista, vikaantumistavasta ja sen seurantamahdollisuuksista sekä eliniästä. Täten sähkölaitteille on valittava tietoisesti jokin tai jotkin seuraavista menetelmistä:

- määräaikaikunnossapito (huoltoajankohdat ja ohjeet)
- kunnonvalvonta
- parantava kunnossapito (huono laite, järjestelmä)
- varmennus
- vaurion salliminen (ei pysäytä tuotantoa, kunnonseuranta ei taloudellisesti mahdollista).

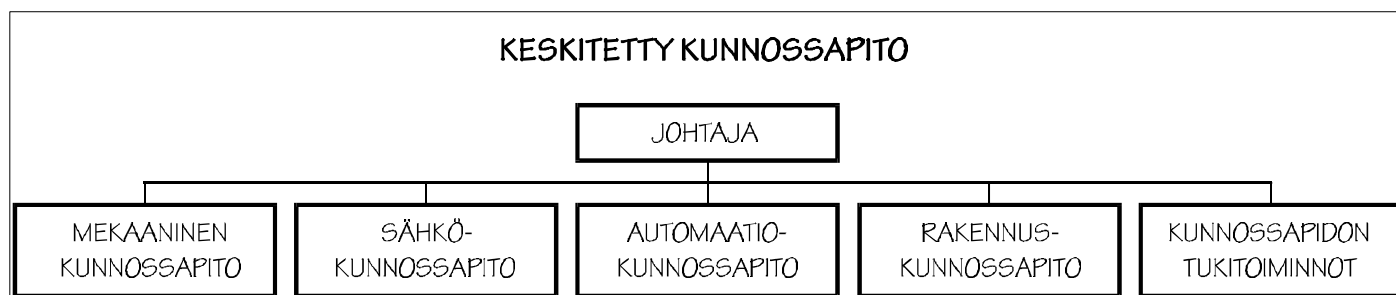
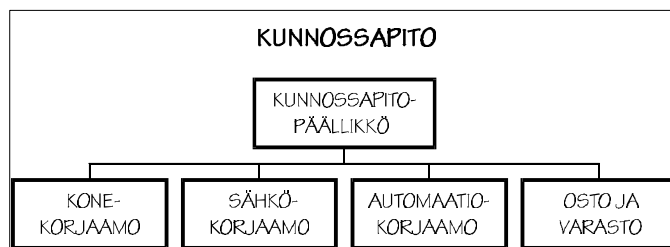
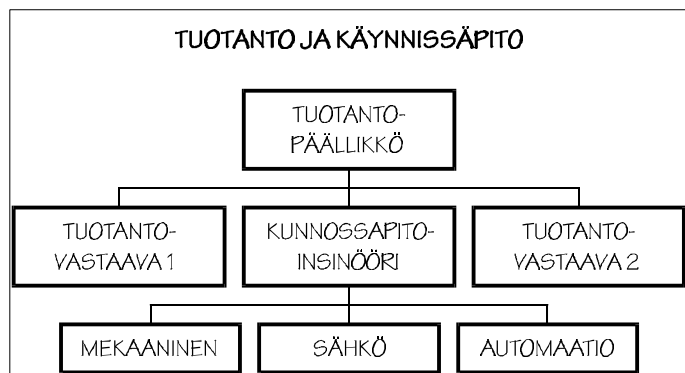
### 3.2 Kunnossapidon organisointi

Kunnossapidon organisointi on mahdollista toteuttaa useilla eri tavoilla, keskitetysti, hajautetusti tai ostopalvel-

luina. Teollisuuslaitosten sähkö- ja automaatiokunnossapidosta on aina ollut osa ostopalveluja. Palveluyrityksiltä ostetun ja huoltosopimuksilla hoitettujen kunnossapidon osuus on kasvanut tällä vuosikymmenellä voimakkaasti. Perinteisen kunnossapidon toteutuksen keskitetyllä organisaatiomallilla on korvannut usein ainakin osittain hajautettu organisaatio, jossa tuotannon organisaatioon on sijoitettu tehtaan käynnissäpidosta vastaava kunnossapitohenkilöstö, kuva 3. Korjaamo-, suunnittelu-, varasto- ja huoltotoiminnot on koottu omaksi organisaatioksi tai muodostettu niistä yhtiö yhteistyössä jonkun alan suuren kunnossapitoyrityksen kanssa.

**Teollisuuden trendit** kunnossapidossa ovat olleet:

- kunnossapito eriytetään omistuksesta ja käytöstä
- laatuajattelut yleistyvät
- tuottavuuden paraneminen ja työpaikkojen väheneminen
- palvelujen merkitys kasvanut voimakkaasti
- automaatio monipuolistuu
- laitteistot luotettavampia ja korjaustarve vähäisempi
- käyttövarmuuden ja kapasiteetin käytön kohoaminen
- kunnossapidon merkitys korostuu yleisesti



Kuva 3. Kunnossapidon osittain hajautettu ja keskitetty organisaatio.

- kunnossapito on muodostumassa palvelutoimialaksi
- korjaava kunnossapito vähenee, ennakko- ja kunnonvalvonta lisääntyy
- henkilöstön ikärakenne kunnossapitoalalla vinoutunut
- organisaatio tuotantolaitoksen kunnossapidosta tuotannon käynnissäpitoon
- sähkö- ja automaatiokunnossapidon merkitys kasvaa automatisoinnin ja laatuvaatimusten kasvaessa.

### Sähkö- ja automaatiokunnossapidossa trendinä on nähtävissä:

- laitteiden itsediagnostiikka kehittyä
- vikadiagnostiikka ja vianetsintätaidot kehittyvät
- tietotaidon merkitys kasvaa voimakkaasti
- kielitaidon, tiimien ja projektiosaamisen merkitys kasvanut
- henkilöstön monitaitoisuus ja osaaminen tarpeen
- sähkö- ja automaatiohenkilöstön riittävä koulutus
- erityisosaamista vaativia laitteistoja ja järjestelmiä yhä enemmän
- kunnossapitosuunnittelulla laitteistojen hankintavaiheessa tärkeä merkitys
- ostopalvelujen merkitys yhä suurempi
- sähkö- ja automaatiosuunnittelulla keskeinen rooli käyttövarmuuden tavoittelussa
- tuotantoprosessin toiminnan tuntemus keskeistä, henkilöstöä siirtynyt kunnossapito-organisaatiosta tuotanto-organisaatioon ja päinvastoin
- tuotannon kannalta keskeinen osaaminen käynnissäpito-organisaatioon
- keski- ja suurjännitejakelun kunnossapito eriytetään tuotantolaitteiston kunnossapidosta
- sähkö/automaatio-osaajat tuntevat prosessilaitteiston ominaisuudet, säädöt ja käytön paremmin kuin tuotantohenkilöstö
- laatu- ja järjestelmien myötä tuhansia vuosittaisia kalibrointeja
- henkilöstön motivointi
- jatkuva koulutustarve.

Erikoisosaamista, omaa tai palveluyrityksiltä ostettua, käytetään sähkö- ja automaatiokunnossapidon alueella mm. seuraavilla osaamisalueilla:

- radio- ja puhelinjärjestelmät
- TV -valvonta
- rikosilmoitusjärjestelmät
- kulun- ja työajanseurantajärjestelmät
- mikrotietokoneet, niiden ohjelmistot ja oheislaitteet
- toimistolaitteet
- tiedonsiirtotekniikka
- kenttäväylät
- automaatiojärjestelmät, kuten Damic XD
- ohjelmoitavat logiikat (lukuisia valmistajia)
- koneohjaukset
- kenttäinstrumentointi
- yksikkösäätimet
- nosto-ovet, hissit
- ajoneuvot

- vaa'at
- sähkösuodattimet
- taajuusmuuttajat
- tasavirtakäytöt
- servokäytöt
- hydraulikan ohjauslaitteet
- LVI-järjestelmät
- kompressorit ja kylmäkoneet
- kiinteistöautomaatiojärjestelmät
- relesuojaukset
- suur- ja keskijännitekojeistot laitteineen
- jne.

Eri yritysten osalta ostettavat palvelut vaihtelevat riippuen yrityksen toimialasta, omasta osaamisesta, yrityksen ja palveluyritysten keskinäisestä sijainnista ja valitusta toimintastrategiasta. Kunnossapidon palveluyritysten tarjoamat palvelut voivat vaihdella tiettyjen erikoislaitteiden kunnossapidosta koko kunnossapitotoiminnan osaamiseen. Sopimuksien sisällöt ja kestoajat vaihtelevat ja ne voivat sisältää käytettyyystakuita, sakkoja tai bonuksia.

Palvelun sisältö voi olla:

- **Laitehuolto:** tapauskohtainen tilaus
- **Huoltosopimus:** suunnitellut huollot ja vikapäivystys
- **Kunnossapitosopimus:** kokonaisvaltainen vastuu laitteistosta.

## 3.3 Sähkölaitteiden viat

Sähkönjakeluverkon vikatilanteissa on selvittävä esiintyneen vian sijainti ja ominaisuudet sekä analysoitava vian todellinen syy, vioittumismekanismi ja suojalaitteiden toiminta sekä olisiko jollain kunnonvalvontamenetelmällä voitu ennakoida kyseinen vika.

Vikakäsitteet on määriteltävissä seuraavasti:

- **Vika:** Yksiköltä vaaditun toiminnan päätyminen
- **Vioittumismekanismi:** Fysikaalinen, kemiallinen tai muu tapahtumaketju, jonka tuloksena syntyy vika
- **Vioittumistapa:** Eri laitteille ominainen vian olemus, sähkölaitteilla esimerkiksi katkos, oikosulku
- **Yhteisvika:** Usean yksikön vikaantuminen samasta syystä
- **Piilevä vika:** Vika, joka ei paljastu syntyessään ja saattaa ilmetä vasta yksikön toimintaan liittyvissä testeissä tai käyttötilanteen muuttuessa
- **Paljastuva vika:** Vika, joka paljastuu syntyessään
- **Vaarallinen vika:** Piilevä vika, joka heikentää järjestelmän kykyä tarvittaessa suorittaa siltä vaadittu toiminto
- **Turvallinen vika:** Vika, joka syntyessään saa järjestelmässä aikaan muutoksen turvallisuuden kannalta edulliseen suuntaan.

Sähkölaitteiden viat voidaan jakaa vaikutustavan perusteella seuraavasti:

- sähkölaitteen sähköiset/mekaaniset ominaisuudet muuttuvat (sähkölaite vaurioituu tai toiminta loppuu)
- sähkölaitteen vika vaurioittaa toisen sähkölaitteen, käyttölaitteen tai tuotteen
- sähkölaitteen ohjaus toimii väärin, puutteellisesti tai ei ollenkaan
- sähkölaitteen sähköinen suojaus tai turvaratkaisut toimivat tarpeellisesti tai tarpeettomasti.

Vikojen syyt voidaan luokitella seuraavasti:

- **Onnettomuus:** Ulkoisista syistä johdettu törmäys, kastuminen, kemikaaleille altistuminen tms., joka voi aiheuttaa välittömän vian tai olla tapahtuessaan huomaamaton aiheutuksen kuitenkin vian alun.
- **Ylikuormitus:** Kohteelle spesifioitujen suoritusarvojen ylitys, kuten mekaaninen rasitus, lämpötila (ulkoinen, sisäinen), tehonsiirto, jännite, virta, kemialliset pitoisuudet, yliaallot, tärinä, pöly, suola.
- **Korroosio:** Useita erilaisia esiintymismuotoja. (Koskee myös sähkölaitteita).
- **Väsyminen:** Materiaalin väsyminen joko kuormituksen tai lämpötilan vaihtelusta johtuen.
- **Kuluminen:** Seurausta kahden toisiinsa kosketuksissa olevan pinnan liukumisesta toisiinsa nähden, esim. koskettimet.
- **Abraasio:** Pintaa naarmuttaa tai siittää hioo materiaalia pois kappale, jolla on suurempi kovuus.
- **Erosio:** Pintaa kuluttavat suurella nopeudella nesteessä liikkuvat kiinteät partikkelit.
- **Inhimillinen virhe:** Taitamattomuudesta, välinpitämättömyydestä tai tahallisuudesta tuottamuksesta aiheutuva.
- **Komponenttien "vanheneminen":** Kemiallisista, sähköisistä, ym. syistä tapahtuva, esim. kumit, muovit, ym. eristeaineet, paristot, akut.

Sähkölaitteiden viat voidaan jaotella niiden sähköisten ja toiminnallisten ominaisuuksien mukaisesti mm. seuraavasti:

- maasulku (pysyvä tai ohimenevä)
- oikosulku
- katkos
- huono kontakti
- eristysvika
- ylikuormitus
- toimintavirhe (ohjausjärjestelmä, lojikka, ym.)
- käyttövirhe
- suunnitteluvirhe.

Korjaavassa kunnossapidossa on seuraavat tavoitteet, joita kaikkia käytetään yleisesti kunnossapitotoiminnassa:

- **Väliaikainen korjaus:** Tarkoituksena on toimintakatkosajan minimointi.

- **Toimintakyvyn entiselleen palauttava korjaus:** Laitteen korjaus "paikan päällä" tai vikaantuneen laitteen vaihtaminen toimivaan ja vikaantuneen korjaaminen korjausyksikössä, jos se on taloudellisesti kannattavaa.
- **Parantava korjaus:** Tarkoitus on vian toistumisen estäminen esim. suunnitteluvirheen korjauksella.

Esimerkiksi edellä luetelluista tavoitteista sopii vaikka liikuteltavan kuljettimen moottorin syöttökaapelin vaippavaurion korjaus:

- kaapelin vaipan kulumisen korjaaminen väliaikaisesti teippaamalla
- kaapelin uusiminen tai jatkos
- kaapeliasennuksen suojaus uudelleen vaurioitumiselta asennusta muuttamalla.

## 3.4 Sähkölaitteiden eristykset

### 3.4.1 Eristysten vanhenemisilmiöt

Eristykseen kohdistuvat rasitukset vanhentavat sitä käytön aikana. Vanheneminen on sarja palautumattomia muutoksia eristyksessä, joiden vaikutuksesta eristyksen ominaisuudet vähitellen huononevat.

**Vanhentavia tekijöitä** ovat

- lämpötila ja joskus myös sen muutokset (termomekaaniset rasitukset)
- sähkökenttä, yleensä liittyneenä osittaispurkauksiin
- mekaaniset rasitukset
- ympäristöolosuhteet, erit. kosteus
- kemiallisesti vaikuttavat aineet
- ionisoiva säteily (ydinvoimalat).

Vanhentavien rasituksien lisäksi eristykseen kohdistuu aika ajoin **diagnostisia rasituksia**, jotka asettavat eristyksen kestokyvyn koetukselle:

- ylijännitteet
- äkillinen kastuminen
- mekaaniset iskut (esim. sähködynaamiset voimat käynnistyksessä)
- muut mekaaniset rasitukset
- lyhytaikainen ylijäämpötila.

Vanhenemisen tutkiminen on vaikeaa, koska vanheneminen tulee käytössä näkyviin vasta vuosien kuluttua ja eri vanhenemistekijöiden aiheuttama vanheneminen voi riippua muista vanhenemistekijöistä tai niiden aiheuttamista vanhenemistuloksista. Vanhenemistekijät jaetaan seuraavasti:

#### Lämpövanheneminen

Lämpövanheneminen koostuu joukosta kemiallisia (joskus myös fysikaalisia) muutoksia. Näitä ilmiöitä ovat ter-

minen vanheneminen, hapettumisreaktio ja hydrolysoitumisreaktio, jotka määräävät vanhenemisprosessin kulun. Eristyssysteemien lämpövanhenemistä tutkitaan perinteisillä vanhenemiskokeilla, joissa käytetään nostetuja koelämpötiloja. Eristyksen eliniästä tiedetään kokemusperäisesti, että 8-12 °C lämpötilan nousu lyhentää elinajan puoleen. Eristysrakenteet jaetaan lämpöluokkiin (sähkökoneilla A, B, F, H), joille on määritetty eristyksen suurin lämpötila.

#### Sähkövanheneminen

Sähkövanhenemistä aiheuttavat pääasiassa osittaispurkaukset. Sähkövanhenemisen tutkimuksessa saaduilla elinikätuloksilla on varsin suuri hajonta.

Osittaispurkauksilla on havaittu seuraavat vaikutustavat:

- osittaispurkausten aikaansaama mekaaninen kuluminen
- osittaispurkausten välittömästi aiheuttamat reaktiot eristeen pintakerroksessa (ionisaatio, radikaalit)
- varauksenkuljettajien injektoituminen aineeseen tai syntyminen siinä
- osittaispurkaukset aiheuttavat sekundäärisiä pintapurkauksia
- epäsuorat kemialliset vaikutukset, purkaukset synnyttävät ilmassa otsonia ja typpioksidgeja.

#### Mekaaninen vanheneminen

Mekaaninen vanheneminen on usein luonteeltaan lähellä metallien väsymistä. Suurimolekyylisten polymeerien väsymisessä tulevat kuitenkin myös kemialliset reaktiot kuvaan mukaan, koska murtuminen aineessa mikrotasolla voi merkitä myös kemiallisten sidosten katkeilua, mikä johtaa radikaalien muodostumiseen ja uusiin reaktioihin. Eristysten mekaanista vanhenemistä ei ole kovin tarkoin tutkittu.

#### Ympäristön aiheuttamat vanhenemisilmiöt

- hapettuminen ja hydrolyysi-reaktio
- kosteus + kemikaalit
- kemiallisesti aggressiiviset kaasut
- mekaanisesti kuluttavat olosuhteet (esim. hiekka)
- ionisoiva säteily (ydinvoimalat).

#### Yhdistetty vanheneminen

Yksi tai useampi vanhenemistekijä vaikuttaa merkittävästi eristysten elinikään tai eri vanhenemistekijät vaikuttavat toisiinsa kiihdyttävästi.

### 3.4.2 Eristysten kunto

Eristyksille on asetettu vaatimukset:

- jännitekestoisuus (nimellinen ja ylijännitteet)
- lämmönkestoisuus (lyhytaikainen ja

pitkäaikainen, lämpötilojen vaihtelu, pakkaskestävyys)

- mekaaniset ominaisuudet (lujuus, palautuvat ja palautumattomat muodonmuutokset, värinän, sähködynaamisten voimien ja lämpöliikkeiden vaikutukset)
- kosteuden kestävyys
- kemiallinen kestoisuus (hapot, emäkset, liuotteet, voiteluaineet).

Sähköverkossa olevan suurjännitelaitteen eristys ei pysy käytön aikana muuttumattomana, sillä ympäristö- ja sähköiset rasitukset vaikuttavat eristyksen kuntoon. Muuttuminen voi olla joko materiaalin vähittäistä vanhenemistä tai nopeasti etenevää vaurioitumista jonkin erityisen rasituksen vaikutuksesta.

Suurjännitelaitteen odotettavissa olevaan elinikään vaikuttavat:

- laitteen rakenne
- materiaalit ja niiden kestävyys
- valmistus- ja testausmenetelmät
- käyttötapa ja tehdyt huollot
- käyttö- ja ympäristöolosuhteet.

Käytännössä suurjännitelaitteiden käyttö- ja ympäristöolosuhteita ja sähköisiä rasituksia ei voida ennakoita tarkasti. Eristysmateriaalien koostumus voi vaihdella ja ne voivat sisältää haitallisia epäpuhtauksia. Materiaalien pitkäaikaiskestoisuutta ja käyttäytymistä erilaisissa ympäristöolosuhteissa ei aina tunneta. Koska laitteiden vanhenemistä ja ominaisuuksien muuttamista ei voida luotettavasti ennustaa, tarvitaan kunnonvalvontaa.

## 3.5 Vika-analyysi

Sähkönjakeluverkon ja sähkölaitteiden vikatilanteissa on selvitettävä esiintyneen vian sijainti ja ominaisuudet sekä analysoitava vian todellinen syy, vioittumismekanismi ja suojalaitteiden toiminta. Dokumentointi viasta viedään aina kunnossapidon tietojärjestelmään, vakavissa ja jatkotoimenpiteitä aiheuttavissa tapauksissa tehdään erilliset raportit. Todellisen vian syyn tai useiden tekijöiden yhdistelmän perusteella on tehtävä johtopäätökset kunnossapitostrategian onnistumisesta ja mahdollisesti tarvittavista muutoksista. Yksittäisen vian osalta on selvitettävä mahdollisuuksien mukaan:

- vikaantumisen ajankohta
- vian ilmenemistapa
- vian todellinen syy
- vaurion luokittelu
- vaurioitumismekanismien selvittäminen
- olosuhteet ennen vikaa (ympäristö, kuormitus, käyttö, muutokset, huolto)
- onko seurausilmiönä muiden laitteiden vikaantumisia
- laitteen vikahistoria
- korjaustavat.



Vika-analyysin tulokset on laajennettava vastaaviin laitteisiin tai koko toimintamalliin:

- laajennettava kunnossapitotoimet vastaaviin muihin laitteistoihin
- ennakoivan kunnossapidon, huollon ja kunnonvalvonnan toteutus.

## 4. Prosessi- sähköistyksen suunnittelu

### 4.1 Sähköistysprojekti

Toteutettava projekti muodostaa monimutkaisen kokonaisuuden, jossa prosessisähköistyksen suunnittelu on osa toteutettavan projektin monimutkaisesta kokonaisuudesta, johon liittyy useita eri osapuolia:

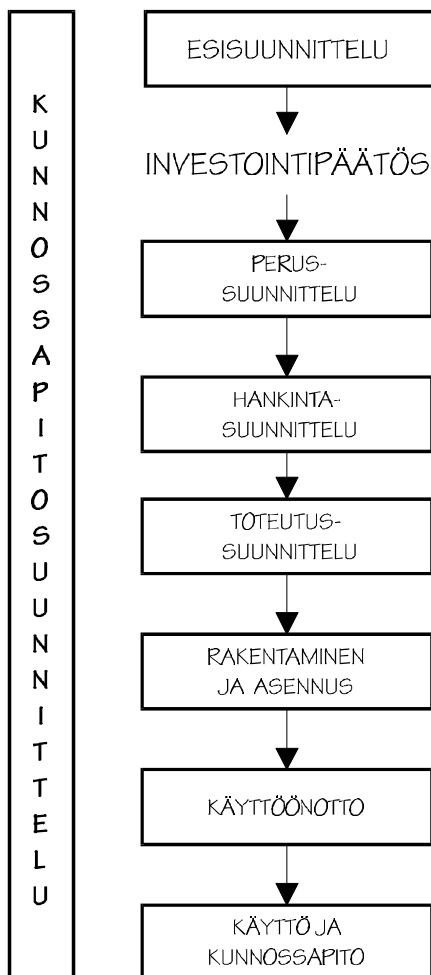
- prosessisuunnittelu
- putkisto- ja laitesuunnittelu
- layout -suunnittelu
- LVI-suunnittelu
- automaatio-suunnittelu
- instrumentointisuunnittelu
- sähkösuunnittelu
- turvallisuussuunnittelu
- rakennussuunnittelu
- käyttö- ja kunnossapitosuunnittelu
- viranomaiset
- ym.

Prosessisähköistykseen liittyviä tehtäviä ja niiden kustannuksia voidaan tarkastella usealta eri näkökannalta. Suunnittelun tarkoituksena on dokumentoida rakentamisen tuloksena syntyvä laitos tai osaprosessi ja siihen liittyvien sähköisten laitteistojen ja järjestelmien toiminta, jolloin näkökantana on laitoksessa toimivat järjestelmät ja niiden sijoittuminen eri laitososiin.

Prosessin sähkösuunnittelun tehtävät voidaan jaotella kuvan 4 mukaisesti, jolloin koko toteutusprojekti sisältää seuraavat vaiheet:

- esisuunnittelu
- perussuunnittelu
- hankintasuunnittelu
- toteutussuunnittelu
- valmistus ja asennustyöt
- käyttöönotto
- käyttö ja kunnossapito
- käytöstä poisto.

Sähköistyksen osuus teollisuuslaitoksen investointiprojektissa on melko pieni, noin 5-15 %. Sähköistys on harvoin määräävässä asemassa projektin kokonaiskeston kannalta. Päälaitehankinnat saattavat olla kriittisiä ja samoin työmaan aikaisen ja laitoksen tarvitseman sähköenergian saatavuus on selvittävä hyvissä ajoin.



Kuva 4. Teollisuuden sähkösuunnittelun vaiheet, joissa kaikissa kunnossapitosuunnittelu on vaikuttamassa.

### 4.2 Sähköistysohjeet ja suositukset

Teollisuuden prosessien sähköistyksen ja automaation suunnittelusta, hankinnasta, asennustavoista, toteutustavoista, käyttöönotoista ja dokumentoinnista on laadittu useita varsin seikkaperäisiä ohjeita alan järjestöjen, suunnittelutoimistojen ja yksittäisten yritysten toimesta.

Eri teollisuuslaitoksien ja samankin teollisuuslaitoksen eri osien sähköistys on vuosien kuluessa saatettu toteuttaa varsin erilaisilla tavoilla. Useat suuret prosessiteollisuuden yritykset ovat laatineet omat sähköistysohjeensa, joilla pyritään yhtenäistämään pro-

sessien sähköistyksen periaatteita ja toteutusta.

Teollisuuslaitoksen projektikäsiin kuuluvat sähköistyksen osalta (yritys-kohtainen tai esim. ST -teollisuuskan- sion mukainen):

- yleiset projektinohjausdokumentit ja projektiohjeet
- dokumentti- ja tietojenvaihtoluettelot
- projektiaikataulut
- projektin loppuraportti
- ohje sähkölaitteiden tunnus- ja merkintäjärjestelmistä
- sähkölaitteiden valintasuositukset
- päälaitetoimitusten sähköistysohje sisältäen konetoimitusten sähköistysohjeet, tietojenvaihtoaikataulun ja toimituslaajuuserittelyn.

### 4.3 Esisuunnittelu

Esisuunnittelun (E1) tarkoituksena on luoda edellytykset investointipäätök- selle. Teollisuuslaitoksen prosessin sähköistyksen osalta on selvittävä:

- sähköverkoston nykytilanteen kar- toitus ja selvitys
- kuormatietojen selvittäminen
- pääjakelujärjestelmän esisuunnitte- lu sisältäen verkostoselvitykset ja alustavat yleiskaaviovaihtoehdot
- tilantarve ja layout -suunnittelun lähtötiedot
- kustannusarvioiden laatiminen ha- lutuille vaihtoehdoille.

Lopputuloksena saadaan investointi- projektin haluttujen vaihtoehtojen ko- konaiskustannukset. Tällöin saatetaan vielä tarkentaa prosessin kustannus- arviota mahdollisten muutostarpeiden tai uusien toteutusvaihtoehtojen mu- kaisesti ennen lopullista investointi- päätöstä. Käytännössä suurin osa in- vestointiehdotuksista jää tähän vai- heeseen ja vain pieni osa pääsee to- teutukseen.

### 4.4 Perussuunnittelu

Perussuunnittelussa (E2-E3) laadi- taan dokumentit, joita tarvitaan suori- tettavien sähkölaitehankintojen ja -asennusten teknisissä määrittelyissä. Lähtötietoina ovat esisuunnittelun do- kumentit sekä prosessin päälaite- suunnittelijoilta ja muilta suunnittelijoilta saatavat tiedot.

Perussuunnitteluun sisältyvät seuraa- vat tehtävät:

- yleinen perussuunnittelu (piirustus- luettelo, mitoituslähtötiedot ja erilli- set selvitykset)
- pääjakelujärjestelmän yleissuunnit- telu (sähkönjakelun yleiskaaviot, kaapelikartat, sähkölaitosautoma- tion toteutus)

- sijoitus- ja kaapelointisuunnittelu (sähkölaitesijoitus- ja kaapelihyllyreittipiirustukset, maadoituskaaviot ja -piirustukset, rakennustekniset tiedot ja vaatimukset)
- suur- ja välijännitejakelun suunnittelu (kojeistojen pääkaaviot ja sijoituspiirustukset, virtatiet, toisiojärjestelmien yleis- ja pääkaaviot, tekniset erittelyt)
- pienjännitejakelun suunnittelu (yleiskaaviot, pääkaaviot, tyyppikaaviot, kuormaluettelot sisältäen moottori-käytöt, sähkölämmitykset, sähkösaatot, valaistus- ja huoltosähköverkon sekä muut kuormat ja loistehon kompensoinnin, sähkölaitteiden sijoituspiirustukset, tekniset erittelyt, keskus-ten hankintaerittelyt)
- apusähköjärjestelmien suunnittelu (yleis- ja pääkaaviot, laiteluettelot sekä teknisten tietojen lomakkeet ja tekniset erittelyt: AC-, DC-, UPS- ja varavoimajärjestelmistä)
- pyörivien sähkökoneiden määrittelyt (moottoriluettelot, tekniset erittelyt ja teknisten tietojen lomakkeet: oikosulkumoottorit <1000 V, oikosulkumoottorit >1000 V, tasasähkömoottorit, tahtimoottorit, tahtigeneraattorit, muut sähkökoneet)
- säädettävien käyttöjen määrittelyt (laiteluettelot erillis- ja ryhmäkäytöistä, teknisten tietojen lomakkeet ja tekniset erittelyt: taajuusmuuttajat, pehmökäynnistimet, ryhmäkäytöt DC/AC)
- ohjausjärjestelmien suunnittelu (järjestelmän periaatekaaviot, peruslogiikkakaaviot, I/O -luettelot, kaaviönäytöt, tekniset erittelyt)
- asennusurakan suunnittelu (materiaalimääräluettelot, asennusohjeet, asennustyyppiirustukset, tekniset erittelyt, laitteet, luettelot).

## 4.5 Hankintasuunnittelu

Hankintasuunnitteluvaiheessa (E4) laaditaan päätetyn hankintatavan (kokonaishankinta, erillishankinnat) mukaisesti jaoteltuna sähkölaitteiden ja asennusten tarjouspyynnöt. Tarjouspyyntöihin liitetään kaupalliset dokumentit, jotka on laadittu yhteistyössä projektin osto-organisaation kanssa. Yksityiskohtaisten toimitusrajojen selkeyttämiseksi ovat erilliset hankintarajakaaviot suositeltavia.

Teollisuuden kone- ja laitehankinta-asiakirjojen laadinnasta on standardi PSK 2601, joka sisältää laadintaohjeen lisäksi mallidokumentit:

- hankintasopimus
- asennustyömaan yleisohje
- kone- ja laitetekniset perustiedot
- teknisten asiakirjojen luovutusaikataulu
- asennusjärjestelysopimus.

Hankintasuunnittelu sisältää:

### 1. Yleinen hankintasuunnittelu

- toimittajaluettelot (eri laitteille, komponenteille, asennuksille)
- tarjouspyyntöasiapaperit
- yleiset tarjousohjeet
- sopimusteksti.

### 2. Tarjouspyynnön liitteet

- hankintaerittelyt
- hankintarajakaaviot
- yksikköhintaluettelot
- asennusjärjestelysopimus.

### 3. Tarjousten käsittely

- tarjousten kaupalliset ja tekniset dokumentit
- tarjousyhteenvedot ja tilaussuositukset
- kaupalliset ja tekniset vertailutaulukot.

### 4. Sopimusliitteet

- suorituskyvytakuut
- toimitusraja ja laajuuserittelyt
- tekniset erittelyt
- laite- ja komponenttisuositukset
- asiakirjaluetelot ja tietojenvaihtoai-kataulut
- tarkastus- ja laadunvarmistusohjeet ja -määräykset
- yleiset hankintamääräykset
- tavaroiden lähetysohjeet
- toimitus- ja asennusaikataulut
- yksikköhinnat ja optiot.

## 4.6 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheessa laaditaan dokumentit, joita tarvitaan sähkölaitteiden valmistusta ja asennusta varten. Pääosa toteutussuunnittelun yhteydessä laadituista dokumenteista muodostaa käyttöönoton jälkeen kunnossapitodokumentoinnin, jonka vaatimukset tulee asettaa etusijalle dokumentointitapoja päätettäessä.

Toteutussuunnittelu osa-alueet ja tuotetut dokumentit ovat seuraavat:

### 1. Yleinen toteutussuunnittelu

- piirustusluettelo
- toimitaselostukset.

### 2. Sijoitussuunnittelu

- prosessitilojen sähkölaitteiden sijoituspiirustukset
- sähkötilojen sähkölaitteiden sijoituspiirustukset
- muut sähkölaitteiden sijoituspiirustukset
- sähkötilojen kaapelihyllypiirustukset
- muiden tilojen kaapelihyllypiirustukset
- kaapelihyllyjen asennusdetaljipiirustukset
- virtatiet
- perustus- ja aukotuspiirustukset.

### 3. Kaapelointisuunnittelu

- kaapeliluettelot
- asennusdetaljipiirustukset.

### 4. Suur- ja välijännitejakelun suunnittelu

- kojeistojen pääkaaviot
- kennokohtaiset piirikaaviot
- järjestelmäkohtaiset piirikaaviot
- lukitus- ja logiikkakaaviot
- sisäiset johdotuskaaviot ja -taulukot
- ulkoiset johdotuskaaviot ja -taulukot
- maadoituspiirustukset
- releasettelukaaviot
- kojeistojen mitta- ja laitesijoituspiirustukset
- kojeiden ja laitteiden mitta- ja laitesijoituspiirustukset
- kaapeliluettelot
- laite- ja kojeluettelot
- osaluettelot
- kilpiluetelot.

### 5. Pienjännitejakelun piirisuunnittelu

- kojeistojen väliset lukituskaaviot
- keskus- ja syöttökenttien piirikaaviot
- keskuslähtöjen johdotus- ja piirikaaviot
- muut johdotus- ja piirikaaviot, kuten valaistus, sähkösaatot,...
- johdotustaulukot
- maadoituskaaviot
- kojeistojen kokoonpanopiirustukset
- kojeiden ja laitteiden mitta- ja laitesijoituspiirustukset
- keskuslähtöluettelot
- kojeluettelot
- kilpiluetelot.

### 6. Kompensointi ja suodatus

- suur- ja välijännitekondensaattorit ja yliaaltosuotimet
- pienjännitekondensaattorit ja yliaaltosuotimet.

### 7. Pyörivät sähkökoneet

- moottoriluettelot
- laiteluettelot
- mitta- ja kokoonpanopiirustukset
- kytkentäkaaviot.

### 8. Säädettävät käytöt

- laiteluettelot
- mitta- ja kokoonpanopiirustukset
- säätöpiirikaaviot
- pääpiirikaaviot
- liitäntäkaaviot
- johdotustaulukot.

### 9. Ohjausjärjestelmän suunnittelu

- ohjauskohde- ja valvontapisteluettelot
- yksityiskohtaiset logiikkakaaviot
- ohjelmiston rakennekaaviot
- piirikaaviot
- tyyppijohdotuskaaviot
- kaapeli- ja johdotusluettelot
- maadoituskaaviot
- kokoonpano-, rakenne- ja kalustus-kuvat
- laite- ja materiaalluettelot
- kilpiluetelot
- raportit ja tallenteet.

## 10. Asennusurakka

- yleiset asennusohjeet
- merkintäohjeet
- materiaaliuettelot
- kaapeliluettelot
- kytkentäpiirustukset
- asennusdetaljiirustukset.

## 4.7 Kunnossapito-suunnittelu

Teollisuuslaitoksen tulevan kunnossapidon huomiointi perus- ja toteutus-suunnittelussa sekä hankintojen toteutuksessa:

- huoltojärjestelmä
- käyttövarmuussuunnittelu
- kunnossapidon hankinnat
- kunnossapidon vaatimukset laitehankinnoille
- kunnossapidon toimitusten valvonta
- projektinaikaisen tiedon dokumentointi.

Kunnossapidon suunnittelu jakautuu käyvän tehtaan osalta osa-alueisiin:

- käynnin aikainen toiminta
- seisokkien aikainen toiminta
- käyttövarmuussuunnittelu
- laatu
- kunnossapitomenetelmät
- kustannusseuranta.

Käyttövarmuussuunnittelu sisältää:

- järjestelmien käyttövarmuusvaatimukset
- huollon periaatteet
- käyttövarmuusanalyysit
- suunnittelukatselmuksot
- käyttövarmuustestit.

### Konedirektiivi

Konedirektiivi koskee koneita ja turvakomponentteja. Koneita ovat:

- yksittäinen, perusmääritelmän mukainen itsenäiseen toimintaan kykenevä kone
- konelinja tai koneyhdistelmä, joka on järjestetty ja ohjattu toimimaan yhtenä kokonaisuutena (esim. paperikone)
- loppukäyttäjän toiseen koneeseen kytkettävissä oleva vaihdettava laite, jos ei ole kysymys varaosasta tai työkalusta.

Turvakomponenteilla tarkoitetaan käytännössä mm. koneiden turvalaitteita ja suojuksia, joita on saatavilla erillisinä tuotteina. Konedirektiivissä ja konenäköyksessä mainitaan erikseen tietyt koneet, joita määräykset eivät koske. Samoin konedirektiivi ei koske koneita, joihin liittyvä vaara on pääasiassa sähköstä johtuva. Tällaisten koneiden katsotaan olevan sähkölaitteita ja niihin sovelletaan pienjännitedirektiiviä myös mahdollisten mekaanisten vaarojen osalta.

Pääosalle koneista ja turvakomponenteista riittää, että koneen valmistaja huolehtii direktiivin, päätösten ja standardien mukaisten vaatimusten täyttämistä. Tämä osoitetaan valmistajan laatimalla vaatimustenmukaisuusvaikutuksella ja kiinnittämällä koneeseen CE -merkintä.

Koneturvallisuudirektiivin vaatimukset voidaan täyttää noudattamalla kyseistä konetta tai koneryhmää koskevaa standardia. Kaikille koneille niitä ei vielä ole ja tällöin on noudatettava yleisten koneturvallisuusstandardien menettelyä turvallisuuden perusstandardien, turvallisuusominaisuuksien, suojalaitestandardien ja riskien arvioinnin mukaisesti.

### Sähköturvallisuus

Sähköturvallisuusmääräykset ja niiden antamistapa ovat muuttuneet tällä vuosikymmenellä. Vuonna 1996 voimaan tulleen sähköturvallisuuslain mukaisesti sitovia sähköturvallisuutta koskevia määräyksiä annetaan lain ja asetusten lisäksi vain ministeriön päätöksellä. Ministeriön päätöksiin kirjaetaan lähinnä vain oleelliset turvallisuusvaatimukset. Teknisiltä ratkaisuilta edellytettävä turvallisuustaso määritellään enenevässä määrin alan standardeilla.

Aikaisemmin koneiden sähköasennuksissa sovellettiin yleisesti rakennussähköistuksen normeja. Nykyisin koneiden sähkölaitteista on käytettävissä laajeneva, melko kattava standardisarja. Niissä on esitetty ohjeet ja menettelytavat sähköisten ohjausjärjestelmien rakentamiselle ja tavoitteena on nimenomaan koneen turvallinen toiminta.

Rakennussähköistykseen liittyvien viranomaistarkastuksien tilalle ovat suu-rehkojen asennusten osalla tulleet varmennustarkastukset, joita saavat suorittaa kaupalliset tarkastuselimet. Pienten asennusten osalla riittää sähköurakoitsijan oma käyttöönottotarkastus ja siitä laadittu käyttöönottotarkastuspöytäkirja.

Sähkölaitteiden ja jakelujärjestelmien suojuksessa on huomioitava:

- takuut, standardit ja lainsäädäntö
- materiaalivalinnat
- ympäristö- ja käyttöolosuhteet
- kosketusjännitesuojaukset
- oikosulkukestoisuus
- maasulkusuojaus
- vikavirtasuojaukset
- ylikuormitus suojaus
- ohjauksien selkeä yksikäsitteinen toteutus
- teknillinen dokumentointi
- käyttöönottotarkastukset
- valmistajan edellyttämät huoltotoimenpiteet.

## 5. Tietojärjestelmät kunnossapidon perustana

Kunnossapidon tietojärjestelmä on tiedonhallintajärjestelmä, jonka avulla käsitellään kunnossapitoon, materiaalin ohjaukseen, kustannuslaskentaan ja resurssien käyttöön liittyviä asioita. Sen avulla tuetaan tuotantovälineiden käyttöä, huoltoa, korjausta, ohjausta ja seuranta. Tavoitteena tietojärjestelmien toteutuksessa on, että samaa suunnittelu-, tuote- tai kunnossapitotietoa ei syötetä tietojärjestelmiin kuin kertaalleen.

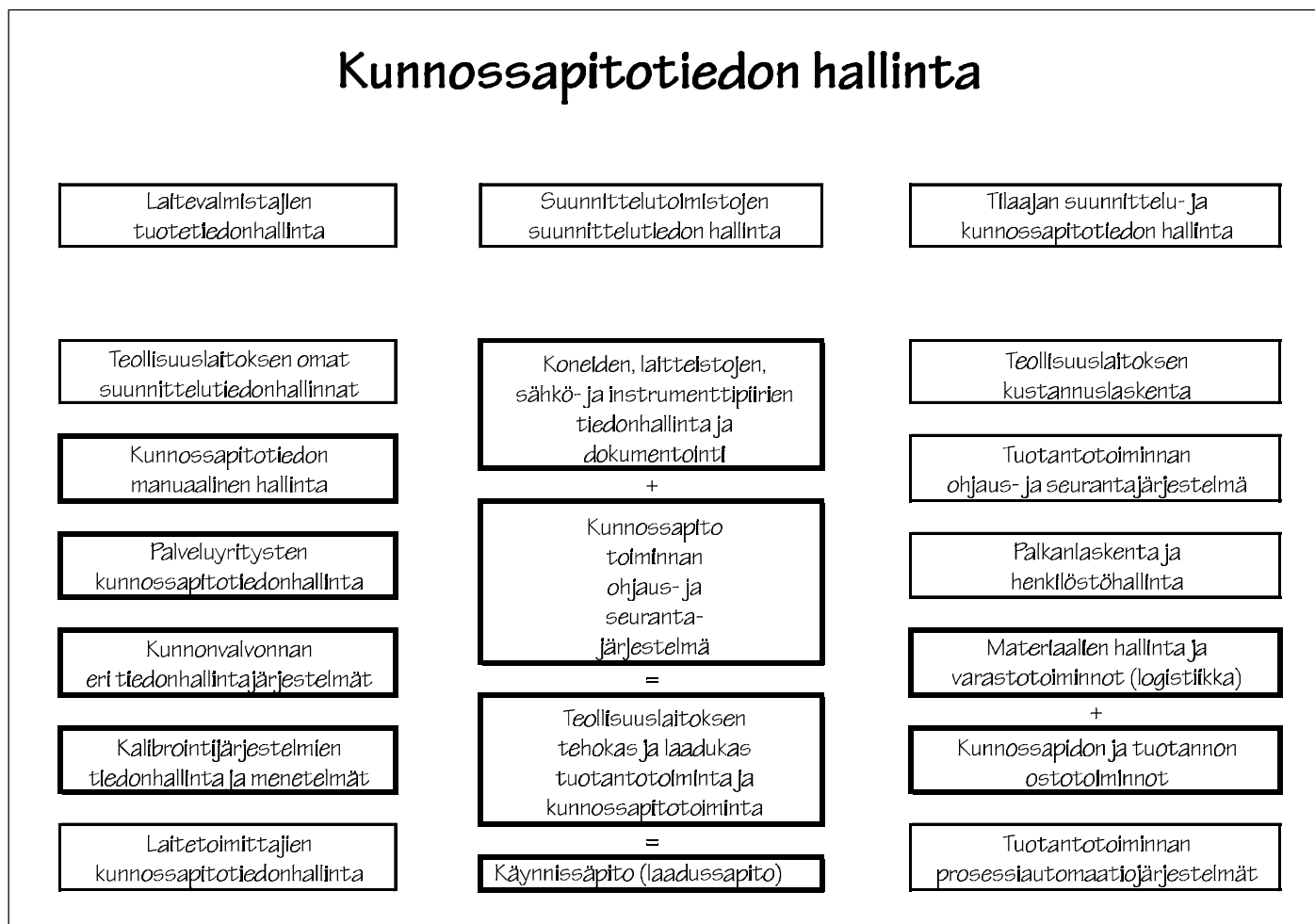
Kunnossapitotoiminnan toteuttamiseen, ohjaukseen ja seurantaan tarvitaan erilaisia tietojärjestelmiä ja tietokantoja. Ne voidaan toteuttaa manuaalisesti tai tietokoneilla yhdellä tai useammalla järjestelmällä. Käytännössä kunnossapitotoiminnan toteutuksessa käytetään aina useita eri tietojärjestelmiä, joista varsinaisen kunnossapidon toimintaa ohjaava järjestelmä on kunnossapidon tietojärjestelmä, kuva 5. Tällöin on tarkkaan mietittävä mitä tietoja ja missä muodossa siirretään eri järjestelmien välillä ja missä järjestelmässä tietoja ylläpidetään.

### 5.1 Kunnossapidon toiminnan ohjausjärjestelmä

Kunnossapidon tietojärjestelmät ovat perinteisesti olleet erilaisia ns. manuaalisia kortistoja ja lomakejärjestelmiä. Niiden käyttö on ollut hankalaa ja aikaavievää, tiedonkeruu on jäänyt satumanvaraiseksi ja hyväksikäyttö on ollut työlästä. Kuitenkin manuaalisia lomakejärjestelmiä on edelleen käytössä yksittäisten laitteiden tai laitteistojen kunnossapidossa. Tästä vuosikymmenestä on tullut varsinainen ATK-pohjaisten kunnossapidon tietojärjestelmien läpimurtokausi johtuen tietokoneiden (mikrotietokoneiden) ja ohjelmistotyökalujen valtavasta kehitymisestä.

1990-luvun lopulle tultaessa tietojärjestelmät ovat kehittyneissä helpokäyttöisiksi graafisen tai multimedialii-tynnän ohjelmistosovelluksiksi. Korjaus- ja huoltokohteet, laitetiedot, aikataulut, varaosatieidot, vikahistoriat sekä työsuunnitelmat työ- ja turvallisuusohjeineen ovat kunnossapitajan nähtävillä verkkoon liitetyillä kannettavalla tai kiinteällä työasemalla. Tietojärjestelmät kertovat tekstin, kaavioiden, piirus-

# Kunnossapitotiedon hallinta



Kuva 5. Kunnossapitotoimintaan vaikuttavat tietojärjestelmät ja toiminnot. Vahvennettuina on merkitty ne tietojärjestelmät ja toiminnot, jotka voivat sisältyä laajimpiin nykyisiin käytössä oleviin kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmiin.

tuksien, äänen, animaation ja erilaisten videokuvien avulla, kuinka vika paikallistetaan ja miten korjaukset suoritetaan. Järjestelmiin lisätään joustava yhteys maailmanlaajuisiin tietoverkkoihin, taloushallinnon laskentajärjestelmiin sekä kalibrointiraportit, analysointien tulosteita ja prosessihäiriöiden analysointi liitetään samaan tietokantaan.

## Kunnossapitotöiden määrittely

Määriteltäessä kunnossapitotöitä tietojärjestelmään on syytä eritellä yritykseen tehtävät kunnossapitotyöt. Tietojärjestelmään on erilaisille koneille, laitteille ja sähköisille piireille määriteltävä niille tehtävät ennakkohuollot, kunnonvalvonnat, kalibroinnit, tms. Ennakkohuoltotöiden, vikojen korjauksen ja suunniteltavien töiden tekemiseksi tietojärjestelmään on määriteltävä valmiiksi eri kuormitusryhmät, kuten eri alan töitä suorittavat osastot henkilökuntaryhmineen tai suorittavine henkilöineen ja töiden tilaus- ja hyväksyntämenettelyt. On tiedettävä kuka kirjaa

eri tyyppiset tehdyt työt järjestelmään; asentaja, työnjohtaja, työn suunnittelija, valvoja, tilaaja, oma henkilökunta vai palveluyrityksen henkilökunta.

Esimerkiksi suuressa metsäteollisuuden yrityksessä voi olla kymmeniä tuhansia yksilöityjä laitteita ja koneita sekä kymmeniä tuhansia yksilöityjä sähköpiirejä. Samoin vuosittain tehdään tuhansia työtilauksia ja vikailmoituksia kunnossapidon eri osapuolille, kuten käyttö, kone, sähkö, automaatio, instrumentointi, LVI, keskuskorjaamot, eri palveluyritykset ja huoltosopimukset. Töiden kulku tietojärjestelmässä vaihtelee myös yrityskohtaisesti.

Ennakkohuoltotöiden määrittelyssä on kiinnitettävä huomiota:

- mitä huoltoja laitetoimittajat ovat suositelleet tehtäväksi ja milloin
- mitä varaosia on suositeltu, mitä on varastossa ja mitä varaosia on tai olisi tarvittu
- mikä on laitteen historia eli mitä sille tähän mennessä on tehty
- miten omat aikaisemmat vika- ja häi-

riökokemukset ja kunnonvalvonnan mittaukset ja analyysit vaikuttavat laitteiden ennakkohuoltotöiden määrittelyyn ja työohjeisiin ja päinvastoin.

- tekeekö huoltotyöt ja kunnonvalvonnan oma henkilökunta, muuttuko organisaatio vai tekeekö työn oma tai ulkopuolinen palveluyritys
- missä määrin huolto-ohjeita, piirustuksia kannattaa siirtää sähköiseen muotoon.

Kunnonvalvonnan määrittelyssä on kiinnitettävä huomiota:

- miten eri kunnonvalvontamenetelmien - kuten värähtelymittaukset ja lämpökuvaus - mittaustulokset ja vika-analyysit tallennetaan ja missä määrin informaatiota siirretään tai kirjataan kunnossapidon tietojärjestelmään
- kunnonvalvonnan informaation vaikutus ennakkohuoltojen toteutukseen, työtilauksiin, seisokkeihin ja laitehistoriaan
- mitä tietoja kunnonvalvonnan järjestelmään siirretään kunnossapidon tietojärjestelmästä.

Kalibroinnin osalta on määriteltävä missä määrin kalibrointi-informaatiota siirretään ja tallennetaan kunnossapidon tietojärjestelmään. Mikä on informaation siirtotapa ja miten historiatiedot tallennetaan. Kunnossapidon tietojärjestelmästä siirretään kalibroivien laitteiden perustiedot kalibroinnin tietojärjestelmään.

Tilattavien töiden esittämisessä on huomioitava:

- tilatun työn vaatimukset: työnsuunnittelu, aikataulusuunnittelu, työmääräimet, henkilöresurssit, tilattavat tarvikkeet ja varaosat, tarjouspyynnöt
- töiden seuranta ja ohjaus siirrettävä kokonaisuudessaan tietojärjestelmään, jolloin kaikkien kuormitusryhmien, henkilöiden, tiimien tai osastojen töitä on helppo hallita, esim. instrumenttikorjaamon työnjohtajalla ja kaikilla asentajilla on oma kuormitusryhmä
- kustannusseurannan ja tunnusluku- ja laskennan periaatteet
- miten kunnonvalvonnan tai ennakkohuollon informaatio muutetaan kunnossapidon tietojärjestelmän viikkilomituksiksi tai työtilauksiksi
- korjaavan kunnossapidon viikkoraporttien täydentäminen, esim. väliaikaisesta korjauksesta pysyvään korjaukseen, vikatapauksen laajentaminen muidenkin vastaavien laitteiden tarkastukseen, muuttamiseen tai ennalta ehkäisyyn.

## 5.2 Suunnittelun tietojärjestelmät ja CAD

Sähkösuunnittelun tarkoituksena on tuottaa dokumentit sähköistykseen kaikkien eri komponenttien valmistamista, asentamista, käyttöönottoa, käyttöä ja kunnossapitoa varten.

Sähkösuunnittelujärjestelmän tavoitteena on automatisoida ja tehostaa suunnittelutyötä sähkösuunnittelussa. Järjestelmän avulla vähennetään virheitä, parannetaan tuottavuutta, lyhennetään projektien suunnittelu-aikaa ja lisätään suunnittelukapasiteettiä merkittävästi. Suunnitteluresurssit saadaan tehokkaampaan käyttöön, kun toistuvaa rutiinomaista työtä automatisoidaan. Järjestelmä tukee suunnittelun ohella myös myyntiä.

Toiminnoiltaan sähkösuunnittelujärjestelmä voidaan jakaa kolmeen tasoon:

- **Systemisuunnittelu:** ratkaistaan kokonaisuus ja siihen liittyvät määrittelyt.
- **Sovellussuunnittelu:** kokonaisuuden suunnittelu osin eri sovelluksilla.
- **Dokumenttien tuottaminen:** kaikkien toteutuksen vaatimien dokumenttien tuottaminen.

Käytännössä sähkösuunnittelujärjestelmä:

- on integroitu ohjelmisto- ja laitekokonaisuus,
- sisältää graafiset suunnitteluvälineet,
- tuottaa kaikki sähkösuunnittelun dokumentit,
- sisältää suunnittelun tiedonhallinnan,
- mahdollista liitännät toisiin järjestelmiin.

Suunnittelun lopputuotteena saadaan projektin lopullinen dokumentointi. Asennusvaiheessa ja käyttöönotossa dokumentointiin tehdään tarvittavat muutokset. Tämän jälkeen suunnittelun dokumentit ovat kunnossapidon ja käytön dokumentteja.

Vastaavasti kone- ja laitetoimittajien tuotetiedon hallinnan järjestelmien ja/ tai cad-suunnittelujärjestelmien dokumenteista ja tietokannoista tulostetaan kunnossapidon dokumentointi. Tyypillisiä dokumentteja ovat:

- yleiskaaviot
- lopulliset johdotus- ja piirikaaviot
- johdotustaulukot
- kaapeliluettelot
- piirustusluettelot
- koje- ja laiteluettelot
- järjestelmän asennus-, huolto- ja käyttöohjeet.

## 5.3 Muut tietojärjestelmät

Muut tietojärjestelmät, jotka liittyvät tai voivat liittyä kunnossapidon tietojärjestelmään ovat mm. palkanlaskenta, työajan seuranta, kustannusseuranta, useat erilaiset suunnittelun tietojärjestelmät, eri valmistajien tuotetiedonhallintajärjestelmät, eri kunnonvalvonnan menetelmiin, kuten värähtelymittausjärjestelmän tietokanta, lämpökuvaukset, öljyanalyysit, ostotoiminnan tietojärjestelmä, varastotoimintojen tietojärjestelmä, mittalaitteiden kalibrointijärjestelmät, prosessiautomaation eri järjestelmät, piirustusrekisterit ja arkistot, laitteistojen oma vikadiagnostiikka.

Kunnonvalvonnan eri tietojärjestelmien ominaisuuksissa on huomioitava miten ja mitä laitetietoja kunnossapidon tietojärjestelmästä siirretään kunnonvalvonnan järjestelmään ja päinvastoin. Tarkoituksenmukaista on siirtää tarvittavat laitetiedot kunnossapidon tietojärjestelmästä sähköisessä muodossa. Toisaalta mahdollisimman kattava informaatio vikojen kehittymisestä tulee saada kunnossapidon tietojärjestelmään.

Kunnonvalvonnan tietojärjestelmät ja tietokanta voivat olla yhteisesti käytävissä tietoverkossa tai yhdellä mik-

rolla. Tällöin on harkittava mitä tietoja ja miten ennakkohuollon tekijä tai vian korjaaja työtilanteessa saa.

Yleisesti tietokantoja, kunnonseurannan ja diagnostiikan ohjelmistoja on käytössä värähtelymittauksissa, lämpökuvauksissa ja eri valmistajien laitehuollossa. Tietokantoihin tallennetaan eri ajanhetkien mittaustulokset, mittaustapahtumiin voidaan liittää hälytysrajoja ja ohjelmiston avulla voidaan diagnosoida mittaustuloksia.

Laatujärjestelmien vaatimuksesta mittalaitteiden kalibroinnit ovat lisääntyneet ja niiden dokumentointiin on kiinnitetty paljon huomiota. Eri valmistajilla on omia kalibrointiohjelmistoja, joilla voidaan hoitaa mittalaitteiden kalibrointi. Näihin kalibrointijärjestelmiin voidaan siirtää informaatio mittalaitteiden ja instrumenttipiirien ominaisuuksista. On tapauskohtaista missä määrin kalibrointituloksia ja muuta informaatiota siirretään ja tallennetaan kunnossapidon tietojärjestelmään.

## 6. Ennakoiva kunnossapito

Ennakoivan kunnossapito on kokenut merkittäviä kehitysaskelaita viimeisten vuosikymmenien aikana.

Ennakoivan kunnossapitotoiminnan suunnittelun ja toteutuksen tavoitteet ovat:

- korkea käytettävyyttä
- hyvä työturvallisuus
- tarkasti määritelty ja selkeä huolto-ohjelma
- huoltojen valvonnan toteutus mahdollisimman yksinkertaisesti
- oikein valitut kunnonvalvontamenetelmät
- turhan työn välttäminen
- hallitut riskit.

### 6.1 Ennakkohuolto

Ennakkohuollolla laitteiden toimintakuntoa pyritään pitämään niille suunnitellulla tasolla. Laajemmin ymmärtäen ennakkohuolto sisältää laitteiston toiminnan optimoinnin, jolloin tavoitteena on prosessin toiminnan ylläpito ja optimointi. Ennakkohuollon toimenpiteet ovat ennalta suunniteltuja huolto-, toimenpide- ja työturvallisuusohjeineen ja ne tapahtuvat toistuvasti palautteen mukaan kehittyen. Toimenpiteiden nimityksinä työkohteesta tai työn sisällystä riippuen käytetään ennakkohuolto, määräaikaishuolto, -tarkastus, kalibrointi tai koestus.

Töiden toteutuksen onnistuminen riippuu suunnittelun onnistumisesta ja henkilöstön motivoinnista. Ennakkohuoltotyöt voivat toistua varsin samantyyppisissä ja tällöin huomataan yksilöllisesti eri henkilöiden soveltuvan paremmin suoritustarkkuutta vaativiin ennakkohuoltotöihin. Kun töiden suunnittelu ja toteutus perustuu kunnossapidon tietojärjestelmään ja töiden määrittelyssä on suorittajaporras ollut mukana, paranevat tulokset. Työohjeiden laatimiseen on ehdottomasti saatava mukaan niitä pitkän aikaa tehneitä ja ohjeet tulisi tarkastaa ennakkohuoltotöitä tehtäessä. Usein tietojärjestelmän käyttöönoton yhteydessä järjestelmään syötetään ennakkohuoltotöitä, niiden ohjeita ja ajoituksia varsin puutteellisinä ja virheellisinä. Tällöin tulisi korostaa suorittajaportaan vaikutusmahdollisuuksia ohjeiden ja ajoituksen muuttamiseen.

Tietojärjestelmän tulisi olla sellainen, että suoritetuista ennakkohuoltotöistä saataisiin monipuolinen palaute mahdollisimman helposti. Kunnossapito henkilöstölle, joka useimmissa yrityksissä on varsin iäkäästä, ei useinkaan kirjallisen palautteen antaminen ole helppoa. Palautteen antamista voidaan helpottaa valmiilla koodeilla, vaihtoehdoilla, yms.

Sähkölaitteiden ja järjestelmien koulutukseen joudutaan käyttämään varsin paljon aikaa, jotta häiriöajat saataisiin minimoitua ja järjestelmien ominaisuudet hyödynnettyä. Laitteistokoulutusta tuleekin antaa sekä käyttö- että kunnossapitohenkilöstölle. Koulutuksen laajuus ja yksityiskohtaisuus riippuu järjestelmien lukumäärästä ja kriittisyydestä tuotannon kannalta, kaikkien laitteiden asiantuntijoita ei yksittäiselle teollisuuslaitokselle voi kouluttaa. Tällöin on syytä turvautua laitetoimittajan tai palveluyrityksen kyseisen laitteen huoltoon perehtyneeseen ja koulutettuun henkilöstöön.

Teollisuuslaitosten oma henkilöstö keskittyy nykyisin yhä enemmän prosessin käynnissäpitoon ja ennakkohuoltotöitä annetaan alan palveluyritysten tehtäväksi. Tällöin on huolehdittava siitä, että ulkopuolisten tekemä ennakkohuolto on toimenpiteineen nähtävissä yrityksen kunnossapidon tietojärjestelmässä. Oman henkilöstön on tiedettävä mitä toimenpiteitä muut ovat laitteille tehneet ja milloin.

## 6.3 Kunnonvalvonta

Sähkö- ja automaatiolaitteiden kunnonvalvonnalla tarkoitetaan kaikkia niitä laitteen käyttöönottoa edeltäviä ja käytön aikaisia toimenpiteitä, joilla saadaan informaatiota valvottavan laitteen tai järjestelmän sen hetkisestä

Taulukko 1. Sähkölaitteiden eristysten vanhenemismekanismi ja sopivia kunnonvalvontamenetelmiä.

Komponentti	Vanhenemismekanismi tai vika	Diagnosointimenetelmä
Muuntaja	öljypaperieristyksen vanheneminen eristyksen kostuminen  paperin vanheneminen sisäisellä osittaispurkauksella	öljyn kaasuanalyysi öljyn analysointi, öljyn vesipitoisuus, tan $\delta$ -mittaus furfuraalitanalyysi osittaispurkausmittaus, akustinen emissio
Mittamuuntaja	öljypaperieristyksen vanheneminen tai sisäinen vika osittaispurkauksia	öljyn kaasuanalyysi tan $\delta$ -mittaus osittaispurkausmittaus
GIS-laitokset	osittaispurkauksia	akustinen osittaispurkausmittaus, UHF-mittaus kaasuanalyysi
Metallioskulaatio	varistorimateriaalin vanheneminen	vuotovirtamittaus
Kaapeli	sähköpuut	osittaispurkausmittaukset
Läpivientieristys	eristyksen kostuminen osittaispurkauksia	tan $\delta$ -mittaus osittaispurkausmittaukset
Kondensaattoriparisto	osittaispurkauksia	tan $\delta$ -mittaus, osittaispurkausmittaukset
Eristin	materiaalin väsyminen, halkeamat	ultraäänimittaus
Eroin	huonot kontaktit	lämpökuvaus, häiriöjännitteen mittaus
Kytkeinjälitteet	Eristesäiliön vuoto mekaaniset viat, koskettimien kuluminen	SFG-kaasun palne, öljynpinta Mekaanisen toimintakunnon tarkastus (toiminta-ajat, kosketinpalheet, tms)

kunnosta. Tätä tietoa käytetään laitteen kunnonseurannassa ja tulevan huoltotarpeen ja korjausten suunnittelussa.

Kunnonvalvontamenetelmät voidaan jakaa aistinvaraisiin tarkistuksiin ja mittaaviin toimenpiteisiin perustuvaan kunnonvalvontaan. Mittaava kunnonvalvonta voi olla jatkuvaa tai määrävällein tehtävää. Mittattavan suureen tulee diagnosoida laitteen tai järjestelmän toimintakuntoa. Suurjännitteisten sähkölaitteiden kunnonvalvonnan keinoista on esitetty esimerkki taulukossa 1.

Tärkeiden ja monimutkaisten sähkölaitteiden käytönaikaisen kunnonvalvonnan perusta on uuden laitteen tehdaskoestukset. Niillä todetaan täyttääkö toimitus asetetut tekniset vaatimukset ja saadaan mittaustulokset tulevan kunnonvalvonnan pohjaksi. Käyttöpäikällä ennen laitteen käyttöönottoa mahdollisesti tehtävillä mittauksilla varmistetaan laitteen käyttöönotettavuus ja todetaan mahdolliset kuljetusvauriot ja valmistusvirheet. Laitteen takuuseen sisällytetään usein sen toimintakunnosta kertovia mittauksia.

Käytön aikana laitteen tai järjestelmän kunnonvalvontatarpeet riippuvat laitteen käyttötarkoituksesta, käyttöolosuhteista, kunnossa havaituista muu-

toksista, laitteen iästä ja samantyyppisten laitteiden kunnossapidosta saaduista kokemuksista.

Kunnonvalvontajärjestelmän luomisen päävaiheet ovat:

- mitattavan laitteen tilaa parhaiten mittaavat tunnusuurat
- valituille tunnusuurille määritellään mittausten suoritusväli ja hälytysrajat
- mittausten suoritusjärjestelmä ja tulosten tulkinta ja taltiointijärjestelmä
- hälytys ja toteutusjärjestelmä mittaustulosten vaatimille päätöksille ja toimenpiteille.

Kunnonvalvonnan kohteena voi olla:

- sähkölaitteen tai järjestelmän toimintakunto
- sähkölaitteen tai järjestelmän suoja- ja turvalaitteet
- sähkön laatu.

Jatkuu seuraavassa kunnossapitokoulussa...