

VAASAN YLIOPISTO

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

SÄHKÖTEKNIikka

Alexi Peltola

SÄHKÖASEMAPROJEKTIN AIKATAULUTUS

Aikataulutustyökalun valinta

Diplomityö, joka on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten

Vaasassa 21.9.2012

Työn valvoja

Professori Kimmo Kauhaniemi

Työn ohjaaja

DI Pasi Nisula

Työn tarkastaja

Professori Timo Vekara

ALKULAUSE

Tämä diplomityö on tehty ABB Oy:n Power Systems -divisioonaan kuuluvaan Substations -yksikköön Vaasassa. Haluan kiittää kaikkia työn valmistumisessa edesauttaneita.

Erityiskiitokset haluan osoittaa ohjaajalleni DI Pasi Nisulalle sekä insinööri Seppo Pastolle, joiden kanssa löysimme mielenkiintoisen aiheen diplomityölleni ja joiden neuvon ja ohjeiden avulla työn tekeminen oli ylipäätään mahdollista. Kiitän myös suuresti Professori Kimmo Kauhaniemeä työn valvonnasta, tarkastamisesta ja asiantuntevista neuvoista läpi koko tutkielman kirjoitusprosessin.

Arvokkaat kiitokset ansaitsevat myös läheiseni, ystäväni, opiskelutoverini sekä tietenkin vaimoni Riikka ja poikani Luukas jaksamisesta ja työhön innostamisesta päivästä toiseen niin diplomityön kuin koko opintojen ajalta.

Vaasassa 21.9.2012

Aleksi Peltola

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE	2
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	5
TIIVISTELMÄ	6
ABSTRACT	7
1 JOHDANTO	8
2 SÄHKÖASEMA	10
2.1 Sähköaseman perusrakenne	10
2.2 Sähköaseman kojeet ja laitteet	14
2.2.1 Muuntajat	14
2.2.2 Katkaisijat	16
2.2.3 Erottimet	19
2.2.4 Mittamuuntajat	21
2.2.5 Varokkeet ja varokeautomaatit	23
2.2.6 Kompensointilaitteet	25
2.2.7 Venttiilisuojat	27
2.3 Kojeistot	28
2.4 Relesuojaus	30
2.5 Kompaktit sähköasemat	34
3 SÄHKÖASEMAPROJEKTI	38
3.1 Vaihtoehtoiset toimitussisällöt	38
3.2 Tarjous- ja myyntivaihe	39
3.3 Projektiryhmä	40
3.4 Suunnittelu	41
3.5 Materiaalihankinnat ja laivaukset	42
3.6 Asennus- ja koestustyöt	44
3.7 Muutosten hallinta	45
3.8 Luovutus	46
4 SÄHKÖASEMAPROJEKTIN AIKATAULU JA SEN MERKITYS	48
4.1 Aikataulun laadinta	48
4.1.1 Suunnittelun aikataulutus	48
4.1.2 Komponenttien tilaukset ja valmistus	49
4.1.3 Laivaukset	50
4.1.4 Rakennus-, asennus ja koestustyöt	50
4.1.5 Tarkkailupisteet	51
4.2 Aikataulun seuranta ja ylläpito	52
4.3 Muutoksiin reagoiminen	54
4.4 Myöhästymisen vaikutukset	55
4.5 Riskien havaitseminen	56
4.6 Erään sähköasemaprojektin aikataulu	57

5	AIKATAULUTUKSESSA KÄYTETTÄVÄT TYÖKALUT VERTAILUINEEN	59
5.1	Erilaiset aikataulutustyökalut	59
5.1.1	Microsoft Project	59
5.1.2	Primavera	63
5.1.3	PlaNet	67
5.1.4	CA Clarity	68
5.1.5	Safran Project	69
5.1.6	SAP	70
5.2	Aikataulutustyökalujen keskinäinen vertailu	71
5.3	Yhteensopivuudet muiden järjestelmien kanssa	74
5.4	Aikataulutustyökalun käyttöönoton vaivattomuus	76
5.5	Työkalusta saavutettavat hyödyt ja ohjelmistosuositukset	78
6	POHDINTA JA YHTEENVETO	80
	LÄHDELUETTELO	83
	LIITTEET	87

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

CAD	Computer-aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
GIS	Gas Insulated Switchgear, kaasueristeinen kojeisto
HV	High-voltage, suurjännite
IEC	International Electrotechnical Commission
MV	Medium-voltage, keskijännite
SF ₆	Rikkiheksafluoridi
WBS	Work Breakdown Structure

VAASAN YLIOPISTO**Teknillinen tiedekunta**

Tekijä:	Aleksi Peltola
Diplomityön nimi:	Sähköasemaprojektin aikataulutusta: Aikataulutustyökalun valinta
Valvojan nimi:	Professori Kimmo Kauhaniemi
Ohjaajan nimi:	Diplomi-insinööri Pasi Nisula
Tarkastajan nimi:	Professori Timo Vekara
Tutkinto:	Diplomi-insinööri
Oppiaine:	Sähkötekniikka
Opintojen aloitusvuosi:	2006
Diplomityön valmistumisvuosi:	2012

Sivumäärä: 87

TIIVISTELMÄ

Yksi sähköasemaprojektin onnistumisen mittareita on sen valmistuminen suunnitellun aikataulun mukaisesti. Tässä onnistuakseen on projektijohdon osattava suunnitella heti projektin alussa projektin aikana toteutettavat työtehtävät riittävän tarkasti ja valvottava, että projekti etenee suunnitellusti. Tärkein apuväline tämän valvomisessa on tarkoituksenmukainen aikataulutustyökalu.

Tämä diplomityö on tehty ABB Oy:n Power Systems -divisioonaan kuuluvaan Substations -yksikköön. Tutkielman tavoitteena oli löytää yksikölle aikataulutuksen tehostamiseksi asianmukainen aikataulutustyökalu yhdenmukaisin käyttötavoin käyttöön otettavaksi.

Substations -yksikölle sopivan työkalun löytämiseksi tutkittiin työssä ensin sähköasemaprojekteja aikataulutustyökalun vaatimusten toteuttamiseksi. Substations -yksikön tämänhetkiset aikataulutuksen menetelmät ja niihin toivottavat muutokset selvitettiin, jonka jälkeen tutustuttiin kirjallisuuteen ja käyttökokeiluihin perustuen erilaisiin markkinoilla oleviin aikataulutustyökaluihin. Myös aikataulutustyökalujen liittämismahdollisuudet muihin järjestelmiin, lähinnä yrityksen käyttämään SAP toiminnanohjausjärjestelmään, tutkittiin.

Tutkielmassa selvisi laajimpien aikataulutustyökalujen painottavan merkittävästi myös muita projektinhallinnan tehtäviä, eikä nimenomaan aikataulutustyökalua etsivälle olekaan tarjolla montaa eri vaihtoehtoja. Yrityksen aiempien käyttäjäkokemusten, laajojen tukipalveluiden sekä SAP-liitynnän ansiosta todettiin Substations -yksikön käyttöön soveltuvan parhaiten Microsoft Project sekä SAP liityntää varten Open PS lisäosa, joiden avulla yrityksen sähköasemaprojektien aikataulutusta saadaan tehostettua ja projektien aikataulun seuranta parannettua.

AVAINSANAT: Sähköasemaprojekti, aikataulu, aikataulutustyökalut

UNIVERSITY OF VAASA**Faculty of technology**

Author:	Aleksi Peltola
Topic of the Thesis:	Scheduling of a Substation Project: Choosing the Scheduling tool
Supervisor:	Professor Kimmo Kauhaniemi
Instructor:	M.Sc. Pasi Nisula
Evaluator:	Professor Timo Vekara
Degree:	Master of Science in Technology
Major of Subject:	Electrical Engineering
Year of Entering the University:	2006
Year of Completing the Thesis:	2012

Pages: 87

ABSTRACT

One method to measure the success in a substation project is to examine its completion as scheduled. In order to succeed in this task, the project management must instantly at project start-up phase plan the work tasks to be performed during the project, and monitor the project progress during the implementation phase. The most important tool in achieving this is a suitable time scheduling program.

This thesis has been done for ABB Oy Substations, a part of the Power Systems division. The objective of the thesis was to find a tool for Substations to enhance its project scheduling manners and to make the use of the scheduling tool efficient by uniform methods of use.

In order to understand the demands and to find a proper scheduling tool for Substations, the substation projects were at first examined. The present scheduling methods and the desired changes to those methods were investigated. Then the possible scheduling tools on market were researched both via literature and in some cases with minor testing. Also the connections to other programs, mainly to SAP that also is being used in Substations, were examined.

The thesis clarified, that the larger scheduling tools also were quite comprehensive by offering different features for project handling in general, thus the range of tools for purely scheduling is not so wide. Taking into account the former user experiences, extensive support functions and connections to SAP, Microsoft Project together with the SAP connection extension was discovered as the best solution to the described needs of ABB Oy Substations as the new scheduling tool for improving the follow-up of project schedules and raising the effectiveness of substation project scheduling.

KEYWORDS: Substation project, time schedule, scheduling tools

1 JOHDANTO

Jokapäiväisiä toimiamme varten tarvitsemamme sähkö ja sitä välittävä sähköverkko tuntuu usein hyvinvointivaltioiden asukkaista itsestäänselvyydeltä ja valmiilta, mutta todellisuudessa se on kaikkea muuta. Kehittyvien maiden sähköverkko on olematon, ja kehittyneissäkin valtioissa verkon saneeraustöitä, vahvistuksia sekä verkon älyn lisäämistä on tehtävä koko ajan. Yhtenä merkittävänä osana sähköverkkoa ovat sen solmupisteinä toimivat sähköasemat.

Sähköasemat toteutetaan yleensä projektiluontoisina hankkeina, joille ominaista on projektin tietty kesto ja ennalta sovitun kokonaisuuden valmistuminen. Sähköasemaprojektin onnistumisen yhtenä perusedellytyksenä onkin, paitsi laadukas suunnittelu ja oikeat materiaalit sekä osaava asennusryhmä, myös asiantuntevasti laadittu ja päivitetty projektiaikataulu.

Tämä diplomityö on tehty sähköasemia toteuttavalle ABB Oy:n Power Systems divisioonaan kuuluvalle Substations -yksikölle. Työn tarkoituksena on luoda kattava katsaus sähköasemiin ja niiden laitteisiin, tutustua sähköaseman toteuttamiseen projektityyppisenä hankkeena sekä paneutua sähköasemaprojektin aikataulutukseen yleisesti ja eri työkaluja apuna käyttäen. Tavoitteena on löytää eri aikataulutustyökaluihin tutustumalla työn tilaajalle tehokas, toimiva ja käyttäjäystävällinen väline sähköasemaprojektien aikatauluttamiseksi, joka voitaisiin ottaa koko yksikössä käyttöön projektien aikataulutuksen harmonisoimiseksi.

Työn johdantoa seuraavassa kappaleessa kuvataan sähköasemaa kokonaisuutena sekä tarkastellaan yksityiskohtaisesti sähköasemaan kuuluvia komponentteja ja niiden toiminnallisuuksia. Kappale antaa kattavan yleiskuvan millainen kokonainen sähköasema on. Kolmannessa kappaleessa on kerrottu sähköasemaprojektin toteutustavoista ja kuvattu eri työvaiheet tarjous- ja myyntivaiheesta aina asennuksiin, koestuksiin ja luovutukseen asti. Neljännessä kappaleessa selvennetään sähköasemaprojektin aikataulutuksen tarpeellisuutta ja siitä saatavia hyötyjä projektin aikana, kuvataan aikataulun laatimisen vaiheita, sen tekijöitä ja seurantaa sekä esitetään yksi todellinen sähköasemaprojektin aikataulu esimerkkinä. Viides kappale esittelee konkreettisesti eri välineitä aika-

taulun laatimiseksi ja ylläpitämiseksi, pohtii eri työvälineiden soveltuvuutta kyseiselle liiketoiminnalle käyttö- ja käyttöönotto-ominaisuuksiltaan sekä pyrkii antamaan vastauksia miten sähköasemaprojektien aikataulutus voisi olla tehokasta hallinnoida.

Työn alkuosa sähköaseman esittelyineen nojautuu vahvasti kirjallisuuteen, kun taas loppuosassa näkyy vahvemmin oma käytännön työkokemus Substations -yksikössä viimeisen neljän vuoden ajalta sekä yksikössä ja naapuriyksiköissä tehdyt selvitykset ja keskustelut työtovereiden kanssa.

2 SÄHKÖASEMA

Sähköasemat ovat sellaisia sähköverkon solmupisteitä, missä voidaan suorittaa jännitteen muuttamista, tehdä kytkentöjä sekä jakaa tai keskittää sähköenergian siirtoa eri johdoille. Yhden tai useamman muuntajan sisältävää sähköasemaa kutsutaan muuntoasemaksi, muita nimityksiä sähköasemalle ovat kytkinasema ja kytkinlaitos. Sähköaseman muita tärkeitä komponentteja muuntajan lisäksi ovat kiskosto, erottimet, katkaisijat ja mittamuuntajat. Näiden lisäksi kytkemörakennuksessa on suojalaitteita, kuten releitä ja varokkeita, sekä muita apulaitteita. Suurin osa sähköverkosta on toteutettu siten, että kulutuskohteita voidaan syöttää usealta eri sähköasemalta. Tämä mahdollistaa jonkun sähköaseman erottamisen verkosta esimerkiksi huolto- tai saneeraustoimenpiteitä varten käyttäjän sitä huomaamatta ja sähkönjakelun keskeytymättä. (Aura & Tonteri 1993: 330; McDonald 2003: 1 - 1-1 - 2; Elovaara & Haarla 2011: 76.)

2.1 Sähköaseman perusrakenne

Sähköaseman suunnittelun lähtökohtiin vaikuttaa oleellisesti sähköaseman suunniteltu tehtävä. Sähköasema voidaan suunnitella siirtämään ja jakamaan sähköä, liittämään voimalaitos sähköverkkoon tai toimimaan verkoston kytkentä- tai muuntoasemana. Onnistunut sähköaseman suunnitteluprosessi on monen muuttujan summa; aseman välittämä teho ja sen kehitysnäkymät määrittävät aseman koon sekä suunnitellun laajennusvaran, lähialueen ympäristö ja maisemanäkökohdat vaikuttavat sijaintipaikan valintaan, sääolot vaikuttavat rakennusajankohtaan, maapohjan kantavuus perustustapaan sekä muuntajan kuljetusmahdollisuuksiin ja maakohtaiset säädökset toteutustapaan ym. Taulukossa 1 on esitetty eri maissa vallitsevia suur- ja keskijänniteverkkojen jännitetasoja. Jo siitä nähdään suuria eroja eri maiden sähköverkoissa. (Aura & Tonteri 1993: 330; Lakervi & Partanen 2009: 14; Elovaara & Haarla 2011: 96–97.)

Sähköasemia voidaan luokitella monin eri tavoin. Yksi jaottelutapa on jakaa ne pääteasemiin ja johdonvarsiasemiin. Yksittäiseen suurjännitejohtoon liittyvä sähköasema on pääteasema, mikäli suurjännitejohto päättyy sähköasemalle ja sähköasemalta eteen-

päin jakelu hoidetaan keskijännitelähdöin. Johdonvariasema sijaitsee nimensä mukaisesti suurjännitejohdon varrella, jolloin suurjännitejohto jatkaa eteenpäin sähköasemalta, kuten myös keskijännitelähdöt. Pääteasema voidaan toteuttaa yksinkertaisimmillaan ilman kokoojakiskoa pieneen tilaan sijoitettuna, ja järkevällä suunnittelulla sitä on myöhemmin tarvittaessa helppo laajentaa ja lisätä kokoojakisko asemalle. Johdonvariasemakin voidaan rakentaa ilman kokoojakiskoa sijoittamalla asema poikittain suurjännitejohtoon nähden ja käyttämällä suurjännitejohtoa kokoojakiskona, mutta suositeltavampaa on rakentaa asema johdon suuntaisesti ja lisätä erillinen kokoojakisko laajennettavuuden helpottamiseksi. (Aura & Tonteri 1993: 332; Elovaara & Haarla 2011: 98–99.)

Taulukko 1. Eri maiden suur- ja keskijännitetasoja erityyppisissä verkoissa (Lågland 2004).

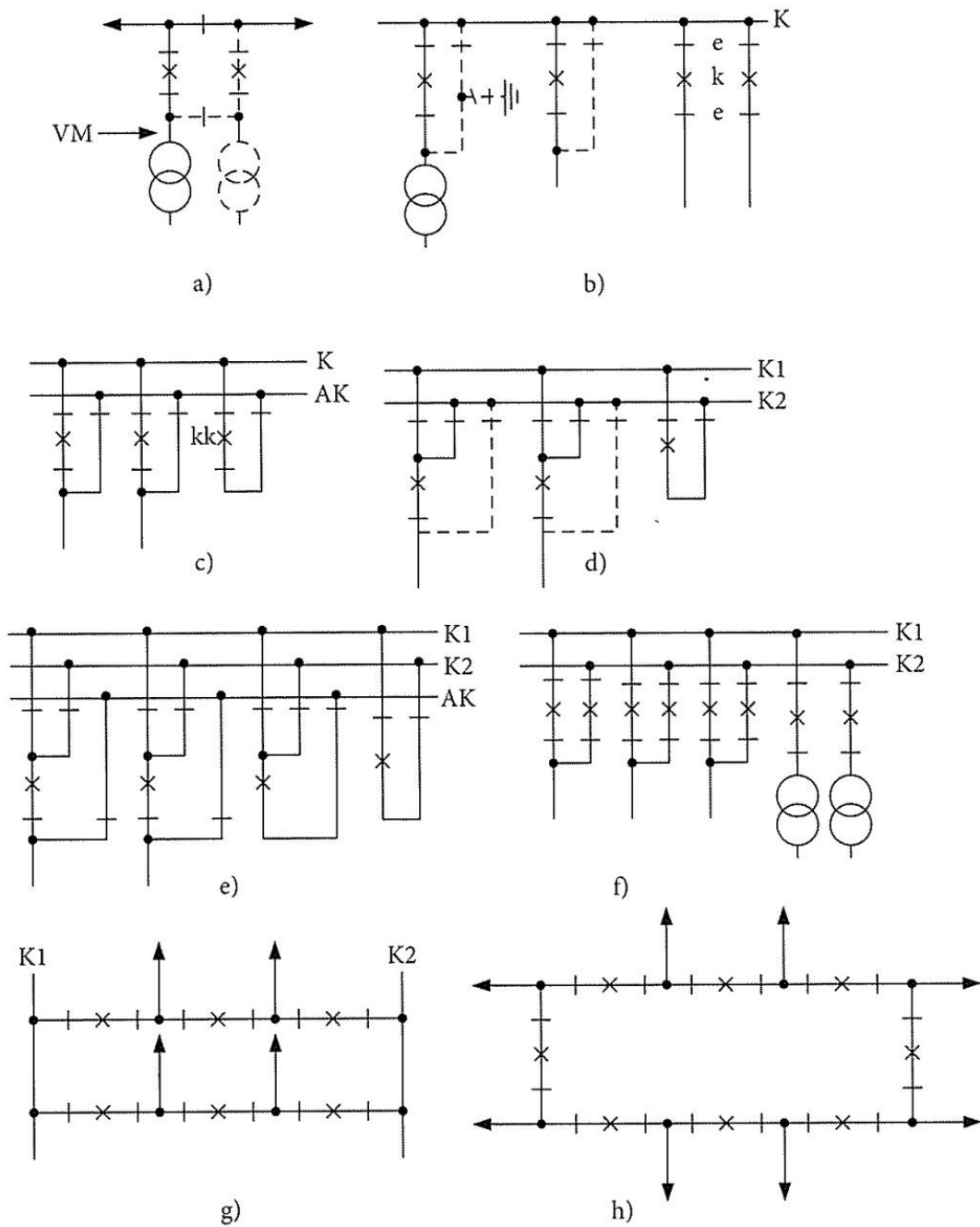
Verkko- tyyppi ja jännitetaso	Valtio						
	Kiina	Suomi	Uusi- Seelanti	Norja	Etelä- Afrikka	Ruotsi	Sveitsi
Taajama HV (kV)	110 (-500)	110	33 (33–66)	66 (-132)	44–132	135	50–110
Maaseutu HV (kV)	110 (-220)	110	33 (33–66)	66 (-132)	44–132	135	50–110
Taajama MV (kV)	10, 35	20 (10–20)	11	11 (11–22)	11 (11–22)	24 (6–55)	16
Maaseutu MV (kV)	10 (10–35)	20 (20–30)	11 (11–22)	22 (11–22)	22 (11–33)	24 (6–55)	16

Sähköasema voi siis olla liitetty suurjänniteputkeen joko kokoojakiskon avulla tai ilman sitä. Kokoojakiskojärjestelmiä on useita erilaisia ja niitä on esitelty kuvassa 1. Kuvassa on esitetty kiskoton, pienehkö asema, jonka laajennusvara ns. H-kytkinlaitokseksi on esitetty katkoviivoin (a), yksikiskojärjestelmä, jonka mahdolliset ohikytkentäerottimet ja keinovikaerotin on esitetty katkoviivoin (b), kisko-apukiskojärjestelmä (c), kaksoiskiskojärjestelmä, jonka mahdolliset ohikytkentäerottimet on esitetty katkoviivoin (d),

kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä (e), kaksikatkaisijajärjestelmä eli duplex (f), 1½-katkaisijajärjestelmä (g) ja rengaskiskojärjestelmä (h). Kuvan kaksikatkaisijajärjestelmässä on tosin vain johtolähdöillä täysduplex-liityntä, sillä muuntajat ovat kytketty vain toiseen kiskoista, jolloin kuvanmukaista järjestelmää kutsutaan riisutuksi duplex-järjestelmäksi. Kuvan merkinnöissä VM = virtamuuntaja, e = erotin, k = katkaisija, kk = kiskokatkaisija, K = kisko, AK = apukisko, K1 = kaksoiskiskojärjestelmän kisko 1 ja K2 = kaksoiskiskojärjestelmän kisko 2. Täysin kiskoton järjestelmä puoltaa paikkansa yhden muuntajan asemalla, mutta ei tarjoa laajennusvaraa eikä mahdollista huoltotöitä korvaavilla kytkennöillä vaan vaatii sähkökatkoja. Lisäksi, jos laitoskomponentit ovat vähävikaisia (kuten SF₆-kytkinlaitokset), riittää yleensä kisko-apukisko tai kaksoiskiskojärjestelmä aseman tarpeisiin. Monimutkaisemmat kiskostojärjestelmät tarjoavat paremmat tilapäiskytkentäratkaisut ja huoltomahdollisuudet sekä paremman luotettavuuden ja käytettävyyden. (Aura & Tonteri 1993: 332–337; McDonald 2003: 3 - 1–3 - 6; Elovaara & Haarla 2011: 102–108.)

Virtakiskojen materiaalina on aiemmin käytetty paljon kupari-, alumiini-teräs- sekä seosalumiiniköysiä. Nykyään on siirrytty lähes täysin putkikiskostoihin köysikiskostojen sijaan. Putket ovat useimmiten valmistettu alumiinista tai alumiiniseoksista. Putkikiskostoilla saavutetaan köysikiskostoihin verrattuna kustannussäästöjä, pienempi asennusala ja -korkeus, linjakkaampi ulkonäkö, hyvät laajennusmahdollisuudet sekä suurten oikosulkuvirtojen helpompi hallinta ja parantuneet koronaominaisuudet. Kiskot asennetaan tukieristimien varaan, mitkä yleensä on valmistettu posliinista tai keskijännitteillä valuhartsista. (Aura & Tonteri 1993: 338–339; Elovaara & Haarla 2011: 115–116.)

Sähköaseman ulkokentältä löytyy muuntajan ja mahdollisen kokoojakiskojärjestelmän lisäksi muun muassa katkaisijoita, erottimia, mittamuuntajia ja tukieristimiä. Niitä esitellään tarkemmin myöhemmin tässä työssä. Ulkokentän komponenteilla on yleensä pitkät toimitusajat, minkä johdosta niiden aikainen suunnittelu ja tilaus sähköasemaprojektia aloitettaessa on projektin ajallaan valmistumisen kannalta oleellista. Ulkokentällä olevien kojeiden tarve ja lukumäärä sekä sijoituspaikat määräytyvät hyvin pitkälle valitun kiskostojärjestelmän perusteella. Mittamuuntajien sijoitus voidaan kuitenkin päättää tapauskohtaisesti ja niiden sijoitusperiaatteissa voidaan mainita kaksi eri tapaa. Harvaan



Kuva 1. Erilaisia kiskojärjestelmiä (Elovaara & Haarla 2011: 104).

silmukoidussa verkossa suositaan yleensä virtamuuntajan sijoitusta katkaisijan ja joh-toerottimen väliin ja jännitemuuntajan sijoitusta kiskoihin. Tämä asennustapa vaikeuttaa kuitenkin relesuojausta ja heikentää sen herkkyyttä silloin, kun katkaisija ohikytetään erottimella. Jos verkko on laajasti silmukoitu ja yleisesti kaksoiskiskojärjestelmän avul-la toteutettu, on virtamuuntajat usein kiskon puolella katkaisijasta nähden. Nykysuunta-

uksena on virtamuuntajien asentaminen yhä enemmän katkaisijan kiskon puolelle, kun taas johtoerottimen ja katkaisijan väliin asennetut mittamuuntajat puoltavat asemaansa laajoissa avorakenteisissa asemissa, missä on paljon lähtöjä ja kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä. (Elovaara & Haarla 2011: 109–110.)

2.2 Sähköaseman kojeet ja laitteet

Sähköasemien koje- ja laitetarpeet ovat riippuvaisia muun muassa siitä, minkälaiseen käyttötarkoitukseen asema on suunniteltu, mitkä ovat kyseisen valtion asettamat vaatimukset sähköverkolle, kuinka suurelle alueelle asema syöttää sähköä sekä millaiset huoltomahdollisuudet asemalle halutaan luoda. Monissa vientiprojekteissa sähköaseman komponenttien valmistusmaa voi olla osittain määrätty siten, että esimerkiksi EU:n alueella on valmistettava 75 % sähköaseman laitteista. Peruskomponentit ovat kuitenkin asemasta riippumatta samat, vain niiden koot, tyypit ja lukumäärä vaihtelevat. Komponenttien ominaisuudet on silti määritettävä joka asemalle erikseen, joten suunnittelutyö merkittävimpien komponenttien osalta on aloitettava välittömästi projektin alkuvaiheessa tilausten saamiseksi tehtaalle. Seuraavassa on esitelty sähköaseman tärkeimmät yksittäiset komponentit.

2.2.1 Muuntajat

Sähköaseman ehkä oleellisin yksittäinen laite on tehomuuntaja, joita voi olla yksi tai useampia samalla sähköasemalla. Eristeenä näissä käytetään edelleen paperia ja prespaania sekä muuntajaöljyä, joka toimii myös muuntajan jäähdyttäjänä. Suurimmissa muuntajissa voi olla jopa kymmeniätuhansia litroja muuntajaöljyä. Muuntaja-astia valmistetaan lujasta ja sitkeästä teräslevystä ja itse muuntajan rautasydän ohuista, noin neljäsosamillin paksuisista kidesuunnatuista teräslevyistä, joiden häviöitä saadaan pienennettyä noin 20 % laserkäsittelyn avulla. Tehomuuntajan käämit ovat yleensä kuparia. (McDonald 2003: 8 - 2; Elovaara & Haarla 2011: 141–144.)

Muuntajan käämit voivat olla kytkettyinä esimerkiksi kolmioon (D) tai tähteen (Y). Tähtikytkentä on sopivin suurilla jännitteillä ja pienillä virroilla, kolmiokytkentä taas

päinvastoin eli se on taloudellisin suurilla virroilla ja pienillä jännitteillä. Suurmuuntaja voidaan valmistaa myös säästökytkentäisenä muuntajana, jolloin muuntajan käämit ovat galvaanisesti yhteydessä. Säästökytkentäinen muuntaja on kooltaan ja painoltaan, ja täten myös häviöiltään, täysmuuntajaa pienempi. Säästökytkentäinen muuntaja vaatii kuitenkin saman tähtipisteen käsittelytavan ensiö- ja toisiopuolen verkoissa, minkä lisäksi galvaanisesta yhteydestä johtuen vikavirtataso on koko verkossa jännitetasosta huolimatta samaa suuruusluokkaa. Suomessa ei näistä syistä käytetä kantaverkossa lainkaan säästökytkentäisiä muuntajia lukuun ottamatta aivan kantaverkon alkuaikoina tehtyjä sähköasemia. (Elovaara & Haarla 2011: 142–146.)

Jännitteensäätö toteutetaan suurissa muuntajissa käämikytkimellä, joka sallii 15 prosentin muuntosuhteen säädön vaikka muuntaja on kuormitettuna. Säätö on toteutettu muuttamalla ensiön johdinkierrosmäärää. Pienemmissä muuntajissa jännitteensäätö aikaansaadaan väliottokytkimellä, mutta tämän käyttö edellyttää muuntajan virrattomuutta. (Elovaara & Haarla 2011: 146–147.)

Muuntajan kunnonvalvonnan toteuttamiseen on käytössä paljon erilaisia tekniikoita. Niiden valinta perustuu usein valvontatarpeeseen ja käytettävissä olevaan rahamäärään. Edullinen kunnonvalvontatapa on muuntajan kuumien alueiden lämpötilamittaus, koska liian suuret lämpötilat aiheuttavat mm. eristeiden ennaaikaista kulumista. Myös muuntajaöljyn kaasupitoisuuksien valvonta on yleisesti käytössä, ja arvojen heiketessä liiaksi, muuntajaöljystä voidaan tehdä tarkempi kaasuanalyysi jatkotoimenpiteiden selvittämiseksi. (Elovaara & Haarla 2011: 147; Peltola 2011.)

Useimmat Suomen kantaverkon tehomuuntajista ovat viisipylväisiä kolmikäämitysmuuntajia, 400 MVA 400/120/21 kV, kytkentäryhmältään YNyn0d11. Joitain kaksikäämitysmuuntajia, 400 MVA 400/120 kV, kytkentäryhmältään YNy0 on myös käytössä. Muuntaja saattaa pitää tyhjäkäynnillä noin 80–90 dB:n ääntä, mutta mahdollinen muuntajabunkkeri muuntajan ympärillä vaimentaa huminaa kohtuullisen tehokkaasti. (Elovaara & Haarla 2011: 150.)

Jos muuntajat ovat rinnankytkettyinä, niiden tulee vastata toisiaan monilta osin; kytkentäryhmien ja muuntosuhteiden on oltava samat, suhteellisten oikosulkuimpedanssien

tulee olla suunnilleen yhtä suuret ja mitoitusvahdit saavat poiketa toisistaan korkeintaan suhteessa 1:3. (Elovaara & Haarla 2011: 150–151.)

Suomessa muuntajan jäähdytys on useimmiten hoidettu muuntajaöljyn kierron avulla, jolloin lämmin muuntajaöljy johdetaan jäähdyttimien kautta takaisin öljysäiliöön jäähdyttyään. Käytössä on myös erillisiä öljynlauhduttimia, jotka voivat olla ilman tai veden kanssa kosketuksissa maksimaalisen jäähtymisen aikaansaamiseksi, ja tällöin voi olla myös erillisiä pumppuja käytössä öljyn kierrätyksen tehostamiseksi. Tällaiset koneelliset jäähdytysjärjestelmät ovat tehokkaampia, mutta niiden ongelmana on järjestelmän lamaantuminen apusähköjen katketessa, joten siinä mielessä oikeaksi mitoitettu luonnollinen öljynkierto on toimintavarmempi ratkaisu asennuskohteen lämpötilan sen sallissa. (Elovaara & Haarla 2011: 152–153.)

Muuntajan hankinnan helpottamiseksi kansainvälisissä standardeissa on määritelty keskeisistä ominaisarvoista tiettyjä lukuarvoja tai -ryhmiä, jotta erilaisten muuntajien määrä ei nousisi kohtuuttoman suureksi. Tarjouspyyntövaiheessa tilaajan onkin kuvattava mahdollisimman tarkasti halutut käyttötarpeet, vaaditut ominaisuudet, vallitsevat ympäristö-olosuhteet ja maan määräykset, jotta toimittaja voi tarjota tilaajan tarkoituksiin mahdollisimman hyvin sopivaa muuntajaa. (Elovaara & Haarla 2011: 159–160.)

2.2.2 Katkaisijat

Katkaisija on käsin tai releellä ohjattu laite, joka pystyy katkaisemaan sähköverkon virtapiiriin myös suurivirtaisessa vikatilanteessa vahingoittumatta, vaikka virta olisi moninkertainen katkaisijan mitoitusvirtaan nähden. Katkaisijan kosketuspintojen avauduttua sähkövirta ei katkea välittömästi, vaan kosketuspintojen välille muodostuva valokaari pitää sähkövirtaa yllä vielä pienen hetken katkaisijan avauduttua. Valokaari katkaistaan vaihtovirtakatkaisijoissa virran luonnollisessa nollakohdassa valokaarta pidentäen, jاکاen se useaan osaan, jäähdyttäen sekä avustaen eristävällä ympäröivällä väliaineella. Eristävänä väliaineena voidaan käyttää ilmaa, öljyä tai kaasua. (Aura & Tonteri 1993: 269–274; McDonald 2003: 4 - 4; Elovaara & Haarla 2011: 161–165.)

Katkaisijat voidaan jakaa esimerkiksi valokaaren sammutuksessa avustavan eristävän väliaineen perusteella seuraaviin ryhmiin: ilmakatkaisijat, öljykatkaisijat, vähäöljykatkaisijat, paineilmakatkaisijat, SF₆-katkaisijat ja tyhjiökatkaisijat. Toisen yleisen jakopuolusteen mukaan katkaisijan katkaisukammio voi olla joko suurjännitteen määräämässä potentiaalissa (live tank circuit-breakers) tai maan potentiaalissa (dead-tank circuit-breakers). (Elovaara & Haarla 2011: 168–169.)

Kaikkia edellä mainittuja, eri väliainetta sisältäviä katkaisijoita on vielä käytössä, mutta 1970-luvulta lähtien SF₆- ja tyhjiökatkaisijat ovat olleet erityisen suosittuja. Kaasukatkaisija hallitsee täysin suurjännitemarkkinoita (tyhjiökatkaisijoita ei ole vielä markkinoilla suurjännitteille) ja keskijännitealueella kilpailu näiden välillä on kovaa. Samalla viime vuosisadan jälkimmäisellä puoliskolla katkaisijoiden ominaisuudet ovat kokeneet huimaa kehitystä, kuten painon pieneneminen noin kolmaskymmenesosaan, katkaisutehon kymmenkertaistuminen, turvallisuuden ja luotettavuuden lisääntyminen, huoltotarpeen ja apuenergian tarpeen väheneminen sekä itsediagnostiikan ja älykkyyden lisääntyminen. (McDonald 2003: 4 - 4-4 - 5; Elovaara & Haarla 2011: 170–172.)

Edelleen on käytössä kohtuullisen paljon vähäöljykatkaisijoita. Niiden etuna perinteiseen öljykatkaisijaan on selvästi pienempi öljymäärä, mikä vähentää tuhoja mahdollisen katkaisijan räjähdysyhteydessä. Pienempi öljymäärä on saavutettu jättämällä öljykatkaisijasta jäljelle ainoastaan sammutuskammio, jossa on jokaista vaihetta varten erillinen öljykammio. Valokaaren syttyessä ympäröivä mineraaliöljy kaasuuntuu ja hajaantuu osiinsa, kuten vedyksi. Kaasuuntuneen öljyn paine kasvaa suureksi, jopa 10 MPa:iin, ja aiheuttaa täten voimakasta virtausta ja pyörteilyä öljysäiliössä. Kammion rakenteella tämä virtaus suunnataan sopivasti valokaarta kohden, jolloin se aiheuttaa valokaaren sammumisen. Vähäöljykatkaisijoita on valmistettu lähes kaikille jännitealueille ja niiden katkaisuvirratt ovat olleet riittäviä, minkä ansiosta niitä edelleen on käytössä vaikka niiden valmistus on jo lopetettu. (Aura & Tonteri 1993: 276–278; McDonald 2003: 4 - 4-4 - 5; Elovaara & Haarla 2011: 174–176.)

SF₆-kaasukatkaisijat omaavat suuren katkaisutehon, sillä kaasu on palamatonta, valokaaren jäähtyminen tehokasta ja palaavan jännitteen kestävyys on suuri yhtä katkaisuyksikköä kohden. Tämän ansiosta SF₆-katkaisijat ovatkin taloudellisin vaihtoehto yli

123 kV:n jännitteillä. Vuosien saatossa kaasukatkaisijoiden kehityskohteena on ollut katkaisutekniikka. Alkuaikojen kaksipainekatkaisijoissa kaasu johdettiin korkeapaineisesta säiliöstä matalapaineisempaan tilaan, missä itse katkaisu tapahtui, mutta tämä rakenne todettiin liian monimutkaiseksi vaadittuine apulaitteineen. Niinpä kehitettiin yksipainekatkaisijoita, joissa katkaisijan avautumisliikkeestä aiheutuva voima puristaa kaasua kasaan ja joka edelleen suunnataan voimakkaana virtauksena valokaarta kohti, jolloin virtaus sammuttaa valokaaren. Katkaisutekniikoiden kehityksestä kertoo myös vuosien 1974–2003 välisenä aikana tapahtunut 80–95 %:n laukaisuenergian pieneneminen. SF₆-katkaisijoiden huoltotarve on erittäin vähäinen, ja ne voivat jopa poistaa kokonaan erottimien tarpeen katkaisijan ympärillä, mikäli käytetään erottavia katkaisijoita, keventäen näin sähköaseman kustannuksia ja rakennetta. Haasteita SF₆-katkaisijoissa ovat aiheuttaneet mm. kaasun myrkyllisyys ja siitä johtuvat vaatimukset tiiveydelle (erityisesti yli 40 asteen pakkasissa), kuten myös valokaaren aiheuttamat myrkylliset ja kosteuden kanssa korroosiota aiheuttavat yhdisteet katkaisukammiossa. Erityisen hyvin kaasukatkaisijat soveltuvat kompensointilaitteiden katkaisijoiksi, sillä ne kestävät tuhansia katkaisuja mitoitusvirrallaan ilman huoltotoimia. (McDonald 2003: 4 - 5; Elovaara & Haarla 2011: 177–181.)

Tyhjiökatkaisijat ovat rakenteeltaan edellä esiteltyjä katkaisijatyyppejä yksinkertaisempia. Erittäin tiiviissä tyhjiösäiliössä on liikkuva ja kiinteä kosketin, joiden väliseksi etäisyydeksi katkaisutapahtuman aikana muodostuu 5–15 mm:n väli. Virran nollakohdassa ionisoituneessa metallipilvessä palava valokaari sammuu, kun ionisaatio katoaa ja höyry tiivistyy. Tyhjiökatkaisijat ovat SF₆-katkaisijoiden tapaan erittäin huoltovapaita ja näiden elinkaarikustannuksiltaan taloudellisia. Keskijännitealueella tyhjiökatkaisija on erittäin varteenotettava vaihtoehto, mutta yli 100 kV:n jännitteille sopivat tyhjiökatkaisijat ovat tällä hetkellä vasta kehitteillä. Vähäisestä huollontarpeesta ja tuhansien katkaisutapahtumien kestävydestä johtuen tyhjiökatkaisijat ovat varteenotettavia jälleenkytkentöjen suorittajia keskijännitepuolella. (Aura & Tonteri 1993: 282–283; McDonald 2003: 4 - 5; Elovaara & Haarla 2011: 182–184.)

Sähköasemien kehityssuunnan ollessa jatkuvasti kohti kompaktimpaa asennusta ja huoltovapaampaa toimintaa, herkästi vikaantuvia erottimia pyritään vähentämään asemalla.

Erotimeet ovat katkaisijoiden kehityttyä muodostuneet eniten huoltoa vaativiksi komponenteiksi sähköasemalla ja ovat aiheuttaneet vakavia verkkovikojakin. Keskiänniteverkoissa on jo laajalti käytössä ulosvedettävät vaunukatkaisijat, joita voidaan 72,5 kV tasoon asti liikutella käsivoimin lattialla olevien kiskojen tai katkaisijavaunun avulla. Tätä suuremman jännitetaso katkaisijan liikuttelu ulkoasennuksissa vaatii erillisen kiskojen päälle asennetun veto- ja työntölaiteen, joita Suomessa jäädä johtuen asennetaan yleensä ainoastaan sisätiloihin. Toinen erottimia korvaava sovellus on jo edellä mainittu erottava katkaisija, jossa avausväli on riittävän pitkä läpäistäkseen erottimen avausvälille asetetut koejännitevaatimukset. Tämän ratkaisun puutteena tosin on näkyvän avausvälin puuttuminen, minkä vuoksi katkaisijahuollon aikana kiskoston ja katkaisijan väliset jompit on irrotettava, joka puolestaan edellyttää riittävän kehittyntä sähköasemaa kaksikatkaisijajärjestelmiseen. (Elovaara & Haarla 2011: 184–186.)

Katkaisijan ominaisuuksista merkittävimpiä ovat mitoitusvirta, mitoitusjännite, katkaisukyky, sulkemiskyky, vaihtosähkön taajuus, eristystasot, palaavan jännitteen mitoitussarvot, nimellinen toimintasykli, tiettyjen erityistilanteiden katkaisukyky sekä apu- ja ohjauspiirien mitoitusjännitteet ja -taajuudet. Näiden lisäksi hankintatilanteessa huomioon otettavia asioita ovat ohjaustapa, apukoskettimet, ohjaimen varusteet, mekaaninen luotettavuus, asennustapa, huoltotarve sekä huoltokustannukset. (Elovaara & Haarla 2011: 186–189.)

2.2.3 Erottimeet

Sähköasemalla erottimen tehtävänä on luoda luotettava ja näkyvä avausväli erotettavan piirin ja muun sähköaseman välille siten, että työskentely jännitteettömällä puolella on turvallista. Erotimeelta ei edellytetä virran katkaisu- tai sulkemiskykyä (vaikka ne yleensä ovatkin mahdollisia pienillä virroilla), vaan sen tehtävä on nimenomaan aseman eriosien näkyvä erotus sen jälkeen, kun esimerkiksi katkaisija on jo katkaissut virran virtapiiristä. Erotimeiden on oltava aina sillä puolella katkaisijaa, mistä energia tulee katkaisijalle. Sähköasemarakenteesta riippuen tämä voi tarkoittaa joko katkaisijan toisella tai molemmilla puolilla. Erotimeita tarvitaan myös sarjaankytkettyinä sellaisten laitteiden kanssa, jotka on kytkettävä jännitteettömiksi huoltotoimia varten. Lisäksi erottimia käytetään ohituserottimina mahdollistamaan keskeytymätön käyttö sekä maadoituserottimi-

na (työmaadoitusten lisäksi) estämään vikavirtoja ja indusoituneita jännitteitä silloin, kun verkossa työskennellään. (Aura & Tonteri 1993: 285; McDonald 2003: 4 - 1-4 - 2; Elovaara & Haarla 2011: 190–191.)

Kuormanerotin on eräänlainen katkaisijan ja erottimen välimuoto, sillä se pystyy katkaisemaan kohtalaisen suuria kuormitusvirtoja sekä kytkemään pienehköjä oikosulkuvirtoja erottimen perinteisten tehtävien lisäksi. Monipuolisten ominaisuuksiensa ansiosta sitä käytetäänkin paljon keksijänniteverkoissa sekä tilanteissa, missä joudutaan erottamaan verkon eri kuormitettuja osia toisistaan tai erottamaan suurehko kuormittamaton muuntaja tai kaapeliverkko. (Aura & Tonteri 1993: 285–288; McDonald 2003: 4 - 2; Elovaara & Haarla 2011: 191–192.)

Rakenteeltaan erottimet voivat olla yksi- tai kolminapaisia, joista jälkimmäisiä käytetään paljon keskijänniteverkoissa, kun taas suurjännitteillä erottimet yleensä kootaan yksinapaisista yksiköistä. Erottimille määritetään vaadittavat virtakestoisuusvaatimukset ja Suomessa erottimilta vaaditaan lisäksi 20 mm jääkerroksen murtokyky niin kiinnikuin auki-ohjauksessakin. Keskijänniteverkoissa eristemateriaalina käytetään valuhartsia ja suurjännitteillä posliinia sekä silikonipäällysteistä komposiittimateriaalia. Virta kulkee liikkuvien erotinveisten ja kiinteiden koskettimien kautta, jotka ovat koskettimien aikaansaaman kosketuspaineen ohella erottimen suunnittelun tärkeimpiä painopisteitä. Mekaanisia rakennevaihtoehtoja on useita, mistä yleisin on kaksipilarinen vaakatasossa liikkuva kiertoerotin, missä kumpaankin pilariin asennettu veitsi kiertyy 90 astetta luoden näkyvän avausvälin. Mikäli vaiheväliä halutaan pienentää, voidaan käyttää kolmpilarista rakennetta, ja toisaalta pystysuuntaan toimivat erotinveitset, tartuntaerottimet sekä nivelletyt rakenteet pienentävät tarvittavaa maa-alaa entisestään. Kuormanerotimet kykenevät siis erottamaan ja kytkemään kohtalaisiakin kuormia, ja lisäämällä niihin varokkeet, voidaan syntyneitä varokekuormanerotimia käyttää jakelumuuntamoissa katkaisijoiden korvaajina. (Aura & Tonteri 1993: 288–297; McDonald 2003: 4 - 2; Elovaara & Haarla 2011: 192–196.)

Erottimien käsiohjauksen rinnalla on käytössä myös moottoriohjaus. Käsiohjaus toteutetaan esimerkiksi eristävällä tangolla, moottoriohjausta taas voidaan operoida paikallisesti, joko käsin tai kauko-ohjauksella radiopuhelinverkon, kaukokäyttöjärjestelmään liite-

tyn tietokoneen tai GSM-puhelimen kautta. Radio-ohjausta käytetään pääosin 20 kV verkossa nopeuttamaan huoltotoimia nopeutta vaativissa tai syrjässä hankalasti saavutettavissa kohteissa. (McDonald 2003: 4 - 2; Elovaara & Haarla 2011: 197.)

2.2.4 Mittamuuntajat

Sähköasemilla mittamuuntajia käytetään jännitteen ja virran mittauksissa. Paitsi että mittamuuntajien avulla saadaan virta- ja jännitemittaukset tehtyä, erottavat ne myös galvaanisesti mittauspiirin suurjännitteisestä päävirtapiiristä, suojaavat mittareita ylikuormitukselta ja mahdollistavat mittareiden sijoituksen kauemmas mittauspaikasta keskitettyä mittausta varten. Useimmat mittamuuntajat käyttävät sähkömagneettista induktiota mittauksissaan, mutta myös kapasitiivisia jännitemuuntajia on ja käytetään, samoin kuin virtamuuntajiin sijoitettuja kapasitiivisia ulosottoja. Erittäin suurille, yli 400 kV jännitteille, alkavat optoelektroniikkaan perustuvat mittamuuntajat kehittyä taloudellisesti kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi. (Aura & Tonteri 1993: 297–298; McDonald 2003: 6 - 6–6 - 7; Elovaara & Haarla 2011: 198.)

Virtamuuntajat luokitellaan käyttötarkoituksensa mukaan joko mittaus- tai suojausvirtamuuntajiksi. Nämä ovat rakenteeltaan hieman erilaisia; mittausvirtamuuntaja antaa tarkan mittaustuloksen ja suojausvirtamuuntaja suojaa tehokkaasti. Mittausvirtamuuntajilta edellytetään sijoituspaikasta, eli läpi virtaavasta energiamäärästä riippuen, tarkkuusluokkaa 0,2 tai 0,5, kun taas suojaustarkoituksessa olevalle virtamuuntajalle riittää tarkkuusluokka 10 P. Oikean kokoisen virtamuuntajan valinnassa on tärkeää, että virtamuuntaja pystyy toistamaan kohteen suurimmat vikavirrat. Virtamuuntajien ja suojausvirtamuuntajien yhteistoiminnan kannalta on oleellista, että vääristymät virtamuuntajan mittaustuloksissa eivät aiheuta häiriöitä tai vikalaukaisuja suojauksessa. Usein saman valmistajan suojausvirtamuuntajien luvataan toimivan hyvin saman valmistajan virtamuuntajien kanssa, kunhan virtamuuntajien toisioon indusoituvat sähkömotoriset voimat ovat tiettyjen minimiehtojen rajoissa. Tämä on usein selvempi tapa kuin IEC:n määrittelemät ehdot ja siksi suositeltavaa. (Aura & Tonteri 1993: 299–301; McDonald 2003: 6 - 6–6 - 7; Elovaara & Haarla 2011: 198–211.)

Suojaus- ja mittaustarpeet voidaan myös hoitaa samalla virtamuuntajalla. Samassa muuntajassa voi olla eri sydämet eri tarkoituksia varten, jolloin selvittää yhdellä virtamuuntajalla molemmista tehtävistä. Ulos asennettavat virtamuuntajat ovat pylväsmallisia, useimmiten öljy- tai SF₆-täytteisiä, hermeettisesti suljettuja muuntajia. Virtamuuntajan ulkoisena eristeenä on pitkään ollut käytössä posliinikuori, mutta nykyään yhä useammin eriste on toteutettu silikonikumipäällysteisenä komposiittikuorena, joka ei virtamuuntajan mahdollisessa sisäisessä viassa räjähdä sirpaleiksi. Ensiökäämi ja sydän voivat sijaita virtamuuntajan yläosassa johdon potentiaalissa, jolloin selvittää lyhyillä ensiöjohtimilla mutta kuormitetaan kiinnityspisteitä ja eristintä korkealla sijaitsevan painopisteen johdosta. Toinen vaihtoehto on sijoittaa ensiökäämi ja sydän virtamuuntajan alaosaan maan potentiaaliin pitäen painopiste matalalla mahdollistaen raskaan sydämen sekä lisäsydämien turvallisen käytön, mutta ensiökäämin pituudesta johtuen sen häviöt ovat suuremmat ja täten kuormitettavuus kilpailevia virtamuuntajatyyppejä pienempi. Sisäasennuksiin soveltuvat virtamuuntajat ovat yleensä alle 123 kV:n jännitteille soveltuvia valuhartsieristeisiä muuntajia, minkä ansiosta ne soveltuvat asennettavaksi miten päin tahansa ja ovat pienikokoisia. (Elovaara & Haarla 2011: 211–213.)

Kuten todettiin, yhdessä virtamuuntajassa voi olla useampia erilaisia rautasydämiä, erikseen mittareita ja releitä varten. Virtamuuntajassa voi myös olla kytkentämahdollisuus usealle eri ensiövirralle, sekä kapasitiivinen jänniteulostulo, jonka avulla voidaan haluttaessa tutkia esimerkiksi jännitemuotoa. Yllä esiteltyjen virtamuuntajatyypien lisäksi maininnan ansaitsevat yleisessä käytössä olevat läpivientivirtamuuntaja, jossa ensiökäämin muodostaa virtamuuntajan läpi menevä kisko, sekä reikävirtamuuntaja, jonka toimintaperiaate on samanlainen edellisen kanssa mutta se on tarkoitettu pienjännitteille. (Elovaara & Haarla 2011: 213–214.)

Jännitemuuntajat ovat tyypillisesti yksivaiheisia, toimintaperiaatteeltaan induktiivisia alle 245 kV:n tai kapasitiivisia yli 245 kV:n jännitteillä, sillä suuremmilla jännitteillä kapasitiiviset jännitemuuntajat ovat hankintakustannuksiltaan edullisempia. Myös kaskadikytkentäisiä jännitemuuntajia on olemassa suurille jännitteille, mutta ne eivät ole hinnaltaan kilpailukykyisiä kapasitiivisen jännitemuuntajan kanssa. Kaskadikytkentäisessä jännitemuuntajassa on samojen kuorien sisällä kaksi induktiivista jännitemuunta-

jaa sarjaan kytkettynä. Jännitemuuntajien eristeenä toimii virtamuuntajien tavoin öljy, SF₆-kaasu tai valuharts. Kapasitiivisessa jännitemuuntajassa on kapasitiivinen jännitteenjakaja sekä induktiivinen jännitteenmuuntaja, induktiivisesta jännitemuuntajasta löytyy lisäksi yleensä myös pienehköjä kompensointikeloja. (McDonald 2003: 6 - 7; Elovaara & Haarla 2011: 215–223.)

Jännite- ja virtamuuntajat ovat perustekniikaltaan erittäin koeteltua tekniikkaa, joita on käytetty jo vuosikymmeniä. Seuraava kehitysaskel mittamuuntajien suhteen on optiset mittamuuntajat, jotka siirtävät binäärisen tiedon suojarille valokuitua pitkin. Virran mittauksessa voidaan hyödyntää Faradayn ilmiötä siten, että polarisoitu valonsäde kiertää virrallista johdinta tietyssä materiaalissa ja tämä signaali muutetaan valodiodilla sähkövirraksi. Sähkövirtaa edelleen prosessoimalla ja vahvistamalla saadaan alkuperäiseen virtaan verrannollinen sähkövirta. Jännitteen mittausta on toteutettavissa soveltamalla Pockelsin ilmiötä, missä valonsäde johdetaan sähkökentän muokkaaman materiaalin läpi, jolloin se jakautuu kahdeksi säteeksi. Jakautuneiden säteiden ominaisuuksia vertailemalla pystytään edelleen selvittämään alkuperäisen jännitteen suuruus. Koska sähköasemat ja niiden laitteet ovat eliniältään kymmeniä vuosia, kestää tällainen uuden tekniikan yleistyminen sen hankintakustannustenkin alennuttua kuitenkin vuosikymmeniä. (Elovaara & Haarla 2011: 224–225.)

2.2.5 Varokkeet ja varokeautomaatit

Varokkeet voidaan mieltää toiminnaltaan samantyyppisiksi kuin katkaisijat, paitsi että niiden sulakkeet ovat kertakäyttöisiä. Varokkeet ovat katkaisijaan ja sitä ohjaavaan releeseen verrattuna huomattavasti edullisempia hankintahinnaltaan ja täten käyttökelpoisia pienjännitteillä. Varokkeita käytetään ja valmistetaan pääosin alle 500 V jännitteillä ja alle 800 A nimellisvirroilla. Varoke koostuu varokepesästä sekä sulakkeesta, joka on aina toimimisen jälkeen vaihdettava uuteen. Sulakkeessa on sulakelanka, joka ylivirran vaikutuksesta sulaa ja katkaisee näin virtapiirin. Tehokkaimman suojausmekanismiksi sulaketta ei tule ylimitoittaa, vaan sulakkeen tulee olla mahdollisimman pieni. Tällöin sulakkeen toimintavarmuus on suurin mahdollinen. (Aura & Tonteri 1993: 317; McDonald 2003: 4 - 3; Elovaara & Haarla 2011: 244.)

Sulakkeet voidaan jakaa eri perustein erilaisiin ryhmiin. Katkaisutapansa perusteella sulakkeet ovat joko nollakohtasulakkeita tai virtaa rajoittavia sulakkeita. Nollakoh-tasulakkeet katkaisevat virtapiirin virran nollakohdassa, kun sulakelangan palamisesta muodostuneeseen höyrypatsaaseen syttynyt valokaari sammuu. Tästä syystä nollakoh-tasulakkeet eivät sovellu tasavirtapiireihin. Virtaa rajoittavissa sulakkeissa ei pääse lain-kaan syntymään valokaarta, sillä sulakelankaa ympäröivä väliaine estää sen muodostu-misen ja katkaisee piirin sulakelangan höyrystytyä. (Elovaara & Haarla 2011: 244.)

Rakenteensa puolesta eri varoketyyppejä on kolme; tulppavaroke, kahvavaroke ja put-kivaroke. Tulppavaroke on helppokäyttöinen, aiemmin laajalti kotitalouksissa käytetty varoketyyppi, missä sulake asetetaan paikalleen varokepesään kierteillä varustetun kan-nen avulla. Varokepesän kontaktipinta on sitä suurempi mitä suuremmalle virralle varo-ke on suunniteltu, joten liian suurta sulaketta ei saa asennettua varokepesään. Sulak-keessa on myös ilmaisilevy, joka sulakkeen toimittua ponnahtaa jousen avulla esiin ilmaisten sulakkeen palamisen. Tulppavarokkeita valmistetaan 500 V ja 200 A asti. (Aura & Tonteri 1993: 317–318; Elovaara & Haarla 2011: 245.)

Kahvavarokkeet ovat jo asteen teollisempaan käyttöön tarkoitettuja sulakkeita, sillä niistä muun muassa puuttuu esto asentaa väärän kokoinen sulake varokepesään eivätkä ne aina ole kosketussuojattuja. Kahvavarokkeissa tarvitaan lisäksi erillinen käyttökahva sulakkeen asentamiseksi. Kahvavarokkeita valmistetaan niin ikään pienjännitteille, jopa 800 A nimellisvirtaan asti, ja niiden katkaisukyky on moninkertainen tulppasulakkeisiin verrattuna. (Aura & Tonteri 1993: 318; Elovaara & Haarla 2011: 245.)

Putkivarokkeet soveltuvat käytettäväksi suurjännitteillä jopa 36 kV asti. Niissä putken sisällä on kuivan hiekan tai muun vastaavan valokaaren sammuttavan väliaineen sisällä kulkeva sulakelanka, joka katkaisee virtapiirin. Putkivarokkeeseen voi olla yhdistetty myös erillinen laukaisunasta, jota voidaan käyttää laukaisemaan kuormanerotin sulak-keen toimiessa. Putkivarokkeiden suurimmat mitoitusvirrat ovat 100–200 A. (Elovaara & Haarla 2011: 245.)

Kolmas tapa jaotella sulakkeet on eritellä ne hitaisiin ja nopeisiin sulakkeisiin. Nopeissa sulakkeissa sulakelanka on korkean sulamispisteen omaava ohut lanka. Tämän ansiosta

suurilla ylivirroilla langan sulaminen tapahtuu nopeasti. Hitaissa sulakkeissa sulakelanka on selvästi paksumpi, joten se kestää lyhyitä aikoja suuria ylivirtoja. Sulakelankaan on kuitenkin tehty juotoskohta helposti sulavasta metallista, joka pitempiaikaisessa ylikuormituksessa sulaa ja aiheuttaa virtapiirin katkeamisen. Sulakkeiden hitaan toiminnan ja lyhytkestoisten suurtenkin ylivirtojen keston ansiosta hitaat sulakkeet soveltuvat erinomaisesti oikosulkumoottorien suojaukseen kestäen niiden suuret käynnistysvirrat. (McDonald 2003: 4 - 3; Elovaara & Haarla 2011: 245–246.)

Varokeautomaatit ovat vielä varokkeista yksi askel lähemmäs katkaisijoita. Varokeautomaatit eivät ole kertakäyttöisiä, vaan niissä virtapiirin katkaisu tapahtuu suurilla ylivirroilla sähkömagneetin avulla ja pienillä ylivirroilla bi-metallilaukaisijan ansiosta. Täten ne voidaan virittää uudestaan niiden toimittua, ja ne ovatkin korvanneet tehokkaasti perinteisiä varokkeita pienjännitesovelluksissa ja kotitalouksissa. Myös kytkinlaitosten apupiireissä varokeautomaatit ovat erittäin yleisiä, sillä niiltä saadaan myös hälytys niiden toimiessa. Varokeautomaatteja, joita käytetään johtosuojina, nimitetään johdon-suojakytkimiksi. (Aura & Tonteri 1993: 328–329; Elovaara & Haarla 2011: 248–249.)

2.2.6 Kompensointilaitteet

Erityyppisiä kompensointilaitteistoja on Suomessa käytössä kolmenlaisia; rinnakkaiskondensaattoreita, rinnakkaiskuristimia eli reaktoreita sekä sarjakondensaattoreita. Näistä rinnakkaiskondensaattoriparistoja käytetään jakeluverkossa tuottamaan loistehoa, reaktoreita tarvitaan voimansiirtoverkossa ylläpitämään loistehotasapaino pienen kuorman aikana ja sarjakondensaattoreilla lyhennetään voimansiirtojohtoilla sen sähköistä pituutta pienentämällä sen reaktanssia. Laitteistoista rinnakkaiskondensaattorit ovat asennettu 110 kV verkkoon loistehoa tuottamaan mahdollisimman lähelle loistehon kulutus-pisteitä, kun kolmivaiheiset ilmasydämiset rinnakkaisreaktorit ovat 400/110/20 kV muuntajien tertiääreihin kytkettyjä ja kompensoivat 400 kV johtojen aiheuttamaa loistehoa matalan kuormituksen aikana. Sarjakondensaattoreita Suomessa on alle kymmenen kappaletta, pitkien pohjois-etelä-suuntaisten johtojen varrella, kasvattamassa näin merkittävästi Pohjois- ja Etelä-Suomen sekä toisaalta Suomen ja Ruotsin välistä siirtokapasiteettia ilman erillisiä johtoinvestointeja. (Elovaara & Haarla 2011: 225–226.)

Rinnakkaisreaktorit ovat Suomessa lähes poikkeuksetta ilmasydämissä, ilmajäähdytteisiä ja kiinteäeristeisiä, mutta myös joitain öljyeristeisiä reaktoreita on käytössä. Kantaverkon rinnakkaisreaktorit ovat teholtaan 63 Mvar. Ilmasydämissä reaktorit kootaan kolmesta yksivaiheisesta kelasta, jotka on kytketty tähteen samaan tasoon tasasivuisen kolmion kärkipisteisiin. Tällä asennustyyllillä minimoidaan kolmivaiheisen reaktorin muodostaman magneettikentän leviämisalue. Reaktorin läheisen vahvan magneettikentän johdosta maadoitukset toteutetaan säteittäiselektrodeilla ja suoja-aidat sekä muut läheiset rakenteet valmistetaan puusta. Reaktorit valmistetaan nykyään alumiinitangoista valmistetuista sisäkkäisistä käämeistä, ja jokaisen käämin eri kierrokset on eristetty käyttämällä lasikuitumassaa. Suurilla, 400 kV jännitteillä reaktorit ovat aina öljyeristeisiä. Öljyeristeisten reaktorien suurimpana etuna on pieni tilantarve, mutta haittana tulevat suuret hankintakustannukset ja suuri paino. (Elovaara & Haarla 2011: 226–227.)

Rinnakkaiskondensaattoriparistot kootaan useasta rinnan ja sarjaan kytketystä standardikokoisesta kondensaattoriyksiköstä. Sarjaankytkettävien yksiköiden määrä perustuu verkon ja yksikön mitoitusjännitteen mukaan, rinnankytkettyjen yksiköiden lukumäärän puolestaan ratkaisee kondensaattoripariston teho, joka Suomessa vaihtelee välillä 7–65 Mvar. Kytkettäessä kondensaattoriparistossa yksivaiheisia yksikköjä sarjaan, tulee kondensaattorin kuoresta yleensä aina jännitteinen, mikä on pidettävä mielessä niiden lähellä työskenneltäessä. Kondensaattoriyksiköt ovat Suomessa suojattu käämikohtaisilla sisäisillä sulakkeilla, minkä ansiosta vain vioittunut käämi kytkeytyy irti sulakkeen toimittua aiheuttaen ainoastaan 2–3 prosentin tehonaleneman muun kondensaattoripariston jatkaessa toimintaa. Sisäisistä sulakkeista huolimatta myös koko paristo on suojattava esimerkiksi pääsulakkeilla ja kondensaattoriparistot on lisäksi varustettava purkauslaitteella, joka syöttövirran katkettua purkaa kondensaattorin. (Elovaara & Haarla 2011: 226–230.)

Sarjakondensaattori pienentää johdon induktiivista reaktanssia ja lieventää siten kulma- ja jännitestabiiliusongelmia, sekä nostaa johdon siirtokapasiteettia. Sarjakondensaattorin tuottama loisteho on lisäksi verrannollinen johdon kuormitusvirtaan, mutta toisaalta se vaatii monimutkaiset ylijännitesuojajärjestelyt kompensoidun johdon tai sen lähistöllä tapahtuvien mahdollisten vikojen hallitsemiseksi. Kompensoimisaste on pitkällä siirto-

johdoilla yleensä 40–70 %, mikä tarkoittaa kuinka suuri osa johdon induktiivisesta reaktanssista kompensoidaan. Kompensointiasteen nostaminen nostaa kuitenkin jyrkästi siitä aiheutuvia kustannuksia. Rakenteeltaan sarjakondensaattori on hyvin samankaltainen rinnakkaiskondensaattorin kanssa, paitsi että se on asennettu johdon kanssa sarjaan ja vaatii erilaisen suojauksen. Koska sarjakondensaattorit sijaitsevat erittäin tärkeillä suurjännitejohdoilla, niiden on oltava erotettavissa verkosta vikatilanteiden ja huoltotoimien varalta ohitus- ja paristoerottimien avulla. Lisäksi käytössä on ohituskatkaisija sekä suuren energianpurkauskyvyn ylijännitesuojia nopeita vikatilanteita varten. Metallioksidivaristorien avulla ylijännitesuojaus voidaan toteuttaa vaihekohtaisesti ja sarjakompensaattori säilyttää tällöin osan kompensointikapasiteetistaan suojien toimiessakin. Sarjakompensaattori kytketään aina jännitteeseen johtoon, jolloin kaikki järjestelmän osat ovat johdon potentiaalissa, mistä johtuen sarjakondensaattorit tavataan rakentaa tukieristimillä maasta erotetuille vaihekohtaisille lavoille. Ohjaussignaalit kulkevat optisia kuituja pitkin ja apuenergia otetaan yleensä virtamuuntajan avulla kompensoitavasta johdosta. (Elovaara & Haarla 2011: 232–236.)

2.2.7 Venttiilisuojat

Venttiilisuojat ovat yleisimpiä käytössä olevia ylijännitesuojia. Vaiheen ja maan väliin asennetut venttiilisuojat ovat nykyään lähes poikkeuksetta kipinävälittömiä metallioksidiventtiilisuojia, kun aiemmin käytettiin epälineaarisia piikarbidielementtejä hyödyntäviä kipinävälillisiä venttiilisuojia. Kipinävälittömissä suojissa läpi kulkeva virta saadaan sammutettua selvästi aiemmin kuin kipinävälillisissä suojissa, jo ylijännitteen laskiessa normaalin käyttöjännitteen tasolle. Vaikka kipinävälittömien ylijännitesuojien suojausominaisuudet ovat edeltäjiään paremmat, on kipinävälittömien suojien odotettu elinikä kuitenkin lyhyempi kuin vastaavan kipinävälillisen suojan. Tästä johtuen joissain hankalasti vaihdettavissa kohteissa käytetään kipinävälillistä metallioksidiventtiilisuojaa. (Elovaara & Haarla 2011: 237–239.)

Metallioksidisuojia koostuu useasta päällekkäin olevasta sylinterinmuotoisesta metallioksidielementistä, jotka on vuorattu joko posliinista tai polymeeristä valmistetulla eristinkerroksella. Polymeeristä, kuten silikonikumipäällysteisestä lasikuitusylinteristä, ei mahdollisessa suojan sisäisessä ylilyönnissä sinkoile sirpaleita ympäristöön, minkä li-

säksi se on kevyempi ja kestää paremmin ulkoisia rasituksia kuin posliinista valmistettu kuori. Metallioksidiekot ovat pääosin sinkkioksidista valmistettuja, mutta niihin on lisätty pieniä määriä muita metalleja, jotka ovat merkitsevässä osassa suojan sähköisten ominaisuuksien saavuttamisessa. Eri valmistajilla on erilaiset sekoitussuhteet, miten eri metalleja sekoitetaan sinkkioksidiin, ja täten lopputuotteet ovat ominaisuuksiltaan yksilöllisiä. Suurjännitekäytössä olevat metallioksidisuojat kootaan useasta pienestä yksiköstä. Yksiköt voivat olla keskenään erilaisia ja niitä voidaan kytkeä sekä sarjaan että rinnan, joten ohjeiden mukainen asennus on tärkeää suojan oikeanlaisen toiminnan kannalta. (Elovaara & Haarla 2011: 239–240.)

2.3 Kojeistot

Kojeisto on rakennekokonaisuus, johon kuuluu kytkentä-, suojaus-, ohjaus- ja valvontalaitteet. Kojeistoja on suur-, keski- ja pienjännitteille. Pienjännitekojeistoista käytetään usein myös nimitystä jakokeskus. Kojeistosuunnittelussa merkittävimpiä huomioonotettavia seikkoja ovat: yksittäistä katkaisijaa on voitava huoltaa muiden osien häiriintymättä ja ilman katkoa, suojaetäisyyksien on oltava riittävät käyttöhenkilökunnan turvallisuuden takaamiseksi, ja valokaaren leviäminen on oltava hallittua, ettei se pääse aiheuttamaan yllättäviä vaaratilanteita ja tuhoja. Yksi kojeistojen jaotteluperuste on jakaa ne ulko- ja sisäkojeistoihin. (Elovaara & Haarla 2011: 117.)

Kun edullista tonttimaata on reilusti tarjolla, voidaan yli 123 kV suurjännitekojeisto taloudellisin perustein toteuttaa avorakenteisena ulkokojeistona. Usein maaseudulla sijaitsevat ulkokojeistot pyritään sijoittamaan hieman sivuun valtaväylistä metsän siimekseen maisemahaittojen minimoimiseksi. Kaupunkialueilla valinnanmahdollisuutta ei kuitenkaan välttämättä ole, vaan tilanpuutteen takia ainoaksi vaihtoehdoksi jää sisäkojeisto, myös suurjännitteillä. Kalliimpien perustamiskustannusten vastapainoksi sisäkojeistojen hyötyihin lukeutuvat maisemahaittojen väheneminen, laitteiston toimintaänten eliminointi, laitteiston säänsuoja sekä mahdollisuus suorittaa huolto- ja kunnossapitotöitä säätilasta riippumatta. Aiemmin suurjännitteiset sisäkojeistot olivat usein avorakenteisia, mutta jo tuolloin kaikki mahdolliset keinot käytettiin rakennustilavuuden pienentä-

miseksi ja näin kulujen vähentämiseksi. Säästökeinoina käytettiin muun muassa tartuntaerottimia, läpivientieristimiin sijoitettuja virtamuuntajia sekä vaunukatkaisijoita. (Aura & Tonteri 1993: 363–365; Elovaara & Haarla 2011: 117–119.)

Keskijännitteiset avorakenteiset sisäkojeistot ovat olleet erittäin yleisiä aiemmin. Kojeiston kennot on väliseinillä erotettu toisistaan, mikä mahdollistaa turvallisen työskentelyn kennossa viereisestä kennosta huolehtimatta. Myös kunkin kennon kojeet ovat näin suojassa viereisten kennojen mahdollisten häiriöiden aiheuttamilta vahingoilta. Keskijännitekojeistoja ei kuitenkaan enää rakenneta avorakenteisina, vaan kaikki nykyään rakennettavat keskijännitekojeistot ovat koteloituja ja kosketussuojattuja rakenteita. (Elovaara & Haarla 2011: 119–120.)

Suurjännitteisiä, avorakenteisia sisäkojeistoja ei myöskään nykypäivänä kannata rakentaa, vaan ilma- ja SF₆-kaasueristeiset koteloidut sisäkojeistot puoltavat asemaansa myös suurjännitteillä. Ilmaeristeiseen kojeistoon verrattuna kalliimpi kaasueristeinen kojeisto (GIS, Gas Insulated Switchgear) vaatii huomattavasti vähemmän asennustilaa ja on täten sopiva ahtaisiin kohteisiin, kuten kaupunkien keskustoihin. Koteloidut kojeistot voidaan jakaa esimerkiksi ulkokuoren materiaalin perusteella metallikuorisiin (metal-enclosed) ja eristysainekuorisiin (insulation enclosed) kojeistoihin, mistä metallikuoriset ovat selvästi yleisimpiä. Metallikuoriset voidaan edelleen ryhmitellä metallikoteloituihin (metal-clad), tilakoteloituihin (compartmented) sekä kennokoteloituihin (cubicle) kojeistoihin. Erona näillä on kennon sisätilojen eri osien (kokoojakiskot, katkaisija, lähdön kojeet) kotelointi, joka metallikoteloitussa on jaettu maadoitetulla metallilla, tilakoteloitussa eristysaineella ja kennokoteloitussa jakoa ei ole tehty vaan kaikki kojeet ovat samassa tilassa. Turvallisuuden kannalta koteloidut kennon sisätilat on paras ratkaisu. Eristysaineen perusteella jako voi olla, kuten edellä todettiin, ilma- ja kaasueristeiset kojeistot, minkä lisäksi yksi ryhmittelytapa voi olla kiinteästi kalustetut kojeistot sekä ulosvedettävillä kojeilla varustetut vaunukojeistot. (Elovaara & Haarla 2011: 120–122.)

Keskijännitteille soveltuva koteloitu ulkokojeisto on useasti helppo ja toimiva ratkaisu, kun apulaitteiden tilantarve on pieni. Yhtenä esimerkkinä on ABB Oy:n käyttämä MEHO-ulkokytkemö, jossa sekä kojeisto että apulaitteet on tehtaalla asennettu teräspalkkirunkoisen kojeistorakennuksen sisään. Tällöin kaikki asennukset sekä osa

koestuksesta voidaan tehdä tehdasoloissa ja rakennus voidaan nostaa ja kuljettaa kokonaisena tai muutamana lohkona asennuspaikalle asennettavaksi valmiille, mahdollisesti kaapelikellarin käsittävälle perustukselle, mikä vähentää merkittävästi työmaalla tehtäviä töitä. Vähentynyt työmäärä työmaalla vähentää myös projektin viivästysriskiä ja parantaa erityisesti projektin loppuvaiheen ennustettavuutta, jonka ansiosta yllätysten välttäminen helpottuu. Myös tehdasvalmisteiset koteloidut sisäkojeistot ovat keskijännitteillä käytössä, kun voidaan käyttää rakennuksen sisälle sijoitettavaa, standardiratkaisun omaavaa kojeistotyyppiä. Turvallisuus-, käyttövarmuus- ja tilankäyttöominaisuuksiltaan ne ovat markkinoiden kärkipäätä ja siksi varteenotettavia vaihtoehtoja. (Elovaara & Haarla 2011: 122–124.)

Kojeistomarkkinoiden tuorein suuntaus on kasettikojeistot. Kasettikojeistoissa kytkinlaitteet sijaitsevat kaseteissa, jotka voidaan metalli- tai tilakoteloidusta kennosta vaihtaa tarkoitukseen valmistetulla siirtovaunulla. Jokaisesta kojetilasta lähtee oma paineenpurkauskanava ulkotiloihin ja kaikkien kytkentätoimenpiteiden edellytyksenä on suljettu kennon ovi. Turvallisuuden lisäämiseksi kasetin ulosvetäminen sulkee yhteydet kokoojakisko- ja kaapelitiloihin poistaen työskentelysuojien tarpeen ja työmaadoituserotin pystyy sulkeutumaan mitoitusvirrallaan. Kiskotilaan, joka sijaitsee kojeiston yläosassa, pääsee ainoastaan työkaluja käyttämällä. Noin 75 % kennon kokonaistilavuudesta käsittävään katkaisijan sisältävään kaapelitilaan voidaan sijoittaa lisäksi tulo- ja syöttökaapeliliitännät, sulakkeet, maadoituskytkimet ja mittamuuntajat. Kuormanerotinta käytettäessä kennon ovea ei saa auki ennen kuin kennon alaosa on jännitteetön ja maadoitettu, jolloin se on lukituslaittein valvottua tilaa. Toisaalta, jos kuormanerotinta ei ole, ovi voidaan lukita riippulukolla, jolloin siitä tulee lukituslaittein ja ulkopuolisin lukitusedoin valvottu tila. (Elovaara & Haarla 2011: 125–126.)

2.4 Relesuojaus

Suojareleet kuuluvat mittamuuntajien ja katkaisijoiden kanssa sähköverkon suojausjärjestelmään. Suojareleiden tehtävänä on verkon vikaantuessa, kuten oiko- tai maasulkutilanteessa, erottaa verkon vikaantunut osa, ettei se aiheuta vaaraa tai vahinkoa ihmisille

eikä verkon muille laitteille. Verkonosan nopea erottaminen on ensisijaisen tärkeää vikavirtojen noustessa nopeasti vaaralliselle tasolle, mutta vikaantuneen osan erotuttua voi tehonsyöttö jatkua sähköverkon muissa osissa. (Aura & Tonteri 1993: 167; McDonald 2003: 6 - 12; Elovaara & Haarla 2011: 335–337.)

Siirtoverkon yleisin vikatilanne on salamaniskun aiheuttama 1-vaiheinen maasulku avojohdolle. Koska siirtojohdoilla käytetään ukkosjohtimia, salama ei usein pääse iskemään suoraan vaihejohtimeen, vaan salamaniskun osuessa ukkosjohtimeen voi se pylvään kohdalla olevan riittämättömän eristyksen takia siirtyä takaiskuna vaihejohtimelle. Syntyneen valokaaren sammumisen edellytyksenä on vikaantuneen komponentin erottaminen. Rinnakkaisvioletuksi lasketaan myös oiko- ja maasulut, jotka aiheutuvat pylvään katkeamisesta tai sortumisesta, virtamuuntajan räjähtämisestä, erottimen murtumisesta, lumesta ja jäästä sekä johtimen katkeamisesta tai putoamisesta maahan. Myös esimerkiksi kova tuuli voi aiheuttaa kaksivaiheisen oikosulun kahden johtimen osuessa toisiinsa. Oikosulkuvikoja vastaan voidaan suojautua ylivirta-, differentiaali- ja distanssireleillä. Ylivirtarele huomaa verkon ylivirran, mutta ei näe vikavirran suuntaa, kun taas distanssirele huomaa vikavirran suunnan ja etäisyyden ollen selvästi tarkempi rele. Maasulkusuojaksi soveltuu nollavirtaa mittava ylivirtarele eli nollavirtarele sekä distanssirele tai suunnattu maasulkurele. Nollavirtarele on tässäkin tapauksessa maasulkuvirran suunnan havaitsemattomuus, minkä kaksi muuta mainittua releettä havaitsevat. Distanssirele ei kuitenkaan sovellu ainoaksi maasulkusuojaksi, sillä se havaitsee viat vain 20Ω :n asti (vaatimus Suomessa 500Ω). (Elovaara & Haarla 2011: 337–341.)

Sarjavioletuksi nimitetään muun muassa johtimen katkeamista ilman maasulkua tai katkaisijan vajaanapaista toimintaa. Johtimen katkeamisesta ei aiheudu maasulkua, mikäli johtimen pää jää roikkumaan ilmaan ilman että se osuu maahan. Tällöin kuormitusvirta on epäsymmetristä, mutta maa- tai oikosulun puuttumisen johdosta syöttävän verkon suojaus ei välttämättä toimi. Tästä syystä, kulutuslaitteiden suojaamiseksi, on suojaus hoidettu kuorman puolella esimerkiksi kolmivaiheisella alijännitereleellä. (Elovaara & Haarla 2011: 341–342.)

Hyvä suojausjärjestelmä on koko verkon kattava ja selektiivinen, ja toimii nopeasti sekä luotettavasti. Selektiivinen suojausjärjestelmä erottaa verkosta vain vikaantuneen osan ja pitää mahdollisimman suuren osan verkosta käytössä käyttäjälle aiheutuvien haittojen minimoimiseksi. Tämän onnistumisessa oleellisessa asemassa ovat oikeat releet sekä niiden oikeat asetteluarvot niin jännite- ja virtarajoihin kuin toiminta-aikoihin. Oikeilla toiminta-ajoilla saadaan suojaus toimimaan riittävän nopeasti sekä myös parannettua selektiivisyyttä ohjaamalla toimintoja aikaportaisissa. Suojauksen suunnittelussa on kuitenkin aina otettava huomioon suojausjärjestelmän ja toisaalta vikatilanteen aiheuttamat kustannukset. Pienien sähköasemien suojausjärjestelmiä ei kannata ylimitoitaa tarpeisiin nähden, mutta kriittisillä asemilla suojauksen on oltava paras mahdollinen. Yhtenä esimerkkinä kehittyvistä suojaustekniikoista voidaan mainita aktiiviset ukkossuojat. Näistä on jo joitakin käytännön kokemuksia, mutta tutkimukset aiheeseen liittyen ovat vielä kesken. Toimintaperiaatteena aktiivisissa ukkossuojissa on, että ne eivät ainoastaan odota salamaniskua osuvaksi, vaan aktiivisesti houkuttelevat salamaniskuja kauempaakin osuviksi niihin kohtiin, joissa salamanisku voidaan turvallisesti käsitellä ilman tuhoja. Salamaniskun houkuttelukeinoina käytetään muun muassa ukkosmastojen radioaktiivisia kärkiä tai korkeajännitepulsseja lähettäviä mastonkärkiä, joilla ukkosmaston aktiivista pituutta saadaan pidennettyä ja salamaniskun mastoon osumisen todennäköisyyttä kasvatettua. (Aura & Tonteri 1993: 167–168; McDonald 2003: 12 - 20; Elovaara & Haarla 2011: 342–344.)

Suojareleen mittaaman arvon ylittäessä tai alittaessa releelle asetetun asetteluarvon rele havahtuu. Arvon pysyessä riittävän kauan yli tai alle raja-arvon, rele antaa laukaisukäskyn katkaisijalle, lähettää hälytyksen tai tekee molemmat. Kun arvo palautuu sallitulle alueelle, rele palautuu normaalitilaansa. Raja-arvon rikkoutumisesta releen laukaisuun tai hälytykseen kuluva aika on releen toiminta-aika. Palautumisaika on aika joka kuluu mitatun arvon palautumisesta sallitulle alueelle releen palautumiseen. (Aura & Tonteri 1993: 168; Elovaara & Haarla 2011: 344.)

Nykyään käytetään 1980-luvun lopulla markkinoille tulleita mikroprosessorireleitä eli digitaalisia releitä. Käytössä on vielä myös näitä vanhempia elektronisia releitä sekä jopa sähkömekaanisia releitä, mutta ne vähenevät koko ajan asemasaneerausten yhteydes-

sä. Digitaaliset releet ovat tuoneet mukanaan paljon oheistoimintoja varsinaisen vian havaitsemisen ja laukaisukäskyn lähettämisen rinnalle, mikä monimutkaistaa releen käyttöä ja saattaa aiheuttaa enemmän vikoja releeseen. Digitaalitekniikan ripeästä kehitysvauhdista johtuen tietyt digitaaliset releet voivat olla elinkaareltaankin kovin lyhytikäisiä. Vanhempiin releisiin verrattuna mikroprosessorireleet ovat kuitenkin nopeampia, tarkempia ja monipuolisempia eikä niitä tarvitse koestaa niin usein sillä niissä ei ole kuluvia mekaanisia osia. (Elovaara & Haarla 2011: 344–345.)

Yleisimpiin suojarelisiin kuuluvat jo yllä mainitut ylivirtareleet, distanssireleet, nollavirtareleet sekä differentiaalireleet. Muita maininnan arvoisia ovat muun muassa jälleenkytkentäreleet, tahdissaolon valvojat, automaattitahdistimet, taajuusreleet, kiskosuojarreleet, katkaisijavikareleet, kaasuli Buchholz releet sekä jännitereleet. Ylivirrasta laukaiseva ylivirtarele soveltuu säteisjohdolle silloin, kun pienin vikavirta on suurinta kuormitusvirtaa suurempi. Silmukoituun verkkoon se soveltuu ainoastaan varasuojaksi, sillä se ei havaitse virran suuntaa. Distanssirele havaitsee vian suunnan, jonka vuoksi sitä käytetään silmukoidussa verkossa. Vian suunnan rele saa selville virran ja jännitteen vaiheensiirtokulman perusteella, mutta suuria vikavirtoja rele ei havaitse niiden ollessa resistiivisiä. Vikapaikan distanssirele saa laskettua selvitettyään virran ja jännitteen avulla impedanssin ja määrittämällä tästä etäisyyden releeltä vikapaikkaan. Distanssireleen ominaisuuksiin kuuluu myös suojausalueen jako eri vyöhykkeisiin, minkä avulla eri etäisyydellä olevat viat laukaisevat releen eri ajassa. Täten vikaa lähinnä oleva rele laukaisee katkaisijan ja mahdollisimman pieni osa verkosta erotetaan, eikä rele laukaise vasta-asemansa takana sijaitsevasta viasta. (Elovaara & Haarla 2011: 346–353.)

Virtamuuntajien toisiokäämeihin kytketty ylivirtarele, joka mittaa vaihevirtojen summavirtaa ja toimii maasuluissa, on nollavirtarele. Herkkä nollavirtarele on virta-asettelultaan pieni mutta hidastukseltaan suuri, kun karkea nollavirtarele on asetteluiltaan päinvastainen. Molempia kuitenkin tarvitaan, mutta prosessorireleissä eri asettelu-mahdollisuuksien ansiosta nämä releet voivat olla samassa laitteessa. Differentiaalirele vertaa siihen tulevia ja sitä lähteviä virtoja, ja kun niiden ero kasvaa yli asettelu-arvojen, rele toimii. Differentiaalirele kykenee suojaamaan kuitenkin vain niiden virtamuuntajien

välisen alueen, mihin se on kytketty. Muuntajan suojaukseen differentiaalirele on paras vaihtoehto. (Elovaara & Haarla 2011: 353–356.)

Releiden asetteluarvojen syöttäminen sekä oikean toiminnan toteuttaminen on yksi koestusvaiheen aikaa vievistä vaiheista. Läpikäytäviä asetuksia on paljon, ja nykypäivän digitaalisten releiden koestus voi olla vaikeaa vanhempiin releisiin tottuneille. Mahdollisimman tarkkojen ja totuudenmukaisten asettelujen syöttäminen jo ennen työmaalle siirtymistä edesauttaa koestusaikataulussa pysymistä.

2.5 Kompaktit sähköasemat

Sähkökulutuksen jatkuvasti lisääntyessä ja täten uusien asemien tarpeen kasvaessa sekä etenkin kaupunkialueiden tyhjän tonttimaan vähetessä on sähköasemienkin suotavaa osallistua tilansäästöön, sillä perinteinen sähköasema kaikkine turvaetäisyyksineen vaatii runsaasti pinta-alaa. Yhtenä keinona ovat kaasueristeiset kytkinlaitokset, joiden avulla saavutetaan ilmaeristeisiin laitoksiin verrattuna merkittävä tilansäästö. Erottavat katkaisijat eliminoivat erottajien tarvetta ja on täten toinen keino pienentää tilantarvetta. Kolmantena näkökohtana on mittamuuntajien ja anturien yhdistäminen osaksi suurjännitteenkennoa, mikä voidaan toteuttaa esimerkiksi ulosvedettävillä ulkokytkinlaitosten katkaisijoilla sekä kompakteilla tehdasvalmisteisilla ulkokytkinlaitoksen kentillä, joissa samalla telineellä on useita eri laitteita. Ulosvedettävät katkaisijat puolestaan polveutuvat vaunukatkaisijaratkaisun ideasta, missä näkyvä avausväli saavutetaan vetämällä katkaisija ulos tavanomaisesta sijoituspaikastaan, jolloin erillisiä erottimia ei tarvita. (Elovaara & Haarla 2011: 111.)

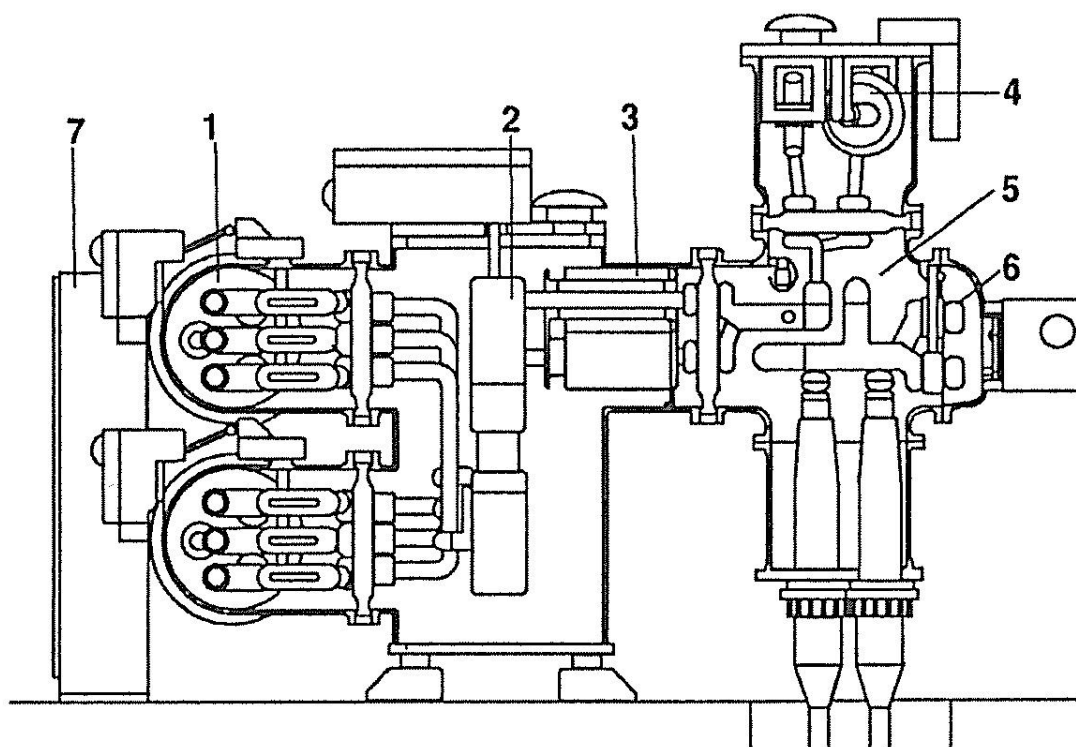
Hybridiratkaisuissa käytetään ulos asennettavia SF₆-laitoksia, jotka kootaan jo tehtaalla asennusvalmiiksi katkaisijakennomoduuleiksi. Tällöin valmiissa moduulissa voi olla SF₆-eristeisen katkaisijan lisäksi johto- ja maadoituserottimet sekä virtamuuntajat. Moduulit ovat tehdaskoestettuja ja koottuja, mikä nopeuttaa työmaalla tehtäviä asennus- ja koestustöitä merkittävästi unohtamatta noin 50 %:n tilansäästöä verrattuna perinteiseen avokytkinlaitokseen. Lisäksi elinkaarikustannuksiltaan tällainen hybridilaitos on etenkin

käyttö-, kunnossapito- ja huoltokuluiltaan merkittävästi perinteistä kytkinlaitosta taloudellisempi. (McDonald 2003: 2 - 1; Elovaara & Haarla 2011: 114–115.)

SF₆-eristeiset suurjännitteiset GIS-laitokset ovat viimeisen parin vuosikymmenen aikana paitsi vähentäneet radikaalisti tilantarvettaan myös tulleet kustannuksiltaan erittäin kilpailukykyisiksi. GIS-laitoksessa henkilöturvallisuus on korkealla tasolla, sillä jännitteisten osien sijaitessa hermeettisesti suljetussa SF₆-eristeisessä maadoitetussa metallikotelossa koko laitos on kosketus- ja valokaarisuojattu. GIS-laitoksen nopean asentamisen mahdollistaa tehtaalla valmiiksi kootut moduulit, jotka yhdistetään asennuspaikalla laippaliitoksin toisiinsa. Kotelointiin käytetään alumiinia tai terästä ja se toteutetaan tapauksesta riippuen yksi- tai kolmivaiheisena, kuitenkin yli 170 kV jännitteillä aina yksivaiheisena suuremman jänniterasituksen takia. Kolmivaihekoteloinnin suurimpana etuna on tilansäästö yksivaiheiseen kotelointiin verrattuna. Kuvassa 2 on esitetty erään kaapelilähdön varustetun GIS-kentän poikkileikkaus ja komponentit. (Bolin & Koch 2008; McDonald 2003: 2 - 2–2 - 3; Elovaara & Haarla 2011: 128–132.)

GIS-laitoksen suurimpana ongelmana käyttäjän kannalta, ja toisaalta etuna valmistajan kannalta on, että käytännössä aseman rakentamisvaiheessa tehdyn valmistajavalinnan jälkeen muiden valmistajien komponenteilla aseman laajennus ei kannata taloudellisesti. Kunnollista valmistajien välistä standardointia ei ole olemassa, joten toisen valmistajan laitteiden liittäminen olemassa olevaan asemaan sovitukseen on todella kallista verrattuna saman valmistajan komponentteihin. Erittäin merkittävässä roolissa GIS-laitoksen asennuksessa on siisteys, sillä kaasutilaan jääneet roskat, työkalut tai vastaavat muuttavat radikaalisti sähkökentän jakaumaa ja täten saattavat aiheuttaa läpilyöntejä. Tämän vuoksi testaus ja laadunvalvonta käyttöpaikalla ovat asennusvaiheessa erittäin tärkeitä osa-alueita. (Elovaara & Haarla 2011: 134–135.)

GIS-laitokset edellyttävät myös merkittävää suunnittelupanosta ennen tilauksen jättämistä. Tästä johtuen kattavat lähtötiedot projektin alusta lähtien on välttämätöntä joutuvan GIS-toimituksen takaamiseksi, mutta tässä vaiheessa panostettu työmäärä suunnittelussa palkitsee nopeana asennusvaiheena. (Becker & Koch 2005.)



1) kokoojakisko yhdistelmäerotimella, 2) katkaisija, 3) virtamuuntaja, 4) jännitemuuntajat, 5) kaapelipäätteen yhteyteen sijoitettu kaapelilähdön yhdistelmäerotin, 6) vikavirtakestoinen maadoituserotin (maadoituskytkin), 7) ohjauskaappi

Kuva 2. GIS-kentän poikkileikkaus (Elovaara & Haarla 2011: 130).

Avorakenteiseen laitokseen verrattuna sekä huoltotarve että vikataajuus ovat GIS-laitoksessa merkittävästi pienemmät. Täyshuolto, jota varten kaasutilat on avattava, suoritetaan 10–20 vuoden välein. Täyshuoltojen yhteydessä, niin sisä- kuin ulkotiloihin asennetuissa GIS-laitoksissa, on useimmiten todettu laitoksen erinomainen kunto myös sisäisesti, joten huolto ei välttämättä edes olisi ollut pakollinen. Asiasta varmistumiseksi huolto kuitenkin puoltaa paikkaansa, ja sen avulla laitoksen elinikäennustetta voidaan yleensä korjata ylöspäin. Kokemus on osoittanut, että GIS-laitoksen käyttöikä on yli 30 vuotta, ja ottaen huomioon GIS-laitosten markkinoille tulon vasta 1970-luvulla, voidaan olettaa käyttöiän nousevan vielä merkittävästi. Pienen vikataajuuden ansiosta myös kiskojärjestelmät voivat olla tavallista yksinkertaisemmat. Kylmissä olosuhteissa, kuten Suomessa, GIS-laitos on aina rakennettava lämmitettyyn sisätilaan jännitelujuus-, huolto- ja korjauskysymysten johdosta, mikä osaltaan kasvattaa perustamis- ja käyttökuluja. (McDonald 2003: 2 - 4; Elovaara & Haarla 2011: 135–136.)

Suljetun ja kompaktin rakenteensa ansiosta GIS-laitokset soveltuvat myös erinomaisesti käytettäviksi tilanpuutteen vuoksi yleistyvissä maanalaisissa sähköasemissa. Yhtenä esimerkkinä maanalaisesta asemasta voidaan mainita hiljattain valmistunut Kluuvin sähköasema Helsingissä, jonka ABB Oy toimitti Helen Sähköverkko Oy:lle. Kluuvin asemalla on 110 kV kaasueristeinen kojeisto sekä 10 kV ilmaeristeinen kojeisto ohjaus-, suojaus-, omakäyttö- ja kaukokäyttöjärjestelmiseen. Täysin maanpinnalle näkymättömissä oleva kolmikerroksinen asema on sisältä kuin tavallinen rakennus, jonka sisäkattoa verhoaa peltikatto estäen maa-aineksen rapistumisen herkkien kojeiden päälle. Sähköä Kluuvin asema tulee syöttämään Helsingin ydinkeskustan alueelle seuraavat vuosikymmenet. (ABB Oy 2011.)

Keskeytymättömän sähköjakelun saavuttamiseksi myös kevyet sähköasemat tarjoavat oman kompaktin ratkaisunsa. Kevyet sähköasemat pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle suurjännitelinjaa ja niiden ulkokentällä ei välttämättä tarvita muuntajan lisäksi kuin yhdistetty katkaisija-erotin-maadoitus-yksikkö, joten sekä tontista että laitteista aiheutuvat kustannukset pysyvät kurissa. Suurien kulutuskohteiden yhteyteen kevyet sähköasemat eivät sovellu, mutta pienten kuormien syöttäjäksi ja sähköasemaverkon tiivistämiseksi sekä luotettavuuden parantamiseksi ne ovat erittäin kustannustehokas ratkaisu ollen hankintahinnaltaan noin puolet täysmittaisen sähköaseman perustamiskustannuksista. (Kumpulainen ym. 2006; Lakervi & Partanen 2009: 123–124; ABB Oy 2009.)

3 SÄHKÖASEMAPROJEKTI

Sähköasemaprojektissa on tietty projektiryhmä, joka määrätyn aikataulun puitteissa toteuttaa ennalta määrätyn kokonaisuuden laadittua budjettia noudattaen. Sähköasemaprojekti alkaa asiakkaalta tulleesta tarjouspyynnöstä, jonka perusteella tehdyistä tarjouksista tilaaja valitsee itselleen mieluisimman kokonaisuuden tarjoajan sopimuskumppaniksi. Tilaussopimuksen allekirjoituksen jälkeen kauppaa nimitetään sähköasemaprojektiksi, joita on useita erityyppisiä pienistä aliprojekteista niin sanottuun avaimet käteen-toimitukseen. Tässä kappaleessa on kuvattu sähköasemaprojekteja yleisesti.

3.1 Vaihtoehtoiset toimitussisällöt

Sähköasemaprojekteja voidaan toimittaa useilla erilaisilla toimitussisällöillä. Selkein ja kattavin toimitustapa on niin sanottu avaimet käteen -toimitus, turnkey-projekti. Turnkey-projekteissa toimittaja vastaa niin projektin markkinoinnista, neuvotteluista, suunnittelusta, dokumentoinnista, materiaalitoimituksista, rakennus- ja asennustöistä sekä koestuksista siten, että kun sähköasema luovutetaan asiakkaalle, on se täysin käyttövalmis käyttö- ja huolto-ohjeineen sekä asemainfrastruktuureineen. Vaikka toimittaja käyttää alihankkijoita projektin toteutukseen, on toimittaja myös alihankkijoidensa töistä vastuussa projektin tilaajalle. Nykyään toimittaja on lisäksi suurissa vientiprojekteissa usein apuna hankkimassa projektille rahoitusta suurilta kansainvälisiltä rahoituslaitoksilta sopimuksen syntymiseksi.

Suurien projektien ollessa kyseessä koko sähköasemaprojekti voidaan toteuttaa aliprojektina pääurakoitsijalle, eikä suoraan tilaajalle. Tällainen toimitus voi tulla kyseeseen, jos esimerkiksi pääurakoitsijalla ei ole tietotaitoa toteuttaa sähköasemaa vaan on erikoistunut toiselle alalle, kuten voimalaitosten toteuttamiseen. Samaan tapaan sähköasemaprojektin rakennus-, asennus- ja kuljetuskokonaisuudet voidaan toteuttaa aliurakoina sähköasematoimittajalle.

Suuria projekteja voidaan myös osittaa siten, että rinnakkaiset toimittajat toteuttavat kukin itsenäisesti projektin osia ja ovat kaikki sopimussuhteessa tilaajan kanssa. Tällöin

tilaaja itse huolehtii eri osaprojektien yhteensovittamisesta ja niiden keskinäisistä yhteensopivuuksista niin aikataulun kuin teknisen yhteensoveltuvuuden osalta. Tämä edellyttää tilaajaltakin paneutumista ja asiantuntemusta projektiin liittyen selvästi turnkey-projektia enemmän. Halvan työvoiman maissa voidaan esimerkiksi tilata sähköasema-projekti ilman asennus- ja rakennustöitä, jolloin tilaaja hoitaa itse asennus- ja rakennusurakat. Sähköasemaprojektiin voi kuitenkin kuulua asennusvalvonta, jolloin sähköaseman toimittajan edustaja voi opastaa asentajia asennusten aikana ja varmistua täten asennusten oikeellisuudesta.

Toisinaan tilaaja voi haluta toimituksen käsittävän ainoastaan sähköaseman rakentamiseen tarvittavat komponentit, jolloin puhutaan materiaalitoimitusprojektista. Tilatut komponentit voivat käsittää kaiken tarvittavan sähköaseman rakentamiseksi, tai ne voivat olla varaosia jo olemassa olevalle asemalle. (Pasto 2009.)

3.2 Tarjous- ja myyntivaihe

Mahdollinen sähköasemaprojekti alkaa asiakkaalta usealle eri toimittajalle lähetettävää tarjouskyselyä. Kyselyt vaihtelevat keskenään kattavuudeltaan suuresti; toiset ovat erittäin tarkkoja ja niiden perusteella on helppo laatia kattava tarjous, toisten kyselyjen tiedoista ei selviä juuri mitään, vaan kaikki tarvittavat tiedot tarjouksen laatimiseksi on selvitettävä tilaajan kanssa. Tarjouskyselyn pohjalta tehdään päätös lähdetäänkö projektista tekemään tarjousta, vai unohdetaanko tarjouskysely epäsovivan aikataulun, toimittamisällön tai budjettiraamin takia.

Tarjoukseen selvitetään materiaalikulut, rakennus- ja asennusurakat, rahtikulut sekä muut mahdolliset suorat kustannukset. Lisäksi arvioidaan tarvittava työpanos eriteltynä eri työntekijäryhmittäin palkkakulujen selvittämiseksi ja selvitetään mahdollisesti tarvittava rahoitusratkaisu. Projektista ja kohdemaasta riippuen on varattava myös riskivaraus yllättävien kulujen varalta. Tarvittaessa käydään tilaajan edustajan kanssa työmaalla tutustumassa kohteeseen, että voidaan varmistua kaiken tarjouksen kannalta oleellisen huomioonottamisesta. Mikäli tarjottavissa on toimittajan mielestä tarjouskyselyyn verrattuna kohteeseen paremmin soveltuvia laitteita, voi toimittaja poiketa tarjouksessaan

näistä vaatimuksista ja tarjota vaihtoehtoista ratkaisua, kunhan tilaajalle ilmoitetaan tehdyt muutokset kyselyyn verrattuna.

Tarjousdokumentaation valmistumisen ja tarjouskatselmuksessa saadun hyväksynnän jälkeen tarjousdokumentaatio toimitetaan tilaajalle kaikkine vaadittuine dokumentteineen, hintoineen, toimituspäivineen ja -ehtoineen sekä voimassaoloaikoineen. Tarjousdokumentaatioon sisältyvät muun muassa aikataulu, tekninen erittely, mitoituslaskelmat, pääkaaviot, sijoituspiirustukset, osaluettelot ym., jotka toimivat apuna tarjouslaskennassa, mahdollisen projektin suunnittelun lähtökohtina sekä asiakkaalle tarjousta selventävinä dokumentteina.

Tarjousten jättämisen jälkeen tilaaja voi halutessaan valita pari mieluisinta toimittajaa ja pyytää heiltä tarkennustarjouksia ennen lopullisia sopimusneuvotteluita ja sopimuksen allekirjoittamista valitun toimittajan kanssa. Sopimuksen allekirjoituksen jälkeen projekti siirretään myynnistä toteutukseen, jolloin projekti siirtyy myyjän vastuulta projektipäällikölle. (Leivo 2001; Salo 2002; Tolvanen 2005.)

3.3 Projektiryhmä

Sähköasemaprojektin onnistuneen tarjousvaiheen ja sopimusneuvotteluiden jälkeen projektipäällikkö tarvitsee projektin toteutusta varten ympärilleen projektiryhmän. Projektipäälliköllä on sekä taloudellinen että aikataulullinen vastuu projektin toteutuksessa, mutta onnistuakseen tässä projektiryhmässä on oltava projektin tarpeiden mukaan yksi tai useampia edustajia seuraavista työntekijäryhmistä: sähkösuunnittelija, mekaniikka-suunnittelija, käyttöönottaja, asennusvalvoja ja huolitsija. Projektilla ei ole yhtä nimettyä henkilöä, joka olisi vastuussa materiaalihankinnoista, vaan koko osto-organisaation yhteinen työpanos on projektin onnistumisen kannalta ratkaisevaa. Projektin aikataulutavoitteiden ja budjetin pitämiseksi jatkuva kommunikointi ja etenkin välitön muutoksista viestiminen projektiryhmän sisällä on oleellista, ettei tehdä turhaa työtä väärään aikaan ja voidaan reagoida riittävän nopeasti havaittuihin vastoinkäymisiin.

Suurissa vientiprojekteissa projektiryhmään voi kuulua myös esimerkiksi kohdemaassa työskentelevä paikallinen projektipäällikkö tai työmaapäällikkö, jonka viestinnän perusteella projektipäälliköllä on ajantasainen käsitys projektin etenemisestä paikallisesti ja kommunikointi kohdemaassa sijaitsevan asiakkaan kanssa on helpompaa. (Salo 2002.)

3.4 Suunnittelu

Sähköasemaprojektin suunnittelun tavoitteena on luoda tarvittavat piirustukset ja laskelmat, joiden avulla sähköasema ja sen komponentit voidaan rakentaa, koestaa, ottaa käyttöön ja ylläpitää. Projektin suunnittelun ensimmäiset vaiheet, yleis- ja esisuunnittelun, tekee yleensä tilaaja. Näissä vaiheissa selvitetään suunnittelua ohjaavat lait, asetukset, määräykset ja standardit. Aseman sijainnin, rakentamisajankohdan sekä päämuuntajien tehon ja lukumäärän määrittelevät kuormitus- ja kasvukäyrät kyseisellä alueella. Lisäksi päätetään ulkokytkinlaitoksen rakennetyyppi (kaasu- vai ilmaeristeinen, sisä- vai ulkokojeisto) ja luodaan alustava sijoituspiirustus asemasta. Esisuunnittelussa, jonka asiantunteva tilaaja tekee itse mutta jonka tilaaja voi myös ulkoistaa, määritetään lisäksi tärkeimmät mitoitusarvot, kiskoratkaisut sekä aseman automaatioaste. Esisuunnittelussa syntyy hankintaohjelman teknillinen erittely sekä selventäviä karkean tason piirustuksia, kuten pääkaaviot, järjestelmien toimintakaaviot sekä sijoituspiirustukset. Esisuunnittelun dokumenttien kattavuus on kuitenkin tapauskohtaista, tärkeintä siinä olisi, että toimittaja saisi selkeän kuvan halutusta toimituslaajuudesta oikeine lähtötietoineen.

Viimeistään tässä vaiheessa suunnittelu siirtyy toimittajalle tarjousvaiheen suunnittelun myötä. Tilaajan toimittamien lähtötietojen perusteella toimittaja tekee tarjousvaiheen karkean tason järjestelmäsuunnittelun, joka ei syvenny liiaksi yksityiskohtiin vaan joka tarvittavine dokumentteineen kertoo riittävällä tarkkuudella sähköaseman hinnan ja selventää tilaajalle tarjouksen kattavuuden ja käytetyt ratkaisut.

Voitetun tarjouskilpailun jälkeen, projektin siirtyessä toteutusvaiheeseen, aloitetaan toteutusvaiheen järjestelmäsuunnittelu. Oleellista toteutusvaiheen suunnittelussa on riittävien lähtötietojen saaminen tarjousvaiheesta sekä järjestelmäsuunnittelussa syntyvien pää- ja apujärjestelmien pääkaavioiden, suojausten ja mittauksen toimintakaavioiden

sekä ulkokentän, sähköasemarakennuksen, kojeistojen ja rele- ja ohjaustaulujen sijoituspiirustusten hyväksyttäminen tilaajalla ennen etenemistä detaljisuunnitteluun. Dokumenttien hyväksyttämällä ja tarvittaessa korjaamisella vältetään korjausten tekemisestä moneen piirustukseen, sillä detaljisuunnittelun piirustukset pohjautuvat järjestelmäsuunnittelussa laadittuihin piirustuksiin. Järjestelmäsuunnittelussa tehdään myös suunnitteluprosessin kannalta suurimmat ja merkittävimmät päätökset, joten huolellisesti ja asiantuntevasti toteutettu järjestelmäsuunnittelu on avainasemassa projektin taloudellisessa ja teknisessä onnistumisessa.

Detaljisuunnittelussa paneudutaan pienimpiinkin yksityiskohtiin ja luodaan piirikaaviot johto-, muuntaja- ja syöttölähdöistä, suunnitellaan apujärjestelmien toiminta, laaditaan lukituskaaviot ja suunnitellaan apuenergian jakelu. Myös detaljisuunnittelussa tulisi yhden tyyppikentän tiedot hyväksyttää asiakkaalla, jonka jälkeen korjatusta tyyppikentästä monistetaan tarvittava määrä spesifejä kenttiä ja syötetään niille oikeat tunnuksat. Täten vältetään taas turhaa työtä, kun halutut muutokset voidaan tehdä jo tyyppikentän piirustuksiin.

Sähköaseman valmistuttua suunnitteludokumenteista kerätään asiakkaalle toimitettava loppudokumentaatio, mistä ilmenee kuinka asema on todellisuudessa rakennettu. Asennusvaiheessa tehdyt muutokset suunnitelmiin on korjattava näihin loppudokumentteihin. Myös käyttö- ja huolto-ohjeet toimitetaan tilaajalle. Osa suunnitteludokumenteista jää loppudokumentaation ulkopuolelle niiden ollessa ainoastaan suunnittelun apuna käytettyjä piirustuksia ja laskelmia. (Salo 2002; Tolvanen 2005.)

3.5 Materiaalihankinnat ja laivaukset

Sähköasemaprojektien aikataulut ovat usein tiukkoja, joten jo tarjousvaiheessa on syytä huomioida heti sopimuksen allekirjoituksen jälkeen tehtävät asiat. Riippuen markkinatilanteesta ja tavarantoimittajien senhetkisestä tuotantokapasiteetista, pääkomponenttien toimitusajat ovat usein määräävässä roolissa asennustöiden aloitusajankohtaa määrittäessä. Tämän vuoksi monessa tapauksessa on välittömästi sopimuksen allekirjoituksen jälkeen tehtävä tarvittavat suunnitelmat ja spesifikaatiot näiden kriittisten komponent-

tien tilausta varten. Esimerkiksi katkaisijan mitoitusarvot tapaavat olla teknillisessä erittelyssä päätetty, mutta usein joitain muutoksia halutaan vielä tehdä ja nämä on otettava tilauksessa huomioon. Toisaalta, jo pääkomponentteja ennen on asennettava teräksestä valmistettavat telineet kojeita varten, ja nämä terästelineet on suunniteltava aina projekti-kohtaisesti. Tämän vuoksi terästelineiden nopea suunnittelu ja tilaus on syytä hoitaa heti projektin alkuvaiheessa.

Pääkomponenttien toimitusajat voivat pahimmillaan olla jopa vuoden luokkaa, joten niiden tilaaminen projektin varhaisessa vaiheessa on tästä syystä perusteltua. Toiset komponentit, kuten relepaneelit ja ohjauskaapelit, vaativat tarkempaa suunnittelua ennen niiden tilausta, mutta niiden toimitusajat ovat lyhyempiä, joten ne saadaan aikataulun puitteissa suunnitella rauhassa. Projektissa tarvittavien laitteiden ja tarvikkeiden tilauksia ei siis voida hoitaa kaikkia heti projektin alkuvaiheessa, vaan ostot etenevät käsi kädessä suunnittelun etenemisen kanssa läpi koko projektin suunnitteluvaiheen. Yleensä myös asennusvaiheessa huomataan tarvittavan kaikenlaisia pieniä asennustarvikkeita, mutta ne ovat yleensä pientä ja nopeasti toimitettavaa tavaraa, minkä parhaassa tapauksessa voi saada hankittua suoraan sähköalan tukkuliikkeestä asennustyömaan läheisyydestä.

Vientiprojekteissa, missä projektiorganisaatio istuu Suomessa ja kojeet ja laitteet tulevat asennuspaikalle alihankkijoilta ympäri maailman, on projektin logistiikkaankin käytettävä paljon resursseja. Varsinkin suuret kojeet kannattaa yleensä kuljettaa suoraan kohdemaahan ilman välivarastointia Suomessa, sillä ylimääräiset purkamiset ja lastaukset aiheuttavat aina laitteille vaurioriskin ja välivarastointi nostaa projektille aiheutuvia kustannuksia. Haasteeksi muodostuukin helposti laivausten oikea-aikaisuus, jotta varastointiaika niin lähtö- kuin kohdemaassa olisi mahdollisimman lyhyt. Tällöin niin valmistus- kuin kuljetusajan on oltava tarkkaan tiedossa ja asennustöiden oltava aikataulussa. Oman haasteensa rehelliselle toimittajalle luo myös tietyissä maissa hitaat ja byrokraattiset tullausmenetelmät, missä tullausprosessin nopeuttaminen vaatisi tulliviranomaisten lahjontaa.

Kuljetustapoina sähköasemaprojekteissa käytetään kaikkia yleisiä kuljetusmuotoja. Kohdemaasta riippuen suuret ja raskaat kuljetukset hoidetaan meriteitse, maantiekulje-

tuksina tai rautatietä pitkin. Pieniä ja kiireellisiä materiaaleja voidaan lähettää myös lentorahtina, mutta toimitettavien laitteiden koon kasvaessa lentorahdin kustannukset nousevat nopeasti kohtuuttoman korkeaksi. Projektille valitaan yksi huolitsija, joka hoitaa kaikkien komponenttien kuljetukset ja sovittaessa myös tullaukset kiinteällä summalla. (Pasto 2009.)

3.6 Asennus- ja koestustyöt

Sähköasemaprojektin rakennus- ja asennustyöt tilataan useimmiten aliurakoitsijalta kokonaisena urakkana. Tilaussopimuksessa on tarkasti määriteltävä, mitä kaikkia töitä urakkahintaan kuuluu, ettei toisen osapuolen mieltämistä itsestäänselvyyksistä tule erimielisyyksiä maksun hetkellä. Lisäksi jo urakkatarjousta pyydettyä töiden ajankohta on oltava kohtuullisella tarkkuudella tiedossa, jotta urakoitsijat osaavat antaa oikeanhintaisen tarjouksen senhetkisen resurssitilanteensa pohjalta. Rakennus- ja asennustöiden ajankohtaan ei vaikuta pelkästään tarvittavien komponenttien valmistusajat ja saapumiset työmaalle, vaan sähköaseman tilaajalla voi myös olla omia rajoitteitaan, varsinkin vanhojen asemien saneerausprojekteissa, esimerkiksi milloin töitä asemalla voidaan tehdä. Kaikista edellä mainituista seikoista johtuen projektipäällikön huolellinen paneutuminen projektin aikataulutukseen heti projektin alkuvaiheessa on välttämätöntä.

Rakennus- ja asennustöissä tulee aina muutoksia matkan varrella alkuperäiseen suunnitelmaan verrattuna. Ennestään tutun urakoitsijan kanssa muutoksien hoitaminen on aina helpompaa ja selkeämpää kuin uuden, tuntemattoman urakoitsijan kanssa, mutta kaikissa tapauksissa, jälleen mahdollisten jälkipuintien välttämiseksi, on tärkeää määrittää urakkasopimuksessa myös lisätöitä varten rakentajille ja asentajille tuntiveloitus. Tämän lisäksi mahdolliset lisäkustannuksia aiheuttavat työt on hyväksyttävä pääurakoitsijalla, jotta pääurakoitsijalla on ajantasainen kuva urakan kokonaishinnasta ja mahdollisuus kieltää lisätöiden tekeminen.

Asennustöiden, tai ainakin niiden tietyn osan valmistuttua, voidaan aloittaa koestukset, eli sähköaseman eri laitteiden tarkastukset ja testaukset. Koestukset suorittaa useimmiten pääurakoitsija, mutta koestukset voidaan myös ostaa erilliseltä aliurakoitsijalta.

Koestukset käsittävät asennettujen laitteiden mekaanisen tarkastuksen, kuten oikean kiinnitystavan telineeseensä, maadoitusten kytkennät jne. sekä toiminnallisen testauksen, jossa varmistetaan laitteen toimivan mekaanisesti ja sähköisesti siten, kuin sen on tarkoitettu toimivan. Näihin kuuluu esimerkiksi erottimen auki-kiinni -ohjaukset, katkaisijan laukaisun testaus sekä mittamuuntajien eristysvastusmittaukset. Koestuksista tehdään aina mittauspöytäkirjat, joissa todetaan mitä on testattu ja millaiset testitulokset on saatu. Koestuspöytäkirjat ovat oleellinen osa sähköasemaprojektin loppudokumentaatiota. (Hautala 2006.)

Koestuksissa käytetään välillä suuriakin jännitteitä, joten koestuksissa työturvallisuuden on jatkuvasti kiinnitettävä huomiota ja jokaisen työvaiheen suoritus on suunniteltava edeltä käsin huolimattomuudesta johtuvien työtaturmien välttämiseksi. Koestuksissa ei saisi olla kiire saada töitä tehtyä, vaan etenemisen on tapahduttava turvallisuuden ehdoilla ja erityistä tarkkuutta noudattaen. (Hautala 2006.)

3.7 Muutosten hallinta

Lähes jokaisessa sähköasemaprojektissa tulee toteutuksen edetessä vastaan muutoksia, joita halutaan tehdä alkuperäiseen suunnitelmaan ja sopimukseen verrattuna. Muutosten hinnoittelu on aina tapauskohtaista, tilaaja haluaa saada suppeammasta toimitussisällöstä mahdollisimman suuren hyvityksen, kun taas toimittaja haluaa saada jokaisesta lisätyöstä mahdollisimman paljon lisätuloja. Näiden muutosten hallintaan käytetään yleensä projektin aikana niin sanottua plus-miinus -listaa, johon kirjataan kaikki poikkeamat sopimukseen verrattuna ja sovitaan niille molempia osapuolia tyydyttävä hinta. Sovituista hinnoista ja muutoksista tulee tehdä kirjallinen dokumentti, jotta molemmille osapuolille on selvää, mitä muutoksia tehdään ja mikä on näiden muutosten vaikutus lopulliseen kauppahintaan. Plus-miinus -listan loppusumma maksetaan tai hyvitetään yleensä projektia luovutettaessa, esimerkiksi viimeisen maksuerän yhteydessä. Lisäkaupat eivät välttämättä ole toimittajalle mikään varsinainen rahasampo niistä aiheutuvaan työmäärään nähden, mutta merkittävää taloudellista voittoa tärkeämpää muutosten sujuvassa

hallinnassa on hyvän asiakassuhteen ylläpito tulevaisuuden uusia projekteja silmälläpitäen.

Toinen yleinen muutostyyppi on sähköasemaprojektin kauppasopimukseen kirjatut optiot. Sopimukseen kirjataan optiohintaa jollekin lisätyölle, mikä tilaajalla on oikeus kyseiseen hintaan tilata ja toimittaja on velvollinen sen siihen hintaan myymään. Nämä eivät kuitenkaan sisälly varsinaiseen alkuperäiseen kauppahintaan. Yhtenä esimerkkinä tällaisesta optiosta voi olla esimerkiksi sähköaseman saneerausprojektissa asema-alueen heinää kasvavan ulkokentän pinnan kuoriminen, massojen vaihto sekä pintasepelöinti, jonka hankkimisesta tilaaja voi tehdä päätöksen projektin edetessä. Optioihin on myös hyvä kirjata jo projektin myyntivaiheessa ajankohta, mihin mennessä optio tulee olla tilattu jos se tilataan, esimerkiksi jos optiona on asema-alueen ympäröivän aidan korotus 70 cm sopimuksessa mainittuun verrattuna, ei tätä optiota voida enää tilata kun matalamman aidan materiaalit on jo tilattu.

Kaikkien muutosten hallinnassa projektipäällikön on arvioitava muutosten mahdolliset vaikutukset projekti-ajatauluun sekä viestittävä projektiryhmää mahdollisista muutoksista. Pelkkä projektipäälliköllä oleva hiljainen tieto muutoksista ei riitä projektin onnistuneeseen läpivientiin. Myös lisätarjouksia hinnoitellessa lisätyön vaikutukset muiden työvaiheiden siirtymiseen on otettava huomioon, ettei lisätarjouksesta loppujen lopuksi aiheudukin lisäkustannuksia toimittajalle, vaikka pelkkä tarjous itsessään näyttäisi tuovan lisätuloja.

3.8 Luovutus

Sähköasemaprojekti luovutetaan tilaajalle kaikkien tai lähes kaikkien töiden valmistuttua. Luovutuksesta tehdään luovutusprotokolla, jossa muun muassa mainitaan tarkistetut ja luovutuksen yhteydessä läpikäytyt asiat asemalla ja kirjataan niin sanotulle puutelistalle vielä tekemättä olevat tai korjattavat työt. Puutelistan töiden tekemiselle asetetaan tietty määräaika, johon mennessä toimittajan on korjattava listan puutteet.

Sähköaseman luovutuksessa toimittaja luovuttaa aseman tilaajalle eikä näin ollen ole enää vastuussa itse sähköasemasta. Tämän vuoksi vastuun siirtämiseksi tilaajalle luovutus on tärkeä tehdä heti kun aseman työtilanne sen mahdollistaa varsinkin, jos asema on jo jännitteinen ja käytössä. Luovutuspäivä on yleensä myös takuuajan alkamispäivä.

4 SÄHKÖASEMAPROJEKTIN AIKATAULU JA SEN MERKITYS

Sähköasemaprojektissa, kuten monessa muussakin projektiluontoisessa työssä, on yleensä kaksi merkittävää ohjaavaa tekijää: budjetti ja aikataulu. Projektin onnistumisen kannalta tärkeää on budjettiseuranta ja budjetissa pysyminen, toisaalta projektilla on yleensä myös tietty ajankohta kun sen oletetaan olevan valmis ja tähän valmistumisajankohtaan pääsemiseksi tarvitaan aikataulu. Aikatauluja on erilaisia, aina projektin johtohenkilöstön omassa päässä olevista aikatauluista monisivuisiin paperille laadittuihin aikatauluihin. Tärkeää on, että aikataulu on tarkkuudeltaan ja kattavuudeltaan kyseiseen työhön sopiva.

4.1 Aikataulun laadinta

Sähköasemaprojektin aikataulun laadinta on projektin johtohenkilöstön, yleensä projektipäällikön tai aikatauluttajan tehtävä. Tilaussopimuksesta tulee tiettyjä lähtöparametreja aikataulun laatimiselle, kuten projektin luovutuspäivä, asennusten aloitusajankohta, suunnitelmien hyväksyntä, aseman kytkeminen verkkoon ym. Näiden pohjalta projektille luodaan kokonaisvaltainen aikataulu, jossa huomioidaan muun muassa resurssien käytettävyys, komponenttien toimitusajat, mahdolliset vuodenaikojen vaikutukset rakennus- ja asennustöihin sekä työvaiheiden vaatimat työajat. Aikataulu koostuu projektin tehtävälueetelosta, johon kuuluville tehtäville on määritetty ajalliset kestot ja niiden väliset riippuvuudet. Aikataulua ei saa tehdä liian tiiviiksi, sillä odottamattomia viivästyksiä tulee aina vastaan, minkä vuoksi aikatauluun on hyvä jättää hieman pelivaraa näitä viivästyksiä varten. Aikataulun laadinnassa projektipäällikön tai aikatauluttajan tulee käyttää hyödykseen pääsuunnittelijan ammattitaitoa suunnittelutöiden työmäärän arvioimisessa sekä hyödyntää vanhempien projektien toteutuneita aikatauluja. (Pelin 2003; ABB Oy 2010.)

4.1.1 Suunnittelun aikataulutus

Suunnittelutyöt ovat yleensä sähköasemaprojektin ensimmäinen työvaihe. Suunnittelutyöt alkavat järjestelmäsuunnittelulla, jossa luotavat dokumentit yleensä hyväksytetään

asiakkaalla ennen niiden pohjalta laadittavia tarkempia suunnitelmia ja piirustuksia. Kuten aiemmin todettiin, on pääsuunnittelijan ja projektipäällikön tiivis yhteistyö suunnittelutöiden aikataulutuksessa oleellista realistisen aikataulun luomiseksi.

Suunnittelutöiden pilkkominen sopivan pieniin osakokonaisuuksiin projekti aikataulua varten on haasteellinen tehtävä. Jakaminen mekaaniseen ja sähköiseen suunnitteluun on lähes aina liian epätarkka jako, sillä tuon kokoisen suunnittelupaketin vaatiman ajan riittävän tarkka arviointi sekä etenemisen seuranta on erittäin hankalaa. Voidaankin todeta, että mitä pienempiin osiin suunnittelutyö pilkotaan, sitä helpompi se on aikatauluttaa ja sen etenemistä seurata. Haittana tässä tarkassa jakamisessa on aikataulun rakenteen kasvaminen ja mahdollisesti epäselvempi yleiskuva aikataulusta, mutta tätä voidaan hallinnoida esimerkiksi piilottamalla yleisnäkymästä tarkat työaktiviteetit ja näyttämällä vain suurempia työkokonaisuuksia. Lisäksi tarkka aikataulurakenne edellyttää tiheää aikataulun päivittämistä, mutta se on projektin etenemisen kannalta pelkkä etu, sillä tällöin mahdolliset viivästykset aikataulussa löydetään välittömästi.

Suunnittelutöiden aikataulutuksessa suunnittelijan ei voida olettaa tekevän täyden työviikon kaikkia työtunteja projektille. Työntekijöillä on välillä sairastumisia, koulutuksia, muita kiireellisiä työtehtäviä, osastopalavereita sekä muita vastaavia aktiviteetteja, joihin kuuluu työaika. Tämän vuoksi töitä ei kannata aikatauluttaa tuntitarkkuudella, vaan useimmin päivätarkkuudella tai vaihtoehtoisesti suuremmista kokonaisuuksista puhuttaessa viikon tarkkuudella. Tällöin ylimääräiset aikatauluun tehtävät korjausliikkeet pysyvät mahdollisimman vähäisinä.

4.1.2 Komponenttien tilaukset ja valmistus

Komponenttien valmistumis- ja toimitusajankohtien määrittäminen on selvästi suunnittelutyön aikataulutusta helpompaa. Suurista komponenteista pyydetään tarjoukset jo projektin tarjousvaiheessa, jolloin tarjouksissa on aina myös toimitusaika eriteltyinä. Tämän avulla komponenttien valmistusajankohta on hyvällä tarkkuudella tiedossa jo heti projektin alussa. Koska suuret komponentit tilataan heti projektin alkuvaiheessa, niille saadaan vielä vahvistettua tällöin tilauksen yhteydessä toimitusaika, minkä pohjalta ne voidaan sijoittaa projektin aikatauluun.

Kaikki komponentit eivät aina tietenkään valmistu täysin aikataulun mukaisesti erinäistä syistä johtuen, mutta tällaiset muutokset otetaan huomioon siinä vaiheessa kun ongelma ilmenee. Myöhästymisestä on monesti sovittu jo tilausvaiheessa tietty sakko, jonka määrä kasvaa mitä enemmän tuote myöhästyy. Vastaavasti kuin suunnittelutöiden etenemistä, myös komponenttien valmistumista on seurattava jo hyvissä ajoin ennen niiden suunniteltua valmistumisajankohtaa. Tämä edellyttää projektipäälliköltä yhteydenpitoa valmistajaan ja tiedustelua valmistuksen etenemistä ja valmistumisaikataulun toteutumista.

4.1.3 Laivaukset

Projektin laivaukset ovat tiiviisti kytköksissä komponenttien valmistumisajankohtiin. Tämän vuoksi laivauksien aikatauluttamiseksi komponenttien valmistumisajankohdat tulee olla selvillä. Suuret komponentit lähetetään yleensä omina lähetyksinään suoraan tehtaalta, mutta suunnilleen samanaikaisesti valmistuvia pienempiä komponenttieriä kannattaa kerätä samaan välivarastoon ja lähettää yhtenä lähetyksenä työmaalle. Tätä silmälläpitäen myös komponenttien tilaukset ovat osittain riippuvaisia laivausten aikataulusta, jotta ne voidaan tilata saapuvaksi välivarastoon suunnilleen samanaikaisesti pitkäaikaisen välivarastoinnin välttämiseksi.

Aikataulun laatija tarvitsee laivausten aikataulutuksessa myös huolitsijan apua, sillä huolitsijalla on tarkempaa tietoa eri kuljetustapojen hinnoista ja kestoista. Hitaat, mutta edulliset merirahdit, voivat olla sopivia kuljetustapoja niille komponenteille, joiden ei heti valmistuttuaan tarvitse olla työmaalla, mutta toisaalta joskus vaaditaan tietyille komponenteille nopeita mutta kalliita lentorahteja aikataulussa pysymiseksi.

4.1.4 Rakennus-, asennus ja koestustyöt

Työmaalla tehtävät toiminnot ovat aikataulutuksen suhteen ehkä koko projektin haastavimmat aikatauluttaa. Ensinnäkin, rakennus- ja asennustyöt toteuttaa aliurakoitsija, jonka toimii projektipäälliköllä on vain rajalliset vaikutusmahdollisuudet. Tietyissä maisa aliurakoitsijan kanssa sovittu takaraja töiden valmistumiselle on käytännössä merkityksetön, urakoitsija on jo valmiiksi varautunut sakkoihin töidensä myöhästyessä. Toi-

seksi, työmaalla tehtävissä töissä tulee aina yllätyksiä vastaan, jolloin alkuperäistä aikataulua on muutettava vastaavasti. Kolmanneksi, vientiprojektien työmaatoimintojen valvominen ja etenemisen seuranta on selvästi omalla toimistolla tehtävää suunnittelu-työtä hankalammin toteutettavissa, joten oikea kuva työmaan valmiusasteesta on vaikeasti hahmotettavissa.

Koska rakennus- ja asennustyöt kuitenkin sanelevat suoraan koestusten aikaisimman mahdollisen aloitusajankohdan, on projektipäällikön koestusten lähestyessä oltava valmis tekemään nopeita muutoksia koestusten aloitusajankohtaan ja koestusmiehitykseen. Toisissa kohdemaissa maahantulijoilta vaaditaan erilaisia matkustusasiakirjoja, kuten virallisia kutsukirjeitä ja viisumeita, joten tästäkin syystä koestajien oikea-aikainen lähettäminen on hankalaa aikataulumuutosten kohdatessa. Projektin luovutus tapaa yleensä olla lähes välittömästi koestusten valmistuttua, joten joko koestukset olisi päästävä aloittamaan ajallaan, tai koestustöitä on oltava mahdollista nopeuttaa esimerkiksi koestajia lisäämällä. Täten työmaatoimintojen aikatauluun on jätettävä suunnittelutöiden tapaan riittävästi pelivaraa, ettei luovutusajankohtaa jouduta pienten vastoinkäymisten takia siirtämään. (ABB Oy 2010.)

4.1.5 Tarkkailupisteet

Projekti-aikataulun riittävän yksityiskohtainen rakenne ja sen aktiivinen seuraaminen ja päivittäminen ovat aikataulussa pysyvän projektin perusedellytys. Vaikka aikataulua seuraisikin jatkuvasti, voi aikataulun ylläpitäjältä jäädä huomaamatta aikataulun toistuvat pienehköt muutokset ja tiettyjen vaiheiden merkittävä venyminen. Tässä avuksi ovat tarkkailupisteet, joita voidaan projektista riippuen määrittää muutamasta pisteestä jopa kymmeneen pisteisiin. Nämä tarkkailupisteet ovat tiettyjä työvaiheita, joille on annettu tavoitepäivämäärä, esimerkiksi mekaniikkasuunnittelun valmistuminen tai työmaan koestusvalmius. Tällöin nähdään konkreettisesti tietyssä tarkkailupisteessä myöhästyminen projektin kyseisessä vaiheessa, ja toisaalta pisteet asettavat sopivia välitavoitteita, minkä avulla pyritään kuroma viivästynyt aikataulu kiinni.

Tarkkailupisteiden ohella myös projektin maksupostien tulee olla aikataulutettuja. Maksupostien aikataulutuksen avulla projektin kassavirran seuraaminen ja etenkin siihen

tulevien muutosten havaitseminen maksupostien siirtyessä on helppo nähdä, eikä kassavirtaan pääse täten tulemaan ikäviä yllätyksiä. (ABB Oy 2010.)

Tarkkailupisteet voivat toimia myös sähköaseman toimittajan sisäisenä laaduntarkkailutyökaluna. Tarkkailupisteiden ajanmukaista toteutumista on helppo seurata ja niistä nähdään mahdolliset tyypilliset aikataululliset vaikeudet. Mikäli valtaosa yrityksen projekteista kohtaa aikatauluongelmia samoissa tarkkailupisteissä, on yrityksen prosessissa jotain pielessä.

4.2 Aikataulun seuranta ja ylläpito

Olipa projektin läpiviemiseksi tehty kuinka hyvä aikataulu tahansa, on se hyödytön, ellei sitä projektin edetessä seurata ja päivitetä. Päivittämätön aikataulu ei kerro todellista tilannetta, miten projekti etenee, ainoastaan alkuperäisen suunnitelman. Toisaalta, aikataulun päivittäminen vailla vertailua lähtötilanteeseen ei kerro mitään projektissa onnistumisesta, ainoastaan ennusteen tulevasta.

Aikataulua laadittaessa projektin alkuvaiheessa tulee siitä tallentaa lähtötilanteen aikataulu, niin sanottu baseline, johon toteutuvaa aikataulua projektin edetessä verrataan. Töiden edetessä tehdyt aktiviteetit aikataulussa merkitään kokonaan tai suuremmat kokonaisuudet osittain valmistuneiksi, ja tarvittaessa aktiviteettien ajankohtia siirretään. Mikäli yrityksen tuntiseuranta tehdään aikataulun aktiviteettitasolla, on aikataulun seuranta ja työaktiviteettien muutosten havaitseminen erittäin helppoa. Aktiviteettejä siirrettäessä on ehdottomasti huomioitava kyseisen aktiviteetin vaikutukset tuleviin aktiviteetteihin ja tehtävä tarvittaessa näihinkin tarvittavat muutokset, elleivät aikataulun aktiviteettien väliset riippuvuussuhteet tee tätä automaattisesti. (Pelin 2003.)

Päävastuu aikataulun päivittämisessä on projektin projektipäälliköllä, jolla on paras kokonaiskuva vallitsevasta tilanteesta projektin suhteen. Itse päivitystyö voi kuitenkin olla esimerkiksi aikatauluttajan tehtävä, mutta projektipäällikön on huolehdittava sen toteuttamisesta. Totuudenmukaisen päivityksen luomiseksi projektipäällikön tai aikatauluttajan tulee selvittää projektiryhmältä töiden etenemisaste varmistuakseen päivityksen oi-

keellisuudesta. Esimerkiksi mekaniikkasuunnittelijalta saadaan tieto katkaisijateliseen suunnittelun valmistumisesta, huolitsijalta saadaan tieto kolmannen merirahdin etenemisestä ja työmaavalvojalta kojeiden perustusten kaivutöiden tilanteesta. Toisinaan projektin eri asiantuntijat (pääsuunnittelija, huolitsija, työmaavalvoja) voivat itse hoitaa omat osuutensa aikataulun päivityksestä, jolloin projektipäälliköllä tai aikataulutajalla säilyy ainoastaan vastuu varmistaa, että aikataulu todella tulee päivitettyä, ja toisaalta huolehtia aikataulun eri osioiden yhteensopivuudesta. Pääasia aikataulun päivityksessä on, että projektikohtaisesti sovitaan kenen tulee tehdä mitäkin, ja päivitykset toteutetaan, jolloin aikataulu pysyy ajan tasalla. Aikataulusohjelma on kuitenkin vain seurantatyökalu eikä se tee ratkaisuja itsenäisesti. (Pelin 2003.)

Sähköasemaprojektin aikataulun päivitystiheys on projekti- ja tilannekohtaista. Välillä projektin edetessä tarvetta aikataulun päivittämiselle ei välttämättä ole kuin parin viikon välein, mutta hektisen projektin kriittisimmillä hetkillä jopa päivittäinen aikataulun päivitys voi olla paikallaan tilanteen hallinnoimiseksi. Useimmissa tapauksissa viikoittain päivitetty aikataulu ylläpitää sen riittävän tarkkana.

Projektin aikataulusta tulee määrittää myös niin sanottu kriittinen polku. Tämä tehtäväpolku määrittää ajankohdan, jolloin projekti voi aikaisintaan olla valmis. Polun käyttäminen edellyttää oikeita aktiviteettien välisiä riippuvuussuhteita, eli jos esimerkiksi tietyn aktiviteetin aloitus vaatii edellisen valmistumisen ensin, on tämä käytävä aikataulusta ilmi. Kriittisen polun varrella olevien aktiviteettien seuranta tulisi täten olla vielä aktiivisempaa kuin sen ulkopuolisten aktiviteettien seuraaminen.

Vaikka yhteydenpito puhelinten ja sähköpostin avulla helpottaa projektiryhmän välistä tiedonkulkua, on sopivin väliajoin pidettävä koko projektiryhmälle projektikokouksia. Projektipäällikkö on vastuussa, että projektiryhmäläisille on jaettu kullekin omat työtehtävät, ja että kukin on selkeästi ymmärtänyt mitä niihin sisältyy. Tärkeimpien päivämäärien, kuten tarkkailupisteiden, merkitystä ja ajallaan valmistumista voidaan palaverissa painottaa selvemmin, ja niiden oikeellisuudesta voidaan eri osa-alueiden asiantuntijoiden kanssa keskustella ja tarvittaessa päivittää päivämääriä. Kasvotusten keskustellen kukin saa selkeän kuvan projektin tilanteesta, erilaiset muutokset aikataulussa ja niiden

vaikutukset muihin aktiviteetteihin tulevat paremmin selville ja kokonaisuus saadaan täten oikealla ryhmällä toimivaksi kokouksen aikana. (ABB Oy 2010.)

4.3 Muutoksiin reagoiminen

Projektissa syntyviin aikataulullisiin muutoksiin on reagoitava sitä nopeammin, mitä tiukempi projektin alkuperäinen aikataulu on. Muutoksissa on tärkeää tutkia, mihin kaikkiin tuleviin työaktiviteetteihin kyseinen muutos jatkossa vaikuttaa. Aiemmin kuvattun kriittisen polun alaisten aktiviteettien muutoksiin on reagoitava välittömästi ja tutkittava mahdollisuuksia tiukentaa sen jälkeen tulevia kriittisen polun aktiviteetteja projektin valmistumispäivän pitämiseksi ennallaan.

Muutostilanteissa on myös välittömästi selvitettävä tarvittavan muutoksen syy, jotta siitä aiheutuvat seuraukset ja mahdolliset kustannukset kohdistuvat oikealle osapuolelle. Myöhästymisen johtuessa esimerkiksi tavarantoimittajasta tai aliurakoitsijasta on sopimuksen mukaiset sakkopykälät pantava täytäntöön ja mahdolliset tilaajaan kohdistuvat vaikutukset ilmoitettava tilaajalle välittömästi. Toisaalta, jos viivästyksistä aiheutuvat tilaajasta, kuten tilaajan hankkiman rakennusluvan myöhästymisestä, on tästä välittömästi neuvoteltava tilaajan kanssa, ettei pääurakoitsija joudu vastuuseen tilaajasta johtuvasta projektin mahdollisesta myöhästymisestä.

Varoitussignaalien aikainen havaitseminen ja niiden käsittely sekä ratkaisuehdotukset, ensin projektiryhmän kesken ja sen jälkeen asiakkaan kanssa, on paras tapa hallita yllättävät muutokset. Mitä nopeammin ja avoimemmin eri osapuolten kanssa muutoksien syyt ja seuraukset selvitetään, sitä helpompi ne on käsitellä tapahtuman ollessa tuoreessa muistissa kaikilla ja tällöin kaikki myös voivat ottaa muutokset huomioon projektin myöhempien vaiheiden toteutuksessa. (ABB Oy 2010.)

4.4 Myöhästymisen vaikutukset

Projektin eri toimintojen myöhästymisestä koituu erilaisia vaikutuksia projektiin kokonaisuutena. Kriittisen polun varrella olevien aktiviteettien myöhästymisen heijastuu helposti projektin valmistumisen siirtymiseen eteenpäin, ellei aikatauluun ole varattu riittävän suurta varomarginaalia erinäisten haasteiden varalle. Koko projektin myöhästymisen ja luovutuspäivän siirtyminen johtavat sopimuksesta riippuen lähes aina urakoitsijan tilaajalle maksamiin sakkoihin, jos myöhästymisen on johtunut tilaajasta riippumattomista syistä. Oleellista onkin myöhästymisen syyn selvittäminen välittömästi sen ilmennyttyä.

Kriittisen polun ulkopuolella tapahtuvat myöhästymiset eivät välttämättä vaikuta kokonaisuuteen millään tavalla. Suunnittelutyön aikaiset myöhästymiset voidaan kuroa kiinni suunnittelijan tekemillä ylitöillä tai vaihtoehtoisesti suunnitteluresurssien hetkellisellä lisäämisellä. Komponenttien myöhästyessä tavarantoimittaja yleensä joutuu maksamaan tavarantilaajalle sakkoa sopimuspykälien mukaisesti, mutta tämä voi silti olla vaikuttamatta komponentin asennus- ja täten koko projektin valmistumisaikatauluun. Myöskään laivausten suunniteltua pidempi kesto ei välttämättä aiheuta projektille haittaa, mikäli asennusaikataulu on riittävän joustava. (ABB Oy 2010.)

Monessa maassa työmaatoimintojen oikea-aikainen toteuttaminen on projektin kokonaisuuden kannalta välttämätöntä. Sääolosuhteet eivät välttämättä salli maanrakennus- tai asennustöitä tehtäväksi kylmimpinä tai lumisimpina talvikuukausina, jolloin tauko näissä toimissa voi siirtää koko projektiaikataulua jopa kuukausilla eteenpäin. Juuri ennen luovutusta tehtävät koestustyöt viivästyessään lähes poikkeuksetta siirtävät luovutuspäivää eteenpäin, sillä aikaa aikataulun kiinni kuromiselle ei vain yksinkertaisesti enää ole jäljellä. Tämän vuoksi koestustöiden mahdollisimman aikainen aloitus ja riittävän suuri pelivara aikataulussa minimoi siitä aiheutuvat riskit projektin aikataulun kannalta.

4.5 Riskien havaitseminen

Jo sähköasemaprojektin tarjous- ja myyntivaiheessa tehdään kyseisestä kaupasta riskikartoitus, jossa kartoitetaan niin tekniset, taloudelliset, aikataulliset kuin poliittiset riskit, eli yllättävät vastoinkäymiset mahdolliseen projektiin liittyen. Varsinkin suurempien vientiprojektien kohdalla riskikartoitus on erittäin laaja ja kattava, mistä on suuresti hyötyä oikean hinnoittelun suhteen. Projektin aikataulun kannalta myyntivaiheen riskikartoitus on hyvä apu aikataulua laadittaessa. Jos tietyn työvaiheen mahdollisista viivästyksistä on epäilyksiä, voidaan mahdollisuuksien mukaan aikatauluun varata kyseiselle aktiviteetille pidempi suoritus aika kuin tavallisesti. Tietyn työtehtävän suorittaminen suunniteltua lyhyemmässä ajassa on niin projektiryhmälle kuin asiakkaallekin aina iloinen uutinen. (ABB Oy 2010.)

Aikataulusta kriittisen polun määrittäminen kertoo kaikkien polkuun sisältyvien aktiviteettien olevan riskiä sisältäviä aikataulunsa suhteen. Useinkaan kriittisen polun kaikkien aktiviteettien keston ei päästä itse vaikuttamaan, mutta niihin joihin vaikutusmahdollisuuksia on, olisi hyvä varata hieman ylimääräistä suoritus aikaa.

Kriittisen polun varrella olevien aktiviteettien riskien havaitseminen on suhteellisen helppo tehtävä. Nämä aktiviteetit tulisi muutenkin olla tarkemmassa tarkkailussa aikataulussa pysymiseksi, joten niiden mahdolliset riskit tulee näin havaittua riittävän ajoissa. Polun ulkopuolisten aktiviteettien riskit voivat taas jäädä heikommin havaittavaksi, sillä niitä ei seurata yhtä tarkasti. Tällöin voikin tulla yhtäkkiä yllätyksenä jonkun pitempikestoisen, alun perin toisarvoisen aktiviteetin myöhästyminen, ja täten muuttuminen kriittiseksi projektin kokonaisaikataulun pitämiseksi. Projektipäällikön kokemus tosin auttaa häntä havaitsemaan useimmat riskit ajoissa.

Kuten aiemmin on jo todettu, on aikataulun riittävän tiheä seuraaminen ja päivittäminen sekä projektin eri osapuolien avoin ja välitön informaatiokulku paras keino havaita riskit ajoissa ja tehdä korjaavat toimenpiteet riskeistä aiheutuvien haittojen minimoimiseksi. Tosin tässä ei saa tuijottaa liikaa yhden yksittäisen aktiviteetin etenemistä, vaan on osattava luoda kokonaiskuva koko projektista ja hahmottaa aikataulu kokonaisuutena. Riskikartoituksen läpinäkyvyys on oiva keino pyrkiä välttämään riskin toteutuminen.

Kun kaikki projektin osapuolet ovat tietoisia riskitekijöistä, voi kukin tahollaan pyrkiä välttämään riskin toteutumista ja siitä aiheutuvia haittoja. Riskien välttäminen on kuitenkin aina kaikkien projektin osapuolten etu. (ABB Oy 2010.)

4.6 Erään sähköasemaprojektin aikataulu

Liitteessä 1 on esitetty erään sähköasemaprojektin alustava aikataulu laadittuna Microsoft Project ohjelmalla. Aikataulun perusnäkyvä on jaettu kahteen pääosaan, vasemmalla olevaan datataulukkoon ja oikealla sijaitsevaan janakaavioon. Liitteen aikataulus- ta on tilasyistä jätetty datataulukosta näkyviin ainoastaan tehtävien nimet, mutta data- taulukko käsittää todellisuudessa kaikki aikataulus- käsiteltävät muuttujat, kuten tehtä- vien aloitus- ja lopetuspäivämäärät, tehtävien kestot, nimetyt resurssit, tehtävän valmiusasteen, tehtävän edeltäjät ja seuraajat ym. Janakaavioon piirtyy datataulukon tietojen perusteella tehtäviä kuvaavat janat, joiden ulkoasua sekä niiden yhteydessä näy- tettäviä tietokenttiä voi muokata mieleisensä. Esimerkiksi janojen värikoodaus tehtä- vätyypin tai tehtävän jännitetason mukaan selventää janakaavion luettavuutta merkittä- västi.

Tässä esimerkkaiaikataulus- sa on kyse projektista, jossa laajennetaan olemassa olevaa 400/110/20 kV sähköasemaa avaimet käteen periaatteella. Sähköasema sijaitsee Suo- messa, mikä asettaa työmaalla tehtäville rakennus- ja asennustöille ja niiden ajankohdil- le tiettyjä rajoitteita talviolosuhteista johtuen. Aikataulus- ta näkee projektin etenemisen pääpiirteittäin, eikä tämän aikataulun ole tarkoituskaan olla projektin aikainen tarkka seurantatyökalu. Tarkempaa projektiseurantaa varten aikataulun tulee olla yksityiskoh- taisempi ja laajempi. Monet tehtävät olisi mahdollista suorittaa samanaikaisesti ja täten lyhentää projektin kestoa, mutta useat tehtävät tehdään samoin resurssien, minkä joh- dosta edellisten tehtävien valmistuminen määrittää usein seuraavien tehtävien aloi- tusajankohdan.

Projektin aikataulus- ta ja etenkin sen suunnittelutehtävistä voi nopealla vilkaisulla saada väärän kuvan. Vaikka esimerkin aikataulus- sa 110 kV ja 20 kV primääri- ja teräsraken- nesuunnittelu ajoittuu seitsemän kuukauden ajalle, ei tämä tarkoita seitsemän kuukau-

den yhtäjaksoista suunnittelutyötä, vaan tämän seitsemän kuukauden aikana primääri-suunnittelija voi tehdä välillä myös muita töitä ja palata tähän tehtävään projektin edetessä ja lähtötietojen päivittyessä.

Tämä aikataulu on hyvä lähtökohta projektin toteuttamiselle. Projektin alkuvaiheessa on kuitenkin syytä joko tarkentaa aikataulua lisäämällä siihen merkittävästi tehtäviä, tai tehdä erillisiä aikatauluja tietyille asiakokonaisuuksille, kuten suunnittelutöille tai asennustöille. Tällöin projektin toteutus ja sen seuranta saa aikatauluista tukea.

5 AIKATAULUTUKSESSA KÄYTETTÄVÄT TYÖKALUT VERTAILUINEEN

Sähköasemaprojekti voidaan aikatauluttaa useilla eri tavoilla ja eri työkaluilla. Tehokasta yrityksessä ei kuitenkaan ole, että kullakin projektin aikatauluttajalla on oma tapansa ja työkalunsa aikataulun laatimiseksi ja ylläpitämiseksi, vaan yritys- tai osastotasoinen standardisointi on perusedellytys yrityksen tehokkaaseen resurssienkäyttöön ja aikataulujen seurantaan. Yhdenmukainen projektien aikatauluttaminen mahdollistaa muun muassa kaikkien projektien aiheuttaman yhteiskuormituksen seurannan sekä tietyn työnteekijäryhmän kuormituseurannan, minkä avulla resursseja voidaan hyödyntää tehokkaammin niissä projekteissa, missä tarvetta on. Vähäinen etu harmonisoidusta aikataulutustavasta ei myöskään ole projektiaikataulujen käyttömukavuus, kun kaikki aikataulut ovat samalla työkalulla samojen perussääntöjen mukaan laadittuja ja täten helppoja seurata ja ylläpitää siihen totuttua.

5.1 Erilaiset aikataulutustyökalut

Erilaisia ohjelmia ja sovelluksia projektin aikatauluttamiseen on markkinoilla runsaasti. Yhdelle sopiva työkalu ei välttämättä sovi ollenkaan toisen käyttäjän tarpeisiin, ja yritystasosta puhuttaessa aiemmin käytössä olleet työkalut ovat aina vahvoilla jatkajiksi tuttujen ominaisuuksiensa ansiosta, kun aikataulutustyökalun päivitystä pohditaan. Seuraavaksi esitellään joitakin mahdollisia aikataulutustyökaluja ja niiden tärkeimpiä ominaisuuksia sähköasemaprojektin aikatauluttamista varten.

5.1.1 Microsoft Project

Jo käsitteeksi muodostunut aikataulutustyökalu, Microsoft Project, on tunnetuin ja käytetyin projektihallinnan ohjelmisto. Ensimmäinen Windowsin kanssa yhteensopiva Project-versio esiteltiin jo vuonna 1990, jonka jälkeen jatkuva kehitystyö on versiopäivityksin edennyt jo tuoreimpaan Project 2010 -versioon. Projectin suurin etu lienee sen yhteensopivuus ja samankaltaisuus yleisesti tunnettuihin Office-ohjelmiin ja erityisesti Exceliin, mikä myös tekee Projectin peruskäytöstä helppoa tuttujen painikkeiden ja valikoiden ansiosta. (Microsoft 2007; Computer Literacy 2012.)

Microsoft Project on laajasti käytössä, mutta usein vain pientä osaa sen tarjoamista ominaisuuksista käytetään. Projektien aikataulun janakaavion piirtämisen lisäksi Projectilla voi muun muassa suunnitella resurssikuormitusta, laatia ja seurata projektin budjetia, vertailla suunniteltua ja toteutunutta työmäärää, tarkastella aiempien projektien toteutumia sekä yhdistää useita erillisiä osaprojekteja yhdeksi kokonaisuudeksi. (Pelin 2003.)

Exceliä käyttäneet saavat suoraan Projectillakin jonkunlaisen aikataulun laadittua. Ohjelman perusnäkyssä toista puolta näytössä hallitsee taulukko, jonka riveillä on tehtävät ja sarakkeissa erilaisia tehtävän parametreja, kuten alkupäivä, loppupäivä, kesto, kustannus ym. Toinen puoli näytöstä on taas varattu janakaavioille, johon projektin aikataulu taulukon tietojen perusteella piiryy. Osaa tehtävien parametreista, kuten tehtävän alkupäivää, voidaan muokata janakaavion janaa siirtämällä hiirellä raahaten, jolloin muutos kopioituu myös taulukkoon. Taulukon ja janakaavion saa erilaisilla suotimilla ja asetuksilla muokattua kuhunkin tarkoitukseen sopivaksi, jolloin samaa tietotaulukkoa voidaan käyttää helposti esimerkiksi erilaisien raporttien luomiseen. (Pelin 2003.)

Taulukon tehtäviä saa ryhmiteltyä eri tasoille luomalla eritasoisia otsikkorivejä sekä varsinaisia työtehtäviä. Tämä on erittäin hyvä ominaisuus suuren aikataulun luettavuuden kannalta, kun tarkat tehtävätiedot voidaan piilottaa ja näyttää ainoastaan otsikkorivien tiedot. Otsikkorivien alku- ja loppupäivämäärät, kestot, kustannukset sekä muut tiedot, jotka joka rivillä on olemassa, määräytyvät sen alla sijaitsevien työtehtävien parametrien perusteella, joten kunhan tehtävillä on oikeat parametrit ja otsikkoriveillä nimet, vaaraa otsikkoriveille syötettävistä vääristä arvoista ei ole. Projektiaikataulun voi pilkkoa myös useaksi erilliseksi aliprojektiksi, joita voidaan hallinnoida itsenäisesti (esimerkiksi suunnittelutöille oma aliprojekti). Aliprojektit näkyvät pääprojektin aikataulussa yhteenvetotehtävinä, mutta aliprojektin rakenne voidaan avata pääprojektissa kin täydellisesti, ja aliprojektin päivitykset voidaan tehdä myös suoraan pääprojektissa, josta ne kopioituvat lähdetiedostoon. Yhdestä aikataulusta voi myös laatia useita kieliversioita. Yksillä taulukkoon syötetyillä tiedoilla voidaan luoda erikielisiä aikatauluja, kun tekstikenttiin on määritelty oikeat käännökset eri kieliversioita varten. Kansainväli-

sissä projekteissa tämä voi olla hyvin käyttökelpoinen ominaisuus. (Pelin 2003; Microsoft 2012.)

Aikataulun käytettävyyden perusedellytys on tehtävien välisten riippuvuuksien määrittäminen. Käytettävät riippuvuussuhteet kertovat, alkavatko tehtävät samanaikaisesti, päättyvätkö ne samanaikaisesti vai alkaako toinen kun edellinen on loppunut. Myös sekä positiivisia että negatiivisia viiveitä voidaan asettaa, esimerkiksi niin että seuraava tehtävä alkaa, kun edellisen päättymiseen on kolme päivää aikaa. Riippuvuuksien avulla Project osaa laskea projektille kriittisen polun sekä siirtää tulevia aktiviteetteja jos niiden edeltäjän aikataulu muuttuu. Kriittisen polun laskentaan voidaan myös ottaa mukaan esimerkiksi aktiviteetit, joiden viivästyminen yhdellä päivällä tekee niistä osan kriittistä polkua (eli esimerkiksi kahden päivän viivästyminen siirtäisi projektin loppupäivää päivällä). Mikäli tehtäville on Projectissa määritelty työn tekijä, eli resurssi, voidaan riippuvuuksilla määrittää tietyn tehtävän alkaminen välittömästi sitä suorittavan resurssin vapauduttua edellisestä tehtävästään. (Pelin 2003; Microsoft 2012.)

Projectiin on mahdollista laatia omia kalentereita projektin aikataululaskentaa varten. Projektikalenteriin voi lisätä esimerkiksi paikalliset juhlapäivät, yrityksen virkistyspäivät, työpäivän ja -viikon kestot sekä resurssien lomat ja muut tiedossa olevat poissaolot. Näiden tietojen avulla kahdeksan päivän työmäärä voi jakaantua vaikka neljän viikon ajalle, jolloin ohjelma piirtää neljän viikon janan kyseiselle aktiviteetille. Tällöin aikataulun laatijan ei tarvitse ottaa itse huomioon tällaisia erikoisuuksia työviikon kestossa. Myös yksittäisille tehtäville voi laatia omia kalentereita, jos tiettyä tehtävää suoritetaan esimerkiksi poikkeuksellisesti kolmivuorotyönä. Aikataulun laskennassa voidaan käyttää myös todennäköisyysmatematiikkaan perustuvaa laskentaa. Tällöin tehtävälle syötetään oletetun keston lisäksi optimistinen ja pessimistinen aika-arvio. Työkalu laskee näiden arvojen perusteella keston odotusarvon painottaen laskennassa oletettua kestoa nelinkertaisesti optimistiseen ja pessimistiseen keston verrattuna. (Pelin 2003; Microsoft 2012.)

Projektin alustavan aikataulun valmistuttua siitä kannattaa tallentaa perussuunnitelma, baseline. Projektin edetessä toteutumaa voidaan näin ollen verrata perussuunnitelmaan ja havainnoida matkalla tapahtuneita muutoksia. Perussuunnitelmasta saa tallennettua

myös väliversioita projektin edetessä, ja projektin aikana lisätyille tehtäville voidaan tallentaa erikseen perussuunnitelma. Janakaaviossa näkyy havainnollisesti kaksi päällekkäistä palkkia, joista alempi on perussuunnitelma ja ylemmässä on yhdistettynä tämän hetkinen suunnitelma ja jo toteutunut työ. Mikäli tehtävä on kokonaan suoritettu ja aikataulu tältä osin päivitetty, on ylempi palkki kokonaisuudessaan toteutetun värikoodauksen mukainen, mutta jos tehtävä on osittain valmis, on palkin alkuosa toteutetun värikoodin mukainen ja loppuosa suunnitellun värikoodauksen mukaisesti väritytty. Project tarjoaa myös paljon erilaisia näkymiä ja suodattimia, joilla saadaan näkyviin esimerkiksi ainoastaan myöhässä alkaneet tehtävät tai tehtävät, joissa on pelivaraa, jonka käyttäminen ei vaikuta kriittiseen polkuun ja täten projektin loppupäivään. Näiden toimintojen käyttö tehostaa aikataulun seurantaa ja hallintaa suuresti. (Pelin 2003; Microsoft 2012.)

Mikäli Projectia halutaan käyttää myös kattavasti resurssienhallintatyökaluna, on luotava resurssipooli, jossa kaikki käytössä olevat resurssit on määritelty. Resurssipoolin avulla Project voi laskea kattavasti yhden yksittäisen resurssin, tietyn resurssiryhmän, esimerkiksi sähkösuunnittelijan, tai koko osaston tai yrityksen kuormituksen. Tehtävälle voidaan täten allokoida joko tietty resurssi tai ainoastaan ryhmä, johon tehtävän suorittajan tulee kuulua. Kuormituslaskenta saadaan laskettua molemmissa tapauksissa. Resurssipoolissa voidaan myös määrittellä jokaiselle resurssille henkilökohtainen kalenteri, jolloin esimerkiksi osa-aikaeläkeläisten viikon työmäärä tulee oikein suoraan kalenterista. Projectissa on myös toiminto, jolla ylikuormitetun resurssin tilalle saadaan haettua vastaavat taidot omaava toinen resurssi, sekä resurssien tasaustoiminto, jolla eri resurssien työkuormaa saadaan tasoitettua kaikkien kesken. Tietyn resurssiryhmän kaikkia työtehtäviä voidaan tarkastella ja täten saada selkeä kuva tietyn ryhmän kuormituksesta ja työtehtävistä. Samassa näkymässä voidaan allokoida resursseja tietyille työtehtäville ja muuttaa tehtävien priorisointia ja toteutusjärjestystä. (Pelin 2003; Microsoft 2012.)

Projectia voidaan käyttää myös työtuntien kirjaukseen ja niiden hyväksymiseen. Tällöin tietyille tehtävälle kirjatut tunnukset tulevat projektipäällikön hyväksyttäväksi ennen niiden päivittymistä aikatauluun. Samoin projektiryhmä voi arvioida jäljellä olevaa työmää-

räänsä saman hyväksyntäprosessin osana, jonka perusteella projektipäällikkö voi päivittää aikatauluakin. (Pelin 2003.)

Projektin kustannuksia voidaan seurata työtunneittain, antamalla eri resurssiryhmille erilaiset tuntihinnat ja seuraamalla kirjattuja tunteja. Materiaalikulut voidaan antaa suoraan kyseiselle tehtävälle, ja tehtävän kiinteät kulut voidaan myös laskea projektibudjettiin mukaan. Project tarjoaa useita erilaisia raportteja budjetin seurantaan sekä kassavirtalaskentaan, joten tarvittaessa nämäkin tehtävät voidaan hoitaa samalla työkalulla kuin aikataulutus. (Pelin 2003.)

Projectin räätälöitävyys on kattava. Projectissa on käytössä muista Office-ohjelmista tutut perustoiminnot, kuten näkymien zoomaus, työkalurivien muokkaus, oikeinkirjoituksen tarkistus, kattavat ohjeet jne. Projektiaikataulun voi tallentaa useissa tiedostomuodoissa, kuten pdf- ja Excel-tiedostona sekä aiempina Project-ohjelman versioina. Janakaavion janat saa oheisteksteineen muokattua mieleisekseen ja tulostettavan näkymän ulkoasun sekä ylä- ja alatunnisteet saa tyypilliseen tapaan muokattua sopiviksi. Kielipakettien avulla aikataulu voidaan laatia esimerkiksi kyrillisin kirjaimin ja ulottaa siihen venäjänkielinen oikeinkirjoituksen tarkistuskin. Siinä vaiheessa kun omat taidot ohjelman käytöstä loppuvat, Microsoftin sivuilta löytyy apua kattavien käyttöohjeiden muodossa. (Microsoft 2012.)

5.1.2 Primavera

Oracle on yritys, jonka valikoimiin kuuluu erilaisia yrityskäyttöön tarkoitettuja räätälöityjä tietojärjestelmiä ja työkaluja. Projektiliiketoimintaan Oraclen valikoimista löytyy Primavera tuoteperhe erittäin monipuolisine ominaisuuksineen ja mahdollisuuksineen. Primavera P6 on vuonna 1999 markkinoille tuotu projektien ja projektisalkkujen hallintajärjestelmä, jolla onnistuu aikataulujen, resurssien, kustannusten ja projektisalkkujen hallinnointi sekä projektin tiedonvälitys ja kommunikointi. Primaveran kehutaan olevan sopiva työkalu onnistuneeseen projektisalkkuhallinnointiin, niin pienille kuin suurillekin yrityksille, projektien laajuuteen katsomatta. (Vähäkylä 2012.)

Primavera on tietokantapohjainen järjestelmä, joka tarjoaa useita erilaisia käyttöliittymiä käyttötarpeista riippuen. Käyttäjät pystyvät käyttämään samanaikaisesti monia projekteja lukitsematta niitä muilta käyttäjiltä, mikä on merkittävä ero verrattuna monen muun järjestelmän read-only tilaan, jossa yhden käyttäjän päivittäessä aikataulua muut käyttäjät saavat tiedostoon ainoastaan lukuoikeuden. Viisi Primaveraan seitsemästä käyttöliittymästä on web-pohjaisia, jolloin niiden käyttö edellyttää ainoastaan Primaveraan asennuksen yhteiselle palvelimelle. Näiden viiden käyttöliittymän avulla Primaveraa käyttää noin 80–90 % sen käyttäjistä. (Vähäkylä 2012.)

Web-pohjaisia käyttöliittymiä voidaan käyttää projektien suunnitteluun ja seurantaan, resurssien hallintoihin ja salkunhallintaan. Tämän lisäksi niillä hoituvat tarvittaessa myös dokumenttien hallinta säilytyksineen ja jakeluineen, kommunikointi keskusteluryhmien avulla sekä erilaiset workflow-prosessit hyväksymisprosesseja varten. Primaveraan eri osat ovat saumattomasti yhteydessä toisiinsa, jolloin esimerkiksi projektissa tehtävä suunnittelutyön aikataulumuutos päivittyy välittömästi resurssin kuormitustietoihin. Käyttöliittymän mukautettavuus käyttäjälle sopivaksi käyttöönoton yhteydessä parantaa edelleen työkalun käytettävyyttä. Järjestelmän räätälöityvyyden ansiosta esimerkiksi aikataulutuksen toiminnallisuuksista tietyille käyttäjäryhmälle tarpeettomat toiminnot saadaan piilotettua näkyvistä, jolloin esillä on ainoastaan tarpeelliset työkalut helpottaen uuden työkalun käyttöönottoa ja jatkuvaa käyttöä. Primaveraan käyttöönotto kestää koulutuksineen noin 3–6 kk, minä aikana järjestelmästä kootaan käyttäjän tarpeiden mukaan oikeat käyttöliittymät räätälöityinä eri käyttäjäryhmille. Primaveraan tarjoamien etujen ja säästöjen saavuttamiseksi kaikki organisaation projektit on vietävä työkaluun. (Vähäkylä 2012.)

Perustettaessa projektia Primaveraan se voidaan avata suoraan tai erillisen hyväksymisprosessin kautta. Projekti muodostetaan Work Breakdown Structure -rakenteen (WBS) avulla, mikä voidaan luoda joka projektille erikseen tai vaihtoehtoisesti käyttää apuna vanhoja projekteja, niiden osia tai malliprojekteja rakenteen luomisessa. Vanhoja projekteja tai malleja käytettäessä rakenteeseen saadaan valmiiksi työtehtävät ja niille määritetyt resurssiryhmät sekä historiatietoon perustuvia toteutuneita kustannuksia ja työmääriä edellyttäen, että toteutettavat projektit ovat riittävän samankaltaisia. Tällöin re-

surssiryhmien kuormitustiedot päivittyvät välittömästi, kun projekti luodaan, jolloin projektipäällikön tai esimiehen tehtäväksi jää ainoastaan allokoida resurssiryhmään kuuluva henkilö projektille, mikäli tietty henkilö tehtävään halutaan nimetä. (Vähäkylä 2012.)

Projektin aikataulua laadittaessa voidaan tietenkin tehtävien välille kytkeä riippuvuussuhteita, mutta tämän lisäksi eri projektien välisiä riippuvuuksia voidaan tehdä. Tällöin voidaan esimerkiksi määrittää, ettei seuraavan projektin layout-suunnittelu voi alkaa ennen edellisen projektin telinesuunnittelun valmistumista, jolloin nähdään konkreettisesti tietyn tehtävän myöhästymisen vaikutus muihin projekteihin. Haluttaessa projektit voidaan pitää myös itsenäisinä ja tarkastella niitä omina kokonaisuuksinaan. (Vähäkylä 2012.)

Primavera mahdollistaa myös projektin kustannuseurannan, mutta yleensä projektin kustannukset siirretään Primaverasta erilliseen projektinhallinnan järjestelmään. Primaveraan kustannuseurannasta on kuitenkin etuja, sillä se mahdollistaa tuloksenarvomennettelmän käytön, jonka avulla loppukustannus ja -työmäärä ovat luotettavammin tarkasteltavissa. Täten tehokkuuden muutokset, projektien viivästymiset ja ongelmien historia otetaan ennustamisessa huomioon ja projektin ennusteet ovat tarkempia ja luotettavampia. (Vähäkylä 2012.)

Primaveraa voidaan myös käyttää dokumenttien hallintajärjestelmänä. Dokumentit saadaan liitettyä joko itse projektille, WBS-elementille tai tehtävään. Dokumentit versioidaan ja niissä on muutoshistoria nähtävissä, minkä lisäksi niille voidaan määrittää hyväksymisprosessi. Dokumenttien hallintajärjestelmä on omimmillaan sopimuksia, raportteja, ohjedokumentteja sekä teknisiä perusdokumentteja varten, mutta suuret määrät CAD-kuvia kannattaa edelleen säilyttää muualla Primaveraan suppeista haku- ja luokitteluoimainaisuuksista johtuen. Dokumenttihaninnan lisäksi projektin jäsenten on Primaveraan toimintojen avulla helppo viestiä projektipäällikölle tai tarvittaessa ylemmälle johdolle projektin ongelmista välittömästi niiden ilmennyttyä. Täten ongelmiin voidaan välittömästi reagoida ja mahdolliset vaikutukset muihin projekteihin on heti nähtävissä. (Vähäkylä 2012.)

Primaverassa kunkin osa-alueen vastuullisen, kuten mekaniikka- ja sähkösuunnittelijan, tulisi itse huolehtia edistymistietojen päivityksestä. Tietojen päivitys on tehty työkalussa yksinkertaiseksi ja helposti opittavaksi. Tällöin myös tietojen päivittäjällä on paras tietämys kyseisen tehtävän valmiusasteesta ja virheellisten päivitystietojen syöttöriski pienenee. Tuntikirjaustyökalulla saa samalla kirjattua tekemänsä työtunnit kullekin tehtävälle ja päivitettyä tehtävän edistymää ja aloitus- ja lopetuspäivää. Luotettavan ja ajantasaisen projektiaikataulun perusedellytys on oikea-aikainen ja oikein tehty edistymän kirjaaminen. (Vähäkylä 2012.)

Primaveran resurssienhallinta perustuu kahteen hierarkkiseen rakenteeseen, resurssi- ja roolivarantoihin. Roolivarannon erona resurssivarantoon on, että siinä resurssit on ryhmitelty osaamisalueidensa mukaan, jolloin tiettyyn työtehtävään voidaan valita oikeat taidot omaava resurssi. Resursseja voidaan varata projektille usein eri tavoin, joista perinteisimpänä projektipäällikkö kiinnittää resurssin henkilötasolla projektiinsa. Toisaalta, jos työtehtävä on kaukana tulevaisuudessa eikä henkilötason varausta niin kauas haluta vielä tehdä, voi projektipäällikkö tehdä ainoastaan roolivarauksen oikeantyyppisestä resurssista, jolloin resurssipäällikkö tai esimies kiinnittää sopivan resurssin tehtävään lähempänä sen suoritusajankohtaa. Pitkän aikavälin resurssisuunnittelussa projektille voidaan varata joko henkilö- tai roolitasolla resurssi, jolle määritetään kuukausittainen työmäärä, mutta työtä ei vielä kohdisteta tehtävätasolle. Tämä auttaa resurssisuunnittelussa ennustamista ja ennakointia. (Vähäkylä 2012.)

Primaverassa on yritystason projektienhallintaa varten kahdenlaisia projektisalkkuja. Automaattisesti täydentyviin projektisalkkuihin tulee uusia projekteja, kun projektit täyttävät tietyt ennalta määrätyt kriteerit, esimerkiksi koko, asiakas, projektityyppi tai projektipäällikkö. Käyttäjien itse määrittelemiin salkkuihin tulee uusia projekteja ainoastaan käyttäjän käsin valitsemana. Projektisalkkujen avulla voidaan hallita ja tarkastella tiettyä projektijoukkoa kokonaisuutena ajantasaisesti, mutta tarvittaessa siitä päästään myös porautumaan yhteen yksittäiseen mielenkiintoa herättävään projektiin. (Vähäkylä 2012.)

5.1.3 PlaNet

PlaNet-projektinhallintatyökalu on suomalaisen Artemis Finland Oy:n kehittämä kotimainen ohjelmisto käytännönläheiseen projektimuotoiseen liiketoimintaan. PlaNet vaihtaa perustoiminnoiltaan hyvin Microsoft Projectin kaltaiselta, mutta kevyemmältä versiolta.

PlaNetin perusnäkymää hallitsee Projectin tavoin vasemmalla puolella oleva tehtävätaulukko ja oikealla puolella sijaitseva janakaavio. Aikataulun rakentaminen tapahtuu tehtävien sekä niiden kestojen ja ajankohtien syöttämisellä taulukkoon, jonka perusteella oikealle muodostuu janakaavio. Janakaavioon ilmestyvien tehtävien välille määritetään riippuvuudet, ja niiden kestoja ja ajankohtia voidaan muokata myös janakaaviosta käsin. Riippuvuuksien avulla ohjelma määrittää pelivarat ja kriittisen polun, jonka projektin aikataulunmukainen toteuttaminen on mahdollista. Aikataulun rakenteen selventämiseksi tehtävälisään lisätään otsikkorivejä, sisennetään tehtävät sopiville tasoille ja lisätään tehtäville muistilappuja tarkentamaan niiden tietoja. Haluttaessa projekti voidaan esittää lohkokaaiona, jolla havainnollistetaan tehtävien suoritusjärjestys. Aikataulun tulostaminen on mahdollista tehdä eri otsikkotasolla, jolloin tulosteelle saadaan näkymään aina sopivan tarkka rakenne käyttötarkoitusta varten. (Artemis 2012a.)

PlaNetissa on valmiiksi peruskalenteri, jossa on määritetty yleiset työ- ja vapaapäivät sekä suomalaiset arkipyhät. Kalenteri on vapaasti muokattavissa yritykselle sopivaksi, minkä lisäksi Projectin tavoin voidaan käyttää henkilökohtaisia kalentereita resurssitasolla. Resurssien saatavuuden määrittelyn avulla PlaNet osaa tarkastella yritystason kuormitustilannetta tutkimalla kunkin projektin aikataulu- ja resurssisuunnitelmia. Täten yli- ja alikuormitustilanteet niin yksilö- kuin ryhmätasolla on helpompi havaita ja puuttua niihin. (Artemis 2012a.)

Työkalu tarjoaa aikatauluseurannan lisäksi mahdollisuuden tarkkailla projektin rahavirtoja niin ennuste- kuin toteutumatasolla. PlaNet sisältää tarvittavat taloudelliset perusominaisuudet budjetointiin, ennustamiseen ja rahavirran seuraamiseen. (Artemis 2012a.)

PlaNetin Server lisäosalla yrityksen projektienhallinta monipuolistuu. Sen avulla projektien hallinnassa käytetään keskitettyä tietokantapohjaista ympäristöä. Serverin avulla projektijoukon tietojen tarkkailu on tehokasta ja projekteja voidaan tätä tarkoitusta varten ryhmitellä erilaisien luokittelutekijöiden avulla. Eri käyttäjillä voi myös olla erilaisia käyttöoikeuksia eri projekteihin, joita luokittelutekijöillä voidaan hallita. Henkilökoh- taisten käyttöoikeuksien lisäksi tietoturvaa lisää projektien poiston rajoittaminen, joka on sallittua ainoastaan projektin omistajalle ja hallintasovelluksen käyttäjälle. (Artemis 2012b.)

PlaNet on liitettävissä yrityksen muihin tietojärjestelmiin, kuten toiminnanohjausjärjes- telmiin, kunnossapitojärjestelmiin ja projektinseurantaohjelmiin avoimen tiedonsiirron ansiosta. Täten niin toteutuvia kuin suunnitelmiakin voidaan siirtää järjestelmien välil- lä. (Artemis 2012a.)

PlaNet on noussut Suomessa rakennusalan de facto -standardiksi niin yrityksissä kuin oppilaitoksissakin. Tähän on varmasti vaikuttanut suomenkielinen, selkeä käyttöliitty- mä, riittävän yksinkertainen toteutus ilman ylimääräisiä ominaisuuksia sekä samankal- taisuus monien tuntemaan ja käyttämään Microsoft Projectiin. (Kotilainen 2006.)

5.1.4 CA Clarity

CA Clarity on Primaveraan tapaan projektien ja projektisalkkujen hallintaan tarkoitettu, personoitavissa oleva moduuleihin perustuva työkalu. Clarityn käyttö web-pohjaisena onnistuu mistä tahansa verkkoyhteyden avulla, ja myös sen kehutaan Primaveraan tavoin soveltuvan niin pienille kuin suurillekin projekteille. Projektien hallinta projektisalkuit- tain on mahdollista, ja projektien priorisointi on kehittynyttä. Projektien budjetointi, en- nustaminen ja yleinen resurssienhallinta ovat Clarityn vahvuuksia, mutta varsinkin pro- jektin aikataulutusta on jätetty Clarityn kehityksessä taka-alalle. Clarity onkin Microsoft Projectin kanssa yhteensopiva projektien tarkempaa aikataulutusta silmälläpitäen, joten ensisijaisesti aikataulutustyökalua etsivälle CA Clarity ei ole oikea vaihtoehto sen pai- nopisteen ollessa pääosin projektisalkun hallinnassa. (CA Clarity 2007.)

5.1.5 Safran Project

Safran Software Solutions tarjoaa kattavan valikoiman erilaisia projektinhallintatyökaluja. Safran Project on Norjassa kehitetty, erityisesti suuria projekteja varten räätälöity työkalu. Norjan öljy- ja kaasuteollisuus sekä laivanrakennusala käyttävät lähes yksinomaan Safran Projectia, jonka kehitystyön pääpaino on ollut tuloksenseurannassa. (Kotilainen 2006; Safran 2012a.)

Safran Project on tehokas työkalu suurien ja monimutkaisten projektien hallintaan, mistä todisteena se on ollut käytössä maailman suurimmissa ja monimutkaisimmissa projekteissa. Safranissa on kattavat historiatietojen tietokannat, joiden avulla ohjelma osaa tehdä tarkkoja ennusteita tulevaisuuteen samantyyppisiin projekteihin. Eräässä yrityksessä Safranin käyttöönoton arvellaan esimerkiksi vähentäneen tarjouksiin käytettävää aikaa 75 %. Safranin avulla voidaan toteuttaa projektin suunnittelu, aikataulutus ja resurssien allokointi sekä seurata projektin etenemistä niin aikataulullisesti kuin taloudellisesti. Kattavat valmiit, mutta kuitenkin räätälöitävät raportit, ovat kaikkien käytettävissä ja ne saadaan suodatusten ja ryhmittelyjen avulla palvelemaan eri asemissa olevia työntekijöitä ja johtajia. Työkalun yhtenä vahvuutena on monipuolinen, erilaisten muutosten ja lisätöiden vaikutusten arviointi projektiin kokonaisuutena, sekä tarvittaessa suurempaan projektijoukkoon. Toinen vahvuus on saman projektin tarkastelu ja päivitys useamman eri henkilön toimesta samanaikaisesti Primaveraan tavoin, minkä ansiosta suuren, useita eri osapuolia käsittävän projektin hallinnointi voidaan hoitaa yhtenä projektina. (Safran 2012a; Safran 2012b.)

Muista aikataulutustyökaluista tutut henkilökohtaiset ja roolipohjaiset kalenterit, kuten roolipohjaiset resurssipoolit ja kuormituksentasaustyökalut, ovat toteutettavissa Safranissa. Projektien aikatauluttaminen on mahdollista sidottuna niin aikaan kuin resursseihin, ja erilaisten perusaikataulujen laatiminen ja vertailu keskenään sekä tämänhetkisen ennusteen kanssa kuuluu ohjelman ominaisuuksiin. Safranilla onnistuu myös kriittisen polun seuranta ja muutosten vaikutus polkuun, ja tehdyistä muutoksista jää merkintä työkaluun, joten muutosten jäljittäminen niin yksittäin kuin koko projektin osalta on helppoa. Raporttien ja näkymien personoiminen on kattavaa ja erityyppisten tulosteiden saaminen järjestelmästä on riittävää. Safranin kohdalla kysymys ehkä onkin siinä, onko

raskaassa työkalussa keskivertokäyttäjälle jo liikaa erilaisia ominaisuuksia sekoittamassa käyttäjää ja vaikeuttamassa työkalun käyttöä, sillä uskon Safranin riittävän suurissa yrityksissä erittäin vaativaan käyttöön projektinhallinnassa kattavine ominaisuuksineen. (Safran 2012a; Safran 2012b.)

Yksinkertaisempaa ja hieman karsitumpaa käyttöä varten räätälöity Safran Planner on kevyempi versio Safranista. Plannerin tarkoituksena on tehdä projektien aikataulutuksesta jokaisen hallitsema tehtävä yksinkertaisine ja helppokäyttöisine toimintoineen. Vaikka Plannerin käytöstä on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaista, luovutaan siinä olevan toiminnot myös vaativalle aikatauluttajalle erilaisine raportteineen ja tietotaulukkoineen. Useampien projektiaikataulujen keskinäiset riippuvuudet ovat Plannerilla toteutettavissa, mikä mahdollistaa suuren projektin jakamisen useampiin eri osakokonaisuuksiin eri toimijoiden välillä ylläpidettäväksi. Eri osakokonaisuuksien aikataulua voi kuitenkin tarkastella myös yhtenä yhdistettynä versiona. Monelle käyttäjälle Planner on aivan riittävän monipuolinen aikataulutustyökalu Safran Projectin lisäominaisuuksien painottuessa enemmän erittäin suurten projektien tarkempaan analysointiin. (Safran 2012a; Safran 2012c.)

Toinen aloitteleville Safran käyttäjille suunniteltu tuote on Safran for Microsoft Project, joka nimensä mukaisesti yhdistää Safranin Microsoft Projectiin. Tällöin MS Projectin ominaisuuksia voidaan laajentaa Safranin tarjoamalla lisäominaisuuksilla, mutta käyttö voi tapahtua MS Projectin tutun käyttöliittymän avulla. Lisäominaisuudet painottuvat taloudelliseen raportointiin ja seurantaan, mutta myös esimerkiksi erilaisten skenaarioiden vaikutuksia perusaikatauluun verrattuna voidaan tutkia, projektisalkkuja voidaan luoda ja hallita sekä toteutumien ja tehokkuuden seuranta voidaan tarkentaa. (Safran 2012a; Safran 2012d.)

5.1.6 SAP

SAP itsessään ei ole pelkkä projektinhallintatyökalu, vaan toiminnanohjausjärjestelmä. SAP on monessa suuressa yrityksessä käytössä, jonka vuoksi SAPin tarjoamat projektin aikataulutushmahdollisuudet kiinnostanevat useita yrityksiä. Projektien aikataulutaminen SAPissa olisi sitä käytävissä yrityksissä toivottavaa, sillä toiminnanohjausjärjes-

telmään syötetään osittain samoja tietoja kuin erilliseen aikataulusovellukseen. Muun muassa sähköasemaprojektin laskutuspäivämäärät, materiaalien valmistumisajat, koestusten ajankohta sekä loppudokumentaation valmistumisajankohta on syötetty toiminnanohjausjärjestelmään, joten sen tiedon käyttäminen sellaisenaan vähentäisi kahteen kertaan tehtävän työn ja täten mahdollisten virheiden määrää.

SAPin ongelma aikataulutustyökaluna on kuitenkin sen kankeus sekä se, ettei sitä ole varta vasten suunniteltu aikataulutustyökaluksi. Vaikka SAPissa saa syötettyä tehtäville aloitus- ja lopetuspäiviä, kestoja, osittaisia riippuvuuksia, tallennettua perusaikatauluja ja tehtyä resurssisuunnittelua, on näiden toimintojen käyttäminen selvästi hankalampaa ja työläämpää kuin aikataulutukseen varta vasten tehdyllä työkalulla. Myöskään SAPin tarjoamat raportit eivät selkeydessään ja muokattavuudessaan vedä vertoja erillisten aikataulutustyökalujen monipuolisille graafisille esityksille.

SAPin käyttäjille ehkä paras vaihtoehto olisikin SAPin ja erillisen aikataulutustyökalun rinnakkainen käyttö synkronoidulla datalla, jolloin järjestelmät keskustelisivat keskenään ja saisivat toisiltaan viimeisimmät tiedot, mutta käyttäjä voisi tehdä päivitykset ja toimenpiteet siinä työkalussa, missä mikin työvaihe on paras ja tehokkain toteuttaa.

5.2 Aikataulutustyökalujen keskinäinen vertailu

Kullakin yllä kuvatulla työkalulla projektin aikataulutus onnistuu, mutta oikean välineen löytäminen kunkin käyttäjäryhmän ja yrityksen tarpeisiin on avainasemassa tehokkaan aikataulutustyökalun käyttämisen kannalta. Työkalu ei saa olla tarpeisiin alimitoitettu siten, että tärkeitä toimintoja jää kaipaamaan tai ne joutuu toteuttamaan muulla välineellä, muttei myöskään ylimitoitettu, jolloin usein työvälineen käyttö hankaloituu ja monimutkaistuu käyttäjälle turhien ominaisuuksien viidakossa. Myös eri työkalujen keskinäinen vertailu on vaikeaa, sillä vertailu perustuu lähinnä sovellusten käyttötapojen erojen arviointiin eikä suoraa, mitattavia absoluuttisia arvoja voi vertailla. Tästä johtuen näkemyksiä on varmasti yhtä paljon kuin vertailijoitakin.

Microsoft Projectin, jonka kaikki jotakin aikataulutustyökalua käyttäneet tuntevat, vahvuudet ovat sen helppokäyttöisyys ja loogisuus. Microsoftin ohjelmien ominaispiirteet ovat vahvasti läsnä, minkä lisäksi suomenkielinen käyttöliittymä helpottaa käyttöä. Myös hyvät ohje- ja tukipalvelut nostavat Microsoft Projectin haluttavuutta sovellusmarkkinoilla. Projectilla hoituu suurtenkin projektien hallinta joko yhtenä kokonaisuutena tai aliprojektien avulla, ja aikataulutustyökalulta edellytettävät perusominaisuudet, kuten kalenterien hallinta ja kriittisen polun käyttö, kuuluvat Projectin ominaisuuksiin. Lisäksi sen suosion ansiosta lähes kaikki Projectin kilpailijat ymmärtävät Projectin tiedostomuotoja. Kustannushallinta ei työkalun luonteesta johtuen ole kovimpien kilpailijoiden tasolla monipuolisuudessaan. Täyden hyödyn ohjelmasta saadakseen käyttäjällä tulee olla käytössään myös Microsoftin muita ohjelmistoja ja käyttöjärjestelmä. Kaikkein suurimpia projekteja hallitsevalle Primavera tai CA Clarity lienee sopivampi vaihtoehto, mutta Projectia voidaan pitää erittäin sopivana yleistyökaluna helppokäyttöistä mutta kuitenkin useimmille riittävän kattavaa aikataulutustyökalua etsivälle.

Primavera on omimmillaan suurissa yrityksissä, joissa käsitellään suurta projektijoukkoa samanaikaisesti. Työkalun kattavat projektisalkkujen hallintaominaisuudet dokumentinhallintajärjestelmiseen ja projektien väliset riippuvuudet sekä eri käyttäjäryhmille räätälöidyt näkymät ajavat suurten yritysten etuja ja tarpeita. Web-pohjainen Primavera mahdollistaa usean käyttäjän samanaikaisen projektin päivittämisen, eivätkä toiset käyttäjät joudu ainoastaan lukutilaan jos joku muu on samaan aikaan projektia päivittämässä. Työkalu on laajasti räätälöitävissä ja suurena etuna on, että raskasta työkalua voidaan keventää merkittävästi piilottamalla käyttäjälle tarpeettomia välineitä ja ominaisuuksia kokonaan näkyvistä. Vanhojen projektien toteutumatietoja niin aikataulun, resurssien, kuin kustannusten osalta saadaan automaattisesti käyttöön uutta, riittävän samankaltaista projektia avattaessa. Resurssiensuunnittelu pitkän ajan ennusteineen on erinomainen, eri käyttäjille hajautettu edistymän päivittäminen parantaa aikataulun ajantasaisuutta ja valmiita, räätälöitäviä raportteja on tarjolla lähes loputtomasti. Primavera suurin ongelma on sen laajuus, mistä johtuen sen käyttö pienessä tai keskikokoisessa yrityksessä, pientä projektijoukkoa hallittaessa, ei välttämättä ole tehokasta, sillä työkalun hyödyntäminen edellyttää sen kattavaa käyttöä suurta projektijoukkoa hallinnoivas-

sa yrityksessä. Ominaisuuksiensa puolesta Primavera kuuluu ehdottomasti projektinhallintatyökalujen kärkikastiin.

Suomalaislähtöinen PlaNet on tehty helppokäyttöiseksi ja hieman kevyemmäksi aikataulutustyökaluksi kuin työssä esitellyt kilpailijansa. Projektisalkkuominaisuudet eivät ole kilpailijoiden tasolla, mutta suomenkielinen käyttöliittymä selkeine toimintoineen on omiaan kasvattamaan PlaNetin suosiota. Työkalulta vaadittavat perusominaisuudet ovat kunnossa ja yritystason resurssienhallinta on kattavaa, mutta investointien seuranta on jätetty vähemmälle huomiolle. Rakennusalaan hallitseva PlaNet soveltuu nykyään myös muille aloille ja se onkin pienempään tarpeeseen vahva kilpakumppani Microsoft Projectille.

CA Clarity on Primaveraan tapainen suurille yrityksille ja suuriin projekteihin suunnattu projektinhallintatyökalu. Clarityssä projektien aikatauluttaminen on kuitenkin toteutettava erillisellä sovelluksella, minkä vuoksi ensisijaisesti projektin aikataulutustyökalua etsittäessä siihen tutustuminen on jätetty tässä työssä vähemmälle huomiolle tarkoitukseen sopimattomana.

Safran Project on Primaveraan ja CA Clarityn tapainen, suuriin ja monimutkaisiin projekteihin tarkoitettu työkalu. Sen toiminta perustuu tuloksen arvo -menetelmään, eli siinä kustannusten seuranta on yhtä merkittävässä osassa ajallisen seurannan lisäksi, joten sen johdosta se ei välttämättä ole sopivin työkalu puhtaaseen projektiaikataulutukseen. Etuihin kuuluvat esimerkiksi tehokas historiatietojen käyttö uusia projekteja varten ja työkalun monipuoliset ennustamismahdollisuudet erilaisine skenaarioineen. Myös muutoshistorian seuranta ja erilaiset raportit ovat Safranin vahvuuksia. Safrania voinee Primaveraan tavoin suositella suurilla ja monimutkaisilla projekteilla johtaville yrityksille, joilla on käytettävissä resursseja aikatauluohjelmiston pyörittämiseen siitä saatavan hyödyn maksimoimiseksi. Toisaalta, Safran tarjoaa myös kevyempää ratkaisua, Safran Planneria, joka voitaneen luokitella PlaNetin kilpailijaksi laajuudeltaan. Plannerin luvataan myös kattavan kaikki aikataulutustyökalulta vaadittavat perusominaisuudet, joten sen käyttö on perusteltua, jos Safranin perusratkaisut kiehtovat mutta Safran Project tuntuu siinä vaiheessa vielä liian raskaalta ja kattavalta työkalulta.

SAPin käyttäminen aikataulutustyökaluna on kankeaa ja suppeaa. Mikäli aikataulua käyttää vähänkään enemmän projektin aikana ja aikataulusta haluaa saada tehtyä tulosteita, on järkevämpää käyttää rinnakkaista työkalua aikataulutukseen ja mahdollisesti synkronoida tietoja järjestelmien välillä, mahdollisuuksien mukaan. Toisaalta, jos aikataulu on olemassa vain itseä varten eikä sen käyttö ole projektin aikana jatkuvaa ja aktiivista, riittänee SAPin tarjoama ratkaisu toimintoiheen yksinkertaiseen aikataulun käyttöön.

Yllä esitellyistä työkaluista sopivaa valittaessa käyttäjän on arvioitava ensimmäiseksi kuinka kattavaa hän haluaa työkalun käytön olevan ja kuinka suurta yrityksen liiketoiminta sekä itse projektit ovat. Työkalut voidaan jakaa toiminnan massiivisuuden perusteella, jolloin Safran Planner ja PlaNet ovat se ensimmäinen askel aikataulutustyökaluissa. Ne soveltuvat pienehköön käyttöön ja kohtuullisiin tarpeisiin olematta liian raskaita. Seuraava, hieman kattavampi työkalu on Microsoft Project, joka hieman laajempine aikataulutusominaisuuksineen tyydyttää useimpien tarpeen ja on kaiken lisäksi helppokäyttöinen Microsoft ympäristöön tottuneelle. Suurimpia järjestelmiä ja kattavimpia toimintoja haluavan on siirrettävä katseensa Primaveraan, CA Clarityn ja Safran Projectin suuntaan, joista ei ominaisuudet, ainakaan lisäosineen, lopu kesken. Nämä vaativat kuitenkin jo käyttäjältään enemmän paneutumista itse työkaluun ja merkittäviä muutoksia yrityksen toimintatavoissa.

5.3 Yhteensopivuudet muiden järjestelmien kanssa

Kuten jo aiemmin on aihetta sivuttu, on aikataulutustyökalujen yhteensopivuus muiden yrityksessä käytössä olevien järjestelmien kanssa työtehoa nostavaa ja työskentelyä helpottavaa. Kun esimerkiksi katkaisijan valmistuspäivämäärä syötetään ainoastaan yhteen työkaluun, säästyy aikaa ja virhenäppäilyjen riski eliminoituu ja täten katkaisijaa varten tilattava kuljetus on oikea-aikaisesti katkaisijatehtaalla kuljetusta varten.

Microsoft Project on osa Microsoftin tuoteperhettä, ja täten sen yhteensopivuus esimerkiksi Wordin, Excelin ja Power Pointin kanssa on itsestään selvää. Tietojen siirto näiden työkalujen välillä on helppoa ja tehokasta, ja samankaltaisuus sekä tästä johtuva käytön

helppous on totuttua Microsoft laatu. Monet muut projektihallintatyökalut ovat yhteensopivia Microsoft Projectin kanssa, sillä se on vakiinnuttanut asemansa markkinoilla niin vahvaksi. Open PS for Microsoft Project on SAPin tarjoama lisäosa, joka mahdollistaa Microsoft Projectin ja SAPin välisen tiedonsiirron. Tiedonsiirto niin SAPista Projectiin kuin päinvastoin on mahdollista, minkä ansiosta tietojen ajantasaisuus on taattu. Siirrettäessä tietoja Projectista SAPIin tarkistetaan, onko kyseinen projekti jo SAPissa olemassa, eli päivitetäänkö olemassa olevaa projektia, vai luodaanko uusi projekti. Päivitetessä käyttäjällä on mahdollisuus valita mitä tietoja viedään Projectista SAPIin. Aikataulu voi myös olla Projectissa tarkempi kuin se on SAPissa, jolloin Projectissa määritetään, mitä aktiviteetteja päivitetään SAPIin. SAPista Projectiin siirrettäessä voidaan valita, päivitetäänkö olemassa oleva Project-projekti, vai luodaanko kokonaan uusi projekti. Myös kolmansien osapuolien valmistamia SAPin ja Microsoft Projectin välisiä työkaluja on tarjolla markkinoilla, joten näiden kahden suuren järjestelmän liittäminen toisiinsa ja siitä saavutettava tehokkuus ei ole yhdestä sovellusvalmistajasta riippuvainen. (SAP Documentation 2012.)

Myös Primavera on toisaalta Oraclen tarjoaman sovelluksen ja toisaalta useiden kolmansien osapuolien tarjoaminen sovellusten avulla integroitavissa SAPin kanssa. Oraclen Primavera Inspire for SAP pyrkii Open PS:n tavoin tehostamaan projektien ajan- ja kulujenhallintaa SAPin ulkopuolella siirtämällä aikataulu-, kustannus-, materiaali- ja resurssitietoja työkalujen välillä. Open PS:n ja Microsoft Projectin tavoin esimerkiksi projektin WBS-rakenteen luominen voidaan tehdä Primaverassa ja valmis rakenne siirtää SAPIin projektin läpiviemistä varten. (Oracle 2012.)

PlaNet rakentuu Primaveran tavoin avoimen tiedonsiirron pohjalle, minkä ansiosta sen tietojen synkronointi muiden sovellusten kanssa on mahdollista. PlaNet on kuitenkin niin pienen markkinaosuuden omaava aikataulutustyökalu, ettei sille ole olemassa kaupallisia integrointityökaluja muiden sovellusten kanssa, vaan ne on tarvittaessa rakennettava tilanteen mukaan tarkoitukseen sopivaksi.

CA Clarity vaatii, kuten yllä todettiin, toisen ohjelman rinnalleen kehittyneempää aikataulutusta varten. Tarjolla on yhteensopivuudet kahteen työkaluun, Open Workbenchiin ja Microsoft Projectiin. Tästä voidaan taas todeta, ettei puhdasta aikataulutustyökalua

etsivälle CA Clarity ole se oikea ratkaisu, vaan se on enemmänkin yleistyökalu projektinjohtamiseen tarviten rinnalleen erillisen aikataulutustyökalun. (CA Clarity 2007.)

Safran toimii teollisuuden standarditietokantojen pohjalta, kuten Oracle, Sybase ja SQL Server. Tämän ansiosta Safran on helposti yhdistettävissä muihin yrityksessä käytettäviin tietojärjestelmiin, kuten liittynät Primavera ja Microsoft Projectin kanssa todistavat. Safranin ja SAPin välistä valmista liittymää ei kuitenkaan ole tarjolla, mikä heikentää yrityksen työkalujen synkronointia. (Safran 2012b.)

Suuri määrä erilaisia liittytäraajapintoja eri työkalujen välillä ei kuitenkaan takaa toimivaa järjestelmien synkronointia. Mitä enemmän eri valmistajien työkaluja on kytketty toisiinsa eri rajapintojen välityksellä, sitä suurempi riski yhteensopivuusongelmille on järjestelmien päivitysten yhteydessä. Yhtenä esimerkkinä tällaisesta tilanteesta on Microsoft Projectin ja SAPin välisen Open PS työkalun versio-ongelmat: tämän hetken tuoreimmilla Microsoftin tuotteilla (Windows 7 ja Microsoft Project 2010) liityntä SAPiin Open PS:n avulla ei ole mahdollinen, vaikka se vielä edellisellä Windows ja Microsoft Project versioilla toimi. SAPin etu kuitenkin olisi saada yhteys toimivaksi mahdollisimman nopeasti pitääkseen nykyiset käyttäjät tyytyväisinä ja houkutelakseen kattavilla ominaisuuksilla uusia käyttäjiä tuotteilleen, joten tähän tulee korjaus lähiaikoina.

5.4 Aikataulutustyökalun käyttöönoton vaiattomuus

Kaikki tässä työssä esitellyt aikataulutustyökalut ovat kattavia järjestelmiä, joiden toiminoilla ja ominaisuuksilla saa vaativiakin tehtäviä tehtyä. Vaikka osa työkaluista olisikin helpompia käyttää kuin toiset, ei se välttämättä tarkoita niiden helppoa ja nopeaa käyttöönottamista. Yleisin virhe yritysten aikataulutustyökalun hankintaprosessissa on resurssien käyttö sopivan ohjelmiston valitsemiseen ja hankkimiseen, mutta tehokkaan käyttöönoton ja koulutuksen laiminlyönti. Pelkkä työkalun asentaminen työntekijöiden tietokoneille ei ikinä ole riittävä käyttöönottaminen, kun puhutaan näinkin kattavasta työvälineestä.

Käyttöönottoprojektin ensimmäisenä vaiheena tulisi määrittää työkalun käyttötapa. Katuvat yritystason ohjeet, missä on kuvattu ne työkalun ominaisuudet, mitä yrityksessä tullaan käyttämään, ovat käyttöönottoprojektin ensimmäinen vaihe. Tämän jälkeen on rakennettava yhteisessä käytössä olevat resurssipoolit, riittävän kattavat malliprojektit, layoutit sekä loppukäyttäjien käyttöohjeet. Ohjeissa on tärkeää selostaa ja painottaa nimenomaan yrityksen omia toimintatapoja eikä luetella kaikkia työkalun tarjoamia mahdollisuuksia, sillä tämä sekoittaa käyttäjää uuden työvälineen käytön opettelussa. Mahdollisuuksien mukaan työkalun tarjoamat turhat ominaisuudet tulee piilottaa, jolloin käyttäjän näkyvä selkenee ja käyttö helpottuu. Malliprojektin ja perusasetteluiden jälkeen voidaan testata valittuja ratkaisuja esimerkiksi pilotoimalla, jolloin tietty joukko yrityksen henkilöstöstä toteuttaa pilot-projektin uudella työkalulla ja pyrkii havaitsemaan huonoja toimintatapoja tai asetteluita, joita voitaisiin muuttaa paremmin tarpeisiin sopiviksi. Testausten ja korjausten jälkeen työkalu voidaan ottaa koko yrityksessä käyttöön ja jatkaa jatkuvaa kehitystyötä sen käyttämisen yhteydessä pienemmässä mittakaavassa. (Pelin 2003.)

Sähköasemaprojektit eivät tyypillisesti ole lyhytkestoisia, joidenkin viikkojen työrupeamia, vaan projektien kesto mitataan kuukausissa tai vuosissa. Tästä johtuen pilotoiminen työkalun käyttöönotossa pidentää käyttöönottoprojektia merkittävästi, mutta toisaalta sillä voidaan parantaa työkalun käytettävyyttä merkittävästi pienin kustannuksin, minkä vuoksi se on erittäin suositeltavaa. Toinen tärkeä asia käyttöönottoprojektissa on työkalun käytön standardisointi, jolloin kaikki yrityksen työntekijät käyttävät sitä samojen periaatteiden mukaan ja siten työkalun hyödyt saadaan täysimittaisesti käyttöön ja lähituen antaminen työtoverilta toiselle on helppoa.

Suuri virhe käyttöönottoprojektissa on uskoa sen etenevän omalla painollaan käyttäjille jaettavan koulutusmateriaalin avulla. Mikäli työkalulle on suoritettu jonkunlaista räätälöintiä yrityksen tarpeisiin sopivaksi ja käyttäjäkoulutuksia on järjestetty niin ennen työkalun käyttöönottoa kuin käyttöönoton jälkeenkin, on silloin jo tehty merkittävästi loppukäyttäjien toimien helpottamiseksi ja työvälineen käytön tehostamiseksi.

5.5 Työkalusta saavutettavat hyödyt ja ohjelmistosuositukset

Tarkoitukseen sopivan aikataulutustyökalun oikeanlainen ja tehokas käyttö nopeuttaa projektien aikataulujen luomista, antaa edustavan kuvan asiakkaille aikatauluja esitettäessä ja selventää kokonaiskuvaa projektin kulusta kaikille osapuolille. Aikataulun aktiivinen päivittäminen antaa luotettavan kuvan projektin toteutuksesta ja töiden etenemisestä niin projektin toimittajalle kuin tilaajallekin. Yrityksen eri projektien aikataulujen yhdenmukaistaminen ja standardoidun mallin käyttäminen aikatauluja luotaessa helpottaa yrityksen kokonaiskuormituksen seuraamista ja jos aikataulut ovat mahdollisimman samankaltaisia, on kaikkien yrityksen työntekijöiden helppo seurata minkä tahansa projektin aikataulusta projektien etenemistä ja asetettuja tavoitteita, sekä liittyä uutena jäsenenä jo käynnissä olevaan projektiin ja saada heti aikataulusta ajankohtainen projektin tilannekatsaus. Aikataulutustyökalun mahdollinen synkronointi yrityksen muiden järjestelmien, kuten toiminnanohjausjärjestelmän, kanssa, nopeuttaa päivittäisiä projektinhallinnan toimia, mikäli synkronoinnin avulla samojen tietojen kirjaaminen useaan eri työkaluun saadaan vältettyä.

Edellä esitettyjen perustelujen johdosta ABB Oy:n Substations -yksikölle sopisi parhaiten laajempi ja yhdenmukaisempi Microsoft Projectin käyttöönotto projektien aikatauluttamiseksi. Oletettavaa on, että Projectin ja SAPin välinen Open PS -yhteys saadaan ohjelmistoyritysten toimesta toimivaksi, minkä jälkeen Projectin toiminnoista entistä suurempi osa saadaan yrityksen käyttöön. Lisäksi Microsoft Project on monille yrityksen työntekijöille entuudestaan ainakin osittain tuttu, eikä se ole liian laaja ja vaikeakäyttöinen työkalu kuvattuihin yrityksen tarpeisiin. Osa Microsoft Projectin tarjoamista ominaisuuksista on yrityksessä katettu jo muilla ohjelmilla (esimerkiksi projektien kustannushallinta) eikä niitä ole järkevää yrittää hoitaa Projectin tai muun aikataulutustyökalun avulla, joten kokonaisuutena Project lienee paras vaihtoehto vaatimuksiin nähden.

Mikäli yrityksessä päädytään laajempaan Microsoft Projectin käyttöön projektien aikataulutuksessa, tulee sen yhteensopivuus SAPin kanssa testata huolellisesti ja käyttää malliprojektien aikataulujen luomiseen riittävästi resursseja ja asiantuntemusta. Työkalun tarjoamiin ominaisuuksiin on tutustuttava huolella ja tehtävä päätökset, mitkä kaikki toiminnot halutaan ottaa yrityksessä käyttöön. Lisäksi käyttäjien koulutuksessa on pai-

notettava standardisoituja toimintatapoja, sillä tällä hetkellä Projectin käyttöön on lähes yhtä monta tapaa kuin käyttäjääkin. Laadukkaan käyttöönottoprojektin ja koulutusten avulla Microsoft Projectista saadaan suurin mahdollinen hyöty käyttöön ja helpotetaan käyttäjien päivittäisiä tai viikoittaisia rutiineja projektien aikataulutukseen liittyen.

6 POHDINTA JA YHTEENVETO

Tämän diplomityö tehtiin ABB Oy:n Substations -yksikölle ja tarkoituksena oli luoda kattava katsaus sähköasemiin siihen sisältyvine laitteineen, tarkastella sähköaseman toteutusprosessia sekä perehtyä sähköasemaprojektin aikataulutukseen sekä siihen soveltuviin aikataulutustyökaluihin. Päällimmäisenä tavoitteena oli löytää Substations -yksikölle sopiva ja käyttökelpoinen työkalu sähköasemaprojektien aikatauluttamiseksi.

Sähköasemat ovat lyhyesti kuvattuna sähköverkon solmupisteitä, eräänlaisia risteyksiä, joissa voidaan muuttaa sähköverkon jännitettä ja jakaa edelleen saapuvia sähkölinjoja tarpeellinen määrä uusina linjoina eteenpäin mahdollisesti eri jännitetasoin. Sähköasemien käyttöikä on kymmeniä vuosia, joten niiden hankintaprosessit vaativat tarkkaa paneutumista mm. rakennettavaan alueeseen sekä lähiseudun kasvunäkymiin. Sähköaseman teknisistä perusratkaisuista merkittävimpiä ovat maakohtaisesti vaihtelevat jännite- tasot, kiskosto- ja kojeistoratkaisut, suojausmenetelmät sekä tietenkin pääkomponentit.

Tulevaisuudessa erityisesti kompaktien sähköasemien voidaan olettaa lisääntyvän tiiviissä kaupunkiympäristössä. Sähköasemien ulkoisia mittoja saadaan kutistettua esimerkiksi käyttämällä kaasueristeisiä kytkinlaitoksia avorakenteisten sijaan, yhdistämällä mittamuuntajia ja antureita osaksi suurjännitekennoa sekä käyttämällä erottavia katkaisijoita erillisten erottimien ja katkaisijoiden sijaan. Tilansäästön lisäksi suljetut GIS-laitokset ovat myös merkittävästi avorakenteisia laitoksia turvallisempia.

Sähköasemaprojekteja on toimitussisällöltään useita erilaisia, kuten turnkey-projekteja, komponenttitoimituksia, komponentit ja asennusvalvonnan sisältäviä toimituksia sekä vanhojen asemien laajennuksia. Kaikki projektit alkavat kuitenkin tarjous- ja myyntivaiheesta, tarvitsevat projektin toteuttavan projektiryhmän, edellyttävät tietynasteista suunnittelua, hankintoja ja materiaalitöitä sekä vaativat mahdollisesti asennus- ja koestusvaiheet. Kaikissa projekteissa projektipäällikön on myös huolehdittava projekti-aikataulusta sekä riskien ja muutosten hallinnasta, mitä ei voi väheksyä pienissä projekteissa, sillä niissä on pieneen kokonaisuuteen nähden suuret riskit ja muutokset voivat ratkaista suurelta osin projektin taloudellisen ja aikataulunmukaisen onnistumisen.

Sähköasemaprojektin aikataulu on sen onnistuneen toteuttamisen yksi tärkeimmistä dokumenteista. Suurempien ja monimutkaisempien projektien tullessa kyseeseen aikataulun merkitys korostuu entisestään. Aikataulun laadintaan kannattaakin tästä syystä käyttää heti projektin alkuvaiheessa riittävästi asiantuntevia resursseja, jotta aikataulu on alusta alkaen tarkasti ja realistisesti laadittu, olematta kuitenkaan liian tiivis aiheuttaen ongelmia pienten vastoinkäymisten ilmaannuttua. Jokaisessa projektissa aikataulu elää ja muuttuu projektin edessä, mutta aikataulun asianmukainen päivittäminen mahdollistaa projektiryhmän, tilaajan ja aliurakoitsijoiden tilanteen tasalla pysymisen ja täten aikataulunmukaisen projektin toteutuksen.

Työssä vertailtiin keskenään seuraavia aikataulutustyökaluja: Microsoft Project, Primavera, PlaNet, CA Clarity, Safran Project ja SAP. Vertailu on haastavaa ja tuloksista heijastuu väkisin vertailijan oma subjektiivinen näkemys työkalujen tarkkaan mitattavien ominaisuuksien ja niiden erojen puuttuessa. Täten vertailu on aina tehtävä tapauskohtaisesti, jotta jokaisen käyttäjän tarpeisiin löytyy asianmukainen, tarpeisiin sopiva aikataulutustyökalu.

Diplomityössä käsitellyistä työkaluista Safran Planner ja PlaNet ovat ominaisuuksiltaan suppeimpia, ja täten pienehköön käyttöön sopivia välineitä. Hieman laajempaa työkalua ja kattavampia ominaisuuksia etsivä voi suunnata katseensa Microsoft Projectiin, jonka vahvuuksiin lukeutuvat esimerkiksi helppokäyttöisyys Microsoftin tuotteisiin tottuneelle, kattavat ohje- ja tukipalvelut sekä liittymät muihin sovelluksiin. Erittäin laajaa ja monipuolista työkalua etsivän on suunnattava katseensa Primaveraan ja Safran Projectiin, jotka eivät välttämättä enää merkittävästi monipuolista aikatauluttamista, mutta tuovat entistä laajemmat ja monipuolisemmat ominaisuudet projektisalkkujen sekä yksittäisten projektien hallintaan muun muassa kustannusseurannan ja dokumenttienhallinnan muodossa. CA Clarityä ei työssä juurikaan käsitelty sen painopisteen ollessa pääosin projektinhallinnassa aikataulutuksen nojautuessa erillisen aikataulutussovelluksen käyttämiseen. SAP sopinee henkilöille ja yrityksille, joilla se on toiminnanohjausjärjestelmänä käytössä ja joille aikataulutus on erittäin pienimääräistä eikä sitä varten tarvita monipuolisempia ominaisuuksia eikä haluta erillistä ohjelmaa.

Aikataulutustyökalun käytön tehostamiseksi sen yhteensopivuus ja tietojen synkronointi muiden järjestelmien, kuten toiminnanohjausjärjestelmän kanssa, olisi suotavaa. Tähän on tarjolla erinäisiä kaupallisia sovelluksia, mutta moneen työkaluun on avoimen lähdekoodin ansiosta mahdollista luoda itsekin tietojensiirron mahdollistava lisäosa.

Kaikkine tarvittavine lisäosineen uuden aikataulutustyökalun käyttöönotto yrityksessä vaatii perusteelliset käyttäjäkoulutukset, työkalun räätälöinnin yrityksen tarpeisiin ja jatkuvasti saatavilla olevan käyttäjätuen. Jonkun edellä mainitun kohdan laiminlyöminen muuttaa tehokkaimmankin aikataulutustyökalun tehottomaksi, pahimmillaan projektointiprosessia vaikeuttavaksi tekijäksi.

Tässä diplomityössä ABB Oy:n Substations -yksikölle parhaiten sopivaksi aikataulutustyökaluksi nousi Microsoft Project, joka Open PS -lisäosansa kanssa on yhdistettävissä yrityksessä käytössä olevaan SAP toiminnanohjausjärjestelmään. Microsoft Project on ominaisuuksiltaan riittävän kattava, suurelle osalle henkilöstöä ainakin jollain tavalla tuttu sekä ohje- ja tukipalveluiltaan kattava. Työkalun käyttöönottoon on käytettävä riittävästi resursseja, käyttäjille on tehtävä yrityksen tarpeisiin sopivat malliaikataulut eikä koulutusta ja käyttäjätukea saa laiminlyödä. Työkalun käyttötavat on standardisoitava työkalun tehokkaan käytön takaamiseksi ja tarvittaessa niitä on muutettava puutteita havaittaessa. Tällaisella Microsoft Projectin käyttöönottamisella yrityksen projektien aikataulutus muuttuu tehokkaaksi ja projektinhallintaa merkittävästi avustavaksi toiminnaksi helpottaen myös uusien ja tarjottavien projektien alustavien aikataulujen laatimista.

LÄHDELUETTELO

- ABB Oy (2009). *Älykkäät sähkönjakeluratkaisut – Vyöhykekonsepti*. Esite 1MRS756766 A.
- ABB Oy (2010). *ABB Project Management Framework*. ABB internal guide, 9AKK105357. Julkaisematon.
- ABB Oy (2011). Sähkönjakelua Kolmen sepän patsaan alla. *Power, ABB:n asiakaslehti* 28:2, 16–18.
- Artemis (2012a). *PlaNet – aikataulut, resurssit ja budjetit helposti hallintaan* [online]. [siteerattu 14.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://www.artemis.fi/planet/PlaNet-esite.pdf>>.
- Artemis (2012b). *Planet Server – Rajapinta projekteista tietokantaan* [online]. [siteerattu 14.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://www.artemis.fi/planet/PlanetServer-esite.pdf>>.
- Aura, L. & Tonteri A. J. (1993). *Sähkölaitostekniikka*. Porvoo; Helsinki; Juva: WSOY. 433 s.
- Becker, G. & Koch, H. (2005). Specification of GIS substations and equipment. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1, 931–935.
- Bolin, P. & Koch, H. (2008). Basic information on Gas Insulated Substation (GIS). *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 1–4.

CA Clarity (2007). *CA Clarity PPM – Functional Overview of the CA Clarity Project and Portfolio Management System* [online]. [siteerattu 13.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://www.portfolio-systems.ch/downloads/L1functionaloverview.pdf>>.

Computer Literacy (2012). *Microsoft Project Version Release History* [online]. [siteerattu 1.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: http://www.computerliteracy.co.uk/microsoft_project_versions.htm>.

Elovaara, J. & Haarla, L. (2011). *Sähköverkot 2 : verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet*. Helsinki: Otatieto. 551 s.

Hautala, H. (2006). *Sähköaseman ulkokentän laitteiden testausohje ja pienjännitejärjestelmän käyttöönottotarkastuksen ohje*. Vaasan ammattikorkeakoulu. Tekniikka ja liikenne. AMK-opinnäytetyö. 69 s.

Kotilainen, S. (2006). Projektijohtajan työkalupakit. *Tietokone* 2006: 10, 58–65.

Kumpulainen, L., Laaksonen, H., Komulainen, R., Martikainen, A., Lehtonen, M., Heine, P., Silvast, A., Imris, P., Partanen, J., Lassila, J., Kaipia, T., Viljainen, S., Verho, P., Järventausta, P., Kivikko, K., Kauhaniemi, K., Lågländ, H. & Saaristo, H. (2006). *Verkkovisio 2030 – Jakelu- ja alueverkkojen teknologiavisio* [online]. [siteerattu 17.1.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2361.pdf>>.

Lakervi, E. & Partanen J. (2009). *Sähkönjakelutekniikka*. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press. 295 s.

Leivo, K. (2001). *Tendering Substation Adaptation for IT*. Vaasan ammattikorkeakoulu. Tekniikka ja liikenne. AMK-opinnäytetyö. 42 s.

- Lågland, H. (2004). *Keskijänniteverkkojen analyysi mallintamista varten*. Vaasan yliopisto. Sähkötekniikka. Diplomityö. 111 s.
- McDonald, J. (2003). *Electric Power Substations Engineering*. Boca Raton; London; New York; Washington, D.C.: CRC Press.
- Microsoft (2007). *Microsoft tuotetuki – Article ID 98026* [online]. [siteerattu 1.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://support.microsoft.com/kb/98026>>.
- Microsoft (2012). *Microsoft Project 2010:n ohjeet* [online]. [siteerattu 1.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://office.microsoft.com/fi-fi/project-help/?CTT=97>>.
- Oracle (2012). *Primavera Inspire for SAP* [online]. [siteerattu 8.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://www.oracle.com/us/products/applications/primavera/042379.htm>>.
- Pasto, N. (2009). *Utveckling av logistikprocesser och minimering av transportkostnader, Case ABB Transmission & Distribution Substations*. Vasa yrkeshögskola. Företagsekonomi och turism. AMK-opinnäytetyö. 60 s.
- Peltola, A. (2011). *New Sensoring Techniques for Condition Monitoring of Power Transformers*. Vaasan yliopisto. Sähkötekniikka. Kandidaatin tutkielma. 49 s.
- Pelin, R. (2003). *Microsoft Project 2002 projekti- ja yritystason järjestelmänä*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 235 sivua.
- Safran (2012a). *Safran Project introduction* [online]. [siteerattu 16.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://www.safranna.com/safran-project.html>>.

Safran (2012b). *Taking Control with Safran Project – Project Management for the Next Generation* [online]. [siteerattu 16.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://www.safranna.com/image/brochures/Safran-Project.pdf>>.

Safran (2012c). *Complex Schedules Made Simple With Safran Planner* [online]. [siteerattu 20.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://www.safranna.com/image/brochures/Safran-Planner.pdf>>.

Safran (2012d). *Safran for Microsoft Project - Project Management for the Next Generation* [online]. [siteerattu 20.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: <http://www.safranna.com/image/brochures/Safran-for-MS-Project.pdf>>.

Salo, M. (2002). *Moduloidun sähköasemakonseptin arviointi sidosryhmänäkökulmasta*. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö. 88 s.

SAP Documentation (2012). *Open PS for Microsoft Project (OpenPS4MSP)* [online]. [siteerattu 26.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: https://help.sap.com/saphelp_ops40/helpdata/en/a6/a60d3876a6b610e10000009b38f8cf/frameset.htm>.

Tolvanen, J. (2005). *Projekti-insinööripalveluiden sisäisen tehokkuuden optimoiminen*. Vaasan yliopisto. Sähkötekniikan ja tuotantotalouden laitos. Pro gradu -tutkielma. 83 s.

Vähäkylä, J (2012). *Primavera P6-järjestelmän yleiskuvaus* [online]. [siteerattu 8.3.2012]. Saatavissa internetistä: <URL: http://www.projekti-instituutti.fi/files/69/Yleiskuvaus_Primavera_6.0_ver1.5.pdf>.

