

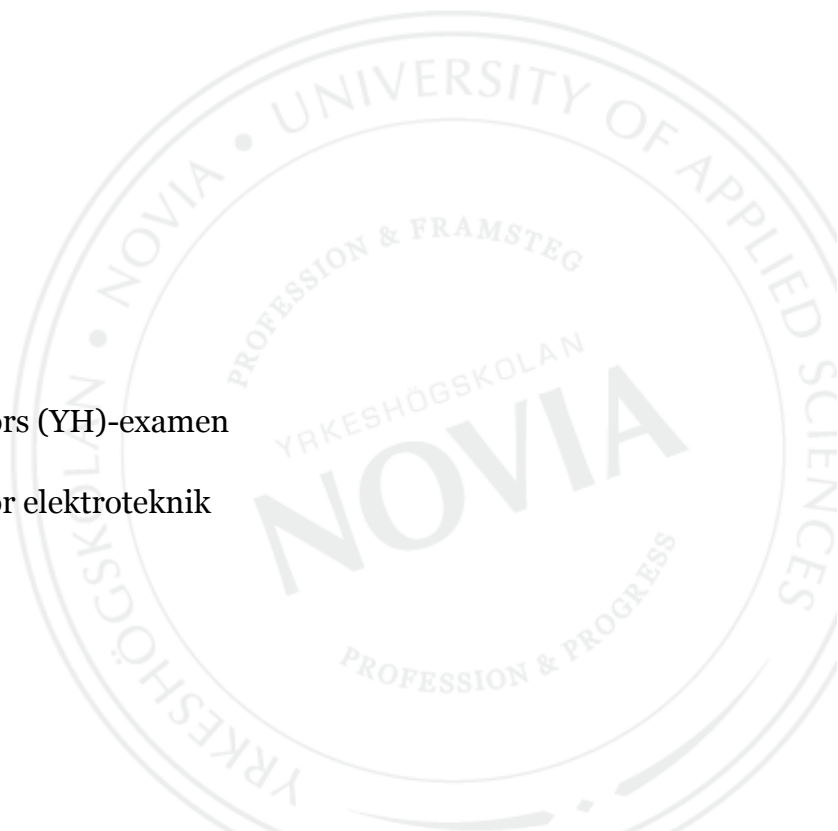
Ibruktagning av informationssystem vid Jakobstads Energiverk

Conny Åbonde

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för elektroteknik

Vasa 2014



Förord

Detta ingenjörarbete har utförts på beställning av Jakobstads Energiverk. Ingenjörarbetet erbjöds åt mig på hösten 2013. Jag accepterade gärna uppgiften som verkade både utmanande och intressant. Arbetet gjordes under vintern 2013 och våren 2014.

Jag skulle vilja tacka mina handledare, Matts Nickull från Yrkeshögskolan Novia samt Tommy Bäck och Peter Nyman från Jakobstads Energiverk, för deras stöd och bidrag med kunskaper och synpunkter under arbetets gång. Jag vill också tacka den övriga personalen på Jakobstads Energiverk för deras hjälp och svar på alla frågor jag har ställt. Dessutom vill jag rikta ett tack åt Håkan Hultholm på ABB för hans svar på mina frågor och hjälpen med HIS600.

Conny Åbonde

EXAMENSARBETE

Författare: Conny Åbonde

Utbildningsprogram och ort: Elektroteknik, Vasa

Inriktningsalternativ: Elkraftsteknik

Handledare: Matts Nickull

Titel: *Ibruktagning av informationssystem vid Jakobstads Energiverk*

Datum: 17.4.2014

Sidantal: 62

Abstrakt

I detta arbete beskrivs hur det historiska informationssystemet HIS600 fungerar och tillämpas i ett elkraftsystem. HIS600 är en extension till kontroll- och övervakningssystemet MicroSCADA. Målet med arbetet var att ibrukta och tillämpa det grafiska användargränssnittet Vtrin HIS600 på eldistributionssidan av Jakobstads Energiverk. Till ibruktagningen hörde även produceringen av en användarmanual åt personalen. En skild del av arbetet gick ut på att bestämma optimala jordkablar utifrån kablarnas överföringsförluster i mellanspänningsnätet.

I den teoretiska delen av arbetet förklaras hur informationssystemet får information från eldistributionsnätet. I jordkabelbestämningdelen av arbetet beskrivs tekniska och ekonomiska dimensioneringsberäkningar för jordkablar i mellanspänningsnätet, samt andra på dimensioneringen inverkan faktorer. De teoretiska utgångspunkterna baserar sig på diverse bestämmelser, teknisk litteratur, tekniska publikationer från ABB samt tidigare forskning i ämnet.

Arbetet resulterade i ett användarvänligt program redo att tas i bruk av personalen vid energiverket, samt en användarmanual för användargränssnittet. Från beräkningsresultaten på jordkablarna i mellanspänningsnätet drogs slutsatser om optimala tvärsnitt.

Språk: svenska **Nyckelord:** HIS600, MicroSCADA, eldistribution

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Conny Åbonde

Koulutusohjelma ja paikkakunta: Sähkötekniikka, Vaasa

Suuntamisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka

Ohjaaja: Matts Nickull

Nimike: *Tietokantajärjestelmän käyttöönotto Pietarsaaren Energialaitoksessa*

Päivämäärä: 17.4.2014

Sivumäärä: 62

Tiivistelmä

Tässä työssä kuvataan miten historiatietokantajärjestelmä HIS600 sovelletaan ja käytetään sähkövoimajärjestelmässä. HIS600 on laajennusosa MicroSCADA-käytönvalvontajärjestelmälle. Työn tavoitteena oli soveltaa ja käyttöönottaa graafinen käyttöliittymä Vtrin HIS600 Pietarsaaren Energialaitoksen sähköjakelupuolelle. Käyttöliittymän ohjekirjan tekeminen kuului myös käyttöönottoon. Erillinen osa työstä kertoo maakaapelien optimaalisesta määrittelystä keskijänniteverkossa kaapelien sähkönsiirtohäviöiden näkökulmasta.

Työn teoriaosassa selitetään miten historiatietokantajärjestelmälle kerätään tietoja jakeluverkosta. Työn maakaapelimäärittelyosassa selitetään tekniset ja taloudelliset mitoituslaskelmat ja muut mitoitukseen liittyvät tekijät. Työssä käytetyt teoreettiset lähtökohdat ovat pääosin määräykset, tekniset kirjat, tekniset julkaisut ABB:stä ja aiemmat tutkimukset aihepiiristä.

Työn tuloksena Pietarsaaren Energialaitoksen henkilöstö sai käyttövalmiin, käyttäjävälisen ohjelmiston sekä ohjelmaan liittyvän ohjekirjan. Keskijänniteverkon maakaapeleista tehdyistä laskelmista pääteltiin optimaaliset poikkipinnat.

Kieli: ruotsi **Avainsanat:** HIS600, MicroSCADA, sähköjakelu

BACHELOR'S THESIS

Author: Conny Åbonde

Degree Program: Electrical Engineering, Vaasa

Specialization: Electrical Power Engineering

Supervisor: Matts Nickull

Title: *Commissioning of an Information System at Pietarsaaren Energialaitos*

Date: 17.4.2014

Number of pages: 62

Summary

This thesis explains how the historical information system HIS600 is applied and used in a power system. HIS600 is an extension to the system supervisory and control system MicroSCADA. The aims of this thesis were to commission and apply the graphical user interface Vtrin HIS600 for the electricity distribution part of Pietarsaaren Energialaitos. For the commissioning an instruction manual was also to be made. A separate part of the thesis was also to determine the optimal cross-sectional areas for medium voltage cables based on the electricity transmission losses in the cables.

In the theoretical part of this thesis the data acquisition from the distribution network for the information system is explained. In the cable determination part of the thesis technical and economical sizing calculations and other factors which have an impact on the sizing have been explained. The theoretical bases for this thesis are gathered from regulations, technical literature, technical publications by ABB and previous research on the topic.

This thesis resulted in a ready to use, user-friendly program for the personnel of Pietarsaaren Energialaitos, and a user manual for the program. On the basis of the calculations on the medium voltage cables, optimal cross-sectional areas were decided.

Language: Swedish **Key words:** HIS600, MicroSCADA, electrical distribution

Förkortningar

API	Application Programming Interface
AMR	Automatic Meter Reading
CIS	Customer Information System
DA	Distribution Automation
DMS	Distribution Management System
DTU	Distribution Terminal Unit
EMS	Energy Management System
GIS	Geographical information system
HIS	Historical Information System
HSB	Hot Stand-By
Historian	Vanligare namn för ett historiskt informationssystem.
IED	Intelligent Electronic Device
IS	Information System
IP	Internet Protocol
JEV	Jakobstads Energiverk
JDBC	Java Database Connectivity
kV	Kilovolt
LCR	Load Control Device, lastkontrollanordning.
LMS	Load Management System, lasthanteringssystem.
LPU	Load Point Unit
MVA	Megavoltampere

NET-enhet	En NET-enhet består av NET-mjukvara och -kommunikations hårdvara som behövs för att köra den. T.ex. en PC-NET-mjukvara med ett PCLTA-kort anses som en NET-enhet.
NIS	Network Information System
ODBC	Open Database Connectivity
OLE	Object Linking and Embedding
OPC	OLE for Process Control
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SPA-buss	Kommunikationsprotokoll på stationsnivå. (t.ex. mellan reläer & SCADA-system)
SQL	Structured Query Language
RTDB	Real Time Database
RTU	Remote Terminal Unit

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund till arbetet	2
1.2	Syfte och problemprecisering	3
1.3	Jakobstads Energiverk	3
2	Distributionsnät	5
2.1	Allmänt om elsystemet i Finland	5
2.2	Mellanspänningsnät	7
2.3	Mellanspänningsnätet vid Jakobstads Energiverk	9
3	Kabelberäkningar i mellanspänningsnätet	10
3.1	Tekniska beräkningar.....	11
3.2	Ekonomiska beräkningar	15
3.3	Beräkningsexempel 1: Permo linje J07, Industri A	18
3.4	Beräkningsexempel 2: Hava linje B _{NY}	21
4	Distributionsautomation.....	25
4.1	Distributionsautomationens uppbyggnad	26
4.1.1	Ledningsterminalerna SPAC 531 och SPAC 535	28
5	MicroSCADA.....	31
5.1	MicroSCADA-teknologins produkter.....	32
5.1.1	SYS 500.....	33
5.2	MicroSCADA-systemet.....	36
5.3	MicroSCADA-systemet vid JEV	36
6	Extensionsdelen HIS600	37
6.1	Tillämpningen av HIS600 vid JEV	37
6.2	Historiska informationssystem allmänt	38
6.3	Historiska informationssystem i kraftssystem	40
6.4	Datakomprimering i historiandatabaser	41
6.5	HIS600:s uppbyggnad.....	43
7	Användargränssnittet Vtrin HIS600 och dess tillämpning.....	46
7.1	Processvariabler och kategorisering	47
7.2	Listor	48
7.3	Rapporter	49
7.4	Trender.....	51

7.4.1	Trendegenskaper.....	52
7.4.2	Trender i listformat.....	53
7.5	Varaktighetskurva.....	54
	Resultat.....	55
	Diskussion.....	58
	Källförteckning.....	61

1 Inledning

Detta ingenjörarbete är indelat i två delar. Den första delen av arbetet handlar om beräkningar för optimala tvärsnitt för jordkablar i mellanspänningsnätet. Den andra delen handlar om att ta i bruk programvaran Vtrin HIS600 (Historical Information System) vid energiverket på eldistributionssidan samt att skriva en användarmanual till personalen för drift- och planeringssyfte.

HIS600 är ett historiskt informationssystem och en extension åt kontroll- och övervakningssystemet MicroSCADA. Ett historiskt informationssystem är en programvarutjänst som har uppgiften att samla upp data från olika databaser för att sedan kunna analysera och lagra datan på ett lämpligt sätt. HIS600 får sitt data från MicroSCADA via OPC DA- (Data Access) kommunikation som en klient till MicroSCADA som agerar OPC DA-server. Ett historiskt informationssystem består av två huvudkomponenter, en databas och ett grafiskt användargränssnitt. I HIS600 är dessa komponenter en RTDB- (Real Time Database) databas och användargränssnittet Vtrin.

De teoretiska delarna av arbetet beskrivs med fokus på två huvudområden. Distributionsnätet lägger grunden för båda huvudområdena. Det första huvudområdet handlar om beräkningar för bestämning av tvärsnitt på jordkablar i mellanspänningsnätet, med fokus på överföringsförluster. Det andra huvudområdet handlar om HIS600 och hur datainsamlingen sker för informationssystemet från distributionsnätets olika komponenter. Detta huvudområde behandlar i huvudsak distributionsautomationens olika delar med fokus på kontroll- och övervakningssystemet MicroSCADA. Därefter övergår teorin till att beskriva historiska informationssystem och HIS600.

Den empiriska delen av arbetet omfattar två delar varav den ena är ibruktagningen av användargränssnittet Vtrin HIS600 och den andra är beräkningar från teorin om optimala belastningar på jordkabelstyperna som används i Jakobstads Energiverks mellanspänningsnät.

1.1 Bakgrund till arbetet

Jakobstads energiverk har haft licensen för HIS600 sedan 2011. Den togs då främst i bruk för användning på fjärrvärmesidan. Innan HIS600 tillämpades på fjärrvärmesidan, och före ibruktagningen på eldistributionssidan användes MicroSCADA:s inbyggda rapport- och trendsystem. Att göra rapporter och trender med dessa verktyg fungerar relativt bra, men det är lite komplicerat och det finns en hel del rum för förbättringar. Bland annat komprimerar MicroSCADA inte sina historikfiler och rapporter särskilt bra. Detta medför stora belastningar på systemet och upptagning av utrymme på hårddisken. Historiska informationssystem är utvecklade och tillämpade för att delvis bättra på dessa saker. HIS600 är ett specialiserat verktyg för lagring och analys av data. Det historiska informationssystemet HIS600 är uppbyggt på ABB:s egna databas RTDB (Real Time Database) och det grafiska användargränssnittet Vtrin.

Uppgiften för arbetet var att konfigurera och ta ibruk programvaran på eldistributionssidan. Efter att ha bekantat mig med systemet och alla användbara funktioner i användargränssnittet Vtrin skrevs en användarmanual till personalen på energiverket.

Historiska informationssystem presenterar värdefull information i form av rapporter och trender. Detta bidrar till flera möjligheter för planerare, genom t.ex. bättre uppfattningar om dimensionerandet av utrustning och planering av optimala kopplingslägen. För operatörer medför historiska informationssystem bl.a. lättare uppföljning av data och underlättar skapande och hantering av rapporter. HIS600 togs dels ibruk för skapandet av rapporter och visuella trender. Dessa funktioner är mycket användarvänliga i användargränssnittet och det finns många funktioner och finesser.

På elkvalitén och elleveransen kommer det mera krav hela tiden. För eldistributionsbolag innebär dessa krav ett behov av ständig uppdatering och utveckling av distributionsutrustning och arbetsmiljö. Detta medför bättre kontroll, övervakning och kvalitet på distributionen genom högre elkvalité och kortare avbrott i elleveransen. Eftersom elbehovet kommer att hållas på en ganska jämn nivå åren framöver, är det aktuellt med utbyggnadsbehov och förbättringar i distributionsnätet. Vid utbyggnad är det viktigt att ha ordentligt dimensionerade kablar, för att minska på förlustkostnader och för att få en längre livslängd på kablarna.

1.2 Syfte och problemprecisering

Syftet med arbetet är att göra det grafiska användargränssnittet Vtrin HIS600 användarvänligt och lättförståeligt för personalen. Detta utförs genom att skapa en användarmanual, att ställa in programmet på ett lättförståeligt och systematiskt sätt, samt genom att göra färdiga trendmallar och rapporter för huvudobjekten man vill kontrollera i mellanspänningsnätet. Att få HIS600 användarvänligt underlättar omkopplingar i mellanspänningsnätet och framtida utveckling och utbyggnad av mellanspänningsnätet. Utmaningen med ibruktagningen av HIS600 är bland annat bristen på tillgänglig dokumentation angående mjukvaran och historiska informationssystemens tillämpningar överlag.

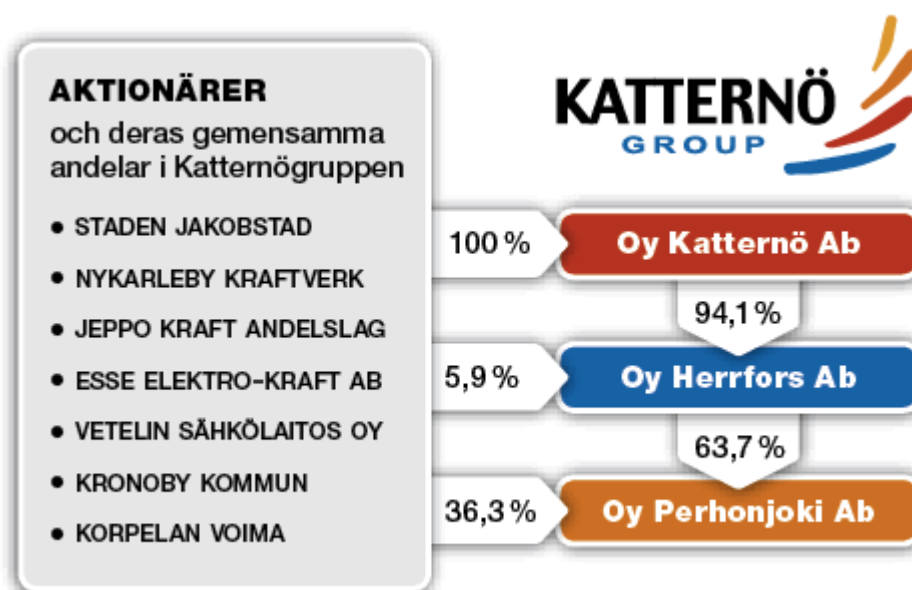
Mellanspänningsnätets utvecklande är en kontinuerlig dynamisk process som aldrig blir färdig. De viktigaste frågorna för utveckling är vilka uppgifter som finns i nätet samt var, varför och när dessa uppgifter befinner sig i nätet. En bra planerad förutspåelse på hur nätverket kommer att se ut i framtiden har en central roll i utvecklings- och planeringsprocessen. Syftet med kabelundersökningen i detta arbete är att få en bättre dimensioneringsgrund av mellanspänningsjordkablar utifrån deras förluster. Val av kablar och deras påverkan på nätet har en stor betydelse både för driftsäkerheten och för ekonomin för elbolaget.

1.3 Jakobstads Energiverk

Jakobstads Energiverk grundades år 1901 som ett aktiebolag och staden Jakobstad var huvudaktieägare. 1912 inlöstes alla privatägda aktier av staden och verket sammanlades med tekniska verket. År 1993 blev Energiverket ett affärsverk. Affärsstrategin är i dagens läge distribution av elenergi inom staden Jakobstad och närliggande kommuner, såsom produktion och distribution av fjärrvärme inom Jakobstad. Skötseln av gatubelysningen är härefter en mycket liten del av verksamheten. Omsättning år 2012 var ca 25,7 M€. Antalet anställda var i medeltal 50 personer. (Jakobstads Energiverk u.å).

Jakobstads Energiverk är en del av Katternö Group, som är ett energiföretag med stark regional förankring med delar mellan Vörå i söder och Alavieska i norr. Till Katternö Group hör följande företag: Moderbolaget Oy Katternö Ab, dotterbolagen Oy Herrfors Ab, Oy Perhonjoki Ab och Katternö Kraft Oy Ab. (Oy Katternö Ab u.å.).

Ägarna är främst kommuner och deras energibolag: staden Jakobstad, Nykarleby stad, Jeppo Kraft Andelslag, Esse Elektro-Kraft Ab, Vetelin Sähkölaitos Oy, Kronoby kommun och Korpelan Voima kuntayhtymä. Med andra ord ägs de av kommunerna som de verkar i. Detta illustreras i figur 1 med Katternö Groups aktionärer och deras andelar i Katternögruppen. (Oy Katternö Ab u.å.).



Figur 1. Katternö Group och dess indelning av ägare och dotterbolag. (Oy Katternö Ab, u.å.)

Jakobstads Energiverk distribuerar elenergi i Jakobstad, Larsmo kommun, samt delar av Pedersöre kommun bestående av Sandsund, Staraby, Markusholmen och Skutnabba. Energidistributionen var år 2012 sammanlagt 283 GWh. Antalet abonnenter var 15 548. På fjärrvärmesidan hade bolaget 826 abonnenter och ca 185 GWh distribuerad värme. Rörledningslängden är totalt 84 km i Energiverkets rörledningsnät. Huvuddelen av värmen köptes av Alholmens Kraft Ab via Oy Perhonjoki Ab och den resterande delen producerades med egna topp- och reservpannor. (Jakobstads Energiverk 2012).

På grund av samarbetet med Katternö Group, används Jakobstads Energiverks driftcentral som kontroll och övervakningspunkt för alla dessa företags distributionsområden utanför normala arbetstider. Detta innebär att alla felmeddelanden även styrs till driftcentralen vid Jakobstads Energiverk under dessa tider, för att sedan distribueras vidare till respektive företag.

2 Distributionsnät

Distributionsnätet omfattar hela elnätet från kraftkällan till användningspunkten. I detta kapitel förklaras först allmänt om elsystemet i Finland, sedan om mellanspänningsnät som är den primära övervakningsdelen för ett energiverk. I mellanspänningsnätet händer de största delen av felen på distributionsnivå och i den här delen av nätet finns nästan alla komponenter, bl.a. skyddsreläer som övervakar och skyddar distributionen från elstationen ut till abonnenterna.

2.1 Allmänt om elsystemet i Finland

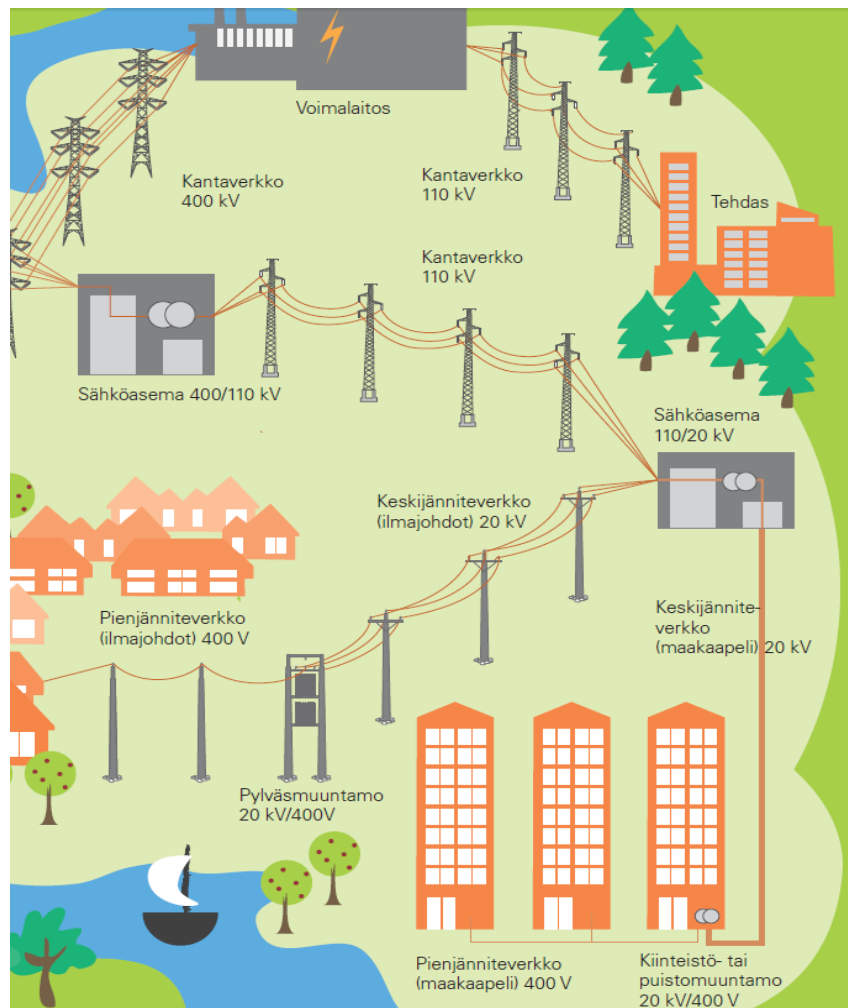
I Finland är elsystemet uppbyggt enligt kraftverk, stamnät, regionnät och distributionsnät. Stamnätet är grunden för elnätet i Finland. Där är alla stora kraftverk, fabriker och regiondistributionsnät länkade tillsammans.

Stamnätet består av:

- 4400 km 400 kV ledningar
- 2600 km 220 kV ledningar
- 7500 km 110 kV ledningar
- 114 elstationer

Fingrid äger och underhåller stamnätet. De resterande 110 kV linjerna ägs av andra företag. Största delen av Finlands förbrukade el distribueras m.h.a. stamnätet, antingen via direkt anslutning till stamnätet eller via regionnäten. Figur 2 visar ett exempel på hur elsystemet sammanfogar de olika komponenterna ända från kraftkällan ut till abonnenterna. (Fingrid Oyj u.å.)

Regionnäten är anslutna till stamnätet och distribuerar el områdesvis via en eller flera 110 kV linjer. Distributionsnäten kan anslutas till stamnätet direkt eller via regionnäten. Jakobstads Energiverk får t.ex. elenergin via 110 kV regionnätet som ägs av Katternö Group, och som sedan är kopplat ihop med stamnätet. Distributionsnäten i Finland består av spänningsnivåer mellan 0,4 kV och 110 kV. Distributionsnäten hör till olika elbolag runt om i Finland. (Fingrid Oyj, u.å.; Oy Katterno Ab, u.å.; Korpinen L. u.å.)



Figur 2. Exempel på hur elsystemet fungerar i Finland. (STUK Oy, 2014).

2.2 Mellanspänningsnät

Till mellanspänning räknas spänningar från 1 – 35 kV enligt SFS-EN 50160. I Finland används för det mesta mellanspänningen 20 kV. Mellanspänningsnätet kan delas upp i elstationer och distributionsnät. Från 110 kV ledningarna som antingen hör till regionnäten eller stamnätet transformerar man ner spänningen till mellanspänning vid 110/20 kV elstationer. 20 kV nätet består av luftlinjer och jordkablar beroende på område och situation. Till mellanspänningsnätet ansluts olika fabriker och större butiker. Från mellanspänningsnätet transformeras det sedan ner, via stolptransformatorer eller parktransformatorer till 400 V lågspänning för distribuering till hushåll, mindre industrier och butiker. (Markiewicz H. & Klajn A. 2004).

Elstationen är eldistributionsnätets viktigaste enskilda byggnadsdel. Elstationens position och storlek bestämmer längden för de utgående linjerna, deras dimensionering och hur långa reservanslutningarna blir till t.ex. andra elstationer. Elstationen fungerar som den centrala fördelningspunkten i nätet, där den största delen av distributionsautomationen befinner sig, som skyddsreläer och programmerbar logik. Elstationen består av ett högspänningsställverk, en eller flera huvudtransformatorer, ett mellanspänningställverk och ett hjälpspänningssystem. Mellanspänningsnätet är uppbyggt så att det kan reservmata andra elstationer och områden då fel uppstår på 110 kV sidan av nätet. (Lakervi 2009; Elkrafthandboken 2003).

I tätorter byggs anslutningar oftast med jordkablar, medan man på landsbygden använt luftledningarna av praktiska skäl. I dagsläget försöker man använda mer och mer jordkablar även på landsbygden, om det är möjligt, för att få färre strömavbrott, bland annat p.g.a. naturfenomen som t.ex. fallande träd. Mycket gamla luftledningarna byggs om till jordkablar varje år. Över 90 % av avbrotten hos elförbrukare har uppstått från fel i mellanspänningsnätet. (Elkrafthandboken 2003).

När man bygger mellanspänningsnätet med jordkablar finns det lite olika sätt att gå till väga. Billigast är radiella system (enkla linjer), andra system är slingsystem och dubbelkabelsystem. (Lakervi 2009; Elkrafthandboken 2003).

Slingsystemet grundar sig på att man knyter ihop nätet i en slinga så att man har möjlighet till reservmatning av andra linjer när fel uppstått. En transformatorstation kan t.ex. ha flera olika matningspunkter, som i normalläge är öppna men som kan slutas vid behov. Ett vanligt villkor för reservmatningsanslutningar, är att varje slingkabel och enskild dubbelkabel inte får belastas mer än till hälften av den tillåtna belastningsströmmen vid normaldrift. Det medför då att man vid behov kan reservmata en annan kabel med lika stor belastning utan problem. Utgångspunkten vid dimensionering är hur stor belastning det överlag finns på de olika kablarna i systemet, och möjliga utvecklingar i belastningsbehovet. (Elkraftshandboken 2003)

Vid val av kabelsystem i mellanspänningsnätet bör kostnader och ekonomin tas i beaktande. Ett slingkabelsystem är mycket dyrare i investeringen än ett radiellt system, men i längden om det uppstår mycket fel på det radiella systemet blir avbrottskostnaderna till kunderna ändå dyrare. Slingkabelsystemet är oftast den mest ekonomiska lösningen. (Elkraftshandboken 2003).

I energimarknadens lagstiftning gällande från och med 1.9.2013 sägs (fritt översatt från finska): *"Fördelningsnätet måste planeras, byggas och underhållas på ett sådant sätt, att fördelningsnätets feltillstånd till följd av stormar eller snöoväder inte orsakar kunder i tätorter längre än 6 timmars elfördelningsavbrott och på andra ställen inte längre än 36 timmars avbrott."* Enligt Tommy Bäck (Intervju med planeringschef Tommy Bäck vid JEV 31.1.2014) bestämmer detta krav på sätt och vis att det måste finnas ett slingsystem, för man hinner inte lokalisera och reparera en mellanspänningskabel på 6 timmar. (TEM 2013).

2.3 Mellanspänningsnätet vid Jakobstads Energiverk

Jakobstads Energiverk (JEV) får sin elenergi via de inkommande regionala 110 kV:s linjerna till de två 110/20 kV huvudstationerna Permo och Hava. Ledningslängden för mellanspänningsnätet är ca. 253 km och lågspänningsnätet ca. 977 km. Antalet egna 20/0,4 kV transformatorer är 239. (Jakobstads Energiverk u.å.).

Både Hava och Permo elstation matas via det regionala 110 kV nätet. I Havas elstation finns två 110/20 kV huvudtransformatorer, vardera med effekten 31,5 MVA. Skensystemet vid Hava är sektionaliserat i 2 skenor och det finns totalt 14 utgående mellanspänningslinjer som är uppdelade ungefär hälften per transformator. Vid Permo elstation finns för tillfället en 110/20 kV huvudtransformator med en effekt på 31,5 MVA, och i ställverket finns 8 utgående mellanspänningslinjer. Den totala anskaffningen för Hava och Permo varierar vanligtvis mellan 35 och 50 MW. I både Hava och Permo elstationer används SPAC skyddsreläer av modellerna 531 och 535. Dessa skyddsreläer var de första skyddsreläerna som kunde mäta kortslutningsströmmen, vilket behövs för att man ska kunna använda DMS verktygets fellokaliseringsverktyg.

JEV har nästan hela sitt mellanspänningsnät uppbyggt av slingsystemet. Det medför att det nästan alltid finns möjligheter att reservmata linjerna via andra linjer vid feltillstånd. I fortsättningen bör man utgå ifrån att bygga allting med slingnät för att uppfylla kraven som blir strängare hela tiden. År 2028 ska hela distributionsnätet uppfylla kraven att inte få ha mer än 6 h avbrott i elleveransen åt kunderna. (TEM 2013).

Tommy Bäck förklarar (Intervju med planeringschef Tommy Bäck vid JEV 31.1.2014) att ett problem när man bygger om till jordkablar från luftledningar eller när man bygger nya jordkablar, är att jordningskraven vid elstationen och i nätet blir högre p.g.a. att jordningsspänningen stiger. Jordningsspänningen är produkten av jordningsimpedansen och jordfelsströmmen, enligt ohms lag. Jordningsspänningen måste hållas på en viss nivå i nätet för att jordningskraven ska godkännas. Beroende på vad man har för jordningssystem i nätet, bestämmer jordningsspänningen hur pass avancerad jordning som behövs.

3 Kabelberäkningar i mellanspänningsnätet

När man dimensionerar jordkablar i mellanspänningsnätet, finns det många aspekter som bör beaktas. I detta kapitel beskrivs dimensioneringen utifrån ekonomiska aspekter som effekt- och energiförluster, samt spänningsfall och kortslutningsströmmar. För arbetet gjordes två exempelberäkningar för två olika mellanspänningslinjer, J07 och B_{NY}. Båda linjerna är ganska hårt belastade linjer som matar industrier. Kabeltyperna som främst används är AHXAMK-W och AXLJ vid behov av olika tvärsnitt. Den mest ekonomiska lösningen är inte alltid den bästa. Först och främst bör de tekniska kraven tillfredsställas, dvs. för vilket ändamål kabeln ska användas och var den placeras. Därefter bör man ta i beaktande reservmatningsmöjligheter och möjliga tillkomsteffekter innan man bestämmer tvärsnittet. (Lakervi 2009).

I följande beräkningar har följande grundvärden använts (Lakervi 2009; JEV:s egna värden):

Beräkningsspänningen	U	= 20,7 kV
Maxbelastningsströmmen	I	= (J07): 188 A, (B _{NY}): 116,98 A
Effektfaktorn	cos φ	= 0,995
Beräkningsränta	p	= 6 %
Effektökning per år	r	= 1 % per år
Priset på förlustenergin	F _{fE}	= 0,0486 € per kWh
Förlustoppnanvändningstiden	t _f	= 2250 h per år
Planeringstidens längd	T	= 30 år
Granskingstiden	t	= 40 år
Diskonteringskonstanten	k	= 17,48
Anuitetskonstanten	e	= 0,07
Trafoimpedans på 20 kV sidan	Z _{trafo} '	= 1,2698 Ω
Regionnätimpedans på 20 kV sidan	Z _{nät} '	= 0,3077 Ω

Jordslutningsströmvärden för AHXAMK-W kablarna:

I _j (A/km)	=	2,3 (3x95 Al + 35 Cu mm ²)
		2,6 (3x150 Al + 35 Cu mm ²)
		2,9 (3x185 Al + 35 Cu mm ²)
		3,2 (3x240 Al + 70 Cu mm ²)

3.1 Tekniska beräkningar

I arbetet gjordes olika allmänna dimensioneringsberäkningar för diverse mellanspänningskablar i nätet. Beräkning av effektförlusterna betonades för de har en stor betydelse i eldistributionens ekonomi. De kan även orsaka skador i isoleringen p.g.a. överhettning. Effektförlusterna är direkt proportionella mot strömmen i kvadrat. (Lakervi 2009).

Effektförlusterna i en kabel kan räknas med formlerna (1) o. (2):

$$P_f = 3 \cdot I^2 \cdot R \quad (1)$$

Där P_f = Effektförlusterna i W
 I = Den maximala strömmen i kabeln
 R = Kabelns totala resistans

$$Q_f = 3 \cdot I^2 \cdot X \quad (2)$$

Där Q_f = Reaktiva effektförlusterna i W
 I = Den maximala strömmen i kabeln
 X = Kabelns totala reaktans

Den totala producerade reaktiva effekten kan räknas med formel (3) där den befintliga susceptansen är beräknad från kabelns jordkapacitans (Lakervi 2009):

$$Q_c = 3 \cdot BU_f^2 = BU^2 \quad (3)$$

Där Q_c = Total producerad reaktiv effekt
 B = Susceptansen i kabeln
 U_f = Fasspänning
 U = Huvudspänning

Att räkna energiförlusterna är en central del när man bestämmer förlusteffekten i en kabel. När man beräknar energiförlusterna måste man börja med att bestämma effektförlusterna vid det önskade ögonblicket. Genom att ta i beaktande den tidliga förändringen i effektförlusterna kan energiförlusterna beräknas genom formel (4) (Lakervi 2009):

$$W_f = P_{f,max} \cdot t_f \quad (4)$$

Där W_f = Totala energiförluster i Wh (Watt-timmar)

$P_{f,max}$ = Kabelns effektförluster vid maximal belastning (W)

t_f = Förlustoppeffektens användningstid i timmar/år

De totala energiförlusterna uträknas med hjälp av en uppskattad eller uträknad förlusttoppanvändningstid t_f , som berättar hur många timmar i året som toppeffekten använts. I vanliga mellanspänningskablar kan man använda sig av värdet för t_f från tabell 3.2 i Lakervis Sähkönjakelutekniikka, där $t_f = 2000 - 2500$ h/år för en mellanspänningskabel. För att få en exaktare uträkning av energiförlusterna borde varje tidsperiod i året enskilt räknas ut och summeras. Detta är ett väldigt tidskrävande och svårt arbete, och därför använder man sig vanligen av den uppskattade tidskonstanten t_f istället. (Lakervi 2009).

Spänningsfallet för mellanspänningskablar tas med i beräkningarna, för i vissa fall har de en avgörande del i dimensioneringen. Spänningsfallets storlek beror mest på hur mycket kabeln är belastad, kabelns längd, resistans och reaktans.

Det maximala spänningsfallet på en kabel kan räknas med formeln:

$$U_h = I \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)$$

$$U_h' \cong 100 \cdot \frac{P}{U^2} \cdot (R + X \cdot \tan \varphi) \quad (5)$$

Där U_h = Spänningsfallet över kabeln i volt

U_h' = Spänningsfallet över kabeln i procent

I = Strömmen vid maxbelastning

P = Maxeffekt

U = Beräkningsspänning

R = Kabelns resistans

X = Kabelns reaktans

φ = Fasvinkeln

Kortslutningsströmmar är viktiga att ta med vid beräkningar när man dimensionerar, för att försäkra sig om att utrustningen klarar av dem och att kortslutningsströmmen blir tillräckligt stor för skydden vid stationen. I dessa beräkningar anses kortslutningsströmmen vara 3-fasig och uppkomma vid slutet av ledningen. Kortslutningsströmmen på en 20 kV mellanspänningskabel kan beräknas med en formel enligt (6) (Lakervi 2009):

$$I_{k3} = \frac{U_h}{\sqrt{3} \cdot (Z_{kabel} + Z_{trafo} + Z_{nät})} \quad (6)$$

Där I_{k3} = 3 fasig kortslutningsström i A

U_h = Huvudspänning (20 kV)

Z_{kabel} = Impedansen för kabeln vid 40°C ($\sqrt{1,08 \cdot R^2 + X^2}$)

Vid kortslutning på 20 kV:s ledningar används ledningsresistansen vid 40 °C.

40 °C resistansen fås genom att ta en faktor 1,08 · resistansen vid 20 °C.

Z_{trafo} = Impedansen för 110/20kV transformatorn på 20 kV sidan räknas ut med:

$$Z_{trafo} = Z_k \cdot \left(\frac{U_{20}^2}{S_N}\right)$$

Där Z_k = Kortslutningsimpedansen i procent, 10 % för JEV:s transformatorer.

U_{20} = Sekundärspänningen för transformatorn, 20 kV.

S_N = Transformatorns effekt, 31,5 MVA för JEV:s transformatorer .

$Z_{nät}$ = Kortslutningsimpedansen för det bakomliggande nätet (110 kV) som räknas ut från kortslutningseffekten för nätet och över till mellanspänningsnätet genom multiplikation med transformatorns spänningsomsättning i kvadrat:

$$Z_{nät} = \frac{U_{110}^2}{S_{k110}} \cdot \left(\frac{20 \text{ kV}}{110 \text{ kV}}\right)^2$$

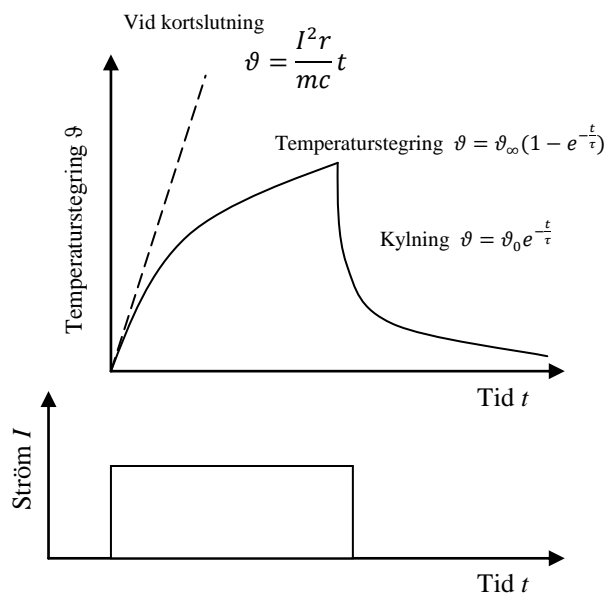
Där U_{110} = 110 kV nätets primärspänning (110 kV)

S_{k110} = Kortslutningseffekten för 110 kV nätet

$\left(\frac{20 \text{ kV}}{110 \text{ kV}}\right)^2$ = Transformatorns spänningsomsättning från 110 kV till 20 kV i kvadrat.

Nästan alla förluster i en distributionskabel är från elenergens producerade värmeenergi. Hur snabbt kabeln värms upp beror på värmeeffekten och dess värmetekniska egenskaper. En för hög värmegrad snabbar upp förstörelsen av isoleringen och kan t.o.m. snabbt förstöra en kabel. (Lakervi 2009).

Olika jordkablar har olika uppvärmningsmodeller. Hur mycket ledningen värms upp kan härledas från uppvärmningen från förlusteffekten och den bortledande effekten från kabelns yta. Deras skillnad i effekt förflyttar sig till ledningsmassan i form av värme och temperaturen stiger. Den bortledande kylande effekten för ledningen är proportionell mot ledarens mantelområde och dess temperaturstegring. Upphettnings och kylningens tidskonstant τ beror på kabeltypen, desto större kabel desto större tidskonstant och längre avsvälnings tid. (Lakervi 2009).



Figur 3. Ledningens upphettning, när ledningens belastning stegvis ökas och minskas. (Lakervi 2009).

När ledningens belastning höjs stegvis, stiger temperaturen i ledningen med en dämpande exponentialkurva enligt figur 3. Till sist fås ett jämviktstillstånd, då de uppkommande och bortfarande värmeenergierna är lika stora. Temperaturstigningens mängd och tidsbeteende beror på ledningens geometri, massan m , resistansen r , egen-värmekapaciteten c , och mantelns värmeöverföringskonstant h . Temperaturstegringen innebär skillnaden mellan ledningens temperatur och dess omgivningstemperatur. (Lakervi 2009).

3.2 Ekonomiska beräkningar

För att få ett bättre grepp om skillnaden i förluster mellan två tvärsnitt är det lättast att ta till kostnadskalkyler. Vid uträkning av vilken tvärsnittsarea på kabeln som är mest ekonomisk kan man använda sig av formel (15). Formeln jämför investeringskostnadernas och förlustkostnadernas skillnad mellan de två tvärsnitten. När man gör lönsamhetsberäkningar, kan man antingen räkna kostnaderna avsnittsvis för hela användningstidens nuvärde, genom diskontering, eller så kan man ändra om investeringskostnaderna för hela användningstiden till avsnittsvisa årskostnader (anuitet). (Lakervi 2009).

Prisen som användes vid kostnadsberäkningarna för kabelinvesteringarna i detta arbete är inga exakta kostnader utan har endast räknats ut för normala förhållanden i terrängen och med genomsnittliga priser. Det exakta priset är svårt att räkna ut eftersom prisen på många komponenter varierar ganska mycket. Detta medför att prisen i detta arbete endast ska ses som riktgivande och användas för jämförelsens skull.

De totala förlusternas kostnad för en ledning kan uträknas från formel (7):

$$C_f = P_{f,max} \cdot F_{fP} + E_f \cdot F_{fE} \quad (7)$$

Där,

- C_f = Förlustkostnader per år
- $P_{f,max}$ = Ledningens maximala effektförlust
- F_{fP} = Förlusteffektens pris per år, Eur / kW, a
- E_f = Energiförlusterna per år
- F_{fE} = Förlustenergin pris, omvandlat till Eur / MWh

Effektens förlustpris per år räknas ut från energiförlustpriset F_{fe} och förlusternas toppanvändningstid t_f , därav formeln (8):

$$F_{fP} = F_{fE} \cdot t_f \quad (8)$$

Angående förlustprisen bör påpekas att priset som använts är överföringspriset som det kostar för energibolaget att sälja el (4,86 cent / kWh). Räknar man med köpt el från bl.a. elbörsen kommer man till ett lägre pris, mellan 2,8 – 5 cent/kWh beroende på tidpunkten och årstiden. Medelpriset 4,86 cent / kWh användes i detta arbete som en uppskattning på förlustenergin med förlusteffekten i beaktande. Detta ska endast ses som ett värde relativt nära sanningen, för att få en riktgivande skillnad mellan tvärsnitten i beräkningarna.

Det första årets förlustkostnader kan beräknas från formel (9):

$$K_0 = F_{fP} \cdot \left(\frac{P_0}{U \cdot \cos \varphi} \right)^2 \cdot R_l \quad (9)$$

Där F_{fP} = Förlusteffektens pris per år, Eur / kW, a
 P_0 = Ledningens maxeffekt det första året
 U = Huvudspänning
 R_l = Ledningens resistans
 $\cos \varphi$ = Effektfaktorn

Förlustkostnaderna som uppstår under ledningens livstid, K_f , fås genom att diskontera det första årets förlustkostnader, K_0 , med hjälp av diskonteringskonstanten κ .

$$K_f = \varepsilon \frac{\varepsilon^T - 1}{\varepsilon - 1} \cdot K_0 = \kappa \cdot K_0 \quad (10)$$

Diskonteringskonstanten κ kan räknas utifrån formeln (11) m.h.a. formel (12):

$$\kappa = \varepsilon \frac{\varepsilon^T - 1}{\varepsilon - 1} \quad (11)$$

$$\varepsilon = \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^2}{1 + \frac{p}{100}} \quad (12)$$

Där r = Effektens ökningsprocent per år
 p = Ränteprocenten
 T = Granskningstiden

För att få ut nuvärdet för en stor investeringskostnad, kan man m.h.a. annuiteten göra om långtidsinvesteringen till en periodvis kostnad genom en annuitetskonstant för tiden T :

$$e = \frac{\frac{p}{100}}{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^T}} \quad (13)$$

När man dimensionerar kablar utifrån kostnader, kan det hända att två tvärsnitt är lika ekonomiska valmöjligheter. Då måste en gränseffekt uträknas, då det större tvärsnittet A2 p.g.a. förlustbesparingarna är mer ekonomisk att använda än det billigare, mindre tvärsnittet A1 (formel 14). (Lakervi 2009).

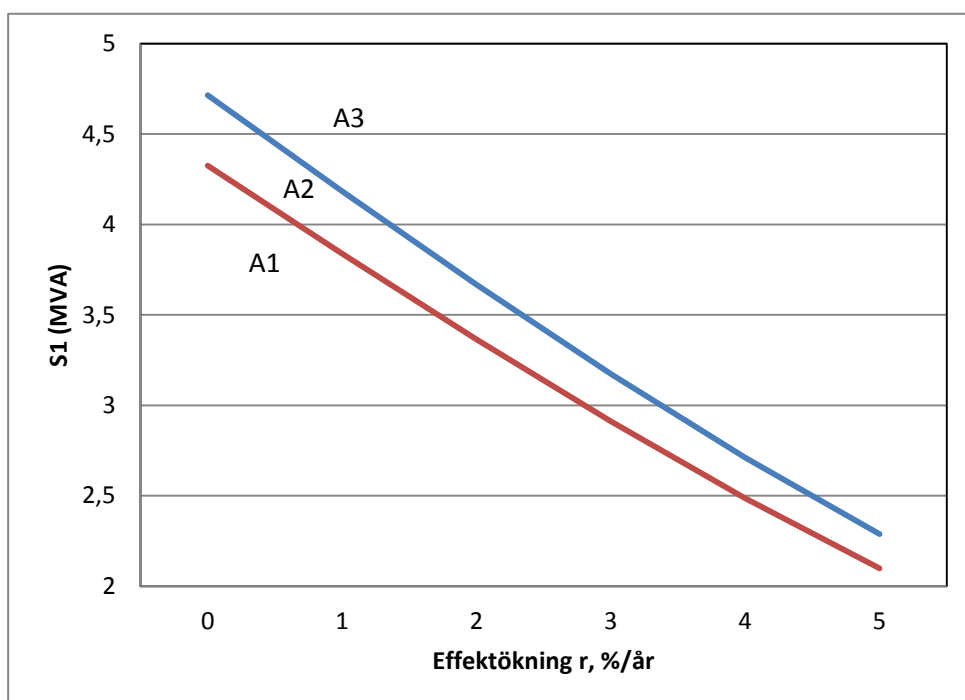
$$K_{hA1} - K_{hA2} > K_{IA2} - K_{IA1} \quad (14)$$

I formeln är termerna K_h kablarnas förlustkostnader i året och termerna K_I föreställer investeringskostnaderna för kablarna. Med hjälp av formel (14) kan vi härleda formel (15) till gränseffekten som det större tvärsnittet A2 måste ha det första året, för att vara mera ekonomisk än det klenare tvärsnittet A1.

$$S_1 \geq U \sqrt{\frac{k_{IA2} - k_{IA1}}{\kappa c_f (r_{A1} - r_{A2})}} \quad (15)$$

Där k_{IA1}, k_{IA2} = Tvärsnittsareorna A1 och A2:s investeringskostnader i € / km
 r_{A1}, r_{A2} = Tvärsnittsareorna A1 och A2:s resistanser Ω / km
 c_f = förlusternas kostnad € / kWh
 κ = förlusternas diskonteringskonstant

Med hjälp av formel 15 kan man sedan skapa grafer som t.ex. föreställer lednings-tvärsnittareornas ekonomiska gränseffekter som funktion av den årliga effektökningen r . Exempelvis som i figur 4.



Figur 4. Gränseffekter mellan olika tvärsnitt. $A3 > A2 > A1$.

3.3 Beräkningsexempel 1: Permo linje J07, Industri A

Som första exempel för beräkningarna valdes en ganska ny, stadigt belastad linje (J07) från Permo elstation som matar en större industrianläggning A. Linjen i fråga består kabelvis av 1050 m AXLJ 3x185 mm² och 900 m AHXAMK-W 3x185 mm². Kabeltyperna har nästan samma egenskaper. Eftersom kabeln på den första linjesträckan är installerad under högspänningsledningarna krävs en viss typ av isolering som endast AXLJ kabeln uppfyller, berättar Tommy Bäck. (Intervju med planeringschef Tommy Bäck vid JEV 31.1.2014).

Information om den tekniska datan för hela J07 linjens mellanspänningskablar (1,05 km av AXLJ och 0,9 km av AHXAMK-W) visas i tabell 1.

Tabell 1. Teknisk data för kabeltyperna AXLJ och AHXAMK-W tvärsnitten 185 mm², 150 mm² och 95 mm². (Hämtade från nätinformationssystemet Xpower).

J07 Tekniska data	Resistans (Ω)	Reaktans (Ω)	Jord- susceptans (μS)	Största tillåtna ström AXLJ/AHXA MK-W (A)	Tillåten 1 s kortslutningsström AXLJ/ AHXAMK-W (kA)
3x185 mm ²	0,324	0,206	166,2	290/330	19,2/15,0
3x150 mm ²	0,402	0,213	163,05	260/300	15,6/14,2
3x95 mm ²	0,624	0,228	137,70	205/235	9,9/9,0

Resultaten för de tekniska beräkningarna för J07- kablarna presenteras i tabell 2.

Tabell 2. Resultat för de tekniska beräkningarna för mellanspännings-kabeltvärsnitten 185 mm², 150 mm² och 95 mm² på linjen J07.

J07 Tekniska beräkningar	P _{max} (MW)	P _f (1) (kW)	Q _f (2) (kVAr)	Q _c (3) (kVAr)	W _f (4) (MWh/år)	I _{k3} (6) (kA)	U _h ' (5) (%)
3x185 mm ²	6,71	34,39	21,82	71,22	77,37	6,06	0,54
3x150 mm ²	6,71	42,59	22,63	69,87	95,83	5,84	0,66
3x95 mm ²	6,71	66,16	24,13	59,00	148,87	5,28	1,01

Eftersom den tillåtna belastningen och kortslutningsströmmen ligger inom gränserna för de tekniska kraven, konstateras att alla tvärsnitten som togs med i beräkningarna går att använda för ändamålet. Effekt- och energiförlusterna skiljer nästan dubbelt så mycket mellan tvärsnitten 95 mm^2 och 185 mm^2 . Enbart med tanke på dessa förluster så lönar det sig att installera det största tvärsnittet, vilket i detta fall är 185 mm^2 . Med en maxeffekt på 6,71 MW befinner sig maxeffektörlusterna på 34 kW, 42 kW och 66 kW beroende på tvärsnittet.

De reaktiva effektförlusterna och den producerade reaktiva effekten är intressanta att ta i beaktande med tanke på elkvalitén, men kostnadsvis är de i princip gratis för elbolaget. Spänningsfallen U_h för de olika tvärsnitten är 0,54 %, 0,66 % och 1 %, vilket motsvarar 111 V, 137 V och 209 V spänningsfall. Spänningsfallen medför inga märkbara problem för en mellanspänningslinje, eftersom spänningen ofta transformeras ner och då kan man höja på spänningen via lindningskopplare vid transformatorn. Med tanke på att stationsspänningen i snitt är 21 kV och man i slutändan vill ha 20 kV, orsakar ett ca 100 – 200 V spänningsfall inget problem.

Resultatet för de ekonomiska beräkningarna för J07- linjens mellanspänningskablar presenteras i tabell 3.

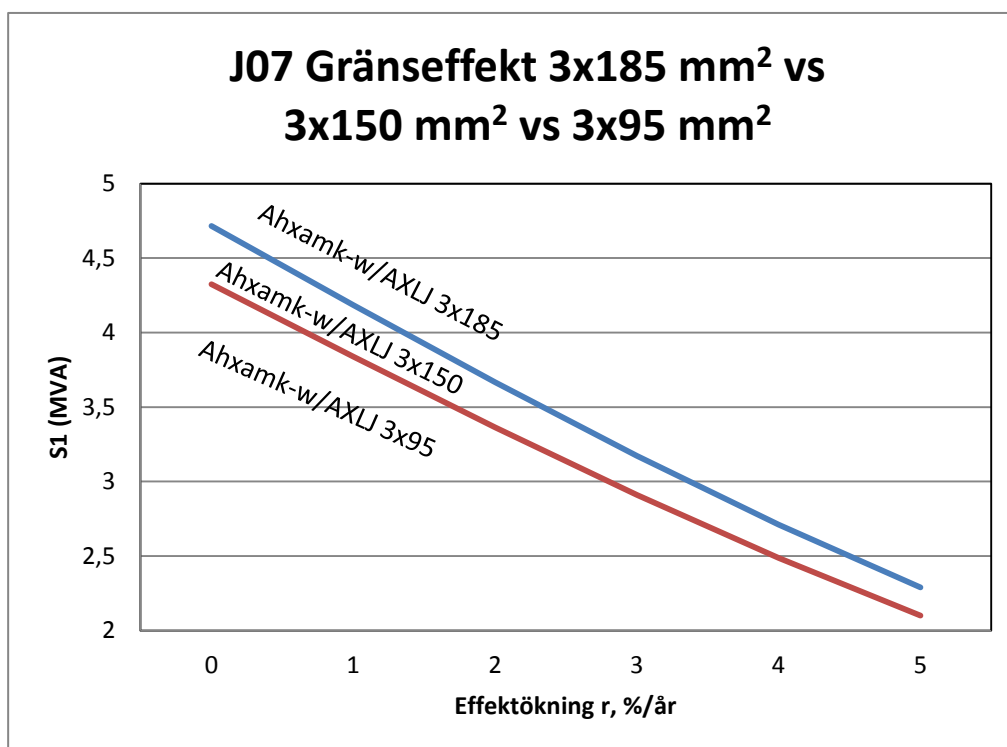
Tabell 3. Resultat för de ekonomiska beräkningarna för mellanspännings-kabeltvärsnitten 185 mm^2 , 150 mm^2 och 95 mm^2 .

J07 Ekonomiska beräkningar	K₀ (9) (€)	K_f (10) (€)	Kabelinvestering (€)	C_f (7) (€/år)
3x185 mm²	3760,13	65725,63	163800	7520,26
3x150 mm²	4657,55	81412,23	161113,5	9315,10
3x95 mm²	7235,03	126465,60	154620	14470,06

Effektförlusterna skiljer nästan dubbelt så mycket mellan $3 \times 95 \text{ mm}^2$ tvärsnittet och $3 \times 185 \text{ mm}^2$ tvärsnittet, vilket innebär att förlustkostnaderna skiljer dubbelt så mycket också. Förlustkostnaderna i året blir för tvärsnitten runt 7500 € för 185 mm^2 , 9300 € för 150 mm^2 och 14 400 € för 95 mm^2 . Kostnaderna ska ses som riktgivande och inte som exakta summor, eftersom förlustenergipriset varierar mycket.

Om man jämför investeringskostnaderna för de olika tvärsnitten kan man konstatera att skillnaden är väldigt liten. Detta beror främst på att nedgrävningen och installationen av jordkablar är så pass dyr och kostar lika för alla tvärsnitten. Kabelpriset utgör endast ca 20 % av investeringskostnaden. Kablarna kostar i medel runt 13 – 19 € / m beroende på typ och tvärsnitt och på korta sträckor blir prisskillnaden inte så stor. Detta medför att man nästan alltid utifrån ekonomiska synpunkter kan dimensionera för det större tvärsnittet. Detta resulterar i lägre förlustkostnader i längden och säkrare användning i och med mindre upphettning i kabeln.

Från formel 15 kan man rita upp grafer enligt figur 5, där man ser vid vilken effekt det större tvärsnittet blir mera lönsamt det första året med tanke på förlustkostnaderna. Desto större effektökning per år, desto lägre blir gränseffekten enligt grafen.



Figur 5. Gränseffekt mellan 3 olika kabeltvärsnitt för linjen J07. Uträknat från formel 15 som funktion av effektökningen r (% / år).

Utifrån figur 5 kan man konstatera att det lönar sig att använda tvärsnittet 185 mm², eftersom maxeffekten är 6,17 MW och gränseffekten för 185 mm² från 150 mm² ligger på ca 4,8 MW. En fördel med att överdimensionera är att man med säkerhet kan reservmata andra linjer som är ringkopplade. Storleken och längden för linjen som planeras kunna reservmatas bestämmer förstas kraven för vad som är möjligt.

Utifrån kostnaderna för nergrävning av nya kablar kan man också konstatera att fastän ett annat tvärsnitt vore mera lönsamt i längden, skulle det inte löna sig att gräva upp de gamla och sätta ner nya kablar. Undantaget gäller förstås då kablarna p.g.a. tekniska skäl måste bytas. Detta kan bevisas genom att jämföra kostnadsförlusten för hela ledningens granskningstid K_f och investeringskostnaden. Då ser man att investeringskostnaden överstiger förlustkostnaderna i alla av fallen. Om man har en längre granskningstid kan svaret bli annorlunda, men en 30 års period är en ganska normal granskningstid.

3.4 Beräkningsexempel 2: Hava linje B_{NY}

I det andra exemplet gjordes samma tekniska och ekonomiska kalkyler som för industrilinjens J07, men i detta exempel gjordes beräkningar på en ny kabel som är planerad till sommaren 2014 som utgår från Hava elstation. Jordkabeln kommer att ersätta den nuvarande luftlinjen, som därefter kvarblir som reserv.

Linjen (B_{NY}) kommer att mata två industrier, varav den ena har en maxeffekt på 2850 kW och den andra en maxeffekt på 385 kW. I beräkningarna inräknades en eventuell tillkomsteffekt på 1000 kW. Ett av kraven på denna linje var att linjen ska klara av att reservmata en annan linje med belastningen 70 A vid behov. Linjen är planerad att byggas med AHXAMK-W kabel och mellanspänningskabeln blir 850 m. I beräkningarna jämfördes tvärsnitten $3 \times 240 \text{ mm}^2$, $3 \times 185 \text{ mm}^2$ och $3 \times 150 \text{ mm}^2$.

Den tekniska datan för hela B_{NY} linjens mellanspänningskabel visas i tabell 4.

Tabell 4. Teknisk data för kabeltypen AHXAMK-W:s tvärsnitt 240 mm^2 , 185 mm^2 och 150 mm^2 (Hämtade från Xpower).

B_{NY} Tekniska data	Resistans (Ω)	Reaktans (Ω)	Jord- susceptans (μS)	Största tillåtna ström AHXAMK-W (A)	Tillåten 1 s kortslutningsström AHXAMK-W (kA)
$3 \times 240 \text{ mm}^2$	0,111	0,099	79,9	375	19,4
$3 \times 185 \text{ mm}^2$	0,144	0,101	69,7	330	15,0
$3 \times 150 \text{ mm}^2$	0,185	0,105	69,7	300	14,2

Resultaten för de tekniska beräkningarna för B_{NY} - kabeln presenteras i tabell 5.

Tabell 5. Resultat för de tekniska beräkningarna för mellanspännings-kabeltvärsnitten 240 mm², 185 mm² och 150 mm² på linjen B_{NY} .

B_{NY} Tekniska beräkningar	P_{max} (MW)	P_f (1) (kW)	Q_f (2) (kVAr)	Q_c (3) (kVAr)	W_f (4) (MWh/år)	I_{k3} (6) (kA)	U_h' (5) (%)
3x240 mm ²	4,17	4,54	4,05	34,24	10,21	6,91	0,12
3x185 mm ²	4,17	5,90	4,15	29,87	13,27	6,80	0,15
3x150 mm ²	4,17	7,61	4,33	29,87	17,13	6,65	0,19

Alla kabeltvärsnitten som tagits med i beräkningarna uppfyller användningskraven för linjen, dvs. kortslutningsströmmarna, spänningsfallen och de tillåtna belastningarna godkänns av kraven. Eftersom kabeln inte är så lång, blir förlusterna i detta fall inte särskilt stora. Effektförlusterna på det klenaste tvärsnittet i beräkningarna, 3x150 mm², får en effektförlust på ca 7,6 kW, vilket medför ca 17 MWh energiförluster per år. Det största tvärsnittet i beräkningarna 3x240 mm² får en effektförlust på ca 4,5 kW och ca 10,2 MWh energiförluster i året. Alternativet 3x185 mm² ger en effektförlust på ca 5,9 kW och 13,3 MWh energiförluster i året.

Spänningsfallen som uppstår blir betydelselösa på denna mellanspänningslinje eftersom de är förhållandevis små (0,12 – 0,19 %, dvs. 24,84 – 39,33 V), dessutom kan spänningen vid transformatorn höjas vid behov.

Med tanke på att linjen ska kunna reservmata en annan linje med 70 A belastning konstateras att 185 mm² tvärsnittet förmodligen blir det mest lönsamma i längden. Om man lägger för stora tvärsnitt i "onödan" orsakar man i längden en onödigt stor ökning i jordslutningsströmmen för stationstransformatoren. Det innebär i längden att jordspänningen vid fel ökar och då måste man utöka jordningen för systemet för att hålla jordspänningen nere på en nivå som inte skadar människor och djur.

Om man så småningom byter ut alla gamla luftledningarna till jordkablar blir man tvungen att öka på jordningssystemet i vilket fall som helst.

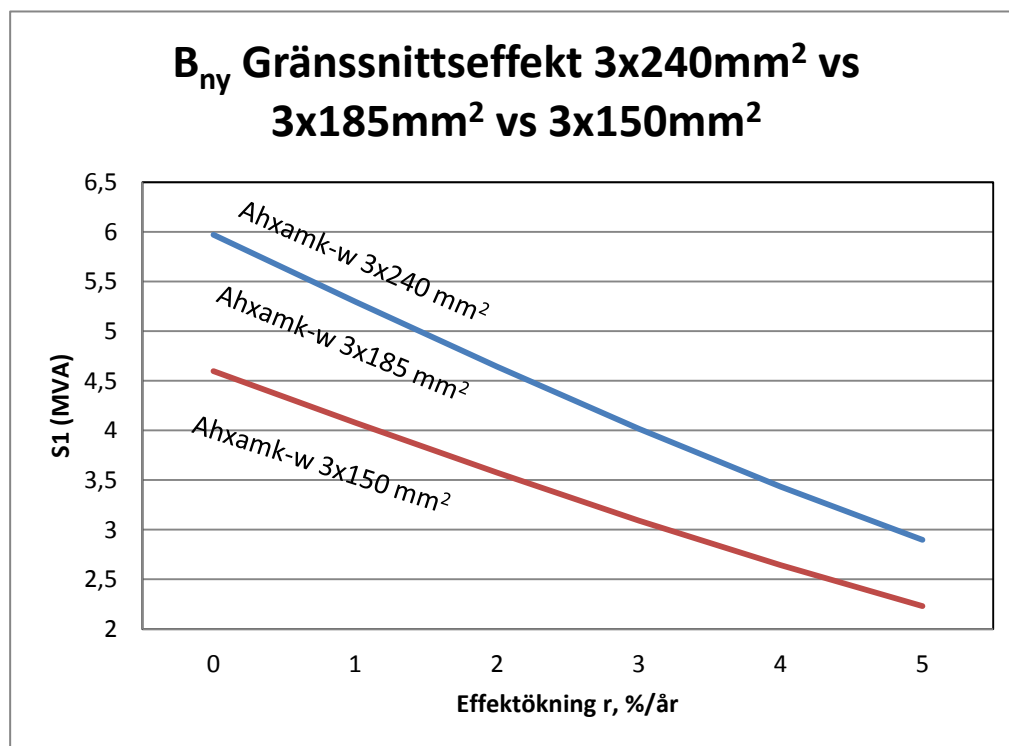
De ekonomiska kalkylernas resultat på B_{NY} - linjen presenteras i tabell 6.

Tabell 6. Resultat för de ekonomiska beräkningarna för mellanspännings-kabeltvärsnitten 240 mm^2 , 185 mm^2 , och 150 mm^2 .

B_{NY} Ekonomiska beräkningar	K_0 (9) (€)	K_f (10) (€)	Kabelinvestering (€)	C_f (7) (€/år)
$3 \times 240 \text{ mm}^2$	496,09	8671,38	72417,50	992,17
$3 \times 185 \text{ mm}^2$	644,91	11272,80	70573,00	1289,82
$3 \times 150 \text{ mm}^2$	832,35	14549,09	69196,00	1664,69

De totala förlustkostnaderna för det minsta i beräkningarna använda tvärsnittet $3 \times 150 \text{ mm}^2$ blir ca 1660 € / år, medan de totala kostnadsförlusterna för det största tvärsnittet $3 \times 240 \text{ mm}^2$ blir ca 990 € / år. Utifrån dessa kostnader kan man konstatera att det inte är så stor skillnad vilket av dessa tvärsnitt man väljer, eftersom investeringskostnaderna även i detta fall är väldigt nära varandra.

Från formeln 15 fås för linjen B_{NY} figur 6.



Figur 6. Gränseffekten mellan tre olika kabeltvärsnitt för B_{NY} . Skapad utifrån formel 15 som funktion av effektökningen r (% / år).

Enligt figur 6 är tvärsnittet $3 \times 150 \text{ mm}^2$ det mest ekonomiska det första året utgående från maxeffekten 4,17 MW. Men redan om effektökningen r är 1 % per år blir $3 \times 185 \text{ mm}^2$ tvärsnittet mest lönsamt.

Ju större tvärsnitt man har på kabeln, desto större blir kortslutningsströmmen och kraven på utrustningen. Större kortslutning är i och för sig önskvärt för att höja på elkvalitén, och garanterandet av skyddsutlösningen vid elstationen. I vissa fall när kabeln är väldigt lång kan kortslutningsströmmen bli så liten att det medför sådana svårigheter för kortslutningsskydden att upptäcka fel tillstånd att problem kan uppstå. I både B_{NY} - och $J07$ -beräkningarna är kortslutningsströmmarna runt 6 kA, vilket är precis var de borde vara. Normala kortslutningsströmmar på mellanspänningslinjer brukar befinna sig på ca 5 – 12 kA. (Lakervi 2009)

Tvärsnittet $3 \times 240 \text{ mm}^2$ har en tillåten belastning på 375 A medan ströminställningarna på skyddsreläerna vid elstationen endast tål en nominell ström på 300 A. Detta medför att det vore lite onödigt med all den extra kapaciteten som inte går att använda. Utifrån beräkningsresultaten och grafen i figur 6, konstateras att för att tvärsnittet $3 \times 240 \text{ mm}^2$ skulle lönas att användas borde belastningen på linjen vara lite högre. Alternativet $3 \times 185 \text{ mm}^2$ blir utifrån dessa beräkningar det mest lönsamma tvärsnittet.

4 Distributionsautomation

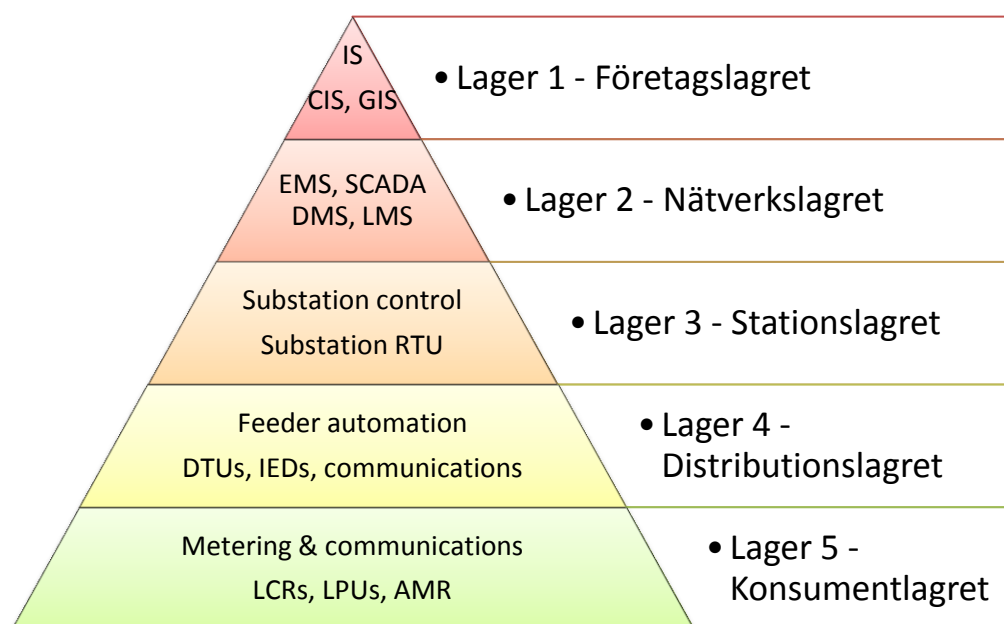
Distributionsautomation (DA) är en viktig del av dagens energidistribution. Med hjälp av automatisering av de olika delarna i distributionsnätet får man mera kontroll- och övervakningsmöjligheter samt en mera driftsäker operation. Med DA får man också mera information från alla delar i nätet. I DA kommer informationssystemen in i bilden som hjälpmedel för att samla upp mätdatan, analysera och presentera innehållet på olika sätt beroende på vilken typ informationssystemet är. Olika informationssystem är bland annat DMS (Distribution Management System), Historianer (Historical Information System), EMS (Energy Management System), CIS (Customer Information System), NIS (Network Information System) och GIS (Geographical Information System). (Northcote-Green 2007 s.1–5).

Termen distributionsautomation används för att beskriva distributionssystem som använder sig av olika hjälpsystem i form av kommunikation, optimering och intelligenta system för att förbättra prestanda och funktion i distributionen. Med DA vill man få ett realtidssystem mellan användaren och processen, så att alla mätningar och händelser syns i realtid vid kontrollpunkten. DA omfattar alla automationsdelar som relaterar till distributionsnätverket. Automationsdelarna består av automationsutrustningen (t.ex. skyddsreläer), dator- och dataöverföringssystemen. (Northcote-Green 2007).

Med hjälp av distributionsautomation får man ett mera underhållsfritt distributionsnät och kortare spänningslösa tider vid fel. Stationsautomationen bidrar till detta med skyddsreläer, granskningsutrustning och olika programmerbara logiker, medans t.ex. DMS system bidrar med bl.a. fellokaliseringsverktyg på operatörsnivå. Fellokaliseringsverktyget räknar ut var felet på linjen kan vara utgående från kortslutningsströmmen, vilket märkbart snabbar upp felsökandet. Automationen hjälper även till med att försäkra elkvalitén via effektregering genom bl.a. fjärrstyrda kondensatorer och spänningsreglering med t.ex. lindningskopplare. (Northcote-Green 2007, s.1–5; Momoh 2008, s.5).

4.1 Distributionsautomationens uppbyggnad

För att kunna applicera automationen i nätverket måste kontrollhierarkin vara strukturellt uppbyggd för att omfatta alla de olika transportlagren i nätverket. För att detta ska vara möjligt måste hela nätverket vara kontrollerbart från en punkt, ett kontrollcenter. Nästan alltid när ett bolag äger hela nätverket, övervakas och styrs allt från en enda kontrollpunkt. Det är den här processen som kallas för SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), som förlitar sig på att kommunikationen mellan kontrollpunkten och det primära objektet (t.ex. generator, brytare, lindningskopplare) fungerar. Grunden på vilken all realtidskontroll bygger på är SCADA- systemet. För att SCADA- systemet ska kunna styra objektet i fråga måste det vara utrustat med en passande typ av ställdon för att t.ex. stänga och öppna brytaren. Ställdonet måste även samspela med någon typ av IED (Intelligent Electronic Device) som klarar av att ta emot informationen från SCADA och utföra åtgärden. (Northcote-Green 2007).

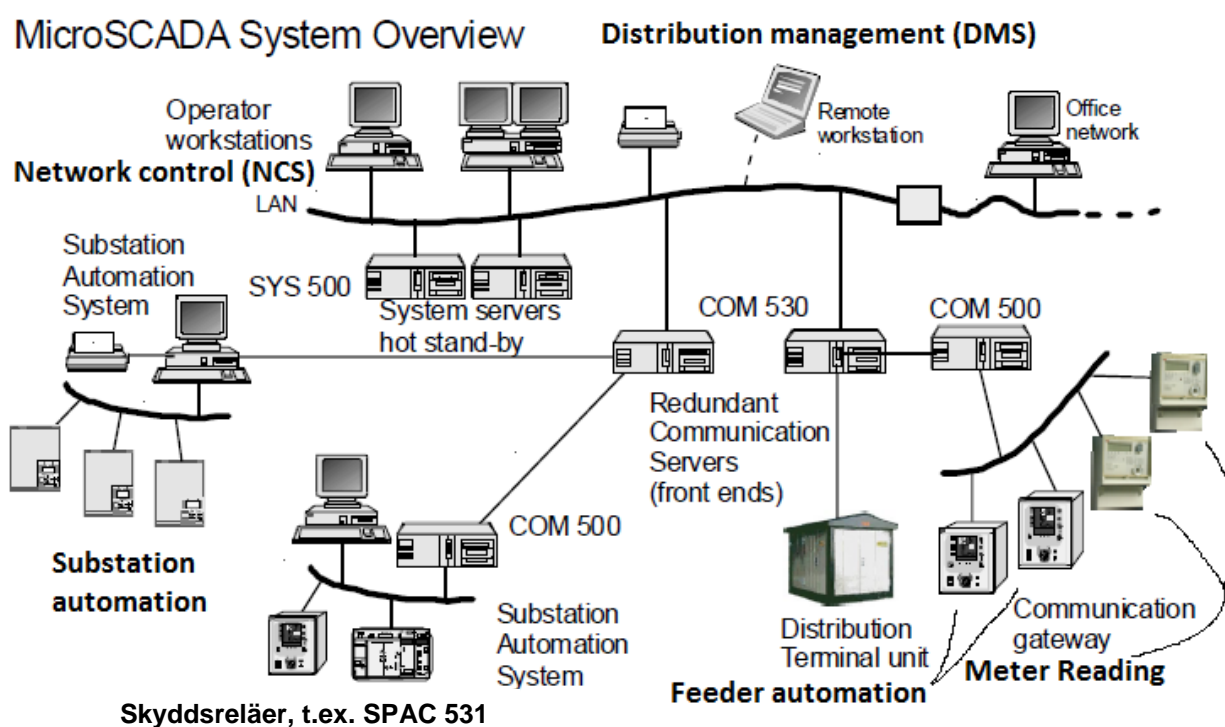


Figur 7. Typisk kontrollhierarki vid ett energibolag (Northcote-Green 2007, s.10).

I figur 7 visas en kontrollhierarki för distributionsautomation från ABB om hur kontrollansvaret vanligtvis är uppbyggt vid ett distributionsbolag. I ett kraftöverföringssystem måste alla dessa lager samspela för att distributionsautomationen ska fungera som en helhet. Hur dessa samspelar kan man illustrera med en annan figur, figur 8, där man ser hur de olika delarna kan samspela i ett distributionsnätverk. (Northcote-Green 2007).

I distributonsautomationssystem strävar man efter att ha intelligenta system i alla lager (i figur 7). Nedan beskrivs närmare lagrens funktion i hierarkin och deras komponenter:

1. Företagslagret. Det högsta lagret där allt på företagsnivå styrs, dvs. tillgångshantering, kundinformationssystem och energihandelssystem.
2. Nätverkslagret. På denna nivå kontrolleras hela kraftöverföringsnätverket. Här kontrolleras också vart generatorerna matar effekt.
3. Stationslagret. Innehåller all integrerad kontroll av brytare i stationen via bl.a. skyddsreläer och RTU:s (Remote Terminal Unit).
4. Distributionslagret. Omfattar och sköter alla mellanspänningssystem, t.ex. ledningsterminalsystem. Det reflekterar också utvecklingen av kontrollmöjligheterna i realtid genom fjärrstyrning och lokal automation av ledningsterminalerna som finns i huvudelstationerna.
5. Konsumentlagret. Är det lägsta lagret av kontroll och sköter samspelet mellan kunden och överföringssystemet, med andra ord mätaravläsning och laststyrning samt flexibla tariffsystem som t.ex. nattel och dagel. (Northcote-Green 2007, s. 9–11).



Figur 8. MicroSCADA System Overview, samspel mellan komponenterna i ett DA-nätverk (ABB Oy 2002a).

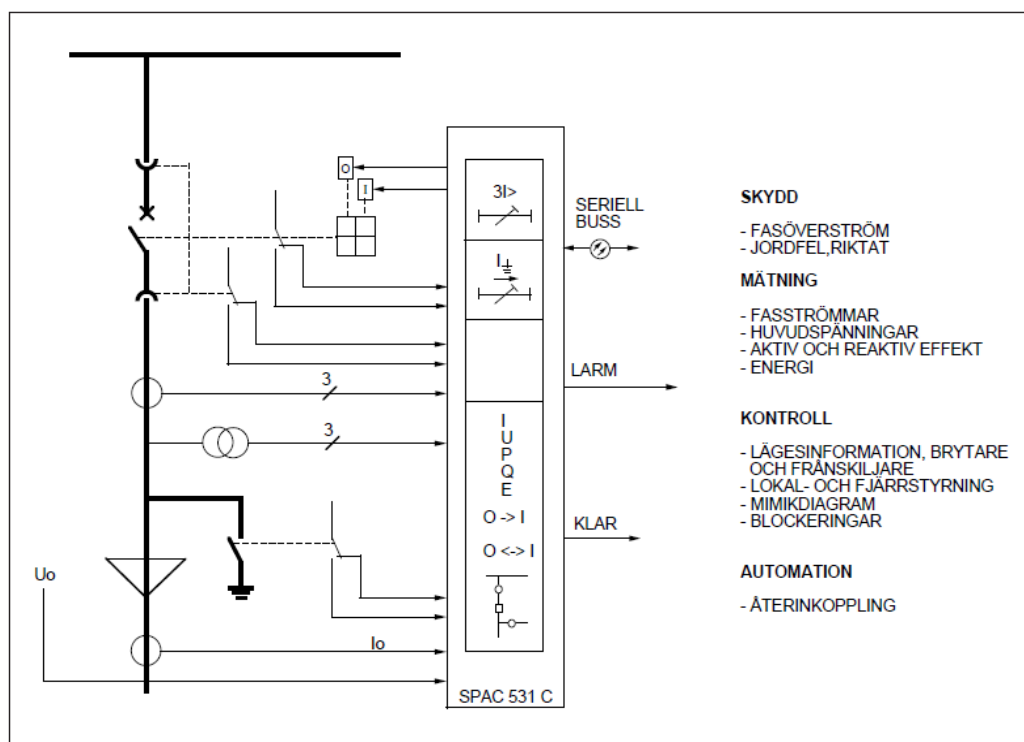
Komponenterna i ett DA-system på mellanspänningsnivå består främst av SCADA- systemet på nätverksnivå och på elstationsnivån av skyddsreläer, transformatorer, brytare, skensystem, fränskiljare och de utgående linjerna. (Northcote-Green 2007, s. 9–11).

4.1.1 Ledningsterminalerna SPAC 531 och SPAC 535

Skyddsreläerna, eller ledningsterminalerna, är från en datainsamlings synpunkt huvudobjekten i mellanspänningsnätet. SPAC-ledningsterminalerna 531c och 535c används vid både Hava och Permo elstationer. Ledningsterminalerna mäter och samlar upp den viktigaste informationen från nätet åt SCADA-systemet, i form av storheter, händelser, indikeringar och alarm. I princip kan all information som tas upp av ledningsterminalerna ihopkopplas med HIS600 via MicroSCADA. (ABB Oy 2002b; ABB Oy 2002c).

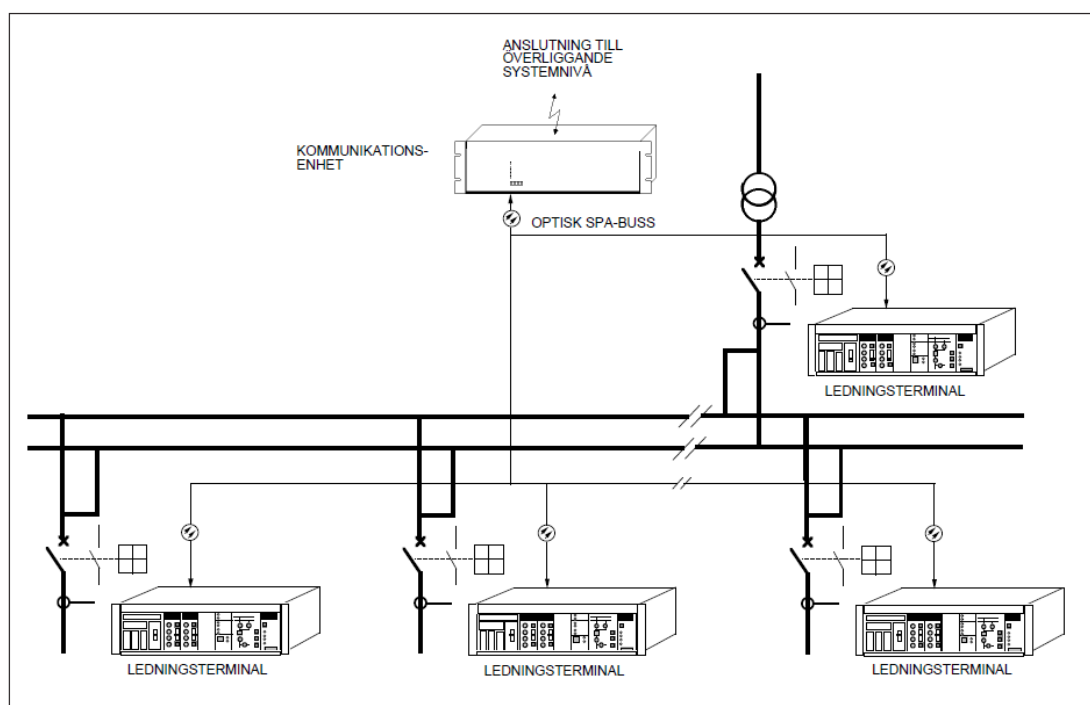
Ledningsterminalerna SPAC 531c och SPAC 535c kombinerar följande funktioner:

- Ledningsterminalerna fungerar som objektorienterade skydds-, kontroll-, mät-, blockerings- och datakommunikationsenheter för distributionsstationer.
- De har fritt konfigurerbara objektsindikeringar.
- Objektorienterad och fritt programmerbar blockeringslogik.
- De kan ha lokala- och fjärrindikeringar av lägesinformation för sju objekt.
- Kontroll för sex lokal- eller fjärrobjekt, grundfunktionerna ses i figur 9.



Figur 9. Grundfunktionerna för SPAC 531 c. (ABB Oy 2002b).

Ledningsterminalernas plats och funktion i elstationen kan visas med figur 10. Ledningsterminalen ersätter i ställverk normalt använda skyddsreläer, mätvärdesomvandlare, lägesindikatorer och mellanreläer. SPAC-ledningsterminalerna kommunicerar utåt via anslutning till den optiska SPA-bussen (Kommunikationsprotokoll för med reläer av SPA-modell). Via SPA-bussen kopplas de till stationslagrets datainsamlings- och rapportsystem på stationsnivå och sedan vidare till fjärrkontrollsystemen. (ABB Oy 2002b; ABB Oy 2002c).



Figur 10. Distribuerat skydds- och kontrollsystem baserat på ledningsterminaler av typerna SPAC 531c och SPAC 535c. (ABB Oy 2002b).

Ledningsterminalerna medför mätning och presentation av mätvärden för fasströmmar, huvudspänningar, aktiv och reaktiv effekt samt energi. Mätfunktionerna inkluderar fasströmmätning via överströmsmodulerna SPCJ 3C3 & SPCJ 4D29, analoga mätsignaler för jordströmmen I_0 , nollpunktspänningen U_0 , samt strömmen I_ϕ , som är jordströmmens resistiva eller reaktiva komponent.

De analoga signalerna registreras även vid felsituationer. Överströmsmodulens och jorfelsrelämodulens mätvärden indikeras hela tiden som multipler av ledningsterminalens märkström och märkspänning. Som standard har modulen en pulsräknaringång för räkning av energipulser och då behövs en energimätare. (ABB Oy 2002b; ABB Oy 2002c).

Allting som de olika funktionsmodulerna mäter och indikerar skickas vidare till MicroSCADA och därifrån till HIS600.

SPAC 531c har följande moduler:

- Överströmsmodul SPCJ 3C3
- Riktad jordfelsrelämodul
- Kontrollmodul SPTO 6D3
- I/O- modul SPTR 4D1 eller SPTR 4D2 (3 st)
- Matningsmodul SPGU 240A1 eller SPGU 48B2
- Mätgångsmodul SPTE 8C3

Kontrollmodulens kan avläsa lägesinformation för sju frånskiljare eller brytare samt avläsa sju externa binära signaler. Den kan mäta tre fasströmmar, tre huvudspänningar, aktiv och reaktiv effekt samt energi. Ledningsterminalen visar alla dessa lokalt samt vidarebefordrar mätvärdena till högre nivåer i systemet. Modulen verkställer kommandon lokalt eller via fjärrstyrning för sex brytare/frånskiljare och kan utföra upp till fem efter varandra följande återinkopplingar av olika slag. I kontrollmodulen bestäms strömförhållandet för de primära ström och spänningstransformatorerna. (ABB Oy 2002b; ABB Oy 2002c).

Skillnaden mellan SPAC 531 och SPAC 535 i modulväg är att SPAC 535:an har en kombinerad överströms- och jordgångsrelemodul: SPCJ 4D29, medan SPAC 531:an endast har överströmsmodulen SPCJ 3C3. Datakommunikationen från SPAC 53_ ledningsterminalerna sker via RS-232 eller RS-485 seriekablar och via SPA-bussen. En annan möjlighet är via optisk överföring med modulerna SPA-ZC 17 BB/21 BB för plastfibernkabel eller SPA-ZC 17 MM/21 MM för glasfibernkabel. Den använda teckenkoden är ASCII, med en överföringshastighet på 4800 eller 9600 Baudrate. (ABB Oy 2002b; ABB Oy 2002c).

På en vanlig mellanspänningutgång har man för det mesta endast överströmsmodulen och modulen för riktat jordfel, medan man på t.ex. transformatorer har flera moduler för mera mätningar och skydd.

5 MicroSCADA

MicroSCADA är ett SCADA-system utvecklat av ABB. Micro står för att systemet är helt baserat på mikroprocessorer, dvs. det kan arbeta på alla kommersiella datorer (PC:n). Oftast körs datorerna med Windows OS (operativsystem) men även UNIX OS används i vissa fall. MicroSCADA är från ett energiverks synpunkt ett kontroll- och övervakningssystem med vilket man kan övervaka och styra el- och/eller fjärrvärmeöverföringen samt -distributionen. (ABB Oy 2002a; Hultholm 2006).

Systemet kan ses som ett nätverk där kontrollsystemet kan kommunicera med hela distributionsprocessen genom ett kommunikationssystem. MicroSCADA är programmerbart, vilket innebär att alla applikationer och de flesta systemprogrammen är programmerade med SCIL (Supervisory Control Implementation Language) och kan omprogrammeras. På grund av MicroSCADA:s öppna distribuerade systemuppbyggnad är sammankopplingar med andra system möjliga. Vanliga tredjepartssystem är olika stödprogram, t.ex. CIS, DMS, NIS, EMS och GIS. Dessa system tar information från MicroSCADA om nätverkets tillstånd och mätningar. (Northcote-Green 2007; ABB Oy 2002a; Momoh 2008).

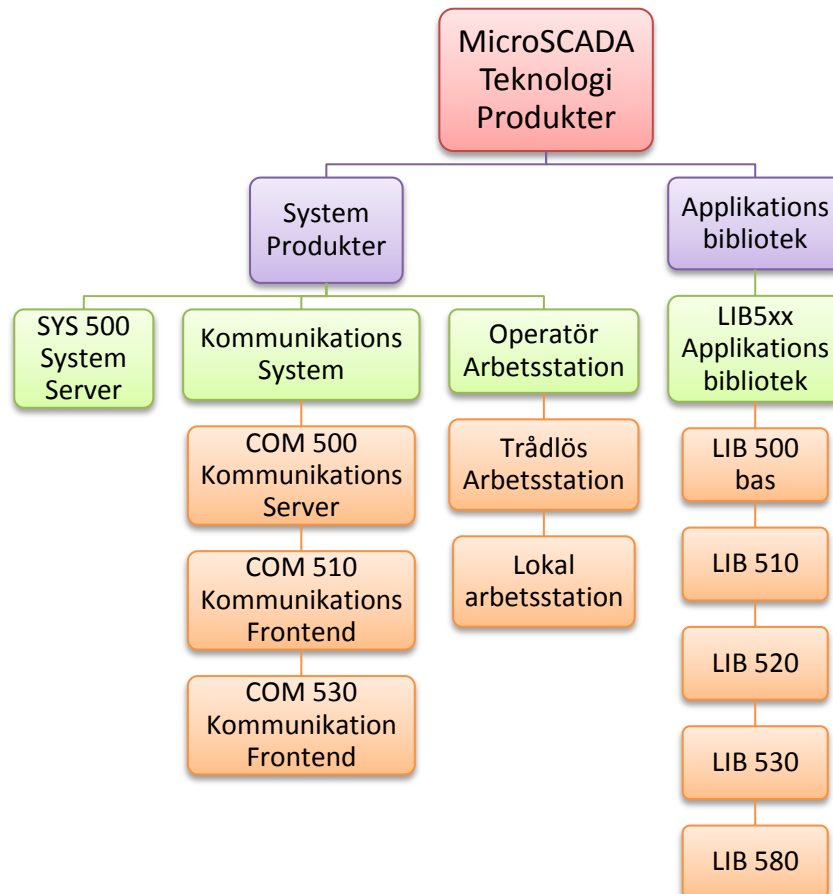
SCADA-systemet samlar in data från olika källor, förhandsbearbetar och lagrar datan i en databas som är tillgänglig för olika användare och applikationer. MicroSCADA:s system bygger på följande sex huvudfunktioner:

- övervakning och händelsehantering/processering
- fjärrstyrning
- fjärrmätningar
- fjärrinställningar
- rapportering
- hantering av topologin m.h.a. det integrerade stödsystemet vid driftåtgärder.

Med MicroSCADA:s hjälp kan kraven för realtidsövervakning och kontroll i eldistributionen uppfyllas. Styrning av objekt kan utföras på plats eller via fjärrstyrning från driftcentralen. MicroSCADA:s främsta applikationssystem är stationsautomationssystem för eldistribution och kraftöverföring. Andra applikationer som är vanliga är nätverkskontroll och DMS (Distributions hanteringssystem). MicroSCADA-applikationer lämpar sig även på andra områden, såsom fjärrvärme, vatten- och avloppssystem, olje- och gasdistribution. (ABB Oy 2002a).

5.1 MicroSCADA-teknologins produkter

Den allmänna plattformsteknologin som MicroSCADA är byggt på används för att bygga applikationer och system. Exempel på applikationer är SYS 500, COM 500 och LIB 520. MicroSCADA:s produkthierarki är demonstrerad i figur 11. Produkterna är indelade i två grupper: systemprodukter och applikationsbibliotek. (ABB Oy 2002a).



Figur 11. MicroSCADA:s teknologiprodukter. (ABB Oy 2002a).

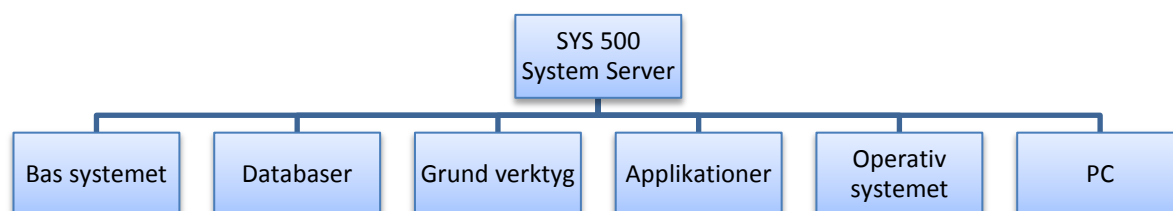
Systemprodukterna är kärnorna i systemet. Vissa produkter kan köras enskilt, medan andra behöver förlita sig på andra applikationer för att fungera. En systemprodukt kallas ett fullständigt set bestående av SYS 500, ett kommunikationssystem och en arbetsstation. Dessa produkter innehåller de behövliga komponenterna (mjuk- och hårdvara) för att köra applikationerna och uppehålla kommunikationen mellan de olika systemkomponenterna. (ABB Oy 2002a).

5.1.1 SYS 500

Den intressantaste och viktigaste komponenten ur datainsamlingsynpunkt är SYS 500 systemservern som alla andra program bygger på. Systemservern SYS 500 är ett PC-baserat programmerbart automationssystem. I serverdatorn finns datainsamlingen, övervakningen och kontrollfunktionerna samt hårdvaran och mjukvaran som behövs för att kommunicera mellan de olika enheterna i systemet. Systemservern samlar all data från processerna via NET-enheterna till processdatabasen. På så sätt reflekterar databasen processens läge. Den samlade informationen distribueras sedan vidare i önskad form för visning, rapporter och beräkningar. SYS 500 kör operativsystemet Windows NT och MicroSCADA mjukvaran. (ABB Oy 2002a).

I SYS 500 servern finns bl.a. följande funktioner: Alarm- och händelsehantering, rapportering samt process- och systemdata åtkomst beroende på användarrättigheterna. I servern finns också stödfunktioner för flera applikationer, möjligheter för online dokumentation och datautbytesmöjligheter via gemensamma gränssnitt. (ABB Oy 2002a).

Komponenterna i SYS 500 systemservern kan indelas enligt figur 12.



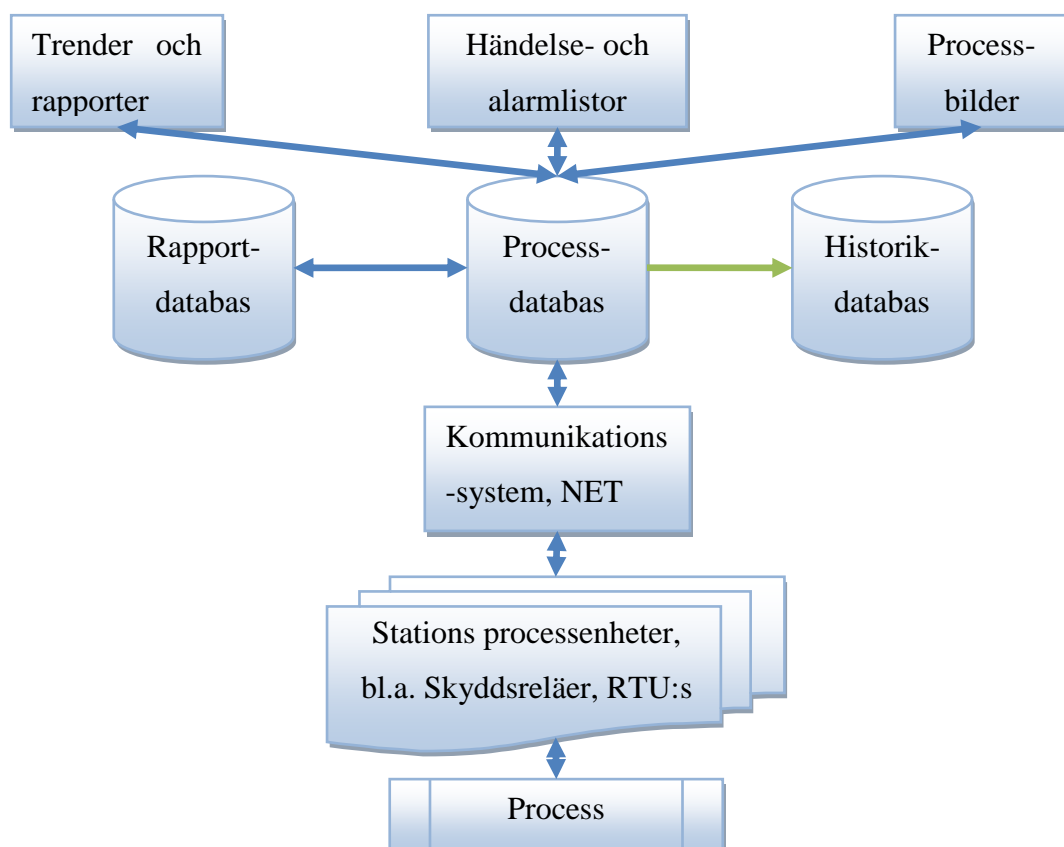
Figur 12. SYS 500 Systemserverns komponenter. (ABB Oy 2002a).

Systemservern är uppdelad på basis av olika funktioner. Bassystemet samlar in all processdata från processenheterna via NET-enheterna och lagrar den i processdatabasen, på samma sätt skickas processkommandon från processdatabasen till processenheterna. Bassystemet körs ovanpå operativsystemet och bassystemet kör applikationerna. Applikationerna definieras på basis av vad kunden behöver tillsammans med processens driftsfunktioner. Alla applikationer har sin egen övervakningsuppgift. En applikation hanterar t.ex. eldistributionen och en annan applikation hanterar fjärrvärmedistributionen. (ABB Oy 2002a; ABB Oy 2004).

Varje applikation har sina egna process-, historik- och rapportdatabaser på hårddisken och i det primära minnet. Applikationen kan kontrollera sin egna process med egna anslutningar till processutrustningen eller så kan utrustningen delas med andra applikationer.

Med fokus på datainsamlingen, rapportering och analys är databaserna de intressantaste delarna i systemservern. Databaserna är indelade i processdatabas, historikdatabas och rapportdatabas. Processdatabasen innehåller applikationsobjekten. Processdatabasen är en realtidsdatabas i vilken alla processobjekt, fria-typ objekt och skalor lagras och härifrån registreras alla utgående och inkommande processdatasignaler. I historikdatabasen lagras all händelsehistorik i historikdatafiler med alla händelserna per dag. Historikdatafilerna innehåller mycket av processdataattributen, men även en del specifika historikdataattribut. Rapportdatabasen lagrar historisk data och beräknade värden. Rapportdatabasen innehåller tidskanalerna, händelsekanalerna, dataobjekt och kommandoprocedurer, den innehåller även SCIL programmen som körs på tids- eller händelsekanalerna. (ABB Oy 2002a).

Informationsflödet i MicroSCADA kan beskrivas med figur 13.



Figur 13. Informationsflöde inom MicroSCADA (ABB Oy 2002a).

Processobjekten föreställer de fysiska processenheterna i understationerna som kommunicerar med MicroSCADA, m.a.o. brytare, skyddsreläer, frånskiljare osv. Det är dessa processenheter som övervakar processen i realtid och sänder informationen vidare högre upp i hierarkin. Processobjekten är länken mellan processen och styrsystemet. MicroSCADA stöder 10 olika fördefinierade processobjektstyper. Via applikationsprogrammering kan man bestämma 156 olika användarspecifika typer. De 10 fördefinierade typerna är följande (ABB Oy 2004):

- Analog Input (AI): Uppmätt analogt värde från understationen via kommunikationssystemet till bassystemet, t.ex. spänning, ström eller lindningskopplarläge.
- Binary Input (BI): En binär insignal, 0 eller 1, via kommunikationssystemet från understationen till bassystemet, t.ex. indikering för brytarläge eller larmsignal.
- Digital Input (DI): Digital insignal från understationen via kommunikationssystemet till bassystemet, värde mellan 0 – 65535 (16 bits).
- Double Binary Indication (input): Dessa är t.ex. brytare och frånskiljarlägen, där man har 2 bitar varav den första betyder sluten och den andra öppen i MicroSCADA. Då får man 00 = mellanläge, 10 = sluten, 01 = öppen, 11 = felläge.
- Pulse Counter (input): Stationens utsända pulsräknares värde används för t.ex. uppmätning av energiräkningen.
- Analog Output (AO): En analog styrsignal skickad från bassystemet till understationen via kommunikationssystemet, t.ex. ett inställningsvärde.
- Binary Output (BO) En binär styrsignal, 0 eller 1, skickad från bassystemet till understationen via kommunikationssystemet, t.ex. styrsignaler till brytare eller frånskiljare.
- Digital Output (DO): En digital styrsignal skickad från bassystemet till understationen via kommunikationssystemet, värde mellan 0 – 65535 (16 bits).
- Bit Stream (BS) (I/O): Bitström, en bitsträngstyp ut- eller ingångssignal. Max 16 bit.
- File Transfer (FT) (I/O): Dataförflyttning, mellan MicroSCADA-bassystemet och understationen. Datan kan skickas till understationen eller laddas upp till styrsystemet. Understationens data kan bläddras igenom eller raderas. Man kan också läsa understationens attribut.

5.2 MicroSCADA-systemet

Den nyaste varianten av MicroSCADA är Pro serien som är byggd på SYS 600 (System Server), COM 500 och DMS 600. Vid JEV är för tillfället den äldre varianten i bruk, MicroSCADA 8.4.4, som bygger på SYS 500 och COM 500.

Ett MicroSCADA-system är ett system där MicroSCADA teknologiprodukter används. Det finns många sätt att bygga upp ett MicroSCADA-system på. Systemen kan innehålla en eller flera bassystem, NET-enheter, arbetsstationer, processenheter och extern utrustning av olika slag, t.ex. printrar och trådlösa arbetsstationer. (ABB Oy 2002a).

5.3 MicroSCADA-systemet vid JEV

Vid JEV finns två separata MicroSCADA-system, ett för JEV:s eget bruk och ett för Katternö Groups diverse bolag. I detta examensarbete beskrivs JEV:s egna MicroSCADA-system. JEV har ett redundant MicroSCADA-system som bygger på två systemserverdatorer som kör parallellt med HSB (Hot Stand-By). HSB innebär att om den primära systemservern hänger upp sig eller kraschar så är den sekundära, parallella systemservern redo att ta över operationen. Den sekundära systemservern är hela tiden stand-by parallellt med den primära systemservern och håller alla applikationers information ständigt uppdaterade från den primära systemservern. Ett redundant system har mycket högre uppehåll på systemet, eftersom chansen att båda systemen är nere samtidigt är låg. (ABB Oy 2002a).

Systemserverna kommunicerar med kommunikationssystemet (PC NET enheter), som binder ihop de olika processenheterna vid Permo station via SRIO, Hava station via Kuumic programmerbar logik, Centralstation via RTU560, Fjärrvärmesidans objekt såsom pannor m.m., och några fjärrstyrda enheter via RTU-moduler och Satelline-3AS radiomodem (RTU211 via IEC101 och Satelline-3AS radiomodem).

Andra delar av JEV:s MicroSCADA-system är det historiska informationssystemet HIS600. De har även några tredjepartssystem. Dessa är bland annat: Teklas DMS system, Teklas geografiska informationssystem, Xpower och ett kundinformationssystem.

6 Extensionsdelen HIS600

ABB Oy:s historiska informationssystem HIS600 är en extension till kontroll- och övervakningssystemet MicroSCADA. I dagens läge används en lite nyare variant, Historian, vilken i princip är ganska likadan. Ett historiskt informationssystem är en programvarutjänst som skapar tidsstämplad data och analyserar innehållet för att sedan kunna presentera informationen på lämpligt sätt. Det historiska informationssystemet är en klient som hämtar sin information från datauppsamlingsservern. (Hultholm 2006).

6.1 Tillämpningen av HIS600 vid JEV

HIS600 servern installerades år 2011 för tillämpning på fjärrvärmesidans applikation av MicroSCADA. Fjärrvärmesidan har bland annat fem olika värmepannor, och många olika flöden, tryck och temperaturer att övervaka. HIS600 hjälper personalen avsevärt med mätvärdespresenteringen som systemet presenterar med hjälp av rapporterna och trenderna. Nästan all personal på fjärrvärmesidan använder sig av programmet och har sina egna rapporter och trender.

HIS600 tillämpas på eldistributionssidan av JEV i detta arbete främst för övervakning och uppföljning av storheterna i nätet. Dessa storheter är strömmar, spänningar, frekvenser, effekter och energimätningar. Annan processdata som vore möjlig att hämta in till programmet är t.ex. återinkopplingar, händelser och alarm. I detta arbete begränsades de insamlade variablerna till de som JEV i arbetsbeställningen önskat sig. Det fanns flera orsaker för tillämpningen av det historiska informationssystemet på eldistributionssidan i detta arbete. Bland annat ersättningen av MicroSCADA:s rapporter som tar massvis av plats på MicroSCADA:s systemserverar och belastar systemet. Andra orsaker var för den enkla uppföljningen av mätdata i realtid och deras lagring i databasen, vilket är smidigare i HIS600 än i MicroSCADA:s egna verktyg.

Övervakningsmöjligheterna begränsas av bland annat SPAC 53_ reläerna i JEV:s system som inte mäter lika mycket som nyare reläer kan mäta. I kap. 4.1.1 förevisades SPAC 531/535 ledningsterminalernas funktioner och vad de mäter. De mäter och registrerar de allmänna storheterna (belastningar och spänningar), indikeringar, olika reläskyddsfunktioners värden, återinkopplingar och energimätningar men registrerar t.ex. inte hälsotillstånd av brytare eller transformatorer.

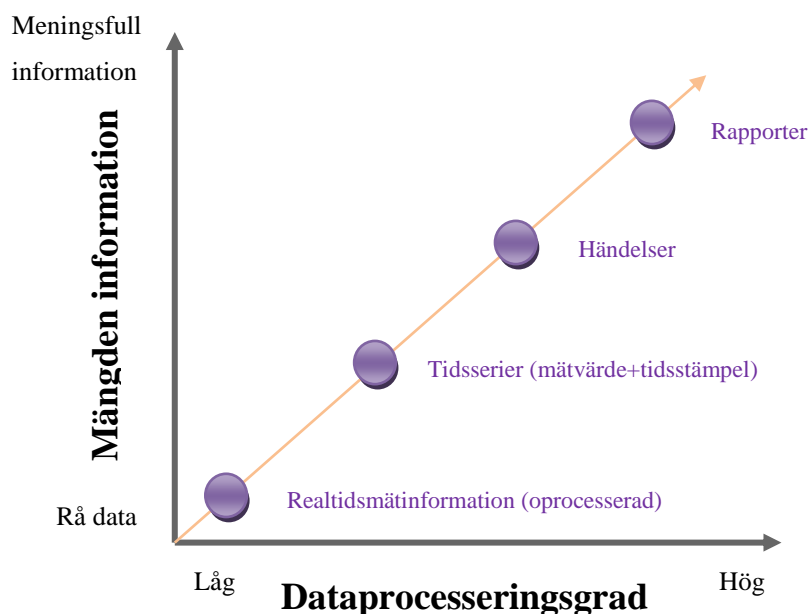
6.2 Historiska informationssystem allmänt

Uppgiften för historiska informationssystem är att ge information om historiken för en process. För att kunna göra detta är systemet oftast uppbyggt av två huvudkomponenter, en databas för att lagra den historiska datan och ett grafiskt användargränssnitt för att kunna presentera datan på ett lämpligt sätt. Dessa två komponenter är ofta högt optimerade med varandra för sin speciella uppgift och är designade på ett sådant sätt att de fungerar bra tillsammans. Databasen är vanligen uppbyggd för att hantera s.k. temporal data, dvs. det primära informationsblocket är det uppmätta värdet tillsammans med tidspunkten för värdet. Ett stort problem med historiska informationssystem är att man vill ha en effektiv datainsamling för en lång konstant tid och på samma gång förhindra den lagrade informationen att ta upp för mycket utrymme. I och med det använder sig nästan alla databassystem sig av någon typ av komprimeringsalgoritm för att minska på datastorleken. Det som skiljer ett historiskt informationssystem från andra databaser är att det gör mer än att bara lagra datan. SQL:s databaser har några standardiserade beräkningsfunktioner, t.ex att beräkna summa, medel, min/max och antalsberäkning. Utöver dessa har ett avancerat historiskt informationssystem även stöd för statistiska analyser, beräkningsmoduler osv. När man pratar om historiska informationssystem använder man ofta om det kortare ordet historian istället. (Hultholm 2006 & Varmajoki 2007).

Användargränssnittet i det historiska informationssystemet har bland annat ett rapporteringsverktyg för att presentera datavärdena på ett lämpligt sätt, vilket brukar göras med något lämpligt add-in program som t.ex. Microsoft Excel. För att rapporteringsverktyget och andra applikationer lätt ska kunna nå datan brukar databasen stöda någon typ av API för att ansluta till databaser, t.ex. ODBC (Open Database Connectivity) eller JDBC (Java Database Connectivity).

Ett standardiserat protokoll som finns för historisk dataåtkomst är Historical Data Access (HDA) protokollet som är gjort av OPC foundation (OLE for Process Control). (Hultholm 2006).

Historiska informationssystem förekommer också i redundanta system. Om länken till det primära historiska informationssystemet från systemdatorn bryts, fortsätter automatiskt det andra historiska informationssystemet att samla data utan avbrott. I ett redundant MicroSCADA-system kan det historiska informationssystemet fungera på ett annat sätt. Till exempel när länken till den primära SCADA-servern som HIS är kopplad till bryts, vid t.ex. när systemet hänger upp sig, kan OPC-klienten automatiskt byta IP-adress till den sekundära servern och fortsätta som normalt. (Hultholm 2006).



Figur 14. Skillnad mellan oprocesserad data och viktig information. (Hultholm 2006).

I figur 14 visas hur en historian processerar sin insamlade information beroende på för vilket ändamål informationen ska användas till. Rapporter har en hög processeringsgrad eftersom rapporterna är den viktigaste informationskällan för historisk data. (Hultholm 2006).

6.3 Historiska informationssystem i kraftssystem

Med kraftsystem menas i detta sammanhang eldistribution och elöverföring. Historiska informationssystem i dessa tillämpningar för med sig flera aspekter. I kraftsystem är belastningsuppföljning och uppföljning av andra storheter den primära uppgiften för det historiska informationssystemet. Uppföljningen sker mha. rapporter och trender. Dessa kan därefter t.ex. användas för planeringssyfte i omkopplingar i mellanspänningsnätet. Man kan också övervaka elkvalitén, t.ex. genom att följa upp störningar i nätet och fluktuationer i spänning, frekvens och ström. En annan tillämpning är lagring av händelsehistoriken och alarm. (Varmajoki 2007 & Hultholm H. 2006).

Andra saker man kan fjärrövervaka är t.ex. processobjektshälsa, dvs. livslängd och tillstånd hos brytare och transformatorer, via data som fås från IED:n som t.ex. skyddsreläer. När man övervakar hälsan kan man göra realistiska utvärderingar om när man behöver serva utrustningen, istället för att serva regelbundet oberoende av hälsan på utrustningen. (Varmajoki 2007).

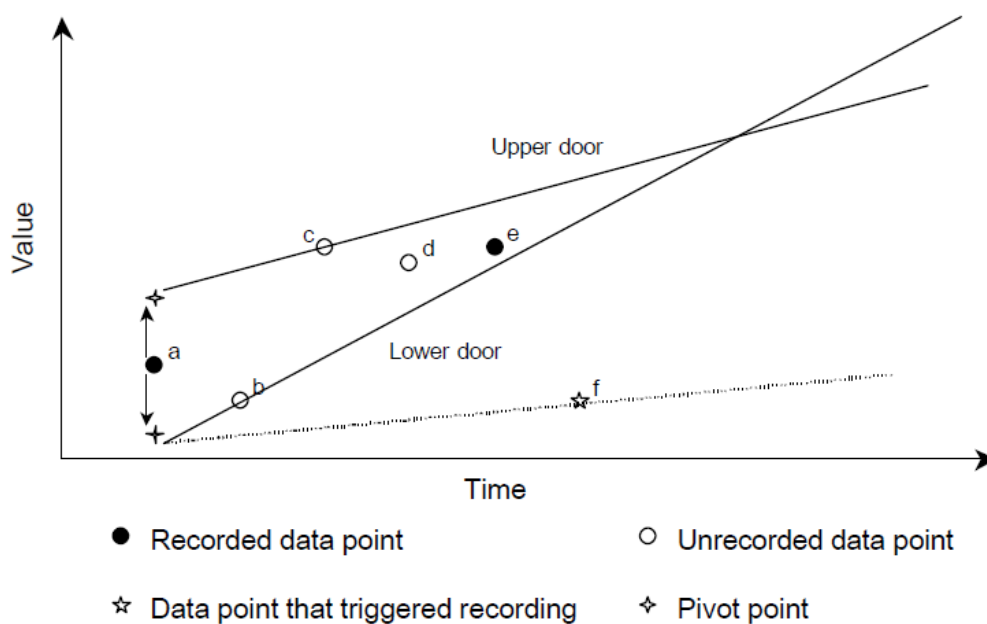
Kvalitén och mängden processvärden som kan hämtas in beror på typen av utrustning och mängden processobjekt i nätverket. I JEV:s fall finns på eldistributionssidan två elstationer och några andra enskilda punkter i nätet som övervakas. I andra sammanhang kanske man har tiotals elstationer, kraftverk och fjärrstyrda frånskiljare ute i nätet. I princip kan alla processobjekt som finns i MicroSCADA kopplas till HIS600.

6.4 Datakomprimering i historiandatabaser

Datan i en historian är ofta komprimerat för att ta mindre utrymme. När systemet lagrar mätdata konstant, är risken att utrymmet snabbt blir fyllt i en traditionell databas. Till exempel om en databas samlar okomprimerad data en gång i sekunden dygnet runt och har 1500 datapunkter i systemet och om man räknar med att en rad data tar upp 30 bytes av lagringsutrymmet (vilket är en rimlig uppskattning), skulle man samla på sig $1500 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 30 = 3,88$ GB (Gigabyte) data per dag. Många processer kan i verkligheten samla in data ännu oftare till och med upp till en gång i millisekunden, så man kan föreställa sig hur snabbt en databas skulle bli full med all denna data. (Hultholm 2006).

För en processdatabas finns det flera sätt att spara på utrymme. Huvudprincipen för att komprimera processdata är att alltid när nytt data kommer in, så görs beräkningar för att räkna ut om datan ska sparas i långtidsdatabasen eller om det kan raderas. De flesta algoritmer fungerar så att de tar bort data som kan återställas med en fördefinierad noggrannhet och på så sätt spara utrymme. Det finns flera olika metoder för att komprimera datan. I detta examensarbete avgränsas metoderna till endast en: Swinging Door-metoden, eftersom det är denna metod som HIS600 använder sig av. (Hultholm 2006).

Swinging Door-metoden är en styckvis linjär komprimeringsalgoritm. Swinging Door-algoritmen presenterades först på 1990-talet av E.H Bristol, och i dagsläget används många modifierade versioner av metoden i olika historianer, t.ex. OSI PI och HIS600. (Hultholm 2006). Kompressionsalgoritmen kan beskrivas med en graf enligt figur 15.



Figur 15. Kompressionsalgoritmen för Swinging Door-metoden. (Hultholm 2006).

I figur 15 har punkten **a** blivit sparad, och "den svingande dörrens" stjärnpunkter (pivot points) har blivit utsatta för felgränsmarginalen för variabelns mätdatainsamling. Dörren öppnas när nästa datapunkt, **b** introduceras. Linjer ritas från stjärnpunkterna genom punkt **b**, som då formar en triangel. När punkt **c** introduceras öppnas den övre dörren mera, men den undre dörren förblir på sin plats. Detta är p.g.a att dörrarna inte kan stängas, de kan endast öppnas mera. Punkt **d** orsakar inte rörelse av dörrarna, och inte heller punkt **e**, men när punkt **f** inträffar öppnas den lägre dörren mera. Detta medför att dörrarna inte längre bildar en triangel utan divergerar och en ny datapunkt sparar. Det är datapunkten före triggningen som sparar, dvs. datapunkt **e**. Därefter flyttas stjärnpunkterna runt om punkt **e**, och processen upprepas. (Hultholm 2006).

Problemet med datakomprimeringsmetoderna är att datan inte kan återställas med 100 % noggrannhet. Detta kallas "komprimeringsförluster". Därmed finns ett stort minus med datakomprimering, att man förlorar data som man redan använt så mycket tid och ansträngning för att få tag på. (Hultholm 2006).

6.5 HIS600:s uppbyggnad

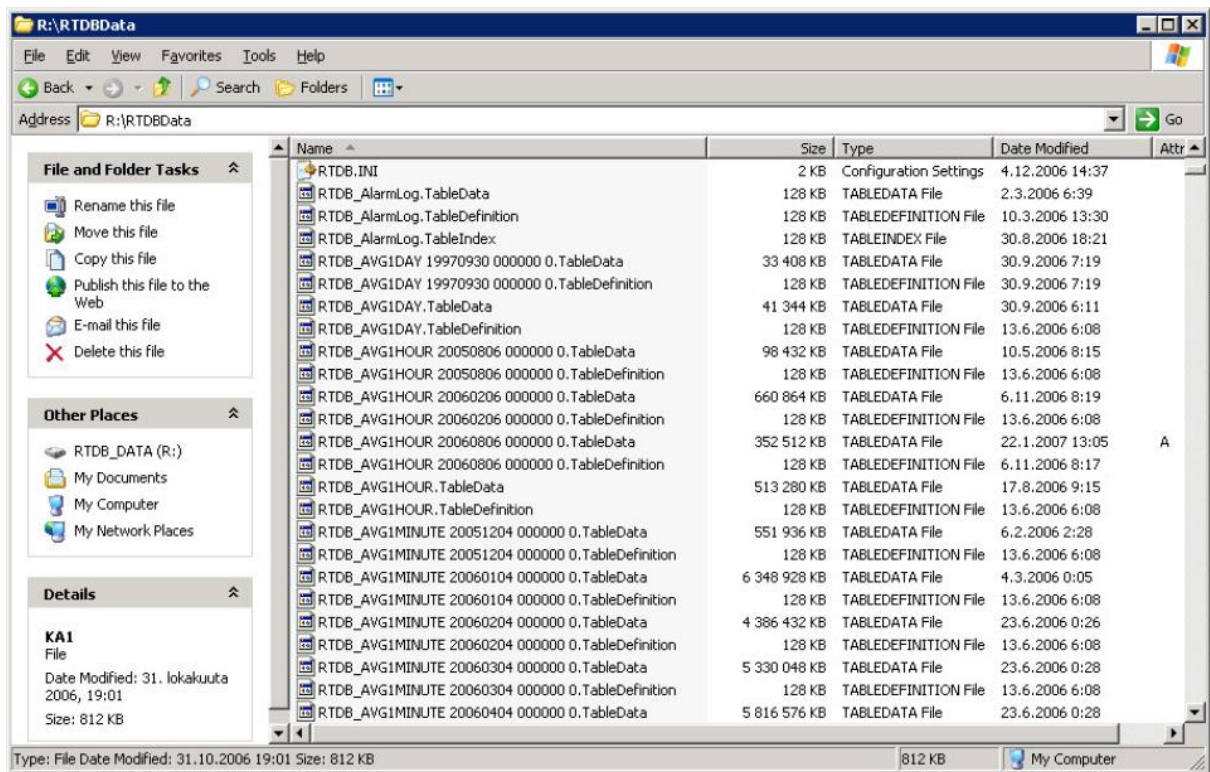
HIS600 bygger på ABB:s eget databassystem RTDB (Real Time Database). HIS600 har alla grundläggande element som hör till en historian. Den har en optimerad processdatabas samt en datakomprimeringsalgoritm baserad på Swinging Door som nämndes tidigare i detta kapitel. HIS600:s databas har stöd för grundläggande SQL-funktioner och SQL-databasen är grundad på SimbaEngine av Simba Technologies. (Hultholm 2006).

HIS600 stöder specialtillverkade beräkningsmoduler, som är gjorda i C++ och gränssnittet mellan informationen i databasen och variablerna i programkoden har försökts göras på ett så lättanvändbart sätt som möjligt. Databasen stöder ODBC och s.k. virtuella tabeller kan sättas upp för att ge åtkomst åt andra databasers tabeller som om de vore tabeller i HIS600. Processdata skickas vanligen till HIS600 genom OPC Data Access gränssnittet, HIS600 är en OPC-klient och MicroSCADA är OPC-värden som delar ut datan. HIS600 har ett användargränssnitt, Vtrin som presenterar datan på lämpliga sätt genom olika listor och tabeller. I Vtrin finns ett inbyggt rapportsystem via Excel och ett avancerat trendverktyg för olika kalkyler och grafisk framställning av data. (Hultholm 2006).

I relationsdatabasen består tabellerna av rader och kolumner, och attribut som primär och sekundär indexering. Databasen använder sig av B* -träd indexeringsteknik, som håller datan sorterad och tillåter sökningar i databasen. Tillgången till tabellerna använder sig av minnesmappningsteknik. Det kan förekomma två eller tre filtyper per tabell. (ABB Oy 2011). Tabellerna är oftast uppbyggda av:

1. En definitionsfil. Den definierar hur tabellen är uppbyggd (kolumner m.m.).
2. En datafil. I denna samlas all data i datarader med 8 bytes hanteringsinfo per rad.
3. Indexfiler. De medför snabbsökning av data baserat på kriterier. Indexfilen kan skapas utifrån datafilen. (ABB Oy 2011).

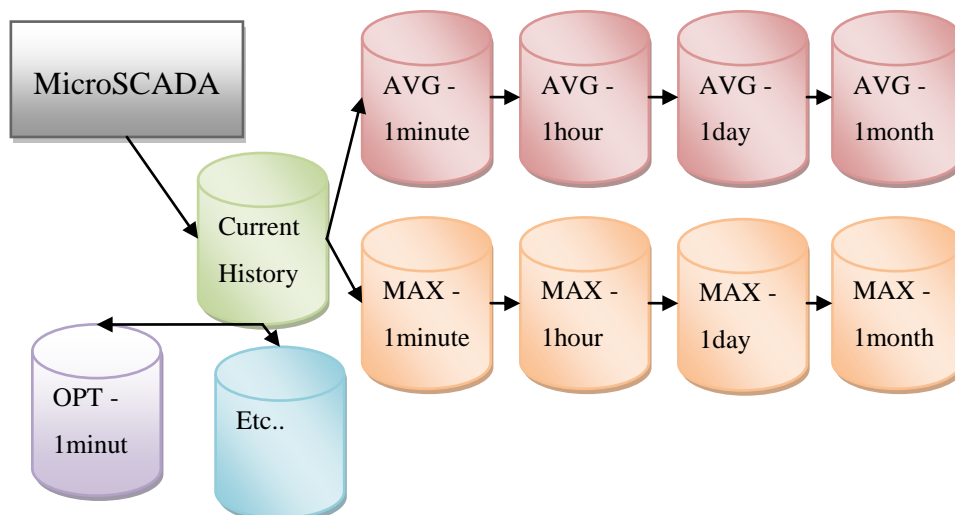
Tabellernas uppbyggnad i HIS600 visas i figur 16.



Figur 16. Tabellernas uppbyggnad i HIS600. (ABB Oy 2011).

Alla tabeller i HIS600 utgår från Current History-tabellen, och räknas sedan om till sin respektive tabell. Distributionen åt tabellerna visas i figur 17. (ABB Oy 2011).

Om man räknar om historikinnehållet i en lägre tabell (t.ex. AVG-1day) räknas inte innehållet i huvudtabellen Current History om, utan det får man göra manuellt. Men om man ändrar något i Current History så ändras alla tabellers innehåll. (ABB Oy 2011).



Figur 17. Från Current History distribueras sedan all data vidare till de andra tabellerna. (ABB Oy 2011).

Behandling och bearbetning av mätvärden sker i användargränssnittet via tekniska attribut, om värdena inte har blivit förhandsbehandlade tidigare i dataflödeskedjan. HIS600 har möjligheten att förhandsbehandla processinformationen före det sparas i databasen. Förhandsbehandlingen fungerar som ett filter som rensar bort onödig data samtidigt som den också hjälper till att reparera data som inte blivit bearbetade. Metoderna i behandlingen av mätdatan kan indelas i tre huvudgrupper: Behandlingsmetoder för analoga värden, binära värden och pulsräknaren. Till exempel pulsräknarens mätvärden kan ändras om till fysiska enheter, antingen som nuvärden eller kumulativa mätvärden, och på så sätt får man fram t.ex. elenergin och eleffekten. (Varmajoki 2007).

I HIS600 framställs mätvärdena i tre olika värden: historikvärdet, det senaste värdet och nuvärdet. Alla mätvärden härstammar från samma processpunkt. Historikvärdet sparas i historiktabellen och komprimeras mer och mer med tiden. När det komprimerats till en viss grad tas värdena bort från tabellerna om de kan återställas med en rimlig felmarginal. Historikvärdet härstammar från nuvärdet och nuvärdet föreställer alltid variabelns senaste insamlade värdet från processen. Det senaste värdet är ett obehandlat värde från processen. Det senaste värdet kan förbehandlas innan det blir ett nuvärde. Värdena inkommer till databasen som obehandlade värden, blir därefter senaste värdet, som kan förbehandlas till nuvärdet och senare bearbetas till ett historikvärde. Mätvärdenas giltighet kan kontrolleras på basis av olika kriterier, t.ex. genom kontroll av när värdet senast uppdaterats eller om värdet ligger inom sitt eget minimi- och maximiområde. Detta indikeras vanligen åt användare i användargränssnittet. (Varmajoki 2007; Hultholm 2006).

7 Användargränssnittet Vtrin HIS600 och dess tillämpning

Användargränssnittet till HIS600 kommer i form av Vtrin, som grafiskt har en ganska standard Microsoft Windows layout, med verktygsfältet högst upp, trädmenyer på vänster sida och visningsfönster i mitten av rutan. I Vtrins menyträd finns bland annat manualer för användning av gränssnittet, databas- och systemunderhåll samt olika variabellistor. Huvudfunktionerna för presentation av mätdata i Vtrin är genom listor, rapporter och trender.

The screenshot displays the Vtrin HIS600 user interface. The top menu bar includes 'Database', 'View', 'Window', and 'Help'. The main window is divided into several panes:

- Tree View (Left):** A hierarchical tree menu showing folders like 'Variables', 'Maintenance', 'User's Definitions', 'JEFV', 'JVEL', 'HAVA', 'PERMO', 'CENTRAL', and 'BOSUND'. A red box labeled 'Trädmeny' points to this area.
- Variable List (Center):** A table listing variables with columns: Name, HAVA*, Description, Current Value, Unit, Source, Value Type, Process Path, and Section. A red box labeled 'Variabellista' points to this table.
- Properties Window (Bottom Left):** A window titled 'Exempel' showing properties for a selected object, including Name, Parent Folder, Permissions, and History. A red box labeled 'Egenskaper för det valda objektet' points to this window.
- Trend Chart (Center/Bottom):** A line graph showing a trend over time. A red box labeled 'Trendruta' points to the chart area.

Name	HAVA*	Description	Current Value	Unit	Source	Value Type	Process Path	Section	
P1AN01M:26	HAVA	P1AN01	M Hava utetemperatur	-2,81	°C	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4AE1M1:10	HAVA	P4AE1	M1 L1 ström	50,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4AE1M1:11	HAVA	P4AE1	M1 L2 ström	56,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4AE1M1:12	HAVA	P4AE1	M1 L3 ström	50,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4AE3M1:10	HAVA	P4AE3	M1 L1 ström	63,80	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4AE3M1:11	HAVA	P4AE3	M1 L2 ström	66,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4AE3M1:12	HAVA	P4AE3	M1 L3 ström	66,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B01M1:10	HAVA	B01	M L1 ström	0,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B02M1:10	HAVA	B02	M1 L1 ström	367,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B03M1:10	HAVA	B03	M1 L2 ström	369,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B03M1:11	HAVA	B03	M1 L2 ström	369,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B03M1:12	HAVA	B03	M1 L3 ström	358,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B03M2:16	HAVA	P4B03	M2 Spänning U12	20,98	kV	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B03M3:120	HAVA	P4B03	M3 Aktiv effekt P	-13,19	kW	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B03M3:121	HAVA	P4B03	M3 Reaktiv effekt Q	0,20	kvar	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B03M3:20	HAVA	P4B03	M3 Aktiv effekt P	13,19	MW	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B03M3:21	HAVA	P4B03	M3 Reaktiv effekt Q	-0,20	MVar	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B03M3:22	HAVA	P4B03	M3 Skenbar effekt S	13,19	MVA	OPC server	Floating...	(None)	JVEL
P4B04M1:10	HAVA	B04	M1 L1 ström	55,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JVEL

Figur 18. Användargränssnittet Vtrins layout.

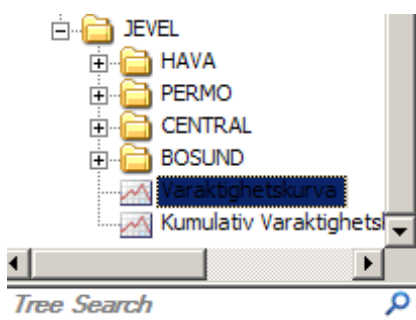
Vtrin är uppbyggt på ett sådant sätt att alla användare får skapa sina egna mappar med listor, rapporter och trender för sitt ändamål. I figur 18 visas en bild på hela användargränssnittets layout efter inloggning. I figuren ses en bild på hela användargränssnittets layout efter inloggning. I figuren ses en bild på hela användargränssnittets layout efter inloggning. I figuren ses en bild på hela användargränssnittets layout efter inloggning.

För ibruktagningen av Vtrin HIS600 gjordes huvudsakligen följande delar:

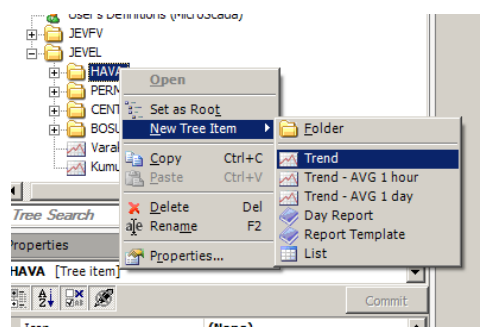
- Uppdatering och inhämtning av processvariabler.
- Kategorisering av mätdata, i kategorier av stationer och områden.
- Variabellistor skapades i varje kategori.
- Ett antal bastrender skapades för övervakning av belastningar.
- Rapporter skapades för belastningarna i varje kategori.
- Årsvaraktighetskurva för huvudbelastningarna.
- Användarmanual för hur man använder och bekantar sig med programmets funktioner.

7.1 Processvariabler och kategorisering

Ibruktagningen av HIS600 började med att undersöka vilka processvariabler som fanns i HIS600 databasen och vilka processobjekt som eventuellt behövde hämtas in. Efter genomgången av listan togs ett tiotal variabler in från MicroSCADA, som blivit utelämnade eller som tillkommit sedan programmet installerats år 2011. Detta gjordes via MicroSCADA verktyget HIS600 OPC Connect Tool. Inhämtade variabler ansluts automatiskt till Current History-tabellen, medan de andra historiktabellerna är valfria. Variablerna som togs in anslöts till dags- och timmestabellerna AVG, MIN och MAX. Variabelkategorierna skapades utifrån vilka stationer eller områden variablerna hörde till.



Figur 19. Vtrins undermappar på elsidan.



Figur 20. Vtrin nytt träd objekt.

I figur 19 ses de olika kategorierna som skapats i Vtrin för eldistributionstillämpningen. Hava- och Permo elstationer samt Centralstationen, och Bosunds 20 kV reservmatning till Karleby. För ibruktagningen fanns inte behov för flera mappar i trädet.

Vtrin är specialiserat så att varje användare vid behov enkelt kan skapa sina egna undermappar eller andra objekt i menyn enligt figur 20. Nya objekt skapas genom att högerklicka på stället där man vill ha sitt objekt, välja ”New Tree Item” och därifrån välja mapp eller vilket objekt man vill ha.

7.2 Listor

I Vtrin kan man skapa listor av olika slag. En av de viktigare listtyperna är variabelldata. En variabelldata kan modifieras på många sätt. Man får bland annat välja vilka informationsfält för variablerna som ska visas, vilka variabler som ska vara med i listan och från vilka olika historiktabeller man vill ha variablerna.

Ett exempel på variabelldata som gjordes för ibruktagningen i varje kategori visas i figur 18. Listan visar Hava elstations processvariabler och för varje processobjekt visas i listan dess namn, värde, enhet, källa och datatyp (floating point i detta fall). Olika typer av variabler i Vtrin HIS600 är floating point-, binary-, integer- och textvariabler.

Name	Description	Current Value	Unit	Source	Value Type	Process Path	Section
1 P1AN01M:26	HAVA P1AN01 M Hava utetemperatur	-4,43	°C	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
2 P4AE1M1:10	HAVA P4AE1 M1 L1 ström	72,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
3 P4AE1M1:11	HAVA P4AE1 M1 L2 ström	74,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
4 P4AE1M1:12	HAVA P4AE1 M1 L3 ström	72,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
5 P4AE3M1:10	HAVA P4AE3 M1 L1 ström	86,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
6 P4AE3M1:11	HAVA P4AE3 M1 L2 ström	86,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
7 P4AE3M1:12	HAVA P4AE3 M1 L3 ström	87,80	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
8 P4AE3M7:26	HAVA P4AE3 M Temperatur	-4,43	C	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
9 P4B01M1:10	HAVA B01 M1 L1 ström	51,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
10 P4B02M1:10	HAVA B02 M1 L1 ström	0,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
11 P4B03M1:10	HAVA B03 M1 L1 ström	485,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
12 P4B03M1:11	HAVA B03 M1 L2 ström	491,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
13 P4B03M1:12	HAVA B03 M1 L3 ström	499,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
14 P4B03M2:16	HAVA P4B03 M2 Spänning U12	21,21	kV	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
15 P4B03M3:120	HAVA P4B03 M3 Aktiv effekt P	-17,93	kW	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
16 P4B03M3:121	HAVA P4B03 M3 Reaktiv effekt Q	-1,03	kvar	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
17 P4B03M3:20	HAVA P4B03 M3 Aktiv effekt P	17,93	MW	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
18 P4B03M3:21	HAVA P4B03 M3 Reaktiv effekt Q	1,03	MVar	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
19 P4B03M3:22	HAVA P4B03 M3 Skenbar effekt S	17,96	MVA	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
20 P4B04M1:10	HAVA B04 M1 L1 ström	72,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
21 P4B05M1:10	HAVA B05 M1 L1 ström	54,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
22 P4B06M1:10	HAVA B06 M1 L1 ström	66,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
23 P4B07M1:10	HAVA B07 M1 L1 ström	35,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
24 P4B08M1:10	HAVA B08 M1 L1 ström	0,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
25 P4B09M1:16	HAVA P4B09 M1 Spänning U12	21,37	kV	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
26 P4B09M1:17	HAVA P4B09 M1 Spänning U23	21,25	kV	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
27 P4B09M1:18	HAVA P4B09 M1 Spänning U31	21,37	kV	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
28 P4B09M1:19	HAVA P4B09 M1 Nollpunktsspänning U0	0,20	V	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
29 P4B09M2:16	HAVA P4B09 M2 Spänning U12	21,37	kV	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
30 P4B09M2:17	HAVA P4B09 M2 Spänning U23	21,29	kV	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
31 P4B09M2:18	HAVA P4B09 M2 Spänning U31	21,45	kV	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
32 P4B09M2:19	HAVA P4B09 M2 Nollpunktsspänning U0	0,20	V	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
33 P4B10M1:10	HAVA B10 M1 L1 ström	0,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
34 P4B12M1:10	HAVA B12 M1 L1 ström	8,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
35 P4B13M1:10	HAVA B13 M1 L1 ström	0,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
36 P4B14M1:10	HAVA B14 M1 L1 ström	64,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
37 P4B15M1:10	HAVA B15 M1 L1 ström	112,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
38 P4B16M1:10	HAVA B16 M1 L1 ström	48,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
39 P4B17M1:10	HAVA B17 M1 L1 ström	99,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
40 P4B18M1:10	HAVA B18 M1 L1 ström	30,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
41 P4B19M1:10	HAVA B19 M1 L1 ström	157,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
42 P4B20M1:10	HAVA B20 M1 L1 ström	422,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
43 P4B20M1:11	HAVA B20 M1 L2 ström	414,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
44 P4B20M1:12	HAVA B20 M1 L3 ström	409,00	A	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
45 P4B20M2:16	HAVA P4B20 M2 Spänning U12	20,82	kV	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL
46 P4B20M3:170	HAVA P4B20 M3 Aktiv effekt P	-14,80	MW	OPC server	Floating...	(None)	JEVEL

Figur 21. Variabelldata i Vtrin HIS600.

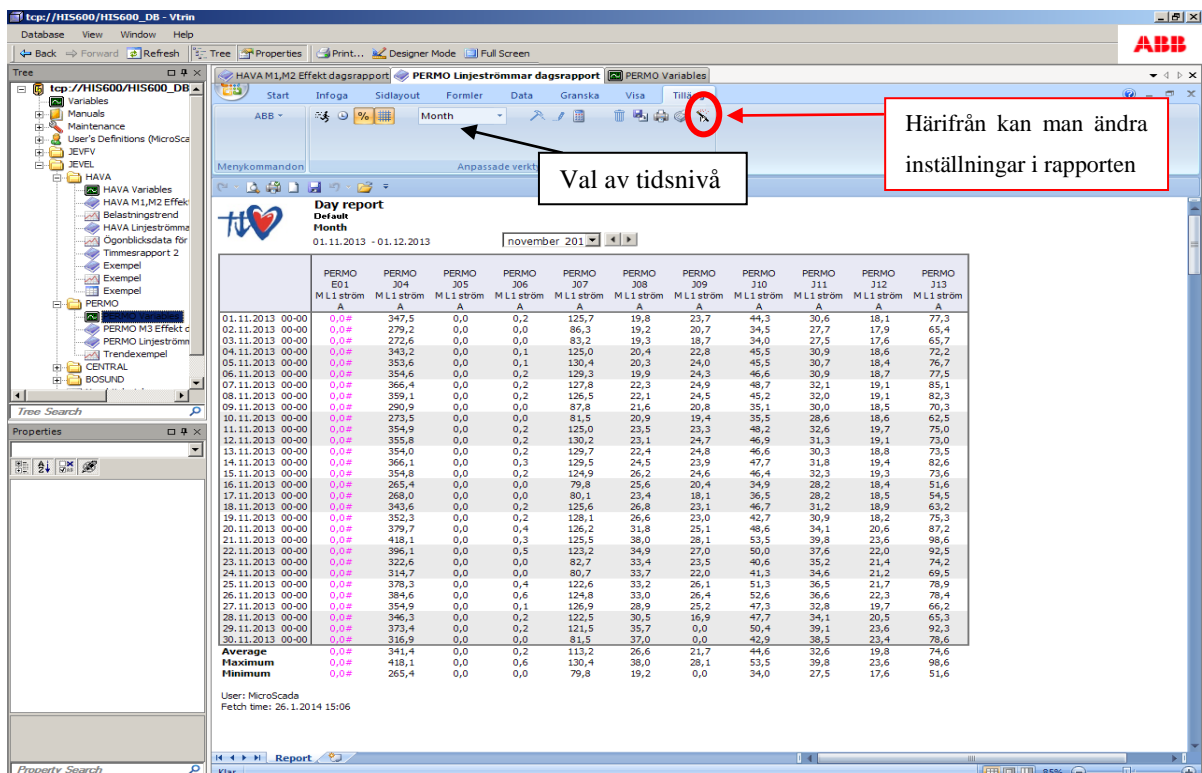
Inställningarna som kan göras i variabellistorna är inte speciellt många ifall variablerna är fördefinierade variabler från MicroSCADA. Inställningarna som kan göras för variablerna är:

- Val av förprocesseringsmetod.
- Val av från vilken historiktabell värdet skall visas, och var det ska lagras.
- Ändring av egenskaper på variabeln. (t.ex. namn, enhet).
- Val av vilka attribut som skall visas i listan (t.ex. enhet, sektion, namn, värde).

7.3 Rapporter

Vtrins rapporteringsverktyg är uppbyggt på Microsoft Excel. Det finns fördefinierade rapportmallar för dygnsrapporter som man sedan kan gå in och ändra på vid behov. Mallarna är uppbyggda på vanlig Excel-kodning med några specialfunktioner just för Vtrin. Man kan t.ex. lägga till flera tidsnivåer, välja hur processdatan ska visas, välja från vilken historik tabell värdet ska tas från och fritt sätta in extrakalkyler genom vanliga Excel-operationer.

Exempel på hurudana rapporter som gjordes åt JEV ses i figur 22. I rapportmodellerna gjordes inte mycket förändringar. Möjligheter finns att göra om dem lite, genom att t.ex. tillämpa mera funktioner. För det mesta är medeltalet samt största och minsta värdet det som man är intresserad av när man granskar en rapport.

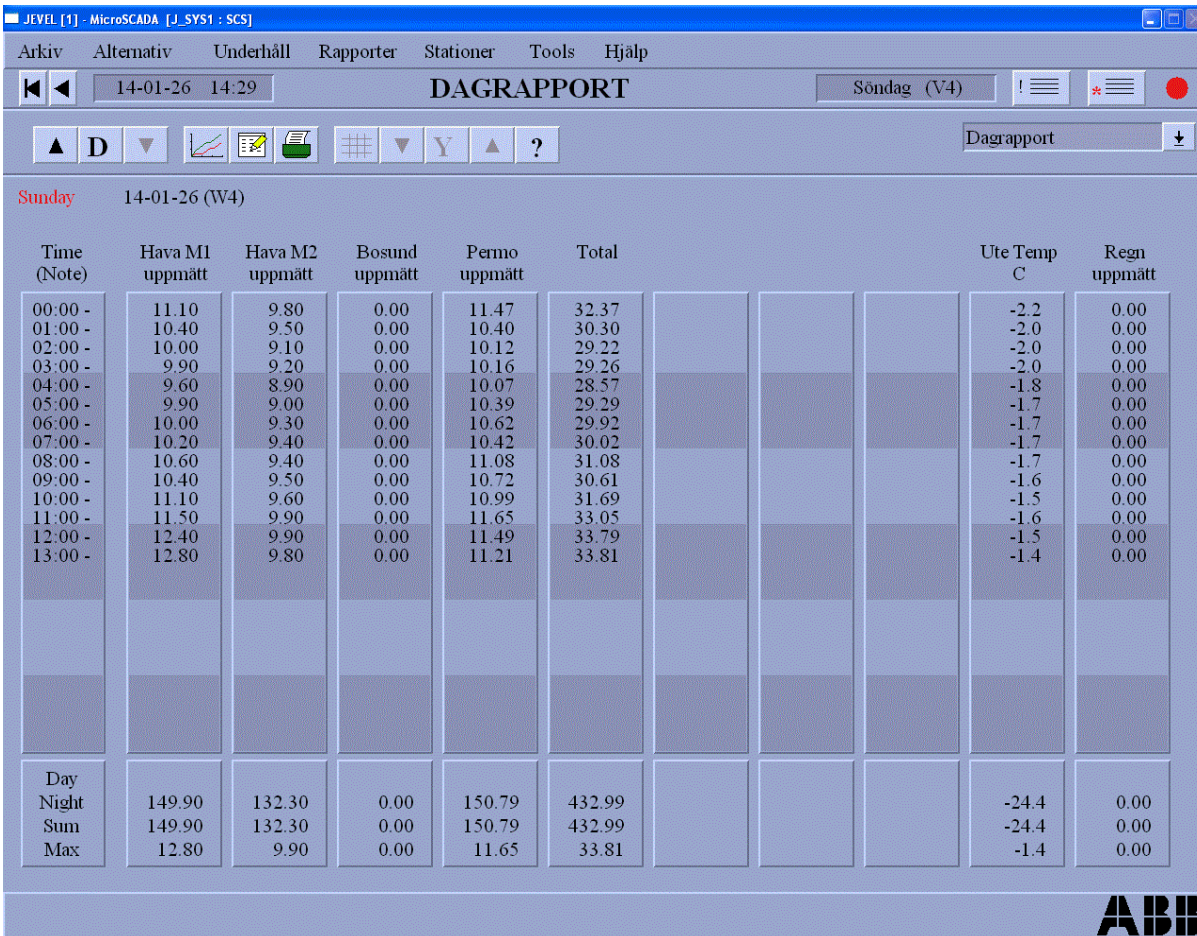


Figur 22. Månadsrapport för utgående linjeströmmar från Permo elstation.

Att göra rapporter enligt modellerna, eller att skapa en trend är en väldigt enkel och snabb process. Meningen är att alla användare lätt ska kunna skapa sina egna objekt enligt sina egna modeller.

När man vill ha en variabel till sin trend eller rapport, kan man dra och släppa den valda variabeln till önskat rutfält så integreras den automatiskt. Delar man upp arbetsrutan i flera delar är det praktiskt att ha flera flikar öppna samtidigt för att flytta omkring variabler fritt på begäran. I (figur 18, kap. 7) ser man ett exempel på när rutan är uppdelad i två olika flikar (trend och lista).

För jämförelsens skull visas i figur 23 en bild av en rapport i MicroSCADA. MicroSCADA:s rapporter är det inget fel på överlag, men vill man skapa en egen rapport måste man vara insatt i SCIL-programmering. Det tar även en ganska lång tid att skapa och skraddarsy en sådan här rapport, jämfört med Vtrin där man på endast på ett fåtal minuter kan skapa en rapport för ändamålet och med funktionerna man vill ha. En ny Vtrin-användare kan dessutom snabbt lära sig grunderna för hur man skapar rapporter.

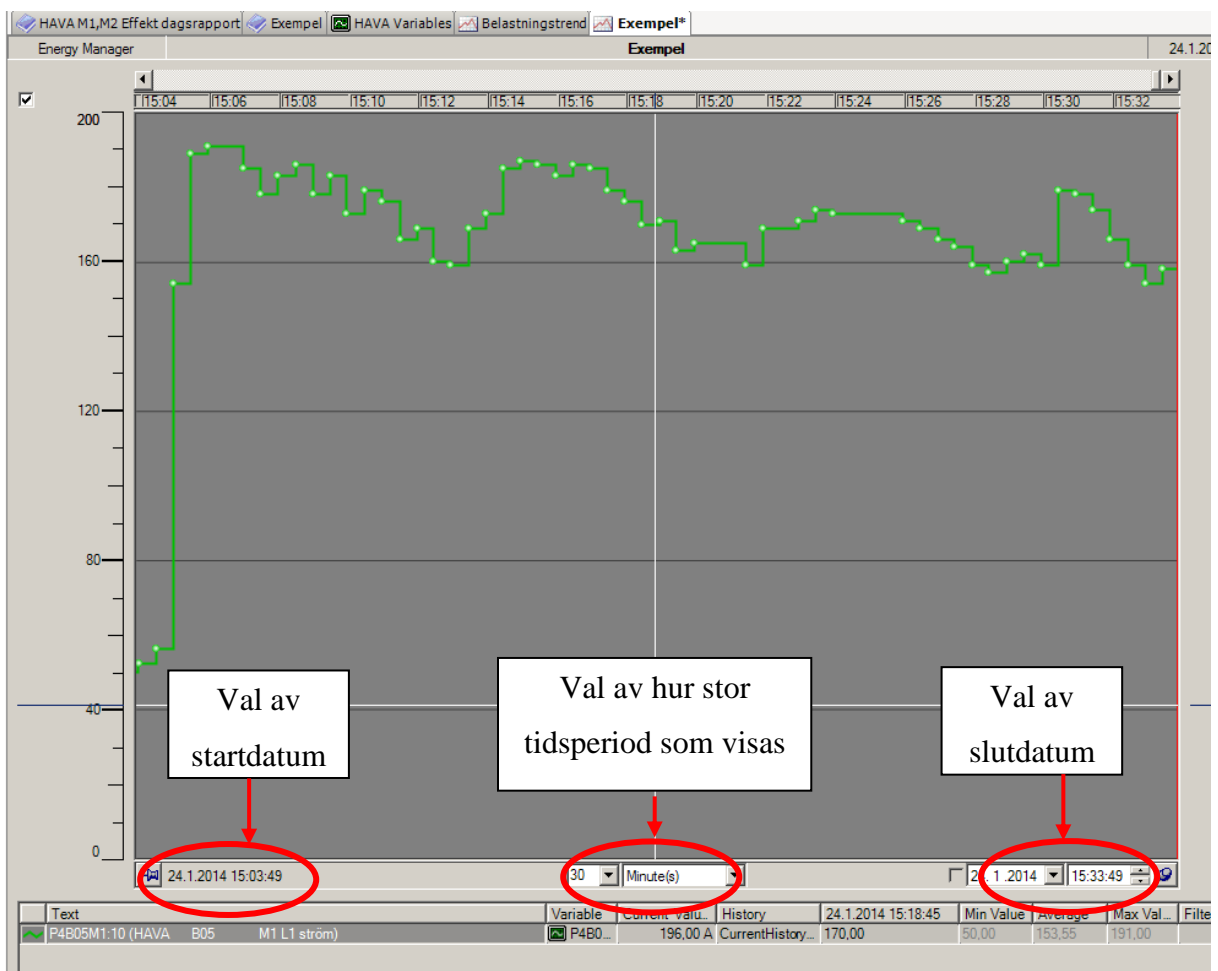


Time (Note)	Hava M1 uppmätt	Hava M2 uppmätt	Bosund uppmätt	Perno uppmätt	Total				Ute Temp C	Regn uppmätt
00:00 -	11.10	9.80	0.00	11.47	32.37				-2.2	0.00
01:00 -	10.40	9.50	0.00	10.40	30.30				-2.0	0.00
02:00 -	10.00	9.10	0.00	10.12	29.22				-2.0	0.00
03:00 -	9.90	9.20	0.00	10.16	29.26				-2.0	0.00
04:00 -	9.60	8.90	0.00	10.07	28.57				-1.8	0.00
05:00 -	9.90	9.00	0.00	10.39	29.29				-1.7	0.00
06:00 -	10.00	9.30	0.00	10.62	29.92				-1.7	0.00
07:00 -	10.20	9.40	0.00	10.42	30.02				-1.7	0.00
08:00 -	10.60	9.40	0.00	11.08	31.08				-1.7	0.00
09:00 -	10.40	9.50	0.00	10.72	30.61				-1.6	0.00
10:00 -	11.10	9.60	0.00	10.99	31.69				-1.5	0.00
11:00 -	11.50	9.90	0.00	11.65	33.05				-1.6	0.00
12:00 -	12.40	9.90	0.00	11.49	33.79				-1.5	0.00
13:00 -	12.80	9.80	0.00	11.21	33.81				-1.4	0.00
Day										
Night	149.90	132.30	0.00	150.79	432.99				-24.4	0.00
Sum	149.90	132.30	0.00	150.79	432.99				-24.4	0.00
Max	12.80	9.90	0.00	11.65	33.81				-1.4	0.00

Figur 23. Dagsrapportmodell i MicroSCADA.

7.4 Trender

I Vtrins trendverktyg finns många egenskaper och funktioner. I figur 24 ses ett exempel på en graf med ett processobjekt, som i detta fall är en belastning över en mellanspänningslinje. För varje objekt kan man välja egenskaper som design på grafen, gränser, bakgrund, skalning, från vilken historiktabell man tar variabeln (CurrentHistory, AVG1day etc.), filter m.m. Man kan också skapa kalkylerade linjer med olika beräkningsformler. I trenden får man fritt välja tidsperiod för grafen, allt från en sekund till flera år. Start- och stopptid kan väljas individuellt.

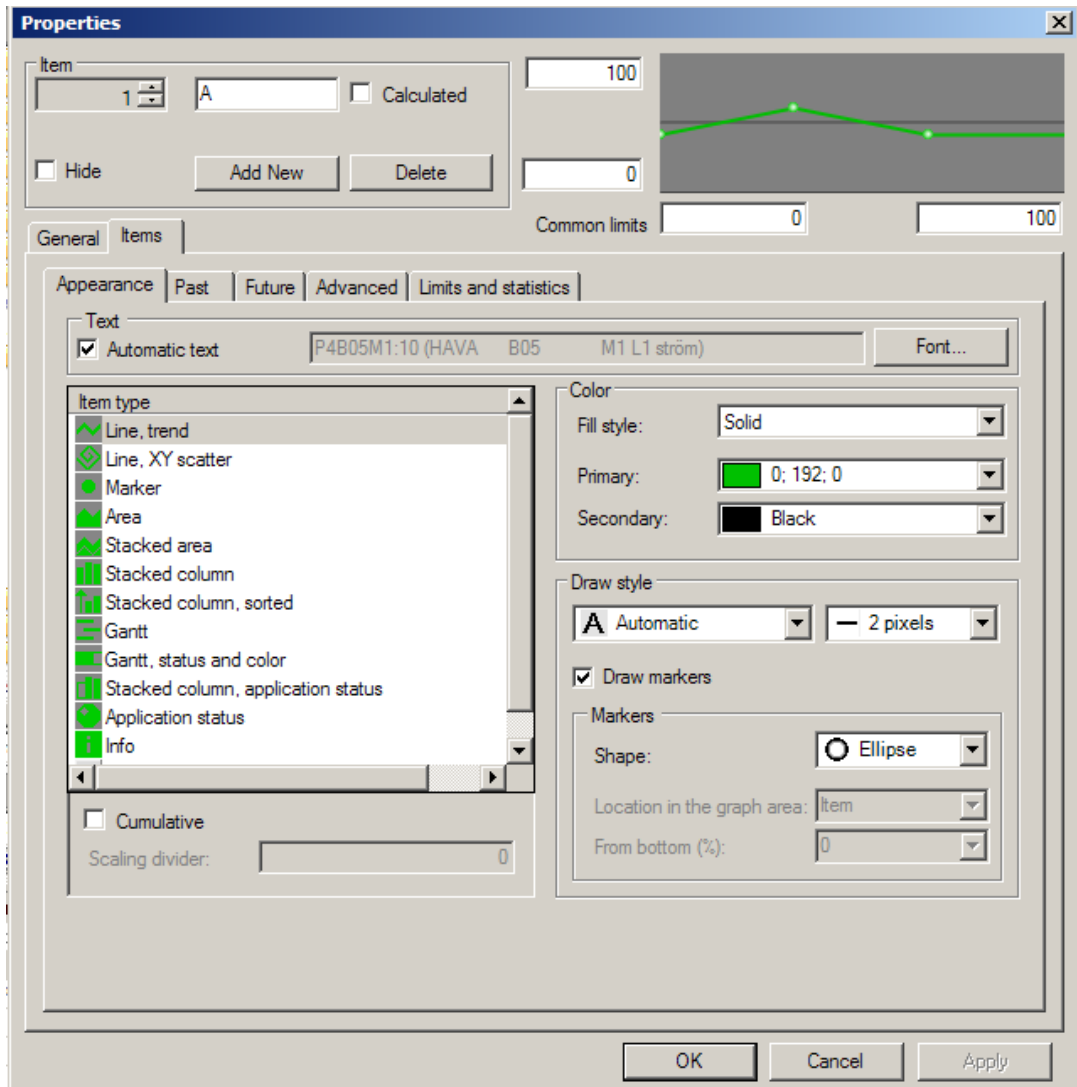


Figur 24. Vtrin trendexempel.

I trender kan man även skapa processdiagram med objekt. Detta tillämpas vanligtvis inte för ett eldistributionsområde, men i andra tillämpningar kan man ha nytta av det. Vill man veta värdet vid en specifik tidpunkt i en graf kan man markera platsen och så får man ut värde och tid för den valda tidpunkten.

7.4.1 Trendegenskaper

Egenskaperna för variablerna i trendverktyget ses i figur 25.



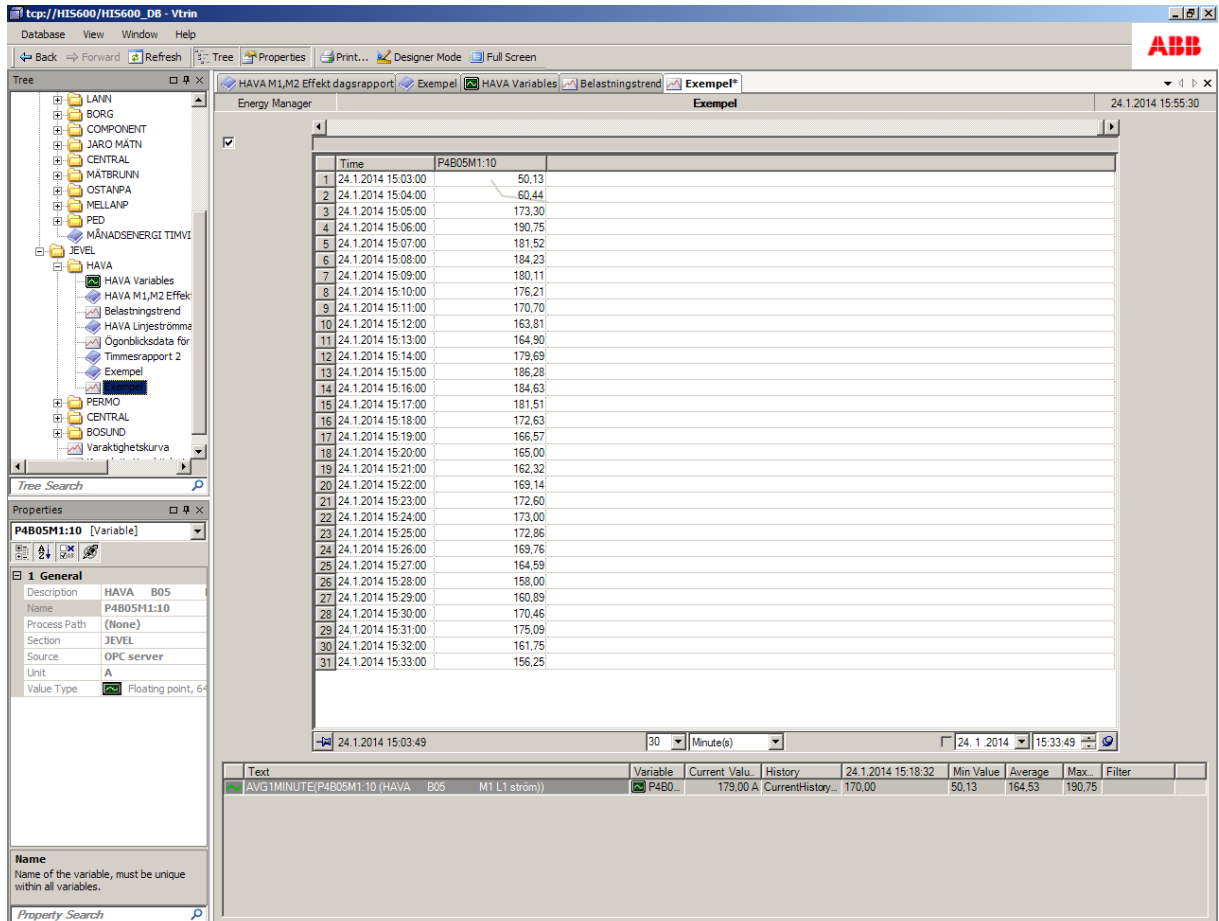
Figur 25. Egenskaper för trender i Vtrin.

Egenskaperna består bl.a. av:

- Val av grafmodell samt färg, storlek och markörmöjligheter på objektet.
- Gränser (nedre & övre gränser för x- och y-axlarna).
- Bestämmelser för från vilken historiktabell mätdatan hämtas, och möjlig uppskattning av framtiden hos mätdatan.
- Möjligheter att göra olika kalkyler och användning av olika funktioner i grafen.

7.4.2 Trender i listformat

I trendverktyget kan man visa resultatet i listformat. Vid val av listvyn öppnas en lista med varje datapunkt i en tidsordning. Hur ofta listan ska sampla data väljs i inställningarna när man har listformatet öppet. Exempel på en trend i listformat ses i figur 26.

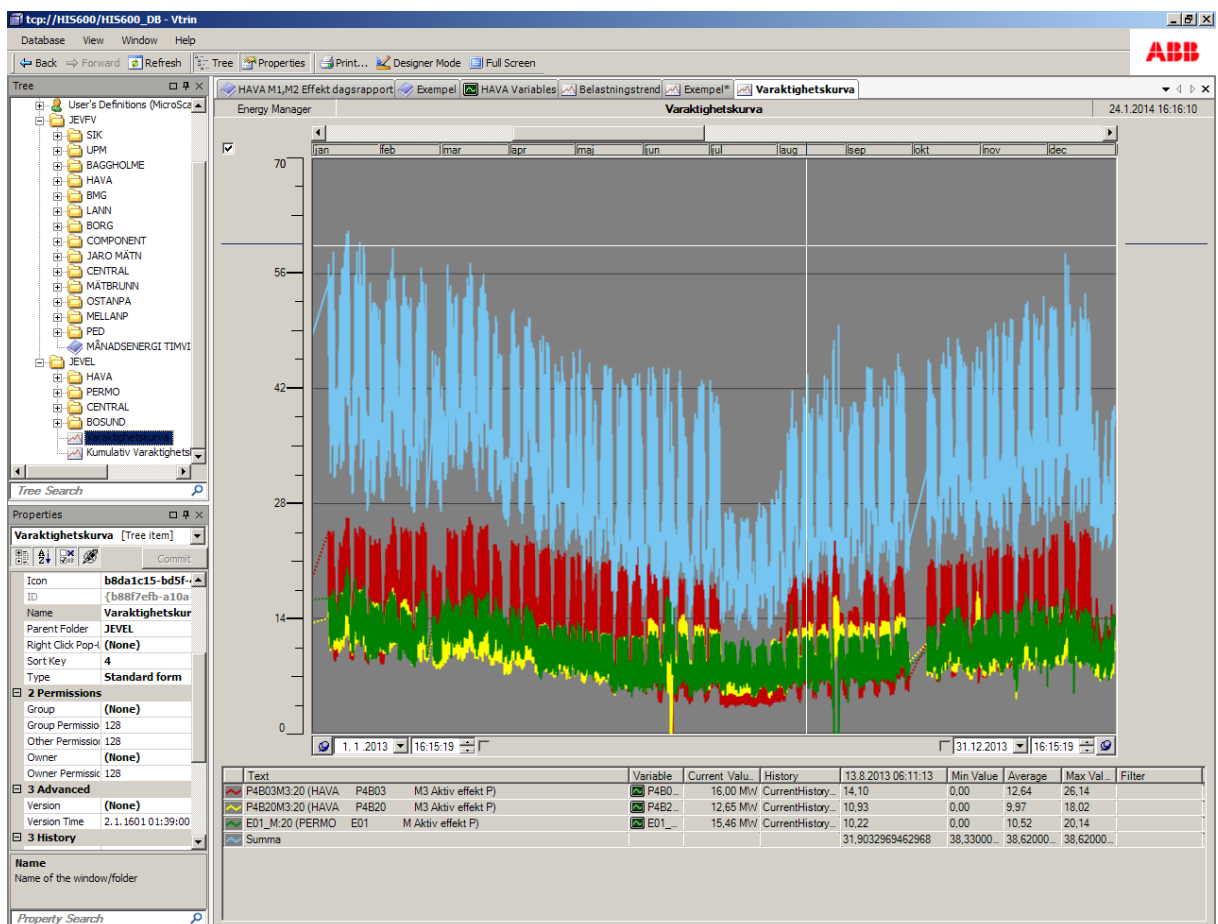


Figur 26. En trend i listformat i Vtrin.

För de mera avancerade beräkningarna i Vtrin finns olika filter som kan appliceras på variablerna i trendverktyget. Varje variabel kan ha flera filter på samma gång. Bland filtren finns att välja allt från matematiska- och statistiska funktioner (t.ex. Avg, Min, Max, Adev, Convert och Calc i vilken man kan göra olika matematiska kalkyler) till tidsfunktioner och logiska beräkningar (t.ex. WHEN, tidsintegraler och varaktighet).

7.5 Varaktighetskurva

Ett av önskemålen i arbetet var att skapa en varaktighetskurva för året med huvudbelastningarna från Havas två huvudtransformatorer (M1 och M2) och Permos huvudtransformator (M3). Varaktighetskurvan visas i figur 27.



Figur 27. En ett års varaktighetskurva för huvudbelastningarna vid JEV.

I varaktighetskurvan ses de tre huvudbelastningarna M1, M2 och M3 samt en summa för dessa, som räknats ut med vanlig summering via calc-funktionen i trendverktyget, dvs. summan $D = A(M1) + B(M2) + C(M3)$.

I trenderna kan man välja ett område och zooma in för närmare analys av kurvan. Om man så vill kan man också göra variabelernas kurvor osynliga så att man lättare ser de andra.

Resultat

HIS600 är ett historiskt informationssystem, som inkluderar en server med en RTDB-databas, designad av ABB och ett grafiskt användargränssnitt, Vtrin. Det som skiljer ett historiskt informationssystem från andra databaser är att det förutom att lagra datan även analyserar och kan göra avancerade beräkningar på datan. HIS600 är en extension till ABB:s styr- och övervakningssystem MicroSCADA. HIS600 gör i princip samma sak som MicroSCADA:s databaser, men med mera avancerade algoritmer och beräkningsmetoder. HIS600 fungerar som en OPC DA-klient till MicroSCADA som då agerar OPC DA-server. Det vill säga HIS600 hämtar data från MicroSCADA:s databaser via OPC DA-länken. HIS600 kan även kopplas till andra databaser via olika gränssnitt, t.ex. ODBC, JDBC och olika API.

HIS600 mäter och analyserar processdata för att sedan kunna presentera datan i form av listor, rapporter och trender. I rapport- och trendverktygen kan man göra mängder av olika beräkningar och evalueringar på processdatan som övervakas. Rapportverktyget fungerar via add-in programmet Microsoft Excel. I rapporterna kan man göra beräkningar enligt vanlig Excel-kodning.

Målet för ibruktagningen av Vtrin var att få ett användarvänligt program som är grundinställt så att personalen kan börja bekanta sig med programmet. De primära tillämpningsområdena som man ville övervaka med HIS600 var mellanspänningsnätets storhetsmätningar, som belastningar, spänningar och effekter. För arbetet gjordes även en användarmanual med instruktioner för hur man bekantar sig med gränssnittets olika verktyg.

För ibruktagningen skapades kategorier för alla stationer och delområden som JEV hade behov av att övervaka i nätet. Till kategorierna tilldelades variabler, grundrapporter för belastningarna och exempeltrender för uppföljning av bl.a. belastningar. En användarmanual gjordes åt personalen vid JEV och i den ingår en detaljerad guide för hur man kommer igång med gränssnittet. I manualen förklaras hur man skapa olika saker och gör beräkningar i Vtrin. Manualen skapades med betoning på att göra den användarvänlig och lättförståelig. Detta gjordes med illustrationer och instruktioner för användningen av programmet.

Utvecklingsmöjligheter finns i programmet, t.ex. att ta in händelse- och alarmobjekt för processerna och implementera dem i listor. Andra möjligheter finns till att göra rapporter på t.ex. återkopplingar och andra händelser. Vill man ha ännu mera information borde skyddsreläerna uppdateras. Något man måste tänka är att inte belasta systemets kommunikationssystem för mycket med ett historiskt informationssystem. Det historiska informationssystemet får inte ta upp all trafik i kommunikationen från MicroSCADA bara för att hämta sin egen data. I detta examensarbete har nätverkskapaciteten inte utvärderats, men från efterforskningar vet man att det är ett problem om man har många processer kopplade till samma system.

Den andra delen av arbetet gick ut på att göra tekniska och ekonomiska beräkningar för förluster i mellanspänningsnätets jordkablar. Den delen av arbetet utgick från att JEV ville ha information om förlustskillnader mellan olika kabeltvärsnitt. Detta grundar sig på att om en kabel belastas för mycket i förhållande till sitt tvärsnitt, tar isoleringen skada, dvs. livstiden förkortas. Därför vill man utifrån ekonomiska synpunkter få fram ett optimalt tvärsnitt för en viss belastning. Större tvärsnitt har oftast lägre förluster, i och med att förlusterna är direkt proportionella mot belastningen i kvadrat gånger resistansen i kabeln. I exemplen jämfördes kablar av typerna AHXAMK-W och AXLJ med tvärsnitt från $3 \times 95 \text{ mm}^2$ till $3 \times 240 \text{ mm}^2$.

För arbetet gjordes beräkningar på två olika linjexempel i mellanspänningsnätet. Olika tvärsnitt av mellanspänningskablarna som bolaget använder sig av för ändamålet jämfördes för linjerna. Beräkningsresultaten visade att för det mesta lönar det sig att sätta en överdimensionerad kabel som klarar av ungefär dubbla linjebelastningen. Då har man tryggt både för en effektökning i framtiden och för eventuella reservmatningar på linjen. Ett större kabeltvärsnitt är en dyrare investering, men skillnaden är så liten på korta sträckor i och med att nedsättningen av kabeln utgör majoriteten av kostnaden. Kabelprisen utgör ca 20 % av investeringskostnaden, och skiljer mellan ca 13 – 19 € / m beroende på typ och tvärsnitt. Redan efter ca två år har man tjänat in investeringsskillanden mellan tvärsnitten på förlustbesparingar.

Det finns förstås en gräns när det är onödigt att överdimensionera alltför mycket. Ju större kabel desto större blir jordslutningsströmmen. Det medför i slutändan att jordningskraven för stationen och nätet ökar. På så sätt kan kostnaderna skjuta i höjden för elbolagen som måste utöka sina jordningar för att hålla jordningsspänningen nere.

Utifrån beräkningsresultaten konstateras att det i båda beräkningsexemplen lönar det sig att använda $3 \times 185 \text{ mm}^2$ alternativet. För att en $3 \times 240 \text{ mm}^2$ kabel ska löna sig skulle en lite högre belastning behövas. Att sätta det klenaste tvärsnittet 95 mm^2 är utifrån en investeringssynpunkt det billigaste alternativet. Det klarar säkerligen av belastningen men förlusterna och spänningsfallen blir så pass stora att det inte lönar sig på något sätt i längden. Likaså skulle det klenare kabeltvärsnittet förmodligen inte klara av eventuella reservmatningar av andra linjer med samma storlek, och livstiden blir högst troligen kortare än hos de större tvärsnitten. Utifrån detta kan man dra slutsatsen att det för det mesta lönar sig med ett lite för stort tvärsnitt.

Diskussion

Arbetet erbjöds åt mig i slutet av 2013 och jag tyckte att det lät både intressant och som en lämplig utmaning som examensarbete. Eftersom jag arbetat på driftcentralen vid JEV tyckte jag att det var väldigt intressant och lärorikt att fördjupa sig i MicroSCADA och dess tillhörande komponenter. Det var också lättare att förstå varför ett historiskt informationssystem kan komma till nytta vid ett energiverk.

Utmaningen med ibruktagningen av Vtrin HIS600 var att ABB inte har någon publicerad dokumentation om programmet. Några manualer finns inuti databasen, med grunder för hur man hanterar databasen och användargränssnittet, men det var allt som fanns att fås. Hur man ska tillämpa programmet i praktiken vid t.ex. ett elverk finns det inget som beskriver. Man har förstås en uppfattning om vad som behövs, men vad allt man egentligen kan göra är frågan. Jag närmade mig problemet genom att testa mig fram och diskutera med mina handledare.

Efter en del efterforskning för litteratur hittade jag tidigare forskning i ämnet i form av ett examensarbete av Varmajoki Jarmo från VAMK. Examensarbetet handlade om HIS600 och hur det kan appliceras i praktiken vid ett elverk. Detta arbete var till stor hjälp. Min kontakt på ABB, Håkan Hultholm, var också till stor hjälp när jag stötte på problem i programvaran. Han svarade på alla mina frågor och hjälpte mig med diverse problem. Hultholms examensarbete om historiska informationssystem i distributionsautomation var också till stor nytta för informationssyftet.

Målet med ibruktagningen var att i framtiden kunna använda sig helt av Vtrins rapporter och trender för uppföljning av belastningar och data istället för att göra det via MicroSCADA. Att göra rapporter och trender i Vtrin är mycket behändigt. Det är även lättare än att göra dem i MicroSCADA. De ser visuellt bättre ut och de är lätta att skriva ut. Efteråt kan man också vid behov enkelt gå in och göra ändringar i rapporterna. Rapporterna i MicroSCADA tar väldigt mycket plats, och ett av målen med Vtrin var att man skulle kunna samla rapporter på en ny plats där det inte belastar systemet.

Min personliga åsikt är att för att göra rapporter, trender och beräkningar fungerar HIS600 utmärkt, men övervakning av indikeringar, händelser och alarm tycker jag att MicroSCADA sköter så pass bra, att man inte behöver följa upp dessa i HIS600. Möjligtvis kunde lagringen av dessa sparas i HIS600 för historiksyfte.

Programmet i sig är enligt min åsikt ett lättanvänt program som man lär sig använda ganska snabbt. Man märker verkligen att programmets skapare försökt göra det så användarvänligt som möjligt. För att veta när man behöver ta till de mera avancerade metoderna i användargränssnittet, som t.ex. statistiska beräkningar och avancerade filter, borde man ha lite mera erfarenhet av vad man vill och kan få ut för information från processdatan.

I den andra uppgiften, som utgick på att beräkna exakt hur stora värmeförluster som uppstår i en kabel utifrån dess belastning är inget lätt ämne. Det finns bl.a. formler för att räkna ut temperaturstegringen i en kabel, men att se någonting optimalt i dessa kurvor är inte lätt. Eftersom effektförlusterna vid elöverföring nästan är enbart från värmeförluster i kabeln, så kom jag och JEV fram till att man kan utgå från effektförlustberäkningar när man vill jämföra tvärsnitt. Om man hade tagit kontakt med kabeltillverkarna kan det hända att de har information om optimala belastningar på kablar. Men det finns så mycket som varierar på alla mellanspänningslinjer så det är svårt att säga om deras värden skulle vara optimala i detta fall. Till exempel att ledningen belastas konstant eller om den får kyla ner mellan varven av belastningstopparna. Optimala kabelbelastningar är inget som kabeltillverkarna ger ut för övrigt.

För uppgiften gjordes jämförelser i effektförluster och med investeringarna för att få fram vilken tvärsnitt som vore optimalt. Det som förvånade mig lite var att kabelpriserna skiljer så pass lite att man inte direkt behöver oroa sig för priset mellan olika tvärsnitt. Grävnings- och nedsättningskostnaderna är så pass dyra att kabelpriserna endast utgör en bråkdel av investeringen.

Det som däremot medför problem vid byggandet av jordkablar är jordslutningsströmmen. När jordslutningsströmmen ökar, ökar även jordningskraven vid stationen och för hela nätet. Jordningsspänningen ökar för varje jordkabel som byggs i nätet. För att hålla jordningsspänningen nere måste jordningen förbättras. Inne i staden har JEV ett omfattande jordningssystem (laajamaadoitus), vilket innebär att man har många punkter jordade och då är jordningen inget man behöver bekymra sig över. Utanför staden blir det däremot mera problematiskt.

Utifrån dessa parametrar konstaterades ändå att ett lite överdimensionerat tvärsnitt alltid är den mest ekonomiska och smarta lösningen, dels för möjligheter av reservmatningar av ringkopplade linjer och tillkomsteffekter och dels för att skillnaden i jordfelsströmmarna inte ändå är så pass stor.

I arbetet har jag lärt mig mycket om många saker på kort tid, av experter och av egna efterforskningar. Jag har lärt mig att det verkligen lönar sig att ta kontakt och prata med experter, för de vill för det mesta gärna dela med sig av sina kunskaper för att hjälpa till med problemlösning. Jag har också lärt mig att vissa lösningar endast fås genom eget hårt arbete och egna undersökningar.

Källförteckning

ABB Oy (2002a). *Introduction to MicroSCADA technology*. Online:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/148ed5a88975bb2ec1257268002f77d3/\\$file/Introduction%20to%20MicroSCADA%20Technology.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/148ed5a88975bb2ec1257268002f77d3/$file/Introduction%20to%20MicroSCADA%20Technology.pdf) (hämtat: 5.2.2014)

ABB Oy (2002b). *SPAC 531 C Ledningsterminal*. Online:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/465e966f48279998c2256c6e002ca189/\\$file/fm_spac531c_sv_bbacc.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/465e966f48279998c2256c6e002ca189/$file/fm_spac531c_sv_bbacc.pdf) (hämtat: 5.2.2014)

ABB Oy (2002c). *SPAC 535 C Kennoterminaal*. Online:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/cf592d30de2e7b00c2256c7f002eee22/\\$file/spac535c_fi_b.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/cf592d30de2e7b00c2256c7f002eee22/$file/spac535c_fi_b.pdf) (hämtat: 5.2.2014)

ABB Oy (2004). *Application Objects*. Online:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/0208468c9e3f95dec1257b1300569828/\\$file/Application%20Objectsc.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/0208468c9e3f95dec1257b1300569828/$file/Application%20Objectsc.pdf) (hämtat: 5.2.2014)

ABB Oy (2011). *HIS600 Administrator Training*. HIS600, A MicroSCADA Historian. Opublicerat material.

ABB Oy (2011). *HIS600 GUI - Vtrin Training*. HIS600, A MicroSCADA Historian. Opublicerat material.

Blomqvist, H. (red.) (2003). *Elkraftsystem 1*. Elkraftshandboken, Elkraftsystem 1. Liber AB, Stockholm.

Fingrid Oyj (u.å.). *Suomen sähkövoimajärjestelmä*. Online:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Suomen%20s%C3%A4hk%C3%B6voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Sivut/default.aspx> (hämtat: 18.1.2014)

Hultholm H. (2006). *Historical Information Systems in Distribution Automation*. Master's Thesis, AS-116, Information and Computer Systems in Automation. Helsinki University of Technology.

Jakobstads Energiverk (u.å.). *Distribution*. Online: <http://jpenergy.net/distribution/> (hämtat: 18.1.2014)

Jakobstads Energiverk (2012). *Jakobstads Energiverks verksamhetsberättelse och bokslut 2012*. Online: <http://jpenergy.net/assets/assets/Energiverket20121.pdf> (hämtat: 18.1.2014)

Oy Katternö Ab (u.å.). *Ägare och styrelse*. Online: <http://www.katterno.fi/om-oss/agare-och-styrelse-2/> (hämtat: 18.1.2014)

Korpinen L. (u.å.). *Suomen sähköjärjestelmä*. Online: http://www.leenakorpinen.fi/archive/stm_opus/4suomensahkojarjestelma.pdf (hämtat: 18.1.2014)

Lakervi E. & Partanen J. (2009). *Sähkönjakelutekniikka*. Sähkönjakelutekniikka, 609, Otatieto, Helsinki University Press.

Markiewicz H. & Klajn A. (2004). *Standard EN 50160 - Voltage Characteristics in Public Distribution Systems*. Power Quality Application Guide, Voltage Disturbances. Wroclaw University of Technology. Online: <http://www.copperinfo.co.uk/power-quality/downloads/pqug/542-standard-en-50160-voltage-characteristics-in.pdf> (hämtat: 25.1.2014)

Northcote-Green J. & Wilson R. (2007). *Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Momoh J. A. (2008). *Electric Power Distribution, Automation, Protection and Control*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.

TEM (2013). *Sähkö- ja kaasumarkkinoita koskevat lait voimaan 1.9.2013*. Online: https://www.tem.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tiedotearkisto/vuosi_2013?113256_m=111203 (hämtat: 31.1.2014)

Varmajoki J. P. (2007). *Kätönvalvontajärjestelmällä kerätyn tiedon hyödyntäminen energialaitoksen käyttötoiminnassa*. Opinnäytetyö, Sähkötekniikan koulutusohjelma, Vaasan Ammattikorkeakoulu.