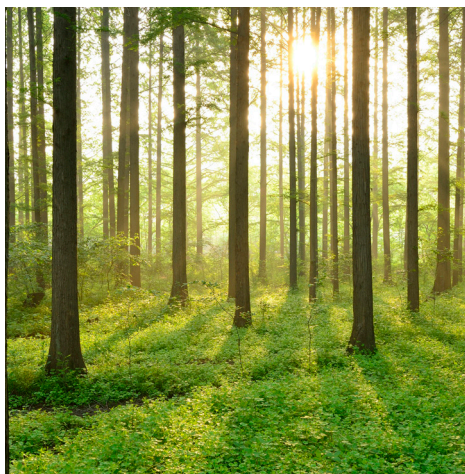


TILLSTÅNDSBASERAT UNDERHÅLL FÖR FÖRDELNINGSTATIONER

RAPPORT 2020:705



UNDERHÅLL AV ELNÄT



Tillståndsbaserat underhåll för fördelningsstationer, TUFF

VICTOR BAGGE ET AL

ISBN 978-91-7673-705-7 | © Energiforsk november 2020

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

I detta projekt har en analys gjorts av hur ett mer datadrivet arbetssätt kan användas för att implementera tillståndsbaserat underhåll hos en elnätsägare. dLaboratory har samarbetat med Krafringen Elnät, och har i projektet tittat på hur data kan samlas in för tre komponenttyper med syfte att få en bättre bild av komponenternas tillstånd. Man har även gjort en översyn av arbetssätt och processer i organisationen, och lagt fram förslag på hur Krafringen elnät ska arbeta mer datadrivet med underhåll.

En viktig slutsats av projektet är att det för en distributionsnätsägare finns stora möjligheter och fördelar med att arbeta mer datadrivet kring underhåll. Det är dessutom ett skalbart arbetssätt som kan införas stegvis och i den utsträckning som anses passa för organisationen.

Projektet har genomförts inom ramen för Energiforsks industriforskningsprogram Underhåll av elnät, och referenspersoner från programmets styrgrupp har varit

- Mats Råberg, Krafringen
- Christian Cleber, Tekniska verken i Linköping Nät

Programmet Underhåll av elnät finansieras av ABB, Bodens Energi Nät, Borås Energi Nät, C4 Elnät, Ellevio, Eskilstuna Energi & Miljö, Falu Energi & Vatten, Göteborg Energi, Elinorr Ekonomisk förening som består av 16 elnätföretag, E.ON Energidistribution, Jämtkraft Elnät, Jönköping Energi Nät, Karlstads El- och Stadsnät, Krafringen Elnät, Luleå Energi, Skellefteå Kraft Elnät, Kungälv Energi, Mälarenergi Elnät, Nacka Energi, Svenska kraftnät, Tekniska verken i Linköping, Pite Energi, Umeå Energi Elnät, Vattenfall Eldistribution och Öresundskraft.

Lennart Kjellman,
Programansvarig Underhåll av elnät
Stockholm 26 november 2020

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Projekt Tillståndsbaserat underhåll för fördelningsstationer (TUFF) syftar till att beskriva hur arbete med tillståndsbaserat underhåll kan påbörjas att appliceras på en fördelningsstation, både organisatoriskt och praktiskt.

Industrin har kommit längre inom detta område än kraftdistribution, dock pågår inom IEC 61850 en del arbete för att applicera och standardisera tillståndsbaserat underhåll (eng. Conditional Based Maintenance, CBM) för fördelningsstationer.

Dagens processer för underhåll, reinvesteringar och investeringar undersöks, i detta fall främst hos Krafringen Nät, ett börläge för mer datadrivet arbetssätt läggs fram och ett förslag på implementering presenteras.

Utöver arbetet med processer och arbetssätt kopplat till tillståndsbaserat underhåll och datadrivna beslutsprocesser har projektet fokuserat på att studera vilka anläggningsdelar där tillståndsbaserat underhåll har störst potential och hur den tekniska implementationen kan gå till rent praktiskt och vilka utmaningar som finns för att kunna samla in den data som krävs för tillståndsbestämningen.

Ett antal anläggningskomponenter har identifierats som viktiga och tre av dessa har valts ut för närmare studier i projektet: Brytare, lindningskopplare och LS-system. Tre stationer i Krafringens nät agerat testobjekt och ytterligare sensorer har anslutits till ett befintligt datainsamlingssystem som idag främst används för identifiering av uppkommande och faktiska fel i elnätet. Datainsamlingssystemets mjukvara har uppdaterats för att stödja användningsområdet, samtidigt som en stor del av de signaler som redan mäts har varit till nytta även för tillståndsbestämningen.

Rekommendationen för att implementera ett datadrivet arbetssätt i ett energibolag är att dokumentera bolagsstrategin och besluta om strategier samt implementera en styrmodell som baseras på vilka processer som önskas appliceras i nätbolaget där huvudprocessen är att distribuera energi. Det är också rekommendabelt att utse en huvudprocessägare som rapporterar direkt till koncernchef/VD.

En illustrativ jämförelse kan göras med exempelvis lastbilsindustrin och hur en lastbil tillverkas i fabriken. Det finns en bolagsstrategi som alla i verksamheten förstår och arbetar utifrån. För att kunna leverera en lastbil på bästa möjliga och effektiva sätt finns en oerhört strikt och tydlig process om hur tillverkning och leverans av en lastbil går till. Alla arbetar efter huvudprocessen, om någon avviker från sin del i en process så stannar i värsta fall hela fabriken eller så uppstår kvalitetsproblem som påverkar kunden negativt och i slutänden även varumärket. Energibolaget skulle kunna använda exakt samma förhållningssätt för att bli ännu effektivare på att distribuera energi till rätt kvalitet och till rätt kostnad till sina kunder och intressenter.

Eftersom hela organisationen påverkas av den här typen av utveckling är det av stor vikt att slutmål och vad som behövs för att nå dit är väl förankrat. Detta görs lämpligen stegvis med tydliga delmål som även underlättar utvärdering under

processen. En viktig erfarenhet från detta projekt att utökad mängd tillståndsdata kan nyttjas redan i befintliga processer för att effektivisera underhåll, vilket innebär att tiden blir kortare tills reell nytta börjar synas av förändringsarbetet.

Sammanfattningsvis finns stor potential i tillståndsbaserat underhåll inom eldistributionsverksamheten och i detta projekt har det visat sig möjligt att börja konkret i mindre skala för att kunna komma igång med det mer långsiktiga arbetet mot mer datadrivna processer och anläggningsförvaltning.

Summary

The project Conditional Based Maintenance in Substations aims to describe how conditional based maintenance can be applied to a substation, both in practice and organizationally.

Within the industry sector conditional based maintenance (CBM) is much more established than within the power distribution sector. However, within IEC 61850, work regarding application and standardization of CBM for substations and power grids are in progress.

Today's processes for maintenance, reinvestments and investments are investigated, mainly by the power distribution company Kraftringen, a target picture for a more data driven workflow is presented and a suggestion of a roadmap to reach this target.

In addition to the work related to processes and way of working related to CBM and data driven decision-making, this project has focused on studying what substation components where CBM has the greatest potential and how the technical implementation can be carried out in practice, and what challenges there are to be able to collect the data needed to determine the condition of the components.

Several substation components have been identified as important and three of these has been chosen to be focused on in this project: Circuit breaker, on-load tap changer and auxiliary power supply systems. Three substations in the grid of Kraftringen has been used as test benches and additional sensors has been connected to an existing data acquisition system that is mostly used for identifying upcoming and urgent faults in the power grid. The software of this data acquisition system has been updated to support the new field of use, and a great part of the signals that are already measured has been beneficial for the condition determination.

The recommendation for implementing a data-driven way of work in an energy utility company is to document the overall company strategy, decide on which other strategies to use, and implement a control model based on the processes used in the company where the main process is to distribute energy. It is also recommended to appoint a main process owner reporting directly to the CEO.

An illustrative comparison can be done with the heavy commercial vehicle industry and how a truck is manufactured. There is a company strategy that all parts understand and follow. To be able to deliver a truck in the best and most efficient way the process is very strict on how the manufacturing and delivery of a truck is meant to be done. Everyone works according to the main process. If any part in the chain deviates from the process, the worst-case scenario is a total stop of the manufacturing process, or quality issues could occur that will affect the customer negatively and ultimately the corporate brand. An energy company could use the exact same approach to work even more effective distributing energy of correct quality to the right cost to their customers.

Since the entire organization is affected by this type of evolution it is crucial that the final target of the change process and what is needed to get there is well anchored throughout the organization. This is suitably done step by step with clear sub-goals that also eases evaluation during the process. An important experience from this project is that more condition data of substation components helps in the existing processes to make maintenance more effective as well, which means that the time until real benefits of the implemented changes can be utilized is short.

Summarized there is great potential in applying CBM in the power distribution industry and this project has shown that it is possible to start on a small scale with concrete measures to get started with the more long-term work towards more data-driven processes and plant management.

Innehåll

1	Bakgrund	10
2	Projektbeskrivning	11
2.1	Syfte	11
2.2	Mål	11
2.3	Avgränsningar	12
2.4	Projektorganisation	12
2.5	Referensgrupp	12
2.6	Projektgenomförande	13
2.7	Tidplan	14
3	Kraftringens organisation och arbetssätt	16
3.1	Strategisk inriktning	16
3.2	Organisation	17
3.3	Arbetssätt och -processer	17
3.4	Digitalisering av fördelningsstationerna – Nuläge	19
4	Datadrivet arbetssätt – Börläge	21
4.1	Drivkrafter, vision och strategier	21
4.2	Informationsstrategi	21
4.3	Datadrivet beslutsfattande	22
5	Hårdvara och analys	24
5.1	Val av anläggningsdelar	24
5.2	Val av signaler/egenskaper	25
5.3	Implementation i stationer	30
5.4	Anpassning av mjukvara i insamlingssystemet	31
5.5	Informationsbehandling	32
5.6	Visualisering	33
6	Resultat/slutsatser	38
6.1	Allmänt	38
6.2	Hårdvara	39
6.3	Mjukvara	40
6.4	Implementering av datadrivet arbetssätt	43
7	Möjliga framtida projektidéer	47
7.1	Genomförandeprocess	47
7.2	Standarder	49
7.3	Best practice	50
7.4	IEC 61850	50
7.5	Analys på högre nivå	50
7.6	Nybyggnadsprojekt	50
7.7	GIS-ställverk	51

7.8	Fler anläggningskomponenter	51
8	Referenser	52
Bilaga A:	Beskrivning av befintligt datainsamlingssystem	53
Bilaga B:	Datablad strömgivare	58

1 Bakgrund

Tillståndsbaserat underhåll (eng: Conditional Based Maintenance, CBM) finns definierat i EN 13306 och beskrivs sammanfattat som en förebyggande underhållsstrategi baserat på observationer av prestanda, parametrar och därpå följande åtgärder. Enligt samma källa är prediktivt underhåll (eng: Predictive Based Maintenance, PBM) en fortsättning på CBM där en prognostisering utförs baserat på data och tidigare beslut för att uppskatta tiden (eng: Remaining Useful Lifetime, RUL) en komponent har kvar till dess att densamma slutar att fungera tillfredsställande. CBM har tre steg (Jardine, 2006): Datainsamling, databehandling och beslutsfattning.

Enligt (Jardine, 2006) beskrivs datainsamlingen som en process med syfte att samla in och lagra data som är användbar för CBM. För applikationen av CBM i en fördelningsstation ingår flertalet komponenter, till exempel transformator, lindningskopplare och husbyggnad. Datainsamlingen skall vara sådan att den är relevant för att via observation eller prognostisering härleda RUL för de övervakade komponenterna, (Si, 2011).

Att välja de komponenter som skall omfattas av en CBM-strategi är ett mycket viktigt första steg i att påbörja implementeringen av underhållsstrategin. Beskrivningar om hur ledning och organisation skall informeras och förändras samt hur exekvering bör framskrida drar till stor omfattning samma slutsatser: att en implementation av CBM kräver både förändring i teknik, organisation och arbetssätt och måste påbörjas med en datainsamling, se till exempel (ABB Power Products & Power Systems, 2014) och (Mobley, 2002).

Digitaliseringen i fördelningsstationer framskrider och flertalet komponenter stödjer digital kommunikation via IEC 61850. Att utnyttja busskommunikationen är viktigt eftersom komponenttillverkaren därigenom ger tillgång till den data som behövs för CBM och detta besparar både miljö och pengar då extra sensorer inte behövs. Alla komponenter stödjer inte modern datakommunikation eller publicerar den data som är nödvändig och dessa måste hanteras speciellt.

IEC har påbörjat anpassning av IEC 61850 till CBM genom arbetsgruppen för IEC 61850-90-3, (IEC, 2016). I denna tekniska publikation beskrivs flertalet viktiga komponenter i en fördelningsstation, vilken data som är essentiell samt hur IEC 61850 skall utökas för att möjliggöra CBM.

I tillverkningsindustrin har CBM varit en del under många år (Mobley, 2002). För elkraftsbranschen är strategin på väg att bli implementerad i en allt högre grad. En förfrågning till elkraftsbolag påvisar viljan och driften att implementera CBM inom kommande år (T&D World, 2017)

Ett generellt system för datainsamling möjliggör inhämtning av relevant data från fördelningsstationer vilka varierar i ålder och utrustning. Vissa anläggningsdelar har specifika funktioner för CBM medan andra bör bestyckas med externa sensorer.

2 Projektbeskrivning

2.1 SYFTE

Inom detta projekt kommer fokus att vara på etablering av strategi och datainsamling för tillståndsbaserat underhåll (eng: Conditional Based Maintenance) (CBM) applicerat på anläggningsdelar i en fördelningsstation. Projektet skall utnyttja erfarenheten hos tillverkningsindustrin där CBM använts sedan länge.

Datainsamlingen är generell och skall stödja moderna protokoll samt externa sensorer där behov finns. Datalagringen skall utformas så att mjukvaror från tredje part skall gå att använda för analys och underhållsplanering.

Visualisering av mätvärden och tillbehövlig analys skall utföras i ett webbaserat verktyg. Processen som skapas för att etablera CBM kommer att beskrivas och utgöra ett stöd för att påbörja digitaliseringen av underhållet i en fördelningsstation.

CBM syftar till att minska elnätbolagens, Krafttringen som programdeltagande, avbrottstider till en lägre kostnad för drift och underhåll. De konkreta nyttorna blir alltså högre leveranssäkerhet och lägre kostnader.

2.2 MÅL

Projektet skall ta fram en strategibeskrivning och ett system för datainsamling så att tillståndsbaserat underhåll möjliggörs på en fördelningsstation. I projektet kommer flera fördelningsstationer och dess delar att analyseras och prioriteras för CBM. Data kommer kontinuerligt att samlas in för analys och visualisering. Projektet avslutas med att ett mätsystem finns i drift samt en processbeskrivning om hur CBM kan tas i drift på en generell fördelningsstation.

Konkret innebär detta följande målbild:

- Ett datorsystem i drift för att möjliggöra insamling och visualisering av data för ett tillståndsbaserat underhåll för fördelningsstationer.
- En processbeskrivning för att planera och driftsätta tillståndsbaserat underhåll på en fördelningsstation enligt projektets erfarenheter. Beskrivningen kommer att vara generell och applicera industriella erfarenheter av tillståndsbaserat underhåll på en fördelningsstation. Exempel från pilotinstallationerna kommer att ingå.

Projektets slutdokumentation kommer att bestå av en sammanställning av de olika delarna utformade som en beskrivning av tillvägagångssättet för att påbörja arbetet med en CBM-strategi på utvalda anläggningsdelar i en fördelningsstation.

Pragmatiskt betyder detta att dokumentationen skall beskriva den arbetsprocess och kriterier som använts för att:

- Välja ut lämpliga anläggningsdelar samt motivera varför andra delar inte har valts

- Vilka signaler från anläggningsdelar som prioriterats
- Vilka regler per anläggningsdel som ligger till grund för CBM

Dokumentationen görs generell och är inte systemspecifik. En godtycklig datainsamlingsutrustning eller ett existerande system med möjlighet att samla in de utvalda signaler som projektet innefattar kan givetvis utnyttjas. Dokumentet blir då underlaget för att påbörja en CBM-strategi för ett elnätsbolag.

2.3 AVGRÄNSNINGAR

Endast en delmängd av alla komponenter som finns i en fördelningsstation har valts ut för att göra storleken på projektet hanterbar, se vidare i avsnitt 5.1.

Vidare har avvägning gjorts kring hur mycket tid och resurser som hade krävts för att kunna mäta en viss signal i befintliga stationer utvalda för projektet. I vissa fall har en önskvärd signal helt enkelt saknats och givare har inte varit möjlig att montera i efterhand. Se vidare i avsnitt 5.2.

Tonvikten är lagd på inhämtning av sensordata från fördelningsstationer och bearbetning av denna för vidare användning i ett CBM-system, inte så mycket på CBM-systemet i sig. Detta då det finns många lösningar kommersiellt tillgängliga för hantering av tillståndsdata på högre nivå och projektets grundsyfte är till att fokusera på appliceringen av CBM på en fördelningsstation.

2.4 PROJEKTORGANISATION

Projektgruppen har bestått av följande personer/funktioner:

- Victor Bagge, dLaboratory (projektledare)
- Mats Didriksson, dLaboratory
- Kewin Erichsen, dLaboratory
- Mjukvaruutvecklingsteam, dLaboratory
- Andreas Vikström, Kraftringen
- Mats Råberg, Kraftringen

Kraftringen har utöver bemanningen i projektgruppen bidragit med ytterligare input till projektet vid ett antal workshops och intervjuer.

Digital Innovation har engagerats för att beskriva en process för datadrivet beslutsfattande för tillståndsstyrt underhåll och investeringar, PAM (Performance Asset Management), se avsnitt 4, 6.4 och 7.1.

2.5 REFERENSGRUPP

Referensgruppen har bestått av följande personer:

- Christian Cleber, Tekniska Verken
- Mikael Lundström, Kraftringen
- Magnus Sörensen, Ellevio
- Mattias Airiman, Ellevio

Möten har hållits regelbundet och utöver dessa har statusuppdateringar skickats ut via e-post efter behov.

2.6 PROJEKTGENOMFÖRANDE

Projektet är uppdelat i tre delar vilka genomfördes sekventiellt med visst överlapp med start i januari 2020.

2.6.1 Del 1: Analys och planering

Första delen syftar till att ta fram en strategi för hur CBM skall appliceras på en fördelningsstation. Detta arbete inkluderar till exempel:

- Utredda vad som krävs av organisationen (börnläge) för att dra fördel av CBM avseende arbetsprocess, metodik, kompetens, ledningssystem (Mobley, 2002).
- Detaljering vilka anläggningsdelar som skall/bör prioriteras i CBM med fokus på digitaliserade enheter och/eller enheter som med enkla mått kan bli digitaliserade.
- Klargöra vilken typ av data och analys som krävs för att möjliggöra CBM av respektive anläggningsdel. Här ligger IEC TR 61850-90-3 Ed. 1.0 till grund (IEC, 2016) tillsammans med expertkunskaper.
- Bedöma omfattning på antalet fördelningsstationer kontra antalet anläggningsdelar för att säkerställa att datamängden blir tillräckligt omfattande för respektive anläggningsdel.

Målbild för denna projektdel:

- Lista på fördelningsstationer och anläggningsdelar som skall utnyttjas i CBM-syfte.
- Lista på signaler som skall mätas och hur dessa kan möjliggöra CBM.
- En plan för anpassningar av fördelningsstationerna så att insamling av all CBM-data blir möjlig.

2.6.2 Del 2: Anläggningsanpassningar

I andra delen av projektet skall insamling av mätdata möjliggöras i enighet med projektets första del och följande skall minst ingå:

- En delmängd av anläggningsdelarna i fördelningsstationer skall bestyckas med relevanta sensorer och/eller utnyttja existerande digital information.
- Mätdata skall samlas in dygnet runt enligt en kravspecifikation för respektive anläggningsdel och signalstorhet.
- Mjukvaruverktyg för datalagring och analys kommer att tas fram av dLaboratory.
- Dataexportering från dLaboratorys datalagring till av Krafringen bestämd datalagring för användande i annan applikation skall vara möjlig, d.v.s. datalagringen ska hållas generell.

Målbild för denna projektdel:

- Aktiv datainsamling på en eller flera anläggningsdelar vilka finns lokaliserade i flera fördelningsstationer.

2.6.3 Del 3: Datainsamling, visualisering och dokumentering

Projektets tredje del syftar till att koppla samman strategi och datainsamling med analys och visualisering. I dokumentering kommer minst följande aspekter att framgå:

- Motivering av den utvalda datamängden
- Anpassningar gjorda för att starta datainsamling av relevanta signaler
- Applikation med visualisering som stödjer CBM

Målbild för denna projektdel:

- Teoretisk utredning om att organisationen har ställt om till ett tillståndsstyrt underhåll med grund i projektets första del samt den datamängd som finns att tillgå från projektet.
- Aktiv datainsamling, datalagring som kan tillgås av tredjepartsapplikationer och applikation för CBM med datavisualisering.

Slutdokumentation av projektet innefattande alla delarna sammanfattade som en beskrivning av tillvägagångssättet att påbörja arbetet med en CBM-strategi på anläggningsdelar i fördelningsstationer.

2.7 TIDPLAN

Den ursprungliga tidplanen innebar kortfattat:

- Del 1 (planering) skulle utföras under Q1 2020
- Del 2 (anpassning och installation av ytterligare sensorer/hårdvara i stationer) under april
- Del 3 (datainsamling och dokumentation) under tremånadersperioden maj t.o.m. juli
- Sammanställning av mätdata och rapporteringsarbete under augusti

2.7.1 Revidering av tidplan

Det stod dock klart redan i mitten av mars att tidplanen ovan inte kunde hållas. Detta p.g.a. att arbetet med att inventera vilka stationer som var lämpliga att använda i projektet och planeringen av nödvändiga komponenter och arbete i dessa tog betydligt mer resurser och tid i anspråk än planerat (se avsnitt 6.2 för mer information). Därtill kunde inte arbetet med mjukvaran för datainhämtning bedrivas parallellt med detta arbete i lika stor utsträckning som väntat. Förväntad start på del 2 var i detta läge i maj istället för april, d.v.s. c:a en månads förskjutning.

Det som dock orsakade den största förseningen var leveransen av strömsensorer som blev c:a två månader försenad. Detta p.g.a. leverantörens brist på komponenter härlett till situationen med covid-19 som rådde under våren. I

normala fall hade komponentleverans kunnat ske i slutet av april, denna leverans togs istället emot först i slutet av juni.

För att inte förkorta tiden för datainsamling och därmed minska möjligheterna till kvalitativ utvärdering ansöktes om och beviljades förlängning av projekttiden så att datainsamling skedde under perioden juli t.o.m. september och sammanställning, utvärdering och rapportering har skett under oktober.

3 Krafringens organisation och arbetssätt

3.1 STRATEGISK INRIKTNING

Krafringen har sedan några år tillbaka en vision, affärsidé och målbild som är väl förankrad inom koncernen. Se Figur 1 för en översikt.



Figur 1: Översikt över Krafringens vision, affärsidé och målbild

Krafringen befinner sig i en snabbt föränderlig omvärld där Krafringen ser att hållbarhetskraven växer, konkurrensen ökar och kundgränssnitten förändras. Med detta som bakgrund tog Krafringen fram en ny strategisk inriktning som presenterades i början på 2020. Krafringens nya strategiska inriktning kan sammanfattas i tre punkter.

Krafringen ska fortsätta att vara en ledare inom hållbar energi

- Driva energieffektivisering för sina kunder och i samhället
- Stärka det lokala energisystemet, genom förnybar produktion och ökad systemintegration

Krafringen ska effektivisera och digitalisera sin verksamhet

- Tillsammans med kunden integrera och optimera
- Digitalisering av verksamhet och kundgränssnitt
- Effektivisera interna processer och arbetssätt

Krafringen ska aktivt ta rollen som kundfokuserade integratörer

- Krafringen ska vara kundorienterade och leverera integrerade helhetslösningar
- Integratören gör det komplexa enkelt för kunden

Under våren 2020 har Krafringen Nät utifrån denna nya inriktning diskuterat och tagit fram en ny affärsplan som ska visa deras väg fram för att realisera den nya strategin. Krafringen Nät kommer fram till 2025 att ha följande fokus:

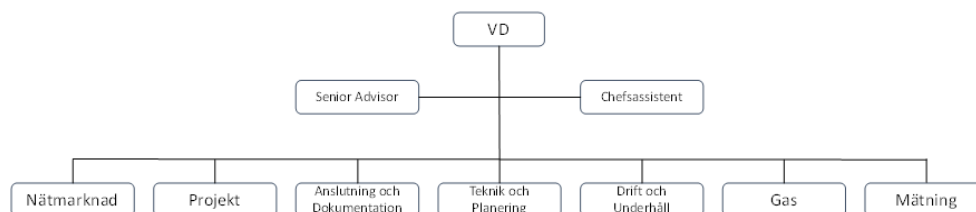
- Bedriva en effektiv, leveranssäker, personsäker, lönsam och kundorienterad verksamhet
- Elnät- och Gasnätverksamhet som är tekniskt i framkant
- Utveckling av sina medarbetare för att säkerställa kompetens och attraktivitet som arbetsgivare

- Utveckling och innovation utifrån elnät/gasnät eller sin kompetens – antingen i sin reglerade verksamhet eller där deras kompetens är nyckel
- Digitalisering
- Vara delaktigt i samhällsbyggandet

Kraftringen Nät kommer de kommande åren att arbeta mot att bli en mer datadriven organisation. Detta innebär att Kraftringen kommer att samla in och analysera data från alla våra anläggningsdelar. I Kraftringens investeringsarbete ska de kunna ta riktiga beslut som är baserade på data och Kraftringens underhållsarbete ska gå från att vara reaktivt till proaktivt.

TUFF-projektet ligger helt i linje med Kraftringens nya strategi och deras förhoppning är att detta är början till ett tillståndsbaserat underhåll för deras mottagnings- och fördelningsstationer.

3.2 ORGANISATION

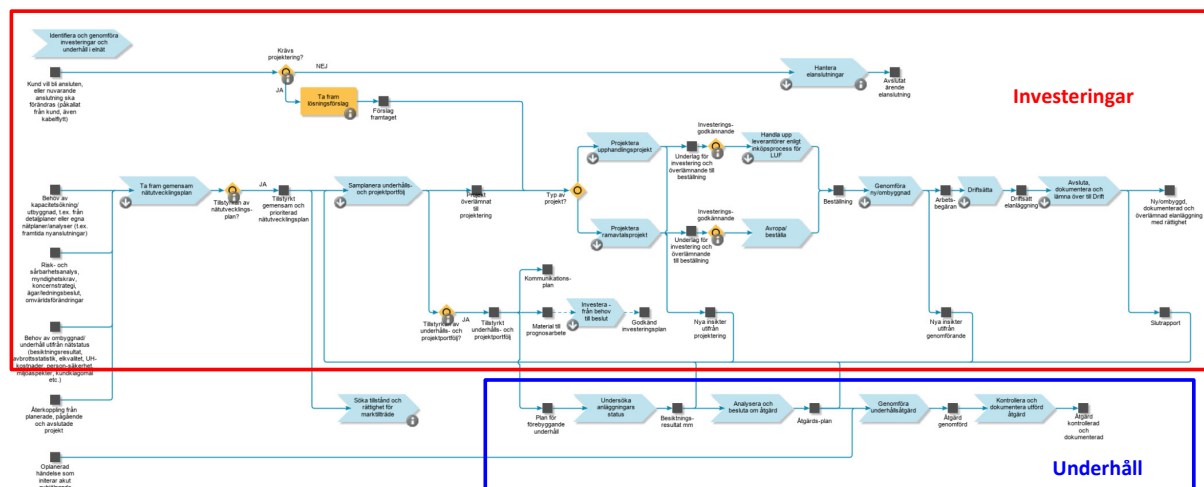


Figur 2: Övergripande organisationsschema för Kraftringen Nät

Övergripande organisationsschema för Kraftringen Nät visas i Figur 2. Underhållsansvaret ligger under avdelningen "Drift och Underhåll".

3.3 ARBETSSÄTT OCH -PROCESSER

Kraftringen Nät har en huvudprocess som visar hur vi identifierar och genomför investeringar och underhåll i våra elnät, se Figur 3.



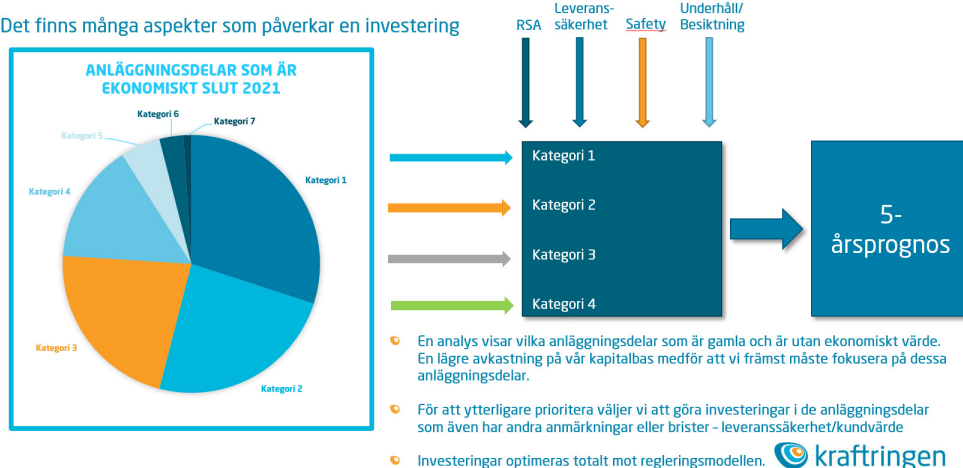
Figur 3: Kraftringens Nätets huvudprocesskarta

Kraftringens arbetssätt gällande investeringar bygger på att de varje år kartlägger sitt sammanlagda behov i samtliga nätområden. Dessa investeringsbehov ställs

sedan mot varandra och prioriteras i enlighet med Krafringens prioriteringsmetodik. Figur 4 visar hur Krafringen Nät arbetar med prioritering och sammanställning av sina investeringar.

Prioriteringsaspekter för en elnätsinvestering - byggd på regleringsmodellen

Det finns många aspekter som påverkar en investering



Figur 4: Krafringens arbete med prioritering av investeringar

Krafringens nätutvecklingsplan uppdateras när den kommande femårsprognosen är godkänd. I nätutvecklingsplanen är samtliga projekt kategoriserade, så som under övervägande, planerade eller pågående. Nätutvecklingsplanen sammanfattar det kartlagda framtida investeringsbehovet i samtliga elnätsområden och ger en samlad bild av vilka investeringar som Krafringen Nät ska göra på lång och kort sikt.

Nästa steg i processen är att olika lösningalternativ för ett investeringsbehov utvärderas och därefter skapas ett avgränsat projekt. Dessa lösningalternativ diskuteras tvärfunktionellt där ett förordat alternativ tas fram. Detta förordade alternativ presenteras sedan i en tillstyrkanskommitté. Då ett projekt är tillstyrkt ska det sedan projektplaneras. Efter projektplaneringen lämnas det över till projektavdelningen som därefter projekterar, beställer och genomför projektet. Efter genomförande lämnas projektet över till drift- och underhållsavdelningen som förvaltar och äger driftsatt anläggning.

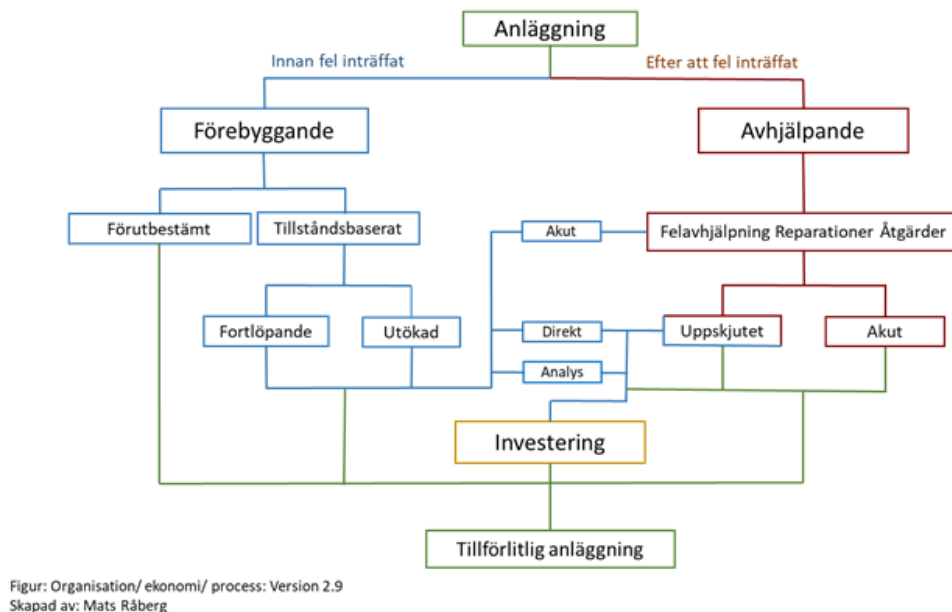
Organisation, Process och Ekonomi

Krafringen Näts underhållsmål är att säkerhetsställa det förväntade funktionskravet på anläggningen är uppfyllt, detta inkluderar även personsäkerheten.

Funktionen förebyggande underhåll ska planera och genomföra tillståndskontroller (besiktningar samt kontroller) av alla anläggningsdelar inom elnätet. Genomförandet av tillståndskontroller utförs av externa entreprenörer i fält. Kostnaden för tillståndskontroll samt tillståndsbedömning kostnadsförs som förebyggande underhåll.

Där det föreligger akuta åtgärder hanteras dessa av VHI, vakthavande ingenjör, som då gör en bedömning och beställning för direkt åtgärd. Vilket kostnadsförs då

som avhjälpande underhåll. Se Figur 5 för flödesschema som beskriver underhållsprocessen.



Figur 5: Flödesschema för Krafringens underhållsprocess

Se Tabell 1 för förklaring till färgerna i Figur 5.

Färg	Förklaring
Blå linje	Förebyggande underhåll, innan fel inträffar
Grön linje	Resultat av underhåll → Tillförlitlig godkänd anläggning
Röd/brun linje	Avhjälpande aktiviteter, efter fel har inträffat → Tillförlitlig godkänd anläggning
Gul linje	Investering, när det inte längre går att underhålla → Reinvestering

Tabell 1: Förklaring till flödesschema för Krafringens underhållsprocess

Tillståndsbedömningen görs i samband med att protokollen från tillståndskontrollen inkommit. Denna bedömning ingår i det förebyggande underhållet. Organisatoriskt ligger detta på underhållspersonalen att bedöma och beställa åtgärder för att återställa ursprunglig funktion och kostnadsförs som avhjälpande underhåll.

De åtgärder som kräver större insatser eller där en eller flera anläggningsdelar tappat sin funktion kan tvärfunktionella grupper samordna de insatser som behöver göras. Gruppen kan involvera planering, projekt, underhåll och drift. Där fattas beslut om funktionsfelet ska repareras, reinvesteras eller investeras bort. Beroende på beslut kostnadsförs åtgärden mot avhjälpande underhåll alternativt investeringsförs den nya anläggningsdelen som då höjer anläggningsvärdet.

3.4 DIGITALISERING AV FÖRDELNINGSSATIONERNA – NULÄGE

Krafringens nuvarande digitalisering i fördelningsstationer är varierande beroende på ålder av komponenterna i stationerna. Det som alltid är inkluderat är

uppkopplad SCADA med traditionella signaler bl.a. lägesindikering och manöver för brytande objekt, lindningskopplarläge, mätvärden samt larmindikeringar för kritiska objekt. Nyare stationer har också en kommunikationsbuss för indikering och mätvärden medan traditionell SCADA med hjälpreläer fortfarande används för manöver och sekundär indikering.

I majoriteten av stationerna är även dLaboratorys analyshårdvara installerad och uppkopplad mot molntjänsten. I utrustningen mäts alla strömmar och spänningar samt brytarlägen. Systemet används idag för utökad analys, både reaktiv och proaktiv. Systemet används även till viss del för att tidigt hitta problem rörande elkvalitet på högspänningssidan.

I de stationer som är utrustade med äldre reläskydd är tillgången till störningsinformation mycket begränsad. Denna begränsning täcks upp med hjälp av att dLaboratorys analyshårdvara monterats i stationen. Detta gör att befintliga reläskydd kan användas längre och reinvesteras när det passar de övriga reinvesteringsplanerna. Systemet gör även att det lättare går att hitta skydd som inte lever upp till dagens standard.

4 Datadrivet arbetssätt – Börläge

I detta avsnitt beskrivs nyttan med ett datadrivet arbetssätt för tillgångsförvaltning i ett energibolag och ett exempel på hur ett sådant arbetssätt kan vara utformat.

4.1 DRIVKRAFTER, VISION OCH STRATEGIER

Nedan listas ett antal exempel på drivkrafter, vision och (funktionella) strategier i ett energibolag.

- Ägarna har, i ägardirektiv till moderföretaget, förklarat att koncernen ”på affärsmässiga grunder ska tillgodose behov av energileveranser och energitjänster med hög leveranssäkerhet, på en hög servicenivå gentemot kunderna och till rimligt pris. Rationell energianvändning, liten miljöpåverkan och skälig kapitalavkastning skall eftersträvas.”
- Vision; ”Energi för framtida generationer” och affärsinriktning pekar ut energibolaget som en ledande aktör på framtidens energimarknad.
- Energibolagens affärs- och verksamhetsutveckling är under ständig omställning i riktning mot en mer tjänste- och informationsbaserad värdekedja där kundens behov av hållbara energilösningar är vägledande.
- Verktyg för investeringsplanering och generell riskhantering har också utvecklats under året för att stödja långsiktig hållbarhet.

4.2 INFORMATIONSTRATEGI

Information är en viktig strategisk tillgång som skapar stora värden i ett energibolag. Med den ökade användningen av digital teknologi blir information allt viktigare för fortsatt innovation och realisering av nya värden.

Verksamheter som effektivt kan hantera information (data) till nya möjligheter kommer med mycket stor sannolikhet att hitta stora fördelar genom identifiering av nya möjligheter och intäktsströmmar, ökad effektivitet samt minskade operativa och finansiella risker. Information (data) spelar en central roll i att stödja den övergripande strategiska inriktningen men även i att formulera nya strategiska ambitioner.

Energibolagen rekommenderas att formulera en informationsstrategi i syfte att etablera en ambition och aktivitetsplan för de närmaste 4 - 5 åren för hur informationen nyttjas, styrs samt hanteras. Det finns ett mycket stort finansiellt värde av att nyttja och hantera information mer effektivt än vad som görs för tillfället.

- Genomföra en analys av nuläget som visar på hur informationsnyttjande, styrning och hantering fungerar. Analysen kan visa på outnyttjad potential kopplat till datakvalitet, informationsutbyte, både internt och externt. Säkerhetsutmaningar mellan behovet av ökat informationsnyttjande och krav kring informationssäkerhet och regelefterlevnad finns.

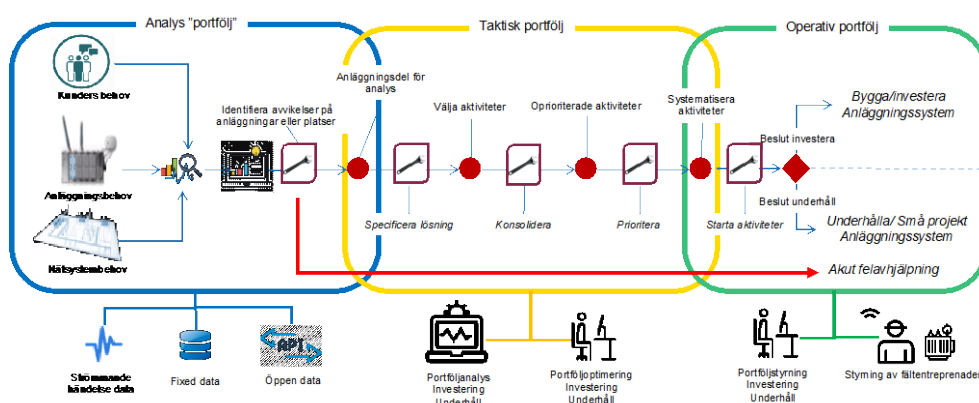
- En funktionell målbild sträcker sig om 4 - 5 års intervaller. Behovet att tydliggöra information som nyckeln till värdeskapande och vikten av att bli ett datadrivet företag är viktigt. Information ska vara nyttjad, känd och tillgänglig och skall vara förvaltat. Därifrån skall de styrande principerna beslutas med syfte att ge företaget en färdväg fram i arbetet mot att uppnå ett datadrivet arbetssätt.

Energibolagens fokusområden i en strategisk funktionell handlingsplan de närmaste 4 – 5 åren för information:

1. Informationsutbyte - Externa gränssnitt med fokus på entreprenör, kund och elmarknad, samt interna samarbetsplattformar
2. Kvalitet anläggning och kund - Insamling och kvalitetssäkring av anläggnings- och kundinformation
3. Process automatisering - Automatisera processer
4. Datadrivet beslutsfattande - Ökad analys av information med uppföljning av värden. Fokus på prediktiv analys inom kundområdet, anläggningsområdet och kapacitetsplanering
5. Informationshantering - Masterdatahantering, informationsarkitektur och standardisering, hantering av stora mängder information, inklusive koppling av datakällor
6. Regelefterlevnad och styrning - Hantering av risker kopplade till regelefterlevnad för exempelvis nätregleringens intäktsram, säkerhetsskyddslagen och GDPR

4.3 DATADRIVET BESLUTFATTANDE

I detta avsnitt beskrivs datadrivet beslutsfattande i en första aktivitet: Kompletta datadrivet underhåll och Performance Asset Management-process (PAM). Figur 6 visar den övergripande strukturen för PAM indelad i tre boxar.



Figur 6: Grafisk beskrivning av PAM-flödet

Blå boxen

Denna del innefattar det som är huvudfokus för de praktiska delarna av TUFF, d.v.s. datainsamling och tillståndsbestämning av anläggningsdelar i en fördelningsstation. Data från flera källor sammanställs, bearbetas och viktas för att skapa information som ger en bild av tillståndet. Detta tillstånd jämförs med ett

börläge för att identifiera avvikelser (GAP-analys) som sedan hanteras i den taktiska portföljen, den gula boxen.

Gula boxen

Den taktiska portföljprocessen, som implementeras som modell i olika verktyg såsom Excel, PBI etc. för att visualisera varje steg samt energibolagets övriga anläggningstillgångar som finns lagrade i olika databaser, typ anläggnings-, mät-, kund-, drift-, databasen m.fl. datakällor.

- Den taktiska portföljen och processen
- Registrering av identifierade avvikelser på anläggningar eller platser (mellan önskat tillstånd och verkligt tillstånd)
- Uppsättning av värderamverk
- Definition och uppsättning av KPIer
- Uppsättning av riskmatrisen
- Verktyg för prioritering av avvikelser på anläggningar eller platser
- Verktyg som möjliggör definition av lösningar för att åtgärda avvikelser på anläggningar eller platser
- Processvisualisering i exempelvis PBI

Gröna boxen

Den operativa portföljen. I denna del finns det datadrivna beslutsfattande som gör att anläggningsaktiviteterna kan optimeras, investering/reinvesteringsprojekt kan väljas att startas upp alternativt tillståndsbaserat underhåll genomföras. Detta leder till ökad operationell effektivitet samt minskade finansiella och operativa risker samt förbättrad elleveranssäkerhet.

Värderamverk: Exempel Energiforsk Strategisk Tillgångsförvaltning

- Energiföretagen behöver i allt större utsträckning kunna dokumentera, styra och kommunicera kring sina tillgångars status, kostnader och framtida behov av underhåll och investeringar
- Nyttan av tillgångsförvaltning? Det främsta syftet med det strategisk tillgångsförvaltning är att stärka värdeskapandet i förvaltningsinriktade företag. Mindre företag och kommunala och statliga bolag kan ha stor nytta av standarden ISO 55000, i huvudsak:
 - a. De som överväger hur de ska öka värdeskapandet från sin organisations tillgångar
 - b. De som ägnar sig åt att upprätta. Införa och förbättra ett ledningssystem för tillgångar
 - c. De som ägnar sig åt att planera, bygga/konstruera, införa och utvärdera aktiviteter rörande förvaltning av tillgångar

5 Hårdvara och analys

Detta avsnitt beskriver arbetet kring de mer praktiska delarna kring tillståndsbestämningen i projektet med start i avgränsning kring urvalet av anläggningsdelar, vilka signaler som behöver mätas för dessa och hur datainsamlingen ska genomföras.

För mer information om befintligt datainsamlingssystem som har nyttjats som bas för projektets datainsamling, se Bilaga A:.

5.1 VAL AV ANLÄGGNINGSDELAR

Ett av syftena med projektet är att lyfta fram ett antal anläggningsdelar som kan vara lämpliga att välja bland för att tillämpa tillståndsbaserat underhåll på.

För urvalet har bl.a. IEC-rapport TR 61850-90-3 Ed. 1.0 (IEC, 2016) legat till grund. Rapporten listar ett antal exempel på anläggningsdelar och vilka signaler som bör mätas men går inte in i detalj på databearbetningen. Eftersom denna rapport föreslår enhetliga beteckningar på signalerna och troligen kommer lyftas in i 61850-standarden längre fram är det en lämplig grund att ta hänsyn till. Objekt som har valts ut att studera inom projektet beskrivs i nedanstående avsnitt.

5.1.1 Brytare inkl. manöverdon

Det stora antalet brytare sett till hela stationsbeståndet ger en hög besparingspotential vad det gäller underhåll (möjliggör att enbart utföra underhåll på de individer som behöver det) och möjlighet att fånga upp extremfall innan de leder till haveri.

En brytares slitage är mycket beroende på antal operationer (eller avsaknad därav, t.ex. kan fett kan härska och bli stelt så att brytaren inte fungerar optimalt) och under vilka förhållanden (omgivning, storleken på den ström som ska brytas osv.). En brytare har dessutom många rörliga delar och många signaler/datapunkter som kan vara svåra att hålla reda på manuellt (t.ex. fjäderspänning, kontaktslitage, gastryck och brytartid).

Sammanfattad motivering:

- Det finns många individer i varje fördelningsstation
- Slitage är mycket olika för varje individ beroende på yttre faktorer
- Flera av signalerna (t.ex. ström och brytarläge) finns redan tillgängligt i flera stationer

Brytartilverkarna säljer extrautrustning för att mäta tillståndsdata, dock bör ett fristående system vara mer flexibelt och informationen från sådan proprietär utrustning måste också samlas in och sammanställas.

5.1.2 Lindningskopplare

Lindningskopplaren är en komplex komponent som därför ofta behandlas separat från transformatorn som den är monterad på. Lindningskopplaren manövreras i

många fall förhållandevis ofta jämfört med brytare (typiskt några gånger på morgonen när lasten ökar och några gånger på eftermiddagen/kvällen när lasten minskar). Kontakterna slits precis som i fallet med brytare olika mycket beroende på strömmen vid kopplingstillfället. I normala fall ska en lindningskopplare dock enbart bryta lastströmmar, inte felströmmar.

Eftersom kopplingarna sker i olja förorenas oljan kontinuerligt och måste därför renas. Reningssystemet är därmed en delkomponent som också kan vara lämplig att övervaka.

Vilka lindningskopparlägen som har använts och hur länge kan också vara av intresse. Detta eftersom oanvända lindningskopparlägen kan få oxiderade poler, därav bör lindningskopplaren manövreras genom hela spannet regelbundet.

Sammanfattad motivering:

- Komplex komponent som används förhållandevis mycket
- Stora konsekvenser vid haveri
- Ytterlighetsfall är svåra att hålla reda på manuellt

Möjligheten till underhåll är begränsad eftersom transformatorn ska kunna tas ur drift (ev. inte alls möjligt under höglastsäsong).

5.1.3 LS-system

Likspänningssystemet i en fördelningsstation är en viktig del för att skydds- och kontrollutrustning ska fungera korrekt. Huvudkomponenterna såsom batterier och likriktare har idag ofta olika typer av övervakning och larm vid avvikelser, men hanteringen är oftast mer av det reaktiva slaget. Genom att analysera trender på mätvärden kan befintliga signaler/mätvärden nyttjas för mer proaktiva/planerbara åtgärder.

I takt med att äldre stationer har moderniserats med t.ex. nyare reläskydd finns risk att LS-systemet blir underdimensionerat. Idag upptäcks detta hos Krafringen ofta vid funktionskontroll av brytare genom att nödbelysningen svajar, vilket indikerar att LS-systemet inte levererar den kapacitet som är önskvärd.

Även extrema situationer (t.ex. när många brytare manövreras samtidigt eller inom kort tid och därmed lägger mer belastning på hjälpkraftmatningen) kan fångas upp automatiskt.

Sammanfattad motivering:

- Likspänningssystemet är viktigt för hela stationens funktion
- Brister är ofta svåra att få vetskap om innan det är akut
- Begränsad mängd signaler vilket bör innebära förhållandevis enkel implementation som samtidigt ger stort värde

5.2 VAL AV SIGNALER/EGENSKAPER

För varje typ av komponent som ska tillståndsbestämmas behöver egenskaperna som behövs för tillståndsbestämningen fastställas. Därefter måste de signaler som

behöver mätas för att kunna beräkna de fastställda egenskaperna också identifieras. Även här föreslår IEC-rapporten ett stort antal signaler/egenskaper som kan vara lämpliga att mäta.

Ett urval av dessa har gjorts med hänsyn till vilka givare och signaler som finns tillgängliga och vilka signaler som enkelt kan kompletteras med i befintliga installationer. Vid nyanskaffning av komponenter är det lättare att specificera vilka signaler det ska finnas givare för och förenat med mycket lägre kostnader. En del storheter är förenat med mycket omfattande arbete/kostnad att komplettera med mätning av i efterhand (t.ex. lindningstemperatur på en krafttransformator).

Givare för strömmätning

I kommande avsnitt beskrivs vilka signaler som beslutades vara nödvändiga och rimliga att mäta. Flera av dessa signaler var likströmmar, vilket föranledde att en lämplig givare för detta behövde införskaffas.



Figur 7: Strömgivare installerad i LS-centralen för mätning av ström från likriktare

Valet föll på öppningsbara strömgivare för att underlätta installation, och utsignalen (en spänning i proportion till den uppmätta strömmen) var av samma typ som befintliga strömgivare som används i insamlingssystemet (se Bilaga A:). Detta innebär att endast mindre anpassning av mjukvaran för att kunna hantera denna typ av givare krävdes, se avsnitt 5.4.

För teknisk information om strömgivarna, se Bilaga B:. Figur 7 visar installerad strömgivare för mätning av ström till likriktare och Figur 8 visar strömgivare installerad för att mäta strömmen till brytarens fjäderspänningsmotor.



Figur 8: Strömgivare installerad i lågspänningsutrymmet i ställverksfack för att mäta strömmen till brytarens fjäderspänningsmotor

Övriga signaler

Digitala (binära) signaler från stationernas larmtabläer kunde anslutas direkt till befintliga digitala ingångar.

I övrigt mättes redan de fasströmmar som behövs för tillståndsanalysen (genomgående ström för brytare och lindningskopplare).

För de tillkommande mätningarna av spänning i LS-systemen kunde befintlig spänningsmätningssmetod och ingångar också användas.

5.2.1 Brytare

Följande signaler i Tabell 2 identifierades som lämpliga att mäta för brytare och möjliga att implementera inom ramen för projektet:

Signal	Typ	Användning/behandling	Kommentar
Brytarläge	Digital (till/från)	• Trigga inspelning av ström vid frånslag • Ihop med tripsignal för att mäta mekanisk bryartid • Räkna antal till/frånslag • Räkna tid till/frånslagen	
Trip/frånmanöversignal	Digital	• Ihop med ström för att mäta bryartid • Ihop med brytarläge för att mäta mekanisk bryartid	
Genomgående fasströmmar	Analog	• Beräkna slitage på brytarkontakter • Beräkna påfrestning på brytaren • Ihop med tripsignal för att beräkna elektrisk bryartid	
Gasträck	Analog	• Analysera förändring och larma tidigare än fast larmnivå	Om tillgänglig
Ström till fjäderspänningsmotor	Analog	• Mäta strömstorlek • Mäta gångtid (enskild/total) • Mäta antal motoraktiveringar/intervall • Mäta gångtid som ej är i samband med brytarmanöver	
Lagrad energi i fjäder	Analog	• Varna vid lågt värde	Om tillgänglig

Tabell 2: Identifierade signaler för brytare

Vid nyanskaffning av brytare bör möjlighet att mäta gasträck (gäller SF6-brytare) alt. undertryck (gäller vakuumbrytare) i brytkammaren med analog sensor undersökas, eftersom detta hade kunnat ge värdefull information om läckage i ett tidigt skede, långt innan en kontakt för lågt gasträck/undertryck aktiverar en larmsignal.

IEC-rapporten (IEC, 2016) föreslår också att mäta vridmomentet för fjäderspänningsmotorns axel. Denna signal borde dock vara mindre viktig eftersom strömmen/effekten till fjäderspänningsmotorn är enkel att mäta och denna ström/effekt ökar med ökat vridmoment, så genom strömmätningen mäts indirekt denna storhet.

5.2.2 Lindningskopplare

Signalerna som i första hand bör mätas angående lindningskopplaren listas i Tabell 3:

Signal	Typ	Användning/behandling	Kommentar
Lindningskopplarläge	Analog (för omtolkning till digitalt läge)	• Trigga inspelning av ström vid manöver • Registrering av vilka LK-lägen som använts • Registrering av antal LK-manövrar	
Genomgående fasströmmar	Analog	• Beräkna slitage på huvudkontakter och uttagskontakter • Beräkna påfrestning på lindningskopplaren	
Ström till motor	Analog	• Mäta strömstorlek • Mäta gångtid	
Vridmoment motormanöver	Analog	• Analysera förändring • Varna vid högt värde	Om tillgänglig
Oljetemperatur	Analog	• Analysera normalt beteende, varna vid avvikelse • Varna vid högt värde	Om tillgänglig
Oljenivå	Analog	• Analysera förändring och larma tidigare än fast nivå	Om tillgänglig

Tabell 3: Identifierade signaler för lindningskopplare

I likhet med brytare är genomgångsströmmen vid koppling intressant att mäta eftersom detta påverkar slitaget på kontakterna, likaså totala antalet manövrar. Därtill tillkommer vilka lindningskopplarlägen som har använts. Här är även effektförbrukning och gångtid storheter att övervaka för att kunna upptäcka avvikelser som tyder på försämrad funktion.

Oljetemperatur och -nivå saknades tillgängliga givare för så dessa har inte kunnat mätas i projektet.

5.2.3 LS-system

Följande signaler i Tabell 4 identifierades som viktiga för övervakning av LS-systemet:

Signal	Typ	Användning/behandling	Kommentar
Spänning LS	Analog	• Analysera förändring och larma tidigare än fast larmnivå • Mäta spänningsfall vid belastningstoppar • Mäta spänningen vid enbart batteridrift	
Avbrott matning likriktare	Digital	• Trigga mätning vid enbart batteridrift	Om tillgänglig, annars trigga på nollström till likriktare

Signal	Typ	Användning/behandling	Kommentar
Jordfel LS	Digital	• Räkna förekomster/tid	
Min/maxspänning LS	Digital	• Räkna förekomster/tid	
Belastning/ström från likriktare	Analog	• Mäta nivå/belastning och nollström	

Tabell 4: Identifierade signaler för LS-system

Spänningen övervakas, både över tid och högupplöst i samband med belastning på LS-systemet (t.ex. vid brytarmanövrar, lindningskopplarrörelse och annat som ger snabbt eller högt effektuttag).

Strömmen till likriktaren övervakas, både för att kunna kontrollera ev. överlastsituationer men även för att detektera VS-bortfall och därmed att LS-systemet drivs av batterierna. Detta är ett exempel på att en mätsignal som först framstår som nödvändig att mäta (i detta fall VS-spänning för att kunna trigga vid nollspänning/batteridrift) kan ersättas med en annan som kan vara enklare att mäta.

Strömmen till/från batteriet är också en storhet som kan vara värdefull att mäta men p.g.a. fysiska förutsättningar i stationerna (kapsling/beröringsskydd) lät denna ström sig inte mätas på ett enkelt sätt.

5.3 IMPLEMENTATION I STATIONER

Tre stationer valdes ut för implementering av mätinsamling inom ramen för projektet. Valet gjordes dels av praktiska skäl (geografisk placering för att underlätta installation osv.), dels för att få variation i ålder på komponenter och byggnadssätt.

5.3.1 Station 1

Station 1 är en förhållandevis nybyggd 20/10 kV fördelningsstation med två transformeringar och ett 10-tal utgående ledningsfack. Transformatorerna saknar dock lindningskopplare då spänningsreglering sker i matande station på 20 kV.

LS-systemets grupper har gemensamt batteri och likriktare. Bortfall av hjälpspänning och därmed övergång till batteridrift detekteras genom att övervaka strömmen från likriktarna och trigga när den faller till noll.

Denna station har stationsbuss enligt IEC 61850 för förmedling av signaler från reläskydden till RTU. Målsättningen var att nyttja denna för att hämta in signaler till projektet, detta har dock p.g.a. resurs- och tidsbrist inte kunnat genomföras inom ramen för projektet. Se avsnitt 6.3.1 för mer information.

5.3.2 Station 2

Station 2 är en större och något äldre 130/10 kV fördelningsstation med två transformeringar och c:a 20 utgående fack.

LS-systemet är fullt uppdelat i SUB1 och SUB2 med separata batterier och likriktare. Bortfall av hjälpspänning och därmed övergång till batteridrift

detekteras genom att övervaka strömmen från likriktarna och trigga när den faller till noll.

Motormanövern för lindningskopplarna i denna station är matade med växelspanning direkt från central ute i transformatorbåset, varför det inte utan oproportionerligt mycket arbete var möjligt att mäta denna storhet inom ramen för projektet. LK-läget och dess förändring ihop med genomgående ström för transformatorn mäts dock för analys av lindningskopplarens tillstånd.

5.3.3 Station 3A

Station 3A är av liknande ålder och utformning som station 2 men är ytterligare något större med c:a 30 utgående fack och tre transformeringar 130/10 kV.

Även här är LS-systemet helt uppdelat i SUB1 och SUB2, och för två av transformatorerna är motormanövern för lindningskopplaren matad direkt från växelspanning med svårighet att mäta strömmen. Bortfall av hjälpspanning och därmed övergång till batteridrift detekteras genom att övervaka strömmen från likriktarna och trigga när den faller till noll.

5.3.4 Station 3B

Station 3B är en separat ställverksbyggnad som är relativt nybyggd i station 3A. Denna del av stationen är i det närmaste att betrakta som en egen station då denna del förutom egen byggnad även har ett eget LS-system (ett batteri och en likriktare). I övrigt består stationen av ett transformatorfack och c:a 10 utgående ledningsfack.

Denna station är fullt bestyckad med samtliga signaler utvalda inom projektet. Lindningskopplarmotorn drivs av LS-systemet och övervakas.

Bortfall av hjälpspanning och därmed övergång till batteridrift detekteras genom att övervaka strömmen från likriktarna och trigga när den faller till noll.

5.4 ANPASSNING AV MJUKVARA I INSAMLINGSSYSTEMET

För att kunna samla in den tillkommande datamängden för tillståndsbestämning, dels från nya givare, dels från befintliga givare på ett format som passar syftet krävdes ett antal anpassningar av befintligt mätinsamlingssystem. Kravspecifikationen utgick från de behov som sattes upp för resp. komponent (se avsnitt 5.1).

De nya strömgivarna var snarlika i funktion som befintliga (hallellement som ger en spänning proportionell mot uppmätt ström som utsignal) men behövde en mindre anpassning för att hanteras korrekt. Eftersom likström skulle mätas behövde en möjlighet att kompensera för ev. DC-offset i givarens signal implementeras.

Förutom att spela in snabba förlopp med hög upplösning utökades möjligheterna att mäta och spara mätvärden med 10 s resp. 10 min upplösning och möjlighet att händelsebaserat växla mellan dessa upplösningar.

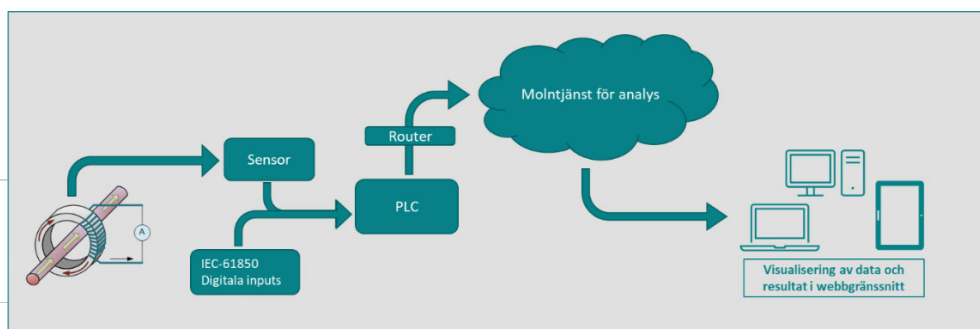
Vidare behandling och analys av uppmätt data sker i nästa steg och inte nödvändigtvis i datainsamlingssystemets hårdvara i stationen.

5.5 INFORMATIONSBEHANDLING

5.5.1 Datainsamling

Principen för datainsamling bygger på att den installerade hårdvaran kontinuerligt letar efter avvikelser från normala driftförhållanden. Definitionen för vad en avvikelse är varierar beroende på vilken slags komponent det är frågan om, och vidare vilken egenskap hos komponenten som övervakas. I sin enklaste form är en avvikelse en digital signal som signalerar en tillståndsförändring, exempelvis en brytare som slås från eller till, men det kan även vara exempelvis överskridna gränsvärden för bryttid.

Så fort en avvikelse, eller i förekommande fall en manöver, detekteras påbörjas en inspelning från samtliga installerade sensorer som varar tills det att antingen det inte längre finns en avvikelse eller tills manövern är avslutad. Varje inspelning innehåller således flertalet tidsserier (en tidsserie per kanal) med datapunkter som paketeras i Comtradeformat och skickas vidare till dLabs analystjänst i molnet. Figur 9 nedan visar ett konceptuellt flödesschema från datainsamling till presentation av resultat via analystjänsten.



Figur 9: Konceptuellt flödesschema över insamlings- och analysprocessen

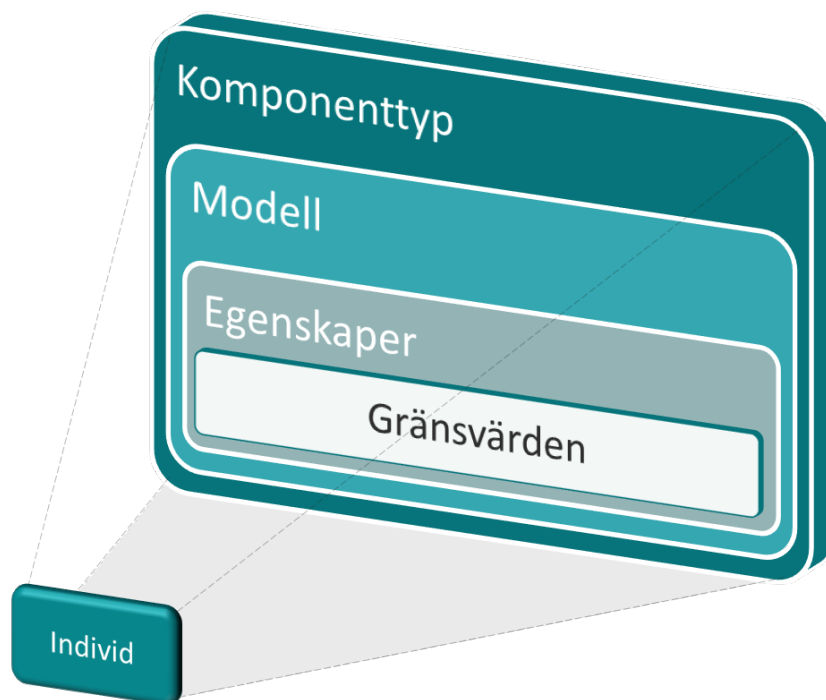
5.5.2 Datamodell

Inom ramen för detta projekt har tre olika sorters komponenter valts ut för övervakning och analys av tillstånd, se avsnitt 5.1. För var och en av dessa tre komponenttyper har i sin tur ett antal egenskaper valts ut, se tabeller i avsnitt 5.2.

Fler komponenttyper och fler egenskaper för respektive komponenttyp kan förstås bli aktuella för övervakning och analys, varför en databasstruktur skapats som är generisk nog för att kunna tillgodose även framtida behov.

I databasen konfigureras de aktuella komponenttyperna upp. Varje komponenttyp är tilldelade ett antal möjliga egenskaper som är mätbara, och varje egenskap kan tilldelas ett eller flera gränsvärden. Gränsvärden kan till exempel sättas så att de motsvarar eventuella tröskelvärden i datablad. Detta möjliggör att exempelvis övervaka flera olika sorters brytare i en station med dels olika tillgängliga signaler att koppla till egenskaper, dels olika prestandakrav att koppla till gränsvärden.

Då en station och dess komponenter som ska mätas skannas av representeras varje enskilt objekt som en individ i databasen. En enskild individ, eller en grupp sådana om så önskas, mappas sedan ihop med den komponenttyp och den modell som väljs. En enskild individ kan sedan konfigureras att få andra egenskaper och gränsvärden än de "standardvärden" som modellen den tillhör har. nedan illustrerar hur en individ representeras i datamodellen.



Figur 10: Illustration över datamodell för en godtycklig individ (komponent eller anläggningsdel)

5.5.3 Analys

I analys tjänsten finns en analysfunktion för varje egenskap. När den inspelade datan hämtas in till analys tjänsten i molnet identifieras vilken data som finns tillgänglig och körs sedan igenom relevanta analysfunktioner.

Alla resultat som erhålls (oavsett om det är en detekterad manöver eller ett framräknat värde) sparas undan i en resultattabell i databasen, med information om huruvida ett eventuellt gränsvärde överskridits eller ej.

5.6 VISUALISERING

I detta projekt har QlikSense valts som verktyg för visualisering av resultaten, men då all data lagras i en strukturerad SQL-databas kan i stort sett vilken visualiseringsplattform som helst väljas.

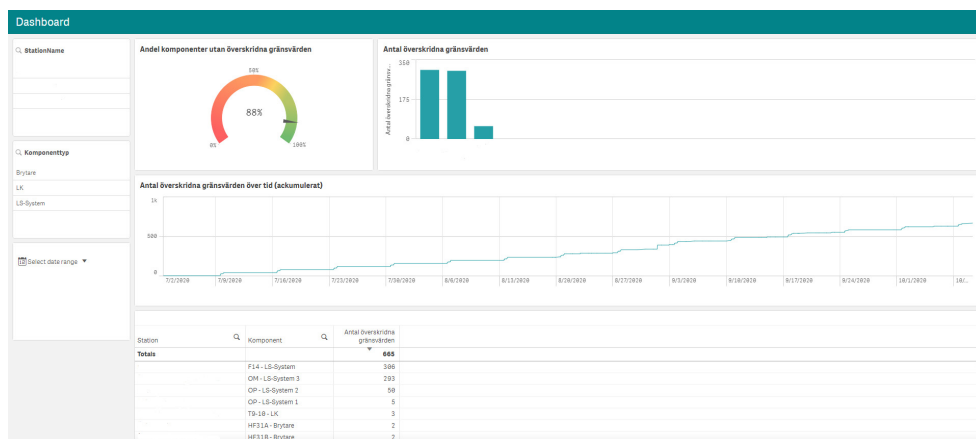
I QlikSense har fyra olika vyer skapats – en vy för varje komponenttyp (brytare, LS-system och lindningskopplare) samt en vy för övergripande information.

Resultaten presenteras på ett antal olika sätt beroende vad för slags egenskap som analyserats. Dessa kommer redogöras för under respektive underavsnitt nedan. För en sammanfattning av vilka egenskaper som analyseras för de olika komponenttyperna, se avsnitt 5.2.

En styrka med QlikSense är att det är ett kraftfullt verktyg för att filtrera och sortera på olika parametrar som ska visualiseras. Denna potential är genomgående utnyttjad i detta projekt, så att det i de olika vyerna kan filtreras ut vilka eller vilken station som ska studeras och vidare ner till vilken enskild individ. Val av information och resultat som önskas åskådliggöras blir därmed mycket dynamiskt. Det finns förstås även möjlighet att sätta ett datumintervall som information ska åskådliggöras för.

5.6.1 Sammanfattande vy

I denna vy ges en övergripande bild av tillståndet på stationsbeståndet, se . Fokus ligger på olika sätt att visualisera antalet överskridna gränsvärden ur ett stationsperspektiv, med både faktiskt antal (som "topplista" per komponent, stapeldiagram per station och en övergripande trendgraf) och en mer relativ indikator som visar andelen komponenter utan överskridna gränsvärden. Denna sistnämnda återfinns även i de komponentspecifika vyerna.



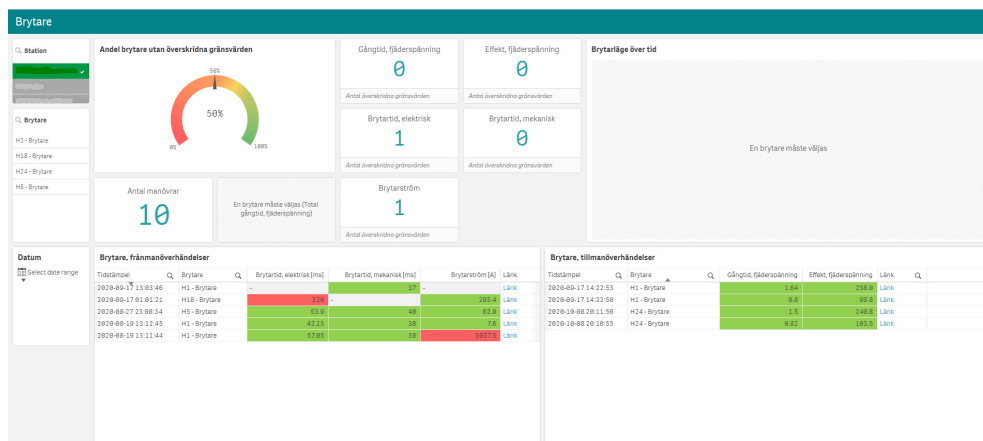
Figur 11: Sammanfattande vy

5.6.2 Brytare

För brytare finns två händelser som startar inspelning av data och sedermera analys av denna data – frånslagsmanövrar samt tillslagsmanövrar. Varje sådan händelse presenteras på en rad med information om station, brytare, tidsstämpel, analysresultat samt länk till dLaboratorys analysida för händelsen där bl. a. Comtrade-filer går att studera närmare.

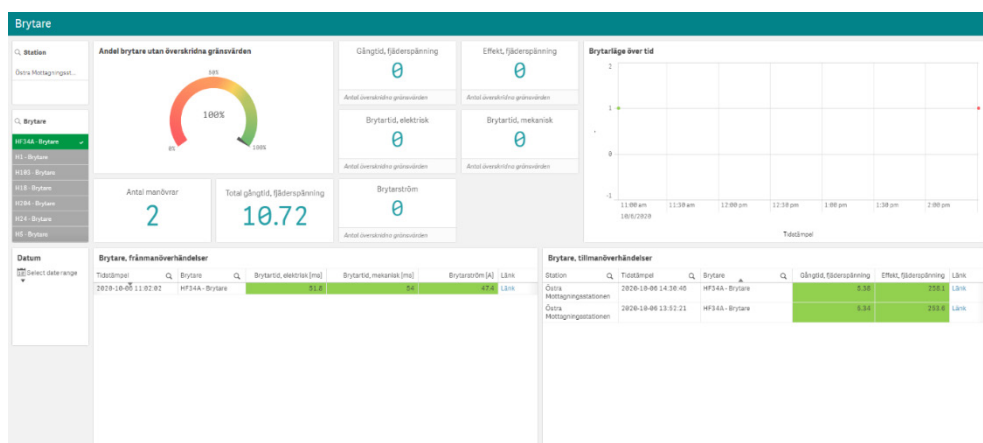
- För frånslagsmanövrar presenteras resultat för elektrisk och mekanisk bryttartid samt effektivvärde för strömgenomgång vid bryttartillfället.
- För tillslagsmanövrar presenteras fjäderspänningstid- och effekt.

Om ett sådant resultat överskrider ett gränsvärde (givet att ett gränsvärde är inställt) färgas resultatet rött, annars grönt.



Figur 12: Vy för brytare

I vyn finns även räknare, vilket är de mindre rutorna med tal i sig som syns uppe till vänster i Figur 12. Dessa räknar antalet förekomster av en given händelse. Fem av dessa är räknare för överskridna gränsvärden, och dessa är knutna till de egenskaper som övervakas. De andra två, *Antal manövrar* och *Total gångtid, fjäderspänning* kan ses som en slags egenskap i sig. Notera även att för den totala gångtiden för fjäderspänning måste en brytare väljas, se Figur 13.



Figur 13: Vy för brytare där resultatet för en enskild brytare visas

Om en brytare väljs möjliggörs även att se brytarläge över tid samt trendkurva över ackumulerade manövrar över tid.

5.6.3 LS-system

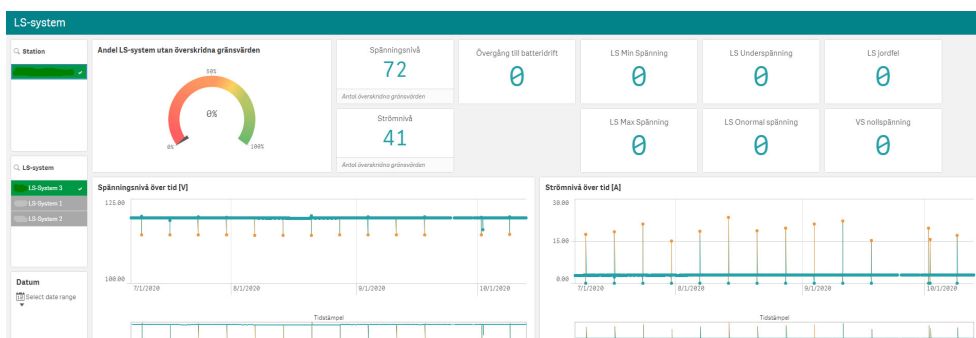
För LS-system finns två egenskaper vars data samlas in genom kontinuerlig mätning, till skillnad från händelsebaserad inspelning. Dessa är ström- och spänningsnivå och de presenteras som varsin graf. Upplösningen är aggregerade 10-minuters värden, förutom då ett gränsvärde överskrids då upplösningen ökar till aggregerade 10-sekundersvärden istället. Se Figur 14 för ett exempel på detta.

Strömmen mäts vid likriktaren, varför dessa värden är ett mått på likriktarlasten i systemet. Detta betyder även att analysen kan avgöra när systemet är på batteridrift (den uppmätta strömmen är då noll).



Figur 14: Grafer för spännings- och strömnivå

Ovanför dessa grafer finns ett antal räknare, se Figur 15. Flertalet av dem är räknare över antalet gånger ett givet larm signalerat. Det finns även två räknare för överskridna gränsvärden för spännings- respektive strömnivå.



Figur 15: Vy för LS-system

5.6.4 Lindningskopplare

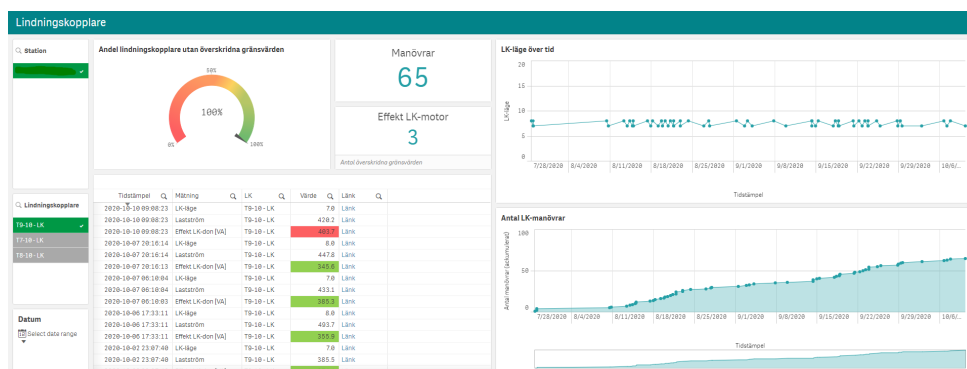
För lindningskopplare finns en händelse som startar inspelning och analys av data, nämligen manöver för byte av lindningskopplarläge. Varje sådan händelse presenteras på en rad med information om station, lindningskopplare, tidsstämpel, analysresultat samt länk till analysida.

Resultat som presenteras är vilket läge lindningskopplaren bytt till, effektivvärde för ström vid manövertillfället samt förbrukad effekt av manöverdonet.

Räknare som presenteras är antal manövrar (en egenskap i sig) och antal överskridna gränsvärden för motoreffekt.

Den övre grafen är en historik över vilka lägen lindningskopplaren befunnit sig och den undre grafen är en trendkurva över antalet manövrar över tid.

Se Figur 16 för hur vyn för lindningskopplare ser ut.



Figur 16: Vy för lindningskopplare

6 Resultat/slutsatser

6.1 ALLMÄNT

Projektets sammanfallande med Covid-19 har självfallet påverkat arbetet, främst med förseningar i leveranser men också påverkan på förutsättningar för möten och workshops kopplat till verksamhetsdelen.

Att mäta fler signaler i en fördelningsstation i syfte att tillämpa tillståndsbaserat underhåll har stor potential, bara genom detta inledande test märks att mycket information tillgängliggörs som idag inte finns eller är svåråtkomlig. Ett konkret exempel på detta är antal brytarmanövrar som i teorin finns loggade i SCADA-systemet men som kan vara omfattande att exportera, kvalitetssäkra och samköra med andra uppgifter.

Förutsättningar

Vid workshoparbetet med att formulera nuläge och det önskade börsläget för ett mer datadrivet arbetssätt framkom en rad konkreta områden där digitalisering och ökad kunskap om nuvarande tillstånd och möjlighet att ta fram trender för tillståndsförändring hade bidragit positivt till verksamheten. Utöver detta identifierades flera premisser som behöver tas i beaktande i arbetet.

Underhållsbudgeten för ett nätbolag sätts indirekt av regleringsmodellen som bestämmer hur mycket medel som får läggas på underhåll med full kostnadstäckning. Det kan tyckas att det då i regleringsmodellen finns ett svagare incitament att minska underhållskostnaderna men prioritering är fortfarande viktigt, och en del av de potentiella vinsterna med tillståndsbaserat underhåll är att även minska kostnaderna för akut felavhjälpning som är en direkt belastar resultatet.

En annan viktig aspekt är att investerings- och underhållsprocesserna, även om de till synes är sammankopplade på flera sätt, har vitt skilda tidskonstanter. Reinvesteringsprojekt har en tidshorisont på i storleksordningen två år från framtagande till slutfört utförande medan underhållsprocessen har en tidskonstant på ner till två veckor för mer brådskande underhållsåtgärder. Denna tidsskillnad är viktig att ta hänsyn till i utformningen av tillståndsbaserade processer eftersom resultatet av ett beslut då av naturliga skäl dröjer.

Urval av identifierade konkreta potentiella nyttoområden

Vid beställning av reinvesteringsåtgärder med god framförhållning ges ofta rabatt från utföraren eftersom detta underlättar resursplanering. Detta ger direkt en tydligt mätbar besparing och dessa beslut underlättas av ökad vetskap om anläggningarnas tillstånd.

Den ekonomiska totalkostnaden för en komponent blir enklare att beräkna med mer data tillgänglig, exempelvis kan ett utbyte av en komponent visa sig vara lönsamt att göra innan den ekonomiska livslängden är uppnådd. Motiveringen till ett sådant förfarande måste i dagsläget vara mycket stark eftersom utrangeringskostnaden för att byta ut en komponent innan den är avskriven är så

konkret samtidigt som bilden av totalkostnaden är svår att beräkna i dagsläget och dessutom kanske märks först på sikt.

Även andra aspekter än ekonomiska blir lättare att väga in med datadrivet arbetssätt såsom miljömässighet. Ett konkret exempel är äldre stolpstationer i vattenskyddsområde som inte är skyddade från oljeläckage till omgivningen. Med tillståndsdata för dessa stationer, nätet runtomkring och en invägning av miljöpåverkan kan beslut tas i rätt tid om utbyte av stationerna och ev. samordning med linbyte eller annan åtgärd i nätet i området som lämpar sig rent praktiskt att utföra samtidigt.

6.2 HÅRDVARA

Installation i befintliga anläggningar har både inneburit utmaningar och i vissa avseenden oväntat enkla förfaranden. Den stora delen har dock varit att förhålla sig till vilka signaler som har funnits tillgängliga och att värdera arbetsinsatsen det innebär att kunna mäta en del signaler som teoretiskt finns men som är omständliga att komma åt rent fysiskt i stationen.

En ny anläggning ger stora möjligheter att förbereda för mätningar för tillståndsbaserat underhåll, även om en exakt plan inte är fastställd. Bara genom att de givare och andra datakällor som finns tillgängliga förbereds för ev. avläsning genom att trådas in till en plint i kontrollrummet ger stora fördelar med liten insats vid byggnationen.

6.2.1 Dokumentation

Generellt är erfarenheten från projektet att ju mer väldokumenterad anläggningen är desto enklare går det att inventera vilka signaler som finns tillgängliga, var de troligen kan mätas och vad som krävs för att genomföra installationen redan vid studie av ritningar och kretsscheman.

Syn på plats är dock helt nödvändigt för att fånga upp avvikelser i dokumentationen och fastställa sådant som inte framgår ens av den mest detaljerade dokumentation.

Det kan även vara så att detaljer som är viktiga för datainhämtningen i detta syfte är odokumenterade eftersom denna information inte har varit viktig för anläggningen vid drift och underhåll tidigare. Det behöver alltså inte röra sig om feldokumentation eller saknad dokumentation som borde funnits.

Ett konkret exempel är mätvärdesomvandlare som skapar en mA-signal för lindningskopplarläget. Denna signal används idag oftast till ett analogt visarinstrument på kontrolltavlan i stationen samt till RTU:n för att förmedla lindningskopplarläge till SCADA-systemet. Exakt hur dessa mätvärdesomvandlare är konfigurerade är sällan dokumenterat någonstans eftersom RTU:n har ställts in att tolka signalen en gång vid driftsättning och visarinstrumentet i stationen kräver ingen närmare injustering (det är en enkel amperemeter med annan skala på mätartavlan). När denna signal ska tas in i ett nytt system och tolkas hade dokumentation om steglängd och ev. dödband i början och slutet av signalområdet varit värdefullt för att spara tid och minska inkörningstiden.

6.3 MJUKVARA

6.3.1 IEC 61850

Den största avvikelsen från den ursprungliga målsättningen är att datainhämtning via IEC1850 stationsbuss tyvärr inte har kunnat testas skarpt inom projektet. Station 1 är utrustad med stationsbuss just i detta syfte, men befintlig konfigurerings visade sig inte vara förenlig med den funktionalitet som hade behövts för datainhämtningen. Detta ihop med att det hade tagit för stora resurser i anspråk att åtgärda inom projektets ramar gjorde att datainhämtning via stationsbussen inte kunde genomföras.

Grundproblemet är att rapporterna som reläskydden på bussen i den aktuella stationen genererar som RTU:n sedan prenumererar på inte innehåller den data som är intressant ur projektets perspektiv (tripsignal och brytarläge). Dessutom genererar samtliga reläskydd en rapport var tredje sekund vilket också innebar problem eftersom det blir stora datamängden och det främst är förändringen i signalernas tillstånd som är av intresse. Det hade krävts omfattande arbete med omkonfigurerings av reläskydden för att få ut den önskade informationen samtidigt som funktionaliteten kring rapportering till RTU:n hade bibehållits.

I övrigt angående att använda IED:er anslutna till stationsbuss som datakälla underlättar det om specifikationen för vad som är av intresse att mäta finns tillgänglig vid installation/konfiguration av IED:erna så att rätt information kan läggas in i rapporterna från början, och ev. att mer än en rapport upprättas för att tillgodose alla behov. Ett alternativ till att upprätta en rapport är att skicka ut information som ett GOOSE-meddelande eftersom detta då kan ske när en avvikelse inträffar eller ett mätvärde ändras istället för periodiskt.

Värt att ha i åtanke är att signalen av intresse måste finnas ansluten till någon av IED:erna på stationsbussen för att kunna hämtas den vägen. Det finns dessutom inga samplade värden att tillgå, utan uteslutande bearbetade data i någon form (analog/digitala).

Återigen är specifikation av vad som ska mätas inför upphandling, konfiguration, installation och idrifttagning avgörande för vad som finns tillgängligt. Det finns inget "facit" eller lista över obligatoriska data som ska finnas tillgänglig på stationsbussen.

Självfallet är det en fördel att nyttja den data som finns, men det kan också bli begränsande om användningen av stationsbussen och dess anslutna IED:er inte innefattade inhämtning för data för CBM när specifikationen fastställdes.

Eftersom det finns en rad övriga signaler som också måste mätas som inte kan hämtas på stationsbussen så är det alltså ingen allenaåtgärdande lösning för CBM-datainhämtning, snarare ett komplement som sparar trådning i stationen om den efterfrågade datan är möjlig att hämta den vägen.

6.3.2 Efterbehandling av data

Gränsdragningen mellan ett system för att hämta in och sedan förädla data så att den är redo att föra in i ett CBM-system och att göra mer långtgående bestämningar av tillståndet är inte uppenbar, och måste ägnas en del eftertanke. Detta för att undvika att onödigt mycket anläggningsinformation måste delas mellan olika system och i värsta fall dubbeldokumenteras.

Viss anläggningsinformation är oundviklig att tillgängliggöra för insamlingssystemet så att koppling av data till rätt individ kan göras (se avsnitt 6.3.3) men att utföra hela processen från mätvärde till fastställt tillstånd i samma system bör inte vara optimal väg att gå.

6.3.3 Konkreta observationer

En generell iakttagelse är att ett kvartal som mätningarna har pågått i detta projekt är förhållandevis kort tid för att bygga upp en databas av händelser och mätvärden för tillståndsbestämning. Trots detta finns ett antal konkreta observationer kring olika komponenters tillstånd värda att lyfta fram.

Avvikelse fjäderspänning brytare H31 i Station 3A

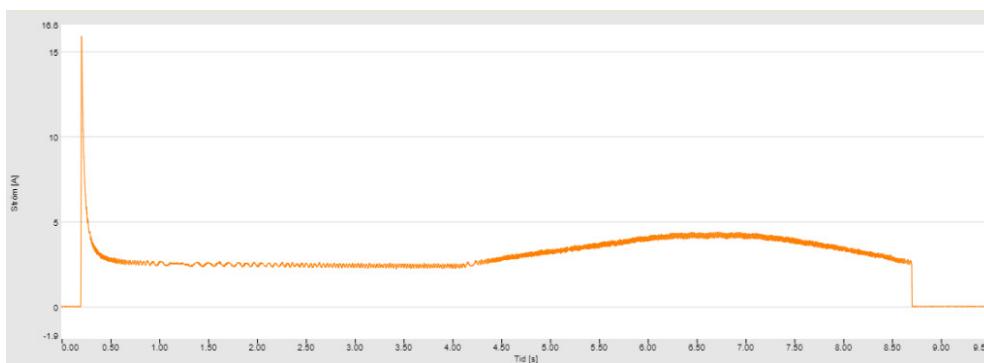
En avvikelse som noterats är att fjäderspänningsmotorn till en av brytarna i station 3A tycks dra mer effekt och ha en längre gångtid än övriga brytare av samma typ i beståndet. Gränsvärdet för gångtid är inställt på 6 sekunder, och som synes i Figur 17 har de flesta fjäderspänningsmotorerna en gångtid på c:a 4–5 sekunder. Motorn till fjädern i brytare H31 har en gångtid på över 8 sekunder vid de fyra tillslagsmanövrar som registrerats under mätperioden.

Brytare, tillmanöverhändelser

Tidstämpel	Brytare	Gångtid, fjäderspänning	Effekt, fjäderspänning	Länk
2020-10-05 14:48:21	HF31A - Brytare	8.6	379.1	Länk
2020-10-05 11:40:34	HF31A - Brytare	8.5	370.0	Länk
2020-10-07 08:26:41	HF31B - Brytare	8.4	367.5	Länk
2020-10-06 12:47:09	HF31B - Brytare	8.38	352.1	Länk
2020-10-12 11:39:52	HF32A - Brytare	5.12	174.5	Länk
2020-10-12 15:22:45	HF32A - Brytare	5.06	174.5	Länk
2020-10-12 11:45:44	HF32A - Brytare	5.06	172.7	Länk
2020-10-12 11:20:56	HF32A - Brytare	5.02	171.4	Länk
2020-10-12 11:39:59	HF32A - Brytare	4.88	176.9	Länk
2020-10-12 15:23:41	HF32A - Brytare	4.86	178.4	Länk
2020-10-05 14:02:50	HF32A - Brytare	4.86	173.9	Länk
2020-10-06 09:07:42	HF32A - Brytare	4.66	178.9	Länk
2020-10-07 08:14:37	HF32B - Brytare	4.98	236.2	Länk
2020-10-06 11:49:52	HF32B - Brytare	4.7	237.9	Länk
2020-10-06 10:22:46	HF33A - Brytare	5.22	244.7	Länk
2020-10-07 07:40:27	HF33B - Brytare	5.04	225.5	Länk
2020-10-06 13:07:35	HF33B - Brytare	4.88	228.7	Länk
2020-10-06 14:30:46	HF34A - Brytare	5.38	258.1	Länk
2020-10-06 13:52:21	HF34A - Brytare	5.34	253.6	Länk

Figur 17: Lista över tillslagsmanövrar för brytare i station 3A

Även effektförbrukningen för denna brytares fjäderspänningsmotor avviker tydligt från övriga beståndet. De övriga motorerna förbrukar ca 170–250 VA, medan motorn i fråga förbrukar mer än 350 VA vid samtliga tillfällen. Noggrannare analys i tidsserierna i Comtradefilerna åskådliggör även detta. I Figur 18 nedan syns att motorn efter lite mer än fyra sekunder succesivt börjar dra mer ström för att avsluta manövern.



Figur 18: Ström till fjäderspänningsmotor för brytare i fack H31

Schemalagt likriktarbortfall

Ytterligare ett kvitto på att detekteringen av avvikelser fungerar erhöles från station 1 där VS-bortfall detekterades regelbundet under ett par minuter vid ungefär samma tidpunkt en gång i veckan. Detta visade sig vara en inbyggd funktion i likriktaren att den stänger av utgången för att övervaka att batteridriften fungerar.

Detta är alltså en önskvärd händelse i systemet, dock ger den noggranna mätningen av batterispänningen under denna tidsperiod fortfarande värdefull information (exempelvis att spänningen sjunker märkbart under denna tid som stationen drivs enbart på batteri, se Figur 14 i avsnitt 5.6.3). Att avfärda hela händelsen bör alltså inte göras, men att flagga själva likriktarbortfallet som en avvikelse bör förhindras eftersom det är en planerad/önskvärd händelse.

Mappning av mätvärden till rätt individ

Att kunna koppla uppmätt data till rätt individ är också en utmaning som blev tydlig under projektet. Mätpunkten kan t.ex. vara kopplad till ett fack i en fördelningsstation, och sedan måste mappning ske mot den individ som mätvärdet tillhör. Ett konkret exempel är brytare på truck, där en vanlig procedur vid underhåll är att stationens reservbrytare placeras i fack 1 där brytarunderhåll utförs på brytaren som har varit placerad där. Därefter tas brytaren i fack 2 ur drift och ersätts med den brytare som tidigare satt i fack 1 osv. På så sätt kommer brytarnas placering i ställverksfacken att förändras över tid.

Här uppstår ett uppenbart behov av att hålla reda på vilket mätvärde (t.ex. från strömgivaren som mäter strömmen till brytarens fjäderspänningsmotor) som hör till vilken brytarindivid om sensorn sitter placerad i facket snarare än direkt på brytaren. Den individ som fram till underhållstillfället satt i fack 1 sitter nu i fack 2 och mätvärdet från fack 1 behöver därför styras om i analysprogramvaran.

I det konkreta fallet är en kortsiktig lösning på problemet att ändra rutin för underhåll så att samma brytare sätts tillbaka i ursprungligt fack. Rotation av brytare har dock fördelar i sig (t.ex. om antal kopplingar och storlek på typisk kortslutningsström varierar mellan facken så sprids slitaget ut mellan brytarna) så om ändring kan ske vilka mätvärden som hör till vilken individ genom den fysiska utformningen i stationen bör höjd tagas för detta. Dels för att inte i onödan begränsa förutsättningarna att utforma underhållsproceduren på bästa sätt, dels för att undvika att individer förväxlas oavsiktligt.

En lösning hade kunnat vara att underhållspersonal på ett smidigt sätt kan dokumentera brytarens position i samband med övrig dokumentation av underhållsåtgärden så att denna information automatiskt kommer in till CBM-systemet i strukturerad form. Detta är också kopplat till just denna information som idag oftast dokumenteras i handskrivna och inskannade protokoll också spelar en viktig roll för CBM och behöver kunna hanteras automatiserat. Se avsnitt 7.5.

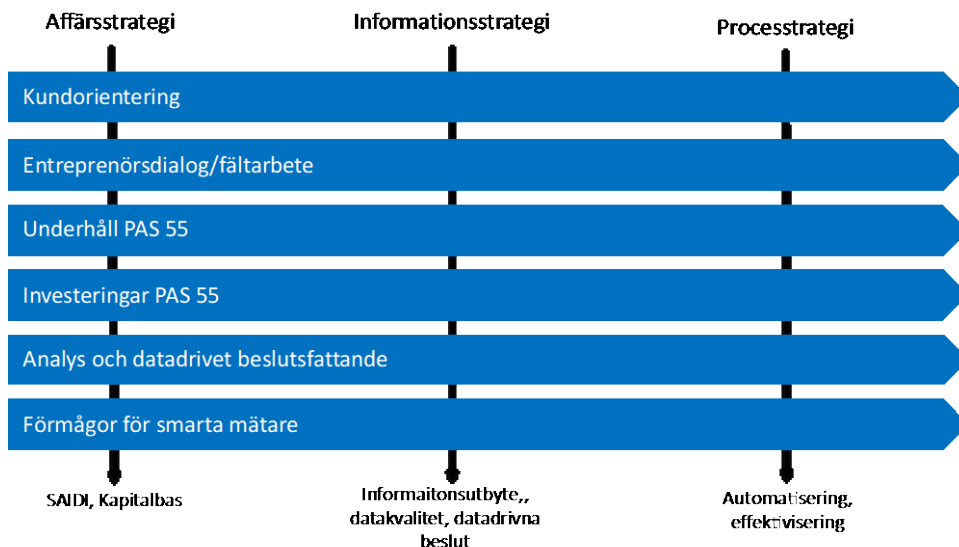
6.4 IMPLEMENTERING AV DATADRIVET ARBETSSÄTT

Utifrån beskrivningen av hur ett datadrivet arbetssätt kan vara utformat (se avsnitt 4.3) behöver stora delar av verksamheten i någon mån anpassas till de nya möjligheter som öppnar sig, även om grundprocessen och dess syfte är densamma (äga och förvalta en eldistributionsanläggning).

Implementering av ett datadrivet arbetssätt är en långsiktig aktivitet som tar många år att implementera. Utgångspunkten är bolagsstrategin, målen på kort och lång sikt. Bolagsstrategin kommer att förändras i framtiden därför måste de funktionella/operativa strategierna på 1–3 års sikt kontinuerligt förändras för att kunna maximera de mål som finns i bolagets strategi. Det finns som regel fem eller flera funktionella/operativa strategier, de vanligaste är:

- Bolagsstrategi
- Informationsstrategi
- Kompetensförsörjningsstrategi
- Systemstrategi
- Marknadsstrategi

När bolagets strategier är dokumenterade och förstådda av organisationen behövs en styrmodell som baseras på de processer som är önskvärda att använda i bolaget. De vanligaste processer i ett bolag är en huvudprocess (distribuera energi), ledningsprocess och många stödprocesser. Några exempel på stödprocesser är hantera ekonomi, hantera IT, utveckla verksamheten, hantera kompetens, hantera kunder och utveckla produkter och tjänster. Alla dessa stöder huvudprocessen distribuera energi. Se Figur 19 för exempel på hur strategierna kopplar till flera processer.



Figur 19: Matris för strategiarbete över flera processer i ett nätbolag

Rekommendationen för att implementera ett datadrivet arbetssätt i ett energibolag är att dokumentera bolagsstrategin och besluta om strategier samt implementera en styrmodell som baseras på vilka processer som önskas appliceras i energibolaget där huvudprocessen är att distribuera energi. Det är också rekommendabelt att utse en huvudprocessägare som rapporterar direkt till koncernchef/VD.

En illustrativ jämförelse kan göras med exempelvis lastbilsindustrin och hur en lastbil tillverkas i fabriken. Det finns en bolagsstrategi som alla i verksamheten förstår och arbetar utifrån. För att kunna leverera en lastbil på bästa möjliga och effektiva sätt finns en oerhört strikt och tydlig process om hur tillverkning och leverans av en lastbil går till. Alla arbetar efter huvudprocessen, om någon avviker från sin del i en process så stannar i värsta fall hela fabriken eller så uppstår kvalitetsproblem som påverkar kund negativt och i slutändan varumärket.

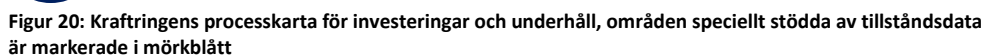
Energibolaget skulle kunna använda exakt samma förhållningssätt för att bli ännu effektivare på att distribuera energi till rätt kvalitet och till rätt kostnad till sina kunder.

Eftersom hela organisationen kommer påverkas mer eller mindre av den här typen av utveckling är det av stor vikt att slutmål och vad som behövs för att nå dit är väl förankrat. Detta görs lämpligen stegvis med tydliga delmål som även underlättar utvärdering under processen.

6.4.1 Påverkan på Krafringens arbetsprocesser

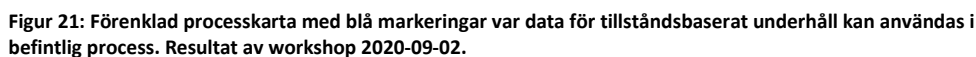
Projektet identifierade först de huvudområden där data från tillståndsbestämning av komponenter troligen får en direkt påverkan på Krafringens processer i form av förbättrade underlag – från input till beslut (längst till vänster i processkartan i Figur 20):

- Behov av ombyggnad/underhåll utifrån anläggningsstatus
- Oplanerade händelser och akut felavhjälpande underhåll



Ytterligare data som tillförs kan stötta redan i befintliga processer

Det är tydligt att den information som kan fås ur den data som samlas in för tillståndsbaserat underhåll kan användas i befintliga underhålls- och felavhjälpningsprocesser. Mer information om anläggningen kan förbättra beslutsunderlaget för prioritering av underhållsåtgärder och spara resurser i arbetet med att sammanställa den information som beslut fattas kring redan i dagsläget. Fler områden som utökad tillståndsdata kan bidra till än markerat i Figur 20 identifierades i samband med en workshop. Se Figur 21 för en förenklad version av Krafringens processkarta för underhåll där samtliga identifierade användningsområden är markerade i blått.



Implementation av nytt arbetssätt som är mer centrerat kring tillståndsbaserat underhåll kan därför göras stegvis, i takt med utrullning av ytterligare datainsamling och system för att hantera denna.

Ett konkret exempel på hur insamling av data och tillståndsbestämning kan stödja befintliga processer är att vid beställning av brytarunderhåll är det möjligt att redan i det skedet veta vilka brytare som med säkerhet behöver göras en djupare revision på, något som annars först upptäcks när basunderhållet utförs, och måste då planeras och utföras vid ett senare tillfälle.

6.4.2 Implementering

Att skapa ett proaktivt arbetssätt som minskar eller t.o.m. förhindrar elavbrott och samtidigt minskar kostnaderna för det avhjälpande underhållet till förmån för det tillståndsbaserade tar tid. Utmaningen ligger i att förändra beteenden, utveckla kompetenser och introducera nya arbetsprocesser. Mest kostnadseffektivt är att inleda med att samla och använda den information som redan är tillgänglig inom verksamheten. Initialt bör därför resurser avsättas för att stärka analyskompetenserna i befintliga system. I nästa steg kompletteras informationen med ytterligare datakällor som ger information om anläggningskomponenter och som tillsammans ökar insikten om tillståndet bland anläggningskomponenter såväl som för elnätet som helhet.

En möjlig utvecklingsplan för utvecklingen mot tillståndsbaserat underhåll kan vara:

1. **Uppkoppling av valda komponenter i fördelningsstationen.** TUFF-projektet ger en fingervisning av några av de viktigaste anläggningsdelarna att börja med.
2. **Virtuell projektgrupp** på tvären genom organisationen (drift, underhåll, projektering och nätplanering) driver analysarbetet och utvecklar kunskapen om anläggningsstatus och samt som utvecklar arbetssättet.
3. **Regelbunden genomgång och analys av analysresultatet.** Det är nödvändigt att bygga upp strukturkapitalet i organisationen genom regelbunden analys, genomgång av resultatet, samt dess konsekvenser för ett förändrat arbetssätt.
4. **Successiv utbyggnad av fler stationer och fler anläggningskomponenter.** Utrullningen bör fokusera på "problemområden" inom nätet, d.v.s. områden med frekvent förekommande störningar och avbrott. Detta för att erhålla kortsiktigt högt nytta av investeringen i den tekniska, systemmässiga och organisatoriska investeringen.
5. **Process- och kompetensutveckling.** I takt med ökad kompetens, insikt och organisatorisk mognad utvecklas kan hela organisationen omfattas av det förändrade arbetssättet i form att successivt utveckla arbetsprocesserna. Förändringarna bör företas inkrementellt, för största möjliga genomslag.

I planen ovan har antagits att befintliga datakällor integreras i analysarbetet för att erhålla en vid den tidpunkten så komplett analys av tillståndet i nätet som möjligt.

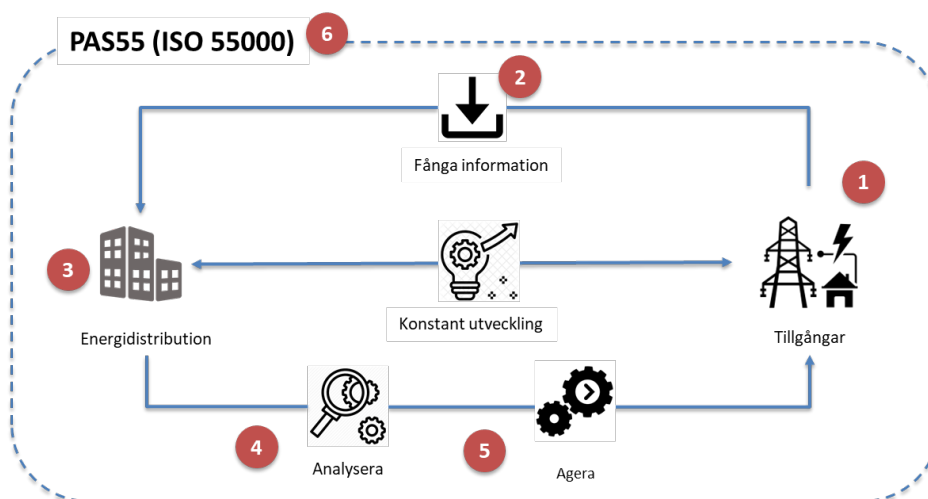
7 Möjliga framtida projektidéer

7.1 GENOMFÖRANDEPROCESS

För att kunna genomföra intentionerna i denna rapport bör ett initiativ startas med följande innehåll:

- Beskriva det önskade framtida läget via en vision
- Sätta upp korsfunktionell projektorganisation (verksamhet/IT)
- Påbörja ett antal delprojekt enligt nedan

Se Figur 22 för en översikt hur delprojekten förhåller sig till varandra och efterföljande förklaring till siffrorna i figuren.



Figur 22: Schema över arbetsflöde kring möjliga initiativ

1. Delprojekt: Tillgångar
 - a. Skapa en "one truth" över tillgångarna
 - b. Göra en informationsinventering över vilken information som finns/behövs
 - c. Var lagras information, hur tillgängliggörs den etc.
2. Delprojekt: Fånga information
 - a. Hur fångar vi information om tillgångarnas tillstånd
 - b. Behöver vi sensordata för tillståndsinformation
3. Delprojekt: Energidistribution
 - a. Hur får vi företaget att gå från historiska data till prediktion
 - b. Hur får vi en kultur av datadrivet beslutsfattande och automatisering
 - c. Hur kan vi reducera antalet dokument, system och arbetsmoment
 - d. Hur kan vi samordna arbetssätt, informationsdelning, överlämningar, resurshantering och ekonomistyrning
4. Delprojekt: Analysera
 - a. Hur skulle vi kunna styra anläggningsåtgärder i syfte att nå företagsmål

- b. Hur skulle vi kunna optimera portföljen baserat på strategi, tid, resurs, budget samt teknisk lösning.
 - c. Hur kan vi tillgängliggöra information och därmed skapa samsyn samt underbyggt beslutsunderlag i organisationen kring anläggningars tillstånd, behov samt prioritering av genomförandet av efterföljande åtgärder
 - d. Vilka tekniska analysförmågor behövs
- 5. Delprojekt: Agera
 - a. Hur agerar vi på uppkomna händelser i vår data
 - b. Hur automatiserar vi ovanstående
- 6. Delprojekt: PAS55
 - a. Hur kan vi införa PAS55 och på vilken nivå

Digitalisera och ta kontroll över fältarbete och digitalisera protokoll

- Bli en professionell beställare av nätrelaterade tjänster och tydliggör processen från upphandling av tjänstekatalogen, till uppföljning och analys.
- Kravställ rätt förmågor på processer, organisation och IT-stöd för nätverksamheten gällande entreprenörer i fält.
- Skapa ökad tydlighet av tjänste-begreppet (vad ingår i tjänsten som ska utföras i fält).
- Få kontroll på rätt information ut och rätt information tillbaka från fältaktör samt säkerställ att få strukturerad information via digitala protokoll.
- Återrapporteringen är idag vanligtvis bristfällig och på många håll krävs hårdare krav på vad för information som måste återrapporteras för per tjänst. Återrapporteringen måste i de flesta fall skyndas på då ledtiderna för återrapportering i genomsnitt uppgår till 25-30 dagar, där en stor del av denna tid är tiden efter utförd arbetsorder i fält. Detta måste givetvis förändras. Återrapporteringen måste ske direkt efter utförd fältaktion på ett smidigt sätt med strukturerad information. Mängden ostrukturerad information måste minska i återrapporteringen.
- Ostrukturerad information är svår att ta emot och göra analyser på, den måste tolkas, är ofta bristfällig och tvetydig. Det hade i vissa fall räckt med att skapa webbformulär eller appar som exponerar hur arbetsordern skall fyllas i korrekt för entreprenör att fylla i återrapporteringen. Det är också en effektivitetsfråga att återrapporteringen måste uppdatera systemen med en högre grad av automation då det i dokumenterings- och uppföljningsfasen finns en hel del manuell handpåläggning.
- De största bristerna är att hanteringen av återrapporterad information idag inte i tillräcklig utsträckning analyseras tillräckligt eller används för att affärsutveckla, följa upp på entreprenör genom exempelvis reklamation eller göra smarta analyser för framtida underhåll/avhjälpling.
- Etablera metoder och algoritmer för detaljerade analyser och ingå till processen som nämns ovan avseende avvikande tillstånd.
- Det ska vara enkelt att mäta och följa upp SLA för den beställda tjänsten.
- Tjänsten bör definiera vilken information som krävs för att utföra arbetet.
- Förbättrad entreprenörsdialog med ökad kontroll på kvalitet och kostnader.
- Effektivare processer med kravställning på adekvat stöd/verktyg för analys och daglig verksamhet.

Modern arkitektur möjliggör tillgång till information

Allt fler organisationer uppmärksammar den teknologiska arkitekturen och dess design att vara mer strategiskt avgörande än någonsin och kan bli en avgörande konkurrensfaktor i den digitala transformationen.

Ett exempel är eventdriven eller händelsestyrd arkitektur vilken har ett antal fördelar mot alternativ arkitektur. Eventdriven arkitektur är i sig ingen ny företeelse men med modern teknologi kan detta val av arkitekturdesign reducera integrations och driftskostnader, öka skalbarhet och robusthet, utveckling ske inkrementellt och till en lägre kostnad. Dess design är också en förutsättning för att möjliggöra effektiv kommunikation mellan mikrotjänster och lösa klassiska problem som begränsad skalbarhet och fördröjning mellan aktuellt behov och leverans av data. Figur 23 exemplifierar ett designmönster baserat på eventdriven arkitektur.



Figur 23: Designmönster baserat på eventdriven kultur

I korthet förklaras eventdriven eller händelsestyrd arkitektur som att ett antal producenter av data, exempelvis i sensorer eller smarta mätare, skickas till utvald eventkanal/-eventkanaler. De konsumenter, exempelvis andra applikationer eller BI system, kan sedan abonnera på utvalda kanaler för att fylla sitt behov av data.

Producent och konsument av data i denna typ av arkitektur är löst sammankopplade och konsumenterna kan behandla data oberoende av varandra även om någon av dem tillfälligt ligger nere eller har en tillfällig kapacitetsbegränsning. Eventkanalen/kanalerna kan i tillägg byggas med ytterligare förmågor som dataanalys, filtrering, matchning och berikning av data för att ge ytterligare förutsättningar för ökad relevans i dataleveranserna samt automatisering.

Smart mätning är en utmärkt kandidat för att implementera eventdriven arkitektur där den smarta mätaren efter en leverans av data till eventkanalen kan fortsätta med sin nästa uppgift och där tidsrymden mellan mätarens produktion och bakomliggande systems konsumtion av data i hög grad kan reduceras. Samma tankesätt kan även appliceras på tillståndsdata.

7.2 STANDARDS

Eftersom det är önskvärt att arbeta på likartat sätt i hela branschen med underhållsfrågor är ett tänkbart framtida projekt att fördjupa sig i de standarder som är kopplade till underhåll. Här kan nämnas SS-EN 13306:2017 (SIS, 2017) som styr terminologi kopplat till underhåll. Denna standard påpekar även att underhåll

inte är begränsat till tekniska åtgärder utan även innefattar exempelvis hantering av dokumentation vilket stämmer väl in i de resultat som detta projekt har kommit fram till.

7.3 BEST PRACTICE

Som nämnt i avsnitt 1 har tillverkningsindustrin med framgång implementerat och tillämpat tillståndsbaserat underhåll i större omfattning än inom energidistribution. En framtida projektidé är att studera ett eller flera exempel på framgångsrik användning av tillståndsbaserat underhåll från industrin för att öka kunskapen kring best practice, som ett komplement till det arbete som pågår inom IEC. Mycket av de metoder och angreppssätt som används bör vara direkt applicerbara även om den praktiska tillämpningen skiljer, vilket innebär att mycket tid och resurser potentiellt kan sparas.

7.4 IEC 61850

Eftersom inhämtning av data via IEC 61850 stationsbuss inte kunde testas skarpt i projektet är detta högtintressant att fördjupa sig i. Detta eftersom det i projektet i arbetet kring IEC 61850 har kunnat konstaterats att potentialen finns för att en delmängd av den data som behövs för tillståndsbestämning av ett flertal komponenter finns att tillgå på detta sätt.

7.5 ANALYS PÅ HÖGRE NIVÅ

Med datainsamlingen och den grundläggande analysen av mätvärden på plats för en anläggningsdel är ett naturligt nästa steg att vidareutveckla högnivåanalysen för tillståndsbestämningen. I detta skulle t.ex. kunna ingå att jämföra enskilda individers värden mot dess historiska värden för att fånga upp trender och att jämföra värden inom bestånd för att identifiera avvikelser.

Att kombinera uppmätt data med annan data från exempelvis provningsprotokoll, iakttagelser av servicepersonal och liknande traditionella källor är också ett område som ligger nära till hands som nästa steg. Just denna typ av data som inte direkt härstammar från sensorer i stationen är generellt beskrivet i IEC-rapporten (IEC, 2016) som en av flera viktiga datakällor för tillståndsbaserat underhåll.

7.6 NYBYGGNADSPROJEKT

Ett annat område med stor potential att studera närmare är att ta höjd för att signaler för tillståndsbaserat underhåll ska mätas vid nybyggnation av en fördelningsstation. Detta hade gett möjlighet till mycket bra förutsättningar för omfattande datainsamling till en förhållandevis låg kostnad.

Detta kan även göras utan att en komplett strategi för tillståndsbaserat underhåll är redo eftersom det främst handlar om att tråda in de sensorer som finns, om inte till ett datainsamlingssystem så till plint så att de är lätt tillgängliga senare.

Att välja vilka sensorer som ska finnas tillgängliga vid inköp av apparater är inte heller kostnadsdrivande eller ett särskilt omfattande arbete. Sensorer som är

installerade från början ger även generellt bättre möjligheter än sensorer monterade i efterhand eftersom vad som går att mäta är mer begränsat.

7.7 GIS-STÄLLVERK

Under urvalsprocessen för vilka komponenter som skulle utvärderas inom projektet var GIS-ställverk med bland de mer intressanta komponenterna, detta föll dock bort p.g.a. brist på lämplig fördelningsstation att studera.

Det finns idag lagkrav på signalering vid lågt gastryck i GIS-ställverk för att minska utsläppen av SF₆-gas till atmosfären, denna signal finns alltså tillgänglig och kan övervakas med avseende på trenden för att kunna varna för ev. läckage betydligt tidigare än ett fast gränsvärde. Lågt tryck/densitet i ett GIS-ställverk är en kritisk situation där tidig varning för sjunkande tryck och/eller densitet är av högt värde. Mycket nytta hade därmed troligen kunnat erhållas med enkel mätning och analys.

7.8 FLER ANLÄGGNINGSKOMPONENTER

Utöver GIS-ställverk nämnt ovan finns flera andra anläggningskomponenter som tillståndsbaserat underhåll skulle kunna tillämpas på, t.ex. krafttransformatorer. Det finns olika mycket arbete gjort kring fastställande av metoder för tillståndsbestämning för olika komponenter, och det kan vara olika faktorer som styr var vinsten är som störst.

Det ligger nära till hands att se komponentens värde som den viktigaste faktorn och att den största besparingspotentialen finns där, men även förutsättningarna för att kunna utföra underhåll är en faktor att väga in. En anläggningsdel som innebär omfattande driftplaneringsarbete och omständliga omkopplingar för att tas ur drift för underhåll kan mycket väl ge en större total vinst att kunna tillämpa CBM på än på en enskilt dyrare komponent.

8 Referenser

ABB Power Products & Power Systems. (2014). *Taking the first steps toward condition-based maintenance*. Raleigh, NC 27606: ABB.

Data warehouse. (2016, 08 17). *Data warehouse*. Retrieved 07 12, 2019, from Wikipedia: https://sv.wikipedia.org/wiki/Data_warehouse

IEC. (2016). *Communication networks and systems for power utility automation - Part 90-3: Using IEC 61850 for condition monitoring diagnosis and analysis*. Edition 1.0. Geneva, Switzerland: IEC.

Jardine, A. K. (2006). *A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance.*. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483-1510. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>

Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance*. USA: Elsevier Science.

Si, X.-S. W.-H.-H. (2011). *Remaining useful life estimation – A review on the statistical data driven approaches*. *European Journal of Operational Research*, 213(1), 1-14. doi:[doi:10.1016/j.ejor.2010.11.018](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.11.018)

SIS, Swedish Standards Institute (2017). *SS-EN 13306:2017 Underhåll - Underhållsterminologi*. Edition 1. Stockholm, Sverige: SIS

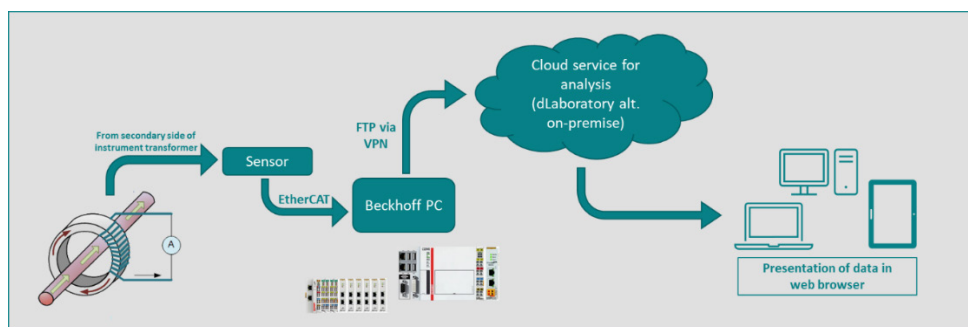
T&D World. (2017, June 16). *Study Finds Similarities in Plans for Full Digital Substations*. Retrieved July 01, 2019, from T&D World: <https://www.tdworld.com/distribution/study-finds-similarities-plans-full-digital-substations>

Bilaga A: Beskrivning av befintligt datainsamlingssystem

Detta avsnitt syftar till att beskriva det datainsamlingssystem främst inriktat på störningsanalys och -prevention som redan finns i fördelningsstationerna i projektet och som har använts som plattform för den utvidgade datainsamlingen för tillståndsbaserat underhåll.

KONCEPT FÖR INCIDENTANALYS

Incidentdetekteraren dBox mäter huvudsakligen ström och spänning. Den förmedlar registrerade incidenter i elnätet via IP-protokoll till en server, där de lagras i en databas. Registreringarna analyseras sedan automatiskt med hjälp av en unik och patenterad metod. Resultaten rapporteras ögonblickligen till användarna i ett lätthanterligt format via ett webbaserat gränssnitt som kan nås från vilken slags enhet som helst, så som en smartphone, surfplatta eller dator. Se Figur 24 för en schematisk bild av informationsflödet.



Figur 24: Schematisk bild över informationsflödet för incidentdetektering

Analysplattformen dAnalyzer förser användaren med både detaljerad information om specifika incidenter och mer omfattande information om elnätets status över tid. Det är ett hjälpmedel för kortsiktiga beslut rörande felidentifiering, beslut förknippade till proaktiva åtgärder och beslut för långsiktiga investeringsplaner. Systemet kan således användas i flertalet beslutsfattande instanser i organisationen för att främja ett säkert och stabilt elnät.

Utöver incidentinspelning och analys kan systemet utrustas med elkvalitetsmätningar med ett mjukvarutillägg kallat dQuality.

Incidentdetektorn dBox kan också samla in data från andra mätare och källor, vilket har nyttjats i detta projekt.

HÅRDVARA I TRANSFORMATORSTATIONEN

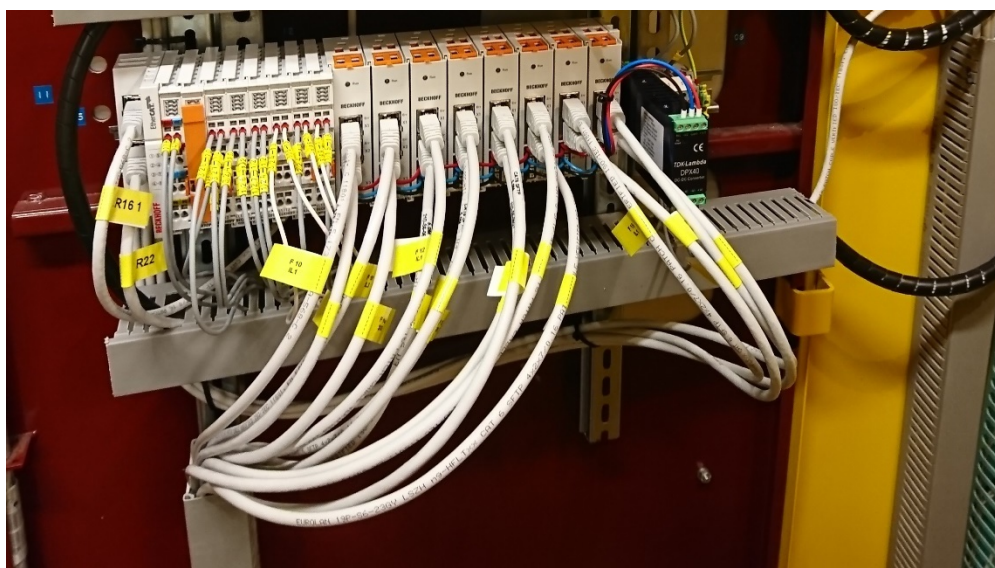
Hårdvaran i transformatorstationen (benämnd dBox) är centrerad kring en industridator med ett SoftPLC-realtidssystem. dBox stora lagringskapacitet innebär att inga mätningar förloras även om anslutningen till servern skulle vara nere en längre tid, eller i anslutning till händelser som genererar ett stort antal inspelningar under en kort tidsperiod, exempelvis vid stormar. Se Figur 25.



Figur 25: Huvudenhet i transformatorstationen, visad med router för VPN-uppkoppling

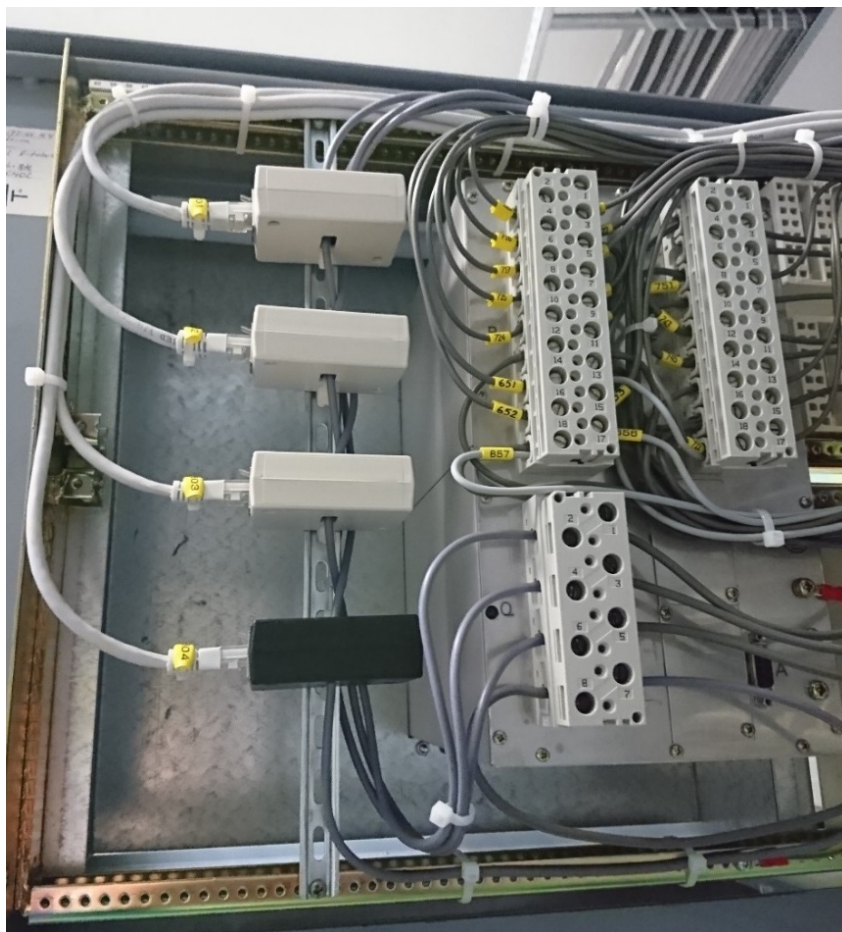
Datorn är ansluten till modulbaserade datainsamlingsterminaler med EtherCAT-teknologi. Detta säkerställer skalbarhet och flexibilitet, vilket betyder att mätsystemet kan anpassas i enlighet med aktuell stationsutformning samt utökas efter behov. EtherCAT är ett tidssynkroniserat protokoll med realtidsprestanda och hög pålitlighet.

Terminalerna mäter spänning direkt från spänningstransformatorerna i transformatorstationen och ström med hjälp av sensorer placerade kring strömtransformatorernas sekundärkretsar. Se Figur 26 för mätterminaler.



Figur 26: Mätterminaler kopplade till huvudenheten via EtherCAT

Detta möjliggör detektering av både stora och små incidenter relaterat till både spänning och ström i elnätet. Det är också möjligt att lägga till digitala ingångar för att övervaka exempelvis brytarläge. Se bild x för exempel på strömgiarinstallation.



Figur 27: Strömgivare placerade bredvid befintligt reläskydd i ställverksfackets lågspänningsutrymme

Ytterligare terminaler för att mäta andra storheter än spänning och ström, såsom temperatur och oljenivå för transformatorer, kan också anslutas. Kommunikation med annan skydds- och kontrollutrustning (IED:er) i transformatorstationen via IEC 61850-stationsbuss är ett annat sätt att samla in data.

Oavsett förutsättningarna i olika fördelningsstationer (ålder och fabrikat) fungerar en lösning som denna baserad på fristående hårdvara för alla varianter.

Installationen är enkel med få komponenter, begränsad mängd ledningsdragning och få inkopplingspunkter till fördelningsstationernas övriga installationer. Detta innebär att installation i en äldre fördelningsstation därför underlättas, både rent praktiskt och vad gäller dokumentationen.

Nästa generations digitala fördelningsstationer med IEC 61850 processbuss kan också enkelt kopplas in, vilket kraftigt begränsar ledningsdragningen. Beräkningar ger vid handen att en transformatorstation med processbuss behöver 80 % mindre ledningsdragning, vilket ju minskar kostnaderna och ökar säkerheten i underhållsarbetet.

ANALYS PÅ SERVERN

Den huvudsakliga analysen av den samplade rådatan görs av applikationer som körs på en central servertjänst. Utrustningen i transformatorstationen hanterar

enbart insamling och överföring som beskrivet i första avsnittet. Detta koncept har flera fördelar, t.ex.:

- Data från samtliga fördelningsstationer lagras och behandlas på samma ställe
- Möjlighet att tillämpa nya analysmetoder på befintliga data eftersom rådatan lagras centralt
- Möjlighet att utföra big data-analys av rådata från flera fördelningsstationer

När en inspelning laddats upp till servern på plats påbörjas analysen direkt. Händelsen kategoriseras efter orsak, såsom kortslutning, begynnande jordfel, spänningsdipp osv.

Vissa registrerade händelser är allvarligare fel som även har fått till följd att reläskyddet i transformatorstationen kopplar bort drabbat objekt. Emellertid, som vid exempelvis transienta jordfel, kan det vara så att reläskyddet i transformatorstationen inte är kapabelt att detektera felet på ett korrekt vis och koppla bort korrekt ledning. Analysen kommer fortfarande indikera det feldrabbade facket som skulle ha kopplats bort vilket är väldigt hjälpsamt i situationer där reservskyddet (oftast nollpunktsspänningsskyddet) har kopplat bort hela transformatorstationen.

Station and date		Advanced filtering	File number	Statistics	Measurements	Power quality
Filter by station and date						
Stations	Year and month	Date range	Registration type			
All		Start date	End date	Select registration types.		
		2019-11-01	2020-01-03	Start	50% trip	Trip
				Event	High ohmic	Registration
				Go	Last seven days	
Result						
Number of hits: 12.						
Station	Local Time	Affected feeders	Category	File number		
PS2	2019-12-18 09:00:15	B3 City area 2	Circuit breaker event	5286		
PS2	2019-12-18 08:59:44	B3 City area 2, T1 Transformer 10kV, T2 Transformer 10kV, T2 Transformer 50kV	Non-directional overcurrent Directional and intermittent earth fault	5285		
PS1	2019-12-15 22:29:36	T1 Transformer 10kV	Voltage event	5052		
PS1	2019-12-15 22:29:09	T1 Transformer 10kV, T1 Transformer 20kV	Neutral point overvoltage	5051		
PS1	2019-12-15 19:28:53	T1 Transformer 10kV, T1 Transformer 20kV	Neutral point overvoltage	5048		

Figur 28: Händelselista med snabba filtreringsfunktion högst upp. Notera färgkodningen till vänster som ger en direkt indikation på händelsens allvarlighetsgrad.

En rapport skapas för varje analyserad händelse där information om händelsen samlas, t.ex. varaktighet, påverkad ledning/fack, skyddsfunktioner som har reagerat (om någon), beräknad felresistans för jordfel, strömmar och spänningar vid triggningsstillfället och annan användbar information. Data för opåverkade ledningar/fack finns också tillgänglig. Se Figur 28 för listan över kategoriserade händelser som det finns rapporter på.

Användaren kan få information om detekterade incidenter direkt, som en notifikation via e-post. Det finns möjlighet att ställa in vilka kategorinivåer som ska

resultera i en E-postnotifikation. E-posten innehåller de viktigaste delarna av rapporten för att få en snabb översikt samt en länk till den fullständiga webbaserade rapporten.

Utöver rapporten är även Comtradefilen med den samplade rådatan tillgänglig via en inbyggd webbaserad Comtradeläsare. Comtradefilen kan även laddas ner för att öppnas med valfri läsare. Alla spänningar och strömmar samlas i samma fil vilket gör jämförelser mellan fack enklare och ger en god överblick av statusen för opåverkade delar av elnätet under incidenten.

Bilaga B: Datablad strömgivare

MAGNELAB

Split-Core AC or DC Voltage Output Current Transducer. Hall Effect Current Sensor HCT-0016-100, ± 4 V Output

(AC or DC Depending on Input Signal)
16mm Opening With Rating of 100 Amps
Description:

Magnelab's HCT-0016-100 split-core current transducer "senses" AC or DC current up to 100 amps passing through the center conductor. Split-core transformers are ideal for installation on existing electrical wiring by snapping around the conductor. The HCT-0016-100 has a self-locking mechanism.

Features:

- Rated input up to 100 Amps AC or DC
- Output of ± 4 V at rated current (AC or DC)
- Accuracy 1% at rated current
- System Voltage: DC 500 V, AC 1500 V / 1 min. withstand
- UL recognized IEC 61010-1, CE, and RoHS Compliant
- Lead length 15" ± 0.50 "
- Power Supply ± 15 V (25mA)
- Offset voltage ± 30 mV max
- Noise level less than 20mVp-p
- di/dt response 3u sec (typ.) at Full scale (DC to 167 KHz)
- Operating temperature -20°C to 75°C
- Temperature Impact: $\pm 0.2\%$ / °C



Figur 29: Datablad strömgivare 100 A

MAGNELAB

Split-Core DC Voltage Current Transducer Hall Effect Current Sensor HCT-0010-XXX, ± 4 Vdc Output

10mm Opening With Ratings Up to 50 Amps
Description:

Magnelab's HCT-0010-XXX split-core current transducer "senses" DC current up to 50 amps passing through the center conductor. Split-core transformers are ideal for installation on existing electrical wiring by snapping around the conductor. The HCT-0010-XXX has a self-locking mechanism.

Features:

- Rated input up to 50 Amps DC
- Output of ± 4 Vdc at rated current
- Accuracy 1% at rated current
- System Voltage: DC 500 V, AC 1500 V/1min. withstand
- UL recognized IEC 61010-1, CE, and RoHS Compliant
- Lead length 15" ± 0.50 "
- Power Supply ± 15 V (25mA)
- Offset voltage ± 30 mV max
- Noise level less than 20mVp-p
- di/dt response 3u sec (typ.) at Full scale
- Operating temperature -25°C to 75°C
- Temperature Impact: $\pm 0.2\%$ / °C



Figur 30: Datablad strömgivare 25 A

Sökord

Tillståndsbaserat underhåll IEC 61850 Datadrivet arbetssätt Digitalisering Brytare
Lindningskopplare LS-system Datainsamling Analys Underhåll Investering
Reinvestering Anläggningsförvaltning CBM Conditional Based Maintenance PBM
Predictional Based Maintenance Tillståndsbestämning Fördelningsstation

TILLSTÅNDSBASERAT UNDERHÅLL FÖR FÖRDELNINGSSATIONER

Genom att införa ett mer datadrivet arbetssätt finns det stora möjligheter för de som äger distributionsnät för el att arbeta mer effektivt med underhåll. Här har förutsättningarna undersökts att arbeta mer tillståndsbaserat med underhåll i fördelningsstationer, både genom att samla in mer data och att analysera nya arbetssätt.

Resultaten visar att det finns goda förutsättningar för nätägare att arbeta med underhåll på ett mer tillståndsbaserat sätt. Det går dessutom att införa i den takt och omfattning som passar respektive nätägare. Rapporten presenterar såväl tekniska förutsättningar som förslag på hur en organisation kan ändra sitt arbetssätt för att bli mer datadriven.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk