

PRIMÄRA FEL I LARMSKURAR

RAPPORT 2015:176



Primära fel i larmskurar

Rotfelsanalys för Panna 14, Händelöverket

JAN ERIC LARSSON, GOALART

ISBN 978-91-7673-176-5 | © 2015 ENERGIFORSK

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

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt P 39196 Primära fel i larmskurar (Energimyndighetens projektnummer P 39196) som faller under teknikområde processtyrning inom SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av:

Bo Svemar, E.ON

Ola Slätteke, Grontmij

Tommy Eriksson, Stora Enso

Per Eriksson, Göteborg Energi

Geir Nevestveit, Siemens

SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion, är efterföljaren till Värmeforsks Basprogram och startade som ett samarbetsprogram mellan Värmeforsk och Energimyndigheten 2013. All forskningsverksamhet som bedrevs inom Värmeforsk ingår sedan den 1 januari 2015 i Energiforsk. Därför ges denna rapport ut som en Energiforskrapport.

Programmets övergripande mål är att bidra till långsiktig utveckling av effektiva miljövänliga energisystemlösningar. Syftet är att medverka till framtagning av flexibla bränslebaserade anläggningar som kan anpassas till framtida behov och krav.

Programmet är indelat i fyra teknikområden: anläggnings- och förbränningsteknik, processtyrning, material- och kemiteknik samt systemteknik.

Stockholm december 2015

Helena Sellerholm

Områdesansvarig

Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

Författarens förord

Larmhantering är fortfarande ett stort problem för kraftindustrin. Under de senaste tio åren har det blivit vanligare med larmsanering, alltså att gå igenom larmsystemet och ta bort onödiga larm, ansätta mer korrekta larmgränser och prioriteter, samt att genomföra andra åtgärder. Men larmproblemen kvarstår oftast ändå. Detta beror till stor del på att det finns larmkaskader. Målet med projektet har varit att utvärdera en metod för att hantera larmkaskader och reducera dem till enstaka larm, så kallade rotfel, alltså kaskadernas primära orsak.

Energimyndigheten och Värmeforsk (numera Energiforsk) utlyste 2013 ett forskningsprogram med namn "Samverkansprogrammet bränslebaserad el- och värmeproduktion 2013-2015," eller i förkortning SEBRA. Det innehöll fyra teknikområden varav ett var "Säkra gränssnitt – kvalitativa beslutsstöd." Utlysningen gav ett antal exempel på prioriterade områden. Ett av dessa beskrevs så här:

"Utöver larmsanering, som syftar till att undvika onödig larmvisning, behöver analysmetoder förbättras för att hitta den primära orsaken till en larmskur. Typiska orsaker som analysverktyg bör kunna identifiera är till exempel komponentdefekter, dålig reglering eller ovanliga störningar på processen."

Företaget GoalArt, som är en avknoppning från Lunds tekniska högskola, har genom åren specialiserat sig på hantering av komplexa felsituationer. GoalArts produkt kan genom att analysera larmkaskader ta fram rotfelen i en felsituation, alltså de (fåtal) larm eller fel som utgör grundorsaken till att larmkaskaderna uppstår.

Under hösten 2014 och våren och sommaren 2015 genomförde GoalArt ett projekt som gick ut på att bygga upp ett system för Panna 14 vid Händelöverket i Norrköping, installera detta på plats i kontrollrummet, samt att utvärdera hur väl systemet förbättrar larmsituationen för Panna 14.

Systemet testades dels med historiska anläggningsdata från oktober 2013 till augusti 2015, dels genom att det används i kontrollrummet från och med juni 2015.

Resultatet av testerna visar att systemet i genomsnitt tar bort cirka 75 % av larmen från Panna 14, samt att vid de larmskurar som uppträder vid incidenter minskar det mängden larm med 98-99 %.

Detta visar att rotfelsanalys kombinerat med dynamisk undertryckning av tjattrande och långliggande larm ger en stor förbättring av larmsituationen, något som inte en vanlig larmsanering förmår göra. Den största boven i dramat är de larmskurar som kommer vid större incidenter, alltså då larmsystemet behövs som bäst. Resultaten visar att dessa problem kan lösas med rotfelsanalys.

Sammanfattning

Under 2014-2015 genomförde GoalArt ett projekt där man installerade och utvärderade en GoalArt Diagnostic Station (GDS) vid ett kraftverk i Sverige. Utvärderingen baserades på ett år av sparade anläggningsdata och visar att en kombination av dynamisk larmundertryckning och rotfelsanalys av larmkaskader kan reducera antalet larm till en grad som inte kan uppnås med enbart larmsanering.

Händelö är ett konventionellt värmekraftverk med en kapacitet att generera 400 MW fjärrvärme och 130 MW elektrisk energi, beläget i Norrköping, se Figur 1. Bränslet är huvudsakligen brännbart avfall. Anläggningen har fem pannor och två generatorer.



Figur 1. Händelöverket, Norrköping

Projektet inriktades på en av de fem pannorna, Panna 14. Denna panna har 3 400 larm, vilka alla lades in i en GDS-modell. Modelleringsarbetet tog cirka 200 timmar, och hela projektet omfattade cirka 1 000 timmar, där de flesta användes för testning och utvärdering.

GDS-systemet använder fyra olika sätt för att reducera antalet larm som visas för operatörerna.

- Vissa larm, till exempel, hög och hög-hög, grupperas till ett larm i GDS.
- Tjattrande larm (larm som kommer och går upprepade gånger), upptäcks dynamiskt och flyttas till en annan larmlista, så kallad shelving, (de "läggs på hyllan").
- Långliggande larm upptäcks dynamiskt och flyttas till shelvinglistan.
- Larmkaskader analyseras i realtid med hjälp av en algoritm för rotfelsanalys, vilket reducerar även stora larmskurar till enstaka primära rotfel.

Tillsammans reducerar dessa metoder mängden larm ner till ett minimalt antal larm, vilket gör att anläggningen kan uppfylla de mål som rekommenderas i standarden från EEMUA.

Den ursprungliga larmlistan i Figur 2, visar en liten del av den larmskur som drabbade Panna 14 den 13 augusti 2014. (Färgerna indikerar larmprioritet.)

Datum och tid	P	Larmtag	Beskrivning	Värde	Prioritet	Grupp	Dolt
14-08-13 10:06:12		14_Q16_3_1_8_FEL	Fel, Profibus komm. 8, 14228P002	LARM	Hög		U
14-08-13 10:06:12		14_215_A008_SFEL	Profibusfel, Sotblås, ÖH o Korv.del	OK	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_CS	Stv-Fel, Golvvärmning Cirkpump 6	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_SB	S-Brytare, Processkylbärar, Cirkp. 3, P1	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_CS	Stv-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 1	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_ACOF	Pos-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 3	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_ACOF	Pos-Fel, Golvvärmning Cirkpump 6	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_SB	S-Brytare, Processkylbärar, Cirkp. 1, P1	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_SB	S-Brytare, Golvvärmning Cirkpump 6	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_ACOF	Pos-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 1	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_CS	Stv-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 3	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_O50_CURHA	Överström, Elsprinklerpump	OK	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V052_ACOF	Pos-Fel, Mättad Ånga t Ångluft	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_Q16_3_1_7_FEL	Fel, Profibus komm. 7, 14228P001	LARM	Hög		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V102_CS	STV-fel, Kont.bottenblås, Avstventil	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V052_CS	Stv-Fel, Mättad Ånga t Ångluft	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V102_ACOF	Kont.bottenblås, Avstventil	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_419_P160_CS	Stv-Fel, Turbin Hjälp Oljepump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P003_SB	S-Brytare, Minflödespump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_411_V056_ACOF	Pos-Fel, StartVentil	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P002_ACOF	Pos-Fel, Pression Pump 2	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_424_A001_SB	S-Brytare, Omrörare	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P004_CS	Stv-Fel, Backspolningspump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P004_SB	S-Brytare, Backspolningspump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_411_V051_ACOF	Pos-Fel, HuvudångVentil Bypass	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_411_V051_CS	Stv-Fel, HuvudångVentil Bypass	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_418_P001_CS	Stv-Fel, Kondensatpump 1	LARM	Medium		U

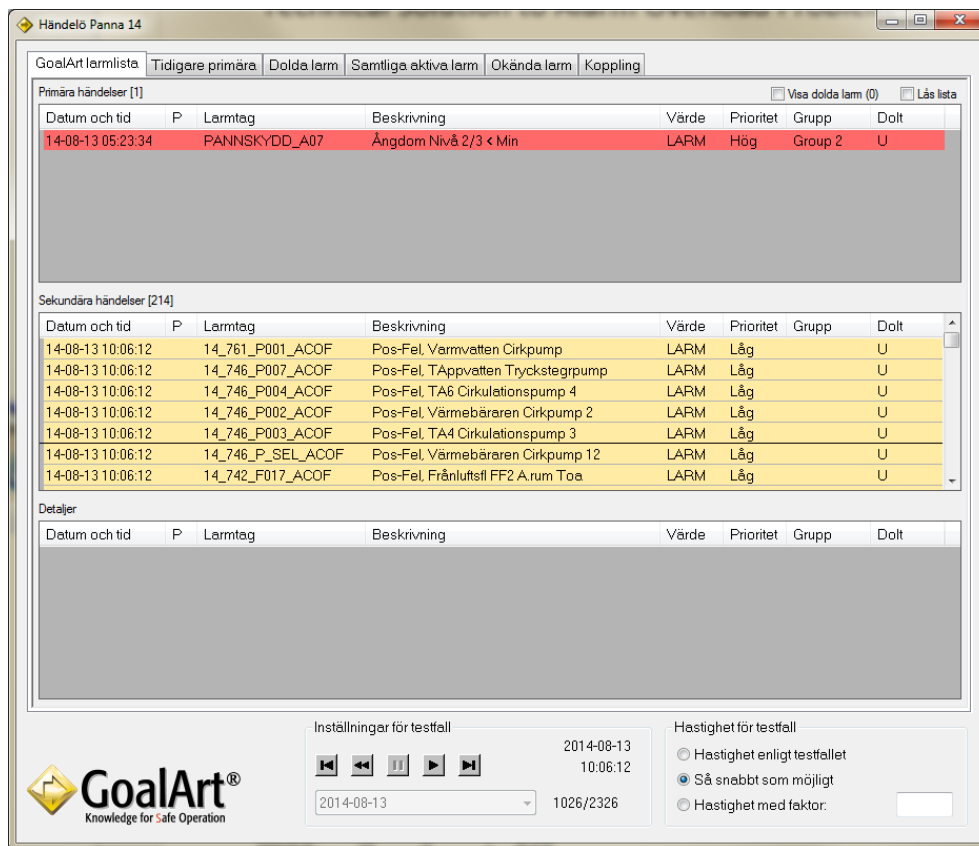
Figur 2. Den ursprungliga larmlistan från den 13 augusti 2014.

I GDS-systemets larmlista reduceras kaskaden på 601 larm till ett enda rotfel, vilket syns i den översta lista i Figur 3. Det primära felet var en tubfläkning i ångsystemet för Panna 14.

I dokumentet EEMUA 191 finns en klassificering av larmbelastningen, som använder tre nyckeltal:

- Genomsnittligt antal larm per timme
- Maximalt antal larm under de värsta 10 minuterna
- Procentandelen timmar med fler än 30 larm

Varje operatör bör inte få fler än 6 larm per timme, inte fler än 60 larm per timme under den värsta tiominutersperioden, och inte ha mer än 1 % timmar med fler än 30 larm.



Figur 3. GoalArts larmlista från den 13 augusti 2014.

EEMUA tillhandahåller även en klassifikationstabell, se Figur 4, vilken rankar en larmsituation baserat på nyckeltalen. Den ideala nivån kallas prediktiv. Panna 14 hamnar på den stabila nivån, men går ibland över i reaktiv eller överbelastad. Eftersom samma kontrollrum hanterar alla fem pannor och båda generatorerna, är den allmänna larmsituationen ofta överbelastad.

Per Hour	Max/Hour	Percent	Classification
> 600	> 6 000	> 50 %	Overloaded
> 60	> 6 000	> 25 %	Reactive
> 6	> 600	> 5 %	Stable
> 6	> 60	> 1 %	Robust
< 6	< 60	< 1 %	Predictive

Figur 4. Klassificering av larmsystem.

Larmsanering innebär att man ställer in larmsystemet för att undvika onödiga larm, genom att sätta värden på prioriteter, larmgränser, hysteres, etc., till goda statistiska värden.

Emellertid är det oftast omöjligt att nå en prediktiv nivå enbart med hjälp av larmsanering. Det huvudsakliga hindret är larmkaskader, alltså långa kedjor av konsekvenslarm, som uppstår i komplexa felsituationer. Det är också vanligt att varierande driftlägen gör att larm börjar tjattra dynamiskt, i vissa situationer.

GDS-systemet använder en unik algoritm för att genomföra en rotfelsanalys on-line i realtid. Stora larmkaskader kan på så vis brytas ned till enstaka rotfel, ("de verkliga felen").

Projektet använde historiska data from december 2013 till november 2014. Under denna period valdes de 18 dagar som hade de största larmkaskaderna ut. GDS-systemet analyserade larndata och reducerade samtliga kaskader till ett fåtal egentliga fel, (oftast ett enda; se kolumnen "Primary" i Figur 5). Det genomsnittliga resultatet för de 18 värsta dagarna var att 98 % av larmen togs bort.

Date	Day Total	Cascade	Primary	Reduction
2014-08-13	757	601	1	99,83%
2014-08-05	448	265	1	99,62%
2014-11-09	332	197	4	97,97%
2014-06-11	282	193	1	99,48%
2014-08-16	230	135	1	99,26%
2014-03-11	283	133	1	99,25%
2014-07-25	207	110	1	99,09%
2014-11-11	459	91	1	98,90%
2014-07-02	229	82	2	97,56%
2014-05-29	211	56	1	98,21%
2014-02-26	228	54	1	98,15%
2014-11-07	197	44	2	95,45%
2014-05-02	347	43	1	97,67%
2014-03-09	204	43	1	97,67%
2014-04-25	288	35	2	94,29%
2014-11-18	208	34	1	97,06%
2014-11-02	273	25	1	96,00%
2014-01-27	216	22	1	95,45%
Average	300	120	1,33	97,83%

Figur 5. Larmreduceringen för de 18 värsta larmkaskaderna.

Totalt finns det över 100 dagar i testperioden med larmkaskader som omfattar mer än 100 olika larm. Detta visar att det är av avgörande vikt att hantera problemet med larmkaskader, om man ska kunna nå ner till acceptabla larmfrekvenser.

Month	Average	Max	Hours	Alarms	Cons	Red
2013 dec	14	780	8%	9 853	2 087	58%
2014 jan	182	15 150	17%	130 772	12 598	75%
2014 feb	24	528	23%	17 186	2 535	71%
2014 mar	28	792	26%	20 179	2 725	64%
2014 apr	32	630	28%	22 833	2 854	57%
2014 maj	19	654	16%	13 990	2 707	81%
2014 jun	15	486	11%	10 586	2 391	72%
2014 jul	13	558	12%	9 538	2 570	89%
2014 aug	23	2 214	17%	14 467	7 589	96%
2014 sep	17	600	18%	12 337	2 213	86%
2014 okt	14	198	10%	10 424	2 324	70%
2014 nov	21	1 416	20%	11 807	2 518	84%
Per Year	33	2 001	17%	23 664	3 759	75%
Per Day	33	2 001	17%	65	10	75%

Figur 6. Nyckeltal och larmreducering per månad.

Panna 14 har också problem med tjattrade och långliggande larm. Under testperioden var det 43 larm som någon gång tjattrade mer än 1 000 gånger per dag. Ett enda kommunikationslarm kom och gick 4 086 gånger den 15 augusti 2014. Under perioden fanns det över 100 larm som var aktiva längre än 192 timmar.

När GDS-systemet kör, används en kombination av att lägga tjattrade och långliggande larm ”på hyllan,” tillsammans med rotfelsanalys av larmkaskader. Under utvärderingsperioden var den genomsnittliga larmreduktionen 75 %, (se kolumnen ”Red” i Figur 6). Under dagar med larmkaskader går reduktionen upp till 98-99 %. Reduktionen är som högst i de svåraste situationerna, när den behövs som bäst.

Man bör notera att Panna 14 inte har genomgått någon statisk larmsanering. GDS-systemet ger ett klart bättre resultat, med en automatisk algoritm.

Det tog cirka 200 timmar att modellera 3 400 larm. En larmsanering skulle ta betydligt mer tid i anspråk, från 500 till 1 000 timmar, och skulle, beroende på kaskader, inte kunna leda till ett jämförbart resultat. Den genomsnittliga larmreduktionen över testperioden var 75 % och under larmkaskader går den upp till över 98 %.

Projektet sponsrades av Energiforsk (40 %), Energimyndigheten (35 %), E.ON. Värme Syd (5 %) och GoalArt (20 %), och utfördes av GoalArt med hjälp av E.ON. vid Händelöverket i Norrköping.

Summary

During 2014-2015, GoalArt installed and evaluated a GoalArt Diagnostic Station (GDS) at a power plant in Sweden. The evaluation used one year of real plant data and shows that a combination of dynamic shelving and root cause analysis of alarm cascades can reduce the amounts of alarms to a degree that is not achievable with alarm rationalization only.

Händelö is a thermal power plant with a capacity to generate 400 MW of district heating and 130 MW of electricity, located in Norrköping, Sweden, see Figure 1. The fuel is mostly burnable waste. The plant has five burners and two generators.



Figure 1. Händelöverket, Norrköping

In the project, one of the burners, P14, was used. This burner has 3 400 alarms, which were all put into a GDS model. The modeling took around 200 hours, and the entire project used up 1 000 hours, most of which were used for testing and evaluation.

The GDS system has four ways of reducing the number of alarms presented to the operator.

- Some alarms, for example, high and high-high alarms are grouped into single alarms.
- Chattering alarms (that activate and deactivate repeatedly) are detected dynamically and moved to another list (so called shelving).
- Long-standing alarms are also detected dynamically and shelved.
- Alarm cascades are analyzed in real time using a root cause analysis algorithm, reducing large cascades to single primary (root cause) alarms.

Together, these methods reduce high alarm rates down to a minimal numbers of alarms, and enable the end-user to reach the alarm rate goals recommended in the EEMUA standard.

The original alarm shows a small part of the alarm cascade that hit P14 on August 13, 2014, see Figure 2. (The coloring indicates alarm priority.)

Datum och tid	P	Larmtag	Beskrivning	Värde	Prioritet	Grupp	Dolt
14-08-13 10:06:12		14_Q16_3_1_8_FEL	Fel, Profibus komm. 8, 14228P002	LARM	Hög	U	
14-08-13 10:06:12		14_215_A008_SFEL	Profibusfel, Sotblås, ÖH o Korv.del	OK	Medium	U	
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_CS	Stv-Fel, Golvvärmning Cirkpump 6	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_SB	S-Brytare, Processkylbärar, Cirkp. 3, P1	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_CS	Stv-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 1	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_ACOF	Pos-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 3	LARM	Låg	U	
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_ACOF	Pos-Fel, Golvvärmning Cirkpump 6	LARM	Låg	U	
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_SB	S-Brytare, Processkylbärar, Cirkp. 1, P1	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_SB	S-Brytare, Golvvärmning Cirkpump 6	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_ACOF	Pos-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 1	LARM	Låg	U	
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_CS	Stv-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 3	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:12		14_O50_CURHA	Överström, Elsprinklerpump	OK	Låg	U	
14-08-13 10:06:11		14_211_V052_ACOF	Pos-Fel, Mättad Ånga t Ångluft	LARM	Låg	U	
14-08-13 10:06:11		14_Q16_3_1_7_FEL	Fel, Profibus komm. 7, 14228P001	LARM	Hög	U	
14-08-13 10:06:11		14_211_V102_CS	STV-fel Kont.bottenblås, Avstventil	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:11		14_211_V052_CS	Stv-Fel, Mättad Ånga t Ångluft	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:11		14_211_V102_ACOF	Kont.bottenblås, Avstventil	LARM	Låg	U	
14-08-13 10:06:11		14_419_P160_CS	Stv-Fel, Turbin Hjälp Oljepump	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:11		14_424_P003_SB	S-Brytare, Minflödespump	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:11		14_411_V056_ACOF	Pos-Fel, StartVentil	LARM	Låg	U	
14-08-13 10:06:11		14_424_P002_ACOF	Pos-Fel, Pression Pump 2	LARM	Låg	U	
14-08-13 10:06:11		14_424_A001_SB	S-Brytare, Omrörare	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:11		14_424_P004_CS	Stv-Fel, Backspolningspump	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:11		14_424_P004_SB	S-Brytare, Backspolningspump	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:11		14_411_V051_ACOF	Pos-Fel, HuvudångVentil Bypass	LARM	Låg	U	
14-08-13 10:06:11		14_411_V051_CS	Stv-Fel, HuvudångVentil Bypass	LARM	Medium	U	
14-08-13 10:06:11		14_418_P001_CS	Stv-Fel, Kondensatpump 1	LARM	Medium	U	

Figure 2. Original alarm list from August 13, 2014.

The GDS alarm list reduces the cascade of 601 alarms down to a single root cause, as can be seen in the topmost list in Figure 3. The primary fault was a pipe burst in the P14 steam system.

The EEMUA document 191 provides a classification of the alarm load using three KPIs:

- Average number of alarms per hour
- Max number of alarms during worst 10 min
- Percentage of hours with more than 30 alarms

Each operator should receive no more than 6 alarms per hour, no more than 60 alarms per hour during the worst 10 minute period, and have less than 1 % of hours with more than 30 alarms.

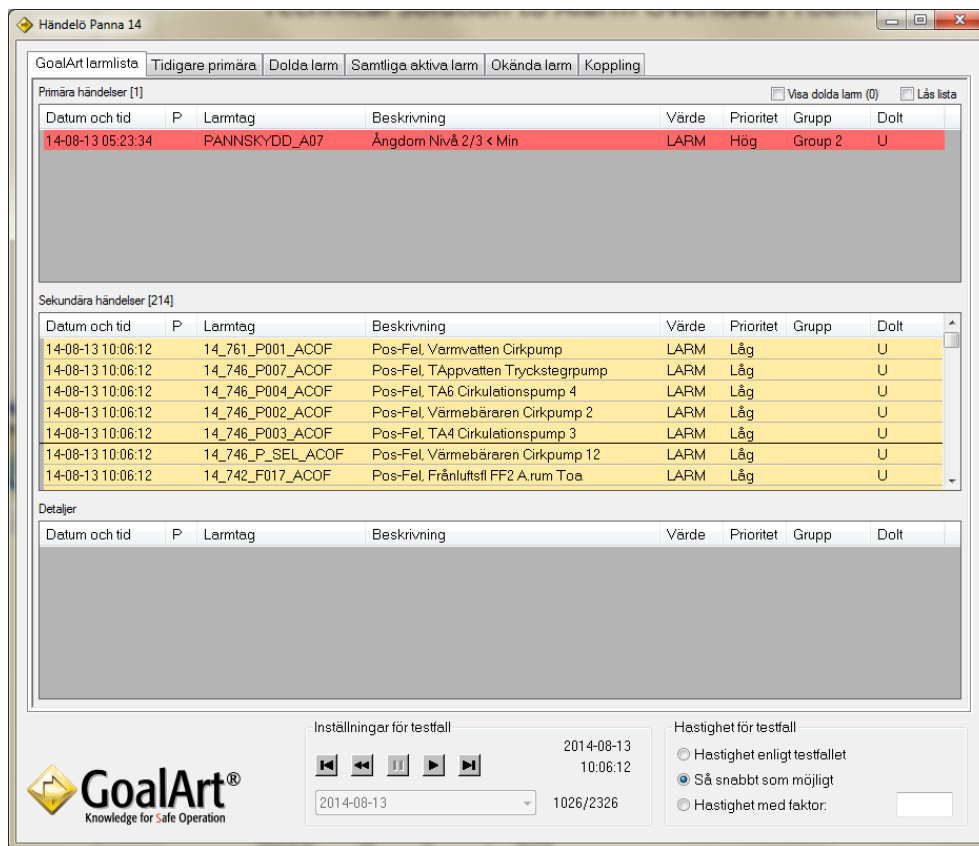


Figure 3. GoalArt alarm list from August 13, 2014.

EEMUA also provides a classification table, see Figure 4, ranking an alarm situation based on the KPIs. The ideal level is called predictive. P14 lands on the stable level, but sometimes goes into the reactive or overloaded levels. Since the control room monitors all five burners and two generators, the overall alarm situation is often overloaded.

Per Hour	Max/Hour	Percent	Classification
> 600	> 6 000	> 50 %	Overloaded
> 60	> 6 000	> 25 %	Reactive
> 6	> 600	> 5 %	Stable
> 6	> 60	> 1 %	Robust
< 6	< 60	< 1 %	Predictive

Figure 4. Alarm system classification.

Alarm rationalization is the process of tuning alarm settings to avoid unnecessary alarms, by setting priorities, decision limits, hysteresis, etc., to good static values.

However, it is usually impossible to reach a predictive level based on alarm rationalization only. The main obstacles are alarm cascades, that is, long chains of consequential alarms that occur in slightly more complex fault situations. It is also common that varying operating conditions trigger chattering dynamically.

GDS uses a unique algorithm to perform root cause analysis on-line in real-time. Large alarm cascades are broken down into a few single root cause alarms (“the real faults”).

The evaluation period data last from December 2013 to November 2014. During this time, the 18 largest alarm cascades were selected. The GDS system analyzed the alarm data and reduced all cascades to a few primary alarms, (often a single one; see the “Primary” column in Figure 5). The average result in the 18 worst cascading days was that the number of alarms was reduced by 98 %.

Date	Day Total	Cascade	Primary	Reduction
2014-08-13	757	601	1	99,83%
2014-08-05	448	265	1	99,62%
2014-11-09	332	197	4	97,97%
2014-06-11	282	193	1	99,48%
2014-08-16	230	135	1	99,26%
2014-03-11	283	133	1	99,25%
2014-07-25	207	110	1	99,09%
2014-11-11	459	91	1	98,90%
2014-07-02	229	82	2	97,56%
2014-05-29	211	56	1	98,21%
2014-02-26	228	54	1	98,15%
2014-11-07	197	44	2	95,45%
2014-05-02	347	43	1	97,67%
2014-03-09	204	43	1	97,67%
2014-04-25	288	35	2	94,29%
2014-11-18	208	34	1	97,06%
2014-11-02	273	25	1	96,00%
2014-01-27	216	22	1	95,45%
Average	300	120	1,33	97,83%

Figure 5. Alarm reduction in the 18 largest alarm cascades.

In total, there were over 100 days in the test periods with alarm cascades comprising more than 100 different alarms. This shows that it is essential to solve the cascade problem in order to reach acceptable alarm rates.

Month	Average	Max	Hours	Alarms	Cons	Red
2013 dec	14	780	8%	9 853	2 087	58%
2014 jan	182	15 150	17%	130 772	12 598	75%
2014 feb	24	528	23%	17 186	2 535	71%
2014 mar	28	792	26%	20 179	2 725	64%
2014 apr	32	630	28%	22 833	2 854	57%
2014 maj	19	654	16%	13 990	2 707	81%
2014 jun	15	486	11%	10 586	2 391	72%
2014 jul	13	558	12%	9 538	2 570	89%
2014 aug	23	2 214	17%	14 467	7 589	96%
2014 sep	17	600	18%	12 337	2 213	86%
2014 okt	14	198	10%	10 424	2 324	70%
2014 nov	21	1 416	20%	11 807	2 518	84%
Per Year	33	2 001	17%	23 664	3 759	75%
Per Day	33	2 001	17%	65	10	75%

Figure 6. KPIs and alarm reduction per month during the test period.

P14 also has problems with chattering and long-standing alarms. During the period, there were 43 alarms that chattered more than 1 000 times per day. A single communication alarm chattered 4 086 times on August 15, 2014. During the period, over 100 alarms were continuously active for more than 192 hours.

During normal operation, the GDS system combines shelving of chattering and long-standing alarms with root cause analysis of alarm cascades. Over the evaluation period, the average reduction was 75 %, (see the “Red” column in Figure 6). However, during days with alarm cascades, the reduction goes up to 98-99 %. The reduction is the highest in the most difficult situations, that is, when it is needed the most.

It should be noted that P14 has not been through a static alarm rationalization effort. The GDS algorithms will accomplish a clearly better result automatically.

The GDS modelling effort for 3 400 alarm was around 200 hours. An alarm rationalization effort would require a lot more, from 500 to 1 000 hours, and because of the cascading problems, would not be able to yield comparable results. The average alarm reduction over the test period, including “calm” periods, was 75 %, while during alarm cascades it climbs to over 98 %.

The project was funded by Energiforsk (40 %), the Swedish Energy Agency (35 %), E.ON. (5 %), and GoalArt (20 %), and performed by GoalArt with the aid of E.ON. at Händelö in Norrköping, Sweden.

Innehåll

1	Inledning	17
2	Bakgrund och mål	18
3	Modellering av Panna 14	19
3.1	Definition av omfattning	19
3.2	Insamling av anläggningsdata	19
3.3	Modellering	20
4	Testning med historiska data	21
5	Resultat av testning off-line	22
6	Testning on-line	26
7	Sammanfattning av projektets resultat	27
8	Mjukvaruinkoppling	28
9	Underhåll	29
10	Projektplan och tidsåtgång	30
11	Framtida projekt	31
11.1	Modellering av hela Händelöverket	31
11.2	Projekt inom skogsindustrin	31
12	Appendix: teknisk bakgrund	32
12.1	Grundläggande MFM	32
12.2	Exempel på en MFM-modell	32
12.3	MFM-algoritmer	34
13	Appendix: att mäta larmproblem	35
13.1	Överbelastat	35
13.2	Reaktivt	36
13.3	Stabilt	36
13.4	Robust	36
13.5	Prediktivt	36
14	Appendix: att lösa larmproblem	37
15	Appendix: rotfelsanalys	38
15.1	Tidsmärkning	38
15.2	Felträd och regelbaserade expertsystem	38
15.3	Programmering i styrsystemets logik	39
15.4	Lärande system	39
16	Referenser	40

1 Inledning

Larmsystemet är en väsentlig funktion i moderna processanläggningar, till exempel kraftverk, raffinaderier, kemiska anläggningar, distributionsnät, och andra typer av processer som styrs från kontrollrum. Larmsystemet hjälper operatören att övervaka processen och varnar för situationer där något är fel och operatören behöver ingripa.

Om ett larmsystem fungerar dåligt kan följderna bli allvarliga. Några välkända exempel är:

- Milford Haven Refinery, England 1994. En fem timmar lång larmskur föregick olyckan, som annars troligen kunnat undvikas. Kostnad: 48 miljoner GBP samt förlorad produktion.
- Eurotunnel, 1994. Larmproblem försenade upptäckt och insatser. Kostnad: cirka 200 miljoner GBP.
- Three Mile Island, Harrisburg, Pennsylvania 1979. En cirka två timmar lång larmskur var orsaken till denna incident. Kostnad: cirka 1 miljard USD.
- Vallviks Bruk, Sverige, 1998. En larmskur på cirka 100 larm gjorde det omöjligt för operatörerna att förstå vad som höll på att hända, och undvika att en sodapanna exploderade. Kostnad: cirka 100 miljoner SEK.

Det finns ett stort antal exempel på liknande olyckor som lett till både stora kostnader och personskador.

Ett dåligt fungerande larmsystem kan orsaka driftstörningar, stopp och perioder av suboptimal eller felaktig produktion. Detta är inte lika dramatiskt som olyckor, men leder till stora kostnader.

- Ett kraftverk på 1 000 MW som står stilla fyra timmar kostar upp till 1 miljon SEK om produktionen inte kan täckas på annat sätt.
- Ett pappersbruk som producerar felaktig produkt (på grund av ett missat larm) kan kosta 1 miljon SEK efter några timmars körning.
- Ett raffinaderi eller stålverk som står stilla kostar cirka 1 miljon SEK i förlorad produktion per 2 – 10 timmar, beroende på produkt och storlek.

Liknande siffror gäller för de flesta typer av stora industrianläggningar. Mindre anläggningar kostar naturligtvis inte lika mycket per timme, men det rör sig om stora summor i alla fall. Ett lokalt fjärrvärmeverk på 50 MW kostar kanske 100 000 SEK i förlorad produktion om det står stilla i 12 timmar.

Normalt sett är kostnaderna för ett dåligt fungerande larmsystem inte kända, utan ligger dolda i allmänna driftkostnader. Men det råder ingen tvekan om slutsatsen man kan dra av ovanstående. Det finns pengar att tjäna på att lösa en anläggnings larmproblem.

2 Bakgrund och mål

GoalArts teknik har tidigare prövats i ett projekt hos Ångpanneföreningen, där en komplex larmkaskad vid Vallviks bruk analyserades framgångsrikt. Den har levererats kommersiellt inom andra branscher, bland annat kraftnät. Sveriges och Kroatiens stamnät övervakas i dag av system från GoalArt. Tekniken har även använts inom oljeindustrin, bland annat av Chevron i Kalifornien.

Trots att behovet är stort, har tekniken ännu inte slagit igenom inom processindustrin. Detta beror troligen dels på att tekniken behövt tid för att utvecklas och mogna, dels på att erfarenheter och beslutsunderlag har saknats. Huvudsyftet med projektet har varit att skapa en bättre grund till ett sådant beslutsunderlag.

Den modellering som krävs har med tiden kunnat minskas betydligt, vilket gör teknologin praktiskt användbar i processindustrin. Med ökad erfarenhet har vi blivit bättre och effektivare på ingenjörsmässig modellering av anläggningar, och dessutom har vi utvecklat en metod för att bygga färdiga bibliotek av lösningar för olika systemkomponenter, vilket gör processen att bygga upp modeller snabbare och resultaten pålitligare.

En larmsanering, där man ställer in larmgränser och prioriteter, ger normalt en viss procentuell minskning av antalet larm. Men det är viktigt att observera att larmskurar av följdfel består av korrekta larm. Oavsett hur mycket ansträngning man lägger på larmsanering, löser detta inte problemet med stora larmskurar. För att hantera dessa måste man använda någon form av teknik för att hitta de primära felen. Projektet visar att rotfelsanalys kan ge en stor förbättring av larmproblematiken, vilket är omöjligt att åstadkomma med enbart larmsaneringsåtgärder.

Huvudmålet med projektet har varit att modellera en representativ processanläggning, bygga ett system för att identifiera primära fel, installera detta, samt testa och utvärdera resultat och erfarenheter, så att man kan producera ett beslutsunderlag som gör att tekniken kan prövas i större skala inom processindustrin.

Delmålen för projektet har varit:

- Välja en representativ testanläggning. Denna skulle ha problem med larmskurar som påverkar driften. Vi kunde tänka oss en sodapanna eller ett konventionellt kraftvärmeverk. Valet föll så småningom på Panna 14 vid Händelöverket i Norrköping.
- Konfigurera och ansluta ett system för larmanalys, samt låta operatörerna övervaka och dokumentera systemet i drift.
- Analysera resultat och erfarenheter i en rapport.
- Producera ett beslutsunderlag som blir användbart för processindustrin.

Samtliga delmål är konkreta och har resulterat i skriftliga resultat och ett installerat system.

3 Modellering av Panna 14

Den huvudsakliga arbetsinsatsen i projektet har varit att bygga en MFM-modell av Panna 14 samt att testa denna på olika sätt. Detta arbete har utförts av GoalArt, med hjälp av anläggningsdata som tillhandahållits av Händelöverket.

Modellering och testning med hjälp av MFM är en process som standardiserats av GoalArt och innehåller ett antal typiska steg. Dessa är:

- Definition av modellens omfattning
- Insamling av anläggningsdata
- Modellering
- Testning delsystem för delsystem
- Testning med historiska data
- Testning on-line

3.1 DEFINITION AV OMFATTNING

Det första steget var att definiera modellens omfattning, vilket är nära sammankopplat med insamling av anläggningsdata. Det normala sättet är att definiera omfattningen av projektet med hjälp av en lista över konfigurerade larm. När projektet planerades, föreslog E.ON. att Panna 14 skulle modelleras. I början av projektet bestämdes att omfattningen skulle utgöras av alla larm som tillhör Panna 14 och är definierade som tillhörande i det befintliga SCADA-systemet. Jan Johansson på Händelöverket skapade en lista på dessa larm, genom att dumpa ut den från SCADA-systemet. Listan levererades till GoalArt i form av en CVS-fil, (comma separated values; ett standardformat som bland annat används av Excel). Denna lista innehåller 3 400 larm inklusive information om delsystem, identifierare ("larntag"), larmtext, prioritet, och ett stort antal andra larmparametrar. GoalArt undersökte denna fil och kontrollerade att all behövlig information fanns tillgänglig.

3.2 INSAMLING AV ANLÄGGNINGSDATA

Nästa steg var insamling av anläggningsdata. Detta förbereddes vid ett inledande möte 2014-10-24. Sedan levererade Händelöverket följande data till GoalArt:

- Process- och instrumenteringsdiagram som täckte samtliga system inom den definierade omfattningen
- Processbilder för motsvarande system
- Scheman för elsystem och styrsystem, inklusive styrloopar och trippar för motsvarande system
- Korta beskrivningar av namngivningskonventioner för pannans delsystem och för larntagarna

GoalArt kontrollerade att dessa anläggningsdata var kompletta. Nämnas bör att data kompletterades under projektets gång. Bland annat skickades ställverksinformation den

29 januari 2015. Insamling av anläggningsdata är normalt en iterativ process, och så blev det även denna gång.

3.3 MODELLERING

Själva MFM-modelleringen av Panna 14 påbörjades i oktober 2014 och avslutades i mars 2015. Totalt användes cirka 200 timmar för modellering och iterativ testning av färdiga delsystem.

GoalArt har under tidigare år utvecklat en systematisk process för modellering, där arbetet styrs av den befintliga listan av larmtaggar. Modellen byggs delsystem för delsystem och tagg för tagg, och testas omedelbart med enkla testfall som konstruktören utvecklar samtidigt med modelleringen. Detta gör att man undviker att modellera anläggningsdelar som inte är bestyckade med larm, och det blir också enkelt att mäta hur modelleringen går framåt. Man kan helt enkelt beräkna hur stor procent av omfånget som redan är modellerat.

Samtliga system i Panna 14 är av välkänd typ för MFM, till exempel materialflöden som tilluft, rökgas, bränsle, askutmatning, smörjolja, tryckluft, etc., energiflöden av typen termisk energi i medier och elsystem, samt informationsflöden, det vill säga styrlooppar och tripssystem. Modelleringen av Panna 14 innebar inga nya modelleringsproblem, utan kunde utföras med hjälp av standardlösningar. Varje delsystem i Panna 14 kännetecknas av ett tresiffrigt nummer, och samma struktur användes i MFM-modellen, så att varje delsystem finns beskrivet som en separat delmodell.

En del av modelleringen är sammanslagning av flera SCADA-taggar till en MFM-tagg. Så representeras till exempel en låg-tagg och en låg-låg-tagg i SCADA-systemet av en enkel låg-tagg i MFM-modellen. Vissa taggar, som antingen inte är processlarm, eller som tillhör processen men snarare är statusindikationer än larm, utesluts ur modellen. Signalfel finns inte i MFM-modellen, utan innebär att algoritmen får veta att värdet på motsvarande processlarm inte är giltigt. Den slutgiltiga modellen innehåller 3 423 SCADA-taggar, varav 88 uteslöts. Resten slogs samman till 1 096 MFM-taggar.

Den resulterande MFM-modellen är inte bara en modell av Panna 14 i Händelöverket. Den kan också sägas vara en ganska generell modell för en förbränningspanna. Om man vill modellera en annan, liknande panna, måste man uppdatera taggnamnen i modellen, samt ändra detaljer i vissa delsystem, men i stort sett bör man kunna bygga en ny modell genom ganska enkla ändringar i den befintliga modellen. Detta kan vara extra intressant att veta om man vill modellera övriga pannor vid Händelöverket.

4 Testning med historiska data

En stor fördel för projektet var att Händelöverket hade sparat larndata från det senaste året, och denna levererades till GoalArt i oktober 2014. Detta gjorde att vi kunde testa modellen mot verkliga anläggningsdata fastän systemet ännu befann sig off-line. En inledande undersökning av data visade att det fanns ett stort antal dagar med tjattrande larm, ett stort antal dagar med många unika larm (ett tecken på larmskurar), samt ett antal lugna dagar med färre larm.

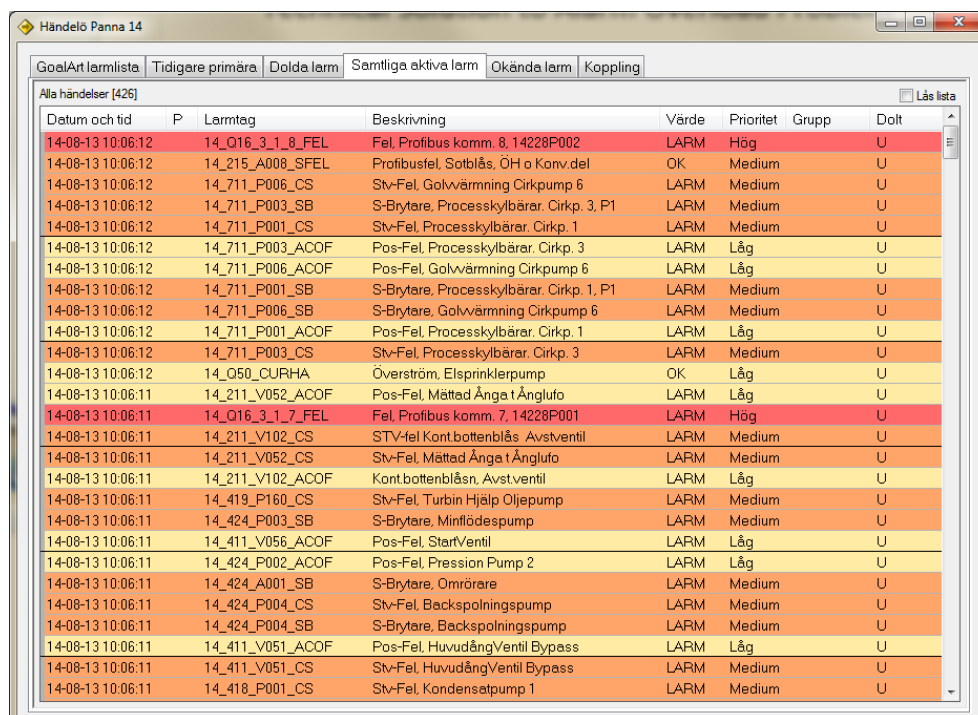
Vi valde ut de tjugo värsta dagarna både när det tjattrande larm och larmskurar, översatte dessa till ett dataformat som kan läsas av GoalArt-systemet, och testkörde dagarna på samma sätt som om larmen hade anlänt on-line i realtid. De första cirka fem testfallen i båda grupperna användes för att testa att modellen fungerade och gav rätt resultat. Slutsatsen var att vi upptäckte ett antal brister i modelleringen. I huvudsak var dessa brister av två typer:

- Vissa larm kommer i praktiken inte, fast de borde komma. Till exempel kan ett visst larm A tillhöra en del av ställverket, som förser en annan del med larmet B, som i sin tur förser en komponent med larmet C. Man ser trots detta ofta situationer där A orsakar C utan att larmet B aktiveras.
- Vid trippar aktiverades fler larm än vad som fanns angivet i dokumentationen. Detta beteende var systematiskt, vilket antyder att tripp-dokumentationen inte är helt komplett. Modellen ändrades så att den beskriver verkligheten så som den definieras av testfallen, och inte enligt dokumentationen.

Det var rättframt att gå igenom testfallen och rätta modellen. Efter cirka fem testfall av varje sort, stämde resterande testfall utan ytterligare ändringar. En viktig slutsats är att det är mycket värdefullt att ha tillgång till historiska data. Om detta inte funnits, hade vissa av bristerna i modellen inte kunnat upptäckas förrän vid incidenter i skarp drift.

5 Resultat av testning off-line

GDS-systemet testades först med historiska data. Det visade sig omedelbart att det fanns en stor mängd larmkaskader som drabbats Panna 14. Några av dem var mycket stora och uppstod i samband med komplex aincidenter.



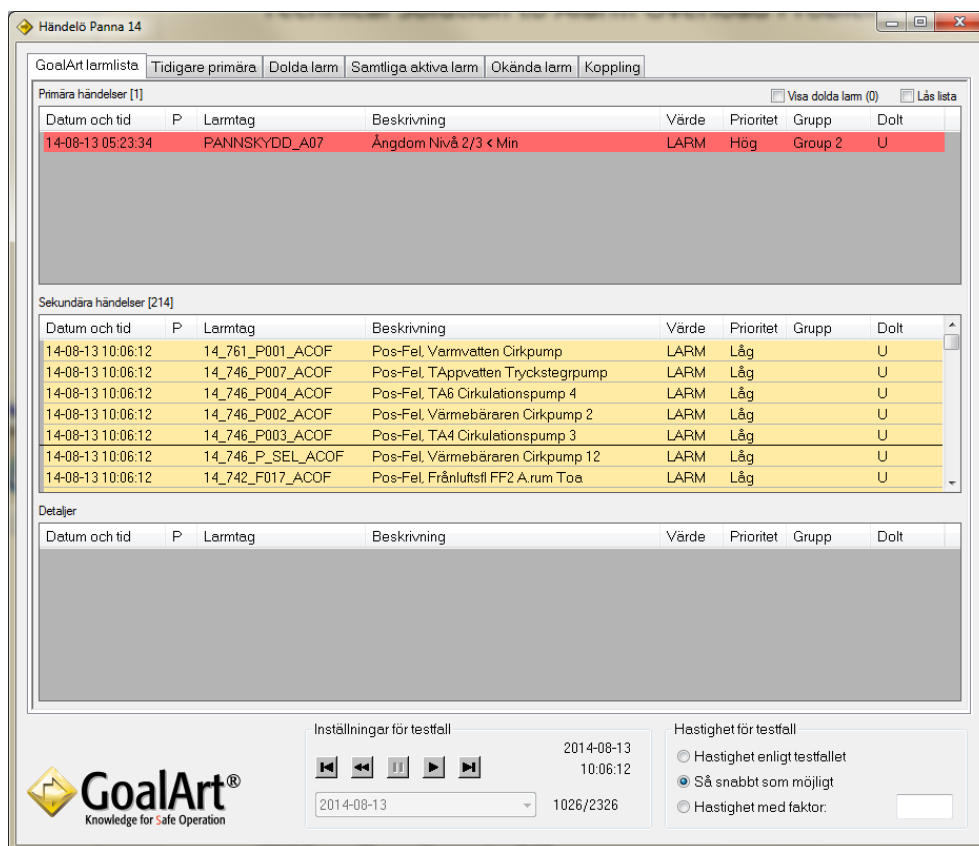
Datum och tid	P	Larmtag	Beskrivning	Värde	Prioritet	Grupp	Dolt
14-08-13 10:06:12		14_Q16_3_1_8_FEL	Fel, Profibus komm. 8, 14228P002	LARM	Hög		U
14-08-13 10:06:12		14_215_A008_SFEL	Profibusfel, Sotblås, ÖH o Korv.del	OK	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_CS	Stv-Fel, Golvvärming Cirkpump 6	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_SB	S-Brytare, Processkylbärar, Cirkp. 3, P1	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_CS	Stv-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 1	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_ACOF	Pos-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 3	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_ACOF	Pos-Fel, Golvvärming Cirkpump 6	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_SB	S-Brytare, Processkylbärar, Cirkp. 1, P1	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P006_SB	S-Brytare, Golvvärming Cirkpump 6	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P001_ACOF	Pos-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 1	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:12		14_711_P003_CS	Stv-Fel, Processkylbärar, Cirkp. 3	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:12		14_Q50_CURHA	Överström, Elsprinklerpump	OK	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V052_ACOF	Pos-Fel, Mättad Ånga t Ångluft	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_Q16_3_1_7_FEL	Fel, Profibus komm. 7, 14228P001	LARM	Hög		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V102_CS	STV-fel Kont.bottenblås, Avstventil	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V052_CS	Stv-Fel, Mättad Ånga t Ångluft	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_211_V102_ACOF	Kont.bottenblås, Avstventil	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_419_P160_CS	Stv-Fel, Turbin Hjälp Oljepump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P003_SB	S-Brytare, Minflödespump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_411_V056_ACOF	Pos-Fel, StartVentil	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P002_ACOF	Pos-Fel, Pression Pump 2	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_424_A001_SB	S-Brytare, Omrörare	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P004_CS	Stv-Fel, Backspolningspump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_424_P004_SB	S-Brytare, Backspolningspump	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_411_V051_ACOF	Pos-Fel, HuvudångVentil Bypass	LARM	Låg		U
14-08-13 10:06:11		14_411_V051_CS	Stv-Fel, HuvudångVentil Bypass	LARM	Medium		U
14-08-13 10:06:11		14_418_P001_CS	Stv-Fel, Kondensatpump 1	LARM	Medium		U

Figur 1. Den ursprungliga larmlistan från den 13 augusti 2014.

Den ursprungliga larmlistan i Figur 1, visar en liten del av den larmskur som drabbade Panna 14 den 13 augusti 2014. (Färgerna indikerar larmprioritet.)

I GDS-systemets larmlista reduceras kaskaden på 601 larm till ett enda rotfel, vilket syns i den översta lista i Figur 2. Det primära felet var en tubfläkning i ångsystemet för Panna 14.

Tillgången till historiska data gjorde att vi kunde testa och utvärdera systemet på verkliga anläggningsdata redan innan systemet kopplats in. Projektet använde historiska data from december 2013 till november 2014. Under denna period valdes de 20 dagar som hade de största larmkaskaderna ut. Dessa identifierades som dagar med störst antal unika larm. Två av dagarna visade sig vid närmare analys bestå av tjatrande kommunikationslarm, och eftersom de inte är särskilt typiska för kaskader, återstod 18 dagar med larmkaskader av processlarm.



Figur 2. GoalArts larmlista från den 13 augusti 2014.

GDS-systemet analyserade dessa larmdata och reducerade samtliga kaskader till ett fåtal egentliga fel, (oftast ett enda; se kolumnen "Primary" i Figur 3 nedan). Det genomsnittliga resultatet för de 18 värsta dagarna var att 98 % av larmen togs bort.

Date	Day Total	Cascade	Primary	Reduction
2014-08-13	757	601	1	99,83%
2014-08-05	448	265	1	99,62%
2014-11-09	332	197	4	97,97%
2014-06-11	282	193	1	99,48%
2014-08-16	230	135	1	99,26%
2014-03-11	283	133	1	99,25%
2014-07-25	207	110	1	99,09%
2014-11-11	459	91	1	98,90%
2014-07-02	229	82	2	97,56%
2014-05-29	211	56	1	98,21%
2014-02-26	228	54	1	98,15%
2014-11-07	197	44	2	95,45%
2014-05-02	347	43	1	97,67%
2014-03-09	204	43	1	97,67%
2014-04-25	288	35	2	94,29%
2014-11-18	208	34	1	97,06%
2014-11-02	273	25	1	96,00%
2014-01-27	216	22	1	95,45%
Average	300	120	1,33	97,83%

Figur 3. Larmreduceringen för de 18 värsta larmkaskaderna.

I Figur 3 ser man att den värsta kaskaden under perioden ägde rum den 13 augusti 2014. Totalt under dagen kom 757 larm, varav 601 tillhör en och samma kaskad. Denna kaskad reduceras till ett enda rotfel, nämligen kritiskt låg nivå i ångdomen. Det som faktiskt hände denna dag var en tubfläkning i pannan, som gjorde att vattennivån i ångsystemet sjönk katastrofalt. Det läckande vattnet slog dessutom ut ställverket.

Siffrorna visar att all de 18 värsta kaskaderna reduceras ner till de verkliga rotfelen, vilka är ett, två eller fyra oberoende fel. Detta innebär en optimal larmreducering.

Totalt finns det över 100 dagar i testperioden med larmkaskader som omfattar mer än 100 olika larm. Detta visar att det är av avgörande vikt att hantera problemet med larmkaskader, om man ska kunna nå ner till acceptabla larmfrekvenser.

Panna 14 har också problem med tjatrande och långliggande larm. Under testperioden var det 43 larm som någon gång tjatrade mer än 1 000 gånger per dag. Ett enda kommunikationslarm kom och gick 4 086 gånger den 15 augusti 2014. Under perioden fanns det över 100 larm som var aktiva längre än 192 timmar.

Month	Average	Max	Hours	Alarms	Cons	Red
2013 dec	14	780	8%	9 853	2 087	58%
2014 jan	182	15 150	17%	130 772	12 598	75%
2014 feb	24	528	23%	17 186	2 535	71%
2014 mar	28	792	26%	20 179	2 725	64%
2014 apr	32	630	28%	22 833	2 854	57%
2014 maj	19	654	16%	13 990	2 707	81%
2014 jun	15	486	11%	10 586	2 391	72%
2014 jul	13	558	12%	9 538	2 570	89%
2014 aug	23	2 214	17%	14 467	7 589	96%
2014 sep	17	600	18%	12 337	2 213	86%
2014 okt	14	198	10%	10 424	2 324	70%
2014 nov	21	1 416	20%	11 807	2 518	84%
Per Year	33	2 001	17%	23 664	3 759	75%
Per Day	33	2 001	17%	65	10	75%

Figur 4. Nyckeltal och larmreducering per månad.

I Figur 4 ser man att den värsta dagen med tjatrande larm kom det i snitt 15 150 larm i timmen. Det reduceras dynamiskt så att 75 % av larmen tas bort. Detta är visserligen en hög siffra, men även efter reduktionen är det för många larm. Det är uppenbart att man bör använda informationen om tjatrande larm för att vidta andra åtgärder för att en gång för alla få bort de tjatrande larmen, om detta är möjligt. Detta kan eventuellt göras genom förändring av larmgränser och/eller införande av hysteres. GDS-systemet ger i detta fall stor hjälp genom att identifiera de värsta tjatrande larmen.

När GDS-systemet kör, används en kombination av att lägga tjatrande och långliggande larm "på hyllan," tillsammans med rotfelsanalys av larmkaskader. Under utvärderingsperioden var den genomsnittliga larmreduktionen 75 %, (se kolumnen "Red" i Figur 4). Under dagar med larmkaskader går reduktionen upp till 98-99 %. Reduktionen är som högst i de svåraste situationerna, när den behövs som bäst.

Man bör notera att Panna 14 inte har genomgått någon statisk larmsanering. GDS-systemet ger ett klart bättre resultat, med en automatisk algoritm.

Det tog cirka 200 timmar att modellera 3 400 larm. En larmsanering skulle ta betydligt mer tid i anspråk, från 500 till 1 000 timmar, och skulle, beroende på kaskader, inte

kunna leda till ett jämförbart resultat. Den genomsnittliga larmreduktionen över testperioden var 75 % och under larmkaskader går den upp till över 98 %.

Resultaten av testningen med historiska data presenterades på ett möte vid Händelöverket den 13 april 2015.

6 Testning on-line

GoalArt-systemet fanns på plats och var installerat och kördes igång i juni 2015. Sedan följde en utvärderingsperiod on-line under sommaren. Systemet användes av operatörerna och övervakades av Björn Pettersson på Händelöverket. I slutet av augusti 2015 skickades nya historisk alarndata från perioden november 2014 till och med augusti 2015. Sammanfattande data för denna period finns i Figur 1.

Som synes är data för den nya perioden mycket lika den tidigare. GDS-systemet ger en genomsnittlig reducering på cirka 75 % över hela perioden. Detta gör att man mer rimlig säkerhet kan säga att detta är larmsystemets normala prestanda eller beteende för Panna 14 på Händelöverket.

Om man tittar lite mer noggrant så ser man dock att under de tre sommarmånaderna, då GDS-systemet var i drift on-line, är nyckeltalen generellt lite bättre. Björn Pettersson på Händelö rapporterar att driften under dessa månader gått ovanligt bra. Man har inte haft någon större incident eller några allvarliga problem med larmskurar. Det genomsnittliga antalet larm har legat ovanligt lågt på 16 larm per timme, och GDS-systemets reduktion har sjunkit till cirka 60 %.

Månad	Snitt	Max	Tim	Larm	Kons	Red
2014 nov	20	882	18%	14 584	3 523	82%
2014 dec	16	258	13%	11 355	2 114	68%
2015 jan	25	1 464	27%	17 803	2 430	72%
2015 feb	30	540	37%	21 367	4 948	74%
2015 mar	37	738	35%	26 564	6 272	94%
2015 apr	23	354	21%	16 680	3 422	93%
2015 maj	33	426	45%	23 864	3 553	72%
2015 jun	17	516	25%	12 495	3 164	79%
2015 jul	16	420	18%	11 732	2 087	58%
2015 aug	16	252	15%	11 258	1 720	62%
Per dag	23	585	25%	16 770	3 323	75%

Figur 1. Nyckeltal och larmreducering per månad.

Man kan alltså konstatera att just de tre månader som systemet varit aktivt i kontrollrummet har Händelöverket gått ovanligt problemfritt, vilket är bra för E.ON. men lite oturligt för projektets utvärdering. Vi kommer därför att fortsätta att bevaka Panna 14 och GDS-systemets nyckeltal under hösten, för att om möjligt få bättre feedback från operatörerna.

7 Sammanfattning av projektets resultat

Sammanfattningsvis kan man säga att Panna 14 normalt har problem med både larmskurar och tjattrande larm, och att situationen i kontrollrummet ofta ligger långt över de rekommenderade nyckeltalen enligt EEMUA. Genom att enbart ta bort de tjattrande larmen kommer man inte ner i rekommenderade nivåer. Panna 14 kan alltså inte uppnå en god larmsituation med hjälp av enbart larmsanering. Om man däremot kombinerar rotfelsanalys av larmskurar med dynamisk shelving av tjattrande och långliggande larm, så som görs av GDS-systemet, kan man komma ner under den rekommenderade nivån på max 6 larm per timme.

Den genomsnittliga reduktionen verkar ligga stabilt runt 75 % och under larmskurar går den upp till 98-99 %. Detta visar helt klart styrkan hos kombinationen av rotfelsanalys och dynamisk shelving.

Projektet visar att en process typ Panna 14 kan föras med rotfelsanalys och dynamisk larmundertryckning med en arbetsinsats runt 500 timmar. En larmsanering av samma storleksordning skulle uppskattningsvis ta runt 1 000 timmar eller i all fall mer än 500 timmar, men inte kunna ge samma goda resultat. Resultatet pekar på att larmskurar måste hanteras och att den föreslagna metodiken är mer kostnadseffektiv än vanlig larmsanering.

8 Mjukvaruinkoppling

För att GDS-systemet ska kunna köra on-line i realtid krävs att det finns en mjukvarukoppling där larmdata kan skickas från SCADA-systemet till GDS. Händelöverket har två redundanta SCADA-system, som omgärdas av höga krav på datasäkerhet. De larm som genereras, visas i kontrollrummet, men skickas också över till en databas för långtidslagring.

För att åstadkomma en enkel inkoppling, som dessutom inte riskerar att påverka datasäkerheten för mycket, valde GoalArt i samråd med Händelöverket att göra en inkoppling mot den databas som lagrar historiska larm. Fördelarna med detta är att det är relativt enkelt att bygga ett gränssnitt mot en databas, att data bara behöver hämtas på ett ställe, samt att risken för påverkan på SCADA-systemet (när det gäller både prestanda och datasäkerhet) blir minimal. Nackdelen är att det tar en viss tid för larmdata att transporteras från SCADA-systemet till databasen. Den använda lösningen innebär att larmen kan bli fördröjda med någon eller några sekunder jämfört med när de först syns i SCADA-systemets larmlistor.

GoalArts gränssnitt frågar efter samtliga aktiva larm vid uppstart eller omstart. Denna operation kan ta flera minuter körtid på den dator där databasen finns, men den görs bara då systemet behöver startas om. Därefter kan larmförändringar hämtas inkrementellt via databasen, och denna operation går på under en sekund, och bidrar inte märkbart till någon fördröjning.

Utvecklingen och testning av databasgränssnittet uppskattas ha tagit knappt 200 av projekts totala 1 000 timmar.

9 Underhåll

Det installerade GoalArt-systemet innehåller en MFM-modell som beskriver Panna 14, med alla dess aktuella taggar. Om processen, styrsystemet, eller taggarnas namn ändras, kan modellen behöva uppdateras. Det kan också finnas fel i modellen, som kan visa sig under drift, när en incident sker och GDS avger en felaktig analys. Även i detta fall kan modellen behöva felsökas och sedan uppdateras.

Indata till GDS ges i form av en MFM-modell-fil som definierar själva MFM-modellen, och ett Excelblad som innehåller samtliga taggnamn, (både de som finns i SCADA-systemet och de som används i MFM-modellen). Excelbladet sparas i formatet CSV och översätts automatiskt till konfigurationsfiler med ett separat program. Vid en uppdatering är det en eller båda av dessa filer som behöver ändras.

Att bygga eller ändra i en MFM-modell är relativt enkelt, men kräver en grundläggande kunskap i MFM-modellering, dess metoder och principer. Vi tror därför att så länge en processägare bara har ett fåtal system, vilket är fallet för Händelöverket, (även om man skulle utvidga GoalArt-systemet till samtliga pannor), är den effektivaste lösningen att låta GoalArt sköta underhållet.

Om en processägare skulle välja att använda GoalArt-system vid flera anläggningar kan det dock vara en bättre lösning att arbeta upp en egen kompetens inom koncernen. Detta är dock knappast lönt förrän man nått upp till åtminstone ett tiotal installationer.

GDS-systemet vet vilka taggar som är konfigurerade i modellen och jämför hela tiden mängden konfigurerade larm med den larminformation som inkommer i realtid. Om det kommer ett nytt, tidigare okänt larm, hamnar detta i en särskild lista över larm som systemet inte kan känna igen. Systemet varnar alltså självt för fall där man ändrar ett taggnamn eller lägger till ett nytt larm eller en ny anläggningsdel. Om ett larm tas bort, ligger det visserligen kvar i modellen, men algoritmens egenskaper är sådana att det inte gör någon skillnad om larmet aldrig mer aktiveras.

En viktig egenskap hos MFM är att det är ovanligt enkelt att göra förändringar i en modell. I många andra teknologier betyder även en mindre ändring, till exempel tillägg av en ny vattenpump, att en stor del av modellen måste gås igenom för att reda ut alla påverkansvägar som kan finnas mellan den nya komponenten och resten av anläggningen. I MFM räcker det med koppla in den nya pumpen på rätt ställe. All påverkan sköts sedan korrekt av algoritmen. Det är alltså mycket lätt och felsäkert att uppdatera en MFM-modell.

Den andra viktiga egenskapen hos MFM är att modellen och algoritmen är robust mot modellfel. Normalt sett blir analysen korrekt även vid ganska grova modellfel. Det värsta som brukar hända vid grövre avvikelser mellan modell och verklighet är att de korrekta rotfelen åtföljs av några extra rotfel, som egentligen borde varit konsekvenser. Algoritmen är alltså robust mot modellfel.

Tillsammans gör detta att MFM ger ovanligt få underhållsproblem.

10 Projektplan och tidsåtgång

Projektet var uppdelat i nio faser, som genomfördes under cirka nio kalendermånader. Projektet innehöll kostnader för löner, resor, samt en PC-dator med fjärrskärm.

Den totala arbetsmängden beräknades till 1 040 timmar, vilket med en timkostnad på 650 kronor blev 676 000 kronor. Vi räknade med att processägarens arbetsinsats totalt skulle bli cirka 80 timmar, varav de flesta skulle kunna utföras bland normala arbetsuppgifter. Alla dessa beräkningar visade sig stämma bra.

Den använda arbetstiden har fördelat sig ungefär som följer:

Kunskapsinsamling	050 timmar
Modellering	200 timmar
Testning	200 timmar
Mjukvaruinkoppling	200 timmar
Rapport	200 timmar
Möten, resor, övrigt	200 timmar

Vi gjorde fyra resor, en vid starten, en vid första modelldemonstration, en för inkopplingen och en för officiell uppstart och projektmöte.

Projektet finansierades enligt följande.

Energimyndigheten	40 %
Värmeforsk	45 %
Processägare	05 %
GoalArt	10 %

GoalArt och E.ON. medfinansierade projektet med egen arbetstid.

11 Framtida projekt

Projektets resultat visar att kombinationen av rotfelsanalys och dynamisk larmundertryckning fungerar mycket bra för Panna 14. Modelleringen gick som väntat, utan några större problem, och tog cirka 200 timmar för 3 400 larm. En stor anledning till att projektet gick bra var tillgängligheten av historiska larmdata.

Det finns dock några naturliga frågeställningar som vore intressanta att undersöka i framtida projekt.

11.1 MODELLERING AV HELA HÄNDELÖVERKET

Händelöverket består av fem förbränningspannor, två generatorer, samt diverse gemensamma hjälpsystem. Alla dessa system styrs från samma kontrollrum. Den larmström som kommer till operatörerna är alltså summan av alla larm från samtliga delar av Händelöverket.

Detta betyder att en visserligen kraftig förbättring av larmsystemet för Panna 14 ändå *inte ger någon större förbättring för kontrollrummet totalt sett*. Larmskurar och tjatrande larm från de andra pannorna kan ju fortfarande göra att den totala mängden larm går över de rekommenderade värdena.

En mycket rimlig fortsättning på projektet vore att stegvis modellera panna för panna och generator för generator, för att så småningom ha ett GDS-system som fungerar för samtliga larm i kontrollrummet för hela Händelöverket. Det är egentligen först då som operatörerna skulle få maximal nytta av den nya tekniken.

Givet att en modell redan finns för Panna 14, tror vi att nästa modelleringsprojekt skulle gå snabbare, och att det vore möjligt att bygga modeller för varje ny panna på mindre än 400 timmar. Generatorer och övriga hjälpsystem har betydligt färre larmtaggar, och skulle också gå enkelt att modellera. En komplett GDS-installation för hela Händelöverket torde alltså inte ligga särskilt långt bort.

11.2 PROJEKT INOM SKOGSINDUSTRIN

Intressenterna inom SEBRA-programmet kommer från kraftvärme men även från skogsindustrin. Detta avspeglas av att cirka hälften av medlemmarna i styrgruppen kommer från pappersbruk.

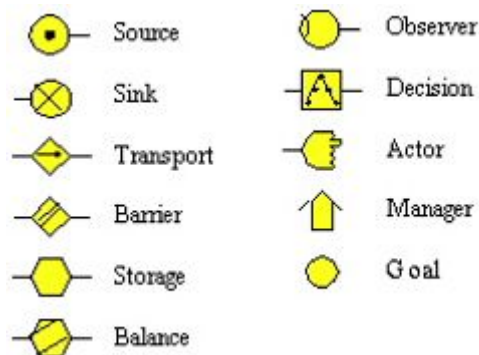
Det är uppenbart att man skulle kunna göra ett liknande projekt inom skogsindustrin, till exempel för en sodapanna. Larmproblematiken är minst lika stor för ett pappersbruk och säkerhetsaspekten är större. Det finns sedan tidigare en liten modell för sodapannan på Vallviks bruk, och i kombination med den framtagna modellen för Panna 14 borde det vara rättframt att modellera en sodapanna och pröva det resulterande systemet i praktiskt bruk. Vi har inte modellerat massakokare, men det borde vara ett givande projekt att göra detta, för att kunna erhålla ett komplett system för ett pappersbruk.

12 Appendix: teknisk bakgrund

GoalArt är baserat på multilevel flow models, (MFM). Dessa är grafiska modeller av mål och funktioner hos tekniska processer. Målen beskriver *avsikterna* med ett system och dess delsystem, och funktionerna beskriver systemets *förmågor* i termer av flöden av massa, energi och information. MFM beskriver också *relationerna* mellan målen och funktionerna som åstadkommer dessa mål, samt mellan funktioner och dessas underordnade mål, vilka måste vara uppfyllda för att funktionen ska finnas. MFM uppfanns av Morten Lind vid Danmarks Tekniska Universitet, Lind (1990). Flera nya algoritmer och vidareutvecklingar har gjorts av Jan Eric Larsson vid Lunds Tekniska Högskola, Larsson (1992, 1994, 1996).

12.1 GRUNDLÄGGANDE MFM

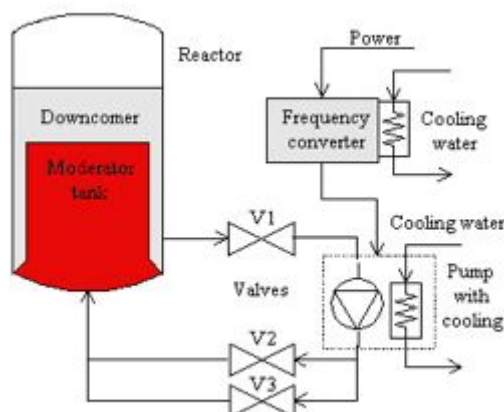
MFM är ett grafiskt representerat, formellt modelleringsspråk, i vilket avsiktliga egenskaper hos ett tekniskt system beskrivs. Avsikterna med ett system och dess undersystem modelleras med mål (goals). Systemets förmågor modelleras som flödesfunktioner, sammankopplade i flödesnätverk. Funktionerna är källor, transporter, lager, balanser, barriärer och sänkor, och beskriver antingen massa- eller energiflöden. Observerare, beslutsfunktioner och åtgärdsfunktioner beskriver informationsflöden. Varje flöde kan kopplas till ett eller flera mål via relationer (achieve relations), vilket betyder att funktionerna i nätverket åstadkommer målet. Ett mål kan också kopplas till en eller flera funktioner via villkorsrelationer (conditions), vilket betyder att målet är ett villkor för att funktionen ska vara tillgänglig. Fylligare beskrivningar av MFM finns i Larsson (1992, 1994, 1996) eller Lind (1990). Symbolerna i det grafiska språket visas i Figur 1.



Figur 1. Symboler för olika MFM-objekt.

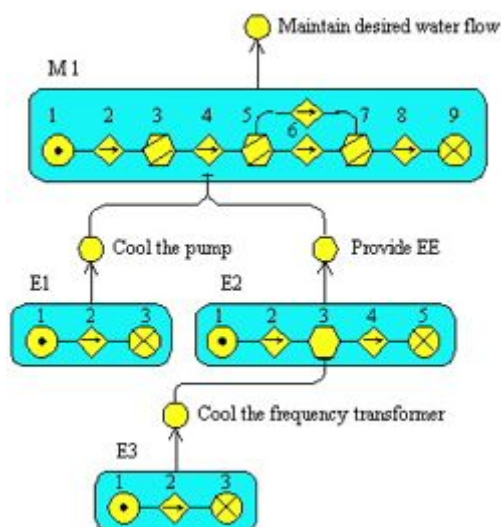
12.2 EXEMPEL PÅ EN MFM-MODELL

MFM förklaras enklast genom ett exempel. Vi använder en del av cirkulationssystemet i ett kärnkraftverk. En mycket förenklad processbild finns i Figur 2.



Figur 2. Huvudrecirkulationsflödet i en reaktor, (förenklat).

I detta system flödar vatten från reaktortanken genom en fallspalt, via ventilen V1 till en pump. Efter pumpen går vattnet genom två parallella ventiler, V2 och V3, tillbaka till moderatortanken. Pumpen kyla med vatten och styrs av en frekvensomvandlare, som i sin tur också är vattenkyld. Avsikten med vattencirkulationen är att styra (moderera) neutronflödet i reaktorn, och att kyla den på samma gång. En MFM-modell av systemet visas i Figur 3.



Figur 3. En MFM-modell av det förenklade huvudrecirkulationsflödet.

I MFM-modellen finns fyra flöden. Flödesnätverket M1 beskriver vattenflödet från fallspalten till moderatortanken. Nätverket E1 beskriver transporten av värmeenergi från pumpen till kylvattnet. Nätverket E2 beskriver flödet av elektrisk energi från kraftförsörjningen, via frekvensomvandlaren till pumpens motor. Nätverket E3 beskriver energiflödet från pumpen till dess kylvatten. M1 beskriver ett massaflöde medan E1, E2 och E3 är energiflöden.

Observera att MFM beskriver hur olika flöden möjliggör varandra. I det enkla exemplet i Figur 3 kan man se att kylvattenflödet E3 är nödvändigt för att frekvensomvandlaren ska fungera och att kylvattenflödet E1 och elkraftflödet E2 behövs för att hålla vattenflödet gående. Dagens styrsystem innehåller inte denna typ av information.

Den modell som byggts av Panna 14 vid Händelöverket är betydligt större än det visade exemplet, men bygger på samma grundläggande principer.

12.3 MFM-ALGORITMER

Ett flertal diagnosalgoritmer har utvecklats med MFM som bas. Larsson (1992, 1994, 1996) beskriver algoritmer för att undersöka konsistens mellan mätvärden, för att separera primär- och konsekvensfel, för att utföra feldiagnos, samt för att generera förklaringar i pseudo-naturligt språk. Öhman (1999) presenterar en algoritm för felkonsekvensanalys (FMEA). Dahlstrand (1998) presenterar en algoritm för rotfelsanalys baserad på MFM och fuzzy logic. I projektet har vi använt algoritmen som separerar primära fel från konsekvensfel, vilket vi kallar rotfelsanalys.

Alla algoritmerna i Larsson (1996) bygger på diskret logik där ”sensorvärdena” är låg, normal eller hög och resultaten är konsistent eller icke-konsistent, normal eller fel, primär eller konsekvens, etc. MFM använder med andra ord en lingvistisk tolkning av logiska variabler, precis som regelbaserade expertsystem och fuzzy logic. Därtill kommer att alla MFM-algoritmer utför sina beräkningar genom sökning i fixa grafer. Samtliga algoritmer kan hantera den kompletta MFM-syntaxen, inklusive slutna loopar i flöden och mål-medel-dimensionen, samt alla former av situationer med multipla rotfel. Samtliga beräkningar kan göras med linjär eller sub-linjär komplexitet. Tillsammans ger den diskreta logiken, den explicita representationen av mål och medel och den enkla strukturen följande fördelar:

- Den explicita beskrivningen av mål och funktioner minskar steget mellan diagnosalgoritmerna och kunskapsbasens representation.
- Den grafiska strukturen gör det lätt att överblicka kunskapsbasen och att garantera dess motsägelsefrihet. Det är också lätt att göra ett bra modelleringsverktyg.
- Den höga förenklingsgraden gör det relativt lätt att bygga MFM-modeller; betydligt lättare än med regelbaserade system eller fuzzy logic.
- Den speciella strukturen gör att algoritmerna kan ha mycket goda realtidsegenskaper, som lättberäknade värsta fall, små minneskrav och hög effektivitet.
- Den speciella strukturen gör att algoritmerna kan bli mycket snabba.
- Algoritmerna ger kompletta och fullständiga lösningar.
- Algoritmerna fungerar även för fall man inte förutsett.

13 Appendix: att mäta larmproblem

Hur vet man om ens anläggning har larmproblem? Om operatörerna har vant sig vid en överbelastad situation i kontrollrummet och ledningen inte är medveten om de stora kostnader som den dåliga driften medför, hur ska man kunna känna igen att man faktiskt lider av larmproblem?

Den internationella organisationen EEMUA föreslår att man skall mäta larmfrekvensen, dels i genomsnitt och dels under de första tio minuterna efter en störning, och använda dessa frekvenser som nyckeltal, EEMUA (1999). Donald Campbell Brown föreslår en något mer avancerad indelning i nyckeltal, se Campbell Brown (2002). I GoalArts larmfilosofi ingår användning av dessa senare nyckeltal, så kallade DCB-tal:

- Genomsnittligt antal larm per operatör och timme. Detta nyckeltal ger en indikation på larmbelastningen vid normal drift.
- Max antal larm per timme, uträknat över tiominutersperioder och multiplicerat med 6 för att få enheten larm per timme. Detta nyckeltal ger en indikation på den värsta larmbelastningen efter störningar.
- Procent timmar med mer än 30 nya larm. Detta nyckeltal ger en indikation på hur ofta man befinner sig i störda eller oklara situationer.

Nyckeltalen är enkla och fångar långt ifrån alla aspekter hos ett larmsystem, men de har fördelen att de lätt kan beräknas från larmloggar eller on-line.

DCB-talen används för att klassificera anläggningen efter hur hård larmbelastningen är. Klassificeringen görs enligt Figur 1.

Larm/timme	Max Larm/timme	% Tim > 30 larm	Klassificering
> 600	> 6 000	> 50 %	Överbelastat
> 60	> 6 000	> 25 %	Reaktivt
> 6	> 600	> 5 %	Stabilt
> 6	> 60	> 1 %	Robust
< 6	< 60	< 1 %	Prediktivt

Figur 1. Anläggningsklassificering enligt DCB-tal.

Tolkningen av klassificeringen görs enligt följande.

13.1 ÖVERBELASTAT

Ett överbelastat larmsystem innebär att operatörerna regelbundet missar viktiga larm, med driftsstopp och incidenter som följd. Redan i normal drift är det omöjligt att hinna med att ta hand om inkommande larm. Man har med största sannolikhet ett lågt förtroende för larmsystemet. Rekommenderade åtgärder är:

- Tillsätt en grupp med ansvar för larmfrågor
- Ta fram en larmfilosofi och en plan för lösning av problemen
- Utför larmrevision
- Utför larmsanering

13.2 REAKTIVT

Ett reaktivt larmsystem ger så många larm att operatörerna tvingas spendera det mesta av sin tid med att kvittera och ta hand om larm. Larmsystemet styr alltså operatörerna och inte tvärt om. Detta innebär att man regelbundet missar viktiga larm och att man oftast ligger i suboptimal drift, eftersom operatörerna inte hinner bry sig om att trimma in driftläget. Rekommenderade åtgärder:

- Utför larmrevision
- Utför larmsanering
- Prioritera larm
- Använd tillståndsbaserad larmprioritering och undertryckning
- Använd rotfelsanalys

13.3 STABILT

Ett stabilt larmsystem har en bra larmfrekvens under normal drift men hamnar på en oacceptabelt hög frekvens under störningar. Detta innebär att man under störningar riskerar missade larm, suboptimalt agerande och incidenter. Rekommenderade åtgärder:

- Prioritera larm
- Använd tillståndsbaserad larmprioritering och undertryckning
- Använd rotfelsanalys

13.4 ROBUST

Ett robust larmsystem har en tillfredsställande larmfrekvens under normal drift. Under störningar går larmfrekvensen upp, och operatörerna kan tillfälligt tappa kontrollen, men de största larmskurarna undviks. Rekommenderade åtgärder:

- Använd tillståndsbaserad larmprioritering och undertryckning
- Använd rotfelsanalys

13.5 PREDIKTIVT

Ett prediktivt larmsystem innebär att operatörerna aldrig tappar kontrollen och blir översvämmade av larm. I stället hinner de med att åtgärda samtliga situationer innan de blivit allvarliga. Ett prediktivt larmsystem är så bra som man kan hoppas åstadkomma med dagens teknik och det finns inga ytterligare sätt att förbättra det.

14 Appendix: att lösa larmproblem

Efter den utveckling som skett under nittio-talet är det i dag tekniskt och ekonomiskt fullt möjligt att ta bort en anläggnings larmproblem. Detta var inte fallet under tidigare decennier, och många tror fortfarande att det är oförsvarligt dyrt att göra något åt larmproblem, men nu är det alltså *fullt möjligt att lösa dem*.

För att förstå vad en lösning omfattar är det viktigt att man inser att det finns flera *olika typer* av larmproblem, som kräver olika lösningar.

- Vissa larm behövs överhuvudtaget inte, och bör tas bort permanent. Detta görs i en process som kallas *larmrevision*.
- Vissa larm har felaktigt inställda parametrar, till exempel larmgränser, hysteres och filterparametrar, och larmar i onödan eller inte alls. Detta kan åtgärdas genom *larmsanering*.
- Vissa larm är viktigare än andra. Detta hanteras genom *larmprioritering*.
- Vissa larm är bara relevanta i vissa drifttillstånd (produktion), men uppträder som irrelevanta larm i andra tillstånd (uppstart, nedstängning, avställning). Detta kan åtgärdas genom *dynamisk larmprioritering och undertryckning*.
- Ett fel leder oftast till en mängd följdfe, vilket i sin tur leder till att ett enda fel ofta leder till en stor mängd larm, en så kallad larmskur. Eftersom rotfelet normalt inte kommer först kan larmskuror vara mycket svåra att analysera. Detta problem kan hanteras med *rotfelsanalys*.

Beroende på vilka larmproblem som förekommer i en anläggning behöver man alltså använda sig av olika lösningar. Det vanliga är att det behövs lite av varje, och en naturlig gång är att man börjar med en larmrevision och kanske en larmsanering, och sedan går vidare med dynamisk larmundertryckning och rotfelsanalys.

Men det är alltså viktigt att vara medveten om att *olika problem kräver olika lösningar*. Oavsett hur mycket arbete man lägger på en noggrann larmrevision kommer man, till exempel, inte att kunna bli av med larmskuror från konsekvensfel.

Tidigare har det inte funnits ekonomiskt gångbara lösningar på de svårare problemen, som tillståndsbaserad undertryckning och rotfelsanalys, men GoalArt har nu produkter som gör det både tekniskt möjligt och ekonomiskt gångbart att lösa även dessa typer av problem.

15 Appendix: rotfelsanalys

Det svåraste och farligaste av alla larmproblem hänger samman med larmkaskader eller skurar av konsekvenslarm. Om ett fel uppstår leder det normalt till ett antal konsekvensfel. Om man kopplat larm till alla dessa fel genereras inte ett larm, utan kanske tio, hundra eller tusentals. Normalt sett kommer inte rotfelet först utan döljs en bit ned i larmlistan.

En sådan larmkaskad är farlig eftersom den innebär att operatören blir överbelastad av larm exakt när en komplex felsituation uppstår. En anläggning kan köra lugnt utan larm och plötsligt förvandlas situationen till ett inferno av larm samtidigt som man inte längre vet vilket tillstånd anläggningen befinner sig i.

Larmkaskader är svåra att analysera, eftersom det kräver en förståelse för orsak och verkan i anläggningen. Hittills har det inte varit möjligt att ge något datoriserat stöd för en sådan analys till ett rimligt pris.

15.1 TIDSMÄRKNING

Det är viktigt att observera att en noggrann *tidsmärkning* av larm inte kan lösa problemet. Det finns flera effekter som gör att rotfelet inte måste komma först, trots att man har en mycket noggrann tidsmärkning:

- Dagens styrsystem garanterar inte att larm som kommer in i en viss ordning verkligen tidmärks i samma ordning (ABB, Siemens, etc.).
- Hastighet och samplingsfrekvens är ofta olika för olika sensorer och delsystem.
- Olika delar av en process övervakas ofta av olika processorer med olika klocktid.
- Olika typer av sensorer reagerar olika fort på avvikelser.
- Olika inställningar av larmgränser innebär att fel detekteras olika snart.
- Anläggningens fysik innebär att fel sprider sig till mätpunkter olika fort. En temperaturhöjning i ett cirkulationssystem kan ta flera minuter för att nå fram till en sensor, medan en plötslig tryckhöjning fortplantas med ljudets hastighet i vatten.
- Framför allt: om flera olika kaskader pågår samtidigt, kan inte alla rotfel vara det första.

Det finns ett antal kommersiella system för noggrann tidmätning. Det kan vara värt att känna till att sådana system normalt inte kan lösa problemet med att hitta rotfelet i komplexa felsituationer.

15.2 FELTRÄD OCH REGELBASERADE EXPERTSYSTEM

Den första teknologin som skapades för att hantera problemet med konsekvensfel var felträd. I princip fungerar de så att man för varje möjligt rotfel bygger upp ett logiskt uttryck som talar om ifall just detta fel är ett rotfel i nuvarande felsituation. Teoretiskt fungerar denna lösning, eftersom det blir möjligt att beskriva processens kausalitet.

Problemet med felträd är den stora mängd fall man måste ta hänsyn till när man bygger upp kunskapsbasen. I ett system med 16 sensorer som vardera kan ge antingen ett låg- eller ett höglarm finns nästan 50 miljoner kombinationer av fel. För att konstruera de 32 felträd som behövs måste man i princip ta hänsyn till alla dessa fall. I praktiken

leder detta till att en lösning baserad på felträd dels blir mycket dyr att genomföra (kanske 10 månår för ett system om något hundratal larm), dels aldrig kan bli robust mot oväntade fall.

På åttiotalet framställdes regelbaserade expertsystem som en möjlig lösning för rotfelsanalys. Men den vanliga lösningen med expertsystem är i princip likadan som felträd, och lider av samma brister.

Felträd och expertsystem lider också av teoretiska begränsningar som kan ha stor praktisk betydelse. De kan inte hantera situationer med *flera oberoende rotfel* eller med cirkulära beroenden. I praktiken leder detta till att algoritmerna inte fungerar i de situationer där de behövs som bäst.

15.3 PROGRAMMERING I STYRSYSTEMETS LOGIK

I praktiken försöker man ofta hantera larmkaskader med hjälp av programmering direkt i styrsystemets kod. I de flesta styrsystem kan man hitta larmundertryckningar av typen ”om pump P1 är stoppad, undertryck lågflödeslarmet F_{låg} från flödesmätaren efter pumpen.”

Detta är emellertid ingen fullgod lösning. Den är ekvivalent med felträd och expertsystem och leder både till stora implementationskostnader och ofullständiga och opålitliga lösningar.

I längden är det kostnadseffektivare att använda sig av specialdesignade system, än att programmera larmundertryckning direkt i styrsystemets logik.

15.4 LÄRANDE SYSTEM

Under senare år har ett antal olika tekniker för lärande system prövats inom larmhantering. Bland annat nämns neurala nätverk, Bayesianska nätverk och Case-Based Reasoning. Huvudidén är att man genom att analysera de stora datamängder som produceras av dagens larmsystem automatiskt skulle kunna lära ett system att förstå larmskuror och rotorsaker.

Lärande system har ett antal nackdelar som det ännu så länge inte finns någon lösning för att komma runt:

- Urvalet av inlärningsdata är svårt, och det är ofta praktiskt sett mycket komplicerat att hitta korrekta lösningar att lära sig mot.
- Inlärningsprocessen är ofta svårkontrollerad och långsam, och har ibland svårt att konvergera. Här ligger en stor del av de forskningsinsatser som görs.
- Oavsett hur mycket man tränar finns problemet med helt oväntade situationer kvar. Ibland uppstår det felsituationer som ingen förut-sett, som inte har hänt förut och som operatörerna inte är tränade för, så kallade *once-in-a-lifetime events*. Det är när en sådan situation uppstår som behovet av datorstödd rotfelsanalys är som störst, men i dessa fall blir alla lärande system *oförutsägbara*.

Lärande system är ännu inte mogna för praktisk industriell rotfelsanalys.

16 Referenser

Följande referenser ger en översikt över larmhantering i allmänhet och larmrevision och andra praktiska åtgärder i synnerhet.

Campbell Brown, D. C., "Horses for Courses—A Vision for Alarm Management," Proceedings of the 3rd in the Series of Seminars & Workshops on Alarm Systems, IS1172, IBC Global Conferences, London, UK, 2002.

EEMUA, "Alarm Systems—A Guide to Design, Management, and Procurement," Publication No. 191: 1999, the Engineering Equipment and Materials Users Association, London, UK, 1999.

Norwegian Petroleum Directorate, "Principles for Alarm Systems Design," Norwegian Petroleum Directorate, YA-711, 2001.

Följande referenser ger en bra översikt över forskningen inom MFM. Den bästa översikten är antagligen Larsson (1996) för en kort version och Larsson (1992) för en längre. Lind (1990) är originaldokumentet som beskriver både bakgrund och språket i Linds version.

Ahnlund, J., T. Bergquist, J. E. Larsson, and L. Spaanenburg, "Intelligent Reduction of Nuisance Alarms in Process Control," SAIS-SSLS Joint Workshop, University of Örebro, Sweden, April 10-11 2003.

Bergquist T. J. Ahnlund, J. E. Larsson, and L. Spaanenburg; "Signal Processing and Alarm Handling in Process Control," Proceedings of the ECCTD'03, Krakow, Poland, September, 2003.

Bergquist T. J. Ahnlund, and J. E. Larsson, "Alarm Reduction in Industrial Process Control," Proceedings of the ETFA2003, Lisbon, Portugal, September 2003.

Bergquist, T., J. Ahnlund, J. E. Larsson, and L. Spaanenburg, "Using Correlation in MFM Model Design and Validation," AILS 04 Workshop, Lund University, Lund, pp. 61-69, 2004.

Dahlstrand, F., "Alarm Analysis with Fuzzy Logic and Multilevel Flow Models," Proceedings of the 18th Annual International Conference of the British Computer Society Special Group on Expert Systems, ES 98, Cambridge, England, pp. 173-188, 1998.

Larsson, J. E., *Knowledge-Based Methods for Control Systems*, Doctor's thesis, TFRT-1040, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, 1992.

Larsson, J. E., "Diagnostic Reasoning Strategies for Means-End Models," **Automatica**, vol. 30, no. 5, pp. 775-787, 1994.

Larsson, J. E., "Diagnostic Reasoning Based on Explicit Means-End Models," **Artificial Intelligence**, vol. 80, no. 1, pp. 29-93, 1996.

Larsson, J. E., "Simple Methods for Alarm Sanitation," IFAC Symposium on Artificial Intelligence in Real-Time Control, AIRTC-2000, Budapest, 2000.

Larsson, J. E., "Diagnostic Reasoning Based on Means-End Models: Experiences and Future Prospects," **Knowledge-Based Systems**, vol. 15, no. 1-2, pp. 103-110, 2002.

- Larsson, J. E., "Avoiding Human Error," Proceedings of the International Conference on Control and Instrumentation in Nuclear Installations, Bristol, England, 2000.
- Larsson, J. E., "Support Tools for Situation Assessment," Proceedings of the 3rd Seminar on Alarm Systems, Safety and Nuclear Division, IBC Global Conferences, London, 2002.
- Larsson, J. E., "On-Line Root Cause Analysis for Large Control Centers," Proceedings of the 8th International Workshop on Electric Power Control Centers, EPCC 8, Les Diablerets, Switzerland, 2005.
- Larsson, J. E., "Alarm Cleanup in Theory and Practice," Alarm Seminar, ABB Corporate Research and Vinnova, Västerås, 2005.
- Larsson, J. E., "On-Line Root Cause Analysis for Nuclear Power Plant Control Rooms," Proceedings of the International Symposium on Symbiotic Nuclear Power Systems for the 21st Century, ISSNIP, Tsuruga, Fukui, Japan, 2007.
- Larsson, J. E., J. Ahnlund, T. Bergquist, F. Dahlstrand, B. Öhman, and L. Spaanenburg, "Improving Expressional Power and Validation for Multilevel Flow Models," **Journal of Intelligent and Fuzzy Systems**, vol. 15, no. 1, pp. 61-73, 2004.
- Larsson, J. E., B. Öhman, C. Nihlwing, H. Jokstad, L. I. Kristiansen, J. Kvalem, and M. Lind, "Alarm Reduction and Root Cause Analysis for Nuclear Power Plant Control Rooms," Proceedings of the Enlarged Halden Programme Group Meeting, HPR-360, Lillehammer, Norway, 2005.
- Larsson, J. E., B. Öhman, A. Calzada, and J. DeBor, "New Solutions for Alarm Problems," Proceedings of the 5th Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human Interface Technology, Albuquerque, New Mexico, 2006 a.
- Larsson, J. E., B. Öhman, A. Calzada, C. Nihlwing, H. Jokstad, L. I. Kristiansen, J. Kvalem, and M. Lind, "A Revival of the Alarm System: Making the Alarm List Useful During Incidents," Proceedings of the 5th Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human Interface Technology, Albuquerque, New Mexico, 2006 b.
- Larsson, J. E. and K. Roudén, "Root Cause Analysis of the September 23, 2003 Nordel Blackout," The 9th International Workshop on Electric Power Control Centers, EPCC 9, Ullensvang, Norway, 2007.
- Larsson, J. E. and S. Lee, "Managing Information Overload in Power Grid Control Centers," The 9th International Workshop on Electric Power Control Centers, EPCC 9, Ullensvang, Norway, 2007.
- Larsson, J. E., B. Öhman, and A. Calzada, "Real-Time Root Cause Analysis for Power Grids," Proceedings of Security and Reliability of Electric Power Systems, CIGRÉ Regional Meeting, Tallinn, Estonia, 2007.
- Larsson, J. E. and J. DeBor, "Real-Time Root Cause Analysis for Complex Technical Systems," Proceedings of the Joint 8th Annual IEEE Conference on Human Factors and Power Plants and 13th Annual Workshop on Human Performance / Root Cause / Trending / Operating Experience / Self Assessment, Monterey, California, 2007.

- Lind, M., "Representing Goals and Functions of Complex Systems — An Introduction to Multilevel Flow Modeling," Technical report, 90-D-38, Institute of Automatic Control Systems, Technical University of Denmark, Lyngby, 1990.
- Tuszynski, J., J. E. Larsson, C. Nihlwing, B. Öhman, A. Calzada, "A Pilot Project on Alarm Reduction and Presentation Based on Multilevel Flow Models," Proceedings of the Enlarged Halden Programme Group Meeting, HPR-358, Storefjell, Gol, Norway, 2002.
- Öhman, B., "Failure Mode Analysis Using Multilevel Flow Models," Proceedings of the 5th European Control Conference, Karlsruhe, Germany, 1999.

PRIMÄRA FEL I LARMSSKURAR

Larmhantering är ett stort problem för kraftindustrin. Under de senaste tio åren har det blivit vanligare med larmsanering, det vill säga att gå igenom larmsystemet och ta bort onödiga larm, att sätta mer korrekta larmgränser och prioriteter samt att genomföra andra åtgärder. Målet har här varit att utvärdera en metod för att hantera larmkaskader och att reducera dem till enstaka larm.

Under 2014-2015 genomfördes ett projekt där man installerade och utvärderade en GoalArt Diagnostic Station (GDS) vid Händelöverket i Norrköping. Utvärderingen baserades på ett år av sparade anläggningsdata och visar att en kombination av dynamisk larmundertryckning och rotfelsanalys av larmkaskader kan reducera antalet larm till en grad som inte kan uppnås med enbart larmsanering.

Projektet visar att med en kombination av dynamisk undertryckning av tjattande och långliggande larm och rotfelsanalys av larmkaskader, går det att nå de nyckeltal som rekommenderas av EEMUA och nya larmstandarder, nämligen max sex larm per timme i genomsnitt, max 60 larm per timme under de värsta tio minuterna, samt max 1 % timmar med fler än trettio larm. Det är alltså numera tekniskt och ekonomiskt möjligt att lösa problemen med för många larm.

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