

Forskning

Utformning av larmsystem i svenska kärnkraftverk

Anna Thunberg
Anna-Lisa Osvelder

April 2008

SKI-perspektiv

Bakgrund

Det pågår flera stora moderniseringsprojekt inom den svenska kärnkraftindustrin. En del i dessa projekt består av att man helt eller delvis byter ut analoga informations- och manöversystem i kontrollrummen till digitala vilket förändrar larmsystemen. Digitala larmsystem har en mängd fördelar men kan också medföra risker och negativ säkerhetspåverkan. Det är därför viktigt att i arbetet med den digitala teknikens möjligheter synliggöra människans möjligheter och begränsningar. Man måste också beakta att det nya systemet installeras i en redan existerande kontrollrumsmiljö.

Målet har här varit att ta fram riktlinjer för design av larmsystem samt att utveckla ett förslag på hur larm bör hanteras och presenteras i kontrollrummet.

SKI:s syfte

Syftet har varit att stödja uppbyggnaden av kompetens inom området samt att ge underlag för SKI:s tillsyns- och granskningsverksamhet. Syftet har också varit att bidra till säkerhetsarbetet inom industrin.

Resultat

Projektets har huvudsakligen undersökt och kartlagt vilka faktorer som påverkar operatörerna och deras samarbete med larmsystemet och man har tagit fram viktiga kriterier för vad som bör beaktas vid moderniseringar. Bland annat bör man beakta att framtida system måste vara mer flexibla och kunna anpassas till varierande informationsbehov i olika driftlägen och arbetssituationer samt att operatörens kognitiva och fysiska förutsättningar inte får överskridas. En väsentlig aspekt är att för att kunna erhålla en kontinuitet mellan olika projekt och säkerställa en konsekvens i utformningen ska varje block ha en dokumenterad larmfilosofi. Forskarna har också rekommendationer att använda vid tillsyn.

Behov av ytterligare forskning

Rekommendationer för fortsatt arbete är att utvärdera resultaten med hjälp av erfarna utvecklingsingenjörer. Man bör även utöka studier kring larm och skiftlagets kommunikation och samarbete kring larm, vilket kan leda till värdefull information om vilket innehåll som behövs i larmmeddelanden och hur larmhanteringen bör gå till. Ytterligare forskning bör fokusera på ljudmiljön i kontrollrummet.

Effekt på SKI:s verksamhet

SKI har fått en tydligare bild av larmsystem och viktiga faktorer att kontrollera i samband med moderniseringsprojekt.

Projektinformation

Projekthandläggare på SKI: Yvonne Liljeholm Johansson

Diarienumret för projektet är SKI 2006/111 och projektnumret är 200603020

Forskning

Utformning av larmsystem i svenska kärnkraftverk

Anna Thunberg
Anna-Lisa Osva

Institutionen för produkt- och produktionsutveckling
Avdelningen för design
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg, Sverige

April 2008

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Statens kärnkraftinspektion, SKI. Slutsatser och åsikter som framförs i rapporten är författarens/författarnas egna och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med SKI:s.

Förord

Denna rapport är ett resultat av ett femårigt doktorandprojekt vid Chalmers tekniska högskola, Institutionen för produkt- och produktionsutveckling, Avdelning Design. Projektet har bedrivits i samarbete mellan Chalmers, Statens kärnkraftinspektion (SKI), de svenska kärnkraftverken och Institutet för energiteknik (IFE) i Halden, Norge.

Aktiv doktorand i projektet har varit Anna Thunberg, civilingenjör och teknisk licentiat med inriktning mot användarcentrerad produktutveckling och människa-tekniksystem. Huvudhandledare och projektledare vid Chalmers har varit tekn. dr. Anna-Lisa Osvalder, docent i människa-maskinsystem. När projektet initierades var också industripsykolog Conny Holmström vid IFE/Halden och professor emeritus Sven Dahlman vid Chalmers engagerade. De har också fungerat som biträdande handledare under delar av projektet.

Ett stort tack riktas till projektets finansiärer; Statens kärnkraftinspektion samt de svenska kärnkraftverken, Forsmark, OKG och Ringhals. Respektive finansiär och IFE/Halden har medverkat i projektets referensgrupp. Referensgruppen har bidragit med mycket värdefull information och återkoppling inför och efter alla de studier som utförts i projektet. De personer som ingått i referensgruppen under dessa år är; Yvonne Liljeholm Johansson (SKI), Gerd Svensson (SKI, numera på Statens haverikommission), Anna Maria Östlund (SKI, numera på Vägtrafikinspektionen), Olle Andersson (Forsmark, numera på Vattenfall Elproduktion Norden), Edward Dunge (OKG), Martin Forsberg (Ringhals, numera på Fobehco), Tommy Karlsson (Ringhals, OKG, numera på IFE), Nils Førdestrømmen (IFE) och Conny Holmström (IFE, numera på Vattenfall Power Consultant).

Många operatörer och övrig personal på kärnkraftverken och kärnkraftsimulatorerna har bidragit på många sätt till att studierna kunnat genomföras. Ett stort gemensamt tack riktas till alla ni som svarat på frågor, utfört utvärderingar, demonstrerat arbetsuppgifter, ställt upp på observationer och gett värdefulla synpunkter under hela projektets gång. Utan ert positiva engagemang hade inte detta forskningsprojekt kunnat genomföras.

Dessutom har också ett flertal personer från övriga branscher där operatörer hanterar larm och larmsystem av olika slag bidragit till projektet, t.ex. inom flyg, petrokemisk industri, intensivsjukvård och pappersmassabruk.

Innehållsförteckning

FÖRORD.....	III
FIGURFÖRTECKNING.....	VII
TABELLFÖRTECKNING.....	VIII
SAMMANFATTNING.....	IX
SUMMARY.....	XI
1 INLEDNING	13
1.1 BAKGRUND	13
1.2 SYFTE OCH MÅL	15
1.3 AVGRÄNSNINGAR	15
1.4 FÖRKORTNINGAR OCH DEFINITIONER.....	16
2 PROJEKTBSKRIVNING	17
2.1 UPPLÄGG	17
2.2 FRÅGESTÄLLNING	18
2.3 DELSTUDIER.....	18
2.3.1 <i>Etapp 1</i>	18
2.3.2 <i>Etapp 2</i>	19
2.3.3 <i>Etapp 3</i>	20
2.4 PUBLIKATIONER.....	20
2.5 FORSKNINGSANSATS	22
3 TEORI	23
3.1 LARM OCH LARMSYSTEM	23
3.1.1 <i>Varför larm och larmsystem behövs</i>	23
3.1.2 <i>Larmdefinition</i>	23
3.1.3 <i>Larmsystemens uppgift</i>	25
3.1.4 <i>Karakteristiska egenskaper för välfungerande larm och larmsystem</i>	27
3.1.5 <i>Existerande larmproblem och åtgärdsförslag</i>	29
3.1.6 <i>Utvecklingstrender för kärnkraftskontrollrum</i>	33
3.1.7 <i>Utformning av larm och larmsystem</i>	34
3.2 ÖVERVAKNING OCH KONTROLL	37
3.2.1 <i>Människans informationsprocess</i>	37
3.2.2 <i>Mentala modeller</i>	39
3.2.3 <i>Mental arbetsbelastning</i>	41
3.2.4 <i>Situationsmedvetenhet</i>	42
3.2.5 <i>Övervakning enligt COCOM- och ECOM-modell</i>	42
3.2.6 <i>Summering övervakning och kontroll</i>	44
3.3 LARMHANTERINGSMODELLER	45
4 METODIK OCH GENOMFÖRANDE.....	47
4.1 METODER.....	47
4.1.1 <i>Intervjuer</i>	47
4.1.2 <i>Observationer</i>	47
4.1.3 <i>Applied cognitive task analysis</i>	48
4.1.4 <i>NASA-task load index</i>	48
4.1.5 <i>Hierarkisk uppgiftsanalys</i>	49
4.1.6 <i>Enhanced cognitive walkthrough, ECW</i>	49
4.1.7 <i>Predictive human error analysis (PHEA)</i>	49
4.1.8 <i>Orsaksanalys med hjälp av felträd</i>	50
4.1.9 <i>Länkanalys</i>	51
4.1.10 <i>Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)</i>	51
4.1.11 <i>Tid-informationsanalys</i>	51
4.1.12 <i>Utvecklingsmetodik för nytt gränssnitt</i>	52
4.2 GENOMFÖRANDE AV STUDIER	53

4.2.1	Studie 1 – Fallstudier av larmsystem i komplexa kontrollmiljöer i olika branscher	55
4.2.2	Studie 2 – Larmhantering i arbetsituationer utanför normaldrift.....	55
4.2.3	Studie 3 – Operatörens kognitiva larmhanterings- och övervakningsprocess	55
4.2.4	Studie 4 – Identifiering av operatörers expertkunskap och arbetsbelastning.....	56
4.2.5	Studie 5 – Riskanalys av mänskliga felhandlingar	56
4.2.6	Studie 6 – Operatörens samverkan med skiftkollegor	57
4.2.7	Studie 7 – Anpassning av bildskärmsbaserade gränssnitt till operatörens förutsättningar vid incidenthantering	57
4.2.8	Studie 8 – Kategorisering av larmriktlinjer.....	58
4.2.9	Studie 9 – Utformning av gränssnitt för larmsystem	58
5	RESULTAT OCH ANALYS.....	59
5.1	STUDIE 1 – FALLSTUDIER AV LARMSYSTEM I KOMPLEXA KONTROLLMILJÖER I OLIKA BRANSCHER	59
5.2	STUDIE 2 – LARMHANTERING I ARBETSSITUATIONER UTANFÖR NORMALDRIFT	61
5.3	STUDIE 3 – OPERATÖRENS KOGNITIVA LARMHANTERINGS- OCH ÖVERVAKNINGSPROCESS	63
5.4	STUDIE 4 – IDENTIFIERING AV OPERATÖRENS EXPERTKUNSKAP OCH ARBETSBELASTNING	67
5.5	STUDIE 5 – RISKANALYS AV MÄNSKLIGA FELHANDLINGAR	69
5.6	STUDIE 6 – OPERATÖRENS SAMVERKAN MED SKIFTKOLLEGOR.....	70
5.7	STUDIE 7 – ANPASSNING AV BILDSKÄRMSBASERADE GRÄNSSNITT TILL OPERATÖRENS FÖRUTSÄTTNINGAR VID INCIDENTHANTERING.....	70
5.8	STUDIE 8 – KATEGORISERING AV LARMRIKTLINJER	74
5.9	STUDIE 9 – UTFORMNING AV GRÄNSSNITT FÖR LARMSYSTEM.....	75
6	DISKUSSION.....	91
6.1	RESULTAT	91
6.1.1	Larmriktlinjer	91
6.1.2	Larmpresentation.....	94
6.2	METODDISKUSSION	95
6.3	FORTSATT ARBETE	96
7	SLUTSATSER	97
	REFERENSER	99

Figurförteckning

Figur 1: Principiell arbetsfördelning mellan etapp 2 och 3	17
Figur 2: Olika definitioner av larm, enligt Stanton (1994).....	24
Figur 3: Arbetsmodell enligt NUREG 0711	35
Figur 4: Arbetsmodell enligt ISO 11064	36
Figur 5: Klassisk stegmodell över människans informationsprocess, hämtad från Wickens och Hollands (1999)	38
Figur 6: Rasmussens abstraktionshierarki	40
Figur 7: Hantering av larminitierade aktiviteter.....	45
Figur 8: Taxonomi för larminitierade aktiviteter (Stanton, 1994).....	46
Figur 9: Hantering av avvikelser	46
Figur 10: Principiell uppbyggnad av ett HTA-diagram.....	49
Figur 11: Felträdsanalys (förenklad)	50
Figur 12: Externa faktorer som fungerar som in- respektive utdata till operatörens interaktion med gränssnittet.	63
Figur 13: Wickens klassiska steg-visa informationsprocess med markeringar om viktiga komponenter för ett korrekt uppfattande och utförande av information och uppgifter. .	64
Figur 14: Modell över operatörens övervakningsprocess	65
Figur 15: Översiktsbild för turbinövervakning (Andersson, 2006).....	72
Figur 16: Trender för turbinlinje (Andersson, 2006).....	72
Figur 17: Spänningsvisare	73
Figur 18: Rekommenderad infasningsföljd	73
Figur 19: Fasningsknapp (Andersson, 2006).....	73
Figur 20: Flödesbalans (Andersson, 2006).....	73
Figur 21: Principiellt upplägg av gränssnittet	77
Figur 22: Exempel på översiktsbild för turbinoperatören. Säkerhetskedjor, nyckelvärden och driftstatus/larm är viktig information som påverkar situationsbedömningen och har därför lyfts fram.....	78
Figur 23: Ifyllt, fet ram indikerar larm i det representerade delsystemet.....	79
Figur 24: Kompletterande information till det markerade systemet.....	80
Figur 25: Exempel på viktiga designkriterier för att underlätta övervakning och snabb och korrekt larmhantering	80
Figur 26: Systembild med exempel där avvikande information tänts upp.....	81
Figur 27: Staplar för enkel jämförelse av två värden. Till vänster är balansen god medan det finns en avvikelse till höger.....	82
Figur 28: Polära diagram där allt är normal i (a), ett avvikande värde enkelt konstateras i (b) och där larmgränserna inkluderats i (c)	82
Figur 29: Exempel på normaliserat trenddiagram	82
Figur 30: Exempel på larmvisning i systembilden	83
Figur 31: Felindikering på en funktion.....	84
Figur 32: Detaljerad larminformation.....	85
Figur 33: Principiell utformning av larmlista.....	85

Tabellförteckning

Tabell 1: Generellt projektupplägg för larmprojektet.....	17
Tabell 2: Publikationer i forskningsprojektet.....	20
Tabell 3: Exempel på koppling mellan driftläge, operatörsroll och informationsbehov	27
Tabell 4: Tre förenklade typer av grupper.....	41
Tabell 5: Egenskaper för de olika tillsynsmodaliteterna enligt COCOM (Hollnagel, 1998).....	43
Tabell 6: Feltyper som används i PHEA.....	50
Tabell 7: Översikt över de ingående studierna.....	54
Tabell 8: Indelning av larmriktlinjer.....	74

Sammanfattning

Larmsystem är en viktig komponent i en anläggnings säkerhetssystem. Bristande utformning av larmsystemet kan leda till fel som potentiellt kan förvärra uppkomna incidenter och göra dessa svårhanterade. Forskning har under många år arbetat med att förbättra larmsystemen men har då främst fokuserat på nyutveckling av larmsystem. I de svenska kärnkraftverken sker i dag inte många projekt där hela kontrollrummet byts ut, oftast handlar det om mindre moderniseringar då ett nytt system införs som ska fungera tillsammans med det befintliga systemet. Detta ställer speciella krav på utformningen.

Syftet med projektet har varit att öka förståelsen för sambandet mellan operatörens prestation och utformningen av larmsystemet. Centralt för hela projektet har varit att ta hänsyn till operatörens kognitiva förmågor och begränsningar för olika operatörsroller, driftsituationer och informationsbehov. Målet har dels varit att utveckla och komplettera befintliga larmriktlinjer och larmfilosofier, dels att utforma designförslag på användaranpassade larmpresentationer.

Fallstudier har utförts inom kärnkraftsindustrin, raffinaderier, pappers- och massabruk, trafikflyg och medicinsk teknik för att titta på *'best practice'* när det gäller utformning och utnyttjande av larmsystem. Resultaten från kontrollrumsövervakning visar att larmsystemen ofta fungerar tillfredsställande under normaldrift, medan problem uppstår i samband med störningar. Istället för att hantera larm är målet vid störd drift att trygga en säker nedstängning av processen. Operatörerna får helt förlita sig på den information som larmsystemet genererar, eftersom de bakomliggande tekniska systemen är dolda. Här hade operatörerna varit behjälpta med prioritering, undertryckning och aktionslistor.

När det gäller flyg och medicinsk teknik fungerar larmsystemen bra både vid normal verksamhet och i kritiska situationer. Larmen är få, viss undertryckning och beslutsstöd finns. Operatören har här möjlighet att erhålla information från en sekundär informationskälla, vilket medför att det bakomliggande systemets status delvis kan betraktas direkt, och operatören behöver därmed inte enbart stödja sitt beslutsfattande på larmsystemet.

Ett flertal empiriska studier har utförts inom kärnkraftsbranschen för att kartlägga operatörers varierande informationsbehov, prestation och arbetsbelastning under normaldrift, vid revision och vid störningshantering i simulator. Även samverkan mellan skiftkollegier har studerats. Analysen visar på att operatören har olika roller i olika driftsituationer vilket påverkar dels informationsbehovet, dels hur informationen behandlas. Vid fulleffektdrift styrs operatören av interna faktorer och försöker upprätthålla en god medvetenhet om anläggningens status genom att själv aktivt söka efter information. Då krävs detaljerad information från larmsystemet med möjlighet för operatören att följa upp vad som händer och studera historik så att elproduktionen kan optimeras. Vid störningshantering är operatören i större utsträckning beroende av externt stöd från larmsystemet för att uppmärksamma nyckelinformation.

Operatörens arbetsbelastning påverkas främst av mentala krav, tidskrav och krav på korrekt utförande. Det är därför viktigt att alla dessa krav inte är för höga samtidigt i en driftssituation. När tidspressen är stor måste den mentala arbetsbelastningen vara låg,

vilket medför att operatören måste få mycket och tydligt stöd via larmsystemet. Stöd ska ges via checklistor, larmprioritering och larmundertryckning för att relevant information ska uppmärksammas. Dessutom behöver distraherande stimuli reduceras. Mönsterigenkänning är viktigt för säkerhetskritiska larm. Det är också viktigt att säkerställa att varje larm kräver en respons.

Med de empiriska och teoretiska studierna som grund har dagens befintliga larmriktlinjer kompletterats och kategoriserats för att kunna nyttjas vid olika typer av moderniseringsprojekt. Detta har resulterat i en sammanställning av larmriktlinjer som är baserade på operatörens behov i olika störningssituationer. Indelningen har skett efter vilken typ av människa-teknikinteraktion de berör, till exempel layout av kontrollrum, utformning av gränssnitt, navigering eller stödfunktion. Vidare är riktlinjerna indelade efter vilken fas i ett utvecklingsprojekt de är aktuella i.

Det övergripande resultatet från projektet visar att generella riktlinjer, till exempel att ha en dokumenterad larmfilosofi, är mycket viktigt för att säkerställa konsekvens mellan olika moderniseringsprojekt. Dock är det inte i samma utsträckning relevant att följa mer detaljerade riktlinjer avseende till exempel färgkodning och teckenstorlek. Här är det viktigt att beakta den befintliga utformningen i kontrollrummet så att operatörerna upplever gammalt och nytt system som en helhet. I samband med moderniseringar är det centralt att beakta operatörens befintliga kunskap och erfarenhet.

För att utvärdera riktlinjerna har ett förslag på gränssnitt utvecklats, vilket har resulterat i ett antal grafiska idéförslag på nya operatörsanpassade larmgränssnitt. Förslagen baseras på en tydligare visning av relevant information (aktiva objekt, nyckelvärden och tidiga avvikelser), integrering av informationskällor samt bättre länkar mellan händelser, objekt, larm och instruktioner. Dessa förslag ska nu utvärderas och valideras med hjälp operatörer i användartest.

Sammanfattningsvis listas de viktigaste kriterierna för ett larmsystem som bör beaktas vid moderniseringar .

- Framtida system måste vara mer flexibla och kunna anpassas till varierande informationsbehov i olika driftlägen och arbetssituationer.
- Operatörens kognitiva och fysiska förutsättningar får inte överskridas.
- Beprövade och väl inövade arbetssätt är svåra att förändra och bör därför hållas intakta. Uppgifter som utförs ofta och under lugna förhållanden kan dock ändras för att erhålla högre effektivitet.
- Larmsystemet måste vara utformat så att det upplevs som en del av det befintliga styrsystemet och övrig utrustning i kontrollrummet.
- För att kunna erhålla en kontinuitet mellan olika projekt och säkerställa en konsekvens i utformningen ska varje block ha en dokumenterad larmfilosofi.
- Larmsystemen ska leda operatören till rätt information och bör möjliggöra tidig upptäckt av avvikelser.
- Varje larm ska kräva en respons.

De gränssnittsförslag som tagits fram i projektet ska underlätta för operatören att upptäcka och åtgärda avvikelser innan larm uppstår. Om larm ändå uppkommer är avsikten att bättre stödja och vägleda operatören oavsett driftläge och därmed öka chanserna för korrekt hantering av olika situationer.

Summary

The alarm system is a very important part of the overall safety systems of a plant. Deficient design of the alarm system can contribute to hazardous situations and make them more difficult to manage. Research within the area of improving alarm system design and performance has mainly focused on new alarm systems. However, smaller modernisations of legacy systems are more common in the Swedish nuclear industry than design of totally new systems. This imposes problems when the new system should function together with the old system. This project deals with the special concerns raised by modernisation projects.

The objective of the project has been to increase the understanding of the relationship between the operator's performance and the design of the alarm system. Of major concern has been to consider the cognitive abilities of the operator, different operator roles and work situations, and varying need of information. The aim of the project has been to complement existing alarm design guidance and to develop user-centred alarm design concepts.

Different case studies have been performed in several industry sectors (nuclear, oil refining, pulp and paper, aviation and medical care) to identify best practice. The results from control room settings indicate that the alarm systems function in normal operation but show deficiencies in disturbances. Instead of managing alarms in these situations, the operative aim is to ensure a safe shut-down. The operators have to rely on the information presented by the alarm system since the underlying technical process is not possible to observe. The system is non transparent. Use of prioritisation, suppression and action lists would facilitate the operator's working situation.

The alarm systems in aviation and medical care function both in normal operation and in disturbances. Fewer signals and suppression of alarms reduce the workload of the operator. The operator has also a possibility to obtain information from a secondary source of information, which makes it possible for the operator to observe the field status directly. Thereby, the operator does not have to solely rely on the information presented by the alarm system.

Several empirical studies have been performed within the nuclear area to investigate the operator's need of information, performance and workload in different operating modes. The aspect of teamwork has also been considered. The analyses show that the operator has different roles in different work situations which affect both the type of information needed and how the information is processed. In full power operation, the interaction between the operator and the alarm system is driven by internal factors and the operator tries to maintain high situation awareness by actively searching for information. The operator wants to optimise the process and need detailed information with possibilities to follow-up and get historical data. In disturbance management, the operator is more dependent on external information presented by the alarm system.

The operator's workload is mainly influenced by mental demands, temporal demands, and demands on correct performance. These different types of demands should therefore not be high at the same time in a working situation. During high time pressure situations the mental workload should be low which leads to a supportive alarm system. Support should be given by checklists, alarm prioritisation and alarm suppression to facilitate for

the operator to perceive relevant information. Further, it is important to use pattern recognition for safety critical alarms and to ensure that every alarm requires a response.

In this project the existing alarm guidance have been complemented and categorised according to the results from the preceding studies. The new compilation of alarm guidance is based on the operator's varying needs in different working situations and is applicable in modernisation projects. The division of the guidelines has been performed according to which part of human-machine-interaction they touch upon (e.g., control room layout, user interface design, navigation or support function) and in which design stage (e.g. conceptual design or detailed design) they are relevant.

The results indicate that general guidelines (e.g. use a documented alarm philosophy) are very important to consider and define to ensure consistency between different modernisation projects. Further, the requirement on consistency can override detailed guidance on e.g. colour coding or font size. The operators in the control room should experience the system as one system. In connection to modernisations it is also of utmost importance to consider the operator's existing knowledge and experience.

The guidelines have been used for the development of a new alarm design concept. The new concept tries to indicate relevant information clearer than existing systems; it integrates information to a larger extent and has better connections between events, objects, alarms, and procedures. The developed concept should be evaluated and validated by operators in usability tests.

The most important aspects to consider in modernisation projects are:

- Future systems must be more flexible and offer possibilities to adapt to varying needs of information in different operational modes and work situations.
- The cognitive and physical abilities of the operator should not be exceeded.
- Reliable work procedures acquired by practice are difficult to change and should be retained. Tasks performed often and/or in quiet conditions should be changed to obtain higher efficiency.
- The alarm system should be well integrated in the overall instrumentation and control system in the control room.
- A documented alarm philosophy is needed to ensure consistency between different projects.
- The alarm system should guide the operator to the relevant information and should facilitate early detection of deviations.
- Every alarm should require a response.

The intention with the developed design concepts is to facilitate for the operator to detect and correct deviations before alarms occur. If alarms occur, the aim is to better support and guide the operator independent of operating mode and thus to increase the possibilities for correct situation management.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Säkerheten är en mycket viktig aspekt i många olika branscher men särskilt inom kärnkraftsindustrin. Anledningen till detta är att allvarliga incidenter kan ge katastrofala följder. En viktig komponent för att kunna identifiera, förstå och hantera farliga situationer och därmed minska olycksrisken är uppbyggnaden av larmsystemet. Larmsystemet ska möjliggöra för operatören att identifiera potentiellt kritiska situationer så att korrekta åtgärder kan vidtas (Smith m.fl., 2003). Dessa situationer kan annars relativt snabbt leda till risk för personskada, miljöpåverkan eller ekonomiska förluster. Att larmsystemet är en viktig komponent i en anläggnings säkerhet har tydligt framkommit under de senaste 30 åren. Brister i larmsystemet kan ge upphov till situationer med potentiellt förödande konsekvenser. Detta har inom kärnkraftsområdet uppmärksammats vid den mycket omdiskuterade olyckan vid Three Mile Island i Harrisburg, USA. (Reaktorsäkerhetsutredningen, 1979). Allvarliga olyckor har även rapporterats från andra tillämpningar, till exempel explosionen i Texacos raffinaderi i Milford Haven, Storbritannien, 1994. En olycksutredning från Milford Haven visade att larm presenterades med en frekvens på ett larm varannan till var tredje sekund (HSE, 1997). Detta ledde till att operatörerna snabbt blev överbelastade med visuell och audiell information, vilket resulterade i att operatörerna till slut endast tystade larmen utan att nödvändigtvis förstå vad de innebar. Detta var också en bidragande orsak till att nästa stora problem uppkom; att lokala direkta symtom fokuserades istället för helheten och de bakomliggande orsakerna. Översikten och helhetsförståelsen av processen var alltså otillräcklig (HSE, 1997).

För att sköta processövervakning är larmsystem viktiga hjälpmedel för operatörerna. Bransby och Jenkinson (1998a) hävdar till och med att larmsystemen är de viktigaste verktygen som används av operatörer för att övervaka anläggningars säkerhet. Bristfällig utformning av ett larmsystem kan bidra till svårigheter i hanteringen eller till att systemet ej utnyttjas till fullo. Ett larmsystem som inte är anpassat till operatörens kognitiva förmågor och begränsningar kan medföra att risken för incidenter ökar istället för att minska. Ett effektivt och användarvänligt larmsystem, med ett intuitivt gränssnitt, bidrar till att öka säkerheten, minska upplärningstiderna, öka tillgängligheten samt medför en minskad miljöpåverkan genom att allvarliga incidenter kan undvikas.

Smith m.fl. (2003) drar slutsatsen att kraven och arbetsbelastningen på operatörerna har ökat under senare år och därmed har även risken för incidenter och olyckor ökat. Detta beror bland annat på; att processens normala driftläge i större grad har anpassats till maximal effektivitet, att säkerhetsmarginalerna har minskat, att kostnaderna för processavbrott har ökat och synliggjorts, samt att processerna har blivit mer komplexa samtidigt som bemanningen har minskats.

Att larmsystem är ett viktigt område att studera klargjordes redan av Lees 1974 (ur Stanton, 1994), då han konstaterade att larmsystemet ofta är den del i processövervakningssystemet som har störst brister och därmed stor utvecklingspotential. Bristerna handlar främst om avsaknad av tydlig designfilosofi, otydliga larm, larm som kan sammanblandas samt alltför många larmsignaler. Sedan 1974 har mycket forskning inom området larm och larmsystem genomförts, men ännu

finns ingen specifik lösning på hur larmsystemen ska utformas och hur larmen ska presenteras på bästa sätt för processövervakning. Forskningen fortgår kontinuerligt inom många branscher som kräver bra larmsystem runt om i världen, t.ex. kärnkraft, petrokemi, processindustri, flygindustri, medicinsk teknik samt olje- och gassektorn.

Tidigare har studier inom kontrollrumsutformning oftast skett med ett tekniskt perspektiv och fokuserat på vad som är tekniskt möjligt att konstruera, snarare än att det är operativt användbart. Studierna har ofta inriktats på att ta fram ytterligare tekniska system som ska hjälpa och stödja operatören, snarare än att undersöka vilken information operatören verkligen behöver. Dessa system har därmed ofta resulterat i en ökad arbetsbelastning för operatören i redan stressiga situationer (Woods m.fl., 2002). Under senare år har emellertid fokus alltmer förflyttats till operatörens arbetssituation. Fortsatta studier måste utföras ur ett operatörsperspektiv för att i framtiden kunna utveckla bättre larmsystem anpassade till olika användningssituationer. Behovet av att ta hänsyn till operatörernas förutsättningar, kunskaper och erfarenheter är numera accepterat. Dock hävdar Nachreiner m.fl. (2006) att kunskapen om ergonomi och människa-maskinssystem ändå inte fått den betydelse den förtjänar i olika utvecklingsprocesser. Genom att negligera behovet av att ta hänsyn till människans villkor vid utformning av larmsystem har resultatet blivit att många styrsystem i dag innehåller tusentals specifika larm signaler och ett otal kombinationer av larm (Smith m.fl., 2003). Arbetet med att förbättra larmhanteringen har startat på många företag, men potentialen för ytterligare förbättringar är stor (Smith m.fl., 2003).

Styr- och larmsystem uppgraderas och moderniseras regelbundet på kärnkraftverken i Sverige. Dock har den forskning som utförts kring utformning av styrsystem främst fokuserats på nya koncept och arbetssätt för att utveckla nya system. Färre studier har fokuserat på hur styr- och larmsystemet ska moderniseras i en existerande kontrollmiljö så att den nya utrustningen fungerar väl med den gamla, samtidigt som den nya teknikens fördelar utnyttjas. Hur påverkas operatören och dennes arbete när delvis ny teknik införs i kontrollrummet? Hur tas operatörens kunskap och erfarenhet tillvara? Vilka av de idéer som tas fram för helt nya kontrollrumsmiljöer lämpar sig även vid mindre moderniseringar? Detta är några exempel på frågor som behöver besvaras.

Detta projekt initierades för att utveckla forskarkompetens i Sverige inom larmområdet med tillämpning mot kärnkraftsindustrin, samt för att främja forskningsmiljön inom larm- och människa-maskinssystemområdet. Projektet har drivits i samarbete mellan Chalmers tekniska högskola i Göteborg och Institutet för energiteknik (IFE) i Halden, och finansierats av Statens kärnkraftinspektion (SKI) och de svenska kärnkraftverken. Med ett forskningsuppdrag på en högskola i Sverige bidrar projektet också till att ämnet aktualiseras i undervisningen på högskolan, vilket innebär att fler ingenjörer i framtiden kommer att ha kunskap inom larmsystemutformning i komplexa kontrollrumsmiljöer.

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet har varit att öka förståelsen för sambandet mellan operatörens prestation och utformningen av larmsystemet, samt att bidra med konkret kunskap om larm för operativa applikationer vid kärnkraftverk och för myndighetsutövning. Centralt för hela projektet har varit att ta hänsyn till operatörens kognitiva förmågor och begränsningar för olika operatörsroller, driftsituationer och informationsbehov. Målet med projektet har dels varit att komplettera och utveckla befintliga larmriktlinjer och larmfilosofier, dels att utforma designförslag på användaranpassade larmpresentationer i kontrollrummet.

1.3 Avgränsningar

Projektet har fokuserat på larmsystem och larmpresentation i kontrollrum. Övriga delar av övervakningssystemet har inte beaktats i någon större utsträckning. Dock är det svårt att enbart studera larmsystem utan att se till hela övervakningssystemet. Vissa överlappningar uppstår och är naturliga. Fokus har legat på anläggningarnas huvudsakliga övervakningssystem av processen och därför har hjälpsystem, brandlarm med mera fått en mer underordnad roll i detta arbete.

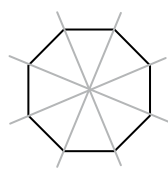
I de senare delarna av projektet har ytterligare avgränsningar gjorts i form av att utvecklingsarbetet har fokuserat på två delsystem; kondensat- respektive matarvattensystemet. Det är i princip omöjligt att i detalj studera hela larmsystemet i kontrollrummet och ta fram ett nytt heltäckande utformningsförslag varför en avgränsning var nödvändig. Kondensat- och matarvattensystemet valdes eftersom dessa system bedömts som mest generaliserbara mellan de olika kärnkraftsblocken i Sverige.

Ett larmsystem har två funktioner. Huvudfunktionen är att varna och vägleda operatören vid avvikande drifttillstånd. Den sekundära funktionen är att registrera och logga larm och händelser. I projektet har endast huvudfunktionen analyserats eftersom den är mest kritisk. Loggfunktionen som registrerar händelser och larm används främst vid efteranalyser, varför denna del har bedömts som mindre relevant i detta arbete.

Projektet har främst fokuserat på utformning av larm och larmsystem i kärnkraftsindustrin. Kompletterande studier och/eller litteraturfördjupningar har även skett inom processtekniska tillämpningar (pappers- och massaindustri, petrokemisk industri och övriga energisektorn) samt olje- och gasindustrin. Vidare har även studier och teorier från medicinska tillämpningar, transportledningsområdet och flygindustrin beaktats, men i begränsad omfattning.

1.4 Förkortningar och definitioner

I rapporten förekommer olika förkortningar och begrepp. Första gången förkortningen/begreppet presenteras finns en förklaring i texten. För att underlätta läsningen och säkerställa en konsekvent tolkning har de viktigaste begreppen sammanställts nedan.

Abduktion	Forskningsansats som kombinerar induktiv och deduktiv forskning
CWA	Cognitive Work Analysis Ansats för utvecklingsmetodik som fokuserar på att undersöka arbetsförutsättningar. I projektet har teorierna i Vicente (1999) använts.
Deduktion	Forskningsansats där teori används för att formulera en hypotes som därefter testas
Ekologisk designteori	Designteori som fokuserar på att utforma gränssnitt som reflekterar begränsningar i arbetet och arbetsmiljön och synliggör dessa för användarna. Ekologisk designteori kompletterar traditionell användarcentrerad design med situationer där: <ul style="list-style-type: none"> • Det inte räcker att prata och fråga användarna • När användarna ska utvecklas till experter • När användarna ska kunna hantera det oväntade Idén är att inte tvinga användaren till en högre nivå av informationsprocessande än vad uppgiften kräver. I projektet har teorierna i Burns och Hajdukiewicz (2004) använts.
F1	Forsmark, block 1
F2	Forsmark, block 2
F3	Forsmark, block 3
HFE	Human Factors Engineering
IFE	Institutet för energiteknik i Halden, Norge
Induktion	Forskningsansats som genom observation i verkligheten samlar in data och analyserar och därefter formulerar teorier
Milford Haven-olyckan	Olycka vid Texacos raffinaderi i Milford Haven 1994. En av de mest kända olyckorna där larmsystemet var en stor bidragande orsak till olyckans omfattning och utveckling.
MTO	Människa, teknik, organisation
OKG	Driver Oskarshamns kärnkraftverk. Tidigare kallat Oskarshamns kraftgrupp.
O1	Oskarshamn, block 1
O2	Oskarshamn, block 2
O3	Oskarshamn, block 3
Polära diagram	Informationsvisning presenterar data i form av ett cirkulärt diagram där flera olika parametrar och mätvärden kan inkluderas. 
R3	Ringhals, block 3
R4	Ringhals, block 4
SKI	Statens kärnkraftinspektion

2 Projektbeskrivning

2.1 Upplägg

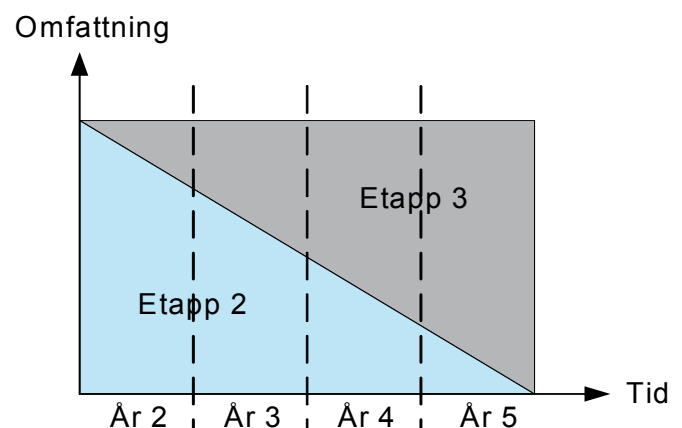
Projektet har varit ett långsiktigt doktorandprojekt som pågått fem år. Det övergripande syftet med projektet var att öka kompetensen kring utformning av användbara larmsystem i Sverige. Målet var att ta fram principer som kan användas vid design och inspektion av larmsystem samt att utveckla förbättrade larmlösningar, i första hand för kärnkraftsindustrin. Projektet har haft operatörsperspektivet som utgångspunkt.

Projektet har varit indelat i tre etapper (tabell 1). Fokus för etapp 1 var att identifiera en specifik forskningsfråga inom området larmsystem. Etapp 2 innehöll främst en teoretisk fördjupning och utveckling av designprinciper för larmpresentation. I etapp 3 har en principiell presentationslösning för larm utvecklats.

Tabell 1: Generellt projektupplägg för larmprojektet

	Etapp 1	Etapp 2	Etapp 3
År	1	2-3	4-5
Uppgift	Sammanställa information och jämföra olika branscher	Genomföra teoretiska och empiriska studier av: - larmsystem - larmpresentationslösningar - informationsprocess - larmhantering	Utveckla och utvärdera presentationsformer för larm
Resultat	Identifierad forskningsuppgift	Utvecklade designprinciper för larmpresentation	Ny presentationsform för larm

Slutsatsen från etapp 1 var att den teoretiska bas som sammanlänkar teknik och människa i systemet behöver förstärkas. Tekniken står här för larmsystemets uppbyggnad och funktion, människan syftar på operatören och hans/hennes mentala och fysiska förutsättningar och begränsningar. Systemet representeras av den aktuella situationen, dvs. omgivningen och driftsituationen. Det är viktigt att beakta att hänsyn ska tas till såväl kognitiva som fysiska och sociala aspekter i systemet. Arbetet under etapp 2 och 3 har delvis utförts sekventiellt, varvid resultaten från etapp 2 har uppdaterats kontinuerligt allteftersom resultat från etapp 3 inkommit och analyserats. Arbetet i de två sista etapperna av projektet kan principiellt beskrivas enligt figur 1.



Figur 1: Principiell arbetsfördelning mellan etapp 2 och 3

2.2 Frågeställning

Den frågeställning som legat till grund för arbetet har varit:

1. Hur ser dagens larmsystem ut, specifikt inom kärnkraftsindustrin men också inom andra branscher som petrokemi, oljeraffinering, papper- och massaframställning, värme- och kraftproduktion, medicinsk teknik och flyg?
2. Hur hanterar operatörer larm vid normaldrift respektive vid avvikelser?
3. Hur övervakar kontrollrumsoperatörer i svenska kärnkraftverk anläggningens process? Vilka kognitiva processer sker hos operatören och vilka beslut fattas och verkställs?
4. Hur påverkar erfarenhet och kunskap operatörernas sätt att förstå och hantera larm och larmsystem?
5. Vilka samband kan ses mellan arbetssituation och operatörens prestation?
6. Vilket informationsbehov finns i olika arbets- och driftsituationer?
7. Hur påverkas enskilda operatörer och deras agerande av kollegorna i skiftlaget?
8. Hur går utveckling av nya system till och vilket stöd behövs under utvecklingsprocessen?

2.3 Delstudier

De olika delstudierna som ingått i projektet beskrivs etappvis. För att enkelt hitta till genomförandet och resultaten för respektive delstudie ges sidhänvisningar inom parantes.

2.3.1 Etapp 1

I etapp 1 utfördes den första studien:

- **Studie 1: Fallstudier av larmsystem i komplexa kontrollmiljöer i olika branscher** (sid. 55/sid. 59)
Huvudsyftet med studien var att kartlägga hur larmsystemen var uppbyggda och hur de hanterades på olika anläggningar och företag. Fallstudier utfördes inom kärnkraftsbranschen (både tryckvattenreaktorer och kokvattenreaktorer), på ett pappers- och massabruk, på ett oljeraffinaderi, med sjuksköterskor inom intensivvård och anestesi samt inom flygindustrin.

Målet med studien var att identifiera en forskningsuppgift för det fortsatta arbetet i projektet. Resultaten från fallstudierna visade att det fanns behov av kompletterande teori som kunde sammankoppla hur larmsystem ska utformas för att vara anpassade efter operatörernas förutsättningar.

Det övergripande målet med projektet som helhet fastslogs därefter till att ta fram en teoretisk modell som sammanlänkar:

- Kognitiva förmågor och begränsningar hos operatören
- Operativt mål beroende på driftstatus
- Larmbehov i olika situationer
- Operatörens kunskap och erfarenhet
- Människans informationsbearbetningsprocess

2.3.2 Etapp 2

Under etapp 2 utfördes ett flertal teoretiska och empiriska studier för att kunna besvara de frågor som framkommit i etapp 1. De olika delstudierna hade separata syften och mål och ska inte ses som att de direkt bygger på varandra, utan istället som parallella och kompletterande studier. De studier som genomfördes var följande:

- **Studie 2: Larmhantering i arbetssituationer utanför normaldrift** (sid. 55/sid. 61)
I studien undersöktes hur operatörer hanterar larm och hur larmen stödjer operatören att hantera olika typer av störningar eller driftfall utanför normaldrift.
- **Studie 3: Operatörens kognitiva larmhanterings- och övervakningsprocess** (sid. 55/sid. 63)
Studien utfördes för att erhålla en bättre förståelse för hur operatören kognitivt hanterar larm och vilka övervakningsstrategier som används.
- **Studie 4: Identifiering av operatörers expertkunskap och arbetsbelastning** (sid. 56/sid. 67)
Operatörerna i ett kärnkraftverk har gedigen utbildning och ofta mångårig erfarenhet. Genom att kartlägga denna kunskap har förståelse för operatörernas behov och krav erhållits. Detta har möjliggjort att den nyckelinformation som behöver presenteras har identifierats. Denna information behövs också för att vägleda och stödja den mindre erfarne operatören.
- **Studie 5: Analys av mänskliga felhandlingar** (sid. 56/sid. 69)
I studien undersöktes hur operatörerna hanterar rutinuppgifter för att identifiera informationsbehov. Dessutom bedömdes vilken risk för mänskliga felhandlingar som förelåg.
- **Studie 6: Operatörens samverkan med skiftkollegor** (sid. 57/sid. 70)
I studien undersöktes hur den enskilde operatören påverkas av och samverkar med kollegorna på skiftet i samband med störningshantering.

Genom studie 2-6 har det varit möjligt att få en förståelse för hur operatörerna hanterar larmsystemet och påverkas av arbetssituation, hur informationsbehovet förändras med driftläget och hur kollegorna samverkar för att hantera olika incidenter som anläggningen drabbas av. Resultaten har sammanställts i en teoretisk modell, som har använts för att utveckla och komplettera dagens designprinciper och riktlinjer för larm och larmsystem samt till att utvärdera befintliga och framtida larmlösningar.

2.3.3 Etapp 3

Etapp 3 har inneburit ett arbete med att systematisera och gruppera riktlinjerna som togs fram i etapp 2, att undersöka hur bildskärmsbaserade gränssnitt kan anpassas efter operatörens förutsättningar, samt utveckling av ett förslag på larmsystem. Detta har inneburit att följande studier har utförts i etapp 3:

- **Studie 7: Anpassning av bildskärmsbaserade gränssnitt till operatörens förutsättningar vid incidenthantering** (sid. 57/sid. 70)
Studien har utförts för att undersöka hur gränssnitt som stödjer specifika uppgifter bör utformas så att gränssnittet blir ett stöd och hjälpmedel för operatören och anpassat till dennes förutsättningar.
- **Studie 8: Kategorisering av larmriktlinjer** (sid. 58/sid. 74)
De larmriktlinjer som bedömts relevanta att beakta i samband med moderniseringar av befintliga kontrollrum har grupperats och kategoriserats efter typ av riktlinje, samt i vilken utvecklingsfas den bör beaktas. Detta för att underlätta för de designers och ingenjörer som utvecklar och upphandlar nya system.
- **Studie 9: Utformning av gränssnitt för larmsystem** (sid. 58/sid. 75)
Studien har utförts för att verifiera resultaten från de föregående studierna. Arbetet liknar ett utvecklingsprojekt och inleddes med att ta fram mål för det larmsystem som skulle utvecklas, identifiera krav samt att ta fram ett förslag på hur en larmfilosofi kan se ut. Därefter har arbetet fortskridit med att generera idéer och koncept, samt att utvärdera och förbättra dessa i en iterativ process.

2.4 Publikationer

Projektet har resulterat i ett flertal publikationer samt en licentiatuppsats. Tabellen nedan sammanfattar hur publikationerna relaterar till de studier som utförts. Kompletterande publicering kommer att ske när studie 9 är analyserad och utvärderad.

Tabell 2: Publikationer i forskningsprojektet

Studie	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	x	x							
2	x	x							
3		x							
4			x						
5					x				
6							x		
7	x	x	x	x		x			
8			x						
9						x			
10	x	x							
11								x	
12								x	
13			x						

1. Jönsson, A. och Osvalder, A.-L. (2004) *En jämförande studie av larmsystem i svenska kärnkraftverk och andra branscher*. Chalmers tekniska högskola. ISSN: 1651-0984, rapport nr: 29. Göteborg.
2. Jönsson, A., Osvalder, A.-L., Holmström, C. och Dahlman, S. (2004) *Alarm Systems in the Nuclear Industry – Survey of the Working Situation and Identification of Future Research Issues*. Proceedings of the Man-Technology-Organisation Sessions, HPR-363, Vol. 1. Enlarged Halden Programme Group Meeting.
3. Jönsson, A. och Osvalder, A.-L. (2004) *Survey of Alarm Systems in Nuclear and Process Industry During Disturbances*. Proceedings of the 36th Annual Congress of the Nordic Ergonomics Society Conference,
4. Jönsson, A. och Osvalder, A.-L. (2005) *Development of a Theoretical Cognitive Model of the Nuclear Power Plant Operator's Information Process*. Proceedings of the Man-Technology-Organisation Sessions, HPR-365, Vol. 2, Enlarged Halden Programme Group Meeting.
5. Oxstrand, J. (2005). *Utveckling av säkert och effektivt användargränssnitt - vilka faktorer påverkar risken för mänskligt fel?*, Chalmers tekniska högskola, Göteborg
6. Andersson, J. (2006) *Situationsanpassning för kontroll - en studie av turbinoperatörers arbete under husturbindrift vid Ringhals kärnkraftverk*.
7. Thunberg, A. (2006) *A Cognitive Approach to the Design of Alarm Systems for Nuclear Power Plant Control Rooms*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. Licentiatuppsats, rapport nr: 12.
8. Thunberg, A. och Osvalder, A.-L. (2006) *Monitoring Complex Processes: Cognitive Model of the Control Room Operator's Information Process*. International Ergonomics Association Congress,
9. Thunberg, A. och Osvalder, A.-L. *Human System Interface Design for Team Work in Complex Process Control*. The 38th Annual Congress of the Nordic Ergonomics Society Conference, Hämeenlinna, Finland,
10. Thunberg, A. och Osvalder, A.-L. *Design of alarm systems in different complex control settings*. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society, Europe Chapter. Sheffield, UK,
11. Thunberg, A. och Osvalder, A.-L. (2007) *What constitutes a well-designed alarm system?*. Joint conference between IEEE - Human Factors in Power Plants and Human Performance, Root Cause and Trending, Monterey, USA.
12. Thunberg, A. och Osvalder, A.-L. (2007) *Design of Usable Alarm Systems*. Proceedings of Nordic Ergonomic Society (NES) conference. Lysekil, Sweden.
13. Osvalder, A.-L., Osvalder, L., Holmqvist, H. och Thunberg, A. (2007) *Message of everyday life sound signals – Interaction between sound physics and sound perception*. Proceedings of Nordic Ergonomic Society (NES) conference, Lysekil, Sweden.

2.5 Forskningsansats

Det huvudsakliga målet med forskningen har varit att relatera operatörens prestation till arbetsuppgiften, befintligt teknikstöd, arbetsituationen och den omgivande arbetsmiljön. Genom att skapa en förståelse för detta samspel har det varit möjligt att anpassa och komplettera de riktlinjer som finns i dag för hur larm och larmsystem ska utformas.

Studierna under etapp 1 och 2 har varit av induktiv karaktär, eftersom avsikten har varit att undersöka och kartlägga befintliga arbetsituationer och arbetsmiljöer. Med induktiv menas att studierna har tagit sin utgångspunkt i observationer i verkligheten. Genom att samla in och analysera data har det därefter varit möjligt att formulera teorier. Invändningar mot induktiva ansatser finns dock då det i praktiken är omöjligt att utföra förutsättningslösa observationer (Wallén, 1996). Det ingår ofta redan ett teoriinslag i urvalet av vad som ska observeras eller mätas, vilket påverkar den möjliga nya teoribildningen. Sällan är dock studier enbart induktiva eller deduktiva (Starrin och Svensson, 1994). Istället kan den typ av forskning som utförts i detta projekt härledas till de teorier som Alvesson och Sköldberg (2006) presenterar, där de definierar angreppssättet abduktion som en kombination av induktiv och deduktiv forskning.

Enligt Alvesson och Sköldberg (2006) tar abduktion sin utgångspunkt i empiriska data men utan att teoretiska koncept förkastas. Vidare söker abduktion finna struktur och teoretiska ramar genom att analysera det empiriska materialet och de mönster som framkommer ur detta genom att samspela mellan det teoretiska och det empiriska området. Abduktion är ett sätt att dra slutsatser om vad som är orsak till eller har föregått en observation. Abduktion används ofta då man står inför en effekt och söker orsaksfaktorer utan att direkt kunna manipulera dessa (Wallén, 1996). Forskaren utgår från sannolika samband och drar slutsatser genom uteslutning av olika faktorer med tester eller liknande. Enligt Alvesson och Sköldberg (2006) karaktäriseras den abduktiva forskningsprocessen av ett kontinuerligt alternerande och samspel mellan de teoretiska och empiriska områdena.

I etapp 3, och särskilt studie 9, har en deduktiv forskningsansats använts eftersom avsikten då var att testa om den hypotes (dvs. de larmriktlinjer som sammanställts) som framkommit i projektet var korrekt.

I projektet har teorier från området kognitiv ergonomi främst använts. Dock har inte avsikten varit att utöka kunskapen inom detta område utan målet har istället varit att koppla samman befintlig kunskap och relatera den till den praktiska verkligheten, både för personer på de svenska kärnkraftverken och för myndighetsutövning. De generella kognitionsvetenskapliga teorierna har varit nödvändiga för att kunna dra slutsatser för framtida system.

3 Teori

3.1 Larm och larmsystem

3.1.1 Varför larm och larmsystem behövs

Huvudorsaken till att larm behövs är att system kan fallera (Kirwan, 2003). Vidare är människan inte allvetande och uppmärksamheten kan brista, vilket bland annat kan bero på trötthet. I sådana situationer ska larmsystemet bidra till att anläggningens säkerhet bibehålls genom att identifiera aktuellt feltillstånd och uppmärksamma operatören på detta. Larmsystemen ska också hjälpa operatörerna att hantera stressande, svåra situationer och situationer med tidspress. Dagens tekniska system är också ofta så komplexa att operatörerna behöver hjälp för att sköta dessa. Dessutom kan människan begå misstag emellanåt. Allt detta visar på att ett larmsystem som kompletterar det ordinarie övervakningssystemet behövs (Stanton, 1994)

Larmsystem används i processindustrin för att automatiskt övervaka anläggningars status och de enskilda larmen utnyttjas för att rikta operatörens uppmärksamhet på förändringar som kräver kognitiva bedömningar eller fysiska handlingar (EEMUA, 1999). Larmsystemen hjälper operatören att:

- Bibehålla anläggningen i ett säkert produktionsläge.
- Upptäcka och undvika riskabla situationer.
- Upptäcka avvikelser från önskade operationslägen.

Ett välfungerande larmsystem anpassat efter operatörens behov och förutsättningar bidrar också till att anläggningens prestanda höjs, vilket leder till ekonomiska vinster (Bransby och Jenkinson, 1998b; Liu m.fl., 2003). Därtill finns vinster, både ekonomiska och miljömässiga, i form av minskad risk för allvarliga incidenter och olyckor, färre produktionsstopp och driftavbrott samt större möjligheter till planerat underhåll.

Larmsystemet blir också en allt viktigare komponent i processövervakningen eftersom säkerhetsmarginalerna minskat och driften sker nära maximal effekt. Vidare har kostnaderna för processtopp ökat och kraven har höjts på inga eller mycket få utsläpp. Detta har inneburit ökade krav på kontroll- och styrsystemen och därmed även på larmsystemet. Dock finns risker att dagens system blir så komplexa att operatörerna har svårigheter att förstå hur de ska hanteras för att styra den underliggande processen.

3.1.2 Larmdefinition

Enligt Svenska akademins ordbok (2008) definieras larm som *”en signal att någon händelse inträffat som kräver snabbt ingripande”*. I tillämplig litteratur beskrivs larm som en signal som förkunnas till operatören om uppkomsten av en processavvikelse, eller en kombination av tillstånd som tillsammans kräver uppmärksamhet (Bye och Moum, 1996; EEMUA, 1999; Sørenssen m.fl., 2002). I de två senare referenserna poängteras också att larmet ska kräva någon form av åtgärd av operatören.

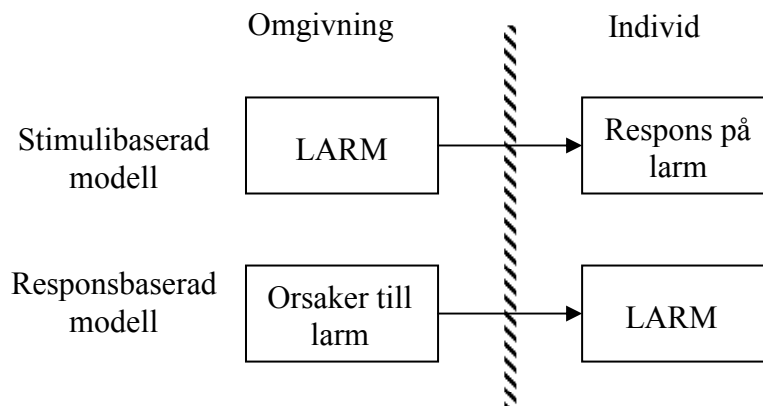
International Electrotechnical Commission, IEC (2004) definierar larm som diagnostiserande, prognostiserande eller vägledande information, vilken finns för att varna och fånga operatörens uppmärksamhet på en process- eller systemavvikelse. IEC

(2004) beskriver också att egenskaper som utmärker ett bra larm är att det ska indikera någon av följande saker:

1. En störning som omedelbart eller inom ett kort tidsintervall kräver agerande av operatören från kontrollrummet.
2. En automatisk åtgärd som utförs för att kontrollera eller mildra en häftig eller farlig störning.
3. Ett utrustningsfel som kräver eller indikerar att en underhållsåtgärd behöver utföras.

Huruvida punkt två ska betraktas som en indikation på ett larm råder det delade meningar om. Bland annat Sørenssen m.fl. (2002) påpekar vikten av att ett larm ska kräva någon typ av respons från operatören. I fallet med att indikera en automatisk åtgärd som utförs kan detta kanske snarare härledas till information.

En förklaring till att det kan finnas olika definitioner över vad ett larm är att larm kan användas både som **stimulus** och som **respons** vid olika tillfällen (figur 2) (Stanton, 1994). Den stimulusbaserade modellen innebär att ett larm existerar i omgivningen och närvaron av larmet påverkar individen. Den responsbaserade modellen visar på stimuli som ger upphov till ett larmläge hos individen.



Figur 2: Olika definitioner av larm, enligt Stanton (1994).

Inom tekniska sammanhang är det vanligtvis den stimulibaserade modellen som åsyftas. Då är det i omgivningen klart definierat vad som ska vara ett larm. När parametrarna som definierar ett larm är uppfyllda genereras larmet och presenteras för operatören som responderar på något sätt. Det är alltså inte operatören själv som utifrån information om processen avgör om ett larmtillstånd har uppstått eller ej. Enligt de tidigare nämnda larmdefinitionerna är den stimulibaserade modellen norm för tekniska system. I larmdefinitionerna påtalas vid flera tillfällen att larm är en signal som ska uppmärksamma operatören på ett avvikande tillstånd. Det är alltså larmet som ska uppmärksamma operatören och det är inte operatören själv som ska avgöra om en larmsituation uppstått.

I Stantons modell visas att larm i den stimulibaserade modellen ska kräva någon form av respons hos operatören. Detta är också ett krav som anges i litteraturen, bland annat av Sørenssen m.fl. (2002). Att ett larm ska uppmärksamma operatören på ett avvikande tillstånd är också viktigt att påtala och har identifierats av flera källor (Bye och Moum, 1996; Sørenssen m.fl., 2002; IEC, 2004). Det handlar alltså om att larmet ska underlätta för operatören att identifiera och avhjälpa onormala tillstånd. I den betydelsen påminner

det om ordböckernas ursprungliga definition av varning. Ett larm ska alltså inte finnas för enbart informationssyfte.

Många av larmdefinitionerna påminner om varandra och den definition som valts att gälla för larm i denna studie är:

Larm är signaler som innehåller information som tillkännages till operatören för att uppmärksamma honom/henne på ett onormalt eller avvikande tillstånd som kräver någon form av respons.

För att särskilja larm från larmsystem i denna studie används Bransbys och Jenkinsons (1998b) förklaring som säger att larmsystemet är ett system för att generera och processa larm samt presentera dessa för användare.

3.1.3 Larmsystemens uppgift

Enligt Sørenssen m.fl. (2002) är larmsystemet ett grundläggande stödsystem för operatören för att hantera onormala situationer. Larmsystemet kan delas in i en primär och en sekundär funktion (Sørenssen m.fl., 2002). Den primära funktionen är att varna operatören om en (kommande) önskad situation. Det är denna funktion som oftast avses och som ingår i larmdefinitioner. Den sekundära funktionen ett larmsystem har är att fungera som en larm- och händelselogg, vilket behövs för att kunna analysera incidenter som inträffat samt för att kunna optimera driften (Sørenssen m.fl., 2002). I fortsättningen av rapporten fokuseras den primära huvudfunktionen eftersom den ansetts mer kritisk.

Inom kärnkraftindustrin finns en ofta använd och citerad definition av larmsystemets syfte (Hollnagel och Øwre, 1984; Karlsson m.fl., 2002; O'Hara, m.fl., 1994). Denna definition säger att larmsystemet ska:

- Göra operatören uppmärksam på att en avvikelse existerar,
- Informera operatören om avvikelens prioritet och typ,
- Leda operatörens första respons på avvikelser,
- Bekräfta, i rimlig tid, om operatörens respons åtgärdade avvikelser.

Kirwan (2003) går ett steg längre och menar att larmsystemet inte bara ska leda den första responsen, utan det kan vara en serie av åtgärder som krävs för att korrigera feltillståndet. Vidare tar Kirwan (2003) också upp att det är följdriktiga responser på *förväntade* händelser och omständigheter som kan skapas. För situationer som inte förväntas eller har förutsetts är det svårt att skapa en följdriktig respons. Denna problematik tas ofta om hand genom att anläggningen i samband med en störningssituation tas till ett säkert drifttillstånd då det finns mer tid att analysera vad som har hänt och vilka åtgärder som bör vidtas. Angreppssätt har börjat etableras för hur system som kan hantera icke förväntade situationer ska kunna utvecklas. Ofta förknippas dessa teorier med termen *Resilience Engineering* eller robusta system (Hollnagel m.fl., 2006).

Tonvikten på vilken av larmsystemets delfunktioner som är viktigast (uppmärksamma, informera, leda eller bekräfta) varierar beroende på författare. Swann (1999) påpekar vikten av att uppmärksamma operatören. Han menar att larmsystemets syfte är att göra operatören medveten om en processbetingelse och uppmärksamma honom/henne på att

ett ingripande behövs. Detta stämmer överens med ordböckernas definition som fokuserar på varningsmomentet. Vidare påtalas också att larmsystemet har en varningsfunktion men grundfunktionen för ett larmsystem är att orientera och leda operatörer mot onormala tillstånd. (Nochur m.fl., 2001), så att operatörerna kan utvärdera och agera för att återställa situationen till det normala. Här får alltså uppgiften att orientera och leda operatören större betydelse än själva varningsmomentet, som ofta annars är det som förknippas med larm. Även Koene och Vedam (2000) poängterar vikten av stötta operatören genom att ge tydlig information och prioritera var operatörens respons behövs mest under onormala och avvikande situationer.

Det är även troligt att de olika delfunktionerna måste uppnås i den ordning de omnämns. Om ett larm inte uppmärksammas är det ingen idé att det informerar och leder operatören. Av den anledningen ses uppmärksamhetsaspekten som prioritet ett. När den är uppfylld går arbetet vidare med att utforma larmet för att det ska informera operatören och därefter kan fokus flyttas till utformning av larmet för att leda respektive bekräfta för operatören vilken respons som ska vidtas och om den fick avsedd effekt.

En skillnad som tydligt framgår mellan de olika författarnas definitioner av larmsystem är var de drar gränsen för vad som tillhör larmsystemet. En del fokuserar på hur larmsystemet ska bete sig vid en avvikande situation medan andra menar att larmsystemet ska avhjälpa att processen hamnar i ett avvikande läge. Detta visar på att det är viktigt att i varje studie klarlägga vad som ska vara larm och vad som ska vara information. Även om larm används som hjälp för övervakningen så ska larmen informera om händelser som kan generera ett avvikande driftläge om ingen åtgärd utförs.

Larmet behöver inte kräva en fysisk respons utan det kan lika gärna vara en kognitiv uppgift som behöver utföras. Det viktiga är dock att något krävs av operatören då ett larm presenteras. Informationsmeddelanden är också värdefulla i övervakningen, men ska särskiljas från larmen. Risker finns annars att operatören vid en störning kan bli överhopad av en stor mängd larm och då kan få svårt att prioritera sin insats vilket kan leda till att viktiga larm förbises.

Slutsatsen av avsnittet är att larmsystemet primärt ska hjälpa operatören att bibehålla anläggningen i det önskade produktionsläget. För att kunna göra detta behöver larmsystemet uppmärksamma operatören på händelser som kan leda till avvikelser och som kräver någon form av respons. Därtill ska operatören informeras om avvikelserna och dess prioritet. Dessutom ska larmsystemet vägleda operatören till rätt åtgärd. När åtgärden är utförd ska också någon form av bekräftelse erhållas som bekräftar om åtgärden korrigerade avvikelserna.

3.1.4 Karakteristiska egenskaper för välfungerande larm och larmsystem

Larmsystemets primära funktion är att rikta operatörens uppmärksamhet mot anläggningstillstånd som kräver en tidsbedömning eller ett agerande (EEMUA, 1999). För att kunna uppnå den primära funktionen för larmsystemet krävs det att varje larm (EEMUA, 1999; Sørenssen m.fl., 2002)

- Varnar, informerar och vägleder operatören samt bekräftar om åtgärden fungerat,
- Är användbart och relevant för operatören,
- Har en definierad åtgärd/respons, antingen fysisk eller mental,
- Ges i tillräckligt god tid för att operatören ska kunna utföra den definierade responsen och att larmmängden är hanterbar.

För att kunna motsvara detta syfte för larmet krävs att larmet uppfyller följande egenskaper (EEMUA, 1999; Koene och Vedam, 2000; Sørenssen m.fl., 2002):

- Relevant – inte vara ett falsklarm eller ett larm av lågt nyttigvärde. samt relevant för avsedd operatörsroll vid specifik tidpunkt
- Unikt – larmet ska inte vara duplikat av annat larm.
- Lägligt (i tiden lämpligt) – larmet ska komma i rätt tid, inte långt innan en respons krävs och inte för sent så operatören inte hinner utföra en respons.
- Prioriterat – larmets vikt ska påvisas så att operatören kan prioritera sin insats om det behövs.
- Förståligt – larmet ska ha ett tydligt och lättförståligt meddelande.
- Diagnostiserande – identifiera det problem som har inträffat.
- Rådgivande – indikera vilken åtgärd som ska utföras.
- Fokuserande – rikta uppmärksamheten på de viktigaste aspekterna.
- Hanterbart och konsekvent – larmen ska presenteras i en takt som operatören kan hantera och utformningen ska vara samstämmig

Att larmen ska vara relevanta för den avsedda operatörsrollen vid en specifik tidpunkt ställer stora krav på larmsystemet då det måste kunna hantera olika typer av situationer och olika informationsbehov. Mycket förenklat kan operatörens arbetsuppgifter kategoriseras efter tre typer av situationer med varierande informationsbehov (tabell 3) (EEMUA, 1999).

Tabell 3: Exempel på koppling mellan driftläge, operatörsroll och informationsbehov

Driftläge	Primär operatörsroll	Nyckelinformation från larmsystemet
Normaldrift	Övervaka och optimera	Mindre justeringar behövs
Störning	Hantera situationen	Operatörsingrepp nödvändiga
Nedstängning	Säkerställa säker nedstängning	Säkerhetsåtgärder utförs

För att underlätta utvecklingen och utformningen av larmsystem och deras ingående larm och säkerställa att egenskaperna i punktlistorna ovan uppnås har olika forskningsinstitut arbetat fram riktlinjer. En av dessa organisationer är Institutet för Energiteknik (IFE) i Halden, Norge, som under många år har arbetat med frågor inom larmsystemområdet. År 2002 gjordes en sammanfattning av den kunskap som framkommit och utvecklats under åren. Sammanfattningen presenteras i en rapport (Sørenssen m.fl., 2002) som bland annat innehåller en uppsättning av rekommendationer för hur larm och larmsystem bör fungera och vara uppbyggda, det

vill säga uppfylla kraven i de ovan nämnda punktlistorna. Det finns även fler organisationer som har tagit fram riktlinjer för utformning och inspektion av larmsystem. Ett av de mest kända och använda dokumenten är NUREG-0700 (O'Hara m.fl., 2002) som utarbetats av US Nuclear Regulatory Commission (NRC). NUREG-0700 ger en utförlig beskrivning av hur larmsystemen bör vara uppbyggda och vilka funktioner som kan finnas samt hur presentationen bör ske. Det som dock saknas i dessa dokument är vilka riktlinjer som bör beaktas för olika typer av larm och vilka anpassningar som krävs för att larmen ska fungera till de olika situationer de kommer att genereras i.

I samband med utveckling av larmsystem är det viktigt att detta inte sker separat, utan hänsyn bör även tas till det ordinarie övervakningssystemet (Bransby och Jenkinson, 1998b). Detta ger en bättre helhetssyn under utveckling och bidrar till en konsekvent uppbyggnad av systemen. Samstämmigheten mellan larmsystemets gränssnitt och kontrollrummets övriga gränssnitt är en nyckelfaktor för att operatörerna ska kunna arbeta effektivt och säkert (IEC, 2004; O'Hara m.fl., 2002; O'Hara m.fl., 1994).

Vid jämförelse av olika studier har ett antal grundläggande funktioner som måste finnas i ett larmsystem för att det ska bli användbart kunnat identifieras. Funktionerna har bedömts som generella då de nämnts i minst två av referenserna nedan och inte blivit motsagd av någon (IEC, 2004; Miazza m.fl., 1993; O'Hara m.fl., 2002; Shee, 2003; Stanton, 1994). De generella funktionerna är:

- Nyttjande om principen med nedsläckta paneler underlättar för operatören att upptäcka och identifiera viktiga larm som uppkommer
- Funktioner för att hantera situationer med larmfloder, det vill säga situationer där många larm genereras och presenteras för operatören samtidigt. Ofta sker detta i en sådan takt att operatören inte hinner tysta, läsa och/eller förstå larmen.
- Funktioner för att hantera stående larm och andra störande larm.
- Gruppera larmen efter systemtillhörighet eller efter någon annan egenskap.
- Separata funktioner för att tysta respektive bekräfta larm
- Anpassat efter olika typer av arbetssituationer
- Larmbehovet och vikten av de enskilda larmen ska definieras utifrån ett operatörsperspektiv

För vidare rekommendationer hänvisas till de specifika riktlinjerna i t.ex. NUREG-0700 (O'Hara m.fl., 2002), IEC-62241 (2004) samt Sørenssen m.fl. (2002).

Sammanfattningsvis kan sägas att avsnittet visar på att det som utmärker ett välfungerande larm är följande egenskaper; relevant, unikt, lägligt, prioriterat, förståeligt, diagnostiserande, rådgivande, fokuserande och hanterbart. Angående utformningen av larmsystemet finns det olika riktlinjer att följa. Något av det viktigaste att tänka på är dock att larmsystemets gränssnitt överensstämmer med kontrollrummets övriga gränssnitt.

3.1.5 Existerande larmproblem och åtgärdsförslag

Det finns många studier gjorda och flera konkreta exempel på brister i larmsystemen på anläggningar i olika branscher runtom i världen. Problem som återkommer i så gott som alla studier är:

- Dagens system är oflexibla och tar inte hänsyn till olika driftlägen och varierande informationsbehov
- Många larm genereras och presenteras vid störning vilket leder till larmfloder och risker för att operatörer kan missa viktiga larm
- Många larm har litet nyttovärde vid störning. En stor del av larmen som presenteras vid en störning är inte intressanta för operatören vilket återigen visar på att larmsystemen inte är anpassade för olika driftlägen och de informationsbehov som finns i dessa situationer.
 - Prioritering saknas ofta bland larmen och om prioritering är införd är risken att den inte är genomtänkt.
 - Undertryckningsmekanismer saknas ofta vilket leder till en stor mängd larm.
- En uttalad och dokumenterad larmfilosofi saknas samt att larmägarförhållandena är otydliga
- Problemlarm förekommer alltför ofta i form av t.ex. stående larm, falsklarm och logiska följdalarm
- För många systemlarm presenteras.
- Säkerhetskritiska larm är inte explicit identifierade och presenterade.

(Andersson, 2003; Blond och Josefsson, 2001; Bransby och Jenkinson, 1998b; Detsis m.fl., 2001; Mattiasson, 1999; OD, 2003; Shee, 2003; Smith m.fl., 2003; Sørenssen m.fl., 2002)

Det mest omtalade problemet i många branscher är att larmsystemen inte fungerar under större störningar (se bland annat Sørenssen m.fl., 2002; Mattiasson, 1999; Bransby och Jenkinson, 1998b; Detsis m.fl., 2001; OD, 2003; Andersson, 2003). Det mest utmärkande problemet som beskrivs i samband med dessa störningar är den stora mängd larm som uppkommer varav ett stort antal larm är irrelevanta (Bye m.fl., 1992; Mattiasson, 1999). Istället för att hjälpa operatören i incidenthanteringen bidrar larmsystemet till svårigheter att hantera händelsen (Koene och Vedam, 2000). Antalet larm gör att det blir svårare för operatören att urskilja vad som är viktigt (Andersson, 2003). Connelly (1997) hävdar att larmmängden som presenteras kan vara så stor att den överskrider operatörens informationsprocessande förmåga vilket kan få till följd att viktiga larm förbises. Andersson (2003) påpekar vidare att situationen dessutom karaktäriseras av hög stress (både med avseende på tidsaspekt och uppgiftskomplexitet) och när så många larm genereras hela tiden tystnar aldrig ljudsignalen vilket påverkar arbetsmiljön negativt.

Detsis m.fl. (2001) konstaterar att det finns ett behov av att skydda operatören från denna informationsöverbelastning. Detta kan åstadkommas genom att ge bakgrundsinformation om problemet och erbjuda en applikation som visar på möjliga lösningar (Detsis m.fl., 2001). Systemen i dag erbjuder inte en fullständig bild av läget och kan innehålla otydligheter vilket leder till svårigheter att analysera problemen och felen (Hamzah m.fl., 2001). Informationsöverbelastningen inträffar huvudsakligen vid utförandet av uppgifter på den regel- eller kunskapsbaserade nivån i Rasmussens SRK-

modell (Rasmussen, 1983). Alltför mycket tid krävs för att samla nödvändig information och sälla bort irrelevant information från den stora mängd data som presenteras för operatören (Detsis m.fl., 2001). En annan anledning till att det tar lång tid att samla nödvändig information och sälla bort irrelevant är att operatörerna blir allt mindre vana vid störningssituationer eftersom dessa inträffar alltmer sällan (Andersson, 2003). Anderssons studie fokuserade på raffinaderi, elnätsdrift och vattenkraftproduktion men resultaten måste även anses troliga för övriga branscher. Emellertid är detta problem inte lika uttalat inom kärnkraftsindustrin eftersom operatörerna där återtränas i simulator regelbundet.

Mattiasson (1999) klargör vidare att larmsystem är konstruerade för att fungera i normaldrift, vilket de också gör. Problemen uppvisas istället i samband med störningar, både stora och små. Ett problem som Mattiasson (1999) ser är att operatörer i alltför liten utsträckning är inblandade i konstruktionsstadiet av larmsystemet. Erfarna operatörer kan bidra med värdefull information om processens beteende under olika processtadier, och de kan också tala om vilken information som önskas av larmsystemet i en sådan situation. I dag är informationen inte alltid anpassad efter driftläget och operatörens behov. Detta innebär att det är larmsystemet som i grunden är problemet vid störningar. Även om det ibland hänvisas till misstag av operatören så beror dessa inte på bristande kunskap hos operatören utan snarare beror misstag på den höga informationsbelastningen och den stora mängden larm som presenteras. Detta kan förbrylla operatören eller göra att han/hon missar viktiga larm eftersom de viktiga larmen är dolda bland hundratals andra larm, som kanske inte är relevanta för situationen.

I framtiden kommer larmsystemen att reflektera det aktuella driftläget bättre och larmlistan kommer troligtvis snarare att vara en aktionslista menar Mattiasson (1999). Detta gör att relationen mellan vilka åtgärder som krävs för att få processen att återgå till det normala och larmsystemet kommer att bli tydligare. Vidare nämns att mer flexibilitet i larmsystemet skulle kunna innebära en avsevärd förbättring genom till exempel undertryckning av sekundära larm.

Effektiva struktureringstekniker är något som Miazza m.fl. (1993) också säger kan leda till en förbättrad arbetssituation. Med en effektiv struktureringsmetod kan man undvika att larmfloder uppstår efter att enbart ett begränsat antal händelser skett. Genom att undvika larmfloder minskas informationsbelastningen på operatören. För att uppnå detta föreslås en indelning av anläggningen i olika statuslägen, till exempel normaldrift, uppstart, varm avställning och så vidare. Utifrån driftstatus ska det sedan avgöras huruvida larmet är av betydelse eller ej (Miazza m.fl., 1993). På detta sätt ska ett flexibla larmsystem uppnås som bättre är anpassat efter operatörens behov. Dessutom nämns att anläggningens delsystem ska specificeras och att larmsignaler från delsystemet ska jämföras med delsystemets status. Är delsystemet till exempel avstängt ska inga larmsignaler genereras från nämnda system. Även förslag med larmprioritering tas upp som exempel på struktureringsmetoder för att minska operatörens informationsbelastning.

Larmfloderna får också olika följdproblem. Bland annat är det svårt att urskilja vilka larm som är orsakslarm och vilka som är följdalarm (Andersson, 2003; Shee, 2003). I branscher där larmlistor används som presentationsform för larm är problemet med

larmfloder ännu större eftersom listan blir helt oanvändbar i en störning då den blir överfull med larm (Andersson, 2003).

Ett annat problem som identifieras i litteraturen är avsaknad av eller ej fullgod (till exempel otydlig eller felaktig) prioritering (Connelly, 1997; HSE, 1997; Tjahjono och Masaprug, 2000). Detta kan vara allvarligt då en prioritering istället för att hjälpa operatören istället leder vederbörande fel. Health and Safety Executives utredning (HSE, 1997) av Milford Haven-olyckan¹ visade att där hade många larm tilldelats samma prioritetsnivå vilket därmed försvårade för operatörerna att urskilja vad som var viktigt och vad som var mindre viktigt.

Ett problem som oftast inte får så mycket utrymme men som kan vara en grundorsak till många dåligt utformade larmsystemen och som identifierats i flertalet branscher är att en sammanhängande larmfilosofi saknas (Bye m.fl., 1992; OD, 2003). Detta är synd då många av larmsystemets egenskaper bestäms tidigt i samband med utvecklingen av systemet. Att då inte ha en etablerad och genomtänkt larmfilosofi gör att de lösningar som tas fram inte säkert stämmer överens med övriga övervakningssystem i kontrollrummet och inte fungerar tillfredsställande med avseende på den aktuella anläggningen och de arbetssituationer som finns där.

Kraven på interna ledningssystem som inkluderar hänsynstagande till mänskliga faktorer skiljer sig inte märkbart från andra typer av ledningssystem som ställer krav på granskningar, revisioner, kontroll av prestanda, utfall etc. Dock har ledningssystemen som ska inkludera mänskliga faktorer i många fall haft brister främst avseende (Smith m.fl., 2003):

- Ingen tydlig identifikation av säkerhetsrelaterade larm
- Alltför många högprioriterade larm
- Avsaknad av larmfilosofi för anläggningen vilket medfört brister avseende konsekvens i grupperingar, utformning etc. även i ett och samma kontrollrum
- Ingen dokumenterad bedömning och uppföljning av operatörers kunskap och kompetens
- Ingen kravspecifikation för användande vid upphandling av larmsystem

Genom att det inte finns en etablerad filosofi försvåras även arbetet med leverantörer och deras underleverantörer. Den upphandlande parten måste säkerställa att larmsystemet som helhet är anpassat till den arbetsmiljö i vilken systemet ska verka samt säkerställa att konsekvens råder mellan olika delsystem (Smith m.fl., 2003). Detta görs lämpligast med en form av larmfilosofi eftersom risken annars föreligger att leverantörer eller underleverantörer annars har egna filosofier avseende t.ex. färgsättning och larmhantering, vilket leder till brister i larmsystemet. Därmed kommer arbetsplatsen vara mer osäker, fler produktionsstopp kommer att inträffa, tillgängligheten försämras och riskerna ökar för skador på människor, miljö och material. Brister i ledningssystem eller larmfilosofier leder obönhörligen till att larm

¹ 24 juli 1994 skedde ett stort utsläpp av kolväten vid ett raffinaderi i England. Kolvätena antändes och ledde till en stor explosion vilket i sin tur orsakade bränder och stora materiella skador. Många brister avseende ledning, organisation, utformning av gränssnitt och system samt dimensionering av utrustning kunde identifieras i samband med olycksutredningen. Larmsystemet var en bidragande orsak till olyckans allvarlighet. För mer information se <http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/casetexaco94.htm> eller HSE (1997).

kommer att definieras på felaktigt sätt (fel prioritet, fel presentation eller fel kategorisering) vilket leder till stora mängder irrelevanta larm för operatören, vilket i sin tur leder till frustration och kan innebära att operatören börjar ignorera larm vilket kan göra att viktiga larm missas.

Ytterligare ett problem som identifierats är att företag ofta saknar etablerade rutiner och/eller inte företar systematiska undersökningar för att kartlägga systemets kvalitet (OD, 2003). Detta är också en intressant och viktig iakttagelse eftersom detta troligen är en av orsakerna till att många mindre problem sedan uppstår och/eller inte åtgärdas.

Vidare har många mindre problemlarm också identifierats i litteraturen:

1. För stor andel av larmen som presenteras har litet eller inget nyttigvärde för operatörerna (OD, 2003).
2. I normaldrift registreras för många larm som är aktiva i normalt drifttillstånd, så kallade stående larm (Bransby och Jenkinson, 1998b; Connelly, 1997; OD, 2003). Många av dessa indikerar ibland inte heller något fel (Koene och Vedam, 2000)
3. Det finns larm med olämpliga sättpunkter eller *deadband*² som ger repeterande larm (Connelly, 1997; Tjahjono och Masaprug, 2000).
4. Många larm har litet värde för operatörerna och anses som störande och besvärande (OD, 2003; Weibull, 2003).
5. Det finns ofta larm som inte kräver något agerande av operatören, det är därför tveksamt om dessa ska klassas som larm (Connelly, 1997; Tjahjono och Masaprug, 2000). Koene och Vedam (2000) hävdar att dessa larm som inte kräver någon operatörsåtgärd gör att operatören är osäker på hur larmen ska hanteras.
6. Larmvillkor som har flera larm – detta gör att flera larm kan genereras trots att bara ett feltillstånd egentligen uppkommit (Connelly, 1997).
7. Konsekvens saknas – Det finns ingen konsekvens i hanterandet av färg etc. mellan olika larmsystem (OD, 2003).
8. Det finns många otydliga eller vilseledande larm (Connelly, 1997; Shee, 2003). Även OD (2003) har sett att larmtexterna ofta är bristfälliga och att det saknas enhetliga förkortningar på många anläggningar.

Genom att gå igenom och ta hand om dessa typer av larm kan arbetssituationen förbättras avsevärt för operatörerna (Smith m.fl., 2003). Många larm kräver dessutom inte någon form av respons av operatören och dessa larm bör därmed flyttas till en loggbok eller motsvarande. Signaler detta avser är bland annat:

- Bekräftelsesignaler³
- Statusindikeringar
- Driftlägesförändringar
- Dubblerade signaler

Problemlarmen är också en orsak till att operatörerna ofta är starkt belastade av larm både under normaldrift och vid anläggningsstörningar (Bransby och Jenkinson, 1998b),

² *Deadband* eller hysteres används ofta i svenskan. Ordet syftar på det intervall som finns mellan larmnivån och den nivå där larmet anses återställt. För att man inte ska få ett larm som återkommer hela tiden är det vanligt att denna typ av intervall införs.

³ Signaler som enbart används för att ge operatörerna bekräftelse på de handlingar de utfört

vilket annars motsäger det faktum som många andra författare hävdar, nämligen att larmsystemen fungerar i normaldrift (till exempel Mattiasson, 1999; Blond och Josefsson, 2001). En anledning till att många larm genereras är att processen körs nära eller ibland till och med över vissa larmgränser, vilket leder till många aktiva larm (Blond och Josefsson, 2001). Detta bidrar också till att många larm blir stående. Inom processindustrin kan ses att man i större utsträckning ser brister med larmsystemet även i samband med mindre störningar. Bland annat hävdar Mattiasson (1999) och Koene och Vedam (2000) att mindre störningar också ger upphov till hög larmaktivitet.

Ett nödvändigt steg för att uppnå förbättrad överblick för operatören är en effektiv hantering och integrering av olika larm och larmtyper i ett system (Bye och Moum, 1996). En viktig faktor vid utveckling av kommande larmsystem är att använda operatören och dennes uppgifter som en startpunkt och ta hänsyn till de olika driftlägen som finns och processens dynamiska beteende (Farbrot m.fl., 2000)

Sammanfattningsvis kan sägas att problemen inom de olika branscher som tagits upp i avsnittet visar på samma typer av problem. De vanligaste nackdelarna med dagens larmsystem kan summeras:

- Alltför stor mängd larm genereras vid störning
- Larmsystemen är oflexibla
- Larmprioritering är inte fullgod
- Problemlarm finns i alltför stor utsträckning

3.1.6 Utvecklingstrender för kärnkraftskontrollrum

I dagsläget pågår flera olika moderniseringsprojekt av kontrollrum i gamla kärnkraftsanläggningar. I samband med moderniseringar byts oftast inte hela kontrollrummet ut, utan uppgraderingar och ändringar genomförs istället på utvalda instrument och funktioner. Detta gör att så kallade hybridkontrollrum utvecklas. Graden av modernisering varierar mellan olika kärnkraftverk och reaktorblock. Ofta är det moderniserade kontrollrummets fysiska utformning likt det gamla. Dock är kontrollsystemen ofta nya, vilket gör att funktioner som till exempel prioritering av larm kan införas (O'Hara, 2003). Andra förändringar till det bättre i samband med moderniseringar brukar vara att informationspresentationen överlag är bättre. Färger, grafer etc. används i större utsträckning i det moderniserade kontrollrummet för att stödja operatörsarbetet än i det gamla kontrollrummet.

De kontrollrum som har byggts relativt nyligen baseras på digital och datorbaserad teknologi. I kontrollrummen finns storbildsskärmar som ger överblick kompletterat med operatörsarbetsplatser där en mer detaljerad information kan tas fram (O'Hara, 2003). Aspekter inom människa-system-interaktion ges också mycket större vikt vid utvecklingen av dessa kontrollrum. Detta gör att det finns ett större stöd för operatören i olika situationer. Även Farbrot m.fl. (2000) påpekar att i framtida projekt som behandlar larmpresentationen i kontrollrummet kommer operatörens arbetssituation vara i fokus. På detta sätt är avsikten att få system som är bättre anpassade till operatörens kognitiva förmågor och begränsningar i den aktuella arbetssituationen.

I nyare kontrollrum är informationen från larmsystems funktioner och de ordinarie kontrollrumsgränssnitten mer integrerad och logiskt sammanhängande. Tidigare fanns larmen på sin plats, reglagen på sin, instruktioner fanns på papper och så vidare. I dessa

nyare kontrollrum är informationen samlad i kontrollsystemet och informationen är också mycket bättre länkad, till exempel kan operatören genom att klicka på ett larm i en larmlista få upp instruktionen direkt. Detta gör att distinktionen mellan larmskärbilder och övriga skärmbilder blir svagare.

Trender som enligt O'Hara (2003) förväntas inom den närmsta framtiden är:

- Övergång från stora dyra kontrollrum till centralisering av människa-systemgränssnitten till kompakta arbetsstationer och översiktsdisplayer.
- Att skiftlagen ska interagera med processen genom datorsystem.
- Virtuella människa-systemgränssnitt.
- Flexibla människa-systemgränssnitt.
- Utökad funktionalitet.
 - Integrering av information och data
 - Informations- och databehandling
 - Beslutsstöd
 - Flexibilitet
 - Bärbarhet
 - Högre grad av automation
 - Datorbaserade instruktioner

Den nackdel som främst kan ses med de nya systemen är att arbetet och kostnaden för att införa nya larmpunkter och larmsignaler har minskat drastiskt. Detta gör att det är mycket enkelt och billigt att införa nya larm vilket bidrar till att risken för larmfloder ökar.

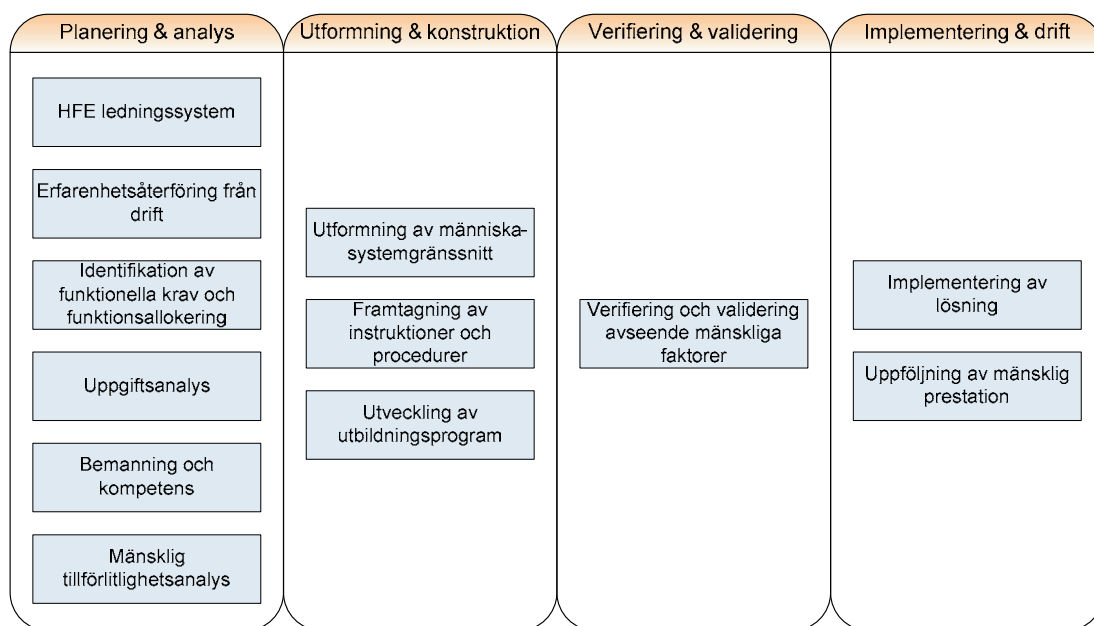
3.1.7 Utformning av larm och larmsystem

Utvecklingsprocessen av larm och larmsystem sker på olika sätt på olika företag och anläggningar. Generella arbetssätt presenteras i textböcker men varje företag anpassar i princip de generella teorierna till sina ordinarie utvecklingsprocesser. Detta har fått till följd att i princip varje företag har en egen utvecklingsmetodik för hur kontrollrumsmiljöer och människa-maskingränssnitt ska utvecklas. Ofta finns en grundläggande metodik som kompletteras med en MTO-/HFE-plan.

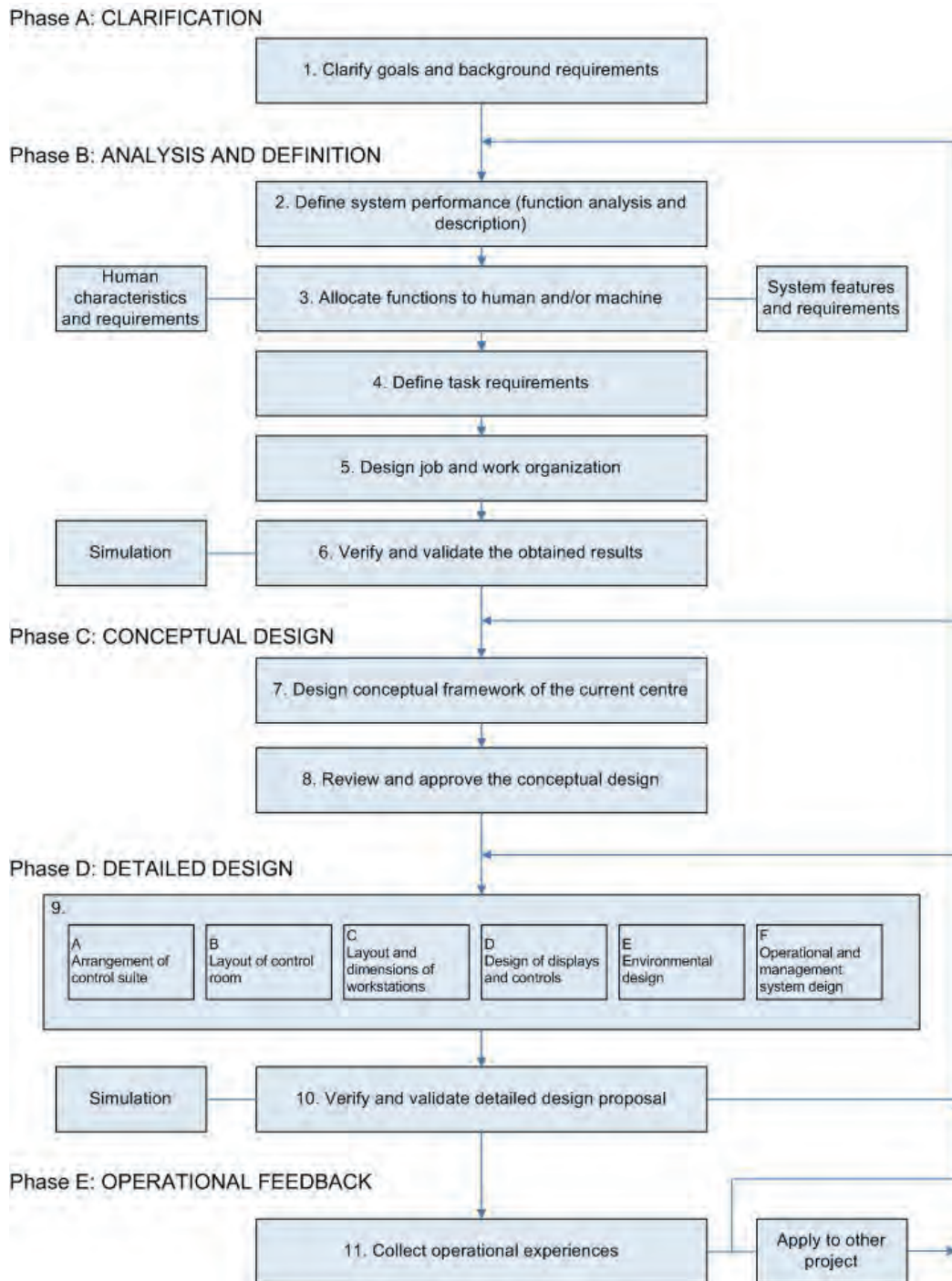
De standarder som har fått störst genomslagskraft gentemot kärnkraftsbranschen bedöms vara ISO-11064 och NUREG-0711. Båda dessa standarder förordar ett systematiskt, iterativt arbete med användarinvolvering där analyser utförs för både situationer och uppgifter. Båda standarderna baseras på grundläggande principer som måste uppfyllas för att utformningen ska vara ergonomisk. I ISO-11064 presenteras dessa som nio principer:

1. Applicering av en användarcentrerad utvecklingsmetodik
2. Ergonomiaspekter måste integreras i det praktiska ingenjörsarbetet
3. Förbättra utformningen genom iterationer
4. Utför situationsanalyser
5. Utför uppgiftsanalyser
6. Utforma feltoleranta system
7. Involvera användare
8. Sätt samman ett tvärfunktionellt utvecklingsteam
9. Dokumentera arbetet och upprätta ett "basdokument" med grundläggande förutsättningar för projektet

Genom att titta på de två metodikerna (figur 3 och 4) ses att flera steg återkommer i de båda metodikerna. Generellt kan sägas att ISO-standardens modell fungerar som en tydligare indikation på **hur** arbetet ska utföras vilket även stämmer överens med dess mål medan NUREG-modellen från början är en inspektionsriktlinje som inte ska kontrollera i exakt vilken ordning olika steg utförs utan främst kontrollerar **att** viktiga steg och analyser utförts. Det som är viktigt att beakta och som syns tydligast i NUREG-modellen är att förutom gränssnittet spelar även faktorer såsom instruktioner, procedurer, utbildning och träning stor roll och dessa ska utformas samtidigt som gränssnittet för att säkerställa samstämmighet.



Figur 3: Arbetsmodell enligt NUREG 0711



Figur 4: Arbetsmodell enligt ISO 11064

Beroende på förändringens art får därefter de olika delarna och analyserna olika stort utrymme i utvecklingsprojektet. Det är även viktigt att efter larmsystemets driftsättning följa upp och kontinuerligt förbättra. Det handlar om att ha funktioner för att kunna ta hand om t.ex. problemlarm och möjligheter att förbättra larmsystemets prestanda.

3.2 Övervakning och kontroll

3.2.1 Människans informationsprocess

För att kunna anlägga ett operatörsperspektiv under arbetet har det varit nödvändigt att få en förståelse för hur operatörer övervakar anläggningen, hur de tar in och uppfattar information, hur informationen bearbetas och hur beslut fattas.

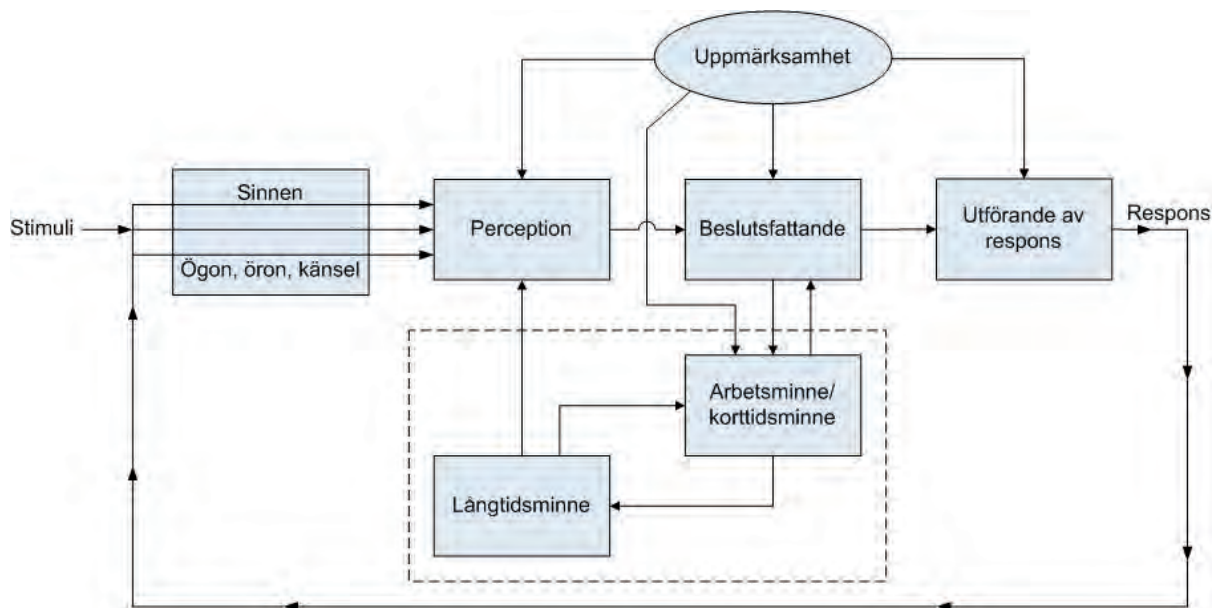
Ett ramverk som beskriver hur människans informationsprocess ser ut har använts som grund för att kunna förstå hur och varför en operatörs prestation påverkas och förändras av olika designlösningar. Människans informationsprocess är mycket komplex och det finns inte en modell som exakt beskriver hur informationen behandlas utan det finns flera olika ansatser. Tre ansatser som beskrivs av Wickens och Carswell (1997) är klassisk informationsprocessande genom en stegvis modell, (2) ekologisk modell och (3) kognitiv ingenjörskonst.

Den första ansatsen med klassisk, sekventiell stegmodell förutsätter att informationen passerar genom en bestämd mängd av diskreta steg. Denna stegmodell kan vara mycket användbar vid design eftersom olika uppgifter eller omgivningsfaktorer kan påverka informationsprocessen på olika sätt i olika steg (Wickens och Carswell, 1997).

Den ekologiska ansatsen betonar människans interaktion med omvärlden. Denna modell är lämplig för att beskriva mänskligt beteende i interaktion med en naturlig omgivning. Således är modellen lämplig att använda vid utformning av kontroller och displayer som efterliknar egenskaper hos den naturliga omgivningen. Vidare är ansatsen lämplig att använda vid gränssnittsdesign som efterliknar egenskaper om hur användarna tänker om en process.

Den tredje ansatsen är en blandning av de två ovanstående (Wickens och Carswell, 1997). Ansatsen poängterar vikten av att förstå både omgivningen och uppgiften samt att expertanvändarens domänkunskap och struktur därav måste förstås.

För den generella beskrivningen här används en klassisk stegmodell (figur 5). I analysarbetet i projektet har däremot denna kontextberoende modell kompletterats med information från den specifika omgivningen som studerats.



Figur 5: Klassisk stegmodell över människans informationsprocess, hämtad från Wickens och Hollands (1999)

Modellen illustrerar hur informationen uppfattas av våra sinnen. Informationen ges mening i perceptionssteget genom att använda erfarenheter och kunskap från långtidsminnet. När stimuli är identifierat är nästa steg att fatta beslut om åtgärd och utföra denna. Beslutsfattandestadiet nyttjar information via arbetsminnet. Slutligen observerar människor resultatet av åtgärderna och detta blir ny information som tas in och bearbetas. Uppmärksamheten visar på människans begränsade möjligheter att utföra uppgifter parallellt.

Människan uppmärksamhetsresurser är begränsade och därmed behöver en stor mängd information filtreras. Det talas generellt om tre typer av uppmärksamhet; selektiv, fokuserad och delad (Wickens och Carswell, 1997). Selektiv uppmärksamhet innebär att människan väljer i omgivningen vad som ska uppmärksammas och processas. Denna form av process sker både top-down (människan styr från tidigare kunskap och erfarenhet) och bottom-up (drivs av stimulen i omgivningen) (Yantis, 1993). Top-downprocesserna bedöms vara styrda av människans mentala modell. Målet med fokuserad uppmärksamhet är att upprätthålla processande av en specifik informationskälla. Människan måste i detta läge blockera irrelevant och distraherande information. Delad uppmärksamhet handlar om att kunna ta del av information från flera olika stimuli simultant.

Sinnesförmimelsesteget handlar om hur stimuli tas emot av de olika sinnesreceptorerna och omkodas till elektrisk information som går till hjärnan via nervbanorna (Foley och Moray, 1987). Perception handlar om att ge stimuli en mening, att integrera och tolka sensorisk rådata. Den inkommande informationen jämförs med lagrad information i långtidsminnet. Även denna process drivs både bottom-up genom den sensoriska informationen och top-down genom erfarenheterna lagrade i långtidsminnet. Perceptionen underlättas mycket av våra förväntningar i olika situationer, vilken information som förväntas uppträda (Wickens, 1987).

Erfarenheter och information som människor har lärt sig lagras i långtidsminnet. Detta minne bedöms vara obegränsat men problem kan uppkomma då information ska hämtas

fram antingen genom igenkänning eller genom återgivning. Igenkänning använder olika former av ledtrådar för att identifiera information medan återgivning kräver en exakt kunskap och möjlighet att producera informationen själv.

Arbetsminnet representerar den medvetna informationen och är mycket begränsat både avseende mängd och tid (Wickens, 1987). Millers (1956) magiska nummer 7 ± 2 brukar användas som ett mått på arbetsminnets kapacitet. Denna kapacitet är en mycket viktig komponent i beslutsfattande då arbetsminnet behövs för att upprätthålla information aktiv, att kunna väga alternativ för och emot varandra och att jämföra olika lösningsförslag (Wickens, 1987). Beslutsfattande handlar om att göra specifika val och välja hur olika situationer ska hanteras. Området är ett eget forskningsområde innehållande många olika teorier och modeller t.ex. prospect theory (Kahneman och Tversky, 2000), reason-based choice (Shafir m.fl., 1993), naturalistic decision-making (Zsombok och Klein, 1997), contingent decision-making (Payne m.fl., 1993) och Ramussens (1983) modell med färdighetsbaserat, regelbaserat och kunskapsbaserat beslutsfattande.

3.2.2 Mentala modeller

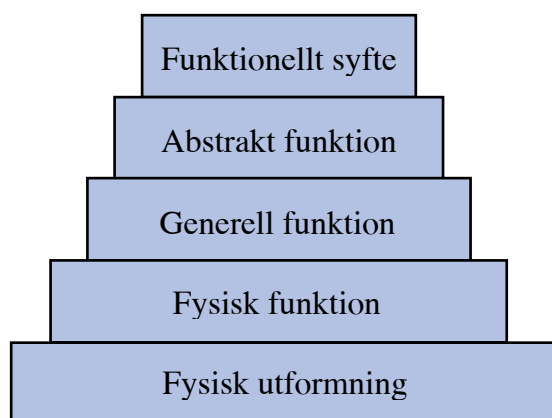
Mentala modeller är interna representationer hos användarna om hur ett system och dess inneboende egenskaper är uppbyggda. Användarens mentala modell används för att kunna beskriva, förklara och förutsäga situationer med ett system (Burns, 2000; Johnson-Laird och Byrne, 2000). Den mentala modellen är uppbyggd på erfarenhet, kunskap och observation, både om världen i allmänhet och det aktuella systemet i synnerhet. Det finns flera olika teorier om mentala modeller men de gemensamma grunddragen är enligt Sasse (1997):

- Användare formar mentala modeller av de inbyggda arbetssätten och förhållandena som finns i systemen med vilka de interagerar
- Innehållet och strukturen av den mentala modellen påverkar hur användaren interagerar med systemet
- Innehållet och strukturen av den mentala modellen kan påverkas genom att välja vilken systeminformation som presenteras till användaren och sättet presentationen sker på
- Kunskap om hur användarna bygger upp, påkallar och anpassar sina mentala modeller kan användas för att ge riktlinjer för gränssnittsutförande och träning av användarna.

Även andra forskare (Endsley och Garland, 2000; Endsley och Kiris, 1995; Flach och Mulder, 2004) hävdar att det är fördelaktigt för operatörer att forma korrekta mentala modeller av komplexa system. Genom att göra detta finns det möjligheter för operatören att kunna förutsäga beteenden och konsekvenser av olika beteenden samt för att kunna problemsöka effektivt (Endsley, 1995; Wickens och Hollands, 1992). En nyckelfaktor för att utforma system som gör det enkelt för användarna att bygga upp en korrekt mental modell är att förse användarna med läglig och korrekt återkoppling (Endsley, 1995; Kantowitz och Campell, 1996). Detta överensstämmer även med informationsprocessmodellerna som visar på att återkoppling är en viktig faktor för att kunna tolka och förstå vad som sker i ett system.

Det finns även teorier som visar på hur de mentala modellerna kan byggas upp. Rasmussens abstraktionshierarki (figur 6) kan fungera som en sådan modell som kan

användas för att visa på hur de mentala modellerna kan utvecklas. Den första grundläggande nivån handlar om den fysiska utformningen av ett system, vilken typ av material, vilken form, vilken lokalisering etc. något har. Detta avser statisk information. Steg två avser en komponents funktion, grundläggande egenskaper (mekaniska, elektriska etc.) samt enkla samband med närliggande komponenter och objekt. Nivån generell funktion modellerar hur objektet är relaterat till den övergripande processen. För abstrakt funktion avses systemets syfte och behöver inte vara relaterat till ett specifikt objekt eller komponent som ser ut på ett visst sätt. I detta läge kan en process representeras av mer symbolisk information såsom energi- och massbalanser. I det översta steget, funktionellt syfte, relateras processen till sin omgivning för att se dess bidrag och syfte.



Figur 6: Rasmussens abstraktionshierarki

Det har visat sig att experter i större utsträckning kan bygga sina interna representationer mer på mening än struktur, dvs. de övre nivåerna i abstraktionshierarkin, medan noviser gör tvärtom. Noviserna kopplar ofta till den fysiska verkligheten och behöver de fysiska objekten som stöd för att bygga upp den mentala modellen. Experterna behärskar dock i princip alla stegen och kan därmed också hoppa mellan dem vid de tillfällen detta behövs. I princip kan sägas att beroende på uppgiftens art ställs också olika krav på användarens mentala modell.

Förutom att tala om individuella mentala modeller finns även begreppet ”team mental model”. För att grupper ska kunna arbeta framgångsrikt tillsammans är det fördelaktigt om gruppmedlemmarna uppfattar, kodar, lagrar och tar fram information på liknande sätt. När medlemmar i en grupp delar liknande och korrekta mentala modeller kan gruppen prestera med effektivt och även utveckla en gemensam kunskap, en s.k. ”team mental model” (Langan-Fox m.fl., 2004)

Förenklat kan det sägas finnas tre klassiska typer av grupper (tabell 4) och beroende på gruppstruktur kan olika former av gemensamma mentala modeller utvecklas. Beroende på gruppens organisation varierar även behovet av gemensamma modeller.

Tabell 4: Tre förenklade typer av grupper

Typ av grupp, liknelse	Beskrivning	Exempel
Kung Fu-armé	Grupper där i princip alla har samma typ av kunskap. Kunskapen är väl dokumenterad och förstådd av alla. Alla kan byta roll med varandra.	Tillverkning, produktionslina
Tyskt fotbollslag	Gruppens medlemmar har sina egna roller och positioner men kan stödja varandra och vid behov byta uppgifter.	Flygtrafikledning
Kanonerna på Navarone	Varje person i gruppen besitter en specialkompetens.	Produktutvecklingsgrupp

I fallet med ett kärnkraftskontrollrum översätts deras arbetssituation till fotbollslaget där alla har sin uttalade roll men där det går att byta vissa typer av arbetsuppgifter med varandra. Att personerna har flera naturliga beröringspunkter underlättar formerandet av en samstämmig mental modell. Behovet av den gemensamma modellen styrs dock inte utav vilken typ av grupp det är utan vilken typ av arbete gruppen ska utföra.

3.2.3 Mental arbetsbelastning

Mental arbetsbelastning har varit ett viktigt forskningsområde under de två senaste decennierna (Sheridan, 2002) troligtvis beroende på att många av de uppgifter människor utför oftast kan synas relativt enkla men under vissa premisser såsom i störningar med tidspress ökar arbetsbelastningen markant. Forskningen har främst fokuserat på områden där mental överbelastning kan innebära ett allvarligt hot mot ett säkert beteende av operatören.

Mental arbetsbelastning kan definieras som de mätbara krav som ställs på en människa av en uppgift (Sanders och McCormick, 1993). Dock skulle en definition som tar hänsyn till den upplevda arbetsbelastningen vara mer representativ eftersom belastning inte bara beror på uppgift utan även på individen och dennes förutsättningar (Rouse m.fl., 1993). Mental arbetsbelastning relaterar till den kapacitet som krävs för att processa information och utföra olika typer av uppgifter. Det finns även teorier som hävdar att människor har olika förutsättningar och resurser tillgängliga beroende på vilket sinne som aktiveras (Wickens, 1984). Detta skulle kunna innebära att en uppgift som aktiverar olika typer av sinnesmodaliteter upplevs kräva en lägre arbetsbelastning.

Faktorer som påverkar upplevelsen av arbetsbelastning är inte bara personliga faktorer såsom färdigheter, kunskaper och erfarenhet utan också motivation, strategier för hantering av uppgifter och sinnesstämning (de Waard, 1996). Nära relaterat till mental arbetsbelastningen är uppgiftens komplexitet. Desto komplexare en uppgift är, desto mer mental kapacitet krävs för att utföra uppgiften.

3.2.4 Situationsmedvetenhet

Situationsmedvetenhet eller "situation awareness" är ett begrepp som introducerades som ett försök att förklara och förstå varför piloter kunde utföra uppgifter fel (Endsley, 1988). Begreppet har växt och inkluderas ofta i sammanhang där det talas om komplex processövervakning vilket inkluderar t.ex. kärnkraftverk och medicinska tillämpningar såsom intensivvård (Kaber m.fl., 2000). Att uppnå en god situationsmedvetenhet är en viktig och utmanande aspekt i arbetet för operatörer (Endsley och Kaber, 1999) och det är därmed också en viktig komponent i operatörernas beslutsfattande. Det som poängteras i begreppet situationsmedvetenhet är att information inte enbart inhämtas från de källor ingenjörer typiskt har utformat utan även bygger på information från kollegor, omgivning, instruktioner etc.

Situationsmedvetenhet definieras som (Endsley, 1988):

Uppfattningen av element i en i tid och rum avgränsad del av vår omgivning, förståelsen av deras mening och vår projektion av deras status i en nära framtid.

Situationsmedvetenhet handlar alltså om att kunna tolka information i vår omgivning, förstå denna och använda informationen för att kunna förutse framtida konsekvenser och händelser. Varje del av definitionen beskrivs som en egen nivå i Endsleys modell.

Nivå 1 handlar om att uppmärksamma information, dvs. se status på objekt och system, utmärkande drag som finns, samt att klassificera informationen. Nivå 2 inbegriper kombination av olika informationskällor, tolkning av dessa samt att ta fram och lagra information. Operatören behöver i detta läge utföra en relevansbedömning kopplat till aktuellt övervaknings- och driftmål. Denna nivå ger en bild av situationen i nuläget. Den tredje nivån innebär att kunna förutse framtida händelser. Detta kräver kunskap om aktuell status och processens dynamik för att kunna utföra bedömningar baserade på den kunskapen.

Vidare har McGuinness och Foy (2000) lagt till ytterligare en nivå som inbegriper hur situationen ska lösas. Operatörerna har ofta kunskap om vilket tillvägagångssätt som är bäst i den aktuella situationen. Dessa nivåer är mycket viktiga att beakta om operatörer ska kunna fatta korrekta beslut i rimlig tid.

3.2.5 Övervakning enligt COCOM- och ECOM-modell

Olika former av informationsbearbetningsprocesser baserar ofta sina teorier på antagandet att information bearbetas och processas enligt ett visst sätt internt i en människa väcker detta frågor och svårigheter i hanterandet på grund av att i princip inget går att testa och verifiera utan bygger på antaganden, hypoteser och teorier (Hollnagel, 2005). Hollnagel har därför utvecklat modeller som inte påstår att det måste finnas en viss process eller mental förutsättningar. Contextual control model (COCOM) (Hollnagel, 1998) presenterades i sin första upplaga redan 1993 och senare har kompletterats med Extended control model (ECOM) (Hollnagel, 2005).

Utvecklingen av COCOM var ett steg i utvecklingen av modeller för hur människor fattar beslut. Flera modeller har erkänt att operatörens kognitiva status inte är statisk utan varierar över tid och är beroende av arbetsuppgifterna och arbetssituationen. COCOM relaterar operatörens kontrollstatus med ekologiska krav.

Modellen är uppbyggd efter fyra typer av kontrollnivåer:

- **Scrambled control – övervakning i ”rörig” situation**
Valet av nästa steg är oförutsägbart och slumpartat. Nivån karaktäriserar av situation där tänkande enbart är involverat till en låg grad eller inte alls. I dess extrema fall handlar det om panik.
- **Opportunistic control – opportunistisk tillsyn**
Beslut baseras på framträdande information i den aktuella situation snarare än på stabila mål eller intentioner. Personen drivs av dominant information i gränssnittet eller av personer med gedigen erfarenhet
- **Tactical control – taktisk tillsyn**
Beteende och beslut baseras på planering och följer mer eller mindre givna instruktioner, procedurer eller regler.
- **Strategic control – strategisk tillsyn**
Personen tar hänsyn till hela den omgivande situationen och använder sig av en relativt lång tidshorisont och ser framåt för att uppnå mer övergripande mål.

Rörig tillsyn (scrambled control) är sällan relevant för situationen i kärnkraftskontrollrum, medan det förutsätts att situationer för de andra tillsynsnivåerna uppträder. Eftersom arbetet inom kärnkraftsbranschen är så instruktionsstyrt och operatörerna har gedigen utbildning och dessutom kontinuerligt återtränas är sannolikheten för röriga situationer mycket låg.

COCOM ger en förståelse för vilka förutsättningar som kan göra att en operatör byter modalitet samt beskriva vilka egenskaper som karaktäriserar operatörens prestation i de olika modaliteterna (tabell 5).

Tabell 5: Egenskaper för de olika tillsynsmodaliteterna enligt COCOM (Hollnagel, 1998)

Ekologiska begränsningar	Opportunistisk tillsyn	Taktisk tillsyn	Strategisk tillsyn
Antal mål	Ett eller två (konkurrerande)	Flera (begränsade)	Många
Upplevd tillgänglig tid	Precis tillräckligt	Tillräcklig	Tillräcklig
Val av nästa handling	Associationsbaserat	Enligt instruktion	Baserat på förutsägelser
Utvärdering av händelser	Konkret	Normaldetaljerad	Utarbetad i detalj
Händelsehorisont	Kort	Normal	Lång
Tillgängliga instruktioner/planer	Försumbar	Tillgängliga och använda	Fördefinierade eller framtagna

Genom att nyttja tabellen går det att se vilka förutsättningar som kan föranleda olika tillsynsnivåer. Om t.ex. operatören inte förstår instruktionen eller den inte finns tillgänglig när en händelse ska utvärderas kan operatören byta från den taktiska tillsynen till den opportunistiska, alternativt kan operatören byta till den strategiska om vederbörande upplever att det finns tillräckligt med tid (Tran m.fl., 2007).

ECOM (extended control model) (Hollnagel, 2005) använder också olika former av tillsynslager men ECOM kopplar tydligare till olika typer av arbetsuppgifter.

De tillsynslager som definieras i ECOM är:

- **Tracking – Spårning**
Spårning handlar om att försöka följa ett uppsatt mål t.ex. att nivån ska vara konstant i en tank. Denna typ av aktivitet är en form av stängd loop där utfallet hela tiden jämförs med det uppsatta målet. Skickliga och erfarna användare kan utföra denna typ av aktiviteter relativt automatiskt utan att ägna dem någon större uppmärksamhet. Om utfallet avviker uppmärksammas dock detta och uppgiften ges större vikt. Målet som styrningen sker mot är hämtat från nästa nivå, reglering.
- **Regulating – Reglering**
Aktiviteter på denna nivå utförs inte automatiskt i lika stor utsträckning utan kräver att personen är uppmärksam på det som görs. Regleringsnivån kan också ge ny input till spårningsnivån (nya mål och kriterier). Handlingar som utförs är t.ex. att öppna eller stänga ventiler för att hålla nivån som eftersträvas. Dessutom sker på denna nivå val av kortsiktiga strategier för att hantera enklare situationer som uppkommer. Detta kan ske genom att tillfälligt byta planer.
- **Monitoring – Övervakning**
Medan regleringsnivån leder till direkta handlingar kopplade till mål på spårningsnivån är övervakningslagret främst involverad i att ta fram mål och planer för handlingar. Övervakningen inbegriper att ta hänsyn till omgivningens (skiftande) information samt att uppdatera planer relaterat mot det övergripande målet. För ett kärnkraftverk är det viktigt att inte bara se enskilda objekt och deras ideala lägen utan det gäller att även relatera lägen till processens övergripande mål. För en kort tid kan det vara motiverat att ha en lägre nivå i vissa tankar för att på sikt få en effektivare process där det kanske senare ändå kommer påfyllning.
- **Targeting – Målsättning**
Denna typ av aktivitet handlar om att kunna hantera olika och eventuellt motstridiga mål som uppkommer för att ge förutsättningar för de andra nivåerna att utföra den typ av tillsyn som passar dessa. En del i målsättningen är att kunna bryta ned det övergripande målet till olika delmål. Dessutom måste ständigt nya förutsättningar tas med i bilden som kan ompröva de mål som tagits fram. Aktiviteten i sig karaktäriseras som en öppen loop som utförs över en utsträckt tidsperiod. Att bedöma måluppfyllnad görs inte i detta fall men enkel och direkt återkoppling utan av en helhetsbedömning av situationen och miljön.

3.2.6 Summering övervakning och kontroll

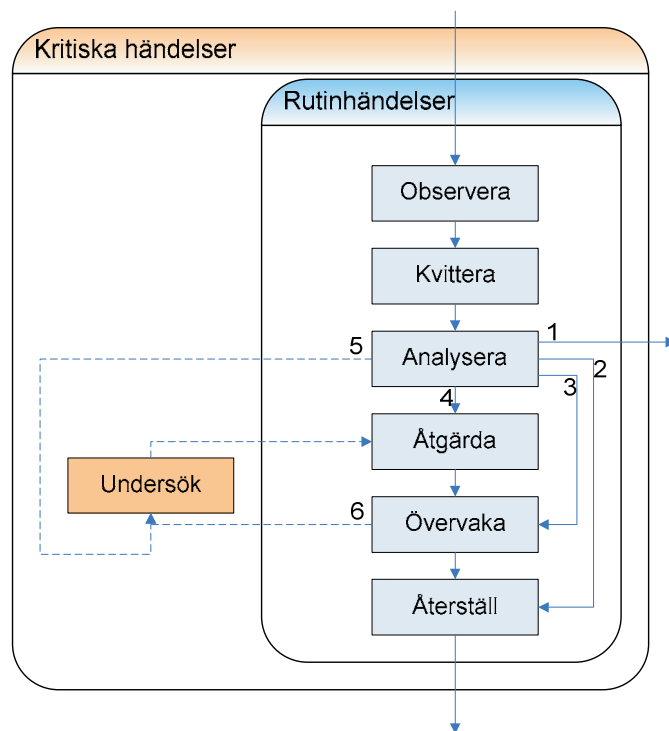
Det kan ses att det inte finns någon entydig modell som beskriver hur människan tar in och bearbetar information. Dock kan det sägas att de steg som beskrivs i form av perception, uppmärksamhet och minne är centrala begrepp oavsett i vilken ordning de sker och var de sker. Den del som framförallt Hollnagel kompletterar med i form av ECOM/COCOM-modellerna är att det finns olika typer av uppgifter som drivs och styrs på olika sätt. Dessa varianter återspeglas inte i de klassiska informationsbearbetningsmodellerna.

För det framtida arbetet har det därför setts som viktigt att koppla olika uppgifter (lager) och olika typer av processer och ”steg” (perception, uppmärksamhet, situationsmedvetenhet, mental modell och så vidare). Även om olika typer av uppgifter kan kategoriseras enligt olika typer av lager finns det ändå grundläggande teorier och riktlinjer att ta hänsyn till, t.ex. avseende människans begränsade mentala kapacitet, hur uppmärksamheten kan fångas och styras och att beslut kan fattas på olika sätt. Detta kan

görs utan att lägga en värdering i vilka exakta interna processer som sker utan arbetet i detta projekt har accepterat att det finns en form av tankemodell som kan användas för hur människor tar in och bearbetar information och att denna modell går att anpassa till olika typer av arbetsituationer.

3.3 Larmhanteringsmodeller

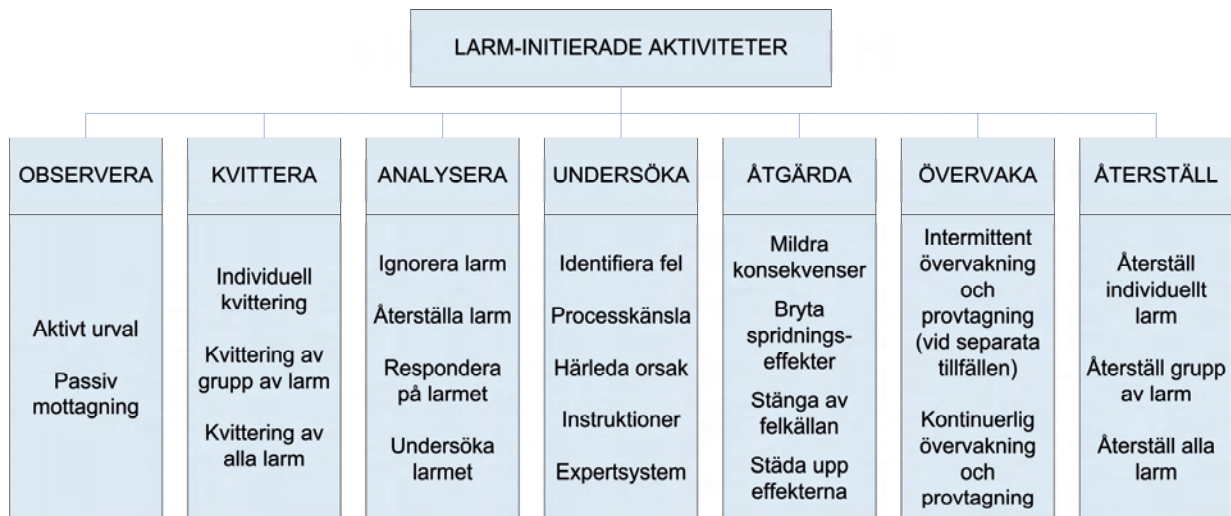
Det finns olika former av larmhanteringsprocesser. Det som direkt skiljer en larmhanterings-process från en ”vanlig” informationsbearbetningsprocess är att larmhanteringsprocessen är initierad av ett larm. Detta innebär att uppgiften troligen inte skulle ha utförts om inte ett larm genererats. Själva larmhanteringsprocessen kan beskrivas som bestående av ett antal generiska steg. Den första modellen är hämtad från Stanton (1994) och skiljer på aktiviteter som utförs vid mer rutinmässiga larm och aktiviteter som behöver utföras vid mer kritiska situationer (figur 7). Båda typerna av situationer påminner om varandra men kritiska händelser kräver en mer utförlig undersökningsfas för att hanteras.



Figur 7: Hantering av larminitierade aktiviteter.

Generellt kan sägas om larmhantering att det första steget handlar om att observera larmet, att upptäcka det. Därefter läses larmet och kvitteras samtidigt som en snabb analys görs huruvida larmet ska ignoreras (väg 1 i bilden), direkt återställas (2) eller behandlas vidare, antingen genom att kontrollera och övervaka parametern (3) eller att enkla, direkta åtgärder krävs (4). Eventuellt kan det också krävas en noggrannare undersökning vilket generellt gäller mer kritiska situationer där det antingen är ett ovanligt larm, okänd orsak eller en situation med flera olika larm där en samlad bedömning krävs (5). Efter övervakningen kan det också hända att vidare undersökning krävs om inte larmet återgår till normala värden inom en förväntad tid eller om utvecklingen blir oväntad (6). Rutinuppgifterna bedöms vara relativt enkla att utföra och det finns tydliga instruktioner för operatörerna hur dessa situationer ska hanteras.

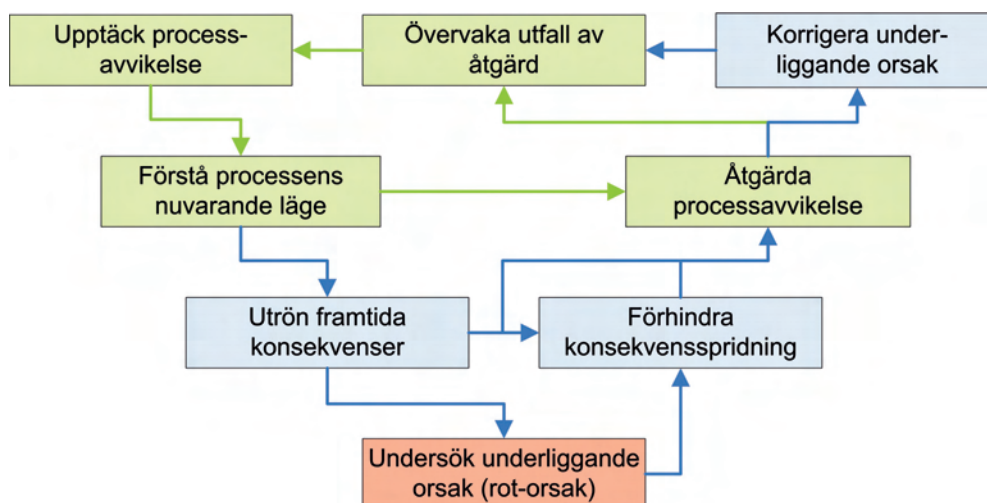
Undersökningsuppgiften kräver dock kunskapsbaserad problemlösning och deduktivt resonerande. För att tydligare förstå vad som kan ingå i de olika stegen har Stanton sammanställt en taxonomi (figur 8).



Figur 8: Taxonomi för larminitierade aktiviteter (Stanton, 1994)

Dessutom ska larmhanteringsprocessen ses i sitt samband där de larminitierade uppgifterna utförs som delar i övervakningsarbetet. Operatörerna arbetar även med kontinuerliga övervakningsaktiviteter såsom avsökning av instrument och fininställning av processparametrar samt mer diskreta uppgifter såsom att ta system ur drift.

En annan modell (Smith m.fl., 2003) som används bygger i princip på samma generella steg men där är stegen beskrivna på ett annat sätt (figur 9). Genom att de båda modellerna i princip behandlar samma faktorer finns det anledning att tro att de generiska stegen är korrekta och återkommer inom olika typer av branscher och för olika typer av befattningar. Och det är snarare vikten av förståelse för hur relevanta informationshandlingsbegrepp (såsom perception, uppmärksamhet, minne etc.) relaterar till de olika larmhanteringsstegen i olika kontrollmoder som är viktiga än att modellera en exakt larmhanterings- och informationsbearbetningsprocess.



Figur 9: Hantering av avvikelser

4 Metodik och genomförande

4.1 Metoder

För att kunna besvara den frågeställning som ställts upp och uppfylla målet har flera studier med olika delmål utförts. Beroende på studiens syfte och förutsättningar har olika metoder valts. För översikt av vilka metoder som ingått i respektive studie, se tabell 7 sid. 54. Nedan beskrivs kort de metoder som använts under projektet.

4.1.1 Intervjuer

Intervjuer kan mycket övergripande delas in i tre former; ostrukturerade, semi-strukturerade och strukturerade (Jordan, 1998). Ostrukturerade intervjuer är användbara när intervjuaren har begränsad kunskap om intervjuämnet. Vid dessa tillfällen har respondenten möjlighet att styra intervjun till de delar denne bedömer är relevanta. Semi-strukturerade intervjuer inkluderar oftast en intervjuguide som innehåller förbestämda områden kring vilka intervjun ska fokuseras men intervjuformen tillåter ändå både intervjuaren och respondenten att följa upp frågor och fokusera på de delar som är mest relevanta.

Ostrukturerade intervjuer användes i förstudier eller pilotstudier medan semi-strukturerade intervjuer har använts i de olika empiriska studierna som ingått i projektet. Ostrukturerade och semi-strukturerade intervjuer är användbara när insamling ska ske av kunskap om operatörerna, arbetssituation och arbetsmiljön (Faulkner, 2000). Vidare kan intervjuer ge en förståelse av operatörens subjektiva åsikter, attityder och erfarenheter (Nielsen, 1993).

Den semi-strukturerade intervjuformen lämpar sig väl tidigt i utvecklingsprojekt för att kunna förstå användarna och ge en tydlig problembild. Genom att det finns en guide som stöd säkerställs att viktiga områden täcks av under intervjun och stödet kan också underlätta om respondenten "har svårt att prata fritt". Den flexibla formen gör det också möjligt att följa upp synpunkter och åsikter som framkommer.

4.1.2 Observationer

Observationer används för att upptäcka operatörernas verkliga beteende så att forskaren inte enbart behöver förlita sig på hur de säger att de beter sig (Karlsson, 1997). Fältobservationer används för att erhålla ekologiskt tillförlitliga resultat (Jordan, 1998). Avsikten med att utföra observationer var att förstå hur systemet och operatörerna beter sig i en verklig situation. Att samla in förstahandsinformation om hur operatörerna beter sig bedömdes som mycket viktigt då det annars är svårt att samla in tillförlitlig information om fördelar och nackdelar med larmsystemen. Dessutom är observationer ett lämpligt komplement till intervjuer eftersom resultaten från intervjuerna annars är mindre tillförlitliga då de inte kan konfronteras och jämföras med observationerna.

Nielsen (1993) hävdar att observationer kan vara mycket enkla att utföra eftersom det i princip handlar om att besöka användaren och observera dennes beteende utan att själv märkas i någon större utsträckning. Om användarna är medvetna om att de observeras kan deras beteende ändras. Därför är det mycket viktigt att observatören inkräktar så lite

som möjligt i miljön som ska studeras (Jordan, 1998). Nackdelen med observationer är den stora mängd data som kan samlas in och det krävs ett uttömmande analysarbete, vilket även Nielsen (1993) uppmärksammar.

4.1.3 Applied cognitive task analysis

Applied cognitive task analysis (ACTA) (Militello och Hutton, 1998) är en metod som används för att identifiera användares expertkunskap. Metoden används för att upptäcka svåra arbetsmoment, för att förstå expertstrategier för effektivt utförande av uppgifter samt för att identifiera de fel som en novis kan göra. ACTA lämpar sig väl för en praktiker utan uttömmande kunskap i metodväg eller inom applikationsområdet att utföra studien då den innehåller tydliga ramar, frågor etc. för hur metoden ska utföras. Metoden fokuserar på kognitiv kunskap, vilka krav som ställs för att utföra en uppgift och vilka kunskaper som behövs.

ACTA består av tre steg:

- **Task diagram – uppgiftsdiagram**
Uppgiftsdiagrammet tas fram för att ge en överblick av uppgiften som studeras. Användaren får dela in uppgiften i tre till sex steg och därefter markera de delsteg som kräver kognitiv kunskap eller informationsbehandling.
- **Knowledge audit – kunskapsgranskning**
Kunskapsgranskningen utförs för de delsteg som identifierats i uppgiftsdiagrammet som bedömts som kognitivt komplicerade. Kunskapsgranskningens resultat visar på vilken kognitiv expertis som operatören besitter och hur den används under uppgiftens utförande.
- **Simulation interview – simuleringsintervju**
Simuleringsintervjun genomförs för att undersöka respondentens problemlösningstrategier för att även här kunna identifiera effektiva sätt att angripa problem, vilken information som är relevant att inhämta etc.

För varje steg finns färdiga texter, tabeller och frågor som stödjer den som utför studien.

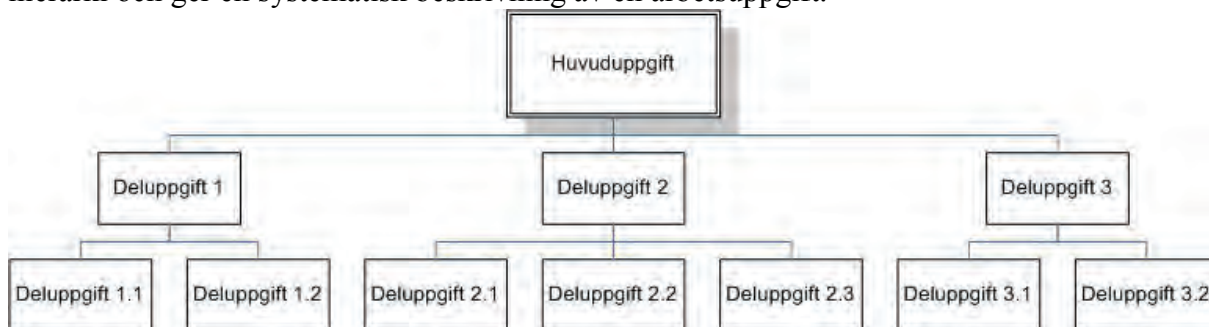
4.1.4 NASA-task load index

NASA-TLX (Hart och Staveland, 1988) är en subjektiv metod för att bedöma arbetsbelastningen för en uppgift. Metoden använder sig av sex dimensioner där användaren först utför en parvis bedömning av vilka dimensioner som är viktiga för uppgiften. Därefter sker en rankning av respektive faktor. Dessa värden tillsammans används sedan för att räkna ut en övergripande arbetsbelastningsfaktor. De sex dimensioner som bedöms är:

- Mentala krav
- Fysiska krav
- Tidskrav
- Krav på utförandet
- Vilken insats som krävs
- Frustration

4.1.5 Hierarkisk uppgiftsanalys

Hierarkisk uppgiftsanalys (Hierarchical Task Analysis, HTA) är en metod som används för att kartlägga hur en uppgift utförs. Genom att bryta ned en komplex uppgift i mindre delsteg på ett hierarkiskt sätt ges en överblick av vilka operationer som en användare måste utföra och i vilken ordning (figur 10). Nedbrytningen i mindre deluppgifter fortgår så länge det är möjligt eller relevant för det som ska studeras. Målet med en HTA är att beskriva en uppgift med hjälp av operationer och planer som anger villkor för uppgiftens utförande. HTA ger en beskrivning av samband mellan handlingar i en hierarki och ger en systematisk beskrivning av en arbetsuppgift.



Figur 10: Principiell uppbyggnad av ett HTA-diagram

4.1.6 Enhanced cognitive walkthrough, ECW

Enhanced cognitive walkthrough (ECW) (Bligård, 2007) är en vidareutveckling av den klassiska metoden cognitive walktrough. CW är en metod för teoribaserad utvärdering av användargränssnitt. Fokus i CW är att leta efter specifika problem med gränssnittet istället för att försöka få en helhetsbild över systemet. ECW utgår från detta och bygger på tydliga matriser för redovisning av resultaten så att tendenser och problemområden tydligare identifieras samt ger en ranking av de specifika problemen. Vidare är skillnaden mellan CW och ECW att den frågeprocess som CW är uppbyggd på är indelad i två nivåer i ECW. En nivå för frågor angående funktion och en nivå för frågor angående operationer.

4.1.7 Predictive human error analysis (PHEA)

PHEA är en metod som associerar olika mänskliga fel som kan uppstå med olika händelser (Embrey, 2004). I PHEA studeras alla troliga fel som kan uppstå och dessa fels troliga konsekvenser. Felen delas in i olika feltyper. PHEA ger en fingervisning om vilken eller vilka av de identifierade feltyperna som bör studeras mer ingående för att ta reda på hur dessa fel kan förebyggas eller åtminstone mildra konsekvenserna (Embrey, 2004).

Metoden utgår från tabeller med feltyper. Av dessa feltyper väljs de som bedöms relevanta för aktuell situation och uppgift. De relevanta för denna studie presenteras i tabell 6.

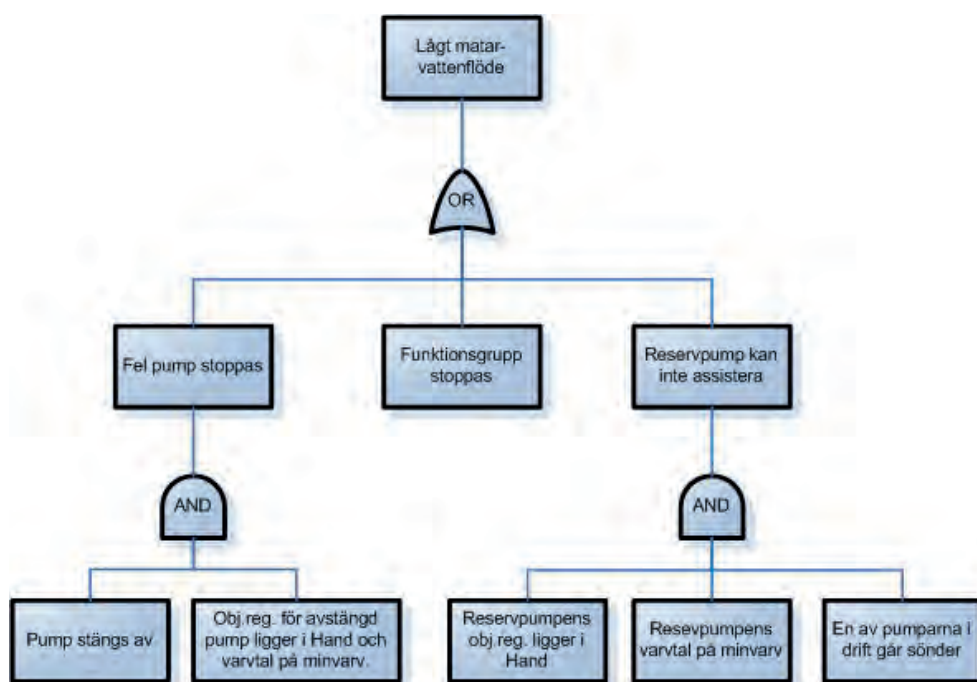
Tabell 6: Feltyper som används i PHEA

<i>Action</i>		<i>Retrieval</i>	
A1	Action mistimed	R1	Information not obtained
A2	Action too little/too much	R2	Wrong information obtained
A3	Right action on wrong object	R3	Information retrieval incomplete
A4	Action omitted		
A5	Action incomplete	<i>Communication</i>	
A6	Wrong action on wrong object	T1	Message not received
		T2	Message transmission incomplete
<i>Checking</i>		<i>Selection</i>	
C1	Checking omitted	S1	Selection omitted
C2	Checking incomplete	S2	Wrong selection made
C3	Right check on wrong object		
C4	Wrong check on right object		
C5	Wrong check on wrong object		

Därefter sker en genomgång av de olika delstegen i en uppgift (indelade med hjälp av den hierarkiska uppgiftsanalysen) för att studera vilka fel som kan uppkomma och vilka konsekvenser dessa skulle kunna få. Möjligheten till återhämtning studerades också.

4.1.8 Orsaksanalys med hjälp av felträd

För att kunna undersöka vilka orsaker som kan fungera som bakomliggande faktorer till en händelse utfördes en form av orsaksanalys. Felträdet byggs upp utifrån den oönskade händelsen och därefter identifieras troliga orsaker och bakomliggande orsaker. Trädet byggs upp med hjälp av och- samt eller-grindar för att även kunna få med olika former av villkor mellan orsakerna (figur 11). Efter att felträdet konstruerats skattades sannolikheten för de olika grundorsakerna och därefter kunde sannolikheten för den övergripande oönskade händelsen beräknas.



Figur 11: Felträdsanalys (förenklad)

4.1.9 Länkanalys

Länkanalys används för att undersöka hur en operatör förflyttar sig under utförandet av en uppgift. Förflyttningen analyseras för att se om den sker i ett mönster som anses lämpligt. Det är även intressant att studera om det finns vissa vägar som operatören förflyttar sig ofta. Metoden kan också användas för att se hur blicken förflyttas och därmed var uppmärksamheten är fokuserad under arbetet. Analysen utförs under stegvis genomgång av arbetsuppgiften då varje delsteg prickas in på en schematisk bild av arbetsplatsen. Undersökaren kan ha stor hjälp av en tidigare utförd hierarkisk uppgiftsanalys eller en arbetsinstruktion. Detta kan sedan användas för att analysera hur designförbättringar kan göras för att bättre följa arbetet verkliga utförande.

4.1.10 Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)

HEART är en metod som används för att på ett enkelt sätt undersöka vilka faktorer som har störst påverkan på sannolikheten att ett mänskligt fel begås. Metoden baseras på att en viss mängd PIF (performance influencing factors) väljs. Dessa faktorer kallas EPC (error producing conditions) i HEART-metoden (Embrey, 2004). PIF är de faktorer som avgör sannolikheten för fel eller för en effektiv prestation av operatören. Det är viktigt att notera att PIF inte bara ska associeras till mänskliga fel (Embrey, 2004). Metoden är enkel att förstå och att använda vilket har gjort den till en populär metod bland icke-specialister och ingenjörer.

Metoden genomförs genom att i första steget väljs en generisk uppgiftskategori, dvs. uppgiften kategoriseras enligt ett åtta givna typuppgifter/kategorier. Till respektive kategori finns en sannolikhet associeras som beskriver sannolikheten att fel inträffar under genomsnittliga arbetsförhållanden.

Därefter väljs de EPC som bedöms relevanta för uppgiften. Till varje EPC finns också ett värde associerat som talar om med vilken faktor sannolikheten att det blir fel ändras från det bästa till det värsta tillståndet. Slutligen sker en skattning av varje EPC:s möjlighet att påverka uppgiftens genomförande på ett negativt sätt. Denna skattning ger ett värde mellan 0 och 1 för varje EPC. Med detta som grund kan sannolikheten för att uppgiften på något sätt utförs felaktigt beräknas. Genom att analysera resultatet och se vilka faktorer som ger störst bidrag till risken kan arbetet med riskreducerande åtgärder prioriteras.

4.1.11 Tid-informationsanalys

För att kunna se parallella uppgifter och få en gemensam överblick av uppgifter som utförs dels av operatören och dels av systemet utformades en tid-informationsanalys. Den bygger på idéer hämtade från Janhager (2005) där olika aktörer och deras uppgifter och informationsbehov sammanställs längs en tidsaxel. Metoden påminner om STEP (Sequential Timed Events Plotting), men har ett större fokus på informationsbehovet i de olika stegen.

4.1.12 Utvecklingsmetodik för nytt gränssnitt

Angreppssättet Cognitive work analysis

För att kunna skapa datorbaserade system för att understödja mänskligt arbetet behöver arbetet analyseras så framtagandet av riktlinjer bygger på verkliga fakta. Det är detta Cognitive Work Analysis (CWA) (Vicente, 1999) är avsett att göra för sociootekniska system. Med ett sociotekniskt system avses den samverkan som finns mellan det tekniska systemet (kärnkraftverket), användarna (operatörerna), organisationen och omgivningen. CWA har använts för att det ger en god vägledning från beskrivning av arbetsdomänen fram till konkreta förbättringsförslag.

Utförandet av CWA bygger på två olika infallsvinklar. Den första innebär att analysera arbetsdomänen för att beskriva de krav som ställs för att kunna utföra de uppgifter som är aktuella. Detta görs genom att bryta ned arbetsdomänen i mål och medel. Med mål menas vad som ska uppnås och med medel vilka resurser som finns för att kunna uppfylla målen. Från denna analys är det möjligt att uppskatta hur komplexa uppgifter operatören ställs inför och vilken information som behöver presenteras. Den andra infallsvinkeln är intervjuer och observationer av arbetet. Detta kan göras i verkliga eller simulerade uppgifter och visar vilken kunskap och vilka strategier operatören använder för att hantera kraven från arbetsdomänen.

CWA utförs enligt fem steg:

1. Skapa en abstraktionshierarki för att fånga de viktigaste principerna och sambanden i domänen. Detta hjälper till att definiera det problemområde som gäller för operatören.
2. Identifiera de kognitiva krav som ställs på arbetet i domänen.
3. Identifiera vilken information och de samband som operatören behöver för att kunna utföra uppgiften.
4. Koppla informationsbehovet till den grafiska presentationen. Skapa en modell för understöd till operatören.
5. Ta fram konceptförslag som följer kraven på representation och vedertagna principer för användarvänlighet.

Inom angreppssättet CWA kan flera metoder användas för att nå fram till det slutgiltiga resultatet.

Ekologisk designteori

Med begreppet ekologisk utformning av gränssnitt brukar relateras till gränssnitt som utformats för att reflektera begränsningar i arbetet och arbetsmiljön så att dessa synliggörs för användarna (Burns och Hajdukiewicz, 2004). På detta sätt är tanken att användarna oavsett förutsättningar (både förutsättningar hos operatörerna själva och i arbetssituationen) ska kunna styra processen mot de mål som gäller för tillfället.

De ekologiska teorierna kompletterar de mer etablerade teorierna kring användarcentrerad design. Det handlar om situationer då användarcentrerad design inte räcker till (Burns och Hajdukiewicz, 2004):

- Då det inte räcker att prata och fråga användarna
- När användarna ska utvecklas till experter
- När användarna ska kunna hantera det oväntade

Idén med ekologiska gränssnitt bygger på Rasmussens SRK-modell (Rasmussen, 1983) tillsammans med nyttjandet av abstraktionshierarkin. Målet med denna typ av gränssnitt är att inte tvinga användaren till en högre nivå av informationsprocessande än vad uppgiften kräver.

Det ekologiska angreppssättet tar i stor utsträckning sin utgångspunkt i den process som ska styras och övervakas. Detta kräver att det finns ett strukturerat sätt att identifiera denna information. Rasmussens abstraktionshierarki (som beskrivits under mentala modeller) är en nyckelfaktor för att kunna utföra de analyser och presentera resultatet på ett sätt som gör det användbart under det kommande arbetet. Att komplettera de ekologiska teorierna med olika former av arbetsanalyser är mycket bra då de olika teorierna kompletterar varandra väl. I boken för utformning av ekologiska gränssnitt förespråkas just att en så kallad "Work domain analysis" ska användas. I detta arbete har angreppssättet för "Cognitive Work Analysis" använts för dessa uppgifter.

4.2 Genomförande av studier

De olika studier som ingått i projektet har alla haft olika syften och mål för att totalt sett kunna svara på den frågeställning som tagits fram och för att kunna uppnå projektets övergripande mål och syfte. Därför är de ingående studierna relativt olika till sin karaktär och olika metoder har ingått i de respektive studierna. Tabell 7 ger en överblick över de ingående studierna och vilka metoder som använts i respektive studie.

Studierna har i huvudsak utförts av en forskarstuderande men där studiers frågeställningar, metodval och resultat diskuterats med seniorforskare vid avdelningen Design, Chalmers tekniska högskola, för att kontrollera relevans och bedöma giltighet. Vidare har resultaten från de olika studierna sammanfattats direkt och skickats tillbaka till respondenterna för att kontrollera att missuppfattningar eller feltolkningar ej skett och först därefter har analysen påbörjats.

Resultaten som framkommit har främst varit av kvalitativ karaktär och statistiska analyser har inte genomförts på grund av begränsade tillgång till operatörer (oftast finns det endast cirka 7-8 stycken turbinoperatörer per block vilket omöjliggör omfattande statistiska analyser).

Tabell 7: Översikt över de ingående studierna

Studie	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Syfte	Undersöka olika larmsystem	Hantering "onormala" driftlägen	Larmhanteringsprocess	Identifiera expertis & bedöma arbetsbelastning	Risikanalyser av mänskliga felhandlingar	Förstå koppling till skiftkollegor	Anpassning bildskärmsbaserade gränssnitt	Kategorisera larmriktlinjer	Utvärdera riktlinjer genom att utforma larmgränssnitt
Metoder									
Intervju	X	X			X		X		X
Observation	X	X			X	X	X		X
ACTA				X					
NASA-TLX				X			X		
HTA					X		X		X
ECW					X				
PHEA					X				
Orsaksanalys					X				
Länkanalys					X		X		
HEART					X				
Tidinfo-analys							X		
Litteraturstudie	X	X	X			X		X	

4.2.1 Studie 1 – Fallstudier av larmsystem i komplexa kontrollmiljöer i olika branscher

Syftet med studien var att undersöka hur larmsystem är utformade på olika typer av företag från olika branscher. Larmsystem i kärnkraftskontrollrum, pappers- och massabruk, raffinaderi, flygplanscockpit, intensivvårdsavdelning samt anestesi ingick som fallstudier. Deltagarna i studierna var tio operatörer från kärnkraftsbranschen från fem olika block där både kokvattenreaktorer och tryckvattenreaktorer ingått, en operatör på pappers- och massabruket, en operatör på raffinaderiet, två sjuksköterskor som båda arbetade både inom intensivvård och anestesi samt en pilot som demonstrerade två olika flygplanstyper. Vidare deltog sju utvecklingsingenjörer från branscherna kärnkraft, papper och massa samt oljeraffinering.

Studierna bestod av semi-strukturerade intervjuer med operatörerna, sjuksköterskorna och piloten. Observationer utfördes under deras ordinarie arbete. Både intervjuerna och observationerna genomfördes antingen på den intervjuades ordinarie arbetsplats eller i en fullskalesimulator. En typisk studie utfördes genom att först ges en kort introduktion till arbetsplatsen och de system som användes nu. Därefter följde i princip en timmas intervju vilken i sin tur följdes av två till tre timmars observation. Kompletterande frågor kunde ställas under observationerna om tillfälle gavs och det bedömdes nödvändigt.

Utvecklingsingenjörerna intervjuades även de med en semi-strukturerad teknik. Målet var att samla in information om hur utvecklingsprojekt bedrevs, vilka projekt de såg framför sig samt vilka utvecklingstrender som bedömdes intressanta ur deras synvinkel. Alla intervjuer utfördes av en person som både antecknade och ställde frågorna. Intervjuresultaten summerades i efterhand och kontrollerades av operatörerna för att säkerställa att svar uppfattats korrekt. Resultaten från intervjuerna och observationerna sammanställdes därefter och jämfördes med teorier om hur larmsystem bör vara utformade. Dessutom användes resultaten för att indikera om skillnader förelåg mellan de olika företagen.

4.2.2 Studie 2 – Larmhantering i arbetssituationer utanför normaldrift

Studier utfördes i kontrollrummen under revisionsavställningar samt i simulator för att undersöka hur arbetssituationen ser ut i andra driftlägen än normaldrift samt för att se hur operatörerna arbetar i dessa situationer. Två skiftlag studerades under varsin dag i samband med deras årliga återträning. Vid dessa tillfällen studerades flera olika typer av störningar och incidenthantering. Observationerna utfördes från instruktörsrummet. Därtill observerades två skiftlag i samband med revisionsavställningen. Den första delstudien utfördes på Forsmark 3 under 8 dagar i slutet av RA-perioden. Den andra delstudien utfördes under 6 arbetspass utspridda under revisionsperioden på Ringhals 4. Observationerna under revisionsavställningen utfördes på skift både under dagtid såväl som eftermiddags- och nattsift. Studierna har utförts med hjälp av främst observationer med möjlighet att ställa kompletterande frågor vid behov.

4.2.3 Studie 3 – Operatörens kognitiva larmhanterings- och övervakningsprocess

Studie tre bestod av en utförlig litteraturstudie om vilka teorier som finns kring operatörers övervakningsarbete. Resultaten från de två föregående studierna införlivades i de teorier som bedömdes relevanta.

4.2.4 Studie 4 – Identifiering av operatörers expertkunskap och arbetsbelastning

Inför denna studie snävades projektarbetet av för att i mer detalj kunna studera specifika handlingar, arbetssekvenser, kognitiva färdigheter etc. De två uppgifter som valdes var ”Skifte av matarvattenpumpar” samt ”Nätbortfall med husturbindrift”. Den första uppgiften karakteriseras av att det är en uppgift som operatören planerar, processingrepp krävs och operatören måste bedöma effekterna som uppkommer av handlingarna. Den andra uppgiften involverar användandet av störningsinstruktioner och checklistor för att kontrollera anläggningens status. Sex erfarna turbinoperatörer från två olika block (Forsmark 3 och Oskarshamn 3) deltog i studien. En mindre erfaren operatör utförde även studien men enbart som ett komplement till bedömningen om de slutsatser som de erfarna presenterade var rimliga.

Den tillämpade kognitiva uppgiftsanalysen (ACTA – Applied Cognitive Task Analysis) användes för att identifiera operatörernas expertis. Frågorna som finns i metoden användes i de tre olika stegen. För det tredje steget, simuleringsintervjun, togs ett scenario fram som var relaterat till det system som studerades. Scenariot var en dränagepump med problem som gäckade operatören. Resultaten som framkom i de olika stegen noterades i de givna tabellerna. Uppgifterna fylldes i tillsammans med operatören.

NASA-TLX användes för att bedöma arbetsbelastningen vid utförande av de två undersökta uppgifterna. Uppgiftsdiagrammet från steg 1 i ACTA användes som mall för vilka deluppgifter operatörerna skulle bedöma sin arbetsbelastning.

4.2.5 Studie 5 – Riskanalys av mänskliga felhandlingar

Studie fem utfördes för att undersöka vilka faktorer som påverkar risken för mänskliga felhandlingar vid utförandet av matarvattenpumpsskiftet, dvs. en rutinuppgift. Ett flertal olika, kompletterande metoder har använts för att kunna bedöma vilka felhandlingar som kan uppstå samt ranka dessa handlingar. Studien utfördes på Ringhals 3/4 och främst två operatörer var delaktiga under hela studien.

Den hierarkiska uppgiftsanalysen utfördes för att undersöka hur arbetsuppgiften utförs. Till hjälp användes de instruktioner som finns. Därefter utfördes en ECW för att se om gränssnittets utformning i sig kunde leda till problem och felhandlingar. ECW:n utfördes analytiskt och krävde inte hjälp från operatörerna.

PHEA utfördes för att undersöka vilka typer av fel som återkommer och hur sannolikt det är att det blir fel i ett visst skede av genomförandet. För att kunna utföra denna metod involverades operatörerna för att verifiera och validera de resultat som framkommit analytiskt. Dels behövdes valet av feltyper valideras, dels analysen och identifikationen av potentiella felhandlingar. Metoden kompletterades även med en skattning av sannolikheten för att problem skulle uppstå vid något av de ingående delstegen.

Felträdsanalysen användes för att identifiera bakomliggande orsaker samt för att bedöma sannolikheten för att dessa inträffar och vilket bidrag de olika faktorerna har. Metoden utfördes tillsammans med operatörerna då de har den processkunskap som krävs för att kunna identifiera bakomliggande faktorer och samband.

Länkanalysen utfördes för att undersöka om arbetet utfördes i en logisk sekvens. En schematisk bild över kontrollpanelerna användes som grund och med hjälp av instruktionen kunde pilar ritas upp över de vägar som operatören rörde sig mellan de olika kontrollerna.

Slutligen användes även metoden HEART (Embrey, 2004) för att undersöka vilka faktorer som påverkade sannolikheten för att operatören skulle göra något fel. Målen var:

- Att hitta den eller de faktorer som har störst påverkan på sannolikheten för fel
- Att ta reda på vilken eller vilka faktorer som bör förebyggas i nya system

De analytiska delarna med att klassa uppgiften och identifiera olika "Error Producing Conditions" relevanta för uppgiften utfördes av forskarna. Själva skattningen av varje EPC:s möjlighet att påverka uppgiftens genomförande utfördes av operatörerna för att få en skattning som i större utsträckning överensstämmer med verkligheten. Dessa värden användes därefter för att beräkna varje faktors inverkan på den totala sannolikheten för felhandling. Resultatet presenteras i form av en total sannolikhet för fel och en procentsats för respektive faktors bidrag.

4.2.6 Studie 6 – Operatörens samverkan med skiftkollegor

Observationer utfördes i en fullskalesimulator under ett skiftlags årliga återträning. Skiftlaget observerades under ett träningstillfälle då uppgifter och incidenter relaterade till systemen som studerats i studie 4 och 5 utfördes. Uppgifterna för skiftlaget var att identifiera incidenterna och att utföra korrigerande och/eller mildrande åtgärder. Totalt studerades sex olika former av störningar. Observationerna utfördes från instruktörsrummet. För att i möjligaste mån kontrollera att resultaten som sammanställts var korrekta inkluderades även närvaro då instruktörerna avrapporterade och diskuterade de resultat de sett.

4.2.7 Studie 7 – Anpassning av bildskärmsbaserade gränssnitt till operatörens förutsättningar vid incidenthantering

Syftet med studien var att undersöka vilka faktorer som måste beaktas särskilt då en övergång sker från gammal teknik till bildskärmsbaserade gränssnitt. Det är viktigt att de nya gränssnitten är utformade så att operatören och dennes arbetsuppgifter stöds. I arbetet fokuserades uppgiften "Nätbortfall med husturbindrift". Så kallad normal husturbindrift har förutsatts och analyserna har undersökt arbetssituationen från nätbortfallet fram till avklarad infasning mot yttre elnät. Studien utfördes på Ringhals 3/4. Ett skiftlag har främst varit involverade i hela studien, allt från insamling av användarkrav till utvärdering av nya förslag.

Inledningsvis användes intervjuer och observationer både i kontrollrummet i normaldrift samt i simulator för att identifiera karaktäristiska faktorer som används för att identifiera driftläget samt för att få ytterligare kompletterande kunskap om hur uppgiften utförs. Den hierarkiska uppgiftsanalysen har också använts för att beskriva arbetssättet och få en överblick över detsamma. En länkanalys genomfördes även tidigt för att se hur operatören förflyttar sig och vilken information som behövs vid olika lägen. Eftersom många av händelserna som sker i samband med nätbortfallet och övergången till husturbindrift är automatisk behövdes de tidigare metoderna kompletteras med information om systemets aktiviteter. Detta gjordes i en form av tid-informationsanalys.

Med detta som grund nyttjades sedan angreppssättet kognitiv arbetsanalys (Cognitive Work Analysis) för att identifiera krav för det framtida gränssnittet. Bland annat har ingått att identifiera informationsbehov och koppla till abstraktionshierarkin och helhet/del-diagram, att beskriva energi- och massflöden och att identifiera ytterligare olika typer av kognitiva krav. Därefter har dessa krav översatts till specifika informationsbehov i olika situationer för att därefter kunna ta fram förslag på hur denna information ska presenteras grafiskt.

4.2.8 Studie 8 – Kategorisering av larmriktlinjer

Med alla föregående studier som grund genomfördes därefter en analys av vilka förutsättningar som specifikt gäller för situationen i svenska kärnkraftverk (inklusive både tryckvattenreaktorer och kokvattenreaktorer) med moderniseringar av befintliga kontrollrum. Utifrån dessa förutsättningar kompletterades, prioriterades och omformulerades befintliga riktlinjer så att de passar för de svenska förhållandena. De standarder som har ingått i studien har varit:

- NUREG-0700 (kap 4), Human-system interface design review guidelines
- HPR-354, Recommendations to alarm systems
- IEC-62241, Nuclear power units – Main control room – Alarm functions and presentation

Två forskare utförde initialt varsin individuell utvärdering utifrån resultaten från de föregående studierna. Därefter sammanställdes resultaten gemensamt.

4.2.9 Studie 9 – Utformning av gränssnitt för larmsystem

Den sista studien har utförts för att undersöka om de larmriktlinjer som presenterats i studie 8, dess indelning, gruppering etc. är relevant. Studie 9 har inbegripit relativt många aktiviteter och liknar ett vanligt utvecklingsprojekt som kan bedrivas på kärnkraftverken.

De steg som har ingått är att identifiera en målsättning med projektet. Detta har gjorts utifrån den kunskap som erhållits i de tidigare studierna. En kravinsamling och kravformulering har genomförts genom att undersöka dagens befintliga kontrollrum, arbetssituation och stödfunktioner. Som grund för kraven har teori, resultat från tidigare studier, intervjuer och observationer av operatörer samt dokumentstudier (främst instruktioner för uppgifter respektive larmhantering och utbildningsmaterial) utförts. Vidare har designteorierna ekologisk design och kognitiv arbetsanalys använts som stöd för att identifiera krav och kritiska samband och relationer.

De övriga utvecklingsstegen, idégenerering, konceptsammanställning och utvärdering, har skett på högskolan. Projektets mål främst har varit att leverera förslag på framtida larmutformning och förslag presenteras i resultatavsnittet. Vidare utvärdering och validering av förslagen kommer att ske under 2008. Resultaten av detta presenteras i en kommande avhandling av Thunberg där även en utförligare diskussion sker av generaliserbara aspekter. Avhandlingen beräknas klar årsskiftet 2008/09.

5 Resultat och analys

5.1 Studie 1 – Fallstudier av larmsystem i komplexa kontrollmiljöer i olika branscher

Resultatet från studierna visade att det fanns stora likheter mellan många av företagen och särskilt mellan anläggningarna i kärnkraftsbranschen, raffinaderiet och pappers- och massabruket. Dock fanns det också en del klara skillnader både mellan olika företag och även inom olika block på samma kärnkraftverk. De faktorer som i hög grad verkar styra vilken form av teknologi och arbetssätt som används kan härröras till:

- Tid anläggningen är byggd
- Krav på säker och beprövad teknik
- Tid för utveckling och implementering av larmsystem och ibland även hänsyn till byggtid
- Myndighetskrav
- Storlek på processen/anläggningen som ska övervakas

De främsta gemensamma resultaten som framkom för normaldriftssituationen i de studerade applikationerna var:

- Analog teknologi används i större utsträckning på kärnkraftverken jämfört med de övriga tillämpningarna som ingått i studien.
- I de fall datorbaserade kontrollsystem nyttjas upplevs de mest utmärkande egenskaperna för dessa system vara:
 - Enkel möjlighet att få kompletterande information (t.ex. genom att klicka på ett objekt kan driftläge, driftdata etc. erhållas)
 - Möjligheter att kunna införa personliga inställningar och att kunna definiera egna larm
 - Larmen är prioriterade
 - En alltför stor mängd signaler bedömdes av operatören finnas i systemen för oljeraffinaderiet och pappersbruket och därmed finns det alltför många larm
- Operatörerna var mycket nöjda med larmsystemet och dess funktion och prestanda i normaldrift.
- Endast mindre problem identifierades i kärnkraftsindustrin, oljeraffinaderiet samt pappers- och massabruket, främst med problemlarm såsom stående larm och irrelevanta larm.

Arbetsituationen i normaldrift hade i princip samma mål oavsett företag och industri. Operatörerna inklusive piloten och sjuksköterskorna försöker i normaldrift att effektivisera och optimera det övergripande målet och de uppgifter som ska utföras. Användarna vill i dessa situationer snabbt upptäcka små avvikelser och åtgärda dessa så att den ordinarie processen kan fortlöpa i princip oförändrat. De larm som genereras tas omhand och korrigeras omgående. Användarna har tid att läsa, förstå och tolka informationen i larmmeddelanden samt även kontrollera relevanta instruktioner vid behov.

Vid mindre incidenter fungerar larmsystemen också oftast tillfredsställande. Arbetsbelastningen är hanterbar. Operatörerna använder i dessa lägen inte all

information från larmsystemet utan fokuserar på nyckelinformation och det system där störningen inträffat. Driftmålet är inte längre att optimera processen utan att hantera den uppkomna situationen.

Vid större störningar uppgav de intervjuade att larmsystemen uppvisar stora brister. Detta gäller främst anläggningarna från kärnkraftsbranschen, oljeraffinaderiet samt pappers- och massabruket. Vid en störning blir ofta larmlistan eller larmslitsarna svåra att arbeta med eftersom alltför många larm genereras. I många fall saknas dessutom prioritering eller så är prioriteringen inte fullgod vilket ytterligare försvårar för operatören att hantera den uppkomna situationen. En bidragande anledning till att problem uppstår är att larm respektive information inte åtskiljs. Larm ska som tidigare nämnts kräva en respons av operatören. Detta är inte fallet i dag vilket bidrar till larmfloderna vid störningar.

Det operativa driftmålet för operatörerna i samband med störningar är att bringa anläggningen till ett säkert läge. Detta framkom i kärnkraftverken, på oljeraffinaderiet och på pappers- och massabruket. Operatörerna använder olika former av störnings- och larminstruktioner för att hantera situationen och för att kontrollera att automatiska funktioner har aktiverats som de ska. Detta innebär att larmsystemet inte används i någon större utsträckning. När störningen har klingat av påbörjas arbetet med att felsöka, åtgärda problem och därefter gå upp i drift igen.

Enligt sjuksköterskorna och piloten hade de en annorlunda situation i samband med störningar. Sjuksköterskan är i större grad tvungen att hålla processen ”igång”. Det går inte att stänga av en människa och sedan lugnt starta upp den på nytt. Dock var larmsystemen i sig mindre och innehöll färre signaler vilket gjorde situationerna mer hanterbara. För sjuksköterskorna var även patienten en viktig informationskälla. Någon motsvarande typ av sekundär informationskälla fanns inte i de andra studerade fallen.

Arbetssituationen skiljde sig ganska markant mellan de olika applikationerna. För de tillämpningar som undersökts inom medicinsk teknik och flygindustrin är tiden för att fatta ett beslut relativt kort och särskilt inom medicinsk teknik finns det en tydlig och uttalad koppling mellan användarens agerande och risken för en potentiell personskada. I de andra tillämpningarna är risken för personsador mycket mer indirekt. Det kunde även ses skillnader rent tekniskt mellan de mer processororienterade branscherna (kärnkraft, oljeraffinering, papper och massa) jämfört med medicinsk teknik och flygindustri. Antalet signaler implementerade i de tekniska styrsystemen i processindustrikontrollrummen räknades i tusental medan signalerna till en cockpit eller till en sjuksköterska handlar om maximalt ett få hundratal.

Larmpresentationsformen i en av flygplanstyperna var mycket intressant. Presentationen av larm inkluderade där en kort aktionslista vilken beskrev vilka åtgärder som behövde vidtas. Nyttjandet av olika typer av flygfaser var också användbart för att kunna prioritera larmen.

För mer utförliga resultat och beskrivningar hänvisas till (Jönsson och Osvalder, 2004; Jönsson m.fl., 2004; Thunberg, 2006).

5.2 Studie 2 – Larmhantering i arbetssituationer utanför normaldrift

Förutom de resultat som redan presenterats under Studie 1 sågs i observationerna av skiftlagen i störningar och under revisionsavställningarna att det är mycket ”övrig” information som kräver mycket av operatörerna. Detta gällde särskilt under revisionsavställningarna då rollerna mellan operatörerna i kontrollrummet tydliggjordes och respektive operatör förde många samtal med underhållspersonal och stationstekniker. I samband med störningshantering är samarbetet mycket tydligare uttalat då skiftlaget tillsammans måste hantera en situation och lösa den. I läget då anläggningen är i drift är även de olika operatörerna i större utsträckning beroende av varandra vilket också gör att samarbetet dem emellan ökar. Arbetsbelastningen i detta läge beror främst på vilken typ av händelse som inträffat och hur många kontroller den händelsen kräver. Checklistor finns dock som stöd vilket gör att operatörerna oftast känner sig säkra på hur situationer ska hanteras.

De tydligaste resultaten som framkom av studierna under revisionsavställningen var:

- Larmnivån inte den största arbetsbelastningen under revisionsavställning utan det är all kommunikation. Framförallt är det många telefonsamtal som ska hanteras av operatörerna.
- De (ev. relevanta) larm som genereras kommer i stor utsträckning från tester eller i samband med upp-/nedgång.
- Många larm av lågt informationsvärde genereras.
- Många larm är utlösta vilket kan göra det svårare att upptäcka nyinkomna larm.
- Operatörsrollerna blir tydligare.

Larmsituationen bedömdes inte lika allvarlig som befarat av observatören. Larmfrekvensen var naturligtvis högre än under normaldriftsfallet, men mängden ansågs av operatörerna vara hanterbar. De larm som är av intresse uppkommer inte i samband med olika arbeten utan i samband med tester och uppstarter av olika system. Enligt operatörernas uppgifter var även mängden larm stor i samband med nedgång. Detta tyder på att det finns ett behov av larmsanering även för väntade situationer.

Av den totala mängden larm som genereras var många av lågt värde när anläggningen är avställd eftersom operatörerna t.ex. vet att ett system är avställt och det kan då i princip inte bli så allvarliga konsekvenser. Detta bidrar till att operatörerna anser arbetssituationen hanterbar. De läser i princip larmen, kvitterar dessa och sedan vidtas inte någon ytterligare åtgärd. Viss information är dock fortfarande viktig och det avser nyckelparametrar som avgör anläggningens säkerhet, t.ex. nivå i reaktortanken. För att minska mängden irrelevanta larm bör undertryckningsmekanismer undersökas. I samband med att arbetsorder utkvitteras borde det vara möjligt att även undertrycka larm från det system som ställs av. Detta skulle minska mängden irrelevanta larm.

Desto närmare uppstart, och desto fler system som tagits i drift desto tydligare kunde det ses att operatörerna tog larmen på allt större allvar. Desto vanligare var det också att larmen krävde någon form av åtgärd. Det kunde tydligt märkas att larmen var fler när uppgång närmade sig. Detta visar också på att det tidigare var många irrelevanta larm som genererades och därmed bör det ses över om förändringar kan införas så att så stor andel som möjligt av larmen som genereras är relevanta.

Avseende arbetssituationen kunde det ses att rollfördelningen tydliggjordes under revisionsavställningen. Det arbete som utförs härrörs främst till endera av de två sidorna, primär- respektive sekundärsidan. När uppgång närmade sig och fler system togs i drift kunde dock en tydlig förskjutning av arbetet ses då operatörerna blev mer beroende av varandra och därmed ökade även interaktionen. Under störningshanteringen som studerades i simulator kunde det ännu tydligare ses att det var ett skiftlag som arbetade tillsammans. Kommunikationen ökade och operatörerna hjälpte varandra med att vara medvetna om anläggningens status.

På Forsmark arbetades i stor utsträckning mot händelselistan medan operatörerna på Ringhals i större utsträckning använde den vanliga larmtablån. Detta har troligen sin grund i uppbyggnaden av larmsystemet där Forsmark har ett larmsystem som är uppbyggt med datorn som en integrerad del av larmhanteringen. Larmen på larmslitsar och datorlarmen kompletterar varandra och bidrar till att ge helhetsbilden av anläggningens larmstatus. På Ringhals innehåller i princip datorn enbart redundant information som redan presenteras på larmkalotterna. Operatörerna använde därmed datorn som ett hjälpmedel och inte som en primär larmkälla.

Ett sätt för att ha överblick över arbetena som utförs är dels den genomgång som ges innan skiftet, dels de anteckningstavlor som finns för att ha uppsikt över vilka arbeten som utförs, problem som uppstått, var stationsteknikerna finns och så vidare.

Den största arbetsbelastningen under revisionsavställningen härrörs i princip från uppgiften att fungera som en ”sambandscentral”. Mängden telefonsamtal och personer som är i och kring kontrollrummet bidrar till en hög arbetsbelastningen. Eftersom telefonsamtal ofta avbryter operatören i dennes uppgifter är det viktigt att utforma system och instruktioner som gör det enkelt för operatören att fortsätta på den uppgift de höll på med innan. Det är viktigt att utforma system och stödfunktioner anpassade till detta eftersom telefonsamtalen också är nödvändiga för att säkert kunna utföra arbeten, t.ex. för att stänga av branddetektorer, meddela resultat av något test eller utföra handlingar för operatörerna. Enligt operatörerna skulle dock en utredning av telefontrafiken vara önskvärd för att undersöka möjligheterna att minska mängden samtal.

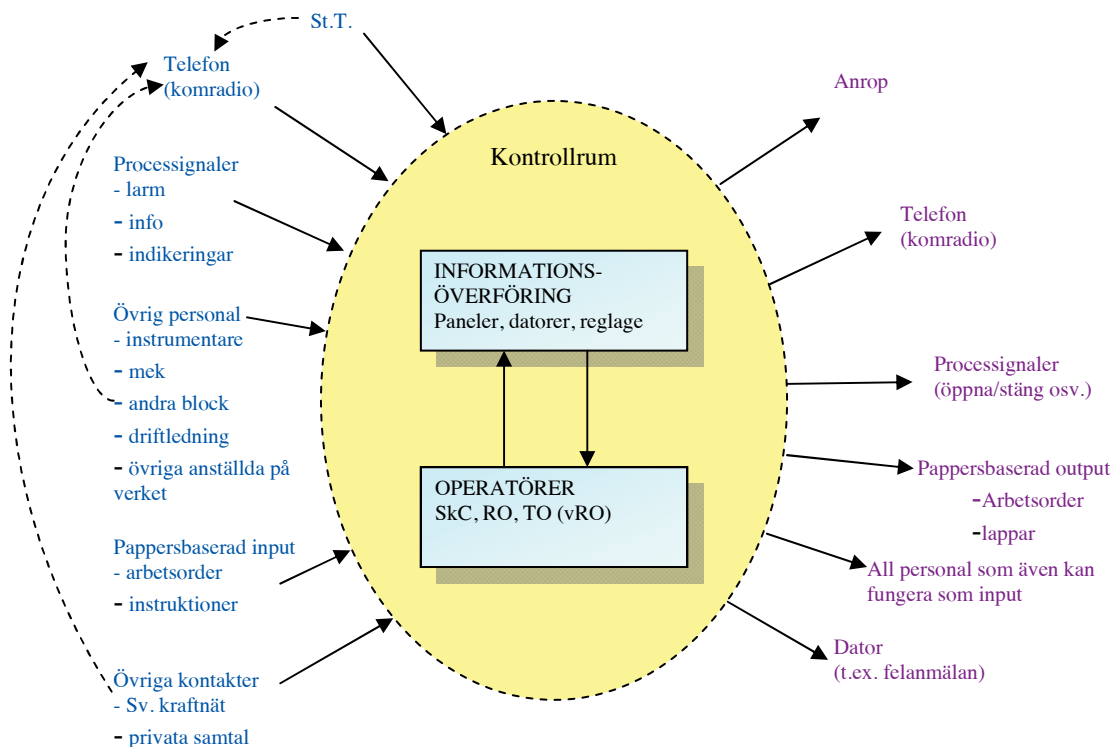
Aktivitetsnivån i kontrollrummet höjdes när uppgången närmade sig vilket sågs i att stressnivån ökade hos en del personer, antalet skämt minskade och ”coolheten” försvann lite. Det kunde även ses att larmen ligger på under en längre tid innan de tystas samt att telefonen ringer längre innan någon svarar.

Bemanningen under revisionerna ansågs bra på båda blocken. Ofta är bemanningen förstärkt och personalen arbetar också lite längre skift så att de hinner med en gemensam genomgång av läget och skiftöverlämningen kan också kräva lite extra tid.

En stor del av arbetstiden under revisionsavställningen åtgår till att hantera pappersarbete. Detta kunder upplevas betungande men samtidigt ansågs det viktigt med formella dokument och signeringar ur en säkerhetsaspekt. En eventuell förbättring skulle vara att kunna datorisera arbetsordersystemet och även koppla det till larmsystemet.

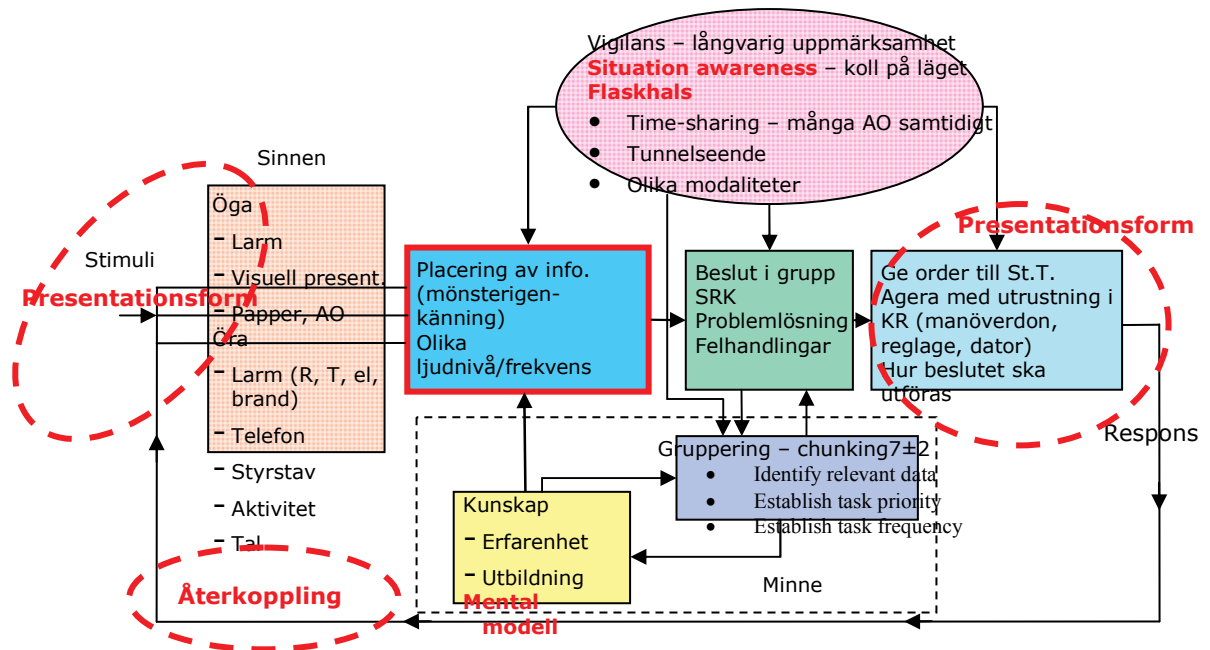
5.3 Studie 3 – Operatörens kognitiva larmhanterings- och övervakningsprocess

Från observationerna i studie 1 och 2 identifierades olika typer av externa faktorer som påverkar operatörens arbete. Den indata och utdata som identifierats för systemet kontrollrum beskrivs nedan.



Figur 12: Externa faktorer som fungerar som in- respektive utdata till operatörens interaktion med gränssnittet.

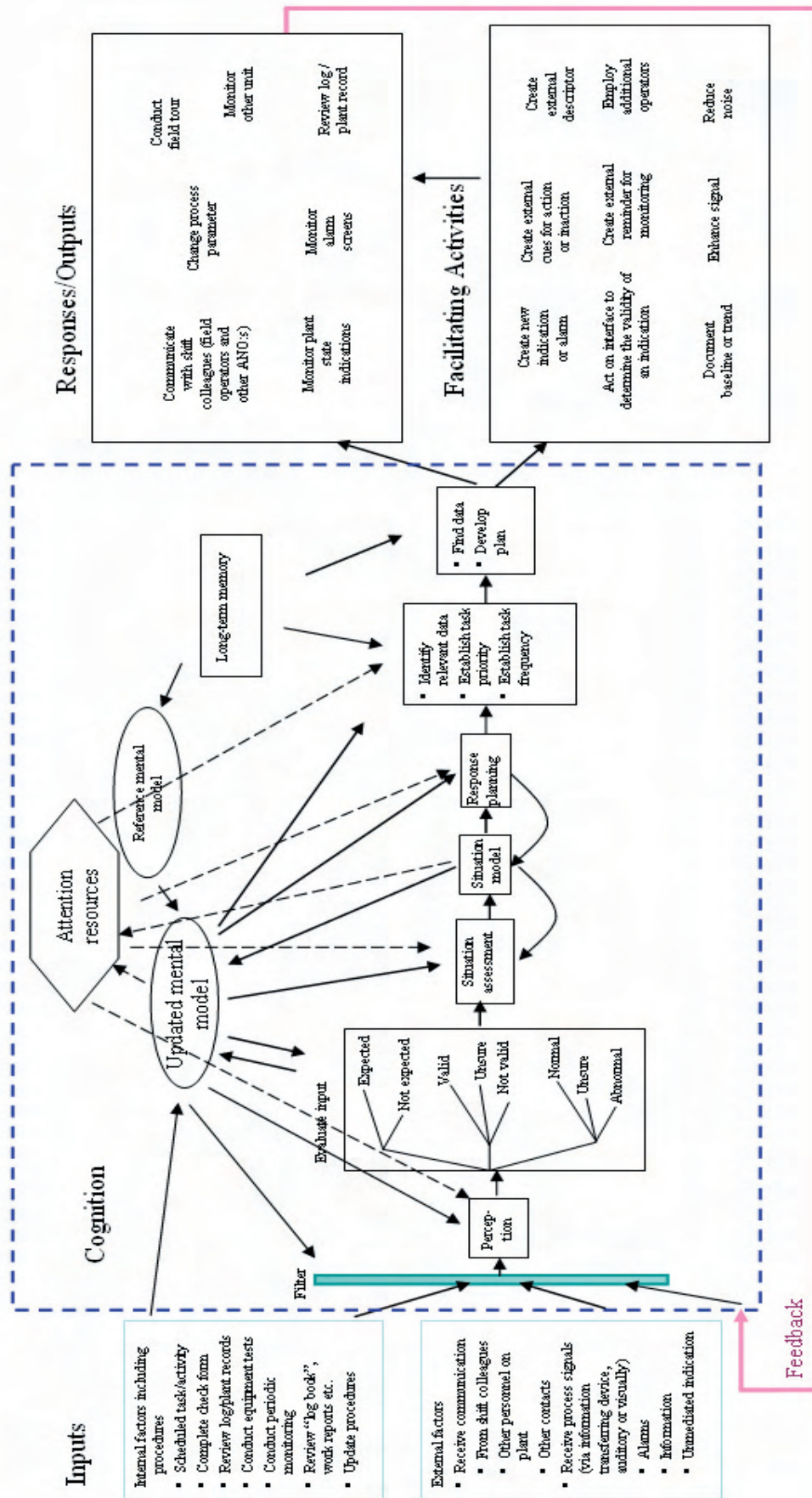
Med hjälp av Wickens klassiska modell (original 1984, uppdaterad 1999) identifierades nyckelfaktorer som påverkade bedömningen av informationen och som var viktiga steg för att kunna generera en korrekt utdata (figur 13).



Figur 13: Wickens klassiska steg-visa informationsprocess med markeringar om viktiga komponenter för ett korrekt uppfattande och utförande av information och uppgifter.

Presentationsformen påverkar vilken och hur information tas in. De faktorer som bedöms ha en stor inverkan på hur informationen tolkas är framförallt operatörens mentala modell, uppmärksamheten, situationsbedömningen, hur många parallella uppgifter som behöver utföras och inom vilket tidsspänn.

Med hjälp av dessa resultat och genom att studera olika modeller för larmhantering och informationsbearbetning har en sammanfattande teoretisk modell innehållande de parametrar som är viktigast att beakta tagits fram (figur 14).



Figur 14: Modell över operatörens övervakningsprocess

Modellen är i princip uppbyggd med fyra övergripande steg; indata, kognition, underlättande aktiviteter och responser. I samband med larmsystem associeras främst externa faktorer som initiativtagare till att starta samarbetet mellan operatören och det tekniska systemet. Dock har det i de tidigare studierna setts att operatörerna snarare drivs i sitt övervakningsarbete av interna faktorer. Operatörernas tidigare kunskap och förväntningar gör att de själva formulerar hypoteser om driften som de undersöker och kontrollerar (Lindholm, 2002), snarare än att de styrs av information som påkallas av gränssnittet. Operatörerna arbetar därmed inte reaktivt utan försöker agera proaktivt. Detta gör att larmsystemet i princip är uppbyggt för att användas på ett annat sätt än operatörernas ordinarie arbete. Larmsystemet bör självklart ha kvar sin reaktiva information eftersom det är nödvändigt att kunna påkalla operatörens uppmärksamhet om denne har missförstått eller förbisett något. Till larmsystemet bör dock även funktioner kopplas som bättre stödjer operatören i det proaktiva arbetet så att operatören tidigt kan upptäcka avvikelser och korrigera dessa innan larm uppkommer.

Under det andra steget, kognition, bearbetas indata. Filtreringsprocessen ska ses om en indikation på att operatörerna inte kan uppmärksamma allt utan styrs av intresse, motiv, intensitet på stimulit etc. Därefter varseblir operatörerna information och de utför en bedömning och utifrån detta uppdateras eventuellt operatörens medvetenhet om processen, dess läge och en utvärdering sker av vilka åtgärder samt hur dessa bör utföras (Jönsson och Osvalder, 2005).

Som grund vid tolkning och relevansbedömningen av information används en mental modell som referens (Jönsson och Osvalder, 2005). Den mentala modellen baseras på operatörens tidigare kunskap och erfarenhet. Som tankemodell kan användas att en generisk mental modell finns sparad i operatörens långtidsminne och utifrån de förutsättningar som gäller i den aktuella arbetssituationen utförs nödvändiga förändringar så att modellen speglar den aktuella processen och dess nuläge. Uppdateringen sker t.ex. med information som ges vid skiftöverlämningen.

De underlättande aktiviteterna är sådana som operatören utför för att enklare övervaka processens status (Vicente m.fl., 2004). Genom att indela utdata i responser och underlättande aktiviteter kan en skiljelinje dras mellan de aktiviteter som utförs enbart som en deluppgift för att utföra något annat på ett enklare eller mer korrekt sätt och de aktiviteter som utförs för ”sin egen skull”.

Responserna är de observera handlingar som utförs för att uppnå ett specifikt mål. Återkopplingsloopen är också viktig att beakta eftersom operatören vill ha bekräftelse på om de åtgärder vederbörande utfört fått avsedd effekt.

Modellen utvecklades initialt i studie 3 men har kompletterats allteftersom ytterligare studier utförts. De viktigaste faktorerna i modellen har utifrån empiriska studier och teori identifierats som:

- Operatörens uppmärksamhetsresurser
- Uppdaterad mental modell
- Filtreringsprocessen
- Varseblivningen av information

Alla dessa steg ligger tidigt i modellen och tyder på att strategier för att ta in information och utformning av stimuli kan få stor påverkan på operatörens prestation. En orsak till detta resultat står troligtvis att finna i det faktum att många uppgifter är instruktionsstyrda, vilket tyder på att valet av instruktion och kunskap om när den ska användas är viktigare än specifik kunskap under själva utförandet eftersom instruktionen då finns som stöd. Detta gäller särskilt för mindre erfarna operatörer, då de kan behöva hjälp och stöd att uppmärksamma rätt information, använda rätt instruktioner etc.

Genom att de första stegen är mycket viktiga ställer det stora krav på att operatörerna tar in rätt information. Att som i störningar bli utsatt för larmfloder gör att sannolikheten för att operatören fokuserar på relevant information minskar, och därmed minskar även troligheten att korrekt situationsbedömning görs vilket i sin tur kan leda till felhandlingar. Operatören behöver därför större stöd med att fokusera och prioritera information i framtiden. Detta blir ytterligare accentuerat eftersom nya digitala system tillåter många fler signaler.

5.4 Studie 4 – Identifiering av operatörers expertkunskap och arbetsbelastning

Eftersom alla erfarna operatörer nämnde att referensvärden är intressanta och viktiga att kunna utantill tyder detta på att operatören utför olika former av kvalitativa bedömningar i sitt arbete (t.ex. de undersöker om ett värde är acceptabelt snarare än att de kommer ihåg precisa värden). Detta tyder på att framtida system som även stödjer noviser bör inkludera information om referensvärden, t.ex. genom att presentera värdet i en referensram eller med hjälp av färgkodning. Utökad användning av överlagrad information ger ytterligare nytta för operatören och ökar även gränssnittets flexibilitet (May och Petersen, 2006).

Vidare var möjligheten att kunna förutsäga framtida beteende och status av processen en mycket stor fördel med ökad erfarenhet. Genom att veta vilka nyckelparametrar som behöver kontrolleras och med vilka tidsintervall kan många potentiellt riskfyllda situationer undvikas (Thunberg, 2006). För att förbättra framtida larmsystem bör därför någon form av prediktionshjälp finnas för att kunna undvika skarpa larm och för att få en enklare och mer korrekt situationsbedömning. Ett konkret exempel är att kunna integrera fel- och händelsestråd i gränssnittet så att operatörerna kan se vilka effekter en förändring på ett specifikt objekt kan ge.

Expertisen var mest utmärkande i uppgifter som krävde bedömningar av operatören. Att använda checklistor är enkelt även för en novis. Detta tyder på att checklistestöd är ett effektivt hjälpmedel för att hantera förutsedda händelser såsom uppgång respektive nedgång och olika ”typstörningar” (Thunberg, 2006).

Användningen av fasta platser för högprioriterade larm var mycket uppskattat av operatörerna då det medförde en mönsterigenkänningseffekt som var effektiv vid bedömningen av olika störningar. De erfarna operatörerna bedömde att denna form av prioritering och indelning mellan larmen (högprioriterade larm på fasta, alltid synliga platser och lågprioriterade mindre synliga) underlättar mycket eftersom den mindre erfarna operatören vet vad som är viktigast och dessutom får det fördelar då

högprioriterade larm oftast är viktiga för alla operatörer i kontrollrummet och de bör därför placeras på en plats alla kan se.

Expertis var viktigt främst för uppfattningen av information (jämför de tidiga stegen i den teoretiska modellen presenterad under studie 3) (Thunberg och Osvalder, 2006b). Genom att den erfarna operatören hade kunskap om referensvärden, tidsfördröjningar i processen och vanliga effekter av olika händelser ökade förmågan att kunna förutse problem i förväg och därmed undvika dem. Det kunde också ses att de erfarna operatörerna hade detaljerade mentala modeller av processen i olika driftlägen som de påträffade i den normala driften eller hade återtränat regelbundet.

Den information som var mest väsentlig att kontrollera för matarvattenpumpsskiftet var följande:

- I första hand – tryck och flöde
- I andra hand – nivå i reaktortank

De fel en novis troligtvis gör eller problem som uppkommer för en novis härrör främst från:

- Saknar referensvärden
- Saknar erfarenhet, t.ex. att rusning är vanligare än minvarv (detta kan leda till att fel pump stoppas)

Arbetsbelastningen skattades med NASA-TLX och det kunde ses att de två uppgifterna bedömdes ha i princip samma arbetsbelastning (Thunberg och Osvalder, 2006b). Dock kunde det ses en skillnad mellan uppgifterna i form av vilka faktorer som bidrog till arbetsbelastningen. För matarvattenpumpsskiftet bidrog mentala krav mest medan tidskrav var den största faktorn i uppgiften för hantering av husturbindrift. Detta måste anses förväntat då matarvattenpumpsskiftesuppgiften innehåller många deluppgifter som kräver handlingar och beslut av operatören medan hantering av husturbindrift främst handlar om att identifiera läget och därefter utföra nödvändiga kontroller.

Resultatet indikerade även att det kunde ses en skillnad mellan operatörerna på de respektive anläggningarna. Att skifta matarvattenpumpar utfördes på lite olika sätt på de två verken. På ett av blocken utfördes skiftet med regelbundna intervall medan det andra blocket hade valt strategin att bara skifta pumpar när en av de två i drift uppvisade brister. De som utförde uppgiften regelbundet skattade betydelsen av mental krav och tidskrav lägre än de som enbart utförde skiftet vid konstaterade problem. Istället upplevde de att kraven på korrekt prestation var högre. Detta kan förklaras med att operatörerna som skiftar pump regelbundet gör det vid drifttillfällen då det för övrigt är lugn drift och de har tid att planera och utföra skiftet. Dock måste de själva utföra många delhandlingar korrekt. För blocket som skiftade vid problem var tidspressen mycket starkare eftersom skiftet i princip var tvunget att utföras relativt omgående oavsett övriga omständigheter i anläggningen. Emellertid kan operatören i förlita sig på automatiska funktioner för själva pumpskiftet efter att operatören själv initierat de automatiska förloppen. Undersökningsunderlaget är dock alltför litet för att dra klara slutsatser kring detta.

För att hålla arbetsbelastningen på en hanterbar nivå kunde det ses att operatören själv skapade olika former av externa ledtrådar (t.ex. skrev lappar) för att minska den kognitiva belastningen i olika situationer vilket även identifierats av Vicente m.fl.

(2004). För att ett larmsystem ska kunna vara användbart måste därför funktioner som avlastar operatören finnas inbyggda så att de själva till viss del kan reglera sin arbetsbelastning.

Den mentala arbetsbelastningen beror alltså till stor del på uppgiftens karaktäristik och vilka stöd som finns under utförandet. Situationer som enbart krävde kontroller av olika förutbestämda parametrar och villkor bedömdes som enkla uppgifter (även om dessa skedde under stor tidspress) och istället var uppgifter där planering och utförande krävdes av operatören de som krävde störst mental belastning (Thunberg och Osvalder, 2006b).

För att kunna hantera olika situationer och presentera relevant information är det därmed intressant att kunna koppla olika driftsituationer och uppgifter till operatörens arbetssätt. Genom att använda Hollnagels COCOM-modell (Hollnagel, 1998) kan olika typer av arbetssituationer kategoriseras och informationsbehovet därefter anpassas. Från COCOM finns fyra typer av nivåer där den ena, ”*scrambled*”, inte bedömts relevant för kärnkraftskontrollrum (Tran m.fl., 2007).

5.5 Studie 5 – Riskanalys av mänskliga felhandlingar

Risken för mänskliga felhandlingar beräknades i studien för den studerade uppgiften, skifte av matarvattenpumpar, till 21% (Oxstrand, 2005). Detta kan tyckas som en mycket hög siffra men det ska då hållas i minnet att detta inte avser kvarstående fel utan operatörerna upptäcker de flesta felen och åtgärdar dessa omedelbart. Störst problem sågs med kunskapsöverföring och återkoppling. Till stor del berodde detta på att operatören var tvungen att förflytta sig mellan pulpeten och kontrolltavlan vid upprepade tillfällen under utförandet av matarvattenpumpsskiftet.

De viktigaste riktlinjerna som framkom var:

- Placera kontrollknappar, displayer etc. i en för operatören logisk ordning, t.ex. efter sekvens, frekvens eller vikt.
- Om samma kontroller ska finnas på olika paneler ska de vara placerade i samma ordning.
- Knappar och reglage ska vara placerade under relaterad mätare. Vid platsbrist kan de placeras till höger om mätare.
- Undvik att strukturera paneler så att operatören måste hoppa fram och tillbaka över den
- Operatören måste alltid enkelt kunna identifiera systemets status

5.6 Studie 6 – Operatörens samverkan med skiftkollegor

Studierna visade att operatörerna nyttjar varandra i stor utsträckning för att hålla processen under kontroll. Samarbetet är gott, i alla fall då anläggningen är i drift. I samband med revisionsavställning är turbin- respektive reaktoroperatör inte lika beroende av varandra utan då förtydligas rollerna och istället arbetar de mer var och en för sig.

- Huvudprocessen utgör ofta startpunkten i diskussionen, den kan ses som den gemensamma referensramen, detta avser både samarbete och kommunikation
- Operatörerna arbetar med olika hypoteser och försöker förutsäga olika scenarier av sina handlingar för att kunna undvika störningar innan de uppkommer eller mildra konsekvenserna.
- Operatörerna försöker reglera arbetsbelastningen så att de olika ingående medlemmarna har en hanterbar belastning var och en, det är inte som så att en har mycket att göra och de andra ingenting utan då hjälper man varandra. Dessutom används olika former av externa ledtrådar, såsom anteckningar och egendefinierade larm, för att hålla arbetsbelastningen på en accepterbar nivå.
- Skiftchefen har en viktig roll i sammanhanget att fördela arbetsuppgifter mellan skiftmedlemmarna och säkerställa att allas arbetsbelastning är hanterbar.
- Alla inkluderas i arbetet både kontrollrumsoperatörer och stationstekniker.

Eftersom arbetet som utförs i kontrollrummet under störningshantering är mycket samarbete krävs det gemensamma referensramar och informationskällor så att alla operatörer har tillgång till den viktigaste gemensamma informationen (Thunberg och Osvalder, 2006a). Av denna anledning är det fördelaktigt att inkludera en storbildsskärm i kontrollrummet för viktig information. Exempel på denna typ av information är nyckellarm och kedjor. Det handlar om viktiga förhållanden som ger en indikation på hela anläggningens status, t.ex. förhållande mellan producerad effekt och matarvattenflöde. Vidare måste informationen på översiktsskärmen vara av sådan karaktär att den kan användas för gemensam information och måste därför vara utformad så att alla som berörs av den kan förstå den. Eftersom utbildningsgraden och erfarenheten varierar mellan olika operatörer och operatörsroller är det fördelaktigt om utformningen tar sin utgångspunkt i huvudprocessen och är baserad på strukturell information. Uppgifter som är specifika för respektive operatör kan ha en mer funktions-, relations- eller uppgiftsbaserad utformning.

5.7 Studie 7 – Anpassning av bildskärmsbaserade gränssnitt till operatörens förutsättningar vid incidenthantering

Utifrån analyserna av husturbindriftläget drogs slutsatsen att den viktigaste informationen var de olika gränser som diverse parametrar inte får överskrida (Andersson, 2006). En tydlig förbättringspotential som måste hanteras med nya bildskärmsbaserade gränssnitt är därför att tillsammans med mätvärden även tydliggöra vilka gränser som gäller för dessa parametrar.

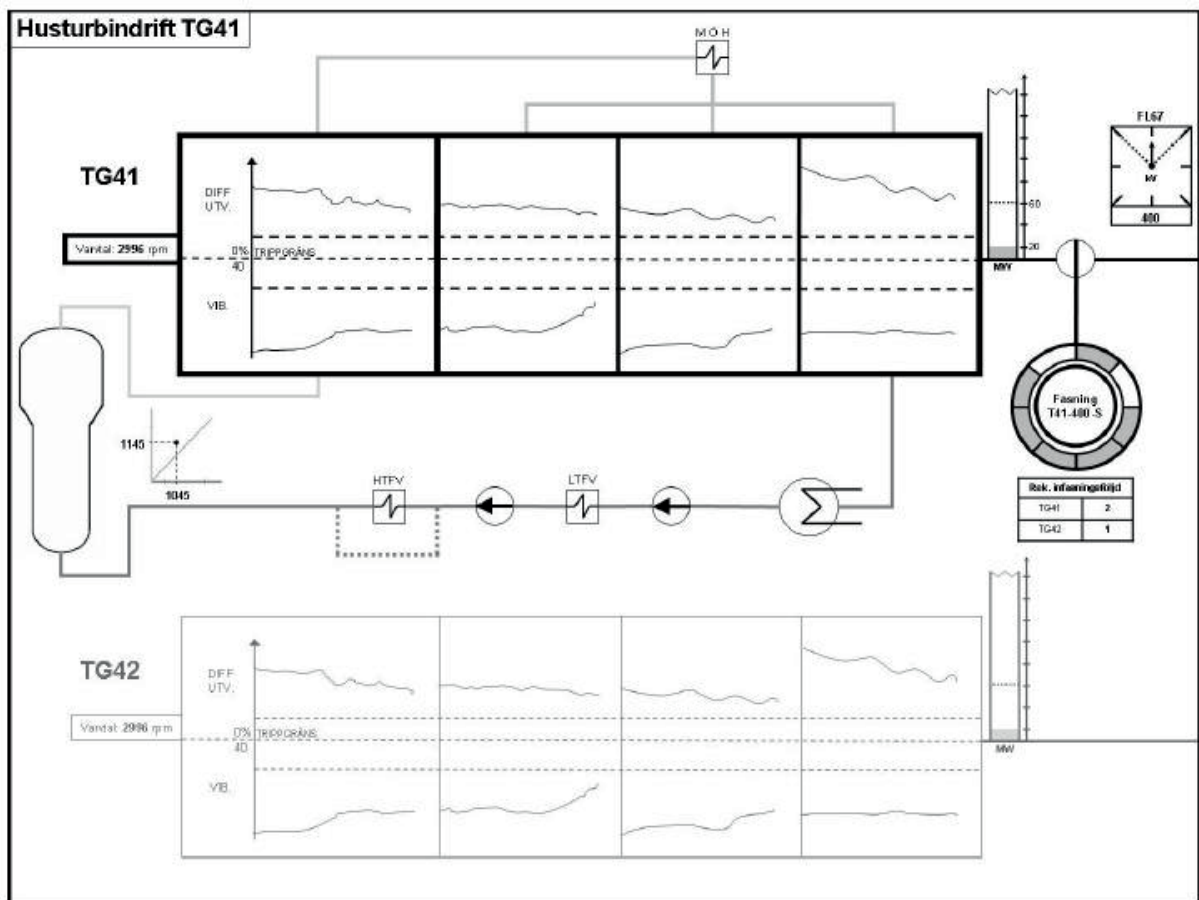
Från identifieringen av nätbortfall och husturbindrift till att infasning sker förändras operatörens arbete markant. I början handlar det främst om en kontrollfas, sedan en observationsfas (under det att husturbindriften är konstant) som sedermera övergår till

en mer aktiv fas för operatörerna där de ska gå upp med turbinen igen och fasa in den. Eftersom arbetsuppgifterna är så olika behövs olika typer av information och olika presentationsformer. En idé är att tydligare särskilja de olika faserna och avsätta en del av det nya gränssnittet för observation medan den andra delen tillåter interaktion.

De designkriterier och rekommendationer som framkom var (Andersson, 2006):

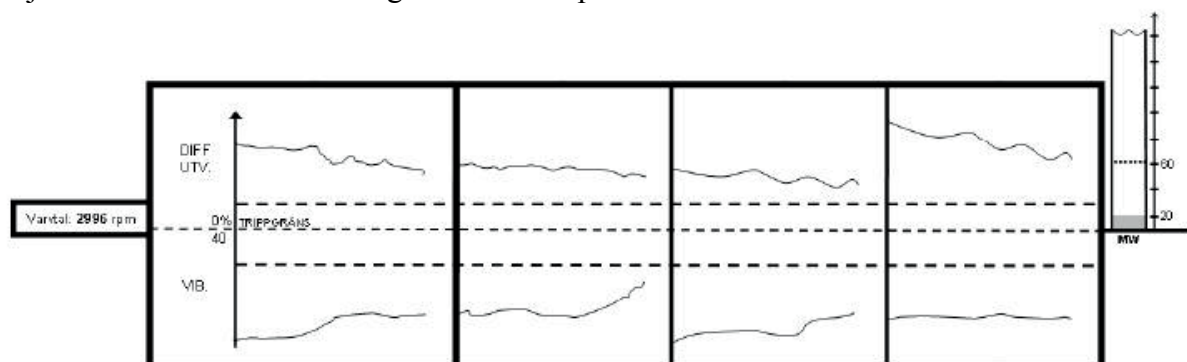
- Parametrar viktiga för situationen ska presenteras tillsammans med mål och/eller gränser för värdet som visas.
- Gemensamma mål eller gränser kan vägas samman.
- Analog presentation av driftdata bör användas för att visa faktiskt värde i relation till mål och gränser. Detta gör att operatören ser vilka marginaler som finns.
- Digital presentation lämpar sig för att presentera exakta värden.
- Gränssnittet måste utformas intuitivt och användarvänligt genom att utnyttja representationer som är välkända för operatörerna.
- Placering och utseende ska i möjligaste mån överensstämma med presentationen för normaldrift för att inte skapa onödig mental belastning för operatören.
- Instruktioner bör byggas in i gränssnittet som en stödfunktion. Detta behöver inte vara i form av text eftersom även en logisk följd av handlingar i ett situationsanpassat gränssnitt som överensstämmer med pappersinstruktionens handlingsföljd fungerar som stöd.
- De två turbinlinjerna måste åtskiljas tydligt så att handlingar endast kan utföras på den turbinlinje vars sida operatören arbetar på. Dock ska båda linjerna visas i gränssnittet men med nedtoning av den som ej går att styra.

Utifrån analyserna och de designkriterier som identifierats har ett förslag på situationsanpassat gränssnitt tagits fram (figur 15).



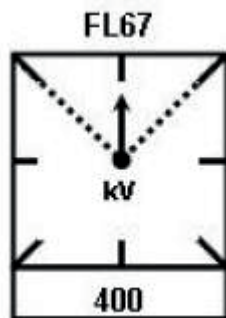
Figur 15: Översiktsbild för turbinövervakning (Andersson, 2006)

De trendkurvor (figur 16) som tagits fram är avsedda för differentialutvidgning och vibrationer, vilket var de två viktigaste parametrarna. De fyra turbinerna (en högtrycksturbin och tre lågtrycksturbiner) är sedan representerade med en ruta var. Målet med visningen var att visa parametrarna samtidigt och nära varandra för att underlätta övervakning. Den mellersta linjen visar trippgränsen och de övriga linjerna är larmgränser. Denna utformning överensstämmer med dagens visning i BUR. Varvtalet visas längst till vänster och en effektstapel till höger. Genom att en turbinlinje är svart och en grå visas tydligt vilken linje som är aktiv men det möjliggör ändå att både linjerna kan övervakas samtidigt från samma plats.



Figur 16: Trender för turbinlinje (Andersson, 2006)

En spänningsvisare för yttre nät (figur 17) har tagits fram för att visa gränserna för när fasning är möjlig. Ett beslutsstöd för rekommenderad fasningsföljd har också inkluderats för att underlätta för operatören i tidspressade situationer (figur 18).



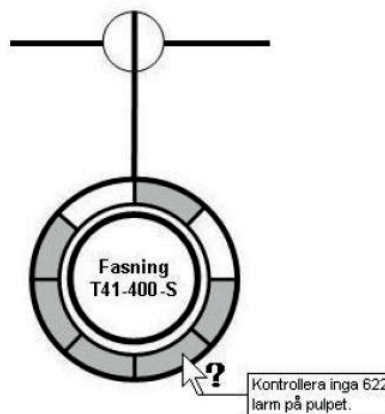
Figur 17: Spänningsvisare

Rek. infasningsföljd	
TG41	2
TG42	1

Figur 18: Rekommenderad infasningsföljd

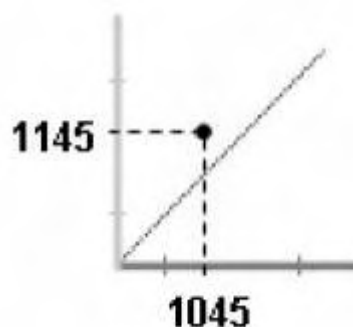
Båda bilderna från Andersson (2006)

Därtill har en infasningsknapp tagits fram (figur 19) som visar vilka åtgärder som redan är utförda (grå) och vilka som återstår att genomföra (vita). Om operatören klickar på ett fält kommer en informationstext upp som talar om vilken åtgärd som avses. Den inre ringen är tänkt som fasningsknapp när alla villkor är uppfyllda och då fasning sker mot yttre nät vrids den övre cirkeln 90 grader så linjen blir sluten.



Figur 19: Fasningsknapp (Andersson, 2006)

Slutligen finns en balansindikering mellan mava-flöde och ångflöde (figur 20). Jämviktsläget indikeras av linjen i diagrammet och genom att markera aktuella värden kan avvikelser enkelt identifieras.



Figur 20: Flödesbalans (Andersson, 2006)

5.8 Studie 8 – Kategorisering av larmriktlinjer

Riktlinjer från befintliga standarder (IEC, 2004; O'Hara m.fl., 2002; Sørenssen m.fl., 2002) och de slutsatser som dragits från de empiriska och teoretiska studierna har legat till grund för indelning och kategorisering av riktlinjer som ska beaktas vid moderniseringsprojekt i befintliga anläggningar. Kategoriseringen och indelningen av larmriktlinjerna gjordes utifrån nedanstående tabell (tabell 8).

Tabell 8: Indelning av larmriktlinjer

			Användningsnivå			
			Filosofi - grundläggande	Beakta befintligt	Design - konceptuell	Design - detaljerad
			A	B	C	D
Funktion	Grundläggande	1	A1	B1	C1	D1
	Info presentation	2	A2	B2	C2	D2
	Interaktion	3	A3	B3	C3	D3
	Validering, test, UH, förbättringar, uppföljning, adm, QA	4	A4	B4	C4	D4
	Instruktioner	5	A5	B5	C5	D5
	Fysisk KR-utformning	6	A6	B6	C6	D6
	Prio, sortering, signalbeh.	7	A7	B7	C7	D7
	Arbetsprocess	8	A8	B8	C8	D8
	Setpoints	9	A9	B9	C9	D9

För att larmriktlinjerna ska bli användbara hjälpmedel sågs det ett behov av att dela in riktlinjerna efter principiella steg i utvecklingsprocessen av larmsystem.

A-gruppen härrör till de riktlinjer som egentligen inte ska behöva beaktas av respektive projekt utan som bör finnas i dokument framtagna på en företagsnivå eller blocknivå. Viktiga aspekter här är de grundläggande kriterier som finns för hur larm ska prioriteras etc. Dessa faktorer ska finnas definierade generellt så att det inte blir skillnader mellan olika delprojekt vilket i sin tur kan leda till inkonsekvenser i larmsystemen i kontrollrummet.

B-gruppen innehåller de riktlinjer där projektet snarare ska följa befintlig utformning i kontrollrummet än definiera nya krav (om inte något annat sägs i en filosofi eller vision för då ska dessa dokument följas). Om någon aspekt saknas i dagens kontrollrum bör däremot riktlinjen följas. Exempel på riktlinjer i denna grupp är angivelser av färgkodningar, rutiner för förkortningar etc. Behovet av konsekvens och samstämmighet i kontrollrummet ligger till grund för att allt inte ska definieras på nytt.

C-gruppens riktlinjer beskriver de aspekter som ska följas i den konceptuella utformningsfasen. Exempel på riktlinjer i denna grupp är riktlinjer som ger principiell

guidning vid utformningen av larmgränssnittet såsom att operatörer ska ha tillgång till larminstruktioner från larmmeddelandet eller alltid synliga larm ska användas för mycket säkerhetskritiska larm som kräver åtgärd inom kort.

Riktlinjerna i **gruppen D** används i den detaljerade designfasen. Exempel på riktlinjer är detaljerade riktlinjer som t.ex. anger att svarstider i systemet ej ska överskrida 2 sekunder eller att en blankrad ska infogas mellan var fjärde eller femte rad i larmlistan.

Den övriga indelningen har gjorts efter vilken typ av funktion eller applikation riktlinjen täcker.

Genom att anpassa riktlinjer till en form som bättre stämmer överens med arbetssättet på kärnkraftverken och även genom att tydligare ange vilka faktorer som måste beaktas när kan utvecklingsingenjörens arbete underlättas och det är också större sannolikhet att rätt krav och rätt information ställs respektive ges till leverantören. Moderniseringsprojekt i kärnkraftsindustrin tenderar till att vara stora omfattande projekt där många olika typer av krav och riktlinjer behöver hanteras och uppnås. Därför är det mycket viktigt att ha klara prioriteter redan från start.

Det som kunde ses var att många riktlinjer framtagna för utformning av larmsystem är relevanta även vid moderniseringar. De mer generella riktlinjerna ska finnas dokumenterade och specificerade i form av en larmfilosofi som används oavsett projekt, detta för att säkerställa konsekvens mellan projekt. Vissa särskilda hänsynstaganden behöver göras i moderniseringsprojekt eftersom operatörernas tidigare kunskap och erfarenhet samt behovet att den nya tekniken eventuellt ska interagera med befintlig teknik påverkar utformningen av det nya systemet och sättet på vilket det kommer att hanteras. I många fall finns ett uttalat mål att behålla arbetsinstruktioner intakta vilket gör att gränssnittet får utformas för att matcha detta. Behovet av konsekvens och samstämmighet var mycket viktigt och kan därmed överskugga specifika rekommendationer för utformning av t.ex. ljudsignaler eller textutformning. Det viktigaste ur operatörens synvinkel är att oavsett antalet underliggande system ska det uppfattas som ett, vilket innebär att systemens gränssnitt måste likna varandra, ljudsignalerna ska överensstämma med övriga delsystem och systemen behöver hanteras på samma typ av sätt. Förutom att beakta utformningen av kontrollrummet och gränssnitten är det viktigt att ta hänsyn till instruktioner och träning för att säkerställa effektiv och säker hantering samt samstämmighet.

5.9 Studie 9 – Utformning av gränssnitt för larmsystem

Studie 9 utfördes för att undersöka om larmriktlinjerna och den indelning och gruppering som skett i studie 8 var relevant. Arbetet har försökt efterlikna ett utvecklingsprojekt för att kunna utvärdera hur användbara riktlinjerna (studie 8) är. I studie nio har det ingått flera olika uppgifter. Det första steget var att definiera mål med systemet och att upprätta en larmfilosofi. De larmriktlinjer som sorterats in under A-gruppen beaktades och studiebesök utfördes i kontrollrummen för att kontrollera hur de larmriktlinjer som grupperats i B-gruppen var utformade i dag. Utifrån larmriktlinjerna, studiebesöken och resultat från tidigare studier i projektet upprättades en kravspecifikation. Larmfilosofin ska inte ses som en absolut sanning utan som ett exempel. Anpassningar och tydligare detaljstyrning behövs på respektive anläggning.

Det övergripande målet har varit att utforma ett larmsystem som i tydligare utsträckning än befintliga tar hänsyn till olika typer av driftlägen och det informationsbehov som finns i dessa situationer. Dessutom är avsikten att larmsystemen ska utformas så att de bättre överensstämmer med operatörens ordinarie arbetsätt och uppmuntrar tidig upptäckt av avvikelser.

Larmgränssnittet har utvecklats genom att använda kognitiv arbetsanalys och ekologisk designteori tillsammans med larmriktlinjerna i grupp C och D. Inledningsvis identifierades kritiska samband. Med hjälp av dessa, larmfilosofin, kravspecifikationen och målen har grundläggande designkriterier tagits fram:

- Gränssnittet ska innehålla bilder i olika nivåer anpassade till olika typer av arbetsuppgifter och olika driftlägen:
 - Processbild, t.ex. schematisk översiktspild för övervakning
 - Systembaserade presentationer, t.ex. mer detaljerad visning av ett specifikt system eller en funktion
 - Uppgifts- eller situationshantering

För respektive bildtyp är informationen, och specifikt larminformationen, anpassad utifrån de informationsbehov som finns i den aktuella situationen.

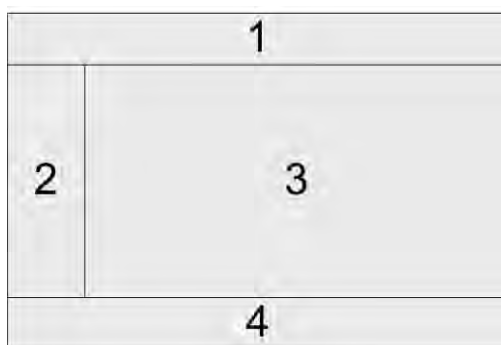
- Så få nivåer som möjligt ska användas för att undvika onödig och tidkrävande navigering.
- Gränssnittet ska vara uppbyggt med principen om *dark-board configuration* i åtanke. På detta sätt ska den information som framhävs i presentationen vara relevant i den aktuella situationen.
- Larm ska integreras i övervakningsbilder.
- Högprioriterade larm ska fortsatt ha spatial lokalisering med en fast dedikerad plats.
- En bildskärmsbaserad lösning kommer att väljas eftersom det bedöms krävas för framtidssäkring (kunna hantera kommande förändringar och nya delsystem) av systemen samt att alternativa och flexibla presentationsformer kan erbjudas i den lösningsformen.
- Operatören ska uppleva det som att han/hon hanterar **ett** system och inte flera olika larmsystem.
- Nyckelinformation ska framhävas.
- Förbättrade möjligheter ska ges till tidig avvikelsepptäckt.
- Förklarande och vägledande information ska kopplas till larmvisningen för att underlätta korrekt tolkning och snabb åtgärd.
- Larm ska presenteras i sitt sammanhang och med referensramar.
- Varje larm ska ge operatören någon form av värdefull information och inte enbart hänvisa till en annan larmtavla.

Principen bygger på att det som är aktivt och i drift ska vara tydligt markerat. Övrigt ska finnas med i bilden men vara grått och därmed upplevas som bakgrundsinformation. Informationen får ej tas bort helt då operatörerna ofta arbetar med att testa hypoteser de har, de söker aktivt i gränssnitten s.k. *"management by awareness"*. Men det är det aktiva som ska poängteras eftersom det kräver mest uppmärksamhet. På detta sätt går det också att tydligare leda den oerfarne operatören till att uppmärksamma den information som verkligen är relevant. Dock är tanken att nyckelinformation alltid ska finnas tillgänglig, antingen direkt i processbilden eller på en specifikt avsatt plats för övergripande information. För övrigt är avsikten att operatörerna ska kunna få mer

information om respektive objekt genom att föra musen över objektet eller att klicka på det. Det som är viktigt är att systemen stödjer operatören både i den ordinarie övervakningen och i samband med larm med information om vad som händer, hur situationen utvecklats och vad som kan utföras. Detta överensstämmer med grundläggande principer om gränssnittsdesign och även larmsystemet syfte som är att uppmärksamma operatören om att en avvikande tillstånd uppkommit, vilken orsaken är, vad kan göras och hur detta ska bekräftas. För detta behöver operatören stöd i form av statusinformation, om trender och historik samt instruktionsstöd. Allt detta tillsammans ingår i ett bra larmsystem.

Det förslag som tagits fram är i princip uppbyggt enligt följande princip (figur 21):

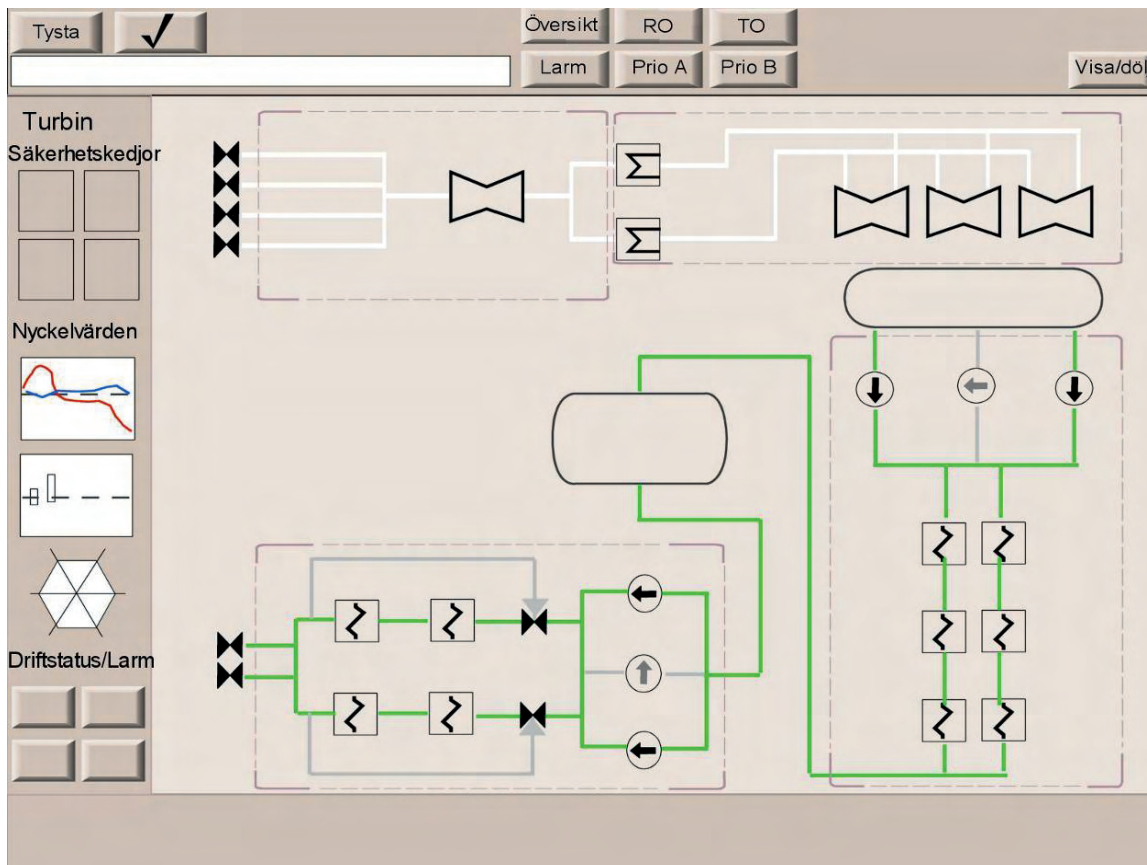
1. Ett fast fält överst för viktiga funktioner och navigering
2. Ett fält med för systemet relevant information och viktiga funktioner
3. En yta för information om processen, ett system eller objekt
4. Ett fält med information som varierar beroende på markerat objekt



Figur 21: Principiellt upplägg av gränssnittet

Skärmytan är tänkt att motsvara en normal bildskärm med upplösning 1200*1600. Arbetet har fokuserat på att ta fram förslag för matarvatten- och kondensatsystem och det bedöms att två bildskärmar krävs för dessa system. Avsikten är att dagens visning ska kunna ersättas. De gränssnittsförslag som tagits fram är tänkta att enkelt kunna byggas ut och så småningom inkludera hela turbinsidan.

Ett exempel på hur skärmytan kan realiseras ges i översikt bilden i figur 22.



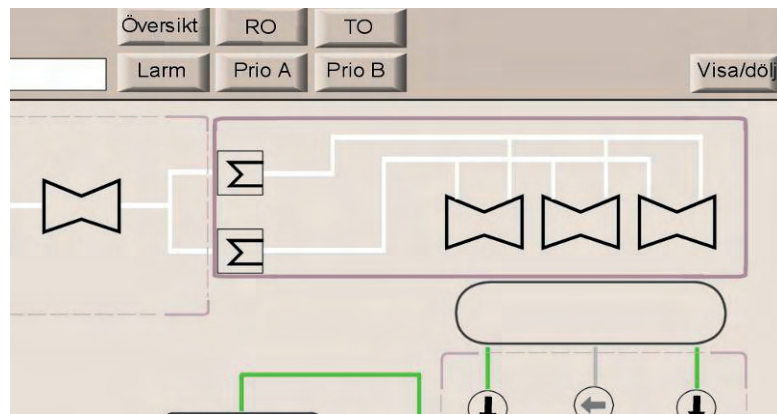
Figur 22: Exempel på översiktsbild för turbinoperatören. Säkerhetskedjor, nyckelvärden och driftstatus/larm är viktig information som påverkar situationsbedömningen och har därför lyfts fram.

Ett fast fält för navigering, senaste larm och viktiga funktioner såsom tysta och kvittera larm har placerats längst upp. Det senaste larmet är viktigt att inkludera för att operatören alltid ska kunna se detta oavsett var i systemet han/hon befinner sig för tillfället. Endast mycket nödvändiga funktioner ska införas här för att minska behovet av utrymme för det fasta fältet. Istället bör så stort utrymme som möjligt användas till att presentera information som är viktig för operatörens huvuduppgift; att styra och övervaka processen. Till vänster finns nyckelinformation för det som presenteras i processbilden (i detta fall avses hela turbinsidan). Den information som ur larmhanteringssynpunkt bör finnas här är information om säkerhetskedjor, normaliserade trender för nyckelvärden, hjälp för att upptäcka avvikelser (antingen trender, stapeldiagram eller polära diagram). Slutligen finns även information om senaste eller högst prioriterade larm för systemet samt en larmknapp som aktiverar en larmlista som enbart visar larm för den process som presenteras till höger.

I processbilden presenteras en mimik av själva systemet. De små, tunna ramarna anger att det finns olika delsystem som i sin tur är representerade i mer detaljerade bilder. Ramarna visar var gränserna mellan de olika systemen går vilket underlättar vid själva navigeringen så att operatörerna förstår hur systemet är uppbyggt och vilka objekt som ingår i vilka delsystem. Avsikten har varit att följa anläggningens befintliga systemindelning. Bilden är uppbyggd på sådant sätt att det som är i drift är färgmarkerat enligt den standard som föreligger för det aktuella kontrollrummet, t.ex. vitt för ledningar med ånga, grönt för kondenserat vatten etc. Samma typ av figurer som

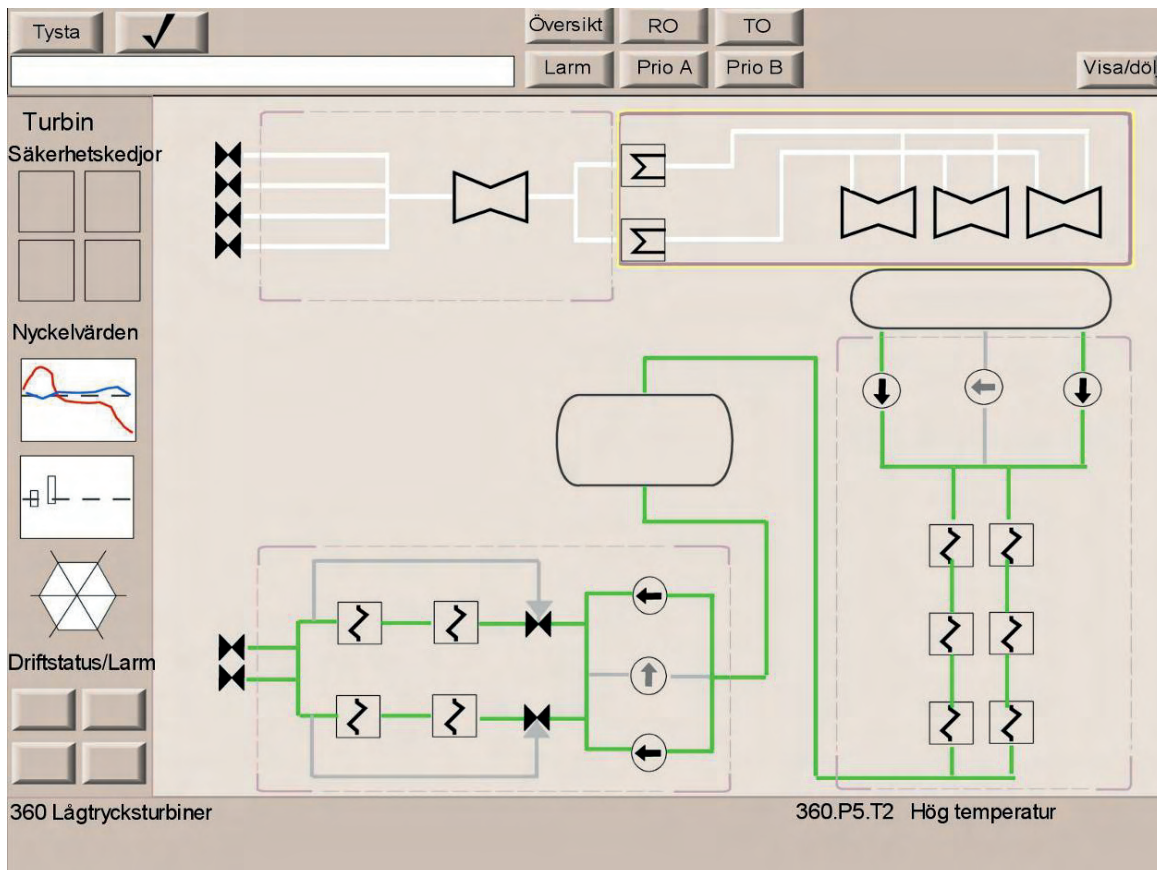
används i dagens kontrollrum är även använda i det bildskärmsbaserade gränssnittet för att säkerställa konsekvens och underlätta inläring. Dessutom minskar riskerna för fel. De förändringar som har införts härrör främst till objekt som ej är i drift. För att minska risken för felavläsningar indikeras tydligt objekt som inte är i drift genom att t.ex. indikeringen för pumpar roteras. Ledningar, ventiler, pumpar etc. som inte är i drift är dessutom nedtonade för att inte fånga onödig uppmärksamhet. Dock syns alla objekt eftersom det annars finns risk att operatören inte känner igen sig eller förstår samband mellan olika delsystem och olika driftlägen. Så länge allt är normalt är även tanken att specifika värden inte ska presenteras på översiktsbilder.

Ramarna som indikerar olika delsystem är även tänkta att markera om det föreligger något larm i det underliggande systemet. Då blir ramarna fetare (figur 23). Om systemet fortfarande fungerar som avsett förändras inte ramfärgen. I de fall systemet fungerar med reducerad effekt eller har slutat att fungera ändras färgen. Dock införs inte några blinkningar eftersom de bedöms störa mer än de gör nytta. Larmen signaleras även på andra sätt vilket gör att operatören sannolikt upptäcker dem.

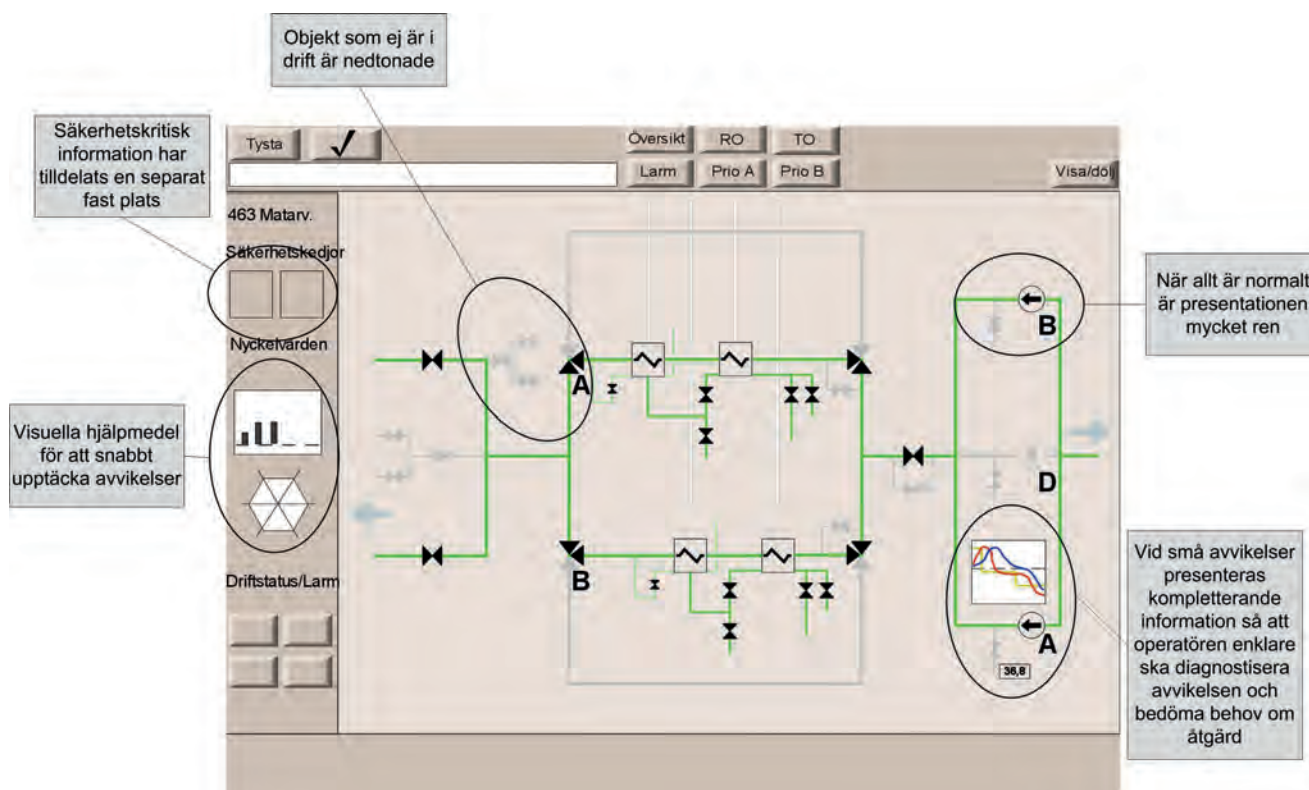


Figur 23: Ifylld, fet ram indikerar larm i det representerade delsystemet.

Den nedre delen av skärmen är tänkt att kunna användas för kompletterande information om objekt utan att operatören ska vara tvungen att gå ner i detaljbilder. När operatören väljer att markera ett objekt eller parameter visas detta i gränssnittet genom att ramens färg kompletteras med en annan ton. Samtidigt visas i det nedre fältet kompletterande aktiv information om det markerade systemet/objektet. Informationen kvarstår tills något nytt objekt/ny parameter väljs eller operatören väljer att stänga informationsrutan. Osäkerheter finns dock huruvida utrymmet räcker till detta eller om processbilden ska få mer plats. Vidare utvärdering krävs. I fallet ovan då operatören kan se att det finns ett larm i ett delsystem kan det alltså räcka med att markera delsystemet för att aktuell status ska presenteras i nedre delen av gränssnittet (figur 24). Förutom senaste (eller mest allvarliga) larm kan viktig status- och driftinformation presenteras. Från processbilden kan operatören välja att öppna en mer detaljerad bild över ett specifikt system. Den här nivån kopplas till det som ovan kallats systembaserad presentation. Figur 25 sammanfattar några av de viktiga kriterierna att beakta.

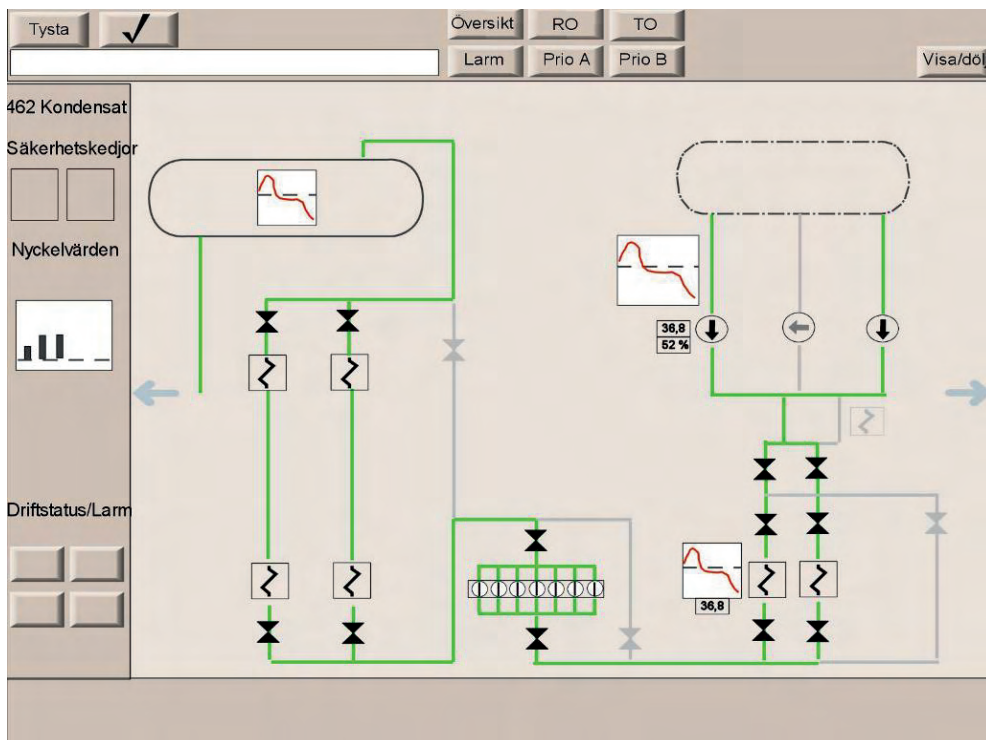


Figur 24: Kompletterande information till det markerade systemet.



Figur 25: Exempel på viktiga designkriterier för att underlätta övervakning och snabb och korrekt larmhantering

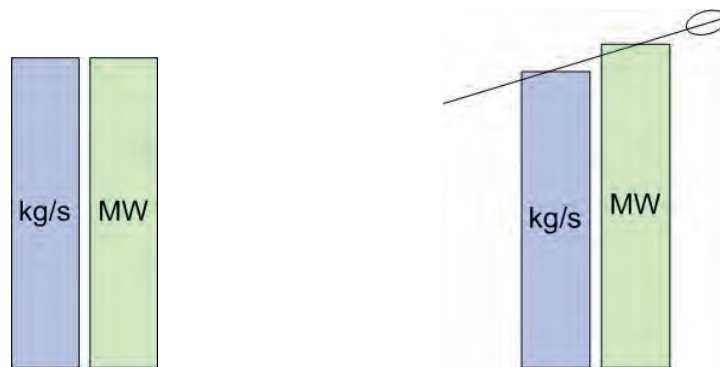
När en mindre avvikelse inträffar (en konstaterad avvikelse men innan en larmgräns har passerats) är avsikten att gränssnittet ska stödja operatören att snabbt upptäcka detta genom att tända upp kompletterande information som kan behövas för att förstå och tolka situationen så att beslut kan fattas och utföras. För de flesta parametrar kommer detta att innebära att mätvärden och en mindre trend presenteras i processbilden (figur 26).



Figur 26: Systembild med exempel där avvikande information tänts upp

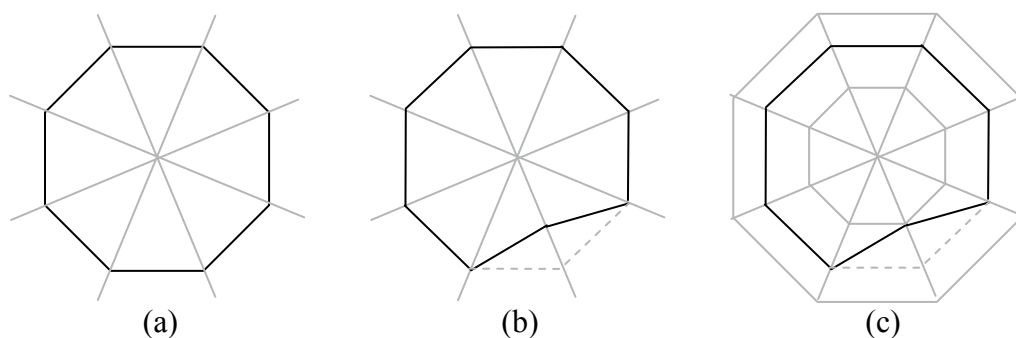
Att kunna upptäcka avvikelser är ett effektivt sätt att minska mängden larm och för att underlätta för operatören är det fördelaktigt om systemet kan hjälpa operatören att upptäcka mindre avvikelser tidigt. Eftersom sättet som informationen påkallar uppmärksamhet (enbart genom att tända upp information) gör det att operatören uppmärksammar detta när vederbörande har tid utan att det blir ett störande moment då operatören kan ha fler och mer viktiga uppgifter att utföra.

I de fall mass- och/eller energibalanser är intressanta ur övervakningssynpunkt bör dessa presenteras bland nyckelinformationen till vänster för respektive delsystem. Stapeldiagram är lämpliga att använda för att snabbt upptäcka avvikelser vid jämförelser mellan två eller flera värden (figur 27). Dessutom kan en ytterligare förstärkning i form av ett "vattenpass" användas, eventuellt tillsammans med en färgindikering, för att påkalla operatörens uppmärksamhet. Dock gäller att anpassa vilka systemtoleranser som ska tillåtas.



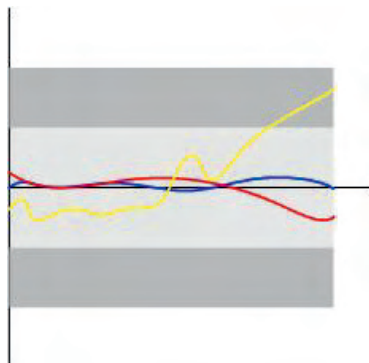
Figur 27: Staplar för enkel jämförelse av två värden. Till vänster är balansen god medan det finns en avvikelse till höger.

För att upptäcka avvikelser kan polära diagram vara användbara (figur 28). Beroende på storleken av diagrammen kan även mätvärden inkluderas. På detta sätt fås integrerade informationskällor (May och Petersen, 2006) vilket underlättar för operatören och möjliggör utläsning av både avvikelsen och det faktiska värdet. Om behov finns kan även larmgränserna indikeras.



Figur 28: Polära diagram där allt är normal i (a), ett avvikande värde enkelt konstateras i (b) och där larmgränserna inkluderats i (c)

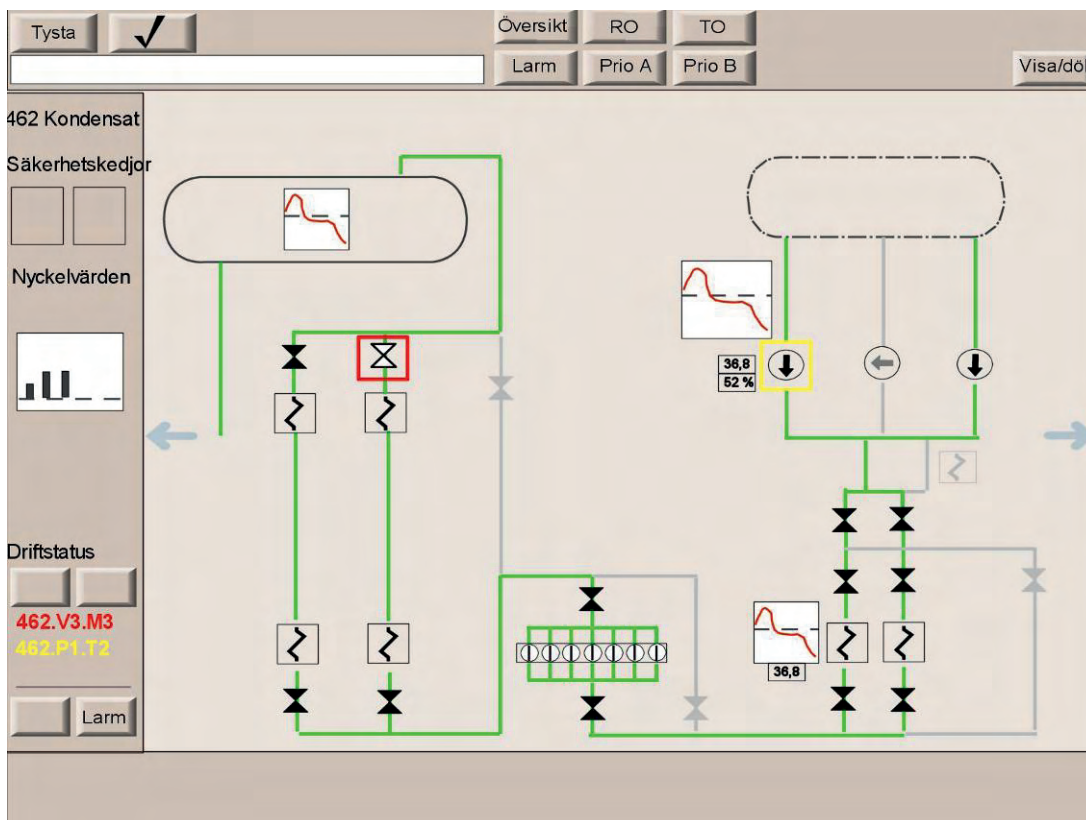
Trenderna som också kan visas bland nyckelinformationen på bilden vänstra sida är till för att inkludera historik för de parametrar som kräver detta vid en bedömning. För att det ska vara möjligt att inkludera flera olika parametrar i samma trenddiagram när det är så litet bör värdena normaliseras (figur 29). Om värdet följer sitt börvärde ska det ligga längs med mittlinjen. Det ljusgrå området anger tillåtna värden. Då värdet passerar in i det mörkgrå fältet passerar den första larmgränsen (t.ex. högnivåalarm 1) och om värdet fortsätter förbi, utanför det mörkgrå området passerar den andra larmgränsen då en sådan finns.



Figur 29: Exempel på normaliserat trenddiagram

Då ett värde passerar en larmgräns markeras detta med en fast ram runt objektet i systembilden (figur 30) och larm presenteras i övriga larmvisningar såsom larmlistor, översiktsinformation och avsedda platser för kompletterande information. Utformningen avgörs av larmets prioritet. Längre fram diskuteras hur olika prioritetsnivåer bör presenteras. Ramen har valts att presenteras fast och inte blinkande eftersom detta bedömts störa operatören mer än det gör nytta. Särskilt är risken stor för problem i samband med störningar då det finns risk att väldigt mycket i gränssnittet kommer att blinka vilket gör det svårt att överblicka och är ett störande moment. I lugn drift bedöms det som tillräcklig att markera med en fast ram eftersom operatören mycket sannolikt kommer att upptäcka den ändå.

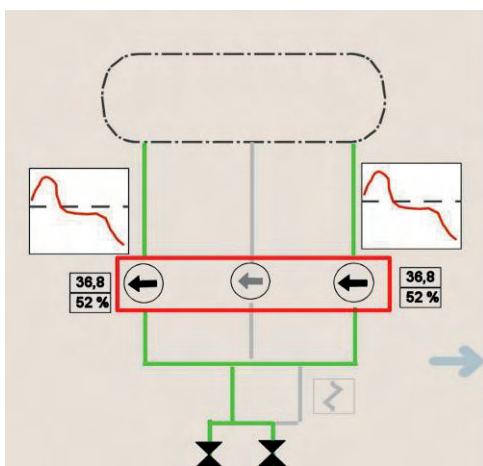
När en funktion inte är uppfylld längre ändras dessutom visningen av själva objektet. I fallet nedan är det en ventil som inte fungerar som avsett längre (larmet markerat med röd ram) och eftersom ventilen inte är ifylld längre betyder det att funktionen inte uppfylls.



Figur 30: Exempel på larmvisning i systembilden

Om flera larm uppkommer för en typ av funktion kan dessa larm vid behov grupperas och undertrycka underliggande larm. Ett exempel ges i figur 31 nedan där kondensatpumparna inte fungerar längre vilket markeras med den röda ramen och att pumparna vridits 90 grader. Att den mittersta fortfarande är grå beror på att dess signal är att vara vilande medan de två andra förväntas vara i drift. I larmlistan ska enbart ett summalarms ges som talar om att den övergripande funktionen för kondensatpumparna inte uppfylls. På en mer detaljerad sida eller en sida för det övergripande larmet går det självklart att få mer utförlig information. En tanke som kan fungera i larmlistan är att det övergripande larmet presenteras och markeras med ett plus i kanten så att operatören

förstår att det finns fler underliggande larm. Då operatören bedömer att det finns tid eller behov kan han/hon själv välja att öppna och läsa dessa larm.

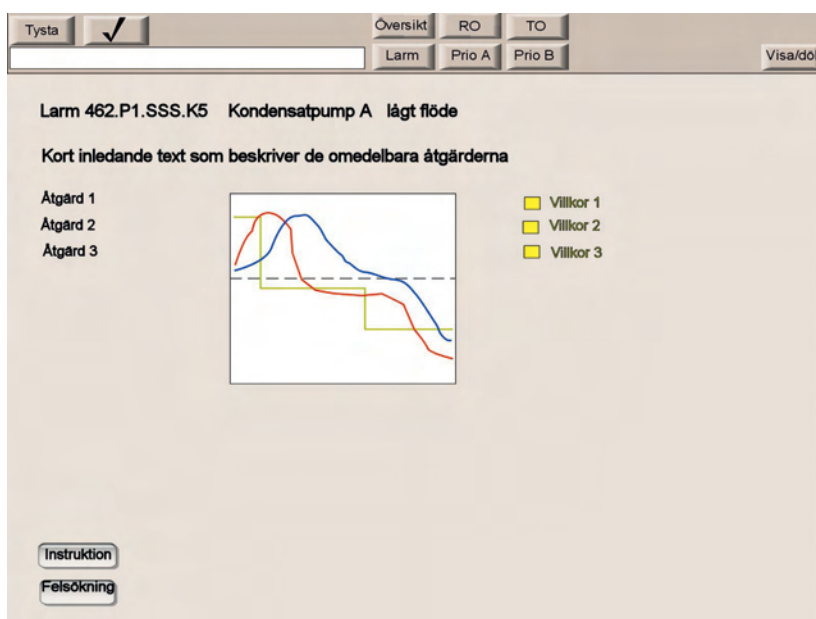


Figur 31: Felindikering på en funktion

De tidigare studierna har visat att erfarna operatörer värderar kunskapen om referensvärden mycket högt eftersom de hjälper operatörerna att bedöma information. Genom att presentera information med referensramar kan den mer oerfarne operatören i större utsträckning snabbare tolka informationen och avgöra om ytterligare insatser krävs eller ej. Referensramarna presenteras så fort en mindre avvikelse uppstått och kvarstår tills parametern återgått till normala värden. I möjligaste mån ska referensvärden presenteras för så många variabler som möjligt på så övergripande bilder som möjligt.

En slutsats från studie 4 var också att operatörerna oavsett grad av erfarenhet i princip fattar samma typ av beslut givet att de tar till sig samma information eftersom arbetet ofta är instruktionsstyrt. Svårigheterna handlar om vilka parametrar som är extra viktiga att kontrollera regelbundet och att snabbt upptäcka små avvikelser. Det nya systemets mål är just att bidra med hjälp på denna punkt.

För att kunna få ytterligare information, manipulera objekt eller hitta stöd för utförande av uppgifter finns en slutlig nivå kallad situations- eller uppgiftsnivå. Denna sida kan utformas för att passa för att ge information om specifika objekt eller anpassas till olika typer av situationer eller uppgifter (figur 32). Sidan i sig är uppbyggd på ett lite annat sätt än de två ovanstående nivåerna eftersom det nu inte finns något syfte med att införa en faceplate till respektive objekt. Tanken är att informationen nu redan ska vara på sin "lägsta", mest detaljerade nivå. Exempel på sidor som bör införas är sidor för störningshantering, sidor för larminformation och sidor för objektinformation. På alla dessa sidor ska därtill länkar till instruktioner finnas. I exemplet nedan är tanken att operatören kan högerklicka på respektive larm och få upp instruktioner för hur dessa situationer ska hanteras. I denna bild ska operatören kunna ändra alla de inställningar han/hon kan behöva göra på objektet. På den sida som finns för larminformation ska förutom larmet i sig, värden inklusive historik även omedelbara åtgärder samt troliga orsaker vara beskrivna så att operatörens tid till agerande och felsökning kan kortas och underlättas. Feltillstånd som är logiska följdkonsekvenser av ett larm ska presenteras på larminformationssidan med en markering om de har löst ut eller ej. Larm som är följdalarm ska ej generera ett eget larm men bör länkas i larmlistan.



Figur 32: Detaljerad larminformation

En larmlista finns inbyggd i systemet (figur 33). Larmlistan går att aktivera direkt från en knapp i det fasta fältet. Larmlistan visar alla larm men kan enkelt grupperas om larmen enligt samma princip som används i många e-postprogram. Operatören kan klicka på en valfri rubrik i larmlistan och därefter grupperas larmlistan om efter operatörens val. Detta markeras genom en liten pil som anger vilken kategori larmen grupperats efter. Därefter är larmlistan även sökbar för att kunna hitta specifika larm eller ta ut larm för specifika system eller prioriteter. Där går det även bra att söka och sortera efter olika kriterier i följd, t.ex. först efter prioritet, därefter system och sist tid med denna funktion.

The screenshot shows a software window with a title bar containing 'Tysta', a checkmark, 'Översikt', 'RO', 'TO', 'Larm', 'Prio A', 'Prio B', and 'Visa/dölj'. The main content area is a table with the following columns: 'Prio', 'Tid', 'Larm', 'Beskrivning', and 'Åtgärd/Instruktion'. The table contains 20 rows of data, each with placeholder text. To the left of the table, there is a 'Sortera' section with two buttons. At the bottom left, there is a label 'Larm 123.KH45'.

Prio	Tid	Larm	Beskrivning	Åtgärd/Instruktion
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	
Prio	Tid	Larm	Beskrivning	

Figur 33: Principiell utformning av larmlista

Utformningen av larmtexterna kommer att kvarstå enligt dagens standard och med etablerade förkortningar. En genomgång behöver dock ske så att det inte överförs några inkonsekvenser till det nya systemet. En kort beskrivande text kompletterar larmet. Genom att markera larmet fås viss information upp i det nedre fältet. Genom att välja larmet kommer operatören till larminformationssidan som beskrevs ovan som den detaljerade nivån i gränssnittet.

Larm bör presenteras i 3-4 nivåer och den lösning som valts här är 3 larmnivåer och därtill kan ”avvikelsenivån” (då mindre avvikelser konstaterats och kompletterande information i form av trend och värde visas i gränssnittet) klassas som en larmnivå av mycket låg prioritet. Högprioriterade larm ska vara larm som påverkar väsentliga processdelar, konsekvenserna kan leda till miljö- och/eller personskada och ska kräva snabb åtgärd av operatören. Dessa larm ska visas på alltid synlig plats i form av slitsar på kontrolltavlor och även på utmärkande platser i gränssnittet. Därtill ska självklart den vanliga visningen i form av processbild och larmlista komplettera. Larmen har en ljudsignal kopplad till sig för att säkerställa att larmet uppmärksammas snabbt. Utlösta säkerhetskedjor ingår t.ex. i denna grupp.

För de mellanprioriterade larmen kan konsekvenserna vara aningen mildare eller så är tidsrymden för korrigerande större. Dessa larm presenteras inte på kontrolltavlor men väl i det bildskärmsbaserade gränssnittet. Larmen ingår normalt i nyckelinformation för olika delsystem och kommer därmed att synas tydligt. Dessa larm presenteras också med en audiell signal för att fånga operatörens uppmärksamhet. Högprioriterade och mellanprioriterade larm använder med fördel samma signal som redan finns i dagens kontrollrum.

Lågprioriterade larm presenteras enbart i processbilder och i larmlistor. Larmet ska endast ha en mycket diskret signal för att fånga uppmärksamhet. I lugna driftsituationer kommer detta räcka och i störningar är det inte de lågprioriterade larmen som ska fokuseras utan då är det viktigare att operatörerna får en dräglig arbetsmiljö utan en kontinuerligt klingande ringklocka (Edworthy, 1994). Ett klickande ljud kan räcka.

En funktion för att kunna tysta larm ska finnas. Denna bör dock enbart tysta larm av samma eller lägre prioritet för en viss tid framöver. Kommer det in ett nytt larm med högre prioritet än vad som funnits innan bör detta signaleras till operatören.

För att underlätta för operatören och minska mängden navigering finns det även en knapp i det fasta fältet som gör att den information som normalt visas i samband med larm och avvikelser kan tas fram (trender och mätvärden) på operatörens begäran. Efter de studier som utförts har det setts att operatörerna aktivt söker och kontrollerar information i gränssnittet. Det är därför viktigt att den informationen finns tillgänglig. Dock ska den inte vara påträngande och dessutom kan det bli för mycket för en relativt oerfaren operatör och rekommendationen är därför att denna typ av information ska vara valfri att visa och inte visas som standard i gränssnittet.

En av fördelarna med datorbaserad teknologi är att systemen blir flexibla och därmed möjliggörs en större integrationsmöjlighet mellan övervakningssystem, larmsystem och instruktioner. Denna fördel bör nyttjas i nya system eftersom operatörerna arbetar med de olika delarna integrerat för att lösa sina arbetsuppgifter. Det är viktigt att därmed systemet stödjer operatören i möjligaste mån. Till respektive larm ska det vara enkelt att

öppna instruktionen eller få en kort sammanfattning av den. Dessutom för felsökning underlättas genom att logikskeman finns i digital form.

Lösningen som tas fram är tänkt att ersätta dagens visning av kondensat- och matarvattensystemet. Två bildskärmar behövs för den lösning som föreslås eftersom operatören ska kunna ha larmlistan uppe på en skärm och kontrollera kompletterande information på en annan skärm. Alternativet med bara en skärm ställer alltför stora krav på operatörens korttidsminne, ökar risken för felhandlingar och blir omständligt att arbeta med. Fler skärmar bedöms inte realistiskt så länge det enbart skulle tänkas vara kondensat- och matarvattensystem som styrs från det bildskärmsbaserade gränssnittet. För eventuella framtida ut- och ombyggnationer går dock systemet enkelt att utöka och bygga vidare på och då kan det vara motiverat med fler skärmar.

En storbildslösning kan vara intressant som komplement. Dock ska den utformas för sitt eget syfte och inte bara visa ”vanliga” bilder på en större yta. För larmpresentation på storbildsskärm ses framförallt att det är viktigt att fundera över larmens intressebehov för de olika operatörsrollerna i kontrollrummet. Endast larm som är av intresse för minst två operatörsroller bör placeras på en storbildsskärm.

Övervaknings- och larmsystemet är i princip uppbyggt med tre olika typer av bilder vilka i sin tur passar för att hantera olika situationer och olika steg i larmhanteringsprocessen. Beroende på vilken typ av situation eller uppgift som ska hanteras är olika presentationsformer lämpliga. Fyra olika typsituationer kan identifieras för kontrollrumsoperatören i ett kärnkraftverk:

1. Fulleffektdrift
2. Enkel störning
3. Stor störning
4. Återkommande avvikande driftlägen (uppgång, nedgång, revision)

Det första driftläget, fulleffektdrift, karaktäriseras av lugna förhållanden där operatörerna försöker optimera driften. Besluten de fattar kan härröras till den strategiska nivån i COCOM-modellen (Hollnagel, 1998). Operatörerna tar hänsyn till många olika mål och tar in information från flera olika källor i styrsystemet och från andra håll. I princip alla nivåer i ECOM-modellen (Hollnagel, 2005) kan uppkomma beroende på vilken typ av arbetsuppgifter operatören utför. Detta ställer stora krav på gränssnittet som ska kunna ge operatören all den information som krävs samtidigt som operatören dessutom ska kunna välja ut specifik information för mer noggrann övervakning under en kortare tid. Med koppling till larmhanteringsmodellerna kan sägas att operatören själv aktivt väljer information och passivt reagerar. På detta sätt upptäcks olika avvikelser. Operatören har tid att ta in information och att förstå och tolka processens läge (vilket vederbörande troligtvis redan har kontroll över). Kvitteringen sker av individuellt larm. Eftersom målet är att optimera driften kan operatören (om det inte är ett kritiskt larm) ta sig tid att analysera larmet, se över vilka konsekvenser som kan uppkomma och utvärdera olika åtgärdsförslag. Operatören följer därför alla steg i larmhanteringsmodellen av Smith m.fl. (2003). Detta gör att operatören är intresserad av detaljerad information om processen, om olika konsekvenser och följdverkningar samt olika troliga orsaker. Denna typ av information ska därmed vara presenterad på larminformationssidan som tagits fram. Vidare är det viktigt att operatören har sökmöjligheter i larm- och händelselistor för att själv kunna utvärdera orsakerna.

För att ett system ska stödja operatörerna i denna uppgift krävs att utformningen (Tran m.fl., 2007):

- Assisterar operatören att bedöma och beräkna den mest optimala lösningen avseende många olika parametrar och eventuella motsägelsefulla mål
- Stödjer utvärdering av lösningsförslag och itereringar
- Kan visa en mängd olika typer av information, allt beroende på operatörens behov för att kunna göra en god situationsbedömning

Det förslag som tagits fram innehåller många olika delar som underlättar för operatören att utföra olika bedömningar. Larmlistan är bra i denna situation eftersom den innehåller alla de larm som är aktiva som operatören måste ta i beaktande. Möjligheter finns därtill att ta fram samt skapa egna trendbilder för att kunna analysera olika händelseförlopp eller kontrollera en specifik parameter. Operatörens övervakningsbeteende i denna situation är komplext, styrs av kunskap, är kognitivt krävande och kan karaktäriseras som problemlösande och planerande snarare än passivt. (Mumaw m.fl., 2000). Dessutom är operatörerna viktiga komponenter för planering och utförande av underhåll, tester och reparationer (Tran m.fl., 2007). Vidare sägs att larm ska presenteras i larmlista och vara prioriterade, vilket väl stämmer med den presentationsform som finns föreslagen.

För en mindre störning karaktäriseras situationen av att operatören har tillräckligt med tid och mentala resurser att hantera situationen. Operatören kan ta hänsyn till några få olika mål. Uppgifterna är oftast regelbaserade eller instruktionsstyrda där operatörerna där operatörens arbetsinsats främst ligger i att välja korrekta regler och instruktioner att följa. Operatören har i detta läge inte några möjligheter att optimera driften utan arbetet handlar främst om att hantera situationen och en ”tillräckligt bra” lösning eftersträvas. Enligt COCOM-modellen tyder detta på arbete på en taktisk nivå och det gäller att hjälpa operatören att hitta rätt information som leder till korrekt instruktion. Processavvikelsen upptäcks fortfarande både med externa och interna faktorer. Efter nivåerna i ECOM-modellen kan ses att främst spårning, reglering och övervakning är aktuella. Långsiktig planering fokuseras inte utan det bör finnas planer för hur operatören ska tänka och prioritera i denna typ av situation. I Smiths (2003) larmhanteringsmodell följs stegen till och med de blåmarkerade rutorna. Operatören utför bedömningar om framtida konsekvenser men det sker inte någon djup analys av underliggande orsak.

För att system ska kunna stödja operatören på den strategiska nivån bör det utformas enligt (Tran m.fl., 2007):

- Hjälpa operatören finna en accepterbar lösning genom att hitta rätt instruktion och vägleda utförandet
- Hjälpa operatören att urskilja relevant information i gränssnittet
- Uppmärksamma operatören om information som motsäger beslutet och åtgärderna som tagits framkommer

Det larmförslag som presenterats integrerar larminformationen i processbilden. Genom att undertrycka ”oviktiga” larm (t.ex. exemplet ovan med kondensatpumpar som inte fungerar och logiska följdalarm i allmänhet) minskas operatörens mentala belastning och dessutom blir det enklare att identifiera den verkligt relevanta informationen.

Denna typ av arbetssituation påminner även om den situation som förekommer i återkommande avvikande driftlägen. Bedömningen har gjorts att rekommendationerna ovan även är tillämpbara för driftlägen såsom uppstart, nedgång och revisionsavställning.

Vid stora störningar karaktäriseras arbetssituationen av hög tidspress och hög mental arbetsbelastning. Operatören har i denna situation inte tid eller mentala möjligheter att bearbeta information utan allt bör presenteras klart, tydligt, rakt och enkelt och enbart vara fokuserat på det som verkligen är väsentligt i situationen. Om inte noga avväganden har gjorts avseende vilken information som är essentiell är risken att operatören fokuserar på den information som är enklast att förstå och ta till sig eller som är mest framträdande mest oavsett dess vikt (Tran m.fl., 2007). Operatörens primära arbetsuppgifter handlar om att snabbt kontrollera situationen och utföra åtgärder som säkerställer att anläggningen kan föras till ett säkert läge. Med hjälp av COCOM-modellen kan denna typ av situation definieras som opportunistisk kontroll då den styrs till stor del av den presenterade informationen. Operatören formulerar inte själv mål i denna situation utan det ska finnas tydliga, klara fördefinierade mål och målvärden som bara kontrolleras. Detta ger att det enligt ECOM främst enbart handlar om reglering och spårning, i alla fall initialt i denna fas.

För att bättre kunna stödja operatören behöver systemen i dessa situationer (Tran m.fl., 2007):

- Hjälpa operatören förstå vilken information som är relevant och vilken som ska bortses från
- Reducera informationsmängden
- Öka systemtoleransnivån för icke-kritiska system så att larmmängden kan minskas
- Samla den viktiga informationen på ett ställe för enkel tillgänglighet

För att kunna stödja operatören i denna situation krävs det att larmsystemet utformas så att viktiga larm och säkerhetskedjor i princip alltid är synliga. Tran m.fl. (2007) hävdar också att larm bör filtreras, men den bedömning som gjorts i detta projekt är att undertryckning kan vara fullt tillräcklig.

Enligt diskussionen ovan kan ses att det gränssnitt som tagits fram bedöms stödja operatören i olika typer av situationer som kan uppkomma och därtill har det även arbetats med olika inslag som underlättar för operatören att tidigare upptäcka avvikelser vilket i sin tur skulle kunna minska mängden larm totalt.

6 Diskussion

6.1 Resultat

Projektets två huvudsakliga mål har varit att ta fram riktlinjer för larmdesign samt ge förslag på hur dessa kan realiserars. För att undersöka detta utfördes ett flertal studier som visat på att operatörerna i svenska kärnkraftverk kan bli mer eller mindre påverkade i sin arbetssituation av de designförändringar som olika moderniseringsprojekt inneburit. Beroende på moderniseringens storlek, men även beroende på vilken hänsyn som tagits till utformningen av existerande kontrollrum, befintlig kunskap och etablerade arbetssätt påverkas möjligheten till en enkel och framgångsrik implementering av det nya systemet. Därtill är det dock viktigt att beakta fördelar och nackdelar med den teknik som införs. Det är inget självändamål i sig att bygga en kopia av ett redan existerande gränssnitt bara för att underlätta införandet. Det gäller att inkludera och bedöma operatörernas behov och vilka arbetsuppgifter som ska utföras och därefter anpassa tekniken till detta.

De faktorer som främst bör nyttjas i moderniseringsprojekt är att identifiera expertis och hitta nyckelparametrar och kritiska förhållanden. Detta är förhållanden som alltid är giltiga oavsett driftläge och som kan hjälpa operatören att kontrollera olika situationer, oavsett om dessa hänt tidigare eller ej. Det ekologiska arbetssättet med arbetsanalyser är mycket effektivt, men själva utformningen bör byggas upp enligt tidigare konventioner så operatörerna känner igen sig och att skärmbilderna överensstämmer med det övriga gränssnittet i kontrollrummet. Vissa idéer från ekologiska gränssnitt med flera kan införas om det finns fördelar med dem, men som separata inslag i gränssnittet.

Studierna har visat att några av de viktigaste faktorerna att beakta avseende operatörens prestation är att anpassa larmsystemet så att det fungerar för operatörernas varierande roller i olika driftsituationer, och att styr- och larmsystemet bättre måste leda operatören mot viktig information. I dag finns stora risker med informationsöverlast och detta måste också kunna hanteras i en arbetssituation.

6.1.1 Larmriktlinjer

Utvecklingen av larmriktlinjer har skett med svenska förhållanden som utgångspunkt. Detta innebär att fokus har legat på moderniseringar och uppgradering av befintliga kontrollrum. Eftersom arbetssättet är en mycket viktig faktor att beakta vid utformningen av gränssnitt kan det också sägas att de larmriktlinjer som tagits fram främst ska användas till förhållanden där arbetet präglas av instruktionsstyrda uppgifter, där skiftlaget är sammansatt av olika operatörsroller men där samarbetet är uttalat och strukturen inte är speciellt hierarkisk. Vid andra typer av förhållanden kommer anpassningar vara nödvändiga.

Larmriktlinjer för design

Vid genomgången av larmriktlinjerna sågs att många var applicerbara även för moderniseringsprojekt. Dock kunde det ses att en del också var väldigt detaljerade avseende texter, förkortningar, färg- och ljudval etc. Denna typ av rekommendationer är sådana som noga bör övervägas om de verkligen ska beaktas i moderniseringsprojekt. Ett viktigare krav är att säkerställa konsekvens och samstämmighet i kontrollrummet

och detta motiverar i många fall att istället för att följa larmriktlinjen bör istället den befintliga utformningen följas. Även om stora förändringar görs och det gamla systemet inte ska användas alls finns fördelar med att följa den tidigare utformningen eftersom operatörerna redan har denna kunskap med sig och då inte behöver lära om och lära nytt. Förutom operatörerna bör även andra personalgrupper som kan vara berörda av förändringar tas hänsyn till, t.ex. underhållspersonal.

En av de viktigaste aspekterna för att få effektivare larmsystem är att de anpassas efter olika driftförhållanden och olika informationsbehov i dessa situationer. I arbetet har olika larmhanteringsmodeller och Hollnagels COCOM-modell (Hollnagel, 1998) och ECOM-modell (Hollnagel, 2005) använts för att tillsammans med de empiriska studierna peka på vilken typ av information som är lämplig i olika situationer. Två typer av slutsatser har främst kunnat dras och det handlar först om att gränssnitten måste bli bättre på att leda operatören till den information som bör uppmärksammas och det andra är att referensramar bör inkluderas i större utsträckning än i dag. Det förslag som tagit fram försöker arbeta med just dessa principer genom att fokusera på aktiv, relevant information och skugga det som kräver mindre medvetenhet. Referensramar kan ges på olika sätt beroende på vilken typ av information som representeras.

Om operatörerna behöver mer information för att kunna utföra sin bedömning behövs i vissa fall historisk data vilken bäst presenteras som en trend. För att kunna inkludera fler värden på mindre yta kan flera parametrar dela ett diagram. Om diagrammet är litet bör alla värden normaliseras så att alla värden normalt rör sig längs en tänkt mittlinje och det är lika långt till respektive larmgräns. Vid större utrymme kan respektive värdes skala placeras i anslutning till diagrammet.

En ytterligare viktig faktor att beakta är vikten av samstämmighet och konsekvens mellan olika projekt. För att inte kontrollrummet ska bli en plats där en mängd olika system av varierande modernitetsgrad samsas måste en gemensam strategi och vision finnas för kontrollrummet i stort och för larmsystemet i synnerhet. Det kan i extrema fall vara som så att varje system som tas fram är mycket bra i sig men då alltför många olika system med olika uppbyggnad och utformning ska samarbeta går det inte alls.

Indelningen av larmriktlinjerna så att de är anpassade efter olika designfaser bedöms utgöra en förenkling av det framtida utvecklingsarbetet med kontrollrumsmoderniseringar. Dock behöver en utvärdering med utvecklingsingenjörer utföras för att säkerställa att indelningen stämmer med arbetet och de krav leverantören har på detaljinformation i olika utvecklingssteg. Ett syfte med att tydligare indikera vilka riktlinjer som bör följas är att underlätta samarbetet med leverantören. Om grundläggande funktioner och absoluta krav är identifierade redan i förfrågningsunderlaget är det mycket sannolikt att en god slutlösning kan erhållas. Om krav identifieras under utvecklingsprocessen eller om stora förändringar sker har ofta leverantören mycket svårare att bemöta detta till en rimlig kostnad.

Riktlinjerna som har tagits fram har främst utvärderats utifrån resultat som framkommit i studier som undersökt olika former av arbete med kondensat- och matarvattensystemet. Det har bedömts som att detta inte ska spela en avgörande roll för riktlinjernas användbarhet, men en uppföljning bör utföras på ett annat system för att säkerställa att riktlinjernas gruppering och prioritering fungerar generellt.

Om riktlinjerna används som avsett med en tydlig larmfilosofi som grund kommer respektive verk att vara mycket bättre förberedda inför framtida upphandlingar också. I samband med flera av intervjuerna framkom att det ibland var ganska generella skrivningar som gick i väg till en tänkt leverantör. Genom att tidigare kunna specificera och precisera kraven är möjligheterna större att få ett säkert och effektivt larmsystem. Dessutom underlättas utvärderingsarbetet eftersom kraven som ska verifieras är specificerade.

Ytterligare en anledning att nedteckna en larmfilosofi är att varje delprojekt ingår i kontrollrummets totala utveckling. Och om då inte varje delprojekt vet vilken strategi som föreligger är risken att olika projekt drar åt olika håll vilket kan leda till ett kontrollrum med många olika typer av delsystem som hanteras på olika sätt och där larmen prioriteras och presenteras på olika sätt. Vid intervjuerna med operatörerna framkom det att de ofta hade begränsad kunskap om bakgrunden till kontrollrumsförändringarna och det var sällan eller inte alls som de fick information om vilken designfilosofi som skulle följas. Genom att ha en larmfilosofi har operatörerna lättare att hantera olika projekt då de kan se hur dessa tillsammans går åt ett håll som förhoppningsvis innebär en bättre kontrollrumsmiljö och enklare gränssnitt.

För inspektion

Vid varje projekt som inbegriper förändringar i kontrollrumsmiljön ställs det krav från SKI:s sida att hänsyn ska tas till operatören och dennes förutsättningar. Inspektioner sker sedan av projekten för att säkerställa att de använder en utvecklingsprocess som systematiskt inkluderar och hanterar MTO-relaterade frågor. De faktorer som är viktigast att kontrollera i samband med moderniseringsprojekt är följande:

- Kontrollera att erforderliga erfarenhetsåterföringar av operatörernas kunskap och erfarenhet har utförts och dokumenterats.
Detta gäller särskilt för kritiska situationer där det är onödigt och kan vara svårt för operatören att lära om ett inövat arbetssätt.
- Relevanta referensmätningar ska ha utförts
- En larmfilosofi ska finnas framtagen vid projektets start och visa på det övergripande målet med larmsystemets utformning
- Till respektive projekt ska det dessutom finnas en kravspecifikation som anger specifika krav för det aktuella projektet
- Kontroll av kompetens hos dem som ska utföra arbetet
- Används etablerade utvecklingsprocesser?
- Används kontinuerliga utvärderingar där både användares synpunkter och utvecklingsingenjörers kunskaper tillvaratas?
- Har konkreta valideringsplaner tagits fram och efterföljts?
- Har hänsyn tagits till olika typer av driftfall och informationsbehov?

- Objektiva larmkriterier ska finnas framtagna för larmdefinition och larprioritering
- Användningsfokusering bör driva projektet, dvs. hur ska arbetet bli så effektivt som möjligt? Fokus ska inte ligga på användaren utan på användningen

6.1.2 Larmpresentation

Det lösningsförslag som tagits fram ska ses som ett principiellt förslag där ytterligare detaljer behöver införas inför utvärdering med operatörer. Denna utvärdering beräknas presenteras i en avhandling av Thunberg, årsskiftet 2008/09.

Fokus i hela projektet har varit larmpresentation och därför har inte någon större vikt lagts vid hur text, ikoner, symboler etc. för ”det vanliga” gränssnittet ska utformas. Den utformning som är gjort har endast utförts för att ha ett gränssnitt att integrera larmpresentationen i.

Som sågs ovan kunde i huvudsak två typer av slutsatser dras; (1) bättre vägledning i gränssnitten och (2) tydligare referensramar. Tydligare vägledning har utförts genom att tona ned information som inte kräver direkt uppmärksamhet. Dessutom har en avvikelsevenivå införts som enbart tänder upp kompletterande information i gränssnittet men det ökar ändå operatörens chanser att upptäcka dessa och korrigera innan larmtillstånd inträder. Beroende på tillgängligt utrymme och typ av parameter har det setts att olika referensrams presentationsformer är att föredra. Om många olika parametrar enbart ska övervakas och avvikelser enkelt ska upptäckas är de polära diagrammen bra eftersom det är enkelt att se om formen ändras. Dock är det svårare att representera värden och larmgränser i dessa bilder. Risken är också att operatören i en stressad situation tolkar ett larm fel, särskilt om det är ett värde som har sin axel riktad nedåt. Vid en snabb blick kan det lätt ske en förväxling mellan ett högnivåalarm respektive ett lågnivåalarm. I sådana lägen är klassiska stapeldiagram användbara istället.

Det förslag som framkommit innehåller främst egenskaper, former och objekt som operatörerna känner igen för att underlätta snabb inläring och säkerställa konsekvens med de övriga gränssnitten i kontrollrummet. Dock har funktionaliteten försökt utökas genom mer direkta länknings, enklare sökfunktioner och stöd i problemlösningen. På detta sätt underlättas arbetet med larmhantering då operatören enklare bör hitta den information han/hon är ute efter eller behöver stöd av. Det är främst på små övervakningsdetaljer som nya idéer införts, med polära diagram, överlagrad information, trender, fler diagram etc. Därtill finns vissa idéer kring hur larm bör presenteras på de övergripande bilderna för att indikera allvarligheten på en mer detaljerad bild. Istället för att enbart göra ramen runt ett system intakt kan den också märkas i ett hörn med en symbol för vilken typ av larm som genererats och vilken prioritet det har. Detta behöver dock utvärderas vidare tillsammans med operatörer för att hitta ett bra förslag.

Därtill har diskussioner förts huruvida auditiv information kan utnyttjas smartare i kontrollrummen. Inom sjukvården arbetas efter att standardisera ljud där olika korta slingor byggs ihop för att symbolisera olika typer av larm. Detta skulle kunna vara något även för kontrollrummet men bör främst övervägas i samband med större moderniseringar. För det projekt som utförts här har det bedömts som viktigast att

försöka minska det störande ljudet i samband med olika incidenter. Eftersom det lilla förslag som tagits fram är tänkt att kunna fungera med befintlig utrustning kommer det tyvärr inte att göra alltför stor direkt nytta, men detta bör vara en parameter som det aktivt arbetas med på sikt. När miljön i sig bli lugnare kan andra typer av ljud, som innehåller mer information, införas. Risken i dag är att även om smartare ljud införs drunknar de bland de övriga larmsignalerna i en störning. Och i en lugn situation bedöms inte nyttan lika stor. Dock är det ett intressant område som bör utredas vidare.

Larmutformning på storbildsskärm har inte diskuterats i föreliggande rapport då det gränssnitt som utvecklats enbart varit inriktat på relativt små system vilka inte kräver storbildsvisning. Vid större moderniseringar bedöms det dock som mycket troligt att någon form av storbildsvisning kommer att implementeras i kontrollrummet och delvis ersätta dagens befintliga kontrolltavlor. Riktlinjer för hur larm ska presenteras på storbildsskärmar kan inte dras från de studier som ingått i detta projekt men det är alltid viktigt att beakta syftet med användargränssnittet, oavsett vad det är. I fallet med storbildsskärm skiljer sig syftet från de ordinarie arbetsstationerna eftersom syftet med en storbildsskärm är att presentera information och underlätta för operatören att skapa en bild av anläggningens status. En arbetsstation ställer andra krav då operatören i större utsträckning interagerar med gränssnittet.

6.2 Metoddiskussion

Studierna under etapp 1 och 2 har främst varit av kvalitativ karaktär då målet var att identifiera olika faktorer som påverkar operatörens beteende och prestation i samband med larmhantering i olika situationer. Flera olika metoder har använts för att kartlägga de faktorer som påverkar operatörens larmhantering och -behandling. Avsikten har varit att erhålla resultat som tydligt kan omsättas till konkreta riktlinjer för framtida larmutformning. Detta har påverkat metodurvalet. Med färre men djupare studier hade en annan typ av resultat kunnat erhållas som troligtvis skulle kunnat innehålla en högre grad av ny kunskap men samtidigt hade risken varit att resultaten hade varit alltför forskningsinriktade och inte tillämpbara.

I respektive studie har det ofta ingått ett relativt litet antal personer (vanligtvis runt 6 personer). Detta innebär att det statistiskt sett inte går att dra alltför långgångna slutsatser av resultaten, men samtidigt ska hållas i åtanke att det på ett block arbetar totalt 7 skift. Detta gör att tillgången på personal är begränsad och det går inte att intervjua mer än alla. Eftersom tillgången på studieobjekt varit begränsad har resultaten fått ses som indikationer snarare än absoluta sanningar. Därmed accentueras även vikten av studie 9 som använder resultaten från de föregående studierna för att utveckla ett larmgränssnittsförslag.

Problem med extern validitet brukar uppkomma i samband med observationsstudier eftersom det är omöjligt att hålla förhållanden konstanta och likadana mellan olika observationer i en verklig miljö. I fallet med ett kärnkraftskontrollrum bedöms dock den externa validiteten vara relativt god eftersom det är i samma kontrollrum studierna utförs, personalen har en relativt homogen utbildning och träning, rollerna är tydligt fördelade och gäller oavsett skift. Dessutom kan studierna vid behov upprepas. Därtill har resultaten från observationsstudierna alltid kompletterats med någon form av ytterligare metod för att undersöka om metoderna pekar mot samma resultat. För att

minska risken för problem med den interna validiteten har en person varit involverad i samtliga studier, antingen som utförare av studien eller i samband med analys och granskning av resultat. För att säkerställa att resultaten är valida har sammanställningar av resultaten kontrollerats av studieobjekten innan fortsatt analys har skett på Chalmers.

Resultaten fokuserar främst larmutformning av kondensat- och matarvattensystem för F3/O3. I de inledande studierna kunde dock ses att olika kontrollrumsutformningar inom särskilt kärnkraftsindustrin liknar varandra i många hänseenden, t.ex. organisation, utbildning och arbetssätt. Detta gör att de principiella resultat som framkommit i projektet troligtvis är applicerbara på olika typer av anläggningar och för olika typer av system.

6.3 Fortsatt arbete

Projektet har resulterat i ett förslag på indelning av larmriktlinjer för moderniseringsprojekt och ett gränssnittsförslag på hur larm bör presenteras i uppgraderade system. Dock är resultaten inte ännu validerade. Rekommendationer för fortsatt arbetet är därför att utvärdera designförslagets funktion. Larmriktlinjerna bör utvärderas med hjälp av erfarna utvecklingsingenjörer på de svenska kärnkraftverken. Det principiella gränssnittet som tagits fram behöver detaljutformas med hjälp av operatörer på ett verk för att därefter kunna ingå i användartester. Genom att utvärdera det framtagna gränssnittet kan svar fås om vilka larmriktlinjer som är extra viktiga att följa och om några riktlinjer ska tas bort, omformuleras eller läggas till.

I framtiden behövs det troligtvis inte direkt forskning kring specifika förhållanden för moderniseringar av larmsystem. Istället bör forskningen fokusera på nya larmlösningar och lägga ett större fokus på larmhantering i grupp. Tidigare studier har främst fokuserat på en operatör och dennes interaktion med systemet. Dock sker sällan arbetet i dagens kontrollrum av enskilda aktörer, utan team-work är allt vanligare. Utökade studier kring larm och skiftlagets kommunikation och samarbete kring larm kan leda till värdefull information om vilket innehåll som behövs i larmmeddelanden och hur larmhanteringen bör gå till. I samband med dessa projekt bör det också ingå att värdera vilka faktorer som är särskilt viktiga att beakta för moderniseringsprojekt.

Ytterligare forskning bör också fokusera på ljudmiljön i kontrollrummet. Ulfvengren (2003) har utfört flera intressanta studier kring ljuds budskap inom flygbranschen. En praktisk tillämpning och utvärdering av ljudsignalers budskap i kontrollrumsmiljö bör utföras innan slutsatser kan dras om ljudsignaler ska vara informationsbärare av olika prioritet hos larm.

7 Slutsatser

De viktigaste slutsatserna som framkommit i detta projekt är:

- Larmsystem måste kunna anpassas till olika operatörsroller och olika informationsbehov
 - Operatörens arbetsbelastning ska hållas på en rimlig nivå genom att ge rätt information, vid rätt tillfälle för den aktuella situationen
- Larmsystemen ska leda operatören till att hitta rätt information och bör möjliggöra tidig upptäckt av avvikelser
- Moderniseringsprojekt medför speciella förutsättningar och ställer krav på att:
 - En larmfilosofi ska finnas dokumenterad
Dokumentet ska ange kontrollrummets inriktning och utseende över tid och medföra att separata projekt sätts in i ett sammanhang
 - Konsekvens med befintligt gränssnitt ska finnas, vilket medför att många riktlinjer blir irrelevanta att följa. Systemet ska upplevas som ett system av operatören
 - Insamling av erfarenheter och kunskaper hos personalen ska ske innan utformning, så att det nya systemet ska fungera för målgruppen
- Larmdefinitioner och prioritetsnivåer ska sättas objektivt och dessutom ska en kontroll ske att larm kräver en respons för att hålla nere mängden larm i olika situationer
- Larmsystemet måste ses som en del i det överordnade kontroll- och styrsystemet och ska därmed utformas tillsammans med detta och med instruktioner och utbildning.

Det gränssnittsförslag som tagits fram i detta projekt är uppbyggt i princip i tre nivåer för att underlätta och minska behovet av navigering:

- Processbild
- Systembaserade presentationer
- Uppgifts- eller situationshandling

Alla nivåerna liknar varandra i uppbyggnad med fast fält och därtill en presentationsyta som i sin tur är kopplad till olika faceplate-liknande lösningar. Avsikten med gränssnittet har främst varit att enklare kunna upptäcka avvikelser och korrigera dessa, samt att gränssnittet ska kunna anpassas efter olika informationsbehov. Informationen är dubblerad och presenteras på olika sätt, desto högre upp i hierarkin desto mer övergripande information. Dessutom har åtgärder vidtagits som gör att information sällas och sorteras så att operatören inte ska bli överbelastad vid störningar. Utökade funktionsmöjligheter har också införts i form av sortering, sökning, länkning av dokument och val av trender efter behov.

Referenser

- Alvesson, M. & Sköldböck, K. (2006). *Tolkning och reflektion: vetenskapsfilosofi och kvalitativ metod*. Lund: Studentlitteratur.
- Andersson, A.W. (2003). Larm. Retrieved 2003 05 11, 2003, from <http://www.hci.uu.se/courses/1md101/vt03/Larmexempel.htm>
- Andersson, J. (2006). *Situationsanpassning för kontroll - en studie av turbinoperatörers arbete under husturbindrift vid Ringhals kärnkraftverk*. Luleå tekniska universitet, Luleå.
- Bligård, L.-O. (2007). *Prediction of Medical Device Usability Problems and Use Errors*. Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Blond, F. & Josefsson, F. (2001). *Evaluation of the alarm system of the Preem refinery*. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Bransby, M.L. & Jenkinson, J. (1998a). Alarming performance. *Computing & Control Engineering Journal*, 9(2), 61-67.
- Bransby, M.L. & Jenkinson, J. (1998b). *The management of alarm systems*: HSE Books.
- Burns, C.M. & Hajdukiewicz, J.R. (2004). *Ecological Interface Design*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Burns, K. (2000). *Mental Models and Normal Errors in Naturalistic Decision Making*, 5th Conference on Naturalistic Decision Making. Tammsvik.
- Bye, A., Kårstad, T., Nilsen, S., Barmsnes, K.A., Førdestrømmen, N., Valseth, A., m.fl. (1992). *An integrated alarm system - a concept study: HWR-308*, Institutt for Energiteknikk, OECD Halden Reactor Project.
- Bye, A. & Moum, B.R. (1996). *Alarm Handling Systems and Techniques Developed to Match Operator Tasks*.
- Connelly, C.S. (1997). Lack of planning in alarm system configuration is, in essence, planning to fail. *ISA Transactions*, 36(3), 219-225.
- de Waard, D. (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. University of Groningen, Groningen.
- Detsis, G., Dritsas, L. & Kostaras, J. (2001). *Information filtering and control for managing the information overload problem* People in control - the second international conference on human interfaces in control rooms, cockpits and command centres. Southend-on-Sea, Essex: Formara Ltd.
- Edworthy, J. (1994). *Urgency Mapping in Auditory Warning Signals*. In N. Stanton (Ed.), *Human Factors in Alarm Systems*. London: Taylor and Francis.
- EEMUA, The Engineering Equipment and Materials Users Association. (1999). *Alarm Systems - A Guide to Design, Management and Procurement (Vol. no. 191)*: EEMUA publication.
- Embrey, D. (2004). *Qualitative and Quantitative Evaluation of Human Error in Risk Assessment*. In C. Sandom & R. Harvey (Eds.), *Human Factors for Engineers*. London: Institution of Electrical Engineers.
- Endsley, M.R. (1988). *Design an Evaluation for Situation Awareness Enhancement*, Human Factors Society 32nd Annual Meeting. USA, Santa Monica.
- Endsley, M.R. (1995). *Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems*. *Human Factors*, 37(1), 32-64.
- Endsley, M.R. & Garland, D.J. (2000). *Situation Awareness Analysis and Measurement*. England, London: Lawrence Erlbaum Associates.

- Endsley, M.R. & Kaber, D.B. (1999). Level of Automation Effects on Performance, Situation Awareness and Workload in a Dynamic Control Task. *Ergonomics*, 42(3), 462-492.
- Endsley, M.R. & Kiris, E.O. (1995). Out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors*, 37(2), 381-394.
- Farbrot, J.E., Bye, A. & Berg, Ø. (2000). How to design alarm systems that also work during plant upset conditions. Retrieved 2004-02-04, 2004, from http://www.ife.no/media/785_alarms2000_paper.pdf
- Faulkner, X. (2000). *Usability Engineering*. Basingstoke: Palgrave.
- Flach, J. & Mulder, M. (2004). In *Putting Humans Into Control*. Paper presented at the IT University of Copenhagen, Denmark, Copenhagen.
- Foley, P. & Moray, N. (1987). Sensation, Perception, and Systems Design. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors* (pp. 45-71). New York: John Wiley & Sons.
- Hamzah, N.A., Leong, N.B., & Karim, S.P.A. (2001). Using fault disturbance recorder as an operating aid for control room operators at the national load dispatch centre of peninsular Malaysia, *People in control - the second international conference on human interfaces in control rooms, cockpits and command centres*. Southend-on-Sea, Essex, Great Britain: Formara Ltd.
- Hart, S.G. & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 239-250). Amsterdam: Elsevier.
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Oxford: Elsevier.
- Hollnagel, E. (2005). *Extended Control Model (ECOM)*. Retrieved 2008-01-31, 2008, from http://www.ida.liu.se/~eriho/ECOM_M.htm
- Hollnagel, E., Woods, D.D. & Leveson, N. (2006). *Resilience engineering: concepts and precepts*. Aldershot: Ashgate.
- Hollnagel, E. & Øwre, F. (1984). *The NORS/HALO system: background and methodology for experiment I: HWR-90*. Institutt For Energiteknikk, OECD Halden Reactor Project.
- HSE, Health and Safety Executive. (1997). *The explosion and fires at the Texaco refinery, Milford Haven, 24 July 1994: a report of the investigation by the Health and Safety Executive into the explosion and fires on the Pembroke Cracking Company Plant at the Texaco Refinery, Milford Haven on 24 July 1994*. Sudbury: HSE Books.
- IEC, International Electrotechnical Commission. (2004). *IEC-62241 Nuclear power plants - Main control room - Alarm functions and presentation*.
- Janhager, J. (2005). *User Consideration in Early Stages of Product Development: Theories and Methods*. Ph D Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Johnson-Laird, P. & Byrne, R. (2000). *Mental models website*.
- Jordan, P.W. (1998). *An introduction to usability*. London: Taylor and Francis.
- Jönsson, A. & Osvalder, A.-L. (2004). *En jämförande studie av larmsystem i svenska kärnkraftverk och andra branscher (No. 29)*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Institutionen för produkt- och produktionsutveckling, ISSN: 1651 0984.
- Jönsson, A. & Osvalder, A.-L. (2005). *Development of a Theoretical Cognitive Model of the Nuclear Power Plant Operator's Information Process*, Enlarged Halden Programme Group Meeting. Lillehammer: IFE.

- Jönsson, A., Osvalder, A.-L., Holmström, C. & Dahlman, S. (2004). Alarm Systems in the Nuclear Industry: Survey of the Working Situation and Identification of Future Research Issues, Man-Technology-Organisation Sessions, Enlarged Halden Programme Group Meeting. Sandefjord: Institute for Energy Technology.
- Kaber, D.B., Onal, E. & Endsley, M.R. (2000). Design of Automation for Telerobots and the Effect on Performance, Operator Situation Awareness, and Subjective Workloads. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 10(4), 409-430.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (2000). *Choices, values and frames*. New York: Cambridge University Press.
- Kantowitz, B.H. & Campell, J.L. (1996). Pilot Workload and Flightdeck Automation. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications*. USA, NJ, Mahwah.
- Karlsson, S. (1997). Arbetsanalys. In *Arbetskyddsmyndigheten (Ed.), Arbete-Människa-Teknik*. Borås: Sjuhäradsbygdens tryckeri AB.
- Karlsson, T., Meyer, B.D., Jokstad, H., Farbro, J.E. & Hulsund, J.E. (2002). The alarm system for the HAMBO BWR simulator: Institutt for Energiteknikk, OECD Halden Reactor Project.
- Kirwan, B. (2003). In Alarm system. Paper presented at the International summer school on human-system interfaces, Halden Reactor Programme.
- Koene, K. & Vedam, H. (2000). Alarm management and rationalization, Third international conference on loss prevention.
- Lindholm, I. (2002, 2002-01-16). Hon ska göra larmen enkla. *Ny Teknik*.
- Liu, J., W., L.H., Ho, W.K., Tan, K.C., Srinivasan, R., & Tay, A. (2003). The intelligent alarm management system, *IEEE Software*. *IEEE Computer Science* (March /April), 66-71.
- Mattiasson, C. (1999, 21-23 June 1999). In The alarm system from the operator's perspective (pp. 217-221). Paper presented at the International Conference on People in Control, Bath
- May, M. & Petersen, J. (2006). In P.D. Bust (Ed.), *Media, Signs and Scales for the Design Space of Instrument Panels* (pp. 93-97). Paper presented at the The Ergonomics Society Annual Conference, Cambridge. Taylor and Francis.
- McGuinness, B. & Foy, J.L. (2000). A Subjective Measure of Situation Awareness: the Crew Awareness Rating Scale (CARS), *Human Performance, Situation Awareness, and Automation*. Savanna.
- Miazza, P., Torralba, B., Kårstad, T., Moum, B. & Follesø, K. (1993). CASH: Computerised Alarm System for HAMMLAB - An outline of required functions: HWR 362 Institutt for Energiteknikk, OECD Halden Reactor Project.
- Militello, L.G. & Hutton, R., J B. (1998). Applied cognitive task analysis (ACTA): a practitioner's toolkit for understand cognitive task demands. *Ergonomics*, 41(11), 1618-1641.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Mumaw, R.J., Roth, E.M., Vicente, K.J. & Burns, C.M. (2000). There is more to monitoring a nuclear power plant than meets the eye. *Human Factors*, 41(1), 36-55.
- Nachreiner, F., Nickel, P. & Meyer, I. (2006). Human factors in process control systems: The design of human-machine interfaces. *Safety Science*, 44(1), 5-26.
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Boston: Academic Press.

- Nochur, A., Vedam, H. & Koene, J. (2001). Alarm performance metrics. Retrieved 2004-02-19, 2004, from <http://www.asmconsortium.com/asm/dashboard.nsf?Open>
- O'Hara, J.M. (2003). In Different Types of Control Rooms. Paper presented at the International summer school on human-system interfaces, Halden Reactor Programme.
- O'Hara, J.M., Brown, W.S., Lewis, P.M. & Persensky, J.J. (2002). Human-System Interface Design Review Guidelines - NUREG 0700. Upton, NY: Energy Sciences & Technology Department, Brookhaven National Laboratory.
- O'Hara, J.M., Brown, W.S., Higgins, J.C. & Stubler, W.F. (1994). Human factors engineering guidance for the review of advanced alarm systems: NUREG/CR-6105, BNL NUREG 52391.
- OD, Oljedirektoratet. (2003). Oppsummering etter gjennomført tilsyn med alarmsystemer på produksjonsinnretninger på norsk sokkel i perioden august 2000 til september 2002.
- Oxstrand, J. (2005). Utveckling av säkert och effektivt användargränssnitt - vilka faktorer påverkar risken för mänskligt fel? , Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Payne, J.W., Bettman, J.R. & Johnson, E.J. (1993). The adaptive decision maker. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13, 257-266.
- Reaktorsäkerhetsutredningen. (1979). Säker kärnkraft? Betänkande av reaktorsäkerhetsutredningen. Stockholm: SOU 1979:86.
- Rouse, W.B., Edwards, S.L. & Hammer, J.M. (1993). Modelling the dynamics of mental workload and human performance in complex systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23, 1662-1671.
- Sanders, M.S. & McCormick, E.J. (1993). Human factors in engineering and design (7th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Sasse, M.A. (1997). Eliciting and Describing Users Models of Computer Systems. University of Birmingham, Birmingham.
- Shafir, E., Simonson, I. & Tversky, A. (1993). Reason-based choice. *Cognition*, 49(1-2), 11-36.
- Shee, A. (2003). Critical alarm system for the process industry - a system approach. Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Sheridan, T.B. (2002). Humans and Automation: System Design and Research Issues. USA, Santa Monica: John Wiley and Sons Inc.
- Smith, W.H., Howard, C.R. & Foord, A.G. (2003, 2003-03-13). Alarms Management - Priority, Floods, Tears or Gain? Retrieved 2006-05-04, 2006, from http://4-sightconsulting.co.uk/Current_Papers/Alarms_Management/alarms_management.html
- Stanton, N. (Ed.). (1994). Human Factors in Alarm Design. Great Britain: Taylor and Francis Ltd.
- Starrin, B. & Svensson, P.-G. (1994). Kvalitativ metod och vetenskapsteori. Lund: Studentlitteratur.
- Svenska akademiens ordbok (2008). Retrieved 2008-02-20, from <http://www.saob.se/>
- Swann, C.D. (1999). Ergonomics in the design of process plant control rooms, Conference Publication No. 463, People in control: An international conference

- on Human Interfaces in Control Rooms, Cockpits and Command Centres.: Institution of Electrical Engineers, Great Britain: Lithmark Ltd.
- Sørenssen, A., Veland, Ø., Farbrot, J.E., Kaarstad, M., Seim, L.Å., Førdestrømmen, N., m.fl. (2002). Recommendations to alarm systems and lessons learned on alarm system implementation: Institutt for energiteknikk, OECD Halden Reactor Project.
- Thunberg, A. (2006). A Cognitive Approach to the Design of Alarm Systems for Nuclear Power Plant Control Rooms. Lic. Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Thunberg, A. & Osvalder, A.-L. (2006a). Human System Interface Design for Team Work in Complex Process Control, Nordic Ergonomics Society. Finland.
- Thunberg, A. & Osvalder, A.-L. (2006b). Monitoring Complex Processes: Cognitive Model of the Control Room Operator's Information Process, International Ergonomics Association Conference. Maastricht, the Netherlands.
- Tjahjono, G. & Masaprug, S. (2000). Human factors engineering - a case study of Preem refinery control room. Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Tran, T.Q., Feigh, K.M. & Pritchett, A.R. (2007). Supporting Multiple Cognitive Processing Styles Using Tailored Support Systems, Human Factors in Power Plants - Human Performance, Root Cause, and Trending. USA, Monterey.
- Ulfvengren, P. (2003). Design of Natural Warning Sounds in Human-Machine Systems. Ph D Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Wallén, G. (1996). Vetenskapsteori och forskningsmetodik (2nd ed.). Lund: Studentlitteratur.
- Weibull, B. (2003). Larmhantering i processindustrin - En guide för att förbättra säkerheten: Intressentföreningen för processsäkerhet.
- Vicente, K.J. (1999). Cognitive work analysis: toward safe, productive, and healthy computer-based systems. Mahwah, N J: Lawrence Erlbaum Associates.
- Vicente, K.J., Mumaw, R.J. & Roth, E.M. (2004). Operator monitoring in a complex dynamic work environment: a qualitative cognitive model based on field observations. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5(5), 359-384.
- Wickens, C.D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D.R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 63-102). London Academic Press.
- Wickens, C.D. (1987). Information Processing, Decision-making and Cognition. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors* (pp. 72-107). New York: John Wiley & Sons.
- Wickens, C.D. & Carswell, D.M. (1997). Information Processing. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (2nd ed., pp. 89-129). New York: John Wiley.
- Wickens, C.D. & Hollands, J.G. (1992). *Engineering Psychology and Human Performance* (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Wickens, C.D. & Hollands, J.G. (1999). *Engineering Psychology and Human Performance* (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Woods, D.D., Patterson, E.S. & Roth, E.M. (2002). Can We Ever Escape from Data Overload? A Cognitive Systems Diagnosis. *Cognition, Technology & Work*, 1(4), 22-36.
- Yantis, S. (1993). Stimulus-driven attentional capture. *Current directions in psychology science*, 2, 156-161.
- Zsombok, C.E. & Klein, G. (1997). *Naturalistic Decision Making*. Mahwah N J: Erlbaum Associates.

www.ski.se

STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION
Swedish Nuclear Power Inspectorate

POST/POSTAL ADDRESS SE-106 58 Stockholm

BESÖK/OFFICE Klarabergsviadukten 90

TELEFON/TELEPHONE +46 (0)8 698 84 00

TELEFAX +46 (0)8 661 90 86

E-POST/E-MAIL ski@ski.se

WEBBPLATS/WEB SITE www.ski.se