

Rekommendationer inför konstruktion av mellanspänningsställverk – Ett underhållsperspektiv

Rikard Nilsson



EXAMENSARBETE
Elektroingenjör med inriktning mot elkraft
Institutionen för ingenjörsvetenskap

EXAMENSARBETE

Rekommendationer inför konstruktion av mellanspänningsställverk – Ett underhållsperspektiv

Sammanfattning

OKG AB äger de tre kokvattenreaktorerna Oskarshamn 1, 2 och 3. Kärnkraftverket ligger i Simpevarp norr om Oskarshamn. Examensarbetet har utförts på Oskarshamn 1 inom ett projekt som kallas CEM. Oskarshamn 1 togs i drift 1972 och kan leverera en elektrisk effekt på 491 MW.

Examensarbetet behandlar underhållsaspekter som bör tas hänsyn till vid projektering och konstruktion av det nya automatiskt gasturbinsäkrade 6,3 kV ställverket i system 642. Ställverket är huvudfördelningsställverk inom Oskarshamn 1 och ska bytas ut på grund av hög ålder samt brist på reservdelar.

I syfte att uppnå hög driftsäkerhet och tillgänglighet för det nya ställverket har aspekter som förbättrar dess funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet specificerats. Förslag på ny lastfördelning samt uppställning av ställverkets fack ges också.

Resultatet av examensarbetet är de framtagna underhållsaspekter som kan tillämpas vid projektering och konstruktion av ställverket. De viktigaste underhållsaspekterna som tagits fram är att utrustningen ska vara personsäker, det ska finnas tillräckligt med utrymme i facken för att kunna utföra underhållsarbete samt att fullständig dokumentation ska levereras samtidigt som utrustningen. Ett förslag till ny lastfördelning av ställverkets belastningar har utförts utifrån en teknisk specifikation. Förslaget på uppställning av ställverkets fack tyder på att tillräckligt utrymme finns i befintliga ställverksrum.

Författare:	Rikard Nilsson
Examinator:	Lars Holmblad
Handledare:	Bo Löfqvist, OKG AB
Program:	Elektroingenjör med inriktning mot elkraft
Ämne:	Elektroteknik
Datum:	2010-01-27
Nyckelord:	OKG AB, Oskarshamn 1, CEM, system 642, mellanspänningsställverk, underhåll, uppställning av inomhusställverk.
Utgivare:	Högskolan Väst, Institutionen för ingenjörsvetenskap, 461 86 Trollhättan Tel: 0520-22 30 00 Fax: 0520-22 32 99 Web: www.hv.se

BACHELOR'S THESIS

Recommendations before construction of medium voltage switchgear – A maintenance point of view

Summary

OKG AB is the owner of the three boiling water reactors Oskarshamn 1, 2 and 3. The nuclear power plant is located in Simpevarp north of Oskarshamn. The thesis has been carried out at Oskarshamn 1 within a project called CEM. Oskarshamn 1 started to produce electricity in 1972 and can today deliver an electrical power of 491 MW.

The thesis considers maintenance aspects which are to be taken into consideration before planning and construction of the new automatic gas turbine secured switchgears in system 642. The switchgears are the main distribution switchgears within Oskarshamn 1 and are to be replaced because of high age and lack of spare parts.

In purpose to achieve high availability performance and availability for the switchgears, aspects which improves the reliability, maintainability and maintenance supportability has been specified. Suggestion of new distribution of the loads between the busbars and arrangement of the cubicles has also been carried out and specified.

The results of the thesis are the specified maintenance aspects which can be used when planning and constructing the switchgears. The most important maintenance aspects are that the equipment has high personnel safety, that there is enough space in the cubicles to perform maintenance and that a complete documentation is delivered together with the equipment. Suggestion of new load distribution between the busbars has been carried out with the help of a technical specification. The suggestion of new arrangement for the switchgears implies that there is enough space in the existing electrical room for the switchgears.

Author:	Rikard Nilsson		
Examiner:	Lars Holmblad		
Advisor:	Bo Löfqvist, OKG AB		
Programme:	Electrical Engineering, Electric Power Technology		
Subject:	Electrical Engineering	Level:	Bachelor
Date:	January 27, 2010		
Keywords	OKG AB, Oskarshamn 1, CEM, system 642, medium voltage switchgears, maintenance, indoor switchgear installations		
Publisher:	University West, Department of Engineering Science, S-461 86 Trollhättan, SWEDEN Phone: + 46 520 22 30 00 Fax: + 46 520 22 32 99 Web: www.hv.se		

Förord

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete på 15 högskolepoäng som genomförts under sommaren 2009. Jag vill tacka berörd personal på OKG AB för de intervjuer, samtal och frågor Ni hjälpt till med.

Rikard Nilsson

Simpevarp 7 augusti 2009

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Summary.....	ii
Förord.....	iii
Innehållsförteckning.....	iv
Nomenklatur.....	vi
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Oskarshamn 1	1
1.1.2 Projekt CEM.....	2
1.2 Syfte och mål	3
1.3 Metod.....	3
1.4 Förutsättningar och avgränsningar.....	4
2 Underhållsverksamhet på OKG	4
2.1 Terminologi.....	4
2.2 Allmänt	6
2.2.1 Förebyggande underhåll	6
2.2.2 Avhjäljande underhåll.....	7
2.3 Utrustningens driftsäkerhet	7
2.3.1 Funktionssäkerhet	8
2.3.2 Underhållsmässighet	8
2.3.3 Underhållssäkerhet.....	8
2.3.4 Tillgänglighet.....	9
2.4 Ekonomiska aspekter inför upphandling i projekt	10
2.4.1 Livstidskostnad	10
2.4.2 Uppföljning av leverantörens garantiåtaganden	11
3 Underhållsaspekter inför konstruktion av 6,3 kV ställverk.....	12
3.1 Ställverksrum	12
3.2 Serviceutrymme och transportmöjligheter för komponenter.....	13
3.2.1 Serviceutrymme	13
3.2.2 Transportmöjligheter	13
3.3 Ställverk och brytare	14
3.3.1 Allmänt	14
3.3.2 Utrustning i facken.....	14
3.3.3 Brytare.....	14
3.3.4 Manöver av brytare	15
3.3.5 Provning av brytare.....	15
3.3.6 Temperaturövervakning av ställverket.....	16
3.4 Kablage.....	16
3.5 Reläskydd	17
3.5.1 Befintliga reläskydd	17
3.5.2 Nytt reläskydd.....	17
3.5.3 Placering av reläskydden	18
3.5.4 Provning av reläskydden	19
3.6 Utbildning av personal	19
3.7 Dokumentation	20

3.7.1	Manualer och bruksanvisningar	21
3.7.2	Underhållsinstruktioner.....	22
3.7.3	Anläggningsregister i ODU	23
3.7.4	FU-åtgärder i ODU.....	23
3.8	Reservdelar och lagerhållning.....	24
3.8.1	Allmän reservdels- och lagerhållningsteori.....	24
3.8.2	Reservdelar och lagerhållning på OKG	25
3.9	Åldring av komponenter.....	26
4	Beskrivning av system 642.....	27
4.1	Befintligt ställverk och nätbild	27
4.2	Nytt ställverk och nätbild.....	28
5	Layout och uppställning av nya ställverket.....	29
5.1	System 642 efter CEM	29
5.1.1	ABB UniGear ZS1	29
5.1.2	Uppställning av facken	30
6	Diskussion.....	32
6.1	Ställverks tillämpningar	34
7	Slutsatser och rekommendationer till fortsatt arbete.....	36
	Källförteckning.....	37

Bilagor

- A. Principschema över befintligt system 642
- B. Översikt av ställverksrummen i centrala eldelen
- C. Befintlig uppställning av fack i rum A
- D. Befintlig uppställning av fack i rum B
- E. Befintlig lastfördelning system 642
- F. Principschema över system 642 efter CEM
- G. Förslag på ny uppställning av fack i rum A
- H. Förslag på ny uppställning av fack i rum B
- I. Ny lastfördelning system 642
- J. 6,3 kV brytarnas märkström

Nomenklatur

A_o	Operational Availability. Operativ Tillgänglighet.
A	Availability. Tillgänglighet.
A6	Skena A 6, 3 kV.
B6	Skena B 6, 3 kV.
C6	Skena C 6, 3 kV.
CEM	Central Eldel Modernisering. Moderniseringsprojekt på O1 inom vilket examensarbetet utförts.
D6	Skena D 6,3 kV.
FAT	Factory Acceptance Test. Inspektion av beställd utrustning hos leverantören.
G13	Gasturbin 13.
G23	Gasturbin 23.
HMI	Human-Machine-Interface. Människa-Maskin-Kommunikation.
IED	Intelligent Electronic Device. Reläskydd integrerat med flera funktioner.
M	Mean Maintenance Time. Medeltidsåtgång för underhållsåtgärder.
MTBF	Mean Time Between Failure. Medeltid mellan fel.
MTTF	Mean Time To Failure. Medeltid till fel.
MTTM	Mean Time To Maintenance. Medeltid till underhållsåtgärder.
MTTR	Mean Time To Repair. Medeltid för reparation.
MTW	Mean Time Waiting. Medel väntetid.
O1	Oskarshamn 1.
O2	Oskarshamn 2.
O3	Oskarshamn 3.
PLEX	Plant Life Extension. Moderniserings- och uppgraderingsprojekt på O2.
PULS	Power Uprate with Licensed Safety. Moderniserings- och uppgraderingsprojekt på O3.
STF	SäkerhetsTekniska driftFörutsättningar.
SSM	Statens StrålskyddsMyndighet.

1 Inledning

Oskarhamns KraftGrupp AB kallas i dagligt tal för OKG AB och äger och driver de tre kärnkraftreaktorerna Oskarshamn 1, 2 och 3. Kärnkraftverket är placerat på Simpevarpshalvön cirka 3 mil norr om Oskarshamn. OKG producerar cirka 10 % av Sveriges elförbrukning.

Examensarbetet har utförts inom projekt CEM på Oskarshamn 1 och behandlar rekommendationer inför moderniseringen av system 642 som är ett automatiskt gasturbinsäkrat 6,3 kV ställverk. Att ställverket är gasturbinsäkrat betyder att dess belastningar kan reservkraftmatas av två gasturbiner vid fel i ställverket. Ställverket matar driftklassade belastningar inom Oskarshamn 1. Driftklassade belastningar har inga krav på längsta avställningstider för underhåll i STF. Reläskydd och ställverk för 6,3 kV objekt är föråldrat och ska bytas ut under revisionen år 2013. OKG vill tidigt i projektet ta hänsyn till underhållsaspekter för att få en bra slutlig teknisk lösning och därmed möjlighet till ett kostnadseffektivt samt person- och kvalitetssäkrat underhållsarbete i framtiden.

Vid konstruktion av det nya 6,3 kV ställverket i centrala eldelen är det många olika aspekter som bör beaktas varav underhållsaspekter är en av dem. Exempel på andra aspekter är teknisk lösning och kostnader. Examensarbetet specificerar underhållssynpunkter som bör tas i beaktande inför konstruktionen.

1.1 Bakgrund

1.1.1 Oskarshamn 1

Oskarshamn 1 är den minsta av de tre reaktorerna som ägs av OKG. O1 kan leverera 491 MW elektrisk effekt. När O1 projekterades och byggdes i slutet av 1960-talet så användes den för denna tid modernaste och säkraste tekniken. Idag är denna teknik föråldrad, därför ska en rad moderniseringar utföras i centrala eldelen. Säkerhetsklassade system på O1, som har avställningstider för underhåll reglerade i STF, har redan moderniserats i tidigare projekt.

1.1.2 Projekt CEM

Moderniseringen av centrala eldelen har samlats i ett projekt som kallas CEM och är en förkortning av Central Eldel Modernisering. Projektet har delats upp i tre paket beroende på objektens spänningsnivå, 6 kV-paketet, 400 V-paketet samt ett paket för lägre spänningar.

I CEM ingår bland annat:

- Utbyte av transformator T12.
- Utbyte av reläskydd i centrala eldelen.
- Utbyte av 6,3 kV ställverk och brytare i centrala eldelen.
- Införande av ny D skena.

Reservmaterial och kompetens att underhålla ett så gammalt ställverk finns inte längre att tillgå på marknaden. Befintliga brytare och reservdelar till dessa tillverkas inte längre. De reservdelar som finns till 6,3 kV brytarna är av samma ålder som brytarna i drift, detta innebär att interna delar av organiskt material är föråldrade och inte kan ersättas. Risken att ett driftstopp inträffar på grund av ett elektriskt fel i befintligt ställverk är relativt hög då utrustningen är över 35 år gammal[1].

Föråldrad utrustning har en tendens att få ökade driftstörningar vilket ökar risken för ett stort elektriskt haveri i ställverket. Vid en allvarlig kortslutning i ställverket beräknas driftuppehållet till årsskala. Konsekvenser av ett sådant haveri kan förutom ett långt driftavbrott, med stora ekonomiska förluster, vara att utrustning förstörs, byggnader behöver byggas om och personal kan komma till skada.

Syftet med projekt CEM är att införa utrustning med hög driftsäkerhet och tillgänglighet där reservdelar och kompetens finns tillgängliga samt att uppfylla kraven på personsäkerhet i ställverksutrymmena [2]. Genomförandet av CEM är en förutsättning för att kunna hålla O1 i drift fram till år 2032 då verket uppnått sin planerade livslängd på 60 år.

1.1.2.1 Tryckavlastning

Personsäkerheten i befintligt ställverk riskeras främst av att det övertryck, enligt (1), som uppstår vid en kortslutning avlastas direkt ut i ställverksrummet för att sedan avlastas vidare genom luckor som finns i taket ut till fria luften. Hela ställverksrummet trycksätts därför med förångat organiskt och metalliskt material som är giftigt. Denna metod för tryckavlastning är förbjuden idag och ska därför ersättas av ett nytt system med luckor i fackens tak som öppnar ut till avlastningskanaler ovanpå facken vid en kortslutning. Detta för att öka volymen som ljusbågen brinner i vid kortslutning samt leda övertryck och gaser ut från ställverket till fria luften. Genom användning av kanaler så trycksätts aldrig ställverksrummet vid en kortslutning.

$$P = \frac{2 \cdot N \cdot U \cdot I \cdot t}{V} \quad (1)$$

Där: P = Övertrycket i atö

N = Antal ljusbågar

U = Ljusbågsspänning i kV

I = Ljusbågsströmmen i kA

t = Tiden det tar för avlastningsluckorna att öppna i s

V = Volymen i vilken ljusbågen brinner i m^3

1.1.2.2 Arbetsjordning

I det befintliga ställverket sker arbetsjordning av samlingsskenor samt inkommande och utgående kabel med lösa jordlinor som monteras på anslutningsbultar i facken med öppen skåpsdörr. Denna metod är betydligt mindre personsäker än arbetsjordning med jordningskopplare. I det nya ställverket ska jordningskopplare kunna manövreras med stängd dörr samt ha full slutförmåga mot kortslutning för att öka personsäkerheten.

1.2 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att en specifikation av underhållsaspekter bör utföras inför konstruktion av nytt 6,3 kV ställverk för att erhålla hög tillgänglighet och driftsäkerhet.

Målet med examensarbetet är att ta fram underhållsaspekter som kan tillämpas vid projektering och konstruktion av nytt mellanspänningsställverk på Oskarshamn 1. Förslag på omfördelning av komponenter mellan skenorna specificeras. Ytterligare ett mål är att ta fram ett förslag på uppställning av facken i befintliga ställverksrum.

1.3 Metod

För att kunna utföra examensarbetet har interna rapporter, instruktioner och övrig dokumentation studerats. Vid lastfördelningen användes en preliminär teknisk specifikation. Intervjuer med berörd personal på OKG har utförts och sammanställts för att specificera underhållsaspekter inför konstruktionen av ställverket.

1.4 Förutsättningar och avgränsningar

Endast delar på 6,3 kV-nivå i projekt CEM på Oskarshamn 1 har behandlats. Merparten av arbetet har lagts på att studera moderniseringen av ställverk, brytare och reläskydd. Med anledning av förseningar i moderniseringsprojektet PULS, Power Uprate with Licensed Safety, på O3 har arbetet i projekt CEM med bland annat systemkonstruktion och kravspecifikationer försenats på grund av bristande resurser. Detta har påverkat arbetet på så vis att information om det nya ställverket varit begränsad och viss framtagna dokumentation varit preliminär.

2 Underhållsverksamhet på OKG

2.1 Terminologi

För att undvika missförstånd i samband med underhållsverksamhet på OKG används standardiserade benämningar. Nedan anges några underhållstekniska definitioner enligt [3]:

- Underhåll: Kombination av alla tekniska, administrativa och ledningens åtgärder under en enhets livstid i syfte att vidmakthålla den i, eller återföra den till, ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion.
- Förebyggande underhåll: Underhåll som genomförs vid förutbestämda intervall eller enligt förutbestämda kriterier och i avsikt att minska sannolikheten för fel eller degradering av en enhets funktion.
- Tillståndsbaserat underhåll: Förebyggande underhåll som består av kontroll och övervakning av en enhets tillstånd avseende dess funktion och egenskaper, samt därav föranledda åtgärder.
- Avhjälpan underhåll: Underhåll som genomförs efter det att ett funktionsfel upptäckts och med avsikt att få enheten i ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion.
- Driftsäkerhet: Förmågan hos en enhet att kunna utföra krävd funktion under angivna betingelser vid ett givet tillfälle eller under ett angivet tidsintervall, förutsatt att erforderliga stödfunktioner finns tillgängliga.

Driftsäkerheten är beroende av de tre viktiga egenskaperna funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet:

- Funktionssäkerhet: Förmåga hos en enhet att utföra krävd funktion under givna förhållanden under ett angivet tidsintervall.
- Underhållsmässighet: Förmågan hos en enhet, som används enligt angivna betingelser, att vidmakthållas i, eller återställas till ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion, när underhållet utförs under angivna betingelser och under användning av fastställda förfaringssätt och resurser.
- Underhållssäkerhet: Förmågan hos underhållsorganisationen att tillhandahålla de rätta underhållsresurserna på erforderlig plats, för att utföra krävda underhållsåtgärder på en enhet, vid en angiven tidpunkt eller under ett angivet tidsintervall.

För att beskriva dessa egenskaper finns det ett antal vedertagna mått:

- Ett mått på driftsäkerheten är Tillgänglighet, A .
- Ett mått på funktionssäkerhet är Medeltiden Till Fel, $MTTF$, eller Medeltiden Mellan Fel, $MTBF$.
- Ett mått på underhållsmässighet är Medelreparationstid, $MTTR$.
- Ett mått på underhållssäkerhet är Medelväntetid, MTW .

Inom underhållsorganisationer är man ofta intresserade av tillgängligheten av en anläggning eller utrustning. Främst används det operativa tillgänglighetsmättet, A_o , eftersom det på ett bra sätt avspeglar den praktiska verkligheten genom att även ta hänsyn till väntetider.

$$A_o = \frac{MTTM}{(MTTM + M + MTW)} \quad (2)$$

Där:

A_o = Operativ tillgänglighet

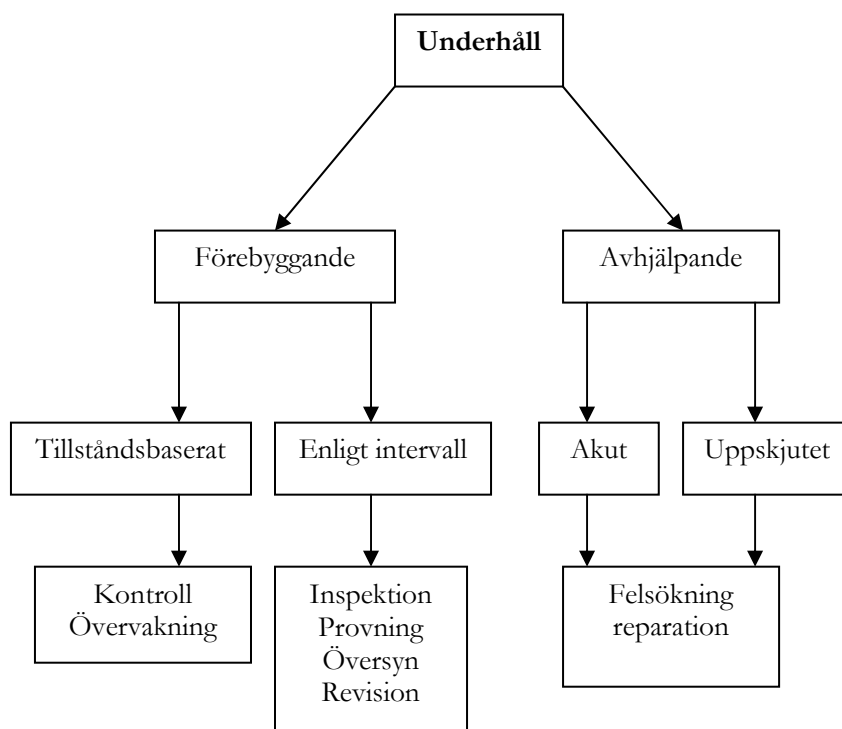
$MTTM$ = Medeltiden till underhållsåtgärder

M = Medeltidsåtgången för underhållsåtgärder

MTW = Medelväntetid för underhållsåtgärder

2.2 Allmänt

Målet med en väl fungerande underhållsverksamhet är att till så låg kostnad som möjligt se till att installerad utrustning håller en hög tillgänglighet och driftsäkerhet. Detta innebär att utrustningar ska underhållas så att de bibehåller sin kvalitetsnivå under hela sin tekniska livslängd. Ett väl fungerande underhållssystem där underhållsarbetet dokumenteras kan även ge underlag för konstruktionsändringar och vara till hjälp vid modernisering av anläggningen. Underhåll kan delas in i förebyggande underhåll och avhjälpande underhåll enligt Figur 1.



Figur 1. Underhållsverksamhetens uppbyggnad och funktion.

2.2.1 Förebyggande underhåll

Förebyggande underhåll enligt bestämda tidsintervall består av åtgärder som utförs innan ett fel inträffat och omfattar inspektion, provning, översyn och revision. Syftet med förebyggande underhåll är att minska sannolikheten för ett större fel samt den driftstörning som blir konsekvensen av felet. En typ av förebyggande underhåll är det tillståndsbaserade underhållet. Fördelen med tillståndsbaserat underhåll är att intervallen mellan underhållsåtgärder är adaptiva. På detta sätt kan underhållsintervallen på vissa objekt ökas och de totala underhållskostnaderna minska.

2.2.2 Avhjälpande underhåll

Avhjälpande underhåll utförs först när ett fel inträffat och kan delas in i akut och uppskjutet avhjälpande underhåll. Akuta underhållsåtgärder måste omedelbart utföras medan uppskjutna underhållsåtgärder kan planeras in och utföras på lämplig tidpunkt. Lämpliga tidpunkter att utföra sådant underhåll på ett kärnkraftverk kan vara under kortstopp eller vid de årliga revisionerna.

2.3 Utrustningens driftsäkerhet

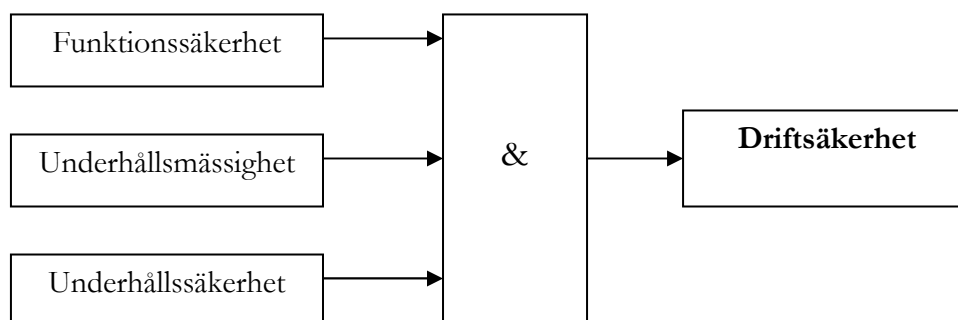
Driftsäkerhet är en egenskap som beskriver ett systems förmåga att fungera tillfredställande med hänsyn tagen till prestationssnedsättning på grund av fel eller för underhåll. För att beskriva ett systems driftsäkerhet finns det olika mått varav de två vanligaste är tillgänglighet och livstidskostnad.

Tillgänglighet beskrivs närmare i kapitel 2.3.4. Livstidskostnad beskrivs närmare i kapitel 2.4.1.

För att uppnå hög driftsäkerhet bör hänsyn tas till de tre centrala begreppen funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet. Hur dessa begrepp påverkar driftsäkerheten visas i Figur 2.

Funktionssäkerhet och underhållsmässighet kan hänföras till utrustningens förmåga att uppfylla driftsäkerheten och är egenskaper som byggs in i utrustningen innan den tas i bruk. Dessa två egenskaper måste tas hänsyn till i projekterings- och konstruktionsfasen i projekt eftersom de är besvärliga att påverka när utrustningen väl tagits i drift.

Underhållssäkerheten är beroende av hur väl underhållssystemet fungerar med avseende på bland annat personalens utbildning, kompetens, tillgång till lämplig prov- och reparationsutrustning, dokumentation och reservdelar.



Figur 2. Egenskaper som påverkar utrustningens driftsäkerhet.

2.3.1 Funktionssäkerhet

För att erhålla hög driftsäkerhet hos utrustningar bör funktionssäkerhetsaspekter för olika leverantörers utrustningar noga bedömas innan upphandling. Värden på MTBF och funktionssannolikhet för utrustningar bör tas fram alternativt erhållas av leverantören.

2.3.2 Underhållsmässighet

En utrustnings underhållsmässighet kan påverkas i konstruktionsfasen eftersom det är ett mått som karakteriserar en utrustnings anpassning för underhåll. För att öka underhållsmässigheten är det viktigt att påpeka de modifieringar som är nödvändiga i god tid så att konstruktörer kan anpassa utrustningen till ställda krav.

Exempel på aspekter som kan öka underhållsmässigheten hos en komponent är typ av felindikering, möjligheter till provning av utrustningen, tillräckligt utrymme för reparation och utbyte av komponenter, modularisering och märkning. Underhållsmässighetsarbetet bör utföras i nära samarbete med bland annat konstruktionsarbete, underhållsplanering och funktionssäkerhetsanalys för att ge ett bra resultat [4].

En utrustning med god underhållsmässighet ger förutsättningar till ett effektivt underhållsarbete och därmed korta underhållstider. Det är även viktigt att utrustningen kan underhållas med rimliga kostnader och inte kräver alltför dyra och komplicerade utrustningar för provning och underhåll.

2.3.3 Underhållssäkerhet

Underhållssäkerhet är ett mått på hur väl underhållsorganisationen kan utföra de underhållsåtgärder som krävs för att hålla utrustningen i gott skick. Underhållssäkerheten är beroende av funktionssäkerhet och underhållsmässighet eftersom dessa egenskaper påverkar den kompetens och de verktyg som krävs för att kunna utföra ett kvalitativt underhållsarbete på utrustningen. En förutsättning för god underhållssäkerhet är ett väl fungerande underhållssystem där information om underhållsintervall samt underhållsinstruktioner och dokumentation om komponenter finns tillgängligt.

2.3.4 Tillgänglighet

Ett elkraftsystem består av ett antal komponenter som till exempel transformatorer, brytare och kablage. Dessa komponenter kan befinna sig i ett av två tillstånd, antingen funktionsdugliga eller inte funktionsdugliga. Genom att ha kännedom om komponenternas slumpmässiga beteende samt systemets uppbyggnad kan beräkningar på systemets driftsäkerhet utföras [5]. Den storhet som används för att karakterisera en komponents slumpmässiga beteende är felintensiteten, λ . Felintensiteten är ett mått på antalet fel per tidsenhet och kan beräknas enligt:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (3)$$

Vanligtvis har ställverk och övrig elkraftutrustning en varierande felintensitet med flest antal fel i början och i slutet av sin tekniska livslängd. De fel som kan uppstå när komponenten precis installerats beror ofta på eventuella material- och tillverkningsfel. När komponenten sedan varit i drift under en tid stabiliseras felintensiteten på en relativt låg nivå för att sedan öka när utrustningen börjar uppnå sin tekniska livslängd. Detta fenomen kallas för ”badkarskurvan”.

För att kunna beräkna tillförlitligheten hos komponenter samlas statistiskt underlag i form av felintensitet, λ , och avbrottstid, τ , in. I syfte att bedöma olika komponenter beräknas felens sannolikhetsfördelning, en vanlig metod för att beräkna en komponents sannolikhetsfördelning är exponentialfördelningen [4]. Under den tid då komponenten har en relativt konstant felintensitetsnivå kan funktionssannolikheten beräknas enligt:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-t/MTBF} \quad (4)$$

2.4 Ekonomiska aspekter inför upphandling i projekt

Kostnader för drift och underhåll av utrustningar är en viktig del att ta hänsyn till vid upphandling av komponenter. LCC-analys bör användas inom projekt vid anskaffning av ny utrustning och nya konstruktionslösningar för att kunna välja utrustning med hög kvalitet och driftsäkerhet. Genom att ta hänsyn till livstidskostnaden för utrustningar har man möjlighet att påverka och bedöma framtida kostnader.

När utrustning ska upphandlas i projekt bör hänsyn tas till dess livstidskostnad utöver det att de tekniska specifikationerna ska vara uppfyllda. Utrustning med lägst anskaffningspris behöver inte vara det mest ekonomiska alternativet om utrustningens hela livslängd tas i beaktning. Medvetenhet om drift- och underhållskostnader är nödvändiga för att kunna välja rätt utrustning och därigenom ge förutsättningar för hög driftsäkerhet och tillgänglighet samt låga underhållskostnader.

2.4.1 Livstidskostnad

En utrustnings livstidskostnad benämns LCC som är en förkortning av Life Cycle Cost. Livstidskostnadsanalys tillämpas bland annat i projekt vid upphandling av utrustning när flera olika anbudsgivare är aktuella eller vid val mellan olika tekniska lösningar. Vid beräkning av LCC på OKG används en intern modell där anbudsgivare fyller i indata för utvalda kostnadselement. Aktuella kostnadselement varierar i olika projekt men endast påverkbara alternativskiljande kostnader bör tas med i modellen [6].

De parametrar som kan påverkas genom LCC-analys är funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet. Genom att optimera dessa tre parametrar ökar driftsäkerheten och därigenom den operativa tillgängligheten, A_o . Här kan man se LCC-analysens betydelse och inverkan på framtida intäkter och kostnader.

LCC kan delas upp i sex huvuddelar enligt [6]:

- Kostnad för anskaffning
- Kostnad för underhåll av utrustning och anskaffning av resurser till detta
- Kostnad för operativ drift av utrustningen
- Kostnad för begränsad teknisk livslängd
- Miljökostnader
- Kostnad för avveckling och kassation av utrustningen

Dessa huvuddelar innehåller i sin tur fler delar beroende på vilken nivå man vill specificera kostnader i analysen.

När leverantörernas anbud har sammanställts görs en analys av de olika anbudens LCC-värde där analysledare, konstruktionsledare och underhållspersonal deltar och utvärderar de data som anbudsgivarna angett. I analysen kontrolleras anbudsgivarnas indata, LCC, förändringar i indata samt dominerande kostnader i syfte att påverka konstruktion och underhåll samt hitta möjliga förbättringsområden. Kontroll att ställda krav på utrustningens tillgänglighet, MTBF och MTTR är uppfyllda utförs.

Genom att tillämpa LCC-analys på ett lämpligt sätt kan man göra stora ekonomiska vinster vid upphandling av utrustning i projekt. Erfarenheter visar att det är innan och i projekteringsfasen som störst vinster kan göras. Det är i denna fas av projektet som man kan påverka valet av utrustning samt dess komponenter. Det är viktigt att på ett tidigt stadium i konstruktionsfasen styra en utrustnings LCC-värde.

2.4.2 Uppföljning av leverantörens garantiåtaganden

När projektet slutförts är det viktigt att följa upp resultatet och kontrollera att utrustningen håller de garantier som leverantören garanterat. Om garantierna inte är uppfyllda kan ersättning från leverantören utkrävas. Uppföljning bör ske genom att kontrollera minst dessa tre parametrar [6]:

- Funktionssäkerhet: Kontroll av om medeltiden mellan fel är för kort, är felintensiteten för hög jämfört med den överenskommelse som gjordes vid upphandlingen?
- Underhållsmässighet: Kontroll av reparationstider, tar det längre tid att reparera utrustningen jämfört med den överenskommelse som gjordes vid upphandlingen?
- Underhållssäkerhet: Kontroll av om väntetiderna är för långa, är väntetiden för resurser som reservdelar, utbildning och personal för långa jämfört med den överenskommelse som gjordes vid upphandlingen?

3 Underhållsaspekter inför konstruktion av 6,3 kV ställverk

Underhållsaspekter har tagits fram i samarbete med berörd personal på elkraftunderhållsavdelningen på Oskarshamn 1. Vid val av ny utrustning i CEM bör drift- och underhållsaspekter beaktas. Normala skötselåtgärder, till exempel kopplingar i ställverket måste kunna utföras av kontrollrummets driftpersonal. Nyinstallerad utrustning ska inte medföra ett ökat underhållsarbete mot dagens installerade utrustning. Unika tekniska lösningar och utrustningar bör undvikas. I syfte att erhålla ett ställverk med hög driftsäkerhet bör utrustningens funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet beaktas.

För att erhålla god underhållsmässighet i ställverket bör krav ställas även på komponentnivå. Krav på till exempel urbleckningsbara plintar och tillräckligt med utrymme för utbyte av komponenter i fackens lågspänningsceller kan specificeras. OKG bör installera ett ställverk med lågt MTTR-värde där hänsyn tagits till underhållsmässighet.

Tillgängligheten för system 642 kommer att öka efter CEM. Detta till följd av att systemet kommer att bestå av ett modernt ställverk med fyra skenor istället för tre vilket är fallet idag. Tillgängligheten för det nya ställverket beror på tillförlitligheten hos de komponenter som ingår i systemet.

3.1 Ställverksrum

Det nya ställverket ska vara uppställt i de befintliga ställverksrummen. Befintligt ställverk består av 33 brytarfack. Vid införande av det nya ställverket tillkommer 4 brytarfack vilket gör att antalet blir 37. Totala antalet fack i nya ställverket beror bland annat på om mätutrustning för samlingskenorna kan placeras tillsammans med annat objekts utrustning eller om det krävs separata mätfack. Det bör finnas tillgång till minst ett reservfack vid varje skena för en eventuell ny utmatning från ställverket.

Eftersom det nya ställverkets fack kommer ha mindre dimensioner än befintliga bör hänsyn tas så att nuvarande kabelgenomföringar i ställverksrummens golv hamnar i mitten på de nya facken. Annars finns risk för att genomföringarna hamnar i kanterna av ställverksfacken vilket medför svårigheter vid anslutning av kablarna i facken. Detta kan lösas genom att sätta en distansplåt mellan de nya facken där behov finns. Moderna fack har mindre djup vilket innebär att problem vid uppställning av facken kan uppstå. Det är möjligt att facken inte kan ställas upp med ryggen mot väggen i ställverksrummet om de nuvarande genomföringarna ska användas. För att öka betjäningsgångens bredd är det fördelaktigt om facken kan ställas upp mot ställverksrummets vägg. Ett förslag är att ersätta de gamla genomföringarna och göra nya som är anpassade för den uppställning som blir av det nya ställverket. Förslag på uppställning av facken utförs i kapitel 5.1.2.

3.2 Serviceutrymme och transportmöjligheter för komponenter

3.2.1 Serviceutrymme

Idag används den så kallade ”brytarverkstaden” i centrala eldelen för brytarservice. Det utrymme som kommer även i fortsättningen kunna användas för service av brytare. Man bör ha kvar detta utrymme i befintligt skick, det vill säga inte installera mer utrustning i rummet som minskar tillgängligt utrymme för servicearbeten. Det pågår en upprustning av brytarverkstaden för att skapa möjlighet att förvara verktyg och annan nödvändig utrustning i anslutning till ställverket.

3.2.2 Transportmöjligheter

Ur underhållssynpunkt är det mycket viktigt att komponenter ska kunna transporteras till och från sin normala uppställningsplats på ett säkert och väl genomtänkt sätt. Ställverket innehåller en hel del tunga komponenter, till exempel truckbrytarna, som måste kunna förflyttas vid service eller utbyte av komponenten. Transport av komponenter in och ut ur anläggningen kan ske genom att ta vägen från ställverksrummen till ”brytarverkstaden” och därifrån ta hissen ner till markplan. För att underlätta förflyttning av komponenter från ställverksrummen till brytarverkstaden bör man åtgärda de fasta trösklar som finns vid vissa passager. Dessa kan ersättas med borttagbara trösklar.

3.3 Ställverk och brytare

3.3.1 Allmänt

OKG genom projekt CEM bör välja liknande utrustning som installeras på O2 i projekt PLEX. Detta underlättar för underhållspersonalen eftersom man då kan utbyta erfarenheter av utrustningen över blockgränserna och inte behöver kunna hantera flera olika fabrikats utrustning. Reservdelshållningen förenklas genom möjligheten att ha gemensamma reservdelar.

En viktig aspekt som bör beaktas vid val av leverantör är tillgång till lättillgänglig support. Det är en stor fördel om support på plats kan erhållas från leverantören inom en kort tidsperiod.

3.3.2 Utrustning i facken

Spänningsförande utrustning i facken ska vara avskärmad för att förhindra ofrivillig beröring vid underhållsarbete. I varje skåp bör det finnas belysning i form av en lampa som kan tändas när arbete i facken ska utföras. Byte av lampa måste kunna ske under drift.

Facken bör ha separat lågspänningscell för mät- och hjälpkraftutrustning. Det är viktigt att reläer, plintar och andra komponenter inte installeras på för litet utrymme i lågspänningscellen eftersom mätningar och utbyte av komponenter måste kunna ske under drift utan att lossa på andra anslutningar. Denna aspekt är viktigt att påpeka då erfarenheter efter installationen av de nya dieselsäkrade 6,3 kV ställverken i system 692 på O1 tyder på utrymmesbrist. De dieselsäkrade ställverken kan reservkraftmatas av en dieselgenerator. Genom att ta hänsyn till dessa aspekter kan ställverkets underhållsmässighet ökas.

3.3.3 Brytare

För att enkelt kunna utföra brytarservice bör truckbrytare användas. Denna typ tillåter att brytaren tas ut ur facket och transporteras till lämplig serviceplats. De befintliga brytarna är fast monterade på en truck som kan rullas ut ur facken för frångiljning eller vid brytarservice. Modernare brytare är ofta inte fast monterade på vagnen utan en speciell vagn används för att förflytta brytaren ut ur facket när den ska tas ur drift för service. För att kunna förflytta de nya brytarna till och från sin normala uppställningsplats bör lämpligt antal vagnar köpas in tillsammans med övrig ställverksutrustning i projektet.

Värden på MTBF och funktionssannolikhet för brytare bör tas fram alternativt erhållas av leverantören.

3.3.4 Manöver av brytare

Brytarna ska kunna manövreras lokalt och centralt med stängd fackdörr. Hur central manöver samt uppbyggnad av HMI, Human-Machine-Interface, ska utföras bör ses över senare i projektet. I moderna stationer används ett datorbaserat HMI där bland annat manöver och indikering presenteras på en bildskärm. En rekommendation från underhållsavdelningen är att även behålla kontrolltavlan i centrala kontrollrummet för tydlig indikering av in- och utmatningsvägar samt ge operatörer god överblick av anläggningen. Kontrolltavlan behöver dock uppdateras med den nya D6 skenan samt de nya inmatningsvägarna.

3.3.5 Provning av brytare

Manöverfrekvensen på vissa av brytarna är låg varför det kan gå långa tidsperioder utan någon mekanisk rörelse i brytaren. Brytarna motioneras därför ett antal gånger under varje år. Skälen till att brytare måste kontrolleras och underhållas är många, bland annat kan fel uppstå i de elektriska manöverkretsarna, ökad friktion i brytaren på grund av åldring av smörjmedel eller föråldring av organiskt material i brytaren. Provning av de flesta befintliga brytare i ställverket utförs under den årliga revisionen på O1 eftersom de kräver kall avställd reaktor. Idag måste entreprenörer som ska prova brytarna själva ta med sig brytaranalysutrustning för att kunna mäta på brytarna och analysera resultatet. Med denna utrustning kan brytarens till- och framtid, huvudkontaktens övergångsresistans samt kontaktens rörelse och hastighet mätas upp och analyseras. Genom att analysera resultaten kan man på ett tidigt stadium upptäcka begynnande fel i brytaren.

Ett önskemål från underhållsavdelningen är att se över möjligheten att köpa in en komplett brytaranalysutrustning till O1 som är anpassad till det nyinstallerade ställverket. Då kan underhållsavdelningen utföra underhållet på provutrustningen så att man kan vara säker på att den fungerar när man ska använda den. Med en egen provutrustning elimineras risken att entreprenörer glömmer att ta med någon del av utrustningen när prov ska utföras.

3.3.6 Temperaturövervakning av ställverket

Som en del av det tillståndsbaserade underhållet på O1 utförs årligen termografering i ställverket för att upptäcka en eventuell varmgång. Ökad temperatur på någon del av skenorna kan tyda på ett begynnande fel. Orsaker till temperaturökning kan vara förhöjd resistans i anslutningar och skarvar av skenorna. Detta kan bero på minskat kontaktryck, beläggning på kontaktytorna eller minskad area för strömförande delar. I det nuvarande ställverket är skenorna lätt åtkomliga och termograferingen kan utföras utan större problem. I moderna ställverk är skenorna mer svåråtkomliga för termografering eftersom de är väl isolerade och facken är konstruerade på så vis att det ska vara svårt att komma i kontakt med skenorna. Problemet med åtkomlighet vid termograferingen kan lösas genom att en bit av skenan är åtkomlig och isolerad med ett material som går att termografera igenom.

Konsekvensen av att temperaturen i ställverket är för hög är en ökad föråldringshastighet på komponenter i facken samt risk för funktionsfel.

3.4 Kablage

Det är viktigt att 6,3 kV kablaget är tillräckligt dimensionerat och funktionsdugligt. En inventering av befintligt 6,3 kV kablage bör utföras innan projektering och konstruktion för att kontrollera kablarnas nuvarande status. Kablarna är förlagda inomhus i god miljö och stickprov på kablarna visar att de är i förhållandevis gott skick. Kablarna installerades i samband med idrifttagningen av O1 och är idag över 35 år gamla. Kablar med normal belastning har en lång livslängd men det bör tas i beaktande att de ska vara driftdugliga åtminstone fram till år 2032, vilket då innebär att de varit i drift i 60 år. Det bör också kontrolleras att kablarnas längd är tillräcklig för att klara den nya förläggning som medföljer vid omfördelningen av laster mellan skenorna. Om kablarnas längd skulle vara otillräcklig får ställning tas till om de ska skarvas eller bytas ut. Ett utbyte av allt 6,3 kV kablage kan inte genomföras på samma gång då det handlar om cirka 4500 meter kabel som ska demonteras och förläggas åter [7].

3.5 Reläskydd

3.5.1 Befintliga reläskydd

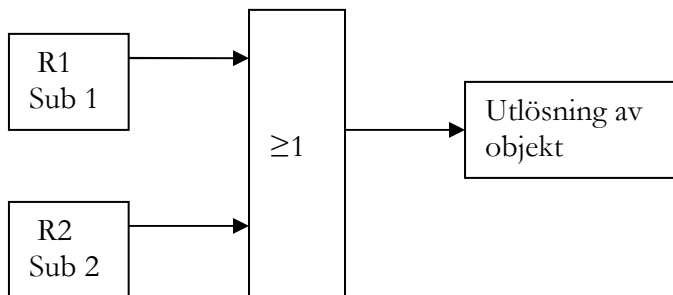
Skydden för objekt matade av 6,3 kV ställverket i centrala eldelen är elektromekaniska och av fabrikat ASEA, typ RR. Skydden installerades i början på 70-talet när Oskarshamn 1 byggdes. Erfarenheterna av skydden är goda men de klarar inte ytterligare 20-25 års drift. Det största problemet med befintliga reläskydd är åldring samt svårigheter att hitta reservdelar. Skydden ska bytas ut i samband med införandet av nytt ställverk.

3.5.2 Nytt reläskydd

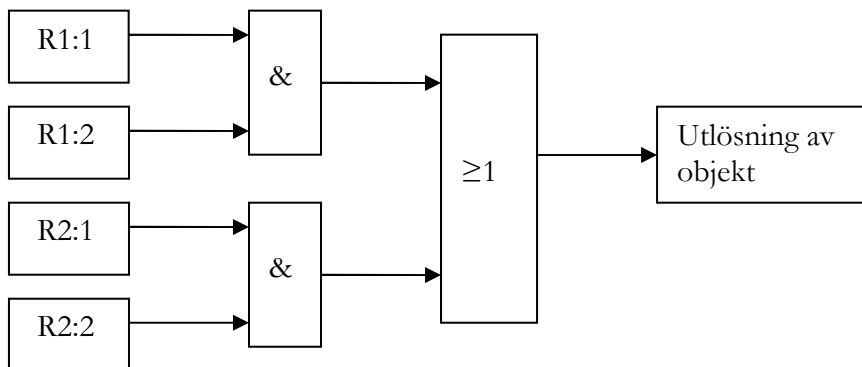
I moderniseringen och uppgraderingen av O2 genom projekt PLEX har ett IED skydd valts, IED är en förkortning av Intelligent Electronic Device och är en reläskyddsterminal med flera inbyggda funktioner

Skyddet är konstruerat i plug-in utförande vilket underlättar vid installation och provning. Skydd mot bland annat kortslutning, jordfel, över- och underspänning samt störningsskrivare integreras i en enhet och minskar därmed utrymmesbehovet i relärummet. Ett skydd av liknande typ bör väljas i CEM för skydd av driftklassad utrustning matad av aktuellt 6,3 kV ställverk.

Projektet bör ta ställning till om konventionell reläteknik med två stycken heltäckande skyddssystem, sub 1 och sub 2, enligt Figur 3 ska användas eller om dual 2/2 ska tillämpas. Vid dual 2/2 installeras ett extra reläskydd i varje sub, representerat av R1:2 och R2:2 i Figur 4 [8]. Funktionen som uppnås på detta sätt är att första skyddet friger det andra skyddet, vilket innebär att båda skyddens inställda funktionsvärde måste överskridas för utlösning av objektet. Driftsäkerheten ökar väsentligt om dual 2/2 teknik tillämpas på viktiga komponenter som huvudgeneratorerna och matande transformatorer eftersom risken för obefogad utlösning minskar avsevärt. Denna teknik medför en högre inköpskostnad men det är väl spenderade pengar om obefogade utlösningar kan förhindras. Ur underhållssynpunkt innebär dual 2/2 att flera skydd ska provas.



Figur 3. Princip för sub 1- och sub 2-utförande.



Figur 4. Princip för dual 2/2-utförande.

3.5.3 Placering av reläskydden

Samtliga nya reläskydd för 6,3 kV skenorna och dess objekt bör placeras i centrala relärummet där nuvarande skydd sitter. Avståndet mellan ställverket och relärummet är cirka 50 meter. Placering i centralt relärum ger god personsäkerhet samtidigt som underhållssäkerheten ökar då det ger kortare tidsåtgång vid reläskyddsprovning. Genom att reläskydden är placerade i separat rum och inte i ställverksfacken minimerar man risken att personal kan utsättas för fara vid en eventuell kortslutning i ställverket.

Reläskyddsprovningen görs vanligtvis under den årliga revisionen. Under revisionen ska även brytarservice och andra arbeten i ställverket utföras, därför är det en fördel att ha reläskydden placerade i separat relärum så att inte för mycket personal vistas i ställverket samtidigt. Detta ger tidsbesparing för all inblandad personal som ska utföra arbeten på ställverksutrustning.

3.5.4 Provning av reläskydden

Reläskyddens funktion är mycket viktig när ett fel inträffar. Kraven på reläskyddens tillförlitlighet och tillgänglighet är därför väldigt höga. Vid prov av vissa av reläskydden måste man följa STF-anvisningar. STF är en förkortning av SäkerhetsTekniska driftFörutsättningar och där specificeras krav på intervall mellan prov av skydden. STF är en föreskrift från Statens Strålskydds Myndighet, SSM. Med STF-krav menas att det ställs krav på driftklarhet och därmed finns en längsta tid angiven för avställning för underhåll. Med en minskning av STF-kraven menas en förlängning av tillåten tid för avställning för underhåll.

Reläskyddens inställningar framgår av selektivplanen. Det är viktigt att det är möjligt att prova och verifiera dessa inställningar av reläskydd och ljusbågsvakt utan att behöva göra några förbindningsändringar på reläer eller reläskydd. Provdon bör installeras så att inkoppling av provutrustning kan utföras vid skydden. På detta sätt kan man enkelt prova skydden med avseende på bland annat inställningsvärden samt till- och frånslagstider samtidigt som det minskar tidsåtgången för reläskyddsprovningen.

Ett väl beprövat provningssystem som kan användas oavsett fabrikat av reläskydd är ABB's COMBITEST [9], det rekommenderas att införa detta reläprovningssystem på O1 i CEM. När provhandtaget förs in i provdonet kortsluts strömtransformatorer och spänningstransformatorers kretsar öppnas vilket medför ett moment mindre att ha i åtanke vid provning av skydden jämfört med idag och därmed ökad personsäkerhet. För att underlätta provningen av reläskydd bör urbleckningsbara plintar användas. Detta medför en viss merkostnad i inköpspris men är värdefullt vid mätning och provning samtidigt som det förenklar avgränsning av objekt för eventuell felsökning och utbyte av komponent. Laborationskablar bör kunna anslutas till plint.

Beroende på vilken typ av reläskydd som beslutas användas för ställverket måste det utredas om underhållsavdelningen har tillgång till nödvändig provutrustning. För vissa typer av skydd kan det behövas spänningar och strömmar som nuvarande utrustning inte kan generera. Dessa utrustningar bör då köpas in i samband med upphandlingen i projektet.

3.6 Utbildning av personal

Eftersom införandet av nytt ställverk innebär en hel del ny utrustning behöver underhållspersonalen på O1 genomgå utbildning för att bli informerade om hur den nya utrustningen ska underhållas. Principen för hur moderna brytare och annan utrustning ska underhållas skiljer sig på många punkter från vad som gäller i befintligt ställverk. I regel så föreslår leverantören ett lämpligt utbildningsprogram för underhållspersonal.

Erfarenheter från tidigare projekt visar att leverantörerna inte alltid uppfyller det krav som OKG ställer på utbildning av underhållspersonal efter projektens slut. Därför bör man specificera vilka utbildningar man vill att underhållspersonalen ska genomgå.

Utbildningslitteratur och utbildning bör helst vara på svenska och vara väl utformat och anpassat till hur aktuell utrustning ska användas på OKG. Utbildningen bör helst genomföras innan utrustningen driftsätts. En bra typ av utbildning är att underhållsingenjören deltar vid FAT-tester och vid idrifttagningen av utrustning som han sedan ska vara systemansvarig för. FAT är en förkortning av Factory Acceptance Test och utförs hos leverantören. Vid FAT-tester utförs visuell inspektion samt kontroller av utrustningen. Leverantören bör vara ansvarig för idrifttagningen vid större projekt men det är viktigt att underhållsingenjören medverkar.

Om det beslutas att köpa ett brytaranalysystem för provning av brytare bör utbildning för personal som ska använda utrustningen genomföras. Leverantören tillhandahåller i regel praktiska utbildningar för att lära ut hur deras utrustning ska användas.

3.7 Dokumentation

Underhållsdokumentationen på OKG samlas i C-dokumentation. Denna dokumentation består av manualer, bruksanvisningar, handböcker samt komponentbeskrivningar, komponentritningar och katalogblad. C-dokumentationen bör levereras tillsammans med aktuell komponent och vara enkelt spårbar till komponenten.

Erfarenheter från tidigare projekt visar att arbetet med dokumentationen inte har varit helt tillfredställande. Störst problem har det varit med leverans av dokumentationen efter projekt samt efter ändringar i dokumentationen. Dokumentation utgör en stor del av ett leveranstagande. Det är inte ovanligt att leverantörer av system och utrustningar fokuserar på konstruktion, montage och idrifttagning när dokumentationen utformas. Minst lika viktigt är det att vara medveten om att utrustningen ska underhållas under hela dess livslängd. Därför är det viktigt med detaljrika kretsscheman som ger gott stöd vid felsökning och visar utrustningens uppbyggnad och funktion. Kretsscheman med så kallade ”black-box” där man inte ser utrustningens eller komponentens interna funktion bör undvikas.

3.7.1 Manualer och bruksanvisningar

Manualer och bruksanvisningar är dokument som levereras tillsammans med den komponent som upphandlats för installation. Dessa dokument är tillverkarens rekommendationer och anvisningar på det underhåll som bör utföras för att behålla komponenten i gott skick och därigenom erhålla god driftsäkerhet och tillgänglighet.

3.7.1.1 Allmänna krav

Manualer, bruksanvisningar och liknande är viktiga dokument vid underhållsarbete och bör därför alltid finnas med på arbetsplatsen vid en underhållsåtgärd som en skriftlig förebild över det arbete som ska utföras [10].

Vid anskaffning av nya komponenter i projektet bör upphandling av komponenter ske på ett sådant sätt att dokumentationen levereras tillsammans med komponenten.

Alla manualer och bruksanvisningar bör vara på svenska. I undantagsfall kan engelsk dokumentation accepteras.

Syftet med manualer och bruksanvisningar är att klargöra en komponent eller utrustnings funktion. Av denna dokumentation bör följande minst framgå [10]:

- Utformning av underhållsprogram med tanke på komponentens driftsätt, driftmiljö samt OKG's prioriterade driftperioder och revisioner.
- Beräknad livslängd på installerad och förrådslagd utrustning.
- Leverantörens rekommendationer på underhåll samt de eventuella utbyten av komponenter som krävs för att uppnå angiven livslängd.
- Komponent- och sammanställningsritningar med stycklista över ingående delar och material i utrustningen. Även delar av organiskt material ska ingå i stycklistan.
- Teknisk specifikation för att kvalitetssäkra hur underhåll ska utföras på komponenten.
- Acceptanskriterier eller gränsvärden som tydligt beskriver när funktionen hos aktuell komponent inte uppfyller ställda krav.

I samband med den mottagningskontroll som sker av utrustningen när den levererats till OKG bör granskning och godkännande av leverantörens manualer och bruksanvisningar utföras. Kontroll att dokumentationen överensstämmer med fastställd kravspecifikation på aktuell utrustning bör utföras.

Vid de tillfällen då innehållet i leverantörens manualer och bruksanvisningar behöver anpassas till OKG's krav och förhållanden ska en underhållsinstruktion upprättas som komplement.

3.7.2 Underhållsinstruktioner

En underhållsinstruktion är en detaljerad specifikation med information om hur kontroller och prover ska utföras utifrån de krav som ställs av myndigheter som till exempel STF. Syftet med underhållsinstruktioner är att beskriva hur kontroller och prover ska genomföras och dokumenteras för att säkerställa att driftsatt utrustning uppfyller de säkerhetskrav som ställs. Underhållsinstruktioner ska vara lätt åtkomliga genom antingen OKG´s applikation Alladin eller via den interna hemsidan Kärnan.

3.7.2.1 Allmänna krav och innehåll

Underhållsinstruktioner är styrande dokument för kontroller, prover och besiktningar och ska alltid finnas med på arbetsplatsen vid underhållsåtgärder som en skriftlig förebild. Underhållsinstruktioner upprättas bland annat då underhållsverksamheten har utökade krav eller kräver anpassningar i förhållande till leverantörens manualer och bruksanvisningar. Innehållet i underhållsinstruktionen bör utformas på ett enkelt, tydligt och enhetligt sätt samt se till att underhållet sker på ett verkningsfullt och personsäkert sätt [10].

Underhållsinstruktionen ska beskriva de kontroller, prover och besiktningar som är bäst lämpade ur teknisk och ekonomisk synvinkel baserat på:

- Leverantörens rekommendationer
- Interna och externa krav
- Interna och externa erfarenheter
- Trendanalyser
- Reglerade krav

Genom att ange referenser i instruktionen förbättras möjligheten att enkelt hitta andra till underhållsinstruktionen tillhörande dokument som rapporter, instruktioner och bruksanvisningar.

3.7.3 Anläggningsregister i ODU

Alla objekt som är installerade i OKG's anläggningar och kräver förebyggande och avhjälpande underhåll kan registreras och administreras i OKG's Drift- och Underhållssystem, ODU. I ODU samlas ett antal register som är väsentliga för underhållsverksamheten. Exempel på register är anläggningsregister, FU-register, förrådshantering och felanmälan [10]. FU-register är ett register som används vid förebyggande underhåll. I dess anläggningsregister finns data om komponenter och utrustningar inlagda. Det bör också finnas ekonomiska data som till exempel anskaffningsvärde och ekonomiskt livslängd för att underlätta reservdelsarbetet.

Anläggningens objektstruktur är uppbyggd på så vis att man kan söka efter allt mellan en avdelning ner till minsta komponent i en utrustning. Detta medger att underhållsverksamheten kan analyseras och följas upp mycket noggrant. Det är därför viktigt att tillräckliga uppgifter om ny utrustning i ställverket förs in i anläggningsregistret.

Exempel på uppgifter och kopplingar till andra dokument som bör ingå i anläggningsregistret är en komponent eller utrustnings fullständiga beteckning, geografiska placering, installationsdatum, tekniska specifikationer, referenser till leverantör, koppling till kostnader för förebyggande och avhjälpande underhåll, reservdelar, förebyggande underhåll samt referenser till ritningar och felsökningsscheman [4]. På kärnkraftverk är det också viktigt att utrustningens konstruktionskrav i form av till exempel klassning och prestanda finns med i registret. Det underlättar också om relationer mellan olika objekt och objekt-delar är inlagda i systemet. Exempel på en relation kan vara brytare tillhörande ett visst system som kopplas till reläskydd och strömtransformatorer i ett eller flera andra system.

3.7.4 FU-åtgärder i ODU

Åtgärder för förebyggande underhåll, FU-åtgärder, registreras i ODU för att säkerställa att de genomförs enligt de krav som ställs internt och externt. En planerad underhållsåtgärd kan registreras antingen som FU-åtgärd eller rond-åtgärd. När åtgärden är registrerad så genereras den vid en fastställd tidpunkt. Generering innebär att man inom ett tidsintervall flyttar information från underhållsmodulen till arbetsordermodulen i ODU. Efter en generering finns arbetsorder tillgänglig för den planerade åtgärden som ska genomföras inom angivet tidsintervall. När arbetsordern är genererad och granskad kan arbetet med avgränsningar, arbetstillstånd och skyddstillstånd påbörjas.

Arbets- och skyddstillstånd är de dokument som måste kvitteras ut innan ett arbete kan påbörjas. Dessa dokument måste sedan lämnas åter efter avslutat arbete så att anläggningsdelen kan återställas och tas i drift. Efter avslutat arbete avrapporteras utförda åtgärder i ODU där information om resultatet av åtgärden förs in. Efter denna procedur placeras åtgärden i historik.

De åtgärder som regleras av STF kap 4 genomgår varje vecka en uppföljning där man kontrollerar att de planerade åtgärderna utförts och avrapporterats i ODU. De planerade åtgärderna som är inlagda i ODU utgör OKG's fastställda underhållsplan.

Genom införandet av nya ställverket sker en ändring i anläggningen och vid ändringar ska de planerade åtgärder som regleras av STF registreras som FU-åtgärder eller rond-åtgärder i ODU innan aktuell anläggningsdel, objekt eller delobjekt tas i drift [12].

3.8 Reservdelar och lagerhållning

3.8.1 Allmän reservdels- och lagerhållningsteori

Vad beträffar reservdelar finns det olika teorier som kan tillämpas. Vid val av reservdelsfilosofi hos en anläggning bör man utreda hur underhållssäkerheten och därigenom driftsäkerheten påverkas vid olika alternativ. Det är inte säkert att konventionell reservdelsfilosofi och lagerhållningsteori, där man strävar efter att ha så lite kapital som möjligt bundet i lager, är optimalt för alla typer av företag och industrier. Vid anläggningar med stora ekonomiska förluster vid drift- och produktionsstörningar kan det mycket väl visa sig vara lönsamt att lagervålla viktiga komponenter även om lagerkostnaden då ökar. Genom att använda standardiserad utrustning kan bundet kapital i reservdelar minska.

Ett alternativ till att företaget själv står för lagerhållningen är att låta leverantören ta hand om lagerhållning av reservdelar. På detta sätt minskar lagerhållningskostnaderna men det är viktigt att leverantören kan garantera att reservdelarna kan vara på plats vid anläggningen inom en acceptabel tidsperiod.

Vid lageruppläggning kan följande indelning av material och reservdelar göras [4]:

- Förbrukningsmaterial
- Förbrukningsreservdelar
- Beredskapsreservdelar

3.8.1.1 Förbrukningsmaterial och reservdelar

Sådant material som förbrukas i den dagliga verksamheten kallas förbrukningsmaterial. Det finns olika system för att garantera att lagernivån hålls på en acceptabel nivå samt när och hur mycket material som behöver beställas av leverantör. Exempel på system är beställningspunktsystemet och periodbeställningssystemet. Beställningspunktsystemets är ett vanligt system vars funktion är att när lagret sjunkit till den nivå som valts till beställningspunkt beställs en viss kvantitet av varan för att öka lagernivån. Vid val av beställningspunkt måste hänsyn tas till att kvarvarande varor i lager med en viss sannolikhet ska täcka behovet under anskaffningstiden. Man bör tillämpa ett säkerhetslager eftersom anskaffningstiden kan variera mellan olika beställningar och därför innehåller en viss osäkerhet.

3.8.1.2 Beredskapsreservdelar

Beredskapsreservdelar är sådana reservdelar som behövs då plötsliga fel som inte kan förutses inträffar. Sådana typer av fel inträffar sällan men det kan vara mycket kostsamma fel eftersom beställningstiden på sådana komponenter kan vara mycket lång. Beställningstid på till exempel en stor transformator kan uppgå till över 1 år. Det är därför viktigt att ha reserver till vissa komponenter även om lagerkostnaden ökar. När man beslutar om beredskapsreservdelar bör man jämföra sannolikheten för att ett fel ska inträffa och kostnaden för lagerhållning av denna komponent med den bristkostnad som uppstår då ett fel inträffar och reservdelen saknas.

3.8.2 Reservdelar och lagerhållning på OKG

Reservdelshållning ingår som en punkt i LCC-analysen och påverkar därför OKG's framtida ekonomiska resultat. Det är viktigt att projektet lägger ner tid och arbete på att specificera vilka och hur mycket reservdelar som behöver inhandlas till det nya ställverket. Det finns mycket pengar att tjäna om man redan i projektets upphandlingsfas har reservdelshållningen i åtanke. Det är betydligt dyrare att inhandla till exempel reservbrytare i efterhand på grund av att man då redan installerat leverantörens utrustning och i princip är tvungen att köpa brytare av samma fabrikat. I projektets upphandlingsfas är det en helt annan konkurrenssituation där leverantören kan ge ett fördelaktigt pris.

Reservdelshållning på kärnkraftverk skiljer sig från vanlig industri eftersom ägarna till kärnkraftverken har höga krav på sig från myndigheter. Detta ger möjlighet till lagerhålla viktiga komponenter i större utsträckning än vad som är fallet i andra industrier. Ett alternativ till att hålla komponenter i lager är att överlåta reservdelsansvaret till en leverantör som då står för lagerhållning av önskade komponenter. Denna metod kräver att leverantören kan ge ett gott stöd och garantera att leveranstiden vid behov av en reservdel inte är för lång.

För att utvärdera kostnaden för lagerhållningen bör man jämföra den med kostnaden som uppkommer då fel inträffar och reservdelen inte finns tillgänglig i OKG's lager. Förutom anskaffningskostnaden tillkommer då kostnaden för eventuell taxi- eller flygfrakt om reservdelen är väsentlig för att återuppta driften. Tiden för driftstoppet eller störningen kommer med största sannolikhet att öka eftersom reservdelar till felbehäftad komponent eller utrustning inte finns tillgänglig för omedelbar underhållsåtgärd. Konsekvensen av att inte handla upp tillräckliga reservdelar kan bli längre avställningstider vid ett fel i ställverket.

System 642 har en central roll för elkraftförsörjningen inom Oskarshamn 1 och ett driftavbrott på grund av ett elektriskt fel i ställverket påverkar anläggningen i hög grad. Detta är en anledning till att komponenter av stor betydelse för elkraftförsörjningen bör finnas tillgängliga i OKG's lager.

Det bör finnas minst en komplett reservbrytare till varje skena i ställverket. Interna reservdelar till brytaren som utsätts för slitage bör också finnas tillgängliga på förråd.

Sannolikheten för ett driftstopp på grund av ett elektriskt fel i system 642 är i dagsläget högre än vad som blir fallet efter införandet av nytt ställverk. Detta beror på befintligt ställverks högre felintensitet orsakad av dess ålder. Denna lägre sannolikhet för driftstopp tillsammans med införande av likadan ställverkstyp som installeras på O2 i PLEX kan ge synergieffekter vad gäller reservdelshållning. Möjlighet till gemensamma reservdelar samt lån av komponenter vid akuta fel kommer då att finnas. Enligt [13] ska OKG ställa krav på att leverantören kontinuerligt informerar om förändringar i reservdelar till komponenter. Leverantören bör vid upphandling meddela under vilken tidsperiod som aktuella reservdelar finns tillgängliga för leverans till OKG och förvarna när aktuella reservdelar utgår ur deras sortiment. Det är önskvärt att standardiserade komponenter som finns i leverantörens ordinarie sortiment används. Leverantören bör föreslå lämpliga reservdelar som underhållsavdelningen får ta del av och ge synpunkter på.

3.9 Åldring av komponenter

Åldring definieras som förändring av fysiska egenskaper hos en komponent eller utrustning och är en funktion av tiden och utrustningens normala driftförhållanden. Genom åldring utsätts utrustningen för ständig försämring av egenskaper samt skador, korrosion, erosion och slitage vilket påverkar utrustningens livslängd och tillförlitlighet. Syftet med en långsiktig åldringshantering är att upptäcka, övervaka och utföra eventuella åtgärder i god tid för att hålla degraderingen av utrustningen inom acceptabla gränser. Uppgifter på intervall mellan planerade åtgärder och utbyten av komponenter för att uppnå utrustningens förväntade livslängd bör anges av leverantören. Uppgifter om vilka planerade tillståndskontroller som krävs för att fastställa komponentens status bör också anges. Resultatet av åldringsövervakningen utgör underlag för inköp av reservdelar, analyser och tekniska frågor. Följande aspekter bör beaktas vid inköp av ny utrustning med avseende på åldring enligt [13]:

- Komponenter och konstruktionslösningar som degraderar så lite som möjligt bör användas
- Materialval ska vara anpassade till aktuell driftmiljö
- Materialval ska verifieras med avseende på åldring av leverantören eller projektet
- Leverantören ska ange beräknad livslängd på komponenter, utrustningar och reservdelar. Utifrån beräknad livslängd ska leverantören specificera de underhållsåtgärder och eventuella utbyten som bedöms nödvändiga för att uppnå angiven livslängd.

4 Beskrivning av system 642

4.1 Befintligt ställverk och nätbild

Principen för system 642 och dess matning redovisas i bilaga A. Ställverkets komponentdata redovisas i Tabell 1.

Ställverket är idag uppbyggt med tre skenor, A6, B6 och C6. C6-skenan matas från 130 kV nätet via T12. A6- och B6-skenorna matas från G1 vid normal drift. Om G1 inte kan leverera effekt kan T11 matas från 130 kV nätet via T1 och ett skenstråk på 21,4 kV. Ställverket kan för närvarande reservkraftmatas från gasturbin G13 via O2 in på C6-skenan. En översikt av ställverksrummen visas i bilaga B. Befintlig uppställning av facken visas i bilaga C och D.

Brytarna i befintligt ställverk är truckbrytare som kan frånskiljas och rullas ut ur facken för underhåll. Ström- och spänningstransformatorer är placerade i facken. Reläskydden som ska koppla bort felbehäftad anläggningsdel vid ett elektriskt fel är placerad i det centrala relärummet som ligger cirka 50 meter från ställverksrummen. Ställverket matar underliggande skenor, transformatorer samt högspänningsmotorer till ett antal pumpar på O1. Belastningar redovisas i bilaga E.

Systemet är impedansjordat vilket innebär att endast signal ges vid ett jordfel på skenorna. Om två av de tre skenorna blir spänningslösa erhålls reaktorsnabbstopp [14]. Objekt av stor ekonomisk betydelse kan reservkraftmatas av gasturbin G13. Exempel på ett sådant objekt är turbinens smörjoljesystem som förser turbinens lagerytor med en oljefilm [15].

Tabell 1. Komponentdata för befintligt ställverk.

Ställverk 642.A6, B6, C6	Komponentdata
Fabrikat	ASEA
Typ	VHBC special
Märkspänning [kV]	6,45
Märkström [A]	3000
Ekvivalent korttidsström [kA]	32
Stötström ¹ [kA]	150
Stötström ² [kA]	90

¹ Skensystem inklusive nolledare.

² Övriga delar av systemet.

4.2 Nytt ställverk och nätbild

Principen för ny uppbyggnad av system 642 och dess matning redovisas i bilaga F.

OKG genom projekt CEM har tagit fram ett grundkoncept för utrustningen i nya ställverket. Mer detaljerade kravspecifikationer kommer att tas fram senare i projektet. När dessa kravspecifikationer är framtagna går förfrågan ut till tänkbara leverantörer. Möjliga leverantörer av ställverk är ABB, Siemens och Areva. För Oskarshamn 1 är det viktigt att hitta rätt upphandlingsform då man vill vara med och styra utformningen på utrustningen. Genom att tillämpa rätt upphandlingsform kan underhållsmässigheten på utrustningen påverkas positivt. Ur underhållssynpunkt är ett ställverk av samma typ som installeras på O2 i PLEX att föredra då liknande utrustning redan finns installerad på halvön och personalen på så sätt redan är van vid utrustningens handgrepp och dokumentation.

Enligt det grundkoncept [8] som tagits fram i CEM ska det nya ställverket dimensioneras efter de värden som redovisas i Tabell 2.

Tabell 2. Dimensionerande komponentdata för nya ställverket.

Ställverk 642.A6, B6, C6 och D6	Komponentdata
Fabrikat	Ej specificerat
Typ	Ej specificerat
Märkspänning [kV]	7,2
Märkström [A]	2500
Ekvivalent korttidsström [kA]	40
Stötström [kA]	100

Vid införandet av nytt 6,3 kV ställverk i CEM ska nätbilden ändras och en ny D6-skena tillkommer. Det innebär att de belastningar som idag finns på C6 ska fördelas på C6 och D6. Genom denna förändring av nätbild kan O1 reservkraftmatas från båda gasturbinerna, G13 kan mata C6 och G23 kan mata D6. Oskarshamn 1 får ett starkare nät samtidigt som gasturbinerna kan driftklassas och STF-kraven minskar.

Huvudfördelningsställverket i system 642 har krav på att förse underfördelningsställverket i system 692 med ordinarie elkraft. Genom att D6 skenan tillkommer kan de säkerhetsklassade dieselsäkrade ställverken i system 692 matas från varsin skena tillhörande system 642. Införandet av en fjärde skena i system 642 ökar på detta sätt driftsäkerheten och tillgängligheten av system 692.

En förutsättning för att ny nätbild med fyra skenor ska vara möjlig är att nuvarande T12 ersätts av en trelindningstransformator där sekundär- och tertiärlindningarna kan mata C6 respektive D6. Utbyte av T12 ingår i CEM och är planerad till år 2013.

O1 är idag i behov av reservkraft från O2 via ett kabelförband. Detta beroende kommer att byggas bort i CEM vilket gör att reservmatningen till O1 frigörs från O2.

5 Layout och uppställning av nya ställverket

5.1 System 642 efter CEM

Det nya ställverket ska vara uppställt i befintliga ställverksrum. A6 och B6 skenorna ska placeras i rum A och C6 och D6 skenorna i rum B.

Förslag på fysisk uppställning av facken visas i bilaga H och G.

Till följd av att en ny D6 skena tillkommer i CEM blir det en viss omfördelning av belastningar. De belastningar som matas av nuvarande C6 skenan kommer att delas upp på C6 och D6 skenorna.

Ett förslag till ny lastfördelning har tagits fram i projekt CEM och redovisas i bilaga I.

5.1.1 ABB UniGear ZS1

Förslag på uppställning av facken har baserats på skåpsdimensioner tillhörande ABB's ställverk UniGear ZS1. Denna typ av ställverk ska installeras på O2 i PLEX.

UniGear ZS1 är ett luftisolerat, cellindelade mellanspänningsställverk med utdragbara kassettkomputerade kopplingsapparater. Facket är indelat i tre separata celler för kabel, brytare och samlingskena [16]. Märkdata och dimensioner på aktuellt ställverk redovisas i Tabell 3.

Ställverket kan levereras med olika kopplingsapparater. ABB's brytare till aktuellt ställverk benämns VM1, VD4 och HD4. VM1 och VD4 tillämpar vakuum som brytmedia och HD4 tillämpar svavelhexafluorid (SF_6).

Tabell 3. Märkdata och dimensioner på ABB's ställverk typ UniGear ZS1.

Fabrikat	ABB
Typ	UniGear ZS1
Märkspänning [kV]	7,2
Märkström [A]	<4000
Ekvivalent korttidsström [kA]	<50
Stötström [kA]	<125
Fackhöjd ¹ [mm]	2675
Fackbredd ² [mm]	800
Fackdjup [mm]	1340

¹ Inklusiv tryckavlastningskanal.

² 1000 mm för inkommande fack från T11 och T12.

5.1.2 Uppställning av facken

5.1.2.1 Märkströmmar och fackdimensioner

Ställverksfackens dimensioner beror bland annat på vilken märkström på skenor och brytare som krävs. En uppskattning av de märkströmmar som krävs för inkommande och utgående brytarfack har utförts genom att beräkna märkströmmen ur märkvärdena på spänning samt skenbar effekt på de matade objekten. För de objekt där skenbar effekt ej fanns angiven har värden på brytarens märkström hämtats från [8]. Dimensionerna har sedan hämtats ur ABB's katalog [17]. Värden för ställverk med märkspänning <12 kV och ekvivalent korttidsström <50 kA har använts. Resultatet redovisas i bilaga 0.

På grund av att ställverket ska dimensioneras för en ekvivalent korttidsström på 40 kA under 1 sekund kommer bredden på facken att bli 800 mm för de inkommande och utgående fack där den vertikala skenan har en märkström upp till 2000 A. För inkommande matning från T11 och T12 ska brytare med märkström 2500 A användas enligt [8]. Detta medför att dessa fack bör dimensioneras för minst 2500 A vilket betyder att fackbredden ökar till 1000 mm enligt [17].

5.1.2.2 Åtgärder i ställverksrummen

De flesta befintliga kabelgenomföringarna kan även i fortsättningen användas men det kan bli nödvändigt med nya genomföringar för matande kablar från T11 och T12 samt för facken tillhörande nya D skenan. Att de flesta befintliga genomföringar kan användas beror på att kabelanslutningarna i UniGear ställverket är mer centralt placerade än hos det befintliga ställverket och att fackens djup minskar med 260 mm vilket gör det möjligt att ställa upp facken närmare väggen i ställverksrummet. Föreslagen uppställning ger bredare betjäningsgång vilket underlättar vid transport av komponenter. Angivet förslag tyder på viss utrymmesbrist i rum A om både eventuellt mätfack för samlingsskenan och reservfack ska utplaceras. Vid de eventuella mätfacken för samlingsskenorna kan det bli nödvändigt med distansplåtar för att kunna använda de genomföringar som redan finns. Utformning av skenbryggor mellan A6 och C6 samt B6 och D6 bör ses över när definitiv uppställning av facken är bestämd.

6 Diskussion

Vid projektering och konstruktion av ett nytt ställverk är det många aspekter som ska tas hänsyn till. Personsäkerheten är en viktig aspekt där moderna ställverk är betydligt bättre än sina föregångare bland annat på grund av kortare felbortkopplingstider och bättre system för tryckavlastning vid en eventuell kortslutning i ställverket. Hänsyn ska också tas till märk- och kortslutningsströmmar samt kopplingsmöjligheter, översiktlighet, väl fungerande felbortkopplingssystem och kostnader. Förutom dessa konstruktionstekniska egenskaper är det viktigt att ta hänsyn till drift- och underhållsaspekter för att ställverket ska kunna utföra sin uppgift att fördela elektrisk energi med hög driftsäkerhet och tillgänglighet under hela sin tekniska livslängd.

De underhållsaspekter som tagits fram och specificerats i examensarbetet kan anses relativt generella och kan därför tillämpas i andra sammanhang än vid konstruktion av nya mellanspänningsställverk på kärnkraftverk. Vid konstruktion av industriella- och distributionsfördelningsställverk bör i princip samtliga framtagna underhållsaspekter kunna tillämpas i någon mån. Det bör ligga i alla industrier och eldistributörers intresse att optimera driftsäkerheten och tillgängligheten av sin utrustning och därmed minska underhållskostnader samt drift- och produktionsbortfall. För att uppnå god driftsäkerhet i ställverk bör konstruktörer och underhållsingenjörer samarbeta för att optimera de tre viktiga egenskaperna funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet. Det är viktigt att krav och önskemål om hur utrustningen bör utformas framförs under projekteringsstadiet så att den slutliga konstruktionen uppfyller ställda krav och ger förutsättningar för hög tillgänglighet och kvalitativt underhållsarbete.

Tillgänglighetskraven på ställverk i kärnkraftverk är höga eftersom de matar objekt som är mycket viktiga för drift och säkerhet av verken. Ett eventuellt fel i ställverket kan medföra att till exempel ordinarie matning till en av huvudcirkulationspumparna slås ut vilket kan medföra att reaktoreffekten måste sänkas. I syfte att förbättra övervakningen av ställverket i system 642 skulle ett kontinuerligt temperaturövervakningssystem för skenorna kunna installeras. Det är då möjligt att på ett effektivt sätt kontrollera ställverkets status med avseende på driftströmmar samt eventuell varmgång. Alternativet till detta är att fortsätta med termografering av ställverket för att kontrollera temperaturen på skenorna. Nackdelen med termografering är de långa tidsintervallen mellan mätningarna då ingen temperaturövervakning är tillgänglig.

De ställverk som diskuterats i examensarbetet har varit konventionella ställverk. En annan typ som skulle kunna installeras är ett intelligent ställverk. Begreppet ”intelligent” syftar på att styrsystem integreras i ställverket för att förbättra möjligheterna för styrning, övervakning och larmhantering. Med ett intelligent ställverk kan driftsäkerhet och personsäkerhet förbättras genom att intelligenta funktioner för bland annat larm, utlösning, förreglingar, driftinformation och underhållsbehov byggs in i ställverket. Skillnaden mellan konventionella och intelligenta ställverk är att de intelligenta ställverken har en dator i varje fack som samlar in signaler från sensorer som placeras ut på olika ställen i facket. Fackdatorerna utvärderar sedan insamlad information och ger förslag på de eventuella åtgärder som behövs. På detta vis erhålls en kontinuerlig övervakning av ställverket. Det finns även möjlighet att installera en ljusbågseliminatorsom jordar alla tre faser så snabbt att ingen tryckökning eller heta, giftiga gaser hinner uppstå vid en kortslutning. Detta medför att inget tryckavlastningssystem behövs. En fördel med intelligenta ställverk är att i princip inget periodiskt underhåll krävs då fackdatorerna övervakar ställverket och larmar när en underhållsåtgärd krävs. Eftersom underhållsbehovet är lågt kan kostnaderna för underhåll och i förlängningen livstidskostnaden för ställverket sänkas.

Vid installation av ett intelligent ställverk förlitar man sig på att tekniken med kontinuerlig övervakning av ställverket via fackdatorerna fungerar korrekt. Därför krävs kunskap samt ett högt förtroende för denna teknik inom underhållsorganisationen innan ett intelligent ställverk kan installeras. Idag finns det intelligenta ställverk att köpa och de kommer troligtvis att bli mer vanliga då tekniken blivit mer beprövad. En annan användbar funktion som kan bli aktuell i framtiden är övervakning av ställverk via webbservrar. Eftersom information om ställverkets tillstånd kan skickas genom servern är det möjligt för underhållsingenjörer och tekniker att erhålla larm via SMS eller e-post direkt från ställverket.

6.1 Ställverks tillämpningar

I syfte att visa på de skillnader som finns mellan fördelningsställverk i kärnkraftverk, inom industrin och inom distribution kan en jämförelse göras. Ställverkens uppbyggnad med antal samlingsskenor, omkopplingsmöjligheter och kontrollutrustning beror på hur drift- och produktionsstörningar värderas. I kärnkraftverk värderas driften mycket högt vilket märks i behandlat huvudfördelningsställverk där antalet samlingsskenor kommer öka från tre till fyra vilket medför ett starkare nät inom Oskarshamn 1 samt möjlighet att mata de säkerhetsklassade dieselsäkrade underfördelningsställverken i system 692 från varsin samlingsskena i huvudfördelningsställverket. Ställverket i system 642 kommer att ha fyra olika inmatningsvägar efter CEM vilket medför en större driftsäkerhet jämfört med idag. För att hålla anläggningen i drift finns det krav på två inmatningsvägar till ställverket i system 642. Matning av ställverket kan ske antingen från huvudgeneratorerna på Oskarshamn 1 eller från 130 kV nätet via T1 och T11 eller via T12. Det kommer även att finns möjlighet till reservkraftmatning från två gasturbiner till huvudfördelningsställverket samt de fyra dieselgeneratorerna som kan reservkraftmata varsitt av underfördelningsställverken i system 692. För att snabbt kunna koppla bort objekt vid ett elektriskt fel är kraven på reläskydden mycket höga inom kärnkraften. För särskilt betydelsefulla objekt anses det inte tillräckligt med ett ordinarie och ett reservskydd utan de två subarna kompletteras med ytterliggare ett skydd i varje sub för att förhindra obefogad utlösning och driftstopp enligt dual 2/2 principen. Denna metod är speciell för kärnkraftindustrin och visar att driften prioriteras väldigt högt. Ur underhållssynpunkt skiljer sig ställverk inom kärnkraften främst genom de krav på driftklarhet, STF, som anges av myndigheten SSM. Det innebär att avställningstiden för underhåll i ställverken är begränsad.

När det gäller industriella ställverk bör man skilja på ställverk i små och stora industrier. För små industrier i industriområden är det ofta tillräckligt att ansluta sin anläggning till lågspänning, 400 V, eller till en abonnentstation, 11 kV. En abonnentstation fungerar i princip som en nätstation men eldistributören har installerat mätutrustning på 11 kV sidan av transformatorn i stationen för att kunna debitera energin. Abonnentstationer matas antingen från en radiell ledning eller från en slinga. Typ av matning påverkar stationens driftsäkerhet då omkopplingsmöjlighet finns om abonnentstationen matas från en slinga. Större industrier har ett större effektbehov, liknande ett kärnkraftverk, och därför behöver dessa industrier matas med en högre spänning för att hålla driftströmmar på en rimlig nivå. Det är vanligt att denna typ av industri har ett mottagningsställverk där leveransspänningen transformeras ned till önskad spänningsnivå, till exempel 132/11 kV, för att sedan distribueras till huvudfördelnings- och underfördelningsställverk. Huvudfördelningsställverken består ofta av två samlingsskenor i dubbelfacksutförande där möjlighet finns att flytta belastningar mellan samlingsskenorna. Detta utförande kräver mycket utrymme men ger stora

omkopplingsmöjligheter då belastningar kan flyttas mellan samlingskenorna genom att förflytta truckbrytaren till den samlingskena och fack man önskar mata belastningen med. Huvudfördelningsställverken matar utan transformering underfördelningsställverken. Dessa ställverk har vanligtvis en enkel samlingskena men kan vara inbördes kopplade i slinga alternativt med reservkabel för att ge omkopplingsmöjligheter. Underfördelningsställverken kan även matas från flera huvudfördelningsställverk när kraven på driftsäkerhet är stora. I särskilda processer kan ställverken reservkraftmatas från en dieselgenerator. Reläskydden inom industrin bygger ofta på principen med ett ordinarie och ett reservskydd. Kraven på snabb och tillförlitlig bortkoppling av felbehäftad anläggningsdel är stora men anses vara uppfyllda genom att tillämpa ett skyddssystem med två subar. I de typer av industrier där ett produktionsbortfall blir mycket kostsamt skulle dual 2/2 principen som används på kärnkraftverk, med en extra uppsättning skydd i varje sub, kunna tillämpas för att minska sannolikheten för obefogad utlösning av viktiga objekt och därigenom öka driftsäkerheten. Tillämpning av dual 2/2 är en kostnadsfråga och bör bedömas utifrån de kostnader som produktionsbortfallet medför. Industriella företag är ofta inte lika ekonomiskt starka som ägarna till kärnkraftverken.

I distributionsnät sker fördelning av elkraften på en spänningsnivå av antingen 22 kV eller 11 kV. Fördelningsstationerna matas ofta från ett överliggande nät på 45-132 kV. Ställverken är uppbyggda med antingen dubbel eller enkel samlingskena och är placerade inomhus i likhet med fördelningsställverk inom kärnkraft och övrig industri. Uppbyggnaden av ställverk med dubbel samlingskena görs i dubbelfacksutförande på samma sätt som inom industrin. För att dubbelfacksutförandet ska bli ekonomiskt tilltalande bör endast en brytare till varje utgående kabel användas även att varje kabel har två fack för att möjliggöra anslutning av kabeln till önskad samlingskena. Inom distributionsverksamheten innebär detta en komplikation eftersom brytarna ofta är fjärrstyrda från en driftcentral men måste förflyttas manuellt mellan skenorna. Därför bör brytare installeras i varje fack vid lösning med dubbelfackutförande för att möjliggöra omkoppling av kabeln mellan skenorna utan att behöva åka ut till stationen. Detta problem existerar inte på kärnkraftverk då avstånden mellan centralt kontrollrum och ställverk är relativt små. Alternativet till denna lösning är en enkel samlingskena med sektioneringsbrytare för att kunna utföra omkopplingar och ändra matningsvägar. Kraven på driftsäkerhet i distributionsnäten kan anses relativt höga men driftavbrott får inte samma ekonomiska konsekvenser som inom kärnkraften och övrig tillverkande industri. Följden av ett fel i ett fördelningsställverk, med avbrott i elleveransen till kunder som följd, blir att eldistributören får ersätta sina kunder efter en viss tid. I distributionsnät är snabb bortkoppling av fel viktig för att inte utsätta personer och utrustning för fara vid fel i anläggningarna. Skyddssystemen bygger på ett ordinarie och ett reservskydd och beror bland annat på den systemjordning som tillämpas i systemet.

7 Slutsatser och rekommendationer till fortsatt arbete

Framtagna underhållsaspekter bör beaktas i syfte att installera ett fördelningsställverk med hög driftsäkerhet och tillgänglighet. Detta ger lägre underhållskostnader vilket innebär lägre livstidskostnad för utrustningen och positiv påverkan på OKG's ekonomi.

Framtaget förslag på uppställning av facken får ses som en preliminär lösning då förslaget är grundat på vissa antaganden. Antalet fack i nya ställverket är svårt att förutsäga då systemkonstruktion och kravspecifikationer inte varit fastställda. Den utrymmesundersökning som gjorts i framtaget förslag tyder på att det nya ställverket med fyra skenor kommer att kunna ställas upp i de befintliga ställverksrummen med en viss utrymmesbrist i rum A. Det kommer förmodligen att krävas nya kabelgenomföringar för inkommande kabel från T11 och T12 samt för den nya D6 skenan.

Rekommendationer till fortsatt arbete är:

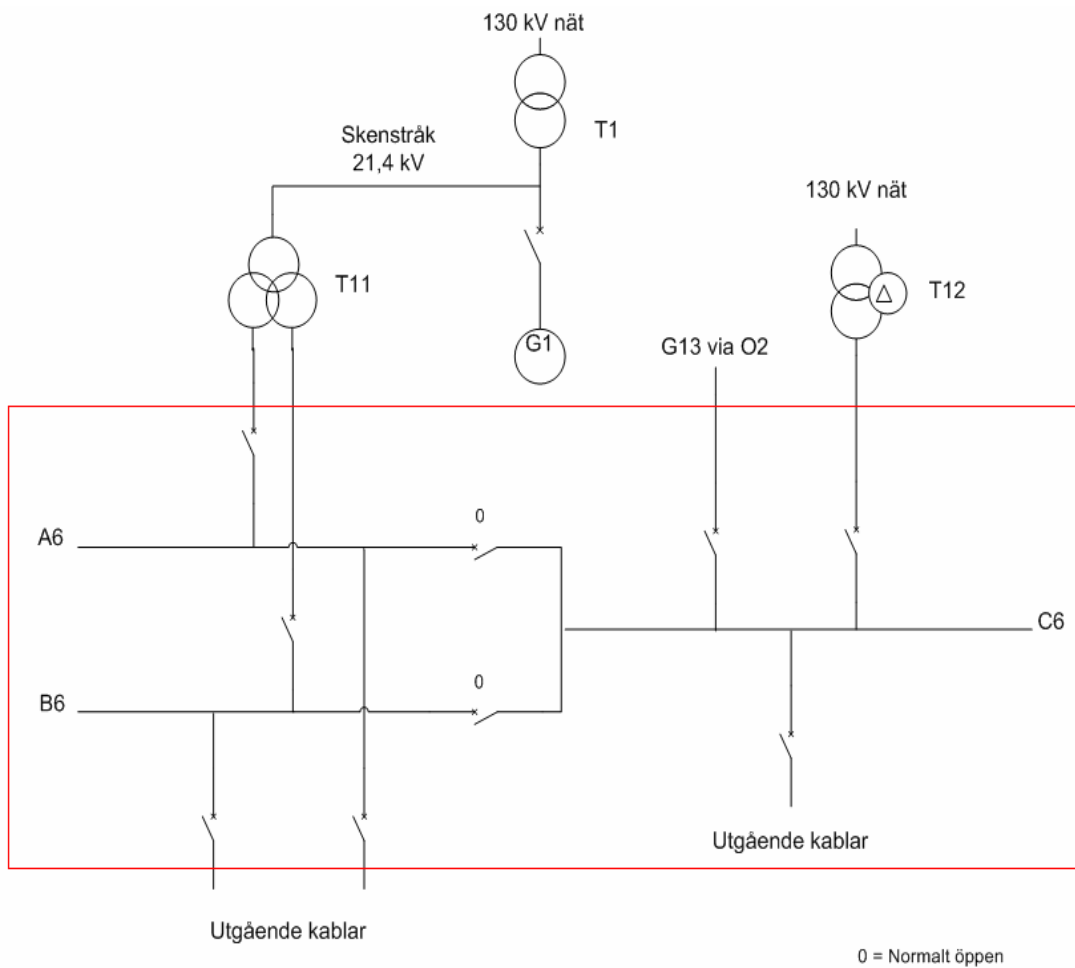
- Utforma förslag på hur förreglingar, jordningar samt central manöver av brytare från centrala kontrollrummet kan utföras.
- Undersökning av om befintligt 6,3 kV kablage är tillräckligt dimensionerat och har tillräcklig längd för ny ställverkslayout.
- Se till att leverantörer tar hänsyn till framtagna underhållsaspekter.
- Undersökning av hur nya kontrollutrustningen i ställverket kan implementeras i datorbaserat HMI.
- Nytt och utökat ställverk med brytare och reläskydd innebär att ny selektivplan behöver utformas där hänsyn får tas till övriga anläggningen.

Källförteckning

1. Persson, Per-Åke (2007-05-02). *Oskarshamn 1 - Beredningsrapport - Åtgärder i centrala eldelen - Föråldrad utrustning*. Utgåva 2. OKG AB.
2. Barnekow, Ann (2006-06-19). *Oskarshamn 1 - Uppdragsbeskrivning till TP för projektering, införande och avslut - CEM Central Eldel Modernisering*. Utgåva 1. OKG AB.
3. SS-EN 13306 *Underhåll-Terminologi*.
4. Johansson, Karl-Edward (1997). *Driftsäkerhet och underhåll*. Upplaga 2:7. Studentlitteratur.
5. Hagelberg, Janolof m.f.l. (1997). *Elkraftshandboken - Elkraftsystem 2*. Upplaga 2. Stockholm. Liber AB.
6. Gustafsson, Birgitta (2009-02-27). *Instruktion för genomförande av LCC-analys*. Utgåva 3. OKG AB.
7. Mattsén, Henrik (2006-01-18). *Oskarshamn 1 - Projekt Kraft - O1 CEM - PG-möte 2 den 17 januari 2006*. Utgåva 2. OKG AB.
8. Jönsson, Jonas (2006-05-15). *Oskarshamn 1 - Project CEM - Technical specification and documentation*. Utgåva 1. OKG AB.
9. ABB (2009). *Testsystem – Combitest*. [Elektronisk]. ABB. Tillgänglig: <[http://library.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/0bdfda5acd7769b5c125720b0070afc6/\\$File/1MRK512001BENCenTestSystemCOMBITEST.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/0bdfda5acd7769b5c125720b0070afc6/$File/1MRK512001BENCenTestSystemCOMBITEST.pdf)> [2009-11-16]
10. Carlsson, Mikael (2008-11-18). *Tekniska instruktioner inom underhållsverksamheten*. Utgåva 4. OKG AB
11. Carlsson, Mikael (2009-01-16). *Krav och riktlinjer för underhållsverksamhet på OKG*. Utgåva 2. OKG AB.
12. Carlsson, Mikael (2008-12-22). *Rutiner för att registrera, ändra och ta bort planerade åtgärder i OKG's drift- och underhållssystem*. Utgåva 2. OKG AB
13. Carlsson, Mikael (2008-12-22). *Avdelning U's uppgifter i samband med ändringar i OKG's anläggningar*. Utgåva 2. OKG AB.
14. Jönsson, Jonas (2007-09-28). *Oskarshamn 1 - Systembeskrivning för system 642 - 6,3 kV ställverk automatiskt gasturbinsäkrade*. Utgåva 6. OKG AB.
15. Viklund, Anders (2005-05-26). *Oskarshamn 2 - Anläggningskonfiguration för gasturbinerna*. Utgåva 1. OKG AB.
16. ABB (2009). *Metallkapslat, luftisolerat mellanspänningsställverk UniGear typ ZS1*. [Elektronisk]. ABB. Tillgänglig: <<http://www.abb.se/product/db0003db004279/c125739900636470c1256f9b0043acc5.aspx>> [2009-07-24]

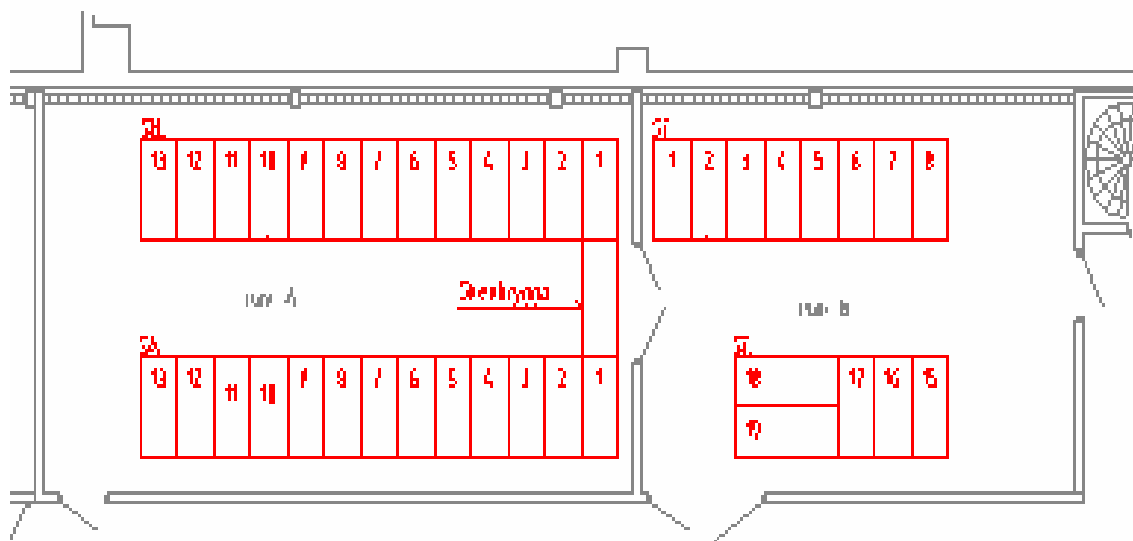
17. ABB (2009). *UniGear type ZS1 - Medium Voltage, arc-proof, air-insulated, metal-clad switchgear*. [Elektronisk]. ABB. Tillgänglig:
<[http://library.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/765d37e2d0e87005c12570b9004f8c98/\\$File/CA_UNIGEAR\(EN\)B_1VCP000138x.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/765d37e2d0e87005c12570b9004f8c98/$File/CA_UNIGEAR(EN)B_1VCP000138x.pdf)> [2009-07-24]

A. Principschema över befintligt system 642



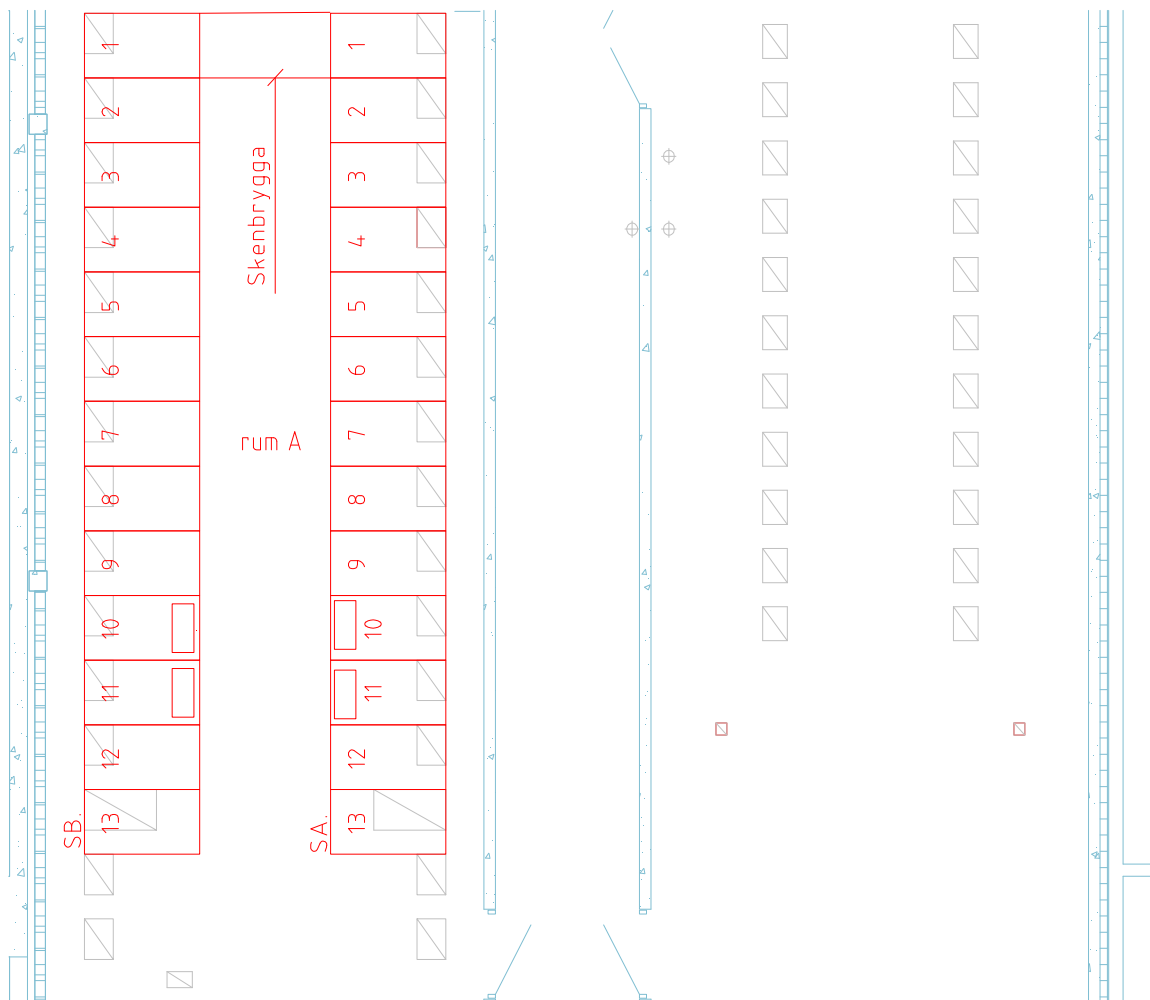
Figur A. Principschema över system 642 och dess matning.

B. Översikt av ställverksrummen i centrala eldelen



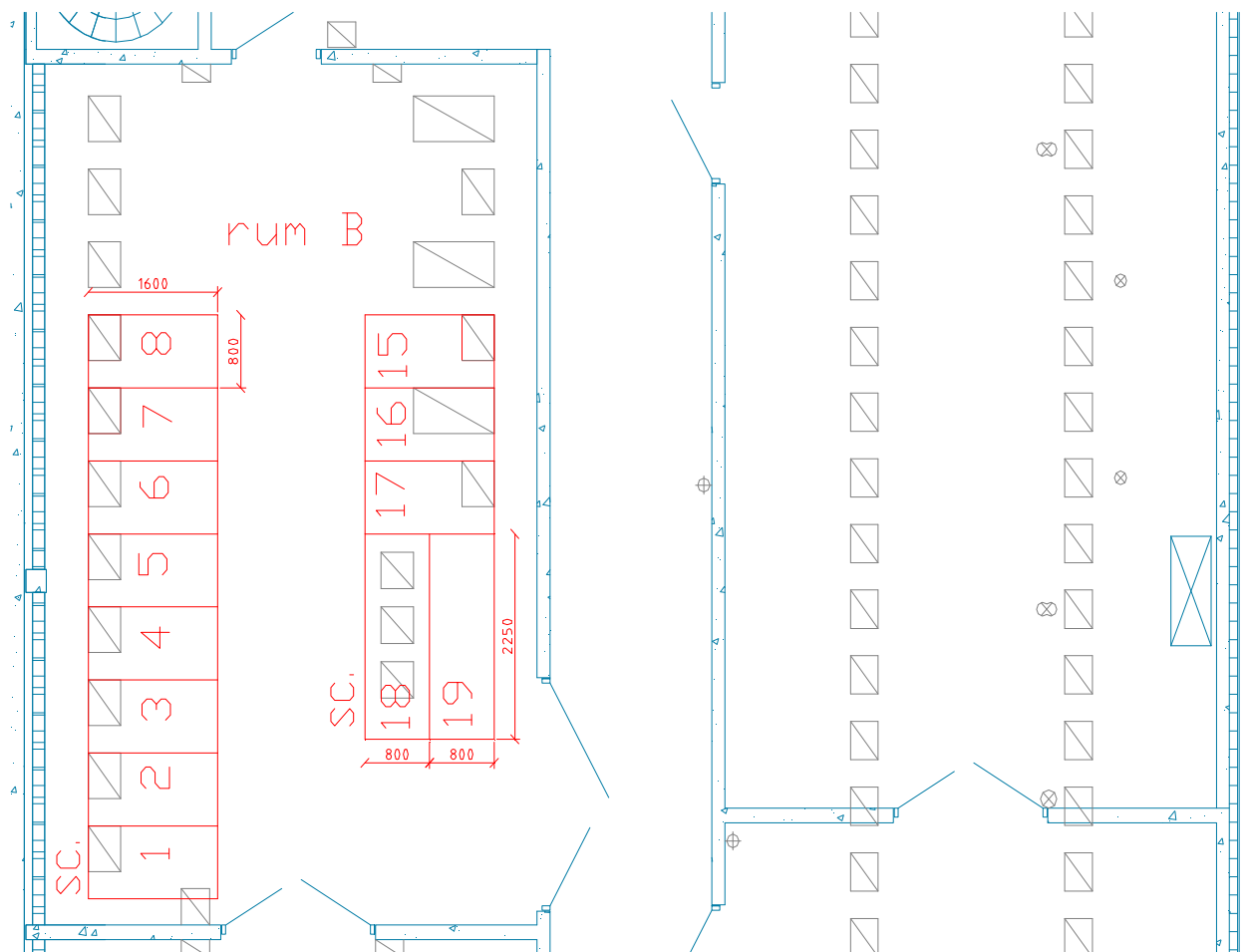
Figur B. Uppställning av fack tillhörande system 642 kan ses i rum A och B.

C. Befintlig uppställning av fack i rum A



Figur C. Befintliga kabelgenomföringar och fack tillhörande skenorna A6 och B6.

D. Befintlig uppställning av fack i rum B

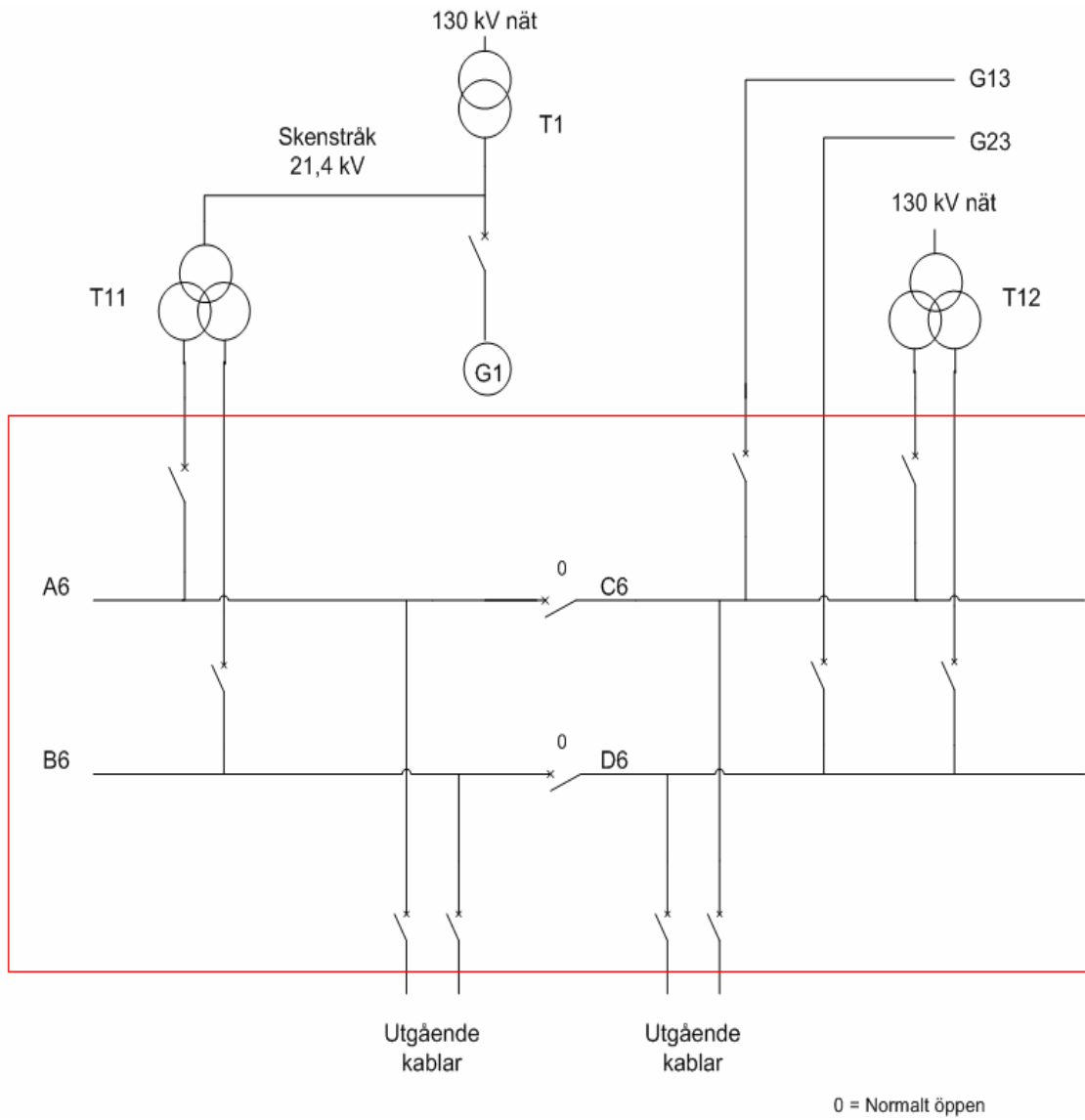


Figur D. Befintliga kabelgenomföringar och fack tillhörande skena C6.

E. Befintlig lastfördelning system 642

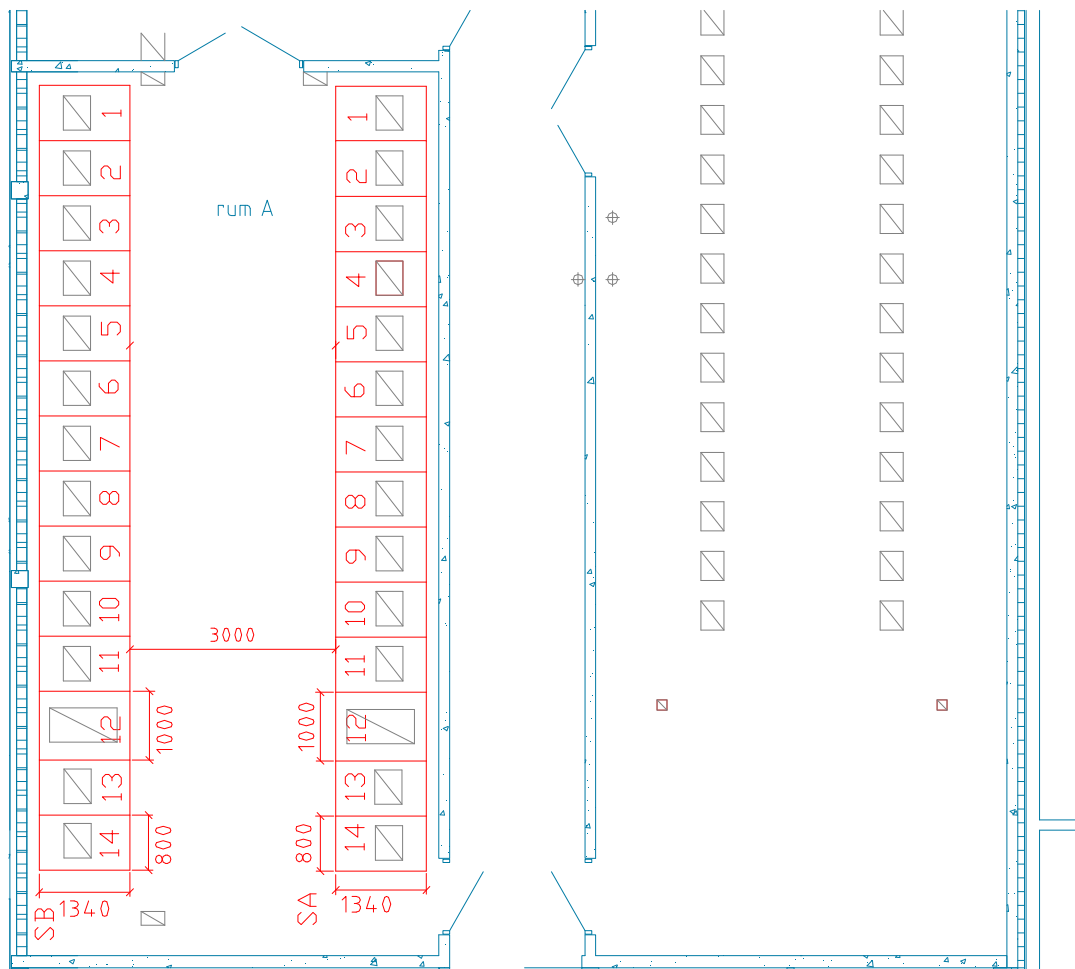
Skena	Fack	Objekt	ca Effekt [kVA]	Placering
642.A6	SA1	Skenfack		Rum A
642.A6	SA2	Sektionering mellan 642.A6 och 642.C6		Rum A
642.A6	SA3	Matning till dieselskena i 692.Wxxx		Rum A
642.A6	SA4	Matning till transformator 673.LTxxx	2000	Rum A
642.A6	SA5	Matning till transformator 650.xxx	1500	Rum A
642.A6	SA6	Matning till transformator 650.xxx	1500	Rum A
642.A6	SA7	Matning till pump 434.xx	630	Rum A
642.A6	SA8	Matning till pump 434.xx	630	Rum A
642.A6	SA9	Matning till pump 441.xx	500	Rum A
642.A6	SA10	Matning till pump 312.xx	4800	Rum A
642.A6	SA11	Matning till pump 442.xx	1530	Rum A
642.A6	SA12	Inkommande matning från T11 brytarfack		Rum A
642.A6	SA13	Inkommande från T11 kabelfack		Rum A
642.B6	SB1	Skenfack		Rum A
642.B6	SB2	Sektionering mellan 642.B6 och 642.C6		Rum A
642.B6	SB3	Matning till dieselskena 692.Wxxx		Rum A
642.B6	SB4	Matning till transformator 643.LTxxx	2000	Rum A
642.B6	SB5	Matning till transformator 650.Txx	1500	Rum A
642.B6	SB6	Matning till transformator 650.Txx	1500	Rum A
642.B6	SB7	Matning till pump 434.Px	630	Rum A
642.B6	SB8	Matning till pump 434.Px	630	Rum A
642.B6	SB9	Matning till pump 441.Px	500	Rum A
642.B6	SB10	Matning till pump 312.Px	4800	Rum A
642.B6	SB11	Matning till pump 442.Px	1530	Rum A
642.B6	SB12	Inkommande matning från T11 brytarfack		Rum A
642.B6	SB13	Inkommande matning från T11 kabelfack		Rum A
642.C6	SC1	Matning till pump 442.xx	1530	Rum B
642.C6	SC2	Matning till pump 312.xx	4800	Rum B
642.C6	SC3	Matning till 325.xx	5000	Rum B
642.C6	SC4	Matning till transformator 643.LTxxx	1000	Rum B
642.C6	SC5	Matning till transformator 643.LTxxx	1000	Rum B
642.C6	SC6	Matning till transformator 643.LTxxx	2000	Rum B
642.C6	SC7	Matning till dieselskena 692.Wxxx		Rum B
642.C6	SC8	Matning till dieselskena 692.Wxxx		Rum B
642.C6	SC15	Matning till transformator 673.LTxxx	2000	Rum B
642.C6	SC16	Inkommande matning från G13 via O2		Rum B
642.C6	SC17	Inkommande T12		Rum B
642.C6	SC18	Inkommande T12		Rum B
642.C6	SC19	Inkommande T12 brytarfack		Rum B

F. Principschema över system 642 efter CEM



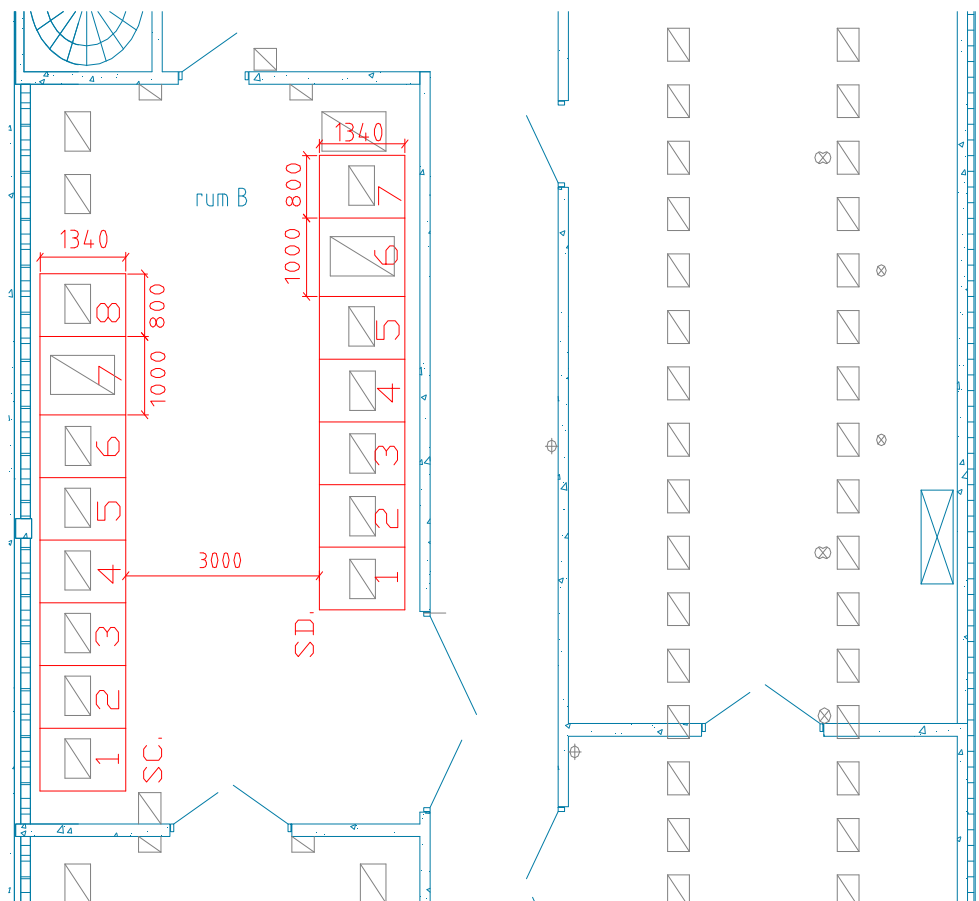
Figur F. Principschema över system 642 och dess matning.

G. Förslag på ny uppställning av fack i rum A



Figur G. Förslag på uppställning av fack för skena A6 och B6 i rum A.

H. Förslag på ny uppställning av fack i rum B



Figur H. Förslag på uppställning av fack för skena C6 och D6 i rum B.

I. Ny lastfördelning system 642

Skena	Fack	Objekt	ca Effekt [kVA]	Placering
642.A6	SA1	Sektionering mellan 642.A6 och 642.C6		Rum A
642.A6	SA2	Matning till dieselskena 692.Wxxx		Rum A
642.A6	SA3	Matning till transformator 673.LTxxx	2000	Rum A
642.A6	SA4	Matning till transformator 650.Txx	1500	Rum A
642.A6	SA5	Matning till transformator 650.Txx	1500	Rum A
642.A6	SA6	Matning till pump 434.Px	630	Rum A
642.A6	SA7	Matning till pump 434.Px	630	Rum A
642.A6	SA8	Matning till pump 441.Px	500	Rum A
642.A6	SA9	Matning till pump 312.Px	4800	Rum A
642.A6	SA10	Matning till pump 442.Px	1530	Rum A
642.A6	SA11	Matning till transformator 643.LTxxx	2000	Rum A
642.A6	SA12	Inkommande matning från T11		Rum A
642.A6	SA13	Eventuellt mätfack för samlingskena A6		Rum A
642.A6	SA14	Eventuellt reservfack		Rum A
642.B6	SB1	Sektionering mellan 642.B6 och 642.D6		Rum A
642.B6	SB2	Matning till dieselskena 692.Wxxx		Rum A
642.B6	SB3	Matning till transformator 643.LTxxx	2000	Rum A
642.B6	SB4	Matning till transformator 650.Txx	1500	Rum A
642.B6	SB5	Matning till transformator 650.Txx	1500	Rum A
642.B6	SB6	Matning till pump 434.Px	630	Rum A
642.B6	SB7	Matning till pump 434.Px	630	Rum A
642.B6	SB8	Matning till pump 441.Px	500	Rum A
642.B6	SB9	Matning till pump 312.Px	4800	Rum A
642.B6	SB10	Matning till pump 442.Px	1530	Rum A
642.B6	SB11	Matning till transformator 673.LTxxx	2000	Rum A
642.B6	SB12	Inkommande matning från T11		Rum A
642.B6	SB13	Eventuellt mätfack för samlingskena B6		Rum A
642.B6	SB14	Eventuellt reservfack		Rum A
642.C6	SC1	Matning till pump 442.Px	1530	Rum B
642.C6	SC2	Matning till pump 312.Px	4800	Rum B
642.C6	SC3	Matning till transformator 643.LTxxx	1000	Rum B
642.C6	SC4	Matning till dieselskena 692.Wxxx		Rum B
642.C6	SC5	Inkommande matning från G13		Rum B
642.C6	SC6	Eventuellt mätfack för samlingskena C6		Rum B
642.C6	SC7	Inkommande matning från T12		Rum B
642.C6	SC8	Eventuellt reservfack		Rum B
642.D6	SD1	Matning till transformator 643.LTxxx	1000	Rum B
642.D6	SD2	Matning till dieselskena 692.Wxxx		Rum B
642.D6	SD3	Matning till 325.Ex	5000	Rum B
642.D6	SD4	Inkommande matning från G23		Rum B
642.D6	SD5	Eventuellt mätfack för samlingskena D6		Rum B
642.D6	SD6	Inkommande matning från T12		Rum B
642.D6	SD7	Eventuellt reservfack		Rum B

Tabell 4. Ny lastfördelning system 642.

J. 6,3 kV brytarnas märkström

Skena	Fack	Skenbar effekt [kVA]	Märkspänning [kV]	Märkström objekt [A]	Märkström brytare [A]
642.A6	SA1	Ej angivet	7,2		1250
642.A6	SA2	Ej angivet	7,2		630
642.A6	SA3	2000	7,2	160,4	630
642.A6	SA4	1500	7,2	120,3	630
642.A6	SA5	1500	7,2	120,3	630
642.A6	SA6	630	7,2	50,5	630
642.A6	SA7	630	7,2	50,5	630
642.A6	SA8	500	7,2	40,1	630
642.A6	SA9	4800	7,2	384,9	630
642.A6	SA10	1530	7,2	122,7	630
642.A6	SA11	2000	7,2	160,4	630
642.A6	SA12	Ink.från T11: 12500	7,2	1002,3	2500
642.A6	SA13	Eventuellt mätfack	7,2		
642.A6	SA14	Reservfack	7,2		630
642.B6	SB1	Ej angivet	7,2		1250
642.B6	SB2	Ej angivet	7,2		630
642.B6	SB3	2000	7,2	160,4	630
642.B6	SB4	1500	7,2	120,3	630
642.B6	SB5	1500	7,2	120,3	630
642.B6	SB6	630	7,2	50,5	630
642.B6	SB7	630	7,2	50,5	630
642.B6	SB8	500	7,2	40,1	630
642.B6	SB9	4800	7,2	384,9	630
642.B6	SB10	1530	7,2	122,7	630
642.B6	SB11	2000	7,2	160,4	630
642.B6	SB12	Ink.från T11: 12500	7,2	1002,3	2500
642.B6	SB13	Eventuellt mätfack	7,2		
642.B6	SB14	Reservfack	7,2		630
642.C6	SC1	1530	7,2	122,7	630
642.C6	SC2	4800	7,2	384,9	630
642.C6	SC3	1000	7,2	80,2	630
642.C6	SC4	Ej angivet	7,2		630
642.C6	SC5	Från G13:Ej angivet	7,2		1250
642.C6	SC6	Eventuellt mätfack	7,2		
642.C6	SC7	Ink.från T12: 20000	7,2	1603,8	2500
642.C6	SC8	Reservfack	7,2		630
642.D6	SD1	1000	7,2	80,2	630
642.D6	SD2	Ej angivet	7,2		630
642.D6	SD3	5000	7,2	400,1	630
642.D6	SD4	Från G23:Ej angivet	7,2		1250
642.D6	SD5	Eventuellt mätfack	7,2		
642.D6	SD6	Ink.från T12: 20000	7,2	1603,8	2500
642.D6	SD7	Reservfack	7,2		630