

2017-06-12



Analys av ett distributionsnät i en bangård

Helen Andersson

EXAMENSARBETE
Elektroingenjör med inriktning mot elkraft
Institutionen för ingenjörsvetenskap

Förord

Arbetet som beskrivs i rapporten rör ett examensarbete på Högskolan Väst, arbetet omfattar 15Hp och är utfört på företaget Atkins Global AB.

Jag vill tacka mina handledare Andreas Petersson och Fatih Kosmaz för all hjälp jag har fått under arbetet, samt alla på Atkins kontor i Västerås för att de var trevliga arbetskamrater när jag var där.

Gällande rapporten så gäller att där inget annat anges är rapportens figurer och tabeller framtagna av författaren.

Juni, 2017

Helen Andersson

Analys av ett distributionsnät i en bangård

Sammanfattning

En undersökning av en eldistributionsanläggning i en bangård har utförts på begäran av företaget Atkins Global AB. Anläggningen inkluderar elförsörjning till signalutrustning, uppvärmning av växlar och belysning för stationens plattformar.

Inledande studie inkluderade litteraturstudier om krav för den här typen av anläggning och insamlande av data rörande kablar och skydd i anläggningen. För det sistnämnda gäller att enbart säkringar av olika storlek skyddar antingen FXQJ eller AXQJ kablar av varierande storlek. Anläggningen matas normalt från en trelindad huvudtransformator via två centraler. Där central A1 matar signalutrustningen via kabelskåp F3 och belysningen med en huvudspänning på 400V och där central B1 matar utrustningen för uppvärmning av växlarna med en huvudspänning på 230V. Matningen från central B1 sker med två parallella kablar via kabelskåp FS4/36. Det finns även en hjälpmatning från en mindre transformator in till F3 om bortfall av ordinarie matning från A1 skulle ske.

Anläggningen undersöktes med beräkningsprogrammet; MyEcodial från Schneider Electric, med hänsyn till om det fanns personskydd och överlastskydd. Resultatet blev en serie av ändringsförslag rörande säkringar och kablar i anläggningen.

I den del av anläggningen som försörjer signalutrustningen rekommenderas att, till en av de befintliga signalkioskerna, ett kabelbyte utförs till en AXQJ 3x95/29 kabel och att en strömmätning rörande om befintlig 100A säkring kan sitta kvar eller om en ny 80A säkring bör sättas in utförs. Från F3 till både hjälpmatningen och A1 måste en ny säkring på 200A sättas in för att garantera skydd för befintlig kabel. För belysningskretsen var det problem med selektiviteten då båda befintliga säkringar har märkströmmen 63A, undersökningen visade att den undre av säkringarna bör bytas ut till en ny säkring med högst märkströmmen 50A och minst 32A. Rörande kretsen som matar utrustningen för uppvärmning av växlarna är det även här nödvändigt med en strömmätning, detta för att se om det är möjligt att närmast centralen A1 byta ut den nuvarande 400A säkringen mot en mindre 315A säkring. Om inte detta byte är möjligt måste två kablar av samma storlek som de befintliga kopplas in parallellt med befintliga kablar för att garantera att det finns personskydd för kretsen.

Datum:	2017-06-12
Författare:	Helen Andersson
Examinator:	Lars Holmblad
Handledare:	Fatih Kosmaz, Atkins Global AB Andreas Petersson, Gothia Power
Program:	Elektroingenjör med inriktning mot elkraft, 180hp
Huvudområde:	Elektroteknik
Kurspoäng:	15 högskolepoäng
Utgivare:	Högskolan Väst, Institutionen för ingenjörsvetenskap, 461 86 Trollhättan Tel: 0520-22 30 00, E-post: registrator@hv.se , Web: www.hv.se

An analysis of an electrical distribution system in a railway yard

Summary

An analysis of an electrical distribution system located in a railway yard have been requested by Atkins Global AB. The system includes electrical distribution to signal equipment, heating equipment for the switches and lightning for the platforms.

The initial part of the analysis consisted of a literature study regarding requirements for this type of system and the gathering of data regarding the cables and the fuses in it. The cabling are either of the type FXQJ or AXQJ. The system is normally powered from a three-winding transformer via two centrals, the first central A1 supplies the signal equipment electricity, through the subcabinet F3, and the lightning both powered by a main voltage 400V and central B1 powers the equipment for heating the switches with the main voltage 230V. The distribution from B1 consists of two parallel cables feeding a subcabinet FS4/36. There also exists an auxiliary power supply from a smaller transformer T3, used if the main power supply should disappear.

The remaining investigation was conducted in the calculation program MyEcodial by Schneider Electric. The investigation focused on personal safety and short current calculations. The result was a series of suggested changes regarding the fuses and cables in the system.

The results of the investigation regarding the powering of the signal equipment was such that a recommendation to change the cable going from F3 to one of the signal cabinets to an AXQJ 3x95/29 cable and to conduct a current measurement regarding if the present 100A fuse can remain or if it should be switched to an 80A fuse. From F3 to both the main power supply and the auxiliary power supply new fuses with 200A must be put in to ensure that the cables are protected. For the powering of the lightning it was the selectivity between the fuses that was the problem since they both had the size 63A, the investigation proved that it was the lower fuse that should be replaced with a fuse with highest 50A and lowest 32A. Regarding the power supply for the heating of the switches it is once again necessary to do a current measurement to determ if it is possible to switch the present 400A fuse to a smaller one on 315A. If not then two more cables of the same size as the present ones must be installed parallel to the present ones to ensure safety for people.

Date:	June 12, 2017
Author(s):	Helen Andersson
Examiner:	Lars Holmblad
Advisor(s):	Fatih Kosmaz, Atkins Global AB Andreas Petersson, Gothia Power
Programme name:	Electrical Engineering, Electric Power Technology, 180 HE credits
Main field of study:	Electrical Engineering
Course credits:	15 HE credits
Publisher:	University West, Department of Engineering Science, S-461 86 Trollhättan, SWEDEN Phone: +46 520 22 30 00, E-mail: registrator@hv.se , Web: www.hv.se

Innehåll

Förord	i
Sammanfattning	ii
Summary	iii
Nomenklatur	vi
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Problembeskrivning och avgränsningar	1
1.4 Tillvägagångssätt och etappmål.....	2
2 Metod för dimensioneringsberäkningar på elanläggningar	4
2.1 Lastberäkningar.....	4
2.2 Kortslutningsberäkningar.....	4
2.3 Modellering av trelindningstransformator	6
2.4 Kabeldimensionering	7
2.5 Säkringar	8
2.6 Selektivitet	9
3 Beräkningar på den aktuella anläggningen	10
3.1 Beskrivning av den aktuella anläggningen.....	10
3.2 Att använda MyEcodial.....	12
3.3 Övergripande om undersökningen av anläggningen	13
3.4 Beräkningar för modellering av T5/36	14
3.5 Förutsättningar och resultat för beräkningar av de olika delarna i anläggningen	15
3.5.1 Kretsen med växelvärmarna	15
3.5.2 Belysningskretsen.....	17
3.5.3 Kretsen med signalutrustningen.	19
3.5.4 Hjälpmatningen från T3.....	21
3.6 Resultat från manuell kabeldimensionering	22
4 Diskussion	25
4.1 Undersökning av växelvärmarna.....	25
4.2 Undersökning av belysningskretsen	25
4.3 Undersökning av signalskåp och signalkiosker.....	25
4.4 Hjälpmatning från T3	26
4.5 Analys av använd metodik	26
5 Slutsatser	28
Referenser	29
Bilagor	
A: Exempel på kabeldimensionering enligt SS 424 14 24.....	A:1
B: Exempel på kabeldimensionering enligt SS 424 14 06.....	B:1

Figurförteckning

Tabell 1 Känt för nätet	11
Tabell 2 Kända storheter för transformatorer T5/36 och T3.....	12
Tabell 3 Beräkningsresultat för modellering av T5/36.....	14
Tabell 4 Uppgifter och resultat från undersökning 1: Växelvärmarna.....	16
Tabell 5 Uppgifter och resultat från undersökning 2: Växelvärmarna	17
Tabell 6 Uppgifter och resultat från undersökning 1: Belysning	18
Tabell 7 Uppgifter och resultat från undersökning2: Belysning	18
Tabell 8 Uppgifter och resultat från undersökning1: Signalutrustning	20
Tabell 9 Uppgifter och resultat från undersökning 2: Signalutrustning	21
Tabell 10 Uppgifter och resultat från undersökning 2: Hjälpmatning	22
Tabell 11 Manuell kabeldimensionering utifrån SS424 14 24.....	23
Tabell 12 Manuella beräkningar för kabeldimensionering utifrån SS424 14 06	24

Nomenklatur

Vokabulär

Nedströms objekt	= Objekt som från referenspunkten sett ligger mot lastobjektets riktning.
Selektivitet	=Att rätt skydd ska lösa ut för ett elektriskt fel.
Signalkiosk	=En kiosk innehållande utrustning för signalutrustning
Signalskåp	=Ett skåp innehållande utrustning för signalutrustning.
Signalsystem	=System för kontroll av tågsignalutrustning.
Växelvärmarer	=Utrustning som används för att värma upp järnvägsspår och järnvägsväxlar.

Symboler

I_Z	=Belastningsförmåga för kabel [A]
I_k	=Kortslutningsström [A]
I_{k3}	=Trefasig kortslutningsström [A]
I_l	=Linjeström [A]
I_n	=Märkström [A]
S_k	=Kortslutningseffekt [VA]
S_n	=Skenbar märkeffekt [VA]
U_h	=Huvudspänning [V]
U_n	=Märkspänning [V]
Z_k	=Kortslutningsimpedans [Ω]
$Z_{k\%}$	=Relativ kortslutningsimpedans för en transformator angivet i procent [%]
$Z_{k12\%}$	=Relativ kortslutningsimpedans för transformator T5/36 impedans mellan primärlindningen och sekundärlindningen på sida 2. [%]
$Z_{k23\%}$	=Relativ kortslutningsimpedans för transformator T5/36 impedans mellan sekundärlindningarna. [%]
$Z_{k31\%}$	=Relativ kortslutningsimpedans för transformator T5/36 impedans mellan primärlindningen och sekundärlindningen på sida 3. [%]
$Z_{kt3\%}$	=Relativ kortslutningsimpedans för transformator T3 impedans. [%]

1 Inledning

Den här rapporten behandlar ett examensarbete som är utfört på företaget Atkins Sverige AB. Arbetet berör en eldistributionsanläggning för en bangård vilken har som uppgift att förse en del av bangården med elektricitet för: uppvärmning av spåren, signalsystem och belysning.

1.1 Bakgrund

Företaget Atkins jobbar främst med byggnation och planering av järnvägar, men även samhällsbyggnad [1]. Inom båda av områdena ingår planering och uppförande av elanläggningar. Att järnvägar och järnvägsstationer är i behov av elkraft för att driva tågen är välkänt, men elkraft behövs även för att försörja all kringutrustning för järnvägen. Utrustningen ifråga inkluderar: tele- och signalutrustning, belysning samt uppvärmning av både järnvägsspåret och stationens lokaler.

Atkins har tidigare varit delaktiga i att planera en ny järnvägsstation i Södertälje. Företaget vill nu att anläggningen ses över för att undersöka om det finns något som behöver åtgärdas eller förbättras. Anläggningen har spänningarna 400V, 50Hz och 230V, 50Hz. Själva anläggningen inkluderar ett teknikhus som vidarefördelar matningen till ett antal signalskåp och signalkiosker. Anläggningen inkluderar även utrustning för uppvärmning av järnvägsspåren, så kallade växelvärmare, och belysning i anläggningen.

Anläggningen som projektet behandlar har varit i drift under en period och då det har förekommit störningar i anläggningen har det nu blivit aktuellt att identifiera och åtgärda eventuella kritiska punkter i nätet. Vad som främst har varit ett problem i anläggningen är säkringarnas utlösning för personskydd och selektivitet. Vilket är de två sakerna som främst kommer att undersökas i det här arbetet.

Liknande examensarbeten som har studerats var Selektiv bedömning för en 690V fördelning på SCA Edet [2] och Selektivplan över mellanspänningsanläggningen på Munkedals AB [3]. Detta för att undersöka vilken metodik tidigare studenter har använt när de löst liknande problem.

1.2 Syfte

Målet är att presentera en rapport innehållande en utvärdering av selektivitet och personskydd i anläggningen som Atkins Sverige AB har projekterat för bangården. Detta med betoning på vilka förbättringar och ändringar som kan göra anläggningen mera effektiv och säkrare i drift.

1.3 Problembeskrivning och avgränsningar

Atkins har tidigare projekterat anläggningen, men vill nu att den ska ses över för att säkerställa selektiviteten och personskyddet i anläggningen. Detta då det har varit problem

med säkringarnas utlösning i nätet sedan det togs i bruk. För att göra detta måste information om anläggningen tillhandahållas, samtliga kablar måste kontrolleras för att säkerställa att de klarar av de kortslutnings och belastningsströmmar som finns i nätet och alla säkringar i nätet måste undersökas.

För att uppnå detta ska följande utföras:

- Insamling av data från andra teknikdiscipliner
- Beräkning av de totala effekterna med hjälp av beräkningsprogram
- Selektivitetsberäkning
- Dimensionering av kabeln
- Dimensionering av skydd och inställningar av skydd
- Förbättringsförslag för anläggningen

Anläggningen i bangården är större än vad som kommer att undersökas i det här arbetet, men företaget är endast intresserade av att få den del av anläggningen som benämns Södertälje hamn undersökt. Det är enbart den del av nätet som försörjer belysningen, uppvärmningen av växlarna och signalsystemet med elektricitet som är av intresse för projektet. Anläggningen anses börja vid de två transformatorerna, vilket betyder att inget nät med spänning över 400V kommer att undersökas och analysen kommer enbart att fokusera på anläggningen under transformatorerna. Dock kommer spänningen 22kV, som är spänningen på primärsidan för huvudtransformatorn, att användas vid kortslutningsberäkningarna för denna transformator.

1.4 Tillvägagångssätt och etappmål

Projektet delas in i två delar; en inledande del med informationsinsamling gällande regler, standarder, lagar för den här typen av anläggningar och den generella utformningen av dessa. I den här delen av projektet undersöks också vilken utrustning som finns i den aktuella anläggningen.

Projektets andra del innefattar beräkningar på selektivitet, kabeldimensionering och skyddsinställningar för anläggningen. Beräkningarna utförs främst i beräkningsprogrammet MyEcodial men vissa beräkningar utförs manuellt.

Beräkningarna i MyEcodial delas in i två delundersökningar; den första med en förenklad modellering av lasten har syftet att få en inledande bild av vilka delar av nätet som det är problem med och av vilken typ problemet är av. Den andra delundersökningen utförs med en fullständigt modellerad last och används för att ta fram lösningar på de problem som upptäckts i delundersökning 1.

Utifrån det tillvägagångssätt som har redovisats ovan har följande etappmål satts:

- Inledande studie av krav för utrustningar i den här typen av anläggningar.

- Inhämtande av data för det aktuella nätet, till exempel vilka säkringar och kablar finns det och hur stora är lasterna?
- Kortslutningsberäkningar och lastberäkningar för nätet. Inkluderar även alla beräkningar som är nödvändiga för att kunna modellera anläggningen i beräkningsprogrammen.
- Undersökning av kretsen som förser värmeväxlarna med ström
- Undersökning av belysningskretsen
- Undersökning av kretsen som förser signalskåp och signalkiosker med ström.
- Sammanställande av resultat och förbättringsförslag.

Huvudmålet med projektet är det sista delmålet.

2 Metod för dimensioneringsberäkningar på elanläggningar

I det här avsnittet presenteras grundläggande teori rörande lastberäkningar och kortslutningsberäkningar, samt teori för övriga beräkningar och modelleringar som krävs för projektet. Utöver detta så redovisas den utrustning som återfinns i den aktuella anläggningen, både rörande dess funktion samt de elektriska storheter som krävs för dimensionering av utrustningen. Speciellt berörs de beräkningar som krävs för att räkna på en trelindad transformator och för omvandlingen av denna till en ekvivalent Y-koppling med tre transformatorer.

2.1 Lastberäkningar

I projektet utförs de flesta av beräkningarna i beräkningsprogrammet men några manuella beräkningar är nödvändiga, varvid följande samband används.

Den skenbara effekten S i ett trefassystem beräknas enligt

$$S = \sqrt{3} \cdot U_h I_l \quad (1)$$

där

U_h = huvudspänning

I_l = linjeström.

Beräkningar rörande den aktiva effekten P , är främst aktuella vid belastningsberäkningar för anläggningen och utförs enligt:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_h I_l \cos \varphi \quad (2)$$

där

φ = den vinkel som finns mellan spänningen och strömmen.

Större delen av lastberäkningarna utförs i beräkningsprogrammet MyEcodial. Programmet är tillverkat av företaget Schneider Electric [4] som främst tillverkar elkomponenter. Programmet valdes på grund av krav från Atkins, och en beskrivning av hur programmet fungerar återfinns under kapitel 3.2.

2.2 Kortslutningsberäkningar

För kortslutningsberäkningar används impedansmetoden och delkortslutningsmetoden [5] [6], den förstnämnda går ut på att alla komponenter och ledningar som finns i nätet ses som impedanser i beräkningsschemat medan den sistnämnda använder sig av de teoretiska delkortslutningseffekterna för komponenter. De ekvationer som används för beräkningar redovisas nedan. Notera att samtliga ekvationer förutsätter att det finns tre faser i systemet, vilket är det normala i distributionsnät.

För att beräkna en lednings eller en komponents delkortslutningseffekt S_k , vilket är en teoretisk hjälpstorhet vid kortslutningsberäkningar, kan följande samband som räknar med huvudspänning U_h och den kortslutningsström I_k som objektet utsätts för användas:

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_h I_k \quad (3)$$

Om objektets kortslutningsimpedans Z_k är känd kan följande samband användas för att beräkna kortslutningsströmmen:

$$I_k = \frac{U_h}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (4)$$

Kombinerar ekvation (3) och (4) får man ett uttryck för kortslutningsimpedansen beroende på kortslutningseffekten.

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_h \cdot \left(\frac{U_h}{\sqrt{3} Z_k} \right) \quad (5)$$

$$S_k = \frac{U_h^2}{Z_k} \quad (6)$$

$$Z_k = \frac{U_h^2}{S_k} \quad (7)$$

Vid kortslutningsberäkningar för transformatorer är det viktigt att känna till transformatorns relativa kortslutningsimpedans $Z_{k\%}$ angiven antingen i p.u eller %. I det aktuella projektet har om inte annat anges den relativa kortslutningsimpedansen angivits i %. Är relativvärdet känt kan följande samband användas för att ta fram transformatorns kortslutningsimpedans på upp- eller nedsidan.

$$Z_k = \frac{Z_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \quad (8)$$

där

U_n = transformatorns märkspänning på den sida som impedansen hänförs till

S_n = transformatorns skenbara märkeffekt.

Men det kan vara bättre att veta transformatorns skenbara kortslutningseffekt S_{kT} och då används följande ekvation:

$$S_{kT} = \frac{S_n}{Z_{k\%}} \quad (9)$$

Ekvationerna ovan, med undantag för de två sista vilka enbart berör transformatorer, gäller främst för ledningar men vid impedansmetoden görs ingen skillnad på om den angivna impedansen är en ledningsimpedans eller en transformatorimpedans. Dessa ekvationer kommer att användas även när kortslutningsberäkningar för transformatorerna utförs.

För att ta fram kortslutningsströmmen med impedansmetoden i en vald punkt i nätet krävs att en impedanssummering av alla impedanser innan felstället görs. Detta betyder att man räknar på om impedanserna är serie- eller parallellkopplade beroende på hur nätet ser ut. I det aktuella fallet är alla impedanser i anläggningen seriekopplade och impedanserna kan därför summeras enligt:

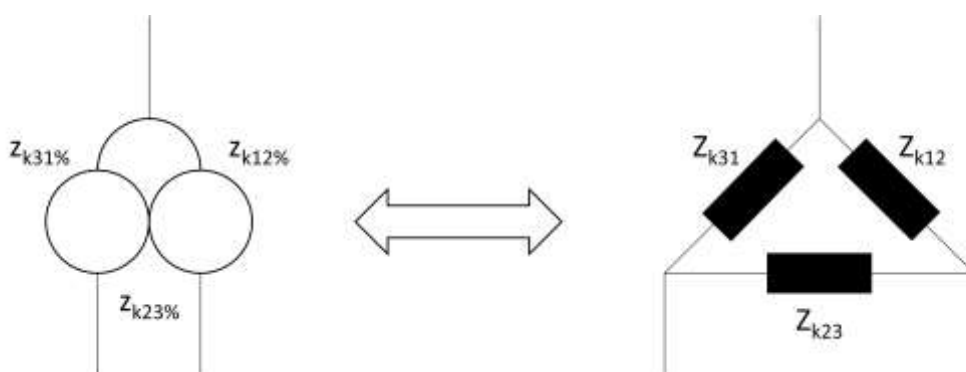
$$Z_{ktotal} = \sum_{k=1}^k Z_k \quad (10)$$

När kortslutningsberäkningar utförs dimensioneras normalt ett nät efter värsta tänkbara fall, vilket för kortslutningsberäkningar är I_{k3} , det vill säga den trefasiga kortslutningsströmmen för kretsen. Därför kommer samtliga kortslutningsströmmar om inte annat anges att vara den trefasiga kortslutningsströmmen i vald punkt i anläggningen.

2.3 Modellering av trelindningstransformator

I den aktuella anläggningen finns det två trefastransformatorer, en mellantransformator och en huvudtransformator med två sekundärlindningar. Då inget av de beräkningsprogram som finns tillgängliga kan utföra beräkningar på en transformator med två sekundärlindningar var det nödvändigt att först ta fram en lösning på hur transformatorn T5/36 skulle modelleras i beräkningsprogrammen. Detta utfördes med hjälp av svensk standard SS-EN 60909-0[7]. I denna standard beskrivs metodiken för att omvandla en trelindad transformator till en ekvivalent Y-koppling av tre transformatorer. En sammanfattning av metoden kommer att ske nedan men för en mera utförlig genomgång av metoden hänvisas läsaren till aktuell standard.

Det första som måste beräknas är transformatorns kortslutningsimpedans Z_k , för att göra detta används ekvation (8). Det är värt att notera att det relativ värde $z_{k\%}$ som är angivet i ekvationen inte behöver räknas om då man hänför från en sida till en annan i transformatorn. Det måste dock tas i åtanke när beräkningar med övriga storheter utförs. Oberoende av detta kan en trelindad transformator ses som en triangelkoppling av impedanser, enligt figuren nedan.



Figur 1 Impedansmodell av trelindad transformator

Utgående från figur 1 har standarden angivit följande formel för att beräkna sökta impedanser, notera att samtliga impedanser blir vid användning av följande formel hänfödda till primärsidan.

$$Z'_{k12} = \frac{Z_{kxx\%}}{100} \cdot \frac{U_{n1}^2}{S_{nxx}} \quad (11)$$

där

$Z_{kxx}\%$ = den relativa kortslutningsimpedansen för vald sida angiven i procent

S_{nxx} = den skenbara märkeffekten för vald sida

och

U_{n1} är märkspänningen på transformatorns primärsida.

Vidare är det angivet i SS-EN 60909-0[7] att impedanserna i den ekvivalenta Y-kopplingen av transformatorer beräknas enligt:

$$Z''_{kT1} = \frac{1}{2}(Z'_{k12} + Z'_{k31} - Z'_{k23}) \quad (12)$$

$$Z''_{kT2} = \frac{1}{2}(Z'_{k23} + Z'_{k12} - Z'_{k31}) \quad (13)$$

$$Z''_{kT3} = \frac{1}{2}(Z'_{k31} + Z'_{k23} - Z'_{k12}) \quad (14)$$

Efter att dessa ekvationer har använts görs en impedanssummering med ekvation (10) av nätets föreliggande impedanser och ekvation (4) används för att beräkna kortslutningsströmmen efter transformatorn. Eftersom att samtliga storheter i ovanstående ekvationer är hänfödda till primärsidan är det nödvändigt för att kunna utvärdera nätet på de båda sekundärsidorna att de kortslutningsströmmar som har räknats fram hänförs till aktuell sekundärsida med följande samband:

$$I_2 = \frac{U_1}{U_2} \cdot I'_2 \quad (15)$$

2.4 Kabeldimensionering

När en kabel dimensioneras finns det ett flertal faktorer som bör tas hänsyn till, dessa är belastningsförmåga, kortslutningstålighet, utlösningvillkor vid jordfel, förläggningssätt, högsta tillåtna temperatur för ledaren och spänningsfall, dessutom tillkommer en ekonomisk dimensionering. Det sistnämnda används när ett nät ska planeras och kommer inte att diskuteras eller användas i det här projektet då anläggningen redan är i bruk.

Belastningsförmågan för kabeln brukar anges med I_z . Det är ett mått på hur mycket ström kabeln klarar av att leda vid kontinuerlig drift utan att bli överhettad eller skadad. När det gäller att undvika att kabeln blir överhettad måste även hänsyn tas till bland annat förläggningssätt då detta påverkar kabelns förmåga att avleda värme. Kabeldimensionering med hänsyn till belastningsförmåga beräknas enligt Svensk standard SS424 14 24 [8]. Beräkningsmetodiken redovisas med hjälp av två exemplen i bilaga A.

När det gäller utlösningvillkor för jordfel är det fränkopplingstiden som är väsentlig, enligt svensk standard SS424 14 02-6 [9] ska bortkopplingstiden normalt vara 5 sekunder eller för kabelskydd inställda på under 32A 0,4 sekunder. Standarden kräver att transformatorstorlek och kablar för eventuellt innanliggande nät är kända, är detta känt kan värden för jordslutningsimpedans avläsas i tabeller som visar vilken jordslutningsimpedans en

transformator med en viss märkeffekt har och värden för jordslutningsimpedans per meter för olika typer av kablar. Med hjälp av dessa tabeller och kännedom om hur långa kablarna är eller vilken märkström säkringen som skyddar kabeln har kan man läsa av i standardens andra tabeller vilken maximal kabellängd som är tillåten för att utlösningvillkoret ska vara uppfyllt. Exempel på hur standarden används återfinns i bilaga B.

Övrigt som bör tas i åtanke när man dimensionerar kablar är att tillåtet spänningsfall i kabeln är 4% av nominell spänning, detta från en anläggningsdel till nästa, enligt Elinstallationsreglerna [10].

2.5 Säkringar

En säkrings uppgift är att skydda ett objekt eller en kabel från överströmmar, som kortslutningsström eller överlastström. Detta på grund av att dessa orsakar skador på objekten. I den aktuella anläggningen finns enbart smältsäkringar, teorin för dessa och deras funktion kommer att redovisas nedan.

En smältsäkring kan enklast beskrivas som en metalltråd vilken i normal drift leder ström, men som fungerar som en lokal försvagning av nätet som vid överströmmar går av eller smälter på grund av värmeutvecklingen i tråden orsakade av strömmen. Metalltråden är i sin tur omgiven av ett isolationsmedium som har som uppgift att påskynda släckningen av den ljusbåge som uppstår när tråden går av. Säkringens storlek anges i ampere, till exempel är en 50A säkring dimensionerad för märkströmmen 50A. Men det kan även vara nödvändigt att veta vilken mekanisk utformning eller fränskiljningsfunktion som säkringen har. Den mekaniska utformningen kan vara gängsäkring eller knivsäkring, i vårt nät är säkringar över storleken 63A knivsäkringar. Fränskiljningsfunktionen är inte specificerad men kommer att antas vara gG-typ, enligt uppgifter från företaget. En gG-säkring betyder att säkringen reagerar när strömmen är 1,6 gånger sin märkström [5].

Utöver angiven märkström är det vid selektivitetsberäkningar viktigt att veta att en säkring är strömbegränsande och enbart släpper igenom en viss ström och en viss energi, i motsats till effektbrytare som inte är strömbegränsande. Denna egenskap är bra att ha i åtanke när valet av säkring för en nätdel är aktuellt, speciellt bör förhållandet mellan kabels tillåtna strömvärde och säkringens maximala genomsläppta ström jämföras. Släpper säkringen igenom för stor ström i förhållande till kabelns strömvärde är den säkringen olämplig för den kabeln.

Effektbrytare har dock den fördelen att de kan ställas in tidsmässigt och är enkla att ställa tillbaka när de har löst ut, en säkring däremot måste bytas ut när den har löst ut. Detta är något som måste tas i åtanke när en anläggning planeras. Beroende på personaltillgångar och funktion kan ibland effektbrytare väljas på grund av att fjärmanövrering av skydden måste vara möjligt. I den aktuella anläggningen finns det dock uteslutande säkringar och inget önskemål från företaget om att detta ska ändras har givits.

Normalt brukar man dimensionera säkringen efter samma standard som kablar nämligen SS4241424 [8]. Vid en utförligare studie av en säkrings egenskaper, som vid studier av selektivitet är nödvändigt, kan ett diagram med axlar för tid och genomsläppt ström användas för att åskådliggöra säkringens egenskaper och för att jämföra dessa mellan olika säkringar för att undersöka om dessa är selektiva mot varandra.

Gällande det aktuella fallet finns risken att då anläggningen har varit i drift ett tag kan säkringarna och effektbrytarna som ursprungligen sattes in i anläggningen ha bytts ut på grund av slitage eller i säkringarnas fall för att de har löst ut. Även om säkringar av samma storlek har satts in som ersättning är det inte säkert att en säkring av samma märke har blivit ditsatt. Därför kommer enligt önskemål från företaget i den här undersökningen säkringar av typ IEC att användas, då dessa uppfyller minimikravet för säkringar.

2.6 Selektivitet

Selektivitet betyder i korthet att rätt skydd ska lösa vid ett fel. I praktiken betyder det att de skydd som finns i anläggningen måste vara dimensionerade så att underliggande skydd löser ut för underliggande fel innan överliggande skydd gör det. Normalt brukar man för säkringar anse att det ska skilja två säkringsstorlekar mellan överliggande och underliggande säkring. Men varianter av detta kan tillåtas förekomma om garanti för att det underliggande skyddet alltid kommer att lösa ut innan det överliggande finns. Det är en viktig del av utformningen av en anläggning att upprätta en selektivitetsplan. Detta för att om fel skydd löser ut leder det till omfattande skador på nätet och utrustningar, men även i värsta fall till att delar av nätet som inte behöver bli strömlösa blir det, vilket från nätägarens synpunkt är dåligt då de kan bli ersättningsskyldiga till de bortkopplade abonnenterna.

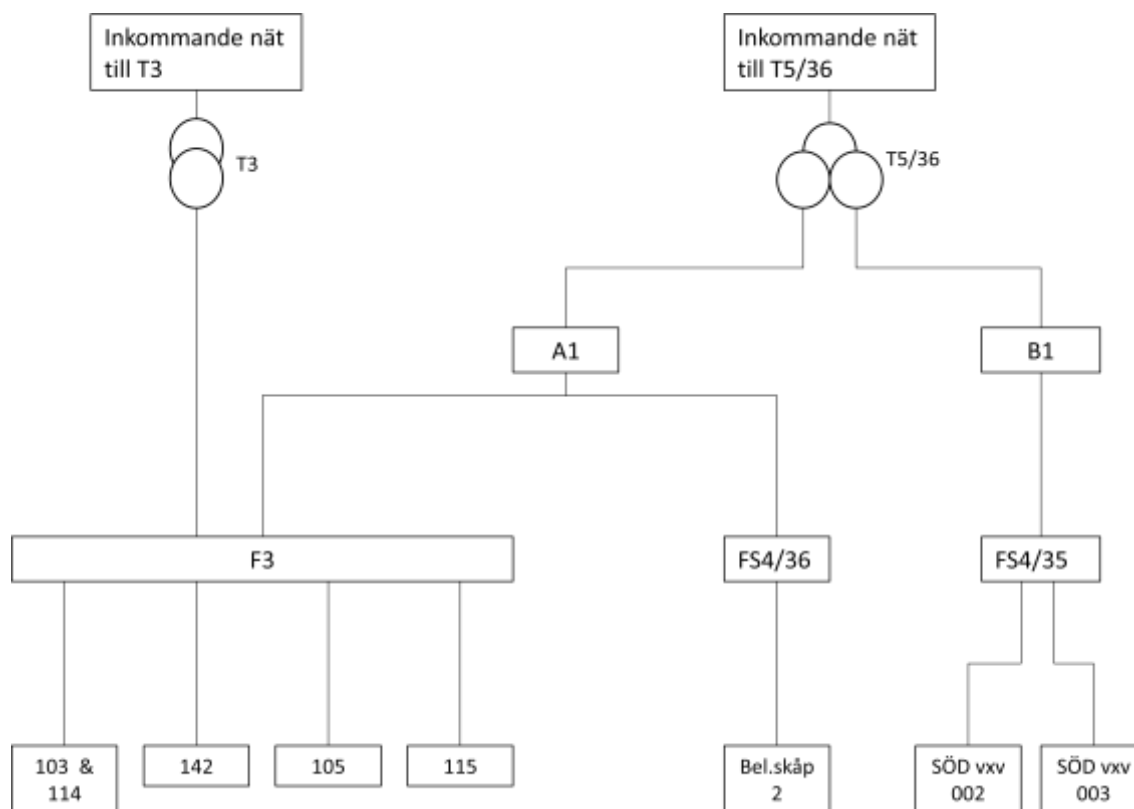
Man talar också om total selektivitet och tidsselektivitet. Med total selektivitet menas att skydden garanterat löser ut i den ordning som det är tänkt att de ska, överliggande efter underliggande, det är skyddets märkström som avgör om de är selektiva. Tidsselektivitet däremot betyder att ett av skydden har fördröjd utlösning, vilket betyder att selektivitet uppnås genom att det ena skyddet löser snabbare än det andra. Men detta kan i stora nät vara svårt att få att fungera bra, så det kommer inte att rekommenderas som en lösning på bristande selektivitet i det här projektet. Säkringar har inte någon möjlighet till tidsinställning och då dessa är dominerande i nätet är det inte aktuellt. I de fall som effektbrytare har använts kommer eventuell tidsselektivitet att redovisas. Informationen i avsnittet är hämtad ur Elkraftshandboken 1[11].

3 Beräkningar på den aktuella anläggningen

Under följande rubriker kommer samtliga beräkningar och förutsättningar för dessa att redovisas, samt alla modelleringar som krävdes för att kunna räkna med MyEcodial. Även en kortare beskrivning av hur programmet fungerar kommer att ges.

3.1 Beskrivning av den aktuella anläggningen

Det distributionsnät som ska undersökas i projektet ser i grova drag ut som följer nedan i figur 1. För de två inkommande delarna i nätet har följande data givits av företaget, för inkommande nät till T3 gäller $S_k=50\text{MVA}$, $U_h=400\text{V}$ och för inkommande nät till T5/36 gäller $S_k=150\text{MVA}$ och $U_h=22\text{kV}$.



Figur 2 Huvudlinjeschema för undersökt distributionsnät.

I figuren syns 7 olika laster, de laster som finns under F3 är signalskåp och signalkiosker. Det finns två signalskåp 103&114 och 142, notera att signalskåp 103&114 är ett enda skåp men att det tidigare var två olika och därför har behållit dubbelnumreringen. De två övriga lasterna under F3 är signalkioskerna 105 och 115. Lasten Bel.skåp 2 är en förkortning för belysnings-skåp 2, SÖD vxv 002 och SÖD vxv 003 är växelvärmare. Kretsen till växelvärmarna från B1 är även den enda delen av anläggningen med huvudspänningen 230V, övriga delar av anläggningen har huvudspänningen 400V.

I anläggningen förekom enbart säkringar inga effektbrytare. För information om säkringarnas storlek, samt befintliga kablar och lasteffekter i anläggningen hänvisas läsaren till tabell 1:

Tabell 1 Känt för nätet

Till - Från	Kabeltyp	Kabellängd (m)	Säkringsstorlek (A)	Lasteffekt ¹ (kW)	Spänning (V)
A1-F3	FXQJ 4x240/120	50	315	-	400
A1-FS4/36	FXQJ 4x35/16	230	63	-	400
F3-103&114	FXQJ 4x16/16	260	20	3	400
F3-142	FXQJ 4x16/16	340	20	1,5	400
F3-105	FXQJ 4x16/16	10	20	2,5	400
F3-115	AXQJ 4x70/21	250	100	38,8	400
FS4/36- Bel.skåp 2	FXQJ 4x25/16	10	63	12,95	400
B1-FS4/35	2st FXQJ 3x240/120	240	400	-	230
FS4/35 - SÖD vxv 002	2st AXQJ 3x95/29	10	160	55	230
FS4/35 - SÖD vxv 003	2st AXQJ 3x95/29	10	160	66	230
T3-F3	FXQJ 4x240/120	15	315	-	400

1. Anges enbart för objekt med ansluten last, uppströms objekt har ingen angiven last utan matar vidare mot underliggande objekt.

I tabellen 2 återfinns kända värden för transformatorerna T5/36 och T3. För de inkommande näten gäller att kortslutningseffekterna innan T5/36 är 150kVA och innan T3 50kVA

Tabell 2 Kända storheter för transformatorer T5/36 och T3

Transformator		Märkeffekt (kVA)	Märkspänning (kV)	Kortslutning- simpedans (%)
T5/36	Primärsida	500	22	
	Sekundär- sida	300	0,42	
	Tertiärsida	200	0,24	
	Z_{k12}	-	-	2,35
	Z_{k23}	-	-	-
	Z_{k31}	-	-	2,74
T3	Primärsida	200	400	
	Sekundär- sida	300	400	

Kortslutningsimpedansen $Z_{k23\%}$ och $Z_{kt3\%}$ var inte angivna för transformatorerna så för att beräkningarna skulle kunna utföras var ett antagande rörande dess storlek nödvändigt. Valt värde för $Z_{k23\%}$ var 5 %, vilket motiveras med att information om att kortslutningsimpedansen mellan sekundärlindningarna normalt är dubbelt så stor som mellan en av sekundärlindningarna och primärlindningen¹. Värdet ansågs också rimligt för $Z_{kt3\%}$.

3.2 Att använda MyEcodial

Programmet MyEcodial är skapat av företaget Schneider Electric [4], då företaget är internationellt så arbetar programmet efter de internationella standarder som gäller i EU. Dessa standarder är harmoniserade med den svenska standarden SS 436 40 00 [10]. Att använda programmet för beräkningar var ett krav från företagets sida, då det är ett av deras beräkningsprogram. Därför kan programmet ses som tillförlitligt, men manuella beräkningar används också för att få större säkerhet i resultatet.

Programmet kräver att man bygger upp nätet som ska undersökas med hjälp av färdiga komponenter. I projektet så används främst tre olika komponenter, den första är transformatorer för vilka omsättning, relativa kortslutningsimpedanser, märkeffekter och övrig information kan anges. Det finns dock inga transformatorer med två sekundärlindningar. De två andra använda komponenterna är kablar, för vilken säkring,

¹ Andreas Petersson, Gothia Power, mail 8 Februari 2016

säkringstyp, övriga skydd, kabeltyp och förläggningssätt kan anges, och laster för vilka man kan välja att ange bara lasteffekt eller även skydd och kablar för.

Då man har angett den information som programmet ska räkna med måste man göra en effektsummering, där programmet kontrollerar att transformatorerna klarar av att försörja de laster som finns med det effektbehov de kräver. Om detta fungerar så kan man ange *beräkna* eller *beräkna allt* till programmet och då få en rapport på om allt fungerar eller om det finns problem, och om så är fallet vilken typ av problem det är, vart det är problem och förslag till åtgärd. Att välja *beräkna allt* är att rekommendera annars så krävs det att man beräknar varje individuell komponent, vilket tar tid. I det aktuella projektet används *beräkna allt* för att ta fram de problemområden som finns och kommandot *beräkna* till att undersöka de olika lösningarna för ett visst problem på en specifik plats i nätet.

3.3 Övergripande om undersökningen av anläggningen

De första beräkningarna i projektet var de manuella beräkningar som anses nödvändiga för modelleringen av T5/36 i beräkningsprogrammen men även beräkningarna för kabeldimensionering utifrån de standarder som nämndes i kapitel 2.4. Utöver detta så har undersökningen av anläggningen utförts i beräkningsprogrammet MyEcodial

Den arbetsgång som tillämpas när anläggningen undersöks i MyEcodial är att anläggningens kända värden för säkringar och kablar matas in. Då lastbilden kan vara något komplicerad har undersökningen delats in i två delar. I den första så användes en förenklad bild av lasten då hela lastbilden initialt inte var känd, där enbart angiven lasteffekt var känd, detta för att snabbt få en bild av vart i anläggningen fel uppstår. Lösningarna på de upptäckta problemen samt en mera utförlig studie av dessa utförs i en andra undersökning där hela lastbilden, inkluderande underliggande kablar, säkringar och utrustning var känd och hade förts in i programmet.

Beräkningarna i MyEcodial delas in i två delundersökningar; den första med en förenklad modellering av lasten har syftet att få en inledande bild av vilka delar av nätet som det är problem med och av vilken typ problemet är av. Den andra delundersökningen utförs med en fullständigt modellerad last och används för att ta fram lösningar på de problem som upptäckts i delundersökning 1.

Det finns dock ett par saker som anses konstanta oberoende om det är den förenklade kretsen eller den fullständiga som används i undersökningen och oberoende av vilken del av anläggningen som undersöks, nämligen att förläggningssättet är rör i mark, utan inbördes avstånd mellan ledarna och att det var 5 ledare som låg tillsammans. Termisk resistivitet i marken har för alla kretsar satts till 1Km/W då detta är gällande värde i Sverige.

3.4 Beräkningar för modellering av T5/36

Då det som tidigare har konstaterats inte finns någon möjlighet i MyEcodial att räkna på en transformator med två sekundärlindningar är det första som utförs innan nätet studeras att T5/36 modellerades som tre transformatorer i en ekvivalent Y-koppling. Detta gjordes enligt standarden IEC 60909-0[7] vilket redovisas i avsnitt 2.3. I det här avsnittet kommer resultaten av modelleringsberäkningarna att redovisas. Samtliga storheter är, om annat inte anges, hänfödda till primärsidan.

För att beräkna impedanserna i transformatorn och dess ekvivalenta Y-krets används ekvationerna (11)-(14), följt av ekvation (7) för att ta fram den ekvivalenta impedansen i det föreliggande nätet. Ekvation (10) används för att summera impedanserna och ekvation (4) för att få fram kortslutningsströmmarna efter transformatorn. För att underlätta beräkningar och studiet av anläggningen hänfördes resultatet ner till de sidor där strömmen uppkommer, det vill säga sida 2 och sida 3 i transformatorn, med ekvation (15). Ekvation (8) används för att ta fram vad de relativa kortslutningsimpedanserna för de tre ekvivalenta transformatorerna skulle vara i programmet. Samtliga beräkningsresultat från de manuella beräkningarna redovisas i tabell 3.

Tabell 3 Beräkningsresultat för modellering av T5/36

	Kortslutnings impedans (Ω)	Kortslutningsström (kA)	Kortslutningsström hänfört till nedsidan (kA)
Z_{k12}	37,9	-	-
Z_{k23}	48,4	-	-
Z_{k31}	66,3	-	-
Primärsida T5/36	27,9	-	-
Sekundärsida T5/36	10	308,8	16,2
Tertiärsida T5/36	38,4	182,7	16,
Inkommande nät	3,23	-	-

När transformatorernas ekvivalenta Y-krets modelleras i beräkningsprogrammet MyEcodial valdes transformatorernas märkeffekter till värden så nära som möjligt de skenbara effekter som ekvation (6) med ovanstående impedansvärden och linjeströmmen på de båda sidorna gav. Viss avrundning var tvunget då programmet inte kunde ställa in exakt de uträknade värden, som för sida 2 var 17kVA och sida 3 1,5kVA. I beräkningarna i programmet blev därför kortslutningsströmmarna på nedsidan av transformatorerna i den ekvivalenta Y-kretsen ca 20kA.

3.5 Förutsättningar och resultat för beräkningar av de olika delarna i anläggningen

I nedanstående rubriker finns ett antal tabeller där vissa begrep behöver förklaras. Där det står *Fritt:xx* betyder det att *xx* inte är valt av MyEcodial utan är ett fritt val av denna storhet. Där det står *Ned* i kolumnen för last så betyder det att det inte är någon last direkt inkopplad på det aktuella objektet utan att det enbart finns last på objekt som är kopplade till ett nedliggande kabalskåp. I tabellerna finns det även rader där texten är understruken, detta markerar vilken lösning som är vald som den rekommenderade.

3.5.1 Kretsen med växelvärmarna

Det finns som nämndes i kapitel 1.4 två växelvärmare i det aktuella nätet, SÖD vxv 002 och SÖD vxv 003. De är båda kopplade från central B1 via kabelskåp F4/35. Dessa två kretsar är utformade likadant, med undantaget att SÖD vxv 003 har något större belastningseffekt. I övrigt gäller samma data för båda växelvärmarna. För dessa gäller att $\cos(\varphi)$ sätts till 1 då växelvärmarna är en typ av värmeelement och därför är fullständigt resistiva. Kretsens omgivningstemperatur har i beräkningarna satts till 10°C^2 med motiveringen att växelvärmarna enbart används under vinterhalvåret och därför aldrig kommer att arbeta i temperaturer över 10°C . Notera igen att växelvärmarna drivs med en huvudspänning 230V.

Under undersökning 1, med en förenklad lastmodellering användes de värden som återfinns i tabell 4: Uppgifter och resultat från undersökning 1: Växelvärmarna.

² Atkins F. Kosmaz, Atkins Global AB, personlig kommunikation, februari 2016

Tabell 4 Uppgifter och resultat från undersökning 1: Växelvärmarna

Till - Från objekt	Last (kW)	Kabeltyp	Säkring (A)	Fungerar:	Kommentar:
FS4/35-SÖD3	66	Fritt: 1st 185/95 Al	Fritt: 160	Ja	Dimensionerat efter belastningsförmåga, total selektivitet.
	<u>66</u>	<u>2st AXQJ</u> <u>95/29</u>	<u>160</u>	<u>Ja</u>	<u>Fungerar bra, total selektivitet.</u> <u>Befintlig krets.</u>
	66	2st AXQJ 95/50	160	Ja	Fungerar bra, total selektivitet.
FS4/35-SÖD2	55	Fritt: 1st 185/95 Al	Fritt: 160	Ja	Dimensionerat efter belastningsförmåga, totalselektivitet.
	<u>55</u>	<u>2st AXQJ</u> <u>95/29</u>	<u>160</u>	<u>Ja</u>	<u>Fungerar bra, total selektivitet.</u> <u>Befintlig krets.</u>
	55	2st AXQJ 95/50	160	Ja	Fungera bra, total selektivitet.
B1-FS4/35	Ned	Fritt: 2st 240/120 Cu	Fritt: 315	Ja	Dimensionerat efter spänningsfall.
	Ned	2st FXQJ 3x240/120	Fritt: 315	Ja	
	<u>Ned</u>	<u>2st FXQJ</u> <u>3x240/120</u>	<u>400</u>	<u>Nej</u>	<u>Inget skydd mot direkt kontakt.</u> <u>Befintlig krets.</u>
	Ned	Fritt: 4st 240/120 Cu	400	Ja	Kabelarean har ökats för att klara spänningsfallet och för att säkerställa skydd.

I den undersökningen identifierades de kritiska delarna i kretsen för växelvärmarna, dessa studerades sedan närmare i undersökning 2, med fullständigt modellerad last. Värdena som användes i undersökning 2 återfinns i tabell5 Uppgifter och resultat från undersökning 2: Växelvärmarna.

Tabell 5 Uppgifter och resultat från undersökning 2: Växelvärma

Till-Från	Last (kW)	Kabeltyp	Säkring (A)	Fungerar	Kommentar:
FS4/35-SÖD vxv 003	Ned	Fritt: 1st 185/95 Al	Fritt:160	Ja	Dimensionerat efter belastningsförmåga, total selektivitet.
	<u>Ned</u>	<u>2st AXQJ 95/29</u>	<u>Fritt:160</u>	<u>Ja</u>	<u>Total selektivitet</u>
	Ned	2st AXQJ 95/50	160	Ja	Total selektivitet
FS4/35-SÖD vxv 002	55	Fritt: 1st 185/95 Al	Fritt: 160	Ja	Dimensionerat efter belastningsförmåga, total selektivitet.
	<u>55</u>	<u>2st AXQJ 95/29</u>	<u>Fritt:160</u>	<u>ja</u>	<u>Total selektivitet</u>
	55	2st AXQJ 95/50	160	Ja	Total selektivitet
B1-FS4/35	66	Fritt: 3st 240/120 Cu	Fritt: 315	Ja	Men: kabelarean har ökats för att klara spänningsfallet och att säkerställa skydd.
	66	2st FXQJ 3x240/120	Fritt: 315	Ja	
	<u>66</u>	<u>2st FXQJ 3x240/120</u>	<u>400</u>	<u>Nej</u>	<u>Inget skydd mot indirekt kontakt. Befintlig krets.</u>
	66	Fritt: 4st 240/120 Cu	400	Ja	
	66	Fritt: 4st 240/120 Cu	Fritt: 315	Ja	

3.5.2 Belysningskretsen

Matningen av belysningen är som tidigare nämnts i kapitel 1.4 lokaliserad till endast en del av kretsen, från central A1 via kabelskåp FS4/36 till belysningsskåp 2. Huvudspänningen är 400V, och $\cos(\varphi)$ är valt till 0,8 då detta kan anses vara ett standardvärde för $\cos(\varphi)$ i generella fall och ansågs vara rimligt för den här typen av last. Omgivningstemperaturen valdes till 20°C vilket är ett standardvärde vid den här typen av beräkningar. Gällande lasten så består denna av 37st lampor av okänd typ men som enligt uppgift från handledaren på företaget förbrukade 350W per lampa.

För undersökningen av belysningskretsen återfinns resultat och kända värden för undersökning 1 i tabell 6 Uppgifter och resultat från undersökning 1: Belysning.

Tabell 6 Uppgifter och resultat från undersökning 1: Belysning

Till - Från objekt	Last (kW)	Kabeltyp	Säkring (A)	Fungerar:	Kommentar:
FS4/36-Bel.skåp 2	12,95	FXQJ 4x25/16	63	Ja	In större än Ib. Befintlig krets.
	12,95	Fritt: 25/16 Cu	63	Ja	In större än Ib
	12,95	FXQJ 4x25/16	Fritt: 20	Ja	Total selektivitet
	12,95	Fritt: 4/4 Cu	Fritt: 20	Ja	Väldigt klen kabel
A1-FS4/36	12,95	Fritt: 50/25 Al	Fritt: 32	Ja	
	Ned	FXQJ 35/16	63	Ja	In större än Ib. Befintlig krets.
	Ned	Fritt: 25/16 Cu	63	Ja	In större än Ib
	Ned	FXQJ 35/16	Fritt: 20	ja	
	Ned	Fritt: 10/10Cu	Fritt: 20	Ja	Dimensionerat efter spänningsfallet
Ned	Fritt: 50/25 Al	Fritt: 20	ja		

Efter att denna utfördes gjordes undersökning 2, med fullständigt modellerad last där de områden som verkade kritiska i undersökning 1 undersöktes närmare. Värdena och resultaten som användes i undersökning 2 återfinns i tabell 7 Uppgifter och resultat från undersökning 2: Belysning.

Tabell 7 Uppgifter och resultat från undersökning2: Belysning

Till - Från objekt	Last (kW)	Kabeltyp	Säkring (A)	Fungerar:	Kommentar:
Bel.skåp 2 Grupp 1	5*0,350	EXQJ 4x10/10	16	nej	Inget vid skydd för indirekt beröring
	5*0,350	Fritt: 16/16Cu	16	Ja	Men In är större än Ib
	5*0,350	EXQJ 4x10/10	Fritt: 4	Ja	
	5*0,350	EXQJ 4x10/10	10	Ja	Ger utslag för att in är större än Ib
Bel.skåp2 grupp 2	12*0,350	EXQJ 4x10/10	16	Nej	Inget skydd vid indirekt beröring för grupp 2
	12*0,350	Fritt: 16/16 Cu	16	Ja	
	12*0,350	EXQJ 4x10/10	Fritt: 6	Ja	
	12*0,350	EXQJ 4x10/10	10	Ja	

Bel.skåp 2 grupp 3	16*0,350	EXQJ 4x10/10	25	Nej	Inget skydd vid indirekt kontakt
	16*0,350	Fritt: 95/50	25	Ja	In större än Ib
	16*0,350	EXQJ 4x10/10	20	Nej	Inget skydd vid indirekt kontakt
	16*0,350	EXQJ 4x10/10	10	Nej	Inget skydd vid indirekt kontakt
	16*0,350	EXQJ 4x16/16	25	Nej	Inget skydd vid indirekt kontakt
	16*0,350	EXQJ 4x16/16	10	ja	
bel.skåp2 grupp4	4*0,350	EXQJ 4x10/10	16	Ja	In större än Ib.
FS4/36-bel- skåp2	Ned	FXQJ 4x25/16	63	Ja	Ingen selektivitet och In är större än Ib.
	Ned	FXQJ 4x25/16	50	Ja	Ingen selektivitet och In är större än Ib.
	Ned	FXQJ 4x25/16	40	Ja	Selektivt, men In är större än Ib.
	Ned	FXQJ 4x25/16	32	Ja	Selektivt, men In är större än Ib.
	Ned	Fritt: 25/16 Cu	63	Ja	Ingen selektivitet och In är större än Ib.
	Ned	Fritt: 4/4 Cu	Fritt. 20	Ja	Saknar selektivitet mot underliggande
	Ned	FXQJ 4x25/16	Fritt: 20	Ja	Saknar selektivitet mot underliggande
A1-FS4/36	Ned	FXQJ 35/16	63	Ja	Ingen selektivitet och In större än Ib
	Ned	FXQJ 35/16	Fritt: 20	Ja	Saknar selektivitet mot underliggande skydd.
	Ned	FXQJ 35/16	Valt: 80	Nej	För lång fränkopplingstid.

3.5.3 Kretsen med signalutrustningen.

Signalutrustningen är som tidigare redovisades i kapitel 1.4 matad från central A1 via F3. Huvudspänningen i kretsen är 400V, med $\cos(\varphi)$ satt till 0,8 enligt samma motivation som för belysningskretsen, omgivningstemperaturen kan anses vara 20°C. Uppgifter om signalskåpens effektåtgång var följande: signalskåp 103& 114 kräver 3kW, signalskåp 142 kräver 1,5kW, signalkiosken 105 kräver 2,5kW och slutligen kräver signalkiosken 115 en effekt på 38,8kW. Då uppgifter om underliggande nät för de båda signalskåpen och för signalkiosk 105 saknas kommer dessa enbart att behandlas i undersökning 1. För signalkiosk 115 uppgav handledaren på företaget följande uppgifter: det finns inkluderat i den last som finns en motor med effekten 1,2kW som matas via en kabel EXQJ 3x2,5/2,5

på 250m och som skyddas av en 16A säkring. Detta är den krets som kommer att undersökas i undersökning 2.

Samma uppdelning av resultat och kända värden som tidigare användes, analogt med tidigare undersökningar återfinns resultat och kända värden för undersökning 1 i tabell 8 Uppgifter och resultat från undersökning 1: Signalutrustning.

Tabell 8 Uppgifter och resultat från undersökning1: Signalutrustning

Till-Från objekt	Last (kW)	Kabeltyp	Säkring (A)	Fungerar:	Kommentar:
F3-103	<u>3</u>	<u>FXQJ</u> <u>4x16/16</u>	<u>20</u>	<u>Ja</u>	<u>Fungerar med total selektivitet.</u>
	3	FXQJ 4x16/16	Fritt: 6	Ja	Väldigt liten säkring.
F3-142	<u>1,5</u>	<u>FXQJ 16/16</u>	<u>20</u>	<u>Ja</u>	<u>Fungerar med total selektivitet</u>
	1,5	FXQJ 16/16	Fritt: 4	Ja	Väldigt liten säkring
F3-105	<u>2,5</u>	<u>FXQJ 16/16</u>	<u>20</u>	<u>Ja</u>	<u>Fungerar med total selektivitet</u>
	2,5	FXQJ 16/16	Fritt:6	Ja	Väldigt liten säkring
F3-115	38,8	AXQJ 70/21	100	Nej	Frånkopplingstiden >5s.
	38,8	Fritt: 95/50 AI	100	Ja	Större kabel
	38,8	AXQJ 70/21	Fritt: 80	Nej	Inget skydd mot indirekt kontakt.
	38,8	AXQJ 70/35	Fritt: 80	Ja	Förstärkt skyddsjord
	38,8	AXQJ 70/35	100	Nej	fel strömvärde
	38,8	95/29 AI	100	Ja	
	38,8	120/41 AI	100	Ja	
	38,8	Fritt: 95/50 AI	Fritt: 80	Ja	
	38,8	Fritt: 95/29 AI	Fritt: 80	Ja	
	38,8				

Resultat och värden från undersökning 2 återfinns i tabell 9 Uppgifter och resultat från undersökning 2: Signalutrustning.

Tabell 9 Uppgifter och resultat från undersökning 2: Signalutrustning

Till - Från objekt	Last (kW)	Kabeltyp	Säkring (A)	Fungerar:	Kommentar:	
115-underliggande F3-115	1,2 + 37,6	EXQJ 4x2,5/2,5	16A	Ja*	*något tillrätta lagt.	
	Ned	AXQJ 70/21	100A	nej	För lång fränkopplingstid.	
	Ned	Fritt: 95/50 Al	100	Ja	Total selektivitet, dimensionerat efter belastningsförmåga.	
	Ned	AXQJ 70/21	Fritt: 80	Nej	För lång fränkopplingstid.	
	Ned	AXQJ 70/35	Fritt: 80	Ja		
	Ned	AXQJ 70/35	100	nej		
	Ned	95/29 Al	100	Ja		
	Ned	120/41 Al	100	Ja		
	Ned	Fritt: 95/50 Al	Fritt: 80	ja		
	Ned	Fritt: 95/29 Al	Fritt: 80	ja		
	A1-F3	Ned	<u>FXQJ</u> <u>4x240/120</u>	<u>315</u>	<u>Nej</u>	
		Ned	FXQJ 4x240/120	Fritt: 100	ja	
		Ned	FXQJ 4x240/120	125	ja	
Ned		Fritt: 70/35 Cu	Fritt: 100	ja		
Ned		2st 185/95 Cu	315	ja		
Ned		FXQJ 4x240/125	valt:200	ja		
Ned	2st FXQJ 4x240/126	315	ja			

3.5.4 Hjälpmatningen från T3

För undersökningen av hjälpmatningen mellan transformator T3 och F3 gäller att den enbart utfördes i undersökning 2, detta på grund av att det var troligare att spänningsfallet och kablarnas längd nedströms, det vill säga närmare lastobjektet, påverkade val av kabel och säkring på den här sträckan. Vilket kan motiveras med att det är en stor underlast i kretsen. I övrigt gäller som tidigare 20°C och $\cos(\varphi)$ lika med 0,8 i kretsen enligt samma motivation som tidigare fall och att underliggande nät från F3 är det som användes när

undersökning 2 utfördes för signalkretsen. Resultatet av undersökningen redovisas i tabell 10 Uppgifter och resultat från undersökning 2: Hjälpmatning.

Tabell 10 Uppgifter och resultat från undersökning 2: Hjälpmatning

Till - Från objekt	Last (kW)	Kabeltyp	Säkring (A)	Fungerar:	Kommentar:
T3-F3	Ned	FXQJ 4x240/120	315	Nej	Fel strömvärde
	Ned	Fritt: 70/35 Cu	Fritt: 100	Ja	Ingen selektivitet mot nedströms
	Ned	FXQJ 4x240/120	Fritt: 100	Ja	Ingen selektivitet mot nedströms
	Ned	FXQJ 4x240/120	Valt: 160	ja	Selektivitet?
	Ned	Fritt: 2st 150/70 Cu	315	Ja	Parallella ledare.
	Ned	valt: 185 Cu	315	Nej	Strömvärdet
	Ned	FXQJ 4x240/120	250	Nej	Strömvärdet
	Ned	FXQJ 4x240/120	200	ja	Selektivitet?
	Ned	Fritt: 240/120 Cu	200		

3.6 Resultat från manuell kabeldimensionering

I tabell 11 och 12 redovisas om befintliga säkringar klarar att skydda kabeln vid felströmmar och om de klarar att lösa ut tillräckligt snabbt vid ett fel på kabeln. I tabell 11 gäller att om beräknad säkring är mindre än befintlig säkring är kabeln inte skyddad mot felströmmar och om beräknad säkring är större än befintlig säkring är kabeln skyddad.

Tabell 11 Manuell kabeldimensionering utifrån SS424 14 24

Till-Från	Kabeltyp	Iz befintlig kabel (A)	Korrektionsfaktor	Iz beräknat (A)	Beräknad säkring (A)	Befintlig säkring (A)
B1-FS4/35	2st FXQJ 3x240/120	351	0,65·1,18·1,07	288	500	400
FS4/35 - SÖD vxv 002	2st AXQJ 3x95/29	164	0,65·1,18·1,07	135	200	160
FS4/35 - SÖD vxv 003	2st AXQJ 3x95/29	164	0,65·1,18·1,07	135	200	160
A1-FS4/36	FXQJ 4x35/16	122	0,65·1,18	94	80	63
FS4/36-Bel.skåp 2	FXQJ 4x25/16	101	0,65·1,18	77	63	63
A1-F3	FXQJ 4x240/120	351	0,65·1,18	269	200	315
F3-103&114	FXQJ 4x16/16	79	0,65·1,18	61	50	20
F3-142	FXQJ 4x16/16	79	0,65·1,18	61	50	20
F3-105	FXQJ 4x16/16	79	0,65·1,18	61	50	20
F3-115	AXQJ 4x70/21	138	0,65·1,18	106	80	100
T3-F3	FXQJ 4x240/120	351	0,65·1,18	269	200	315

Notera att när det är två parallella kablar ökar säkringarnas märkström enligt metodiken som har nämnts i kapitel 2.1.4 gällande hur parallella kablar behandlas i SS424 14 24 [8].

I tabell 12 avläses om befintlig säkring klarar att lösa ut för ett fel på kabeln tillräckligt snabbt, om max kabellängd är längre än befintlig kabellängd är det kravet uppfyllt, om max kabellängd är mindre än befintlig kabellängd är kravet inte uppfyllt.

För att kunna beräkna förimpedansen i anläggningen ger SS424 14 06 [9] följande värden för jordslutningsimpedans för transformatorer: en transformator med märkeffekten 200 kVA ger en förimpedans på 32 mΩ och en transformator med märkeffekten 300kVA ger förimpedansen 20 mΩ.

Tabell 12 Manuella beräkningar för kabeldimensionering utifrån SS424 14 06

Till-Från	kabeltyp	Befintlig kabelldängd (m)	Förimpedans (mΩ)	Befintlig säkring (A)	Max kabelldängd (m)
B1-FS4/35	2st FXQJ 3x240/120	240	32	400	54
FS4/35 - SÖD vxv 002	2st AXQJ 3x95/29	10	97	160	100
FS4/35 - SÖD vxv 003	2st AXQJ 3x95/29	10	97	160	100
A1-FS4/36	FXQJ 4x35/16	230	20	63	323
FS4/36- Bel.skåp 2	FXQJ 4x25/16	10	459	63	54
A1-F3	FXQJ 4x240/120	50	20	315	245
F3-103&114	FXQJ 4x16/16	260	34	20*	499
F3-142	FXQJ 4x16/16	340	34	20*	499
F3-105	FXQJ 4x16/16	10	34	20*	499
F3-115	AXQJ 4x70/21	250	34	100	200
T3-F3	FXQJ 4x240/120	15	32	315	149

*Det finns ingen tillräckligt liten säkring med i tabellen för den kabeln. Det närmaste är 32 A.

4 Diskussion

4.1 Undersökning av växelvärmarna

Undersökning 1, redovisad i tabell 4, visade att mellan FS4/35 och SÖD vxv 002, samt mellan FS4/35 och SÖD vxv 003 uppkommer inga problem för befintlig krets. Kablarna klarade av att leda belastningsströmmen och säkringarna kunde lösa ut om det blev något fel, både för överlast och skydd för indirekt beröring. Undersökningen visade dock på att det fanns problem med kretsen mellan B1 och FS4/35, i befintligt utförande finns det inget skydd mot indirekt beröring. MyEcodial gav förslaget att använda en mindre säkring, något som var möjligt då nedströms belastning gav en ström som var mindre än befintlig säkrings märkström, eller att om befintlig säkring behövs öka kabelarean till fyra parallella kablar istället för de nuvarande två.

I undersökning 2 undersöktes kretsen mellan B1 och FS4/35 ytterligare, resultatet redovisas i tabell 5. Befintlig krets fungerar inte vilket visades redan i undersökning 1 och programmet ger två olika lösningsförslag. Om befintlig 400A säkring behålls krävs 4st FXQJ 240/120 kablar och om säkringsbyte till en 315A säkring är möjligt kan befintliga kablar 2st FXQJ 240/120 behållas. För de underliggande kablarna från FS4/36 till SÖD vxv 002 respektive från FS4/36 till SÖD vxv 003 upptäcktes inga problem.

4.2 Undersökning av belysningskretsen

Redan innan undersökning 1 påbörjades var det tydligt att då både säkringen för A1 till FS4/36 och FS4/36 till belysnings-skåp 2 var av samma storlek saknar kretsen selektivitet. Undersökning 1 visade på att detta var det enda problemet med kretsen, se tabell 6.

I undersökning 2, se tabell 7, undersöktes vilka ändringar som skulle kunna genomföras för att kretsen skulle få selektivitet. Programmet föreslog för kretsen mellan FS4/36 och belysnings-skåp 2 att säkringen skulle ändras till en mindre, förslagsvis med märkström mellan 50 A - 32 A och att kabeln skulle behållas som den är. Det studerades också om övre säkring skulle kunna bytas ut mot en större men fränkopplingstiden vid indirekt beröring var för lång för den föreslagna 80A säkringen.

4.3 Undersökning av signalskåp och signalkiosker

Undersökning 1, redovisad i tabell 8 visade att matningskretsarna för signalskåpen 103 och 114, samt 142 var överdimensionerade och att överlast inte är något problem, inte heller var fränkopplingstiden längre än tillåtet. Ingen av kretsarna skulle behövas undersökas närmare. Däremot blir det problem med matande krets till signalkiosk 115, överlast är inget problem men det är inte tillräckligt snabb fränkoppling vid fel. Den här delen av anläggningen krävde en noggrannare undersökning, vilket även kretsen mellan A1 och F3

krävde. Där var problemet den underlast om finns, det är inte tillräckligt hög ström i kretsen för att säkringen ska kunna känna av ett fel.

I undersökning 2 studerades först kretsen från F3 till lasten för signalkiosk 115, det första som programmet varnade för var lastkretsen med motorn, resultat av undersökningen återfinns i tabell 9. Där angav programmet att det inte fanns något skydd vid indirekt kontakt och ville öka kabelarean eller förstärka skyddsjordens för kabeln. Programmet gav även förslag om att minska säkringen.

När kretsen mellan F3 och signalskåpet 115 studerades i undersökning 2 uppkom samma problem som i undersökning 1, skyddet har för lång fränkopplingstid och därför finns det inget skydd mot indirekt kontakt. Programmet gav lösningsförslagen att antingen behålla befintlig säkring och byta till en kabel med kabelarean på 95mm^2 Al med en skyddsjord på antingen 50mm^2 eller 29mm^2 eller att byta till en 80A säkring och då antingen behålla befintlig kabel eller byta till något av alternativen som nämndes tidigare.

Gällande kretsen mellan A1 och F3 gav programmet lösningarna att antingen behålla befintlig kabel och minska säkringsstorleken till en säkring med märkström mellan 125A till 200A eller att behålla befintlig säkring och byta kabel till två parallella 185/95 Cu kablar.

4.4 Hjälpmatning från T3

Beräkningsprogrammet angav att befintlig krets inte fungerar då strömvärdet för befintlig kabel är mindre än den minsta antagna strömmen, vilket betyder att säkringen skyddar kabeln mot en ström som är större än vad kabeln klarar av. Programmet ger följande förslag till lösningar: att kabeln ska ändras till två parallella 150/70 Cu med befintlig säkring eller säkringen ska minskas till en mellan 100A och 200A med befintlig kabel. Resultat för undersökningen återfinns i tabell 10.

4.5 Analys av använd metodik

Den inledande delen av projektet där aktuella lagar och bestämmelser för den undersökta typen av anläggning studerades skulle ha behövt mera tid i projektet. Som det är nu är de grundläggande kraven studerade och uppfyllda, men en djupare studie skulle kanske ha visat på flera krav rörande utformning och vad som ska beräknas i den här typen av anläggningar.

Att nästan alla beräkningar, både lastberäkningar och kortslutningsberäkningar, har utförts i ett beräkningsprogram tillverkat av ett företag som säljer elkomponenter och inte beräkningsprogram kan anses introducera en viss partiskhet i resultatet. Mera fokus på manuella beräkningar och att ett till beräkningsprogram använts skulle ha gett ett mindre partiskt resultat. Men då enbart säkringar och kablar har undersökts och dessa i stora drag har samma funktion oberoende av vilket företag som har tillverkat dem, något som är speciellt sant för kablar, kan risken att givna resultat beror enbart på vad ett företag har tillgängligt i sin produktion minimeras.

Då information om lasternas utformning för signalskåpen och signalkioskerna saknades, finns det en viss osäkerhet i resultatet rörande dessa delar. Det hade för att kunna utvärdera kretsarna från F3 ner till samtliga signalskåp och signalkiosker varit bra om underliggande utrustning var känd. Problemet där låg i att informationen om detta inte fanns tillgänglig på Atkins då det var ett annat företag som hade projekterat den delen av anläggningen. Mera tid borde ha lagts på att försöka ta reda på vilket företag det var och få tag på en person som skulle ha kunnat tillhandahålla den informationen, som det är nu rekommenderas att åtminstone för den signalkrets där fel uppstår försöka få tillgång till den informationen för att göra en mera noggrann undersökning av kretsen.

Det skulle även ha varit fördelaktigt om tid hade funnits i slutet av projektet att gå över hela anläggningen med de ändringar som föreslås och se till att samtliga ändringar fungerar tillsammans. Då anläggningen analyserades i ett program som räknade på hela kretsen på en gång kan risken att ändringarna inte fungerar tillsammans anses vara mycket liten eller obefintlig, men det hade ändå varit bra för projektets utförande att en sista kontroll av anläggningen med föreslagna ändringar hade utförts.

Det hade även varit fördelaktigt för projektet och även rapportens läslighet om mera tålamod hade visats i början av projektet, detta då orsaken till att projektet delades in i undersökning 1 och undersökning två främst var att det tog tid att få fram alla uppgifter som krävdes för undersökning 2 och undersökning 1 användes för att komma igång innan dessa var kända. I efterhand så hade undersökning 1 och det extra arbete denna krävde kunnat undvikas om mera tålamod för tidsåtgången som krävdes för att få fram alla uppgifter hade visats.

När resultaten ändå diskuteras kan konstaterandet göras att resultaten blev på ett ungefär vad som var förväntat. Orsaken till att anläggningen skulle undersökas var att det hade varit problem med den och det har undersökningarna i projektet visat. Det var väldigt uppenbart vart problemet i belysningskretsen låg, medan det för signalkretsen och kretsen med växelvärmarna var väntat att det var fel i kretsen men inte uppenbart vart. Det visade också att större delen av anläggningen, speciellt signalkretsarna, var grovt överdimensionerade troligen för framtida utbyggnadsbehov, vilket först var lite förvånande men i den här typen av anläggning ofta är nödvändigt.

5 Slutsatser

För värmeväxlarna gäller att det saknas skydd vid indirekt kontakt för kretsen mellan FS4/35. Förslaget är att göra en strömmätning vid FS4/35. Om det visar sig att det är en mindre ström i kabeln än vad som nuvarande säkring är dimensionerad för bör en mindre säkring på 315A om möjligt installeras som ersättning. Föreslagen ändring av säkringsstorlek kommer att garantera att selektivitet mot underliggande säkringar behålls. Men om strömmen i kretsen är så stor att en 400A säkring krävs är förslaget att kretsen åtgärdas genom att fyra parallella FXQJ 3x 240/120 kablar drags mellan B1 och FS4/35, vilket betyder en utökning med 2 kablar gentemot befintligt nät. Båda av de föreslagna ändringarna skulle göra att problemet med kretsen åtgärdas och att skydd vid indirekt kontakt skulle garanteras. Underliggande kretsar mot SÖD vxv 002 och SÖD vxv 003 fungerar i befintligt skick och inga åtgärder krävs.

För belysningskretsen är det inga problem med befintliga kablar, men det är problem med selektiviteten. Då befintliga säkringar är av samma storlek måste en eller båda bytas ut. Förslagsvis byts den nedre säkringen ut till en med märkström mellan 50 A - 32 A, mindre säkring är inte aktuellt på grund av storleken på underliggande säkringar. Då det visade sig att övre säkringen inte kan bytas ut mot den 80A säkring som den manuella kabeldimensioneringen föreslog, detta på grund av att från kopplingstiden blir för lång och att det därför inte finns något skydd mot indirekt kontakt, är det den nedre säkringen som måste bytas ut. Beräkningsprogrammet visade också på att det problem som den manuella kabeldimensioneringen med hänsyn till utlösningsvillkoret visade på inte är aktuellt i befintligt nät, detta beror troligen på underlast i kretsen.

När det gäller signalkretsen är inga åtgärder nödvändiga för signalskåpen 142, 103 och 114 eller för signalkiosken 105. Men för kretsen från F3 till signalkiosk 115 måste både kabeln och säkringen bytas ut, detta på grund av bristande personskydd. Förslaget är att byta ut kabeln till en AXQJ 95/29 kabel och utföra en strömmätning för att se om nuvarande säkring 100A kan behållas eller om en ny 80A säkring ska sättas in. Båda alternativen garanterar fullständigt skydd vid indirekt kontakt.

Det rekommenderas även då det saknades uppgifter om vilken utrustning som fanns under både signalkiosk 115 och övrig signalutrustning att om möjligt hela signalutrustningen i den här delen av anläggningen undersöks vidare, med speciellt fokus på signalkiosk 115.

Det krävs även åtgärder för hjälpmatningen från transformator T3 och huvudmatning från central A1 till F3. Båda kretsarna har samma problem, säkringen är överdimensionerad för kabeln och löser därför inte ut vid överlast. Då det är en grov underlast i kretsen är detta inte ett problem, men rekommendationen är ändå att om möjlighet finns byta ut säkringarna mot mindre, förslagsvis med märkströmmen 200A. Vilket skulle garantera att skydd för kabeln och för indirekt kontakt skulle finnas för båda kretsarna.

Referenser

- [1] Atkins Global AB, *Atkins.se*, 2016; <http://atkins.se/> [Hämtad: 23 maj 2016].
- [2] F. Ivarsson, "Selektivbedömning för en 690V fördelning på SCA Edet bruk," Examensarbete, Högskolan Trollhättan/Uddevalla, Institutionen för teknik, matematik och datavetenskap, 2006.
- [3] M. Ahlström, "Selektivplan över mellanspänningsanläggningen på Munkedals AB," Examensarbete, Högskolan Trollhättan/Uddevalla, institutionen för teknik, matematik och datavetenskap, 2005.
- [4] Schneider Electric, *Schneider-electric.se*, 2016; <http://www.schneider-electric.se/sv/> [Hämtad: 23 maj 2016].
- [5] H. Blomqvist, *Elkraftshandboken: Elkraftsystem 2*. Tredje upplagan. Stockholm: Liber AB, 2012.
- [6] A. Ölme, *Tabeller och formler*. Stockholm: Liber AB, 2003.
- [7] SS-EN 60909-0. *Kortslutningsströmmar i trefas växelströmsnät: Del 0: Beräkningsmetoder*. Kista: SEK Svensk Elstandard, 2002.
- [8] SS 424 14 24. *Kraftkablar: Dimensionering av kablar med märkspänning högst 0,6/1 kV med hänsyn till belastningsförmåga, skydd mot överlast och skydd vid kortslutning*. Kista; Svenska elektriska kommissionen SEK, 2005.
- [9] SS 424 14 06. *Ledningsnät för max 1000V-Dimensionering med hänsyn till utlösningvillkoret Enkel kabel i direktjordat nät, skyddad av säkring (förenklad metod)*. Kista: Svenska elektriska kommissionen, SEK, 2005.
- [10] SS 436 40 00. *Elinstallationsreglerna*. Kista: SEK Svensk Elstandard, 2010.
- [11] H. Blomqvist, *Elkraftshandboken: Elkraftsystem 1*. 2a upplagan. Stockholm: Liber AB, 2012.
- [12] M. Björklund och U. Paulsson, *Seminarieboken: att skriva, presentera och opponera*, 2a upplagan. Lund: Studentlitteratur AB, 2013.
- [13] A. Andersson. *Kompendie-material: Elanläggningsberäkning för dimensionering av elkraftnät i normala drifttillstånd*. Trollhättan; Högskolan Väst, 2011.

A: Exempel på kabeldimensionering enligt SS 424 14 24

Exempel 1:

Kabelarean är okänd, men den ska kunna leda en ström på 24A, vara av koppar isolerad med PEX och ska förläggas med rör i mark tillsammans med 2 andra kablar. Markens termiska resistivitet är 1Km/W. Den smältsäkring som krävs för kabeln anges av tabell 1, i tabellen hämtar man värdet på den säkring som har ett strömvärde $I_{zsäkring}$ minst lika stor som den ström som kabeln ska leda. I det aktuella fallet blir det en smältsäkring på 25A. Följande ekvation används för att ta fram strömvärdet I_{zkabel} för den kabel som ska användas.

$$I_{zkabel} = \frac{I_{zsäkring}}{k} \quad (1a)$$

där

k = omräkningsfaktorer beroende på antal kablar, omgivningstemperatur eller för kablar i förlagda i mark markresistivitet.

I exemplet så finns 2 övriga kablar vilket ger en omräkningsfaktor på $k= 0,85$ enligt tabell A.12, och då inget är angivet för temperatur så är det den enda omräkningsfaktorn som ska tas med. Vilket ger med ekvationen 1a att kabeln ska ha strömvärdet 29A. I tabell A.3 avläses att kabelarean ska vara 2,5mm² Cu med PEX, notera att det hämtade strömvärdet ska vara minst lika stort som det beräknade för att kabeln ska vara skyddad. Det finns värden i parantes i tabellen som gäller då markresistiviteten är 1, därför behövs ingen omräkningsfaktor för detta tas med.

Exempel 2:

Kabelarean är känd, det är en 25mm² Aluminium med PVC, som ska förläggas ensam i rör i mark, termisk resistivitet 1Km/W och omgivningstemperaturen 15°C. I det här fallet så börjar man i tabell A.3 och får att kabelns strömvärde I_{zkabel} är 78A vid given markresistivitet. För att få fram vilket strömvärde som säkringen ska ha används nedanstående ekvation.

$$I_{zsäkring} = kI_{zkabel} \quad (2a)$$

I det här fallet måste omräkningsfaktorer för temperaturen användas vilket blir $k=1,05$ enligt tabell A.11. Detta ger att sökt säkring ska ha ett strömvärde på minst 81,9A. Vilket ger en smältsäkring på 80A.

B: Exempel på kabeldimensionering enligt SS 424 14 06

En kabel av AKKJ med arean $3 \times 95/29 \text{ mm}^2$ föregås av en transformator på 50KVA och skyddas av en 125A säkring.

Enligt tabell 1 har då transformatorn jordslutningsimpedansen $130 \text{ m}\Omega$. Då det inte finns någon ytterligare kabel mellan transformatorn är detta förimpedansen för den undersökta kabeln. Tabell 4 ger att den undersökta kabeln kan som mest vara 118m lång för att säkringen ska kunna skydda den.

Om det hade varit så att det mellan transformatorn och den undersökta kabeln hade funnits en annan kabel av till exempel FKKJ $35/16 \text{ mm}^2$ på 20 m längd krävs att tabell 2a används för att ta fram jordslutningsimpedansen $1,91 \text{ m}\Omega/\text{m}$ gånger den givna längden för att få fram den kabelns jordslutningsimpedans som blir $38,2 \text{ m}\Omega$. Vilket tillsammans med transformatorns impedans ger att förimpedansen för den undersökta kabeln istället skulle bli $168 \text{ m}\Omega$. Vilket skulle ha betytt att den undersökta kabeln enbart skulle kunna ha tillåtits att vara 70m.