

2002:E006



**HÖGSKOLAN**  
TROLLHÄTTAN · UDDEVALLA  
e INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK

# EXAMENSARBETE

---

**Lathund för val av förband mellan  
transformator och ställverk**

**Gunilla Almqvist**

**2002-06-14**

---

**Högskolan Trollhättan/Uddevalla**  
**Institutionen för Teknik**  
Box 957, 461 29 Trollhättan  
Tel: 0520-47 50 00 Fax: 0520-47 50 99  
E-post: teknik@htu.se

# EXAMENSARBETE

## Lathund för val av förband mellan transformator och ställverk

### Sammanfattning

En lathund har producerats för projektering av en anläggning för förläggning av kabel alternativt kopparskena mellan transformator och ställverk. Lathunden visar på alternativa förläggningsval med avseende på termisk dimensionering, kortslutningshållfasthet samt kostnader. De användare som lathunden vänder sig till är projekterare samt konstruktörer inom elbranschen.

Lathunden består av fyra olika alternativa förläggningsval utifrån transformatorer i storlekarna 500 – 2000 kVA vid nominell spänning 10,5/0,4 kV samt vid längder mellan 3,5 – 15 m.

Alternativen som betraktas i lathunden är kabeltyperna AKKJ 3x240+72, AXKJ 1x630+35, RK 400 samt Kopparskena.

Lathunden kan ses som en utgångsmall med utvecklingsmöjligheter och den presenteras både i pappersformat och interaktivt.

### Nyckelord:

Lathund

Transformator

Ställverk

Termisk dimensionering

Kortslutningshållfasthet

---

**Utgivare:** Högskolan Trollhättan/Uddevalla, Institutionen för Teknik  
Box 957, 461 29 Trollhättan  
Tel: 0520-47 50 00 Fax: 0520-47 50 99 E-post: teknik@htu.se

**Författare:** Gunilla Almqvist

**Examinator:** Lars Holmblad, HTU Trollhättan

**Handledare:** Erik Larsen, ABB Building System AB, Lars-Gunnar Johansson, HTU Trollhättan

**Poäng:** 10 **Nivå:** C

**Huvudämne:** Elektroteknik **Inriktning:** Elenergisystem

**Språk:** Svenska **Nummer:** 2002:E006 **Datum:** 2002-06-14

# DISSERTATION

## Guide sheet for selection of connection lines between transformer and switchgear

### Summary

A guide sheet has been produced for planning a construction to assemble cables or copper bars between transformer and switchgear. This guide sheet shows alternatives in respect to thermal dimensioning, short circuit strength capacity and costs. The material is to be used by planners and constructors in the electro technical branch.

The guide sheet contains four different alternatives of construction possibilities for transformers in sizes from 500 to 2000 kVA. At nominal voltage of 10,5/0,4 kV and cable lengths between 3,5 and 15 meters.

The cable alternatives included in the guide sheet are AKKJ 3x240+72, AXKJ 1x630+35, RK 400 and Copper bars.

The guide sheet is to be considered as a starter to be developed into a more complete worktool, that's why it's produced both in an interactive way as well as in a paper form.

### Keywords:

Guide sheet  
Transformer  
Switchgear  
Thermal dimensioning  
Costs

---

**Publisher:** University of Trollhättan/Uddevalla, Department of Technology  
Box 957, S-461 29 Trollhättan, SWEDEN  
Phone: + 46 520 47 50 00 Fax: + 46 520 47 50 99 E-mail: teknik@htu.se

**Author:** Gunilla Almqvist

**Examiner:** Lars Holmblad, HTU Trollhättan

**Advisor:** Erik Larsen, ABB Building System AB, Lars-Gunnar Johansson, HTU Trollhättan

**Subject:** Electrical Engineering, Electrical Energy Systems

**Language:** Swedish      **Number:** 2002:E006      **Date:** 14 June 2002

## **Förord**

Examensarbetet har utförts för ABB Building System AB räkning. Examensarbetet har resulterat i en s.k. lathund över hur man på bästa sätt förlägger ett förband mellan transformator och ställverk.

Jag vill tacka ABB Building System AB som låtit mig utföra examensarbetet. Jag vill också tacka de som bistått mig i mitt arbete där främst min lärare Lars-Gunnar Johansson, HTU, varit mycket behjälplig, samt de leverantörer som hjälpt mig vid frågor och funderingar: Jonas Kramer, Mericon Sverige AB, Roland Åhlén, Elektroskandia samt Henrik Stjärnstrand, Elektroskandia.

## Innehållsförteckning

<b><u>SAMMANFATTNING</u></b> .....	I
<b><u>NYCKELORD:</u></b> .....	I
<b><u>SUMMARY</u></b> .....	II
<b><u>KEYWORDS:</u></b> .....	II
<b><u>FÖRORD</u></b> .....	1
<b><u>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</u></b> .....	2
<b><u>1 INLEDNING</u></b> .....	3
1.1 <u>BAKGRUND</u> .....	3
1.2 <u>SYFTE OCH MÅL</u> .....	3
1.3 <u>AVGRÄNSNINGAR</u> .....	3
1.4 <u>HJÄLPMEDEL</u> .....	3
<b><u>2 FÖRUTSÄTTNINGAR</u></b> .....	4
2.1 <u>UTGÅNGSLÄGE</u> .....	4
2.2 <u>TRANSFORMATORNS PARAMETRAR</u> .....	4
2.3 <u>TRANSFORMATORER</u> .....	5
2.3.1 <u>Transformatoranläggningar</u> .....	5
2.4 <u>KABLAR</u> .....	6
2.4.1 <u>AKKJ 3x240+72</u> .....	7
2.4.2 <u>AXKJ 1x630+35</u> .....	7
2.4.3 <u>RK 400</u> .....	8
2.5 <u>KOPPARSKENOR</u> .....	8
2.6 <u>BELASTNINGSSTRÖM &amp; UTNYTTJNINGSGRAD</u> .....	9
<b><u>3 PROGRAMGRÄNSSNITT</u></b> .....	10
<b><u>4 UTVECKLINGSMÖJLIGHETER</u></b> .....	11
<b><u>5 RESULTAT</u></b> .....	12
<b><u>6 SLUTSATSER</u></b> .....	12
<b><u>7 REFERENSFÖRTECKNING</u></b> .....	13
<b><u>BILAGOR</u></b> .....	13

# **1 Inledning**

## **1.1 Bakgrund**

Anledningen till att examensarbetet initierades var att vid en förläggning av kabel, alternativt kopparskena, mellan en transformator och ett ställverk har man idag ingen standardiserad data att gå efter för att på bästa sätt utföra arbetet. Istället görs det på så kallad erfarenhetsbasis ”mellan tummen och pekfinger”. Man vet därför inte om det bästa resultatet uppnås med avseende på kostnader samt dimensionering.

## **1.2 Syfte och mål**

Målet med examensarbetet var att framställa en lathund för val av förläggningssätt mellan en transformator och ett ställverk. Syftet var att producera en utgångsmall både i pappersformat samt interaktivt där man i huvudsak tar hänsyn till dimensionering, kostnader och förläggningssätt utifrån parametrar såsom transformatorns nominella ström, kabelns belastningsström samt kortslutningshållfasthet.

## **1.3 Avgränsningar**

Arbetet avgränsades till transformatorer mellan 500 kVA och 2000 kVA samt avstånd mellan transformator och ställverk mellan 3,5 m och 15 meter. De förbandstyper som behandlas är kablarna AKKJ, AXKJ, RK samt kopparskenor

## **1.4 Hjälpmedel**

I arbetet som delvis utförts på ABB Building System AB samt delvis på Högskolan Trollhättan/Uddevalla har programvaror använts enligt nedan:

- Dator med flertalet applikationsprogram såsom
  - Microsoft Excel
  - Microsoft Word
  - ELVIS
  - FEBDOK
  - ERIFLEX [fig. 1-3]

I övrigt har flertalet formelsamlingar använts vid beräkningar.

## 2 Förutsättningar

### 2.1 Utgångsläge

Vid starten av examensarbetet var första problemet att komma fram till hur ”lathunden” skulle presenteras. Eftersom det inte tidigare fanns något liknande arbete gjort testades flertalet olika alternativ innan slutprodukten som den ser ut idag framställdes. Utifrån diskussioner med Erik Larsen, ABB samt Lars-Gunnar Johansson, HTU enades vi om vilka parametrar som skulle vara styrande för "lathunden", där koncentrationen i utgångsläget skulle behandla transformatorns storlek, genererad nominell ström samt genererad kortslutningsström från transformatorn. Utifrån dessa värden dimensionerades därefter antal kablar alternativt kopparskenor med avseende på förbandets strömvärde, förbandet kortslutningshållfasthet samt avståndet mellan transformatorn och ställverket.

Vid framtagandet av alternativa förläggningssval gällande kabel samt kopparskena bestämdes det att vi skulle göra jämförelser mellan tre typer av kabel samt två storlekar på kopparskena. Kablarna som dimensioneringen avsett är 3x240+72 AKKJ, 1x630+35 AXKJ och RK 400. Kopparskenor som avses är ohålade, med en tjocklek 10 mm, med färdiga längder på 4 m. Bredden på skenorna valdes till 50 mm alternativt 100 mm, dessa skenor produceras i vårt fall av Erico AB.

### 2.2 Transformatorns parametrar

Vid framtagandet av transformatorns parametrar har flertalet beräkningar utförts.

Den nominella strömmen som transformatorn genererar beräknas enligt [4]:

$$(1) \quad I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = [A]$$

Transformatorns genererade kortslutningsström beräknas enligt:

$$(2) \quad I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} * u_k * U_n} = [kA]$$

$I_n$  Nominell märkström

$S_k$  Skenbar kortslutningseffekt

$U_n$  Nominell märkspänning

$u_k$  Relativ kortslutningsimpedans

$S_n$  Total skenbar märkeffekt

Den relativa kortslutningsimpedansen  $u_k$  är leverantörsdata och är knuten till vilken transformatorstorlek som används.

## **2.3 Transformatorer**

Transformatorerna som avses i "lathunden" är Dyn-kopplade och levereras av Unitrafo Electric AB. I "lathunden" behandlas transformatorer med skenbar märkeffekt från 500 kVA till 2000 kVA. Den relativa kortslutningsimpedansen  $u_k$ , ligger mellan 0,06 till 0,065, ökande i förhållande till ökande skenbar effekt. Jordningen skall vara utförd som TN-system, dvs. skall ha en punkt direkt jordad, och utsatta delar i installationen skall vara anslutna till denna punkt med skyddsledare eller PEN-ledare.

Tre slag av TN-system definieras enligt Starkströmsföreskrifterna [3] med hänsyn till hur neutral- och skyddsledare är anordnade

- TN-S-system, ett system i vilken neutral- och skyddsledare utgörs av separata ledare
- TN-C-S-system, ett system i vilken neutral- och skyddsledarefunktionerna är kombinerade i en enda ledare i en del av systemet.
- TN-C-system, ett system i vilken neutral- och skyddsledarefunktionerna är kombinerade.

I vårt fall har beräkningarna utförts för ett TN-C system.

### **2.3.1 Transformatoranläggningar**

I starkströmsföreskrifterna [3] samt standardnormer finns fodringar gällande transformatoranläggningar enligt nedan.

#### **§ B80**

Starkströmsföreskrifterna i denna paragraf gäller för utförande, uppställning samt anordnande av transformatorer för överföring eller distribution av elektrisk kraft.

#### **a. Utförande**

Transformatorer skall ha med hänsyn till rådande driftförhållanden betryggande mekanisk, termisk och elektrisk hållfasthet. Utförandet skall vara anpassat till uppställningsplatsens beskaffenhet.

#### **b. Utförande**

Transformatorer skall vara så uppställda och anordnade, att erforderlig kylning inte hindras och risk för antändning eller annan skada i omgivningen i skälig grad förebyggs.

#### **c. Brytorgan**

För en transformator som inte tål kontinuerlig kortslutning skall finnas skyddsorgan som bryter belastningsströmmen vid skadlig överbelastning (överlastskydd) samt anordning som fränkopplar transformatorn vid kortslutning eller svårare fel inom densamma



**e. Anslutningsdetaljer**

Anslutningsdetaljer på en transformator skall vara avpassade för den kabel till vilken transformator ansluts och vara utförda så, att betryggande isolation erhålls dels mellan ledarna inbördes, dels mellan varje ledare och transformatorns hölje.

## **2.4 Kablar**

Vid dimensionering av en kabelanläggning innebär det att i första hand bestämma kabelarea för en given belastningsström, då tar man hänsyn till ström-  
belastningsförmåga, kortslutningsförhållanden vid 0,2 s felbortkopplingstid samt  
förläggningssätt. Drifttemperaturen hos ledarna, som bestäms av effektutvecklingen i  
kabeln samt av den termiska ledningsförmågan i kabeln och omgivningen, sätter en  
gräns för hur mycket en kabel får belastas. Anvisningar för hur dimensioneringen ska  
utföras fås från bl a Starkströmsföreskrifterna samt i normen SS 424 14 24 (för kablar  
med märkspänning högst 0,6/1,0 kV) [5].

Definitioner över betydelsen av vanligt förekommande uttryck som gäller vid  
dimensionering av kabel:

- **Nominellt strömvärde** är den högsta ström som kabeln kontinuerligt kan föra vid givna förutsättningar såsom:

⇒ Maximalt tillåten temperatur på fasledare vid kontinuerlig ström för

- |                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| - PVC-isolerade 1 kV kraftkabel    | 70 °C |
| - PEX-isolerade 1-24 kV kraftkabel | 90 °C |

Förutsättningarna avser också en lufttemperatur på 25 °C samt att kablarna är förlagda i ett lager. Om så ej är fallet får man tillgripa metoden att omräkna det nominella strömvärdet med en korrektionsfaktor som ger strömvärdet vid det aktuella förhållandet.

- **Strömvärde** är den ström som kabeln kontinuerligt kan föra med hänsyn till förläggningssätt samt omgivningsförhållanden.
- **Korttidsström** är den kortslutningsström som en kabel kan föra under angiven tid och angivna förhållanden. Definitionen för korttidsström är kortslutningsströmmens kvadratiske medelvärde under kortslutningstiden. Kraftkablars egenskaper vid kortslutning är hämtade från normen SS 424 14 07 [5].

#### **2.4.1 AKKJ 3x240+72**

Konstruktionen för AKKJ:

- Fåtrådig, sektorformad, glödgad aluminium
- PVC-isolering, siffermärkt
- Koppartrådsskärm
- Maximal ledartemperatur 70 °C
- Maximal ström vid förläggningssätt B, 350 A

Vid beräkning av den kortslutningsström som AKKJ begränsas av styrs det utifrån den koncentriska ledaren enligt SS 424 14 07 [5]. Den högsta tillåtna sluttemperatur på den koncentriska ledaren är 300 °C om kortslutningstiden ej överstiger 5 s, då beräknas den koncentriska ledarens strömtäthet till 200 A/mm<sup>2</sup>. I vårt fall erhålls:

$$\bullet \quad I_{k(1s)} = 72 * 200 = 14,4 \text{ [kA]} \quad \Longleftrightarrow \quad I_{k(0,2s)} = 32,2 \text{ [kA]}$$

En dimensioneringsmodell för AKKJ visas i bilaga 1.

#### **2.4.2 AXKJ 1x630+35**

Konstruktionen för AXKJ:

- Fåtrådig aluminium
- PEX-isolering
- Glödgad koppartrådsskärm
- Maximal ledartemperatur 65 °C
- Maximal ström 850 A vid planförläggning samt 745A vid triangelförläggning

Kortslutningsström som begränsar AXKJ hämtas från SS 424 14 07 [5]. Omräkning till 0,2 s felbortkopplingstid görs enligt:

$$\bullet \quad I_{k(1s)} = 64,1 \text{ [kA]} \quad \Longleftrightarrow \quad I_{k(0,2s)} = \frac{I_{k(1s)}}{\sqrt{0,2}} = 143,3 \text{ [kA]}$$

En dimensioneringsmodell för AXKJ visas i bilaga 2.

### 2.4.3 RK 400

Konstruktionen för RK 400:

- Mångtrådig glödgad koppar
- PVC-isolering
- Maximal ledartemperatur 70 °C
- Maximal ström 795 A vid planförläggning samt 695 A vid triangelförläggning

Kortslutningsström som begränsar RK 400 hämtas från SS 424 14 07 [5]. Omräkning till 0,2 s felbortkopplingstid görs enligt:

$$\text{▪ } I_{k(1s)} = 43,7 \text{ [kA]} \implies I_{k(0,2s)} = \frac{I_{k(1s)}}{\sqrt{0,2}} = 97,7 \text{ [kA]}$$

En dimensioneringsmodell för RK 400 visas i bilaga 3.

## 2.5 Kopparskenor

Konstruktionen för kopparskena:

- Ohålade kopparskenor
- Längd: 4000 mm
- Arbetstemperatur 65 °C enligt DIN 43671
- Maximal ström/ skena: 852 A
- Area varierar mellan 50-100 x 10 mm<sup>2</sup>

Kortslutningsström som begränsar för kopparskenor vid 1 s fås från beräkningsprogrammet ERIFLEX SYSTEM [fig. 1-3]. Omräkning till 0,2 s felbortkopplingstid görs enligt:

$$\text{▪ } I_{k(1s)} = 21,5 \text{ [kA]} \implies I_{k(0,2s)} = \frac{I_{k(1s)}}{\sqrt{0,2}} = 48,1 \text{ [kA]}$$

En dimensioneringsmodell för Kopparskena visas i bilaga 4.

Vid dimensionering av kopparskenor utgår man från den nominella märkström som man kan belasta kopparskenorna med.

- **Märkström  $I_n$**  för strömbana i kopplingsutrustning anges av tillverkaren med hänsyn till märkdata hos komponenterna i strömbanan samt till deras inbyggnad och användning. Denna ström måste kunna föras utan att temperaturstegringen hos olika delar överstiger de värden som anges när kontroll sker (SS-EN 60439-1) [5].

I vårt fall har beräkningarna utförts med ERIFLEX SYSTEM, som tar hänsyn till höjd, tjocklek samt längd på skenan. Utifrån beräkningarna tar programmet också fram vilken kortslutningshållfasthet skenorna har, därefter får man en rekommenderad skenhållare för de antal parallella skenor man har. Skenhållarnas avstånd mellan varandra avgörs av den kortslutningsström som transformatorn genererar.

- **Märkkortslutningsström  $I_k$** , villkorlig för strömbana i kopplingsutrustning är värdet hos den av tillverkaren angivna nätkortslutningsström som denna strömbana kan uthärda tillfredsställande under provningsbetingelser när den skyddas av strömbegränsande elkopplare. (SS-EN 60439-1) [5].

Enligt SS-EN 60439-1 [5] gäller allmänt för kopplingsutrustningar att de skall utföras så, att de kan uthärda de termiska och dynamiska påkänningar som kan uppstå vid kortslutningsströmmar upp till märkvärdena. Vidare skall dessa skyddas mot kortslutningsströmmar t ex medelst effektbrytare, säkringar eller kombinationer av båda vilka kan ingå i kopplingsutrustningen eller finnas utanför. Användarna skall vid beställning ange kortslutningsförhållanden vid kopplingsutrustningens anslutningspunkt. I kapitel 3, modeller visas ett antal bilder ut beräkningsprogrammet.

## **2.6 Belastningsström & Utnyttjningsgrad**

I "lathunden" har också den totala belastningsströmmen på kabel samt kopparskena räknats fram för att kunna beräkna den utnyttjningsgrad som de olika alternativen har. Utnyttjningsgraden är viktig i det avseendet att vid ökad belastning på förbandet måste den ligga under maximalt tillåten utnyttjningsgrad. Den räknas fram enligt

Transformatorns nominella ström dividerat med Kabelns/Kopparskenans totala strömvärde.

### 3 Programgränssnitt

I rapporten har beräkningsprogrammet för kopparskenor ERIFLEX SYSTEM nämnts, nedan visas modeller över programmets gränssnitt

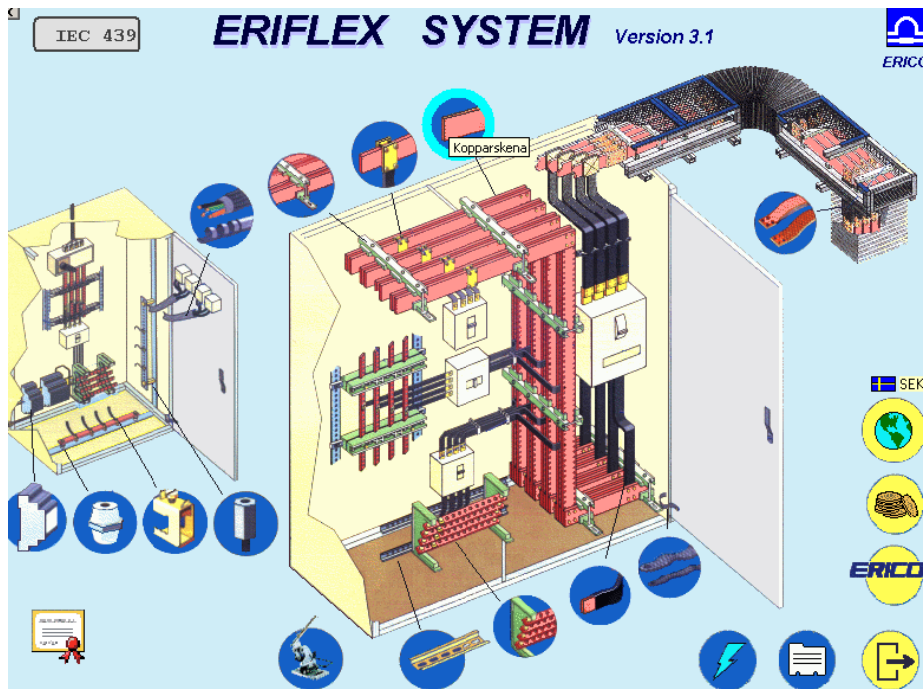


Fig. 1. Sida för komponentval vid skenförläggning

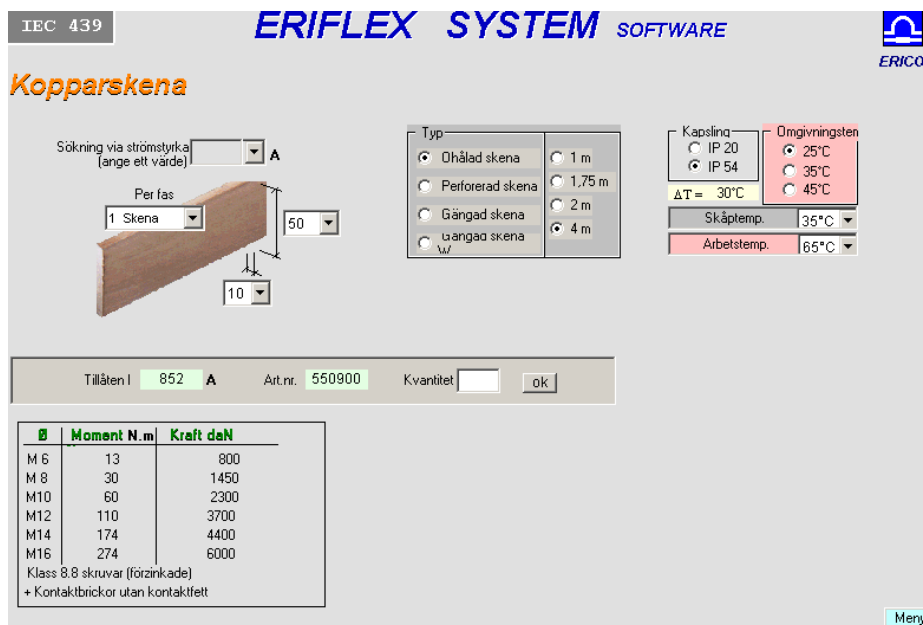


Fig. 2. Val av kopparskena utifrån givna förutsättningar

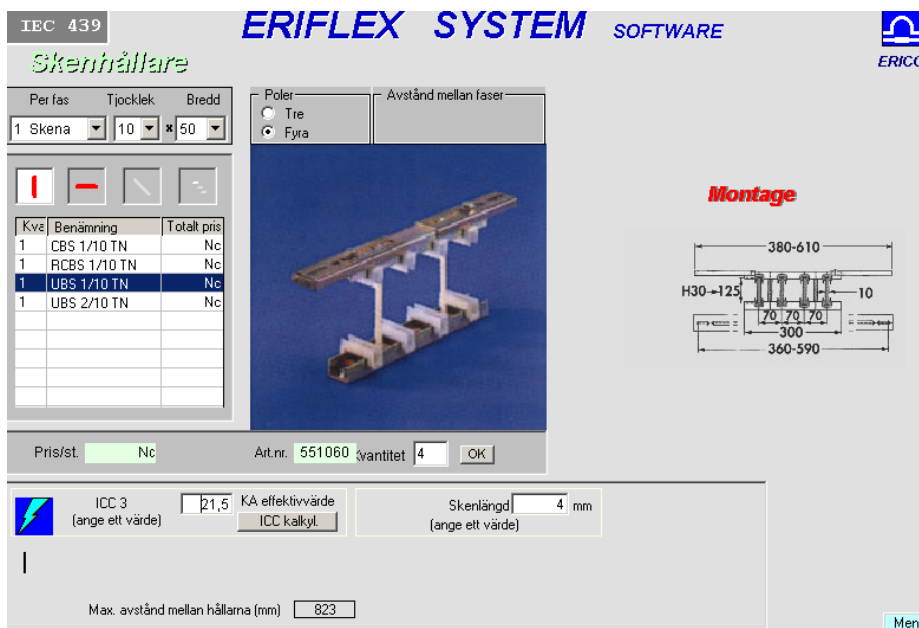


Fig. 3. Val av skenhållare utifrån skenalternativ, avståndet mellan skenhållarna inbördes avgörs av transformatorns genererade kortslutningsström

## 4 Utvecklingsmöjligheter

Eftersom "lathunden" som den presenteras här kan ses som en utgångsmodell där de viktigaste parametrarna har bearbetats, finns det stora möjligheter att utveckla och förbättra "lathunden". I dag finns den uppbyggd i form av Excelark med beräkningsformler kopplade till längd, antal st/m, pris/enhet, rabatt, samt summa gällande för framtagandet av pris för respektive alternativ. Bakomliggande beräkningsformler ligger också framtagna för total belastningsström samt utnyttjningsgrad.

Förslag på utvecklingsmöjligheterna som kan göras presenteras nedan, därefter är det användarens uppgift att göra ytterligare förändringar. Viktigt är dock vid förändringar att man kopplar det till alla användare, för att på så sätt få en levande "lathund" som kan användas vid projektering av en anläggning av förband mellan transformator och ställverk.

Utvecklingsmöjligheter:

- Materiellistan kan utökas med alla förekommande artiklar som behövs vid anläggningen
- Fler alternativ av förläggingsval, såsom andra kabeltyper, femledarsystem mm som kan vara aktuellt vid större transformatorer kan lätt implementeras i lathunden.
- Utbyggnad till att omfatta andra kostnader i entreprenaden såsom arbetstider, arbetskostnader samt övriga kostnader
- Magnetfältsberäkningar, för att minimera dessa vid olika förläggingsalternativ.
- Beräkningar av spänningsfall över förbandet.
- Koppling mot de normer och föreskrifter som berörs vid projekteringsarbetet

En vision är att bygga upp "lathunden" interaktivt kopplat mot leverantörers produkt- och prislister som uppdateras automatiskt vid förändringar hos leverantör. Det skulle klart kunna minska de kostnader som alla anbudsgivare i dag har för projektering av en anläggning.

## **5 Resultat**

Resultatet av arbetet utmynnade i en "lathund" som kan vara ett hjälpmedel vid projektering av en anläggning för förläggning av ett förband mellan transformator och ställverk. Som tidigare nämnts i rapporten är det en utgångsmodell som har producerats vilket innebär att man har flertalet olika utvecklingsmöjligheter. "Lathundens" användare är främst projekterare samt konstruktörer inom elbranschen.

## **6 Slutsatser**

Arbetet med "lathunden" har visat sig vara mycket väl kopplat till de kurser som utbildningen till elektroingenjör med inriktning mot elkraft utmynnade i. Främst har jag använt mig av det jag läst inom elanläggningsberäkningar, transformatorer samt elkretsanalys. Eftersom arbetet har till viss del varit av undersökande karaktär har jag fått flertalet intressanta kontakter inom ovan nämnda bransch. Förhoppningsvis kommer "lathunden" innebära förenklingar samt förbättringar vid projektering av anläggningar där förläggning av förband mellan transformator och ställverk ska ske.

## **7 Referensförteckning**

- 1 Ericsson Cables Kraftkabelhandbok, 1999-06, 2:a uppl.
- 2 Wallin & Dalholm Tryckeri AB, Lund 1993, ABB Handbok Industri
- 3 ELSÄK-FS 1999:5, Starkströmsföreskrifterna
- 4 Liber AB, H. Blomqvist. 1997, Elkrafthandboken 1:a uppl.
- 5 Standardnormer
  - SS 424 14 24 Kraftkablar, dimensionering av kablar
  - SS 424 17 07 Kraftkablar, egenskaper vid kortslutning
  - SS-EN 60439-1 Kopplingsutrustningar, Fordringar på typprovade och delvis typprovade utrustningar
  - SS-EN 60439-2 Kopplingsutrustningar, Särskilda fordringar på typprovade kanalskenfördelningar
  - DIN 43671
- 6 Diverse leverantörskataloger
  - Unitrafo Electric leverantörskatalog
  - Mericon Sverige leverantörskatalog
  - Elektroskandias leverantörskatalog
  - Ericsson Cables leverantörskatalog

## **Bilagor**

Lathund Transformator- Ställverk,  $S_n=1600$  kVA, 10 m längd

AKKJ	Bil 1
AXKJ	Bil 2
RK 400	Bil 3
Kopparskena	Bil 4

I övrigt finns hela lathunden som pärmbilaga samt på CD-skiva