

2002:E007



HÖGSKOLAN
TROLLHÄTTAN · UDDEVALLA
INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK

EXAMENSARBETE

Jämförelse mellan Hexatransformator och konventionella transformatorer

Henrik Gustafsson
2002-04-05

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

Jämförelse mellan Hexatransformator och konventionella transformatorer

Sammanfattning

Detta examensarbete är utfört på Göteborg Energi AB som har många nätstationer med transformatorer i Göteborg med omnejd.

Målet med examensarbetet har varit att jämföra en ny 800 kVA transformator från Nordtrafo med symmetrisk kärna med de övriga på marknaden.

Arbetet är koncentrerat på dessa faktorer hos transformatorerna:

- Transformatorförluster
- Storlek
- Magnetfält
- Miljöpåverkan
- Pris

Arbetet är utfört utifrån tillverkarnas uppgifter och inga egna tomgångs- eller kortslutningsprov har skett, inte heller några magnetfältsprov.

Det har visat sig att Hexatransformatorn har sina fördelar i att vara mer miljövänlig, mindre till storlek och mindre reaktiv belastning på nätet. En rejäl minskning av magnetfälten har även skett med den symmetriska uppbyggnaden. Tomgångsförlusterna är mindre och belastningsförlusterna är desamma eller högre för Nordtrafo jämfört med de övriga i rapporten. Hexatransformatorns nackdel är att inköpspriset ligger högre än konkurrenterna.

Nyckelord: Hexatransformator, transformator, transformatorförluster, magnetfält

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: Henrik Gustafsson

Examinator: Lars Holmblad

Handledare: Sven-Åke Jörneberg, Göteborg Energi AB

Poäng: 10 **Nivå:** C

Huvudämne: Elektroteknik **Inriktning:** Elenergisystem

Språk: Svenska **Nummer:** 2002:E007 **Datum:** 2002-04-05

DISSERTATION

Comparison between Hexaformer and conventional transformers

Summary

This degree project is done at Göteborg Energi, that have several distribution-stations in Göteborg and the surroundings.

The objective of this project was to compare a new kind of transformer with symmetric design of the core from the company Nordtrafo, to other transformer-models on the market.

The project is concentrated on these factors of the transformers:

- Transformer losses
- Size
- Magnetic fields
- Environment impact
- Price

The project is performing on the basis of manufacture information. No open circuit-, short circuit- or magneticfield tests have been carried out.

It turned out that the Hexatransformer has several advantages. It is more environmentally friendly, it is smaller and causes less reactive power on the net. The magnetic field is also strongly reduced thanks to the design. The no-load losses are smaller and the load losses are bigger or the same as the others. The Hexatransformers major disadvantage is that the purchase price is higher than for the other competitors models.

Keywords: Transformer, Hexaformer, transformer losses, magnetic fields

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: Henrik Gustafsson

Examiner: Lars Holmblad

Advisor: Sven-Åke Jörneberg, Göteborg Energi AB

Subject: Electrical Engineering, Electrical Energy Systems

Language: Swedish **Number:** 2002:E007 **Date:** April 5, 2002

Förord

Detta examensarbetet på 10 poäng är utfört för Göteborg Energi AB, med Sven-Åke Jörneberg som handledare. Min examinator på Högskolan i Trollhättan har varit Lars Holmblad.

Detta har varit ett givande projekt där jag har fått läsa mig till mycket information och arbeta på egen hand vilket inte har varit några problem eftersom det alltid har funnits personer att fråga då jag har stött på problem eller frågor.

Jag vill passa på att tacka Sven-Åke Jörneberg som har varit min handledare och även alla andra personer som har hjälpt mig på Göteborg Energi AB och GENAB.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
SUMMARY	III
FÖRORD	III
1 ORDFÖRKLARINGAR	1
2 INTRODUKTION	2
2.1 Bakgrund	2
2.2 Problemanalys	2
2.3 Avgränsningar	2
2.4 Källor	2
3 GÖTEBORG ENERGI AB	3
3.1 Teknik Tjänst	3
3.2 Dotterbolag- GENAB	4
3.3 Miljökrav vid beställning	5
4 TRANSFORMATORN	6
4.1 Allmänt	6
4.2 Transformatorolja	6
5 TRANSFORMATORPROV	6
5.1 Tomgångsprov	6
5.2 Kortslutningsprov	8
6 OLIKA TRANSFORMATORFÖRETAG	9
6.1 Nordtrafo	9
6.2 Övriga fabrikanter	9
7 TRANSFORMATOR JÄMFÖRELSE	10

7.1	Storlekar	10
7.2	Reaktiv effekt	13
7.3	Magnetfält	14
7.4	Miljöpåverkan	17
8	BAKGRUND TILL BERÄKNINGAR	20
8.1	Kalkylränta	20
8.2	Kalkylperiod och livslängd	20
8.3	Tariffer, elpriser	20
8.4	Energipriset på förlustenergi	22
9	FAKTORER	24
9.1	Upphandlingskalkyl	24
9.2	Inköpskostnad för transformator	25
9.3	Ekonomisk jämförelse	26
9.4	Leveranstider	26
10	SLUTSATSER	27
11	KÄLLFÖRTECKNING:	28
11.1	Litteratur	28
11.2	Elektroniska Källor	28
11.3	Programvara	28
11.4	Personliga referenser	29

Bilagor

Tomgångskostnad	Bilaga 1-2
Reaktiv effekt	Bilaga 3-4
Kostnad för förluster	Bilaga 5
Kostnad totalt	Bilaga 6
CO ₂ Utsläpp	Bilaga 7-9
Produktinformation	Bilaga 10-18

1 Ordförklaringar

Nordpol: Nordens elbörs, här sköts all handel med el i nordn.

Plusenergi AB: Plusenergi är ett "intressebolag", det vill säga koncernen Göteborg Energi äger 50% medan Vattenfall äger den andra hälften. De sysslar i huvudsak med elförsäljning.

Inhysta: Nätstation inplacerad i byggnad som inte ägs av Göteborg Energi Nät AB, alltså de hyr endast en lokal i byggnaden.

Konventionell: Transformator uppbyggd på traditionellt sett med järnkärna

CO₂: Koldioxid

LCA: Livscykelanalys

2 Introduktion

2.1 Bakgrund

På Göteborg Energi Nät köps det under ett år in en hel del transformatorer till nya som gamla nätstationer. För att rätt transformator ska köpas in så är det viktigt att det undersöks vad transformatorerna har för miljöpåverkan samt förluster. Denna rapport är tänkt vara hjälp vid inköp och projektering.

2.2 Problemanalys

Min uppgift är att utifrån tillverkarnas produktdata samt information som finns på Göteborg Energi AB se om en transformator typ med transformatorbenen placerade i triangel kan vara intressant att investera i.

Anledningen till att de skulle kunna vara intressant är att det går åt mindre material vid tillverkning av denna typen samt att den p.g.a. sin symmetri får mindre magnetfält och förluster.

2.3 Avgränsningar

Arbetet skall koncentreras till GENAB:s senast inköpta 800 kVA transformator typer med oljeisolering vid jämförelsen.

Det har inte för mig funnits möjlighet till att göra tomgångsprov eller kortslutningsprov utan jag har varit tvungen att gå på de uppgifter tillverkaren uppger i sina produktdatablad.

2.4 Källor

I avsnitt 4, 5, 8 och 9 har följande källor använts:

Elkrafthandboken 1, Elkrafthandboken 2, Elkrafthandboken Elmaskiner och Elmaskiner.

3 Göteborg Energi AB

Rapportarbetet har utförts för och i samarbete med avdelningen TP på Göteborg Energi AB, och GENAB.

Koncernen har idag totalt cirka 1000 anställda och består av moderbolag och 7 dotterbolag, varav GENAB är ett dotterbolag. För att koncentrera mig på de områden som jag har arbetat med så beskriver jag endast om de berörda avdelningarna.

3.1 Teknik Tjänst

Teknik tjänst är ett affärsområde inom Göteborg Energi där det arbetar cirka 180 personer. De är uppdelade i ett antal avdelningar varav TP är en som arbetar med projektering och TR, TH, TA, TÖ som arbetar med elentreprenader, det vill säga planering, byggnation, drift och underhåll av elnätet med tillhörande anläggningar.

Dessutom finns även två projekt knutna till området.

3.1.1 TP - projektering el

TP är avdelningen som projekterar elnätet och nätstationer. De ser alltid till så att det finns en lösning att få fram el. Det är här som de tas fram underlag som montörerna sedan lätt ska kunna följa när de arbetar ute på plats. Underlagen består av kartor över området där de visar hur de har tänkt sig med sträckning av kabel, skarvar, gruppfordelning mm. Det är även dessa som håller kontakten med gatukontoret som äger de flesta vägarna i Göteborg, det är viktigt att få tillstånd och kunna samordna med eventuella andra arbeten i området.

3.2 Dotterbolag- GENAB

I samband med att elmarknaden omreglerades den 1 januari 1996 överfördes elnätverksamheten från moderbolaget Göteborg Energi AB till sitt helägda dotterbolag Göteborg Energi Nät AB (GENAB). Denna ellagstiftningen innebär att elnätverksamhet ekonomiskt skall vara avskild från handel och produktion av el för att få en fungerande konkurrens på den svenska elmarknaden.

- Idag arbetar cirka ett 70-tal personer på Göteborg Energi Nät AB.
- Bolaget har ca 242.000 lågspänningskunder och ca 270 högspänningskunder.
- Koncessionsområdet omfattar Göteborgs kommun exklusive Askim och Styrso.
- Elnätet består av 6300 km starkströmsledningar.
- Det finns ca 1410 transformatorstationer utplacerade längs nätet.
- Elnätet bevakas dygnet runt på Driftledningscentralen.

Arbete som pågår för att minska miljöpåverkan från ovan nämnda aspekter är:

- Olja som innehåller PCB byts ut.
- Rutiner förbättras för hantering av material som kan innehålla PCB.

3.3 Miljökrav vid beställning

Nedan följer GENAB:s krav på leverantören vid upphandling av 800 kVA transformatorer med högre magnetfältskrav.

Ljudnivå

Transformatorn skall kunna placeras i bostadsfastigheter, därför bör en låg ljudnivå eftersträvas. Har ingen uppgiven gräns men kräver en garanterad maximal nivå från leverantör.

Magnetfält

Magnetfälts storlekar ska redovisas vid märklaster, där skall klart framgå hur flödestätheten är i alla riktningar, men det krävs inga uppgifter nedåt. Flödestätheten skall inte överstiga 0,5 μT vid 3 m avstånd från transformatorns centrum.

Förluster

Garanterade förluster skall uppges, uppfylls inte dessa sedan så utgår böter. Det betalas dock inte ut någon bonus för att transformatorns förluster är mindre än det garanterade värdet.

Mått

Måttuppgifter med måttskiss skall uppges i materialet från leverantör.

4 Transformatorn

4.1 Allmänt

Transformatorns huvuddelar är kärna och lindningar. Dessa delar är grundläggande för transformatorns princip och funktion. Kärnan läggs vanligen samman av formstansade plåtsnitt varvid sedan lindningarna lindas runt. Värdet på de sk kapitaliserade tomgångs- och belastningsförlusterna är en viktig information för transformatorstillverkarna vid valet av plåtkvalitet. Lindningen delas in två typer, en uppspännings- och en nedspänningslindning. I de här fallet så används transformatorn till distribution och kallas därmed distributionstransformator, (spannet för de här är 10-2000 kVA). Medelstora distributionstransformatorer används i huvudsak i tätbebyggda områden samt för industrin.

4.2 Transformatorolja

Transformatoroljan är en speciell raffinerad olja med god elektrisk isolerhållfasthet, åldras långsamt samt låg viskositet. Den fungerar bl.a. som värmeavledare och elektrisk isolator. För att transformatorn ska kunna fungera på rätt sätt måste oljan vara av högsta kvalitet. Den är dock otroligt känslig för föroreningar av t.ex. fasta partiklar och vatten, oljan analyseras därför med jämna mellanrum.

5 Transformatorprov

För att kunna bestämma effektförlusterna görs två mätningar, tomgångsprov och kortslutningsprov.

5.1 Tomgångsprov

Provet sker vid sinusformad märkspänning och med märkfrekvens, med öppen sekundärsida. Mätning av tomgångsförluster bör ske med trewattmetermetoden. Strömmen varierar ofta på alla tre fasuttagen. Därför mäts alla tre faser och medelvärdet av de tre faserna beräknas.

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_1 + I_2 + I_3) \qquad \text{Tomgångsström}$$

$$P_0 = P_1 + P_2 + P_3 \qquad \text{Aktiv Tomgångseffekt}$$

***Jämförelse mellan Hexatransformator och
konventionella transformatorer***

$$Q_0 = \sqrt{(\sqrt{3} \cdot U_0 \cdot I_0)^2 - P_0^2}$$

Reaktiv tomgångseffekt

5.1.1 Tomgångsförluster

Med tomgångsförluster hos en transformator menas den aktiva förlusteffekt, som en transformator förbrukar när det läggs spänning över primärlindningen som överensstämmer med märkspänning med märkfrekvens som står på transformatorns märkplåt.

Tomgångsförlusterna består till största delen av järnförluster och en liten del resistiva lindningsförluster som är försumbara.

$$P_0 = P_{Fe} + R_1 \cdot I_0^2 \approx P_{Fe}$$

5.2 Kortslutningsprov

Provet sker genom att primärsidan matas med variabel spänning vid märkström av märkfrekvens eller eventuellt lägre ström. Under provet ska den andra lindningen vara kortsloten. Vid provet mäter man upp linjeströmmarna, huvudspänningarna och den toltalt tillförda effekten.

Följande samband gäller:

$$U_k = \frac{1}{3}(U_{12} + U_{23} + U_{31}) \quad \textit{klämspänning}$$

$$I_k = \frac{1}{3}(I_1 + I_2 + I_3) \quad \textit{kortslutningsström}$$

$$P_k = P_1 + P_2 + P_3 \quad \textit{kortslutningseffekt}$$

Ur dessa uppmätta värden beräknas sedan följande kortslutningsdata:

$$Z_k = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_k} \quad \textit{kortslutningsimpedans}$$

$$R_k = \frac{P_k}{3 \cdot I_k^2} \quad \textit{kortslutningsresistans}$$

$$X_k = \sqrt{(Z_k^2 - R_k^2)} \quad \textit{kortslutningsreaktans}$$

$$P_{\text{Förlust}} = P_0 + P_b = P_0 + 3 \cdot R_k'' \cdot I_2^2 \quad \textit{total effektförlust}$$

5.2.1 Belastningsförluster

Om inget annat anges är de belastningsförluster som uppstår vid märkström av märkfrekvens med sinusform.

6 Olika transformatorföretag

6.1 Nordtrafo

Nordtrafo är ett mindre företag i Bjarträ som grundades 1965. Förutom transformator tillverkning och reparationer utförs även montage av kompletta apparatskåp med ingående komponenter enligt kundens önskemål.

6.1.1 Hexatransformatorn

Hexatransformatorn är en transformator som Nordtrafo fått fram efter många års arbete tillsammans med en uppfinnare. Den stora skillnaden ligger i att transformatorbenen är placerade i triangel istället för i rad som på de traditionella transformatorerna vilket leder till mindre läckflöden pga symmetrin. Fördelen med detta är att transformatorn blir mindre, därmed lättare, energiförlusterna och magnetfältet runt transformatorn minskas rejält jämfört med den *konventionella* transformatorn.

Den är mindre till storlek och har därmed även mindre material vilket ur miljösynpunkt är en fördel i tillverkningsfasen.

6.2 Övriga fabrikanter

De övriga fabrikanterna har alla gemensamt att de tillverkar transformatorerna på traditionellt sätt, jag tänkte därför bara nämna dem jag har berört i rapporten och inte förklara deras företagsstruktur: Helmerverken, Möre, ABB och Elsunda.

7 Transformator jämförelser

7.1 Storlekar

Jag har begränsat mig till fyra olika transformatormodeller när jag har jämfört storleken. Helmerverken, ABB och Möre jämfört med den nya sortens transformator med transformatorbenen i triangel från Nordtrafo.

De med **fetstil** är de minsta värdet på respektive faktor. Se begreppen i bilaga 17, *mättkiss och tekniska data*: Längd= L
Bredd= W, Höjd= H

Nordtrafo

Vikt: 1800 kg

Längd :	1000 mm
Bredd:	960 mm
Höjd:	1650 mm

Helmerverken

Vikt: 2440 kg

Längd:	1595 mm
Bredd:	795 mm
Höjd:	1625 mm

ABB

Vikt: 2100 kg

Längd:	1520mm
Bredd:	930 mm
Höjd:	1515 mm

Möre

Vikt: 2530 kg

Jämförelse mellan Hexatransformator och konventionella transformatorer

Längd:	1560 mm
Bredd :	790 mm
Höjd:	1645 mm

7.1.1 Diskussion:

Vid byte av transformator finns det några olika faktorer som arbetet har koncentrerats till med avseende på transformatorns utsida.

- Vikt
- Längd
- Bredd
- Höjd

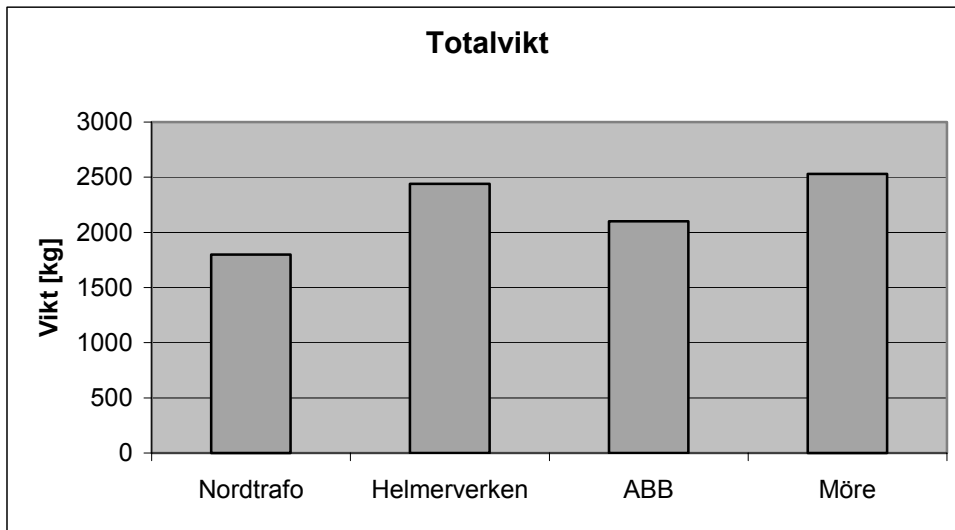
Ur tabeller på föregående sida har jag fetmarkerat det minsta värdet på respektive faktor ovan.

Fördelar med en mindre transformator kan vara att det underlättar vid byte av gamla transformatorer i trånga *inhysta* stationer. Det skiljer drygt 0,5 m i längd i dessa fall vilket kan spela en stor roll vid ditplacering av transformatorn. Om det finns behov av transformatorförstärkning i nätet kan det även innebära att det i vissa fall vara möjligt att ersätta en befintlig 500 kVA med Hexatransformatorn på 800 kVA där det är dimensionerat så att nätet klarar det, Hexatransformatorn har nämligen samma storlek som en 500 kVA *konventionell* transformator.

Den väger dessutom 300-650 kg mindre än konkurrenterna (alltså konkurrenterna väger 15-30 % mer) vilket också kan underlätta vid placering, men den stora fördelen är givetvis den stora storleksskillnaden.

Alla transformatorerna är gjorda med relativt goda marginaler för att komma in genom en transformatordörr med standardmått på 1 m bred.

Jämförelse mellan Hexatransformator och konventionella transformatorer



7.2 Reaktiv effekt

Transformatorn förbrukar reaktiva strömförluster som går ut på nätet som tar lednings kapacitet i anspråk och medför spänningsfall. Detta vill man minska så mycket som det går, men det är inte alltid det är prisvärt att göra dessa investeringar. Eftersom jag jämför nyinköp av transformatorer tänkte jag titta på hur de olika transformatorerna belastar nätet med reaktiv effekt och se hur mycket det "kostar". 1 kVAr värderas till ca 10 kr/kVAr,år vilket verkar överensstämna med vad det kostar för nätbolaget med reaktiv effekt efter en lättare undersökning och diskussioner med Åke Andersson [2].

En annan variant att lösa detta problem är att köpa kondensatorbatterier och kompensera nätet, detta kommer jag inte att gå in på i detta projekt.

7.2.1 Beräkning av Q_0

$$U_{n2}=0,4 \text{ kV} \quad \text{sekundär märkspänning}$$

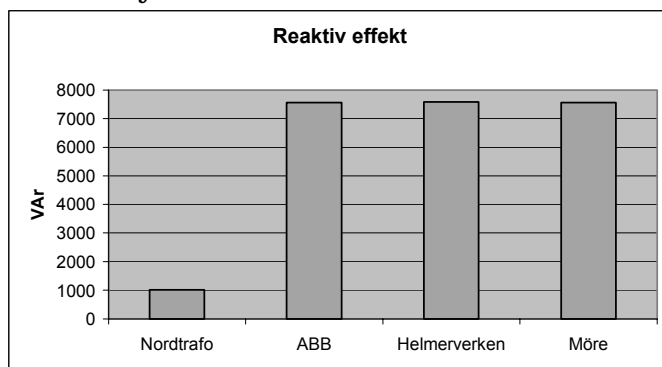
$$I_{n2} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{n2}} \quad \text{sekundär märkström}$$

Förhållande mellan I_n och I_0 :

$$I_0 = 0,01 \cdot I_{n2} \quad \text{tomgångsström}$$

$$Q_0 = \sqrt{(\sqrt{3} \cdot U_{n2} \cdot I_0)^2 - P_0^2} \quad \text{reaktiva tomgångsförluster}$$

Hos Hexatransformatorn är I_0 4-8 ggr lägre än ovanståendeformel genom deras symmetriska uppbyggnad. Detta är uppgifter från tillverkaren som jag utgår ifrån att de stämmer, jag använde 6 ggr lägre värde i beräkningarna vilket leder till en reaktiv effekt som är mycket mindre än konkurrenternas.



Se bilaga 1,3-4

Jag har i mina bilagor fått fram att Nordtrafo sparar in nästan 1000 kr i mindre reaktiv belastning med den värderingen jag har använt.

7.3 Magnetfält

7.3.1 Bakgrund

Magnetfält skapas då en ström flyter genom en ledare. Fälten bildar slutna cirklar runt en strömförande ledare. De är relativt svårt att skärma av dessa fält men de avtar relativt fort med ökat avstånd till transformatorn. Magnetiska fält mäts som magnetsik fältstyrka [A/m] och magnetisk flödestäthet [T]. Genom att minska tomgångsströmmen och att ha symmetri i lindningar har Nordtrafo fått ett mindre magnetfält på Hexatransformatorn. Detta avsnitt är hämtat ur följande källa [2].

Det har inte skett några egna magnetfältsmätningar utan vi har utgått från leverantörens mätningar. Vi har tyvärr inte fått tillgång på någon 800 kVA från Nordtrafo för de hade inte någon mätning utförd. De gav oss uppgifter på en 1200 kVA som jag har räknat om till värden för en 800 kVA genom att multiplicera med $\frac{800}{1200}$ för att få fram de rätta värdena.

Detsamma gäller för helmerverken där jag istället fick multiplicera med $\frac{800}{1000}$ för det där var en 1000 kVA transformator.

7.3.2 Uppmätta värden på magnetfält

Jämförelsen är på de maximalt uppmätta värdena på respektive avstånd med utgångspunkt från centrum på transformatorn. De lägsta värdena på respektive avstånd är markerat med fetstil.

Tomgångsprov:

	Max värde	Max värde
μ T= mikroTesla	Nordtrafo [μ T]	Helmerverken [μ T]
1 m	9,6	12,0
2 m	0,9	9,6

Kortslutningsprov:

**Jämförelse mellan Hexatransformator och
konventionella transformatorer**

Avstånd från golv [mm]	Möre [μ T]	Elsund [μ T]	Nordtrafo [μ T]
1450	65	38,4	8,3
1100	-	34,2	14,2
750	30	22,4	15,7
360	-	11,6	14,1
250	19	5,8	12,1

7.3.3 Diskussion

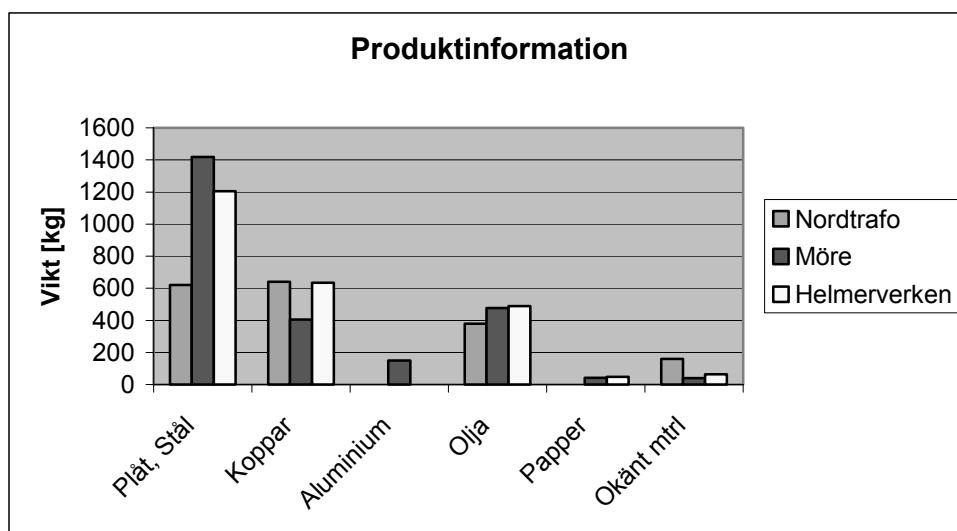
Målet är att minska magnetfälten för omgivande utrymmen eller områden eftersom det inte är bra att vistas i dessa fält för länge. Det är inte heller bra för elektronisk utrustning att vara i sådana utrymmen. Det är främst i stationer i byggnader detta är aktuellt, där de närliggande lokalerna är bebodda eller kontor. Då får det oftast göras åtgärder för att komma ner i rimliga nivåer som ej bör vara högre än $0,2 \mu\text{T}$ enligt en artikel i miljömagasinet [6]. De åtgärder som sker är att väggar kring transformatorn kläs med tjocka aluminiumplåtar med helsvetsade skarvar. Det är en utgift som man helst vill komma ifrån.

Vad som tydligt kan ses i tabellerna över de olika transformatorerna så är det att maxvärdena på respektive avstånd är betydligt mindre på Hexatransformatorn jämfört med de övriga.

7.4 Miljöpåverkan

7.4.1 Miljö analys

Jag har begränsat denna miljöbedömning till de fem huvud råvaruämnena: Kärnan i plåt, stål, koppar, aluminium och olja. De övriga produkterna som är med i produktionen är av mindre storlek och har därav förmodligen inte så stor inverkan på miljön. Jag har arbetat utifrån tillverkarnas uppgifter och koncentrerar analysen på ovan nämnda råvaror. Jag har även tagit hänsyn till miljöpåverkan på produktionen av energin i energiförlusterna. Programvara som jag har använt är LCAit.



7.4.2 Diskussion:

För att få en rimlig nivå hur vi kan påverka miljön vid inköp av transformatorer så är det att försöka hitta transformatorer med samma effektivitet och kvalitet med mindre material och mer miljövänligt material.

Det är kanske inte alltid så lätt att få fram en prisvärd transformator och samtidigt får ner miljöpåverkan?

För att se om det går så skall jag göra en undersökning där jag jämför framställning och drift av tre olika fabriker MÖRE, Helmerverken och Nordtrafo.

Ett första steg för att motverka klimatpåverkan handlar om att reducera utsläppen av koldioxid. Detta kan inte genomföras på annat sätt än att användningen av fossila bränslen begränsas. Någon praktisk möjlighet att eliminera koldioxiden från förbränningsutsläppen genom rening finns inte.

Ett sätt att hjälpa till i målet att minska utsläppen vore givetvis att även vid inköp av transformatorer ta hänsyn till detta för att minska påverkan på växthuseffekten. Om Göteborg Energi inte ökar sina utsläpp så hjälper dem till mot ett minskat utsläpp av CO_2 . Förutom koldioxid släpps också andra växthusgaser tex NO_x ut i de olika industri processerna där materialen tillverkas till transformatorn. Efter lite diskussion med Donald Sundvall på GENAB så kom vi fram till att vi i stort skulle se hur de olika tillverkarnas transformatorer påverkar miljön vid tillverkning även om vi bara riktar in oss på CO_2 utsläppen. Det skulle ge en relativt sann bild på hur det i de stora hela ser ut.

För att kunna göra denna analysen så har jag fått tillgång till uppgifter om miljöbelastningar hos de olika råämnena vid tillverkning.

Miljöbelastningarna delas upp i två olika grupper, en för bränslen och energi förbrukning vid framställning och en grupp för utsläpp i naturen vid framställning. Detta är uppgifter jag har fått från GENAB som i sin tur har fått de från olika LCA-företag.

Utifrån resultaten av miljöanalysen kan jag tydligt se hur de olika materialen och förlusterna påverkar utsläpp av CO_2 vid tillverkning av en transformator.

**Jämförelse mellan Hexatransformator och
konventionella transformatorer**

Utsläpp kg CO₂ / kg tillverkat råämne:

Aluminium	Koppar	Plåt	Olja
5,82	1,69	1,48	2,73

Se bilaga 7-8 där jag beräknat ovanstående värden.

I ovanstående tabell syns att aluminium påverkar miljön mer negativt än de övriga råämnena/kg, detta innebär att aluminium ej bör finnas i transformatorns lindningar om företaget vill göra ett steg i rätt riktning för miljön.

Utsläpp kg CO₂/trafo beräknat på 30 års livslängd.

Modell	Tillverkningsfas	Förlustfas	Totalt
Nordtrafo	3035	42376	45411
Helmerverken	4183	41565	45748
Möre	4951	41091	46042

Se bilaga 7-9 där jag beräknat ovanstående värden.

Vid jämförelsen av olika bidragen är det tydligt att det inte är materielltillverkningen som påverkar miljön mest, utan tillverkning av förlustenergin som är den största miljöboven och då framför allt belastningsförlusterna eftersom den är betydligt större än tomgångsförlusterna. Detta innebär att det inte blir så stor fördel trots att det är mindre materiel i Hexatransformatorn eftersom den har större belastningsförluster än de övriga. (Se bilaga 8)

Slutsatsen blir här att de olika transformatortillverkarna inte skiljer sig så mycket sinsemellan ur miljösynpunkt.

8 Bakgrund till beräkningar

8.1 Kalkylränta

Kalkylränta skall ses som företagets interna pris på kapital eller avkastningskrav skall bestämmas utifrån företagets krav på bl a finansiering, soliditet och tidsperspektiv på kapital.

För en transformator ligger intervallet 5-8%, men att använda en och samma kalkylränta på alla projekt är givetvis enklast. Jag har räknat ut priserna i hela intervallet 5-8% för att lättare kunna jämföra de olika transformatorerna.

8.2 Kalkylperiod och livslängd

För att kunna göra en rimlig kalkyl för en produkt, måste det finnas information om beräknad livslängd i normala förhållanden. Enligt alla transformator tillverkare jag har varit i kontakt med ligger livslängden mellan 20-30 år.

Vid dessa resonemang om inköp så skall det alltså inte skilja nät direkt i livslängd om det inte inträffar något oplanerat i transformatorn när de olika transformatorerna jämförs vid samma drift- och omgivningsförhållanden.

Det som skulle tala för Nordtrafo:s transformator är att den skall ha mindre vibrationer under drift och därmed bör ha längre livslängd enligt uppgifter från Nordtrafo. Detta är dock inte bevisat än eftersom transformatorn är så pass ny på marknaden, därav kan den ses som de övriga konkurrenterna i livslängd anser jag.

8.3 Tariffer, elpriser

1 januari 1996 fick Sverige en fri elmarknad som fjärde land i Europa.

Med detta innebär att kunden själv får välja vilken elleverantör med bäst villkor som kunden vill ha helt oberoende av område. Landets energibolag fick nu också separera på elhandel och nätverksamhet, därav uppdelningen *Plusenergi AB* och *GENAB*.

Att bedöma hur elpriserna kommer att se ut i framtiden är inte så lätt utan det får göras en uppskattning utifrån dagens utsatta priser. Därför så har jag varit i kontakt med Åke Andersson på *GENAB* som sköter planeringen/upphandling av deras elförbrukning under året och diskuterat med honom om hur han tror att priset kommer att se ut.

Utifrån *Nordpols* priser för kommande två år så har vi diskuterat

***Jämförelse mellan Hexatransformator och
konventionella transformatorer***

oss fram till vad vi tror är ett rimligt pris att räkna med.
Eftersom det är en jämförelse mellan olika transformatorer och
inte elpriset jag ska bedöma så kommer förhoppningsvis inte
resultatet att bli helt fel.

8.4 Energipriset på förlustenergi

Året delas in i fyra perioder för att underlätta prissättning/värdering av förluster och energipris. Beroende på hur helgerna infaller så kan de skilja sig lite år från år hur timfördelningen är över de fyra perioderna.

Det är en rätt enkel förklaring till att året delas in ungefär som årstiderna med tanke på att energi åtgången styrs relativt mycket av vad det är för temperaturer ute.

November- Mars, Mån- Fre kl 06.00-22.00 (Höglast tid dag)
November- Mars, övrig tid (läglast tid)
April- Oktober, Mån- Fre kl 06.00-22.00 (Höglast tid dag)
April- Oktober, övrig tid (läglast tid)

I arbetet räknas med 8766 timmar eftersom 30 år är relativt lång tid och det bör tas hänsyn till skottåret i beräkningen. Det förutsätts här konstant belastning under året vilket kan göras då tomgångsförluster bearbetas.

Medelpriset per kW blir under dessa förutsättningar 0,21 kr/kW. Då har de även tagits hänsyn till fördelningen under året. Utifrån detta kan man få fram kostnaden per år för förlustenergin och på så vis få fram en summa som lätt kan användas vid jämförelsen av olika transformatorer vad det gäller förlustkostnader.

Energipriser vid inköp av el på 10 kV nivå:

	Antal timmar [h]	Pris [kr/kWh]	Pris [Kr/kW]	Pris [Kr/kW,år]
Höglast dag	1680	0,24	403,2	
Höglast Övrig tid	1944	0,23	447,12	
Låglast dag	2326	0,20	465,2	
Låglast övrig tid	2816	0,19	535,04	
Tim tot	8766		Summa	1850,56
			Effektkostnad	250
			Summa	2100,56

Tomgångsförlusternas kostnad blir 2100 kr/kW,år inklusive effektkostnaden på 250 kr/kW,år. Det är en avgift som är baserad

***Jämförelse mellan Hexatransformator och
konventionella transformatorer***

på hur mycket det kostar att tillföra energin ner till 10 kV nivå.
Se bilaga 1 för beräkningar.

9 Faktorer

9.1 Upphandlingskalkyl

9.1.1 Transformatorförluster

I samband med transformatorupphandlingar vill man kunna värdera olika transformatorer mot varandra ekonomiskt. För att underlätta detta är det önskvärt att få fram en kostnad, kr/kW, som direkt kan multipliceras med transformatorns tomgångsförluster respektive belastningsförluster. För att kunna få fram ett pris på detta är man tvungen att bedöma hur lång livslängd transformatorn beräknas ha samt hur hög realräntan kommer att vara framöver.

9.1.2 Tomgångsförluster

Exempel på nuvärdes beräkning på en transformators tomgångsförlustkostnader under dess **25 års** livslängd med **6 %** ränta då tomgångseffekterna är värderade till **2100 kr/kW,år**. Med nuvärde menas det belopp du sätter in på banken nu för att kunna betala ett utlägg K i kr under ett visst antal år n, under en bestämd ränta r.

I mitt fall så blir då r=6, n=25, K=2100

$$\text{NUS} = \frac{(1 + \frac{r}{100})^n - 1}{\frac{r}{100} \cdot (1 + \frac{r}{100})^n} \cdot K = \frac{(1 + \frac{6}{100})^{25} - 1}{\frac{6}{100} \cdot (1 + \frac{6}{100})^{25}} \cdot K = 12,7833 \cdot 2100 = 26845,05$$

Det jag får fram är att om vi ska diskontera en kostnad som kommer i framtiden till dagens värde så blir kostnaden 26845 kr under förutsättning att livslängd och ränta är enligt ovan. För att få lite bredare jämförelse har jag räknat ut på samma sätt för ett flertal olika kombinationer och sedan räknat ut kostnaderna för tomgångsförlusterna för respektive transformator för dessa.

Se bilaga 1-2

9.1.3 Belastningsförluster

I min undersökning så har jag kommit fram till att belastningsförlusterna är i princip lika för de olika modellerna och kommer att påverka lite i det stora hela. Eftersom de inte är lika högt värderade som tomgångsförlusterna har jag valt att inte göra någon större utredning på vad belastningsförlusterna värderas till. Jag använder därav GENAB:s redan framtagna värdering av belastningsförluster ($P_b=5000$ kr/kW) fördelat på 3500 timmar. Detta utifrån att det heller inte är till nån planerad station där jag vet belastningsutseende och belastningsgrad som påverkar värderingen av belastningsförlusten.

Modell	P_k [W]	P_k [Kr]
Nordtrafo	6800	34000
ABB	6800	34000
Helmerverken	6700	33500
Möre	6729	33645

9.2 Inköpskostnad för transformator

Inköpspriset för transformatorerna är en av de stora faktorerna på hur de olika leverantörerna skiljer sig åt ekonomiskt. Har vi redan här en stor skillnad på de olika så måste den som är dyrare ta igen det genom att ha mindre förluster om den ska ha möjlighet att kunna konkurrera med de övriga.

Modell	Pris [kr]
Nordtrafo	94900
ABB	77000
Helmerverken	71020
Möre	81000

9.3 Ekonomisk jämförelse

En jämförelse av transformatorers kostnader under dess livslängd med olika ränta och livslängd. I detta pris summeras inköpspris och de totala förlustpriset.

Livstid:25 år, Ränta: 5 %	Pris totalt
Nordtrafo	151 399,86
ABB	133 499,86
Helmerviken	129 388,27
Möre	141 200,76

Livstid:25 år, Ränta: 6 %	Pris totalt
Nordtrafo	149 307,68
ABB	136 241,08
Helmerviken	127 075,86
Möre	138 731,44

Livstid:30 år, Ränta: 5 %	Pris totalt
Nordtrafo	153 441,05
ABB	141 353,41
Helmerviken	131 644,32
Möre	143 609,90

Livstid:30 år, Ränta: 6 %	Pris totalt
Nordtrafo	150 874,48
ABB	138 178,96
Helmerviken	128 807,58
Möre	140 580,67

Se även bilaga 6

9.3.1 Diskussion

Vi ser här tydligt hur mycket billigare Helmerviken är eftersom de har lyckats få ett lågt inköpspris samtidigt som de har lyckats minska transformatorförlusterna.

9.4 Leveranstider

Vid bestämning av leveranstider så är det inte lätt att bedöma eftersom det kan skilja från tillfälle till tillfälle beroende på efterfrågan. Därav har jag inte lagt någon större vikt på den här frågan utan endast tagit reda på hur leveranstiderna är nu och brukar vara. Utifrån uppgifter från de olika leverantörerna så är det ingen större skillnad på leveranstiderna utan de skall allihopa

klara av att leverera en transformator på ungefär 8-10 veckor som det ser ut just nu.

10 Slutsatser

I denna rapporten har det kommit fram att det finns både fördelar och nackdelar med de olika transformatorerna vilket är ett väntat resultat. Det är svårt att för en rimlig kostnad både ha en miljövänlig transformator, få ner storleken och samtidigt minska magnetfälten men Helmerverken har lyckats bäst.

Jag kom fram till rätt snabbt att det inte skilde så mycket på varken tomgångs- eller belastningsförlusterna mellan de olika transformatorerna, vilket vi trodde innan vi fick uppgifterna från Nordtrafo. Detta ledde till att vi fick koncentrera oss på de andra tyngdpunkterna som kunde vara till dess fördel och nackdel. Hexatransformatorn är helt ensam om att ha en mindre storlek vilket kan vara till stor fördel vid inplacering av transformatorn i trånga stationer. Den har även en mindre reaktiv belastning för nätet genom sin symmetriska uppbyggnad vilket kan minska spänningsfallet ute i ett svagt elnät. En liten överraskning är att konkurrenterna har kommit ner till ungefär samma förluster, vilket gör att Hexatransformatorn i de avseendet inte blir ekonomiskt jämförbar när inköpspriset är mellan 10000-20000 lägre på konkurrenternas modeller. Magnetfälten är idag ett stort problem som oftast är svårt att minska till rimliga kostnader. De 20000 kronor som Hexatransformatorn är dyrare i inköp är särskilt mycket om det istället sparas in på att det inte behövs sättas upp avskärmning på väggar och tak vilket bör tänkas på då det köps in transformatorer där det är stort behov av litet magnetfält. I mina tabeller syns tydligt hur Nordtrafo har lyckats få ner magnetfälten med hjälp av symmetrisk uppbyggnad, detta är en av de största fördelarna vad jag kan komma fram till utifrån mina jämförelser. Att belastningsförlusterna inte var lägre skulle visa sig även leda till att den inte var direkt mer miljövänlig än konkurrenternas. Koppar lindningar är att föredra framför aluminium, även att köpa en transformator med små belastningsförluster är bättre ur miljösynpunkt. Detta minskar utsläppen av CO₂ i natur och luft.

11 Källförteckning:

11.1 Litteratur

- [1] Blomqvist Hans(red), 1997, *Elkrafthandboken Elkraftsystem 1*, 1:a uppl, Stockholm, Liber.
- [2] Blomqvist Hans(red), 1997, *Elkrafthandboken Elkraftsystem 2*, 1:a uppl, Stockholm, Liber.
- [3] Rejminger Anders, 1996, *Elkrafthandboken Elmaskiner*, 1:a uppl, Stockholm, Liber.
- [4] Mogensen Hans, 1989, *Elmaskiner*, 2:a uppl, Stockholm, Liber.

11.2 Elektroniska Källor

- [6] Pernilla Halling, Miljömagasinet, 2000-08-04, ingen lag om magnetfält,
<http://www.miljomag.se/dokument/arkiv/halsa/radio30.htm#topp>, 020208

11.3 Programvara

Excel i MsOffice paketet.

***Jämförelse mellan Hexatransformator och
konventionella transformatorer***

11.4 Personliga referenser

Namn	Företag	Tel. nr
Sven-Åke Jörneberg	Göteborg Energi AB	031-626315
Fredrik Lönnroos	Göteborg Energi AB	031-626257
Jarl Svensson	GENAB	031-626168
Åke Andersson	GENAB	031-626113
Donald Sundvall	GENAB	031-625929

11.4.1 Telefonkontakter

Namn	Företag	Tel. nr
Saari Märkile	ABB	021-329315
Lennart Sjöholm	Nordtrafo	0612-52210
Thomas Helmer	Helmerverken	031-3392000