

Examensarbete 15 högskolepoäng C-nivå

BESTÄMNING AV BRUTTOTEMPERATUREXPANSIONS- KOEFFICIENT FÖR FARADOL 810

Jonas Davidsson

Maskiningenjörsprogrammet 180 högskolepoäng

Örebro vårterminen 2013

Examinator: Fredrik Thuvander

Handledare: Tord Larsson

DETERMINATION OF GROSS THERMAL EXPANSION COEFFICIENT FOR
FARADOL 810

Örebro universitet
Institutionen för naturvetenskap och teknik
701 82 Örebro



Örebro University
School of Science and Technology
SE-701 82 Örebro, Sweden

Sammanfattning

Detta examensarbete har genomförts på ABB Power Products/Instrument Transformers i Ludvika. Syftet med arbetet har varit att undersöka temperaturexpansionen för en isolerande olja som använd i produkten Capacitor Voltage Transformer (CVT). Oljans egen temperatur-expansionskoefficient $[l l^{-1} K^{-1}]$ var redan känd, men arbetets syfte var att bestämma en Bruttotemperaturexpansionskoefficient, med andra ord undersöka hur mycket de ingående komponenterna i en CVT påverkar den totala volymexpansionen inuti enheten.

För att bestämma bruttotemperaturexpansionskoefficienten har ett prov i klimatkammare utförts. Provet bestod av två aluminiumkärl vardera med ett monterat mätrör. Det ena kärlet fylldes med olja och det andra kärlet med olja och kondensatorinnehåll motsvarande innehållet i en CVT. Provobjekten utsattes sedan för en bestämd tid i temperaturer från -60°C till 65°C med intervall om 10°C . Under denna tid utfördes ett antal mätningar av oljevolymer i de båda provobjekten. Dessa mätningar användes sedan tillsammans med några korrektionsfaktorer för att beräkna temperaturexpansionskoefficienten för både oljan (enbart för kontroll-erande syfte) och kondensatorinnehållet. Tillsammans ger dessa bruttotemperaturexpansionskoefficienten för alla möjliga volymkombinationer.

Resultatet från provet har sedan analyserats och visualiserats i form av tabeller och diagram. Efter det beräknades temperaturexpansionskoefficient för oljan samt för kondensatorinnehållet vid olika temperaturer. Utifrån dessa värden beräknades de genomsnittliga temperaturexpansionskoefficienterna för temperaturintervallet och slutligen angavs en formel för att bestämma bruttotemperaturexpansionskoefficienten för olika procentuella fördelningar mellan olja och kondensatorinnehåll. Till sist drogs slutsatser utifrån resultatet.

Abstrakt

This bachelor thesis was carried out at ABB Power Products/Instrument Transformers in Ludvika. The purpose of the work has been to examine the thermal expansion for an isolating oil that is used in the product Capacitor Voltage Transformer (CVT). The oil's own expansion coefficient $[l\ l^{-1}\ K^{-1}]$ was already known, but the purpose of the work was to determine a gross thermal expansion coefficient, with other words to examine the amount of influence the other components had on the volume expansion inside the unit.

To decide the gross thermal expansion coefficient a test has been carried out in a climate chamber. To perform the test two aluminum tanks, each with a measurement tube mounted on the top were used. One of the tanks was filled with oil and the other one was filled with oil and capacitor contents corresponding to the contents in a CVT. The two test objects were then exposed to temperatures reaching from -60°C to 65°C in steps of 10°C . During this time a number of volume measurements were performed on the two test objects. These measurements together with a few correction parameters were used to decide the thermal expansion coefficient for both the oil (only for control purpose) and the capacitor contents. Together these two give the gross thermal expansion coefficient for all possible volume combinations.

The results from the tests have been analysed and visualised in the form of tables and diagrams. After that the thermal expansion coefficient for the oil and the capacitor contents, for different temperatures was calculated. Built on those calculations the average thermal expansion coefficient for the temperature intervals was calculated, and finally a model for calculating the gross thermal expansion coefficient was created. At the end conclusions were drawn from the results.

Förord

Detta examensarbete på 15 hp C-nivå är den avslutande delen av Maskiningenjörsprogrammet 180 hp på Örebro Universitet för mig, Jonas Davidsson. Arbetet har varat i tio veckor. Det har genomförts hos och i samarbete med ABB Power Products/Instrument Transformers i Ludvika. Arbetet har varit mycket lärorikt och fullt av överraskningar. Det har gett mig en mycket bra start in i arbetslivet.

Jag vill tacka alla på ABB som har gett mig möjligheten att genomföra detta arbete och som har ställt upp och guidat mig genom alla problem som uppkommit. Ett extra stort tack riktas till min handledare på ABB, Lars Magnusson som har varit till otrolig hjälp under denna tid. Ytterligare vill jag tacka min handledare på Örebro Universitet, Tord Larsson som genom hela arbetet har knuffat mig i rätt riktning och hjälpt mig att strukturera rapporten.

Ludvika 2013-05-30

Jonas Davidsson

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Uppdragsbeskrivning samt målformulering	2
1.3	Avgränsningar	2
2	Teori.....	4
2.1	CVD.....	4
2.2	Faradol 810.....	5
3	Inledande undersökningar	6
3.1	Porslinisolantens inverkan på bruttoexpansionen.....	6
4	Genomförande.....	7
4.1	Provutförande	7
4.2	Provtankar.....	8
4.3	Mätrör	8
4.4	Kondensatorpaket	9
4.5	Beräkningar	10
4.5.1	Volymer vid vägning.....	10
4.5.2	Korrektionsfaktorer	10
4.5.3	Expansionskoefficient	11
4.5.4	Faradol 810.....	11
4.5.5	Kondensatorpaket.....	12
4.6	Framtagning av nytt mätrör	12
5	Analys av provresultat.....	13
5.1	Vikter och utgångsvärden.....	13
5.2	Mätvärden från klimatkammare	14
5.2.1	Bestämning av temperatur- och höjdförändring.....	14
5.2.2	Bestämning av volymförändringar.....	15
5.3	Korrektionsfaktorer	16
5.3.1	Provobjekt 1	16
5.3.2	Provobjekt 2	17
5.4	Temperaturexpansionskoefficient	18
5.4.1	Faradol 810.....	18
5.4.2	Kondensatorinnehåll.....	19
5.5	Bruttotemperaturexpansionskoefficient.....	20
6	Resultat.....	21
6.1	Uppmätta och beräknade utgångsvärden.....	21
6.2	Uppmätta värden från prov.....	21
6.3	Temperaturexpansionskoefficient	22

6.3.1	Faradol 810.....	22
6.3.2	Kondensatorinnehåll.....	23
6.4	Bruttotemperaturexpansionskoefficient.....	24
7	Diskussion.....	25
7.1	Felmarginal.....	25
7.2	Uppfyllande av mål.....	25
7.3	Reflektioner.....	25
8	Slutsatser.....	26
9	Figurförteckning/tabellförteckning.....	27
10	Bilageförteckning.....	28
11	Referenser.....	29

Variabelförteckning

Variabel	Enhet	Förklaring
α	$[K^{-1}]$	Temperaturexpansionskoefficient
$\alpha_{aluminium}$	$[m\ m^{-1}\ K^{-1}]$	Temperaturexpansionskoefficient för aluminium
α_{brutto}	$[l\ l^{-1}\ K^{-1}]$	Bruttotemperaturexpansionskoefficient
$\alpha_{faradol\ 810}$	$[l\ l^{-1}\ K^{-1}]$	Temperaturexpansionskoefficient för Faradol 810
α_{kond}	$[l\ l^{-1}\ K^{-1}]$	Temperaturexpansionskoefficient för kondensatorpaketen
α_{olja}	$[l\ l^{-1}\ K^{-1}]$	Temperaturexpansionskoefficient för olja
$\alpha_{porslin}$	$[m\ m^{-1}\ K^{-1}]$	Temperaturexpansionskoefficient för porslin
$\alpha_{stål}$	$[m\ m^{-1}\ K^{-1}]$	Temperaturexpansionskoefficient för rostfritt stål
$\rho_{faradol810}$	$[kg\ l^{-1}]$	Densiteten för Faradol 810
d	$[mm]$	Innerdiameter
Δh	$[mm]$	$h - h_0$
h	$[mm]$	Höjd
h_0	$[mm]$	Vätskepelarens höjd vid T_0
h_{max}	$[mm]$	Vätskepelarens maximala höjd
h_{med}	$[mm]$	Medelvärdet av vätskepelarens höjd under provet
h_{min}	$[mm]$	Vätskepelarens minimala höjd
ΔL	$[m]$	$L - L_0$
L	$[m]$	Längd
L_0	$[m]$	Längd vid T_0
m	$[kg]$	Massa
m_{kond}	$[kg]$	Gemensam massan för de torra kondensatorpaketen
m_{tank}	$[kg]$	Tankens massa
$m_{tank+olja}$	$[kg]$	Tanken och oljans gemensamma massa
m_{tot}	$[kg]$	Tanken, oljan och kondensatorpaketens gemensamma massa
ΔT	$[^{\circ}C]$	$T - T_0$
ΔT_{max}	$[^{\circ}C]$	Maximal temperaturförändring
ΔT_{min}	$[^{\circ}C]$	Minimal temperaturförändring
T	$[^{\circ}C]$	Temperatur
T_0	$[^{\circ}C]$	Oljans temperatur vid vägning
T_{max}	$[^{\circ}C]$	Oljans maximalt uppnådda temperatur
T_{min}	$[^{\circ}C]$	Oljans minimalt uppnådda temperatur
ΔV	$[l]$	$V - V_0$
$\Delta V_{korrektion}$	$[l]$	Sammanlagd volymförändring tank och rör
$\Delta V_{korrektionrör}$	$[l]$	Rörets volymförändring
$\Delta V_{korrektiontank}$	$[l]$	Tankens volymförändring
ΔV_{olja}	$[l]$	Oljans volymförändring
$\Delta V_{olja_{max}}$	$[l]$	Oljans maximala volymförändring
$\Delta V_{olja_{min}}$	$[l]$	Oljans minimala volymförändring
ΔV_{tot}	$[l]$	Total volymförändring
V	$[l]$	Volym
V_0	$[l]$	Volym vid T_0
V_{kond}	$[l]$	Kondensatorinnehållets volym
V_{kond_0}	$[l]$	Kondensatorinnehållets volym vid T_0
V_{olja}	$[l]$	Oljans volym

V_{olja_0}	[l]	Oljans volym vid T_0
$V_{rör}$	[l]	Medelvärdet av oljevolymen i röret
V_{tank}	[l]	Tankens volym
V_{tank_0}	[l]	Tankens volym vid T_0
V_{tot}	[l]	Innehållets sammanlagda volym
V_{tot_0}	[l]	Innehållets sammanlagda volym vid T_0

Förkortningar och facktermer

Förkortning/Fackterm	Förklaring
CVT	Capacitor Voltage Transformer
CVD	Capacitor Voltage Divider
EMU	ElectroMagnetic Unit

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Examensarbete genomfördes hos ABB Power Products i Ludvika, på High Voltage Components - Instrument transformers. De tillverkar mättransformatorer till högspänningsanläggningar över hela världen. De produkter som har kommit att beröras är deras kondensatorer till Capacitor Voltage Transformer (CVT). En CVT:s uppgift är att från högspänningsledningen transformera ner spänningen till en nivå som är hanterbar för mätutrustningen. Detta måste göras med en mycket hög noggrannhet för att ge korrekta mätresultat. En CVT består av två huvudkomponenter, en så kallad stapel eller Capacitor Voltage Divider (CVD) som innehåller kondensatorn och en botten del eller Electro Magnetic Unit (EMU). CVD:n har legat i fokus för detta arbete.



Fig.1. Nya CVT med polymerisolant

En CVD stapel (se fig.1) består i stora drag av ett antal kondensatorpaket som monteras i en hålisolant (porslin eller polymer, se även fig.2). Ett lock med elektrisk genomföring monteras i botten och ett expansionskärl i toppen. Efter det fylls isolanten med en isolerande olja (Faradol 810). Expansionskärls syfte är att tillåta expansion i stapeln vid varierande temperatur. Detta är av stor betydelse då kraven på arbetstemperaturintervall kan var mycket höga.

Man har sedan tidigare en temperaturexpansionskoefficient för Faradol 810 och detta har varit tillräckligt underlag för att konstruera expansionskärlen. Nyligen har dock en ny generation

av CVT:er lanserats. Den nya designen är betydligt känsligare för innehållets volymförändringar och man har börjat ifrågasätta hur rimligt det är att använda sig av oljans egen expansionskoefficient i beräkningarna. På grund av detta vill man genom tester ta fram en bruttotemperaturexpansionskoefficient där man medtager inverkan från kondensatorelement och isolant. En annan avdelning har tidigare gjort en liknande utredning på en föregående varianter av oljan (Faradol 300) och det har visat sig vara betydande skillnader mellan oljans egen expansionskoefficient och bruttoexpansionskoefficienten. Det vetenskapliga värdet av denna utredning är dock ovisst.

1.2 Uppdragsbeskrivning samt målformulering

Uppdraget är att genom tester och beräkningar bestämma en bruttotemperaturexpansionskoefficient för Faradol 810, det vill säga ta fram en specifik siffra enligt sambandet i (1).

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta T} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right] \quad (1)$$

Detta skall göras med hänsyn till kondensatorpaketen och isolantens inverkan.

För att kunna bestämma en bruttotemperaturexpansionskoefficient för Faradol 810 skall tester göras i form av att en komplett CVD genomgår en uppvärmnings- samt nedkylningsprocess. Under processen skall oljenivån registreras vid olika temperaturer. Om det framgår att isolanten kan försummas kommer testerna istället genomföras i en aluminiumbehållare.

Uppdraget innefattar:

- Förstudie – studie av tidigare genomförda tester och beräkningar
- Framtagning av arbetsmetod för att utföra praktiska tester
- Praktiska tester
- Visualisering av testresultat
- Analys av testresultat
- Rapport, och redovisning

Målet med uppdraget är att bestämma en bruttotemperaturexpansionskoefficient för Faradol 810 med avseende på de förhållanden som gäller CVT. Denna siffra skall sedan kunna användas för att mer noggrant än tidigare beräkna expansionskärlens tillåtna arbets-temperaturområden.

1.3 Avgränsningar

Ett antal avgränsningar har bestämts för att göra arbetet genomförbart inom tidsramen och inom en rimlig ekonomisk ram.

- Bruttotemperaturexpansionskoefficienten gäller endast Faradol 810, i en CVT
- Eventuella inre tryck i stapeln försummas (max 0,3 bar)
- Endast prover med porslinisolanter (ej polymer)
- Proverna görs på en produkt som representerar ett ”medelvärde” för produktfamiljen och alltså inte på samtliga produkter

2 Teori

2.1 CVD

För denna undersökning är fyra beståndsdelar relevanta, expansionskärl, olja, hålisolant och kondensatorpaket (se fig. 2).

Isolanten är tillverkad av porslin eller polymer och har som syfte att motverka överslag mellan topp och botten i alla dess former. Kondensatorpaketen är den aktiva delen i en CVD. Dessa består av ett antal ”lindor” travade på varandra som i sin tur är uppbyggda av papper, plastfilm och folie. Plastfilmen utgör den största delen av lindan och om någon betydande expansion uppkommer beror det främst på den. Oljans syfte är att isolera innanmätet i CVD:n för att eliminera risken för inre överslag. Expansionskärl är tillverkat av stål och ser till att balansera trycket i ”stapeln” under varierande arbetstemperaturer.

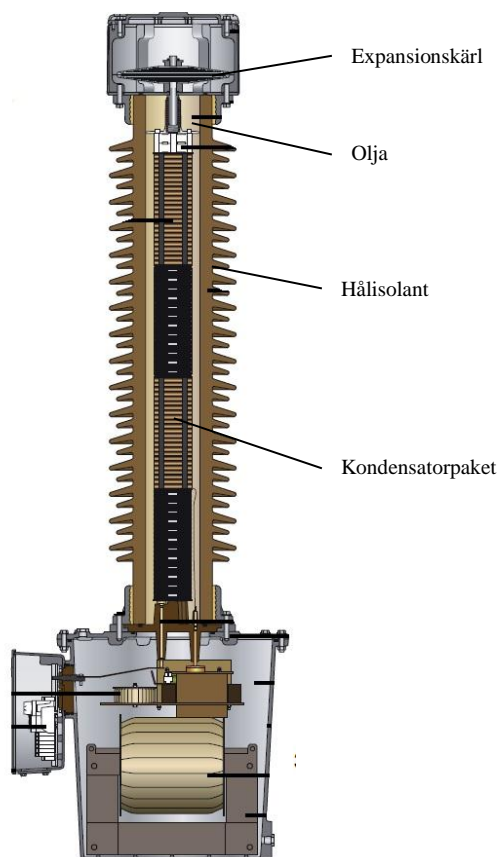


Fig.2. Genomskäring nya CVT

CVD-stapeln tillverkas främst i tre olika diameterstorlekar, CSL, CSM och CSH, där CSL resp. CSH har de minsta resp. största kondensatorelementen och därmed den minsta resp. största diametern. Vardera storlek har sedan ett antal höjdalternativ baserade på spänningsnivå, exempelvis 72kV, 145kV, 245kV.

Förhållandet mellan volymandel paket och volymandel olja är inte konstant.

Produkten används i allt ifrån arktiskt klimat till ökenklimat och arbetstemperatur spannet anpassas därefter. Produkten skall i dagsläget klara spannet $-60^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}$ i fält.

2.2 Faradol 810

Enligt från leverantören givna data har temperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810 beräknats fram till $8 \cdot 10^{-4} [l l^{-1} K^{-1}]$. Detta är ett medelvärde från de angivna temperaturexpansionskoefficienterna vid olika temperaturer från leverantören. Detta värde baseras därför beräkningarna på tills annat visats.

De värden som denna temperaturexpansionskoefficient är beräknad på kan ses i tabell 1.

Tab.1. Expansionskoefficient Faradol 810 enligt leverantör.

Oljetemperatur [$^{\circ}C$]	Temperaturexpansionskoefficient [$l l^{-1} K^{-1}$]
60 - 80	0,000875
40 - 60	0,000846
15 - 40	0,000844
0 - 15	0,000743
-30 - 0	0,000763
-40 - -30	0,000739

3 Inledande undersökningar

3.1 Porlinsisolantens inverkan på bruttoexpansionen

Ett av de första stegen i denna utredning var att ta reda på relevansen av att ta hänsyn till porlinsisolantens inverkan på bruttotemperaturexpansionskoefficienten. Med andra ord så behövdes det undersökas hur mycket hålisolantens innervolym förändrades med temperaturen. Om den förändras obetydligt lite kan den försummas. Detta skulle leda till enklare prover där kompletta CVD:er inte behöver användas. Volymberäkningarna sker för CVD modell CSM 145 som kan anses vara medelstorleken. Isolantens insida kan ses som en cylinder. Porlinsorten som används heter C 120 Aluminous porcelains och har expansionskoefficienten $3 \cdot 10^{-6}$ till $6 \cdot 10^{-6} \left[m m^{-1} K^{-1} \right]$ [1].

Detta linjära förhållande antas gälla temperaturintervallet $-100^{\circ}C$ till $100^{\circ}C$.

Volymförändringen beror av tre faktorer, omkretsens expansion, höjdens expansion och väggarnas expansion. Väggarnas expansion approximeras till att halva tjockleken expanderar inåt och halva utåt.

För beräkningar se bilaga 3.

Enligt beräkningarna i bilaga 3 expanderar isolanten 2.25 % av oljans expansion. Denna expansion kommer att närma sig den minimala gränsen för vad som över huvud taget är rimligt att registrera under provet. Detta medger att isolantexpansion kan försummas under proverna.

Om väggtjocklekens expansion försummas kan beräkningen förenklas avsevärt enligt (2).

$$(6 \cdot 10^{-6} + 1)^3 = 1.000018 \rightarrow \Delta V_{Max} = 1.8 \cdot 10^{-5} \left[l l^{-1} K^{-1} \right] \quad (2)$$

Man ser i (2) att med de avrundningar som gjorts blir svaret exakt det samma som i bilaga 3.

4 Genomförande

4.1 Provförförande

För att bestämma bruttotemperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810 på ett användbart sätt måste expansionskoefficienten för oljan och expansionskoefficienten för kondensatorpaketen delas upp. Detta beror på att förhållandet mellan volymandel paket och volymandel olja inte är konstant i CVD staplarna. För att kunna beräkna bruttoexpansionen måste därför de olika beståndsdelarna bestämmas var för sig.

För att genomföra provet finns två tankar av aluminium till förfogande. Dessa tankar har ett tillhörande mätrör. Dock måste ytterligare ett rör tillverkas om det är fördelaktigt att båda proverna körs parallellt.

Två separata prover måste göras. Ett prov kommer att göras för en tank fylld med enbart olja. Detta prov är till för att fastställa temperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810. Det andra provet kommer att göras med en tank fylld med både olja och paket. Detta prov tillsammans med resultatet från det första provet kommer att ge temperaturexpansionskoefficienten för kondensatorpaketen. Volymandelen kondensatorpaket bör vara ca 50% av den totala volymen för att ge goda utslag vid mätningarna. Lämpligt kan vara att använda ungefär samma volym olja i båda proven. Detta gör att om ingen betydlig expansion uppkommer från paketen kommer vätskepelaren att variera lika under prov ett och två.

Genomförandet av proven kommer att gå till som följande.

Provobjekt 1

En provtank med monterat mätrör vägs för att få tankens massa. Fylls sedan med olja upp till cirka mitten av mätröret och vägs igen för att få tanken och oljans gemensamma massa. Oljans temperatur mäts vid vägning. Provet placeras i en klimatkammare. Temperaturen höjs till den maximala temperaturen och sänks sedan till den minimala temperaturen. Temperaturen mäts i oljan med termoelement. Oljevolymer mäts vid jämna temperaturintervall.

Från dessa värden beräknas sedan temperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810.

Provobjekt 2

En provtank med monterat mätrör vägs för att få tankens massa. Fylls sedan med olja upp till cirka mitten av mätröret och vägs igen för att få tankens och oljans gemensamma massa. Oljans temperatur mäts vid vägning. Tanken töms därefter.

Kondensatorpaketen vägs efter torkning. Paketen impregneras med olja och läggs därefter i provtanken och Faradol 810 fylls på till cirka mitten av nivåöret. Tanken vägs för att få den totala massan och oljans temperatur noteras. Provet placeras i en klimatkammare. Temperaturen höjs till den maximala temperaturen och sänks sedan till den minimala temperaturen. Temperaturen mäts i oljan och i ett kondensatorpaket med termoelement. Temperaturen är uppnådd då både temperaturen i oljan och temperaturen i paketet nått det specifika värdet. Oljevolymer mäts vid jämna temperaturintervall.

Från dessa värden och värdena från prov 1 beräknas sedan temperaturexpansionskoefficienten för kondensatorpaketen.

Utgångsvolymer bestäms genom vägning. Den tillgängliga vågen har en upplösning på 0.02 kg vilket skapar ett tak som begränsar noggrannheten av provet.

Temperaturspannet väljs till: -60°C till 65°C. -60°C är den lägsta temperatur en CVD måste klara och 65°C är den temperatur en CVD högst skall uppnå (sker under tillverkningsprocessen).

För provbegäran se bilaga 1.

4.2 Provtankar

De två provtankarna är gjorda av aluminium och svetsade samman. Ett lock infästas på vardera tank med skruv. Ritningar i bilaga 1.

Provobjekt 1 – lilla tanken.

Provtank	Lock	Volym enligt (3)
XL430185-EEZ	XL430185-EFB	17.3 [l]

(Ritningens benämning Bälgtank beror på annat ursprungligt syfte)

$$V = \frac{h\pi d^2}{4} = \frac{196\pi 335.6^2}{4} = 17.3 [l] \quad (3)$$

Provobjekt 2 – stora tanken.

Provtank	Lock	Volym enligt (4)
XL430185-ESN	XL430185-ESP	34.6 [l]

(Ritningens benämning Bälgtank beror på annat ursprungligt syfte)

$$V = \frac{h\pi d^2}{4} = \frac{250\pi 420^2}{4} = 34.6 [l] \quad (4)$$

4.3 Mätrör

Mätrören består av ett ca 1500 mm långt stålrör. I botten är en gänga som infästas i provtanksloppet. En öppning tillåter oljan att stiga från tanken in i mätröret. Ovanför gängen är en koppling där en slang ansluts. Denna slang löper längs med röret och tillåter nivå avläsning. Vid slangens sitter ett stålband med en mätskala. Denna är avläsbar mellan ca 400 mm och 1700 mm. Rörets plus slangens innerdiameter är 50 mm plus 6 mm.

Upplösningen blir 0.002 [l mm⁻¹] enligt (5).

$$\frac{\pi(50^2 + 6^2)}{4} = 1992 [mm^3] \approx 2 [ml mm^{-1}] = 0.002 [l mm^{-1}] \quad (5)$$

För att avgöra var på mätskalan oljan skall ligga vid utgångstemperaturen görs en beräkning. Antag att mängden olja är lika i båda tankarna, oljenivån ligger på mitten av mätrörets höjd vid utgångstemperaturen och att paketen inte ger någon betydande expansion.

Mätröret har innervolymen 3 [l] enligt (6).

$$0.002 \cdot 1500 = 3 \text{ [l]} \quad (6)$$

$$(3), (6) \rightarrow V_{olja} = 17.3 + \frac{3}{2} = 18.8 \text{ [l]} \quad \left(\frac{3}{2} = \text{halva rörets innervolym}\right) \quad (7)$$

$$T_0 = 20^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T_{max} = 65 - 20 = 45 \text{ och } \Delta T_{min} = -60 - 20 = -80 \quad (8)$$

$$\alpha_{Faradol\ 810} = 8 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{L}}{\text{L}\cdot\text{K}}\right]$$

$$\Delta V_{olja} = V_{olja_0} \alpha_{faradol\ 810} \Delta T \quad (9)$$

$$(8), (9) \rightarrow \Delta V_{olja_{max}} = 18.8 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 45 = 0.68 \text{ [l]} \quad (10)$$

$$(8), (9) \rightarrow \Delta V_{olja_{min}} = 18.8 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot -80 = -1.20 \text{ [l]} \quad (11)$$

$$(10) \rightarrow \frac{0.68}{0.002} = 340 \text{ [mm]} \quad (12)$$

$$(11) \rightarrow \frac{-1.20}{0.002} = -600 \text{ [mm]} \quad (13)$$

$$(13) \rightarrow 400 + 600 = 1000 \text{ [mm]} \quad (14)$$

$$(12) \rightarrow 1000 + 340 = 1340 \text{ [mm]} \quad (15)$$

(14) och (15) ger en potentiell oljehöjd vid utgångstemperaturen på 1000 [mm]. För att skapa marginal vid min-gränsen sätts dock måttet för oljenivån vid utgångstemperaturen till 1050 [mm] på mätskalan.

4.4 Kondensatorpaket

Den stora provtanken rymmer cirka 34.6 [l] och den lilla rymmer 17.3 [l]. För att få samma mängd olja i båda proven bör därför kondensatorpaketen tränga undan volymen 17.3 [l] enligt (16).

$$34.6 - 17.3 = 17.3 \text{ [l]} \quad (16)$$

Eftersom kondensatorpaketen impregneras av oljan bör de torra paketen utgöra en aningen större volym än 17.3 [l]. Det finns självklart standarder för antalet lindor i de travade paketen och det underlättar att hålla sig till dessa. En linda av typen CSH har måtten enligt (17).

$$\text{bas, längd, höjd} = 124, 122.7, 12.77 \text{ [mm]} \quad (17)$$

Tanken har innerdiametern 420 [mm] och höjden 250 [mm]. Inom dessa mått måste paketen rymmas.

Två stycken paket med 30 lindor och fyra stycken paket med 14 lindor har den gemensamma volymen 22.5 [l] enligt (18).

$$V = \frac{124 \cdot 122.7 \cdot 12.77}{10^6} \cdot 116 = 22.5 [l] \quad (18)$$

Detta är endast grovt räknat och den egentliga volymen på grund av ihåligheter och rundade kanter är närmare 20 [l]. Detta anses vara en lämplig volym kondensatorpaket för provet. Paketen rymms i tanken enligt bilaga 2.

Val av kondensatorpaket:

2x kondensatorpaket av typen CSH med 30 element.

4x kondensatorpaket av typen CSH med 14 element.

Paketen måste torkas i en vakuum ugn innan vägning för att eliminera all fukt i materialet. Efter vägning impregneras paketen med Faradol 810 och läggs i provtanken.

4.5 Beräkningar

4.5.1 Volymer vid vägning

Volymerna av olja och kondensatorinnehåll beräknas med hjälp av massa, densitet och temperatur enligt sambanden (19), (20).

Prov 1 och 2

$$V_{olja_0} = \frac{m_{tank+olja} - m_{tank}}{\rho_{Faradol810}} = V_{tot_0} [l] \quad (19)$$

Prov 2

$$V_{olja_0} = \frac{m_{tot} - m_{tank} - m_{kond}}{\rho_{Faradol810}} = V_{tot_0} - V_{kond_0} [l] \quad (20)$$

$$\text{Densiteten för Faradol 810} = -8T_0 \cdot 10^{-4} + 1.0123 [kg l^{-1}]$$

4.5.2 Korrektionsfaktorer

Tank

Tanken är gjord av aluminium vilket har en temperaturexpansionskoefficient $23.5 \cdot 10^{-6} [m m^{-1} K^{-1}]$ [2]. Mätresultatet korrigeras med avseende på detta. Om man bortser från väggarnas expansion kan detta beskrivas på följande sätt.

$$\Delta L = L_0 \alpha_{aluminium} \Delta T \rightarrow L = L_0 (\alpha_{aluminium} \Delta T + 1) \quad (21)$$

$$V = L^3 \quad (22)$$

$$(21), (22) \rightarrow V_{tank} = V_{tank_0} (\alpha_{aluminium} \Delta T + 1)^3 \quad (23)$$

$$\Delta V_{korrektions_{tank}} = V_{tank} - V_{tank_0} \quad (24)$$

$$(24) \rightarrow \Delta V_{korrektions_{tank}} = V_{tank_0} ((\alpha_{aluminium} \Delta T + 1)^3 - 1) [l] \quad (25)$$

Mätrör

Mätröret är tillverkat av rostfritt stål och har temperaturexpansionskoefficienten $15.5 \cdot 10^{-6} [m m^{-1} K^{-1}]$ [3]. Mätresultatet korrigeras med avseende på detta. Beräkning sker med samma metod som ovan. Approximationen gör att oljevolymen i röret alltid är densamma, nämligen medelvärdet. Detta för att undkomma att göra denna beräkning för samtliga mätvärden. Denna approximation är rimlig eftersom rörexpansionen förmodligen har en mycket liten påverkan på resultatet.

$$V_{rör} = \frac{h_{med} \pi (50^2 + 6^2)}{4 \cdot 10^6} [l] \quad (26)$$

$$h_{med} = \frac{h_{max} + h_{min} - 500}{2} [mm] \quad (27)$$

$$\Delta V_{korrektions_{rör}} = V_{rör} ((\alpha_{stål} \Delta T + 1)^3 - 1) [l] \quad (28)$$

$$\Delta V_{korrektions} = \Delta V_{korrektions_{tank}} + \Delta V_{korrektions_{rör}} \quad (29)$$

4.5.3 Expansionskoefficient

För att bestämma expansionskoefficienten används sambanden (30), (31), (32).

$$\Delta V_{olja} = V_{olja_0} \alpha_{olja} \Delta T \quad (30)$$

$$(30) \rightarrow \alpha_{olja} = \frac{\Delta V_{olja} + \Delta V_{korrektions}}{V_{olja_0} \Delta T} \quad (31)$$

$$\Delta V_{olja} = \frac{\Delta h \pi (50^2 + 6^2)}{4 \cdot 10^6} [l] \quad (32)$$

4.5.4 Faradol 810

Mätvärdena från provobjekt 1 används för att beräkna temperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810. Detta görs enligt (33).

$$\alpha_{faradol810} = \frac{\Delta V_{olja} + \Delta V_{korrektions}}{V_{olja_0} \Delta T} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right] \quad (33)$$

4.5.5 Kondensatorpaket

Mätvärdena från provobjekt 2 används för att beräkna temperaturexpansionskoefficienten för kondensatorpaketen. Detta görs enligt (36).

$$\Delta V_{tot} = \alpha_{faradol810} V_{olja_0} \Delta T + \alpha_{kond} V_{kond_0} \Delta T \quad (34)$$

$$V_{kond_0} = V_{tot_0} - V_{olja_0} \quad (35)$$

$$(35), (36) \rightarrow \alpha_{kond} = \frac{\frac{\Delta V_{tot}}{\Delta T} - \alpha_{faradol810} V_{olja_0}}{V_{tot_0} - V_{olja_0}} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right] \quad (36)$$

4.6 Framtagning av nytt mätrör

Det befintliga mätröret är tillverkat av materiallaboratoriet som skall genomföra provet. Två pridförslag har tagits fram för provet där det ena gäller för att köra proverna i serie i klimat-kammaren och det andra för att köra dem parallellt. Serie innebär då dubbel tidsåtgång jämfört med parallellt.

I serie – cirka 60.000 SEK

Parallellt – cirka 30.000 SEK

Detta innebär att det kommer att vara lönsamt att tillverka ytterligare ett provrör och köra proverna parallellt (nytt provrör uppskattas kosta cirka 2.000 SEK – 4.000 SEK).

Materiallabbet får därför i uppgift att tillverka en kopia av befintligt rör.

5 Analys av provresultat

5.1 Vikter och utgångsvärden

Här är alla uppmätta vikter och utgångsvärden från de två provobjekten tabellerade. Utgångsvolymererna beräknas fram från massa, densitet och temperatur.

Provobjekt 1

m_{tank}	21.46	[kg]
$m_{tank+olja}$	40.90	[kg]
T_0	20.6	[°C]
h_0	1044	[mm]

Provobjekt 2

m_{tank}	26.90	[kg]
$m_{tank+olja}$	63.18	[kg]
m_{tot}	69.20	[kg]
m_{kond}	25.14	[kg]
T_0	21.4	[°C]
h_0	1035	[mm]

För att beräkna volymandelarna i provobjekten används de två matematiska sambanden (19) och (20). (19) ger den totala volymen i enheten genom att använda sig av oljans massa, densitet och temperatur. (20) ger volymen olja i provobjekt 2 då den innehåller både olja och kondensatorpaket. Detta sker på liknande sätt som i (19).

$$V_{olja_0} = \frac{m_{tank+olja} - m_{tank}}{\rho_{Faradol810}} = V_{tot_0} [l] \quad (19)$$

$$V_{olja_0} = \frac{m_{tot} - m_{tank} - m_{kond}}{\rho_{Faradol810}} = V_{tot_0} - V_{kond_0} [l] \quad (20)$$

Provobjekt 1

$$(19) \rightarrow V_{olja_0} = \frac{40.90 - 21.46}{-8 \cdot 20.6 \cdot 10^{-4} + 1.0123} = 19.52 [l] \quad (37)$$

Oljevolymeren i provobjekt 1 beräknas till 19.52 [l] vid T_0 .

Provobjekt 2

$$(19) \rightarrow V_{tot_0} = \frac{63.18 - 26.90}{-8 \cdot 21.4 \cdot 10^{-4} + 1.0123} = 36.46 [l] \quad (38)$$

Totalvolymen i provobjekt 2 beräknas till 36.46 [l] vid T_0 .

$$(20) \rightarrow V_{olja_0} = \frac{69.20 - 26.90 - 25.14}{-8 \cdot 21.4 \cdot 10^{-4} + 1.0123} = 17.24 [l] \quad (39)$$

Oljevolymen i provobjekt 2 då den innehåller kondensatorpaket beräknas till 17.24 [l]

5.2 Mätvärden från klimatkammare

5.2.1 Bestämning av temperatur- och höjdförändring

I tabell 2 anges de uppmätta utgångsvärdena värdena för temperatur och höjd för de båda proven.

Tab.2. Utgångsvärde från klimatkammare.

	Provobjekt 1	Provobjekt 2
T_0 [°C]	20.6	21.4
h_0 [mm]	1044	1035

Som syns i tabell 2 stämmer höjd värdena inte exakt överens med de planerade. Detta beror på att den sista inneslutna luften lämnade objekten under transport till labbet. Detta är dock inget problem utan kan enkelt korrigeras i beräkningarna.

I tabell 3 ses de uppmätta värdena under provets gång, sorterade efter temperatur. Provet utfördes i ordningen: stigande temperatur från T_0 till 65°C sedan sjunkande till -60°C. Dessutom är de beräknade värdena för temperatur- och höjdförändringen utskrivna.

Tab.3. Mätvärden från klimatkammare.

Numrering	Oljetemperatur [°C]	Provobjekt 1			Provobjekt 2		
		ΔT	Höjd [mm]	Δh [mm]	ΔT	Höjd [mm]	Δh [mm]
1	65	44.4	1349	305	43.6	1316	281
2	55	34.4	1279	235	33.6	1245	210
3	45	24.4	1211	167	23.6	1182	147
4	37	16.4	1159	115	15.6	1132	97
5	25	4.4	1075	31	3.6	1056	21
6	5	-15.6	936	-108	-16.4	847	-188
7	-5	-25.6	871	-173	-26.4	788	-247
8	-15	-35.6	805	-239	-36.4	703	-332
9	-25	-45.6	744	-300	-46.4	636	-399
10	-35	-55.6	678	-366	-56.4	568	-467
11	-45	-65.6	614	-430	-66.4	504	-531
12	-55	-75.6	557	-487	-76.4	444	-591
13	-60	-80.6	514	-530	-81.4	408	-627

Under provets gång upptäcktes ett läckage i provobjekt 2. Läckaget uppkom vid den snabba temperaturnedgången från 65°C till 5°C. detta syns tydligare i diagram 1, i bilaga 4. Eftersom provet utfördes i ordningen: stigande temperatur till 65°C och sedan sjunkande temperatur till -60°C har endast de mätningar under 25°C påverkats av läckaget. På grund av detta gjordes kontrollmätningar efter provet vid 25°C för att bestämma hur stor oljevolym som läckt ut. Ses i tabell 4.

Tab.4. Kontrollmätning av oljenivå 25°C.

Oljetemperatur [°C]	Höjd provobjekt 1 [mm]	Höjd provobjekt 2 [mm]
25	1069	987

Avvikelsen i provobjekt 1 anses som försumbar. Däremot avviker höjden betydligt mer i provobjekt 2. Den utläckta volymen bestäms genom att beräkna skillnaden mellan den första och den andra mätningen vid 25°C enligt formel (40). Formel (5) ger $0.002 [l mm^{-1}]$.

$$h_{25^{\circ}C_1} - h_{25^{\circ}C_2} = 1056 - 987 = 69 [mm] \quad (40)$$

$$(5) \rightarrow 0.002 \cdot 69 = 0.138 [l] \quad (41)$$

För att på något sätt korrigera mätfelet som uppstod på grund av läckaget adderas 69 mm till samtliga höjd mått under 25°C för provobjekt 2. Tabellen ser då istället ut som följande (tabell 5). Denna tabell blir därför de värden beräkningarna baseras på.

Tab.5. Korrigerade mätvärden från klimatkammare.

Numrering	Oljetemperatur [°C]	Provobjekt 1			Provobjekt 2		
		ΔT	Höjd [mm]	$\Delta h [mm]$	ΔT	Höjd [mm]	$\Delta h [mm]$
1	65	44.4	1349	305	43.6	1316	281
2	55	34.4	1279	235	33.6	1245	210
3	45	24.4	1211	167	23.6	1182	147
4	37	16.4	1159	115	15.6	1132	97
5	25	4.4	1075	31	3.6	1056	21
6	5	-15.6	936	-108	-16.4	916	-119
7	-5	-25.6	871	-173	-26.4	857	-178
8	-15	-35.6	805	-239	-36.4	772	-263
9	-25	-45.6	744	-300	-46.4	705	-330
10	-35	-55.6	678	-366	-56.4	637	-398
11	-45	-65.6	614	-430	-66.4	573	-462
12	-55	-75.6	557	-487	-76.4	513	-522
13	-60	-80.6	514	-530	-81.4	477	-558

I diagram 2, bilaga 4 ser man att detta var en rimlig åtgärd för läckaget. Graferna följs nu åt genom hela diagrammet.

5.2.2 Bestämning av volymförändringar

För att bestämma ändringen av oljevolymer för samtliga mätpunkter i provobjekt 1 samt bestämma ändringen av totalvolymer för samtliga mätpunkter i provobjekt 2 multipliceras resultatet i formel (5) med skillnaden i höjd för vardera mätning, se (42). Ytterligare läggs mätningarna vid T_0 till i tabellen (se tabell 6).

$$\Delta h \cdot 0.002 = \Delta V [l] \quad (42)$$

Tab.6. Beräknade volymförändringar.

Numrering	Oljetemperatur [°C]	ΔV_{olja} Provobjekt 1 [l]	ΔV_{tot} Provobjekt 2 [l]
1	65	0.610	0.562
2	55	0.470	0.420
3	45	0.334	0.294
4	37	0.230	0.194
5	25	0.0620	0.0420
T_0	T_0	0	0
6	5	-0.216	-0.238
7	-5	-0.346	-0.356
8	-15	-0.478	-0.526
9	-25	-0.600	-0.660
10	-35	-0.732	-0.796
11	-45	-0.860	-0.924
12	-55	-0.974	-1.04
13	-60	-1.06	-1.12

5.3 Korrektionsfaktorer

Korrekturen för tankens expansion och rörets expansion beräknas för vardera mätvärde och vardera provobjekt.

$$\Delta V_{korrektion_{tank}} = V_{tank_0} ((\alpha_{aluminium} \Delta T + 1)^3 - 1) [l] \quad (25)$$

$$V_{rör} = \frac{h_{med} \pi (50^2 + 6^2)}{4 \cdot 10^6} [l] \quad (26)$$

$$h_{med} = \frac{h_{max} + h_{min} - 500}{2} [mm] \quad (27)$$

$$\Delta V_{korrektion_{rör}} = V_{rör} ((\alpha_{stål} \Delta T + 1)^3 - 1) [l] \quad (28)$$

$$\Delta V_{korrektion} = \Delta V_{korrektion_{tank}} + \Delta V_{korrektion_{rör}} \quad (29)$$

$$\alpha_{aluminium} = 23.5 \cdot 10^{-6} [m m^{-1} K^{-1}]$$

$$\alpha_{stål} = 15.5 \cdot 10^{-6} [m m^{-1} K^{-1}]$$

5.3.1 Provobjekt 1

För att bestämma korrektionsfaktorerna används sambanden (43), (44). Korrektionsfaktorerna ses i tabell 7.

$$V_{tank_0} = 17.3 [l]$$

$$h_{med} = \frac{h_{max} + h_{min} - 500}{2} = \frac{1349 + 514 - 500}{2} = 681.5 [mm] \quad (43)$$

$$V_{rör} = \frac{h_{med} \pi (50^2 + 6^2)}{4 \cdot 10^6} = \frac{681.5 \pi (50^2 + 6^2)}{4 \cdot 10^6} = 1.36 [l] \quad (44)$$

Tab.7. Beräknade korrektionsfaktorer provobjekt 1.

Numrering	$\Delta V_{korrektion_{tank}} [l]$	$\Delta V_{korrektion_{rör}} [l]$	$\Delta V_{korrektion} [l]$
1	0.0542	0.00281	0.0570
2	0.0420	0.00218	0.0442
3	0.0300	0.00154	0.0315
4	0.0200	0.00104	0.0210
5	0.00537	0.000278	0.00565
T_0	0	0	0
6	-0.0190	-0.000986	-0.0200
7	-0.0312	-0.00162	-0.0328
8	-0.0434	-0.00225	-0.0457
9	-0.0556	-0.00288	-0.0585
10	-0.0677	-0.00351	-0.0712
11	-0.0800	-0.00414	-0.0841
12	-0.0920	-0.00478	-0.0968
13	-0.0981	-0.00509	-0.103

Som man ser är korrektionsfaktorn för mätröret mycket liten. Denna hade varit försumbar men tas ändå med för att tydliggöra att hänsyn tagits till detta.

5.3.2 Provobjekt 2

För att bestämma korrektionsfaktorerna används samma samband som i 5.3.1. Korrektionsfaktorerna ses i tabell 8.

$$V_{tank_0} = 34.6 [l]$$

$$h_{med} = \frac{h_{max} + h_{min} - 500}{2} = \frac{1316 + 477 - 500}{2} = 646.5 [mm] \quad (45)$$

$$V_{rör} = \frac{h_{med} \pi (50^2 + 6^2)}{4 \cdot 10^6} = \frac{646.5 \pi (50^2 + 6^2)}{4 \cdot 10^6} = 1.29 [l] \quad (46)$$

Tab.8. Beräknade korrektionsfaktorer provobjekt 2.

Numrering	$\Delta V_{korrektion_{tank}} [l]$	$\Delta V_{korrektion_{rör}} [l]$	$\Delta V_{korrektion} [l]$
1	0.106	0.00262	0.109
2	0.0820	0.00202	0.0840
3	0.0576	0.00142	0.0590
4	0.0381	0.000936	0.0390
5	0.00878	0.000216	0.00900
T_0	0	0	0
6	-0.0400	-0.000984	-0.0410

7	-0.0644	-0.00158	-0.0660
8	-0.0889	-0.00218	-0.0911
9	-0.113	-0.00279	-0.116
10	-0.138	-0.00339	-0.141
11	-0.162	-0.00399	-0.166
12	-0.187	-0.00459	-0.192
13	-0.199	-0.00489	-0.204

Samma slutsatser som drogs för tabell 7 kan självklart även dras här.

5.4 Temperaturexpansionskoefficient

5.4.1 Faradol 810

För provobjekt 1 beräknas expansionskoefficienten för Faradol 810 vid varje mätpunkt. Medelvärde av dessa blir den slutliga framräknade expansionskoefficienten eftersom endast ett värde är önskvärdt för att underlätta framtida arbete. Expansionskoefficienten vid olika temperatur ses i tabell 9. Detta resultat kan även ses i diagram 3, bilaga 4.

$$\alpha_{faradol810} = \frac{\Delta V_{olja} + \Delta V_{korrektion}}{V_{olja_0} \Delta T} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right] \quad (33)$$

Tab.9. Beräknad expansionskoefficient Faradol 810.

Numrering	Oljetemperatur [°C]	Temperaturexpansionskoefficient Faradol 810 $[l l^{-1} K^{-1}]$
1	65	0,000770
2	55	0,000766
3	45	0,000767
4	37	0,000784
5	25	0,000788
6	5	0,000775
7	-5	0,000758
8	-15	0,000754
9	-25	0,000740
10	-35	0,000740
11	-45	0,000737
12	-55	0,000726
13	-60	0,000739

Den beräknade temperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810 blir enligt formel (47) ett medelvärde av samtliga expansionskoefficienter i tabell 9 (summan av samtliga koefficienter dividerat med 13).

$$\alpha_{faradol810} = \frac{\sum_{k=1}^{13} k}{13} = 0.000757 = 7.57 \cdot 10^{-4} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right] \quad (47)$$

Den slutliga beräknade temperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810, enligt dessa prover är $7,57 \cdot 10^{-4} [l l^{-1} K^{-1}]$. Detta värde jämförs med utgångsvärdet $8 \cdot 10^{-4} [l l^{-1} K^{-1}]$. Det beräknade värdet ligger alltså $0,43 \cdot 10^{-4} [l l^{-1} K^{-1}]$ under utgångsvärdet. Avvikelsen beräknas med formel (48).

$$\frac{0,43}{8} = 0,0538 \quad (48)$$

Avvikelsen är 5,4%. Det är därför rimligt att anta att provet har gått rätt till.

Om man istället jämför expansionskoefficienterna för vardera temperaturavläsning med de som angivits från leverantören ser förhållandet lite annorlunda ut, se tabell 1. Man ser att temperaturexpansionskoefficienterna stämmer mycket bra överens vid de låga temperaturerna. Vid de lite högre är dock leverantörens angivna värden lite högre än de framräknade. Om man jämför medelvärdet med leverantörens medelvärde för temperaturintervallet $-40^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$ är avvikelsen nästan obefintlig. Om man däremot jämför med leverantörens medelvärde för temperaturintervallet $15^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ blir avvikelsen ungefär dubbelt så stor.

Vad detta fenomen beror på och vika värden som är mest korrekta är inte möjligt att avgöra eftersom det inte finns någon information om hur leverantören tagit fram sina värden.

5.4.2 Kondensatorinnehåll

På liknande sätt som i 5.4.1 beräknas expansionskoefficienten för kondensatorinnehållet vid varje mätpunkt. Dessa värden beräknas med separata expansionskoefficienter för Faradol 810 för vardera temperatur, se tabell 10. Medelvärdet ger den slutliga expansionskoefficienten för kondensatorinnehållet.

$$\alpha_{kond} = \frac{\frac{\Delta V_{tot}}{\Delta T} - \alpha_{faradol810} V_{olja_0}}{V_{tot_0} - V_{olja_0}} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right] \quad (36)$$

Tab.10. Beräknad expansionskoefficient kondensatorinnehåll.

Numrering	Oljetemperatur [$^{\circ}\text{C}$]	Temperaturexpansionskoefficient kondensator [$l l^{-1} K^{-1}$]
1	65	-0,0000200
2	55	-0,0000367
3	45	-0,0000398
4	37	-0,0000562
5	25	-0,0000998
6	5	0,0000599
7	-5	0,0000217
8	-15	0,0000755
9	-25	0,0000763
10	-35	0,0000706
11	-45	0,0000629

12	-55	0,0000570
13	-60	0,0000530

Denna tabell visar att expansionen (om någon alls) är näst intill omätbart liten. Att värdet blir negativt i vissa fall (vilket inte är rimligt) beror helt enkelt på icke exakta mätningar kombinerat med mycket små värden. Negativ expansion är alltså felaktigt i detta fall och kan bortses från. Diagram 4, bilaga 4 visar tydlig instabilitet på grund av mycket små värden.

Den beräknade expansionskoefficienten för kondensatorinnehållet blir enligt (49) ett medelvärde för samtliga expansionskoefficienter i tabell 10 (Summan av samtliga koefficienter dividerat med 13).

$$\alpha_{kond} = \frac{\sum_{k=1}^{13} k}{13} = 0.0000173 = 1,73 \cdot 10^{-5} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right] \quad (49)$$

Detta värde på temperaturexpansionen är mycket litet. Förhållandet mellan oljans expansion och kondensatorinnehållet expansion beräknas med formel (50).

$$\frac{1,73 \cdot 10^{-5}}{7,57 \cdot 10^{-4}} = 0,0229 \quad (50)$$

Den beräknade temperaturexpansionen för kondensatorinnehållet är alltså 2,3% av temperaturexpansionen för Faradol 810. Det är ungefär lika mycket som hålisolanten expanderar och faller således inom ramen för vad som är försumbart.

Med tanke på det varierande resultatet i tabell 10 där flera värden är negativa kan slutsatsen dras att ingen expansion över huvud taget uppkommer i kondensatorinnehållet.

5.5 Bruttotemperaturexpansionskoefficient

För att bestämma bruttotemperaturexpansionskoefficienten måste man veta den procentuella volymandelen olja respektive kondensatorinnehåll i CVD stapeln. Beräkningen sker enligt formel (51) .

$$\alpha_{faradol\ 810} \cdot andel\ Faradol\ 810 + \alpha_{kond} \cdot andel\ kondensatorinnehåll = \alpha_{brutto} \quad (51)$$

På grund av den försumbart lilla temperaturexpansionskoefficienten för kondensatorinnehållet kan bruttotemperaturexpansionskoefficienten anses vara lika med temperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810.

6 Resultat

6.1 Uppmätta och beräknade utgångsvärden

Nedan följer samtliga värden som mättes upp innan provet påbörjades.

Provobjekt 1

m_{tank}	21,46	[kg]
$m_{tank+olja}$	40,90	[kg]
T_0	20,6	[°C]
h_0	1044	[mm]
V_{olja_0}	19,52	[l]

Provobjekt 2

m_{tank}	26,90	[kg]
$m_{tank+olja}$	63,18	[kg]
m_{tot}	69,20	[kg]
m_{kond}	25,14	[kg]
T_0	21,4	[°C]
h_0	1035	[mm]
V_{tot_0}	36,46	[l]
V_{olja_0}	17,24	[l]

Som man ser är oljevolymen 2,28 [l] mindre i provobjekt 2 än i provobjekt 1. Detta ledde till att expansionskurvan för prov 2 låg lite under kurvan för prov 1. Detta har dock ingen betydelse för resultatet.

6.2 Uppmätta värden från prov

Detta är det oredigerade resultatet från provet i klimatkammaren (tabell 11 och 12), se diagram 1, bilaga 4.

Tab.11. Utgångsvärde från klimatkammare.

	Provobjekt 1	Provobjekt 2
T_0 [°C]	20.6	21.4
h_0 [mm]	1044	1035

Tab.12. Mätvärden från klimatkammare.

Numrering	Oljetemperatur [°C]	Provobjekt 1			Provobjekt 2		
		ΔT	Höjd [mm]	Δh [mm]	ΔT	Höjd [mm]	Δh [mm]
1	65	44.4	1349	305	43.6	1316	281
2	55	34.4	1279	235	33.6	1245	210
3	45	24.4	1211	167	23.6	1182	147

4	37	16.4	1159	115	15.6	1132	97
5	25	4.4	1075	31	3.6	1056	21
6	5	-15.6	936	-108	-16.4	847	-188
7	-5	-25.6	871	-173	-26.4	788	-247
8	-15	-35.6	805	-239	-36.4	703	-332
9	-25	-45.6	744	-300	-46.4	636	-399
10	-35	-55.6	678	-366	-56.4	568	-467
11	-45	-65.6	614	-430	-66.4	504	-531
12	-55	-75.6	557	-487	-76.4	444	-591
13	-60	-80.6	514	-530	-81.4	408	-627

På grund av läckage i provobjekt 2 följs inte de båda kurvorna åt på önskat sätt. På grund av detta korrigeras mätvärdena från tabell 12 till de i tabell 13 för att kompensera för läckaget, se diagram 2, bilaga 4.

Tab.13. Korrigerade mätvärden från klimatkammare.

Numrering	Oljetemperatur [°C]	Provobjekt 1			Provobjekt 2		
		ΔT	Höjd [mm]	Δh [mm]	ΔT	Höjd [mm]	Δh [mm]
1	65	44.4	1349	305	43.6	1316	281
2	55	34.4	1279	235	33.6	1245	210
3	45	24.4	1211	167	23.6	1182	147
4	37	16.4	1159	115	15.6	1132	97
5	25	4.4	1075	31	3.6	1056	21
6	5	-15.6	936	-108	-16.4	916	-119
7	-5	-25.6	871	-173	-26.4	857	-178
8	-15	-35.6	805	-239	-36.4	772	-263
9	-25	-45.6	744	-300	-46.4	705	-330
10	-35	-55.6	678	-366	-56.4	637	-398
11	-45	-65.6	614	-430	-66.4	573	-462
12	-55	-75.6	557	-487	-76.4	513	-522
13	-60	-80.6	514	-530	-81.4	477	-558

6.3 Temperaturexpansionskoefficient

6.3.1 Faradol 810

Temperaturexpansionskoefficienten bestämdes för samtliga mätpunkter i provobjekt 1 (tabell 14), se diagram 3, bilaga 4.

Tab.14. Beräknad expansionskoefficient Faradol 810.

Numrering	Oljetemperatur [°C]	Temperaturexpansionskoefficient Faradol 810 [l l ⁻¹ K ⁻¹]
1	65	0,000770
2	55	0,000766

3	45	0,000767
4	37	0,000784
5	25	0,000788
6	5	0,000775
7	-5	0,000758
8	-15	0,000754
9	-25	0,000740
10	-35	0,000740
11	-45	0,000737
12	-55	0,000726
13	-60	0,000739

Den genomsnittliga temperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810 bestämdes till $7,57 \cdot 10^{-4} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right]$. Avvikelsen mot utgångsvärdet $8 \cdot 10^{-4} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right]$ är 5,4%. Vid noggrannare analys kan en mindre avvikelse ses vid låga temperaturer samt en större avvikelse vid högre temperaturer. Spannet sträcker sig från cirka 0% till 10%

6.3.2 Kondensatorinnehåll

Temperaturexpansionskoefficienten för kondensatorinnehållet bestämdes för samtliga mät-punkter och för respektive temperaturexpansionskoefficient för Faradol 810 (tabell 15), se diagram 4, bilaga 4.

Tab.15. Beräknad expansionskoefficient kondensatorinnehåll.

Numrering	Oljetemperatur [°C]	Temperaturexpansionskoefficient kondensator $\left[l l^{-1} K^{-1} \right]$
1	65	-0,0000200
2	55	-0,0000367
3	45	-0,0000398
4	37	-0,0000562
5	25	-0,0000998
6	5	0,0000599
7	-5	0,0000217
8	-15	0,0000755
9	-25	0,0000763
10	-35	0,0000706
11	-45	0,0000629
12	-55	0,0000570
13	-60	0,0000530

Den genomsnittliga temperaturexpansionskoefficienten för kondensatorpaketen bestämdes till $1,73 \cdot 10^{-5} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right]$. Denna expansionskoefficient är 2,3% av den för Faradol 810. Det mycket låga värdet och de negativa värdena i tabell 9 gör det rimligt att anta att ingen expansion upp-kommer i kondensatorinnehållet.

6.4 Bruttotemperaturexpansionskoefficient

Bestämning av bruttotemperaturexpansionskoefficienten sker enligt formel (52) .

$$\alpha_{faradol\ 810} \cdot andel\ Faradol\ 810 + \alpha_{kond} \cdot andel\ kondensatorinnehåll = \alpha_{brutto} \quad (51)$$

7 Diskussion

7.1 Felmarginal

Det är väldigt många faktorer att ta hänsyn till vid bestämningen av bruttotemperatur-expansionskoefficienten. För att göra provet genomförbart måste vissa av dessa försummas exempelvis expansion av hålisolanten.

Ytterligare begränsningar för noggrannheten i provresultatet är mätutrustningen som har använts. Vågen som användes har en upplösning på 20g, mätörret har en upplösning på 1mm och temperaturmätutrustningen har en upplösning på 0,1°C.

Korrektionsfaktorerna för tank och mätrör är något förenklade. De tar inte hänsyn till gods-tjockleken och beräkningen för mätröret använder en genomsnittlig oljehöjd. Även detta bidrar till felmarginalen.

Avrundningar har gjorts vid beräkningar i olika steg som också det medför små avvikelser i resultatet.

På grund av detta bör inte resultaten ses som exakta. En felmarginal på 10% är rimligt att anta.

7.2 Uppfyllande av mål

Målet för detta arbete var att ta fram en bruttotemperaturexpansionskoefficient för Faradol 810 som kan användas för att mer noggrant än tidigare beräkna expansionen inuti CVT staplarna. Detta mål är uppnått genom att det är bevisat att kondensatorinnehållets expansion kan anses vara obefintlig och att expansionskoefficienten för Faradol 810 som använts är korrekt.

Detta arbete har alltså inte åstadkommit att bestämma en mer noggrann temperatur-expansionskoefficient men däremot har det bevisats att de värden man räknar med faktiskt är korrekta.

7.3 Reflektioner

Den teoretiska delen i detta arbete har inte varit något stort bekymmer. Däremot har den praktiska delen varit fylld av överraskningar. Det har visat sig att vad som i teorin är ett relativt enkelt prov inte alls är så enkelt att utföra. Det har krävts enormt mycket planering och omplanering. Att tillverka provutrustningen under resans gång, att planera in provtider och att sedan få allt att samverka i slutändan är allt annat än självklart.

Det är mycket svårt att utföra ett så här pass avancerat prov under ett projekt som är tidsbegränsat till tio veckor. Provet kan inte planeras innan man vet hur det skall gå till vilket medför att allt måste ske mycket fort när provningsstrukturen är bestämd.

Anledningen till att detta över huvud taget var genomförbart inom tidsramen var en lång rad ”paniklösningar” och otroligt hjälpsamma arbetskollegor.

8 Slutsatser

Den genom provning framtagna genomsnittliga temperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810 inom temperaturintervallet 60°C - 65°C är $7.57 \cdot 10^{-4} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right]$. Detta värde är 5,4% mindre än det ursprungliga värdet $8 \cdot 10^{-4} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right]$. Eftersom avvikelserna varierar från cirka 0% till 10% beroende på temperaturintervall och på grund av den relativt stora osäkerheten vid provning rekommenderas ändå att det ursprungliga värdet för temperaturexpansionskoefficienten för Faradol 810 används vid framtida beräkningar.

Den genom provning framtagna genomsnittliga temperaturexpansionskoefficienten för kondensatorinnehållet inom temperaturintervallet 60°C - 65°C är $1,73 \cdot 10^{-5} \left[\frac{l}{l \cdot K} \right]$. Detta värde är så litet att det kan försummas (2,3% av den beräknad expansionskoefficienten för Faradol 810) och man kan även i fortsättningen räkna med att endast oljan expanderar.

Den tidigare utredningen för temperaturexpansionen som benämns i 1.1 verkar inte vara korrekt då den påvisar stor skillnad mellan temperaturexpansionskoefficienten och brutto-temperaturexpansionskoefficienten.

9 Figurförteckning/tabellförteckning

Figur/tabell	Förklaring/referens
Figur 1	Nya generationens CVT med polymer isolant (Båda CVD och EMU). http://www.directindustry.com/prod/abb-high-voltage-products/capacitor-voltage-transformers-70728-583706.html
Figur 2	Nya generationens CVT i genomskärning
Tabell 1	Expansionskoefficient Faradol 810 från leverantör
Tabell 2	Utgångsvärde från klimatkammare
Tabell 3	Mätvärden från klimatkammare
Tabell 4	Kontrollmätning av oljenivå 25°C
Tabell 5	Korrigerade mätvärden från klimatkammare
Tabell 6	Beräknade volymförändringar
Tabell 7	Beräknade korrektionsfaktorer provobjekt 1
Tabell 8	Beräknade korrektionsfaktorer provobjekt 2
Tabell 9	Beräknad expansionskoefficient Faradol 810
Tabell 10	Beräknad expansionskoefficient kondensatorinnehåll
Tabell 11	Utgångsvärde från klimatkammare
Tabell 12	Mätvärden från klimatkammare
Tabell 13	Korrigerade mätvärden från klimatkammare
Tabell 14	Beräknad expansionskoefficient Faradol 810
Tabell 15	Beräknad expansionskoefficient kondensatorinnehåll

10 Bilageförteckning

Bilaga	Dokumentnamn
Bilaga 1	IK2013-000735 Provbegäran temperaturexpansionskoefficient.pdf
Bilaga 2	Max dimensioner kondensatorpaket i provtank.pdf
Bilaga 3	Isolantexpansion.pdf
Bilaga 4	Diagram.pdf
Bilaga 5	Projektspecifikation – Bestämning av bruttotemperaturexpansionskoefficient för Faradol 810.pdf

11 Referenser

Nummer	Referens
[1]	International standard IEC 60672-3: 1997(E) (1997-10). Ceramic and glass-insulating materials – part 3: specifications for individual materials.
[2]	Aalco – Technical information aluminium alloy 6082-T6. (Elektronisk). Tillgänglig: < http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_6082-T6~T651_148.ashx > (2013-05-03)
[3]	The Engineering ToolBox - Coefficient of Linear Thermal Expansion. (Elektronisk). Tillgänglig: < http://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html > (2013-05-03).