

Gasanalys av transformator- olja i fält – ett intressant komplement?

Elforsk rapport 04:49

Gasanalys av transformatorolja i fält – ett intressant komplement?

Elforsk rapport 04:49

Gasanalys av transformatorolja i fält – ett intressant komplement?

Mårten Svensson



Förord

Projektet ingick i ett speciellt ramprojekt för underhåll och diagnostik inom Elforsks programområde Överföring och Distribution.

Syftet med projektet var att undersöka i vilken utsträckning som metoder för gasanalys av transformatorolja i fält är möjliga att använda och vilken noggrannhet som kan förväntas med de metoder som finns på marknaden.

Finansiering av projektet har via Elforsk erhållits av följande tolv företag:

Vattenfall Eldistribution AB	Jämtkraft Elnät AB
Sydkraft Nät AB	Gävle Energi AB
Fortum Distribution AB	Eskilstuna Energi&Miljö AB
Göteborgs Energi Nät AB	Borlänge Energi AB
Öresundskraft AB	Härnösand Energi&Miljö AB
Växjö Energi Elnät AB	Landskrona Kommun Tekniska Verken

Styrgruppen för projektet bestod av följande personer:

Ulf Lager	Sydkraft Nät AB
Jörgen Hasselström	Fortum Distribution AB
Jan-Olof Falk	Vattenfall Eldistribution AB
Sven Jansson	Elforsk AB, projektansvarig

Projektgenomförare:

Mårten Svensson	Swedpower AB
-----------------	--------------

Stockholm november 2004

Sven Jansson
Elforsk AB

Sammanfattning

Rapporten beskriver och redogör för utfallet från en mindre undersökning av utrustning för s.k. fältmässig gasanalys av transformatorolja. I projektet har ingått att undersöka 10 provobjekt och jämföra resultatet med konventionella gasanalyser utförda på auktoriserat laboratorium.

Gasanalys av transformatorolja utförs normalt med gaskromatograf där gasextraktionen från oljeprovet utförs enligt ett antal noggrant beskrivna rutiner i IEC 60567. Laboratorieundersökning har utförts enligt "Headspace-metoden".

Två fältutrustningar finns tillgängliga på den svenska marknaden:
Kelman Transport X och Morgans Schaffer TFGA P-200.

Kelman Transport X identifierar och kvantifierar gasinnehållet med hjälp av s.k. "foto-akustisk spektroskopi". Morgan Schaffer TFGA P-200 via gaskromatografi och "Shake Test-metoden".

Av praktiska, tekniska och ekonomiska skäl har Kelman Transport X utnyttjats i projektet.

Studien har visat att samstämmigheten mellan den fältmässiga analysen med Kelman Transport X och laboratorieundersökningen är mycket god. Utrustningen bör vara ett värdefullt redskap för serviceföretag och andra organisationer som önskar snabba analyser utförda i kritiska situationer eller som kontrollstation mellan ordinarie samplingstillfällen.

Summary

Field instruments for the detection and quantification of dissolved gases in transformer oil have entered the transformer service market.

This paper covers the status of the technology, the issues faced, and the latest research. A minor field study has been conducted, covering the analysis of 9 power transformers and one shunt reactor using the Kelman Transport X unit.

Field tests have been compared with traditional lab-analysis using the Headspace-technology for gas extraction in accordance with IEC 60567.

Results of tests have shown to be good and the field and lab-results follow each other very well. A portable gas analyzer should be a very useful tool for any utility to follow-up critical transformer units.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	1
2	GASANALYS AV TRANSFORMATOROLJA.....	2
2.1	JÄMFÖRELSEMÄTNINGAR.....	3
2.2	INDATA.....	5
2.3	TOLKNING AV GASANALYSRESULTAT.....	6
3	MÄTNINGAR	8
3.1	MÄTINSTRUMENT.....	8
3.2	LABORATORIUM (ANALYSMETOD).....	14
3.3	PROVOBJEKT	16
3.4	FYSIKALISKA UPPMÄTNINGAR	33
4	SLUTSATSER	41
5	REFERENSER.....	42

Bilagor

A	GASEXTRAKTIONSTEKNIKER ENLIGT IEC 60567
----------	--

1 Inledning

Målsättningen med utredningen har varit att studera de praktiska möjligheterna och begränsningarna för en anläggningsägare eller serviceföretag att utföra gasanalys av transformatorolja i fält.

Betoningen har legat på tillämpning och möjliga sätt för anläggningsägarens att direkt kunna utnyttja materialet i sin yrkesutövning utan att förlora noggrannhet.

För en sakkunnig kemist kan vissa av framställningarna och beskrivningarna av arbetsmetoder säkerligen betraktas som populärvetenskapliga och inte på något sätt fullständiga. Vetenskapliga redogörelser kan dock med enkelhet inhämtas av den intresserade läsaren och författaren ger fler exempel på litteraturhänvisningar där sådant material går att uppbringa (IEC 60567).

Min bedömning är dock att de beskrivningar som gjorts i texten är korrekta och inte skall innehålla några sakfel.

Författaren är bekant med två fältmässiga utrustningar för gasanalys av transformatorolja. Endast en av dessa utrustningar har provats praktiskt i projektet.

Laboratorieundersökningar kan utföras på flera olika sätt och det är viktigt att läsaren har detta i åtanke vid jämförelse mellan fält- respektive labbundersökningen.

Jag vill tacka Henrik Lindberg/Kelman, Kjell Rosendahl/ABB samt Daniel Schönström, Eddie Brynjebo och Roland Törnqvist/ElektroSandberg för värdefulla synpunkter och aktivt deltagande i projektet. Jag vill också tacka anläggningsägarna som bistått med provobjekt för projektet.

2 Gasanalys av transformatorolja

Analys av upplösta gaser i transformatorolja, s.k. ”gasanalys” eller ”Dissolved Gas Analysis (DGA)” utgör hörnstenen i all transformatordiagnostik och utan tvekan det mest effektiva verktyget att bedöma en transformators status och inre skick. Att provtagning kan ske utan att ta provobjektet ur drift och dessutom är förhållandevis billigt har bidragit till att gasanalys vunnit stor popularitet som diagnostikverktyg världen över.

Otaliga rapporter, guider och läroböcker har skrivits på området och det finns i stort sett ”hur mycket material som helst” att ta del av för den intresserade läsaren. Det är sannolikt känt för de flesta yrkesverksamma inom området att man genom studie av såväl komposition av gasinnehåll samt gasernas kvantitativa innehåll med mycket god sannolikhet kan bedöma transformatorns tillstånd. Genom att upprepa proven vid jämna intervall i tiden finns också möjligheten att studera trender och följa provobjektets hälsa. Många skribenter gör liknelsen vid ett blodprov på människokroppen. Genom blodprovet kan man bedöma många av människans inre organ utan direkt komma i kontakt med de undersökta delarna. Detsamma gäller transformatorn och dess inre ”organ” i form av lindningar, magnetisk krets och förbindningar däremellan.

I Sverige, liksom i de flesta andra länder, har vi skickliga laboratorier som utarbetat arbetsmetoder och analysverktyg i nära relation med anläggningsägarna. Man provar transformatorerna efter angivna tidsintervall beroende på enheternas storlek och strategiska betydelse. Många transformatorer provas årligen medan andra kontrolleras betydligt mer sällan (oftare).

Oavsett vilken provtagningsfrekvens man följer, finns under alla omständigheter, alltid möjligheten till tätare kontroll i händelse av att någon parameter ”glider iväg” eller att man på annat sätt önskar en extra kontroll av transformatornhetens tillstånd. De flesta laboratorier har också en jourverksamhet som kan utnyttjas för snabbare analyser i händelse av extraordinära händelser beroende på omständigheter.

Den goda beredskapen och den omsorgsfulla laboratoriehanteringen till trots, finns det ett stort intresse bland anläggningsägare och serviceentreprenörer att kunna utföra gasanalyser på egen hand. Intresset grundar sig ofta på tillfällen då snabba beslut är av stort värde eller då utökad kontroll av problemen är befogad. Exempel på detta kan vara en transformator vars gasvakt har signalerat, men inte löst ut, och man står i valet och kvalet om transformatorn åter skall spänningssättas eller djupare felundersökas. Ett annat exempel kan vara en transformatornhet, som bara med yttersta svårighet kan plockas ur drift, men där ett inre fel redan har konstaterats. Täta, egna kontroller kan då göras för att öka tryggheten hos anläggningsägaren och kanske vinna tid för alternativa driftlösningar.

Naturligtvis många andra tänkbara användningsområden för en portabel gasanalysator och det är bara ”förarens” fantasi som sätter begränsning. Det finns självfallet en fantastisk mängd mindre oljefyllda apparater som nästan aldrig blir kontrollerade och

knappast heller kommer att kontrolleras i framtiden. Här skulle en portabel analysator fylla en uppgift.

I detta projekt har vi valt att titta på tio stycken transformatorliknande objekt (9 transformatorer och 1 shuntreaktor). Parallellt med att transformatoroljan har kontrollerats med hjälp av en fältutrustning, har också sampel tagits för analys på laboratorium under kontrollerade förhållanden. Resultaten från dessa undersökningar finns redovisade och kommenteras i en senare del av rapporten. Innan resultatet från denna undersökning presenteras finns det dock goda skäl att studera hur undersökningen gått till och vad som skiljer respektive mätmetod från varandra.

2.1 Jämförelsemätningar

Att jämföra analysresultat utgående från olika mätmetoder och därefter dra korrekta slutsatser är alltid ett djärvt uppdrag eftersom det ständigt finns utrymme för spekulation och subjektivitet. Det finns vid varje analystillfälle skillnader i upplägg, förfaringssätt och tolkning. Som läsare och åskådare måste ett sådant faktum has i åtanke när sådana resultat presenteras oavsett om studien gäller exempelvis kemiska analyser av transformatorolja eller dielektriska kontroller av inre isolation. [1]

Cigré arbetsgrupp 15.01 [5] har under slutet av nittiotalet och i början av 2000-talet tagit fasta på detta och genomfört omfattande studier på de olika analysverktyg som de olika kemilaboratorierna utnyttjar vid bedömning av mängden upplösta gaser i transformatorolja.

Verksam laboratoriepersonal är naturligtvis väl medveten om de olika tekniker som utnyttjas för att genomföra gasanalys och vilka för- och nackdelar som respektive analysmetod innehåller i form av noggrannhet, tidsåtgång, kostnad etc. Som anläggningsägare eller underhållsentreprenör är man dock sällan medveten om de variationer som finns och i vilken mån som detta kan ha en inverkan på analysresultatet. Det är denna utrednings ambition att i korta ordalag kartlägga de olika analysverktyg som finns i branschen för att, om möjligt, öka förståelsen till detta projekts resultat och slutsatser.

För att säkerställa att de analyser som laboratorierna utför är av god klass och noggrannhet, så genomför laboratorierna regelbundet jämförande mätningar mellan sig. Nedanstående tabell utgör ett exempel på en sådan s.k. Round-robin-undersökning som har koordinerats av Cigré. De deltagande företagen utnyttjar alla en sådan teknik som kan anses vara beprövad och allmänt accepterad inom branschen.

Method	Lab #	H ₂	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
Head Space @ 70 °C	HS 1	79	19200	38400	120	818	97	27	140	4
	HS 2	96	24609	55326	158	1116	125	30	165	5
	HS 2	107	18973	50786	167	1079	131	30	171	6
	HS 3	63	12770	41050	103	900	90	26	132	3
	HS 5	93	19733	50046	234	1594	117	32	183	5
Head Space @ RTP	HSR 1	82	-	-	-	5739	130	27	149	6
Mercury-Free Toepler	MFT 1	105	15773	50183	180	1173	124	25	152	6
	MFT 2	93	16737	54429	160	1047	122	28	162	4
Mercury-Free Partial	MFP 1	132	-	-	185	1125	127	19	130	7
Toepler Pump	T 1	102	18563	55953	139	1033	123	30	164	7
	T 2	92	18500	60500	152	978	118	32	156	4
	T 3	73	19000	61000	120	800	95	21	119	4
	T 4	59	16200	50400	84	655	74	16	100	4
	T 5	59	11600	45500	100	638	69	14	84	3
	T 6	183	20237	61169	156	1008	112	28	166	14
	T 7	41	16000	56200	65	530	54	13	74	3
Stripping	S 1	117	15600	57800	173	-	138	29	166	6
Partial Degassing	PD 1	102	19750	53130	149	1068	117	26	153	5
	PD 2	89	16194	54509	150	1041	118	27	155	5
Average value		93	17614	52728	144	977	110	25	143	5
Maximum value		183	24609	61169	234	1594	138	32	183	7
Minimum value		41	11600	38400	65	530	54	13	54	3
Spread in %		145	63	41	110	115	80	76	76	80

Figur 1 Jämförelse mellan olika laboratorieundersökningar utifrån samma källa. Källa: Cigré Task Force 15-01

Resultaten i ovanstående tabell är alla komna från certifierade kemilaboratorier väl inarbetade i kraftbranschen.

Som framgår av tabellen är spridningen mellan de olika laboratorieresultaten betydande och kan ha direkt avgörande betydelse för hur en anläggningsägare skulle ha agerat beroende på innehållet av signifikanta gaser.

Betraktar man de arbetsmetoder som anges i tabellen och för samtal med sakkunniga experter på området utkristalleriseras det ganska snart att det finns ett antal labbanalysmetoder som till bara för ett par år sedan var de totalt dominerande världen över. Dessa metoder benämns Toepler-pump (TP), Partiell avgasning (PD) samt "Stripping". Mätmetoderna utnyttjades i olika delar av världen beroende på företagets historia, ursprung och finns väl beskrivna i bl.a. IEC norm 60567 (se bilaga).

Någon inbördes "rangordning" har inte kunnat särskiljas i utredningen, men det är författarens uppfattning att Toepler-pump tekniken var också den dominerande teknologin i Sverige till slutet av 1990-talet.

De traditionella mätmetoderna hade framför allt fördelarna att de var mycket noggranna och säkra. Toepler-pumpen liksom "PD-kontrollen" (partiell avgasningen) innehåller emellertid kvicksilver i sin mätutrustning som visserligen har eminenta, tekniska egenskaper men som också bedömts som hälsovådlig av myndigheterna. Mätmetoder byggd på kvicksilver var således på väg ut redan i början av nittiotalet.

Miljökrav, samt inte minst kravet på snabba och kostnadseffektiva analyser väckte intresset för alternativa lösningar. De nya, tillkommande metoderna som var på väg in under slutet av nittiotalet benämndes:

- HS - "Headspace" vid RTP (Room temperature & pressure)
- HS - "Headspace" vid 70°C under Argon övertryck
- "Shake Test"
- M-F T - "Toepler-pump" (utan kvicksilver)
- PD - "Partiell avgasning" (utan kvicksilver)

Varje metod har naturligtvis sina för- och nackdelar och det ligger inte i utrymmet för denna utredning att redovisa metoderna i detalj. Vad som är viktigt för sammanhanget och denna utredning är dock kunskapen om att nya mätmetoder finns tillgängliga för laboratorierna och att differenser finns som möjligen kan påverka slutresultatet.

Slutsatsen i den Cigré-rapport som arbetsgruppen publicerat visar att de nya mätmetoderna visserligen har en lägre noggrannhet än de traditionella kontrollerna, men att de i de allra flesta fall en nivå som är fullt tillräcklig och inom toleranserna för vad normen definierar.

I Sverige utnyttjas framför allt Headspace-teknologin tillsammans med Toepler-pumpen.

2.2 Indata

I sammanhanget måste det också betonas att ingen analys kan producera korrekt resultat om indatan är felaktig eller om analysverktyget är dåligt kalibrerat. Detta är naturligtvis av största vikt också för utrustningar för gasanalys av transformatorolja oavsett om analysen utförs på laboratorium eller i fält. För att genomföra fullständigt objektiva analyser och jämförande mätningar skulle det krävas att många fler oljeprov tas och att dessa analyserades med flera, oberoende metoder av ett antal olika laboratorier. Detta har inte varit möjligt i projektet och det är också författarens uppfattning att den analysmetod som utvalt laboratorium utnyttjar också är den analysmetod som tillgrips av flertalet verksamma laboratorier och därmed representativ för svenska förhållanden.

Det säger sig självt att om spridningen i analysresultat från olika laboratorier under kontrollerade former, har sådan omfattning i normalfallet, är det heller inte förvånande om analyser utförda i fält har en viss avvikelse från ett "börvärde".

Betydelsen av att utföra gasanalys av transformatorolja har tidigare beskrivits och det kan inte nog understrykas att analysen utgör grundbulten i all transformatordiagnostik och kommer med all sannolikhet att vara så under lång tid framöver.

Ett sätt att minimera riskerna är att, åtminstone för respektive provobjekt, tillse att samma provmetodik utnyttjas och i allra möjligaste mån se till att provtagning och hantering tillgår på ett så rutinmässigt och likartat sätt vid varje provtagningstillfälle (trendanalyser). Att sedan skicka ytterligare ett sampel, som referens, till ett annat laboratorium (med annan provteknik) kan vara en god affär när man står i beslutsvånda framför en kritisk enhet.

Det finns också definierade, objektiva "normal-oljeprov" att inhandla som kan skickas till oljelaboratorierna för verifiering av att gasanalysen utförs på ett korrekt sätt.

2.3 Tolkning av gasanalysresultat

Oavsett om man tycker resan från den första oljeprovtagningen på transformatorn till dess gasanalysresultatet ramlar ur gaskromatografen eller Transport X, genomförts med enkelhet (eller möda), kan man ändå inte säga att man nått mer än halvvägs när de enskilda gashalterna presenteras. Tolkningen av de olika gashalterna kräver stor kunskap om gasernas uppträdande, flyktighet och det enskilda transformatorobjektet och dess uppbyggnad och historik.

Som hjälp för att ställa diagnos på det aktuella objektet utifrån de erhållna gashalterna finns en mängd olika analysmetoder som tillämpas mer eller mindre frekvent av laboratorierna. Även Kelman Transport X har ett utmärkt sådant diagnostikverktyg inbyggt i utrustningen (se beskrivning av instrumentet)

Till de analysverktyg man brukar nämna hör:

- "Key gases" method
- "Roger's ratio" method
- "Duval's triangle" method
- "Doernenberg ratio" method
- "Gas Nomograph" method

Utöver dessa förekommer en rad metoder som är varianter på de ovan nämnda och som är mer eller mindre företagsspecifika eller utarbetade av intresseorganisationer (Cigré t.ex.).

Det ligger inte inom ramen för denna utredning att redogöra i detalj för samtliga dessa verktyg, utan analysmetoderna beskrivs utförligt i aktuella normer, t.ex. IEC 60599 eller den amerikanska IEEE Std C57.104-1991. Det som emellertid är gemensamt för de ovanstående metoderna är att man betraktar gasernas ingående storlek i förhållande till övriga gaser.

I "Key gases" method, använder man sig av de enskilda gashalternas procenttal i jämförelse med andra gaser, t.ex. metan i förhållande till totala mängden kolväten eller halten kolmonoxid i förhållande till totala mängden brännbara gaser. Kvoten mellan CO_2/CO utnyttjas t.ex. för att bestämma ev. nedbrytning av cellulos. Med denna metod skall man kunna diagnosticera onormala förhållanden såsom glimning, forcerad termisk nedbrytning o.s.v.

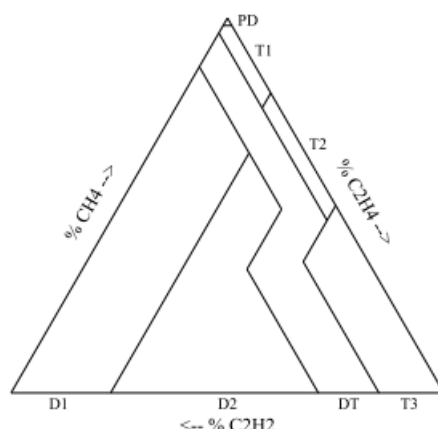
Roger's och Doernenbergs "kvot-metoder" bygger på jämförelse mellan olika gasers innehåll i förhållande till varandra. I Rogers metod jämföres acetylen/eten, metan/vätgas samt eten/etan.

"Doernenberg ratio" använder sig av fyra gasförhållanden för att kunna bedöma termisk nedbrytning, partiella urladdningar samt ev. inre ljusbågar. De fyra gaskvoterna som visar detta är metan/vätgas, acetylen/eten, acetylen/metan samt etane/acetylen.

I ett gasnomogram presenteras gasinnehållet grafiskt och med hjälp diagrammets utseende kan ev. felkod identifieras. (Flera exempel på gasnomogram ges i analysdelen i senare del av rapporten).

Michel Duval, kemist vid Hydro Quebec i Kanada, utvecklade under 1970-talet ett diagnostikverktyg som populärt brukar kallas "Duvals triangel". Analysmetoden grundar sig på de enskilda gaskoncentrationerna av metan, etan och acetylen. För varje enskild gas beräknas det proportionella förhållandet i relation till övriga tre gaser.

Via en analystriangel vars inre område täckts av på förhand angivna felområden kan man söka upp vilken typ av fel som transformatorn sannolikt lider av.



Figur 2 Exempel Duval's triangel

Slutligen: All diagnostik och utnyttjande av ovanstående modeller kräver en hel del sunt förnuft, god erfarenhet samt kännedom om transformatornhetens historik och driftsituation. Utan sådan kunskap skall analysmetoderna tillämpas med omdöme.

3 Mätningar

Följande instrument, laboratorium och provobjekt har engagerats i projektet:

Mätutrustning	Kelman Transport X
Referenslaboratorium	Kemilaboratoriet vid ABB Power Technology Products i Ludvika
Provobjekt	9 st krafttransformatorer 10 – 400 kV; 6,3 – 750 MVA 1 st shuntreaktor 400 kV 150 MVar

Grunden för val av mätinstrument, laboratorium och provobjekt har baserats på tekniska, praktiska och ekonomiska överväganden. Alla dessa tre komponenter hade kunnat väljas annorlunda, men det är författarens uppfattning att samtliga tre väl representerar den vardag som de svenska anläggningsägarna möter.

Det är författarens förmodan att läsaren har samma uppfattning.

3.1 Mätinstrument

Så vitt författaren känner till, finns två alternativa och kommersiellt gångbara utrustningar för att utföra gasanalyser på transformatorer i fält:

- Morgan Schaffers TFGA
- Kelmans Transport X

3.1.1 Morgan Schaffer TFGA P 200

Morgan Schaffer är ett kanadensiskt företag baserat i Quebec som i många stycken agerat pionjärer inom transformator diagnostikområdet. Man arbetar kontinuerligt med frågor som berör tillståndsbedömning av transformatorisolation och publicerar årligen ett antal konferenspapper av hög teknisk kvalitet. Förutom sina analytiska kvaliteter tillverkar man också utrustning för kontinuerlig gasövervakning av krafttransformatorer och speciella provtagningspaket avsedda för bedömning av oljekvalitet i fält.

Morgan Schaffer har utvecklat en analysmetod inom DGA som man benämner ”Shake Test”. Testmetoden lanserades 1993 som en efterföljare till en tidigare version vars introduktion redan inföll 1977 med den begränsningen att de endast mätte vätgashalten i oljeprovet. Den nya ”shake test”-metoden har emellertid möjligheten att detektera följande sju felgaser:

- Vätgas

- Metan
- Kolmonoxid
- Koldioxid
- Eten (Etylen)
- Etan
- Acetylen

Analysmetoden har den stora fördelen att den kan utföras såväl på laboratorium som i en transformatorstation, nära provobjektet. Fördelarna med en sådan teknik är naturligtvis uppenbar.

Ett "shake test" tillgår på sådant sätt att man fyller en tillhandahållen glasspruta med olja enligt ett speciellt förfaringssätt som Morgan Schaffer beskriver i sin produktmanual. Tillsammans med en kvantifierad mängd koldioxid som injiceras i provsprutan skakas behållaren under en halvminut. Proceduren upprepas vid ett antal tillfällen och hela processen tar ca 5 minuter varefter behållaren appliceras till mätinstrumentet.



Figur 3 Morgan Schaffers TFGA P-200

Morgan Schaffer framhåller metoden som synnerligen lämplig att använda då laboratorieförhållanden saknas och behov av snabb analys visat sig nödvändig eller önskvärd. Således en lämplig metod att tillgripa i fält eller då en användare vill utföra en kontroll på egen hand av olika anledningar. Morgan Schaffer kallar sin portabla utrustning för gasanalys av transformatorolja för TFGA P-200.

Kontakter med Morgan Schaffers kunder och användare* (av TFGA) beskriver i allmänhet utrustningen som lättanvänd och praktisk. En referens finns bl.a. hos danska NVE.

Någon röst har dock gjort gällande att hanteringen av olja kräver omsorgsfull hantering och tilltänkt "förare" av utrustningen bör vara någon med känsla för mätupdrag.

Morgan Schaffer vill gärna betona att utrustningen är den enda fältapparaturen som genomför gasanalys genom gaskromatografi – den enda mätmetod som, så vitt författaren känner till, är allmänt accepterade av ASTM D3612 och IEC 60567.

Någon utförligare och praktisk bedömning av Morgan Schaffers utrustning har dock inte gjorts i detta projekt och det får åligga läsaren att vidare bedöma utrustningens potential i den egna organisationen. Författaren vill i detta sammanhang inte framföra några synpunkter på utrustningen som kan påverka läsaren utan att kontrollera utrustningen på egen hand. Morgan Schaffers säljorganisation i Kanada har dock varit mycket samarbetsvillig och kan bl.a. erbjuda testkörningar av utrustningen via "Webben".

Via olika samarbetsorganisationer för användare i kraftbranschen, har inte desto mindre ett antal kommentarer på såväl Kelmans som Morgan Schaffers utrustningar, inhämtats. Dessa anonyma kommentarer kan beskådas i ett senare stycke i rapporten.

Över lag har författaren inte funnit något i det material som Morgan Schaffer skickat över som skulle tyda på några brister eller andra tveksamheter som skulle kunna tänkas ha speciellt intresse för svenska användare.

Mer information om företaget om deras utrustning finns att hämta på www.morganschaffer.com

3.1.2 Kelman Transport X

Konkurrenten till Morgan Schaffers utrustning för gasanalys av transformatorolja i fält tillverkas av irländska företaget Kelman och benämns Transport X. Enheten är i likhet med Morgan Schaffers TFGA en portabel gasanalysator av transformatorolja och möjliggör fältkontroll av transformatorolja. Här stoppar dock likheterna och Kelmans utrustningar brukar en helt annan teknik än sin konkurrent.

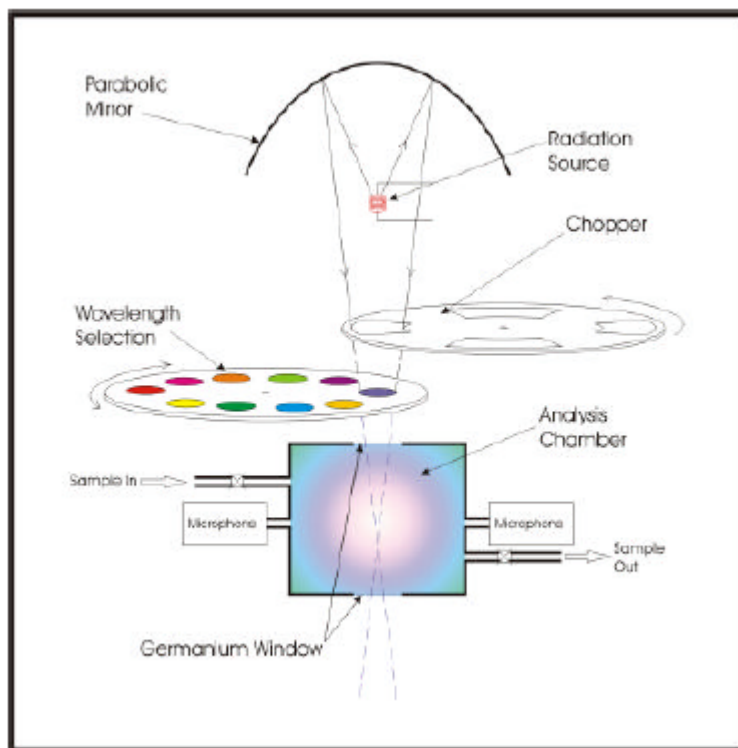
Den teknik som Kelman utnyttjar kallas populärt för "foto-akustisk spektroskopi" och är till skillnad från tidigare beskrivna metoderna inte en gaskromatografisk undersökning, utan utnyttjar i huvudsak de olika gasernas skiftande förmåga att absorbera infraröd strålning.

Som namnet antyder, lyssnar man av gasen med hjälp av känsliga mikrofoner samtidigt som den bestrålas med infrarött ljus. Vid bestrålningen, stiger temperaturen i den behållare som gasen befinner sig och tack vare den direkta proportionaliteten mellan temperaturstegringen och tryckökningen i behållaren, kan gasinnehållet definieras genom mikrofonerna (tryckökningen).

Genom att variera frekvensen från den infraröda källan kan man stämma av varje gas som provet innehåller eftersom varje gas har en unik förmåga att absorbera strålningen.

Inuti mätinstrumentet låter man en enkel metalltråd fungera som strålkälla. Den emitterade strålningen från källan speglas i en paraboliskt formad spegel som konvergerar strålningen mot den aktuella gasbehållaren. Innan strålningen ankommer

provobjektet låter man strålningen passera ett svänghjul som skapar en stroboskopisk effekt av ljuset. Det pulserande ljuset får därefter passera ett väl anpassat optiskt filter som sorterar ut de våglängder (frekvenser) som är av intresse för undersökningen.



Figur 4 Foto-akustisk spektrometri enligt Kelman

Genom sin kunskap i andra och närbesläktade branscher har Kelman på ett intressant och nytt sätt introducerat ett alternativt sätt att analysera upplösta gaser i transformatorolja på. Tekniken är inte på något sätt unik utan har historiska kopplingar ända tillbaka på 1880-talet (Graham Bell), men har så vitt författaren känner till, inte utnyttjats i dessa sammanhang tidigare. Mätmetoden är inte nämnd i vare sig IEC eller den amerikanska ASTM normen för gasanalys av transformatorolja. Skälet till detta är okänt för författaren och är sannolikt mer beroende på teknikens nyliga intrång på marknaden än att den inte skulle vara lämplig.

Skälet till att Kelman-utrustningen utnyttjades i projektet (och inte Morgan Schaffer) grundar sig, i första hand, på praktiska och tekniska orsaker. Utrustningen fanns tillgänglig på nära håll i Europa och var av sådant utförande att utrustningen bedömdes som mycket intressant för svenska transformatorägare. Kelman ställde sig dessutom tidigt positiv till att assistera vid provmätningar med utrustning och fältpersonal. Det skall tilläggas att en icke obetydlig del av Kelmans tekniska personal på området är/var stationerad på den danska sidan av Öresund. Projektgruppen hade således mycket enkelt och snabbt möjligheten att inhämta kunskap från Kelman, som också hade möjligheten att stödja projektgruppen med fältundersökningar på ett antal transformatorer i Malmöregionen.

3.1.2.1 Utrustningen

Kelmans Transport X består dels av en relativt omfattande provtagningssats som är erforderliga för att uttaga och hantera själva samplet (figur 5) samt den portabla gasanalysatorn (figur 4). Hörnstenen i utrustningen får betraktas det samarrangemang av datoranalysator som genomför själva undersökningen. Hela arrangemanget huseras i en kraftfull väska av hårdplast.



Figur 5 Kelman Transport X



Figur 6 "Labbutrustning"

Det praktiska tillvägagångssättet för att utföra en gasanalys med Kelman-utrustningen är mycket enkel:

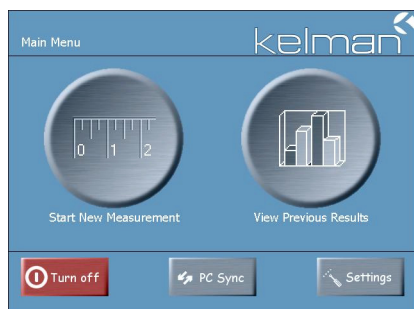
Ett oljeprov uttages från en lämplig plats på transformatorn. Oljesamplings tekniken skiljer sig inte från ett traditionellt oljeprov som uttages för laboratorieundersökning, utan behovet av korrekt uttaget prov är lika strikt som för andra analyser. Den 50 ml spruta som ingår i utrustningen töms på sitt innehåll via en snabbkoppling i det provtagningsskärlet som senare utgör källa för gasanalysatorns resultat. Provbehållaren monteras fast i provutrustningen och efter inprogrammering av provtagningsobjektets littera startas provutrustningen genom en enkel knappnedtryckning och ett resultat växer fram efter 15 minuters arbete. Resultatet presenteras på display och elektronisk dokumentering i utrustningens minne. En papperskopia kan skrivas ut för som reserv och annan dokumentering/information.

Som alternativ till pappersutskrift, och senare eventuell bedömning, ger Transport X möjligheten till omgående och snabb diagnostikhjälp - en värdefull och omedelbar bedömning i kritiska lägen.

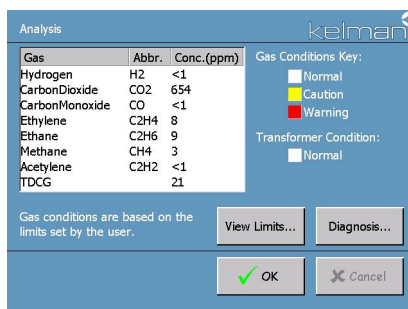
På instrumentets display kan man t.ex. under funktionen "**Advanced**" se vilka gaser som är i det man kallar "**Caution Level**" (**Varselgräns**) eller allvarligare "**Warning Level**". Nivåerna för "**Caution**" respektive "**Warning**" kan användaren godtyckligt ställa in själv efter egna erfarenheter och bedömningar. Instrumentet ger också möjligheten att gå ett steg längre och analysera gaserna utifrån tidigare beskrivna

diagnostikverktyg. Under funktionen ”**Diagnosis**” (jämför tidigare beskrivning av analysverktyg), kan man titta på ”**Key Gases**”, ”**Roger’s Ratios**” och ”**Duval’s Triangle**” där varje ”**Diagnosis**” ger ett fel eller inte, t.ex. ”**Overheated Cellulose**” (termisk nedbrytning), **High Energy Arcing**, o.s.v.

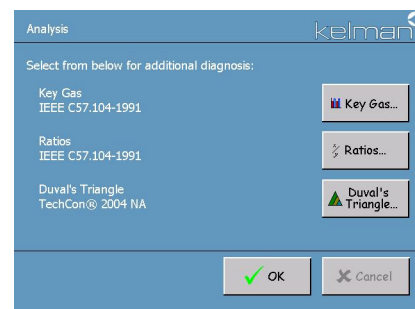
Ett axplock på menyhantering i Transport X och analysverktyget visas nedan:



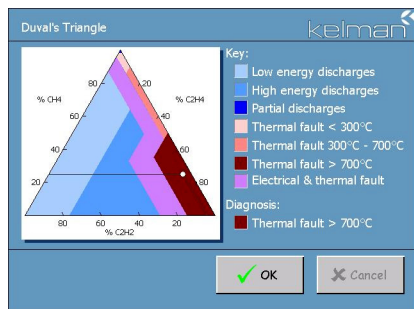
Figur 7 Kelman huvudmeny



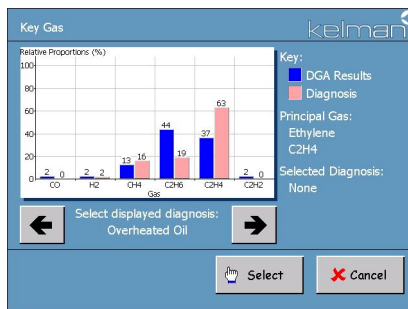
Figur 8 Gasanalysresultat



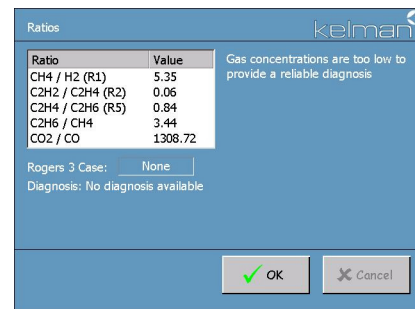
Figur 9 Valmöjligheter



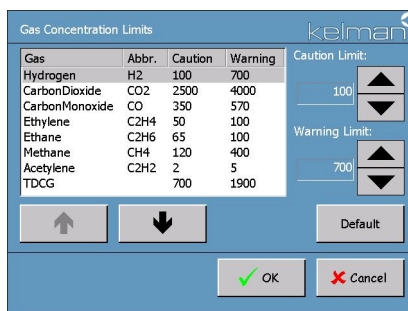
Figur 10 Duvals triangel



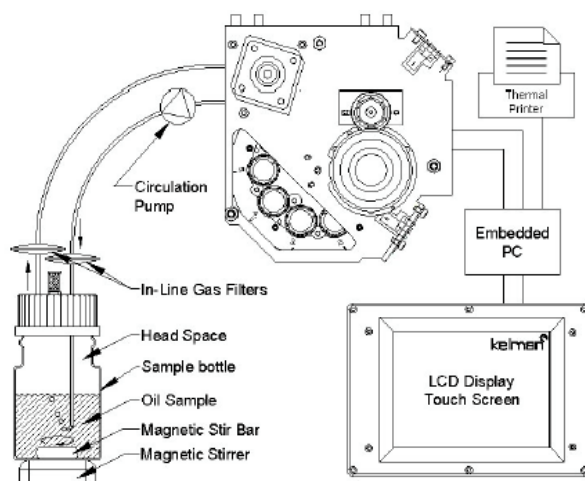
Figur 11 Key Gases



Figur 12 Roger's ratio



Figur 13 Möjlighet att sätta varsel (caution) & varningsgränser



Figur 14 Provuppställning Kelman Transport X

I resultatet presenteras följande upplösta gaser i oljan:

- Vätgas
- Metan
- Kolmonoxid
- Koldioxid
- Eten (Etylen)
- Etan
- Acetylen

Dessutom anges isoleroljans fuktinnehåll i ppm.

Mer information om Transport X kan bl.a. sökas på www.kelman.co.uk

3.2 Laboratorium (analysmetod)

Som medverkande laboratorium i undersökningen valdes kemilaboratoriet vid ABB Power Technology Products i Ludvika. ABB använder den s.k. Headspace-teknologin i normalfallet och det var också den mätmetod som användes i projektet. Skälet till att ABB brukades i projektet var av praktisk natur och berodde i huvudsak på att författaren har samarbetat med laboratoriet tidigare. Det var också ABB som ansvarat för historiska analyser på de tilltänkta provobjekten (drifhistorik) vilket ansågs vara värdefullt i händelse av att analysvärdena skulle skilja sig kraftigt åt.

Driftpersonalen i de aktuella stationerna var också van vid att hantera ABBs utrustning något som underlättade vid den praktiska provtagningen.

ABB var inte på något sätt styrda att tillämpa den ena eller andra analysmetoden för sina undersökningar, utan fick endast samplen tillsända och skulle göra kontrollen på traditionellt och normalt sätt.

Förutom de sju felgaserna som de portabla utrustningarna kan detektera, analyserar ABB också kvantiteten av Syre, Kväve, Propen och Propan. ABB ger också en skriftlig, och i ord, beskrivning av transformatorns tillstånd och rekommenderade insatser i form av ytterligare analysbehov eller aktiv underhållsåtgärder.

Det headspace system som ABB använder kommer från Agilent Technologies, och är en Head Space sampler modell 7694 kopplad till en gaskromatograf modell 6890 av samma fabrikat.

3.3 Provobjekt

I nedanstående undersökning jämföres analyser genomförda av Kelmans Transport X och laboratorieundersökningar genomförda vid kemilaboratoriet hos ABB Power Technology Products i Ludvika.

Oljeproven har tagits vid exakt samma tidpunkt på respektive provobjekt och exakt efter de riktlinjer som Kelman respektive ABB föreskriver. Analysen har enbart haft som syfte att bedöma hur analyserna utförda i fält följer de analyser som utförs på laboratorium (och tvärtom). Undersökningen har inte på något sätt angett, eller anser sig kunna bedöma, vilket av resultaten som kan anses vara ”rätt” eller ”fel”. Det kan möjligen vara frestande att redan på förhand betrakta laboratorieundersökningarna som normalvärden, eftersom analyserna utföres under kontrollerade former i labbmiljö och därmed betrakta analysvärdena från fältundersökningen som ”avvikelser”. Som framgår av ovanstående tabell och tidigare beskrivning är detta dock en alltför djärv och på gränsen till felaktig slutsats. För att dra sådana konklusioner krävs fler jämförande analyser och detta har inte inrymts i uppdragets omfattning.

Utvalda provobjekt i projektet har valts baserat på praktiska och tekniska förutsättningar i projektet. Finansierande företag i styrgruppen har beretts möjlighet att påverka och komma med förslag på objekt som borde ha ingått i studien. Samtliga medverkande företag har inbjudits till att närvara vid fältundersökningen.

Sydkraft, Baltic Cable och Svenska Kraftnät har ställt upp med provobjekt.

För att göra undersökningen så kostnadseffektiv som möjligt, utfördes studien på geografiskt samlade enheter i Malmöregionen. Enheterna kan anses representera den svenska transformatorpopulationen.

I studien har ingått 9 stycken transformatorer i storleken 6,3 till 750 MVA; 10 till 410 kV samt en shuntreaktor på 150 MVA_r och 410 kV. Avsiktigt har enheter valts ut som sannolikt skulle ha olika gasningsmönster och oljesystem. Avsikten med detta var att, om möjligt, bedöma utrustningarnas/analysernas möjlighet att bestämma gashalter vars löslighet i olja är hög/låg.

Reaktorn plus fyra av de nio krafttransformatorerna har gummisäck i expansionskärlet och därmed ett lågt utbyte med atmosfären. Övriga har öppet oljesystem med torkapparat.

3.3.1 Krafttransformator A

Tillverkare

Siemens-Schuckert

Tillverkningsår

1953

Omsättning (kV/kV/kV)
130/50/10

Märkeffekt

90/90/45 MVA

Oljevikt (kg)

36 500



Figur 15 Transformator A

Analysresultat

Transformator A	Kelman	ABB
Väte H ₂	8	8
Vatten H ₂	13	23
Koldioxid CO ₂	3105	2872
Kolmonoxid CO	360	459
Eten C ₂ H ₄	106	84
Etan C ₂ H ₆	1284	1381
Metan CH ₄	329	451
Acetylen C ₂ H ₂	0	0

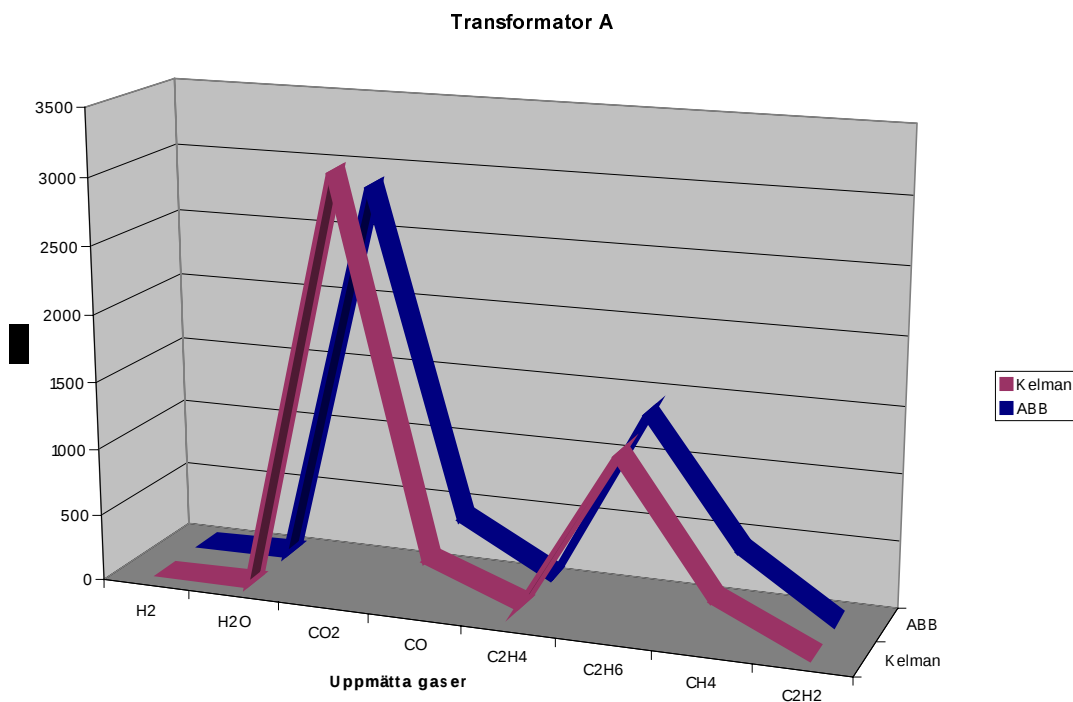
Kommentar:

Fält- respektive laboratorieundersökningen följer varandra.

Transformatorn har förhållandevis hög gasningstakt och har sannolikt ett inre fel som utvecklas med låg energi.

Syreförbrukning och riklig utveckling av etan, metan och eten tyder på detta. Någon acetylen har dock inte konstaterats och enheten går i kontinuerlig drift. Transformatoroljan är mycket mörk och transformatorn som är av tyskt fabrikat är sannolikt fylld med oinhibiterad olja. Transformatorn har ett öppet oljesystem. Kylart OFAF.

Grafisk presentation

**3.3.2 Krafttransformator B**

Tillverkare

ABB

Tillverkningsår

1993

Omsättning (kV/kV)

410/145

Märkeffekt

750 MVA

Oljevikt (kg)

90000



Figur 16 Provtagning av transformator B

Analysresultat

Transformator B		Transformator B	
	Kelman (1:a) (trasig slang) Kelman (2:a) (ny slang)		ABB (1:a) (trasig slang) ABB (2:a) (ny slang)
Väte H ₂	2 2	Väte H ₂	2 2
Vatten H ₂ O	9 7	Vatten H ₂ O	5 6
Koldioxid CO ₂	5654 5203	Koldioxid CO ₂	4414 4831
Kolmonoxid CO	580 497	Kolmonoxid CO	461 641
Eten C ₂ H ₄	5 4	Eten C ₂ H ₄	4 4
Etan C ₂ H ₆	2 1	Etan C ₂ H ₆	4 4
Metan CH ₄	18 16	Metan CH ₄	16 20
Acetylen C ₂ H ₂	0 0	Acetylen C ₂ H ₂	0 0

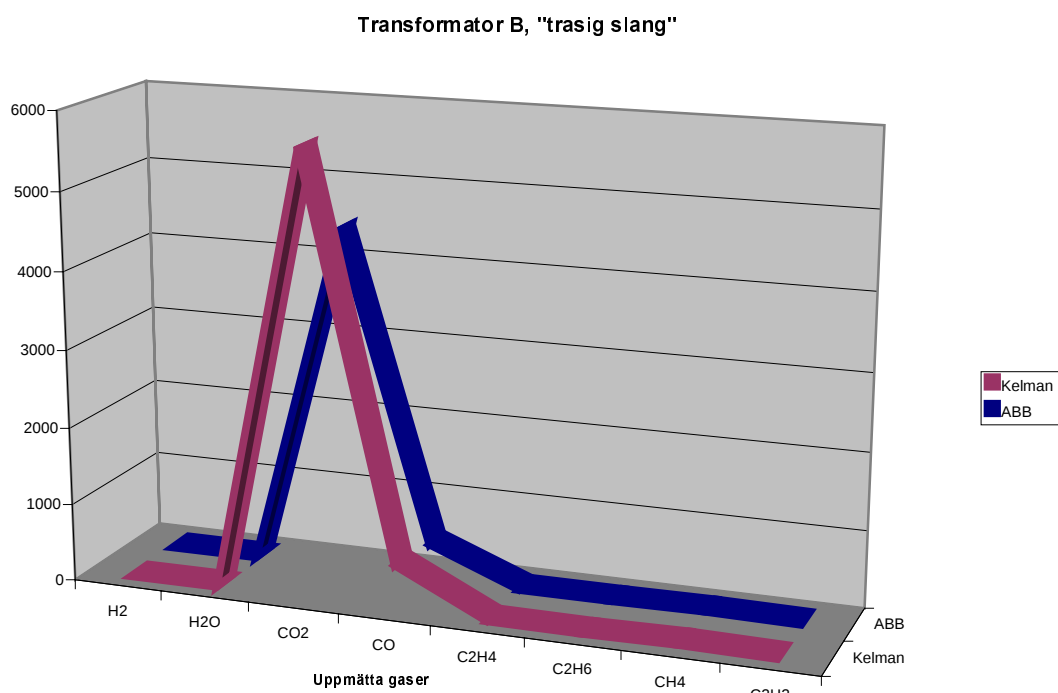
Kommentar:

Oljeprov för gasanalys plockades ut och bedömdes vid två olika tillfällen med cirka en halvtimmas mellanrum. Skälet till att mätningen upprepades efter den första analysen var att man bedömde anslutningsslangen som bristfällig och sannolikt behövde bytas ut (eventuellt hål). För att undvika problem och tvetydigheter i den slutgiltiga bedömningen ersattes den ursprungliga slangen med en ny. Mätningen upprepades kort därefter. Båda resultaten redovisas dock ovan.

Fält- respektive laboratorieundersökningen följer varandra.

Transformatorn installerades 1993 och har inte varit föremål för några inre incidenter. Transformatorn är autokopplad och utgör länk mellan 400 och 130 kV näten i sydvästra Sverige. Transformatorn har gummisäck i expansionskärlet.

Grafisk presentation





3.3.3 Shuntreaktor

Tillverkare

ABB

Tillverkningsår

1992

Omsättning (kV)

400

Märkeffekt

150 MVar



Figur 17 Provtagning från Shuntreaktor

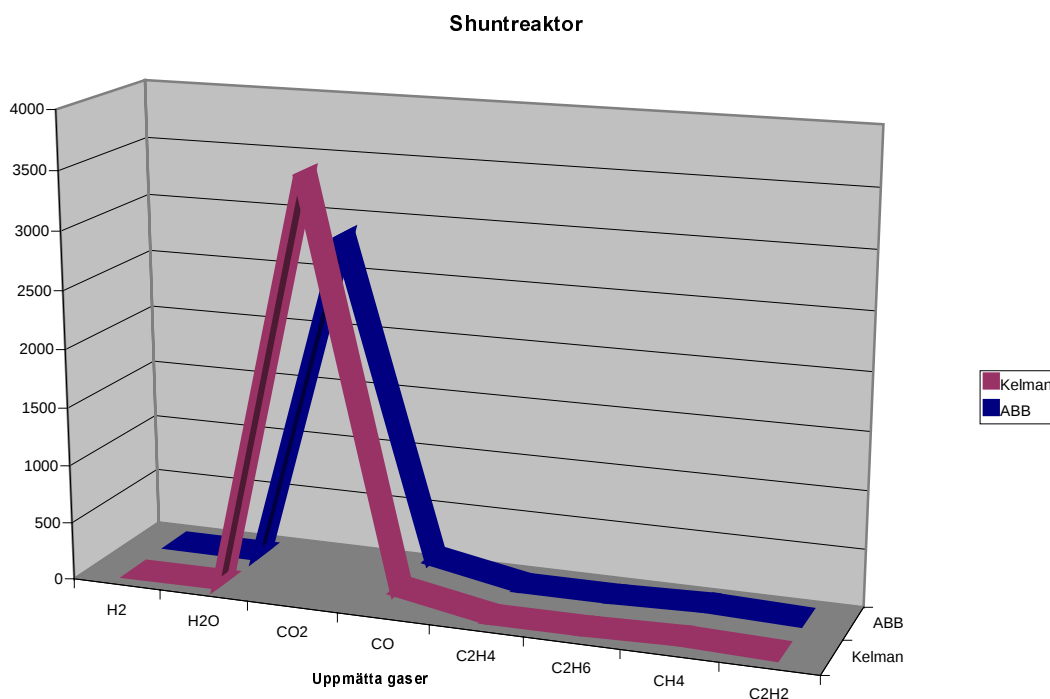
Analysresultat

Shuntreaktor	Kelman	ABB
Väte H ₂	2	2
Vatten H ₂ O	7	2
Koldioxid CO ₂	3538	2862
Kolmonoxid CO	143	148
Eten C ₂ H ₄	2	2
Etan C ₂ H ₆	4	2
Metan CH ₄	24	26
Acetylen C ₂ H ₂	0	0

Kommentar:

Fält- respektive laboratorieundersökningen följer varandra.

Den aktuella reaktorn är en s.k. shuntreaktor och är tillverkad av ASEA 1992 och är ansluten till det svenska 400 kV nätet. Enheten har haft en lugn historia och är försett med slutet oljesystem. Kylart OFAF.

Grafisk presentation

3.3.4 Krafttransformator C

Tillverkare

ASEA

Tillverkningsår

1980

Omsättning (kV/kV/kV)

410/145/12

Märkeffekt

750 MVA

Oljevikt (kg)

50 000



Figur 18 Provtagning från Transformator C

Analysresultat

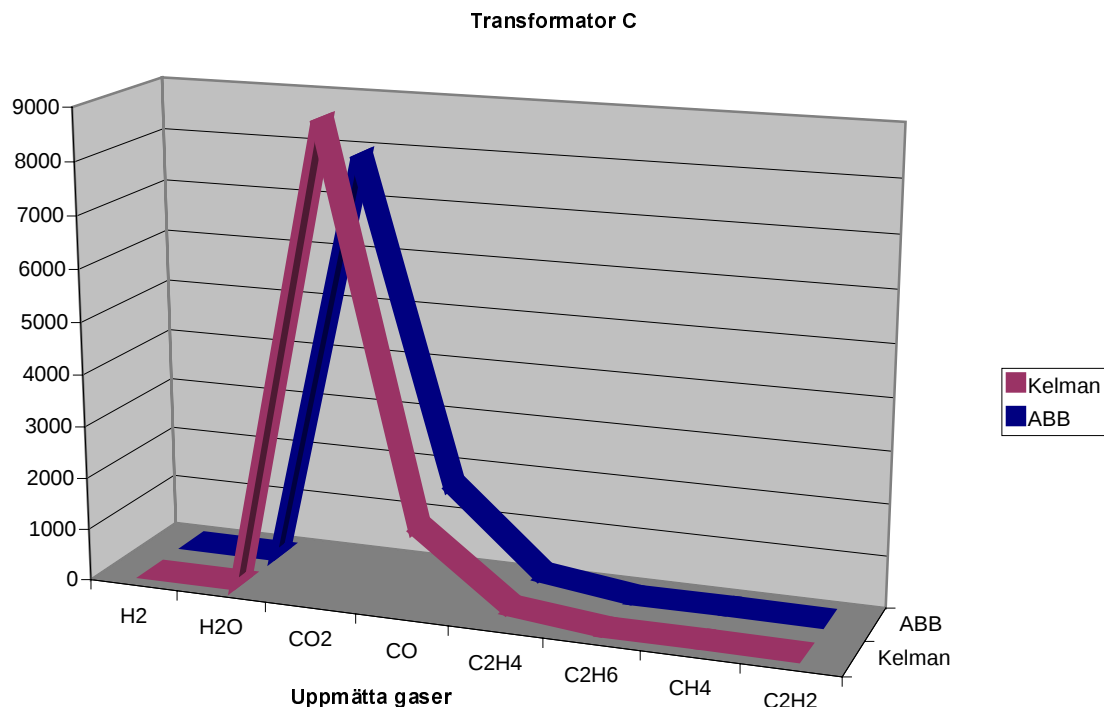
Transformator C	Kelman	ABB
Väte H ₂	12	16
Vatten H ₂ O	15	12
Koldioxid CO ₂	8880	7919
Kolmonoxid CO	1519	1787
Eten C ₂ H ₄	193	231
Etan C ₂ H ₆	7	3
Metan CH ₄	12	12
Acetylen C ₂ H ₂	0	0

Kommentar:

Fält- respektive laboratorieundersökningen följer varandra.

Transformatorn utgör huvudenhet i ett kombinerat huvud- och regleraggregat i sydvästra Sverige. Transformatorn har en mindre gasutveckling av kolväten som möjligen kan vara ett inledande tecken på aktivitet.

Transformatorn har ett öppet oljesystem. Kylart OFAF.

Grafisk presentation

3.3.5 Krafttransformator D

Tillverkare

ASEA

Tillverkningsår

1980

Omsättning (kV/kV)

145/145

Märkeffekt

750 MVA

Oljevikt (kg)

67 000



Figur 19 Provtagning från Transformator D

Analysresultat

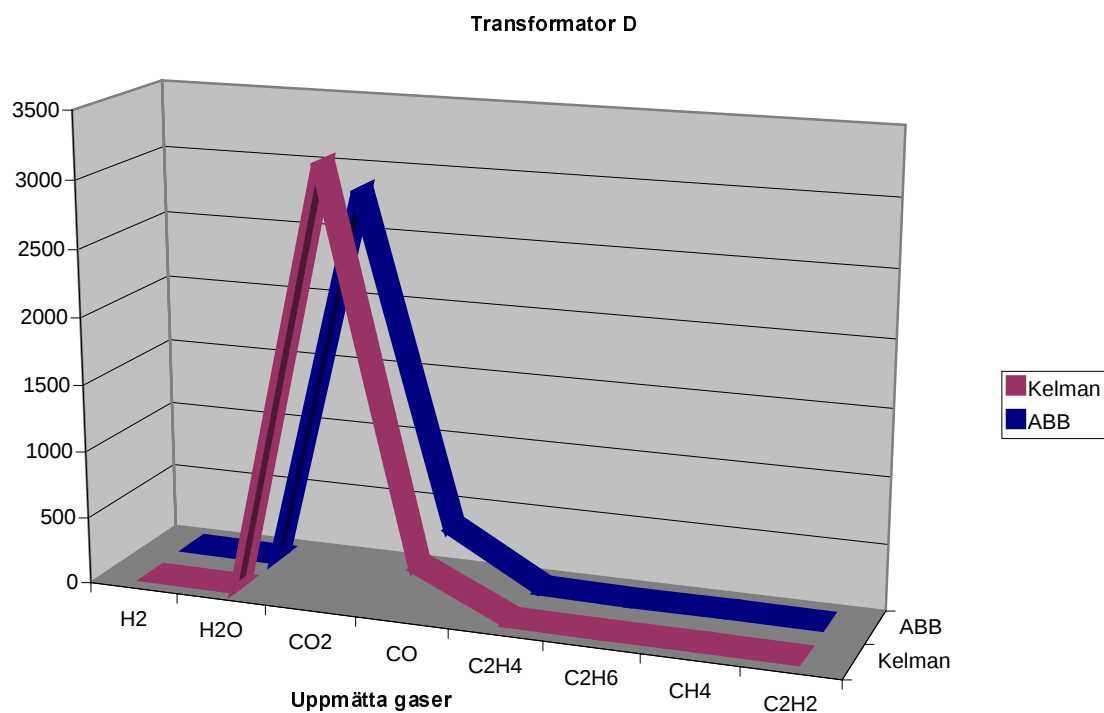
Transformator D	Kelman	ABB
Väte H ₂	6	8
Vatten H ₂ O	3	3
Koldioxid CO ₂	3179	2855
Kolmonoxid CO	327	397
Eten C ₂ H ₄	8	11
Etan C ₂ H ₆	3	0
Metan CH ₄	4	4
Acetylen C ₂ H ₂	0	0

Kommentar:

Fält- och laboratorieundersökningen följer varandra.

Transformatorn utgör reglerenhet i tidigare nämnt transformatoraggregat. Enheten är belägen i sydvästra Sverige. Enheten har haft en lugn historia och har ett öppet oljesystem. Kylart OFAF.

Grafisk presentation



3.3.6 Strömriktartransformatorer E, F, G

Tillverkare

ABB

Tillverkningsår

1993

Omsättning (kV)

400

Märkeffekt

232,2 MVA

Oljevikt (kg)

95 920



Figur 20 Provtagning från transformator E

Analysresultat

Transformator E	Kelman	ABB
Väte H2	11	14
Vatten H2O	8	2
Koldioxid CO2	1862	1662
Kolmonoxid CO	674	760
Eten C2H4	16	18
Etan C2H6	8	5
Metan CH4	18	23
Acetylen C2H2	0	1

Transformator F	Kelman	ABB
Väte H2	12	16
Vatten H2O	5	3
Koldioxid CO2	2323	2110
Kolmonoxid CO	700	810
Eten C2H4	2	2
Etan C2H6	3	2
Metan CH4	9	9
Acetylen C2H2	0	1

Transformator G	Kelman	ABB
Väte H2	19	22
Vatten H2O	6	3

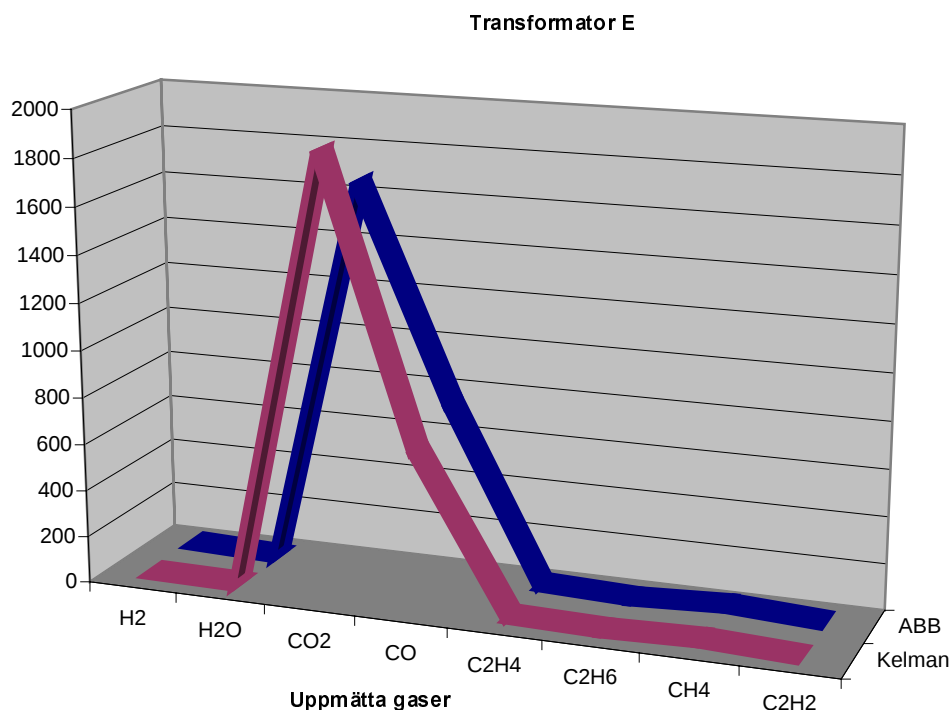
Koldioxid CO ₂	2379	2131
Kolmonoxid CO	799	905
Eten C ₂ H ₄	2	1
Etan C ₂ H ₆	4	1
Metan CH ₄	8	9
Acetylen C ₂ H ₂	0	0

Kommentar:

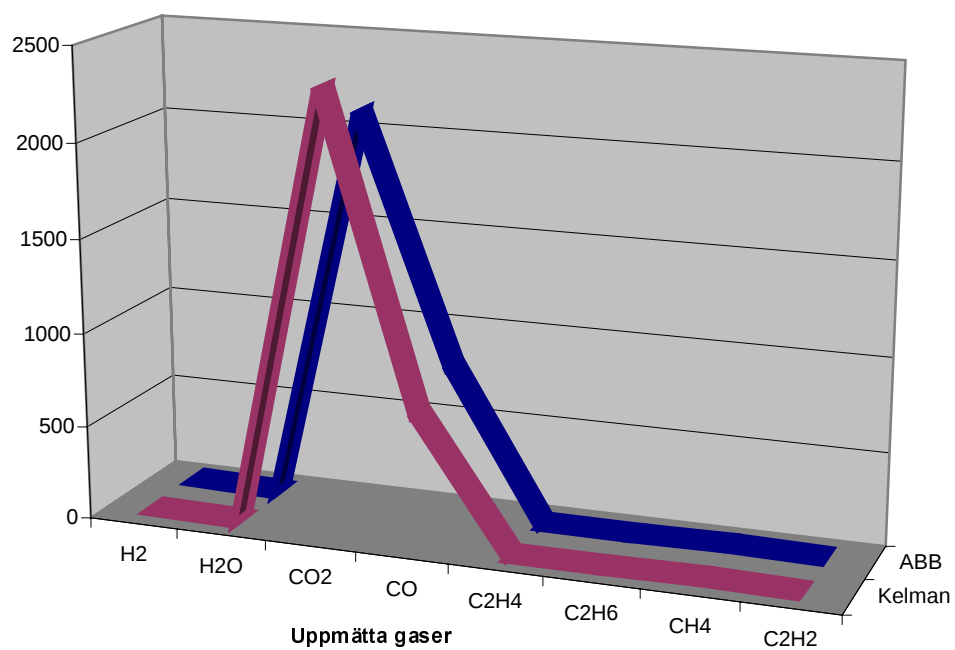
Fält- och laboratorieundersökningen följer varandra.

Strömriktartransformatorerna placerade inomhus i separata transformatorceller och är installerade som HVDC-transformatorer i en likspänningsöverföring. Samtliga strömriktartransformatorer har slutna oljesystem. Kylart OFAF.

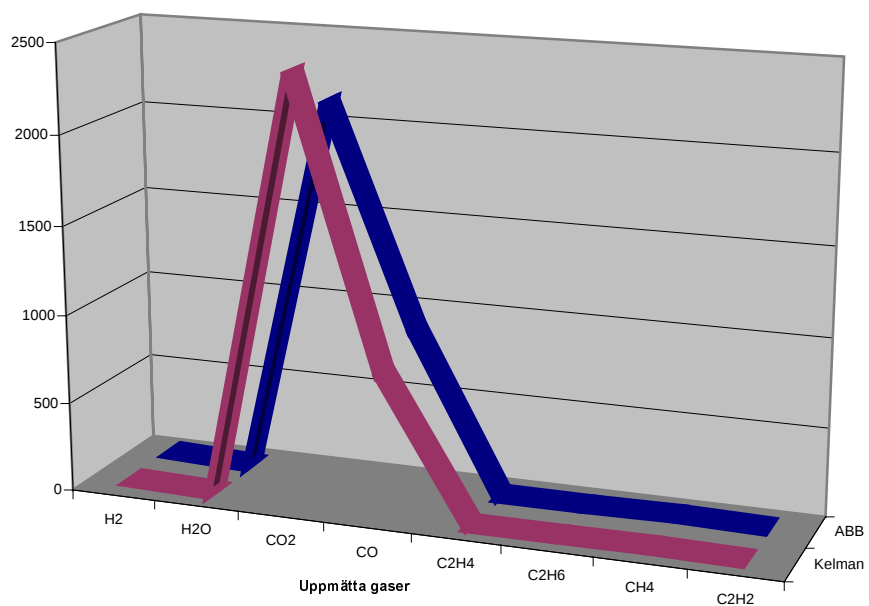
Grafisk presentation



Transformator F



Transformator G



3.3.7 Krafttransformator H

Tillverkare

Knivsta

Tillverkningsår

1969

Omsättning (kV/kV)

22,5/11,5

Märkeffekt

6,3 MVA

Oljevikt (kg)

4400



Figur 21 Provtagning på Transformator H

Analysresultat

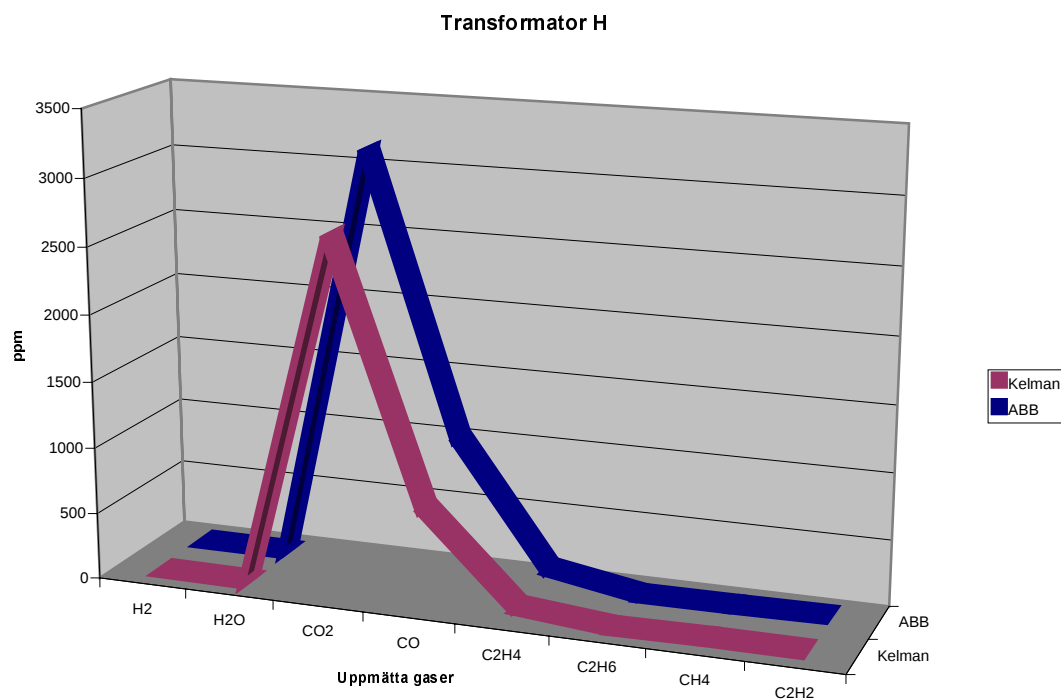
Transformator H	Kelman	ABB
Väte H ₂	6	8
Vatten H ₂ O	2	8
Koldioxid CO ₂	2652	3136
Kolmonoxid CO	726	1050
Eten C ₂ H ₄	64	120
Etan C ₂ H ₆	1	2
Metan CH ₄	9	5
Acetylen C ₂ H ₂	7	14

Kommentar:

Fält- och laboratorieundersökningen följer i huvudsak varandra. En större differens föreligger dock på halten av Eten. Vad som ligger bakom differensen har författaren inte haft möjlighet att bedöma.

Transformator H är en självkyld transformator med öppet oljesystem. Transformatorn har tidigare ingått i annat Elforskprojekt och har bl.a. pappersanalyserats på fabrik. Enheten har förhållandevis sur olja och skulle med fördel kunna oljeregneras de kommande åren.

Grafisk presentation



3.3.8 Krafttransformator I

Tillverkare

Trafo Union

Tillverkningsår

1993

Omsättning (kV/kV)

55/23

Märkeffekt

25 MVA

Oljevikt (kg)

4400



Figur 22 Provtagning på Transformator I

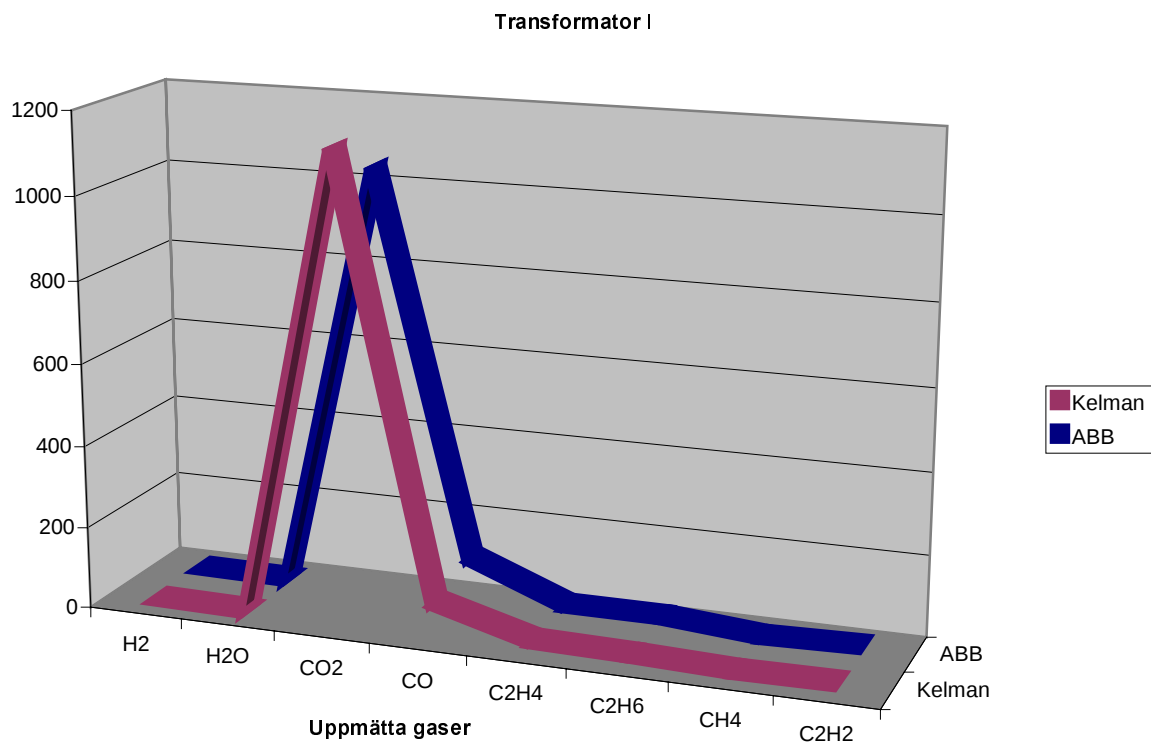
Analysresultat

Transformator I	Kelman	ABB
Väte H ₂	4	5
Vatten H ₂ O	1	3
Koldioxid CO ₂	1131	1044
Kolmonoxid CO	80	113
Eten C ₂ H ₄	16	22
Etan C ₂ H ₆	12	22
Metan CH ₄	4	3
Acetylen C ₂ H ₂	6	9

Kommentar:

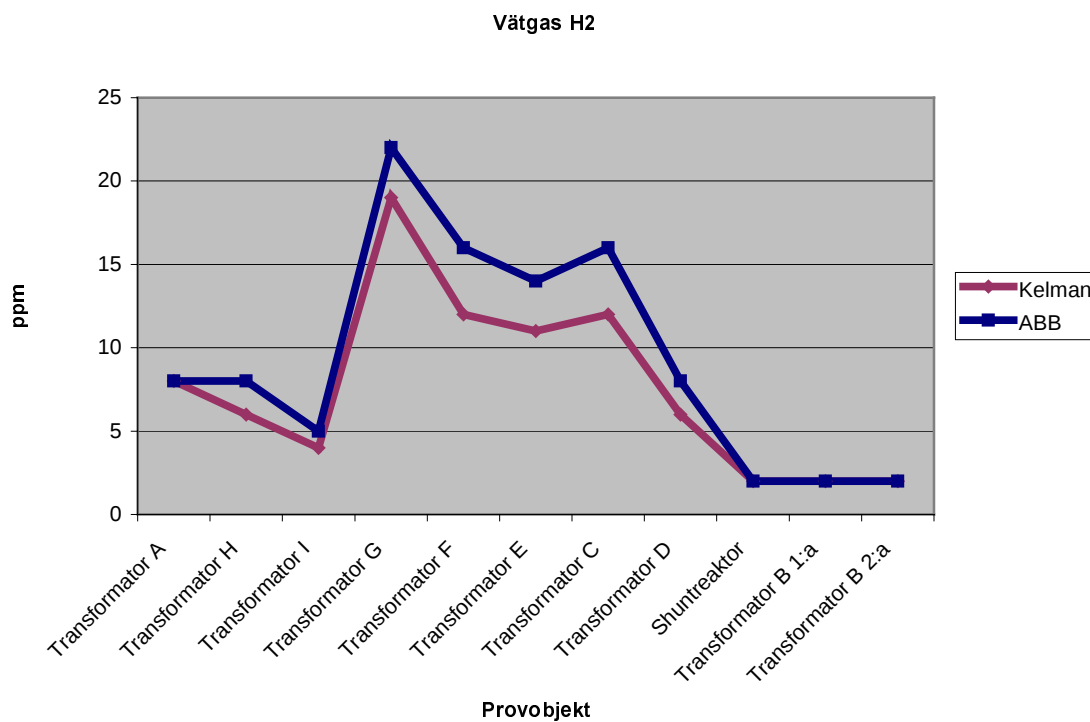
Fält- och laboratorieundersökningen följer varandra. Med tanke på enhetens låga ålder bör de förhöjda kolvätehalterna följas upp.

Transformatorn har ett öppet oljesystem. Kylart ONAN.

Grafisk presentation

3.4 Fysikaliska uppmätningar

3.4.1 Vätgas

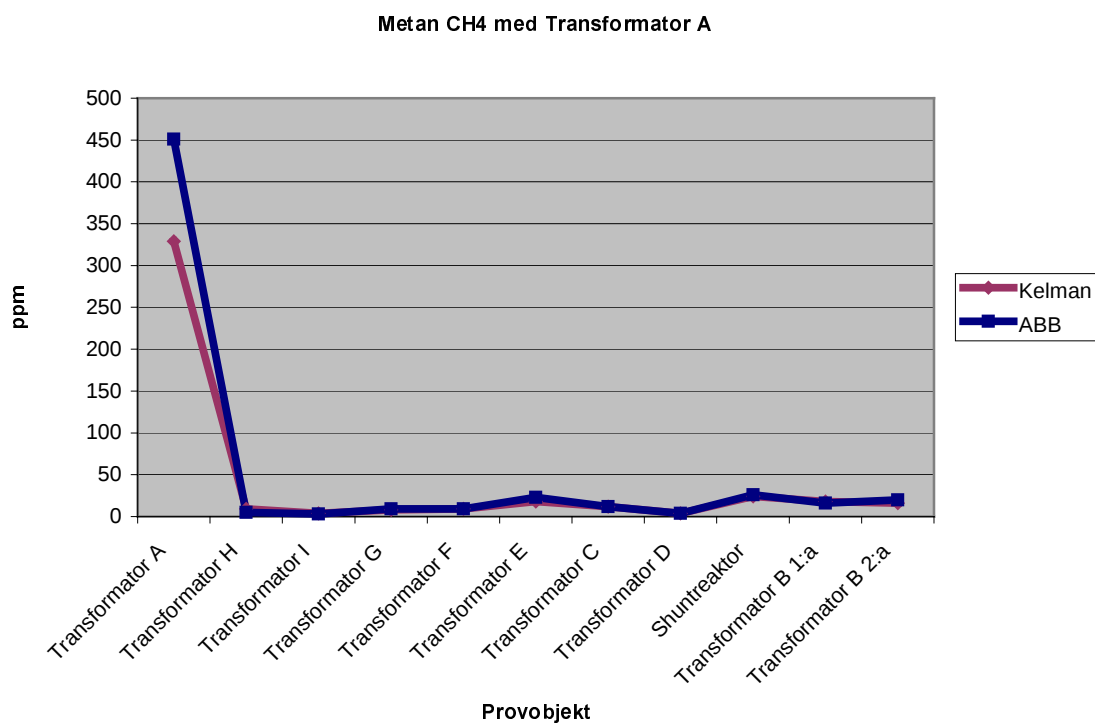


Kommentar:

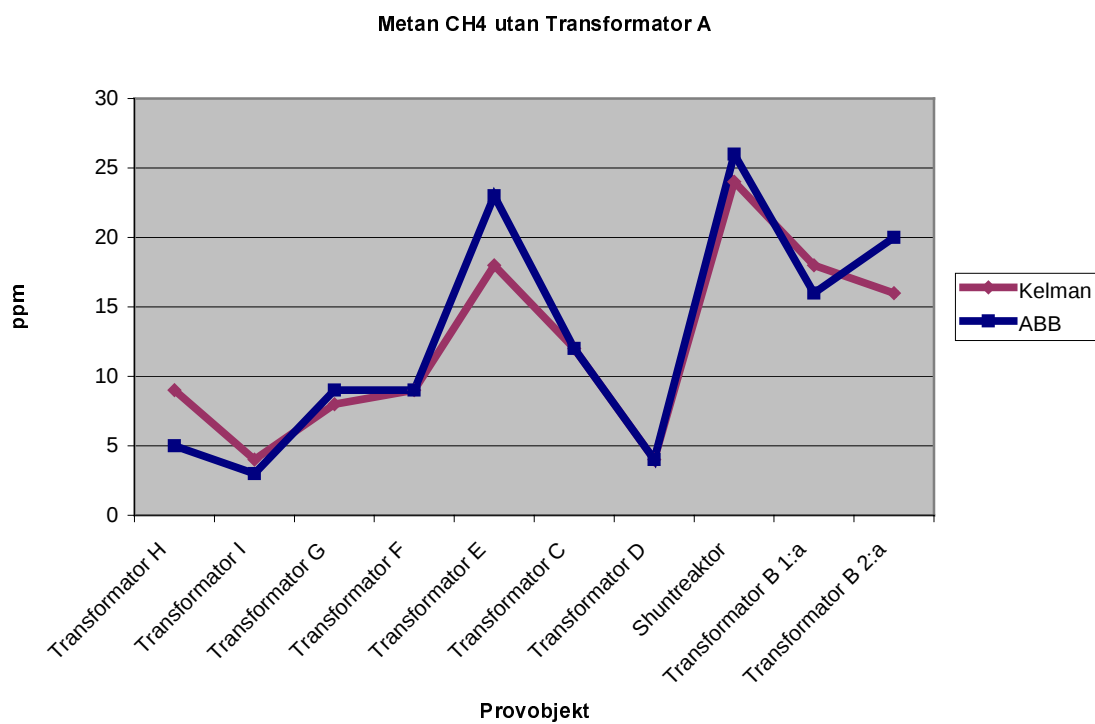
Fält- och laboratorieundersökningen följer varandra i samtliga fall.

3.4.2 Metan

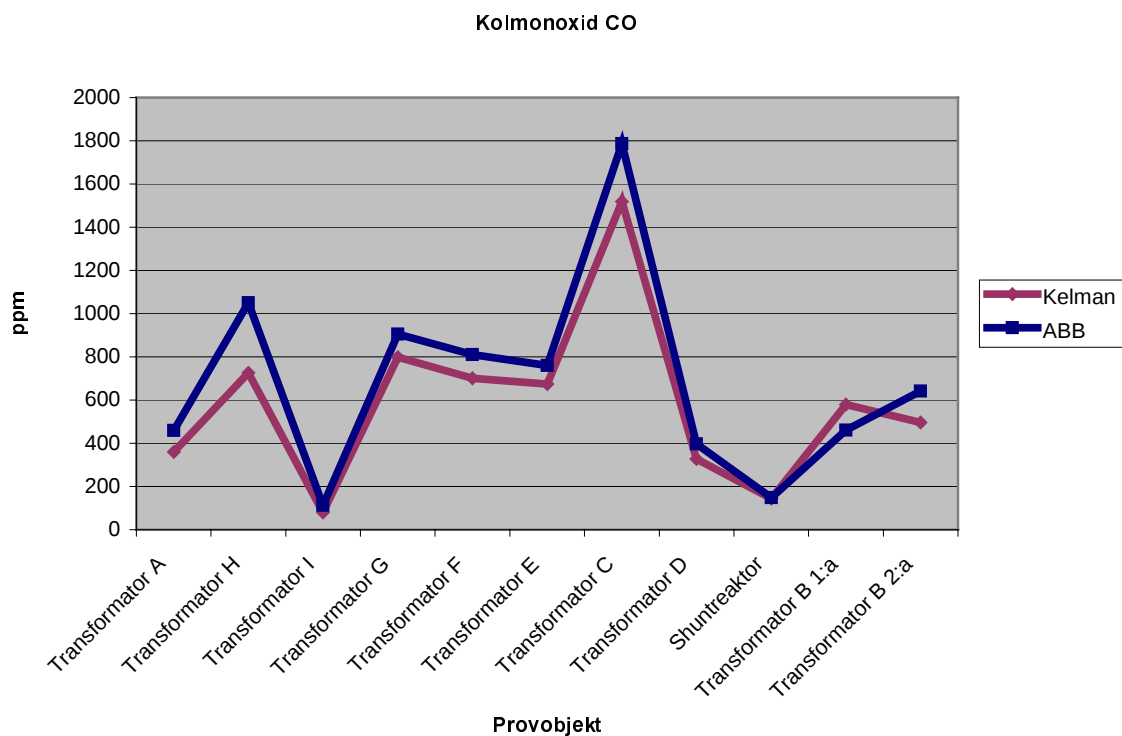
För en konventionellt fungerande transformator är de generella kolvätehalterna låga. Detta gäller naturligtvis också utvecklingen av metangas. Transformator A i projektet, har emellertid halter som vida överskrider de övriga deltagarna i projektet (se nedanstående diagram).



Väljer man att lyfta ur Transformator A ur jämförelsen, kan man notera att de halter som Transport X registrerar också detekteras av laboratorieproven:



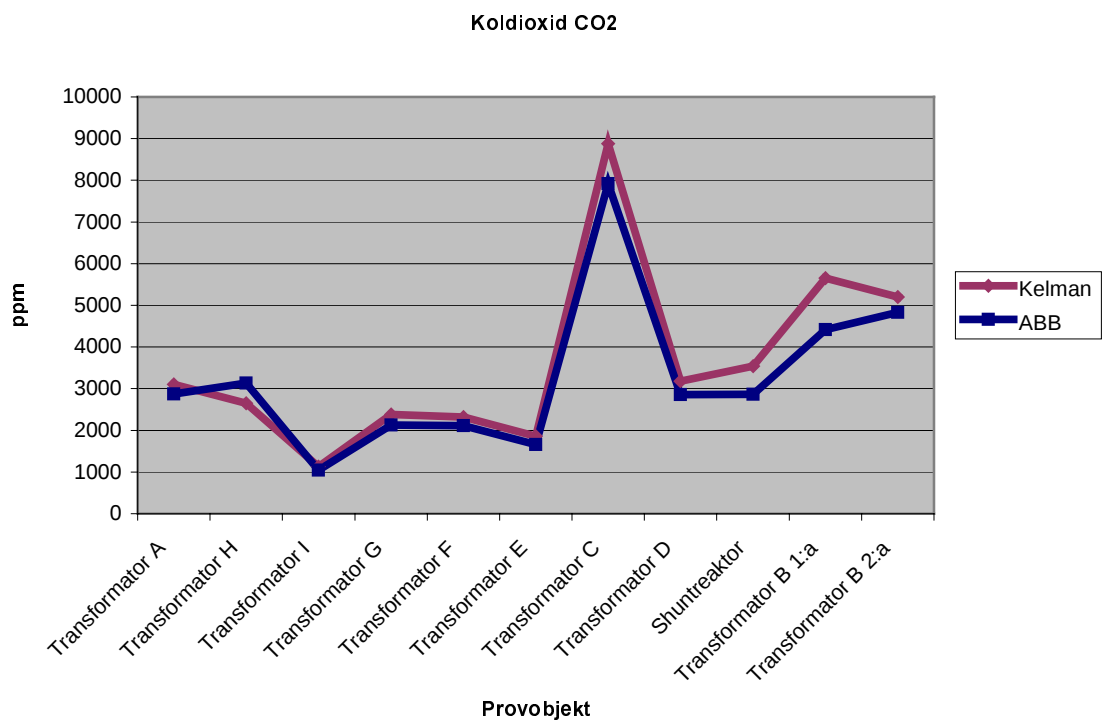
3.4.3 Kolmonoxid



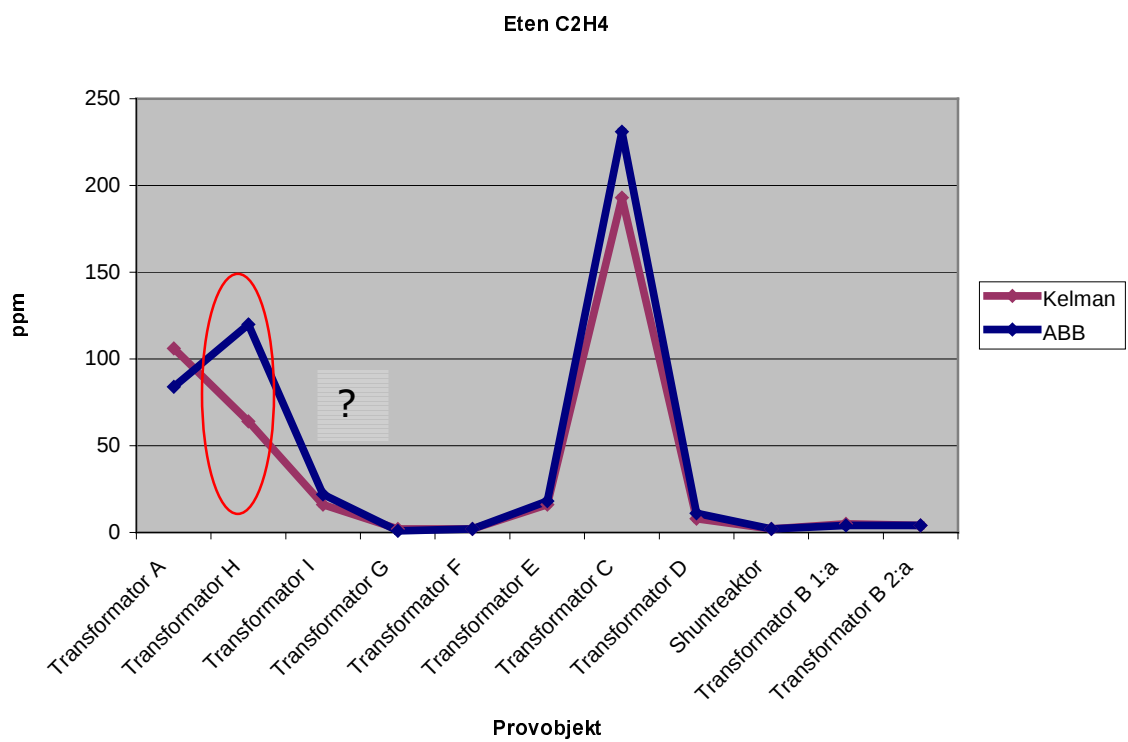
Kommentar:

Fält- och laboratorieundersökning visar på mycket god samstämmighet vid kontroll av kolmonoxidhalter. Detsamma gäller kontrollen av CO₂ (koldioxid)

3.4.4 Koldioxid



3.4.5 Eten (Etylen)

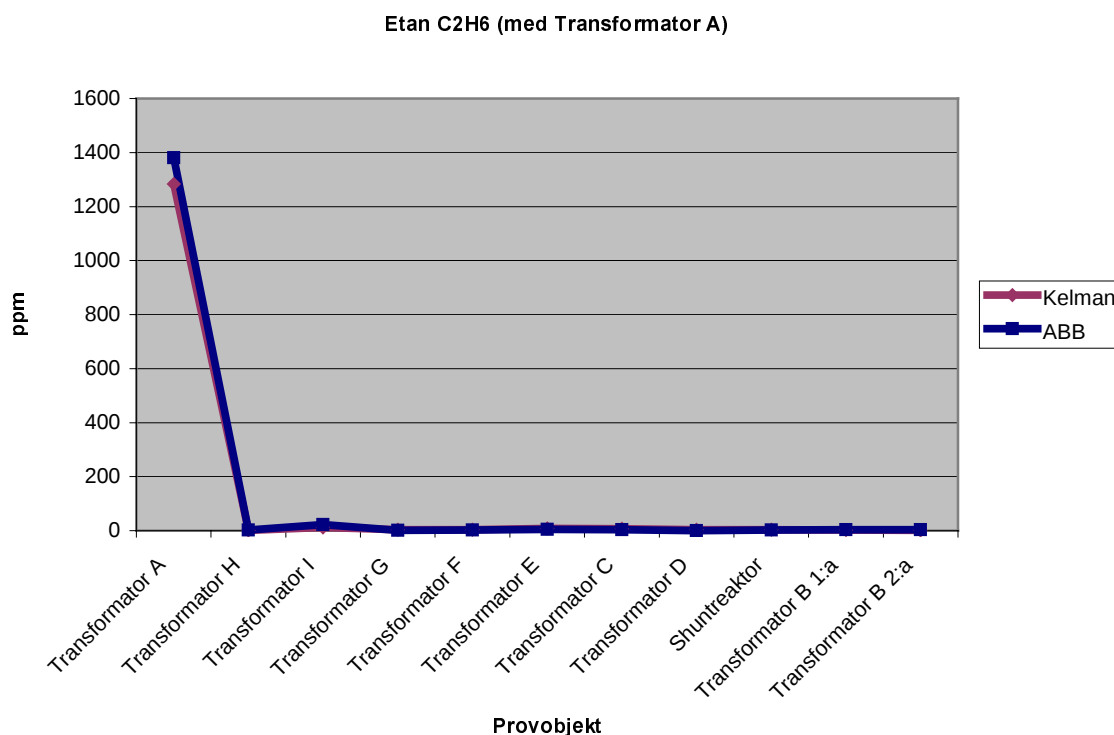


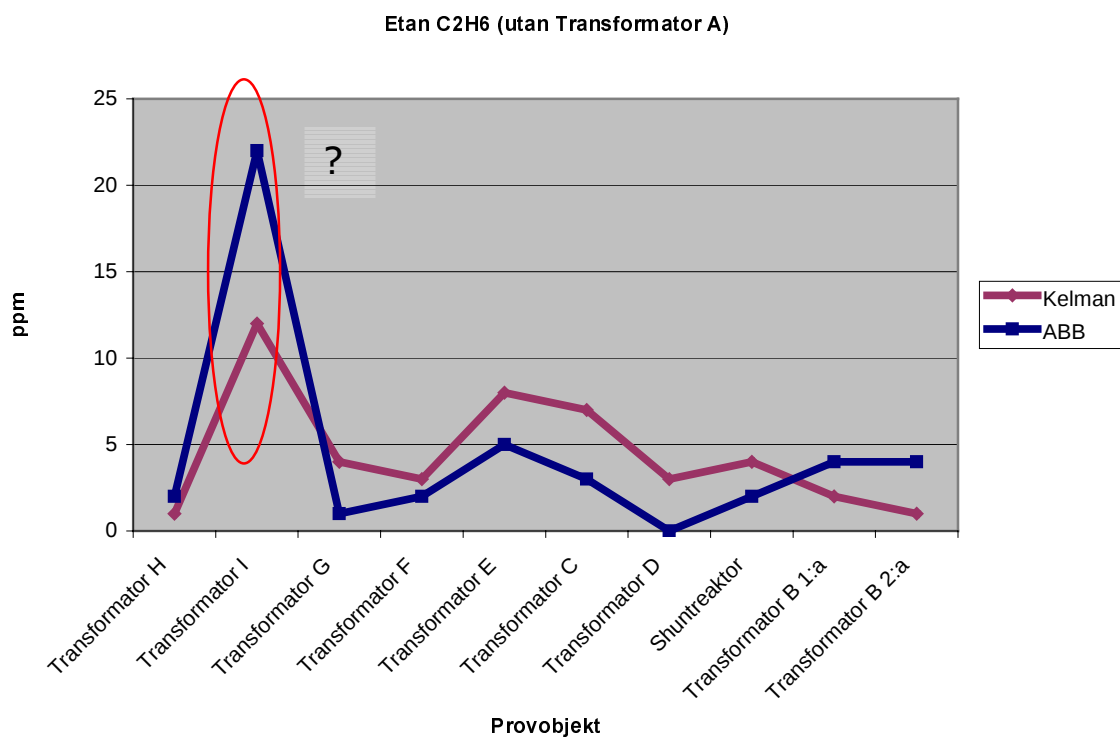
Kommentar:

Så när som på registreringen av etenhalterna för transformatorobjekt "Transformator H", följer de båda undersökningarna varandra väl. Differensen i etenhalten för "Transformator H" har inte gått att förklara.

3.4.6 Eten

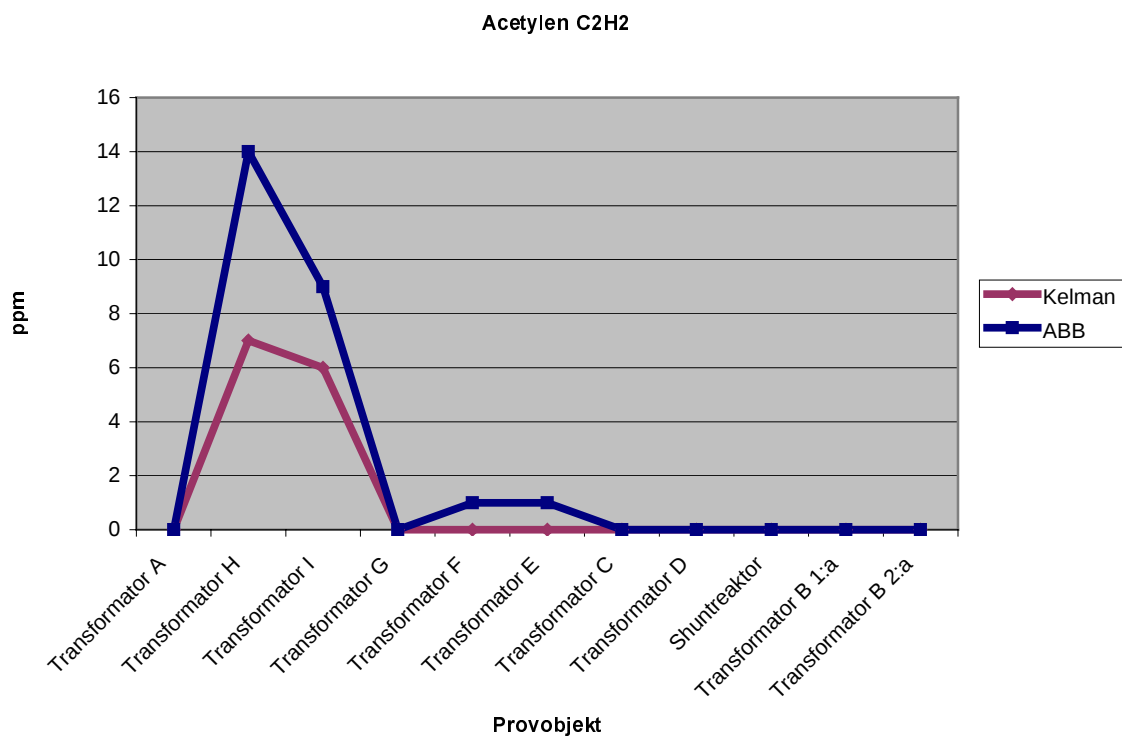
I likhet med tidigare förklaring beträffande utvecklingen av metan, kan konstateras att den generella gasutvecklingen i Transformator A överstiger övriga studieobjekt i undersökningen. För att möjliggöra en jämförelse har därför Transformator A plockats bort i betraktelsen mellan fält- och laboratorieanalysen.





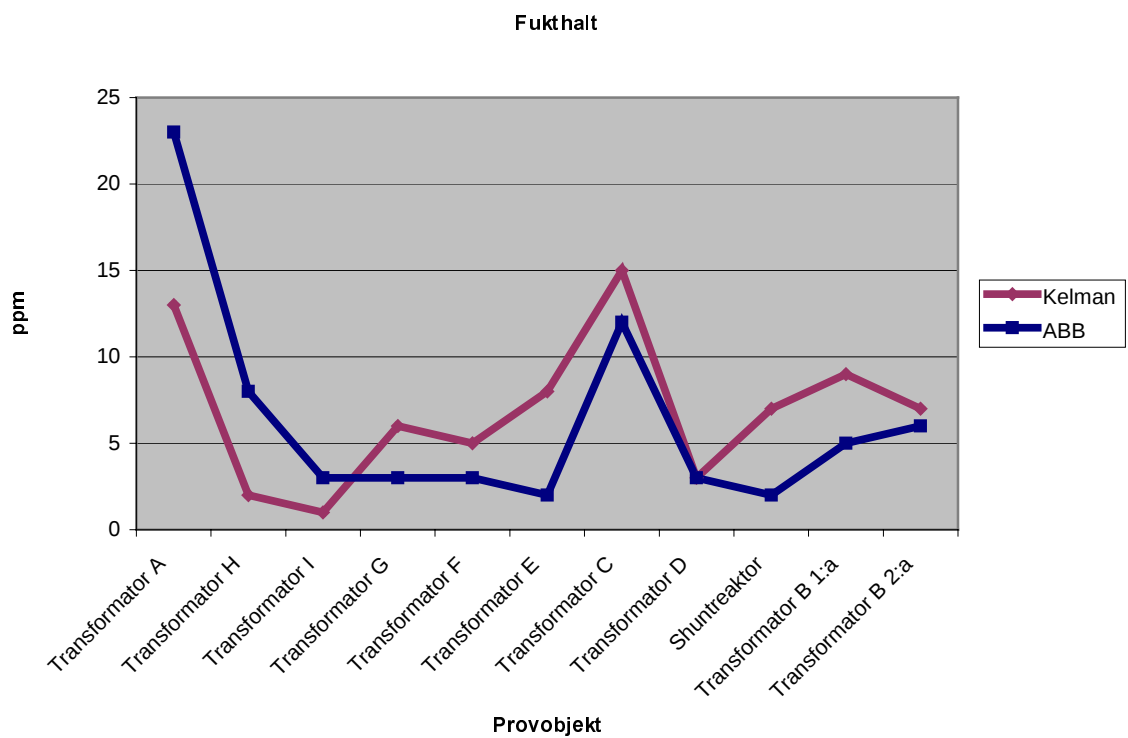
Kommentar: Kurvorna får betraktas följa varandra väl. En avvikelse är dock noterbar vad avser registreringen av Etna-halten i "Transformator I".

3.4.7 Acetylen



Kommentar: Kurvorna får betraktas följa varandra väl. Avvikelser kan dock noteras vad gäller utvecklingen i enheterna ”Transformatorerna H & I”

3.4.8 Fukthalt



Kommentar: Laboratorie- och fältundersökning följer varandra väl. Större avvikelser i fukthalt får betraktas som normala p.g.a. temperaturberoende.

4 Slutsatser

Uppdraget har visat att fältutrustning av typ Kelman Transport X är ett alldeles utmärkt instrument för att utföra gasanalys av transformatorolja i fält. Jämförande mätningar som utförts på laboratorium av ABB i Ludvika har fallit mycket nära de fältanalyser som genomförts. Baserat på historik och tidigare laboratorieundersökningar visar att såväl kontroll i fält som på laboratorium ligger i linje på vad man skulle ha förväntat sig i aktuellt resultat.

Min bedömning är att utrustningen är ett mycket bra komplement till traditionella kontroller och ger en ökad trygghet för anläggningsägaren. Utrustningen har ett stort värde i lägen då snabba gasanalyser behöver utföras eller då ökad kontroll behövs mellan de traditionella provtagningarna.

För en erfaren anläggningsägare med mycket god kunskap om transformator diagnostik kan en viss mängd laboratorieanalyser sannolikt ersättas genom att införskaffa en fältutrustning av typ Kelman Transport X. Detta kräver dock gedigen kunskap om såväl instrument som tolkning. En sådan anläggningsägare har dessutom möjligheten att kontrollera mindre transformator enheter som idag normalt inte gasanalyseras av kostnadsskäl. Mätinstrumentet har dessutom mycket god potential att bli ett utmärkt analysverktyg för att bedöma andra oljeisolerade apparater (brytare, lindningskopplare, mättransformatorer, genomföringar). För att göra sådana analyser och provtagningar krävs dock ingående kunskap om testobjektet och apparatens funktion.

För gemene man och den ordinära transformatorägaren vill jag rekommendera att fältkontroller utförs som komplement. Som argument för ett sådant ställningstagande står följande:

- Tolkning. Bedömning av gashalter, gasningstakt och referens till historik och transformator typer är en kunskap som tar lång tid att bygga upp. Min bedömning är att vanlige transformatorägaren behöver den tolkningshjälp som laboratoriet kan hjälpa till med.
- Antal gaser. Även om mätinstrumentet lyfter fram de gaser som är av avgörande betydelse för bedömningen av transformatorns inre funktion, finns det gaser som i en totalbedömning kan vara viktiga för ett ställningstagande. Exempel på sådan gas är syre, som förbrukas i händelse av ett smygande, inre fel.

Andra användare till Kelman Transport X, som författaren varit i kontakt med har uttryckt positiva kommentarer till instrumentets precision och användbarhet. Liksom all mätutrustning måste även den potentielle användaren av Kelman Transport X räkna med att utrustningen kan behöva kalibreras.

5 Referenser

- [1] Mårten Svensson; Claes Bengtsson; Matz Tapper "Isolationsunderhåll av krafttransformatorer" Elforskrapport 01:18; 2001
- [2] Dr Colin McIlroy " A Comparison of Photo-Acoustic Spectrometer and Gas Chromatograph Techniques for Dissolved Gas Analysis of Transformer Oil; EPRI Substation Equipment Diagnostics Conference New Orleans, LA, USA February 15 – 18, 2004
- [3] Dr Colin McIlroy "Photo-Acoustic Spectroscopy - A New Technique for Dissolved Gas Analysis in Oil"; EPRI Substation Equipment Diagnostics Conference New Orleans, LA, USA February 23 – 26, 2003
- [4] Lars Arvidsson, Västerås Petroleumkemi "Elektriska Apparaters Kemi", kurskompendium, 2002-02-12
- [5] S.D. Myers Inc., "Transformer maintenance guide"
- [6] Michel Duval, IREQ Kanada, Cigré Task Force 15-01-07 "New techniques for Dissolved Gas-in-Oil Analysis"; IEEE Electrical Insulation Magazine

Bilagor

A Gasextraktionstekniker enligt IEC 60567

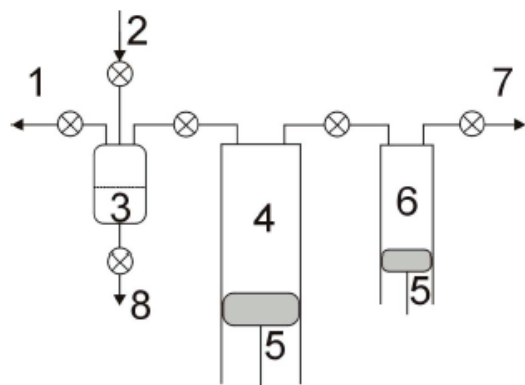


Figure 17a: Mercury-Free Toepler

1. Vacuum pump
2. Oil inlet
3. Oil sample
4. Gas extraction chamber
5. Piston
6. Gas compression chamber
7. To GC injection loop and detectors
8. Oil purge

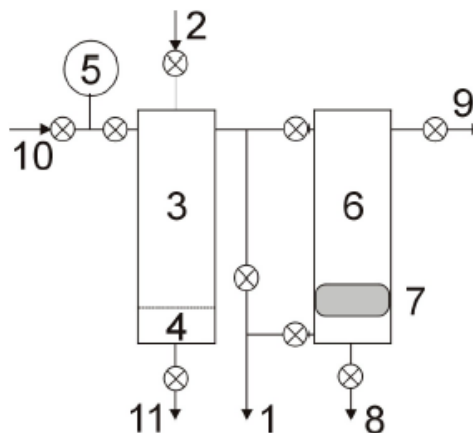


Figure 17b: Mercury-Free Partial Degassing

1. Vacuum pump
2. Oil inlet
3. Gas extraction chamber (glass)
4. Oil sample
5. Pressure gage
6. Gas compression chamber (glass)
7. Piston
8. Atmospheric air
9. To GC injection loop and detectors
10. Calibration gas
11. Oil purge

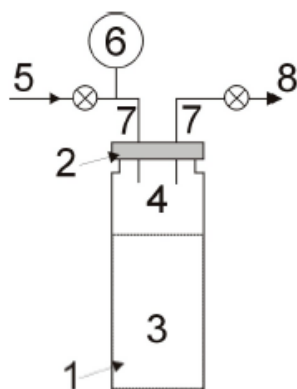


Figure 17c: HEAD SPACE

1. Vial
2. Septum
3. Oil sample
4. Gas phase (Ar or He)
5. Carrier gas (Ar or He)
6. Pressurization gage
7. Needle
8. To GC injection loop and detectors

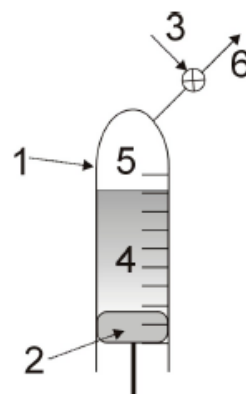


Figure 17d: SHAKE TEST

1. Precision syringe
2. Piston
3. Oil / Air inlet
4. Oil sample
5. Gas phase (Air)
6. To GC injection loop and detectors

Figure 17: Schematic representation of methods in Annex C

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31

Telefon: 08-677 25 30. Telefax 08-677 25 35

www.elforsk.se