



Sensorer för onlinebestämning av fordons- gaskvalitet

(Sensors for online determination of CNG gas quality)

Ola Stenlåås, Henrik Rödjegård

Svenskt Gastekniskt Center AB, SGC

Förnybara energigaserna såsom biogas ses alltmer som centrala i den stora utmaning samhället står inför vad gäller omställningen från ett fossilt till ett förnybart energisystem. Särskilt stor är utmaningen inom transportsektorn där också energigaserna utgör ett mycket attraktivt alternativ. Genom kollektivforskningsprogrammet *Energigastekniskt utvecklingsprogram* från Energimyndigheten förfogar SGC under perioden 090401–130331 över en påse pengar att fördelas på olika programområden. Programverksamheten är uppdelad i fem områden och leds av varsin programansvarig person på SGC.

Programområdena är *Energigas användning/ Miljö, Biogasteknik, Förgasning och Metanisering, Distribution och Lagringsteknik* samt *Gasformiga drivmedel*.

Myndighetsbeslut om Energimyndighetens medfinansiering i projekt fattas av *Beslutsnämnden*, som består av 7 ledamöter, där 3 föreslås av SGC:s styrelse, 3 av Energimyndigheten och 1 är anställd på Energimyndigheten.

Energimyndighetens syfte Energigastekniskt utvecklingsprogram är *"att stärka kunskap och erfarenheter av gasformiga bränslen och dess användning"*. Detta ska ske genom forskning, utveckling och demonstration. Projekt inom ramen för kollektivforskningsprogrammet redovisas i SGC:s rapportserie och görs allmänt tillgängliga. SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat eller dylikt i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan. En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC:s hemsida www.sgc.se.

För den som vill skaffa sig en överblick över kunskapsläget om energigaserna, deras framställning, användning etc. hänvisas till publikationsserien GasAkademin där handböcker finns inom områdena Energigasteknik, Industriell energigasteknik, Energigaserna och miljö, Energigaserna – En översikt, Energigaserna – Regelverk och standarder, Gasernas egenskaper, Gasanvändning i bostäder och lokaler, Energigaserna – Produktion, transport och lagring samt Gasdrift av fordon. För mer information hänvisas till www.gasakademin.se.

Svenskt Gastekniskt Center AB med säte i Malmö bildades år 1990. Bolaget koordinerar forskning, utveckling och demonstration inom energigasområdet. SGC ägs av Energigas Sverige, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Det här projektet har finansierats av SenseAir AB, Scania AB, Göteborg Energi AB, Öresundskraft AB, E. On Gas Sverige AB, Lunds Energikoncernen AB, Stockholm Gas AB, Danskt Gastekniskt Center A/S och Energimyndigheten.

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Martin Ragnar
Verkställande direktör

Postadress och Besöksadress
Scheelegatan 3
212 28 MALMÖ

Telefonväxel
040-680 07 60

Telefax
0735-279104

E-post
info@sgc.se

Hemsida
www.sgc.se

Förord

Studien kring "Sensor för fordonsgaskvalitet" har genomförts av Scania AB och SenseAir AB. Scania har bidragit med kravspecifikation och förutsättningar för en bilmonterad sensor för mätning av kvalitén hos den fordonsgas bilen tankas med. SenseAir har bidragit med erfarenheter kring gassensorproduktion och konstruktion samt IR-spektroskopi.

Projektet genomfördes under våren och försommaren 2012 och avrapporterades den 29 juni.

Ansvariga för studien på de respektive företagen var:
Ola Stenlåås, Scania AB
Henrik Rödjegård, SenseAir AB



Sammanfattning

Svensk fordonsgas har fram tills idag varit mycket homogen med hög kvalitet som fordonsbränsle. I övriga Europa varierar kvaliteten på fordonsgas kraftigt. Gas från olika källor med olika antändbarhet kräver att motorinställningarna justeras efter gasens unika sammansättning.

Förutsättningarna för en fordonsmonterad sensor baserad på IR-teknologi för gaskvalitetsmätning har undersökts och lösningar har presenterats tillsammans med frågeställningar som måste besvaras i ett eventuellt fortsatt arbete.

För fordonsmontage föreslås en sensor baserad på två kanaler varav den ena mäter partialtrycket av metan och den andra mäter partialtrycket av tyngre kolväten i "butanekvivalenter". Etan ger en signal av ca 0.6 butanekvivalenter och propan ca 0.8 butanekvivalenter. Sensorn kan rymmas i en kub med ca 5 cm sida och bör förses med nippelanslutningar mot befintligt system. Den är uppbyggd kring en 0.5 mm tjock kavitet mellan två glasplattor där IR-ljuset sänds genom glaset. På så sätt isoleras gassystemet fullständigt från sensorelektroniken.

Sensorn förväntas kunna arbeta under hela sin livstid utan manuell kalibrering tack vare kontinuerlig automatkalibrering så kallad ABC (Automatic Baseline Compensation). Mätnoggrannheten förväntas vara tillräcklig för att kunna bestämma de olika gashalterna inom någon procentenhet. Sensorns svarstid förväntas vara något tiotal sekunder med enbart diffusion till mätkammaren.

Sensorn kommer att behöva uppfylla tuffa kvalitets- och miljökrav där framförallt kontaktering, vibrationer och förebyggande åtgärder för läckage pekas ut som extra besvärliga. Arbetstemperaturer samt de elektriska förutsättningarna med matningsspänning och kommunikationsinterface betraktas som mindre utmanande.

I miljonvolymen förväntas kostnaden per sensor kunna bli 200 till 300 SEK med en utvecklingstid på 2 till 3 år och en utvecklingskostnad >10 MSEK.

Ett system med fler kanaler och lindrigare miljökrav har ytligt berörts. Ett sådant system skulle kunna monteras på gasmacken för bestämning av gasens kvalitet innan tankning.

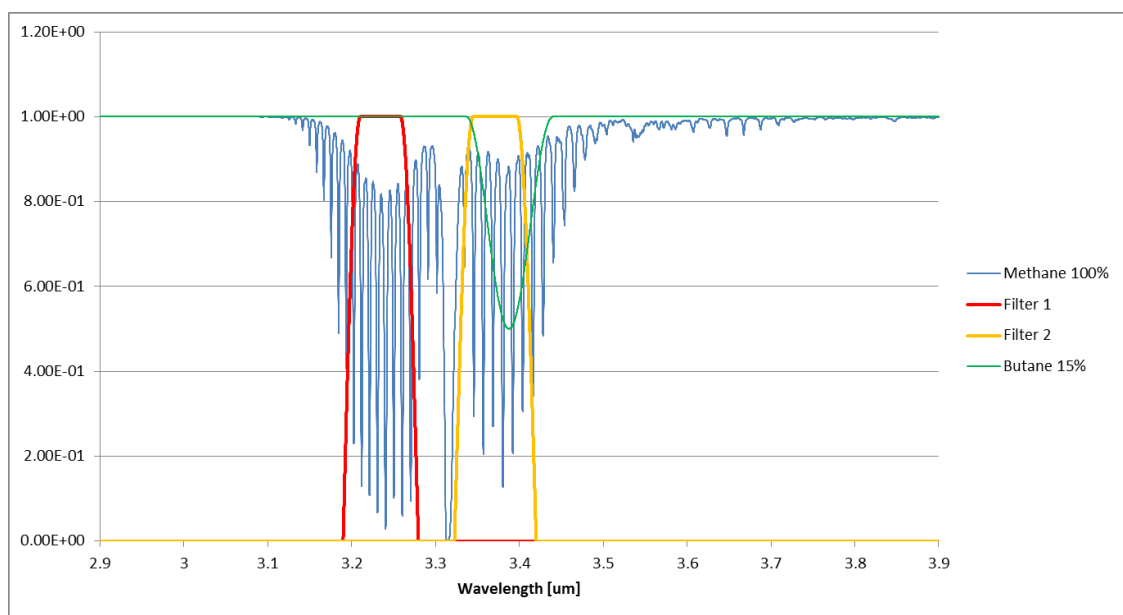


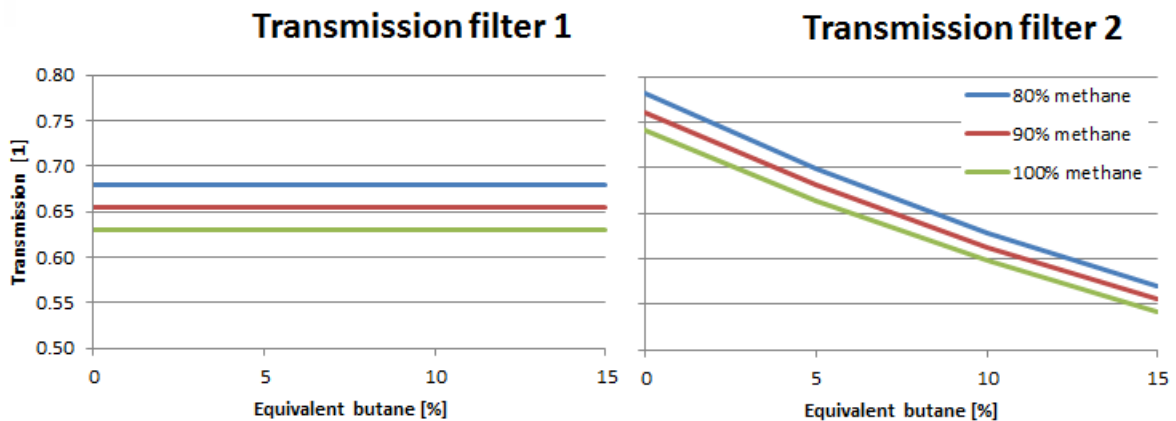
Summary in English

The composition of methane containing gas for use in vehicles varies strongly between different sources such as different natural gas fields and biogas reactors. The amount of, and relation between, methane and heavier hydrocarbons determines how easily the gas ignites in the engine. A gas constitution sensor for integration within the vehicle fuel system has been investigated within this study. Such a sensor will allow the engine to adopt its settings to the fuel before the engine starts.

The proposed solution is based on NDIR-technology (Non Dispersive Infra Red). Here a two channel solution is proposed where one channel senses the partial pressure of methane while the other channel senses the heavier hydrocarbons in butane equivalents. Here ethane is sensed as approximately 0.6 butane equivalents and propane 0.8 butane equivalents. The system will be capable to establish the amount of methane and heavier hydrocarbons in the fuel within 1 % unit accuracy.

The transmission spectrums of methane and butane as well as two IR-filters for two channel detection have been used for simulation of the system. The system is supposed to work at about 10 bar pressure with an optical distance for the IR-light of 0.5 mm. The spectrums as well as the simulated signals are plotted in the figures below.

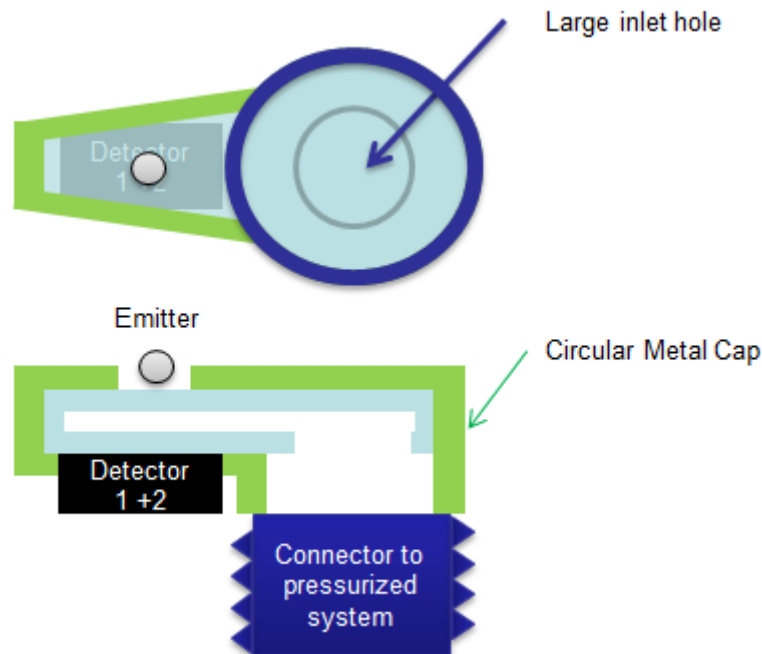




The signal from filter 1 gives the amount methane while the other filter gives the amount of heavier hydrocarbons after compensation for the methane content.

The sensor can be designed for calibration free operation using automatic baseline compensation. The proposed method is to correctly compensate for a certain target and allow the engine control unit to make the final offset compensation. This will allow the system to work with one way communication. More advanced baseline corrections can be implemented using either pressure modulation of the fuel or using data from the running engine. However, such methods require two way communications.

The sensor can be built from two glass plates with 0.5 mm distance where the gas enters between the glass plates as illustrated in the sketch below.



The sensor can be housed within a 5 cm cube and connected to the existing fuel system using T-connector with a 12 mm swage-lock nipple. The response time is limited by gas diffusion, and will be in the order of 10s.



Issues that must be carefully considered in future studies are:

- How to protect the sensor from the harsh environment such as vibration and salt spray.
- How to integrate a sufficiently reliable connector.
- How to prevent gas leakage if the gas cavity breaks.

One must also decide which communication interface to use, analogue voltage, PWM (Pulse Width Modulation) or CAN (Controller Area Network). All are possible but only CAN offers two-way communications. PWM can be implemented at a lower cost. Further on, the sensor must be protected to over-voltage at the supply line. Over-voltage protection circuits are suggested.

In volumes >1 M sensors/year the cost per sensor is estimated to be between 200 and 300 SEK. The development of such a sensor will typically require 2-3 years and a development budget >10 M SEK. In low volume of about 10 k sensors/year the estimated unit cost is about 1 000 to 2 000 SEK.

Also more advanced systems with several channels have been briefly discussed. Such a system can better characterize the composition of the gas, discriminating more substances. The cost will be higher for such a system but it is suitable for use at the gas stations for determination of the gas quality. Such a system will be exposed to a friendlier environment compared to the vehicle chassis and does not have to fulfill the automotive quality standards. However, there are still issues regarding high pressure and maintenance free operation that must be solved. The price of such a system is expected to be in the range 2 000 to 5 000 SEK.



Innehåll

1. Bakgrund.....	8
Fordonsgas som motorbränsle	8
2. Prestandabehov för fordonsmonterad fordonsgassensor.....	9
Alternativ 1.....	9
Alternativ 2.....	10
Kommunikation med sensorn	10
3. IR-mätning och spektroskopi.....	11
Våglängdsval	11
Antal kanaler.....	14
4. Automatkalibrering och självdiagnos	17
5. Miljöpåkänningar	18
6. Elektriska gränssnitt	19
Matningsspänning.....	19
CAN	19
Andra gränssnitt.....	20
7. Sensoruppbyggnad	21
8. Ekonomiska förutsättningar	22
9. Literature/Referenser	23
IR-spektrum	23
Standarder	23
Appendix 1	24



1. Bakgrund

Svensk metangas för fordonsbruk (hädanefter benämnd fordonsgas) har fram tills idag varit mycket homogen med hög kvalitet som motorbränsle. Fordonsgasen har främst importerats från norska och danska naturgasproducenter. I övriga Europa varierar kvaliteten på marknaden förekommande fordonsgas kraftigt. Gas från källor i Nordsjön blandas med gas från östeuropeiska källor och lokalt producerad biogas och stadsgas.

Målet med studien är inte primärt att ta fram en sensor för mätning av ämnes-sammansättningen i fordonsgas, även om detta naturligtvis skulle ge fördelar och det därför finns uppbrutet som en del i målbilden. Huvudmålet är att ta fram en sensor som kan förutsäga fordonsgasens förbränningstekniska egenskaper och kvalitet som fordonsbränsle. Denna egenskap benämns i rapporten som fordonsgaskvalitet.

Begreppet fordonsgas är i denna rapport avgränsat till naturgas, stadsgas, biogas och andra gasformiga bränslen för fordonsbruk som i huvudsak innehåller kolvätena metan till butan (1-4 kolatomer) som värmevärdesgivande komponenter.

Fordonsgas som motorbränsle

Fordonsgasens kvalitet som motorbränsle påverkar en gasmotors beteende genom i huvudsak tre egenskaper; benägenhet för spontan antändning vid kompression (knackbenägenhet), benägenhet för antändning av gnista (antändbarhet) och energiinnehåll (värmevärde, Wobbeindex).

Fordonsgas, liksom alla bränslen, knackbenägenhet är starkt kopplad till gasens andel av tyngre kolväten. Även kolvätenas greningsgrad och andel dubbel/trippelbindningar inverkar generellt men är av mindre betydelse för fordonsgas då få komponenter tyngre än butan förekommer. Knackbenägenheten är även kopplad till gasens totala kolväteinnehåll och till dess termiska tröghet.

Då värmevärdet för gas mäts per volymenhet (vid specificerat tryck och temperatur) så kommer fordonsgas värmevärde att påverkas av balansen mellan metan och längre kolväten. Energiinnehållet uttrycks normalt som Wobbeindex (Ekv. 1).

$$W = Q_{\text{lhv}} / \sqrt{(\rho/\rho_{\text{luft}})} \quad (\text{Ekv. 1})$$

Där W betecknar Wobbeindex, Q_{lhv} är lägre värmevärdet och densiteten för gasen respektive luften uttrycks som ρ respektive ρ_{luft} .

För stadsgas och biogas kan också stora mängder inerta ämnen, såsom kvävgas och koldioxid, ingå. Inerta ämnen ingår även i naturgas men i begränsad (<5%) mängd. Andelen inert gas kommer att påverka gasblandningens värmevärde negativt och leda till ett sänkt Wobbeindex.

Antändbarheten (med tändstift) för en fordonsgas påverkas också av sammansättningen. Med undantag för vätgasinnehållet så ses dock praktiskt mycket små effekter vid de lambda (lambda: luftmängdöverskott relativt stökiometrisk luftmängd) och EGR-halter (EGR: Exhaust Gas Recirculation,



avgasåterföring) som Scania normalt använder sig av och i vidare diskussioner kommer detta fenomen därför inte att beröras.

2. Prestandabehov för fordonsmonterad fordonsgassensor

Då målbilden för fordonsgassensorer ställs upp utkristalliseras två fall, hädanefter benämnda Alternativ 1 och Alternativ 2. Alternativ 1 beskriver en mer potent, men också en mer komplicerad, och därmed en potentiellt dyrare, sensor med kapacitet att mäta både kvalitet och sammansättning. Alternativ 2 beskriver ett enklare och billigare alternativ för främst kvalitetsmätning. Det skall understrykas att bägge alternativen är av intresse för fordonbruk även om Alternativ 1 naturligtvis är intressantare än Alternativ 2 givet att pris/prestanda balansen är motiverbar (se kapitel 8).

Alternativ 1

Sensorn som specificeras i Alternativ 1 bedöms klara av att mäta koncentrationer av relevanta gaser och beräkna alla de tre ovan diskuterade effekterna (antändbarhet, värmevärde och knackbenägenhet). Specifikationen anges i Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Prestandaspecifikation alternativ 1

Komponent	Spann Optimalt	Spann Minimalt	Noggrannhet (mål, % _{enhet})	Enhet
Vätgas	0-10	0	±1	% _{vol}
Metan	70-100	85-100	±2	% _{vol}
Etan	0-10	0-10	±1	% _{vol}
Propan	0-5	0-5	±0,5	% _{vol}
Butan (I & N)	0-2	0-2	±0,2	% _{vol}
Kvävgas	0-7	0-7	±1	% _{vol}
Koldioxid	0-35	0-15	±1	% _{vol}
Wobbeindex	40-55	40-55	±1	MJ/Nm ³



Alternativ 2

Sensorn beskriven i Alternativ 2 är en förenklad design vars mätta storhet är knackbenägenhet och energivärde. Specifikationen anges i Tabell 2 nedan.

Tabell 2. Prestandaspecifikation alternativ 2

Komponent	Spann Optimalt	Spann Minimalt	Noggrannhet (mål, % _{enhet})	Enhet
Metan	70-100	85-100	±2	% _{vol}
Antal kol i högre kolväten (Etan, Propan och Butan)	0-15	0-15	±1	% _{vol}
Inert (Kvävgas och Koldioxid)	0-40	0-20	Metan gränssätter	% _{vol}
Wobbeindex	40-55	40-55	±1	MJ/Nm ³

Kommunikation med sensorn

Normalt använda gränssnitt (interface) är voltsignal, PWM (Pulse Width Modulation) och CAN (Controller Area Network). Nedan följer en kort introduktion till de olika kommunikationsvägarna.

Voltsignal

En voltsignal mellan noll och fem volt är den mesta använda kommunikationsmetoden för enklare sensorer och enkla el-ställdon. Av de fem volten är normalt intervallet 0,5-4,5 V reserverat för signalöverföring. Intervallet över och under används för att detektera kortslutning och avbrott samt om sensorn är utanför sitt mätområde. En voltsignal bär normalt endast en sensorsignal och därmed krävs flera ledare för förmedling av multipla signaler.

Pulse Width Modulation

Pulse Width Modulation (PWM) signalen är en frekvensburen signal. En PWM-signal bär normalt endast en sensorsignal och därmed krävs flera ledare för förmedling av multipla signaler.

Controller Area Network

Controller Area Network (CAN) är en standard för digital signalöverföring. Standarden tillåter flera signaler att sändas i ett meddelande. En nackdel med CAN är att signalen normalt inte är tidsdeterministisk, vilket innebär att man inte kan vara säker på att ett sänt meddelande tagits emot då det kan ha prioriterats bort till förmån för ett annat med högre prioritet. Normalt används standarden J1939 (3).



3. IR-mätning och spektroskopi

SenseAir baserar alla sina gasmätare på NDIR-principen (Non Dispersive Infra Red) där en puls infrarött ljus skickas genom gasen och detekteras av en IR-detektor försedd med ett smalbandigt optiskt filter. Filtervåglängden anpassas till den specifika gasens IR-absorption och därigenom kan olika gaser selektivt detekteras. En förutsättning är såklart att inga andra närvarande gaser har absorption i samma våglängdsområde.

NDIR-tekniken är väl etablerad i lågkostnadssystem för detektion av koldioxid. Till skillnad från andra gassensortekniker är NDIR-tekniken känd för sina robusta egenskaper som lång livstid, självkalibrering, låg korskänslighet för andra gaser samt att den inte kan förgiftas med andra gaser. Till nackdelarna hör att alla gaser inte har ett IR-spektrum som lämpar sig för IR-mätning samt att andra tekniker ibland är både mindre till storlek och billigare att tillverka. Trenden är dock att kostnaden för IR-teknik konstant reduceras och allt oftare kan konkurrera med till exempel halvledarbaserade sensorer.

IR-sensors reaktion på en mätbar gas är, inom rimliga variationer från design målet för sensorn, beroende av mängden gas mellan ljuskälla och detektor. Detta innebär att ändringar i gasens totalkoncentration direkt ger utslag på sensorns signal. Vidare är under vissa omständigheter gasens förmåga att absorbera IR-ljus tryck- och temperaturberoende. Av denna anledning måste gasens tryck och temperatur vara kända. En temperatursensor är normalt integrerad i den föredragna sensorn och trycket vid sensorn kan antas känt då det regleras av en regulator (och även mäts i många fall).

Våglängdsval

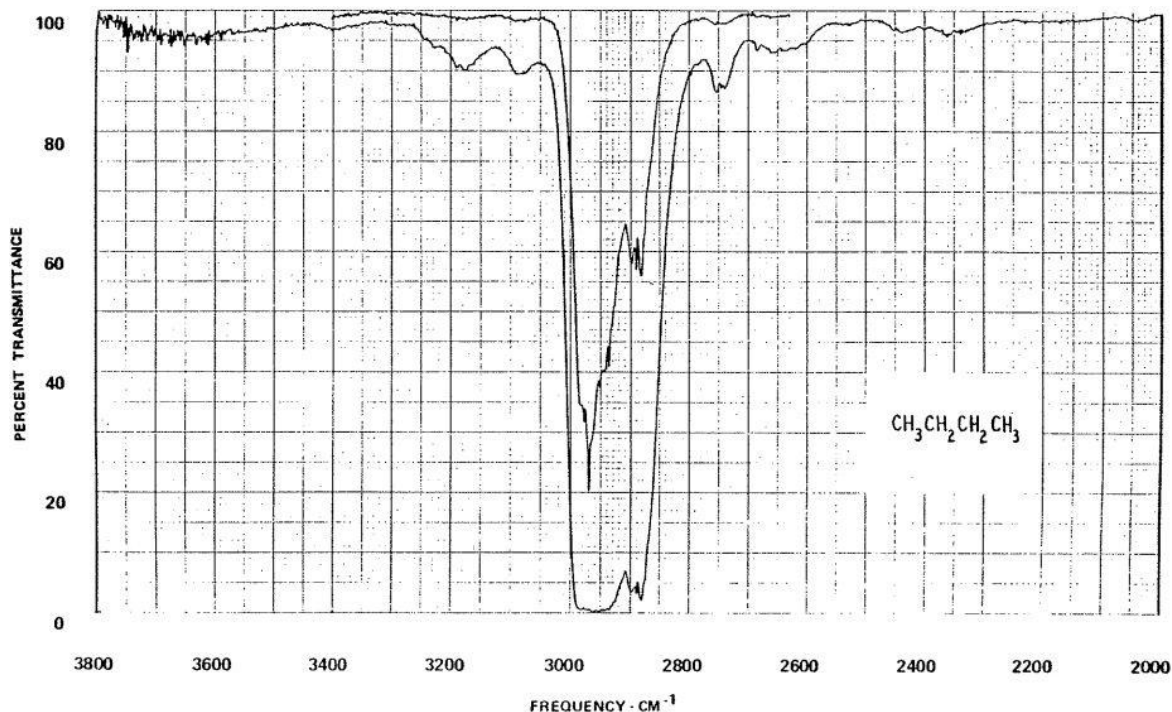
Appendix 1 innehåller inskannade IR-spektrum för metan, etan, propan, butan och isobutan från referens (1). Alla dessa kolväten har en resonans runt 2950 cm^{-1} ($3.4\text{ }\mu\text{m}$). IR-absorptionen kommer från en molekylresonans mellan väte och kol och dess intensitet beror på antalet väteatomer i molekylen. Alltså ger de tyngre kolvätena en starkare signal.

Resonanserna runt vågtal på 1450 cm^{-1} ($6.9\text{ }\mu\text{m}$) är betydligt svårare att utnyttja trots att de har en lägre, i det här fallet en mer gynnsam, absorption. Anledningen till att den våglängden är mindre lämplig beror på att IR-källor för långa våglängder är dyrare och mindre robusta då de inte kan skyddas i en glasbubbla eftersom glas blockerar IR-ljus. För våglängder kortare än $4.5\text{ }\mu\text{m}$ kan lågkostnads-miniatyrglödlampor användas. Vidare orsakar vattenmolekylens resonans runt $7\text{ }\mu\text{m}$ interferensproblem om man inte helt kan stänga ute vattenånga från mätsystemet.

En lämplig optisk vägsträcka kan grovt beräknas som att 50% av ljuset skall absorberas. I Figur 1 kan vi se att för butan har vi ca 50 % absorption vid 10 cm optisk väg och ett partialtryck på 5 mm Hg. För att få 50 % absorption vid 10 bar och 15 volym % så kan man utifrån allmänna gaslagen se att det är lämpligt med en optisk väg om ca 0.5 mm. En så kort vägsträcka skiljer sig markant från det

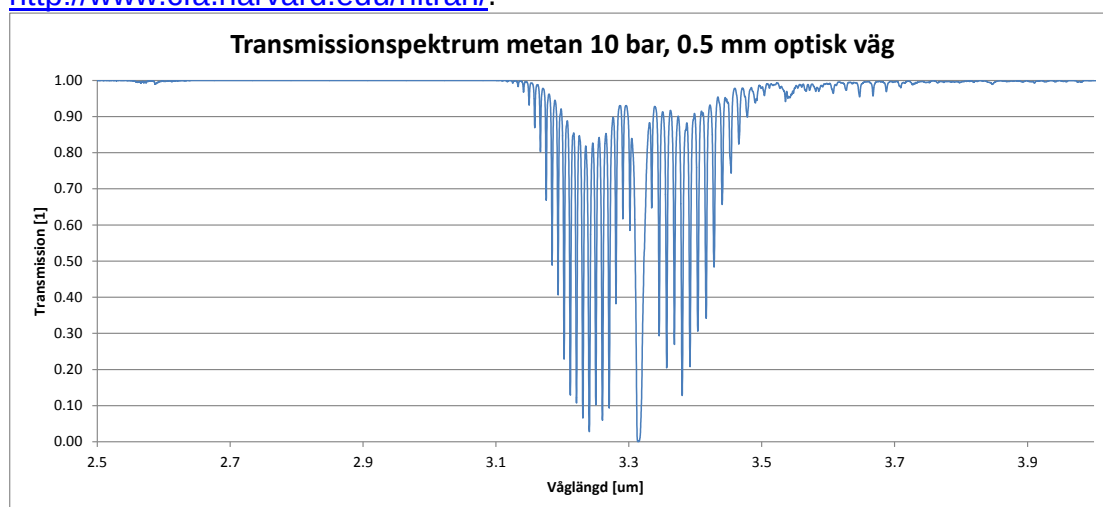


SenseAir normalt arbetar med. SenseAirs normala intervall av sträckor ligger mellan 3 och 1300 mm. Den korta vägsträckan kommer att kräva realisering av nya hittills oprovade idéer gällande sensorns uppbyggnad.



Figur 1. IR-spektrum för butan från "Sadler, Gases and vapours" (1). Våglängd 10 cm, tryck 50 mm Hg respektive 5 mm Hg.

I Figur 2 nedan finns ett spektrum för 10 bar 100% metan och 0.5 mm vägsträcka. Det är framtaget från den teoretiska, men mycket väl fungerande och allmänt accepterade HITRAN-modellen (**h**igh-resolution **t**ransmission molecular absorption database). HITRAN-databasen (2) är offentlig och återfinns på <http://www.cfa.harvard.edu/hitran/>.



Figur 2. HITRAN-data med transmissionsspektrum för 100 % metan och 0.5 mm vägsträcka.

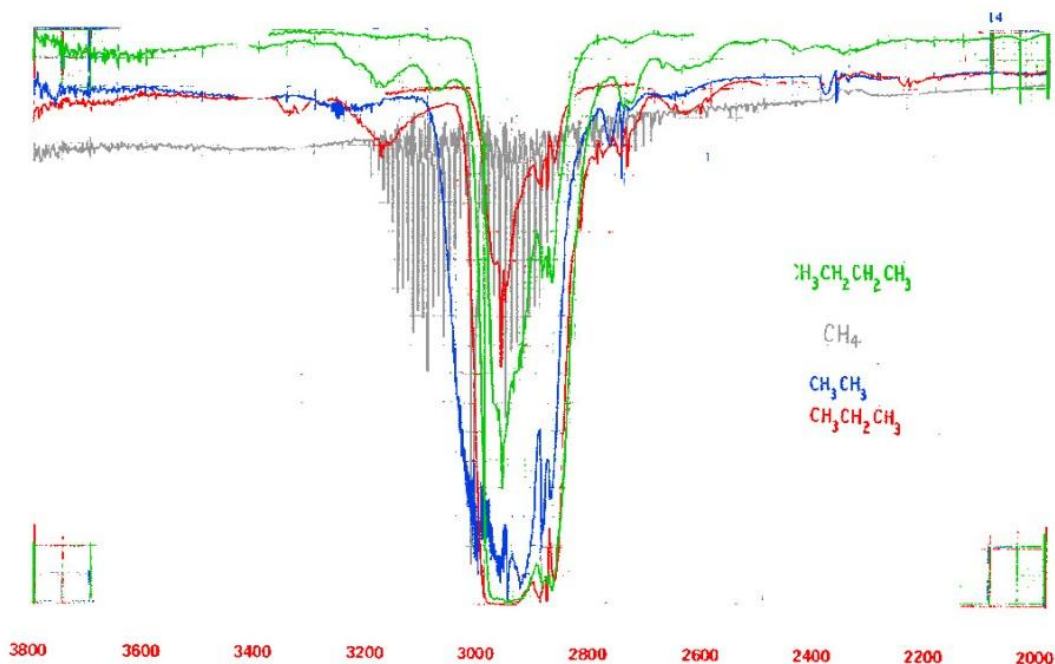


Metanspektrumet består av diskreta fransar vilket gör det möjligt att detektera andra kolväten mellan fransarna. Som man ser i spektrumet ovan finns det trots fransarnas tryckbreddning vid 10 bar fortfarande gott om utrymme mellan fransarna för mätning av tyngre kolväten.



Antal kanaler

I Figur 3 nedan syns en överlagrad bild av metanspektrum och de tyngre kolvätena.



Figur 3. Överlagrade spektrum av metan, etan, propan och butan. Alla är skannade med 10 cm optisk väg och 50 mm Hg partialtryck. Propan och butan har dessutom skannats med 5 mm Hg partialtryck.

Som man ser kan man använda den vänstra delen av metanspektrumet för detektion av metan utan störning från tyngre kolväten och den högra delen för detektion av de tyngre kolvätena mellan metanets fransar. Således bör ett tvåkanalsystem kunna fungera och vara den mest ekonomiska lösningen till Alternativ 2 som finns beskrivet i andra kapitlet. Systemet blir då kapabelt att mäta mängden metan och den viktade mängden tyngre kolväten. Till viss del kan man även få en uppskattning av mängden inerta gaser. Notera att det inte entydigt går att få ut mängden inerta gaser utan att exakt veta sammansättningen av tyngre kolväten. Man kan betrakta det som att sensorns utsignal är partialtrycken av metan och "butanekvivalens". Butan är då 1 butanekvivalens, propan ca 0.8 butanekvivalenter och etan ca 0.6 butanekvivalenter.

Alla kolväten har IR-absorption i området runt 3000 cm^{-1} och sensorn kommer att ha korskänslighet för andra kolväten. Dock krävs höga koncentrationer för att ge en betydande signal vid så kort mätsträcka som 0.5 mm. Övriga gaser, utan kolinnehåll, såsom vätgas, koldioxid och kvävgas, som normalt också förekommer i fordonsgas, ger ingen signal i det diskuterade våglängdsområdet.

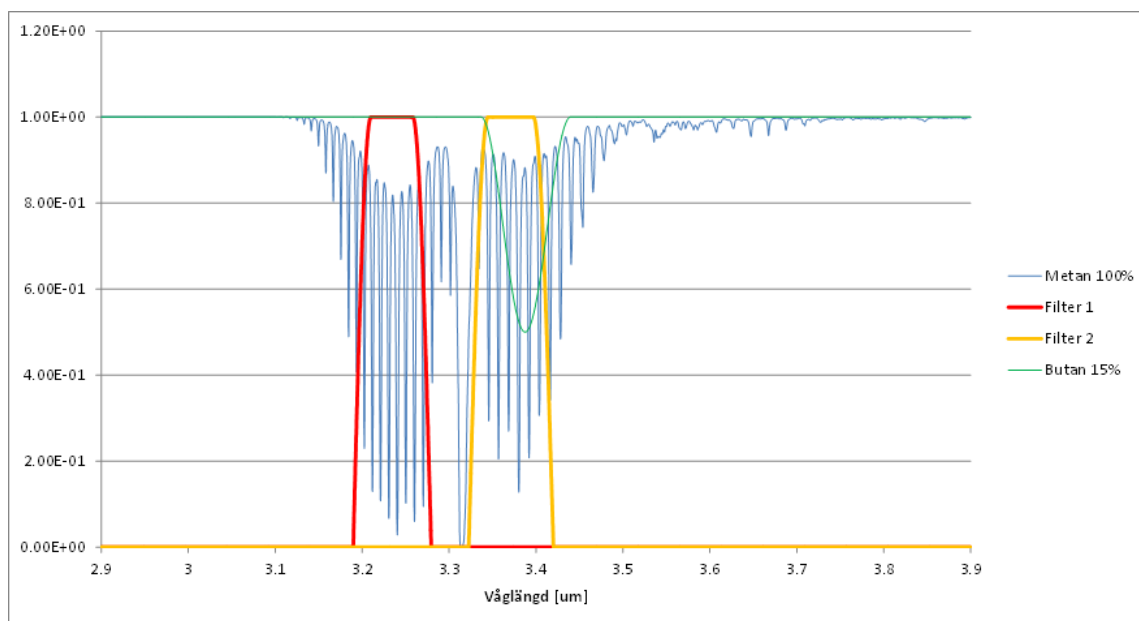
För Alternativ 1 i kapitel 2, som skall kunna upplösa och särskilja många olika kolväten, ser vi idag ingen lågkostnadslösning utan bara betydligt dyrare varianter med många detektorer som mäter på flera våglängder. I de fall man kan acceptera



en sensorkostnad på några tusen SEK istället för några hundra SEK är det dock en fullt rimlig lösning. För mätning av gaskvalitet, eller gasens sammansättning, hos t.ex. gasproducenter eller på tankställen är det en fullt rimlig lösning som kan undersökas vidare. Dock är det idag inget rimligt alternativ för montering i fordon.

Oavsett om man gör ett system med två eller fler kanaler så kommer varje kanal att addera extra kostnad till systemet i form av extra detektorer och optiska filter. För att spara kostnad kan man tidsmultiplexa många av hårdvarans funktioner eftersom mätningen inte är tidskritisk. Vi kan därför återanvända samma analogkedja och A/D-omvandlare till alla kanaler.

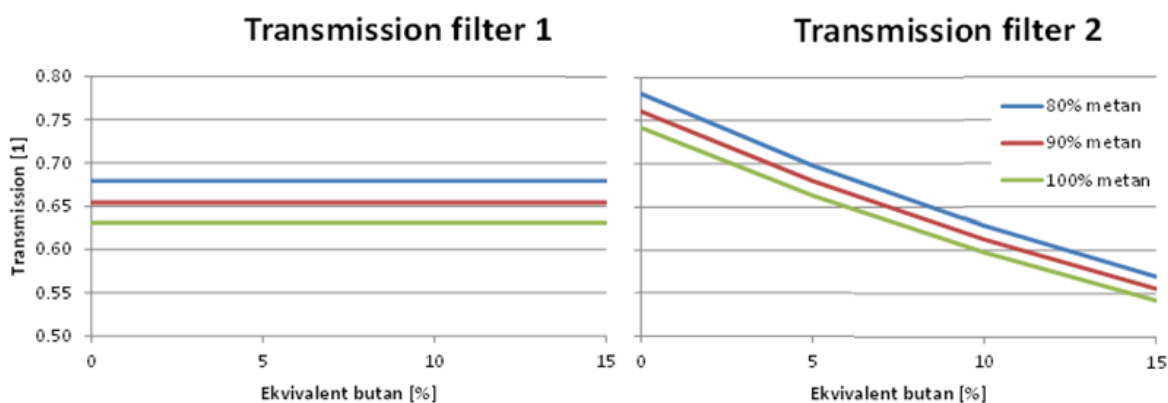
Figur 4 visar modelldata för ett enkelt tvåkanalsystem för mätning enligt Alternativ 2.



Figur 4. Filterval samt metan- och butanspektrum som modell för beräkningar på ett tvåkanalsystem.



Vi kan ovan se metanspektrumets transmission vid 0.5 mm väg och ett tryck på 10 bar från HITRAN-data. Vi ser även en enkel anpassad modell för transmissionen i 15% butan, 10 bar och 0.5 mm väg. I grafen finns även transmissionen för två optiska filter där ett är valt att ligga på den vänstra halvan av spektrumet och den andra på höger halva. Figur 5 nedan visar beräkningsresultatet baserat på indata visat i Figur 4.



Figur 5. Beräknat signalsvar hos de två kanalerna med indata från Figur 4.

Eftersom det anpassade butanspektrumet inte alls överlappar det vänstra filtret (filter 1) kommer den kanalen att vara helt okänslig för butan. I den vänstra plotten ovan kan man se att vi med tjugo procentenheters förändring av metanhalt får en signalförändring om ca fem procentenheter. Noggrannheten över hela temperatur- och koncentrationsintervallet för den här typen av system brukar för SenseAirs sensorer ligga runt en procentenhet i signal. Det skulle innebära en noggrannhet i mätningen på runt fyra procentenheter i metanhalt. Dock går det att förbättra det genom att införa tätare automatkalibrering eller restriktioner i mätområdet. Normalt konstrueras SenseAirs sensorer med mätområde från noll till fullt område och med 1 års kontinuerlig drift utan automatkalibrering. Om vi kan acceptera att bara mäta mellan 70 % och 100 % metan samt regelbunden automatkalibrering bör vi kunna uppnå en mätnoggrannhet på någon procentenhet.

Det högra filtret (filter 2) överlappar både metanets och de tyngre kolvätenas absorptionsspektrum och kommer därför att vara känsligt för båda gaserna. Metankänsligheten går enkelt att kompensera bort med signalen från filter 1. Kvar blir en signal som har en absorption på omkring två procentenheter för varje procentenhet butan. Här går det således bra att mäta butan med ca en halv procentenhets noggrannhet. För etan, som har färre väteatomer än butan, blir känsligheten ca 40% lägre. Även etan och propan bör därför kunna detekteras med en noggrannhet bättre än en procentenhet.



4. Automatkalibrering och självdiagnos

I dagens CO₂-sensorer från SenseAir används ABC-funktionen (Automatic Baseline Compensation) för kontinuerlig automatkalibrering vilket ger 15-års drift utan behov av kalibrering. En sådan funktion förutsätter att sensorn regelbundet utsätts för en känd miljö. I CO₂-fallet används friskluft för automatisk kalibrering då det är den lägsta platån systemet normalt utsätts för under en veckas period. I ett bränslesystem kan man tänka sig några olika metoder för att uppnå kalibreringsfrihet.

Enklast och mest praktiskt är att sensorn själv automatkalibrerar sig mot signalernas medelvärden under en lång tid och förutsätter en ideal bränsleblandning, förslagsvis 100 % metan och 0 % tyngre kolväten. Sensorn kommer då att leverera värden som har ett litet "offset"-fel men i övrigt är korrekt driftkompenserade och har full noggrannhet. Motorstyrningen kan utifrån senaste periodens driftdata linjärt kompensera för sensorns "offset"-fel. Motorstyrningen kan dessutom från kännedom om trycket i systemet tryckkompensera sensorns ut signaler. Den här metoden kräver endast enkelriktad kommunikation mellan sensor och motorstyrning.

Det andra alternativet är att motorstyrningen under drift rapporterar data om bränslet till sensorn som kan användas för kalibrering. Detta kräver dock dubbelriktad kommunikation och att motorstyrningen kan extrahera data i rätt form om bränslets sammansättning för sensorns kalibrering.

En tredje variant är att man temporärt ändrar trycket i systemet. Utifrån kännedom om tryckförändringen och vetskapen att bränslesammansättningen är konstant kan man extrahera parametrar för kalibrering. Även den metoden kräver dubbelriktad kommunikation då sensorn inte innehåller någon egen trycksensor.

Det är svårt att låta motorstyrenheten helt stå för automatkalibreringen eftersom den måste göras i sensorn innan signalerna linjäriseras och kompenseras.

SenseAirs sensorer innehåller alltid någon form av självdiagnos som täcker upp alla vanliga fel. Självdiagnosen upptäcker om något i mätsignalens signalkedja fallerar eller om signalnivåerna faller utanför förväntat område.



5. Miljöpåkänningar

Sensors naturliga placering på lastbil är integrerad med eller i närheten av tryckreduceringsventilen. Tryckreduceringsventilen sitter i framkant av bränsletanken och har uppgiften att reducera gastrycket från tanktryck (maximalt 200 bar) till de ca 10 bar som insprutningssystemet arbetar med. Tryckreduceringsventilen sitter, för vissa avgassystemskonfigurationer, direkt över avgasröret.

Sensorn kommer som chassimonterad att sitta utsatt för väder och vind. Sensorn måste därför vara helt tät, d.v.s. uppfylla IP6K9K och klara ISO 20653 (5, 6), även för högtryckstvättning, och den måste tåla biltvättprodukter som bilschampo och avfettningsmedel.

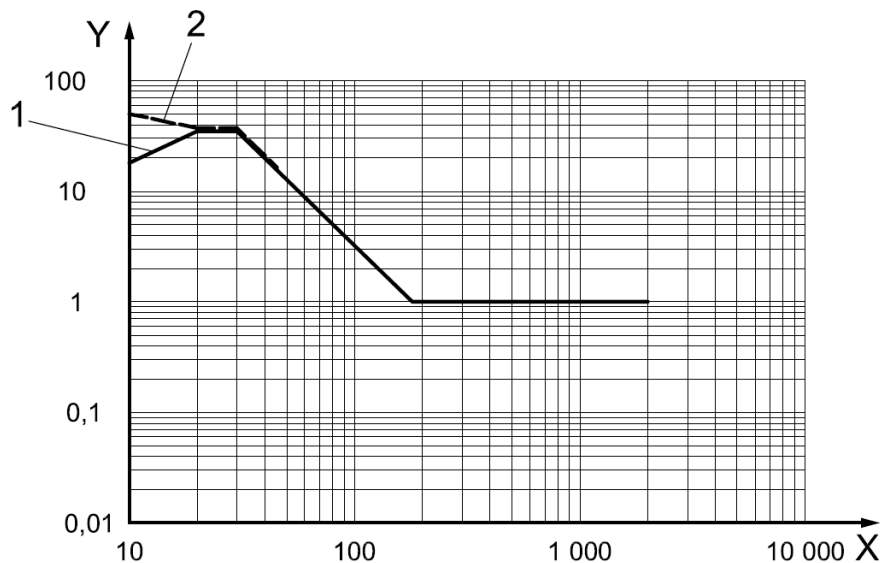
Sensorn kommer också att kunna träffas av stenskott och uppsprutande vatten/smuts från framhjulen på lastbilen. För att säkerställa överlevnad skall test för "Gravel bombardment" (4) genomföras med godkänt resultat.

Även värme från avgasröret kan komma att värma sensorn men normalt kommer den inte att värmas över de 85°C som SenseAirs konstruktion idag tål. Uppvärmningen från avgassystemet kommer främst att vara i form av konvektion men viss strålning är inte utesluten. Med anledning av denna värme och risken för träff från stenar så bör sensorn, som ytterligare en försiktighetsåtgärd, placeras bakom en extern skyddsplåt.

Kontakten är vanligen en svag punkt i en sensors kapsling och själva anslutningen i kontakten riskerar även den att vara en återkommande källa till fel. Scania rekommenderar att Tyco HDSC kontakt används då denna visat sig vara robust mot på lastbilschassi förekommande problem.

Vibrationer är en återkommande utmaning för fordonsmonterad elektronik. Föreskrifter om krav för dessa artiklar redovisas i ISO16750-3:2007. Nedan (Figur 6) visar ett exempel på spektrum för vibrationer som sensorn måste tåla.





Figur 6. Vibrationsspektrum för chassimonterade komponenter (från ISO16750-3:2007, sid 15). X: Vibrationsfrekvens (Hz), Y: Vibrationsenergitäthet $(m/s^2)^2 / Hz$.

6. Elektriska gränssnitt

Matningsspänning

För att klara kraven på matningsspänningen i Scantias fordon måste sensorn klara att uppfylla kraven på "Load dump" och "Starthjälp". Dessa krav är normalt utanför SenseAirs normala specifikationer, men elektroniken kan anpassas för att klara kraven. EMC-kraven (7-18) skiljer sig inte från de normala kraven på SenseAirs sensorer. Den nominella matningsspänningen är 24V.

Load dump

Sensorn skall klara 90 V på matningsledningen under 100 ms. Den enklaste lösningen är ett RC-filter på matningsledningen, men även lösningar med transientskyddsdiöder eller frångkopplingskretsar är möjliga.

Starthjälp

För att klara starthjälpspecifikationen skall sensorn klara 48V matning under två minuter, vilket inte kan lösas med transientskyddsdiöder. En frångkopplingskrets är då mest lämplig, t.ex. "Linear Technology LTC4365 series" till en inköpskostnad av ca 2 USD.

CAN

För implementering av CAN-buss så krävs en krets eller processor med CAN-controller. Flera processorer finns i prisklassen från 4 till 8 USD (Microchip F18



series, NXP, Intel, Freescale S12P eller S12XS series). Stand-Alone-controller finns i prisklassen runt 10 SEK (Microchip MCP2515 series med SPI interface). Utöver det krävs en CAN-drivare till en kostnad av ca 1 USD (Texas SN65HVD252, HVD 253 eller Infineon TLE6250 series). Dessa är specificerade för upp till 40 V och klarar således inte kravet för "Starthjälp" utan skyddskrets. De kräver två termineringsmotstånd (s.k. split-terminering) och följer standarden ISO 11898-2:2003.

Protokollet J1939 är ett mjukvaruprotokoll och alltså inte hårdvaruberoende. Dock bör det kontrolleras att hårdvaran som väljs stödjer "extended" 29-bitars adressfält för att kunna utnyttja J1939 fullt ut.

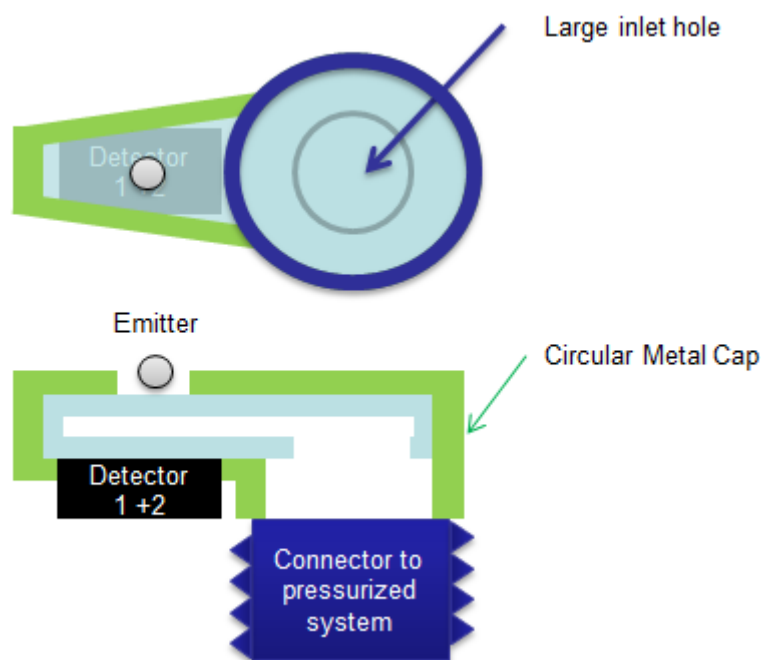
Andra gränssnitt

PWM-interface samt analog utsignal är standard i många av Senseairs produkter och kan implementeras utan extrakostnad. Av robusthetsskäl och för att upptäcka sensorfel rekommenderas PWM av dessa två. Dock tillåter båda dessa kommunikationsgränssnitt enbart kommunikation från sensorn till motorstyrningen. Det i sin tur ställer krav på vilken strategi som används för automatkalibrering.



7. Sensoruppbyggnad

Figur 7 visar en schematisk skiss på hur en tvåkanalsensor kan byggas upp. Mätkaviteten byggs upp av två glasskivor med 0.5 mm spalt mellan glasen så att spalten definierar den optiska sträckan. Spalten kopplas till den trycksatta gasen och sensorns detektorer och elektronik är då skyddade från den trycksatta gasen.



Figur 7. Förslag på uppbyggnad av sensorn. Mätkaviteten definieras av två glasskivor med 0.5 mm spalt mellan.

Sensorn monteras/gjuts in i en metallkapsel med en nippel. Önskvärt är att göra anslutningen med en T-koppling med 12 mm swage-lock nippel så att den enkelt kan anslutas till befintligt system. SenseAir har ingen tidigare erfarenhet av montering och/eller ingjutning i metallkapslar och därmed inte heller av materialval eller produktionsmetod. Montering och inkapsling är en avgörande del av miljöskyddet och kommer att kräva en stor insats i kommande undersökningar.

Storleken på sensorn försöker man göra så liten som möjligt för att hålla produktionskostnaderna låga, både genom materialbesparing och för att kunna hantera ett tätare produktionsflöde. Storleken på anslutningsdelen begränsas av nippelns storlek och har en typisk storlek på ca 15 mm. Tungan med IR-emitter och detektorer definieras av storleken på detektorerna och blir totalt ca 10 mm x 10 mm. Till det kommer kretskortsyta om ca 15 cm² och anslutningskontakt. Hela sensorn bör därför kunna rymmas inom en kub med ca 5 cm sida.



Sensors snabbhet kommer att vara beroende på gasdiffusionens hastighet mellan glasplattorna. Typiska diffusionskoefficienter för gaser är i storleksordningen $0.1 \text{ cm}^2/\text{s}$ vilket motsvarar ca 3 mm diffusion på en sekund. Eftersom diffusionstiden skalar som kvadraten på avståndet kommer en total diffusionssträcka på typiskt 10 mm att kräva ca 10 sekunder. I relation till tiden det tar att tanka ett gassystem kan diffusionstiden försummas och det behövs således inget forcerat gasflöde genom mätcellen.

För att undvika läckage vid eventuella fel bör en "andra barriär" skapas av t.ex. metallkapselns hölje. SenseAir saknar i dagsläget erfarenhet av sådan kapsling och dessa möjligheter samt kabelgenomföringarnas täthet som extra skyddsbarriär bör undersökas vidare. Även alternativ med slangbrottsventil bör undersökas i ett eventuellt fortsatt arbete.

8. Ekonomiska förutsättningar

En första bedömning utifrån SenseAirs erfarenhet är att den enklare sensorn enligt Alternativ 2 kommer att kosta mellan 200 och 300 SEK i årsvolymer över en miljon sensorer om året. Den stora produktionsvolymen krävs dock för att i tillräcklig grad kunna automatisera produktionen.

Vid volymer runt tusen sensorer per år kommer kostnaden per sensor att ligga mellan 1 000 och 2 000 SEK.

Ett utvecklingsprojekt för att ta fram en sensor med de här miljö- och kvalitetskraven kommer att sträcka sig över 2-3 år och kräva en investering över 10 MSEK.

Förutsättningar finns även att utveckla ett system för tankställen med fler kanaler till en förväntad styckekostnad mellan 2 000 och 5 000 SEK. Ett sådant system kommer inte att uppfylla samma krav gällande omgivningsmiljö eller tillförlitlighet. Ett mätsystem för tankstation bedöms i allt väsentligt ha samma utvecklingstid och kostnad som ett fordonsburet system, men riskerna i projektet bedöms lägre. Detta då samma rigorösa säkerhetsverifiering kommer att krävas, men då verifiering enbart måste ske mot stationär drift.



9. Literature/Referenser

IR-spektrum

- 1) Gases and vapours, Sadtler Research laboratories Inc., Philadelphia, USA, 1972.
- 2) HITRAN, <http://www.cfa.harvard.edu/hitran/>

Standarder

- 3) CAN J1939 kan beställas från SAE (www.sae.org)
- 4) ISO16750-3:2007 med miljökrav för fordonsmonterad elektronik.
- 5) ISO 20653 med täthetskrav
- 6) IP6K9K med täthetskrav
- 7) ISO 7637-1
- 8) ISO 7637-2
- 9) ISO 7637-3
- 10) CISPR 25 Edition 03.
- 11) ISO 11451-1
- 12) ISO 11451-2
- 13) ISO 11451-3
- 14) ISO 11452-1
- 15) ISO 11452-2
- 16) ISO 11452-4
- 17) ISO 11452-8
- 18) ISO 10605



Appendix 1

IR-spectrum från Gases and vapours, Sadtler Research laboratories Inc., Philadelphia, USA, 1972.

GS 1

METHANE

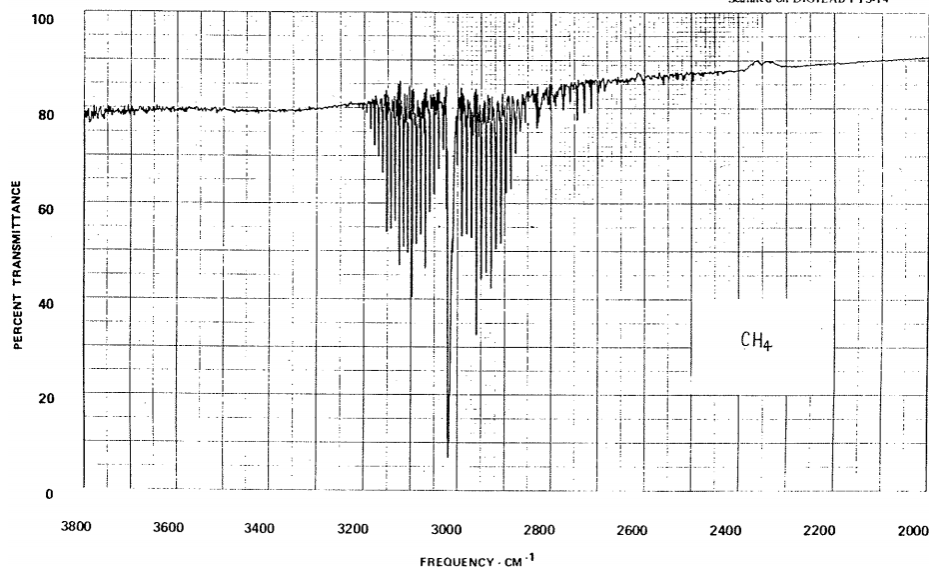


Sadtler Research Laboratories, Inc.,

Subsidiary of Block Engineering, Inc.

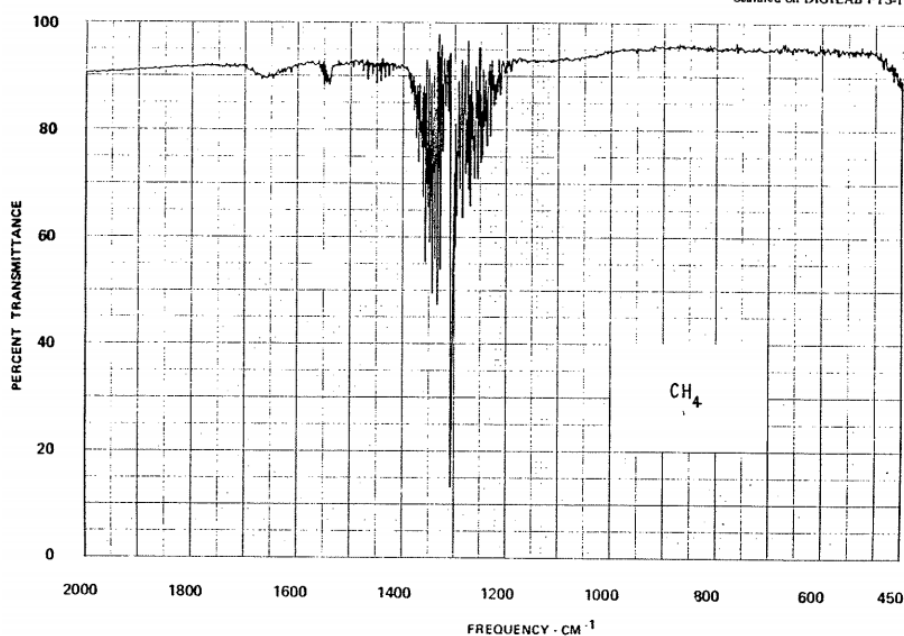
© 1972

Scanned on DIGILAB FTS-14



© Sadtler 1972

Scanned on DIGILAB FTS-14

OPERATING CONDITIONS

Path Length: 10 cm.

Complete Scan: 70 mm. Hg

Mol. Form. CH_4

Mol. Wt. 16.04

B.P. -161.5°C (lit.)

GS 1



SGC Rapport 2012:252

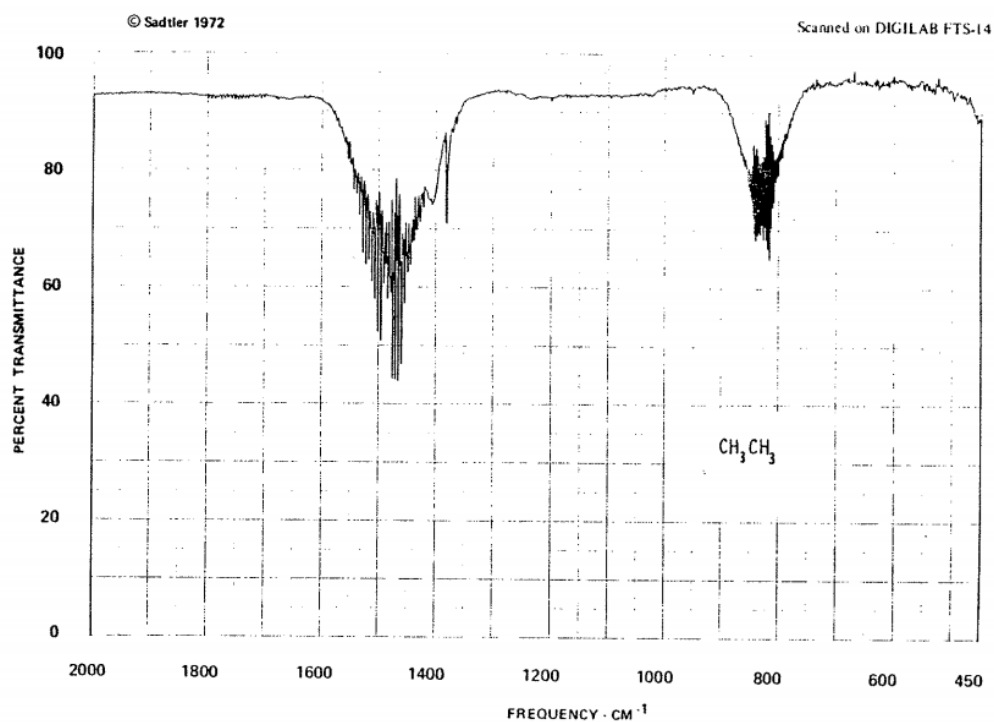
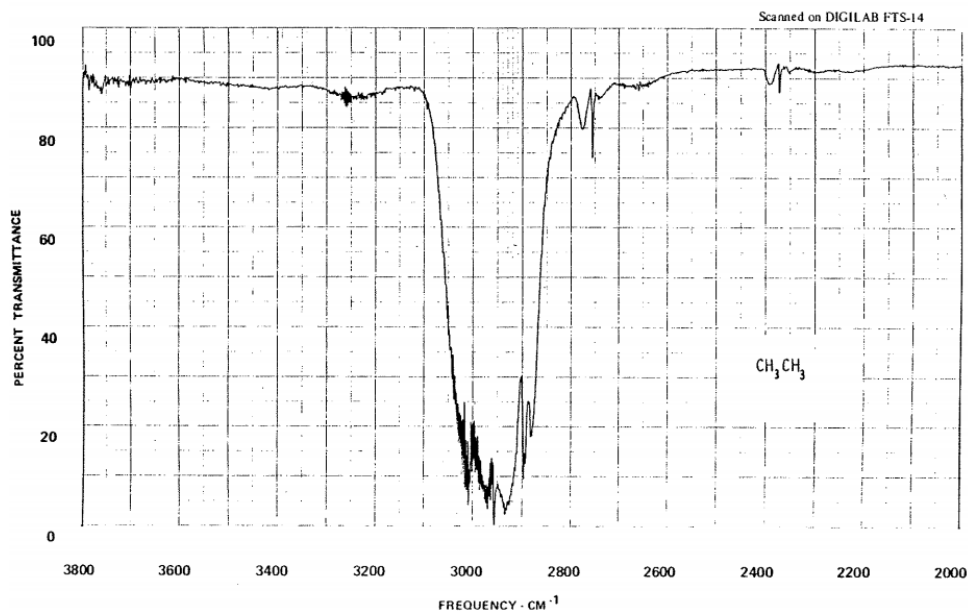
GS 2

ETHANE



Sadler Research Laboratories, Inc.,
Subsidiary of Bock Engineering, Inc.

© 1972



OPERATING CONDITIONS

Path Length: 10 cm.

Complete Scan: 60 mm. Hg

Partial Scan: 20 mm.

Mol. Form. C₂H₆

Mol. Wt. 30.07

B.P. -88.63°C (lit.)

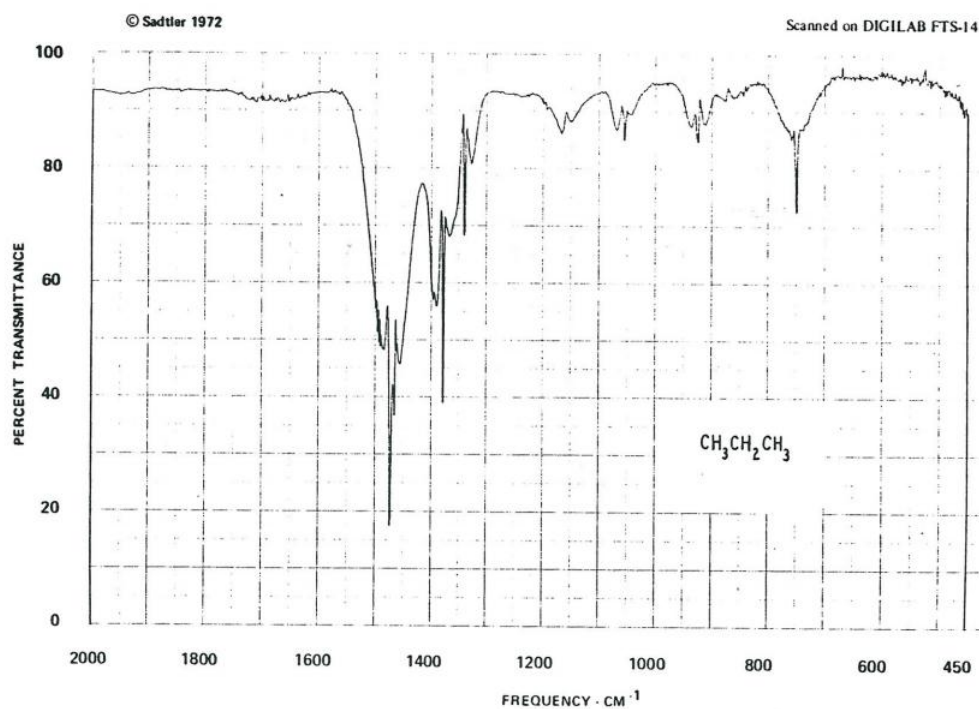
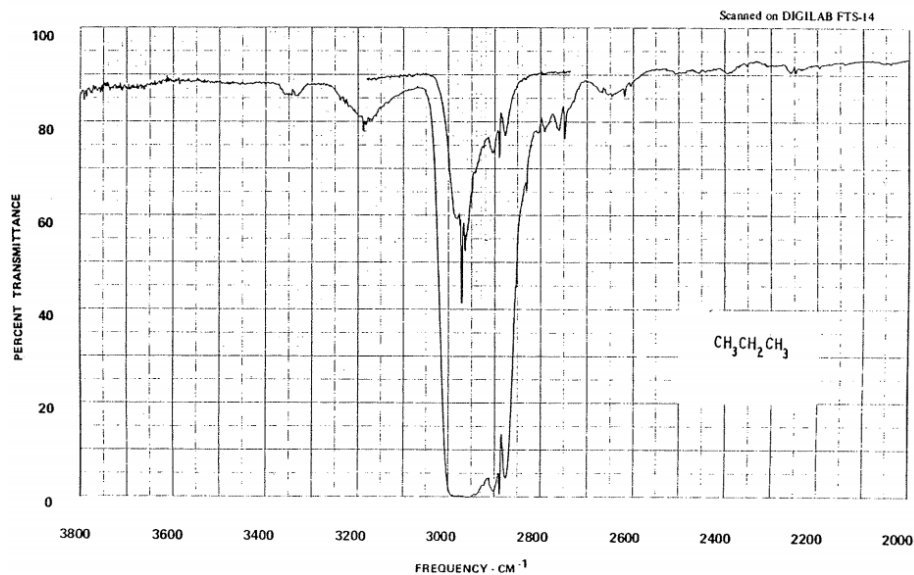
GS 2



SGC Rapport 2012:252

GS 3

PROPANE



OPERATING CONDITIONS
Path Length: 10 cm.

Complete Scan: 70 mm. Hg

Mol. Form. C₃H₈

Mol. Wt. 44.10

B.P. -44.5°C (lit.)

GS 3



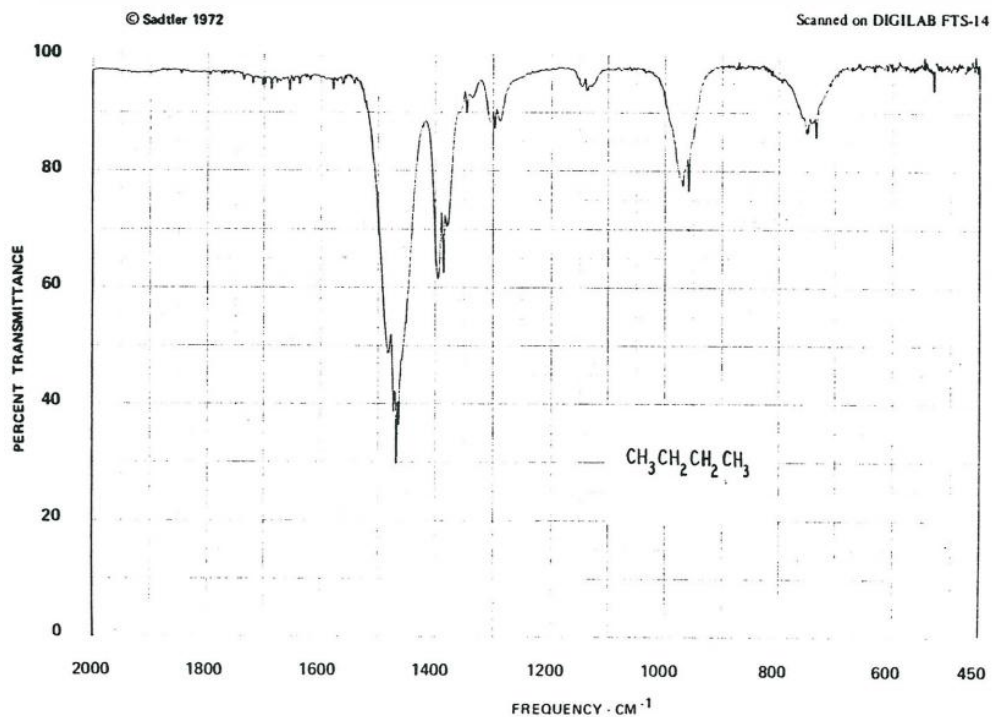
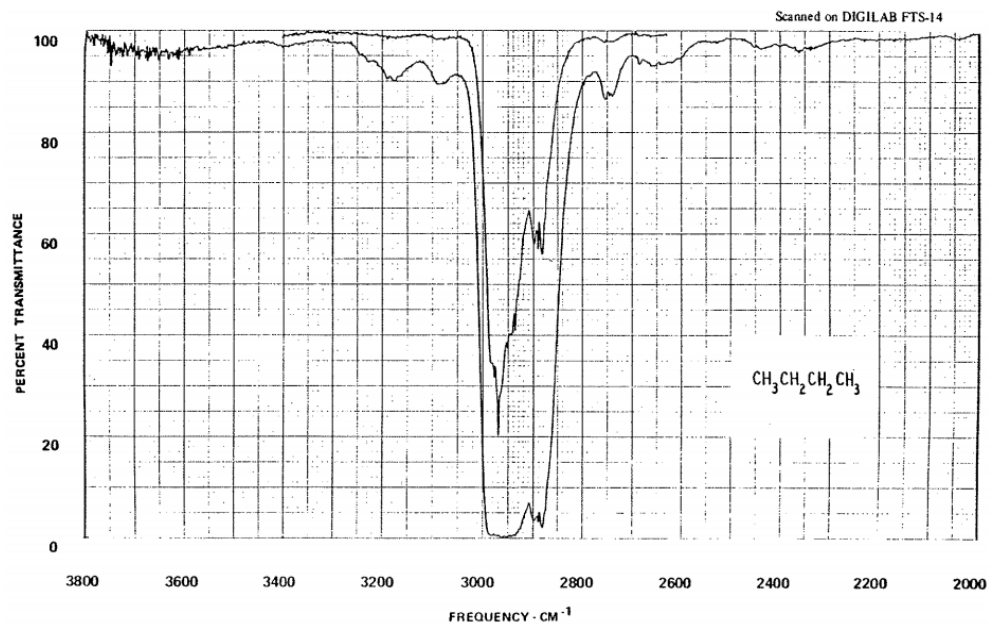
GS 5

BUTANE

**Sadler** Research Laboratories, Inc.,

Subsidiary of Bock Engineering, Inc.

© 1972

OPERATING CONDITIONS

Path Length: 10 cm.

Complete Scan: 50 mm. Hg

Partial Scan: 5 mm.

Mol. Form. C4H10

Mol. Wt. 58.12

B.P. -0.5°C

GS 5



GS 6

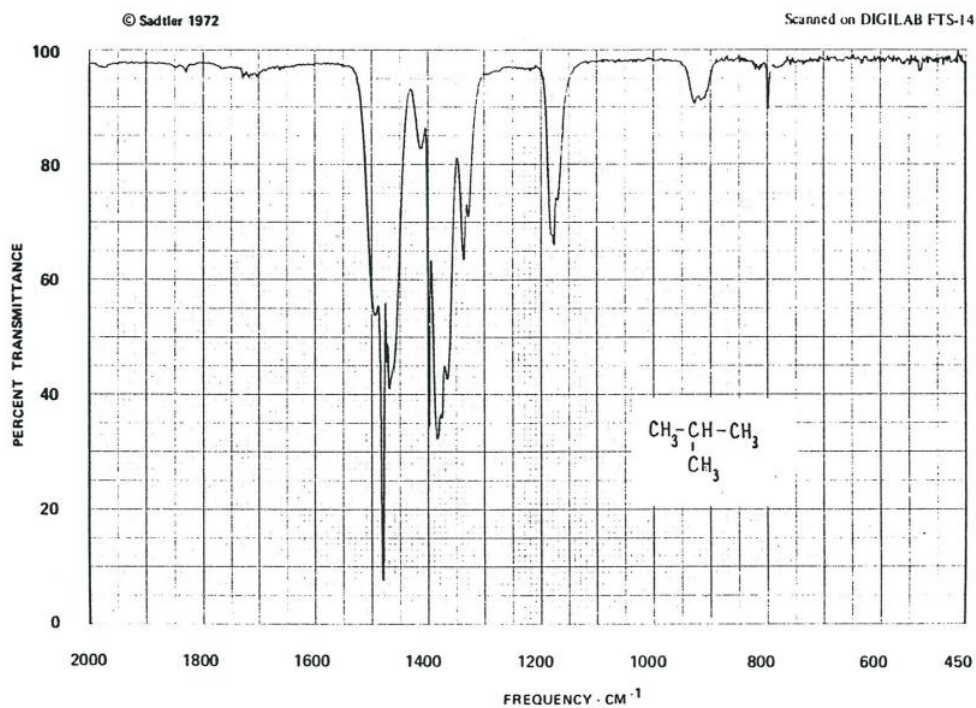
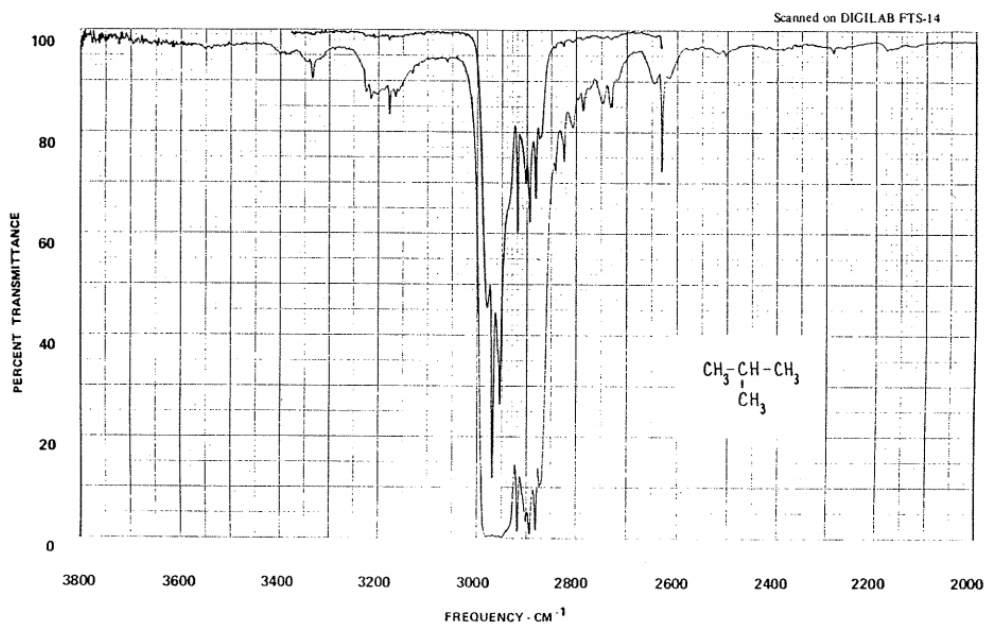
2-METHYLPROPANE

ISOBUTANE

**Sadtlér** Research Laboratories, Inc.,

Subsidiary of Block Engineering, Inc.

© 1972

OPERATING CONDITIONS

Path Length: 10 cm.

Complete Scan: 50 mm. Hg

Partial Scan: 5.0 mm.

Mol. Form. C₄H₁₀

Mol. Wt. 58.12

GS 6





9771102737101

