

2017:00704 - Åpen

Rapport

Pålitelighet av optiske gassdetektorer under “ekstreme forhold”

Erfaring fra hendelser og gassdetektorers virkeområde

Forfattere

Solfrid Håbrekke

Tor Onshus



Rapport

Pålitelighet av optiske gassdetektorer under "ekstreme forhold"

Erfaring fra hendelser og gassdetektorers virkeområde

EMNEORD:
Gassdetektorer
Optiske detektorer
IR-detektorer
HC-lekkasje

VERSJON
1.0

DATO
2017-12-19

FORFATTERE
Solfrid Håbrekke
Tor Onshus

OPPDAGSGIVER
Petrolestilsynet

OPPDAGSGIVERS REF.
Asbjørn Ueland

PROSJEKTNR
102015838

ANTALL SIDER:
32

SAMMENDRAG

I forbindelse med flere alvorlige hendelser i norsk petroleumsvirksomhet har man stilt spørsmål ved funksjonaliteten til optiske gassdetektorer. Petrolestilsynet har i en granskningsrapport fra 2016 uttrykt usikkerhet rundt hvorvidt optiske gassdetektorer fungerer under "ekstreme forhold" som snø, fuktighet, vann, vanndamp, steam, osv. Denne rapporten systematiserer kunnskap og forståelse for hvordan optiske detektor og alternative detektorer oppfører seg under slike forhold. Kunnskapen er basert på aktuelle hendelser og tilhørende granskningsrapporter, samtaler med to operatører på norsk sokkel, informasjon fra leverandører og generell erfaring fra næringen.

To hendelser der optiske gassdetektorer ble utsatt for "ekstreme forhold" diskuteres:

1. Brønnkontrollhendelse der sjøvann og gass flommet opp av borerøret.
2. Hydrokarbonlekkasje der varm vanndamp (steam) og gass strømmet ut fra separator.

UTARBEIDET AV
Solfrid Håbrekke

KONTROLLERT AV
Stein Hauge

GODKJENT AV
Anita Øren

RAPPORTNR
2017:00704

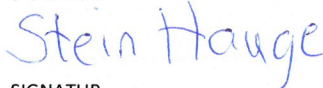
ISBN
978-82-14-06614-2

GRADERING
Åpen

SIGNATUR



SIGNATUR



SIGNATUR



GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2017-11-28	Første utkast til Petroleumstilsynet
0.2	2017-12-08	Andre utkast til operatørene og Petroleumstilsynet
0.3	2017-12-18	Tredje utkast til operatørene og Petroleumstilsynet
1.0	2017-12-19	Endelig versjon

Innholdsfortegnelse

Sammendrag og konklusjoner	5
1 Innledning	6
1.1 Bakgrunn	6
1.2 Begrensninger	6
1.3 Forkortelser	6
1.4 Terminologi	7
2 Gassdetektortyper	10
2.1 Katalytiske gassdetektorer	10
2.2 Optiske gassdetektorer (IR-detektorer)	11
2.2.1 Laserdetektorer	11
2.3 Akustiske/Ultrasoniske gassdetektorer	12
3 Optiske gassdetektorer – Deteksjonsprinsipp	13
3.1 Deteksjons- og måleprinsipp	13
3.2 Absorpsjonsspektre og resonansfrekvenser	14
3.2.1 Metan, CH ₄	14
3.2.2 Vann, H ₂ O	16
3.2.3 Andre gasser	18
3.3 Deteksjon og konsentrasjon av ulike gasser	19
4 Optiske gassdetektorer – Leverandører og modeller	21
5 Hendelser der optiske gassdetektorer har blitt utsatt for “ekstreme forhold”	22
5.1 Brønnskrollhendelse på borerigg	22
5.1.1 Hendelsen	22
5.1.2 Gassdeteksjonen under hendelsen	22
5.1.3 Alarmer og aksjoner	23
5.1.4 Vurdering av HC-detektorenes funksjonalitet under hendelsen	24
5.2 Hydrokarbonlekkasje på produksjonsplattform	24
5.2.1 Hendelsen	24
5.2.2 Gassdetektorene på innretningen	24
5.2.3 Gassdeteksjonen under hendelsen	24
5.2.4 Alarmer og aksjoner	26
5.2.5 Vurdering av HC-detektorenes funksjonalitet under hendelsen	26

6	Vurdering av optiske gassdetektorer	27
6.1	Funksjonalitet under ekstreme (vann)forhold.....	27
6.1.1	Fuktighet, regn, vann, snø, tåke, vind, osv.	27
6.1.2	Vanndamp/Steam.....	28
6.2	Alarmer, alarmgrenser og alarmtekster	28
6.3	Plassering	29
7	Anbefalinger og forslag til videre arbeid	30
8	Referanser.....	32

Sammendrag og konklusjoner

For å oppnå høy sikkerhet på en petroleumsinnetning, er en avhengig av et svært pålitelig system med rask responstid for å detektere uønskede lekkasjer av hydrokarboner – for å unngå antennelse og forhindre videre eskalering. Petroleumstilsynets innretningsforskrift § 32 om brann- og gassdeteksjonssystemer krever at:

“Innretninger skal ha et brann- og gassdeteksjonssystem som sikrer hurtig og pålitelig deteksjon av branntilløp, branner og gasslekkasjer. Systemet skal kunne utføre tiltenkte funksjoner uavhengig av andre systemer.

Ved brann- eller gassdeteksjon skal automatiske aksjoner begrense konsekvensene av brannen eller gasslekkasjen. Plassering av detektorer skal baseres på aktuelle scenarier og simuleringer eller tester.”

Forskriften anbefaler i sin veiledning at standarden NORSOK S-001 om teknisk sikkerhet bør benyttes. Standarden sier i nyeste utgave (draft) at *“IR gas detectors (HC) with provisions of self-diagnostics shall be the preferred technology whenever suited for the gas to be detected”*. Petroleumstilsynet har basert på flere hendelser imidlertid uttrykt usikkerhet rundt hvordan optiske detektorer / IR-detektorer fungerer når de eksponeres for snø, fuktighet, vann, vanndamp, steam (tett vanndamp med høy temperatur), osv. Operasjonsvinduet for optiske detektorer er relativt stort, men erfaring og teori viser at detektorene (midlertidig) kan miste sin funksjonalitet under slike forhold. Kunnskap om teknologien til både optiske detektorer og alternative deteksjonsprinsipper (som for eksempel laserdetektorer) bør derfor forbedres. Spesielt er det knyttet usikkerhet til hvordan tilstedeværelse av vanndamp med høy temperatur påvirker detektorenes evne til å respondere raskt nok på gass. For detektorer som kan bli eksponert for slike forhold bør man kompensere med spesialtilpasset logikk, forbedret design av dagens optiske detektorer eller endrede testprosedyrer. Med økende produksjon av vann på mange norske innretninger, kan det bli et ytterligere behov for å analysere hvordan varm damp påvirker gassdetektorer. I tillegg bør detektorene analyseres for andre forhold som mye vann, tett snøvær, tett tåke, osv., både mht. hyppighet og varighet av feilalarmer. Her kan det også være aktuelt å hente erfaringsdata fra operatørene.

Operatørene bør ta stilling til følgende ved valg og installasjon av gassdetektorer:

- Deteksjonsprinsipp
- Target-gass(er)
- Alarmer og alarmgrenser
- Logikker utover standardiserte logikker (for eksempel forsinket feilalarm eller degraderingslogikk)
- Forhold som påvirker funksjonaliteten til gassdetektorene
- Nødvendig vedlikehold

Leverandørene av detektorer bør for sine detektorer spesifisere overfor operatøren:

- Absorpsjonsspekter for target-gassen(e)
- Oversikt over hvilke gasser som detektoren vil respondere på
- Alarmer, alarmgrenser og tilhørende konfigureringsmuligheter
- Nødvendig vedlikehold
- Resultater fra utførte tester av detektortypen

SAS-leverandørene bør ved installasjon av B&G-logikk sørge for:

- Fornuftig og hensiktsmessig inndeling av de nødvendige alarmene
- Forståelige alarmtekster
- Riktig konfigurering av alarmer i kontrollrom

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I forbindelse med flere alvorlige hendelser i norsk petroleumsvirksomhet har man stilt spørsmål ved funksjonaliteten til optiske gassdetektorer / IR-detektorer. Petroleumstilsynet har i en granskningsrapport fra 2016 uttrykt usikkerhet rundt hvorvidt optiske gassdetektorer fungerer under “ekstreme forhold” som snø, fuktighet, vann, vanndamp, steam (tett vanndamp med høy temperatur), osv. SINTEF har derfor på oppdrag fra Petroleumstilsynet blitt bedt om å systematisere kunnskap om optiske gassdetektorer, hva som er deres “operasjonsvindu” og hvordan de oppfører seg utenfor “operasjonsvinduet”. I tillegg er alternative deteksjonsprinsipper vurdert. Denne rapporten dokumenterer og kategoriserer den kunnskapen som er samlet inn. Kunnskapen er basert på blant annet aktuelle hendelser og tilhørende granskningsrapporter, samtaler med to operatører på norsk sokkel, informasjon fra leverandører og generelle erfaringer fra næringen.

1.2 Begrensninger

Følgende begrensninger er gjort i prosjektet/rapporten:

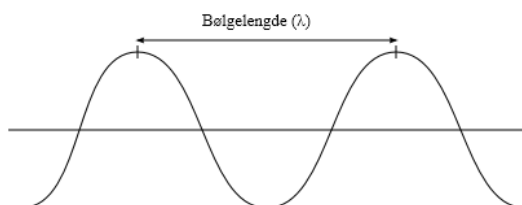
- Kun relevante hendelser foreslått av Petroleumstilsynet er gjennomgått og evaluert.
- Fokus er på deteksjon av hydrokarbongasser, og i begrenset grad på deteksjon av giftige gasser, oksygen, nitrogen, ammoniakk, osv.
- Diskusjoner er relatert til ulike typer deteksjonsprinsipper og i begrenset grad til (leverandør)spesifikke gassdetektormodeller.

1.3 Forkortelser

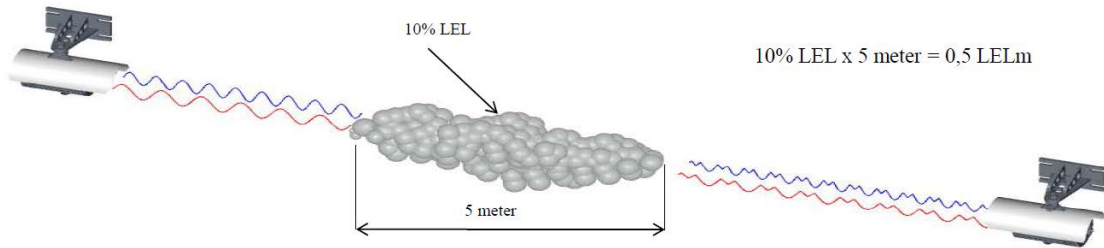
B&G	Brann- og gass
BOP	Utblåsningsventil
C&E	“Cause & Effect”
DD	Farlig detektert
DU	Farlig udetektert
ELDS	“Enhanced laser diode spectroscopy”
ESD	Nødavstengning
HC	Hydrokarbon
IR	Infrarød
kooN	k av N
LEL	Nedre eksplosjonsgrense
LELm	LEL meter
nm	Nanometer
PA	“Public address”
Ptil	Petroleumstilsynet
SAS	Sikkerhets- og automasjonssystem
UEL	Øvre eksplosjonsgrense

1.4 Terminologi

Alarm	Alarm (lys og/eller lyd i kontrollrom) som indikerer at en (eller flere) gassdetektor(er) gir signal som avviker fra normal situasjon, for eksempel følgende alarm: • <i>Gassalarm</i>: Detektoren har detektert gass over en definert mengde (for eksempel 20% LEL) • <i>Feilalarm</i>: Detektoren er ikke i stand til å detektere gass eller trenger vedlikehold. De vanligste feilalarmene er: - o <i>"Fault"-alarm</i>: Detektoren varsler at den ikke fungerer / har en intern feil. - o <i>"Beam block"-alarm</i>: Detektoren varsler om at lysstrålen er blokkert slik at den ikke er i stand til å detektere gass. - o <i>"Dirty optics"-alarm</i>: Detektoren varsler om at den har skitten optikk. Detektoren er fortsatt operativ og fungerer som den skal, men bør rengjøres (trenger vedlikehold) før den blir for skitten. <i>"Maintenance"-alarm</i> benyttes også om denne typen varsel.
Alarmgrense	Grenseverdiene i strømsignalet fra detektoren som indikerer hvilken alarmtekst som skal vises i kontrollrom. Grenseverdiene og intervallene mellom grenseverdiene er oppgitt i mA. Alarmgrensen for gassalarm kan relateres til hvor stor prosentandel LEL som skal detekteres for at detektoren skal gi gassalarm.
Alarmtekst	Tekstlig informasjon som skal beskrive responsen eller tilstanden til detektoren; for eksempel "fault", "dirty optics", "beam block" eller "20% LEL".
DU-feil	En farlig feil som ikke detekteres ved selvtest (og oppdages under en funksjonstest, ved en reell demand eller ved tilfeldig observasjon). En farlig feil er en feil som gjør at detektoren ikke fungerer som tiltenkt, dvs. at den ikke er i stand til å detektere og/eller måle konsentrasjonen av gass. Merk at dersom detektoren måler gass dersom det ikke er gass til stede eller den måler mer gass enn hva som faktisk er tilfelle, klassifiseres dette vanligvis som en sikker (ikke farlig) feil. (Se også "spurious trip").
Bølgelengde	Avstanden mellom et gitt punkt på en bølge frem til samme punkt på neste bølge, for eksempel fra en bølgetopp til den nestes. Bølgelengde måles vanligvis i meter, men for mindre bølger, som lysbølger, brukes mikro- og nanometer. Bølgelengde angis ofte med tegnet λ.



Feilalarm	Se Alarm.
-----------	-----------

Hz	Hertz (Hz). Måleenhet for frekvens. $1\text{Hz} = 1\text{s}^{-1}$, dvs. antall ganger en hendelse gjentar seg pr. sekund, for eksempel antall bølger som passerer et punkt i løpet av ett sekund. Frekvensen til en lys- eller lydbølge er omvendt proporsjonalt med bølgelengden, dvs. at jo mindre bølgelengden er, desto høyere blir frekvensen - og omvendt.
IR-stråling	Infrarød stråling. Elektromagnetisk stråling med bølgelengde mellom $0,78\mu\text{m}$ og ca. 1mm.
LEL	Hydrokarbon/luft-blandinger kan bare antennes i bestemte blandingsforhold. Nedre eksplosjonsgrense, "lower explosion limit" (LEL), angir den tynneste blandingen som kan antennes, mens øvre eksplosjonsgrense, "upper explosion limit" (UEL), angir den tykkeste blandingen som kan antennes. Enhver konsentrasjon mellom disse grensene vil kunne antenne, og vi er derfor spesielt interessert i å måle risikoen for antennelse. Gassdetektorer måler derfor gasskonsentrasjonen prosentvis i forhold til LEL-verdien.
LELm	LEL meter. Måleenhet for gasskonsentrasjonen i strålen til en linjegassdetektor: Lengden (i meter) av gasskyen som dekker strålen multiplisert med den gjennomsnittlige gasskonsentrasjonen (% LEL) i gasskya. 
mA	milliampere. Måleenhet for elektrisk strøm. En milliampere er lik en tusendels ampere.
nm	Nanometer: $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$.
μm	Mikrometer: $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$.
Spurious trip	"Spurious trip" av en gassdetektor tilsvarer falsk deteksjon av gass, dvs. at detektoren gir signal/alarm om gass selv om den ikke er eksponert for gass.
Target-gass	Den gassen en detektor er kalibrert for å detektere.
T90	Responstid. Tiden det tar for detektoren å måle 90% av den faktiske gasskonsentrasjonen i lufta. De fleste gassdetektorer responderer eksponentielt når de utsettes for gass, og derfor benyttes 90% som et mål. For eksempel blir T90 for en gassdetektor eksponert for 100%LEL metan være tiden frem til detektoren viser 90% LEL.
UEL	Se LEL.

Volum%	Andel volum av en spesifisert gass i luft. Eksplosjonsgrensen (LEL) angis i volumprosent (volum%). For eksempel tilsvarer LEL for metan i luft 5,0 volum%.
Votering	Logisk votering $kooN$ for en funksjon med N komponenter (for eksempel tre gassdetektorer som er votert $2oo3$). k av komponentene må fungere for at funksjonen skal fungere (for eksempel for gassdetektorer votert $2oo3$, vil gassalarm initieres dersom to av detektorene responderer på gass).

2 Gassdetektortyper

Gassdetektorer grupperes ofte som punkt- eller linjegassdetektor og etter hvilken type deteksjonsprinsipp som benyttes (katalytisk, optisk, akustisk, osv.). De siste årene har trådløse gassdetektorer for bruk på petroleumsinnretninger også kommet på markedet – i tillegg til tradisjonelt trådbundne detektorer, slik at man også kan også skille mellom trådbundne og trådløse gassdetektorer:

Punktgassdetektor

En punkt-gassdetektor består av en enhet som måler gasskonsentrasjonen rundt ett punkt.

Linjegassdetektor

En linjegassdetektor måler gasskonsentrasjon i en stråle. En linjegassdetektor er splittet opp i en sender (*transmitter*) og en mottaker (*receiver*) med en avstand på 0,5–200 meter, og benytter samme måleprinsipp som en IR-punkt-gassdetektor.

Trådbunden gassdetektor

En detektor som benytter kabling for strømtilførsel og/eller kommunikasjon.

Trådløs gassdetektor

En detektor uten kabling, som benytter trådløs kommunikasjon i stedet for kablet kommunikasjon og batteri i stedet for kablet strømtilførsel.

2.1 Katalytiske gassdetektorer

En katalytisk gassdetektor er en punkt-gassdetektor som detekterer brennbare gasser ved varmemåling av katalytisk oksidasjon. Den brennbare gassen reagerer med oksygen ved hjelp av en katalysator. Reaksjonen utvikler varme som øker temperaturen på en platinamotstand.

Katalytiske gassdetektorer har noen svakheter som gjør at de er i ferd med å fases ut på norsk sokkel, men enda er mange katalytiske gassdetektorer operative. Detektorene må kalibreres regelmessig (hver fjerde måned eller oftere) og har lengre T90 responstid (typisk < 25s) enn for eksempel optiske detektorer (typisk < 5s). Den største ulempen med katalytiske detektorer med hensyn til sikkerheten er at de dør uten forvarsel. Manglende selvdiagnostikk utover sløyfemonitorering gjør at de ikke kan gi tilbakemelding på egen tilstand, for eksempel om de er død, degradert eller har problemer.

Fordeler: Enkel og billig
Responderer på gass også under “ekstreme forhold” som varm vanndamp (steam)

Ulemper: Manglende selvdiagnostikk
Høy DU-feilrate
Må kalibreres ofte
Lang responstid

2.2 Optiske gassdetektorer (IR-detektorer)

En optisk gassdetektor eller en IR-detektor er en punkt-gassdetektor eller linjegassdetektor som detekterer HC-gasser ved å sende infrarøde stråler (IR-stråler) med to ulike bølgelengder (målebølgelengde og referansebølgelengde), fra en sender til en mottaker. Målebølgelengden faller overens med vibrasjonene i molekylerne i HC-gassen, slik at gassen absorberer lys med denne bølgelengden. IR-kilden er en lampe eller en laser (se laserdetektor).

En IR-detektor kan ikke *beregne* gasskonsentrasjonen og størrelsen på den gasskyen som dekker IR-strålen, men under fabrikk-kalibrering blir celler med gass av kjent konsentrasjon og volum satt inn i IR-strålen mellom sender og mottager. Forskjellige nivåer av IR-absorpsjon blir da lagret i mottagerens database, slik at linjegassdetektoren er i stand til å måle LEL (punkt-gassdetektor) eller LELm (linjegassdetektor).

Optiske gassdetektorer testes typisk en gang i året, men har relativt høy grad av selvdiagnostikk. Detektoren gjør lysintensiteten i IR-strålen, som treffer mottakeren, om til elektrisk strøm i området 0 til over 20mA. Måleområdet for gass er 4–20mA, mens strøm lavere eller høyere enn måleområdet er dedikert til feilalarmering. Fastsatte intervaller og alarmgrenser for hvilke responser detektoren skal gi, varierer mellom ulike detektortyper og kan til dels justeres av operatør. Men generelt vil strømsignal i området 0–4mA indikere “fault”, “beam block” og “dirty optics” og signal fra 4mA og oppover indikere deteksjon av gass fra 0% til 100% LEL.

Deteksjonsprinsipp for optiske gassdetektorer er nærmere beskrevet i kapittel 3.

- Fordeler:**
- God selvdiagnostikk
 - Rask respons
 - Reagerer på HC-gasser generelt
 - Oppvarmet optikk
- Ulemper:**
- Går i feil ved fuktighet/kondens på linse
 - Høy spurious trip rate: Går ofte i feil ved snø, tåke, osv.

2.2.1 Laserdetektorer

Laserdetektorer er en underkategori av optiske linjegassdetektorer og som benytter laser som IR-kilde. Laserdetektoren ELDS kom på markedet på 2000-tallet og er i økende bruk på norske innretninger.

Laserdetektoren er svært robust mot vær (snø, tåke, osv.) og ytre påvirkning (f.eks. plast) og gir få feilalarmer som “beam block”-alarmer og “dirty optics”-alarmer sammenlignet med tradisjonelle IR-linjegassdetektorer.

Laserdetektorene måler ofte en bestemt gass eller få gasser. Detektoren kalibreres da mot denne eller de gassene, og responderer ikke i det hele tatt på andre HC-gasser. Man har for eksempel erfart (Skarv FPSO, 2016) at metan-kalibrerte detektorer *ikke* gav utslag på en gassky av butangass, mens IR-detektorer (også metan-kalibrert) som målte omtrent i samme linje registrerte gass, selv om verdiene var lavere enn alarmgrensen for gassalarm. Dette betyr at HC-gass med lite metaninnhold vil gi svakt eller manglende utslag på laserdetektorene kalibrert for metan. For eksempel har områder med behandlet HC-væske normalt lite metaninnhold. Dersom en metankalibrert laserdetektor plasseres i områder med lite metangass vil den ved gasseksponering hverken gi gassalarm eller feilalarm.

Fordeler: God selvdiagnostikk
Rask respons
Høy sensitivitet (deteksjon av lave gasskonsentrasjoner)
Lav spurious trip rate (også ved regn, snø, tåke, osv.)
Gasspesifikk*: Kalibrert for forhåndsdefinert(e) gass(er)

Ulemper: Gasspesifikk*

* Merk at mulighetene for gasspesifikk deteksjon er listet under både fordeler og ulemper. Gasspesifikk deteksjon er en fordel både for å unngå falske alarmer og uventede alarmer fra andre gasser, samt for å vite hvilken gass som faktisk er detektert. Men dette kan også være en ulempe i områder som er eksponert for flere typer gasser, og man da kun detekterer den gassen detektoren er kalibrert for. Andre gasser vil hverken gi gassalarm eller feilalarm.

2.3 Akustiske/Ultrasoniske gassdetektorer

En akustisk eller ultrasonisk gassdetektor er en punkt-gassdetektor som detekterer gasslekkasjer ved måling av den ultrasoniske støyen (25.000–100.000Hz) som genereres av gasslekkasjer fra trykksatte systemer, og som har for høy frekvens for å være hørbar for det menneskelige øre. (Hørbare frekvenser for mennesker er i området 20–20.000Hz)

Rekkevidden vil variere med lekkasjens størrelse og gassens trykk, men vil være opptil 10–20m. I tillegg vil graden av ultrasonisk bakgrunnsstøy påvirke detektorens rekkevidde.

Fordelen med akustiske detektorer er deres evne til å måle lekkasje uavhengig av vindretning og gassens spredning og dispersjon, samt at de kan detektere små gasslekkasjer helt ned til 0,1kg/s. Dette betyr at det er mulig å detektere mindre gasslekkasjer på et tidlig stadium ("early warning") før de eventuelt eskalerer til en større rate/konsentrasjon.

Akustiske detektorer er vurdert til å fungere i gassanlegg med tørr gass. Den anbefales derimot ikke for væske- eller flerfase-utslipp (for eksempel utslipp fra separator med både olje, gass, og varm vanndamp), siden denne typen utslipp krever svært lav bakgrunnsstøy for at detektoren skal fungere optimalt [4].

Akustiske detektorer har også selvdiagnostikk og gir strømsignal i området 0 til over 20mA med 4–20mA som måleområdet for gass.

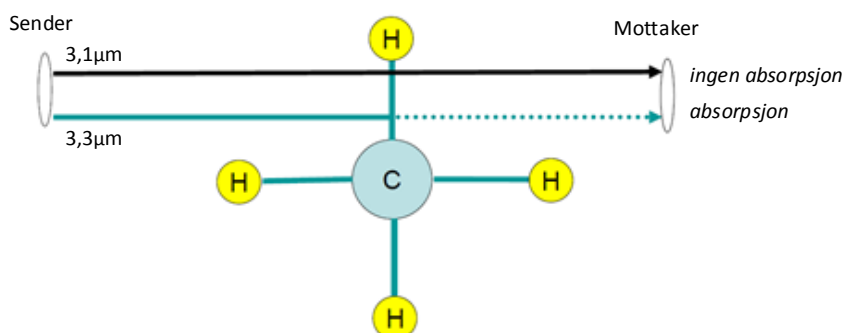
Fordeler: God selvdiagnostikk
Høy sensitivitet (deteksjon av små lekkasjer)
Ikke avhengig av temperatur, vær- og vindforhold

Ulemper: Detekterer ikke fuktig gass / gass med vann (passer best for tørr gass)

3 Optiske gassdetektorer – Deteksjonsprinsipp

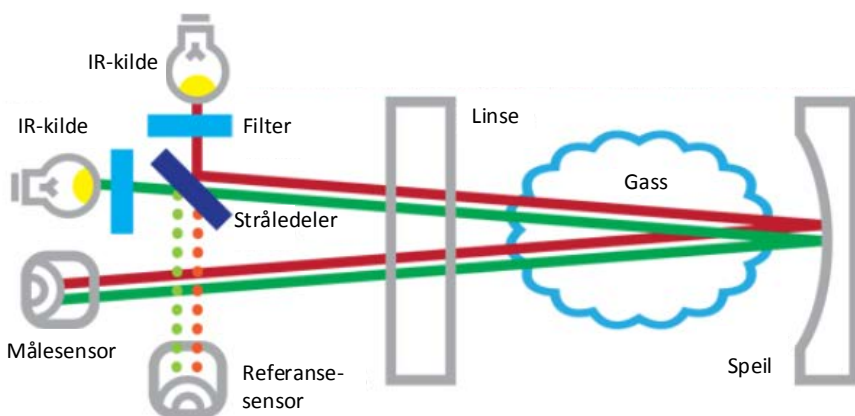
3.1 Deteksjons- og måleprinsipp

De fleste stoffer i naturen vil, når de utsettes for elektromagnetisk stråling, absorbere deler av denne strålingen. Hvilke bølgelengder som blir absorbert (og i hvor stor grad) avhenger av stoffet lyset går gjennom. For eksempel vil metangass absorbere mye energi fra en IR-stråle med bølgelengde $3,3\mu\text{m}$, men lite energi av en IR-stråle med bølgelengde $3,1\mu\text{m}$. Både for å detektere gass og for å kompensere for effekten av tåke, luftfuktighet, snø, hindringer, osv. sammenlignes IR-strålens *målebølgelengde* (for eksempel $3,3\mu\text{m}$) og *referansebølgelengde* (for eksempel $3,1\mu\text{m}$), se Figur 1. Differansen mellom energiene fra de to bølgelengdene når de treffer mottakeren er da et mål på gasskonsentrasjonen (for eksempel % LEL metan). Sammenligning mellom målebølgelengde og referansebølgelengde er nødvendig for å kompensere for omgivelses parametere.



Figur 1: Lyset med målebølgelengde absorberes av metanmolekylet CH_4 , mens lyset med referansebølgelengde absorberes ikke av metanmolekylet.

Figur 2 viser en skisse av prinsippet for en IR-punktgassdetektor. En tradisjonell IR-detektor inneholder én eller to IR-kilder. Skissen i figur 2 har to IR-kilder, hver med et optisk filter, slik at det sendes ut hhv. en stråle med målebølgelengden og en stråle med referansebølgelengden. Begge strålene splittes gjennom en stråledeler for å måle hhv. gasskonsentrasjonen i lufta (målt av målesensoren) og eventuelle endringer i IR-kilden, optikken eller målesensoren (målt av referansesensoren). Strålen som sendes ut i lufta går ut gjennom en linse og for en punkt-gassdetektor reflekteres strålen tilbake via speil. (I en linjegassdetektor sendes strålen i lufta til målesensoren/mottakeren opptil flere meter fra senderen). For en detektor med én IR-kilde vil strålen splittes på samme måte, men filteret som slipper gjennom dedikerte bølgelengde vil være plassert foran måle- og referansesensorene i stedet for ved IR-kilde(n) som vist i Figur 2.



Figur 2: Skisse av måleprinsippet i en punkt-gassdetektor.

Både målesensoren og referansesensoren måler intensiteten av lyset for de to bølgelengdene, slik at til sammen fire intensiteter måles [3]:

Intensitet av målebølglengde i referansesensor: I_m^0
 Intensitet av referansebølglengde i referansesensor: I_r^0
 Intensitet av målebølglengde i målesensor: I_m
 Intensitet av referansebølglengde i målesensor: I_r

Sammenligninger av ulike intensiteter avgjør responsen til selve gassdetektoren som vist i Tabell 1. Merk at f.eks. en laserdetektor som eksponeres for andre gasser enn den/de den er kalibrert for, vil ikke gi endringer i intensiteten og dermed ingen respons (ref. nederste linje i tabellen).

Tabell 1: Detektorens respons basert på sammenligninger av de fire intensitetene, målt av hhv. målesensor og referansesensor for begge bølglengder.

Målesignal	Referansesignal	Detektorens respons
$I_m < I_m^0$	$I_r = I_r^0$	Gassdeteksjon. % LEL er avhengig av størrelsen på I_m
$I_m < I_m^0$	$I_r < I_r^0$	Skitten optikk (eller blokkert linje) avhengig av differansen
$I_m = I_m^0$	$I_r < I_r^0$	Feil med detektor.
$I_m = I_m^0$	$I_r = I_r^0$	Ingen respons (ingen gass og ren optikk)

3.2 Absorpsjonsspektre og resonansfrekvenser

Et absorpsjonsspekter for ett stoff viser hvilke bølglengder av lyset som absorberes når lyset går gjennom dette stoffet. Hvert stoff (i hver fase og ved ulike temperaturer) har sitt absorpsjonsspekter. Hvilke bølglengder som blir absorbert, og i hvilken grad, er karakteristisk for det stoffet lyset har gått gjennom.

Absorpsjonen for et spesifikt kjemisk stoff er spesielt sterk for bølglengder som tilsvarer en resonansfrekvens på molekylnivå for stoffet. I den infrarøde delen av det elektromagnetiske spektret er resonansfrekvensene knyttet til relativ bevegelse (vibrasjon og rotasjon) mellom atomene i molekylet. Det er disse resonansfrekvensene som er karakteristisk og forskjellige for forskjellige stoff som brukes i gassdeteksjon.

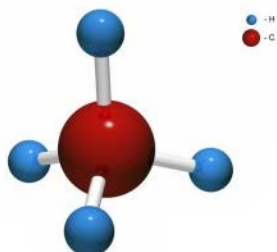
Graden av svekking av intensitet i en IR-stråle er også avhengig av stoffmengden lyset passerer. Absorpsjonsspektret kan derfor brukes til å identifisere en spesifikk gass og til å bestemme konsentrasjonen av gassen.

3.2.1 Metan, CH₄

Absorpsjonsspektret for metan er særegent for metan som i teorien gjør det mulig å detektere metan og å skille metan fra andre gasser. Utfordringen er imidlertid at vann og vanndamp absorberer stråling i IR-området, og denne absorpsjonen er bredspektret.

Et metanmolekyl består av fire hydrogenatom og ett karbonatom (se Figur 3), slik at det er mange teoretisk mulige vibrasjonsmodi og rotasjonsmodi. Imidlertid er det fire grunnleggende modi i metanmolekylet, som vist i Tabell 2. Modi 3, med en absorpsjonslinje på 3,3 µm, ble benyttet i de første optiske detektorene som kom på markedet for 25 år siden og er svært utbredt også i dagens detektorer. I tillegg til disse fire

grunnleggende vibrasjonsmodiene vil det i tillegg være overharmoniske- og kombinasjoner av frekvenser som gir andre absorpsjonslinjer, og som benyttes i ELDS-laserdetektoren.

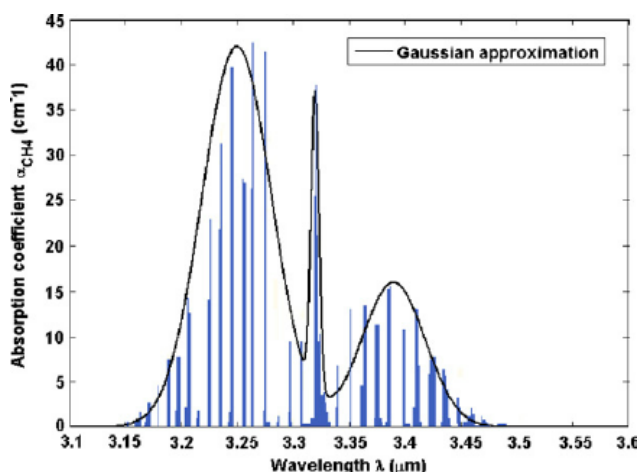


Figur 3: Metanmolekylet. <https://cage.uit.no/methane-molecule-2-drsusanrubin/>

Tabell 2: Grunnleggende vibrasjons- og rotasjonsmodi for metanmolekylet. [5]

Vibrasjons- modi ¹	Bølgelengde [μm]	Beskrivelse
1	3,428	Hydrogenatomene vibrerer tangentielt i forhold til karbonatomet som er i ro.
2	6,519	Hydrogenatomene vibrerer tangentielt i forhold til karbonatomet som er i ro.
3	3,312	Hydrogenatomene vibrerer radielt i forhold til karbonatomet. Karbonatomet vibrerer langs en akse.
4	7,657	Hydrogenatomene vibrerer tangentielt i forhold til karbonatomet. Karbonatomet roterer om en akse.

Figur 4 viser absorpsjonsspekteret for metan.

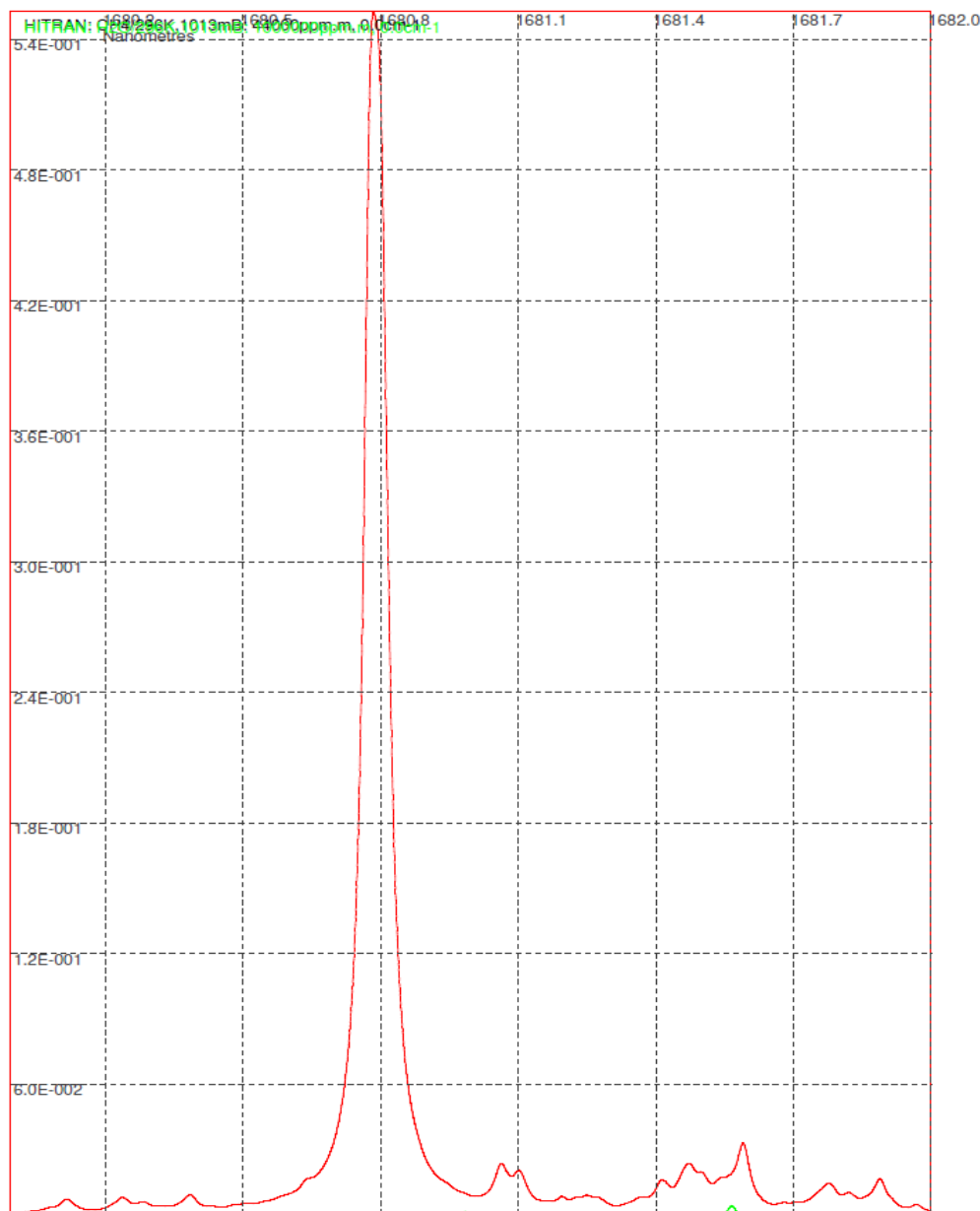


Figur 4: Absorpsjonsspekteret for metan (gaussisk tilnærming).

https://www.researchgate.net/figure/233388260_fig7_Fig-7-Mid-IR-absorption-spectrum-of-methane-evaluated-by-Gaussian-approximation

¹ Se http://www2.ess.ucla.edu/~schauble/MoleculeHTML/CH4_html/CH4_page.html for en visualisering av vibrasjonsmodiene.

Figur 5 viser absorpsjonsspekteret for metan rundt bølglengde 1,680 μ m, som benyttes i ELDS-detektoren.



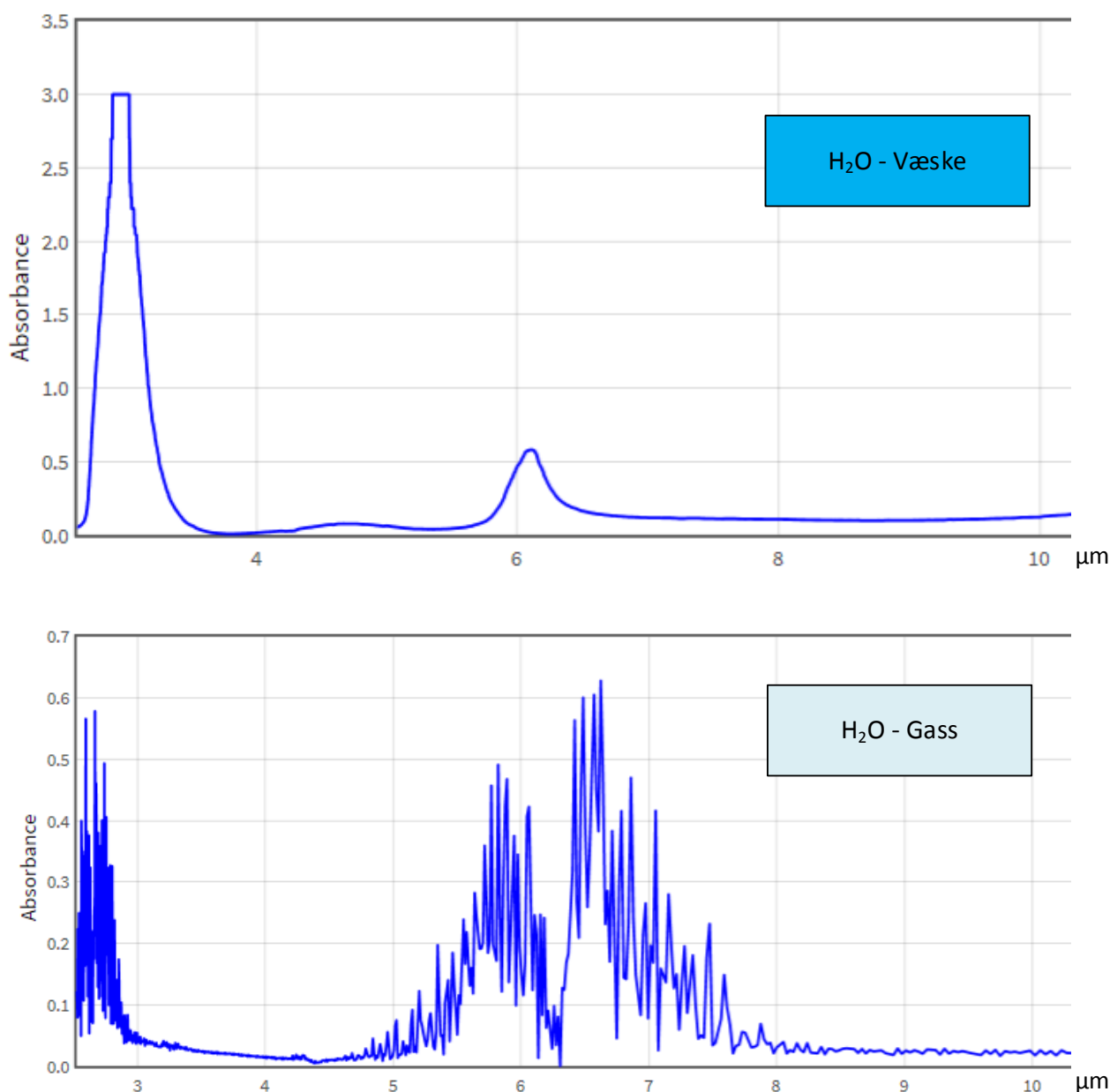
Figur 5: Absorpsjonsspekter for metan rundt bølglengde 1,680 μ m.

3.2.2 Vann, H₂O

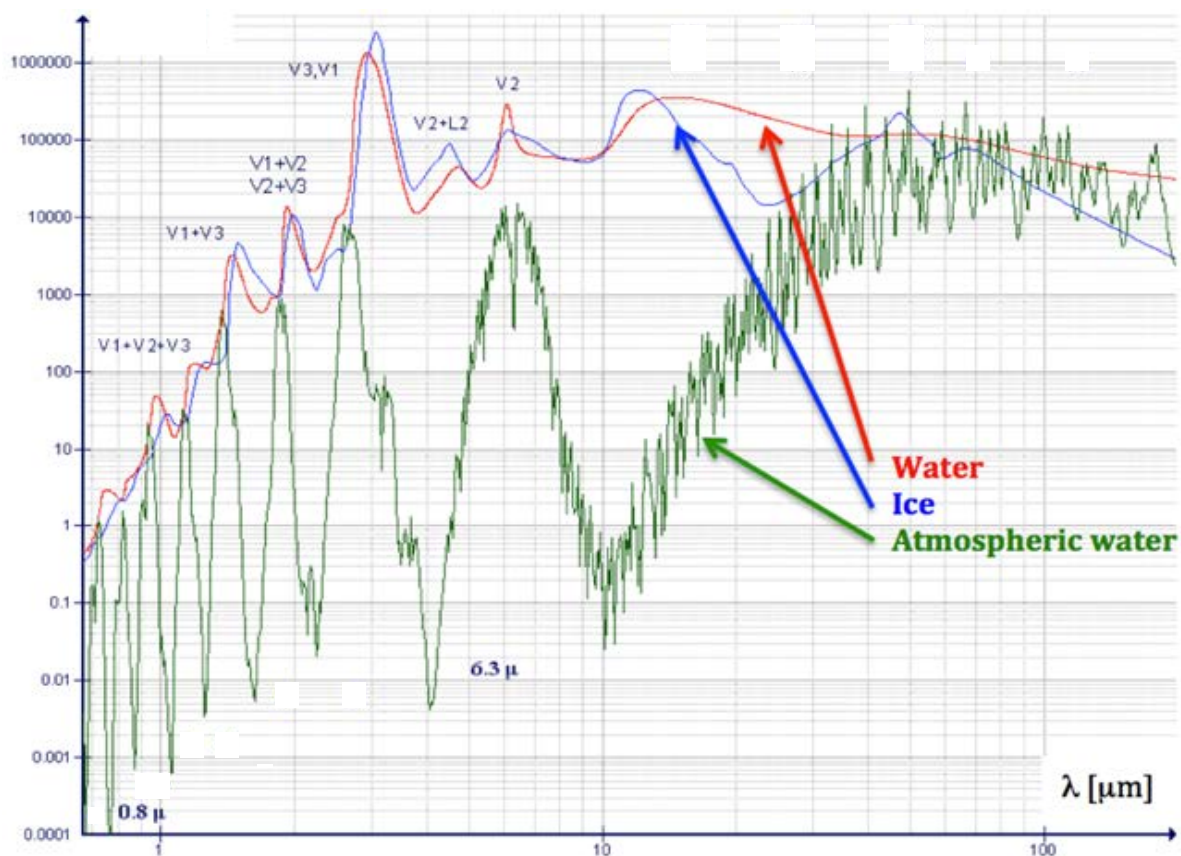
Absorpsjonsspekteret for vann er komplekst, og er svært forskjellig for vannets tre faser; is, væske eller vanndamp. I tillegg påvirkes absorpsjonsspekteret av temperaturen.

Vannmolekylene kan vibrere på ulike måter (v1, v2, v3). Molekylbevegelsene i væskefasen er begrenset til vibrasjoner av hydrogenbindingene. Men i gassform (vanndamp) er det et rikt antall vibrasjons- og rotasjonsmodi som kan gi opptil millioner absorpsjonslinjer.

Figur 6 viser absorpsjonsspektrene for vann i væskeform og gassform fra ca. 2,5–10 μ m. Figur 7 viser absorpsjonsspekter for vannets tre faser i et stort område fra 0–100 μ m. Detaljerte absorpsjonsspekter for vann rundt de typiske referanse- og målebølgelengdene til gassdetektorene (for eksempel 1,6 μ m, 2,1 μ m, 2,3 μ m, 3,0 μ m og 3,3 μ m) har det ikke lyktes å finne i dette prosjektet. Noe usikkerhet må også tilskrives temperaturendringer. Men fra figurene ser vi at vann både væske- og gassform ser ut til å absorbere IR-stråling i varierende grad for bølgelengder på 1–4 μ m.



Figur 6: Absorpsjonsspektre for vann i væske og gassform. <http://webbook.nist.gov/chemistry/cas-ser/>

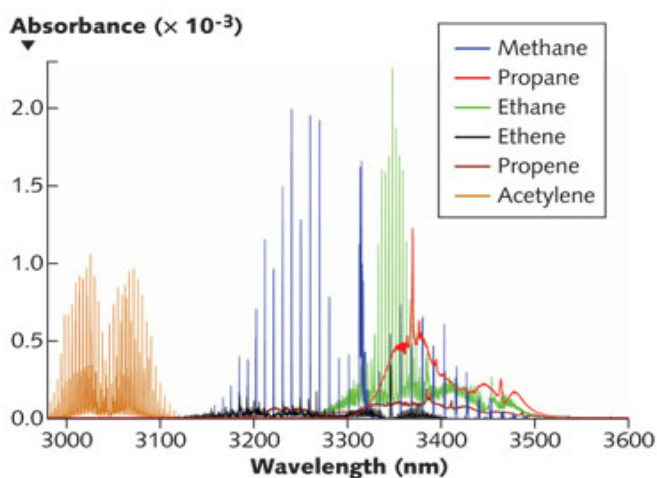


Figur 7: Absorpsjonsspekter for vann i væske-, gass- og fast form.

<https://inspirehep.net/record/1279895/plots>

3.2.3 Andre gasser

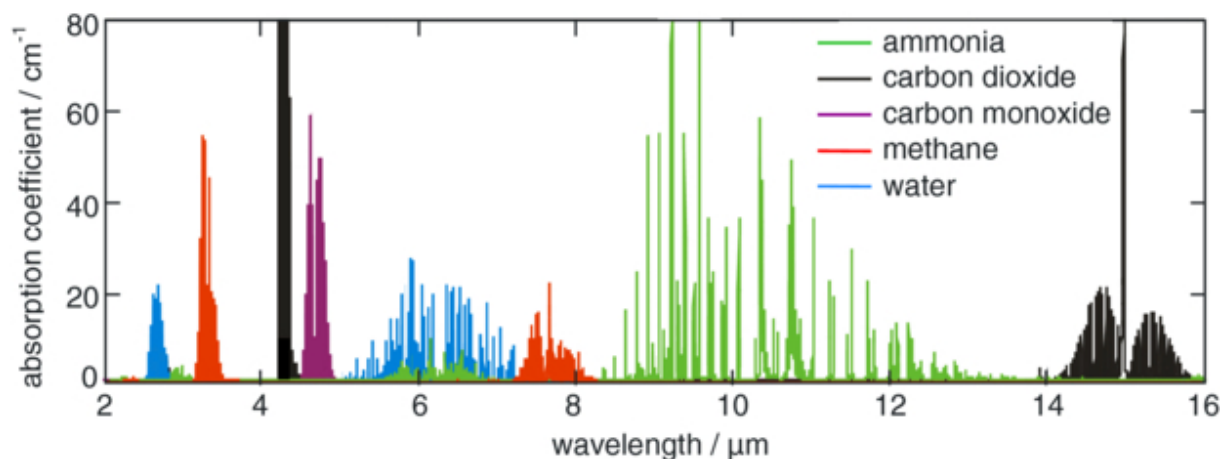
Figur 8 viser absorpsjonsspekter for en rekke HC-gasser (inkludert metan).



Figur 8: Absorpsjonsspekter for ulike HC-gasser.

<http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-48/issue-01/features/dfb-laser-diodes-expand-hydrocarbon-sensing-beyond-3-um.html>

Figur 9 viser absorpsjonsspekter til metan sammen med ammoniakk, karbondioksid, karbonmonoksid og vann.



Figur 9: Absorpsjonsspekter for ulike gasser. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-0233/24/1/012004/pdf>

Figurene over viser at flere HC-gasser har overlappende absorpsjonsspektre. En del bølgelengder kan absorberes av flere gasser. En tradisjonell IR-detektor med typiske referanse- og målebølgelengder (se kapittel 4) kan derfor ha vanskeligheter med å identifisere en bestemt gass (og dermed også konsentrasjonen av target-gassen). En moderne laserdetektor har gjerne andre bølgelengder og kombinasjoner av bølgelengder som sammenfaller med absorpsjonslinjer som er karakteristiske for en bestemt gass.

3.3 Deteksjon og konsentrasjon av ulike gasser

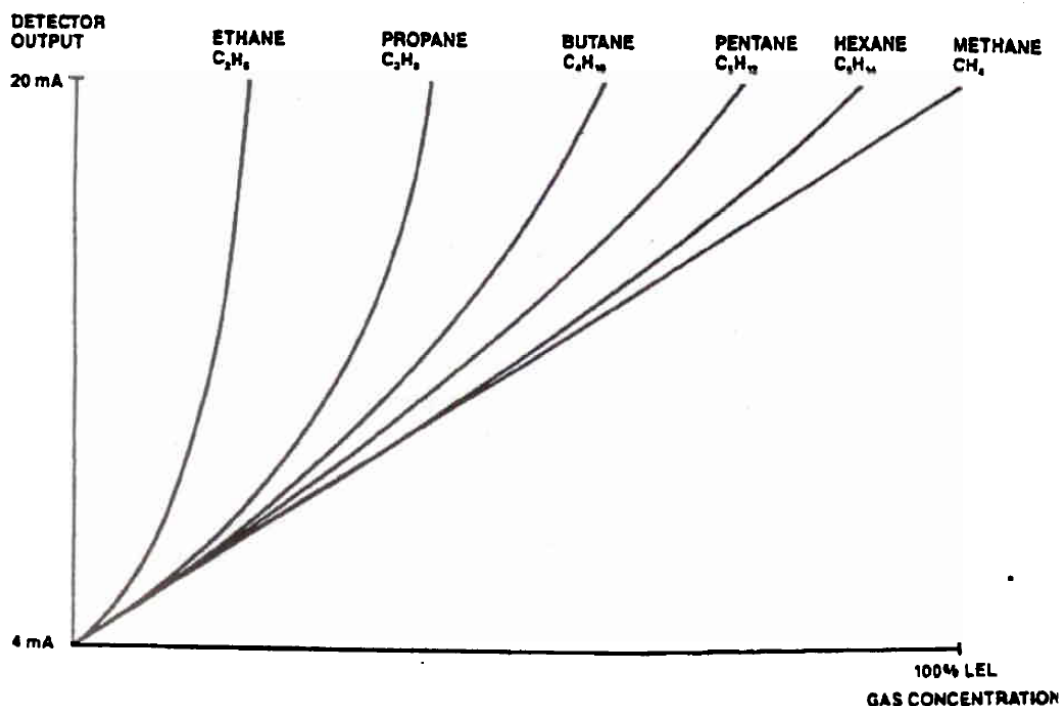
Konsentrasjonen av HC-gasser i luft oppgis i volumprosent. Konsentrasjoner som utgjør 100% LEL (IEC standard) i luft for de vanligste HC-gassene er vist i Tabell 3. Merk at verdiene i tabellen vil variere med temperatur og trykk.

Tabell 3: Konsentrasjon i volumprosent som tilsvarer LEL for ulike gasser (romtemperatur og atmosfærisk trykk).

HC-gass		LEL [volum%]
Metan	CH ₄	5,0%
Etan	C ₂ H ₆	3,0%
Propan	C ₃ H ₈	2,1%
Butan	C ₄ H ₁₀	1,8%
Pentan	C ₅ H ₁₂	1,4%
Heksan	C ₆ H ₁₄	1,2%

En del tradisjonelle IR-gassdetektorer vil reagere på flere gasser og må kalibreres for target-gassen, som i norsk petroleum hovedsakelig er metan. Selv om en detektor er kalibrert for metan og viser 100% LEL ved 5,0 volum% metan i lufta, vil samme detektor (avhengig av detektortype) også kunne detektere andre gasser som etan, propan, butan, osv. Figur 10 viser en skisse av kryss-sensitivitet mellom ulike HC-gasser for en metan-kalibrert detektor. Denne detektoren vil gi tidlig gassalarm for tyngre gasser som propan og butan.

Tilsvarende grafer/tall for spesifikke metan-kalibrerte IR-detektorer i bruk på norsk sokkel, viser at en detektormodell vil gi 100% LEL utslag ved 30 % LEL propan mens en annen vil gi 100% LEL utslag ved 20% LEL propan. For riktig deteksjon av tyngre gasser, er det mer hensiktsmessig å benytte detektorer som kan kalibreres for propan og som også er sensitiv for andre gasser.



Figur 10: Eksempel på sammenligning av hva som er faktisk LEL for ulike gasser når den gir 100% LEL på en metankalibrert detektor.

4 Optiske gassdetektorer – Leverandører og modeller

Tabell 4 lister leverandører av optiske gassdetektorer på norske petroleumsinnretninger, som SINTEF har etterspurt informasjon om i dette prosjektet. I tillegg listes de mest vanlige detektormodellene som er i bruk i dag, for hver leverandør.

Tabell 4: Oversikt over leverandører og eksempler på optiske gassdetektorer i drift på norske petroleumsinnretninger.

Leverandør	Optiske detektormodeller
Autronica autronicafire.no	AutroPath HC200 AutroPath HC800
Dräger draeger.com	PIR 7000 Type 334 PIR 7000 Type 340 Dräger PIR 7200 Polytron Pulsar (GD8) Pulsar 7000 Series
GasSecure gassecur.com	GS01 wireless, with fixed antenna GS01-EA wireless, with extended antenna
Honeywell honeywellanalytics.com	Searchpoint Optima plus Searchline Excel
Senscient senscient.com	ELDS
Simtronics Fire & Gas simtronics.eu	GD10 GD10P

I tillegg fins flere modeller (og flere leverandører) av detektorer som enten er eldre modeller som ikke lenger produseres eller som ikke er i utstrakt bruk.

SINTEF har etterspurt leverandørene om informasjon om deres optiske gassdetektorer for å detektere HC-gasser og som er i bruk i norsk petroleumsvirksomhet. Detektorene benytter målebølgelengder på ca. 1,68µm, 2,3µm, 3,3µm, og 3,4µm og referansebølgelengder på ca. 2,1µm, 3,0µm, og 3,6µm

Responstidene til detektorene er lave, typisk fra 1–4s.

Detektorene kalibreres mot metan, men enkelte detektorer har også mulighet til å kalibreres mot andre HC-gasser.

Hvilke gasser som vil detekteres og ved hvilken konsentrasjon, varierer en del fra modell til modell. En graf som illustrerer kryss-sensitivitet mellom HC-gasser for en metan-kalibrert detektor er svært relevant for operatør ved både valg av detektormodell og for å forstå hvordan detektorene responderer (jf. Figur 10).

Produktspesifikasjoner av gassdetektorer viser at de er sertifisert for temperaturer opp til 60–80°C.

5 Hendelser der optiske gassdetektorer har blitt utsatt for “ekstreme forhold”

Nedenfor refereres hendelser der optiske gassdetektorer under reelle HC-lekkasjer har blitt utsatt for store vannmengder eller vanndamp. Hver hendelse er kort beskrevet, uten å gå i detalj på hendelsesforløp, årsaker og konsekvenser, men med relevant informasjon relatert til funksjonaliteten av de aktuelle gassdetektorene. I tillegg til vurderinger av hvordan og hvorfor detektorene reagerte (eller ikke reagerte) som de gjorde under hendelsene, diskuteres også alarmer, “Cause and Effect” (C&E) og sikkerhets- og automasjonssystemet (SAS). Innholdet er basert på granskningsrapporter utarbeidet av operatører og Petroleumstilsynet, samt diskusjoner i møter med operatørene.

5.1 Brønnkontrollhendelse på borerigg

5.1.1 Hendelsen

Under arbeid med en brønn, ble boremaskinen (top-drive) med kompletteringsstrengen presset opp flere meter. Samtidig strømmet store mengder væske og gass ukontrollert opp gjennom rotasjonsbordet. Væskesøylen bestående av kaldt sjøvann stod helt til toppen av boretårnet. Dette var vannet som hadde stått i brønnen ned til BOP. Store mengder gass fra reservoaret under produksjonsrørhenger ble frigjort, og fylte rommet over boredekket. Gassen antas å ha bestått av mer enn 90% metan. Flere gassdetektorer på og like utenfor boredekk ble utløst ca. ett minutt etter at borestrengen løftet seg. Dette førte til lokal nødavstengning (ESD) av utstyr og mønstring ble iverksatt.

5.1.2 Gassdeteksjonen under hendelsen

Totalt fem IR-detektorer i to ulike brannsoner gav gassalarm under hendelsen. Gassdetektorene indikerte gass både på boredekk og utenfor boredekk; gassalarm ble gitt av de tre HC-detektorene i HVAC-inntaket akterut for boredekket og av de to HC-detektorene 2–3m oppå veggen i hvert sitt hjørne akterut inne på boredekket. Den store åpningen i veggen akterut for boredekk, kombinert med tre sekundmeter vind, førte gass ut gjennom døra og til luftinntaket på utsiden av boredekket.

Resultatene fra simuleringene av gassutbredelse viste at mesteparten av gassen ville forflyttet seg oppover og ut igjennom toppen av boretårnet. Når gassdetektorene nær dekknivå gav utslag, så skyldtes dette mest sannsynlig følgende [2]:

- Fallende væskestrømmer har tatt med seg gass i turbulensen.
- Gass som har blitt skilt ut fra væsken.
- Væskestrømmen ut av rotasjonsbordet har truffet gjenstander som har spredt væske og gass horisontalt.

Tabell 5 viser tidspunktene da de fem detektorene som detekterte gass gav gassalarm og hvilket alarmnivå de gav; høy (H) eller høy-høy (HH). Detektorene i HVAC-inntaket gav singel 20% LEL gassalarm 4s før detektorene på boredekket detekterte gass. Begge detektorene på boredekk gav 60% LEL, hhv. 6s og 39s etter at de hadde gitt 20% LEL.

Tabell 5: Tidspunkt for registrerte gassalarmer for de optiske detektorene (hentet fra alarm-logg).

Tidspunkt	Tag	Plassering	Alarm/gassnivå
09:33:31	***019	HVAC	HC Gas Alarm H (20% LEL)
09:33:35	***016	Boredekk	HC Gas Alarm H (20% LEL)
09:33:36	***018	HVAC	HC Gas Alarm H (20% LEL)
09:33:41	***016	Boredekk	HC Gas Alarm HH (60% LEL)
09:33:50	***015	Boredekk	HC Gas Alarm H (20% LEL)
09:34:03	***017	HVAC	HC Gas Alarm H (20% LEL)
09:34:29	***015	Boredekk	HC Gas Alarm HH (60% LEL)

Ingen flere detektorer på riggen detekterte gass under hendelsen. Gasskyen nådde trolig ikke toppen av boretårnet (ca. 40m over boredekk) der det er plassert to HC-detektorer. Detektoren montert på avlederområdet under boredekk detekterte heller ikke gass / ble ikke utsatt for gass. Etter hendelsen fungerte alle detektorene og ingen ble skiftet i ettertid. Vedlikeholdsloggen viser heller ingen problemer med HC-detektorene forut for hendelsen.

5.1.3 Alarmer og aksjoner

Tabell 6 og Tabell 7 viser aksjoner for de ulike gassalarmene for de to brannsonene hvor de aktuelle gassdetektorene er plassert, hhv. på boredekk og ved HVAC-inntaket. Aksjonene vist i tabellene er alarm på høyttaler (PA), bekreftet gass og nedstengning i form av tennkildeutkobling.

Tabell 6: Alarmer og aksjoner ved ulike detektorresponser – for brannsonen boredekket tilhører.

Gassalarm	PA	Bekreftet gass	Nedstengning: Tennkildeutkobling
100N 20% LEL	*	Nei	Ja
100N 60% LEL	Ja	Ja	Ja
200N 20% LEL	Ja	Ja	Ja
“Fault-alarm” 100N	*	Nei	Nei
“Fault-alarm” 200N	Ja	Ja	Ja
“Fault-alarm” 100N og 100N 20% LEL	Ja	Ja	Ja

* PA-alarm (alarm på høyttaler) etter to minutter dersom operatør ikke kvitterer alarmen.

Tabell 7: Alarmer og aksjoner ved ulike detektorresponser – for brannsonen HVAC-inntaket tilhører.

Gassalarm	PA	Bekreftet gass	Nedstengning: Tennkildeutkobling
100N 20% LEL	*	Nei	Ja
100N 60% LEL	Ja	Ja	Nei
200N 20% LEL	Ja	Ja	Nei

* PA-alarm (alarm på høyttaler) etter to minutter dersom operatør ikke kvitterer alarmen.

Da hendelsen oppstod ble kun grenseverdiene (lav/høy) av gasskonsentrasjonen (%LEL) registrert i automasjonssystemet. For HC-detektorene ble det derfor kun loggført tidspunktene for når detektorene gav

lav-alarm (20% LEL). I etterkant av hendelsen er det nå startet implementering av logging av 4–20mA på alle gassdetektorer.

Diskusjon av SAS-systemet med operatøren, viste at alle typer feil på HC-detektorene vil gi samme alarmtekst i kontrollrom uansett om detektoren detekterte 20% LEL, 60% LEL eller gav feilalarm. Uten differensierte alarmtekster for detektorfeil, er det umulig å identifisere hvilken type feil som har gitt alarm, alvorlighetsgraden av feilen, hvordan operatøren skal agere på feilen, og i ettertid – hvilke feil man har erfart med detektorene.

5.1.4 Vurdering av HC-detektorenes funksjonalitet under hendelsen

Gjennomgang og diskusjon av hendelsen med operatør og riggeier viser at de IR-detektorene som burde reagert under hendelsen, reagerte korrekt både mht. gassdeteksjon og responstid. Det er ikke identifisert forhold som tyder på at vannmengden og vanntemperaturen påvirket funksjonaliteten til detektorene. Merk også at dersom f.eks. vanndamp i systemet *hadde* ført til at detektorene hadde gått i feil, ville feilalarmene slik logikken er satt opp, ført til tennkildeutkobling (nedstengning) på riggen.

5.2 Hydrokarbonlekkasje på produksjonsplattform

5.2.1 Hendelsen

Brudd i vannutløpet på en separator førte til HC-lekkasje kombinert med utslipp av varmt vann. På grunn av den varme temperaturen oppstod det varm damp (steam) i området sammen med gassen. Produsert vann i separatoren har høy temperatur (antatt ca. 120°C under hendelsen) og kan inneholde mye gass. Dette førte til at store mengder vanndamp med høy temperatur (steam) raskt fylte store områder, siden vann utvider seg opptil 1700 ganger i overgangen fra vann til vanndamp. Detektorene i området ble dermed raskt utsatt for vanndamp iblandet HC-gass.

5.2.2 Gassdetektorene på innretningen

Da hendelsen inntraff var to brann- og gassystemer (B&G-systemer) installert pga. en pågående oppgraderingen av det eksisterende B&G-systemet. Det gamle systemet (operativt) benyttet katalytiske detektorer, mens det nye systemet (ikke operativt) benytter IR-detektorer. Oppgraderingsprosjektet med IR-baserte detektorer var installert og strømsatt, men ikke operativt, da hendelsen oppstod. Skjermbilder tilhørende det nye systemet var installert i kontrollrom, og alarmer og signalverdier (mA-verdier) fra IR-detektorene ble loggført, slik at man i ettertid kunne se hvordan IR-detektorene responderte under hendelsen. Siden det IR-baserte deteksjonssystemet ikke var ferdigstilt, ble riktignok deteksjoner og responser av IR-detektorene under hendelsen registrert med en viss grad av fabrikkinnstillinger.

5.2.3 Gassdeteksjonen under hendelsen

Responstidene for de aktuelle punktdetektorene er vist i Figur 11, både for katalytiske detektorer og IR-detektorer. Figuren viser at IR-detektorene først gav feilalarmer og at de responderte på gass mye senere enn de katalytiske detektorene, motsatt av hva som forventes ved gassdeteksjon. Første gassalarm fra IR-detektorene kom 25s etter første høy-alarm fra de katalytiske detektorene. Responstidene i Figur 11 viser at nedstengning med det gamle katalytiske gassdetektorsystemet ble oppnådd ett og et halvt minutt før en nedstengning hadde blitt initiert av IR-gassdetektorsystemet.

Merk at det nye systemet har kun én alarmgrense. Gassalarm fra IR-detektorene initieres på 20% LEL, mens de katalytiske detektorene gav lav-alarm på 20% LEL og høy-alarm på 60% LEL. Sammenligner man

responstiden for første deteksjon av 20% LEL, responderer de katalytiske detektorene 37s raskere enn IR-detektorene.

Forskjell i responstid for "Confirmed gas" mellom gammelt og nytt system var under hendelsen 1min 35s. Merk også at de to IR-detektorene som gav gassalarm, alarmerte med et mellomrom på hele 1min 17s. Fra Figur 11 ser vi at IR-detektorene (**064) som gav gassalarm først ikke hadde gitt feilalarm tidligere, mens den andre IR-detektoren (**067) gav "Fault Failure" to ganger før den gav gassalarm.

"Fault Failure" er en feilvarsling fra IR-detektorene før softwaren i B&G-systemet ble konfigurert for å skille mellom for eksempel "dirty optics"-alarm og "beam block"-alarm, og alle feiltilstander ble derfor gitt med alarmtekst "Fault Failure". For linjegassdetektorene var imidlertid softwaren konfigurert til å vise "fault", "dirty optics" og "beam block" i hendelsesloggen som man kunne lese i etterkant av hendelsen. Selv om Figur 11 kun viser responstidene til IR-punktdetektorene, gikk også IR-linjegassdetektorene i feil, men de både gikk senere i feil og lå lengre i feil sammenlignet med IR-punktdetektorene. Første feilalarm (samtidig "beam block" og "fault") fra linjegassdetektorene kom kl. 07:09:23. Første gassalarm fra linjegassdetektorene kom kl. 07:10:35, mens neste gassalarm fra linjegassdetektorene kom først kl. 07:11:51. For disse to linjegassdetektorene, som gav de første gassalarmene, er det ikke registrert noen feilalarmer i forkant, mens for andre linjegassdetektorer er det registrert både feilalarmer og gassalarmer.

Old System – Catalytic Bead Gas Detectors			New System – Modern IR Gas Detectors		
Detector Tag	Time of Response	Comment	Detector Tag	Time of Response	Comment
███-113	07:08:25	Low Alarm	███060	07:08:23	Fault Failure
███-116	07:08:28	Low Alarm	███059	07:08:24	Fault Failure
███-112	07:08:32	Low Alarm	███058	07:08:25	Fault Failure
███-111	07:08:36	Low Alarm	███065	07:08:27	Fault Failure
███-113	07:08:37	High Alarm	███057	07:08:28	Fault Failure
███-107	07:08:38	Low Alarm	███055	07:08:30	Fault Failure
███-149	07:08:39	Low Alarm	███067	07:08:36	Fault Failure
███-112	07:08:44	High Alarm	███067	07:08:43	Fault Failure
Control System Response			███056	07:08:56	Fault Failure
Confirmed Gas	07:08:44		███066	07:08:58	Fault Failure
ESD 3 Shutdown	07:08:46		███064	07:09:02	High Alarm
			███067	07:10:19	High Alarm
			Control System Response		
			Confirmed Gas	07:10:19	

Figur 11: Oversikt over tidspunkt gassdetektorene kom med gassalarm under.

5.2.4 Alarmer og aksjoner

Tabell 8 og Tabell 9 viser aksjoner for de ulike gassalarmene, hhv. for gammelt og for nytt system.

Tabell 8: Aksjoner for detektoralarmer for gammelt system med katalytiske gassdetektorer.

Detektoralarm	PA	Bekreftet gass / ESD ¹⁾
1 x 20% LEL	Nei	Nei
1 x 60% LEL	Ja	Nei
2 x 60% LEL	Ja	Ja

¹⁾ ESD3 initiert 2s etter bekreftet gass

Tabell 9: Aksjoner for detektoralarmer for nytt system med optiske IR-gassdetektorer.

Detektoralarm	PA	Bekreftet gass / ESD ¹⁾
1 x 20% LEL / 1 LELm	Nei	Nei
2 x 20% LEL / 1 LELm	Ja	Ja

¹⁾ ESD3 initiert 2s etter bekreftet gass

5.2.5 Vurdering av HC-detektorenes funksjonalitet under hendelsen

IR-gassdetektorene responderte ikke riktig når de ble eksponert for gass i vanndamp (steam). De gav feilalarm og/eller forsinket gassalarm (langt over responstidkravet). Det antas at dette var pga. mengden overopphetete damp som la seg i den optiske linjen eller på de optiske linsene og blindet detektorene. Siden optikken i detektorene er utstyrt med varmeelementer, fungerte trolig IR-gassdetektorene igjen etter hvert som dampen forsvant og kondensen ble borte fra linsene – og detektoren dermed ble i stand til å indikere gass.

Dersom logikk med automatisk nedstengning ved feil på et visst antall detektorer hadde vært implementert for IR-detektorene under hendelsen, kunne de gitt tilstrekkelig reaksjonstid.

Det er heller ikke er mulig å si om responsen til de katalytiske gassdetektorene faktisk var pga. gass eller andre årsaker, som varm damp; det er mulig at veldig varm damp *kan* initiere en reaksjon slik at detektoren gir gassalarm. [4]

6 Vurdering av optiske gassdetektorer

6.1 Funksjonalitet under ekstreme (vann)forhold

Gassdetektorene som ble utsatt for “ekstreme forhold” under hendelsene gjennomgått i kapittel 4, ble eksponert for både ikke-oppvarmet sjøvann og varm vanndamp. De optiske detektorene utsatt for ikke-oppvarmet sjøvann gav raskt gassalarm - uten å gi feilalarm først, mens de optiske detektorene utsatt for varm vanndamp gav først feilalarm og/eller kom seint inn med gassalarm.

De fleste IR-punktgassdetektorene benytter prinsippet med målebølgelengde på ca. $3,3\mu\text{m}$ og referansebølgelengde på ca. $3,0\mu\text{m}$. Dette spekterområdet er utsatt for og blir påvirket av fuktighet og vann (ref. absorpsjonsspektrene i kapittel 3, som viser at vann også absorberer mye av strålingen for dette bølge-spekteret). Derfor har IR-detektorene som regel oppvarming av linser for å kompensere for moderate mengder vann, vannfilm, tåke, osv. I tillegg er detektorene ofte designet med et værhus rundt målekammeret for å lede vannet utenom IR-strålen. Noen detektorer leveres også med “deluge protection” og “dust barrier” (leder bort dråper), som er med på å hindre at vann trenger inn i målekammeret. Da er erfaringen at ekstremt vær med mye vind og regn sjelden setter IR-punktgass detektorer ut av spill, mens linjegass- og optiske flammedetektorer i dårlig vær er mer utsatt for svikt.

ELDS-laseredetektoren bruker bølgelengde på ca. $1,68\mu\text{m}$ for å detektere metan. Dette er en bølgelengde med sterk absorpsjon av metangass og svært lav absorpsjon av vanndamp (ref. Figur 6). Laserdetektoren har vært testet av en operatør med vanndamp, og detektoren responderte helt frem til den gikk i “beam block”. Hvorvidt den påvirkes av steam eller vanndamp med svært høy temperatur kjenner derimot ikke SINTEF til.

6.1.1 Fuktighet, regn, vann, snø, tåke, vind, osv.

Ved tåke, snø o.l. oppstår ofte “dirty optics”-alarmer fra mange detektorer. Dette skjer fordi lysintensiteten til både målesignalet og referansesignalet blir svekket når vann absorberer både måle- og referansebølgelengden (på samme måte som skitten optikk reduserer intensiteten), jf. Tabell 1.

“Dirty optics” behandles ikke som feil på detektoren, siden detektorene fungerer (men er i ferd med å få behov for vedlikehold). “Dirty optics”-alarmer har derfor ingen innvirkning på hverken automatisk nedstengning ved feil på detektorer eller automatisk endring av votering.

For å unngå mange optikk-alarmer i kontrollrom innenfor kort tid pga. forbigående værforhold, kan ulike strategier benyttes, for eksempel:

- **Forsinket “dirty-optics”-alarmer:** Detektorene vil ikke gi “dirty optics”-alarm i kontrollrom før etter en forhåndsdefinert periode, f. eks. fire timer. Ofte vil det forbigående været da være over, og detektoren har innen den tid gått fra alarmsignal og tilbake til normalt signal, f.eks. ved at uværet er forbigått eller optikken er oppvarmet slik at vannet har fordampet. En forutsetning for å benytte forsinket “dirty optics”-alarmer er at SAS-systemet skiller mellom og har ulik prioritet på hhv. “dirty optics”- og “beam block”-alarmer (noen SAS-systemer har ikke denne muligheten). “Beam block”-alarmer og “Fault”-alarmer må imidlertid vises i et døgnbemannet kontrollrom.
- **“Dirty optics”-alarmer direkte til vedlikehold:** Enkelte innretninger praktiserer direkteføring av “dirty optics”-alarmene til vedlikeholdsoperatørene (i stedet for til kontrollrom). Dette kan kombineres med forsinket alarm, slik at man ikke må agere umiddelbart på alarmene, men f.eks. avvente til neste dag.

6.1.2 Vanndamp/Steam

Varmedamp som fører til dugg er et identifisert problem for IR-detektorer, og detektorene vil da sannsynligvis nokså snart melde feil eller blokkert optikk. Ved steam (mye vanndamp med høy temperatur) vil man også forvente feilalarmer, "dirty optics" eller "beam block". (Observasjoner ved vanndamp har vist at IR-detektorene går relativt fort fra "dirty optics" til "beam block"). Avhengig av tetthet og varighet av vanndampen, vil oppvarming av optikken etter hvert klarere sikten slik at detektorene klarer å lese eventuell gass.

Basert på informasjon fra leverandøren og erfaringer fra operatører, ville ELDS-laserdetektoren trolig ikke gi feilalarm ved vanndamp med moderate temperaturer, men det er ukjent om detektoren faktisk ville respondert på gass ved høye temperaturer og mye steam (tilsvarende hendelsen fra kapittel 5.2).

Automatisk nedstengning ved feil på detektorer

For å kompensere for at IR-detektorer blindes av vanndamp, kan det for utvalgte områder implementeres en logikk som iverksetter *automatisk nedstengning ved feil på et visst antall detektorer*, dvs. i situasjoner der flere detektorer i områder som er eksponert for gass sammen med varmt vann (og høyt trykk) gir alarm om "beam block" eller "fault".

Merk at dersom automatisk nedstengning (ved feil på f.eks. fem detektorer) hadde vært implementert for IR-systemet under hendelsen i kapittel 5.1, ville IR-detektorene gitt nedstengning 16s *før* de katalytiske detektorene gav nedstengning.

Degraderingslogikk

En annen løsning er automatisk endring av votering (f.eks. fra 200N til 100N), dersom en eller flere detektorer "faller ut" (f.eks. pga. "beam block" eller "fault"). Da vil det være tilstrekkelig at et færre antall detektorer detekterer gass sammenlignet med opprinnelig votering. For eksempel ville en slik degraderingslogikk implementert for IR-gassdeteksjonssystemet under hendelsen i kapittel 5.1 ha gitt "Confirmed gas" ved gassalarm på første IR-detektor (18s *etter* de katalytiske detektorene gav nedstenging), forutsatt at IR-detektoren som gav gassalarm da var en del av en (degradert) 100N-votering.

6.2 Alarmer, alarmgrenser og alarmtekster

Alarmgrensene, dvs. hvilke (strøm-)intervaller som skal generere hvilke alarmer, varierer noe fra leverandør til leverandør og fra modell til modell. Alarmgrensene er i varierende grad konfigurerbare. For mange detektorer kan operatøren selv velge signalgrensene for eksempel for "dirty optics" og "beam block" – innenfor et avgrenset intervall. Men alarmgrensene for gassdeteksjon (4mA og oppover), for eksempel for 20% LEL og for 1 og 2 LELm, er definert i B&G-systemet og kan ikke konfigureres. Når alarmgrenser og alarmtekster ikke er standardiserte kan bruk av ulike leverandører/modeller av detektorer gi svært krevende konfigurering i SAS-systemet. I tillegg kan det være forvirrende med ulike alarmer, alarmtekster, vedlikeholdsmanualer, osv.

Tabell 10 viser eksempler på alarmgrenser for en linjegassdetektor med tilhørende alarmtekster. Både antall alarmer og tilhørende alarmtekst i tabellen er et "minimum" for hva som bør angis som alarmtekster i kontrollrom. SINTEF har registrert tilfelle av manglende differensiering av feilalarmer fra gassdetektorer, og at det benyttes kun én og samme feilalarm til kontrollrom for alle signal i området 0–4mA. Da er det umulig for kontrollromsoperatører eller vedlikeholdspersonell å forstå om detektoren faktisk er degradert eller ute av funksjon. Det at en linjegassdetektor går direkte i "beam block" betyr som regel en obstruksjon i strålen,

men dersom det ikke nyanseres mellom ulike feilalarmer, vil kontrollromsoperatør være uvitende om det faktisk er en feil med detektoren eller en sannsynlig obstruksjon – for eksempel om et stillas må justeres eller om detektoren må repareres/byttes.

Tabell 10: Eksempler på alarmgrenser for analog output fra en linjegassdetektor.

mA	Alarm
0	No signal
0–1,5	Fault
1,6–3,0	Beam block
3,1–3,9	Dirty optics
4,0	Zero gas
4,0–20	Gas (LELm)
>20	Fault

Sikkerheten på en innretning eksponert for hydrokarbonlekkasjer er avhengig av hvordan B&G-systemet er konfigurert med voteringer, tilleggslogikker (for eksempel degraderingslogikk) og aksjoner (C&E). Ved bruk av automatisk nedstengning ved feil på detektorer eller degraderingslogikk (jf. kapittel 5.2.4), er det viktig at slike løsninger, som gjerne er spesifikke for ett område på innretningen, kommuniseres tydelig til brukeren. For eksempel kan degraderingssituasjonen vises og illustreres på områdebildet i kontrollrom.

Det er ikke alltid at SAS-leverandører har sertifiserte løsninger for spesifikke konfigurasjoner. Endringer i ettertid på sertifiserte funksjonsblokker og typekretser kan være vanskelige, så løsningene med alarmer og C&E (votering og aksjoner) bør være evaluert i detalj.

6.3 Plassering

Uavhengig av detektorteknologien vil variasjon i plassering og høyde av detektorene sammen med geometrien og retningen på gassutslippet også påvirke responstidene. Dersom et område ikke umiddelbart fylles med gass, vil det variere hvordan detektorene i området responderer basert på deres plassering i forhold til lekkasjepunktet. [4]

Generelt henvises til kapittel 12 i NORSOK S-001 [1] for plassering av detektorer. Standarden sier at *“Dispersion simulations may be performed for optimisation of the number and location of detectors.”* Operatørene benytter både simuleringer, 3D-modelleringer og manuell analyse av layout-tegninger. Men selv avanserte simuleringer og modelleringer har problemer med å ta hensyn til både eksplosjonstrykk, potensielle gasslekkasjer, gasstyper, gasskonsentrasjon, gasstygde, mulige vindforhold, turbulens, osv. ved optimalisering av detektorplassering. Nye innretninger er dessuten mer kompakte, noe som gjør modelleringene enda vanskeligere.

7 Anbefalinger og forslag til videre arbeid

NORSOK standard S-001 [1] om teknisk sikkerhet sier at *“IR gas detectors (HC) with provisions of self-diagnostics shall be the preferred technology whenever suited for the gas to be detected”*. Men andre detektorprinsipper er også aktuelle, enten som erstatning eller supplering (f.eks. laserdetektorer, akustiske detektorer, CCTV, optiske kameraer eller pikselbaserte flammedetektorer). Kunnskapen om teknologien til de ulike deteksjonsprinsippene varierer, spesielt ved eksponering av vanndamp med høy temperatur. Operasjonsvinduet for optiske detektorer er relativt stort, men teori og erfaring viser at detektorene (midlertidig) kan miste sin funksjonalitet ved snø, tåke, vanndamp, steam, osv. Dersom en gasslekkasje oppstår under slike forhold, vil detektorene ikke nødvendigvis være i stand til å detektere gassen (raskt nok). Da kan det være aktuelt å kompensere med spesialtilpasset logikk, benytte andre typer detektorer eller forbedre designet av dagens IR-detektorer. Eksponering for varm og/eller tett damp har heller ikke vært en del av tidligere tester av gassdetektorer. Med økende produksjon av vann på mange norske innretninger, kan det bli et ytterligere behov for å analysere hvordan varm damp påvirker gassdetektorer. I tillegg bør detektorene analyseres for andre forhold som mye vann, tett snøvær, tett tåke, osv., både mht. hyppighet og varighet av feilalarmer. Her kan det også være aktuelt å hente erfaringsdata fra operatørene.

Påliteligheten til gassdetektorer på norske petroleumsinnretninger avhenger ikke bare av selve detektoren, men hvordan detektoren er tilpasset bruken, hvilken funksjonalitet detektoren har og hvordan den er integrert sammen med andre detektorer i SAS-systemet. Dette gjelder ikke bare optiske detektorer, men samtlige detektortyper som er tilgjengelige på markedet.

Operatørene bør kjenne til følgende ved valg av gassdetektorer:

- Hvilken eller hvilke gasser som skal detekteres (og ikke er nødvendig å detektere).
 - Gassdetektorer er som regel kalibrert mot en type HC-gass – Hva er target-gassen?
 - Hvilke andre gasser gir utslag – og ved hvilke konsentrasjoner? Ref. Figur 10.
 - Hvilke gasser gir IKKE utslag på detektoren?
 - For deteksjon av tyngre gasser, bør man benytte detektorer som kan kalibreres for propan fremfor metan, og som i tillegg er sensitiv for andre gasser.
- Hvilke alarmer som ønskes kommunisert, hvilke alarmgrenser som ønskes og i hvor stor grad man ønsker å konfigurere de selv. Ref. Tabell 10.
- Forhold som påvirker funksjonaliteten til gassdetektorene og sannsynligheten for at slike forhold oppstår.
 - Vanndamp kan gi feilalarm på optiske detektorer.
 - Innretning med mye produsert vann har større sannsynlighet for hendelser med vanndamp.
- Nødvendig vedlikehold.

Operatørene bør vurdere følgende ved plassering, votering og etablering av C&E:

- Hvilke behov for deteksjon og hvilke påvirkende forhold har man i hvert enkelt område.
- I enkelte områder kan det være behov for å benytte detektorer med ulikt deteksjonsprinsipp.
- Er standardløsninger tilstrekkelig eller er det behov for andre løsninger og logikker. For eksempel bruk av automatisk nedstengning ved feil på detektorer eller degraderingslogikk (jf. Kapittel 5.2.4) eller forsinket feilalarm (jf. Kapittel 6.1.1).
- Hvilke muligheter har man for å detektere gass dersom detektorer er ute av funksjon eller degradert?
- Hvilke muligheter har man for å detektere gass dersom feilalarmer forsinkes?

Leverandørene av detektorer bør for sine detektorer spesifisere overfor operatøren:

- Absorpsjonsspekter (relevante og detaljerte nok) for den eller de gasser den er kalibrert for.
- Graf(er) eller tabell(er) over hvilke gasser som vil kunne slå ut og ved hvilke %LEL.
- Alarmer, alarmgrenser og tilhørende konfigureringsmuligheter.
- Informasjon om nødvendig vedlikehold:
 - Prosedyrer for funksjonstest
 - Anbefalte testintervall
 - Nødvendig inspeksjon
- Resultater fra testing av detektortypen. Under hvilke forhold er den testet?

SAS-leverandørene bør ved installasjon av B&G-logikk:

- Sørge for en fornuftig og hensiktsmessig inndeling av de nødvendige alarmene.
- Implementere forståelige alarmtekster for samtlige alarmer.
- Sørge for at samtlige alarmer er riktig konfigurert og vises korrekt i kontrollrom.
- Vurdere standardlogikker som tar hensyn til at optiske detektorer kan svikte under "ekstreme forhold".

8 Referanser

- [1] NORSOK Standard S-001:2017. Technical Safety. Edition 5, 2017, DRAFT.
- [2] Granskingsrapport, Petroleumstilsynet.
- [3] Comparison of Gas Detectors. SINTEF Automatic Control. March 1992. SINTEF rapport STF48 F92011.
- [4] Gas Detection Review. Micropack Fire & Gas.
- [5] Shimanouchi, T., Tables of Molecular Vibrational Frequencies Consolidated Volume I, National Bureau of Standards, 1972, 1-160.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no