

Ombygging av en én-sylindret dieselmotor til dual fuel-drift og testing av alternative gassformede drivstoff

Masteroppgave i Energiteknologi

Termiske Maskiner

Thomas Samnøy



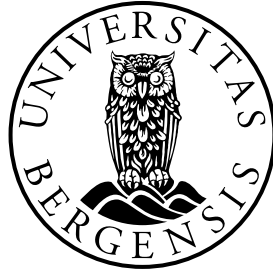
Universitetet i Bergen

Geofysisk institutt



Høgskulen på Vestlandet
Institutt for maskin- og marinfag

Bergen, juni 2020



**Ombygging av en én-sylindret
dieselmotor til dual fuel-drift og testing
av alternative gassformede drivstoff**

Thomas Samnøy

Universitetet i Bergen (UiB)
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet
Geofysisk institutt
Postboks 7803
5020 Bergen, Norge

I samarbeid med:

Høgskulen på Vestlandet (HVL)
Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap
Institutt for maskin- og marinfag
Postboks 7030
5020 Bergen, Norge

Norsk tittel:

Ombygging av en én-sylindret dieselmotor
til dual fuel-drift og testing av
alternative gassformede drivstoff

English title:

Modification of a single cylinder
diesel engine for dual fuel operation and
testing of alternative gaseous fuels

Forfatter, studentnummer:

Thomas Samnøy, 276157

Studieprogram:

Energiteknologi, Termiske Maskiner

Dato:

2. juni 2020

Veileder ved HVL:

Peter Edgar Koch

Veileder ved UiB:

Bjørn Johan Arntzen

Oppdragsgiver:

Høgskulen på Vestlandet

Oppdragsgivers referanse:

Peter Edgar Koch

Forord

Denne oppgaven er skrevet som en besvarelse på masteroppgaven i energiteknologi med fokus på termiske maskiner. Masterprogrammet i energiteknologi med spesialisering innen termiske maskiner, drift og vedlikehold er et samarbeid mellom Geofysisk Institutt ved Universitet i Bergen (UiB) og Institutt for maskin- og marinfag ved Høgskolen på Vestlandet (HVL). Masteroppgaven står for 30 av totalt 120 studiepoeng i masterprogrammet.

Arbeidet med denne oppgaven har vært veldig interessant, utfordrende og lærerikt. Jeg tok selv initiativ til denne tematikken høsten 2019, ut av egen interesse for nye og alternative drivstoff. Høgskolen på Vestlandet hadde på sin side gjort seg opp noen tanker om å utføre lignende tester på motorlaben, og kunne dermed være behjelpelig med problemstilling.

Underveis i arbeidet med oppgaven oppsto den meget spesielle og uforutsigbare situasjonen med korona-viruset i verden, som rammet på alle nivåer. Dette gjorde arbeidet med oppgaven spesielt krevende, og vanskeliggjorde gjennomføringen slik den var tenkt i utgangspunktet. Nedstengningen av landet skjedde på et tidspunkt hvor det var de praktiske testene på motorlaben som var neste skritt i prosessen. Dermed måtte oppgaven måtte endres noe. Det var ikke mulig å gjøre like mange tester, både av smittehensyn, og med tanke på ren logistikk og innkjøp av nødvendig utstyr. De fysiske testene ble begrenset noe, og det ble lagt til en simuleringsdel i oppgaven. Undertegnede er likevel svært takknemlig for at vi fant en god løsning for gjennomføring, og ønsker i den forbindelse å rette en stor takk til Høgskolen på Vestlandet som har vært oppdragsgiver for oppgaven.

I forbindelse med ombyggingen, gjennomføringen og testingen tilhørende masteroppgaven, må jeg også rette en stor takk til laboratorieingeniør Harald Moen. Han bidro med stor faglig kompetanse ved kalibrering og gjennomføring av de nødvendige testene, samt til nødvendig ombygging av motoren. Takk også til Frode Wessel som bidro ved testing på motorlaben. Takk til Ricardo som bidro med privat lisens til Wave som gjorde det mulig å simulere hjemmefra, til Sammy Bishtawi som var svært behjelpelig med å få programmet til å fungere, og til Peter Rabanser som bidro med faglige innspill ved

ombygging av motormodellen. Takk til min medstudent, Mikhael Kvale som bidro med faglige innspill, diskusjoner og godt selskap gjennom hele perioden. Takk til min kjære kone Marita som hjalp meg å holde fokus og motivasjonen oppe, og samtidig lot meg koble av fra masteroppgaven på hjemmebane. Takk til min veileder fra UiB, Bjørn Johan Arntzen for hjelp med rapporten. En spesiell takk til min veileder Peter Edgar Koch for god veiledning og oppfølging fra start til slutt.

Bergen, 02.06.2020

Thomas Samnøy

Thomas Samnøy

Sammendrag

Denne rapporten beskriver ombygging av en én-sylindret dieselmotor til dual fuel-drift, og videre testing av alternative gassformede drivstoff. I tillegg omhandler rapporten simuleringer gjort på samme motor ved hjelp av simuleringsprogrammet Ricardo Wave. Utfordringer man møter ved bruk av ammoniakk i dagens forbrenningsmotorer beskrives, samt sikkerhetsmessige utfordringer man står ovenfor ved slik bruk. Disse sikkerhetskonseptene, i tillegg til ombygging av motoren, ble utarbeidet for både ammoniakk og propan, mens tester og simulering kun ble gjennomført for propan. Testingen tar for seg propangassinnblanding, og det er gjort tester ved henholdsvis 25%, 50% og 75% erstatning. Målinger ble utført på en Petter Diesel PH1W ved konstant turtall 1500 rpm, og det ble loggført både motortekniske målinger og utslipp. Resultatene viste at energiomsetning ved forbrenning endret seg under forbrenning, samtidig som man hadde høye utslipp av uforbrent gass. Målingene viste lavere sylindetrykk ved økt propanandel.

Rapporten er et ledd i forskning mot nye, bærekraftige brennstoff som kan bidra til en reduksjon i globale utslipp av klimagasser.

Abstract

The report describes modification of a single cylinder diesel engine for dual fuel purpose, and furthermore testing of alternative gaseous fuels. In addition, the report include performance simulations for the same engine, performed in the simulation program Ricardo Wave. Challenges faced when ammonia is to be used in the combustion engines of today is covered, as well as safety issues related to this kind of application. This safety concepts, as well as modification of the engine, was prepared for both ammonia and propane, however testing and simulation were completed for propane only. The engine tests include propan fumigation, with respectively 25%, 50% og 75% propane replacement. These measurements were performed using a Petter Diesel PH1W engine running at 1500 rpm constant speed, and engine performance as well as emission data were logged. Results showed that the rate of heat release changed during combustion, and at the same time unburned hydrocarbon emissions increased. Measurements showed lower cylinder pressure due to increased propane content.

This report is part of research towards new, sustainable fuels which could contribute in the quest to lower globale emission of greenhouse gases.

Innhold

1	Introduksjon	1
1.1	Problemstilling	3
1.2	Struktur for oppgaven	4
2	Teori	5
2.1	Historie og tidligere forskning	5
2.2	Om ammoniakk	7
2.2.1	Korrosjonsutfordringer	7
2.3	Produksjon av ammoniakk	8
2.3.1	Fremstilling	8
2.3.2	Logistikk	10
2.3.3	Bruk	11
2.4	Ammoniakk i forbrenningsmotorer	12
2.4.1	Utfordringer ved forbrenning	13
2.4.2	Otto- eller dieselprinsipp	16
2.4.3	Mål og fokus ved forbrenning	21
3	Metode	23
3.1	Testoppsett	23
3.1.1	Petter Diesel PH1W	23
3.1.2	Tidligere arbeid på motoren	24
3.1.3	Indikering og styring	25
3.1.4	Ombygging av motoren	29
3.2	Sikkerhet og helserisiko	30
3.2.1	Sammenligning med andre kjente brennstoffer	30
3.2.2	Grenseverdier for eksponering	32
3.2.3	Sikker jobbanalyse - SJA	34
3.2.4	Sikkerhetstiltak	34
4	Forsøk	35
4.1	Brennstoff til forsøkene	35
4.2	Utføring av forsøk	36
4.2.1	Driftspunkt	36

4.2.2	Innblanding av gass	36
4.2.3	Forsøksmatrise	37
5	Simuleringsmodell	39
5.1	Grunnleggende ligninger	39
5.2	Wave-modell	39
6	Resultater	46
6.1	Testresultater fra motorlab	46
6.1.1	Ren diesel	48
6.1.2	Diesel med ca. 25% propan-innblanding	51
6.1.3	Diesel med ca. 50% propan-innblanding	54
6.1.4	Diesel med ca. 75% propan-innblanding	57
6.2	Simuleringsresultater	60
7	Diskusjon	61
7.1	Forbrenningsforløp	61
7.2	Motordata	63
7.3	Utslipp	65
7.4	Simuleringsresultater	66
7.5	Usikkerhet og mulige feilkilder	68
8	Oppsummering	69
8.1	Konklusjon	69
8.2	Anbefalinger til videre arbeid	70
	Referanser	72
	A Petter Diesel PH1W Spesifikasjoner	77
	B Sikker jobbanalyse - Ammoniakk	79
	C Sikker jobbanalyse - Propan	80
	D Teoretisk luftbehov	81
	E Beregning av drivstofforbruk	82
E.1	Diesel	82

E.2	Ammoniakk	83
E.3	Propan	83
F	Grunnleggende ligninger for simulering	85
F.1	Termodynamikk	85
F.2	De tre bevaringslovene	85
F.3	Varmeoverføringslovene	86
G	Kistler 7061B trykk giver Spesifikasjoner	87
H	Horiba PG-350E Spesifikasjoner	89
I	Madur PGD100 Spesifikasjoner	90
J	JUM FID 109A Spesifikasjoner	91
K	FID-kalibrering	92
L	Norsk Bransjestandard for Autodiesel	94
M	Brooks 1350G Spesifikasjoner	95
N	Monicon S500L Gassensor	96
O	Monicon T100-NH3 Gassensor	98
P	Monicon CGS500 Gassensor	100
Q	Monicon 4-kanals Gassmonitor	102
R	Konversasjonsfaktor for mengdemålere	104
S	Fullstendige måleresultater	105
T	Diverse bilder	111

Figurer

1	Utvikling av forbrenningsmotorer	1
2	Skjematisk fremstilling av Haber-Bosch-prosessen	10
3	Varmekart for infrastruktur av ammoniakk på sjøen	11
4	PV-diagram for ideell Otto-syklus	16
5	PV-diagram for ideell Diesel-syklus	18
6	Omsetningshastighet for utviklet varme for to ulike normal-ladete diesel- motorer	20
7	Motoren brukt til forsøkene, Petter Diesel PH1W	23
8	Kistler 7061B og tilhørende ladningsforsterker	27
9	Gassanalysator, Horiba PG350E	28
10	Innsugsmanifold før og etter ombygging	30
11	AEGL-verdier for noen kjemiske stoffer	33
12	Strømningsmålere, Brooks GT-1350	37
13	Orginal modell laget i Wave	40
14	Ny injektor over innsugsmanifold	41
15	Nytt drivstoff og forbrenningstype	42
16	Innstillinger for begge injektorer	42
17	Egenskaper for diesel og propan for plotting av Multi Wiebe-kurve	43
18	Multi Wiebe-funksjon for diesel og propan	43
19	Ny drivstoffil for ammoniakk	45
20	Spesifikk varmeprofil for ammoniakk	45
21	Trykkforløp ved forbrenning av diesel	48
22	Omsetningshastighet for utviklet varme, diesel	49
23	Akkumulert varmeomsetning fra RefD3	49
24	Trykkforløp ved forbrenning av tester med 25% propan	51
25	Omsetningshastighet for utviklet varme for tester med 25% propan	52
26	Akkumulert varmeomsetning fra 25ErstC3T1	52
27	Trykkforløp ved forbrenning av tester med 50% propan	54
28	Omsetningshastighet for utviklet varme for tester med 50% propan	55
29	Akkumulert varmeomsetning fra 50ErstC3T1	55
30	Trykkforløp ved forbrenning av tester med 75% propan	57
31	Omsetningshastighet for utviklet varme for tester med 75% propan	58

32	Akkumulert varmeomsetning fra 75ErstC3T1	58
33	Trykkforløp ved forbrenning for alle simuleringspunkter i Wave	60
34	Omsetningshastighet for utviklet varme ved alle testpunkter	62
35	Trykkforløp ved forbrenning ved alle testpunkter	64
36	Sammenligning av trykkforløp ved motortester og simulering	67
A1	Trykkforløp ved forbrenning av RefD4 og Ref D5	109
A2	Omsetningshastighet for utviklet varme, RefD4 og RefD5	109
A3	Trykkforløp ved forbrenning av 75ErstC3T4 og 75ErstC3T5	110
A4	Omsetningshastighet for utviklet varme, 75ErstC3T4 og 75ErstC3T5	110
A5	Petter diesel med tilkoblet propan, og avgass til gasstørker	111
A6	Måleinstrumenter ved testing	111
A7	Propantank tilkoblet strømningsmålere ved lab-PC	112
A8	Justering av strømning gjennom Brooks 1350G	112

Tabeller

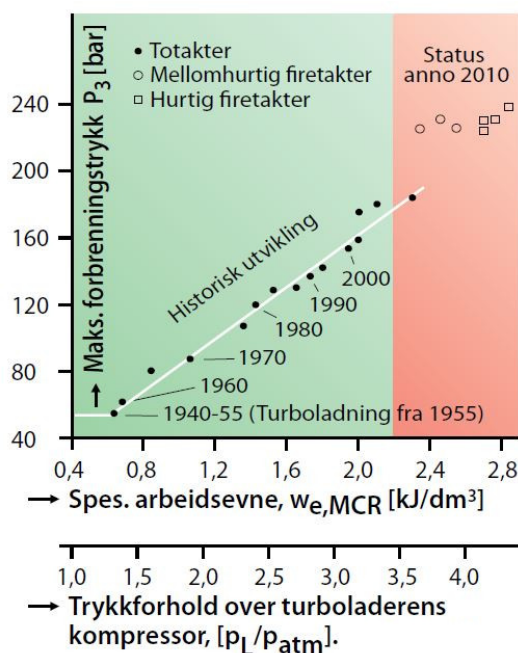
1	Materialkompatibilitet for ammoniakk i kontakt med andre stoffer	7
2	Sammenligning av lagringsbehov for ulike flytende brennstoff	12
3	Forbrenningstekniske egenskaper for ammoniakk, sammenlignet med andre brennstoffer	13
4	Volumetrisk brennverdi inklusiv tankvolum	15
5	Motoregenskaper for Petter Diesel	24
6	Loggførte parametre ved forsøk	26
7	Rangering av potensielle farer, ifølge NFPA	31
8	AEGL-verdier for ammoniakk	32
9	Forsøksmatrise for testing	38
10	Endrede parametre ved simulering	44
11	Oversikt over gjennomførte tester med referansekode	47
12	Måleresultater for tester med ren diesel	50
13	Måleresultater for tester med 25% propanerstatning	53
14	Måleresultater for tester med 50% propanerstatning	56
15	Måleresultater for tester med 75% propanerstatning	59
16	Varmeomsetningsveivgrader ved testing	61
17	Utslipp for alle testpunkter	65
A1	Atomvekt for noen grunnstoffer	81
A2	Egenskaper for beregning av forbruk	82
A3	Måleresultater ved tester, ren diesel	105
A4	Måleresultater ved tester, 25% propanerstatning	106
A5	Måleresultater ved tester, 50% propanerstatning	107
A6	Måleresultater ved tester, 75% propanerstatning	108

Forkortelser

AEGL	Acute Exposure Guideline Levels
AFR	Air Fuel-ratio / Luft-brennstoff-forhold
A.U.	Arbitrary Unit / Vilkårlig enhet
CH ₄	Metan
C ₃ H ₈	Propan
CO	Karbonmonoksid
CO ₂	Karbondioksid
CR	Common rail
ECU	Engine control unit / Motorstyringsenhet
HFO	Heavy Fuel Oil / Tungolje
H ₂	Hydrogen
H ₂ O	Vann
HVL	Høgskolen på Vestlandet
N ₂ H ₂	Hydrazin
IMO	FN's internasjonale sjøfartsorganisasjon
LPG	Liquefied Petroleum Gas / Flytende petroleumsgass
LNG	Liquefied Natural Gas / Flytende naturgass
MGO	Marine Gas Oil / Marin dieselolje
NH ₃	Ammoniakk
NO _x	Nitrogenoksider/gasser
PM	Particulate Matter / Svevestøv
PPM	Parts per million / Andeler per million
rpm	Revolutions per minute / Omdreininger per minutt
SCR	Selective Catalytic Reduction / Selektiv katalytisk reduksjon
SO ₂	Svoveldioksid
SJA	Sikker jobb-analyse
THC	Total Hydrocarbon Content / Totalt innhold hydrokarboner
UHC	Unburned Hydrocarbons / Uforbrente hydrokarboner
UiB	Universitetet i Bergen
VG	Veivgrader
ØD	Øvre dødpunkt

1 Introduksjon

Fossile brennstoff i forbrenningsmotorer har drevet utviklingen av den moderne verden de siste århundrene, og vil sannsynligvis fortsatt være svært viktig i mange tiår fremover. Forbrenningsmotorens allsidighet og kompakte natur har gjort at dette i særlig grad gjelder shipping-industrien. Figur 1 viser hvordan forbedring av dieselmotoren har skjedd nesten lineært siden krigsårene.



Figur 1: Figuren viser maksimalt forbrenningstrykk som funksjon av spesifikk arbeidsevne, og illustrerer historisk utvikling for totaktsmotorer, og status for firetaktsmotorer i 2010. I tillegg kan man også se turboladerens utvikling ved bruk av den nederste x-aksen [1].

Det globale energiforbruket stiger stadig, og behovet for energi til transport øker i takt med dette. I 2017 stod fossile energikilder for 81,3% av all energiproduksjon på verdensbasis [2]. Samtidig er det godt dokumentert at forbrenning av karbonbaserte brennstoff har en skadelig innvirkning på klimaet. Utslippet av drivhusgasser bidrar til å øke temperaturen på jorden gjennom drivhuseffekten, og økt global temperatur vil føre med seg mange negative konsekvenser. Dermed settes det stadig nye krav til å kontrollere og begrense klimagassutslipp og avtrykket energibruken setter på jordkloden. For å nå FN's klimamål som er satt for å begrense global oppvarming til to grader fra før-industriell tid, noe mange nasjoner har forpliktet seg på gjennom Paris-avtalen [3], kreves det store endringer i alle sektorer, også i transportsektoren.

Nye, bærekraftige brennstoff med lavere eller ingen klimagassavtrykk må erstatte de fossile, samtidig som nyere motorteknologi sørger for renere forbrenning og høyere virkningsgrad. Transportsektorer har ulike behov, og må derfor vurderes individuelt.

Maritim sektor benytter seg av brennstoff med høyt karboninnhold. Hvis shipping-industrien representerte et eget land, ville det vært verdens sjetteste største målt i drivhusgassutslipp [4], og den står alene for 2-3% av global mengde [5]. Denne sektoren trenger brennstoff som kan lagres ombord, og deler av næringen har behov for å holde fartøy i kontinuerlig drift opptil flere måneder. FN's internasjonale sjøfartsorganisasjon, IMO, har uttalt et mål om å redusere utslipp av drivhusgasser i maritim sektor med 50% innen 2050 sammenlignet med nivåene fra 2008 [6]. Dette er formulert gjennom deres *IMO GHG Strategy*, en strategiplan for å redusere utslipp av drivhusgasser [7]. Selv om det stadig gjøres forbedringer på motorer, og bedre virkningsgrader oppnås, forstår man at dette alene ikke vil være tilstrekkelig for å nå utslippsmålet. For å oppnå dette, kreves det raske løsninger, og alternative brennstoffer som kan fungere på allerede etablerte motorer, inntil eventuelle andre teknologier er på plass.

Store skip med saktegående motorer opererer i dag på tungolje (HFO) og marin dieselolje (MGO), og 99,7% av verdens skipsflåte opererer i dag på slike brennstoffer [8]. Dette er de marine brennstoffene med høyest utslipp av drivhusgasser ved forbrenning. En overgang til brennstoffer med lavere karbonintensitet vil senke utslippene. Bruken av flytende naturgass (LNG) som brennstoff for skip har økt de siste tiårene i takt med interessen for gassen, og en slik endring vil kunne bidra til mindre utslipp. Det finnes allerede utarbeidet moden teknologi, og et marked som distribuerer gassen. Dette vil likevel ikke være nok til å oppnå de nødvendige kuttene i utslipp som er ønskelig for IMO. Dermed blir det aktuelt å vurdere brennstoff uten karbon.

Ammoniakk som brennstoff i forbrenningsmotorer er et mye omtalt forskningsområde, hvor interessen fra store aktører viser aktualiteten [6, 8, 9]. Dette skyldes nettopp at ammoniakk representerer et alternativ hvor man tar ut karbon av ligningen, og dermed unngår hele problematikken med utslipp av karbondioksid. Om man har mulighet til å gjøre justeringer på eksisterende motorer, slik at de kan operere på ammoniakk, vil

man dermed kunne redusere klimagassavtrykket betydelig. Dette avhenger av om det er mulig å gjøre en slik overgang rent motorteknisk.

Det er gjort en del forskning på dette området tidligere. I Belgia under første verdenskrig fikk man problemer med å forsyne lokale busser med brennstoff. Krigen krevde det som var tilgjengelig av bensin og diesel, og man ble tvunget til å lete etter andre alternativer. Ammoniakk ble løsningen, i kombinasjon med kullgass [10]. Videre ble det gjort flere studier på 60-tallet hvor man forsket på selve forbrenningen av ammoniakk i konvensjonelle forbrenningsmotorer [11–14]. Man la her vekt på hvilke motortekniske justeringer som var nødvendige på datidens motorer for å kunne konvertere de til ammoniakkdirift. Mer om tidligere studier i kapittel 2.

På bakgrunn av interessen i markedet for denne teknologien, har motorprodusenten MAN skissert en mulighet for å produsere deres dual fuel-motorer for ammoniakkdirift. De hevder denne teknologien vil være på plass når markedet er klart for dette. Også Wärtsila har begynt utviklingen av løsninger for ammoniakkdirift, og ser hovedsaklig på sine dual-fuelmotorer med dieselstråle [9].

1.1 Problemstilling

Ved Høgskulen på Vestlandet har man et ønske om å bidra til forskning på nye, bærekraftige brennstoffer som kan bidra til en reduksjon i globale utslipp. Undertegnede har hatt et ønske om å utføre brennstoffrelaterte tester med ammoniakk som utgangspunkt, og i samråd med veileder er det avgjort hvilke tester som skal utføres.

I motorlaben på HVL står det en en-sylindret dieselmotor av typen Petter Diesel PH1W som skal brukes for relevante tester knyttet til ammoniakk- og propandrift. Det er bestemt at det skal utføres flere ulike tester på motoren, for å kunne sammenligne testresultatene grundig. Først kjøres det referansetester med diesel, før det skal forsøkes å konvertere motoren til drift med propangass og diesel. Etter at dette er utført, er det ønskelig å kjøre motoren på ammoniakk og diesel.

Målet med denne rapportene er å utføre ombygging av en én-sylindret dieselmotor

til dual-fuel drift, og videre testing av gassformede brennstoff. Det er ønskelig å teste ulike mengder propan og ammoniakk som erstatning for diesel. Fra disse testene er det ønskelig å se på hvilke effekter ulike komposisjoner av brennstoff vil ha på motorens ytelse og utslipp.

Underveis i arbeidet ble situasjonen noe forandret, grunnet coronavirus-situasjonen i landet. Dermed ble problemstillingen for denne rapporten også endret noe. Det ble vanskeligere å utføre fysiske tester ved laboratoriet på Høgskolen, i tillegg til lengre leveringstid på nødvendig utstyr til tester. Dette har ført til at teoridelen av oppgaven i stor grad fokuserer på ammoniakk, mens man i praksis kun fikk mulighet til å teste med propan. I tillegg ble det lagt til en del av oppgaven hvor det er ønskelig å simulere de samme forsøkene. Problemstillingen for rapporten utvides dermed med en mer teoretisk tilnærming, hvor det er ønskelig å simulere lignende scenarier i programmet Wave fra Ricardo, for å kunne sammenligne disse med reelle tester.

1.2 Struktur for oppgaven

Rapporten består av 8 kapitler. Kapittel 2 er teorikapittel hvor det legges et teoretisk grunnlag for forsøkene som skal utføres, på bakgrunn av tidligere forskning og motorteknologi. Kapittel 3 omhandler metoden for gjennomføring av forsøk, med nødvendig utstyr og oppsett. I tillegg vil det legges et grunnlag for sikker gjennomføring. I kapittel 4 vil selve forsøksmatrisen presenteres, sammen med hvilke forsøk som er gjort. Kapittel 5 viser hvordan testene er simulert i programmet Ricardo Wave. I kapittel 6 blir resultatene fra forsøkene og simuleringer presentert, før de blir videre diskutert i kapittel 7. Rapporten avsluttes med konklusjon og forslag til videre arbeid i kapittel 8.

2 Teori

I dette kapitlet legges det et teoretisk grunnlag som er nødvendig for å kunne utføre ønskede tester. Først er det ønskelig å gå gjennom tidligere forskningsresultater, og eventuelle motorjusteringer som har vært utprøvd. Videre er det aktuelt å se på selve stoffet ammoniakk, dets fysiske egenskaper, produksjon og verdikjede, før dets forbrennings-tekniske egenskaper undersøkes. Til slutt er det ønskelig å legge et teoretisk grunnlag for hvilke motorprinsipper som er relevante for dette prosjektet.

2.1 Historie og tidligere forskning

Det er gjort en del tidligere forskning på ammoniakk som brennstoff i konvensjonelle forbrenningsmotorer.

Ammoniakk ble brukt som brennstoff for busser allerede under andre verdenskrig. I Belgia innså man at det ikke ville være mulig å fremskaffe nok diesel på grunn av drivstofforbruket til krigen, og man ble tvunget til å lete etter alternative løsninger. Et alternativ var å bruke forgasset kull, men dette ble forkastet på grunn av den lave energitettheten til kullet. Resultatet ble en blanding av ammoniakk og kullgass, hvor kullet var nødvendig for å starte forbrenning. Da krigen var over, ble fossile brennstoffer tilgjengelig igjen, og ammoniakk som brennstoff ble skrinlagt [10].

Det amerikanske forsvaret vurderte ammoniakk som brennstoff på 60-tallet. Logistikkstudier viste at omtrent 65% av total tonnasje for å supplere under krigføring besto av drivstoff og smøreoljer. Forsvaret ønsket å gjøre logistikken enklere ved å produsere drivstoff der hvor det behøvdes. Kjernekraft ble ansett som den naturlige løsningen, men man hadde ingen måte å anvende kjernekraft direkte i kjøretøyene. Alternativet de ønsket å undersøke var bruken av kjernekraft til å produsere drivstoff av luft og vann. Her ble både ammoniakk og hydrogen vurdert, hvorpå man konkluderte med at ammoniakk hadde størst potensiale på bakgrunn av en rekke faktorer som fysiske og kjemiske egenskaper, håndtering, lagring etc. [11].

På Berkley-Universitetet i California ble det i 1967 forsket på flammeutbredelse ved

forbrenning av ammoniakk/luft-blanding ved høyt trykk [12]. Forsøkene ble utført på en motor med fremmedtenning, og resultatene ble sammenlignet med tilsvarende for forbrenning av iso-oktan. Testene ble utført på en standard CFR testmotor. Resultatene viste at flammeutbredelsen for ammoniakk var omtrent 30% saktere enn for ISO-oktan, i tillegg til at den tidlige flammedannelsen, kernelflammen, tok omtrent 40% lengre tid. Forsøkene viste også at, under de gitte testforholdene, var det nødvendig å bruke viss andel hydrogen fra spaltet ammoniakk, omtrent 3-5 vekt-%. Testene viste også at korrelasjonen mellom flammehastighet og motorhastighet stemte bedre overens for ISO-oktan enn ammoniakk, samtidig som økt kompresjonstill hadde større innvirkning på flammehastigheten til ammoniakk. På grunnlag av ammoniakksens forbrenningstekniske egenskaper, ble man nødt til å forskyve tenningstidspunktet lenger før ØD.

Flymotorprodusenten Continental Aviation and Engineering Corporation forsket også på bruk av ammoniakk som brennstoff på 60-tallet, og publiserte i 1967 en teknisk rapport med forskningsresultater [13]. I dette prosjektet ble det utført tester på to ulike motortyper; både en normalladet fremmedtenningsmotor, og en turboladet selvtenningsmotor. De klarte å få begge motorer til å operere på ammoniakk. For otto-motoren med fremmedtenning var følgende tiltak nødvendige: økt kompresjonsforhold, ammoniakkgasser, høy tenningsenergi i form av en magneto, og lange tennplugger. For dieselmotoren ble det gjort to ulike forsøk. Den ene metoden gikk ut på å injisere en liten mengde ammoniakkgass i luftmanifolden, og dermed kjøre motoren på en kombinasjon av diesel og ammoniakk. Den andre metoden krevde større konvertering, hvor følgende tiltak ble gjort: erstatte drivstoffpumpe med en magneto-tennkilde, erstatte innsprøytningdyser med lang tennplugger, og injisere ammoniakkgass inn i luftmanifolden. Dermed hadde man i prinsippet konvertert motoren fra å operere som en dieselmotor til en ottomotor. Rapporten konkluderte med at resultane fra otto-motoren hadde størst effekt.

Tanken om bruk av ammoniakk som brennstoff i konvensjonelle forbrenningsmotorer har vært aktuell til ulike tider, men på grunn at fossile brennstoffer har hatt en gunstig pris, høyere virkningsgrad, enklere logistikk og bedre sikkerhet har man ikke hatt stort utbytte av å implementere restresultatene i større applikasjoner.

2.2 Om ammoniakk

Ammoniakk er en fargeløs gass med en sterkt og stikkende lukt som består av hydrogen og nitrogen med kjemisk formel NH_3 . Det er den enkleste stabile forbindelsen av de to grunnstoffene, og fungerer som et utgangsmateriale for produksjon av mange kommersielt viktige nitrogenforbindelser. Stoffet er lett løselig i vann, og reagerer med syrer som gir ammoniumsalter. Ammoniakk kan dannes naturlig ved at organiske nitrogenholdige forbindelser råtner. Koepunktet for ammoniakk er $-33,4^\circ\text{C}$, mens frysepunktet er $-77,7^\circ\text{C}$. Stoffet har en høy fordampningsvarme på 23,3 kilojoule per mol, og kan lagres som flytende stoff i termisk isolerte, trykksatte beholdere [15]. En oversikt over forbrenningstekniske egenskaper for ammoniakk, sammenlignet med andre kjente brennstoffer, er samlet i tabell 3.

2.2.1 Korrosjonsutfordringer

Ammoniakk er et korrosivt stoff i kontakt med enkelte materialer, noe man må ta høyde for ved bruk som brennstoff. Tabell 1 viser en oversikt over kompatibilitet for ammoniakk i kontakt med ulike materialer med hensyn til korrosjon. Den kjemiske effekten man får ved å koble ammoniakk med de nevnte stoffene graderes på en skala fra A-D, hvor A er utmerket, B er bra, med mindre påvirkning, C er moderat effekt, ikke anbefalt for kontinuerlig drift og D er kritisk, ikke anbefalt [16].

Tabell 1: Materialkompatibilitet for ammoniakk i kontakt med andre stoffer, hentet fra Cole-Parmer [16]

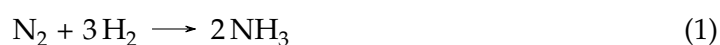
Aluminium	A	Nitrilgummi	B
Bronse	D	PVC	A
Karbonsgrafitt	A	Rustfritt stål 304	A
Karbonstål	B	Rustfritt stål 316	A
Kobber	D	Silikon	C
Messing	D	Støpejern	A
Naturlig gummi	D	Titan	C

2.3 Produksjon av ammoniakk

Denne seksjonen omhandler hvordan man fremstiller ammoniakk, dagens logistikkilde på verdensbasis og til slutt bruksområde.

2.3.1 Fremstilling

Ammoniakk dannes ved at hydrogen og nitrogen reagerer. Den kjemiske reaksjonslikningen beskrives slik:



Den mest anvendte metoden som brukes til å fremstille ammoniakk kalles Haber-Bosch-prosessen, som står for 75% av global produksjon [17]. Dette er en kjemisk prosess som kombinerer hydrogen med nitrogen for å produsere ammoniakk. Denne prosessen ble utviklet tidlig på 1900-tallet av Fritz Haber, og senere modifisert til en industriell prosess av Carl Bosch. Utgangspunktet for prosessen var fremstilling av ammoniakk for produksjon av kunstgjødsel til jordbruk. Foruten Haber-Bosch-prosessen brukes også Casale-metoden og Claude-metoden. Dette er prosesser som ligner svært mye på Haber-Bosch, men foregår med langt høyere trykk [17].

Haber-Bosch-prosessen fungerer ved at man tvinger frem en kjemisk reaksjon ved veldig høyt trykk. Man trenger dette høye trykket fordi nitrogenmolekylene er bundet sammen av veldig sterke trippelbindinger. Videre bruker prosessen enten en ruthenium-katalysator eller en jernbasert katalysator med temperatur på omtrent 450°C og trykk på 200-400 bar [6]. Høyere trykk gir bedre resultater, men er dyrt å opprettholde. Etter katalysatoren inneholder gassblandingen ca. 17% ammoniakk. Videre beveger molekylene seg fra katalysatoren og inn i en industriell reaktor, hvor de konverteres til flytende ammoniakk [18]. Hydrogen- og nitrogenandelen som ikke har reagert, føres tilbake til starten av prosessen.

Det finnes to ulike tilnærminger til fremstillingen av ammoniakk. Man trenger som nevnt hydrogen i produksjonsprosessen, og her finnes det to muligheter. Hydrogengassen som fremstilles i dag kommer nesten utelukkende fra naturgass. Hydrokarboner kan spaltes

til hydrogen ved hjelp av kjemiske metoder, som *steam reforming process*. I denne prosessen reagerer hydrokarbonene med vanndamp, som ved hjelp av en nikkelkatalysator og temperaturer på 800°C produserer hydrogen og karbonmonoksid [19]. Den ser for eksempel slik ut for metan-gass:

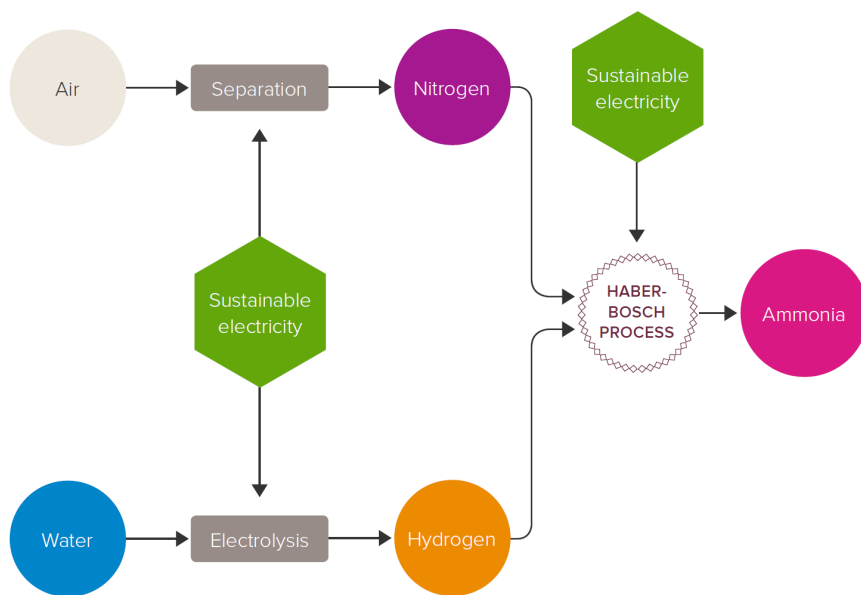


CO-gassen oksideres så videre ved at man fører den sammen med vanndamp gjennom en katalysator for å produsere større andel hydrogen:



Den nevnte metoden for fremstilling av hydrogen, og da ammoniakk, skjer ved bruk av fossile brennstoff. Om man ønsker et ferdig produkt som er produsert av fornybar energi, kan man også fremstille hydrogen ved elektrolyse av vann. Dette er en kjemisk reaksjon som forårsakes ved hjelp av elektrisk strøm [20]. Dermed kan man produsere hydrogen ved hjelp av fornybar strøm, og dermed kan ammoniakken følgelig være det samme.

I tillegg til hydrogen inngår det også en andel nitrogen i Haber-Bosch-prosessen. Denne blir separert fra luft, som inneholder omtrent 78% nitrogen. Denne delen av Haber-Bosch-prosessen står for en liten andel av energibruken, hvor mesteparten går med til hydrogenproduksjon. En skjematisk fremstilling av ammoniakk ved denne prosessen, og bruk av fornybar energi, er vist i figur 2.

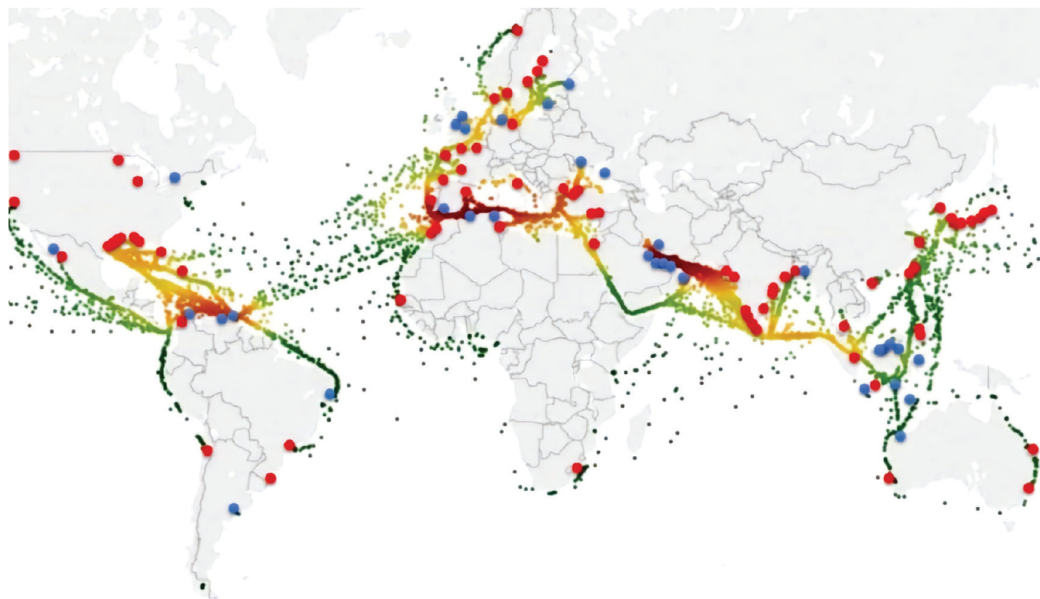


Figur 2: Skjematisk fremstilling av Haber-Bosch-prosessen. Fra luft separeres nitrogen ved hjelp av fornybar strøm. På samme måte får man hydrogen fra vann ved elektrolyse fra fornybar strøm. Figur hentet fra [21].

Global produksjon av ammoniakk er beregnet til mer enn 170 millioner tonn per år, hvorav nesten alt kommer fra naturgass [22].

2.3.2 Logistikk

Det finnes eksisterende infrastruktur for håndtering og eksport av ammoniakk i forbindelse med produksjon av kunstgjødsel. Denne produksjonen finnes i samtlige verdensdeler. Ifølge den internasjonale organisasjonen for gjødselindustrien (IFA) ble det mellom 2015 og 2017 produsert omtrent 175 millioner tonn ammoniakk årlig. Av denne mengden ble omtrent 18,8 millioner tonn eksportert. Dette tilsvarer en eksportandel på rett i overkant av 10% [6]. Samtlige kontinenter har dermed erfaring i forbindelse med produksjon og eksport av ammoniakk, man har en god forståelse av hvordan stoffet skal håndteres og distribueres, og det foreligger allerede et rammeverk for trygg håndtering. Den årlige produksjonen på verdensbasis er allerede stor nok til å dekke brennstofforbruket til hele verdens containerskipflåte, og hvis man ganger dette med faktor 3,5 er dette tilstrekkelig til å dekke behovet for hele verdens shippingflåte [6]. Den største andelen av produksjonen ligger i Asia, som alene produserer nærmere 80 millioner tonn årlig. Figur 3 viser et varmekart for infrastruktur av ammoniakk på sjøen.



Figur 3: Varmekart for infrastruktur av ammoniakk på sjøen. De blå kulene viser eksportthavner, mens de røde viser importthavner. Figur hentet fra [21].

2.3.3 Bruk

Tradisjonelt har det meste av ammoniakken som produseres blitt brukt videre til fremstilling av kunstgjødsel. Dette kommer av at nitrogen er en svært viktig kilde til næring for voksende planter, og ammoniakk representerer gjødselen med høyest nitrogenandel. NH_3 kan brukes som kjølemiddel i kjøleskap hvor man trenger kraftig nedkjøling, og er gunstig på grunn av den store fordampningsvarmen som brukes for å ta ut en stor mengde varme. I tillegg brukes en del vannløsninger av stoffet i vaskemidler, som salmiakk, fordi det reagerer basisk og dermed fungerer effektivt til fjerning av fett og lignende [17]. Videre brukes ammoniakk i produksjon av plastikk, fiber, sprengstoff og noen kjemiske produkter. I senere tid har det også blitt brukt i motorindustrien for fremstilling av middel med hensikt å fjerne NO_x fra avgassen etter diverse brennstoff gjennom selektiv katalytisk reduksjon [22].

Når bruken av ammoniakk skal konverteres til brennstoff for skip, er det interessant å se på hvor stor lagringskapasitet man krever av tankarrangementene om bord. Store skip kan ofte reise flere uker i strekk uten å ha mulighet for bunkring, og det er derfor nødvendig å ha god lagringskapasitet. I Tabell 2 er tankvolumet som kreves for å nå 1000

nautiske mil sammenlignet ved forbrenning i stempelmotorer av henholdsvis marin dieselolje, flytende naturgass, ammoniakk og hydrogen. I beregningene, som baserer seg på energiinnhold, antas det at alle brennstoffene er lagret i flytende form. Når tankvolum er beregnet har man også inkludert nødvendig tankisolasjon, som er særlig aktuelt ved lagring under høye trykk. Dette er gjort for å gi et mest mulig realistisk bilde. Tallene viser at det er en betydelig økning i nødvendig tankvolum ved en overgang fra fossile alternativer til hydrogen eller ammoniakk. Det kreves i overkant av fire ganger så stort tankvolum for å oppnå samme rekkevidde ved bruk av ammoniakk i stedet for marin dieselolje.

Tabell 2: Sammenligning av lagringsbehov for ulike flytende brennstoff [6]

	MGO	LNG	Ammoniakk	Hydrogen
Tankvolum for 1000 nautiske mil	73 m ³	164 m ³	299 m ³	555 m ³
Forhold til MGO	1	2,3	4,1	7,6

- nødvendig tankvolum og isolasjon er medregnet.

2.4 Ammoniakk i forbrenningsmotorer

Denne seksjonen omhandler bruk av ammoniakk i forbrenningsmotorer, først ved å drøfte hvilke utfordringer man møter ved den type bruk. Deretter legges et teoretisk grunnlag for forståelse av otto- og dieselprinsippet, hvor relevante egenskaper hos brennstoffet blir drøftet. Her vil også propan som brennstoff vurderes opp mot motorprinsippene. Som nevnt i kapittel 2.1 er det blitt utført en del forsøk tidligere. Flere av disse forsøkene ble utført på 60-tallet, og på den tiden var motorteknologien en helt annen enn den er i dag. Både innsprøytningsystem, tenningsystem og styringssystem er utviklet siden den gang, og dette gjør det nok en gang aktuelt å vurdere ammoniakk som brennstoff.

I tabell 3 er det samlet en rekke forbrenningstekniske egenskaper for brennstoffene ammoniakk, hydrogen, metan, propan og diesel. Tallene som brukes i seksjonene under refererer til verdier fra denne tabellen.

Tabell 3: Forbrenningstekniske egenskaper for ammoniakk, sammenlignet med andre brennstoffer [23–30]

	NH ₃	H ₂	CH ₄	C ₃ H ₈	Diesel
Tetthet (v/ 20 °C) [kg/m ³]	0,73	0,082	0,754	1,898	845
Koketemperatur [°C]	-33,4	-253	-161	-42,1	180-360
Nedre brennverdi [MJ/kg]	18,80	119,9	50,00	46,4	42,7
Nedre brennverdi [MJ/m ³]	13,7	9,83	37,7	88,1	37082
Dynamisk viskositet x 10 ⁻⁵ [P]	9,90	8,80	11,00	8,2	0,29
AFR _{støk} [kg/kg]	6,1	34,2	17,2	15,7	14,7
Tengrenser [vol.-% i luft]	15-25	4-75	5-15	2,2-9,6	0,6-7,5
Lam. flammehastighet [m/s]	0,07	3,51	0,38	0,43	0,33
Minste tennenergi [mJ]	8,00	0,011	0,28	0,48	-
Selvttenningstemp. [°C]	657	500	586	470	210
Adiabatisk flammetemp. [°C]	1800	2110	1950	2000	2054
Oktantall	130+	130+	120	111	-
Gravimetrisk H ₂ -tetthet [vekt%]	17,8	100	25	18,2	14

- verdier gjelder ved temperatur 300 K og trykk 100 kPa

- C₃H₈ er propan

2.4.1 Utfordringer ved forbrenning

Ammoniakk som brennstoff har egenskaper som begrenser bruken hvis man sammenligner med de konvensjonelle fossile brennstoff i vanlige forbrenningsmotorer. Ammoniakk krever høy tenn-energi for å starte forbrenning. Den minste energien som trengs for tenning er 8 mJ. Sammenlignet med metan som har 0,28 mJ blir dette en ganske betydelig økning. Dette innebærer at det kan være vanskelig å starte forbrenning, og det kreves en sterk kilde til energi. I tidligere forsøk har man for eksempel løst dette ved å bruke en magneto-tennkilde i stedet for en vanlig tennplugg [13].

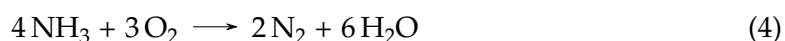
Selvttenningstemperaturen til ammoniakk er høy, med rundt 650°C. Til sammenligning selvtenner diesel på rundt 210°C. Dermed kreves det et langt høyere trykk og temperaturer, og dermed kompresjonsforhold om man skal oppnå selvttenning på samme måte man vanligvis operer i en konvensjonell dieselmotor.

Ammoniakk har lav laminær flammehastighet tilsvarende 0,07 m/s. Dette kan være problematisk med tanke på fullstendig forbrenning, spesielt ved høye turtall. Metangass har til sammenligning en hastighet på 0,37 m/s. Hydrogen, som har en veldig høy hastighet, har 3,51 m/s, og nettopp denne egenskapen har gjort at man vurderer muligheten til å spalte en andel ammoniakk til hydrogen for å bedre forbrenningshastigheten [12]. For dieselforbrenning er det vanskelig å anslå en nøyaktig flammehastighet, men undersøkelser gir et grovt anslag mellom 0,15-0,25 m/s for tilsvarende motorer [31].

Ren ammoniakk har relativt smale tenngrenser i luft på mellom 15-25 vol%. Tenngrenser definerer avstanden mellom nedre og øvre tenngrense, hvor nedre grense er de minste innblandingen av gassen i luft som kan gi antennelse ved bruk av tennkilde. Øvre grense er den maksimale innblandingen av stoffet som vil gi tenning. Ved konsentrasjoner over eller under grensen vil ikke stoffet antenne. Til sammenligning har bensin tenngrenser mellom 1,2-7,1 vol% [32], og metan har 5-15 vol%.

Det er ønskelig å beregne teoretisk luftbehov (også kalt støkiometrisk luftbehov) ved forbrenning av ammoniakk. Med teoretisk luftbehov menes den kjemisk riktige luftmengden som gir verken luftover- eller underskudd [33], slik at man oppnår fullstendig forbrenning. Denne verdien kan oppgis både gravimetrisk og volumetrisk, og dette tallet spiller en stor rolle i forbrenningsprosessen. For alle utbredte brennstoffer er tallet kjent og opplyst i tabellverker.

Ammoniakk brenner ideelt etter følgende reaksjonligning:



Ved beregninger kan man vise at det støkiometriske luftbehovet ved forbrenning av ammoniakk blir (se vedlegg D for fullstendige beregninger):

$$AFR_{stock} = 1,4118 \frac{\text{kg oksygen}}{\text{kg brennstoff}} \cdot \frac{100}{23,2} \frac{\text{kg luft}}{\text{kg oksygen}} = 6,09 \frac{\text{kg luft}}{\text{kg brennstoff}} \quad (5)$$

Man trenger altså i overkant av 6 kg luft pr. kg brennstoff ved forbrenning av ammoniakk. Til sammenligning har metan et teoretisk luftbehov på 17,2 kg.

Brennverdi (også kalt energitetthet) forteller hvor mye energiinnhold det er i en viss mengde av brennstoffet. Det beskriver den energimengden som blir frigitt ved fullstendig forbrenning av en gitt mengde. H_n (nedre brennverdi) er frigitt varmeenergi, fratrukket energien som går med til kondensasjon, og det er denne verdien man stort sett opererer med. Når man skal beskrive denne mengden, er det flere måter man kan betrakte dette på. Enkelte brennstoffer har tilsynelatende meget høyt energi-innhold når det vurderes ut fra energi per masse, som for eksempel hydrogen. Dette kalles gravimetrisk brennverdi. Dette er ikke lenger tilfellet når man regner pr. volumenhet. Dette har sammenheng med tettheten til brennstoffene. I de fleste sammenhenger er det mest aktuelt å betrakte volumetrisk energitetthet, fordi det til en hver tid er det tilgjengelige tankvolumet som avgjør hvor stor mengde brennstoff man har mulighet til å lagre. Ammoniakk har en betydelig lavere brennverdi enn diesel. Under normale trykk og temperaturer har ammoniakk nedre brennverdi 18,8 MJ/kg, mens diesel til sammenligning har 42,7 MJ/kg.

I tillegg til forskjell i brennverdi, kreves det som nevnt tidligere større plass å lagre stoffer som ammoniakk og hydrogen, på grunn av krav til nedkjøling og trygg lagring. Tabell 4 viser forskjellen i energitetthet for ulike flytende brennstoff, medregnet nødvendig tankvolum. Fra tabellen kan man se at diesel har over tre ganger så mye energi pr. liter som ammoniakk, og over fire ganger så mye som hydrogen. Flytende naturgass har omtrent 60% av dieselens brennverdi.

Tabell 4: Volumetrisk brennverdi inklusiv tankvolum [MJ/dm³] [8]

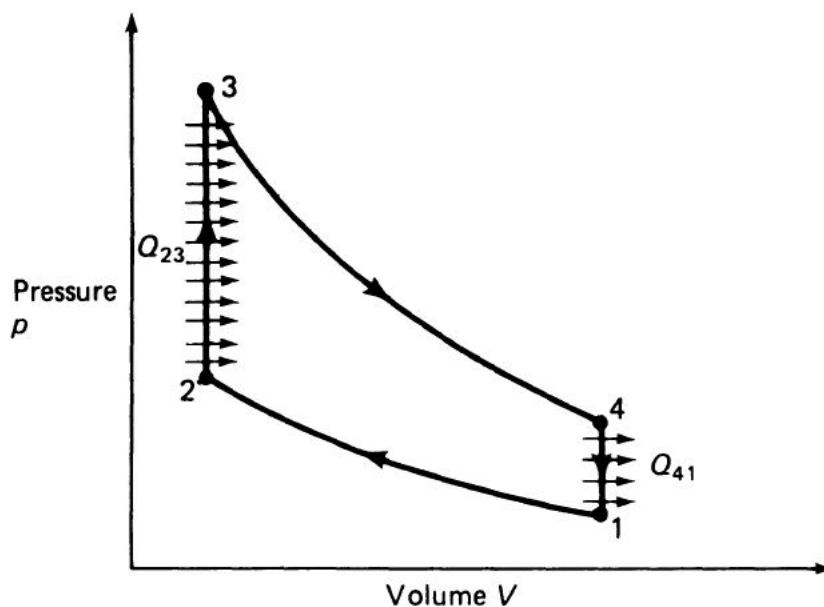
Diesel	LNG	Ammoniakk	Hydrogen
37	22	12	9

2.4.2 Otto- eller dieselp prinsipp

Utfordringene ved forbrenning av ammoniakk som er beskrevet i kapittel 2.4.1 utarter seg noe ulikt for otto- og dieselmotorer. I denne seksjonen vil begge prinsippene beskrives. I tillegg vil propan som brennstoff drøftes for begge motor-typer.

Otto-prinsippet

En otto-syklus er en ideell termodynamisk syklus som beskriver funksjonen til en typisk otto-motor, og er vist ved pV-diagrammet i figur 4. Etter klassisk otto-prinsipp, som brukes for store motorer, skjer forbrenning ved at en homogen blanding av luft og brennstoff blir komprimert i sylindere, og deretter antent. Forbrenningen skjer ideelt ved konstant volum. Mellom tilstand 1-2 skjer en adiabatisk kompresjon. Videre blir det tilført energi ved forbrenning mellom tilstand 2-3 under konstant volum. Mellom 3-4 skjer det en adiabatisk ekspansjon, før man tar ut arbeid ved konstant volum mellom 4-1.



Figur 4: pV-diagram for ideell Otto-syklus [34]

I realiteten har man ikke en slik situasjon. Forbrenningen skjer ikke ved konstant volum, og den er heller ikke fullstendig. Man har varmetap og mekaniske tap som reduserer mengden nyttig arbeid som kan tas ut. I tillegg er otto-motoren i stor grad begrenset

av egenskapene til brennstoffet som brukes, og her spiller tenn-energien en rolle. Ved bruk av ammoniakk kreves høy tenn-energi for å starte forbrenning, kan dette skape utfordringer.

Forbrenningshastigheten er et viktig element etter otto-prinsippet. Man ønsker å komme så nært som mulig den ideelle prosessen, hvor tenning og forbrenning skjer momentant rundt øvre dødpunkt. Siden stempelet beveger seg veldig raskt, er dette i praksis umulig. Rask forbrenning krever et brennstoff med høy flammehastighet som er lett antennelig. Flammehastigheten kan økes ved hjelp av turbulens. Ulike typer turbulens bidrar til at flammen spres raskere i sylindren. Samtidig må bruken begrenses da for stor bevegelse kan føre til flammeslukking og dermed ufullstendig forbrenning. Ammoniakk har lav flammehastighet, som kan skape utfordringer.

Om man har for høye trykk og temperaturer i forbrenningsrommet, kan det oppstå motorbanking, som kjennetegnes ved at man hører bankelyder fra motoren. Dette oppstår som følge av at brennstoffet selvtenner før flammefronten rekker frem, og kan være svært skadelig for motoren, med høye trykksvingninger som brer seg i sylindren. I verste fall kan motorbanking føre til fortetting, som vil si at blandingen tenner før det planlagte tenningstidspunktet. Dette skjer da ofte før ØD, og trykkbølgene virker da mot stempelbevegelsen. Dette kan føre til stor skade og motorhavari. Ammoniakk har et høyt oktantal, som er fordelaktig i forbindelse med motorbanking.

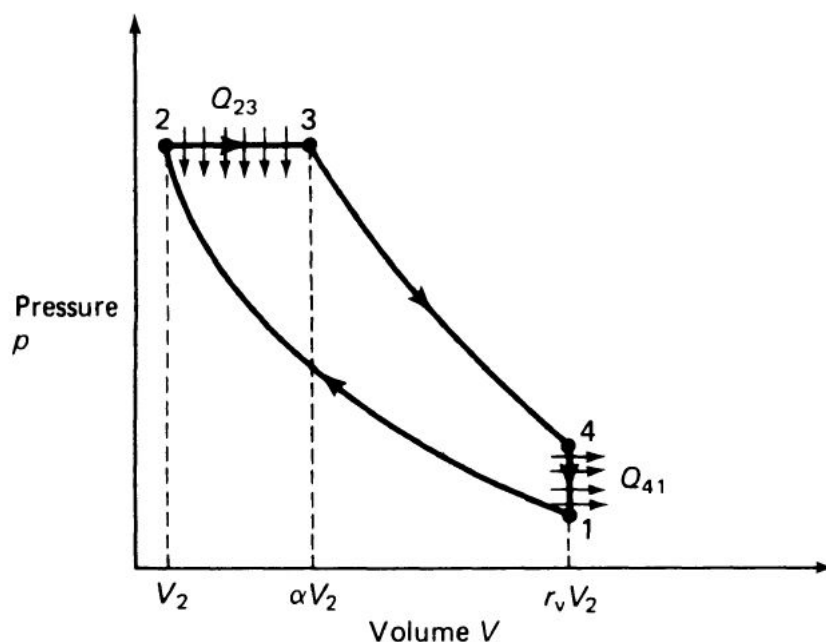
Blandingen i en otto-motor må være tett opp mot støkiometrisk blanding for å oppnå sikker tenning og forbrenning, så sant man ikke snakker om en magerbrennende motor. Dette krever at blandingsforholdet holdes tilnærmet konstant. Regulering av effekt skjer ved å strupe blandingsmengden. Struping medfører tap på virkningsgrad, og dermed er otto-motoren særlig dårlig på del-last [33]. Ammoniakk har relativt smale tenngrenser, noe som krever nøyaktig styring av blandingsforholdene i sylindren.

Propangass er en gass med egenskaper som passer godt i en otto-motor. Den antenner lett, har vide tenngrenser, brenner raskt og har høy energitetthet [35]. Propan er hovedbestanddelen i flytende petroleumsgass (LPG), som har høyt oktantal. LPG brenner

meget rent og ved høy temperatur, er lett å regulere og har reduserte utslipp av karbonmonoksid og uforbrente hydrokarboner sammenlignet med bensin. LPG er betydelig tyngre enn luft, og det knyttes dermed en del sikkerhetsutfordringer til forsvarlig bruk og håndtering. Dette, kombinert med vide tenngrenser på 1,5-8,5% som gjør at små andeler i luft kan være farlig, stiller strenge krav til god utlufting.

Diesel-prinsippet

En diesel-syklus er en ideell termodynamisk syklus som beskriver funksjonen til en typisk motor med selvtenning, og er vist ved pV-diagrammet i figur 5. Etter diesel-prinsippet skjer forbrenning ved at luft blir komprimert, og deretter blir brennstoff sprayet inn i den komprimerte luften, og brennstoffet selvtenner. Forbrenningen skjer ideelt ved konstant trykk. Mellom tilstand 1-2 skjer en adiabatisk kompresjon. Videre blir det tilført energi ved forbrenning mellom tilstand 2-3 under konstant trykk. Mellom 3-4 skjer det en adiabatisk ekspansjon, før man tar ut arbeid under konstant volum mellom 4-1.



Figur 5: pV-diagram for ideell Diesel-syklus [34]

I realiteten har man ikke en slik situasjon, og man har tap på samme måte som for en otto-syklus. I en dieselforbrenning er det innsprøytningssystemet i stor grad med på å

bestemme hvor god forbrenningen blir. Dieselforbrenningen er en diffusjonsforbrenning, som vil si at når brennstoffet blir sprayet inn i sylindere, så fordamper det, og de små fordampede dråpene diffunderer - sprer seg - til de omliggende luftmolekylene. Alt dette må skje før forbrenningen kan starte. Tidspunktet fra man starter injisering av brennstoff i sylindere, og til man oppnår tenning, kalles tenningsforsinkelse.

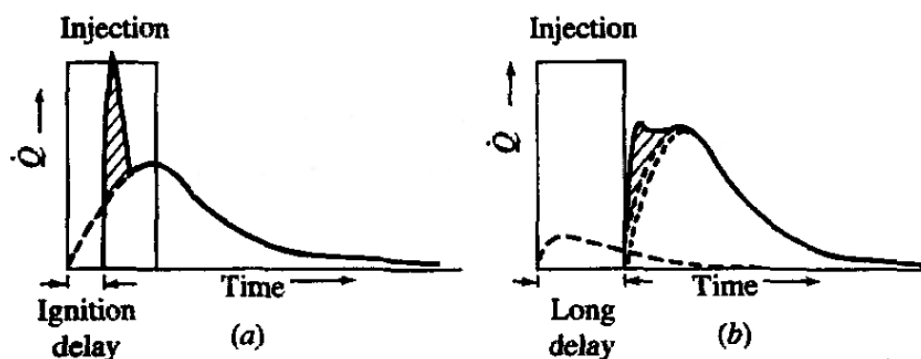
Tenningsforsinkelsen er et parameter som kan si mye om hvor god en dieselmotor er. Forsinkelsen beskriver tidsintervallet mellom injeksjonsstart og tenningsstart ved forbrenning, og avhenger av flere faktorer [36]. Først og fremst henger det tett sammen med hvilket brennstoff som brukes, og hvor lett antennelig det er. Dette uttrykkes gjennom brennstoffets cetantall. Høyt cetantall betyr stor tennvillighet, som fører til lavere tenningsforsinkelse. I tillegg til brennstoffet er det av stor betydning hvordan innsprøyting av drivstoff og blandingsdannelse med luft forløper. Høyt innsprøytingstrykk, små brennstoffdråper og raskere fordamping av brennstoffet fører til lav tenningsforsinkelse, som gir en rask og god oppflamming med en myk start på forbrenningen. Lang tenningsforsinkelse vil medføre tilsvarende hard forbrenning når brennstoffet først antenner. Dette er ikke ønskelig.

Bruk av ammoniakk i en diesel-motor kan få utfordringer med brennstoffets høye selvtenningstemperatur. Det krever svært høy kompresjonsgrad om man ønsker å oppnå selvtenning uten bruk av pilot-brennstoff. Samtidig innebærer dette at brennstoffet har meget høy bankefasthet, som kan være positivt. Man kan også få problemer med den lave flammehastigheten. Dette avhenger av hvilke motorer man bruker, men vil være minst problematisk for en saktegående motor med lavt turtall.

Når ammoniakk skal prøves som brennstoff i en forbrenningsmotor, er det ønskelig å kunne justere så mange parametre som mulig underveis. I denne sammenhengen er common rail-innsprøytingssystemet av stor verdi. Common rail er en teknologi for innsprøyting av brennstoff som blir brukt for moderne dieselmotorer. Teknologien går ut på at dieselolje under høyt trykk, gjerne 2000 bar, pumpes inn i et rør som er stengt i begge ender. Dette er common rail-røret. Fra dette røret fordeles brennstoffet i separate rør til elektronisk styrte injektorer, som fordeler det i de ulike sylindere.

Høyere innsprøytningsstrykk, raskere bytte av injektor og variable ventilløftkurver har gjort dieselmotorene mer økonomiske, renere og kraftigere.

For naturlig ladede dieselmotorer vil omsetningshastighet for utviklet varme forløpe noe annerledes om man sammenligner med moderne dieselmotorer med turbolading. I tillegg vil plassering av innsprøytningsdyse i sylindere ha stor innvirkning på hvordan forbrenningen forløper. Ved innsprøytning i en av sidene av sylindere vil dieselstrålen vandre et kortere stykke inn i kammeret. Dette kan få større utslag ved økt erstatning av gassformede med brennstoff. Da vil andelen diesel som blir sprøytet inn avta, og strålen vil kunne dekke et enda mindre område av sylindere. Dette vil føre til at flammefronten fra det gassformige brennstoffet som antennes av dieselen vil måtte vandre et lengre stykke, sammenlignet med motorer med sentralt plassert injektor. Dette er vist skjematisk i figur 6, hvor energiomsetning fra to ulike normal-ladede dieselmotor er presentert. Figuren viser tydelig at det er store forskjeller i hvordan forbrenning forløper for motor med sentrert injektor til venstre i figuren, til motor med injeksjon på vegg til høyre.



Figur 6: Omsetningshastighet for utviklet varme for to ulike normal-ladede dieselmotorer. (a) direkteinnsprøytet motor med sentrert injektor, (b) direkteinnsprøytet motor med injeksjon på vegg [37]

Propan har, som nevnt, tradisjonelt blitt ansett som et brennstoff for otto-motorer [35], da i form av flytende petroleumsgass, men kan også anvendes i dieselmotorer ved hjelp av pilotinjeksjon og tenning fra diesel. Studier har vist at bruk av LPG i dieselmotorer som dual-fuel-brennstoff fungerer godt for reduksjon av tungoljedrift og utslipp [38]. Testene viste at motorytelsen med LPG/diesel sammenlignet med ren diesel var veldig gode på høy last, men signifikant lavere ytelse på del-last og lav last. Dette er på grunn av dårlig utnyttelse av ladingen på lav last, og blir spesielt problematisk med normal-ladede

motorer. Samtidig konkluderes det med en rekke faktorer som kan optimaliseres for å bedre ytelsen, som omdreiningshastighet, størrelse på pilotinjeksjon og injeksjonstyring. Store motorprodusenter har kommersialisert slik motorer, og de finnes på markedet [39].

På bakgrunn av de nevnte forbrenningstekniske utfordringer i avsnittene over, i tillegg til et stort behov for å dekarbonisere global shipping hvor de fleste motorer er diesel-drevet, er det ønskelig å bruke dieselmotor som utgangspunkt for testene i denne rapporten.

2.4.3 Mål og fokus ved forbrenning

Dieselmotoren og ottomotoren har noen karakteristiske forskjeller i utslipp fra forbrenning. I denne rapporten er det relevant å se på hvilke utslipp som tradisjonelt kommer av dieselforbrenning, og hvordan disse antas å endre seg ved innblanding av ammoniakk i forbrenningsprosessen.

Avgasser fra dieselforbrenning består i hovedsak av nitrogenoksider (NO_x), sot og partikler. Det kan også forekomme en liten andel av uforbrante hydrokarboner og karbonmonoksid, men dette er ofte neglisjerbart. Man ønsker ideelt sett å ha både høy ytelse på motoren samtidig som utslipp av NO_x og PM er lav, men dette lar seg ikke gjøre da relasjonen mellom disse er motsatte. Dette omtales ofte som dieseldilemmaet.

NO_x -gasser er en samlebetegnelse på nitrogenoksidene NO , NO_2 og N_2O , som er svært helseskadelige ved eksponering for mennesker. I tillegg bidrar gassene til surt nedbør. Den største andelen av NO_x -gasser som oppstår ved forbrenning er NO (85-96%), mens resten stort sett er NO_2 . Mengden N_2O er neglisjerbar. Produksjon av NO_x påvirkes av brennstofftype, forbrenningstemperatur, luftoverskudd og tid.

Ved forbrenning av ren ammoniakk vil de karbonbaserte utslippene forsvinne. I denne oppgaven er målet å kjøre dieselmotoren med så høy andel ammoniakk som mulig, og dermed redusere CO_2 så mye som mulig. Samtidig som dette skjer, er det sannsynlig at mengden NO_x -gasser vil øke. Dette på grunn av at ammoniakk inneholder nitrogen, og man får dermed drivstoff- NO_x . Det forventes også at ved økt andel ammoniakk vil mengden sot og partikler i avgassen reduseres kraftig. Dette skjer også som følger av

den reduserte karbonmengden.

Dieselmotorer er designet for en del overlapping av ventiltidene. Dette er gjort fordi man ønsker kjøling av sylinderen, samtidig som man vil bli kvitt all avgassen, som i praksis er en inertgass som tar opp sylindervolum. Dette kalles spyling. Etter dieselprinsippet blir brennstoffet sprayet inn i forbrenningsrommet, og antenner i hver dråpe. Ved injeksjon av ammoniakk i innsugsmanifolden vil større eller mindre ventiloverlapping kunne ha stor betydning for eventuelle utslipp av uforbrent ammoniakk, som da vil blåse rett gjennom sylinderen og ut i avgassen.

3 Metode

Dette kapittelet er en gjennomgang av prosedyren som brukes for å utføre tester i forbindelse med oppgaven, og vil belyse utstyr, oppsett, betingelser og antakelser i forbindelse med testing. På grunn av stoffene som brukes i forsøkene blir sikkerhet og HMS også diskutert, og det utføres sikker jobb-analyse for de ulike scenariene. Selve testmatrisen presenteres i neste kapittel.

3.1 Testoppsett

3.1.1 Petter Diesel PH1W

Motoren som brukes til å utføre tester er en Petter Dieselmotor av typen PH1W, som vist i figur 7. Dette er en firetakter motor med én sylinder, en oppgitt effekt på 6,4 kW ved 2000 rpm og kompresjonsforhold på 16,5. Den er selvpustende (*NA - natural aspired*) og vannavkjølt. Flere tekniske spesifikasjoner er samlet i tabell 5. Datablad for motoren finnes i vedlegg A.



Figur 7: Motoren brukt til forsøkene, Petter Diesel PH1W

Motoren ble konstruert på 60-tallet av firmaet Petter Lt, tidligere James B. Petter and Sons, et engelsk firma som har produsert motorer siden 1893. I 1986 fusjonerte selskapet med R. A. Lister, og endret navn til Lister-Petter Ltd. Selskapet produserer fortsatt små motorer for flere applikasjoner [40]. I senere år er det blitt gjort enkelte konfigurasjoner og testprosjekter med motoren.

Motoren er plassert på en prøvestand i HVL's motorlab i kjelleren på Kronstad, hvor den er tilkoblet en elektrisk motor. Denne el-motoren fungerer i praksis som en generator, for å bremse motoren ved å ta ut last og konvertere dette til elektrisk energi. Denne energien blir ført gjennom en frekvensomformer, før den bringes ut på det lokale strømmettet. El-motoren brukes også som startmotor for dieselmotoren [41].

Tabell 5: Motoregenskaper for Petter Diesel [42]

Petter Diesel PH1W	
Antall sylindere	1
Antall ventiler	2
Motortype	4-takt
Innsprøytningsystem	Common rail
Effekt [kW] ved 2000 rpm	6,4
Boring [mm]	87
Slaglengde [mm]	110
Slagvolum cm ³	859
Kompresjonsforhold	16,5
Kompresjonstrykk [bar]	37
Maks sylindetrykk [bar]	72

3.1.2 Tidligere arbeid på motoren

Som del av en masteroppgave utført ved Høgskulen i Bergen våren 2016, ble motoren montert på prøvestand på motorlaben [41]. Dette var ønskelig for å kunne utføre ulike tester for senere oppgaver. I tillegg til å montere selve motoren og belastningssystemet, ble det implementert et indikeringssystem på dieselmotoren. Måleutstyr ble montert,

kalibrert og tilpasset på motoren, og dette ble videre tolket, programmert og illustrert på PC i kontrollrommet ved motorlaben. Systemene gjorde det mulig å kontrollere parametre som temperatur, turtall og forbruk. Deretter ble motoren testkjørt for ulike diesellojer. Siden motoren har én sylinder, suger den luft bare hvert fjerde slag, noe som førte til en diskontinuerlig luftstrøm. Dette ble løst ved å montere en luftvariasjonsdemper som skulle stabilisere strømmingen. Belastningssystemet som ble montert på motoren gav ikke svært nøyaktige målinger for effekt, men hadde svært god repeterbarhet og reproduserbarhet.

I 2017 ble innsprøytningsystemet på motoren ombygget til moderne, elektronisk styrt common rail-innsprøytningsystem som del av en masteroppgave på Høgskulen på Vestlandet [43]. Det ble installert common rail fra utstyrproduzenten Bosch. Videre ble systemet kontrollert av en ECU-enhet fra det svenske motorsportfirmaet NIRA. Modellen som ble brukt het Nira i7r. Motorens nye ECU gjorde det mulig å endre flere innsprøytningsparametre mens motoren går, både innsprøytningsmengde- og trykk, gjennom programvare fra NIRA. Endringene var mulig å observere ved hjelp av indikeringssystemet som var montert tidligere. Denne ombyggingen førte til at motoren ble mer anvendelig for tester av andre brennstofftyper, samtidig som man bedre kunne overvåke og styre driften av motoren i sanntid.

3.1.3 Indikering og styring

I denne seksjonen vil det beskrives hvilke indikerings- og styringsparametere som blir loggført ved kjøring av motoren, og hvilket måleutstyr som brukes til dette. I tabell 6 er alle loggførte parametre ved forsøkene samlet, og videre vil enkelte av de viktigste parametrene beskrives mer utfyllende.

Tabell 6: Loggførte parametre ved forsøk

Parameter	Beskrivelse	Måleutstyr	Kommentar
Sylindertrykk [bar]	P_{max} (P_1)	Kistler 7061B sylindertrykkmåler	Måler gjennomsnitt, min, max, standardavvik
Indikert middeltrykk [bar]	IMEP (P_i)	-	Beregnes i Indicom fra sylindertrykk
Dreiemoment [Nm]	TORQUE-FC (M_{FC})	Lastcelle (Labview)	Målt belastning fra frekvensomformer
Turtall [o/min]	SPEED-ENG (n_{eng})	AVL Angle Encoder 365C vinkelgiver	Måles på aksling
Effekt [W]	POWER-ENG	-	Beregnes fra turtall og dreiemoment
Brennstoff- forbruk [g/sec]	FUE-ENG	Lastcelle	Måler belastning på lastcelle
Vanntemperatur ut av motor [°C]	T-WAT-ENG-O (T_2)	Termoelementer	Presenteres i labview
Temperatur eksos [°C]	T-EXH-ENG-O (T_7)	"	"
Temperatur omgivelsesluft [°C]	T-AIR-AMB (T_6)	Værstasjon	Avleses i kontrollør-rom
Konsentrasjon NO _x [ppm]	NO _x [ppm]	Horiba PG350	Måler NO _x i avgassen vha. CLA
Konsentrasjon SO ₂ [ppm]	SO ₂ [ppm]	"	Måler SO ₂ i avgassen vha. NDIR
Konsentrasjon CO [ppm]	CO [ppm]	"	Måler CO i avgassen vha. NDIR
Konsentrasjon CO ₂ [vol%]	CO ₂ [vol%]	Horiba PG350	Måler karbondioksid i avgassen vha. NDIR
Konsentrasjon O ₂ [vol%]	O ₂ [vol%]	"	Måler oksygen i avgassen
Mengde uforbrente hydrokarboner [ppm]	THC [ppm]	JUM FID 109A	Måler uforbrente hydro- karboner i avgassen
Sot-tall	Sot-tall	AVL 415 Smoke Meter	Måles ved filterpapir i hht. ISO 8178 [41]

Sylindertrykkmåling

For å kunne måle sylindertrykk nøyaktig brukes det piezoelektriske trykktransdusere. Piezoelektrisitet går ut på at krystaller blir polarisert når de utsettes for trykk, deformeres elastisk og lager en ladning. Størrelsen på ladingen er proporsjonal med trykkreftene, men den er svært liten, og man trenger derfor en ladningforsterker for at spenningen skal være stor nok til å bli målt. Piezoelektriske transducere er kjent for å være mekanisk stive, som gjør at de er bedre egnet til dynamiske målinger enn statiske [44].



(a) Kistler 7061B

(b) Kistler ladningsforsterker

Figur 8: Kistler 7061B og tilhørende ladningsforsterker

I motoren er det montert en Kistler 7061B sylindertrykkmåler (vedlegg G), som er en vannkjølt piezoelektrisk sylindrisk signalomformer med høy presisjon, vist i figur 8a. Denne er spesialprodusert for å fungere godt for nøyaktige målinger i termiske maskiner [45]. Verdiene fra denne blir så sendt via en ladningsforsterker til AVL indikeringsystemet, hvor dataene blir behandlet og synkronisert med målinger fra veivinkelgiveren [41]. Denne er vist i figur 8b. På denne måten kan man få verdier for hvordan forbrenningen forløper i motoren, som kan fremstilles grafisk. I tillegg beregnes indikert middeltrykk fra sylindertrykkmålingene i Indicom.

Brennstofforbruk

For å måle brennstofforbruket brukes det ulike metoder for henholdsvis diesel og gass. Drivstofftanken med diesel er opphengt slik at man ved hjelp av en lastcelle kan måle forbruket i masse. Deretter brukes brennstoffets tetthet til å finne volumetrisk forbruk. I tillegg kan man beregne massestrøm ved å måle forbruk pr tid.

For gasstrømmen brukes et flowmeter fra Brooks Instruments for å måle massestrømmen. Instrumentet er opprinnelig designet for å operere med luft ved 1 bars trykk og 20 grader. Ved hjelp av produsenten er det laget en formel hvor man kan beregne en konversasjonsfaktor for bruk av andre gasser. Denne formelen finnes i vedlegg R.

Avgassmåling

For å måle utslipp fra motoren benyttes en portabel gassanalysator av typen Horiba PG350E. Denne analysatoren kan måle NO_x , SO_2 , CO , CO_2 og O_2 i avgassen. For NO_x -deteksjon bruker analysatoren en CLA-teknologi (cross-flow modulation chemiluminescence detection method), for SO_2 og CO brukes NDIR-teknologi (cross-flow modulation non-dispersive infrared absorption method), for CO_2 brukes en standard variant av NDIR-teknologien, og for O_2 brukes en kombinasjon av flere teknologier. Teknologien for krysstrømning og modulasjon fungerer ved at testgass og en referansegass strømmer vekselvis inn i en målecelle, og hvor forskjellen i gassens sammensetning gis ut som signaler [46]. Flere spesifikasjoner finnes i vedlegg H. I forsøkene beskrevet i denne rapporten tas det ikke hensyn til SO_2 -målinger.



Figur 9: Gassanalysator, Horiba PG350E [46]

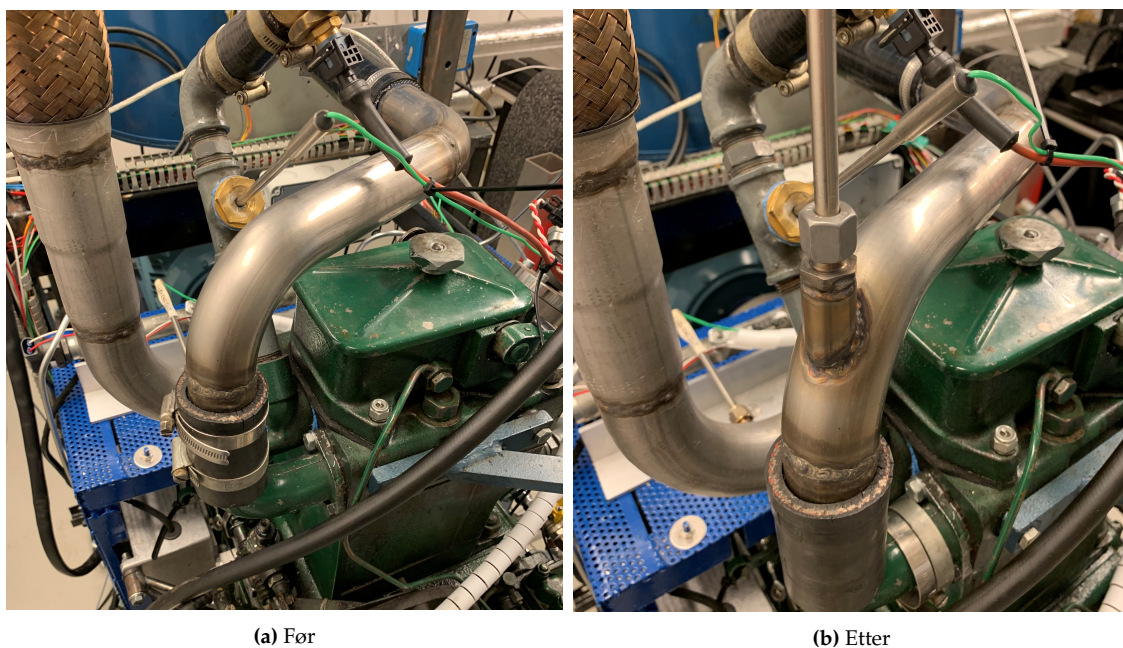
I tillegg til nevnte måleutstyr benyttes en annen type gassanalysator for å måle mengden uforbrente hydrokarboner i avgassen. Til dette formålet brukes JUM 109a FID. Denne bruker hydrogen som brennstoff, og fører avgassen gjennom en brennende hydrogenflamme [47]. Utstyret måler endring i flammens ledningsevne. Når karboner passerer hydrogenflammen vil den forbrenne, og skape flere ioner i flammen. Jo flere slike ioner, jo større strømsignal detekteres. På denne måten kan den detektere endringer i strømsignal, og beregne mengden uforbrente hydrokarboner. JUM 109a må kalibreres før bruk. Den kalibreres typisk med metan eller propan og måler antall karbon-ioner avhengig av hvilken gass man bruker. Ved kalibrering med metan vises totale hydrokarboner som C_1 , mens for propan vises de som C_3 . Øvrige spesifikasjoner finnes i vedlegg J.

For måling av sot-mengden i avgassen brukes AVL 415 Smoke Meter, som bruker filterpapirmetoden for å bestemme sot-tall [48]. Avgass fra motoren blir dratt gjennom et filterpapir, hvor sotpartikler fester seg. Ut fra hvor sort papiret blir farget, beregnes et sot-tall for avgassen. For lave sotkonsentrasjoner kan måleutstyret bli unøyaktig. Dette er fordi målingene da er så små at de i stor grad kan påvirkes av usikkerheten til instrumentet. På bakgrunn av dette vil det utføres tre målinger for hvert målepunkt.

For å få nøyaktige målinger er det ønskelig at avgassen som måles skal være tørr. Dermed sendes den gjennom en gasstørker av typen Madur PGD-100 (se vedlegg I), før den pumpes inn i gassanalyatorene. For å hindre at gassen kondenserer mellom målepunkt og gasstørker, brukes et oppvarmet rør for å bringe avgassen frem.

3.1.4 Ombygging av motoren

For å kunne kjøre motoren på både diesel, propan og ammoniakk er det nødvendig å gjøre en ombygging av motoren. Formålet er å injisere gassene i innsugsmanifolden sammen med luftstrømmen, slik at dette blir blandet på vei inn i brennkammeret. Dette utføres ved at det blir sveiset på et 200 mm lang rør med diameter 8 mm i et av bendene på innsuget, se figur 10 som viser innsugsmanifold før og etter ombygging. Gasstilførsel blir deretter koblet til røret.



Figur 10: Innsugsmanifold før og etter ombygging

3.2 Sikkerhet og helserisiko

Ammoniakk er en giftig gass. Dermed kreves det at man håndterer den på en slik måte at man minimerer risiko for kontakt med mennesker. Det foreligger flere rapporter som tar for seg håndtering av ammoniakk, hvor det konkluderes med at sikkerhetsbildet kan sammenlignes med andre kjente brennstoffer [49, 50]. Det er også gjort omfattende risikoanalyser vedrørende bruk av ammoniakk som maritimt brennstoff, som kommer med forslag til hvordan man kan løse konkrete sikkerhetsutfordringer [51].

3.2.1 Sammenligning med andre kjente brennstoffer

Den internasjonale organisasjonen NFPA (National Fire Protecting Association) kartlegger farer knyttet til håndtering av ulike stoffer. Faremomenter for hvert enkelt stoff blir rangert på en skala fra 0-4, og denne skalaen gir et grovt overblikk over mulige farer [49]. I utgangspunktet er dataene laget for at brannkonstabler raskt skal kunne gjøre seg sikkerhetsvurderinger knyttet til eksponering når de er i felten, men har samtidig overføringsverdi til generell kontakt med stoffene. Vurderingene er knyttet til brannslukningsarbeid i området hvor stoffene befinner seg, og hvordan det er mulig å tilnærme seg slike situasjoner. De ulike graderingene i skalaen er definert som følger:

4. For farlig å håndtere med konvensjonelt utstyr og prosedyrer for brannkonstabler. Trekk unna og tilkall ekspertise med kunnskap om håndtering.
3. Kan bekjempes ved bruk av metoder ment for svært farlige situasjoner, for eksempel fjernstyrt utstyr, eller bruk av heldekkende beskyttelsesutstyr.
2. Kan bekjempes ved bruk av standardprosedyrer, men det finnes faremomenter som gjør det nødvendig å bruke et spesifikt sett utstyr eller fremgangsmåter.
1. Små-farer tilstede, noe som krever oppmerksomhet, samtidig som standardprosedyrer kan brukes.
0. Ingen farer som krever spesielle hensyn.

Disse ulike rangeringene er videre gitt for tre ulike farekategorier: helse, brennbarhet og reaktivitet. I tabell 7 er rangering av farer ved eksponering for ulike kjente brennstoffer presentert, basert på NFPA's vurderinger.

Tabell 7: Rangering av potensielle farer, ifølge NFPA [49]

Stoff	Helse	Brennbarhet	Reaktivitet
Ammoniakk	3	1	0
Naturgass	1	4	0
Metan	1	4	0
Hydrogen	0	4	0
LPG (propan og butan)	1	4	0
Metanol	1	3	0
Bensin (92 oktan)	1	3	0

Som man kan se fra tabellen er ammoniakk det stoffet som det er knyttet størst fare til ved eksponering sett fra et helseperspektiv. På den andre siden er ammoniakk det stoffet som er minst farlig med tanke på brennbarhet. Ingen av stoffene i oversikten har faremomenter knyttet til reaktivitet. Ettersom ammoniakk har lave verdier for både brennbarhet og reaktivitet, er det neglisjerbare farer knyttet til plutselig brann eller eksplosjon. Det er naturlig å undersøke videre hvilke konsentrasjoner av ammoniakk som vil føre til helserisiko.

3.2.2 Grenseverdier for eksponering

Faren knyttet til eksponering av NH_3 har sammenheng med eksponeringstid -og konsentrasjon. AEGL, som står for "acute exposure guideline levels", er retningslinjer for hvordan man skal håndtere eksponering for farlige kjemiske stoffer. Her tallfestes det ved hvilken konsentrasjon mennesker vil oppleve helseskadelige effekter ved eksponering over en gitt tid [52]. For denne gitte eksponeringstiden kan et kjemisk stoff ha opp til tre AEGL-verdier, som hver av de beskriver et spesifikt nivå av helseeffekt. De tre nivåene er:

- **AEGL-3** beskriver en konsentrasjonen i luft av et gitt kjemisk stoff hvor alle målte verdier over denne konsentrasjonen vil kunne føre til livsfarlige helseeffekter og død
- **AEGL-2** beskriver en konsentrasjonen i luft av et gitt kjemisk stoff hvor alle målte verdier over denne konsentrasjonen vil kunne føre til irreversible skader, andre alvorlige langvarige helseskader, eller nedsatt evne til å evakuere.
- **AEGL-1** beskriver en konsentrasjonen i luft av et gitt kjemisk stoff hvor alle målte verdier over denne konsentrasjonen vil kunne føre til merkbart ubehag, irritasjon, eller lignende. Effektene er ikke skadelige, og er forbigående og reversible når eksponeringen opphører [52].

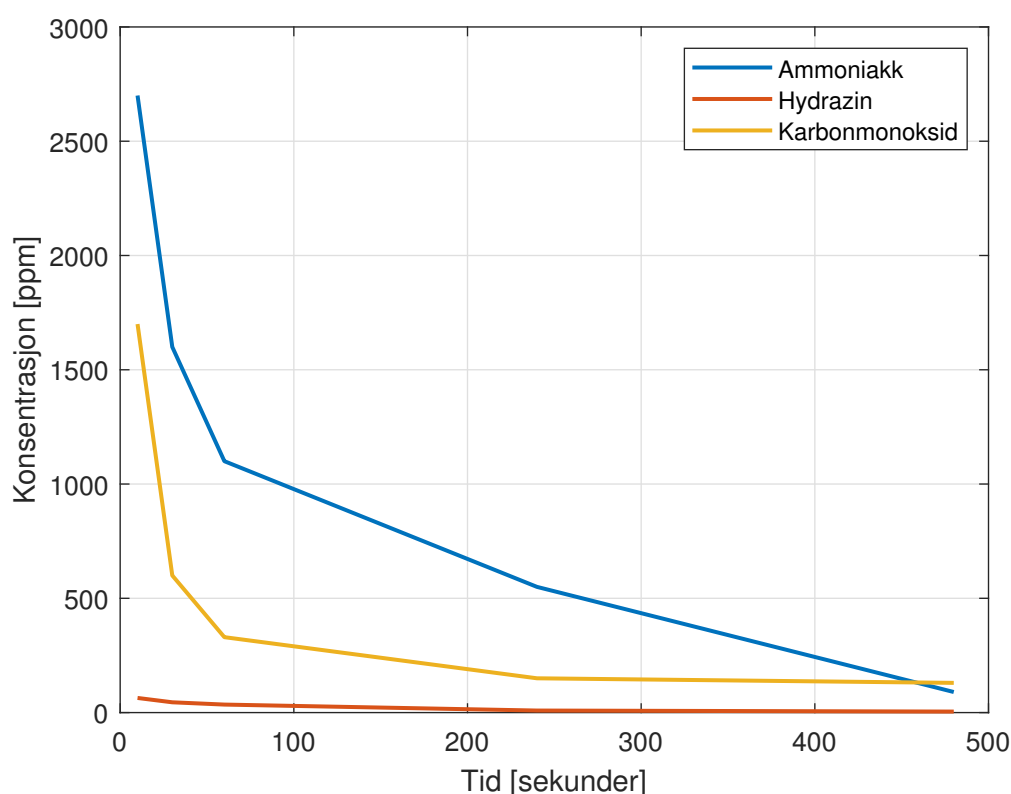
Alle tre nivåer er utviklet for fem ulike tider av eksponering: 10 minutter, 30 minutter, 60 minutter, 4 timer og 8 timer. I tabell 8 er AEGL-verdiene for ammoniakk presentert.

Tabell 8: AEGL-verdier for ammoniakk [ppm] [53]

	10 minutter	30 minutter	60 minutter	4 timer	8 timer
AEGL-1	30	30	30	30	30
AEGL-2	220	220	160	110	110
AEGL-3	2700	1600	1100	550	390

- alle verdier er uttrykt i ppm

For å få referanser mot andre kjente kjemiske stoffer, og hvordan de plasserer seg i AEGL-3, er tallene for ammoniakk plottet i figur 11 sammen med verdiene for hydrazin (N_2H_2) og karbonmonoksid (CO). Hydrazin er en fargeløs og giftig væske som brukes som bestanddel av brennstoff for raketter. Stoffet blir fremstilt ved oksidasjon av ammoniakk med hypokloritt [54]. Karbonmonoksid, ofte kalt kullos, er en giftig gass uten farge og lukt, og oppstår når karbonholdige stoffer eller materialer brenner uten tilstrekkelig luft til stede, og er en vanlig komponent i eksosgassen fra forbrenningsmotorer [55]. Ammoniakk er det stoffet av de tre hvor man trenger størst eksponering i ppm for at det skal utgjøre stor helsefare. Sammenligningen viser at, selv om ammoniakk er et giftig kjemisk stoff, så finnes det andre stoffer man håndterer som bærer en større helserisiko ved eksponering. Det gjelder både kjente brennstoffer og avgasser.



Figur 11: AEGL-verdier for noen kjemiske stoffer

Den stikkende lukten av ammoniakk kan kjennes allerede ved konsentrasjoner på 5-6 ppm, og er dermed langt under de skadelige verdiene nevnt over. Arbeidstilsynet har

vedtatt administrativ norm for eksponering av ammoniakk til 15 ppm over 8 timer, og en korthetsverdi ved eksponering over 15 minutter til 50 ppm [56].

3.2.3 Sikker jobbanalyse - SJA

Etter drøftingen i avsnittene over, anses det som trygt å utføre forsøkene i denne rapporten. Det er likevel nødvendig å gjennomføre en sikker jobbanalyse for å bevisstgjøre alle parter de risikoelementer man står ovenfor, og hvordan man best kan forebygge og unngå disse. I vedlegg B og C er det utarbeidet SJA for henholdsvis innblanding av ammoniakk og propan.

3.2.4 Sikkerhetstiltak

For å ivareta sikkerheten monteres det ammoniakksensorer rundt ammoniakkflaskene i motorlaben, slik at man kan oppdage eventuelle lekkasjer av stoffet før konsentrasjonen blir høy nok til at den er skadelig. Til dette formålet er det innhentet informasjon om priser for ulike gassensorer. Det er ønskelig å bruke en sensor som kan detektere både ammoniakk-gass og propan-gass. Gassensor av typen Monicon S500L-NH₃ (se vedlegg N for datablad) kan fungere til dette formålet, da denne ammoniakksensoren også kan kalibreres for nedre tenngrense for propan [57]. Alternativt kan man ha individuelle sensorer både for ammoniakk og propan, hhv. Monicon T100-NH₃ (vedlegg O) og CGS500 (vedlegg P). Hvis man ønsker å kombinere to sensorer, trenger man også en gassmonitor, for eksempel Monicon 4CH (vedlegg Q). Denne løsninger er dyrere enn den første.

I tillegg til dette blir stengeventilen på ammoniakk-flasken plassert slik at det er mulig å stenge denne i løpet av få sekunder ved eventuelle lekkasjer. Dermed har man god oversikt og rask mulighet til stenging og evakuering ved eventuelle lekkasjer.

4 Forsøk

I denne seksjonen redegjøres det for de ulike testene i denne rapporten. Brennstoffene som ble brukt blir beskrevet, og deretter hvordan testene ble utført.

4.1 Brennstoff til forsøkene

Formålet med rapporten er å teste innblanding av ammoniakk i en konvensjonell diesel-motor, og i hvor stor grad det er mulig å erstatte dieselmotoren med ammoniakk. For å konvertere dieselmotoren til dual fuel-motor ble det først gjort ombygging av motoren som gjorde det mulig å injisere gass i innsugsmanifolden. For å få noen sammenligningsdata på hvordan dette fungerte ble motoren først kjørt med ren diesel, deretter med en blanding av diesel og propangass. Deretter var formålet å kjøre motoren på diesel blandet med ammoniakk. Dette ble det ikke mulighet til, på grunn av omstendighetene nevnt i innledningen av denne rapporten. De ulike brennstoffene og gassene brukt til testing er som følger:

Diesel

Dieseltypen som brukes til både referansekjøring og primærbrennstoff i motoren er vanlig autodiesel fra drivstoffprodusenten Esso. Ifølge norsk bransjestandard har denne dieseltypen cetantall over 51, tetthet mellom 820-845 kg/m³ [58]. Det antas at dieselen har en brennverdi på 42,7 MJ/kg. Flere detaljer for norsk bransjestandard finnes i vedlegg L.

Propan

For å ha en gass å sammenligne ammoniakkbrennstoffet med, kjøres det først en blanding av propangass og diesel. For forsøkene i denne rapporten antas det at sammensetningen av propangassen er 100% propan. I praksis kan propangassen ofte inneholde små mengder andre hydrokarboner, som butan, eller andre gasser som oksygen [59].

Ammoniakk

Ammoniakk-gassen som skulle brukes til testene er av typen vannfri ammoniakk levert av Linde Gas. Vannfri ammoniakk er lettere enn luft, noe som gjør at denne typen er å

foretrekke av sikkerhetsmessige årsaker.

4.2 Utføring av forsøk

Ved gjennomføring av testene ble først motoren kjørt til den hadde oppnådd tilstrekkelig temperatur. Alle måleinstrumenter var koblet opp, kalibrert og kontrollert slik at man var klare til testene. Datainnsamling ble foretatt ved at man noterte måleverdier fra ulike måleinstrumenter manuelt, i tillegg til at kurver fra kontrollør-PC ble eksportert digitalt. I vedlegg T kan man se diverse bilder fra testoppsettet.

4.2.1 Driftspunkt

For alle forsøk ble motoren kjørt på samme driftspunkt med en konstant last. Denne velges på 50% av motorens maksimale last, som tilsvarer ca. 15 Nm og 1500 rpm, og en effekt på 2,36 kW. Grunnen til man velger å kjøre motoren et stykke under full last, er hensyn til de mange usikkerhetene ved bruk av ammoniakk som brennstoff. I tillegg brenner propangass ved høy temperatur, dermed er det fordelaktig å prøve å begrense dette.

4.2.2 Innblanding av gass

Gassflaskene er koblet til en regulator hvor man manuelt kan justere trykket på gassen ut fra flasken. Dette gjøres først etter at motoren har kjørt lenge nok på dieslbrennstoff til at den er oppvarmet, og at eksoskanalene er varme. Videre går gassen gjennom strømningsmåler fra Brooks Instruments av typen Brooks GT-1350, vist i figur 12. Til forsøkene i denne rapporten brukes måleren til høyre i figuren. Flere spesifikasjoner kan finnes i vedlegg M. Disse er fastmontert på en stålplate med tilkoblinger av gass på baksiden. Mengden gjennom måleren blir avlest manuelt på røret. Man har mulighet til å styre strømning ved å bruke nåleventilen på instrumentet i stedet for regulator på gassflaske. Røret tåler høye trykk og korrosive gasser, og har en nøyaktighet på 5%^[60].

Mengdemålerene som er tilgjengelig på motorlaben er kalibrert for måling av luft ved 20 °C og 1 bar trykk. Dermed er det nødvendig å lage en konversasjonsfaktor som kan brukes for målinger ved propan og ammoniakk. Brooks Instruments har sørget for en formel for konversasjonsfaktor, og denne vises i vedlegg R. For forsøkene i denne rapporten er

det kalkulert en konversasjonsfaktor på 0,8 for propan.



Figur 12: Strømningsmålere, Brooks GT-1350

4.2.3 Forsøksmatrise

Tabell 9 viser hvilke tester som skal utføres. Energimengdene er beregnet ut fra målte forbruk ved valgt driftspunkt, som tilsvarer et dieselforbruk på 17,17 mg/slag [43]. Videre er det ønskelig å kjøre forsøk med ren diesel, blanding av diesel/propan med hhv. 25%, 50% og 75% propan-innblanding, og videre diesel/ammoniakk med hhv. med 25%, 50% og 75% ammoniakk-innblanding. Beregninger for forbruk finnes i vedlegg E.

Tabell 9: Forsøksmatrise for testing

Motoreffekt* [kW]	2,36
Innsprøytningmengde, diesel [mg/slag]	17,17
Tilført diesel ved 100% energi fra diesel [l/h]	0,9405
ved 75% diesel [l/h]	0,7054
ved 50% diesel [l/h]	0,4703
ved 25% diesel [l/h]	0,2351
Tilført C ₃ H ₈ ved 0% propan og 100% energi fra diesel [nl/h]	-
ved 25% propan og 75% diesel [nl/h]	93,8
ved 50% propan og 50% diesel [nl/h]	187,5
ved 75% propan og 25% diesel [nl/h] **	281,3
Tilført NH ₃ ved 0% ammoniakk og 100% energi fra diesel [nl/h]	-
ved 25% ammoniakk og 75% diesel [nl/h]	601,3
ved 50% ammoniakk og 50% diesel [nl/h]	1202,5
ved 75% ammoniakk og 25% diesel [nl/h] ***	1803,8

- alle verdier er basert på nedre brennverdi

* beregnet fra turtall og dreiemoment

** hvis T_{eksos} ikke er for høy etter 50/50

*** muligens vanskelig å oppnå samme effekt med så stor NH₃-andel

5 Simuleringsmodell

Det er ønskelig å simulere de planlagde forsøkene ved hjelp av simuleringsprogrammet Ricardo Wave. Slike programmer blir ofte omtalt som analyser av ideelle sykluser, men hvor man lager matematiske modeller for å ta høyde for de reelle effektene som vil påvirke motorens ytelse. Slike effekter kan være irreversibiliteter, reelle gasegenskaper, varmetap, friksjonstap, brennstoff og forbrenningskarakteristikk, og strømmingstap inn og ut av sylindere. De nevnte effektene vil også forandres ved hastighet og last [61]. Resultatene fra slike analyser er vanligvis informasjon som brennstofforbruk, trykkforløp, temperaturer, strømming, forbrenning etc, som kan bidra i produksjon og videreutvikling av motorer. Slike simuleringsmodeller er meget økonomibesparende, all den tid man kan gjøre en del kalibrering før man starter bygging og ombygging av motorer.

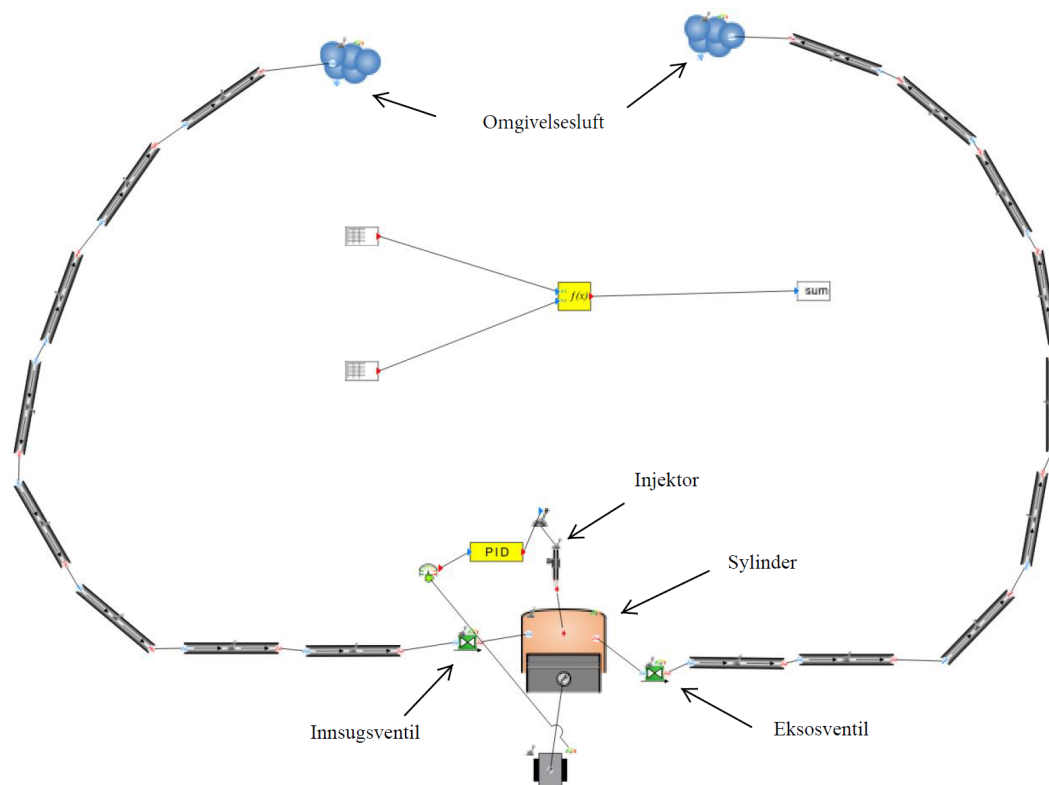
5.1 Grunnleggende ligninger

Bakgrunnen for beregninger som blir utført i simuleringsprogrammet er en rekke matematiske formler. Disse er alle beskrevet i vedlegg F, men nevnes også kort her:

- Termodynamikkens første lov - om konservering av energi
- Termodynamikkens andre lov - om retning av irreversible prosesser
- Loven om bevaring av masse
- Loven om bevaring av energi
- Loven om bevaring av moment
- Loven om varmeveksling ved konduksjon
- Loven om varmeveksling ved konveksjon

5.2 Wave-modell

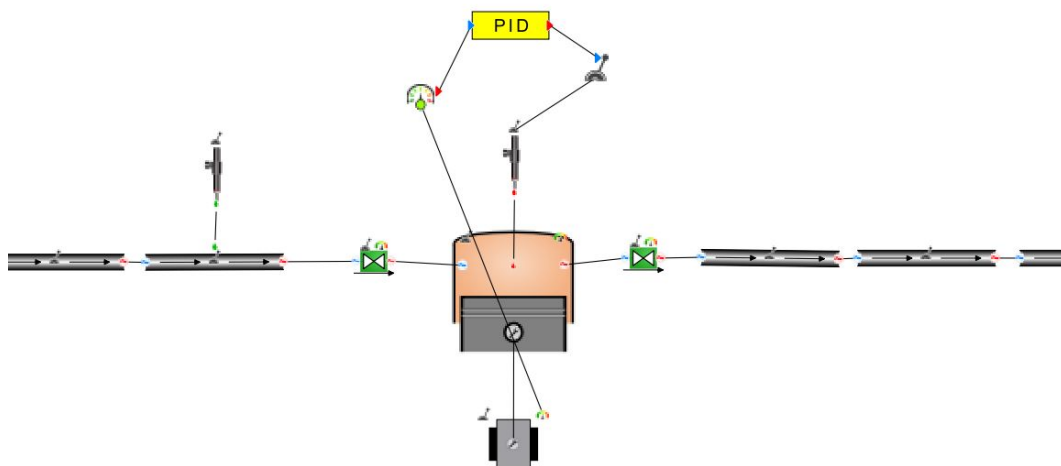
Det er tidligere bygget en én-dimensjonell Wave-modell for Petter-motoren som del av en masteroppgave ved HVL [41]. Denne brukes om utgangspunkt for videre ombygging og testing i denne rapporten. Modellen er vist i figur 13.



Figur 13: Original modell laget i Wave

Modellen er designet for å lage en så god tilnærming til den reelle motoren som mulig. Oppe i venstre hjørne kommer luft inn i motoren gjennom den blå skyen som symboliserer omgivelsene. Deretter føres luften gjennom ulike rør som er modellert for å etterligne den reelle motoren, gjennom den en grønne innsugsventilen, før den når sylinderen. Over sylinderen er det laget en PID-styrt injektor, hvor injeksjonsrate og ventilløftkurver for Petter Diesel er lagt inn i modellen. Videre føres eksosluften ut gjennom eksosrør av ulike dimensjoner, før den returnerer til omgivelsesluften. I senter av figuren ble det laget en funksjon som beregner AFR for motoren.

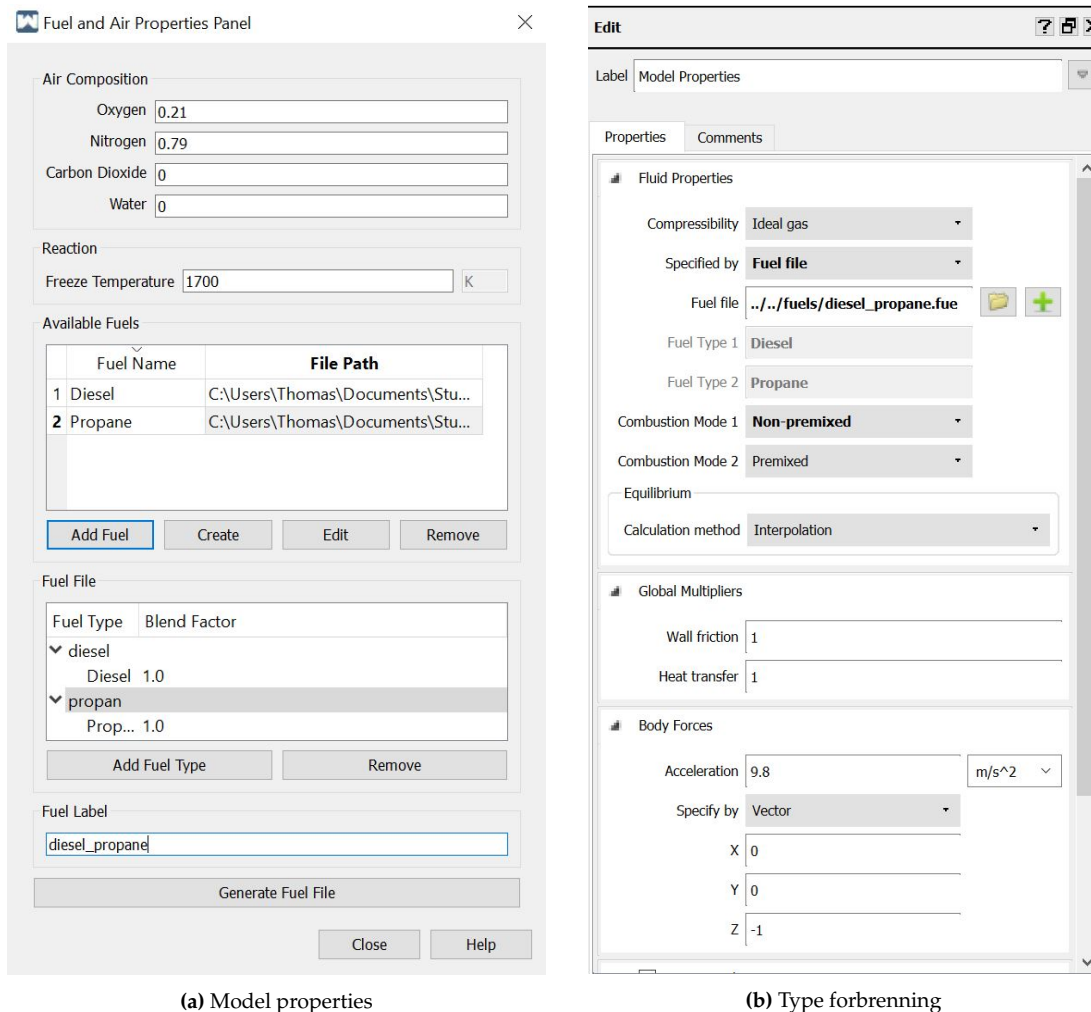
Før modellen kan brukes i denne rapporten er det nødvendig å gjøre endringer på den. For å kunne kjøre den med både diesel/propan og diesel/ammoniakk er det nødvendig å bygge den om til dual fuel-drift. Det første som gjøres er å lage en ny injektor i innsugsmanifolden som skal brukes til propan og ammoniakk. Denne velges av typen *maximum mass flow rate*, og er vist i figur 14. Grunnen til at denne typen injektor er valgt, er at man da kan bestemme hvor mye brennstoff som blir injisert for hver syklus.



Figur 14: Ny injektor over innsugsmanifold

Etter at wave-modellen ble laget, er dieselmotoren bygget om til common rail-drift. Injektoren for diesel må derfor også endres, og velges til *mass per injection*. På denne måten kan man enkelt bestemme hvor stor mengde brennstoff som injiseres per syklus, og den er uavhengig av motorens kamaksel.

Neste steg er å lage et nytt drivstoff som inneholder både propan og diesel. Dette utføres under *model properties*, hvor man endrer hvilken drivstoff-fil modellen bruker, se figur 15a. Begge legges til fra sine respektive .dat-filer, og det nye drivstoffet kalles diesel_propan. Etter at det nye drivstoffet er generert, blir type forbrenning tilegnet til hvert av drivstoffene. For diesel-drivstoffet velges *non-premixed*, mens det for propan velges *premixed* (forblandet), som vist i figur 15b. Det tilegnes også drivstoffsammensetning for hvert av de, hvor det velges flytende form for diesel og fordampet form for propan.

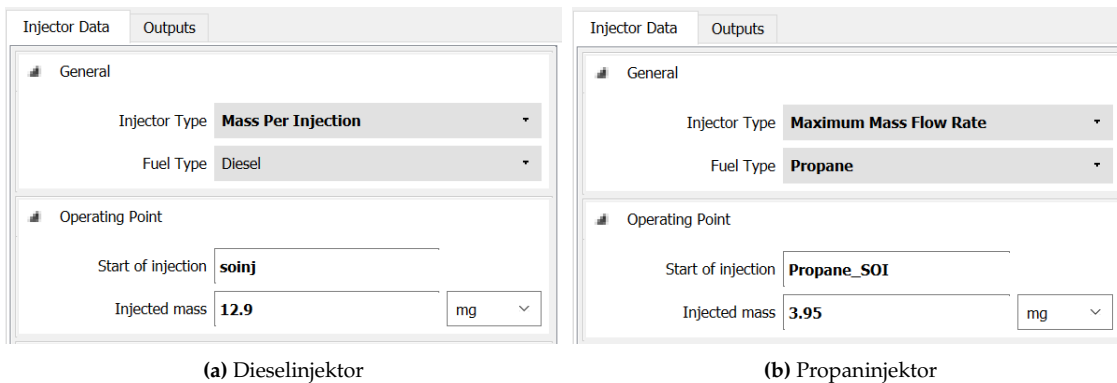


(a) Model properties

(b) Type forbrening

Figur 15: Nytt drivstoff og forbreningstype

Videre blir riktig type drivstoff knyttet til sine respektive injektorer, som vist i figur 16. Her kan man bestemme hvor stor masse brennstoff som blir injisert fra hver type.



(a) Dieselinjektor

(b) Propaninjektor

Figur 16: Innstillinger for begge injektorer

For å håndtere simulering med flere drivstoff, er det nødvendig å bruke riktig modell for forbrenning og energiomsetning. *Multi Wiebe*-modellen tar høyde for dette med funksjon både for diffusjonsstyrt forbrenning og forblandet forbrenning [61]. Dette velges under sylinderegenskaper, og videre dens *submodels*. Multi Wiebe-kurven endres for de respektive brennstoffene, som viser i figur 17. Grafene for andel masse som er brent er videre plottet i i figur 18.

Curves

diesel
 propane

+ Add
📄 Clone
✖ Remove

Curve Properties

Name	diesel	
Location of 50% burn point	9	deg ▾
Combustion duration	9	deg ▾
Wiebe exponent	2	
Mass ratio	0.766	
Cumulative burn fraction 1	0.1	
Cumulative burn fraction 2	0.5	
Cumulative burn fraction 3	0.9	
Combustion Type	Non-premixed ▾	

Curves

diesel
propane

+ Add
📄 Clone
✖ Remove

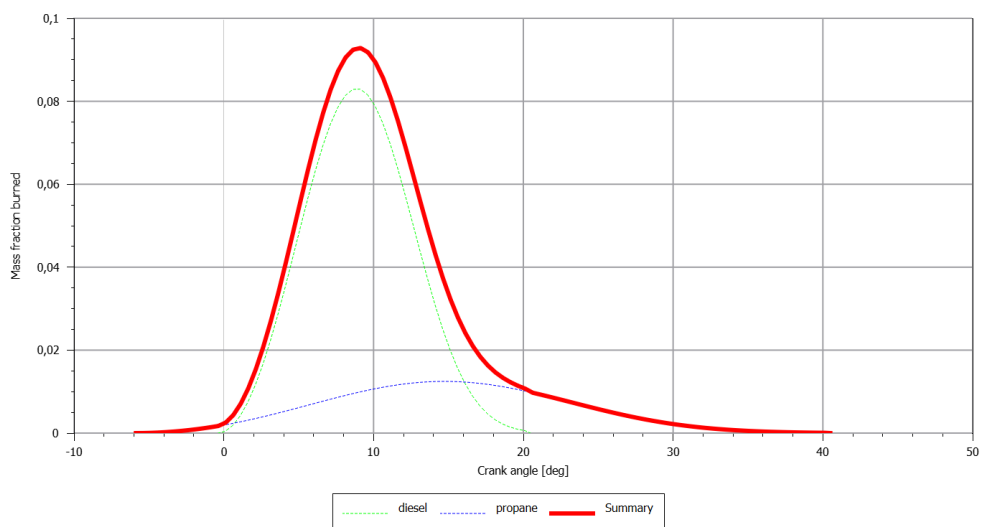
Curve Properties

Name	propane	
Location of 50% burn point	15	deg ▾
Combustion duration	20	deg ▾
Wiebe exponent	2	
Mass ratio	0.234	
Cumulative burn fraction 1	0.1	
Cumulative burn fraction 2	0.5	
Cumulative burn fraction 3	0.9	
Combustion Type	Premixed ▾	

(a) Egenskaper for diesel

(b) Egenskaper for propan

Figur 17: Egenskaper for diesel og propan for plotting av Multi Wiebe-kurve



Figur 18: Multi Wiebe-funksjon for diesel og propan

Ideelt sett ville man brukt data for omsetningshastighet for utviklet varme fra tester utført på motorlaben til å konstruere en god og prediktiv forbrenningsmodell. Dette fungerer for vanlig forbrenning der det kun er ett brennstoff i sylindren. I tilfeller med to brennstoffer derimot, er man nødt til å bruke multi wiebe-modellen. Dette gjør det utfordrende å gjøre modellen svært nøyaktig, all den tid man må anslå når de to ulike brennstoffene brenner i sylindren, og må jobbe ut fra visuell sammenligning. Det viktigste parameteret man må endre er *mass ratio*, altså hvor stor massefraksjon de ulike brennstoffene har. Dette endres for hvert testpunkt. I tabell 10 er en oversikt over de parametre som ble justert for hvert av testpunktene.

Tabell 10: Endrede parametre ved simulering

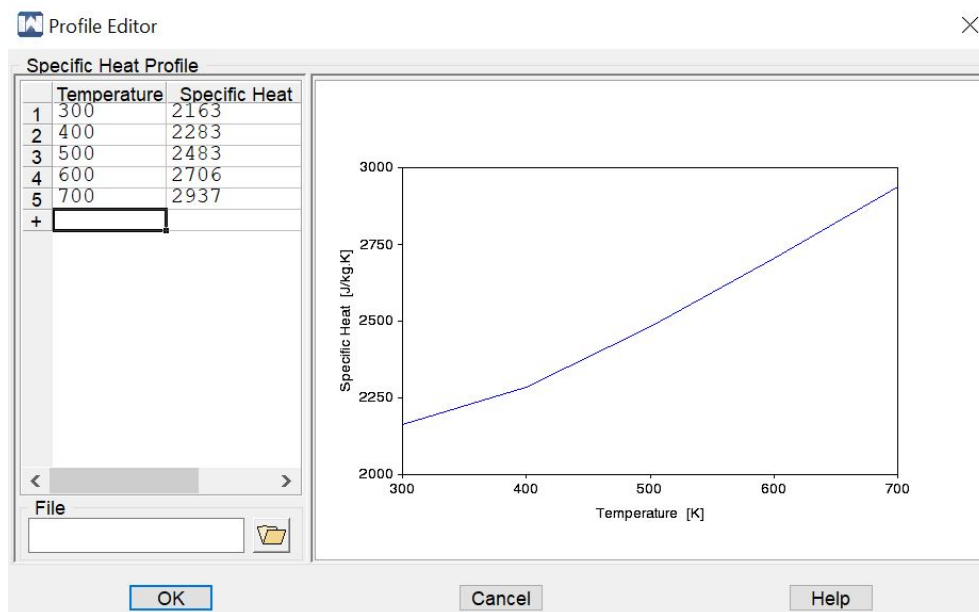
	Dieselinjektor [mg/slag]	Propaninjektor [mg/slag]	Massefraksjon, diesel	Massefraksjon, propan
100% diesel	17,17	-	1,0	-
25% propan-erst.	12,90	3,95	0,766	0,234
50% propan-erst.	8,59	7,90	0,521	0,479
75% propan-erst.	4,29	11,85	0,268	0,734

Verdiene i tabellen er beregnet ut fra tallmaterialet fra vedlegg E.

For å senere kunne gjøre de samme testene for ammoniakk og diesel, må de samme trinnene utføres. I tillegg til dette, er det nødvendig å lage en ny drivstoffil for ammoniakk, da denne ikke eksisterer. Dette gjøres under *fuel editor* hvor det lages et nytt drivstoff. Her blir egenskaper for ammoniakk lagt inn, som vist i figur 19. Deretter lager man en ny fil som kombinerer ammoniakk og diesel, som tidligere forklart for propan.

Figur 19: Ny drivstoffil for ammoniakk

Videre blir data for *specific heat profile* lagt inn. Her fantes det ikke verdier for veldig høye temperaturer. Verdiene og tilhørende kurve er vist i figur 20.



Figur 20: Spesifikk varmepofil for ammoniakk [28]

6 Resultater

I følgende kapittel vil resultater og målinger fra testing og simulering presenteres. Her presenteres et utvalg, og flere resultater finnes i vedlegg S. Videre vil resultatene diskuteres i neste kapittel.

6.1 Testresultater fra motorlab

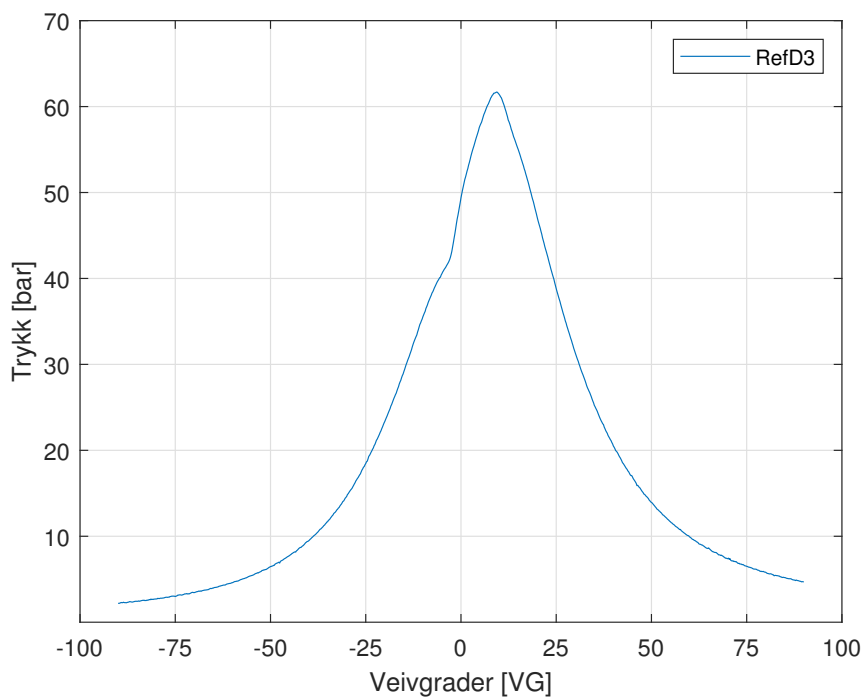
Følgende vil testresultater fra forbrenning på motorlaben presenteres. Målingene i denne rapporten er gjort i mai 2020 på motorlaben ved HVL. For hvert av målepunktene vil det presenteres trykkurver, omsetningshastighet for utviklet varme og akkumulert energiomsetning. I tillegg vil det presenteres en tabell med relevante måleverdier fra forsøkene. Verdiene i tabellene er gjennomsnitt av tre målinger ved samme punkt, som er tatt med omtrent 5 minutters mellomrom. For alle målinger var moment og turtall konstant 13,4 Nm og 1500 rpm. Dette tilsvarer en effekt på 2,1 kW. Luftfuktigheten i rommet holdt seg stabil på 20% gjennom alle testene, mens romtemperaturen steg sakte og kontinuerlig fra 25,9 °C til 28,8 °C.

I tabell 11 er det laget en oversikt over de tester som ble gjennomført, med referansenavn for hver test. Disse referansenavnene blir brukt videre i grafiske fremstillinger og henvisninger til testene. De er gjennomført i den kronologiske rekkefølgen de står i tabellen.

Tabell 11: Oversikt over gjennomførte tester med referansekode

Gjennomført test	Referansekode
Ren diesel, test nummer 1	RefD1
Ren diesel, test nummer 2	RefD2
Ren diesel, test nummer 3	RefD3
25 % erstatning med propan, test 1	25ErstC3T1
25 % erstatning med propan, test 2	25ErstC3T2
25 % erstatning med propan, test 3	25ErstC3T3
50 % erstatning med propan, test 1	50ErstC3T1
50 % erstatning med propan, test 2	50ErstC3T2
50 % erstatning med propan, test 3	50ErstC3T3
75 % erstatning med propan, test 1	75ErstC3T1
75 % erstatning med propan, test 2	75ErstC3T2
75 % erstatning med propan, test 3	75ErstC3T3
Ren diesel, test nummer 4	RefD4
Ren diesel, test nummer 5	RefD5
75 % erstatning med propan, test 4	75ErstC3T4
75 % erstatning med propan, test 5	75ErstC3T5

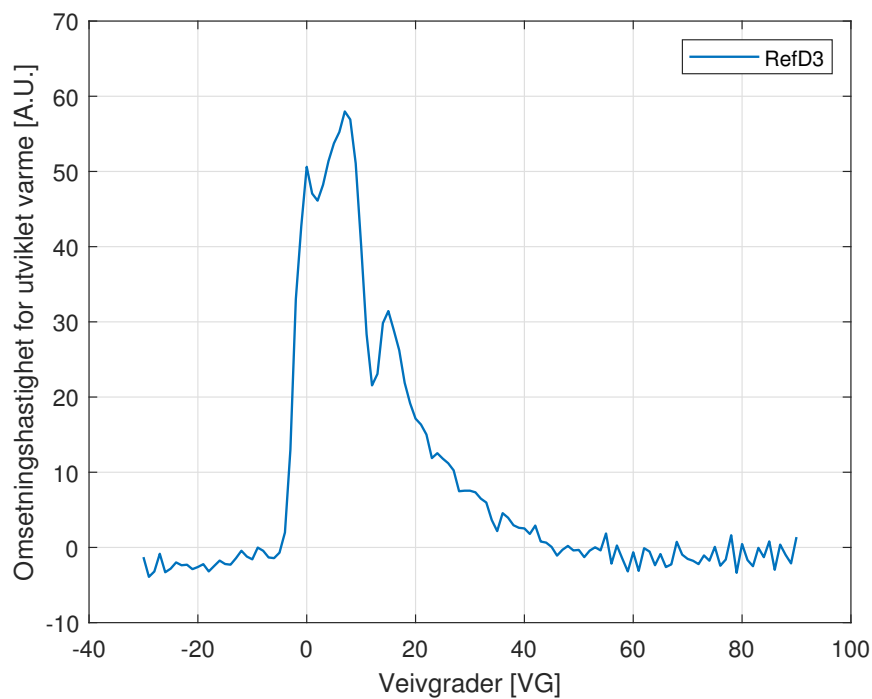
6.1.1 Ren diesel



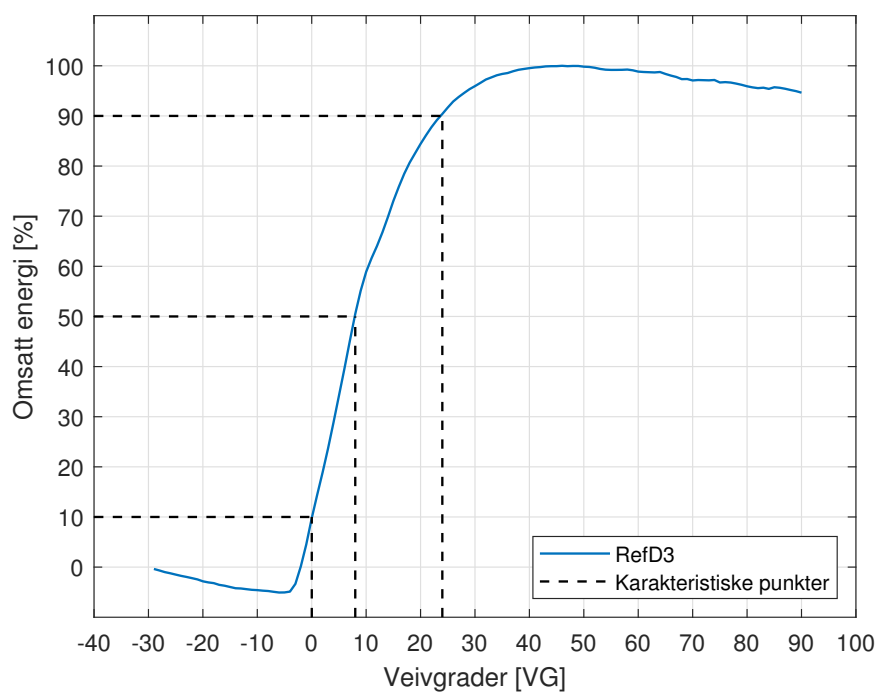
Figur 21: Trykkforløp ved forbrenning av RefD3

For å ha sammenligningsgrunnlag etter innblanding av propan i dieselmotoren ble det først kjørt referansetester med ren autodiesel. De ulike testene som ble gjort i dette målepunktet viste svært like verdier, og det er vurdert tilstrekkelig å plote én av målingene. Her er det ikke gjort gjennomsnitt av de ulike testene, men heller brukt en måling som var plassert i senter av de andre. Til dette ble test RefD3 valgt. Figur 21 viser trykkforløp ved forbrenning av ren diesel for test RefD3.

Figur 22 viser omsetningshastighet for utviklet varme ved forbrenning av ren diesel for test RefD3. Figur 23 viser akkumulert varmeomsetning fra samme test. De stiplede linjene viser tidspunkt for omsetning av hhv. 10%, 50% og 90% av energien. Differansen mellom 10-90% er 24 veivgrader.



Figur 22: Omsetningshastighet for utviklet varme, RefD3



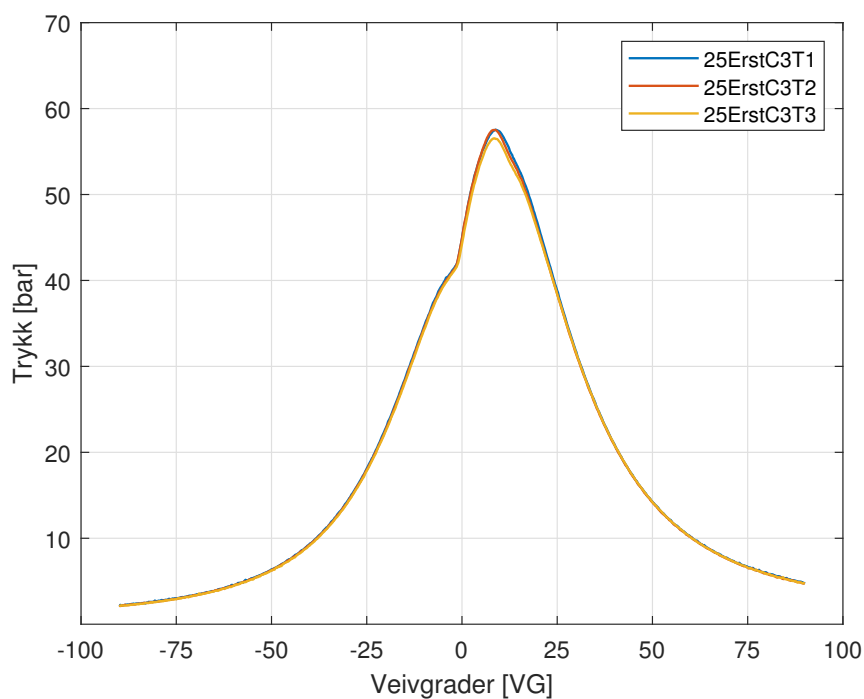
Figur 23: Akkumulert varmeomsetning fra RefD3

Tabell 12: Måleresultater for tester RefD1, RefD2 og RefD3

Parameter	Målt verdi
Turtall [rpm]	1500
Moment [Nm]	13,4
Dieselforbruk [g/sec]	0,206
Eksostemperatur [°C]	297,8
NO _x -utslipp [ppm]	873
CO-utslipp [ppm]	280
THC, uforbrente hydrokarboner [ppm]	0,82
Sot-tall	0,55

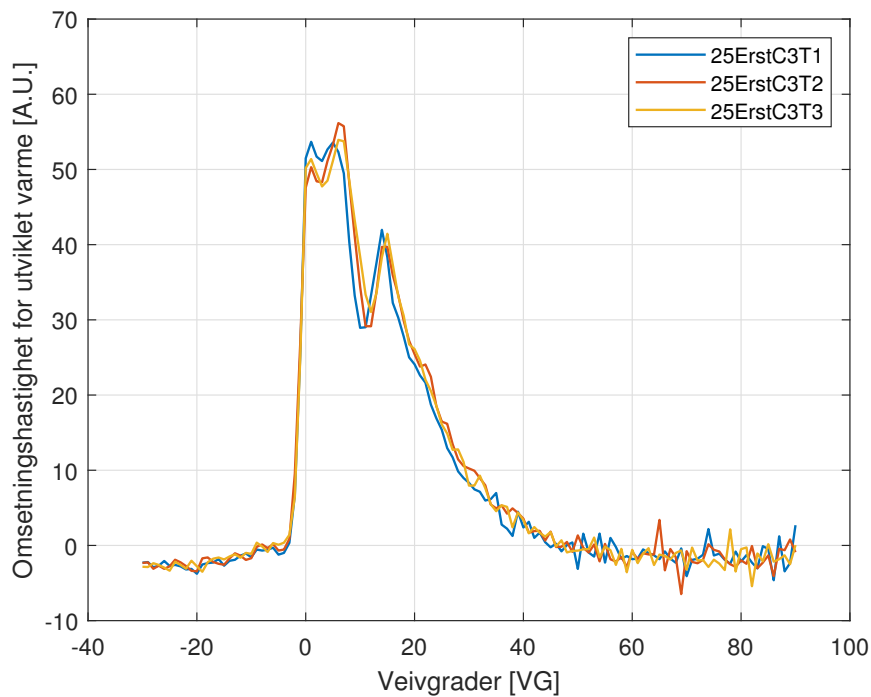
Tabell 12 viser avleste måleresultater fra testene med ren diesel, og er gjennomsnitt av tre målinger. Flere målinger ble gjort, og de kan ses i sin helhet i vedlegg S.

6.1.2 Diesel med ca. 25% propan-innblanding

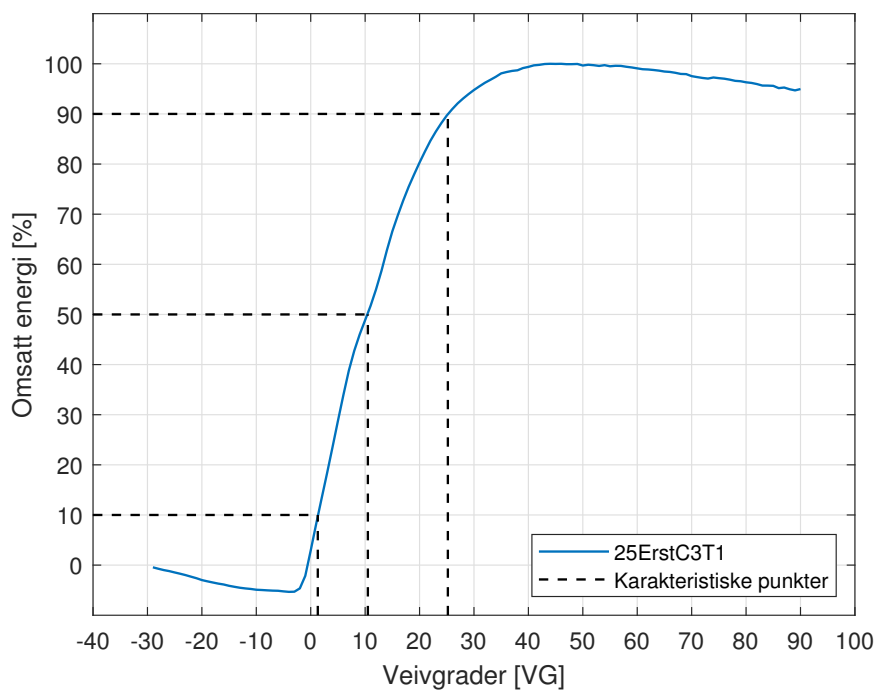


Figur 24: Trykkforløp ved forbrenning av tester 25ErstC3T1, 25ErstC3T2 og 25ErstC3T3

Figur 24 viser trykkforløp ved forbrenning av diesel med 25% erstatning av propan for tre ulike tester. En tydelig reduksjon i det maksimale sylindetrykket under forbrenning kunne observeres ved innblanding av propangass. Figur 25 viser omsetningshastighet for utviklet varme for de samme testene.



Figur 25: Omsetningshastighet for utviklet varme for tester 25ErstC3T1, 25ErstC3T2 og 25ErstC3T3



Figur 26: Akkumulert varmeomsetning fra 25ErstC3T1

Figur 26 viser akkumulert varmeomsetning fra samme test 25ErstC1T1. De stiplede

linjene viser tidspunkt for omsetning av hhv. 10%, 50% og 90% av energien. Differansen mellom 10-90% er 23,9 veivgrader.

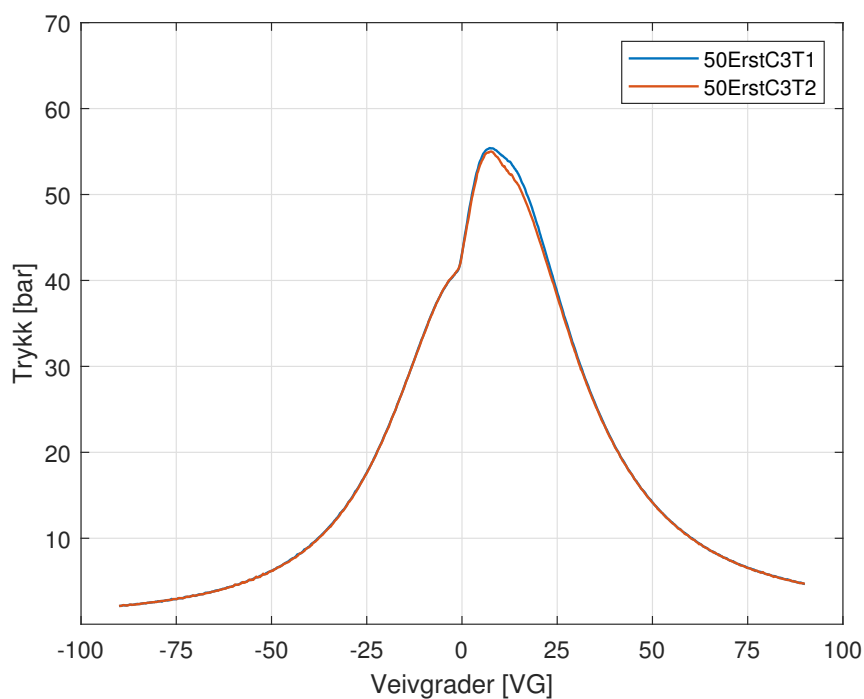
Tabell 13 viser avleste måleresultater fra testene med 25% propanerstatning, og er gjennomsnitt av tre målinger. Ved sammenligning med ren diesel, viser målingene av NO_x-utslippene går ned. De viser også at CO-utslipp og THC-utslipp øker betraktelig, mens sot-tallet går ned. Eksosgasstemperaturen holder seg relativt stabil med to graders økning. Dieselforbruket er 67% av forbruket ved kjøring med ren diesel.

Tabell 13: Måleresultater for tester 25ErstC3T1, 25ErstC3T2 og 25ErstC3T3

Parameter	Målt verdi
Turtall [rpm]	1500
Moment [Nm]	13,4
Dieselforbruk [g/sec]	0,140
Eksostemperatur [°C]	300,2
NO _x -utslipp [ppm]	633
CO-utslipp [ppm]	1468
THC, uforbrente hydrokarboner [ppm]	2150
Sot-tall	0,30
Propanforbruk [nl/h]*	96

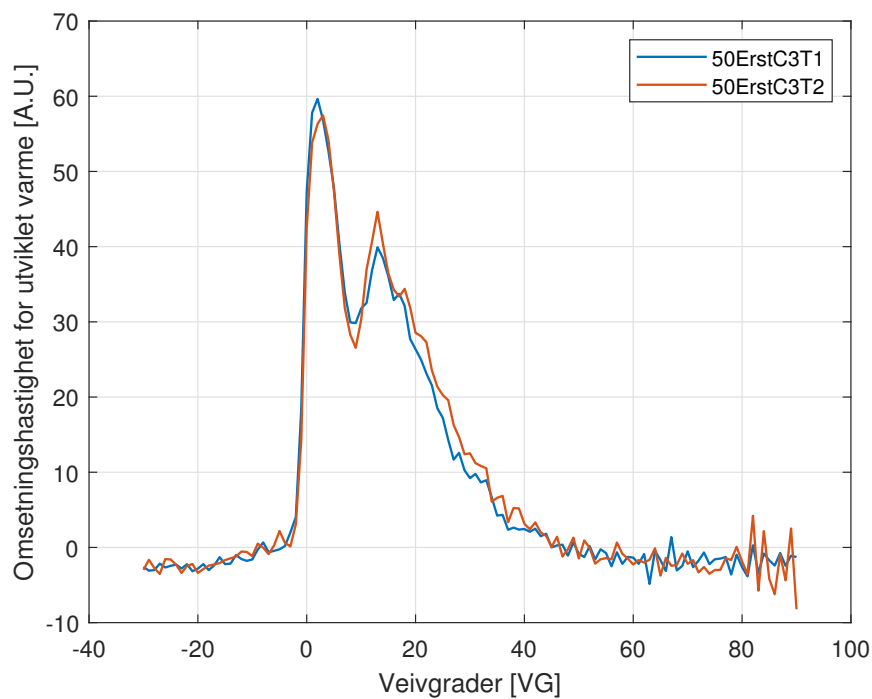
- stor usikkerhet i nøyaktighet

6.1.3 Diesel med ca. 50% propan-innblanding

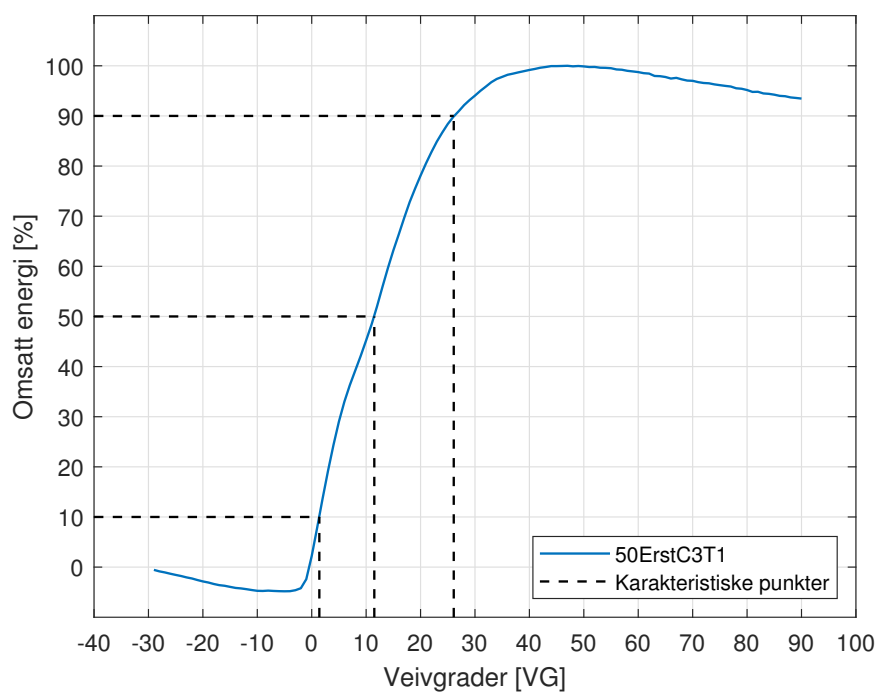


Figur 27: Trykkforløp ved forbrenning av tester 50ErstC3T1 og 50ErstC3T2

Figur 27 viser trykkforløp ved forbrenning av diesel med 50% erstatning av propan for to ulike tester. Det ble gjennomført tre forsøk for dette målepunktet også, men resultatene fra en av målingene ble ikke lagret. Man kunne observere ytterligere reduksjon i det maksimale sylindetrykket ved innblanding av større andel propangass. Figur 28 viser omsetningshastighet for utviklet varme for de samme testene.



Figur 28: Omsetningshastighet for utviklet varme for tester 50ErstC3T1 og 50ErstC3T2



Figur 29: Akkumulert varmeomsetning fra 50ErstC3T1

Figur 29 viser akkumulert varmeomsetning fra samme test 50ErstC3T1. De stiplede

linjene viser tidspunkt for omsetning av hhv. 10%, 50% og 90% av energien. Differansen mellom 10-90% er 24,7 veivgrader.

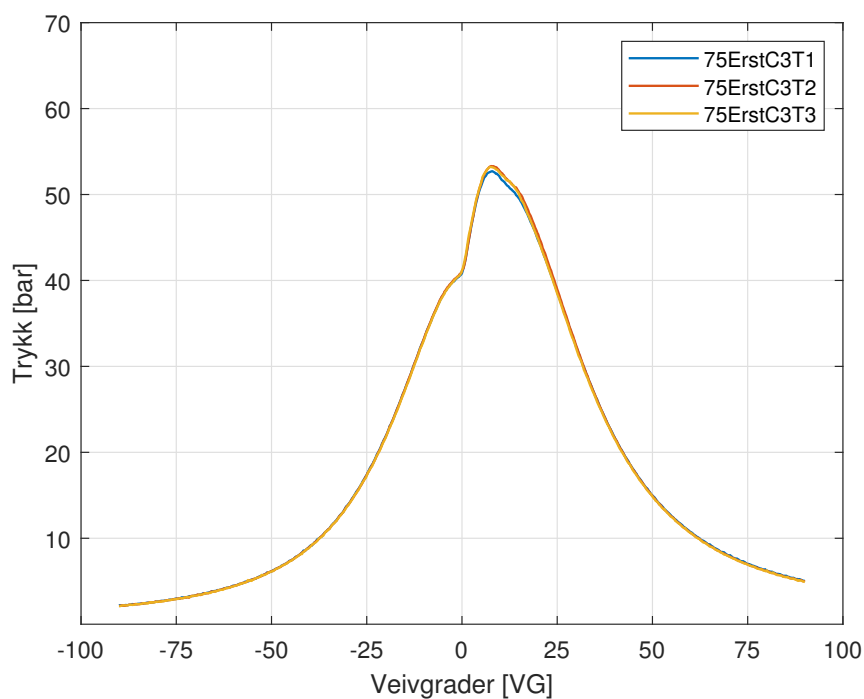
Tabell 14 viser avleste måleresultater fra testene med 50% propanerstatning, og er gjennomsnitt av tre målinger. Man kan observere at NO_x-utslippene fortsatt reduseres ved sammenligning med lavere propan-andel. Målingene viser også at CO-utslipp og THC-utslipp øker ytterligere, mens sot-tallet fortsatt går ned. Eksosgasstemperaturen holder seg relativt stabil. Dieselforbruket er 46% av forbruket ved kjøring med ren diesel.

Tabell 14: Måleresultater for tester 50ErstC3T1, 50ErstC3T2 og 50ErstC3T3

Parameter	Målt verdi
Turtall [rpm]	1500
Moment [Nm]	13,4
Dieselforbruk [g/sec]	0,094
Eksostemperatur [°C]	298,2
NO _x -utslipp [ppm]	539
CO-utslipp [ppm]	2121
THC, uforbrente hydrokarboner [ppm]	4085
Sot-tall	0,15
Propanforbruk [nl/h]*	200

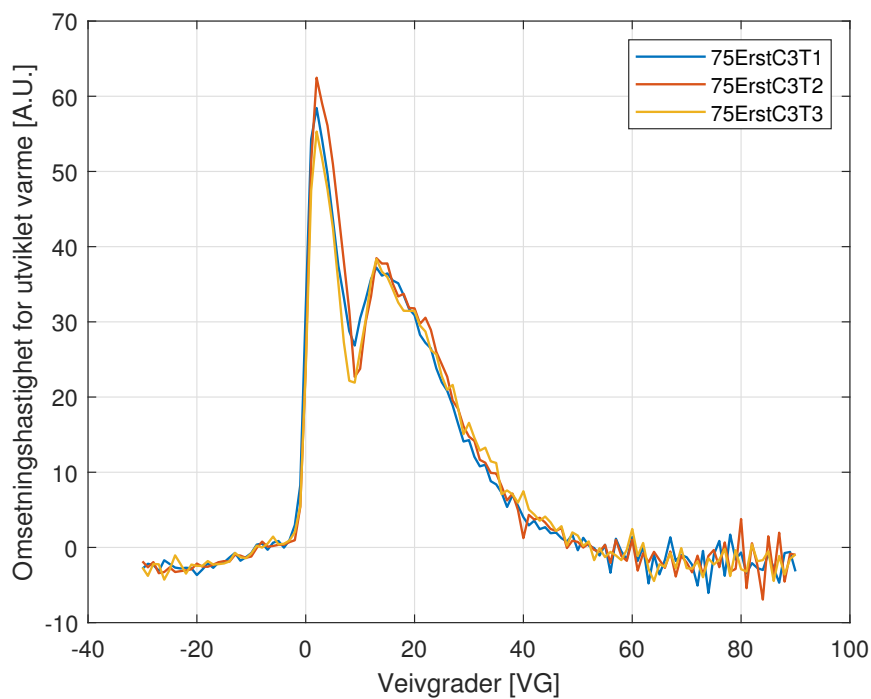
- stor usikkerhet i nøyaktighet

6.1.4 Diesel med ca. 75% propan-innblanding

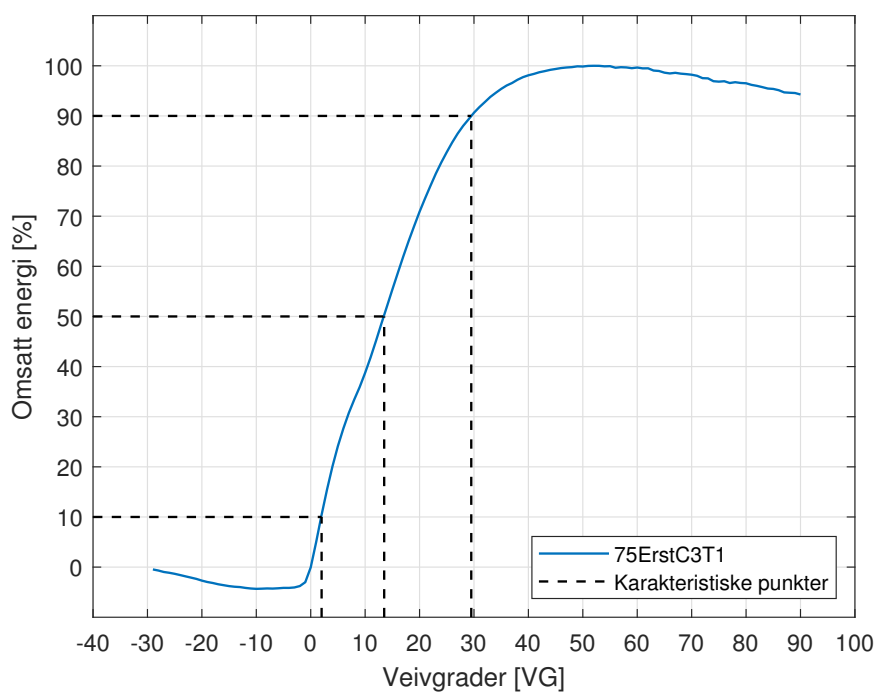


Figur 30: Trykkforløp ved forbrenning av tester 75ErstC3T1, 75ErstC3T2 og 75ErstC3T3

Figur 30 viser trykkforløp ved forbrenning av diesel med 75% erstatning av propan for tre ulike tester. Man kunne observere ytterligere reduksjon i det maksimale sylindetrykket ved innblanding av enda mer propangass, til det laveste nivået under forsøkene i denne rapporten. Figur 31 viser omsetningshastighet for utviklet varme for de samme testene.



Figur 31: Omsetningshastighet for utviklet varme for tester 75ErstC3T1, 75ErstC3T2 og 75ErstC3T3



Figur 32: Akkumulert varmeomsetning fra 75ErstC3T1

Figur 32 viser akkumulert varmeomsetning fra samme test 75ErstC3T1. De stiplede

linjene viser tidspunkt for omsetning av hhv. 10%, 50% og 90% av energien. Differansen mellom 10-90% er 27,5 veivgrader.

Tabell 15 viser avleste måleresultater fra testene med 75% propanerstatning, og er gjennomsnitt av tre målinger. Man kan observere at NO_x-utslippene fortsatt reduseres ved sammenligning med lavere propan-andel. Målingene viser også at CO-utslipp øker ytterligere, mens sot-tallet fortsatt går ned. THC-verdier var ikke tilgjengelig for dette målepunktet på grunn av trøbbel med måleutstyret. Eksosgasstemperaturen øker noen grader til 308,6 °C. Dieselforbruket er 27% av forbruket ved kjøring med ren diesel.

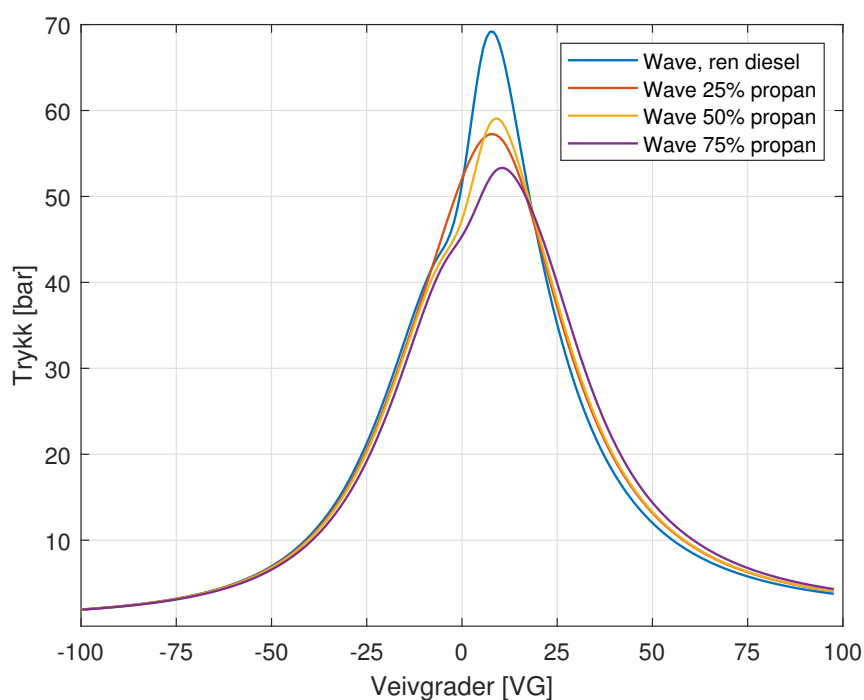
Tabell 15: Måleresultater for tester 75ErstC3T1, 75ErstC3T2 og 75ErstC3T3

Parameter	Målt verdi
Turtall [rpm]	1500
Moment [Nm]	13,4
Dieselforbruk [g/sec]	0,056
Eksostemperatur [°C]	308,6
NO _x -utslipp [ppm]	393
CO-utslipp [ppm]	2281
THC, uforbrente hydrokarboner [ppm]	Ute av drift
Sot-tall	0,08
Propanforbruk [nl/h]*	288

- stor usikkerhet i nøyaktighet

6.2 Simuleringsresultater

Følgende simuleringsresultater fra Ricardo Wave presenteres. Det ble utført simuleringer for tilsvarende testpunkter som motortestene på laboratoriet, både ren diesel, 25% propan-erstatning, 50% propan-erstatning og 75% propan-erstatning. Resultatene fra de ulike simuleringene er plottet sammen i figur 33.



Figur 33: Trykkforløp ved forbrenning for alle simuleringspunkter i Wave

Fra figuren kan man observere en tydelig reduksjon i maksimalt sylindetrykk ved innblanding av propangass.

7 Diskusjon

I følgende kapittel vil resultatene fra tester og simulering som ble presentert i forrige kapittel sammenlignes og diskuteres. Forbrenningsforløp, motordata og utslipp blir diskutert, før det til slutt gjøres noen vurderinger rundt usikkerhet og mulige feilkilder ved testing.

7.1 Forbrenningsforløp

Når man undersøker forbrenningsforløpet for hver test, kan dette gi informasjon om når forbrenningen starter, og hvor raskt den skjer. I tabell 16 er det samlet varmeomsetningsveivgrader ved testing for hver av testpunktene.

Tabell 16: Varmeomsetningsveivgrader ved testing

Testreferanse	10% [VG]	50% [VG]	90% [VG]	10-90% [VG]
RefD1	0,01	8	24	23,99
25ErstC3T1	1,3	10,5	25,2	23,9
50ErstC3T1	1,4	11,5	26,1	24,7
75ErstC3T1	2	13,5	29,5	27,5

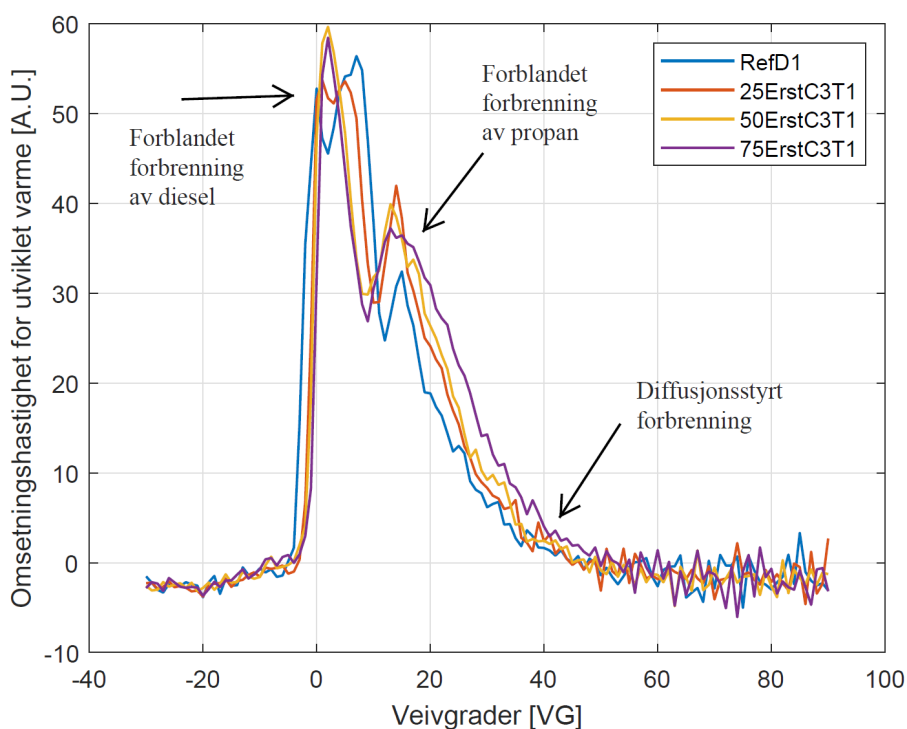
- alle veivgrader i tabellen er etter ØD

Fra første referansetest med ren diesel, og til siste test med 75% propan-erstatning, kan man se at punktet for 10% varmeomsetning, også omtalt som forbrenningsstart, forskyves lengre og lengre bort fra øvre dødpunkt, slik at forbrenningen starter senere. Dette kan på samme måte observeres for punktene for 50% og 90% varmeomsetning. Samtidig kan man legge merke til at forbrenningstiden mellom 10-90% varmeomsetning først holder seg lik for ren diesel og deretter 25% propan-erstatning, før den øker fra 23,9 til 24,7 og 27,5 for hhv. 50% og 75% erstatning. Dermed er den klare trenden at forbrenningen både starter ved en senere tidspunkt, og bruker noe lengre tid.

At forbrenningen går saktere har en naturlig forklaring. Propangassen ville, i en motor med fremmedtenning, brent raskere enn tilsvarende diesel. Den har høyere laminær

flamme­hastighet, i tillegg til at dieselbrennstoffet først må spre seg i forbrenningsrommet, og deretter fordampe før det kan antenne, mens propangassen blandet med luft kan starte forbrenningen raskere. I dette tilfellet antennes propangassen ved fremmedtenning, nemlig diesel­forbrenningen. Sistnevnte tenner på vanlig måte ved hjelp av kompresjon. Dermed vil propangassen først antenne etter at diesel­forbrenningen har startet. I tillegg har motoren innsprøytningsdysen plassert ut til én side av brennkammeret. Dette fører til at det er lengre avstand fra der forbrenningen starter og til den andre siden av sylind­eren, i motsetning til om den var sentrert. Når man i tillegg reduserer mengden diesel som sprayer inn, kan det tenkes at denne ikke når like langt inn i brennkammeret, og dette kan forsterke trenden med redusert forbrennings­hastighet.

I figur 34 er omsetnings­hastighet for utviklet varme for de ulike test­punktene plottet i samme kurve. Dette for å gi en visuell presentasjon av ulikhetene mellom dem.



Figur 34: Omsetnings­hastighet for utviklet varme for tester RefD1, 25ErstC3T1, 50ErstC3T1 og 75ErstC3T1

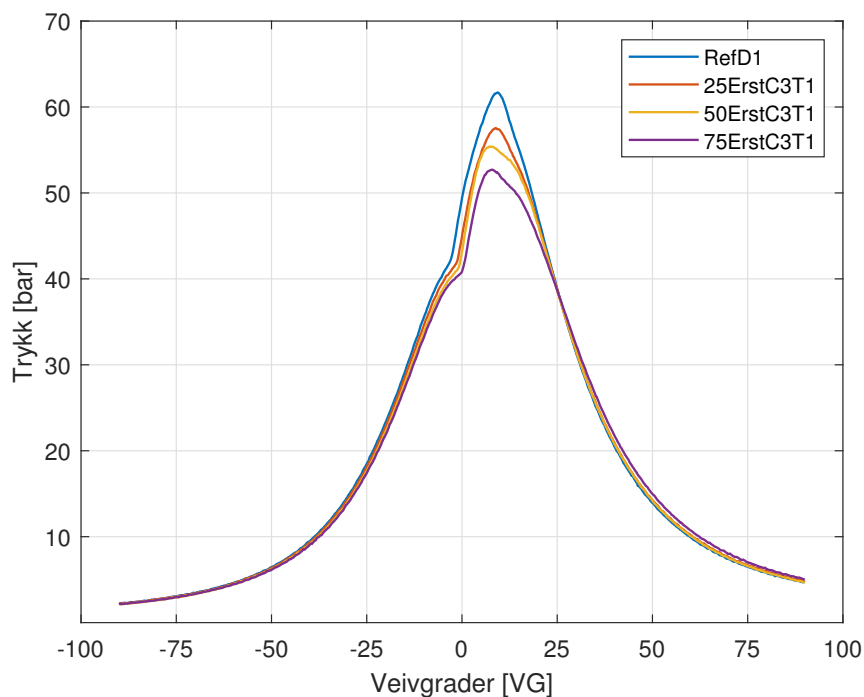
Det første store utslaget i kurven representerer den forblandede andelen diesel, som an­vist med pilen til venstre i grafen. Ved forbrenning av ren diesel og lav innblanding av

propan har kurven to små spisser, mens for høyere propanerstatning ser man kun én spiss. Det andre utslaget, til høyre, representerer den forblandede andelen propan som forbrenner. Videre ser man den diffusjonsstyrte andelen som brenner mot slutten av forløpet. I denne grafiske sammenligningen kan man tydelig se at ved økt andel propaninnblanding, og dermed mindre dieselmengde, flytter kurvene fra en meget dominerende dieselkurve til en noe mer avbalansert kurve med omstrent like store andeler forblandsstyrt forbrenning av begge deler. Dette observeres spesielt tydelig på den kurven for den forblandede andelen propan, som blir både bredere og høyere. Dette tyder på at forbrenningen forløper saktere og ufullstendig, og kan peke mot at denne dieselmotoren ikke er meget velegnet for dette formålet. Som nevnt over kan plassering av innsprøytningdysen ha stor innvirkning, hvor lavere andel diesel fører til at strålen ikke når langt nok inn i sylindere, og en mindre andel av forbrenningsrommet brenner i første del av forløpet. Dermed har propanbrennstoffet en lengre vei å nå med flammefronten.

7.2 Motordata

I denne seksjonen sammenlignes makstrykk ved forbrenning, forbrenningstemperatur, og andre data ved forbrenning.

Det er interessant å se på trykkforløpet for hver av testpunktene for å se om dette endrer seg underveis. I tabell 35 er et av trykkforløpene for hvert punkt plottet sammen. Her ser man tydelig at det høyeste trykknivået skjer ved forbrenning av ren diesel, og deretter faller makstrykket med andel propan-innblanding.



Figur 35: Trykkforløp ved forbrenning for tester RefD1, 25ERSTC3T1, 50ERSTC3T1 og 75ERSTC3T1

Man kan også observere fra grafen at jo høyere propanerstatning, jo senere starter trykkøkningen. Samtidig kan det observeres at trykkspissene blir flatere med lavere dieselmengde. Dette kan forklares ved at det blir en mykere forbrenningsstart ved bruk av propan som er forblandet med luft enn ved bruk av diesel som må fordampe og diffundere før forbrenningen starter. I sistnevnte tilfelle vil det da opparbeide seg en viss mengde fordampet drivstoff som først antenner når forbrenningen starter, og dermed skaper en stor trykkøkning. Dette tilsvarer andelen forblandet forbrenning av diesel, som vist i figur 34.

Før forsøkene ble gjennomført var det forventet at forbrenningstemperaturen ville øke betraktelig ved økt propan-erstatning. Dette skjedde ikke, og man fikk i stedet en relativt stabil temperatur gjennom de fleste forsøkene, før den økte med i underkant av 10 °C ved 75%-erstatning. Dette indikerer at forbrenningstemperaturen er lavere enn antatt, og at forbrenningen ikke forløper like fullstendig som man kunne forvente. Mer om dette i neste delkapittel.

Det er også naturlig å nevne at omgivelsestemperaturen kan ha noen innvirkning på sylindetrykk. I de første forsøkene var det noen grader kaldere luft inn i sylinderen enn ved de siste forsøkene. Ideelt sett hadde ventilasjonen i rommet tillat å ha konstant romtemperatur under alle forsøk. Det antas at denne påvirkningen er lav, sammenlignet med andre nevnte grunner.

7.3 Utslipp

Hvordan utslipp ved ulike testpunkter endrer seg kan si mye om hvordan forbrenningen forløper. I tabell 17 er utslipp for alle testpunktene gjengitt. Her er det brukt gjennomsnitt fra alle målingene i målepunktet.

Tabell 17: Utslipp for alle testpunkter

Parameter	RefD	25ErstC3	50ErstC3	75ErstC3
NO _x [ppm]	873	633	539	393
CO [ppm]	280	1468	2121	2281
CO ₂ [vol%]	5,56	5,17	4,84	4,66
O ₂ [vol%]	13,28	13,42	13,52	13,60
THC, med C ₁ [ppm]	0,82	2150	4085	-
THC, med C ₃ [ppm]	0,27	717	1362	-
Metan [ppm]	0,02	166	450	-
Sot-tall	0,55	0,30	0,15	0,08

- Noen verdier mangler på grunn av defekt måleutstyr

Her kan man gjøre flere interessante betraktninger. NO_x-utslippene avtar jevnt med økt propan-erstatning, fra 873 ppm ved 100% diesel, til 393 ved 75% propan. Denne store reduksjonen kan forklares med at forbrenningstemperaturen går ned. Dette samsvarer også med tidligere nevnte problemstillinger, nemlig at eksosgasstemperaturen ikke økte som forventet, samtidig som det generelle trykknivået under forbrenning avtar. Dette samsvarer med tidligere nevnt observasjon av antatt ufullstendig forbrenning.

Karbonmonoksidutslippene øker betydelig med økt propan-erstatning. I starten er de relativt lave, med 280 ppm for ren diesel, før de til slutt ender på 2281 ppm for 75% propan. De observerte økningene i forsøkene er her så betydelig at det er naturlig å

konkludere med at årsaken den store mengden CO er ufullstendig forbrenning.

Når det gjelder utforbrente hydrokarboner, så viser måleresultatene også her en betydelig økning med økt propan-erstatning. Ved kjøring med ren diesel var denne typen utslipp neglisjerbare, mens de allerede ved 25% propan-erstatning er på 2150 ppm, over 2% av avgassmengden. Videre for testpunktet for 50% erstatning er denne nesten doblet til 4085 ppm, over 4%. For det siste målepunktet var ikke avgassmåleren for THC tilgjengelig, og mangler derfor. Det er naturlig å anta at trenden ville fortsatt, og enda større andel uforbrent propan hadde forsvunnet gjennom avgassen. Det kan være flere forklaringer på denne store mengden. Motoren har overlappende ventiltider, som har som formål å spyle ren forbrenningskammeret mellom hver forbrenning. I det man bygger om dieselmotoren med injisering av gass i innsugsmanifolden, vil det da være en viss andel brennstoff blandet med luft som blåser rett gjennom sylindren og i avgassen. I tillegg kan det være at det ikke er gode nok forhold for propan til at den brenner. Det kan være for lite luft tilgjengelig.

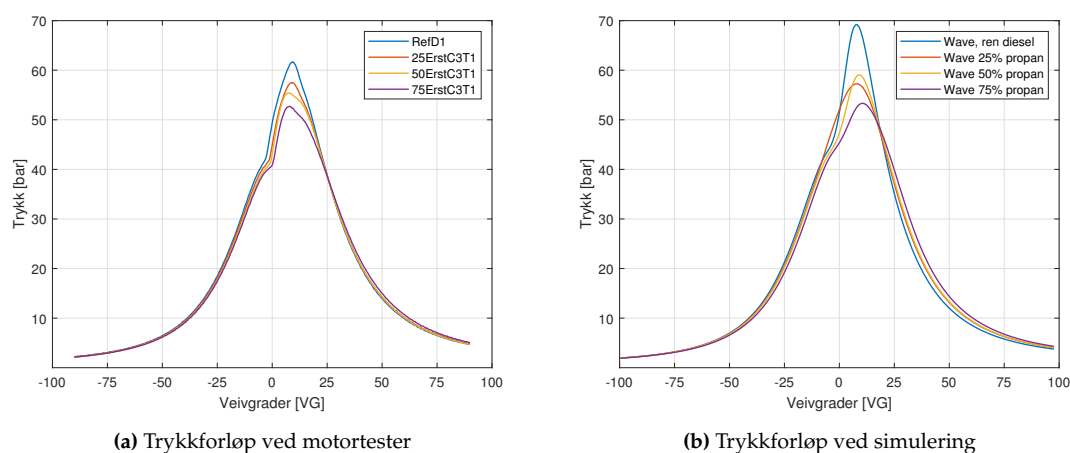
Det er knyttet noe usikkerhet til om måleinstrumentet for THC var kalibrert for å detektere metangass eller propangass. Om det var innstilt for metan, detekteres det en større andel uforbrent hydrokarboner enn det faktisk passerer. Dette er fordi FID-instrumentet i det tilfellet måler karbon ut fra forutsetningen om at gassen er CH_4 , mens den i praksis er C_3H_8 , altså tre ganger så høyt karboninnhold. Derfor er det lagt inn to kolonner i tabell 17. Trenden i THC-utslipp ville uansett vært den samme. Se vedlegg K for informasjon om kalibrering av måleinstrumentet.

7.4 Simuleringsresultater

Simuleringsresultater fra programmer som Wave er svært avhengig av hvor gode data man legger inn i modellen, og hvor nøyaktig man klarer å få denne til å gjenspeile de virkelige forsøkene. Derfor vil det ligge store usikkerheter i selve resultatene. Modellen for forsøkene i denne rapporten ble bygget om på bakgrunn av en modell som var laget tidligere, med modifikasjoner. Spesielt ombyggingen av modellen til drift med to ulike brennstoffer gjorde det svært utfordrende å få modellen til å ligne på de faktiske

resultatene. Den største usikkerheten ligger i multi wiebe-modellen som skal predikere energiomsetningen. For å gjøre denne bedre, vil det være nødvendig med flere undersøkelser hvor man prøver å se på motorens oppførsel ved å variere tenningstidspunkt kombinert med ulike mengder av de ulike brennstoffene.

Ved sammenligning av trykkurvene for simuleringsresultatene fra figur 33 med de samme målepunktene fra motortester i figur 35 kan man observere enkelte likhetstrekk. Figurene er plottet sammen i figur 36 for sammenligning. Trenden for måledata fra motorlaben var en reduksjon i generelt trykknivå ved økt innblanding av propan-gass. Den samme trenden blir enda tydeligere fra simuleringsresultatene, hvor trykknivået under forbrenning av ren diesel er langt høyere enn de andre testpunktene. En annen trend man kunne se fra motortestene var at tenningstidspunktet ble forskjøvet lengre bort fra øvre dødpunkt ved økt propan-erstatning. Denne trenden kan man også se fra simuleringsresultatene, med unntak fra testpunktet med 25% propan.



Figur 36: Sammenligning av trykkforløp ved motortester og simulering

For simuleringer med tilsvarende blanding av ammoniakk og diesel vil det først være nødvendig med motortester for å kunne endre modellen for forbrenningen. I tillegg kan det være en fordel om man finner flere verdier for spesifikk varmeprofiling for ammoniakk som ble lagt inn i figur 20, slik at modellen også fungerer godt på høye temperaturer. På samme måte som ved testing av propan som gass, vil det også for ammoniakktester være fordelaktig å endre tenningstidspunkt for å kunne se forandringer i trykkurver og energiomsetning.

7.5 Usikkerhet og mulige feilkilder

Det var et ønske om å kjøre motoren i større grad enn det som ble gjort, men av tidsmessige årsaker ble dette begrenset. Resultatene som er presentert kunne med fordel hatt flere målinger ved hvert punkt, og utført ved ulike dager. Dette ville vært nyttig for å utelukke store feil og avvik, og svekker således validiteten til selve tallverdiene fra testene noe. Samtidig fungerer resultatene godt satt opp mot hverandre, all den tid de er gjort under like betingelser.

Det er knyttet stor usikkerhet til målemetoden for propanmengde. I utgangspunktet var det ønskelig å bruke en regulator som kunne regulere dette med stor nøyaktighet, for eksempel direkte fra flasken. Dette ble ikke gjort av tidsmessige og økonomiske hensyn. Ved justering og avlesning av måleinstrumentene gjøres dette manuelt, og avlesningen skjer vha. øyemål. I tillegg er det gjort noen forenklinger mtp. å konvertere instrumentene til bruk av propan i stedet for luft. Informasjon fra leverandøren av strømningsmålerene uttrykte at ved å bruke konversasjonsfaktor, ville usikkerheten i instrumentet øke betraktelig.

Motorlaben har ikke tilstrekkelig ventilasjon til å hindre at temperaturen fortsetter å stige ved kontinuerlig kjøring av motor. Dette gjør at gjennom en rekke tester vil temperaturen gå opp, og man får derfor ikke måling under samme forhold.

Dieselmengden pr. injeksjon som var grunnlaget for beregning av propan-mengde var beregnet ut fra et driftspunkt på 15 Nm ved 1500 rpm. Testene ble utført ved 13,4 Nm, og det faktiske forbruket av diesel pr. injeksjon ville derfor vært lavere. Dette medfører at propanmengden som ble beregnet også bærer med seg denne feilen. Samtidig var det allerede knyttet stor usikkerhet til nøyaktig justering av propanmengde, og resultatene fungerer derfor best for å undersøke trender heller enn nøyaktige tallverdier.

De målte verdiene av forbrenningsforløpet som ble hentet ut fra Indicom er veldig avhengig av hvordan programmet er satt opp, og for å få større nøyaktighet i måleresultatene burde man justere og kalibrere dette underveis.

8 Oppsummering

Det har blitt utført tester med ulike mengder propanerstatning som brennstoff i en normaladett dieselmotor på motorlaboratoriet på Høgskolen på Vestlandet. Det ble utført tester ved fire ulike drivstoffkombinasjoner, først ren diesel, deretter hhv. 25%, 50% og 75% propan-erstatning. Under målingene ble det utført en rekke målinger, som sylindetrykk, varmeomsetning, brennstofforbruk, temperaturer og avgassammensetning. Resultatene fra forsøkene ble deretter sammenlignet mot hverandre. I tillegg er det utført simuleringer ved hjelp av en modell av samme motor i simuleringsprogrammet Ricardo Wave. Til slutt ble resultatene fra simuleringen sammenlignet med resultatene fra motor-testene.

8.1 Konklusjon

Fra testene som ble utført på motorlaben var det tydelig å se forandringer i motorens oppførsel ved økt erstatning av propan som brennstoff. Man kunne observere enkelte trender, mens andre forventede utslag uteble. Totalt sett ville det være hensiktsmessig å foreta langt flere tester for hvert punkt og ved ulike tidspunkt, for å sikre bedre datasett. I tillegg til dette var det ønskelig å endre flere parametre underveis i testingen, som tenningstidspunkt, for å analysere hvilken innvirkning dette ville ha på forbrenningen. Dette var begrenset av tidsmessige utfordringer. Dette fikk også stor innvirkning på ønsket om å teste ammoniakkinnblanding på motoren. Det lyktes ikke å utføre den type forsøk i denne rapporten.

Propanerstatningen på motoren gjorde utslag på trykkforløp, omsetningshastighet for utviklet varme, og utslipp. Den generelle trenden for trykknivået i sylinderen var at det sank i takt med økt mengde propan. På samme måte kunne man se på varmeomsetningskurvene at den forblandede andel dieselmotordrivstoff ble lavere, og den forblandede andelen propan økte som forventet ved økt propanmengde. Vedrørende utslipp var det spesielt tre målinger som viste seg å være interessante. NO_x -nivået avtok tydelig ved økt propan-erstatning. Samtidig kunne man se signifikante økninger i både CO-utslipp og i mengden uforbrente hydrokarboner i avgassen. Dette tolkes med forklaring om ufullstendig forbrenning, kombinert med spyling av sylinderen.

Simuleringsmodellen i Ricardo Wave viste seg å speile litt av de samme trendene som motortestene viste ved økt propan-innblanding. Samtidig vil det kreve større arbeid rundt kalibrering og finjustering av denne før den kan vurderes som en god representasjon av den faktiske motoren.

På bakgrunn av de utførte testene konkluderes det med at propaninnblanding i en normal-ladet motor har et lovende potensiale for å senke de mest skadelige utslippene, knyttet til NO_x-gasser. I tillegg kan denne type motorkjøring virke som et godt referansepunkt for videre testing med ammoniakk som brennstoff. Samtidig er det flere åpne spørsmål knyttet til justering av motorparametre, bedre regulering av brennstoffmengde og pilot-injeksjon. Det vil være nødvendig med videre forskning og arbeid med både motor og simuleringsmodell for å undersøkt dette potensialet.

8.2 Anbefalinger til videre arbeid

For å undersøke om ammoniakk kan fungere som brennstoff i en dieselmotor er det noen elementer som gjenstår. I tillegg er det gjort erfaringer med testene beskrevet i denne rapporten som bør vurderes for høyere nøyaktighet.

Undertegnede anbefaler følgende punkter til forbedring og videre arbeid:

- Testing med ammoniakk-injeksjon i innsuget, på samme måte som propan. I forbindelse med dette må det kontrolleres at alle materialer er kompatible med ammoniakk.
- Flere propan-tester for validering av resultatene
- Nøyaktig regulator for gassbrennstoff, enten montert på flasken eller før innsuget.
- Forbedre simuleringsmodellen i Wave med flere data fra tester.
- Justere tenningstidspunkt under testing for å optimalisere forbrenningsstart. Dette er det størst behov for ved ammoniakkforbrenning.
- Utprøve bruk av pilot-injeksjon for bedre tenning

- Bedre kalibrering av JUM FID 109A for korrekt måling av uforbrente hydrokarboner.
- Kan være interessant å se på prøver av smøreoljen etter ammoniakkjøring, dette spesielt med tanke på at ammoniakkforbrenning fører til mye vanninnhold.

I tillegg til de nevnte punktene kan det med fordel gjøres forbedringer på motorlaben. For å hindre at romtemperaturen stiger kontinuerlig under drift bør man installere bedre ventilasjon. Det finnes per tidspunkt ikke noen form for luftmengdemåling, foruten en manuell avlesning. Dette kunne med fordel blitt installert.

Referanser

- [1] L. Lundby og Vilmar Æsøy. *Havromsteknologier - Produksjon av mekanisk og elektrisk energi til havs*. NTNU, 2014.
- [2] IEA. *World Energy Balances 2019*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-2019>. (Lest 23/01/2020).
- [3] UNFCCC. *The Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. (Lest 26/09/2019).
- [4] Transport og Environment. "Roadmap to decarbonising European shipping". I: (2018).
- [5] Kirsten Ånestad Øystese m.fl. *Grønn skipsfart: Utslippene må i null i 2050*. Tekn. rapp. 1. Norsk Klimastiftelse, 2020.
- [6] N Ash og T Scarbrough. "Sailing on solar: Could green ammonia decarbonise international shipping?" I: *Environmental Defense Fund, London* (2019).
- [7] IMO. *UN body adopts climate change strategy for shipping*. <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/06GHGinitialstrategy.aspx>. (Lest 30/05/2020).
- [8] DNV-GL. "Maritime Forecast to 2050". I: *Energy Transition Outlook* (2019).
- [9] Tore Stensvold. *Motorprodusentene tester ammoniakk – kan gi nullutslippsskip før 2030 - Tu.no*. https://www.tu.no/artikler/motorprodusentene-tester-ammoniakk-kan-gi-nullutslippsskip-for-2030/488522?utm_source=newsletter-tudaily&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter-2020-03-27&key=2NK2ceRd. (Lest 02/04/2020).
- [10] Emeric Kroch. "Ammonia, A Fuel for Motor Buses". I: *J. Inst. Pet* 31 (1945).
- [11] Charles G Garabedian og John H Johnson. *The theory of operation of an ammonia burning internal combustion engine*. Tekn. rapp. Army tank automotive center, Warren MI, 1966.
- [12] ES Starkman og GS Samuelsen. "Flame-propagation rates in ammonia-air combustion at high pressure". I: (1967).

- [13] DS Gray mfl. *AMMONIA APPLICATION TO RECIPROCATING ENGINES. VOLUME 2*. Tekn. rapp. Continental aviation og engineering corp, Detroit MI, 1967.
- [14] Walter Cornelius, L William Huellmantel og Harry R Mitchell. "Ammonia as an engine fuel". I: *SAE Transactions* (1966), s. 300–326.
- [15] Steven S. Zumdahl. *Ammonia | Definition & Uses | Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/ammonia>. (Lest 20/01/2020).
- [16] *Chemical Compatibility Database from Cole-Parmer United Kingdom*. <https://www.coleparmer.co.uk/Chemical-Resistance>. (Lest 01/04/2020).
- [17] Bjørn Pedersen. *Ammoniakk – Store norske leksikon*. <https://snl.no/ammoniakk>. (Lest 20/01/2020).
- [18] Amanda Briney. *Overview of the Haber-Bosch Process*. <https://www.thoughtco.com/overview-of-the-haber-bosch-process-1434563>. (Lest 20/01/2020).
- [19] Bjørn Pedersen. *Hydrogen – Store norske leksikon*. <https://snl.no/hydrogen-Fremstilling>. (Lest 20/01/2020).
- [20] Bjørn Pedersen. *Elektrolyse – Store norske leksikon*. <https://snl.no/elektrolyse>. (Lest 20/01/2020).
- [21] The Royal Society. *Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store*. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf>. (Lest 30/05/2020). 2020.
- [22] DNV-GL. *Comparison of Alternative Marine Fuels*. Tekn. rapp. SEA/LNG Ltd, 2019.
- [23] Agustin Valera-Medina mfl. "Ammonia for power". I: *Progress in Energy and Combustion Science* 69 (2018), s. 63–102.
- [24] ELGAS. *What Are the Properties of LPG & LPG Composition: LPG Chemical Properties, Boiling Point, LPG Density, Flame, etc*. <https://www.elgas.com.au/blog/453-the-science-a-properties-of-lpg>. (Lest 09/03/2020).
- [25] Murat Ciniviz mfl. "An experimental investigation on effects of methanol blended diesel fuels to engine performance and emissions of a diesel engine". I: *Scientific Research and Essays* 6 (2011).

- [26] N Nutu mfl. "An experimental approach on fuelling a passenger car diesel engine with LPG". I: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 444 (2018).
- [27] Baris Erkus, M. KARAMANGİL og Ali SÜRMEŒ. "Designing a Prototype LPG Injection Electronic Control Unit for a Carburetted Gasoline Engine". I: *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering* 20 (2015).
- [28] *Engineering ToolBox*. <https://www.engineeringtoolbox.com/>. (Lest 07/04/2020).
- [29] My Ngo. "Determination of the Minimum Ignition Energy (MIE) of Premixed Propane/Air". Masteroppg. Universitetet i Bergen, 2009.
- [30] Hideaki Kobayashi mfl. "Science and technology of ammonia combustion". I: *Proceedings of the Combustion Institute* 37.1 (2019), s. 109–133.
- [31] Peter Schihl og John Tasdemir. *A Methodology for Indirect Determination of Diesel Fuel Laminar Flame Speed*. Tekn. rapp. SAE Technical Paper, 2004.
- [32] EA Brohi. "Ammonia as fuel for internal combustion engines? An evaluation of the feasibility of using nitrogen-based fuels in ICE". I: *Department of Applied Mechanic, Division of Combustion, Chalmers University of Technology, Gothenburg* (2014).
- [33] Høgskolen på Vestlandet (HVL) Forelesning MOE252 - Forbrenningssystem for stempelmotorer Del 1. P. Koch, L.M.Nerheim, 2019.
- [34] Richard Stone. *Introduction to internal combustion engines*. Bd. 4. Springer, 2012.
- [35] Høgskolen på Vestlandet (HVL) Forelesning MOE252 - Gass-brennstoffer. L.M. Nerheim, 2019.
- [36] Klaus Mollenhauer og Helmut Tschöke. *Handbook of diesel engines*. Springer Berlin, 2010.
- [37] John B. Heywood. *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw Hill International Editions, 1988.
- [38] B Ashok, S Denis Ashok og C Ramesh Kumar. "LPG diesel dual fuel engine—A critical review". I: *Alexandria Engineering Journal* 54.2 (2015), s. 105–126.
- [39] R. Laursen. "Carbon free fuels and MAN BW Dual Fuel Engines". I: Presentet by MAN Energy Solutions, 2018.

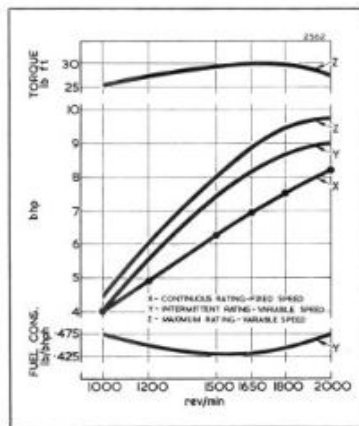
- [40] Lister Petter. <https://www.listerpetter.com/>. (Lest 26/02/2020).
- [41] Kjetil Skaar. "Implementering av indikeringssystem på dieselmotor og tester av dieseloljer". Masteroppg. Universitetet i Bergen, 2016.
- [42] Lister Petter. *Petter Diesel PH1W Datasheet*. <http://www.oldengine.org/members/diesel/PetterData/PetterPH1W1.htm>. (Lest 29/01/2020).
- [43] Jarle Tingstad. "Tilpasning av elektronisk innsprøytningsystem, type Common Rail, for en én-sylindret dieseldrevet laboratoriemotor". Masteroppg. Universitetet i Bergen, 2017.
- [44] Instrumentation Today. *Piezoelectric Transducer-Quartz Crystal, Piezoelectric Effect, Working, Advantages*. <http://www.instrumentationtoday.com/piezoelectric-transducer/2011/07/>. (Lest 27/02/2020).
- [45] *Kistler 7061B*. Fra datablad. Kistler Instrumente AG.
- [46] Horiba. *PG-300 series - HORIBA*. https://www.horiba.com/en_en/products/detail/action/show/Product/pg-300-series-257/. Lest 02/03/2020).
- [47] NTNU. *Flammeionisasjonsdetektor (FID) - MedTekipedia - NTNU Wiki*. <https://www.ntnu.no/wiki/pages/viewpage.action?pageId=122882406>. (Lest 01/06/2020).
- [48] *AVL Smoke Meter - AVL Smoke Meter - Content - avl.com*. <https://www.avl.com/-/avl-smoke-meter>. (Lest 01/06/2020).
- [49] Nijs Jan Duijm, Frank Markert og Jette Lundtang Paulsen. "Safety assessment of ammonia as a transport fuel". I: (2005).
- [50] Quest Consultants Inc. "Comparative Quantitative Risk Analysis of Motor Gasoline, LPG, and Anhydrous Ammonia as an Automotive Fuel". I: (2009).
- [51] Niels de Vries. "Safe and effective application of ammonia as a marine fuel". I: (2019).
- [52] *Acute Exposure Guideline Levels (AEGs) | response.restoration.noaa.gov*. <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/resources/acute-exposure-guideline-levels-aegls.html>. (Lest 16/11/2019).

- [53] *Ammonia Results - AEGL Program | Acute Exposure Guideline Levels for Airborne Chemicals | US EPA*. <https://www.epa.gov/aegl/ammonia-results-aegl-program>. (Lest 18/02/2019).
- [54] Håkon Haraldsen og Bjørn Pedersen. *Hydrazin – Store norske leksikon*. <https://snl.no/hydrazin>. (Lest 23/11/2019).
- [55] Bjørn Pedersen. *Karbonmonoksid – Store norske leksikon*. <https://snl.no/karbonmonoksid>. (Lest 23/11/2019).
- [56] Arbeidstilsynet. *Grunnlag for fastsettelse av administrativ norm. Grunnlagsdokument for ammoniakk (NH3)*. Tekn. rapp. 2012.
- [57] *Monicon*. http://www.monicon.com/Products_Sen_S500L.html. (Lest 28/04/2020).
- [58] Drivkraft Norge. *bransjestandard-revidert-februar-2018.pdf*. <https://www.drivkraftnorge.no/siteassets/dokumenter--filer/diverse-dokumenter/bransjestandard-revidert-februar-2018.pdf>. (Lest 28/04/2020).
- [59] Linde Gas. *Sikkerhetsdatablader | Linde (tidligere AGA) industrigasser*. https://www.linde-gas.no/no/downloads/safety_data_sheets/index.html. (Lest 29/04/2020).
- [60] *Sho-Rate™ Series Glass Tube VA Flow Meters | Brooks Instrument*. <https://www.brooksinstrument.com/en/products/variable-area-flow-meters/glass-tube/sho-rate-series>. (Lest 29/04/2020).
- [61] Høgskolen på Vestlandet (HVL) Forelesning MOE252 - Performance simulation. P. Koch, 2019.

A Petter Diesel PH1W Spesifikasjoner



PETTER DIESELS



rev/min Crank- shaft	rev/min Cam- shaft	bhp	
		Con- tinuous	Inter- mittent
1000	500	4.0	4.4
1200	600	5.0	5.5
1500	750	6.25	6.9
1650	825	6.75	7.4
1800	900	7.5	8.2
2000	1000	8.2	9.0



SPECIFICATION

Four-stroke, overhead valve, compression ignition engine with direct injection. Cast iron crankcase, cylinder block and cylinder head. Removable cylinder liner. Forged steel crankshaft with aluminium/tin shell bearings. Forged steel connecting rod and aluminium piston. Oil pump lubrication. Engine-mounted 1½ gallon fuel tank. Removable safety type starting handle. Exhaust silencer. Fuel and air filters with replaceable elements.

GOVERNING

In accordance with B.S. Specification 649 : 1958 Class A at all rated speeds.

RATING

Rated bhp is the power developed continuously at the rated speed to B.S. 649 : 1958.
 Intermittent bhp is 10% higher than the rated bhp and is available for 1 hour in 12.

TECHNICAL DATA

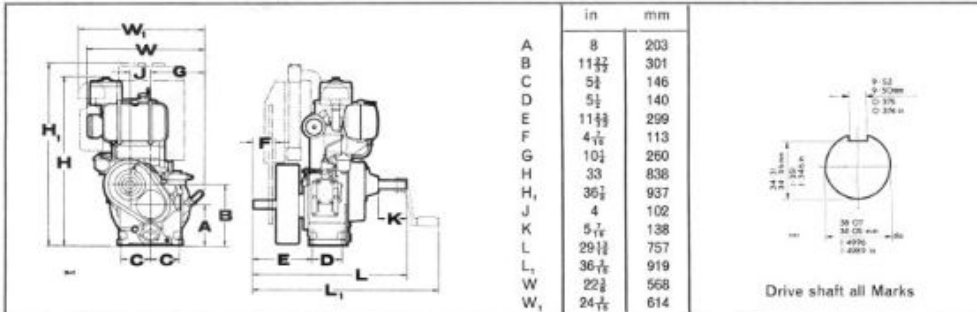
Bore (nominal) 3.4375in (87.3mm)
 Stroke 4.33in (110mm)
 Cubic capacity 40.2in³ (659 cm³)
 Compression ratio 16.5 : 1
 Fuel tank capacity 1.5 gal (6.8 litres)
 Fuel Diesel to B.S. 2869 : 1967 Class A1 or A2
 Lubricating oil capacity 5 pints (2.84 litres)
 Lubricating oil: U.K. Winter and Summer 10W/30 Multigrade
 SAE 10W below 5°C (41°F)
 SAE 20/20W from 5°C (41°F) to 32°C (90°F)
 SAE 30 above 32°C (90°F)
 Lubricating oil consumption at full load 0.0451 pints/h (25.6 ml/h)
 Dry engine weight 393 lb (178 kg)

DERATING

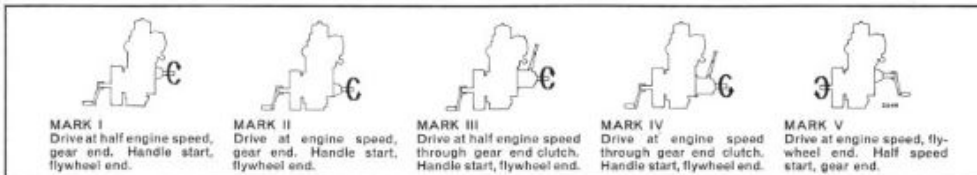
Depending on ambient conditions deduct in accordance with B.S. 649 : 1958 as follows:
 Altitude: 3½% per 1000ft above 500ft (300m above 150m)
 Temperature: 2% per 5½°C above 30°C (10°F above 85°F)
 When radiator is fitted consult Petters Ltd for power derating.

4-8.2bhp water cooled engine PH1W

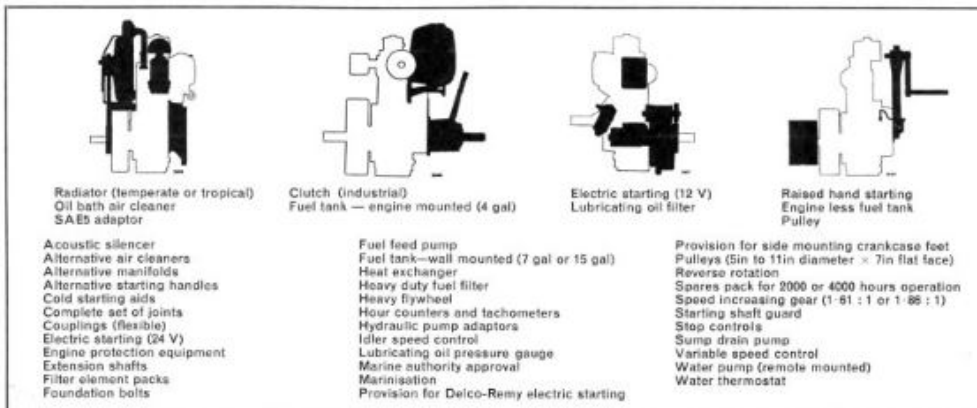
Principal Dimensions



Alternative Arrangements of Drive: Engine ROTATION is clockwise.



Optional Extras



Approximate Shipping Specification—with standard equipment

Net Weight		Gross Weight		Packing Case Size		Cubic Capacity		Ocean Tons	Ocean Tonnes
lb	kg	lb	kg	in	mm	ft ³	m ³		
106	182	530	240	32 x 22 x 33	813 x 559 x 838	13.4	0.382	40 ft ³ = 1 ton	35 ft ³ = 1 tonne
								0.335	0.354

Illustrations, weights and measurements are approximate and we reserve the right to make modifications which may be considered necessary. In compiling this leaflet, every care has been taken, but the specification and details must not be regarded as binding.

Publication 3060

Printed in England by PWA Ltd. 3M571

 **HAWKER SIDDELEY**
PETTER DIESELS

Petter Limited, Staines Middlesex, England

Telephone: Staines 51331
















Telex: 23871

Telegram: Diesel Staines Telex

B Sikker jobbanalyse - Ammoniakk

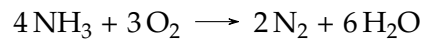
SJA – Sikker jobb-analyse			
Prosjekt:	Masteroppgave ved Høgskolen på Vestlandet	SJA-ansvarlig: Harald Moen	Dato:
Kort beskrivelse av aktiviteten: Tester av ammoniakk som dual fuel-brennstoff i en én-sylindret dieselmotor		Ansvarlig for aktiviteten: Høgskolen på Vestlandet	
SJA gjennomføres fordi: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Arbeidet medfører avvik fra beskrivelser i prosedyrer og planer <input type="checkbox"/> Utstyr som arbeidstakerne ikke har erfaring med skal benyttes <input checked="" type="checkbox"/> Aktiviteten er ny og ukjent <input type="checkbox"/> Folk som ikke kjenner hverandre skal jobbe sammen <input type="checkbox"/> Forutsetningene er endret (f.eks. værforhold, tilgjengelig tid, rekkefølge av oppgaver, andre aktiviteter utføres i nærheten) <input type="checkbox"/> Ulykker/uønskede hendelser har skjedd tidligere ved tilsvarende aktiviteter 			
Hvilke oppgaver er vi bekymret for?	Farer - hva kan gå galt? Se eksempler i liste nedenfor	Har vi kontroll på farene? (sett kryss) Ja <input type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite <input type="checkbox"/>	Tiltak Hvordan skal farene kontrolleres?
Eksponering av ammoniakk	14 - Gasser/giftige stoffer		God utlufting, forbrenning i eget rom, deteksjon av utslipp, stengeventil, enkel rømningsvei
Ammoniakk i kontakt med metaller	20 - Annet; fare for korrosjonsskader		Kontrollerer utsatte deler etter bruk, bytter ut kritiske komponenter med mostandsdyktige materialer
Ansvarlig Thomas Sammøy, Harald Moen			
Ansvarlig Thomas Sammøy			
Lærepointer: (Fylles ut av SJA-ansvarlig etter at jobben er gjort: Hva kan gjøres annerledes/bedre neste gang? Hvilke positive erfaringer er viktig å ta med seg?)			
Mulige farer			
1	Sammenstøt/påkjørsel	6	Fallende gjenstand
2	Konstruksjonsvekt	7	Fall
3	Brann, eksplosjon	8	Tunge løft/tunge materialer
4	Bevegelige gjenstander/klemfare	9	Overflater med høy/lav temperatur
5	Skarp gjenstand (kutt, stikk)	10	Fare for elektriske støt
		11	Høyt trykk, sprutefare
		12	Støy, vibrasjon
		13	Stråling
		14	Støv, røyk, gasser, giftige stoffer
		15	Mangelfull belysning
		16	Værforhold (vind, kulde, tåke)
		17	Naturhendelser (flom, ras)
		18	Arbeid i tanker/oksygenmangel
		19	Drukningfare
		20	Annet, spesifiser:

C Sikker jobbanalyse - Propan

SJA – Sikker jobb-analyse			
Prosjekt:	Masteroppgave ved Høgskolen på Vestlandet	SJA-ansvarlig: Harald Moen	Dato:
Kort beskrivelse av aktiviteten: Tester av propan som dual fuel-brennstoff i en én-sylindret dieselmotor		Ansvarlig for aktiviteten: Høgskolen på Vestlandet	
SJA gjennomføres fordi: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Arbeidet medfører avvik fra beskrivelser i prosedyrer og planer <input type="checkbox"/> Utstyr som arbeidstakerne ikke har erfaring med skal benyttes <input checked="" type="checkbox"/> Aktiviteten er ny og ukjent <input type="checkbox"/> Forutsetningene er endret (f.eks. værforhold, tilgjengelig tid, rekkefølge av oppgaver, andre aktiviteter utføres i nærheten) <input type="checkbox"/> Folk som ikke kjenner hverandre skal jobbe sammen <input type="checkbox"/> Ulykker/uønskede hendelser har skjedd tidligere ved tilsvarende aktiviteter 			
Hvilke oppgaver er vi bekymret for?	Farer - hva kan gå galt? Se eksempler i liste nedenfor	Har vi kontroll på farene? (sett kryss) Ja <input checked="" type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite	Tiltak Hvordan skal farene kontrolleres?
Overopphetet eksos	9 - Overflater med høy temperatur	  	Temperatursensor i avgassen - alarm over grenseverdi
		  	
		  	
		  	
		  	
Lærepointer: (Fylles ut av SJA-ansvarlig etter at jobben er gjort: Hva kan gjøres annerledes/bedre neste gang? Hvilke positive erfaringer er viktig å ta med seg?)			
Mulige farer			
1 Sammenstøt/påkjørsel	6 Fallende gjenstand	11 Høyt trykk, sprutefare	16 Værforhold (vind, kulde, tåke)
2 Konstruksjonsvekt	7 Fall	12 Støy, vibrasjon	17 Naturhendelser (flom, ras)
3 Brann, eksplosjon	8 Tunge løft/tunge materialer	13 Stråling	18 Arbeid i tanker/oksygenmangel
4 Bevegelige gjenstander/klemfare	9 Overflater med høy/lav temperatur	14 Støv, røyk, gasser, giftige stoffer	19 Drukningfare
5 Skarp gjenstand (kutt, stikk)	10 Fare for elektriske støt	15 Mangelfull belysning	20 Annet, spesifiser:

D Teoretisk luftbehov

Ammoniakk brenner etter følgende reaksjonligning:



Atomvekten til grunnstoffene som danner molekylene i ligningen over er samlet i tabell A1.

Tabell A1: Atomvekt for noen grunnstoffer

	Nitrogen (N)	Oksygen (O)	Hydrogen (H)
Atomvekt [g/mol]	14,01	16,00	1,01

Da vil ett molekyl av ammoniakk ha molekylvekt lik

$$1 \cdot 14,01 + 3 \cdot 1,01 = 17,04$$

På samme måte vil ett oksygenmolekyl ha molekylvekt

$$2 \cdot 16,00 = 32,00$$

Oksygen/brennstoff-forholdet ved forbrenning av ammoniakk etter reaksjonsligningen blir da

$$\frac{3 \cdot 32}{4 \cdot 17,04} = 1,4118 \frac{\text{kg oksygen}}{\text{kg brennstoff}}$$

Det trengs altså i overkant av 1,4 kg oksygen pr. kg brennstoff for fullstendig forbrenning. Men, siden luften bare inneholder 23,2 masse% oksygen blir regnestykket for AFR til slutt:

$$AFR_{stock} = 1,4118 \frac{\text{kg oksygen}}{\text{kg brennstoff}} \cdot \frac{100}{23,2} \frac{\text{kg luft}}{\text{kg oksygen}} = 6,09 \frac{\text{kg luft}}{\text{kg brennstoff}}$$

E Beregning av drivstofforbruk

Lastpunkt som er valgt for beregninger er ca. 50% av motorens ytelse, og tilsvarer 15 Nm ved 1500 rpm. Dette tilsvarer et dieselforbruk på 17,17 mg/slag. Det er ønskelig å konvertere dette til tilsvarende energimengde for ammoniakk og propan, for å kunne erstatte mindre eller større deler av brennstoffet. Nødvendige verdier for beregning er oppgitt i tabell A2.

Tabell A2: Egenskaper for beregning av forbruk

	Diesel	Ammoniakk	Propan
Tetthet [kg/m ³]	845	0,73	1,898
Brennverdi [MJ/kg]	42,7	18,8	46,4

- Beregnet for verdier ved 1 bar og 300 K

E.1 Diesel

Målt forbruk = 17,17 mg/slag = 0,0177 g/slag = 0,0000177 kg/slag

Ønsker å konvertere dette til volumbasis, og bruker tettheten for diesel:

$$0,0000177 \frac{\text{kg}}{\text{slag}} \cdot \frac{1}{845 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2,09 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{slag}} = 2,09 \cdot 10^{-5} \frac{\text{l}}{\text{slag}}$$

Ønsker å konvertere verdien pr. sekund i stedet for slag. Motoren dreier med 1500 omdreininger i minuttet, men sprøyter bare inn diesel på annenhvert slag. Dette tilsvarer 750 slag med innsprøytning i minuttet, og 12,5 slag pr. sekund. Forbruket pr. tidsenhet blir da:

$$2,09 \cdot 10^{-5} \frac{\text{l}}{\text{slag}} \cdot 12,5 \frac{\text{slag}}{\text{s}} = 0,00026125 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,00026125 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 0,9405 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Forbruket ved 100% diesel er altså 0,9405 liter/time.

E.2 Ammoniakk

Her vil det beregnes verdier for 100% konvertering fra ammoniakk til diesel, som kan brukes som referanse for ønsket innblanding.

Energiforholdet mellom diesel og ammoniakk, fra brennverdier = $\frac{42,7}{18,8} = 2,27$

Det trengs altså 2,27 ganger så mye ren ammoniakk for å levere den samme effekten som ved ren diesel. Ammoniakkforbruket blir da:

$$17,17 \frac{\text{mg}}{\text{slag}} \cdot 2,27 = 38,98 \frac{\text{mg}}{\text{slag}} = 0,03898 \frac{\text{g}}{\text{slag}} = 0,00003898 \frac{\text{kg}}{\text{slag}}$$

Bruker tetthet for ammoniakk for å konvertere til volum:

$$0,00003898 \frac{\text{kg}}{\text{slag}} \cdot \frac{1}{0,73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 5,340 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{slag}} = 0,0534 \frac{\text{l}}{\text{slag}}$$

Konverterer dette til volum per tidsenhet:

$$0,05340 \frac{\text{l}}{\text{slag}} \cdot 12,5 \frac{\text{slag}}{\text{s}} = 0,668 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,668 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 2404,8 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Ammoniakkforbruket ved 100% erstatning er altså 2405 liter/time.

E.3 Propan

Her utføres samme beregninger for propangass som for ammoniakk. Energiforholdet mellom diesel og propan, fra brennverdier = $\frac{42,7}{46,4} = 0,92$.

Propanforbruket blir da:

$$17,17 \frac{\text{mg}}{\text{slag}} \cdot 0,92 = 15,80 \frac{\text{mg}}{\text{slag}} = 0,01580 \frac{\text{g}}{\text{slag}} = 0,00001580 \frac{\text{kg}}{\text{slag}}$$

Bruker tetthet for propan for å konvertere til volum:

$$0,00001580 \frac{\text{kg}}{\text{slag}} \cdot \frac{1}{1,898 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 8,325 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{slag}} = 0,008325 \frac{\text{l}}{\text{slag}}$$

Konverterer dette til volum per tidsenhet:

$$0,008325 \frac{\text{l}}{\text{slag}} \cdot 12,5 \frac{\text{slag}}{\text{s}} = 0,1041 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,1072 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 374,8 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Propanforbruket ved 100% erstatning er altså 375 liter/time.

F Grunnleggende ligninger for simulering

I følgende kapittel beskrives grunnleggende ligninger som danner grunnlag for simuleringsprogram som Wave fra Ricardo. Materialet er hentet fra [61].

F.1 Termodynamikk

Termodynamikkens første lov, om bevaring av energi:

$$dU = dQ - dW \quad (\text{A1})$$

Termodynamikkens andre lov, om retningen av irreversible prosesser:

$$dS = \frac{dQ}{T} + dS_{\text{irr}} = \frac{(dQ + dQ_{\text{irr}})}{T} \quad (\text{A2})$$

F.2 De tre bevaringslovene

Loven om bevaring av masse for systemet:

$$\frac{dm_{\text{sys}}}{dt} = \frac{dm_i}{dt} + \frac{dm_o}{dt} + \frac{dm_{bb}}{dt} + \frac{dm_{\text{fuel, evap}}}{dt} \quad (\text{A3})$$

Denne ligningen tar for seg all endring av masse i systemet, som for eksempel kan være avgrenset til en sylinder. Underteksten *i* betyr in, *o* betyr out (ut), *bb* står for *blow by*, som er massen som lekker ut av sylindere, og *fuel, evap* er den fordampede delen av drivstoffet.

Loven om bevaring av energi for systemet:

$$\frac{dE_{\text{sys}}}{dt} = -p \frac{dV}{dt} + \frac{dQ_{\text{fuel}}}{dt} - \frac{dQ_{\text{w}}}{dt} + h_i \frac{dm_i}{dt} - h_o \frac{dm_o}{dt} \quad (\text{A4})$$

hvor: $\frac{dE_{\text{sys}}}{dt}$ = endring av energi i systemet

$p \frac{dV}{dt}$ = stempelarbeid, og er vanligvis resultatet fra analysen

$\frac{dQ_{\text{fuel}}}{dt}$ = frigitt energi ved forbrenning, ofte vha. Weibe-funksjoner

$\frac{dQ_{\text{w}}}{dt}$ = varmeveksling mellom sylindervegg og forbrenningsgasser

$h_i \frac{dm_i}{dt}$ = entalpi av innsugsluften

$h_o \frac{dm_o}{dt}$ = entalpi av eksosluften

Loven om bevaring av moment:

$$\frac{d(m \vec{w})}{dt} = \sum_i \vec{w}_i = 0 \quad (\text{A5})$$

F.3 Varmeoverføringslovene

Loven om varmeveksling ved konduksjon:

$$\dot{q} = -\lambda \nabla T \quad (\text{A6})$$

Loven om varmeveksling ved konveksjon:

$$\dot{q} = \varphi (T_{\text{wall}} - T) \quad (\text{A7})$$

G Kistler 7061B trykkgiver Spesifikasjoner

Pressure – PAE

KISTLER

1 ... 2

ThermoCOMP®-Quarz-Drucksensor
Capteur de pression à quartz ThermoCOMP®
ThermoCOMP®Quartz Pressure Sensor

7061B

Wassergekühlter Präzisionsdrucksensor, speziell geeignet für den Einsatz in Verbrennungsmotoren, für hochpräzise thermodynamische Messungen.

Direktbau mit oder ohne Wasserkühlung in M14x1,25-Bohrung, ohne Verwendung eines zusätzlichen Adapters.

Hohe Empfindlichkeit und ausgezeichnete Nullpunktstabilität. Für präzise Messungen wird Wasserkühlung empfohlen. Montage in Bohrung ø18 mm möglich.

Capteur de pression refroidit par eau convenant particulièrement aux mesures thermodynamiques de haute précision dans les moteurs à combustion interne.

Montage direct avec ou sans refroidissement par eau dans un alésage M14x1,25, ne nécessitant aucun adaptateur supplémentaire.

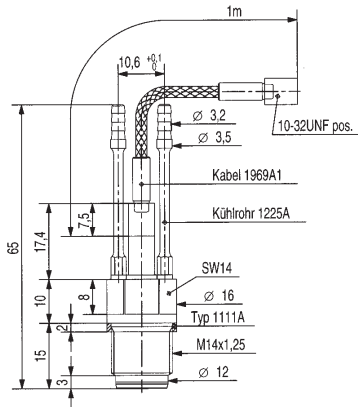
Haute sensibilité et excellente stabilité du zéro. Le refroidissement par eau est recommandé pour des mesures de précision. Montage possible dans un alésage de ø18 mm.

Water-cooled precision pressure sensor specially suited for duty in internal combustion engines for high-precision thermodynamic measurements.

Direct fitting with or without water cooling in M14x1,25 bore, without additional adapter.

High sensitivity and excellent zero stability. For precision measurements water cooling is recommended. May be fitted into ø18 mm bore.

- Wassergekühlter Präzisions-Zylinderdrucksensor
 Capteur de pression cylindre précis, refroidit par eau
 Water-cooled precision cylinder pressure sensor
- Thermoschock-optimierte Doppel-Membrane
 Membrane double, optimisée pour le choc thermique
 Double diaphragm, optimized for thermo shock
- Lange Lebensdauer dank TiN-Beschichtung und Metallkabel
 Longévité grâce au revêtement TiN et au câble en métal
 Long life thanks to TiN-coated diaphragm and metal cable



1 : 1

Technische Daten

Données techniques

Technical Data*

Bereich	Gamme	Range	bar	0 ... 250
Kalibrierte Teilbereiche	Gammes partielles étalonnées	Calibrated partial ranges	bar	0 ... 50
			bar	0 ... 5
Überlast	Surcharge	Overload	bar	300
Empfindlichkeit	Sensibilité	Sensitivity	pC/bar	≈-80
Eigenfrequenz	Fréquence propre	Natural frequency	kHz	≈45
Linearität, alle Bereiche (gekühlt)	Linéarité, toutes les gammes (refroidit)	Linearity, all ranges (cooled)	% FSO	≤±0,5
Beschleunigungsempfindlichkeit (axial) mit Kühlung	Sensibilité aux accélérations (axiale) avec refroidissement	Acceleration sensitivity (axial) with cooling	bar/g	<0,01
Betriebstemperaturbereich ohne Kühlung	Gamme de température d'utilisation sans refroidissement	Operating temperature range without cooling	°C	-50 ... 350
Empfindlichkeitsänderung gekühlt 50 ±35 °C ungekühlt 200 ±150 °C	Décalage de la sensibilité refroidit 50 ±35 °C non refroidit 200 ±150 °C	Sensitivity shift cooled 50 ±35 °C non-cooled 200 ±150 °C	%	≤±0,5
			%	≤±2
Lastwechseldrift (Absinken der Nulllinie nach Abschalten der Zündung)	Dérive due aux alternances (Baisse de la ligne du zéro après l'arrêt de l'allumage)	Load-change drift (Drop of the zero line after cutting the ignition)	bar / s	<±0,5
Thermoschock bei 1500 min⁻¹, 9 bar p_{mi}	Choc thermique à 1500 min⁻¹, 9 bar p_{mi}	Thermo shock at 1500 min⁻¹, 9 bar IMEP	Δp	bar <±0,1
			ΔIMEP	% <±0,5
			Δp _{max.}	% <±0,5
Isolationswiderstand bei 20 °C	Résistance d'isolement à 20 °C	Insulation resistance at 20 °C	TΩ	≥10
Anzugsmoment	Couple de serrage	Tightening torque	Nm	25
Kühlwasserdruck	Pression d'eau de refroidissement	Cooling water pressure	bar	≤6
Kapazität (inkl. Kabel)	Capacité (câble inclu)	Capacitance (incl. cable)	pF	11 (117)
Gewicht	Poids	Weight	g	27
Stecker, Keramik-Isolator	Connecteur, isolateur céramique	Plug, ceramic insulator	Type	10-32 UNF

1 bar = 10⁵ Pa (Pascal) = 10⁵ N · m⁻² = 1,0197... at = 14,503... psi; 1 g = 9,80665 m · s⁻²; 1 Nm = 0,73756... lbf·ft; 1 g = 0,03527... oz; 1 TΩ = 10¹² Ω

000-052m-08.98 (DB03.7061Bm)

Beschreibung

Die Polystable®-Quarzelemente sind selbst bei hohen mechanischen Beanspruchungen sicher gegen Zwillingsbildung.

Dadurch bleibt die Empfindlichkeit im Bereich von -50...350°C weitgehend konstant und der Sensor funktioniert auch bei Ausfall der Wasserkühlung weiter. Die TiN-Beschichtung erhöht durch ihre anti-korrosive Wirkung die Lebensdauer der Membrane.

Anwendung

Der Sensor Typ 7061B eignet sich durch seine Unempfindlichkeit auf Temperaturschocks und seine Nullpunktstabilität hervorragend für Messungen in Brennräumen, wo starke Temperaturschwankungen auftreten.

Wo höchste Präzision der Messresultate gefordert wird und gute Reinigung des Sensors gewährleistet ist, wird Typ 7063A empfohlen. Bei Verwendung in mit Schweröl betriebenen Motoren kann Kaltkorrosion die Lebensdauer reduzieren.

Hohe Empfindlichkeit von -80 pC/bar und auch in den Teilbereichen ausgezeichnete Linearität zum Messen kleiner und kleinster Drücke.

Montagebeispiele

Der Sensor Typ 7061B kann direkt, brennraum-bündig (Fig. 1) oder zurückversetzt mit einer Verbindungsbohrung (Fig. 2) in eine Standard-M14-Bohrung eingeschraubt werden.

Für die keramik-isolierten Buchsen 10-32 UNF sind nur die Hochtemperaturkabel Typ 1631C..., 1635C... oder 1969A... zu verwenden. Fig. 3 zeigt den Sensor Typ 7061B brennraum-bündig im Zylinderkopf montiert unter Verwendung einer speziellen Montagehülse (Option).

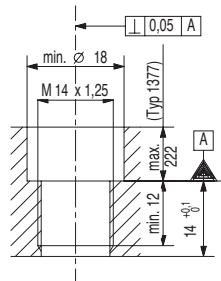
Zubehör

	Typ
• Hochtemperatur-Anschlusskabel	1631C... 1635C...
• Metallkabel	1969A1 / Asp
• Cr-Ni-Stahl-Dichtung	1111A
• Anschlussröhren für Kühlwasser	1225A1
• Polyäthylen-Schlauch für Kühlwasser	1203Bsp
• Viton-Schlauch	1203Csp
• Adapter für Druckgenerator 6904A	7915
• Verschlussstück	7441A
• Schlüssel für Metallkabel	1300A57

Montagezubehör

	Typ
• Drehmomentschlüssel 8 ... 40 Nm	1300A11
• Mauleinsatz SW18	1300A15
• Steckschlüssel SW14 für $\varnothing 18$ mm	1377

Fig. 1



Description

Les éléments en quartz Polystable® sont surs contre la formation de jumeaux même sous des sollicitations mécaniques élevées.

De ce fait la sensibilité de -50 à 350°C reste pratiquement constante et le capteur fonctionne même si le refroidissement cesse. Le revêtement TiN prolonge par son effet anti-corrosif la vie de la membrane.

Application

Grâce à son insensibilité aux chocs thermiques et de son stabilité du zéro, le capteur type 7061B se prête de manière excellente aux mesures dans les chambres de combustion où se produisent de fortes variations de température.

Le type 7063A est recommandé pour les applications où une précision maximale des résultats de mesure est exigée et un nettoyage efficace du capteur est assuré. Si le capteur est utilisé dans des moteurs à huile lourde, la corrosion à froid peut réduire sa durée de service.

Haute sensibilité de -80 pC/bar et excellente linéarité aussi dans les gammes partielles pour mesurer des pressions basses et très basses.

Exemples de montage

Le capteur type 7061B peut être monté directement dans un taraudage standard M14, soit à fleur de la chambre de combustion (fig. 1), soit avec membrane en retrait à l'aide d'un forage de jonction (fig. 2).

Pour les douilles isolées par céramique 10-32 UNF on utilisera uniquement les câbles à haute température type 1631C..., 1635C... ou 1969A...

Fig. 3 montre le capteur type 7061B monté dans la culasse de cylindre à fleur de la chambre de combustion au moyen d'une douille de montage spéciale (option).

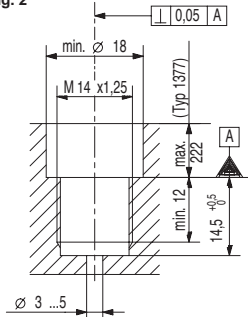
Accessoires

	type
• Câble de connexion pour températures élevées	1631C... 1635C...
• Câble à métal	1969A1 / Asp
• Joint en acier Cr-Ni	1111A
• Tube connecteur pour eau de refroidissement	1225A1
• Tuyau en polyéthylène pour eau de refroidissement	1203Bsp
• Tuyeau en Viton	1203Csp
• Adaptateur pour générateur hydraulique 6904A	7915
• Bouchon	7441A
• Clé pour câble en métal	1300A57

Accessoires de montage

	type
• Clef dynamométrique 8 ... 40 Nm	1300A11
• Fourche hex. 18 mm	1300A15
• Clef à douille à ouverture 14 mm pour $\varnothing 18$ mm	1377

Fig. 2



Description

The Polystable® quartz elements are safe against twinning even under high mechanical stressing. As a result, the sensitivity remains largely constant between -50 and 350°C and the sensor continues to operate even when the cooling fails. The TiN coating has anti-corrosive properties and extends the life of the diaphragm.

Application

With its insensitivity to temperature shocks and its zero stability, the sensor Type 7061B is eminently suited for measuring in combustion chambers where severe temperature variations occur.

Type 7063A is recommended where top precision of the measured results is demanded and good cleaning of the sensor can be provided. If the sensor is mounted in engines using heavy oils, cold-spot corrosion may reduce its lifetime.

High sensitivity of -80 pC/bar plus excellent linearity in the partial ranges makes it suitable for measuring low and very low pressures.

Mounting Examples

The sensor Type 7061B may be screwed directly into a standard M14 hole. Fig. 1 shows flush mounting with the wall of the combustion chamber. Fig. 2 shows mounting with set-back diaphragm with a connecting bore.

For the ceramic-insulated bushes 10-32 UNF only the high temperature cables Type 1631C..., 1635C... or 1969A... may be used.

Fig. 3 shows the sensor Type 7061B fitted in a cylinder head flush with the wall of the combustion chamber, using a special mounting sleeve (option).

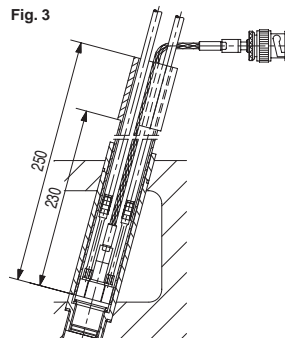
Accessories

	Type
• High temperature connecting cable	1631C... 1635C...
• Metal cable	1969A1 / Asp
• Cr-Ni-steel seal	1111A
• Connecting hose for cooling water	1225A1
• Polyethylene hose for cooling water	1203Bsp
• Viton hose	1203Csp
• Adapter for high pressure generator 6904A	7915
• Plug	7441A
• Key for metal cable	1300A57

Mounting Accessories

	Type
• Torque wrench 8 ... 40 Nm	1300A11
• Fork wrench hex. 18 mm	1300A15
• Tubular socket wrench hex. 14 mm for $\varnothing 18$ mm	1377

Fig. 3



H Horiba PG-350E Spesifikasjoner

Analyzer Specifications

Type of Analyzers	5-components Analyzer
Model	PG-350 E
Components Measured	NOx/SO ₂ /CO/CO ₂ /O ₂
Analysis Principle	NOx: Cross-Flow Modulation Chemiluminescence Detection Method (CLA) SO ₂ , CO: Cross-Flow Modulation Non-Dispersive Infrared Absorption Method (NDIR) CO ₂ : Non-Dispersive Infrared Absorption Method (NDIR) O ₂ : Paramagnetic Method
Reference Standard	DIN EN 15267 - 3, DIN EN 14181, DIN EN 15058 (CO) DIN EN 14789 (O ₂), DIN EN 14792 (NOx)
Ranges	NOx : 0-25/50/100/250/500/1000/2500 ppm SO ₂ : 0-50 /100/200/ 500 ppm CO : 0-60 /100/200/500/ 1000 ppm CO ₂ : 0-10/20/30 vol% O ₂ : 0-5/10/25 vol%
Repeatability	±0.5% of Full scale (NOx : ≥100 ppm range / CO : ≥1000 ppm range) ±1.0% of Full scale (Except as specified above)
Linearity	±2.0% of Full scale
Drift	±1.0% of Full scale / day (For SO ₂ analyzer only : ±2.0% of Full scale / day)
Response Time (T ₉₀)	Analizers except SO ₂ analyzer : 45 sec. or less (From sample inlet, response time setting of electrical system : 10 sec.) SO ₂ analyzer : 180 sec. or less (From sample inlet, response time setting of electrical system : 10 sec.) Moving average selectable (10 or 30 sec.)
Sample Gas Flow Rate	Approx. 0.5 L/min.
Display	Measurement (3 or 4 digit display), range, flow rate, etc.
Output	DC4-20 mA (non-insulated), LAN or 0 V to 1 V DC (non insulated) (optional), RS-232
Warm-up Time	With 30 min. warm-up, ±2.0% of Full scale / 2 hours
Data Saving	SD / SDHC memory card
Ambient Temperature	5-40°C
Ambient Humidity	Maximum relative humidity 80%, for temperatures up to 31°C
Power	AC 100 V - 240 V 50 Hz/60 Hz
Power Consumption	160 VA at regular time, maximum 220 VA
Dimensions	300 (W) x 520 (D) x 265 (H) mm (With side guards)
Weight	Approx. 16 kg (With side guards).
Sample Gas Conditions	Temperature : Less than 40°, Moisture: below the ambient temperature saturation, Dust : 0.1 g/m ³ or less, Pressure : ±0.98 kPa, Non-existence of any gas that reacts with corrosive gas or measured gas.

I Madur PGD100 Spesifikasjoner



CHARACTERISTIC | FEATURES | TECHNICAL DATA | APPEARANCE

PGD-100 GAS DRYER WITH SINGLE CONDENSATION DRYER

Dimensions (W * H * D)	500 mm * 340 mm * 150 mm
Weight	12 kg ÷ 13 kg
Casing material	Plywood covered with aluminium
Operating conditions	T: 10°C ÷ 50°C, RH: 5% ÷ 90% (non-condensing)
Dryer type	Based on Peltier cooling element with fan (12V DC supply)
Drying method	Water condensation by rapid cooling down
Cooling temperature	0°C ÷ 20°C
Ready to operate after	5 minutes
Storing temperature	0°C ÷ 60°C
Maximum gas flow for efficient drying (at inlet gas temp. 100°C and RH 100%)	100 l/h
Gas filters: quantity material	2 PA - body, PC - cover, viton - sealing
Filter insert: length ID OD material pore size	32mm 12mm or 15mm 18mm or 20mm PE 5µm
Condensate removal	With built-in peristaltic pump
Peristaltic pump capacity	38 ml/min
Power supply: input maximal power consumption	230V AC 40W (without heated hose)
Heated hose temperature	+180°C electronically stabilised
Heated hose temperature hysteresis	~5°C
Heated hose length	3m (optionally 5m or 10m)
Heated hose power supply: input maximal power consumption	230V AC 1000W
Heated hose thermocouple wires	K-type (S-type optionally)

J JUM FID 109A Spesifikasjoner

Technical Specifications

Method	Dual heated Flame Ionization Detector (HFID) one detector for TOC (C _x H _y), second detector for MOC (CH ₄)
Sensitivity	Max. 1 ppm CH ₄ full scale
Response time TGOC	<0.2 seconds @ sample inlet
Response time CH₄	< 15 seconds @ sample inlet
T₉₀ time TGOC	< 1.2 seconds @ sample inlet
T₉₀ time CH₄	< 50 seconds @ sample inlet
Linearity	Up to 10.000 ppm full scale within 1.5%
Oxygen synergism	< 2.5% FSD
Measuring ranges (ppm)	0-10,100, 1.000, 10.000, 100.000, others on request. Front panel turn switch, automatic or remote control optional
Signal outputs	One each per channel 0-10 VDC, 4-20 mA, one each RS-232 data output for THC, Methane and NMHC (ENGA option)
Display	21/2 digit DVM or optional 6 digit direct reading ppm units with capability to measure 3 overlapping ranges without range change
Total sample flow through	2.5 to 2.8 l/min capacity @ operating temp.
Sample filter	Permanent 2 micron mesh filter, cleaned by back purge with compressed dry air or N ₂ . Alternatively disposable change filter in rear panel. Option OVE 9
Zero and Span gas	Front panel switch selectable & remote control. Gas inlets on rear panel
Zero and span adjust	Manual duo dials on front panel
Fuel gas choice	<ul style="list-style-type: none"> x Standard 100% H₂, consumption approx. 40 ml/min x Optional 40%H₂/60%He, consumption approximately 180 ml/min x Optional 40%N₂/60%He, consumption approximately 180 ml/min
Burner air consumption	Built in burner air supply. No external cylinder air needed. consumption approximately 260 ml/min. At 40/60 mixed fuels. Air consumption is approx. 450 ml/min
Oven temperature	190 °C (374 °F)
Temperature control	micro-processor PID controller
Power requirements	230VAC/50Hz, 900 W. 120 VAC/60Hz optional
Ambient temperature	5-43 °C (41-110 °F)
Dimensions (W x D x H)	19" (483 mm) x 460 mm x 221 mm
Weight	approx. 24 kg

K FID-kalibrering

Technical Information

Response Factors

In the ideal case, a Flame Ionization Detector (FID) is a carbon ion counter, whose response is directly proportional to the carbon count of the material being analyzed. The response is generally output as a concentration of carbon atoms in the medium being sampled, such as "parts per million carbon as vapor" or, for example ppm C (carbon). However physical detector cell design limitations, the physics of the ion stream in the hydrogen flame and the molecular structure and composition of the gas will affect the response. The FID output in many cases will NOT be equal to the actual carbon count. It will however be repeatable and proportional. For example, a FID calibrated with 1000 ppm propane (C₃H₈) will read 3000 ppm C₁. If 3000 ppm methane is sampled, the response should be the same, i.e. 3000 ppm C₁. In actual practice the reading is higher, but will always be higher by the same factor. This factor is called the Response Factor (RF). The RF phenomenon is well known. There can be RF for every compound. In some cases it will be unity ("1"). Ideally, one should know the RF for all compounds being measured, so that the necessary corrections may be applied. If possible, one should calibrate the analyzer (FID) with a known gas of the material being sampled. This is usually not practical, especially in cases where there are many gas constituents, or the species are unknown, as in combustion products or other emissions.

In practice, most Total Hydrocarbon Analyzers with FID's are calibrated with propane span gases, and the results are reported as ppm C₃ (propane equivalent). If the response factor is known, the results may be converted to true concentrations, or the Total Hydrocarbon Analyzer (THA) may be initially calibrated with the response factor built in.

The following formula defines the calibration in mgC/m³ :

$$f_{RCx} = \frac{A_{Cx}}{C_{Cx}}$$

f_{RCx} : carbon responsefactor of the component x,
propane equivalent

A_{Cx} : measured (displayed) value of the component x
in mgC/m³ ; FID calibrated with propane,
with 1ppm C₃H₈ = 1,61 mgC/m³
under standard conditions (273 K, 1013 hPa)

C_{Cx} : carbon concentration in mgC/m³ of the
measured component x

To convert the measured (displayed) value into the actual concentration:

$$C_{Cx} = \frac{A_{Cx}}{f_{RCx}}$$

For the calibration in ppm the numerical values of f_{RCx} are the same but the formula has to be changed as follows:

$$f_{RCx} = \frac{[A_{Vx} \cdot n_{Ref}]}{[C_{Vx} \cdot n_x]}$$

f_{RCx} : carbon responsefactor of the component x,
propane equivalent

A_{Vx} : measured (displayed) value of the component x
in ppm; FID calibrated in ppm propane

C_{Vx} : volume concentration of the measured component x
in ppm

n_{Ref} : carbon number of the reference molecule;
for propane: C₃H₈, 3 C-atoms: $n_{Ref} = 3$

n_x : carbon number of the substance x

To convert the measured (displayed) value into the actual concentration:

$$C_{Vx} = \frac{[A_{Vx} \cdot n_{Ref}]}{[f_{RCx} \cdot n_x]}$$

Technical Information

The following response factors (propane equivalent) were determined by TÜV-Nord using two J.U.M. FID´s, Model VE 7, the FID 2 was tested 9 months after the FID 1

Component	Total Formula	f_{RCx} FID 1	f_{RCx} FID 2
Acetone	C ₃ H ₆	0,72	0,73
Acetylene	C ₂ H ₂	0,92	0,94
Benzene	C ₆ H ₆	1,05	1,05
n-Butane	C ₄ H ₁₀	0,98	0,98
Chlorbenzene	C ₆ H ₅ _Cl	1,01	1,04
Chloroform	HCCl ₃	0,82	0,78
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	0,93	0,94
Methylene Chloride	CH ₂ Cl ₂	1,09	1,06
Diethyl Ether	C ₄ H ₁₀ O	0,75	0,77
Acetic Acid	C ₂ H ₄ O ₂	0,58	0,55
Ethyl Acetate	C ₄ H ₈ O ₂ (H ₃ C_COOC ₂ H ₅)	0,70	0,72
Isobutyl Acetate		0,88	0,89
Ethanol	C ₂ H ₆ O	0,65	0,67
4-Ethyl Toluene		0,88	0,89
n-Heptane	C ₇ H ₁₆	0,91	0,95
n-Hexane	C ₆ H ₁₄	0,85	0,86
Methane	CH ₄	1,26	1,25
Methanol	CH ₄ O	0,69	0,68
iso-Octane		0,99	0,98
Propane	C ₃ H ₈	1,00	1,00
iso-Propanol	C ₃ H ₈ O	0,82	0,81
Tetrachlorethylene	C ₂ Cl ₄	1,22	1,20
Toluene	C ₇ H ₈	1,02	1,03
Trichlorethene	C ₂ HCl ₃	1,03	1,01
1,1,1-Trichlorethane	C ₂ H ₃ Cl ₃	1,06	1,02
p-Xyloene	C ₈ H ₁₀	0,91	0,90

Other C3H8 equiv. Response factors found with J.U.M. FID´s VE7, 3-300A and 3-200

Component	Total Formula	f_{RCx}
Acetonitrile	C ₂ H ₃ N	0,7
2-Butanol	C ₄ H ₁₀ O	0,83
2-Butanone	C ₄ H ₈ O	0,78
<i>Chlorpropionsäuremethylester</i>		0,69
Dichlormethane		1,06
Diisopropylether	C ₆ H ₁₄ O	0,84
Dimethylformamide	C ₃ H ₇ NO	0,50
Dioxane	C ₄ H ₈ O ₂	0,51
Ethylbenzene	C ₆ H ₅ _C ₂ H ₅	1,04
Ethan	C ₂ H ₆	1,01
Ethin		1,07
<i>Etylenglykolmonoethylester</i>		0,58
Iso-Octane		0,98
Isopropylalcohol (Isopropanol)		0,79
Methanol	CH ₃ OH, CH ₄ O	0,79
Methylcyclohexane	C ₇ H ₁₄	0,96
Methylenechloride	CH ₂ Cl ₂	1,1
4-Methyl-2-Pentanone	C ₆ H ₁₂ O	0,83
Pentane	C ₅ H ₁₂	0,98
i-Propanol	C ₃ H ₈ O	0,74
n-Propanol	C ₃ H ₈ O	0,80
Propylchloride	C ₃ H ₇ Cl	1,05
o-Xyloene	C ₈ H ₁₀	1,01
Trichlormethane (Chloroform)		0,8
Trichloethene		1,07

L Norsk Bransjestandard for Autodiesel

AUTODIESEL SOMMER¹

Utdrag fra Norsk Europeisk Standard NS-EN 590. Sommer: temperert grad D. Gjengitt med tillatelse.

EGENSKAP	ENHET	KRAV, TEMPERERT GRAD D	METODE
Cetantall		min. 51,0 ²	EN ISO 5165/EN15195
Cetanindeks		min. 46,0	EN ISO 4264
Densitet v/15°C	kg/m ³	820,0-845,0 ²	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Polyaromatiske hydrokarboner ³	masse-%	maks. 8,0 ²	EN 12916
Svovelinhold	mg/kg	maks. 10,0 ²	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Manganinnhold	mg/l	maks. 2,0	EN 16576
Flammepunkt	°C	min. 56	EN ISO 2719
Koksrest (på 10% destillasjonsrest)	masse-%	maks. 0,30	EN ISO 10370
Askeinnhold	masse-%	maks. 0,01	EN ISO 6245
Vanninnhold	mg/kg	maks. 200	EN ISO 12937
Partikler, total forurensning	mg/kg	maks. 24	EN 12662
Korrosjon kobberstrimmel, 3 timer v/50°C	Skala	klasse 1	EN ISO 2160
Oksidasjonsstabilitet	g/m ³	maks. 25	EN ISO 12205
Oksidasjonsstabilitet, Rancimat	timer	min. 20 ⁵	EN 15751
Smørende egenskaper (wsd 1,4) ved 60°C	µm	maks. 460	EN ISO 12156-1
Viskositet v/40°C	mm ² /s	2,00-4,50	EN ISO 3104
Destillasjon			EN ISO 3405
Gjenvunnet ved 250°C	vol.-%	< 65	
Gjenvunnet ved 350°C	vol.-%	min. 85	
95 vol.-% gjenvunnet ved	°C	maks. 360 ²	
Tåkepunkt (CP)	°C	maks. 0	EN 23015
Blokkeringspunkt (CFPP)	°C	maks. - 11	EN 116
Utseende		Klar og Lys	Visuell inspeksjon
Fettsyre metylester (FAME) ⁴	vol.-%	maks. 7,0	EN 14078

Bruk av hydrokarboner fra syntetisk eller fornybare kilder som HVO/GTL/BTL er tillatt, men det forutsettes at den endelige blandingen oppfyller alle kravene i NS-EN590. Alle biokomponenter skal være i henhold til EUs bærekraftskriterier.

1) For vår/høst kvalitet, se intermediatediesel temperert grad F / arktisk klasse 0. For vinterkvalitet, se vinterdiesel arktisk klasse 2.

M Brooks 1350G Spesifikasjoner

PERFORMANCE		
	1350G	1355G
Accuracy	±5% at reference conditions*	± 3% at reference conditions*
Repeatability	0.25% F.S.	
Pressure/Temperature	200 psig (33°F - 250°F) / 13.8 bar (1°C-121°C)	
Materials of Construction	Borosilicate glass, Brass, Aluminum, 316 Stainless Steel, Clear Polycarbonate, Milk White Polycarbonate, Teflon®	
End Block Options	Stainless Steel and Brass	
Elastomer Seals	Viton® fluoroelastomers, Teflon®, Buna, Kalrez® perfluoroelastomers	
Float Materials	Glass, Sapphire, Stainless Steel, Carboly® [®] , Tantalum	
Connection Materials	Stainless Steel	
Connection Options	1/8" NPT (w/wo locknuts) 1/4" NPT (w/wo locknuts) 1/8" Compression (w/wo locknuts) 1/4" Compression (w/wo locknuts) 6 mm Compression (w/wo locknuts) 1/4" RC (w/wo locknuts) 3/8" RC (w/wo locknuts) 1/4" VCR® 1/4" ID Hose Swagelok® Converters	
Dimensions	See Dimension Drawings	
Alarm Availability	(coming soon)	
Valve Options	Cartridge III Valve and NRS™	
Valve Materials	Stainless Steel	
Flow Controller	Yes	
Certifications	International Calibration Certificate (ICC) CRN Pressure Equipment Directive (97/23/EC) RoHS (II) REACH (coming soon) Materials (2.2)	

* Reference conditions apply to air or water at 14.7 psia and 70 Degrees F/1.01 Bar and 21.1 Degrees C.

N Monicon S500L Gassensor



Features

- Microprocessor based
- 4-20mA Analogue Output
- Voltage free relay contacts
- RS485 digital interface
- Alphanumeric dot-matrix display
- "One Person" calibration
- Small size
- Certified ATEX II 2 G Ex d IIC T6
- Low power consumption
- Standalone operation



The Monicon S500L-NH3 is a self contained, intelligent gas sensor that offers a host of sophisticated features to provide fast, reliable warnings against concentrations of ammonia gas.

The S500L-NH3 will operate as a standalone instrument or in conjunction with a controller or a computer. The S500L-NH3 is housed in an attractive, compact enclosure and may be configured or calibrated by one person, without declassifying the hazardous area.

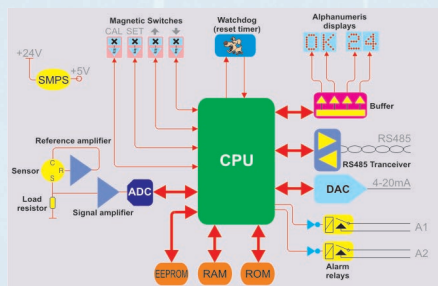
The gas concentration is indicated on a 4 character alphanumeric display which also indicates instrument status. The instrument is user programmable and no physical adjustments are necessary during calibration as the on-board computer assists the calibration procedure. All user variables are stored in non-volatile memory (EEPROM) and retained indefinitely even during total power failure.

The sensor uses a highly successful capillary diffusion barrier technology, resulting in a low temperature coefficient and a direct response to concentration, relatively unaffected by pressure. The use of electrodes based on fuel cell technology gives a high reserve of activity which results in long term stability.

Gas diffusing to the sensor electrode reacts at the surface of the electrode by oxidation to generate a small electrical current. Reactions are catalysed by specially developed electrode materials and are designed to be specific to the gas being sensed.

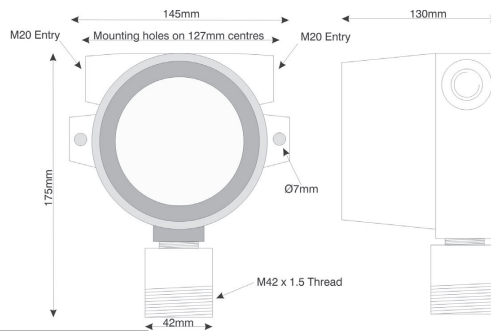
The small electrical current from the electrochemical cell correlates to the gas concentration and this current is measured, processed and linearised by the on-board CPU to give a signal proportional to the gas concentration. A watchdog circuit monitors the system operation and resets the CPU if a failure is detected.

The S500L-NH3 is calibrated or user-programmed by activating the magnetic switches with a magnet. The operator is then guided through a variety of options by a user-friendly menu. The CPU constantly verifies system operation. In the unlikely event of a fault, the operator is alerted with a helpful diagnostic display.



S500L-NH3 Specifications

Supply voltage	Nominal 24Vdc (operates from 20Vdc to 35Vdc)
Power consumption	2W nominal, 2.3W maximum
Circuit protection	Electronic current limiter, 1.5A auto-reset
Transient Protection	PCB mounted, 3 Joule, Metal Oxide Varistor
Analogue output	4-20mA current source referenced to 0V
Analogue output load	500 Ohms maximum
Operating temperature	-20°C to +40°C
Storage temperature	-30°C to +40°C
Humidity range	15%RH to 90%RH (Non-condensing)
Preconditioning Requirements	Operational: 3 minutes, Specification: 24 hours
Full-Scale range (other ranges available)	100ppm, 200ppm, 1000ppm.
Response time (T90)	Typically <60 seconds
Linearity	±5%
Repeatability	±2%
Resolution	1%
Sensor life	Typically 2 years
Weight	1.8Kg (including sensor)
RS485 operating mode	Slave mode, half duplex, polled
Max. units on RS485 loop	100
RS485 comm parameters	1200-N-8-1
RS485 error checking	1 byte checksum
Unit interrogation time	40mS
Relay contacts	SPST, NO, 125V @ 0A5 (30V DC @ 1A) each for A1 & A2
Option setting	Digital setting (all options fitted as standard and user selectable)
Alarm setting	Digital setting (fully adjustable between 10% and 90% of full scale)
Alarm types	Energised/de-energised. Enrichment/deficiency. User selectable
ATEX certification	Exd IIC T6 (Certificate number Baseefa08ATEX0056)
Recommended calibration flow rate	1 litre per minute
Mounting holes	2 holes, diam 8mm, spaced 82.5mm
User variable storage	Non-volatile RAM (EEPROM)
Electromagnetic Conformance (EMC)	Complies with EN50081 and EN50082
Cable gland entries	2 entries, each M20 x 1.5
Terminations	PCB mounted terminal blocks to accept 1.5mm ² cable
Enclosure material	Copper-free cast aluminium with blue epoxy finish.




Monicon Technology Ltd
 Ballybrit Industrial Estate
 Monivea Road
 Galway
 Ireland

Tel: +353 91 752884
 Fax: +353 91 752886
 e-mail: sales@monicon.com
 web-site: www.monicon.com


S500L-NH3-030218-1

O Monicon T100-NH3 Gassensor



T100 - AMMONIA

MONICON
ADVANCED GAS MONITORING INSTRUMENTS



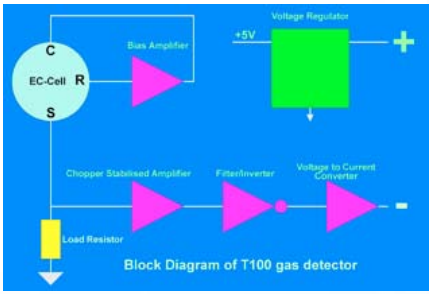
T100-NH3 Toxic Gas Detector

- 2-wire, 4-20mA Transmitter
- Plug-in electrochemical sensor
- Built-in ZERO & SPAN controls
- One person calibration
- SMD electronic circuitry
- Enhanced RFI and EMI resistance
- Cost effective with high performance
- Works with most 4-20mA controllers
- Certified ATEX II 2G Ex ia IIC T4 Ga

The T100-NH3 is a 4-20mA, 2-wire transmitter to measure an ammonia gas in the range 0-100ppm, 0-200ppm and 0-1000ppm. It is housed in a rugged, compact metallic enclosure. It incorporates advanced SMT electronics and an amperometric electrochemical sensor based on micro fuel cell technology, designed to be maintenance free and inherently stable.

The sensor uses the highly successful capillary diffusion barrier technology, resulting in a direct response to concentration, relatively unaffected by pressure. The use of electrodes based on fuel cell technology gives a high reserve of activity which results in long term stability.

Gas diffusing to the sensor electrode reacts at the surface of the electrode by oxidation. Reactions are catalysed by specially developed electrode materials and are designed to be specific to the gas being sensed.



Block Diagram of T100 gas detector

The T100 electronics use advanced surface mount technology and a simple yet rugged design to minimise component count for optimum reliability of the electronic circuitry.


The MTBF (mean time Between Failure) of the electronic circuitry on the T100 was calculated to be 1.2 million hours (calculations based on MIL-HDBK-217F). The calculations do not include the sensor as this is a consumable part.

The sensor is a small plug-in component and is easily replaced in minutes when it becomes depleted.

The sensor and preamplifier circuitry is housed in a stainless steel cylinder. This is attached to a rugged, IP67 rated, metallic enclosure which houses and protects the remaining electronics and terminals.

The T100 has been independently tested and certified ATEX II 2G Ex ia IIC T4 Ga. With any suitable third party IS barrier, it may be installed in a Zone, Zone 1 or even Zone 0 Hazardous Area.

Careful product design and rigorous product testing combined with a stringent ISO9002 quality assurance program at Monicon's state-of-the-art manufacturing facility ensure ultimate reliability where safety matters.



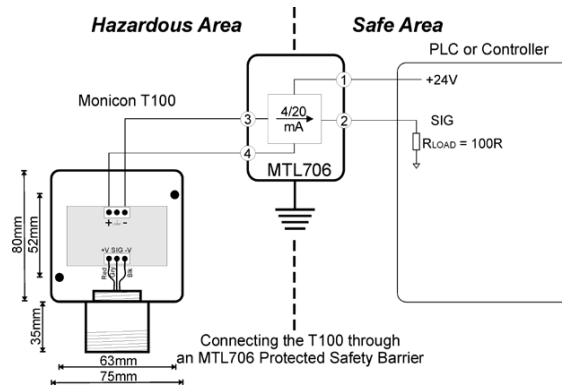
T100-NH3 Specifications

Supply voltage	Nominal 24Vdc (operates from 12Vdc to 30Vdc)
Supply current	Normal: 4mA, full-scale 20mA
Ec-cell operating life in air at S.T.P.	Typically 18-24 months
Ec-cell warranty	12 months
Response time (T50)	<20 seconds calculated from 4 minute exposure time
Response time (T90)	<60 seconds calculated from 4 minute exposure time
Preconditioning Requirements	1 Hour (24 hours recommended for optimum performance)
Measuring range	0-100ppm, 0-200ppm, 0-1000ppm
Operating temperature range	-20°C to +40°C
Effect of operating temperature on sensitivity	-0.8% shift in sensitivity per 1°C temperature change from 20°C
Operating pressure range	Ambient \pm 10%
Effect of operating pressure on accuracy	Pressure coefficient of 0.006% signal/mBar
Operating RH range	15% to 90% non-condensing
Effect of humidity	Abrupt change may cause transient.
Position sensitivity	None
Drift, S.T.P. continuous duty in air	<2% Full Scale per month
ATEX certification	II 2G Ex ia IIC T4 Ga (Certificate No. Baseefa11ATEX0115X)
Size	W: 75mm, D: 58mm, H: 80mm (excluding sensor)
Weight	400g
Electromagnetic Conformance (EMC)	Complies with EN50081 and EN50082
Enclosure material	Durable aluminium ALSi12, magnesium content <0.4%, finished in stove enamel gray RAL7001. Stainless Steel sensor compartment. (Marine grade version available to special order)

Cross sensitivity to other gases

The T100-NH3 is cross sensitive to some other gases. The following table gives an indication of cross sensitivities:


Gas	CO	H ₂ S	SO ₂	N ₂	HF	H ₂	HCN	PH ₃	HC	CL ₂	CO ₂	C ₂ H ₄	NH ₃
Concentration	1000	20	5	100%	4	1%	10	5	1000	1	5000	100	100
Response ppm	0	<2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Temperature	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C




Monicon Technology Ltd
 Ballybrit Industrial Estate
 Monivea Road
 Galway
 Ireland

Tel: +353 91 752884
 Fax: +353 91 752886
 e-mail: sales@monicon.com
 web-site: www.monicon.com

P Monicon CGS500 Gassensor





MONICON
ADVANCED GAS MONITORING INSTRUMENTS

CGS500 Thermocatalytic Gas Sensors

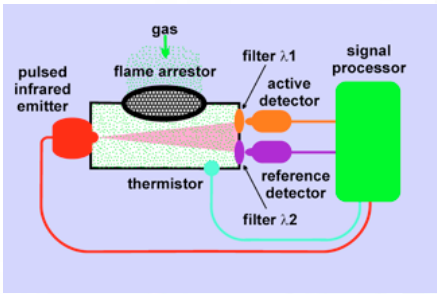
- Temperature compensated
- Low drift
- Improved poison resistance
- Long life
- Fast response time
- Rugged stainless steel body
- Detects combustible gases and solvents
- Many accessories available
- ATEX II 2 G Exd IIC T6 Ta -40°C to +60°C

The CGS500 combustible gas sensor has been designed to measure concentrations of combustible gases in the range 0-100% LEL. The CGS500 is available as a sensor only or fitted in an Exe certified junction box.

Each sensor contains two thermocatalytic elements. Combustible gases will oxidise on the surface of the active element while the reference element compensates for changes in temperature, pressure etc. Each element consists of a coil of fine platinum wire surrounded by an alumina based substrate containing a catalyst.

An electric current is passed through the elements which raises the temperature to a level where oxidation will occur. The catalyst reduces the temperature at which oxidation occurs, thus prolonging the life of the elements and resulting in much lower power consumption.

The CGS500 sensor is available with alternative elements. The CGS500-300N is general purpose robust sensor. The CGS500-300P has enhanced poison resistance and the CGS500-VQ41 is optimised for monitoring concentrations of ammonia and kerosene.




CGS500-IR NDIR Gas Sensor

- Temperature compensated
- Low drift
- Not affected by catalytic poisons
- Wheatstone Bridge (pellistor) compatible
- Sensor MTBF of 10 years
- Fast response time
- Rugged stainless steel body
- Detects most hydrocarbons
- Many accessories available
- ATEX II 2 G Exd IIC T6 Ta -40°C to +60°C

The CGS500-IR sensor is a NDIR (non dispersive infrared) sensor designed to replace thermocatalytic gas sensors for monitoring hydrocarbon gases in the range 0-100% LEL. The CGS500-IR-CO₂ is available to monitor CO₂ in the range 0-5%. Both sensors are available as sensor only or fitted in an Exe certified junction box.

The CGS500-IR uses advanced miniaturised NDIR technology combined with surface-mount microprocessor and firmware technology. A pulsed infrared source emits a broad spectrum infrared beam within an optical cavity. The system measures the absorption of infrared energy as it passes through a gas sample. Different gases have clearly defined absorption characteristics, their concentration can be determined by their absorption of infrared radiation at the wavelength determined by filter lambda 1 in the diagram.

To compensate for interfering factors filter lambda 2 isolates another wavelength which is used to measure the total transmission through the optical cavity and is not affected by the gas being monitored. By comparing the infrared energy reaching each of the two detectors, the concentration of the gas sample can be determined. The signal processor compares and linearises these two signals. A thermistor monitors the sensor temperature and the signal processor factors in variations caused by temperature changes.



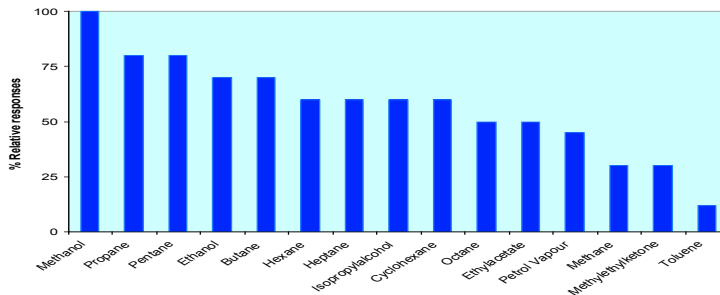
CGS500-300P & CGS500-300N Thermocatalytic Gas Sensor Specifications

Operating voltage and current	2.05Vdc \pm 0.05Vdc @ 300mA
Detection range	0-100% LEL
T90 response time	< 30 seconds
Stabilisation time	1 minute (preconditioning time, 1 hour)
Operating temperature range	-40°C to +60°C
Repeatability	\pm 3% LEL CH ₄ at 20°C
Zero drift	\pm 2% LEL CH ₄ per month at 20°C, S.T.P. continuous duty in air
Linearity	\pm 5% LEL CH ₄ at 20°C over range 0-100% LEL
Humidity range	5% to 95% RH non-condensing
Sensor bridge output	40mv at 100% LEL methane (typical)
Typical sensor life	3 to 5 years
Threads	Mounting thread: M25 X 1.5mm Accessory thread M42 x 1.5mm
Weight	Sensor: 400g Standard junction box: 300g
Size of junction box (excluding sensor)	W: 75mm, D: 58mm, H: 80mm
Electromagnetic Conformance (EMC)	Complies with EN50081 and EN50082
ATEX certification	II 2 G Exd IIC T6 -40°C to +60°C (Certificate No. BAS00ATEX2246X/1)

CGS500-IR-HC (CGS500-IR-CO₂) NDIR Gas Sensor Specifications

Operating voltage and current	3.8Vdc @ 100mA (Minimum operating voltage 3.0Vdc - maximum 5.0Vdc)
Detection range	0-100% LEL (CGS500-IR-CO ₂ also available to monitor 0-5% CO ₂)
T90 response time	< 30 seconds (<45 seconds for CGS500-IR-CO ₂)
Stabilisation time	1 minute (preconditioning time, 1 hour)
Operating temperature range	-30°C to +55°C
Repeatability	\pm 2% LEL CH ₄ at 20°C (\pm 0.1% CO ₂ at 20°C for CGS500-IR-CO ₂)
Drift	\pm 1% LEL CH ₄ per month at 20°C, S.T.P. continuous duty in air
Linearity	\pm 5% LEL CH ₄ at 20°C over range 0-100% LEL (\pm 0.25% for CGS500-IR-CO ₂)
Humidity range	5% to 95% RH non-condensing
Sensor bridge output	60mv at 100%LEL methane (60mV at 5% CO ₂ for CGS500-IR-CO ₂)
Sensor MTBF	10 years (calculations based on MIL-HDBK-217F)
Threads	Mounting thread: M25 X 1.5mm Accessory thread M42 x 1.5mm
Weight	Sensor: 420g Standard junction box: 300g
Size of junction box (excluding sensor)	W: 75mm, D: 58mm, H: 80mm
Electromagnetic Conformance (EMC)	Complies with EN50081 and EN50082
ATEX certification	II 2 G Exd IIC T6 Ta -40°C to +60°C (Certificate No. BAS00ATEX2246X/1)

CGS500-IR Relative Responses



For guidance only. Relative sensitivities may vary between sensors.

Wiring details
Red Active
Grey Junction
Black Reference

Monicon Technology Ltd
 Ballybrit Industrial Estate
 Monivea Road
 Galway
 Ireland

Tel: +353 91 752884
 Fax: +353 91 752886
 e-mail: sales@monicon.com
 web-site: www.monicon.com

CGS500-281111-1

Q Monicon 4-kanals Gassmonitor



- Individual voltage free relay contacts
- Advanced digital readout
- User programmable
- Low power consumption
- Built-in battery backup circuit
- Alarm inhibit during calibration
- Individual 4-20mA analogue outputs
- Extensive fault detection firmware
- Sealed to IP65 rating
- RS485 communications interface
- Remote reset and accept terminals

Digital Signal Processing

Monicon have pioneered a novel approach to significantly reduce false alarms by processing the sensor signal through an advanced analysis program in the microprocessor. Monicon's digital signal processing algorithms are an innovative approach to compensate for the undesirable effects of RFI, Humidity changes, EMI, pressure changes, vibration and electrical noise.

Automatic self-test

The microprocessor implements a comprehensive self-test routine, continually monitoring the system's performance and functionality. The self-test routine examines the integrity of the system's electronic circuitry, system software, sensor cabling, sensor signal, ancillary cabling etc. In the unlikely event of a fault, the digital display will indicate the nature of the condition in a user-friendly diagnostic mode.



The Monicon 4 Channel Gas Monitor is an innovative, cost effective, wall mounted unit. It is designed to operate in conjunction with the T100 toxic gas detector and the highly successful CGS500 combustible gas sensor to monitor a range of toxic gases, combustible gases and oxygen in a wide range of applications. It will also operate with an IR100 infrared gas detector.

The 4 Channel Gas Monitor is also compatible with a wide range of third party 4-20mA transmitters including temperature probes. The gas concentration is indicated on a 4-digit, 7-segment display while another 2-character alphanumeric display indicates instrument status. A third display indicates the active channel.

Simple to use and microprocessor controlled, the 4 Channel Gas Monitor is menu assisted and fully user programmable for alarm setpoints, relay options, range, sensor type, gas type and many other parameters in a user friendly manner offering unique flexibility and control over the system.

The Monicon 4 Channel Gas Monitor has a built-in battery trickle charger circuit and an optional 12V, 1.2AH rechargeable battery (sealed lead-acid type) may be fitted inside the enclosure to ensure uninterrupted operation in the event of a mains power failure.

Careful product design and rigorous product testing combined with a stringent ISO9002 quality assurance program at Monicon's state-of-the-art manufacturing facility ensure ultimate reliability.

The Monicon 4 Channel Gas Monitor offers a robust, easy to use, cost effective approach to providing an effective gas monitoring system where safety matters.

4 Channel Gas Monitor Specifications

Mechanical Specifications

Height	230mm
Width	300mm
Depth	110mm
Weight	3.5Kg (including optional 1.2AH battery, if fitted)
Mounting holes	4 holes, Ø4.2mm, spaced at 200mm (vert) 288mm (horz)

Environmental Specifications

Operating temperature	-18°C to +60°C (-18°C to +50°C if backup battery fitted)
Storage temperature	-40°C to +66°C
Humidity range	10%RH to 90%RH (Non-condensing)

Electrical Specifications

Supply voltage	230Vac ±10% (240Vac ±10% or 115Vac ±10% optional)
Power consumption	6W (Maximum rating 20W)
Mains fuse	2A T
Transformer secondary fuse	1A PCB mounted 5 x 20mm fuse
Battery fuse	1.5A PCB mounted, auto reset, PTC fuse
Sensor cables	3 core, screened, 0.5mm ² to 1.5mm ²
Relay contacts	SPDT, 250V, 3A each for A1, A2, Common A3 & FAULT (10 relays)
Analogue outputs	4-20mA into maximum 250 Ω for each channel
RS485 operating mode	Slave mode, half duplex, polled
Max. units on RS485 loop	25 controllers (100 channels)
RS485 communications parameters	1200-N-8-1
RS485 error checking	1 byte checksum
Unit interrogation time	40mS
Battery operation time	1.2AH battery: typically 2 hours with all 4 detectors fitted
Battery voltage	12V
Battery type	Sealed lead-acid
Combustible gas sensor type	Monicon CGS500 or compatible third-party sensor
Toxic gas sensor type	Monicon T100, or compatible 4-20mA transmitter
Stabilisation time	User selectable between 1 and 255 seconds
Annunciator output	2.5kHz, 84dB(A) @ 1m
Transient protection	PCB mounted Metal Oxide Varistor
Terminations	PCB headers & detachable terminal blocks up to for 1.5mm ² cable
Option setting	Digital setting (all options fitted as standard and user selectable)
Alarm setting	Digital setting (fully adjustable between 10% and 90% of full scale)
Alarm types	Energised/de-energised. Enrichment/deficiency. User selectable
Resolution	1%
Accuracy	5%
Full scale range	1.00 to 5000 (user selectable)
User variable storage	Non-volatile RAM (EEPROM)
Enclosure material	Two-piece, hinged, ABS or polycarbonate with neoprene gasket
Electromagnetic Conformance (EMC)	Complies with EN50081, EN50082 and EN50270
Literature supplied	30-page detailed instruction manual with wiring diagram

Monicon Technology Ltd
Ballybrit Industrial Estate
Monivea Road
Galway
Ireland

Tel: +353 91 752884
Fax: +353 91 752886
e-mail: sales@monicon.com
web-site: www.monicon.com

R Konversasjonsfaktor for mengdemålere



Variable Area Flowmeter Correction for Gas Flow

For use with size 8 meters (1/2") or larger

$$Q_{\text{Corrected}} = Q_{\text{Scale}} \times \text{Factor}$$

$$\text{Factor} = \sqrt{\left(\frac{SG_{\text{Scale}}}{SG_{\text{New}}}\right) \times \left(\frac{P_{\text{New}}}{P_{\text{Scale}}}\right) \times \left(\frac{T_{\text{Scale}}}{T_{\text{New}}}\right)}$$

$Q_{\text{Corrected}}$ = Flow at new conditions (units are corrected volumetric flow i.e. SCFH)

Q_{Scale} = Flow as indicated on flowmeter scale (same units as above)

SG_{Scale} = Specific gravity of gas on flowmeter scale

SG_{New} = Specific gravity of new gas

P_{New} = New operating pressure (psia)

P_{Scale} = Pressure on flowmeter scale (psia)

T_{New} = New operating temperature (°R)

T_{Scale} = Temperature on flowmeter scale (°R)

Absolute Scale Unit Conversions:

psia = psig+14.7

°R = °F + 460

S Fullstendige måleresultater

I denne seksjonen presenteres alle loggførte måleresultater fra forsøk på motorlaben i sin helhet. De er sortert slik at alle målinger for samme målepunkt er plassert i samme tabell, totalt fire tabeller.

Tabell A3: Måleresultater ved tester, ren diesel

Parameter	RefD1	RefD2	RefD3	RefD4	RefD5
NO _x [ppm]	878	870	872	864	869
CO [ppm]	264	291	286	284	282
SO ₂ [ppm]	3,5	4,2	4,0	6,6	5,3
CO ₂ [vol%]	5,56	5,55	5,56	5,53	5,5
O ₂ [vol%]	13,26	13,35	13,23	13,27	13,31
THC [ppm]	0,81	0,82	0,82	-	-
Metan [ppm]	0,01	0,02	0,02	-	-
Sot-tall	0,55	0,57	0,53	0,47	0,52
Dieselforbruk [g/sek]	0,208	0,205	0,207	0,201	0,202
Turtall [rpm]	1500	1500	1500	1500	1500
Eksostemperatur [°C]	297,5	297,5	297,9	298,2	298,0
Kjølevannstemperatur [°C]	76,1	76,1	76,2	78,2	76,2
Moment [Nm]	13,3	13,4	13,3	13,4	13,4
Romtemperatur [°C]	25,9	26,2	26,3	28,4	28,5
Romfuktighet [%]	20	20	20	20	20

- Noen verdier mangler på grunn av defekt måleutstyr

Tabell A4: Måleresultater ved tester, 25% propanerstatning

Parameter	25ErstC3T1	25ErstC3T2	25ErstC3T3
NO _x [ppm]	634	640	625
CO [ppm]	1508	1419	1477
SO ₂ [ppm]	21,0	20,8	21,9
CO ₂ [vol%]	5,17	5,18	5,16
O ₂ [vol%]	13,36	13,41	13,49
THC [ppm]	2120	2140	2190
Metan [ppm]	100	200	200
Sot-tall	0,32	0,32	0,25
Dieselforbruk [g/sek]	0,138	0,142	0,140
Turtall [rpm]	1500	1500	1500
Eksostemperatur [°C]	300,0	300,1	300,5
Kjølevannstemperatur [°C]	79,2	76,9	76,4
Moment [Nm]	13,4	13,4	13,4
Romtemperatur [°C]	26,9	27,1	27,2
Romfuktighet [%]	20	20	20
Propanforbruk [nl/h]	96	96	96
Propantemperatur [°C]	21	22	23

Tabell A5: Måleresultater ved tester, 50% propanerstatning

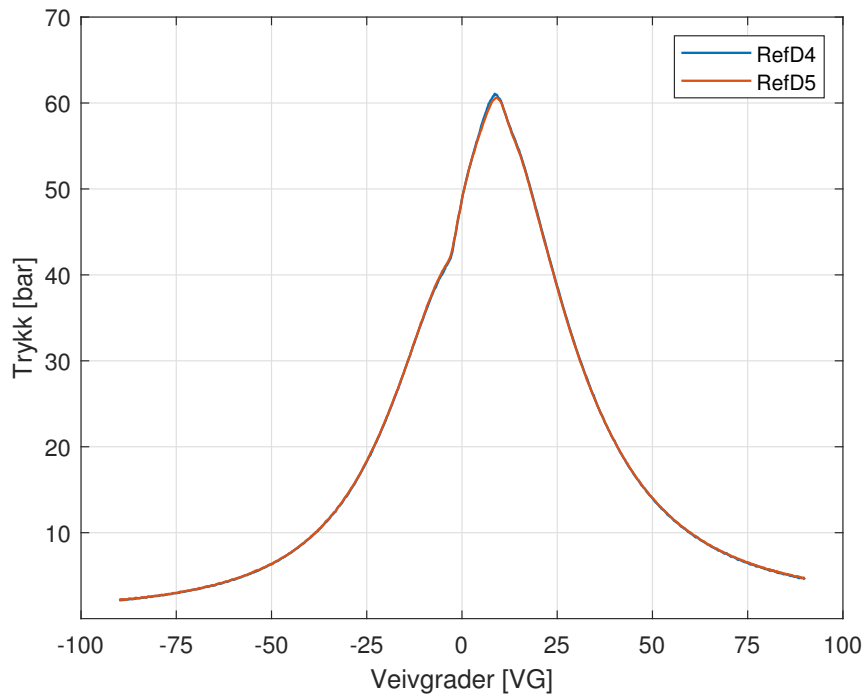
Parameter	50ErstC3T1	50ErstC3T2	50ErstC3T3
NO _x [ppm]	544	545	528
CO [ppm]	2124	2098	2142
SO ₂ [ppm]	37,3	37,7	38,1
CO ₂ [vol%]	4,83	4,85	4,83
O ₂ [vol%]	13,62	13,34	13,59
THC [ppm]	4110	4060	-
Metan [ppm]	400	500	-
Sot-tall	0,18	0,13	0,14
Dieselforbruk [g/sek]	0,097	0,093	0,093
Turtall [rpm]	1500	1500	1500
Eksostemperatur [°C]	297,7	298,3	298,7
Kjølevannstemperatur [°C]	79,3	75,8	76,3
Moment [Nm]	13,4	13,4	13,4
Romtemperatur [°C]	27,4	27,7	27,9
Romfuktighet [%]	20	20	20
Propanforbruk [nl/h]	200	200	200
Propantemperatur [°C]	23	23	23

- Noen verdier mangler på grunn av defekt måleutstyr

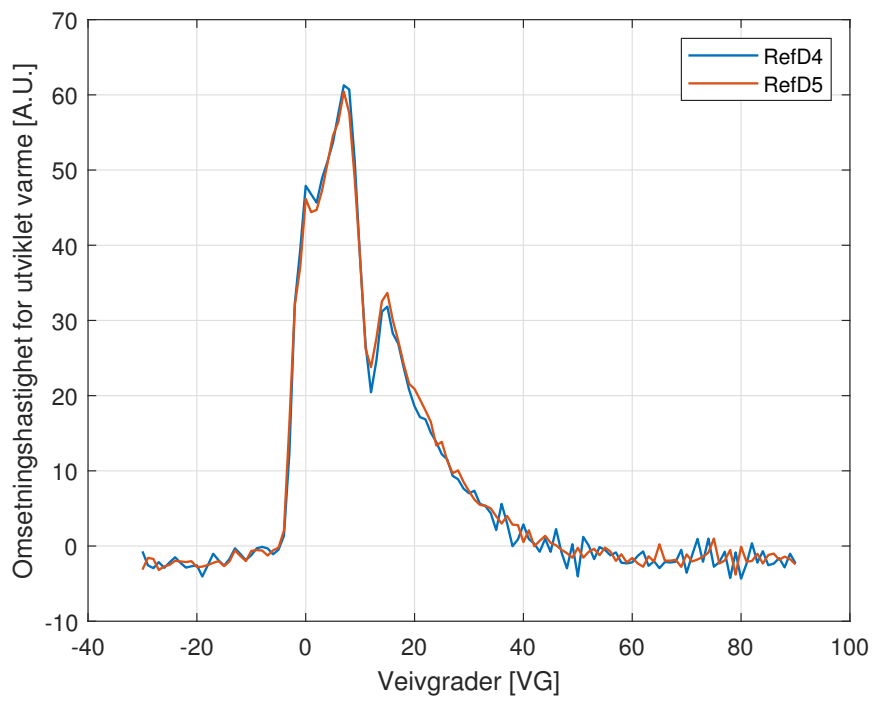
Tabell A6: Måleresultater ved tester, 75% propanerstatning

Parameter	75ErstC3T1	75ErstC3T2	75ErstC3T3	75ErstC3T4	75ErstC3T5
NO _x [ppm]	399	394	385	385	379
CO [ppm]	2270	2280	2294	2277	2285
SO ₂ [ppm]	58,2	58,9	60,1	59,4	59,7
CO ₂ [vol%]	4,69	4,68	4,62	4,64	4,62
O ₂ [vol%]	13,60	13,57	13,63	13,67	13,65
THC [ppm]	-	-	-	-	-
Metan [ppm]	-	-	-	-	-
Sot-tall	0,08	0,06	0,09	0,06	0,07
Dieselforbruk [g/sek]	0,056	0,058	0,055	0,058	0,057
Turtall [rpm]	1500	1500	1500	1500	1500
Eksostemperatur [°C]	308,5	308,7	308,7	306,3	306,4
Kjølevannstemp. [°C]	78,3	75,7	75,5	76,5	76,4
Moment [Nm]	13,4	13,4	13,3	13,4	13,4
Romtemp. [°C]	28,2	28,3	28,4	28,7	28,8
Romfuktig. [%]	20	20	20	20	20
Propanforbruk [nl/h]	288	288	288	288	288
Propantemp. [°C]	23	23	23	23	23

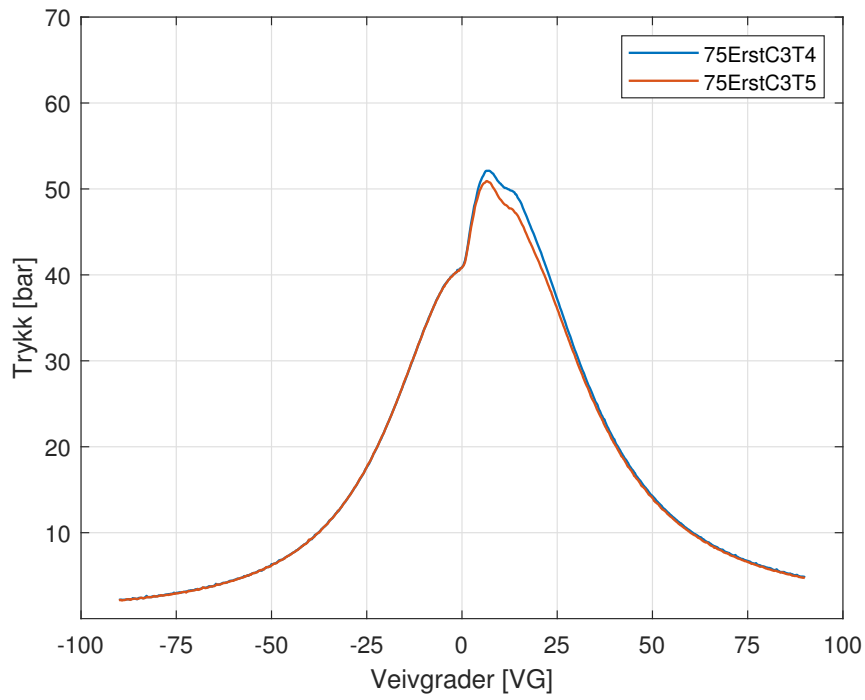
- Noen verdier mangler på grunn av defekt måleutstyr



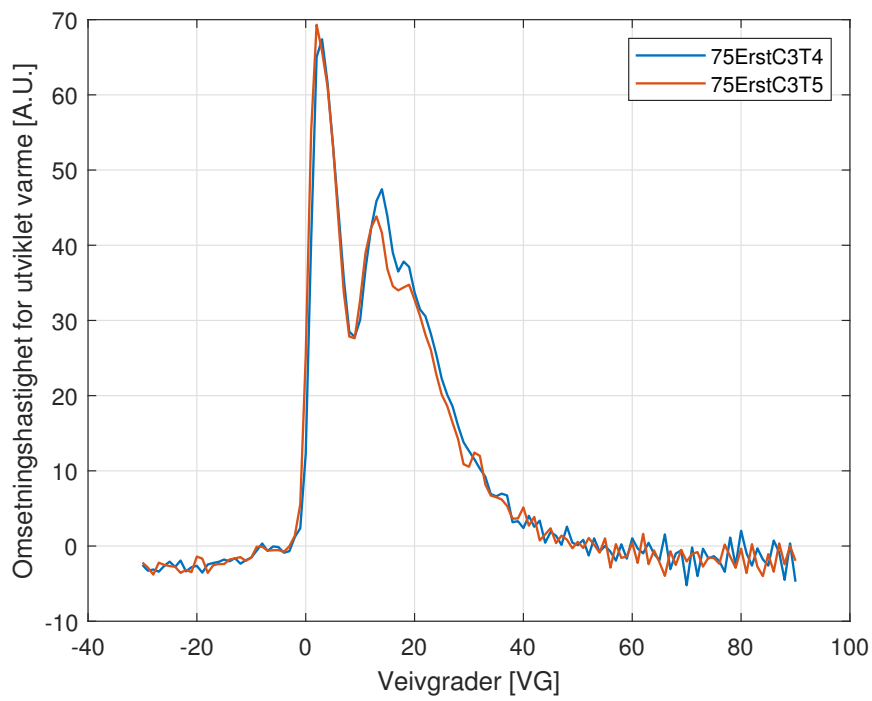
Figur A1: Trykkforløp ved forbrenning av RefD4 og Ref D5



Figur A2: Omsetningshastighet for utviklet varme, RefD4 og RefD5



Figur A3: Trykkforløp ved forbrenning av 75ErstC3T4 og 75ErstC3T5

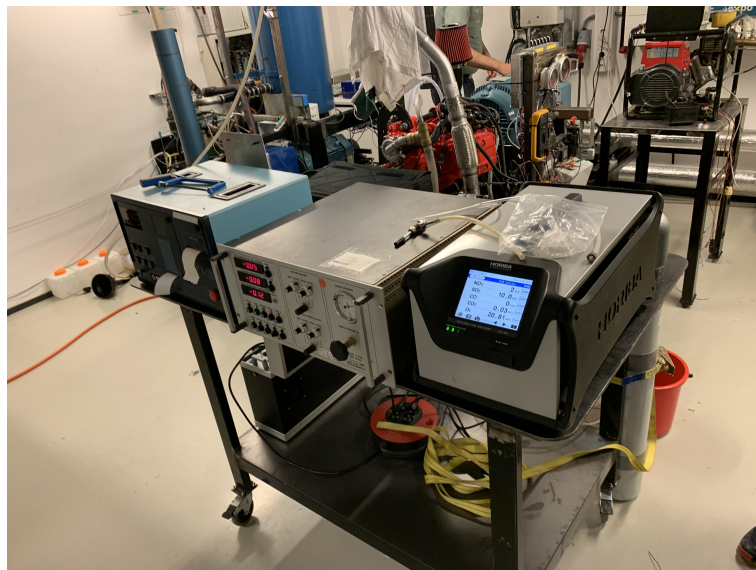


Figur A4: Omsetningshastighet for utviklet varme, 75ErstC3T4 og 75ErstC3T5

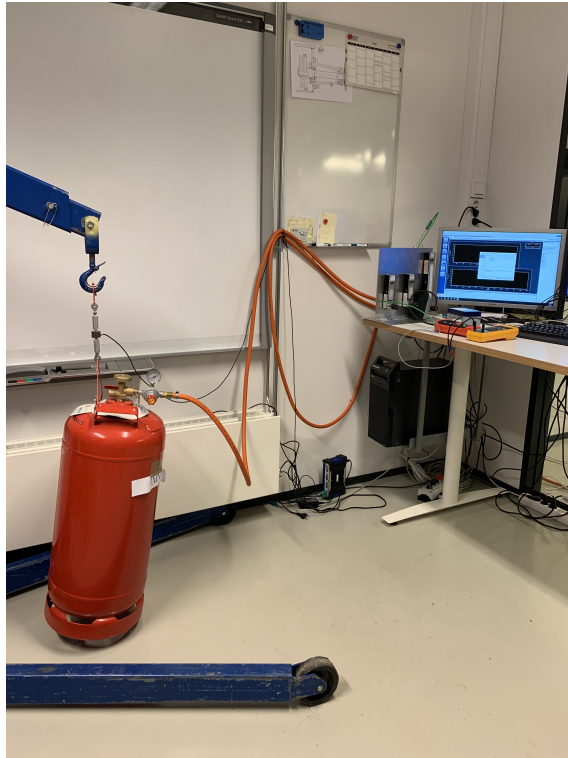
T Diverse bilder



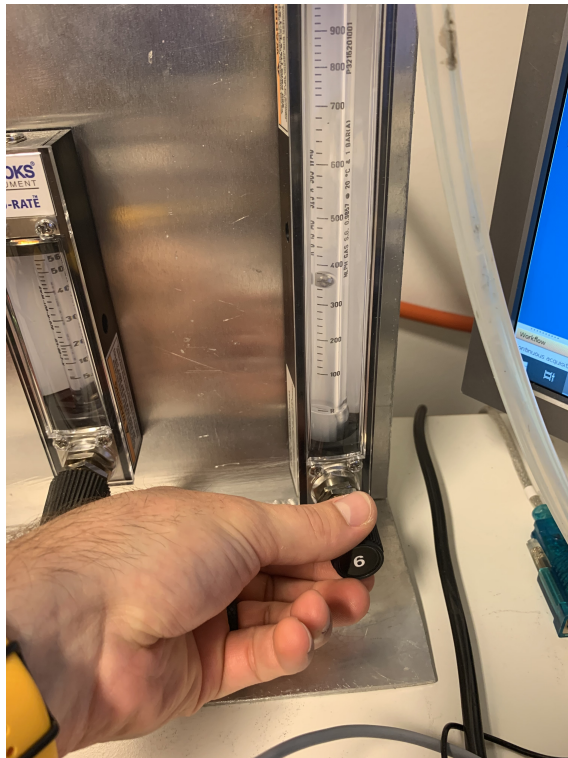
Figur A5: Petter diesel med tilkoblet propan (orange slange) og avgass til gasstørker (til høyre)



Figur A6: Måleinstrumenter ved testing, fra venstre: AVL 415 Smoke Meter, JUM FID 109A og Horiba PG350E.



Figur A7: Propantank tilkoblet strømningsmålere ved lab-PC



Figur A8: Justering av strømning gjennom Brooks 1350G, kule i søyle viser nivået.