

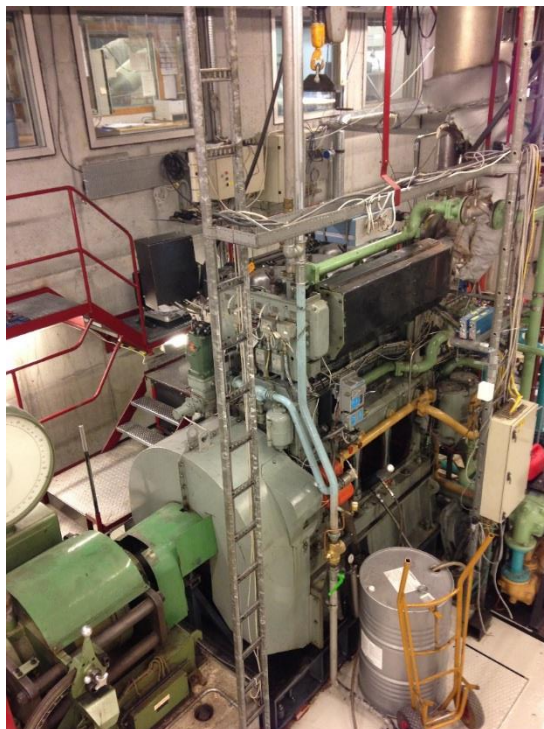
# Rapport

## Uttesting av 2G Polar biodrivstoff på marine dieselmotorer

**Forfatter(e)**

Dag Stenersen

Sergey Ushakov, Ingebrigt Valberg



## Rapport

# Uttesting av 2G Polar biodrivstoff på marine dieselmotorer

RAPPORTNR	VERSJON	DATO
302001917-1	1.0	2016-12-14

**EMNEORD:**  
Biodiesel ; MGO,  
motortest ; eksosutslipp  
; drivstofforbruk

**FORFATTER(E)**  
Dag Stenersen  
Sergey Ushakov, Ingebrigt Valberg

**OPPDRAGSGIVER(E)**  
NOx-Fondet

OPPDRAGSGIVERS REF.	ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
Tommy Johnsen	47 + vedlegg

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Restricted	Unrestricted	

### SAMMENDRAG

Det er gjennomført sammenligningstester på 2G Polar biodiesel med marine gassolje på to laboriemotorer i Marinteks laboratorium, en hurtigløpende Perkins diesel motor og en middels hurtigløpende Bergen KR3 diesel motor. Testene er gjennomført iht. ISO 8178-4 standard testsyklus.

Under tetene er det gjennomført målinger av avgassutslipp (NOx, THC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> og partikler) og drivstoff-forbruk. Basert på målingene er spesifikke sammenligningsverdier beregnet.

**UTARBEIDET AV**  
Dag Stenersen

**KONTROLLERT AV**  
Ingebrigt Valberg

**GODKJENT AV**  
Anders Valland

Dokumentet har gjennomgått MARINTEKs godkjeningsprosedyre og er sikret digitalt

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBEKRIVELSE</b>
1.0	2016-12-14	Endelig rapport

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Forkortelser og definisjoner .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Sammendrag og konklusjoner .....</b>	<b>6</b>
2.1	Sammendrag.....	6
2.2	Konklusjoner .....	9
<b>3</b>	<b>Innledning.....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Beskrivelse av testoppsett .....</b>	<b>10</b>
4.1	Motor og drivstoff .....	10
4.2	Måleparametere.....	11
4.3	Partikkelstørrelse og innhold.....	12
4.4	Testgjennomføring .....	12
4.5	Databehandling.....	13
4.6	Presentasjon av resultater .....	13
<b>5</b>	<b>Resultater fra Perkins motor .....</b>	<b>14</b>
5.1	Motorbelastning og turtall .....	14
5.2	Drivstofforbruk .....	14
5.3	CO2 utslipp.....	16
5.4	Avgassemisjoner, Perkins motor .....	18
5.4.1	NOx-utslipp, Perkins .....	18
5.4.2	CO-utslipp .....	20
5.4.3	THC-utslipp .....	22
5.4.4	Partikkelutslipp, Perkins .....	23
5.5	Oppsummering, Perkins-motor .....	26
<b>6</b>	<b>Resultater, Bergen KR3 motor .....</b>	<b>28</b>
6.1	Motorbelastning og turtall .....	28
6.2	Drivstofforbruk .....	28
6.3	CO2 utslipp.....	30
6.4	Avgassemisjoner, Bergen KR3 motor .....	31
6.4.1	NOx-utslipp, Bergen KR3 .....	31
6.4.2	CO-utslipp, Bergen KR3 .....	33
6.4.3	THC-utslipp, Bergen KR3 .....	35
6.4.4	Røyktall.....	37
6.5	Partikkelutslipp, Bergen KR3 .....	37
6.1	Oppsummering, KR3 –motor .....	39
<b>A</b>	<b>Spesifikasjon av 2G Polar .....</b>	<b>41</b>

<b>B</b>	<b>Spesifikasjon av MGO .....</b>	<b>44</b>
<b>C</b>	<b>Beskrivelse av partikkelmålinger og utstyr .....</b>	<b>45</b>

## BILAG/VEDLEGG

---

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

---

## 1 Forkortelser og definisjoner

4-T	Fire takts
µm	Mikro-meter, [1 µm =1000 nm]
2G Polar	Produktnavn, biodiesel
CO	Karbon monoksyd
CO2	Karbondioksyd
E2, E3	Standard testsykluser definert i ISO 8178
FSN	Filter smoke number, benevningsløst tall for angivelse av røyk fra motorer
g	gram
h	time
ISO 8178-4	Internasjonal standard for avgassmåling for forbrenningsmotorer
KR3	4-takst medium speed testmotor i MARINTEKs laboratorium
kW	kilowatt
MGO	Marine Gassolje
nm	Nano meter, (=1x10 <sup>-9</sup> m)
NOx	Nitrogenoksyd
O2	Oksygen
PM	Partikler (Particle matter)
PM 10	Partikkel med diameter < 10 µm
PM 2.5	Partikkel med diameter < 2.5 µm
ppm	Parts per million
SFOC	Specific Fuel oil consumption – Spesifikt drivstofforbruk
THC	Totale hydrokarboner

## 2 Sammendrag og konklusjoner

### 2.1 Sammendrag

Reduksjon av klimagassutslipp fra maritime transport har økende fokus, og et virkemiddel kan være å erstatte tradisjonell oljebasert drivstoff med biodrivstoff fra fornybare kilder. 2G polar er et slikt biodrivstoff som leveres til norske forbrukere av selskapet Eco-1. For å øke kunnskapen om dette drivstoffet har MARINTEK gjennomført motortester for å kartlegge og dokumentere utslippskomponenter til luft ved bruk av 2G Polar for derigjennom å bekrefte drivstoffets egenskaper og hvilke utslippsnivå som kan forventes for avgasskomponenter som NO<sub>x</sub>, CO, THC og PM ved bruk av dette produktet.

Prosjektet er finansiert av NO<sub>x</sub>-fondet og gjennomført i perioden april-september 2016.

Målsetningen for prosjektet var å kjøre motortester i MARINTEKs laboratorium for å sammenligne avgasemisjoner og drivstofforbruk ved drift på biodiesel med betegnelsen 2G Polar mot konvensjonell marin gassolje, (MGO) med lavt svovelinnhold som referansedrivstoff.

#### Testopplegg

Det ble gjennomført tester på 2 forskjellige dieselmotorer:

Motor 1: Perkins 2506 C, 420 kW, hurtigløpende 4-T motor

Motor 2: Bergen KR3, 500 kW medium speed 4-T motor

Standard testsyklus iht ISO 8178<sup>1</sup> ble benyttet. Det vil si at motorene ble kjørt iht. generatorkurve (E2-testsyklus) og propellerkurve (E3) testsyklus. Hver syklus består av fire testpunkter, (25-50-75-100% last) hvor 100%-punktene er sammenfallende. Totalt blir det derfor gjennomført målinger på 7 forskjellige driftspunkter for hver testserie.

Tilsammen fem testserier ble gjennomført for hver motor, to med MGO som drivstoff og tre med 2G Polar som drivstoff.

For hvert testpunkt ble det målt avgassutslipp, motorparametere og omgivelsesforhold som benyttes til å beregne sammenlignbare spesifikke verdier iht. standard testprosedyre som spesifisert i ISO 8178.

Testmatrise er beskrevet nedenfor:

---

<sup>1</sup> ISO 8178 – Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurements, (Part 1,2,4)

Målte verdier	Beregnete verdier
<b>Avgassutslipp</b>	
NO <sub>x</sub>	Spesifikke utslippsdata, g/kWh
CO	
CO <sub>2</sub>	
O <sub>2</sub>	
THC	
PM (masse)	
PM, (størrelse)	Konsentrasjon/cm <sup>3</sup>
Røyktall*	Røyktall-FSN (-)
<b>Motorrelaterte data</b>	
Drivstofforbruk	Motor ytelse Spesifikt drivstofforbruk Inndata til spesifikke utslippsberegninger
Motorturtall	
Motor dreiemoment	
<b>Omgivelseforhold</b>	
Atmosfærisk lufttrykk	Korreksjon av målte verdier standard referanseforhold
Relativ luft fuktighet	
Omgivelsestemperatur	

\*Kun for KR3 motor – FSN= Filter Smoke Number, (måleverdi for røyktall)

## Resultater

Resultater fra de gjennomførte testene er summert opp i tabellene nedenfor:

Sammenligningstestene som er kjørt på Perkinsmotor viser gjennomgående lavere utslipp for 2G Polar i forhold til drift på MGO.

Tabell 2.1 og Tabell 2.2 summerer opp gjennomsnittlige verdier for de ulike testene. Positive verdier angir reduserte utslipp for testene med 2G Polar som drivstoff sammenlignet ned MGO-drift og negative verdier angir økte utslipp.

Parameter	Relativ endring av spesifikke verdier, %		
	E2 syklus	E3 syklus	Gj.snitt for alle driftspunkt i E2 og E3
NO <sub>x</sub>	11,6 %	7,6 %	9,6 %
CO	10,8 %	-2,2 %	4,3 %
CO <sub>2</sub>	4,3 %	2,5 %	3,4 %
THC	24,8 %	37,3 %	31,1 %
SFOC	3,1 %	2,6 %	2,8 %
PM	37 %	29 %	33 %

**Tabell 2.1: Relativ endring i spesifikke verdier ved drift på 2G Polar sammenlignet med MGO, aritmetisk gjennomsnitt uten vekting for alle driftspunkt i E2 og E3 testsyklus, Perkins motor**



Parameter	Vektet endring i spesifikke forbruk og utslipp, %		
	E2-syklus	E3-syklus	Gj.snitt for E2 og E3
NOX	11,0 %	3,6 %	7,3 %
CO	-13,5 %	3,3 %	-5,1 %
CO2	4,7 %	4,3 %	4,5 %
THC	49,2 %	39,2 %	44,2 %
SFOC	2,6 %	2,4 %	2,5 %
PM	35 %	25 %	30 %

**Tabell 2.2: Relativ endring i spesifikke verdier, vektet iht ISO 8178, E2 og E3 testsyklus, Perkins motor**

Sammenligningstestene som er kjørt på Bergen KR3 medium speed motor viser samme tendens som testene på Perkins motoren med gjennomgående lavere utslipp for 2G Polar i forhold til drift på MGO. Også her angir positive verdier reduserte utslipp for testene med 2G Polar sammenlignet ned MGO-drift og negative verdier angir økte utslipp.

Tabell 2.3 og Tabell 2.4 summerer opp gjennomsnittlige verdier for de ulike testene.

Parameter	Relativ endring av spesifikke verdier, %		
	E2 syklus	E3 syklus	Gj.snitt for alle driftspunkt i E2 og E3
NOx	11,6 %	7,6 %	9,6 %
CO	10,8 %	-2,2 %	4,3 %
CO2	4,3 %	2,5 %	3,4 %
THC	24,8 %	37,3 %	31,1 %
SFOC	3,1 %	2,6 %	2,8 %
PM	41%	49%	45 %

**Tabell 2.3: Relativ endring i spesifikke verdier ved drift på 2G Polar sammenlignet med MGO, aritmetisk gjennomsnitt uten vektning for alle driftspunkt i E2 og E3 testsyklus, Bergen KR3 dieselmotor**

Parameter	Vektet endring i spesifikke forbruk og utslipp, %		
	E2-syklus	E3-syklus	Gj.snitt for E2 og E3
NOX	12,5 %	7,4 %	10,0 %
CO	5,8 %	-3,8 %	1,0 %
CO2	4,2 %	2,4 %	3,3 %
THC	25,0 %	38,0 %	31,5 %
SFOC	2,9 %	2,4 %	2,6 %
PM	41 %	49 %	45 %

**Tabell 2.4: Relativ endring i spesifikke verdier, vektet iht ISO 8178, E2 og E3 testsyklus, Bergen KR3 dieselmotor**

## 2.2 Konklusjoner

Motortestene som er gjennomført for å evaluere utslipp og forbruk ved bruk av biodiesel med betegnelse 2G Polar sammenlignet med bruk av ordinær marine gassolje (MGO) viser signifikante reduksjoner av målte avgassutslipp som NO<sub>x</sub>, THC, PM. Samtidig ser en reduksjon av spesifikt drivstofforbruk og CO<sub>2</sub>. Resultatene er entydig for begge motorer som er benyttet i testene.

For CO viser testene en liten økning for Perkins motor og ingen endring for Bergen KR3-motoren.

Gjennomsnittlige utslippsreduksjoner ved bruk av 2G polar sammenlignet med drift på MGO med basis i motortester iht ISO 8178-4 E2 og E3 test syklus kan dermed summeres opp som følger:

Parameter	Vektet endring i spesifikke forbruk og utslipp, %	
	Gj.snitt for E2 og E3, Perkins	Gj.snitt for E2 og E3, Bergen KR3
NOX	7,3 %	10,0 %
CO	-5,1 %	1,0 %
CO2	4,5 %	3,3 %
THC	44,2 %	31,5 %
SFOC	2,5 %	2,6 %
PM	30 %	45 %

På Bergen KR3 motoren ble det registrert reduksjon av røyktallet på alle lastpunkter ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med tester på MGO. Reduksjonen er relativt liten på fullast (12%) mens på lavere lastpunkter er det målt fra 28-50% reduksjon i røyktallet ved kjøring på 2G Polar.

## 3 Innledning

En ny type biodiesel tilbys nå i det norske markedet og det blir antydnet reduksjon i utlipp av NO<sub>x</sub> og andre avgasskomponenter ved bruk av drivstoffet. Produktet har betegnelsen "2G polar" og er levert av selskapet ECO 1 i Norge.

MARINTEK ble forespurt av DNVGL i januar 2016 om muligheter for å evaluere dette drivstoffet under kontrollerte forhold ved hjelp av motortester i MARINTEKs laboratorium. Med bakgrunn i forespørsel ble det utarbeidet et prosjektilbud med ulike opsjoner for gjennomføring. Målsetningen var å gjennomføre verifikasjonsmålinger som kan bekrefte drivstoffets egenskaper og hvilke utslippsnivå som kan forventes for regulerte avgasskomponenter som NO<sub>x</sub>, CO, THC og eventuelt PM ved bruk av dette produktet samt å evaluere spesifikt drivstofforbruk. Videre ble det foreslått å gjøre sammenligningstester med drift på marin gassolje, (MGO). MARINTEKs prosjektilbud ble senere fremlagt for NO<sub>x</sub>-fondet som ga positivt tilsagn til finansiering av prosjektet.

For å få et bredt datagrunnlag ble det gjennomført målinger på to forskjellige marine motorer, en hurtigløpende Perkins 2506 C og en medium speed Bergen KR3 motor. Det er antatt at disse gir en god representasjon av motorene som brukes i blant annet den norske fergeflåten. Det ble først gjennomført målinger for en referansetest med MGO som drivstoff, deretter ble det kjørt tre repeterende tester med 2G Polar biodiesel. Til slutt ble det gjort en verifikasjon av referansetesten med MGO. Alle tester ble utført ved MARINTEKs laboratorier på Marinteknisk Senter i Trondheim og i henhold til standard testsyklus beskrevet i ISO 8178.

## 4 Beskrivelse av testoppsett

### 4.1 Motor og drivstoff

Målinger ble foretatt på to ulike motorer, en Perkins hurtigløpende motor og en Bergen KR3 middels hurtigløpende (medium speed).

Motor modell	Perkins 2506 C	
Antall sylindere	6, rekke, 4 takter	
Totalt slagvolum	15	liter
Boring x slaglengde	137 x 171	mm
Kompresjonsforhold	16:1	
Maks effekt ved 1500 rpm	434	kW
Effekt ved 100% last i testoppsett*	345	kW

\*Pga motoren arrangement og reguleringssystem og generatorstørrelse ble 100% lastpunktet definert til 345 kW under testene.

**Tabell 4.1: Motordata, Perkins 2506 C**

Motor modell	Bergen KR3	
Antall sylindere	3, rekke. 4 takt	
Totalt slagvolum	44,2	liter
Boring x slaglengde	250 x 300	mm
Maks effekt ved 750 rpm	500	kW
Turtall	750-900	rpm

**Tabell 4.2: Motordata, Bergen KR3**

## Testdrivstoff

Biodrivstoffet ble levert av den norske leverandøren Eco-1. Spesifikasjon av 2G Polar er gitt i vedlegg A.

## Referansedrivstoff:

MGO levert av Olje og Energisenteret. Typisk spesifikasjon av MGO er gitt i vedlegg B

## 4.2 Måleparametere

Motorene er godt utstyrt med måleinstrument for overvåking av forskjellige motorparametere. Relevante måldata som benyttes direkte for beregninger av spesifikke forbruks- og utslippsverdier for motorene er:

- Brennløstetemperaturs og forbruk
- Ladeluftmengde og temperatur
- Motorturtall
- Dreiemoment/motorbelastning

For å registrere omgivelsesforhold ble det målt:

- Temperatur i motorrom
- Barometertrykk
- Relativ luftfuktighet

Målte motorparametere benyttes til å beregne motorens ytelse og spesifikt drivstofforbruk. **Tabell 4.3** viser instrumentliste benyttet for avgassanalyse.

Gass komponent	Måleenhet	Utstyr / åleprinsipp	Måleområde	Kommentar
NO <sub>x</sub>	ppm	Horiba PG-350/ CLD (Chemiluminescence method)	1000 ppm	
CO	ppm	Horiba PG-350/ NDIR (Non-Dispersive infrared method)	500 ppm	
CO <sub>2</sub>	%	Horiba PG-350/ NDIR (Non-Dispersive infrared method)	10 %	
O <sub>2</sub>	%	Horiba PG-350/ Paramagnetic method	25 %	
THC	ppm	JUM 3-200 / FID (Flame Ionization Detection method)	100 ppm	

**Tabell 4.3 – Instrumenter for analyse av avgass**

## Partikkelmåling

Partikkelmålingene ble gjort med tre forskjellige systemer, to systemer for å bestemme partikkel størrelsesfordeling og et system for å bestemme partikkelmasse.

Til å bestemme partikkel størrelsesfordeling ble det benyttet en "Electrical Low-Pressure Impactor (ELPI)" fra Dekati og en "Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)" fra TSI.

Massen av partikler i eksosen måles ved hjelp av en uttynningstunnel som oppfyller kravene til ISO 8178, (AVL Smart Sampler partial dilution system).

Nærmere beskrivelse av utstyr og metode er gitt i appendiks C.

## AVL røkgassmålinger

En liter eksos ble sugd gjennom et hvitt papirfilter. Mørkhetsgraden på papiret ble så automatisk avlest av en optisk avleser. Mørkhetsgraden angis med en verdi kalt filter smoke number (FSN). Måleren har god repeterbarhet og tallverdien gir en god indikasjon på hvor synlig eksosen er. (Kun benyttet på KR3 motor).

## Data innsamlingsystem

Prøvestanden er utstyrt med PC med et datainnsamlingsprogram basert på *LabView*. For avgassmålingene ble det benyttet PC med *DasyLab* programvare. Loggehastigheten var her 1 Hz.

Følgende data ble registrert manuelt:

- Barometertrykk
- Data fra uttynningstunnel

## **4.3 Partikkelstørrelse og innhold**

Nedenfor gis en kort beskrivelse av PM dannelse og innhold for å bedre forståelsen for partikkelmålingene som er gjennomført. Når det snakkes om luftkvalitet og partikler benyttes ofte begrepene PM 10 og PM 2.5, og tallverdiene her indikerer partikkeldiameteren ( $\mu\text{m}$ ) for de aktuelle partiklene.

Partikkelstørrelse og opprinnelse kan defineres som følger:

- Store partikler, diameter  $< 10\mu\text{m}$  : PM10
  - Støv, pollen, veg-støv, mineraler
- Små partikler, , diameter  $< 2.5\mu\text{m}$  : PM2.5
  - Forbrenningsprosess, små partikler fra vegstøv
- Ultra-små partikler, diameter  $< 100\text{ nm}$  : PM0.1
  - Forbrenningsprosess
- Nano partikler, diameter  $< 50\text{ nm}$ : PM0.05
  - Forbrenningsprosess

Størrelsesområde for dieselpartikler rapporteres i nanometer, og typisk dieselbrenning gir størst antall partikler i området 50-100 nm. Det betyr at de partikler som måles i avgassen er i kategorien ultra-små partikler.

## **4.4 Testgjennomføring**

Testene ble kjørt i henhold til standard testsyklus E2 og E3 som spesifisert i ISO 8178-4. Disse test-syklusene består hver av fire motorlastpunkter (moder), hvor det ble foretatt registrering av måledata for hver mode. Hver mode har en veiefaktor. Ved å benytte de ulike modenes veiefaktor og summere de veide verdiene kan en slik definere brennoljeforbruk og utslippsnivå for hver avgasskomponent med en tallverdi. Tabell 4.1 og 4.2 viser kjøresyklusene for E2 og E3.

Mode nummer:	1	2	3	4
Turtall:	Nominelt turtall			
Last (%):	100	75	50	25
Veiefaktor:	0,2	0,5	0,15	0,15

**Tabell 4.4 - Testsyklus E2 (generatorkurve)**

Mode nummer:	1	2	3	4
Turtall (%):	100	91	80	63
Ytelse (%):	100	75	50	25
Veiefaktor:	0,2	0,5	0,15	0,15

**Tabell 4.5 - Testsyklus E3 (propellerkurve)**

Testgjennomføringen var lik for begge motorene. Det ble først gjort tester med konvensjonell marin gassolje (MGO). Disse testene er kalt «referanse 1» i denne rapporten. Deretter ble det skiftet drivstoff, og motorene ble kjørt på 2G-polar biodiesel i tre repeterende tester. Testene med dette drivstoffet er beskrevet som «biodiesel 1,2 og 3» i rapporten. Til slutt ble det igjen kjørt tester med MGO for verifisere referansetestene, disse testene er betegnet «referanse 2».

For hvert driftspunkt ble motoren kjørt slik at stabile forhold ble observert før målinger startet. Målinger ble deretter gjennomført i ca. 10-15 minutter for hvert driftspunkt med en loggefrekvens på 1 Hz.

## 4.5 Databehandling

For hvert driftspunkt lagres en tidsserie av måledata fra alle instrumenter. Hver tidsserie er statistisk analysert, hvor det beregnes middelerdi av de respektive måledata. Målte motorparametere benyttes til å beregne ytelse og spesifikt forbruk for de respektive motorer.

Målte avgassdata legges inn i MARINTEK's akkrediterte regneark for å beregne spesifikke utslippsverdier.

## 4.6 Presentasjon av resultater

Laboratorieforsøkene er gjennomført som sammenligningstester for å vise forskjeller på ytelse og utslipp ved bruk av 2G polar sammenlignet med marine gassolje. I resultatpresentasjonen er det derfor benyttet gjennomsnittsdata for Referanse 1 og referanse 2 for MGO som sammenlignes med gjennomsnittsdata for de tre testene som er gjort med biodiesel.

Ved å kjøre repeterende tester fås bedre datagrunnlag og motorenes syklus-variasjoner vil kunne utlignes. Videre vil eventuelle feilmålinger kunne ekskluderes fra presentasjonsdata. Dette kan skje ved bortfall av måleparametere som ikke oppdages under selve testen, forurensinger i instrument eller filtre, etc. Hvis åpenbare feilmålinger er detektert ved gjennomgang av måledata etter at testene er gjennomført er enkeltmålinger utelatt fra gjennomsnittsberegningene og dette er kommentert i resultatpresentasjonen.

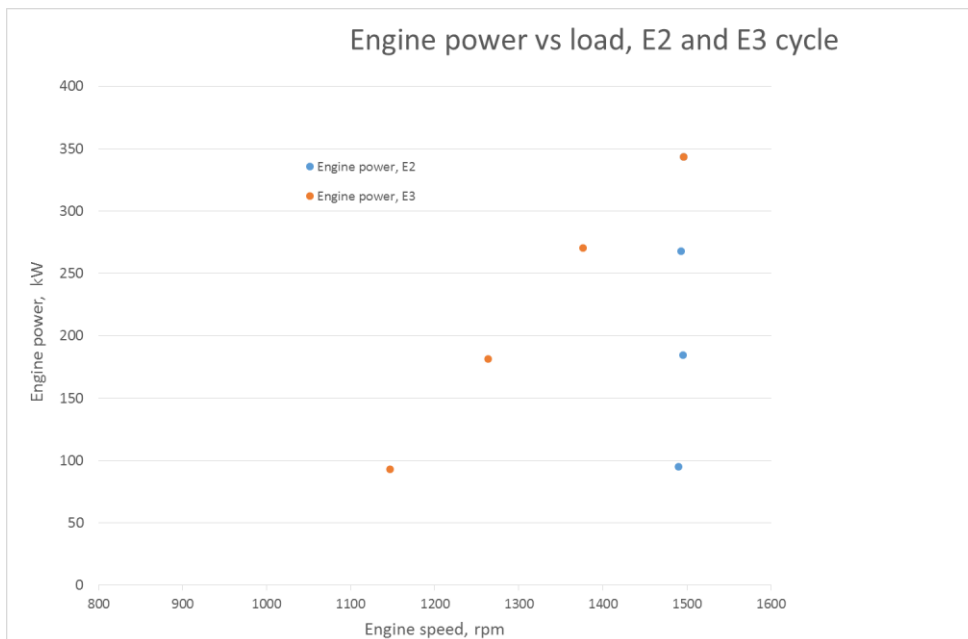
## 5 Resultater fra Perkins motor

### 5.1 Motorbelastning og turtall

Perkinsmotoren er installert som en del av et hybrid maskinerianlegg og koblet opp mot generator med et eget kontroll og reguleringssystem.

Ønsket lastpunkt gis som "set-punkt" i kontrollsystemet og motoren reguleres deretter inn for å gi riktig ytelse og belastning levert fra generator. Pga. tap i systemet er motorytelsen noe høyere enn "set-punktet".

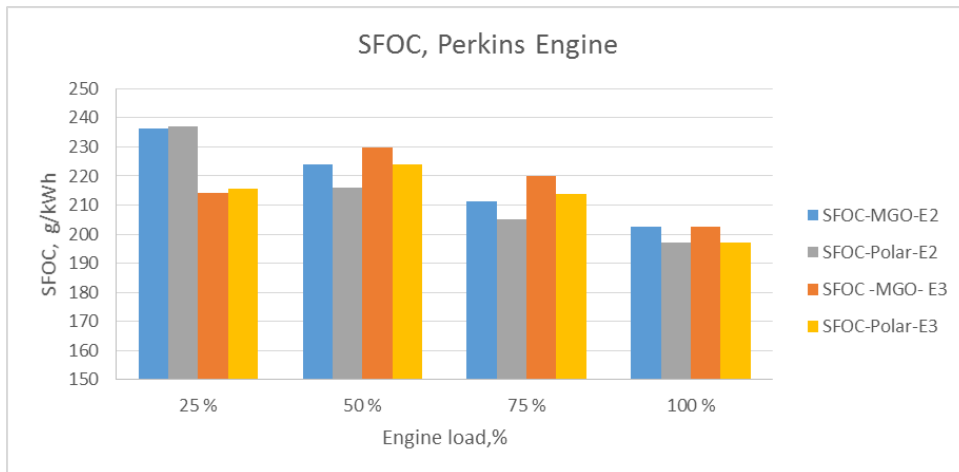
Figur 5.1 viser aktuell motorytelse og last for testene. (100% -lastpunktet for E2 og E3 testsyklus er sammenfallende).



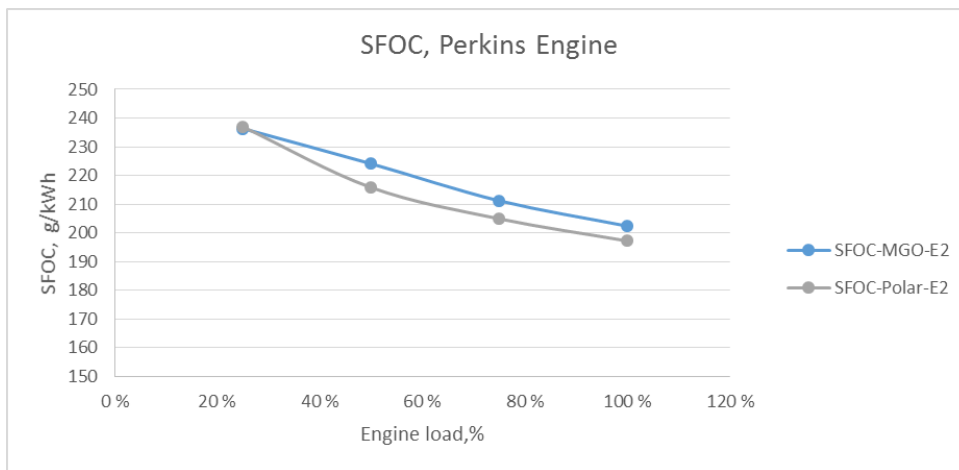
**Figur 5.1: Virkelig motorbelastning og turtall for Perkins motor, ISO 8178, E2 og E3 syklus.**

### 5.2 Drivstofforbruk

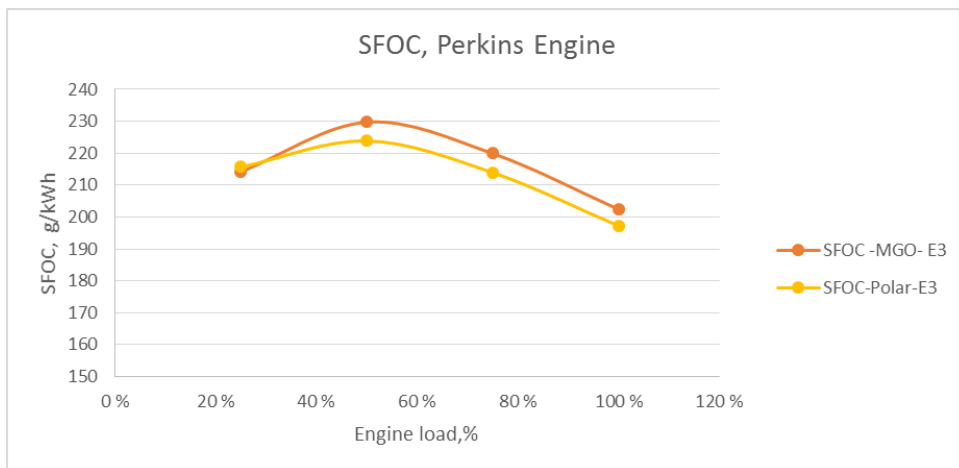
Drivstofforbruk måles med et flowmeter for hvert lastpunkt som kjøres. I tillegg måles motorturtall og dreiemoment for de aktuelle driftspunktene. Basert på målte verdier kan ytelse og spesifikt drivstofforbruk bestemmes.



**Figur 5.2** Spesifikt drivstofforbruk for definerte lastpunkt; 25, 50, 75 100% motorbelastning, E2 og E3 testsyklus. Sammenligning av MGO og 2G Polar.



**Figur 5.3** Spesifikt drivstofforbruk for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E2 testsyklus.





**Figur 5.4** Spesifikt drivstofforbruk for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E3 testsyklus.

Gjennomsnittstall for spesifikt drivstofforbruk er satt opp i Tabell 5.1.

SFOC, g/kWh	E2 syklus				E3 syklus			
	25	50	75	100	25	50	75	100
Last								
SFOC-MGO, g/kWh	236,4	224,1	211,2	202,4	214,2	229,7	219,9	202,4
SFOC-2G Polar, g/kWh	237,0	215,8	204,9	197,2	215,7	223,9	213,9	197,2
Endring SFOC, MGO-Polar, g/kWh	-0,6	8,3	6,3	5,2	-1,5	5,9	6,0	5,2
Endring SFOC, MGO-Polar, %	-0,3 %	3,7 %	3,0 %	2,6 %	-0,7 %	2,6 %	2,7 %	2,6 %
Gjennomsnitt endring, SFOC %	2,2 %				1,8 %			
Gjennomsnitt endring SFOC, alle driftspunkter, %	2,0 %							

**Tabell 5.1:** Gjennomsnitts drivstofforbruk for testene på Perkins motor.

Gjennomsnittlig ending i drivstofforbruk for polar 2G sammenlignet med MGO er beregnet som følger:

- Lavlast; 0,5% økning
- Øvrige punkter: 2,6% - 3,7% reduksjon
- Gjennomsnitt alle driftspunkter, 2% reduksjon

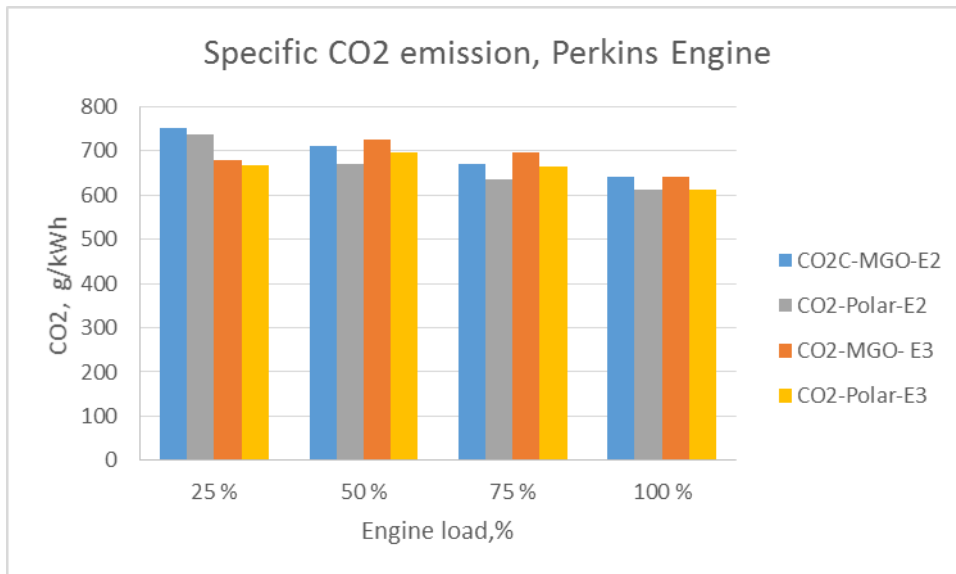
Vektet drivstofforbruk iht ISO 8178 E2 og E3 testsyklus viser en reduksjon på henholdsvis 2,6 og 2,4 % ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO. Gjennomsnittstall for begge sykluser viser reduksjon på 2,5% ved kjøring på 2G Polar.

### 5.3 CO2 utslipp

To forhold virker inn på utslipp av CO2 fra en forbrenningsmotor:

- Drivstoff sammensetning, dvs hydrogen-karbon forholdet i drivstoffet
- Spesifikt drivstofforbruk , (dvs motorens virkningsgrad)

Fra drivstoffanalysene ser en at 2G Polar har et høyere hydrogen-karbon forhold enn MGO. Dette vil dermed bidra til lavere CO2-utslipp ved forbrenning.



**Figur 5.5: Spesifikke CO2-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75 100% motorbelastning, E2 og E3 testsyklus. Sammenligning av MGO og 2G Polar (Perkins motor).**

CO2, g/kWh	E2 syklus				E3 syklus				
	Last, %	25	50	75	100	25	50	75	100
CO2-MGO, g/kWh		750,7	709,9	669,2	641,4	679,8	725,2	696,7	641,4
CO2-2G Polar, g/kWh		736,3	669,4	636,2	613,1	668,1	696,4	664,6	613,1
Endring CO2, MGO-Polar, g/kWh		14,4	40,5	33,0	28,3	11,7	28,7	32,1	28,3
Endring CO2, MGO-Polar, %		1,9 %	5,7 %	4,9 %	4,4 %	1,7 %	4,0 %	4,6 %	4,4 %
Gjennomsnitt endring, CO2 %		4,2 %				3,7 %			
Gjennomsnitt endring CO2, alle driftspunkter, %		4,0 %							

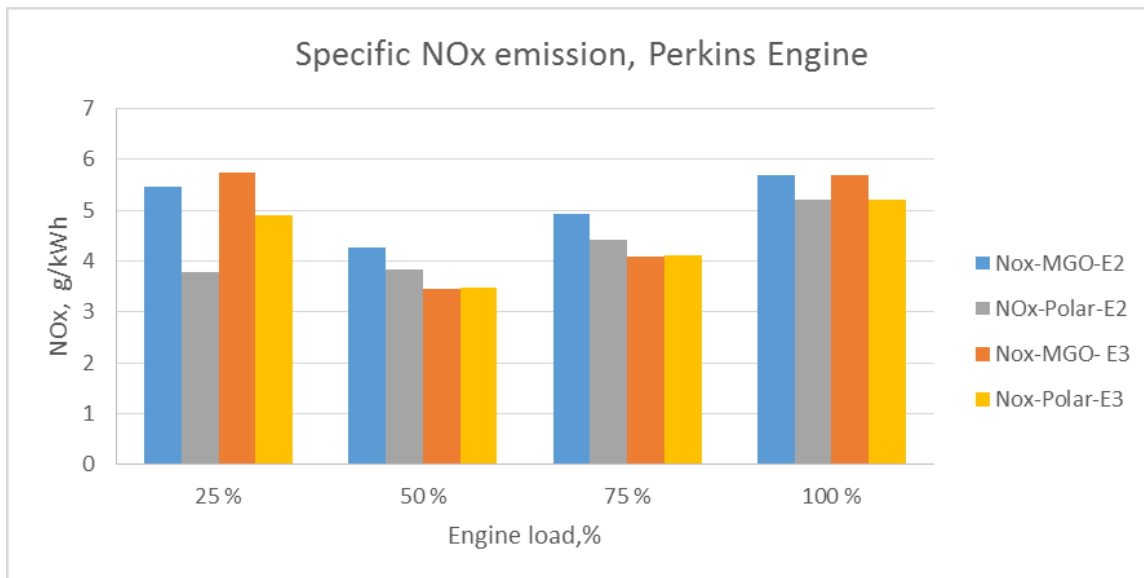
**Tabell 5.2: Gjennomsnitt CO2-utslipp for testene på Perkins motor.**

Beregning av vektet spesifikt CO2-utslipp iht. E2 og E3 testsyklus viser en reduksjon på henholdsvis 4,7 og 4,3 % ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO.

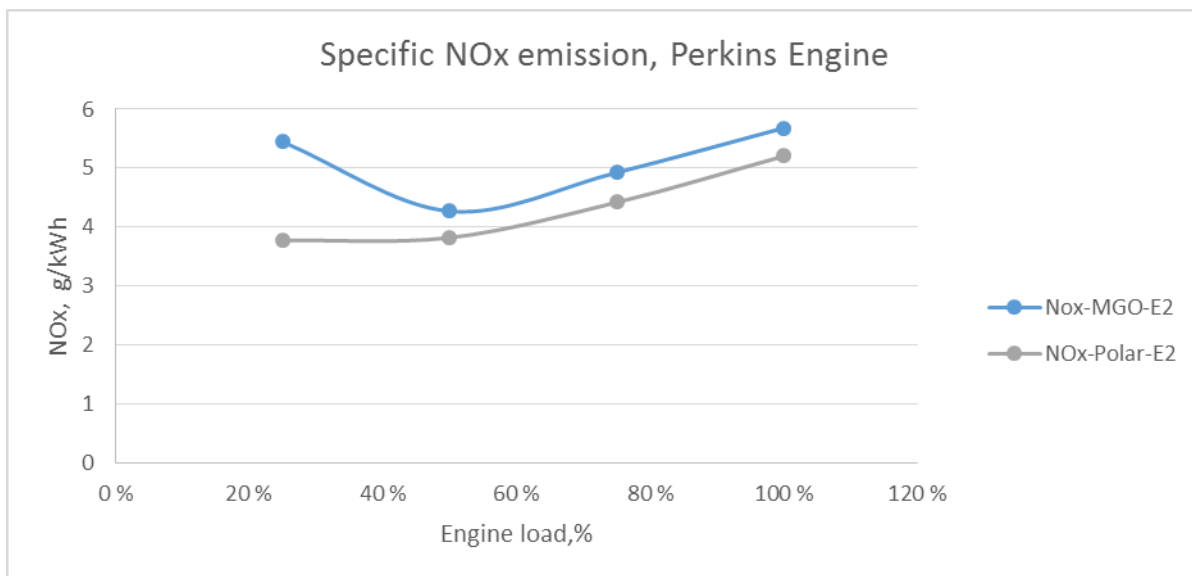
## 5.4 Avgassemisjoner, Perkins motor

I dette kapitlet presenteres resultater fra målinger av avgassutslipp (NOx, CO og THC) fra Perkins motoren.

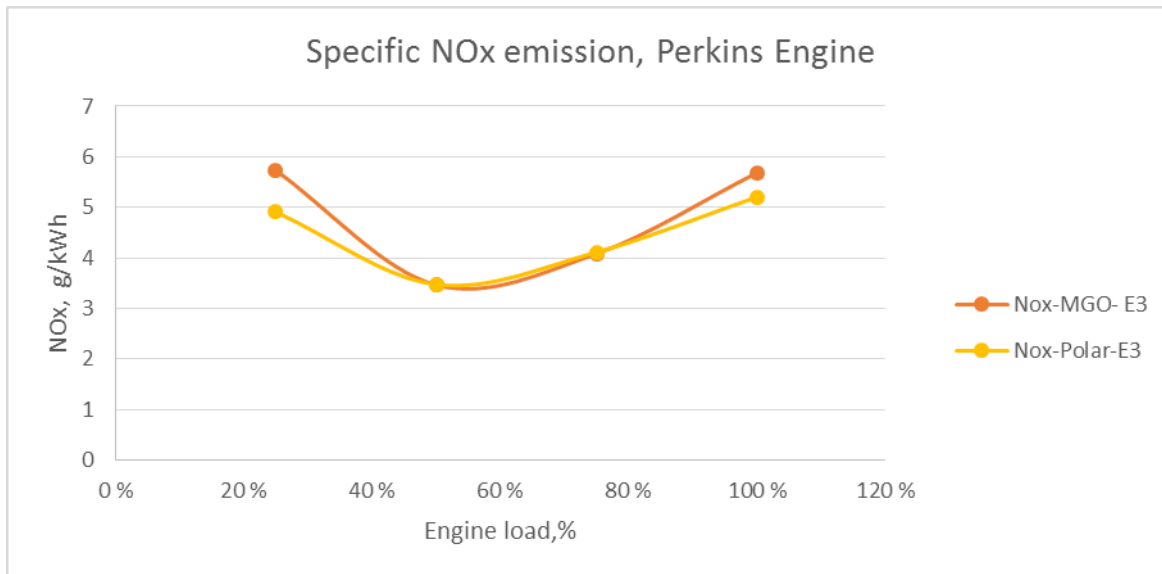
### 5.4.1 NOx-utslipp, Perkins



**Figur 5.6:** Spesifikke NOx- utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75 100% motorbelastning, E2 og E3 testsyklus. Sammenligning av MGO og 2G Polar. Perkins motor.



**Figur 5.7** Spesifikt NOx-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E2 testsyklus.



Figur 5.8 Spesifikt NOx-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E3 testsyklus.

Gjennomsnittstall for spesifikt NOx-utslipp er satt opp i Tabell 5.3

NOx, g/kWh	E2 syklus				E3 syklus				
	Last, %	25	50	75	100	25	50	75	100
NOx-MGO, g/kWh		5,45	4,27	4,93	5,68	5,73	3,46	4,08	5,68
NOx-2G Polar, g/kWh		3,77	3,82	4,42	5,20	4,91	3,47	4,11	5,20
Endring NOx, MGO-Polar, g/kWh		1,68	0,45	0,51	0,48	0,82	-0,01	-0,03	0,48
Endring NOx, MGO-Polar, %		31 %	10 %	10 %	8 %	14 %	0 %	-1 %	8 %
Gjennomsnitt endring, NOx %		15,0 %				5,4 %			
Gjennomsnitt endring NOx, alle driftspunkter, %		10,2 %							

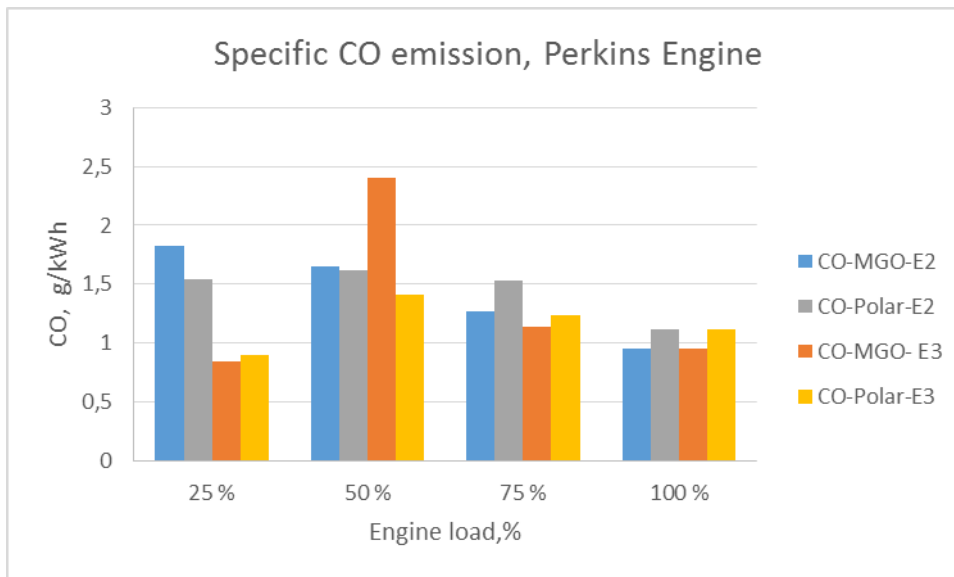
Tabell 5.3: Gjennomsnittspesifikke NOx-utslipp for testene på Perkins motor.

Gjennomsnittlig endring i NOx-utslipp for 2G Polar sammenlignet med MGO er beregnet som følger:

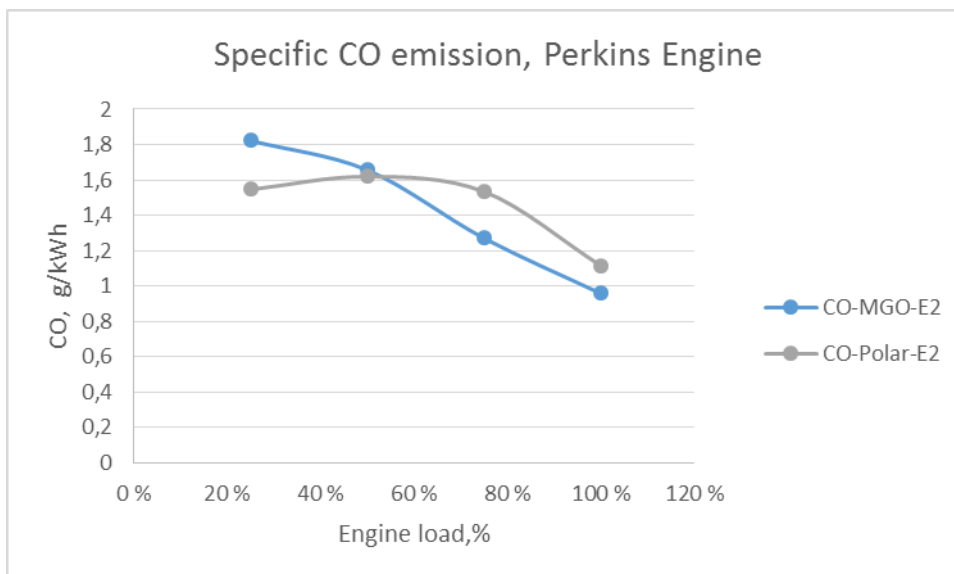
- Lavlast; 22% reduksjon
- Øvrige punkter: Fra 1% økning til 10% reduksjon
- Gjennomsnitt alle driftspunkter, 10 % reduksjon

Beregnet vektet NOx-utslipp iht E2 og E3 testsyklus viser en reduksjon på henholdsvis 11 og 3,6 % ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO. Gjennomsnittlig for E2 og E3 test syklus reduseres NOx med 7,3%.

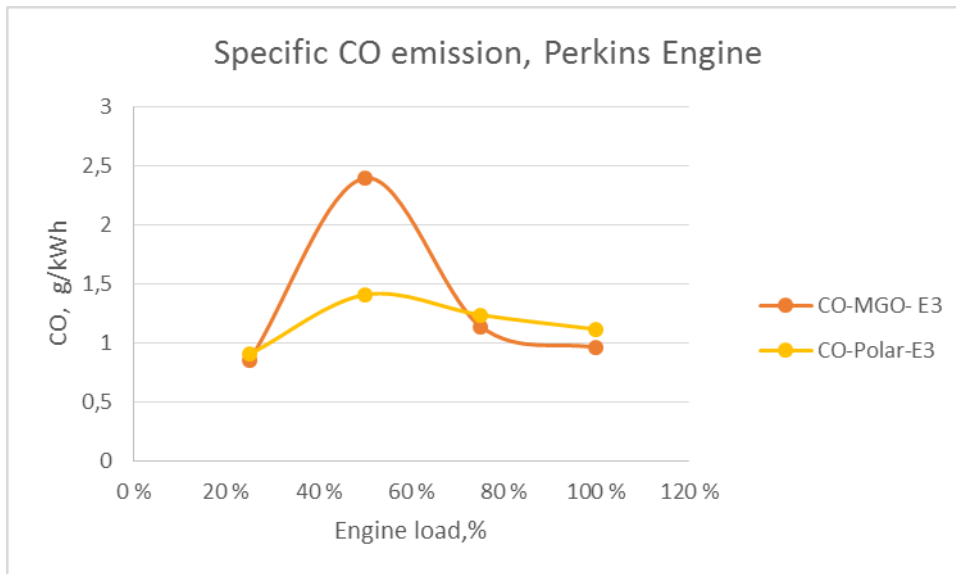
## 5.4.2 CO-utslipp



**Figur 5.9: Spesifikke CO-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75 100% motorbelastning, E2 og E3 testsyklus. Sammenligning av MGO og 2G Polar. Perkins motor.**



**Figur 5.10 Spesifikt CO-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E2 testsyklus.**



**Figur 5.11** Spesifikt CO-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E3 testsyklus.

CO, g/kWh	E2 syklus				E3 syklus				
	Last, %	25	50	75	100	25	50	75	100
CO-MGO, g/kWh		1,82	1,66	1,27	0,96	0,85	2,40	1,14	0,96
CO-2G Polar, g/kWh		1,55	1,62	1,53	1,11	0,90	1,41	1,24	1,11
Endring CO, MGO-Polar, g/kWh		0,28	0,04	-0,26	-0,16	-0,05	0,99	-0,10	-0,16
Endring CO, MGO-Polar, %		15,1 %	2,2 %	-20,7 %	-16,3 %	-6,4 %	41,3 %	-8,6 %	-16,3 %
Gjennomsnitt endring, CO %		-4,9 %				2,5 %			
Gjennomsnitt endring CO, alle driftspunkter, %		-1,2 %							

**Tabell 5.4:** Gjennomsnittsspesifikke CO-utslipp for testene på Perkins motor.

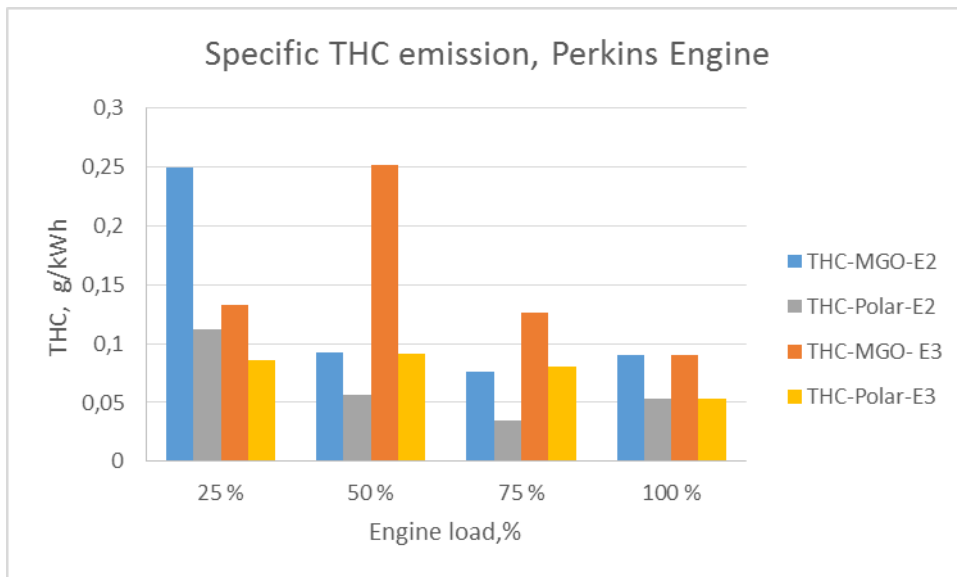
Gjennomsnittlig endring i CO-utslipp for 2G Polar sammenlignet med MGO viser ingen entydig sammenheng for motorens ulike driftspunkter og det observeres både økning og reduksjon ved 25% last avhengig av testsyklus.

For 50% lastpunktet ser en at CO-utslippene ved MGO drift øker dramatisk. Dette forklares med innstillinger i motorens kontrollsystem for optimalisering av NOx-utslipp. På dette driftspunkter får en også betydelig økning i spesifikt drivstofforbruk og høye THC-utslipp.

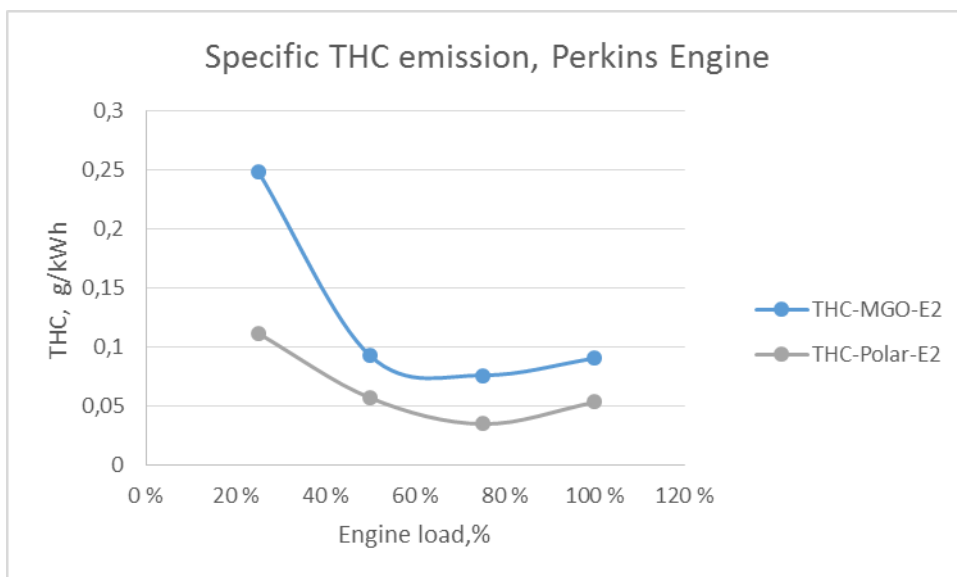
- Lavlast; Fra 6 % økning til 15 % reduksjon
- Øvrige punkter: Fra 21% økning til 41% reduksjon
- Gjennomsnitt alle driftspunkter, 1 % økning

Beregnet vektet CO-utslipp iht E2 testsyklus viser en økning på 5% ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO, mens iht E3 testsyklus beregnes en reduksjon på 2,5% ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO. Gjennomsnittlige tall for E2 og E3 testsyklus gir en økning på 1% i CO –utslippene.

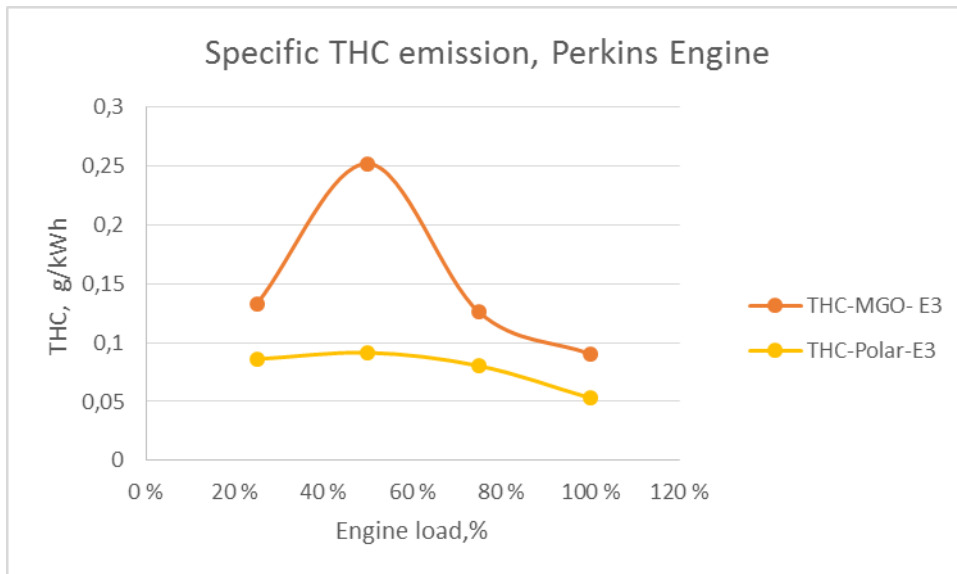
## 5.4.3 THC-utslipp



**Figur 5.12: Spesifikke THC-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75 100% motorbelastning, E2 og E3 testsyklus. Sammenligning av MGO og 2G Polar. Perkins motor.**



**Figur 5.13 Spesifikt THC-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E2 testsyklus.**



**Figur 5.14** Spesifikt THC-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E3 testsyklus.

THC, g/kWh	E2 syklus				E3 syklus			
	25	50	75	100	25	50	75	100
Last	25	50	75	100	25	50	75	100
THC-MGO, g/kWh	0,249	0,092	0,076	0,090	0,133	0,252	0,126	0,090
THC-2G Polar, g/kWh	0,111	0,057	0,035	0,053	0,086	0,091	0,080	0,053
Endring THC, MGO-Polar, g/kWh	0,137	0,036	0,041	0,037	0,047	0,160	0,045	0,037
Endring THC, MGO-Polar, %	55,2 %	38,6 %	54,5 %	41,3 %	35,3 %	63,7 %	36,1 %	41,3 %
Gjennomsnitt endring, THC %	47,4 %				44,1 %			
Gjennomsnitt endring THC, alle driftpunkter, %	45,7 %							

**Tabell 5.5:** Gjennomsnittspesifikke THC-utslipp for testene på Perkins motor.

THC utslippet ved kjøring på 2G Polar viser en reduksjon på alle lastpunkter på ca. 35-60%. Gjennomsnittlig reduksjon for alle lastpunkt er beregnet til 46%.

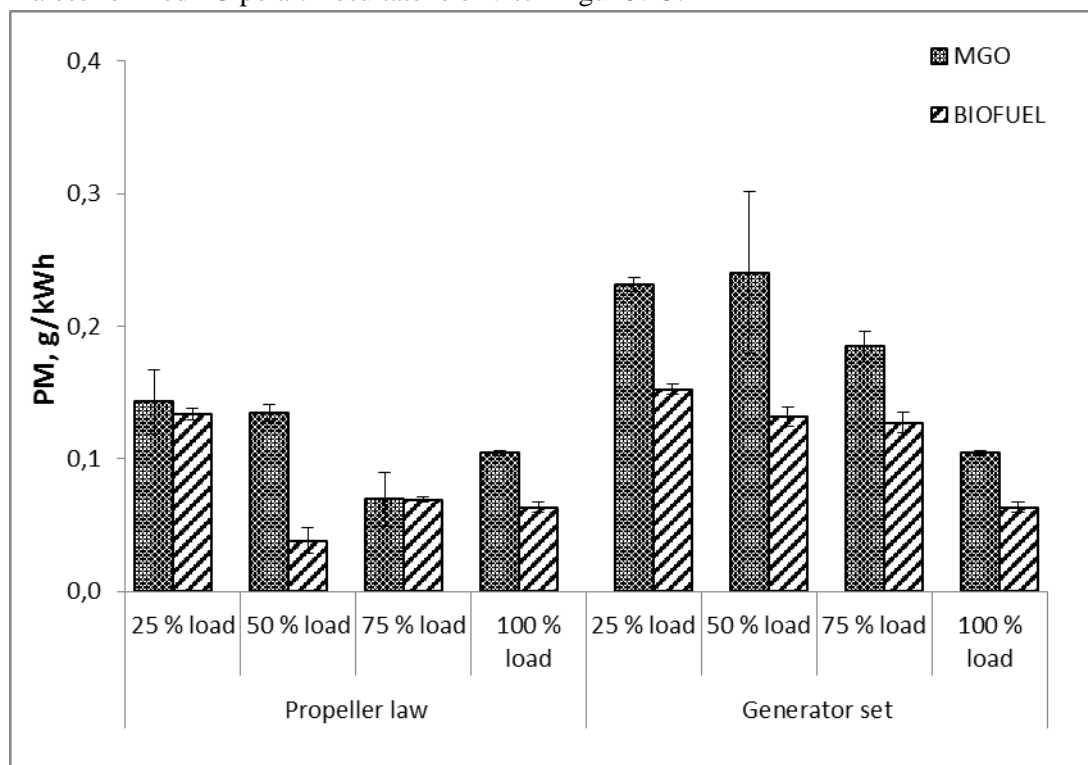
Beregnet vektet THC-utslipp iht. ISO 8178 E2 og E3 testsyklus viser en reduksjon på henholdsvis 47 og 44 % ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO. Gjennomsnittlige tall for E2 og E3 testsyklus gir en reduksjon på 44% i THC-utslippene

#### 5.4.4 Partikkelutslipp, Perkins

Det er gjennomført målinger av partikkelutslipp med to forskjellige instrumenter. Nedenfor presenteres resultatene fra gjennomførte målinger, hvor partikkel masse, konsentrasjon og størrelsesfordeling er blitt kartlagt.



For partikkelmasse (g/kWh) er det sammenlignet gjennomsnittstall fra to måleserier med MGO og tre måleserier med 2G polar. Resultatene er vist i Figur 5.15.



**Figur 5.15: Spesifikke partikkelutslipp, g/kWh for ulike lastpunkt, E2 (generator) og E3 (propellkurve) test syklus. Perkins motor.**

Fra Figur 5.15 ser en at spesifikke partikkelutslipp reduseres for all lastpunkter ved drift på 2G Polar.

Beregning av spesifikke utslipp vektet iht E2 og E3 testsyklus er satt opp i

**Tabell 5.6.**

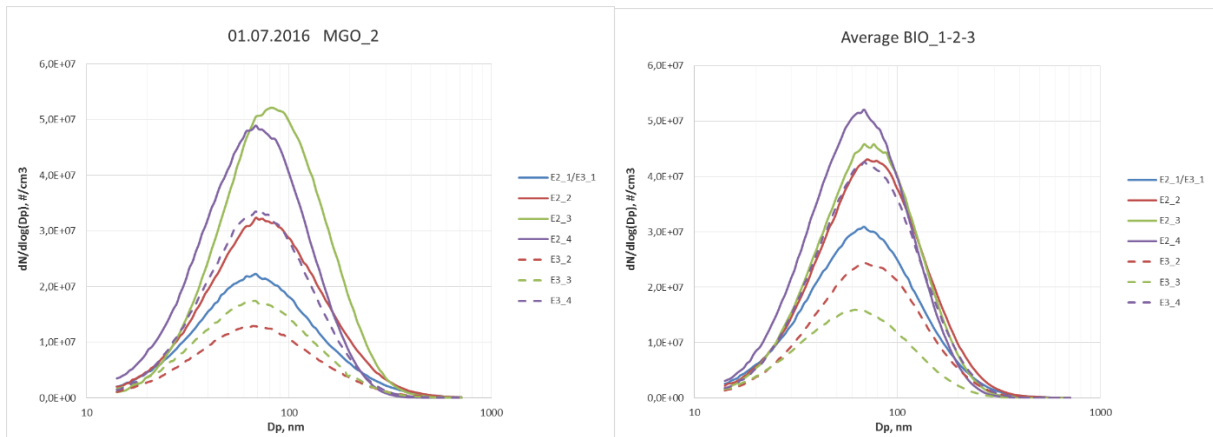
	MGO E2	Polar E2	MGO E3	Polar E3
PM, g/kWh	0,173	0,112	0,091	0,068
Reduksjon, g/kWh	0,060		0,023	
Reduksjon, %	35 %		25 %	
Gjennomsnitt reduksjon, alle driftspunkt, %	30 %			

**Tabell 5.6: Sammenligning av spesifikke PM-utslipp, 2G Polar og MGO drift vektet iht E2 og E3 test syklus.**

Gjennomsnittlig reduksjon av spesifikke PM utslipp ved bruk av 2G Polar sammenlignet med MGO-drift vektet iht E2 og E3 testsyklus er beregnet til henholdsvis 35% og 25 %.

Partikkel størrelsesfordelingen er også målt.

Første referansetest for MGO ble gjennomført med for lav uttynningsgrad og disse målingene er derfor ikke brukt i videre analyser. For partikkel størrelsesfordeling er derfor kun referansetest 2 for MGO benyttet til sammenligning av gjennomsnittsmålinger for tre måleserier med 2G Polar. Resultater er for målinger av partikkel størrelsesfordeling er presentert nedenfor. (Data fra SMPS-måler).

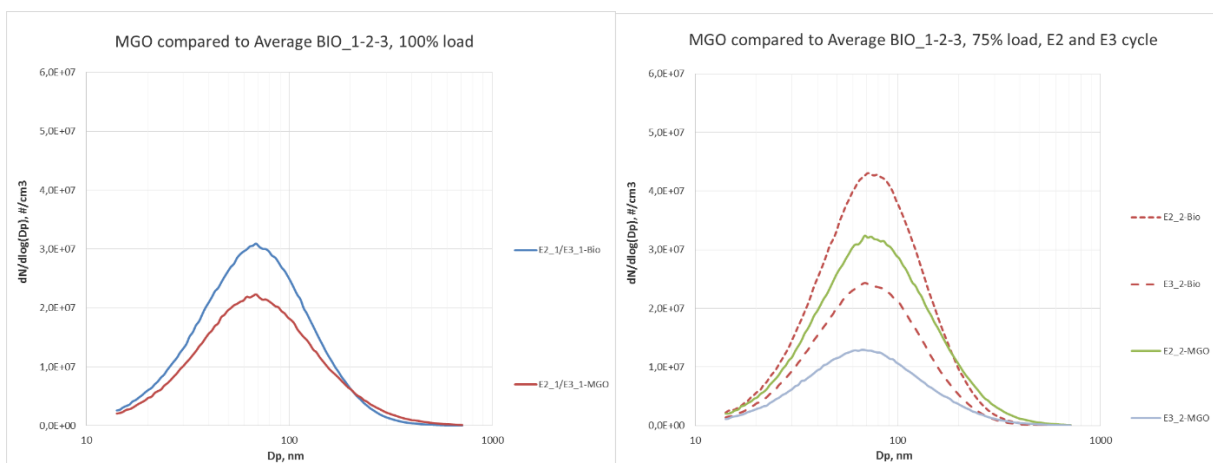


**Figur 5.16: Partikkel størrelsesfordeling, MGO, (venstre) og gjennomsnitt for 2G Polar. X-aksen angir partikkeldiameter, i nanometer, (nm), Y-aksen angir konsentrasjonen av partikler per  $\text{cm}^3$ . Data fra SMPS-måler.**

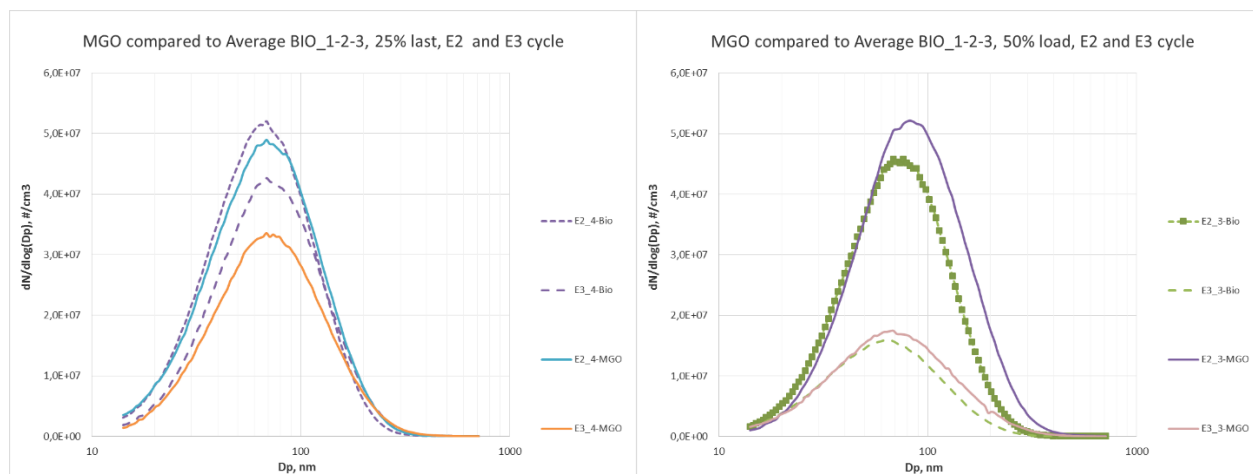
Partikkel størrelsesfordelingen viser et forløp som er typisk for diesel forbrenning for begge drivstoff. I figuren er navn på kurvene referert til aktuelt driftspunkt på motoren:

- E2\_1/E3\_1: 100% last, testsyklus E2 og E3
- E2\_2: 75% last, testsyklus E2
- E2\_3: 50% last, testsyklus E2
- E2\_4: 25% last, testsyklus E2
- E2\_3: 75% last, testsyklus E3
- E2\_2: 75% last, testsyklus E3
- E2\_3: 50% last, testsyklus E3
- E2\_4: 25% last, testsyklus E3

Høyest konsentrasjon finner en for partikler med diameter 60-80 nm (nanometer) og dette gjelder for begge drivstoff som er testet. For videre sammenligning av partikkelkonsentrasjonen for biodrivstoff og MGO er det valgt å plote data for de enkelte driftspunktene i samme plot.



**Figur 5.17: Partikkel størrelsesfordeling. Sammenligning av MGO og gjennomsnitt for 2G Polar for spesifiserte driftspunkt 100 og 75% last. X-aksen angir partikkeldiameter, i nanometer, (nm), Y-aksen angir konsentrasjonen av partikler per  $\text{cm}^3$ . Data fra SMPS-måler.**



**Figur 5.18: Partikkel størrelsesfordeling. Sammenligning av MGO og gjennomsnitt for 2G Polar for spesifiserte driftspunkt 25 og 50% last. X-aksen angir partiukkeldiameter, i nanometer, (nm), Y-aksen angir konsentrasjonen av partikler per  $cm^3$ . Data fra SMPS-måler.**

For 100, 75 og 25% lastpunkt ser en at partikkelkonsentrasjonen er høyere for biodrivstoff enn for MGO. For 50% punktet er ikke dette tilfellet, og som fremgår av øvrige resultater er den aktuelle motoren justert slik at den gir høyere HC og CO utslipp på dette driftspunktet noe som tyder på dårligere forbrenning og som kan være en forklaring på hvorfor partikkelutslipp på 50% driftspunktet avviker fra øvrige punkteter.

Generelt kan det konkluderes med at partikkelutslippene på massebasis reduseres med ca. 25-35% på massebasis ved drift på 2G Polar sammenlignet med MGO. Samtidig er det målt høyere partikkelkonsentrasjoner (dvs et høyere antall partikler per volumenhet) for drift på 2G polar sammenlignet med MGO-drift. Det betyr at partikler som dannes fra 2G polar har en annen kjemisk sammensetning med lavere tetthet enn for partikler fra MGO-drift.

Det er ikke gjort kjemisk analyse av partiklene i dette prosjektet.

### 5.5 Oppsummering, Perkins-motor

Sammenligningstestene som er kjørt på Perkinsmotor viser gjennomgående lavere utslipp for 2G Polar i forhold til drift på MGO.

**Tabell 5.7** og **Tabell 5.8**summerer opp gjennomsnittlige verdier for de ulike testene. Positive verdier angir reduksjon av utslipp/forbruk ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO. Negative verdier anngir økning av utslippene for 2G Polar.

Parameter	Relativ endring av spesifikke verdier, %		
	E2 syklus	E3 syklus	Gj.snitt for alle driftspunkt i E2 og E3
NOx	11,6 %	7,6 %	9,6 %
CO	10,8 %	-2,2 %	4,3 %
CO2	4,3 %	2,5 %	3,4 %
THC	24,8 %	37,3 %	31,1 %
SFOC	3,1 %	2,6 %	2,8 %
PM	37 %	29 %	33 %

**Tabell 5.7: Relativ endring i spesifikke verdier ved drift på 2G Polar sammenlignet med MGO, aritmetisk gjennomsnitt uten vektning for alle driftspunkt i E2 og E3 testsyklus.**

Parameter	Vektet endring i spesifikke forbruk og utslipp, %		
	E2-syklus	E3-syklus	Gj.snitt for E2 og E3
NOX	11,0 %	3,6 %	7,3 %
CO	-13,5 %	3,3 %	-5,1 %
CO2	4,7 %	4,3 %	4,5 %
THC	49,2 %	39,2 %	44,2 %
SFOC	2,6 %	2,4 %	2,5 %
PM	35 %	25 %	30 %

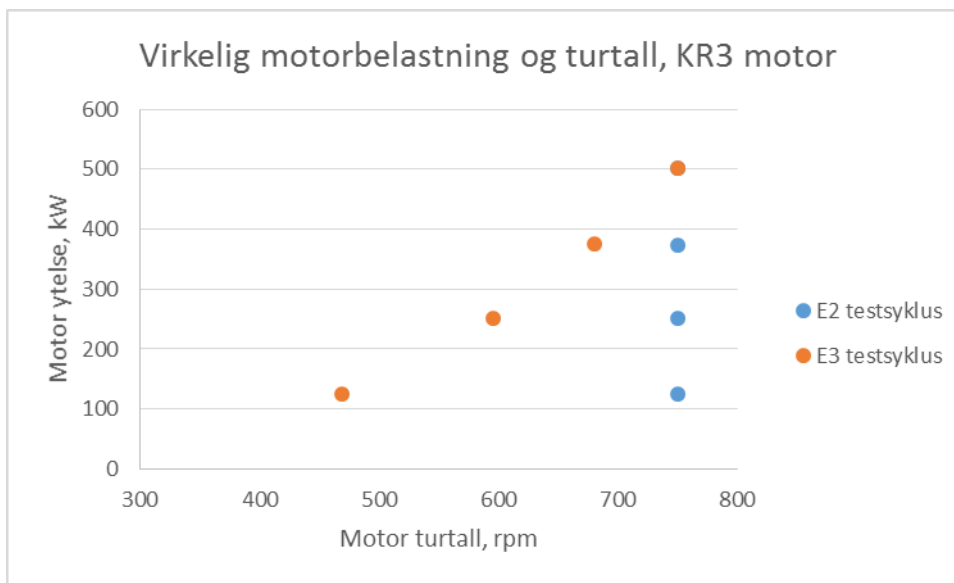
**Tabell 5.8: Relativ endring i spesifikke verdier, vektet iht ISO 8178, E2 og E3 testsyklus, Perkins motor**

## 6 Resultater, Bergen KR3 motor

I dette kapitlet presenteres testresultater for Bergen KR3 motoren.

### 6.1 Motorbelastning og turtall

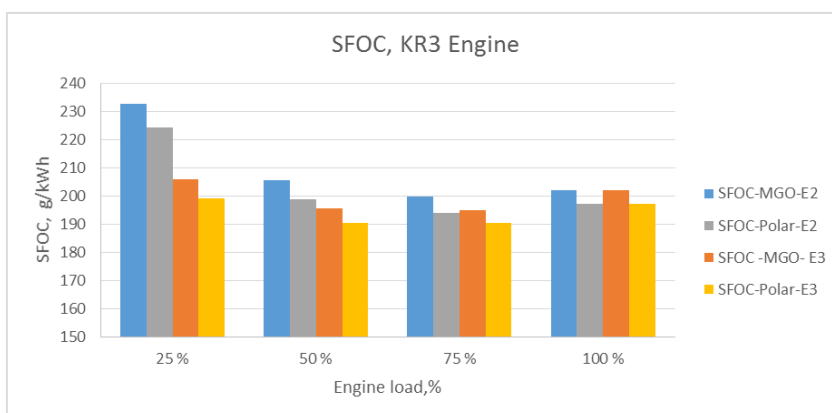
KR3-motoren er koblet opp mot en vannbrems, og motorbelastning og turtall justeres ved hjelp av motorens pådrag og innstilling av motstand på vannbremsen. Virkelig motorbelastning og turtall er vist i Figur 6.1.



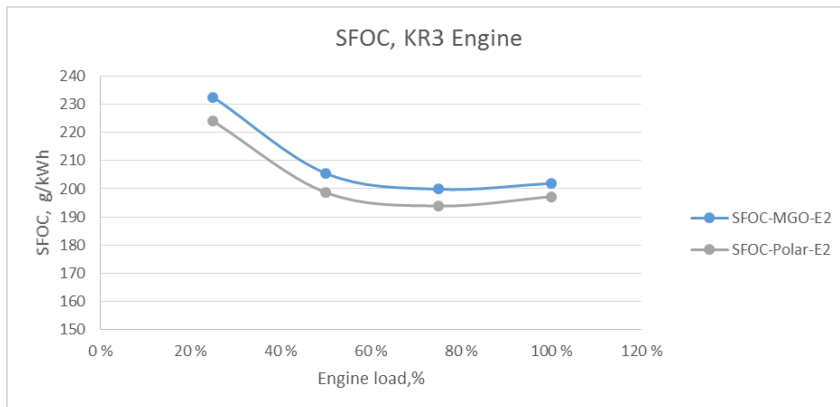
Figur 6.1: Motorbelastning og turtall for KR3 motor under testene, E2 og E3 testsyklus

### 6.2 Drivstofforbruk

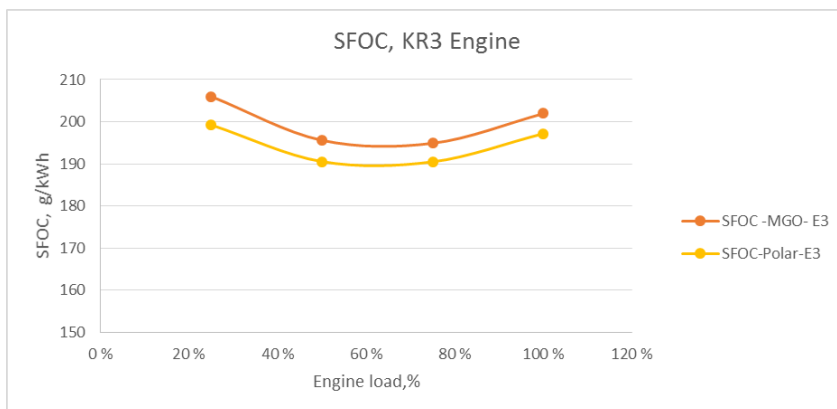
Drivstofforbruk måles med et flowmeter for hvert lastpunkt som kjøres. I tillegg måles motorturtall og dreiemoment for de aktuelle driftspunktene. Basert på målte verdier kan ytelse og spesifikt drivstofforbruk bestemmes.



Figur 6.2: Spesifikt drivstofforbruk for definerte lastpunkt; 25, 50, 75 100% motorbelastning, E2 og E3 testsyklus. Sammenligning av MGO og 2G Polar.



**Figur 6.3: Spesifikt drivstofforbruk for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E2 testsyklus.**



**Figur 6.4: Spesifikt drivstofforbruk for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E3 testsyklus.**

SFOC, g/kWh	E2 syklus				E3 syklus			
Last	25	50	75	100	25	50	75	100
SFOC-MGO, g/kWh	232,7	205,5	199,9	202,0	206,0	195,6	194,9	202,0
SFOC-2G Polar, g/kWh	224,1	198,7	193,9	197,2	199,3	190,6	190,5	197,2
Endring SFOC, MGO-Polar, g/kWh	8,6	6,8	5,9	4,8	6,8	5,0	4,4	4,8
Endring SFOC, MGO-Polar, %	3,7 %	3,3 %	3,0 %	2,4 %	3,3 %	2,6 %	2,3 %	2,4 %
Gjennomsnitt endring, SFOC %	3,1 %				2,6 %			
Gjennomsnitt endring SFOC, alle driftspunkter, %	2,8 %							

**Tabell 6.1: Gjennomsnitt drivstofforbruk for testene på KR3 motor.**

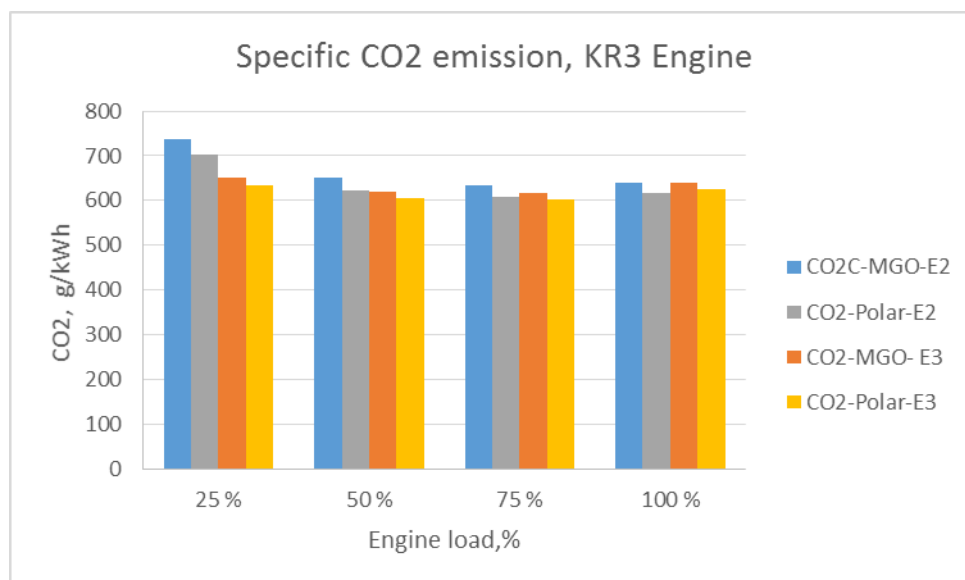
Gjennomsnittlig endring i drivstofforbruk for polar 2G sammenlignet med MGO er beregnet som følger:

- Lavlast: ca. 3,5 % reduksjon
- Øvrige punkter: 2,3% - 3,3% reduksjon
- Gjennomsnitt alle driftspunkter, 2,8 % reduksjon

Vektet drivstofforbruk iht ISO 8178 E2 og E3 testsyklus viser en reduksjon på henholdsvis 2,9 og 2,4 % ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO. Gjennomsnittsverdi for begge sykluser viste en reduksjon på 2,6% ved bruk av 2G Polar sammenlignet med MGO-drift.

## 6.3 CO2 utslipp

Målt CO2-utslipp er presentert i etterfølgende diagrammer.



**Figur 6.5: Spesifikke CO2-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75 100% motorbelastning, E2 og E3 testsyklus. Sammenligning av MGO og 2G Polar (Bergen KR3 motor).**

CO2, g/kWh	E2 syklus				E3 syklus			
	25	50	75	100	25	50	75	100
Last	25	50	75	100	25	50	75	100
CO2-MGO, g/kWh	738,3	652,3	633,9	639,9	652,3	620,6	618,2	639,9
CO2-2G Polar, g/kWh	702,1	622,5	607,0	616,5	632,6	605,4	603,2	625,2
Endring CO2, MGO-Polar, g/kWh	36,2	29,8	26,9	23,4	19,7	15,2	15,0	14,7
Endring CO2, MGO-Polar, %	4,9 %	4,6 %	4,2 %	3,7 %	3,0 %	2,4 %	2,4 %	2,3 %
Gjennomsnitt endring, CO2 %	4,3 %				2,5 %			
Gjennomsnitt endring CO2, alle driftspunkter, %	3,4 %							

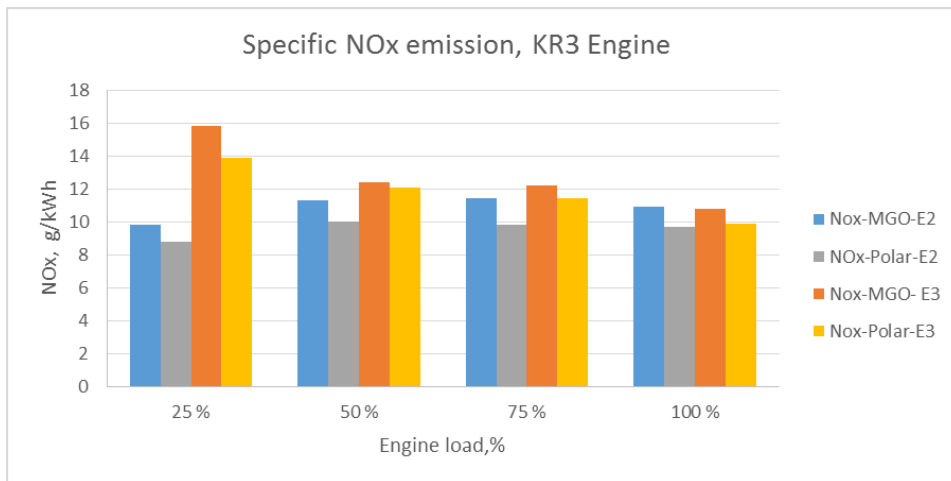
**Tabell 6.2: Gjennomsnitt CO2-utslipp for testene på Bergen KR3 motor.**

Beregning av vektet CO2-utslipp iht ISO 8178 E2 og E3 syklus viser en reduksjon av CO2-utslipp på henholdsvis 4,2 % og 2,4 %, med en gjennomsnittsverdi for begge sykluser på 3,3 % reduksjon i CO2 ved kjøring på 2G Polar.

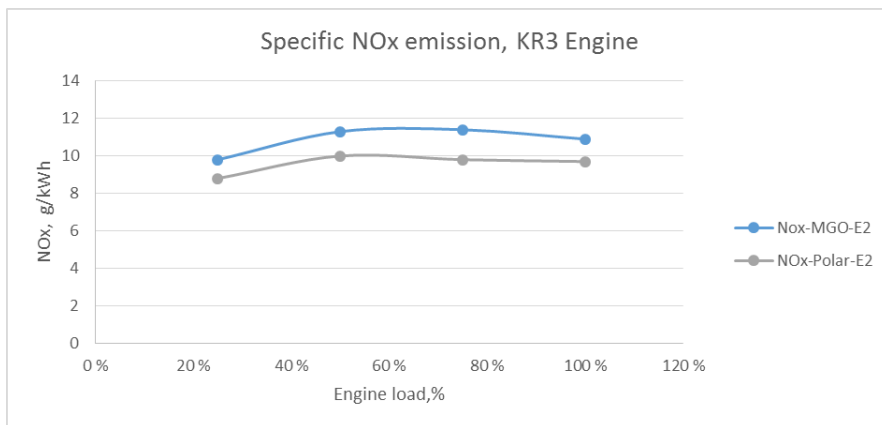
## 6.4 Avgasseemisjoner, Bergen KR3 motor

I dette kapitlet presenteres resultater fra målinger av avgassutslipp (NOx, CO og THC) fra Bergen KR3-motoren.

### 6.4.1 NOx-utslipp, Bergen KR3

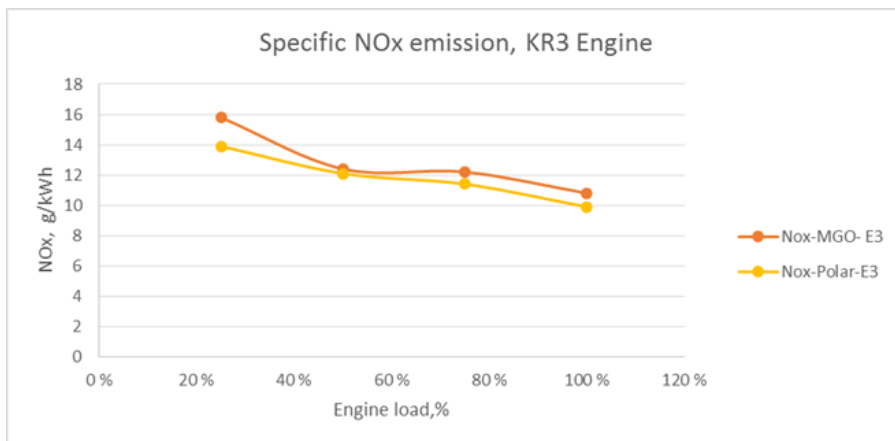


**Figur 6.6: Spesifikke NOx- utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75 100% motorbelastning, E2 og E3 testsyklus. Sammenligning av MGO og 2G Polar. Bergen KR3 motor.**



**Figur 6.7 Spesifikt NOx-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E2 testsyklus. Bergen KR3.**





**Figur 6.8** Spesifikt NOx-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E3 testsyklus. Bergen KR3

Gjennomsnittstall for spesifikt NOx-utslipp er satt opp i **Tabell 6.3**.

NOx, g/kWh	E2 syklus				E3 syklus			
	25	50	75	100	25	50	75	100
Last								
NOx-MGO, g/kWh	9,75	11,31	11,36	10,87	15,82	12,43	12,22	10,77
NOx-2G Polar, g/kWh	8,76	9,97	9,77	9,74	13,92	12,13	11,35	9,83
Endring NOx, MGO-Polar, g/kWh	0,99	1,34	1,59	1,13	1,90	0,30	0,87	0,94
Endring NOx, MGO-Polar, %	10 %	12 %	14 %	10 %	12 %	2 %	7 %	9 %
Gjennomsnitt endring, NOx %	11,6 %				7,6 %			
Gjennomsnitt endring NOx, alle driftspunkter, %	9,6 %							

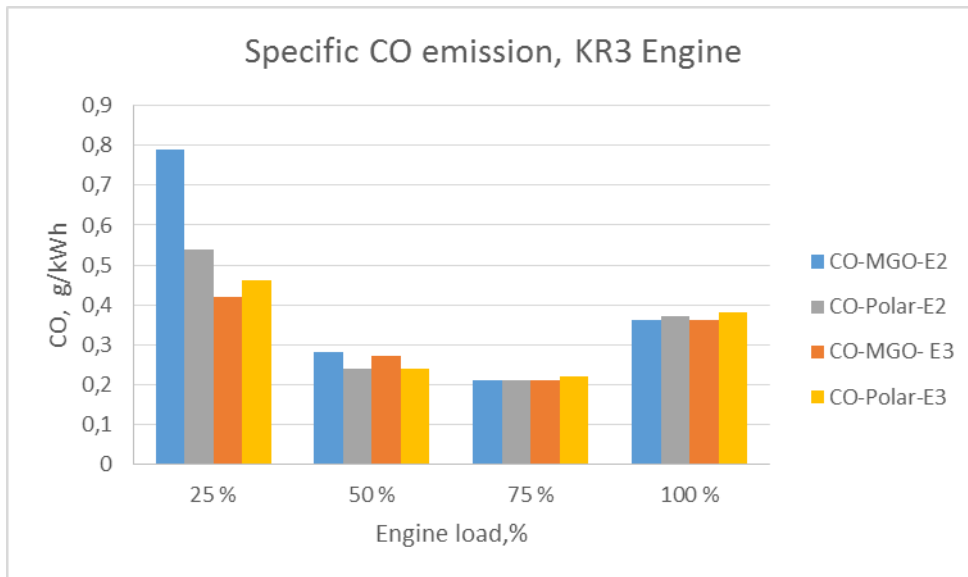
**Tabell 6.3:** Gjennomsnittsspesifikke NOx-utslipp for testene på Bergen KR3.

Gjennomsnittlig endring i NOx-utslipp for 2G Polar sammenlignet med MGO er beregnet som følger:

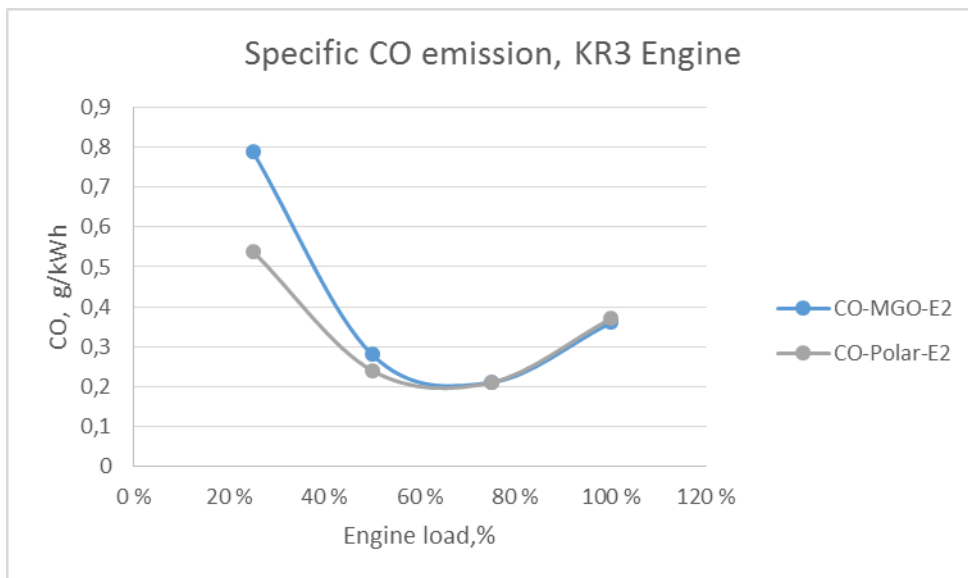
- Lavlast: ca. 11 % reduksjon
- Øvrige punkter: Fra 2 % reduksjon til 14 % reduksjon
- Gjennomsnitt alle driftspunkter, 9,6 % reduksjon

Beregnet vektet NOx-utslipp iht. E2 og E3 testsyklus viser en reduksjon på henholdsvis 12,5 % og 7,4% ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO med en gjennomsnittsverdi for begge sykluser på 10 % reduksjon i CO2 ved kjøring på 2G Polar.

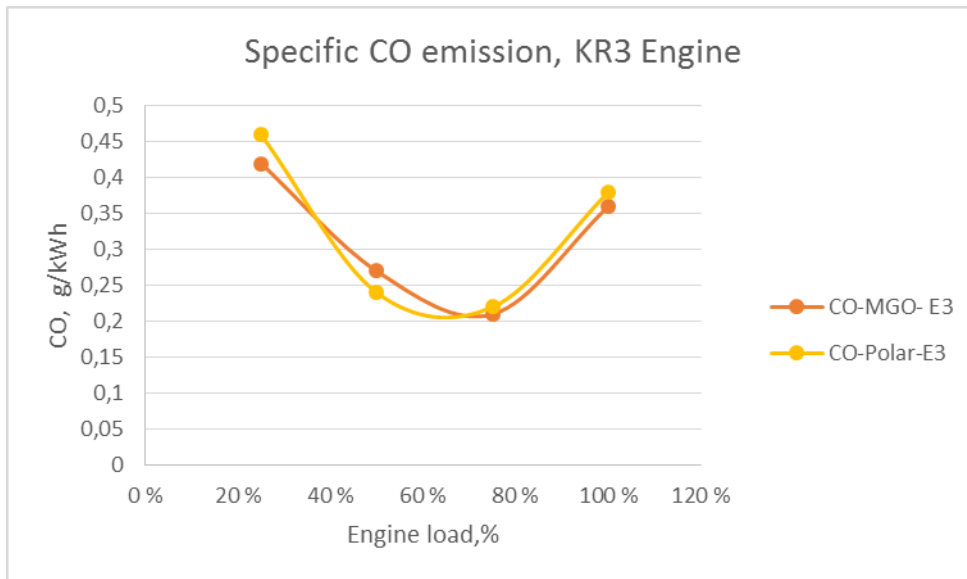
## 6.4.2 CO-utslipp, Bergen KR3



**Figur 6.9: Spesifikke CO-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, E2 og E3 testsyklus. Sammenligning av MGO og 2G Polar. Bergen KR3 motor.**



**Figur 6.10 Spesifikt CO-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E2 testsyklus. Bergen KR3 motor**



Figur 6.11 Spesifikt CO-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E3 testsyklus. Bergen KR3 motor

CO, g/kWh	E2 syklus				E3 syklus			
	25	50	75	100	25	50	75	100
Last								
CO-MGO, g/kWh	0,79	0,28	0,21	0,36	0,42	0,27	0,21	0,36
CO-2G Polar, g/kWh	0,54	0,24	0,21	0,37	0,46	0,24	0,22	0,38
Endring CO, MGO-Polar, g/kWh	0,25	0,04	0,00	-0,01	-0,04	0,03	-0,01	-0,02
Endring CO, MGO-Polar, %	31,6 %	14,3 %	0,0 %	-2,8 %	-9,5 %	11,1 %	-4,8 %	-5,6 %
Gjennomsnitt endring, CO %	10,8 %				-2,2 %			
Gjennomsnitt endring CO, alle driftspunkter, %	4,3 %							

Tabell 6.4: Gjennomsnittspesifikke CO-utslipp for testene på Bergen KR3 motor.

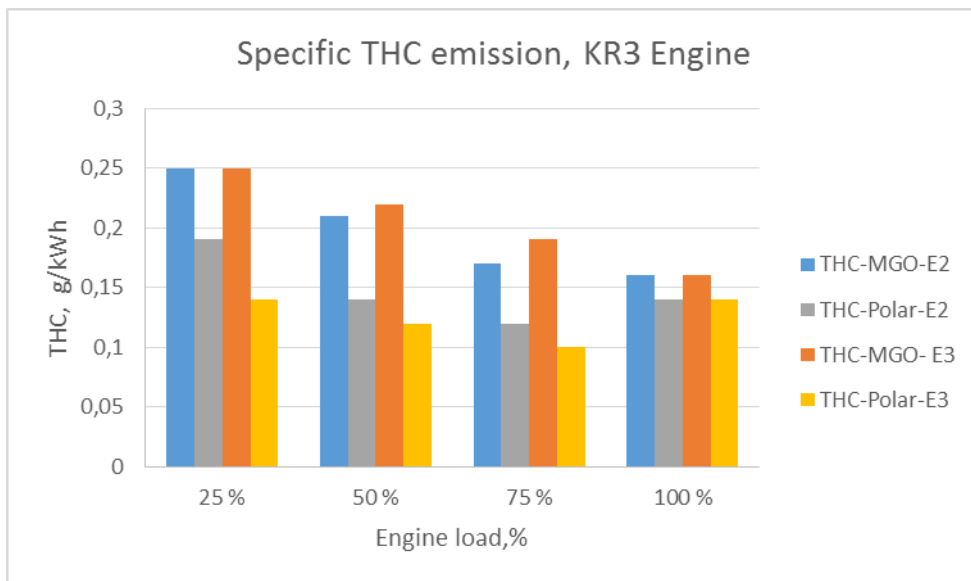
Gjennomsnittlig endring i CO-utslipp for 2G Polar sammenlignet med MGO viser ingen entydig sammenheng for motorens ulike driftspunkter og det observeres både økning og reduksjon.

Utslippverdiene er generelt meget lave og det ligger ingen stor effekt i den observerte variasjon i CO utslipp.

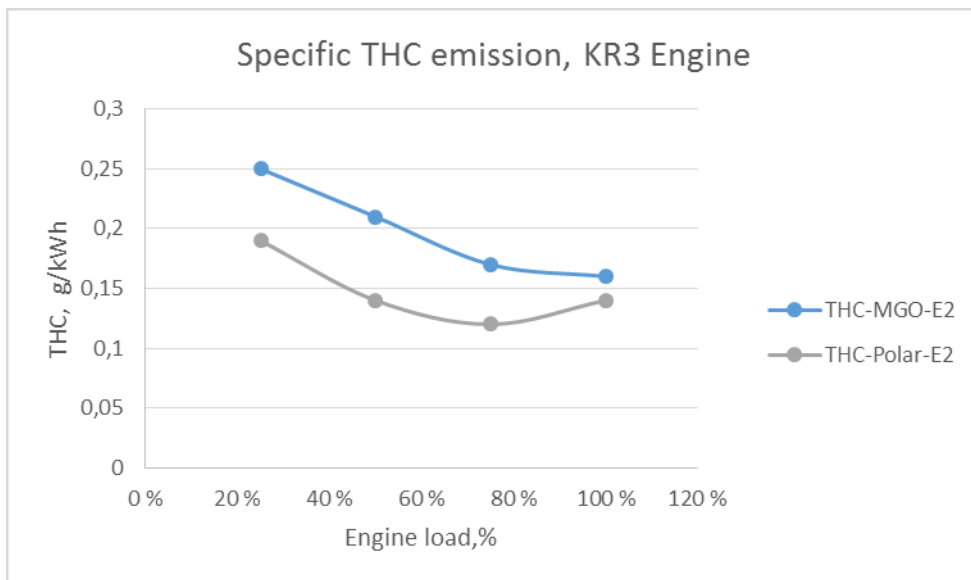
- Lavlast; Fra 9,5 % økning til 32 % reduksjon
- Øvrige punkter: Fra 5,6 % økning til 14,3 % reduksjon
- Gjennomsnitt alle driftspunkter, 4,3 % reduksjon

Beregnet vektet CO-utslipp iht E2 testsyklus viser en reduksjon på 5,8 % ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO, mens iht E3 testsyklus beregnes en økning på 3,8 % for 2G Polar sammenlignet med MGO. Gjennomsnittsverdi for begge sykluser gir 1 % reduksjon i CO-utslippene ved kjøring på 2G Polar.

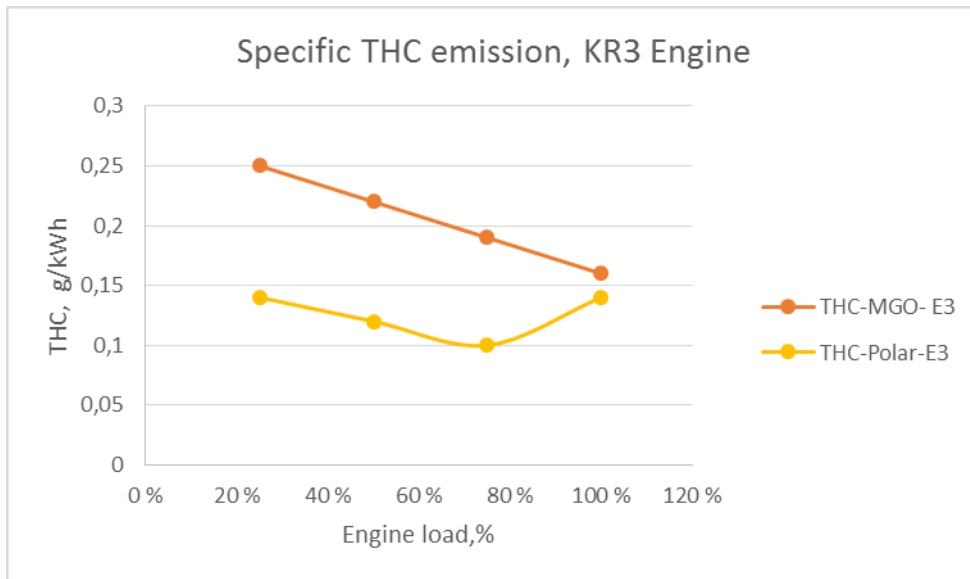
## 6.4.3 THC-utslipp, Bergen KR3



**Figur 6.12: Spesifikke THC-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75 100% motorbelastning, E2 og E3 testsyklus. Sammenligning av MGO og 2G Polar. Bergen KR3 motor.**



**Figur 6.13 Spesifikt THC-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E2 testsyklus. Bergen KR3.**



Figur 6.14 Spesifikt THC-utslipp for definerte lastpunkt; 25, 50, 75, 100% motorbelastning, sammenligning av MGO og 2G Polar. E3 testsyklus. Bergen KR3

THC, g/kWh	E2 syklus				E3 syklus			
	25	50	75	100	25	50	75	100
Last								
THC-MGO, g/kWh	0,25	0,21	0,17	0,16	0,25	0,22	0,19	0,16
THC-2G Polar, g/kWh	0,19	0,14	0,12	0,14	0,14	0,12	0,10	0,14
Endring THC, MGO-Polar, g/kWh	0,06	0,07	0,05	0,02	0,11	0,10	0,09	0,02
Endring THC, MGO-Polar, %	24,0 %	33,3 %	29,4 %	12,5 %	44,0 %	45,5 %	47,4 %	12,5 %
Gjennomsnitt endring, THC %	24,8 %				37,3 %			
Gjennomsnitt endring THC, alle driftspunkter, %	31,1 %							

Tabell 6.5: Gjennomsnittsspesifikke THC-utslipp for testene på Bergen KR3 motor.

THC utslippen ved kjøring på 2G Polar viser en reduksjon på alle lastpunkter. Gjennomsnittlig reduksjon for alle lastpunkt er beregnet til ca. 31%.

Utslippsverdiene er generelt meget lave og det ligger ingen stor effekt i den observerte variasjon i THC utslipp.

Beregnet vektet THC-utslipp iht. ISO 8178 E2 og E3 testsyklus viser en reduksjon på henholdsvis 25 og 38% ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med MGO. Gjennomsnittsverdi for begge sykluser gir 31,5% reduksjon i THC-utslippene ved kjøring på 2G Polar.

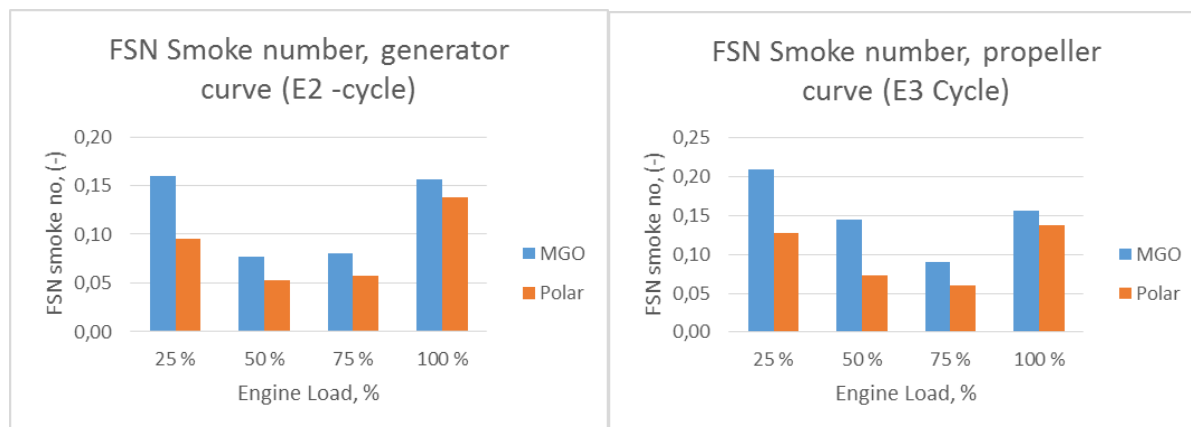
## 6.4.4 Røyktall

Det ble gjennomført røyktallsmålinger for KR3-motoren. Resultater er satt opp i Tabell 6.6.

Filter smoke no, FSN								
Last	E2 cycle				E3 cycle			
	25	50	75	100	25	50	75	100
MGO	0,160	0,077	0,080	0,157	0,210	0,145	0,090	0,157
2G Polar	0,095	0,053	0,058	0,138	0,128	0,073	0,060	0,138
Endring, MGO-Bio	0,065	0,024	0,023	0,019	0,083	0,073	0,030	0,019
Reduksjon %	41 %	32 %	28 %	12 %	39 %	50 %	33 %	12 %

**Tabell 6.6: Røyktallsmålinger, KR3 –motor, alle lastpunkter i E2 og E3 testsyklus.**

Røyktallet (FSN) er en dimensjonsløs størrelse og er et måltall røykutslipp for motorer. (Generelt for dieselmotorer kan det forventes røyktall fra ca. 1,5-0,2 fra tomgangspunkt til fullast punkt). Generelt er det et meget lavt røyktall på den aktuelle testmotoren. Det registreres reduksjon av røyktallet på alle lastpunkter ved kjøring på 2G Polar sammenlignet med tester på MGO. Reduksjonen er relativt liten på fullast (12%) mens på lavere lastpunkter er det målt fra 28-50% reduksjon i røyktallet ved kjøring på 2G Polar.

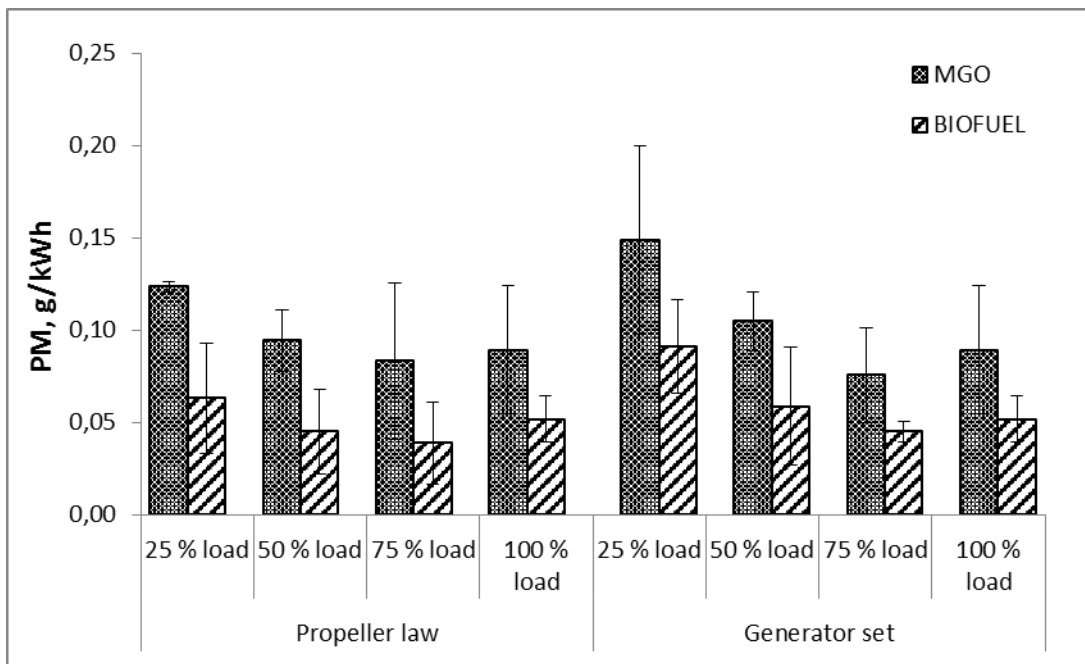


**Figur 6.15: Røyktall for KR3-motor ved ulike lastpunkt for MGO og 2G Polar**

## 6.5 Partikkelutslipp, Bergen KR3

Tilsvarende som for Perkins-motoren er det gjennomført målinger av partikkelutslipp fra Bergen KR3-motoren og partikkel masse, konsentrasjon og størrelsesfordeling er blitt kartlagt.

For partikkelmasse (g/kWh) er det sammenlignet gjennomsnittstall fra to måleserier med MGO og tre måleserier med 2G polar.



**Figur 6.16: Spesifikke partikkelutslipp, g/kWh for ulike lastpunkt, E3 (propellkurve) og E2 (generator) test syklus. KR3 motor.**

Fra Figur 6.16 ser en at spesifikke partikkelutslipp reduseres for all lastpunkter ved drift på 2G Polar.

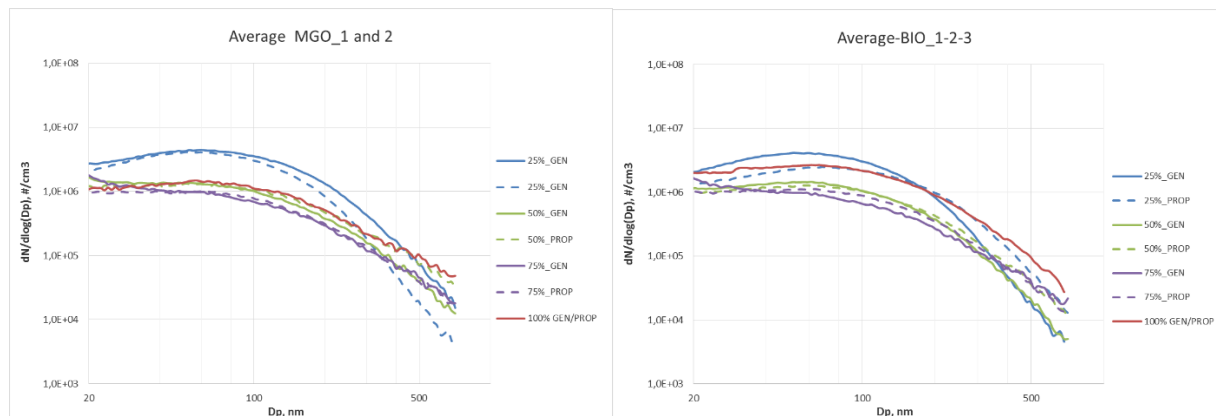
Beregning av spesifikke utslipp vektet iht E2 og E3 testsyklus er satt opp i Tabell 6.7.

	MGO E2	Polar E2	MGO E3	Polar E3
PM, g/kWh	0,087	0,051	0,089	0,045
Reduksjon, g/kWh	0,036		0,044	
Reduksjon, %	41 %		49 %	
Gjennomsnitt reduksjon, alle driftspunkt, %	45 %			

**Tabell 6.7: Sammenligning av spesifikke PM-utslipp, 2G Polar og MGO drift vektet iht E2 og E3 test syklus, KR3- motoren.**

Gjennomsnittlig reduksjon av spesifikke PM utslipp ved bruk av 2G Polar sammenlignet med MGO-drift vektet iht E2 og E3 testsyklus er beregnet til henholdsvis 41% og 49 % og gjennomsnittlig for alle driftspunkt for drift på 2G Polar 45% reduksjon av partikkelutslippene. Vektete tall er sammenfallende med gjennomsnittsverdiene.

Tilsvarende som for Perkins-motoren er også partikkelkonsentrasjon som funksjon av størrelsesfordeling kartlagt.



**Figur 6.17: Partikkelkonsentrasjon som funksjon av størrelse, sammenligning av MGO og 2G Polar, E2 og E3 testsyklus. (Data fra SMPS-måler).**

Partikkel størrelsesfordeling for KR3 motoren har tilnærmet samme form for MGO og 2G Polar for de ulike driftspunktene. Skala på y-aksen er logaritmisk for å dekke hele måle-området på en hensiktsmessig måte. (Kurvene kan derfor ikke direkte sammenlignbare med kurvene for Perkinsmotor). For MGO – målingene er det utelatt enkeltmålinger på 50% og 100% last som hadde store spredning og avvik fra øvrige målinger.

For partikkel størrelse < ca. 20 nm opplevdes ustabilitet og store variasjoner i målingene. Det er derfor ikke presentert partikkelkonsentrasjoner for PM med diameter < 20 nm.

Forøvrig seer en at høyeste partikkelkonsentrasjon ligger i området 50-70 nm, som er tilsvarende som for Perkins motoren.

## 6.1 Oppsummering, KR3 –motor

Sammenligningstestene som er kjørt på KR3 motor viser gjennomgående lavere utslipp for 2G Polar i forhold til drift på MGO.

Tabell 6.8 og Tabell 6.9summerer opp gjennomsnittlige verdier for de ulike testene. Positive verdier angir reduksjon av utslipp/forbruk ved kjøring på 2G Polar sammelignet med MGO. Negative verdier anngir økning av utslippene for 2G Polar.

Parameter	Relativ endring av spesifikke verdier, %		
	E2 syklus	E3 syklus	Gj,snitt for alle driftspunkt i E2 og E3
NOx	11,6 %	7,6 %	9,6 %
CO	10,8 %	-2,2 %	4,3 %
CO2	4,3 %	2,5 %	3,4 %
THC	24,8 %	37,3 %	31,1 %
SFOC	3,1 %	2,6 %	2,8 %
PM	41%	49%	45 %



**Tabell 6.8: Relativ endring i spesifikke verdier ved drift på 2G Polar sammenlignet med MGO, aritmetisk gjennomsnitt uten vektning for alle driftspunkt i E2 og E3 testsyklus. Bergen KR3 dieselmotor.**

Parameter	Vektet endring i spesifikke forbruk og utslipp, %		
	E2-syklus	E3-syklus	Gj.snitt for E2 og E3
NOX	12,5 %	7,4 %	10,0 %
CO	5,8 %	-3,8 %	1,0 %
CO2	4,2 %	2,4 %	3,3 %
THC	25,0 %	38,0 %	31,5 %
SFOC	2,9 %	2,4 %	2,6 %
PM	41 %	49 %	45 %

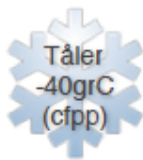
**Tabell 6.9: Relativ endring i spesifikke verdier, vektet iht ISO 8178, E2 og E3 testsyklus, Bergen KR3 dieselmotor**

## A Spesifikasjon av 2G Polar

Kilde: Eco-1



ECO-1 BIOENERGI AS  
Holsetgata 22 - 2317 Hamar / Filipstadveien 7 - 0250 Oslo  
[post@eco-1.no](mailto:post@eco-1.no) / [www.eco-1.no](http://www.eco-1.no) V3.0 03 2015 (gh)



### 2G MARINE (fornybar diesel / BTL) EN15940

Dette målet kan vi bare nå ved å vinne nye kunder som vil prioritere miljø i sin virksomhet. Er du med?

#### Eco-1 produktløfte

- 1) Fornybart biodrivstoff
- 2) Markedets reineste drivstoff

Eco-1 skal redusere CO2 utslipp i transportsektoren med 1 000 000 tonn innen 2020. For å nå dette målet arbeider vi hver dag med å erstatte fossilt drivstoff med biodrivstoff - en motor om gangen. 750 lastebiler/ busser skal konverteres i 2015.

#### 2G MARINE er fornybar diesel:

- et fornybart drivstoff, basert på biomasse
- definert ved at produktet er sertifisert etter Norges

- en fornybar erstatning for fossil diesel i alle typer dieselmotorer
- har bedre vinteregenskaper og bedre forbrenning enn fossil diesel (EN590) og marine gasoil/MGO

**KULDEEGENSKAPER** 1.mars - 1.november - 22 gr C, 1.november - 1.mars - 34 gr C  
2G Marine kan leveres med cfpp ned til -40 gr C

Ved bruk av 2G Marine skal en forholde seg til motorprodusentenes anbefalinger vedrørende service og oppfølging av kjøretøyet.

Produktet leveres både som «on road» drivstoff til transport, og som et «off road» avgiftsfritt produkt til båtmotorer og landbruksmaskiner.

#### **SERTIFISERING:**

2G Marine er sertifisert etter EUs bærekraftdirektiv, som ble innført i Norge fra 1.1.2014. (Renewable directive, RED). Eco-1 er ISCC sertifisert (<http://www.iscc-system.org>) - dette er det ledende sertifiseringssystemet for kontroll av bærekraft og drivhugassutslipp på biodrivstoff. Eco-1 leverer miljøregnskap som beskriver ressursbruk og miljøpåvirkning fra råvare til kunde.

#### **HVOR FINNER DU PRODUKTET**

Produktet kan leveres i bulk til kunder med egne tankanlegg, Eco-1 sine 2G Marine-stasjoner, eller hos Eco-1 samarbeidspartnere.

- => Reint drivstoff => lavere drivstofforbruk
- => mindre motorslitasje

#### **FORNYBAR**

Fornybar diesel er en fornybar energikilde. Fornybar betyr at en alltid kan generere nytt drivstoff av denne typen i et bærekraftig kretsløp. Råvarene er sertifisert på sporbarhet og reduksjon av klimagasser. Dette til forskjell fra fossilt drivstoff der gjenværende reserver vil gå tomme ved samme bruk som nå

#### **CO2-NØYTRAL:**

For hver liter fornybar diesel som forbrennes dannes ca 2,6 kg CO2. Til forskjell fra fossilt drivstoff er dette en resirkulering av CO2 som er tilstede i atmosfæren allerede - det korte CO2-kretsløp. Den tilfører ingen ny CO2 til atmosfæren til forskjell fra fossilt drivstoff som gir en netto økning i CO2 i atmosfæren ved forbrenning. Det vil si at fornybar diesel er CO2-nøytralt sammenlignet med fossil diesel.

## TEKNISK

- Tilfredstiller EN15940 standarden for syntetisk diesel.
- Godkjent på alle marine motorer i USA, og alle de største merkene i Europa.
- Eneste forskjell fra EN590 er egenvekt. 2G Marine har 0,78 kg/liter. (2G Marine er 2,5% lettere enn EN590)
- Har høyere kvalitet enn fossil EN590 på bl.a cetantall og partikler.
- Har ikke farge, og langt mindre lukt enn fossil EN590.
- Inneholder ikke svovel eller aromater.
- Produktet har bedre lagringsegenskaper enn fossil EN590.

### GJENNOMSNITTSREDUKSJON I UTSLIPP

**2G MARINE** sammenlignet med fossil diesel, EN590 (basert på testing gjort for Neste oy)

<b>Partikler (PM)</b>	<b>- 33%</b>
<b>Nitrogenoksid (NOx)</b>	<b>- 9%</b>
<b>Karbonmonoksid (CO)</b>	<b>- 24%</b>
<b>Hydrokarbon (HC)</b>	<b>- 30%</b>

## Tekniske spesifikasjoner EN15940- 2G Marine , sammenlignet med EN590 - fossil diesel

TEST NAME	UNIT	EN15940 /BTL		2G MARINE / EN15940	EN 590	ASTM D975 (amerikansk dieselspec.)	TEST METHOD
		min.	max.	TYPICAL SPECS	fossile fuel/ ULSD	fossile fuel/ ULSD	
Cetan number		70	-	75-80	51	>40	EN15195
Density at 15 C	kg/m <sup>3</sup>	770,0	790,0	780,0	820,0-845,0	—	EN ISO 12185
Polycyclic aromatic hydrocarbons content	% (m/m)	-	0,1	<0,1	8,0	—	EN 12916
Sulfur content	mg/kg	-	5,0	<1,0	10	<500	EN ISO 20846
Flash point	Celsius	61	-	78,5	55	> 38	EN ISO 2719
Carbon residue (on 10% distillation residue)	% (m/m)	-	0,1	<0,01	0,3	—	EN ISO 10370
Ash content	mg/kg	-	0,001	<0,001	0,01	0,01	EN ISO 6245
Water content	mg/kg	-	200	22	200	500	EN ISO 12937
Total contamination	mg/kg	-	10	<1	24	—	EN 12662
Copper strip corrosion (3h at 50 C)	rating	Class 1		Class 1	Class 1	class 1	EN ISO 2160
Oxidation stability	g/m <sup>3</sup>	-	24	5	25	—	EN ISO 12205
Lubricity, corrected wear scar diameter(wsd 1,4) at 60 C		-	460	450	460	—	EN ISO 12156-1
Viscosity at 40 C	mm <sup>2</sup> /s	2,00	4,00	2,95	2,00-4,60	1,3 - 2,4	EN ISO 3104
Distillation 95% (V/V) recovered	Celsius		320	300	360	288 (v 90 gr C)	EN ISO 3405
Cloud point and CFPP	Celsius	max. -15 / -22 / -34		-15/-22/-34	max. -12 / -32	etter lokale krav	EN 23015/ EN 116
Energy content	MJ/kg	44,1		44,1	42,5	—	
Appearance		Clear and bright		Clear and bright	Brownish color	—	VISUAL
Colour		0	0	0	—	—	ISO 6271-2
Total aromatics content	% (m/m)	-	1,0	<0,1	—	—	EN 12916
Distillation FBP	Celsius		330		—	—	EN ISO 3405
Acid value	mgKO H/g		0,01	0,002	—	—	ASTM D3242

Produktinformasjon for 2G Polar er også publisert i SAE 2008-01-2500, hvor det gjøres sammenligning med autodiesel-spesifikasjon iht. EN590. (2G Polar tilsvarer HVO i tabellen nedenfor).

Quantity	Unit	EN 590	HVO	EN 590-30
EN 590 diesel fuel	vol-%	100	0	70
HVO	vol-%	0	100	30
Carbon	wt-%	85.9	84.8	85.8
Hydrogen	wt-%	13.5	15.2	14.0
C/H-ratio <sup>(1)</sup>		6.4	5.6	6.1
Sulfur	mg/kg	5	<3	3
Nitrogen	mg/kg	28	1.5	20
Total aromatics	wt-%	18.9	0.2	13.6 <sup>(2)</sup>
Monoaromatics	wt-%	17.2	<0.2	12.4 <sup>(2)</sup>
Diaromatics	wt-%	1.5	<0.1	1.1 <sup>(2)</sup>
Triaromatics	wt-%	0.20	<0.10	0.17 <sup>(2)</sup>
Polyaromatics <sup>(3)</sup>	wt-%	1.6	<0.1	1.2 <sup>(2)</sup>
Paraffins	wt-%	29	100	49 <sup>(2)</sup>
Naphthenics	wt-%	52	0	37 <sup>(2)</sup>
Ash	wt-%	<0.001	<0.001	<0.001 <sup>(2)</sup>
Water	mg/kg	20	7	18
Density (at 15°C)	kg/m <sup>3</sup>	843.0	779.7	824.0
Flash point	°C	68	99	74
Cloud point	°C	-5	7 <sup>(4)</sup>	-6
Viscosity (at 40°C)	mm <sup>2</sup> /s	3.208	3.087	3.165
Lubricity (HFRR)	µm	324	360	300
Cal. heating value	MJ/kg	45.99	47.27	46.35 <sup>(2)</sup>
Eff. heating value	MJ/kg	43.13	44.04	43.38 <sup>(2)</sup>
	MJ/l	36.35	34.34	35.75 <sup>(2)</sup>
Cetane number		54.6	>70	>65
Cetane number (IQT™)		57	95	71.9
Cetane index		52.1	>56.5	>56.5
Distillation				
5 vol-%	°C	206	269	219
50 vol-%	°C	282	286	285
90 vol-%	°C	343	298	332
95 vol-%	°C	358	302	352
Final boiling point	°C	363	313	358

<sup>(1)</sup> Calculated from carbon and hydrogen content

<sup>(2)</sup> Calculated from the analysis of components (EN 590 and HVO)

<sup>(3)</sup> Sum of di- and tri+ aromatics according to the European regulation

<sup>(4)</sup> Can be adjusted from -5 to -25 °C for different climate zones

Ref: SAE 2008-01-2500 Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel:  
Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine  
Hannu Aatola, Martti Larmi, Teemu Sarjovaara, Helsinki University of Technology  
Seppo Mikkonen, Neste Oil

## B Spesifikasjon av MGO

Følgende spesifikasjon er mottatt fra Olje og Energisenteret for aktuell MGO benyttet i testene:



### CERTIFICATE OF QUALITY

**ExxonMobil**  
Refining & Supply

Sample Name : 160330085  
Product : GASOIL -11 :NO  
Product Description : LSHO .05%S -11CFPP GASOIL :NO  
Product Specification: GASOIL\_GO-11

Sample Date : 30/03/2016  
Document No: COA16090005  
Sample Point: TK802

Test	Method	Units	Result
DENSITY AT 15 DEG. C VAC	EN ISO 12185	KG/M3	852.4
DENSITY AT 15 DEG. C AIR	EN ISO 12185	KG/M3	851.3
TOTAL SULPHUR CONTENT	EN ISO 20847	MG/KG	389
APPEARANCE AT MAX 20 DEG C	ASTM D 4176	TEXT	PASS
WATER CONTENT BY KARL FISHER	ISO 12937	MG/KG	68
CLOUD POINT	EN 23015	DEGC	-1
COLD FILTER PLUGGING POINT	EN 116	DEGC	-18
FLASH POINT	EN ISO 2719	DEGC	62
INITIAL BOILING POINT	EN ISO 3405	DEGC	162
TEMP AT 10% RECOVERED	EN ISO 3405	DEGC	203
TEMP AT 50% RECOVERED	EN ISO 3405	DEGC	299
TEMP AT 90% RECOVERED	EN ISO 3405	DEGC	354
% RECOVERED AT 250 DEG. C	EN ISO 3405	VPCT	28
% RECOVERED AT 350 DEG. C	EN ISO 3405	VPCT	87
% RECOVERED AT 370 DEG. C	EN ISO 3405	VPCT	96
CALCULATED CETAN INDEX	EN ISO 4264	NUMBER	49.6
VISCOSITY AT 40 DEG. C	EN ISO 3104	MM2/S	3.5
TOTAL ACID NUMBER	ASTM D 974	MG/KO1/G	0.03
CONTAMINATION	EN12662	MG/KG	1
ASTM COLOR	ASTM D 6045	NUMBER	1.0
HIGH FREQUENCY RECIPROC. RIG	ISO 12156-1	MICRON	391
CORROSION CU 3H/50 DEG. C	EN ISO 2160	CLASS	1
ESSO GUARANTEE: Not tested on every batch.	-	-	-
Oxidation Stability (Accelerated)	EN ISO 12205	G/M3	<16
Ash content	EN ISO 6245	WPCT	<0.01
Carbon Residue on 10% BTMS	EN ISO 10370	WPCT	<0.15
ADDITIVES ADDED DURING LOADING	-	-	-
FLOWIMPROVER	-	VPPM	100
STATIC DISSIPATOR 450	-	VPPM	0
LUBRICITYIMPROVER	-	VPPM	0

Some tests may have been performed by 3rd party laboratory. More information given upon request.

Above test results performed by lab:

Anna Lojewska

30/03/2016

Ship

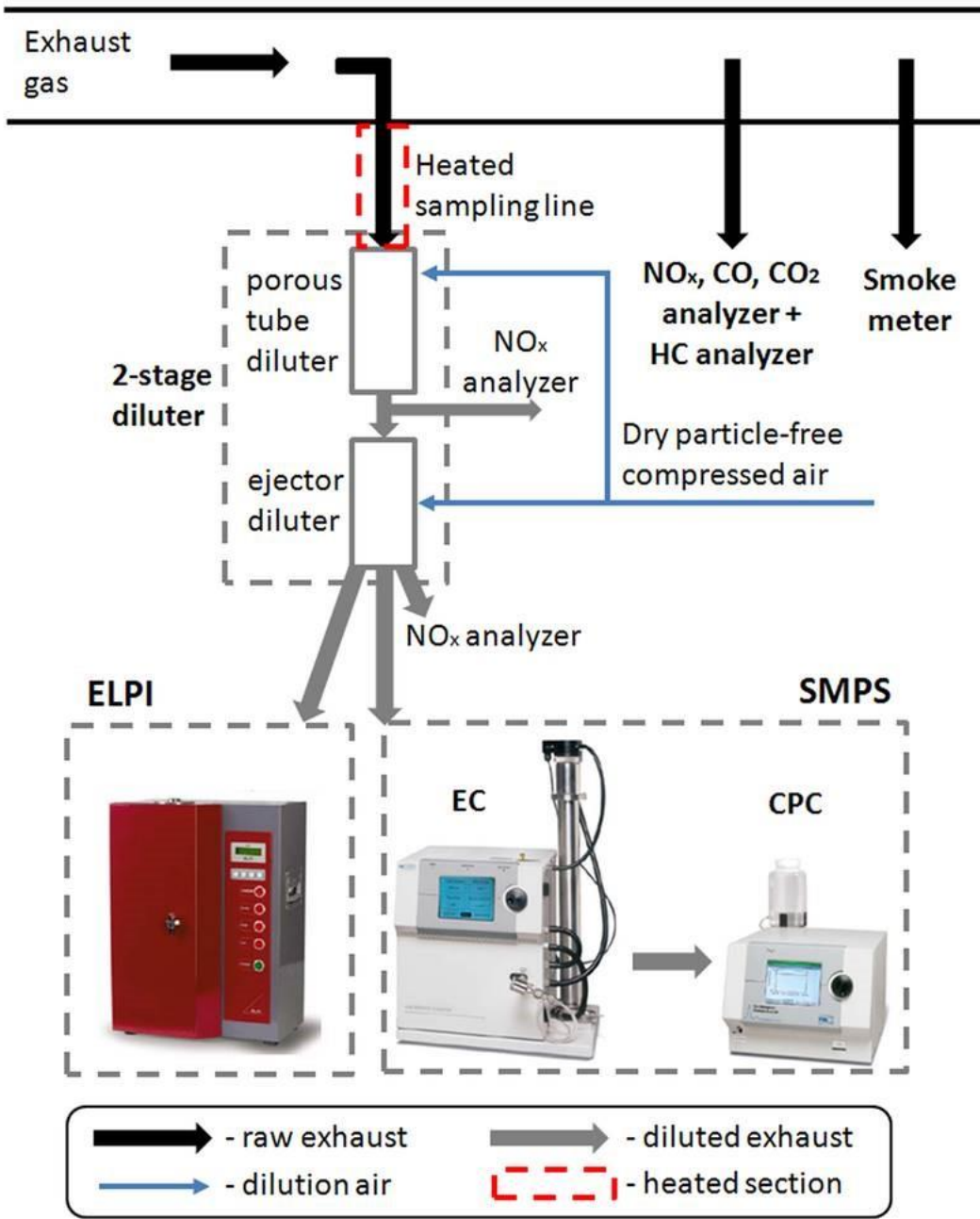
Dispatcher / Date

Additives injected according to the CoA.

BIRGIT KNUTSEN  
31/3-16

## C Beskrivelse av partikkelmålinger og utstyr

A partial-flow-type 2-stage dilution unit composed of primary porous tube diluter and secondary ejector diluter was used in current study and the overall particle sampling-measurement set-up is shown on Figure below. In addition to Electrical Low-Pressure Impactor (ELPI) and Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) that provided main particle size distribution results, an AVL Smart Sampler partial dilution system (not shown on Figure) was used for gravimetric sampling of exhaust particles. Two separate sampling points with installed standard J-shaped sampling probes provided exhaust samples for ELPI and SMPS, and AVL Smart Sampler respectively. Probes together with transport lines were heated up to 200 °C to reduce losses of particles during transport and avoid nucleation of volatile material, while temperature of primary and secondary dilution air was 50 °C and 25°C correspondingly. Primary dilution ratio (for SMPS and ELPI) was around 4, while the total one – above 40. AVL Smart Sampler's dilution ratio was 10 for first part of experiment. Later it was reduced to 5 as it appeared that particulate matter loading was lower from biodiesel, which resulted in higher variation in results due to contribution of balance inaccuracy. Particulate filters were conditioned in the chamber with controlled environment (temperature is 19-25 °C and relative humidity is 37-53%) according ISO 8178 before and after sampling for at least 24 h before weighing.





### AVL SMART SAMPLER TECHNICAL DATA Measurement Principle: Gravimetric Measurement

The system meets the following global regulations		Facilities requirements	
U.S. EPA CFR 40-1065, EPA 40-1066 ECE regulation No. 49, Rev. 3, 04 series /ECE regulation No. 49, Rev. 4, 05 series, ECE Regulation No. 49 Rev. 5, 05 Series, Global Technical Regulation (GTR) No. 4. Directive 97/68/EC as last amended 2011/88/EC, ECE regulation No. 96, Rev. 2, 01 series ISO 16183 (2002), ISO 8178-1 (2006), ISO 8178-11 (2006), Japan JE05 Directive 88/77/EEC as amended by 1999/96/EC and 2001/27/EC		Size	Main cabinet (HxWxD) 86x79x38 cm 80 kg Filter cabinet (HxWxD) 86x79x38 cm 70–85 kg (depends on configuration) Stacked system (main+filter+trolley) 190x79x66 cm ~260 kg
Measurement value output	g/kW-hr, g/bhp-hr, #/kW-hr (when used with an AVL Particle Counter)	Test cell temperature range	10–50°C
Main applications	Certification (HD) and R&D (HD and LD) Certification under ECE regulation No. 49, GTR No. 4 Research and development of diesel aftertreatment systems	Voltage requirement Compressed air requirement	100–240 VAC 50–60 Hz 1/PE. Automatic voltage detection 580 kPa absolute (70 psi Gauge) minimum 790 kPa absolute (110 psi Gauge) maximum 450 SLPM peak 200 SLPM typical
Measurement range	Detection as low as 0.0 g/kW-hr 47 mm filter media for CFR 1065 compliant testing Available 70 mm filter for ISO 16183/8178 compliant testing		
<b>System operating parameters</b>		Interface requirement Communication protocol Stand alone mode:	Fully integrated control via AK interface or stand-alone mode  (RS232 or Ethernet) digital input for start/stop 0–10 V scaled to engine air flow 0–10 V scaled to fuel flow
Maximum optional distance of main cabinet and filter cabinet	12 m	Optional Add On Sampling	0–10 V scaled to total exhaust flow Full integration to AVL Particle Counter via dedicated communication link. Other Instruments may be integrated using analog scaled inputs
Transformation time (t50)	<150 ms with 2m interconnect <240 ms with 12 m interconnect		
Exhaust temperature range	25–500°C (800°C with Option High Pressure)		
Exhaust pressure range	Ambient ± 20 millibar 0–1000 millibar gauge with optional high pressure		