



Høgskolen i Bergen AlØ
Institutt for maskin- og marinfag

Rapport:

Sammenligning av avgassutslippene fra en tradisjonell- og en hybrid drevet biogass-buss under drift på en gitt linje i Bergen



Utført i tidsrommet 8. nov – 22. des. 2014

Rapport tittel:

Sammenligning av avgassutslippene fra en tradisjonell- og en hybrid drevet biogass-buss under drift på en gitt linje i Bergen

Oppdragsgiver: SKYSS

Adresse: Hordaland Fylkeskommune, Lars Hilles gate 20, 5008 Bergen

Kontaktperson: Stein Bjørlykke, HOG

Kortfattet formulering av Oppdraget:

Utføre sammenlignende målinger på en konvensjonell biogass buss og en biogass hybrid-buss under drift langs Linje 2 i Bergen.

Sammenligning skal gjøres ut fra målte utslipp av CO, CO₂, NO, NO₂, uforbrent metan CH₄, gassforbruket samt støy når bussene kjører forbi. Begge bussene skulle kjøres på samme drivstoff.

Målingene skal utføres med standardisert måleutstyr og dette skulle føres med om bord i bussene. Videre skal bussene kjøres med tre forskjellige belastningstilstander og mest mulig likt hva gjelder kjørt distanse, hastighet, antall stopp osv.

Oppdraget utført av:

Harald Moen, Over-ing,	Institutt for maskin- og marinfag IMM
Roger Åmot, Avd. Ing	«
Ørjan Høyvik, MSc student,	«
Peter E. Koch, førsteamanuensis,	«
Petter Seip, høgskolelektor,	Institutt for data- og realfag

Tidsrom: 8. november – 22. desember 2014

Rapport ved: Lars M Nerheim, førsteamanuensis, IMM



Dato:

09. 02.2015

Rapport godkjent av:



Motivasjon

Bakgrunnen for dette måleoppdraget har vært at Hordaland Fylkeskommune ved Skyss / HOG (Oppdragsgiver) ønsket å få utført en sammenligning av div. avgassutslipp og gassforbruket fra to ulike typer av ny-anskaffede biogass-drevne bybussar, en konvensjonell og en med hybrid drivlinje, og som begge oppfyller de nyeste Euro VI -utslippskravene.

Standardiserte utslippsmålinger utføres i laboratorier på «rullende vei». Oppdragsgiver ønsket imidlertid å danne seg et inntrykk av forskjeller og likheter mellom disse forskjellige busskonseptene under så realistiske forhold som mulig. Derfor ønsket de å få utført sammenlignende målinger under drift langs en gitt busslinje i Bergen.

Sammenligning skulle gjøres ut fra målte utslipp av CO, CO₂, NO, NO₂, uforbrent metan CH₄, gassforbruket samt støy når bussene kjører forbi. Begge bussene skulle kjøres på samme drivstoff (naturgass, i mangel av den foreskrevne anrikede biogassen), målingene skulle utføres med standardisert måleutstyr og dette skulle føres med om bord i bussene. Videre skulle bussene kjøres med tre forskjellige belastningstilstander og mest mulig likt hva gjelder kjørt distanse, hastighet, antall stopp osv.

Kjøring og øvrig betjening av bussene er blitt utført av sjåførere fra Tide etter deres gjeldende rutiner. Institutt for maskin- og marinfag, IMM, ved Avdelingen for Ingeniørutdanning på Høyskolen i Bergen har stått for målingene, behandling av resultatene og rapporteringen.

Når det gjelder mulige usikkerheter og feilkilder ved disse komplekse målingene, har IMM hele tiden presisert at oppdraget er blitt akseptert med den begrensning at vi bare kan garantere for nøyaktigheten målingene i mellom, - heller enn den absolutte nøyaktigheten av enkeltmålingene. Vi mener likevel at de her gjengitte resultatene danner et godt grunnlag for en sammenligning mellom de to busstypene.

Bergen, februar 2015



INNHALDSFORTEGNELSE

1. Sammendrag og konklusjon
2. Om måleoppdraget
3. Testbussene
4. Gjeldende grenseverdier for avgassutslippene
5. Måleutstyr og gjennomføring av målingene
6. Metoder for beregning av måleresultatene
7. Resultater
8. Diskusjon og kritikk av resultatene
9. Konklusjon
10. Referanser
11. Vedleggene:
 - Vedlegg 1: Måleoppdraget
 - « --- 2: Data for testbussene
 - « --- 3: Gassdata fra Gasnor Kollsnes
 - « --- 4: Beregning av støkiometrisk luftforbruk
 - « --- 5: Eksempel på beregning av utslippsverdier
 - « --- 6: Horiba PG-350E avgass analysator
 - « --- 7: J.U.M. 3-200 FID avgass analysator (for THC)
 - « --- 8: Meriam laminar-strøm måler
 - « --- 9 Horiba Mexa 110Lambda
 - « --- 10: Testo 350 beskrivelse
 - « --- 11: Kart og profil av kjøreruten

1. Sammendrag og konklusjon:

Generelt kan det sies at dette måleoppdraget har vært meget spesielt både i omfang, kompleksitet og utførelse. Moderne «flyttbart» måleutstyr av anerkjent fabrikat er blitt benyttet, -men likevel har dette ikke vist seg spesielt godt egnet for måling på veien med vibrasjoner, start og stopp osv, noe som har gjort betjeningen og løpende kontroll av analysatorene meget krevende. Dette har bl a omfattet foreskrevne kalibreringer av analysatorene med dertil medbragt kalibreringsgasser på trykkflasker in situ. Det er anskaffet og tilpasset avgassrør-deler til bussene og anbragt uttak for avgassprøver, det er blitt benyttet så vel oppvarmete spesialslanger som gasstørker og filtre, luft tilstandsmåling (temperatur, barometer-stand, fuktighet), GPS-utstyr for orientering langs kjøreruten samt hentet signaler fra bussenes «odometer» om hastighet og utkjørt lengde. I tillegg har det vært benyttet flere måle-PC-er for overvåkning og data-registrering. Pga alt strøm-krevende utstyret, måtte man derfor medføre et eget strøm-aggregat om bord.

Kjøringene ble gjennomført i helgene, dette pga tilgjengelighet av bussene, sjåfører og fordi man ønsket så liten innflytelse fra øvrig trafikk som mulig for lettere å kunne følge rutetabellen og holde oppsatte gjennomsnittshastigheter. Alle buss-stopp er blitt tatt med, og man har tilstrebet å følge mest mulig med busser i ordinær rute-tjeneste og kopiere deres kjøremønster.

Hver buss er blitt kjørt med tre ulike belastningstilstander, og hver tilstand gjentatt tre ganger, mao er det i alt kjørt 18 måleturer hver på ca 15 km og som tok ca 50 min, dvs i alt ca 270 km og medgått tid bare til målingene har vært ca 15 timer. I tillegg er det brukt mye tid til montering av utstyr, kalibrering og uttesting av dette samt opplasting av bussene.

Data-innsamlingen har foregått med *ett sekunds intervall*, man har målt på 11 kanaler samtidig og innsamlet datamengde pr busstur har vært ca 300 kB.

Angående nøyaktigheten av denne type målinger så har den blitt viet mye oppmerksomhet. For det første gjelder resultatene bare med den kombinasjon av kjøremønster og belastning som Linje 2 i Bergen gir når bussene er blitt kjørt under testbetingelsene, mao resultatene er ikke direkte sammenlignbare med standardiserte «syklus-målinger». Videre er målinger på et kjøretøy i drift i seg selv en meget komplisert operasjon og krever spesielt utstyr og div. praktiske tillempninger, slik at vi bare kan garantere for nøyaktigheten og repeterbarheten målingene i mellom, ikke for absolutt nøyaktighet av enkeltstående målinger.

Med disse begrensningene viser resultatene at van Hool-hybridbussen for alle de målte kriteriene kommer best ut, og dette gjelder både i absolutte utslipp og regnet pr passasjer-kilometer. Det er målt fra ca 20% til ca 15% reduksjon i CO₂ utslippet pr passasjer-km, (og tilsv gassforbruk) i forhold til den konvensjonelle MAN-bussen om bussene går med lavt eller høyt passasjer-antall. Når det gjelder de lov-begrensede utslippene CO, NO_x og THC så er forskjellene mellom de to bussene ganske stor og lavest for vanHool hybridbussen, selv om begge bussene har oppvist svært lave verdier av disse utslippene og som må antas å ligge innenfor Euro VI for begge.

Av spesiell interesse for Oppdragsgiver har vært utslippet av NO₂ og uforbrent metan CH₄. Ut fra det måleutstyret som er blitt benyttet (og som ikke er ideelt) kan man anta at NO₂ - utslippet fra begge buss-typene nærmest = 0 og at bare NO er blitt sluppet ut.

Hva gjelder metan-utslippet så er «totale hydrokarboner» THC blitt målt og hvor de målte verdiene anslås å være ca 95% metan. THC-verdiene er meget lav for begge bussene og lavest for van Hool hybridbussen med verdier på ca 10mg /km og ganske uavhengig av belastningen.

Man merker seg for øvrig at snitthastighetene på måleturene har vært litt lavere for van Hool hybridbussen, ca 16 km/t mot ca 17 km/t for MAN-bussen.

Dessverre har det ikke vært tid til å gjennomføre de ønskede støy-målingene innenfor de fristene som er blitt satt for gjennomføringen av dette prosjektet.

2. Måleoppdraget:

Dette gikk i korthet ut på følgende:

Under mest mulig lik, ordinær drift av bussene etter Linje 2 i Bergen skulle følgende avgassutslipp måles;

- CO₂, CH₄, NO, NO₂, og CO
- Forskjeller i gassforbruk mellom busstypene
- Innflytelse på resultatene av bussenes belastningstilstand
- Støymålinger

For CH₄ ble det målt THC («totale hydrokarboner») og en vurdering av fordelingen mellom CH₄ og øvrige hydrokarboner er lagt til grunn. Dette pga manglende spesial-måleutstyr for CH₄ - måling og at tilgjengelig kalibreringsgass kun var propan (C₃H₈).

På tilsvarende måte ble NO_x målt i stedet for separat NO og NO₂ som ikke var mulig med det benyttede måleutstyret. En egen vurdering av fordelingen mellom NO og NO₂ er blitt gjort ifm vurderingen av måleresultatene i Kap 8.1.

Følgende belastningstilstander ble valgt:

- «Tom», men med måleutstyr og operatører om bord, tilsv ca 7 passasjerer
- Som over + 98 sandsekker, totalt tilsv. ca 44 passasjerer
- Som førstnevnte +197 sandsekker, totalt tilsv 81 passasjerer

Som belastning ble det kjøpt inn 197 sandsekker a ca 26 kg, til sammen 5.1 tonn sand og som std gjennomsnittlig passasjervekt er det blitt regnet 68 kg.

Imidlertid trakk sandsekkene betydelig vannmengde i løpet av prosjektet, slik at i snitt økte vekten med ca 10%. Ved hver opplasting ble alle sekkene veiet inn på nytt og event. endring i vekten registrert, mao «passasjer-antallet» er blitt løpende korrigert under veis.

Egen støymåling er p.t. ikke blitt utført pga manglende kapasitet hos IMM.

Kopi av måleoppdraget fra SKYSS/HOG er gjengitt i Vedlegg 1.

3. Test-bussene

Dette har dreiet seg om en *MAN Lion's City GL CNG ledd-buss* («MAN») og en *Van Hool Exquicity GL 24 to-leddet serie-hybrid buss* («vHool») også med en MAN CNG-motor. Begge bussene skal i fremtiden drives på anrikt bio-gass, men ble for forsøkene kjørt på naturgass. Gass-spesifikasjonen er gjengitt i Vedlegg 3. Begge bussene oppfyller de seneste Euro VI utslipps-kravene, se kap. 4.

Noen data for bussene:

Type	MAN Lion's City GL	Van Hool EquiCity 24
Lengde	18.75 m	23.8 m
Tomvekt	18.3 tonn	24.7 tonn
Tot. pass antall	148	151
Total-vekt	30 tonn	36.5 tonn
Motorkraft	228 kW	206 kW + maks 192 kW el

MAN gassbussen med intern-nr Tide 8642 ble førstegangsregistrert 8.8.2014 og hadde før målingene en kilometerstand på ca. 12 740. For vHool hybridbussen med intern-nr Tide 8141 var datoen 21.10.2014 og kilometerstanden ca. 540.

Ulike data for bussene er gjengitt i Vedlegg 2 og de er også utførlig beskrevet i Referansene (1) og (2).

4. Gjeldende grenseverdier for avgassutslippene.

Utslippskrav iht Euro VI:

Komponent:	CO	NMHC	NOx	CH4	PM	Particle number	NH3
Enhet:	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[10 ¹¹ /kWh]	[ppm]
EURO VI	4	0,16	0,46	0,5	0,01	6	10

Grenseverdiene over gjelder for tunge kommersielle kjøretøy med SI-motorer under kjøring på «rullende vei» etter testsyklusen NETC (New European Transient Cycle). Det finnes ingen grenseverdi for CO₂ i denne standarden.

5. Måleutstyr og gjennomføring av målingene

5.1: Måleutstyr som er blitt benyttet og ført med i bussene:

Måling	Utslipp:	Målemetode:	Instrument:
Komponenter i avgassen	NOx	CLA	Horiba PG-350E
	CO	NDIR	
	CO ₂	NDIR	
	THC	HFID	J.U.M. HFID 3-200
	som over	Elektrokjem. celler	Testo 350-XL
Avgassmengde	Lambda λ	UEGO Zirkondioksid type	Horiba Mexa-110λ
	Kondisjonering	Filtrering, tørking	Madur PGD-100
Luftmengde		Trykkdifferanse	Meriam 50MC2-4F
Omgivelse	Trykk, temp, fuktighet		Testo 625 + Nexus IW 004

Beskrivelser av analysatorene finnes i Vedlegg 6, 7, 8 og 9..

Testo 350-analysatoren ble bare benyttet på vHool-bussen, -i parallell med de andre.

Avgasstrømmene som er blitt analysert ble tatt ut etter katalysator og representerer «**tail pipe emissions**».

En egen avgasstrøm for **THC** ble gjennom et filter ledet frem til J.U.M analysatoren og målt «varm», en annen prøve-strøm ble ledet gjennom en oppvarmet slange og en gass-tørker til Horiba-analysatoren og målt «tørr».

Derimot er **Lambda**, -som danner grunnlaget for avgassmengde-beregningene, blitt målt like etter motor (=før katalysator) i den ubehandlete avgassen for å gi et best mulig bilde av avgass-sammensetningen direkte fra forbrenningen.

Selve **utføringen av målingene** har så godt som mulig fulgt standarden ISO 8178-1:2006 «*Reciprocating internal combustion engines -- Exhaust emission measurement -- Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions*»
Største forskjellen var som sagt at alt utstyret ble ført med i bussene under drift.

Følgende kalibreringsgasser er blitt benyttet til kontroll av instrumentene:

Flaske 1: NO: 450 ppm, rest N₂

Flaske 2: CO: 900 ppm, CO₂: 4.5 % vol, SO₂: 180 ppm

Flaske 3: N₂ : 99.999 %

Flaske 4: Propan 3100 ppm, rest N₂

5.2 Montering av måleapparatene

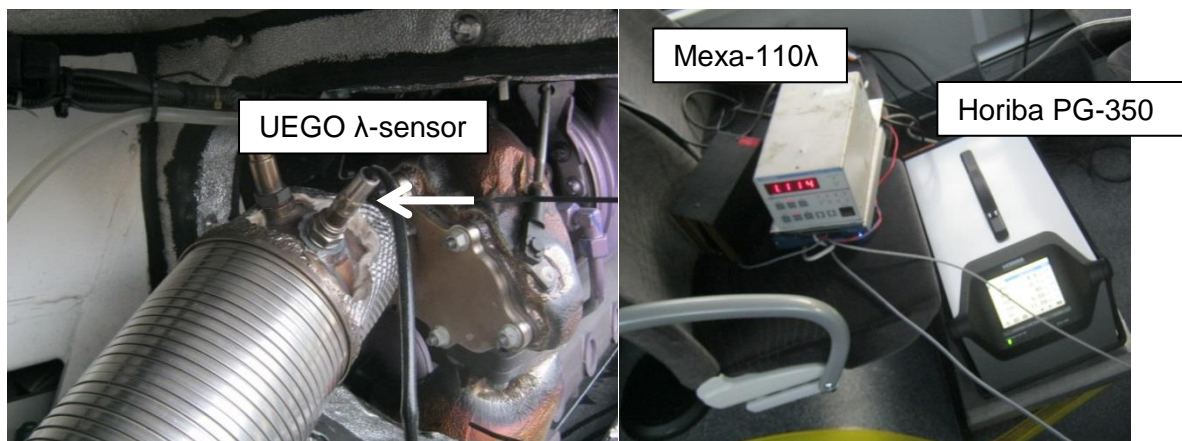
Det er i prinsippet benyttet samme oppsett for begge bussene.



Luftmengdemåler montert over inntaket til motorens luftfilter

Luftmengdemåleren var en laminar-flowmåler av fabrikat Meriam og ble montert der hvor gitteret som beskytter motorens luftfilter normalt sitter. Bolthullene for gitteret ble brukt til å feste rammen og dekkplaten som kan sees på bildene ovenfor. I tillegg ble mellomrommet mellom platen og bussens karosseri tett med lerretstape. Luftmengdemåleren er en volumstrøm-måler basert på differansetrykk over en gitt blende og som måles med en lavtrykks-giver. Luftmasse-strømmen beregnes så iht prosedyre fra manualen for luftmengdemåleren, se eksempel i Vedlegg 5.

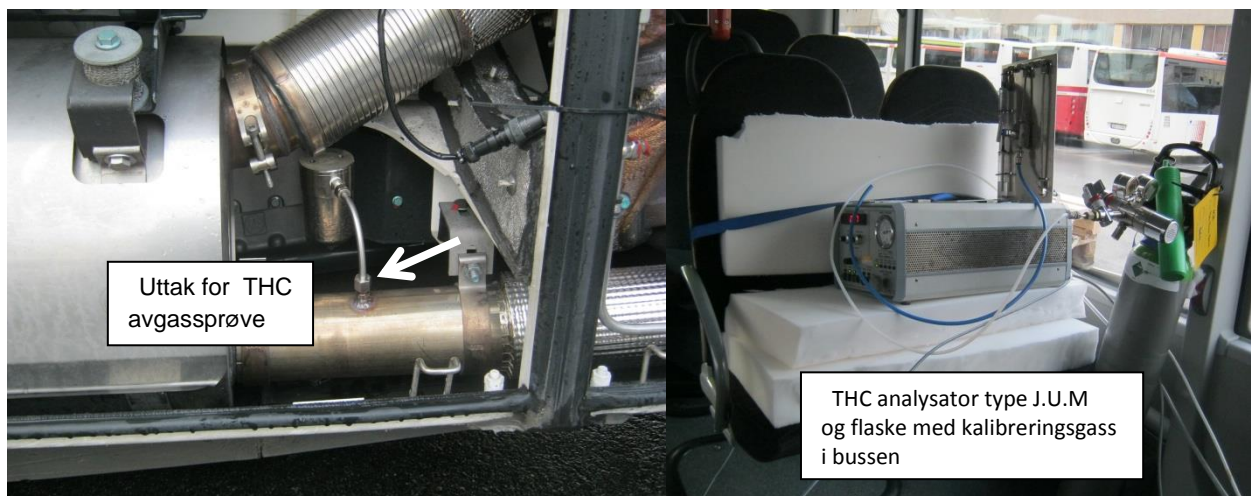
Måling og registrering av Lambda:



Lambdasensor (venstre bilde), Mexa-110λ og Horiba PG-350 NOx-analysator (høyre bilde)

Lambda-sensoren ble montert like etter motor i den ubehandlede avgasstrømmen. Det ble benyttet en bredbånd lambdasensor av typen «UEGO» og registrering i analysator av type Mexa-110λ.

Måling og registrering av THC:



Uttak for avgassprøver like etter katalysator (venstre bilde) og J.U.M. THC-analysator (til høyre)

Avgassprøven til måling av uforbrente hydrokarboner (THC) hentes fra en stuss like etter den kombinerte lydtemperen og katalysatoren. Et rør kobler stussen og et filter sammen. En spesialslange fører prøven fra filter til apparatet (J.U.M. HFID 3-200). Apparatet gir mengde uforbrente hydrokarboner i ppm i fuktig (varm) avgass.

Måling og registrering av NOx, CO og CO₂ :

En tilsvarende avgassprøve ble hentet ut til måling av NOx, CO og CO₂ , og hvor denne ble ledet via en «Madur» gasstørker til analysatoren (Horiba PG-350). Denne måler derfor på tørr avgass og gir konsentrasjonen av NOx og CO i ppm, CO₂ og O₂ gis i vol-%. NOx ble valgt som parameter da denne er en del av EURO VI avgasskravet.

Nødvendig strøm (220VAC) til det omfattende utstyret ble produsert av et medbragt bensinaggregat i bussen.



Strømforsyning fra medbragt bensinaggregat (avgassrøret til høyre)

Belastningen:

Sandsekker ble brukt til å simulere lasten (passasjerer). Sandsekkene ble veiet inn med en badevekt og de samme sandsekkene blir brukt på begge bussene, se beskrivelse i Kap. 2.



Sandsekker som last

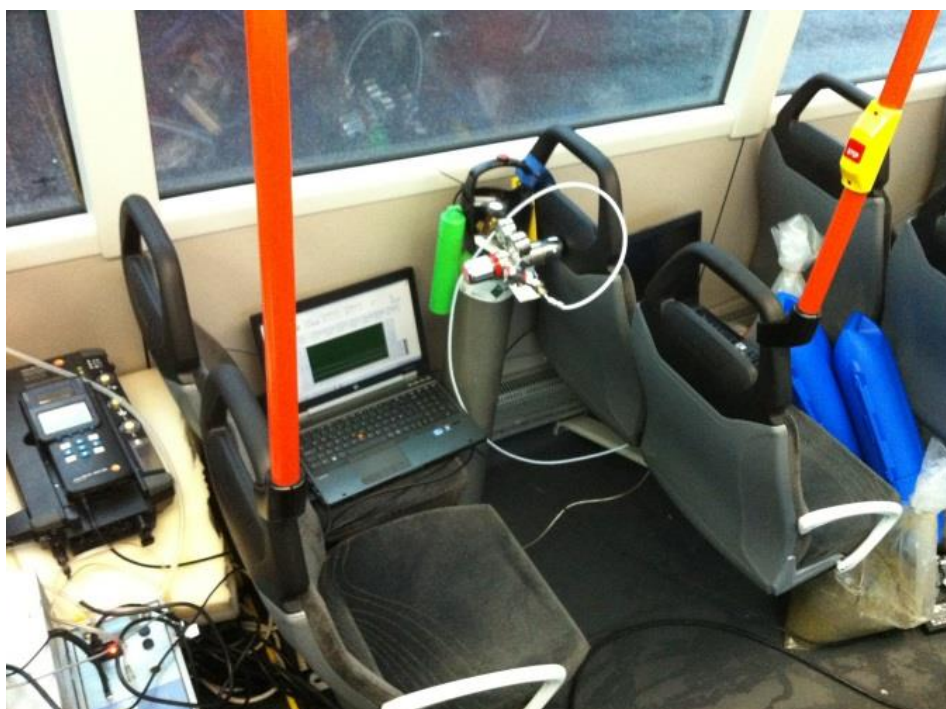
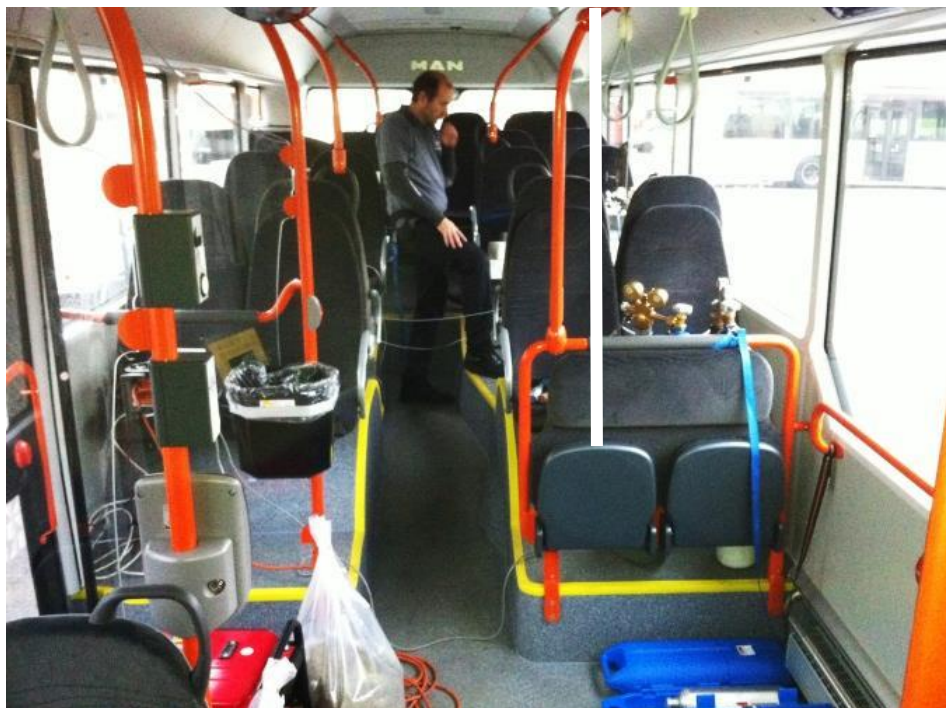
Kjøreruten:

Alle scenarioene ble kjørt tre ganger for hver buss. Kjøreruten gikk iht til Linje 2 i Bergen og var på ca 15 km. Start og stopp var ved LNG-tanken til Tide på Mannsverk og hver målerunde tok ca 50 min. Når bussen ankom Mannsverk ble turen avsluttet ved at bussen snudde og gjorde seg klar til en ny runde. Sjøfåren kjørte slik at han holdt ruten best mulig bl. a. ved å følge etter en Linje 2 – buss i ordinær rute.

Man merker seg at snitthastigheten for måle-turene har vært lavest for vHool hybridbussen og ligget mellom 15.8 og 16.4 km/t og litt høyere, mellom 16.8 og 17.8 km/t for MAN-bussen.

Den valgte traséen «Linje 2» er nærmere beskrevet i Vedlegg 10 og Referanse (1).

Noen inntrykk fra arbeidet inne i bussene



6. Metoder for beregning av resultatene.

Avgass-analysatorer måler *konsentrasjonen av de ulike komponentene i forhold til den totale avgasstrømmen i ppm («parts pr million») eller vol-%*. For å kvantifisere de ulike komponentene i masse, typisk g / sek, må man derfor kjenne *avgassmengden og tetthetsforholdet* mellom ønsket komponent og den aktuelle avgassen (standardiserte verdier for dette finnes).

Avgassmengden beregnes normalt som *summen av luft-massestrøm og brennstoff-massestrøm*. I denne beregningen inngår følgende:

- Lambda λ , (= forholdet mellom faktisk luftforbruk og støkiometrisk luftforbruk)
- Innsugd luftmengde (= luftstrøm * tetthet i g/sek), som begge er blitt målt kontinuerlig

Støkiometrisk luftforbruk er blitt beregnet fra drivstoffsammensetningen for den aktuelle naturgassen og er her (avrundet) 16.7 kg luft per kg naturgass (Vedlegg 4). Denne angir hvor mye luft (i kg/sek) som trengs til å forbrenne 1 kg/sek gass av gitt type og inngår som en konstant i beregningen.

Målt Lambda kan oppfattes som en «løpende korrektur» under drift av det teoretiske forholdet mellom luft- og brennstoffmengden (16.7 kg L / kg G).

Fra målt Lambda (dimensjonsløst), støkiometrisk luftforbruk (konstant, g luft / g brennstoff) og den målte luftmengden (i g / sek) kan man derfor beregne forbrukt **brennstoffmengde** (i g/sek) slik:

$$\dot{b}_r = \frac{\text{faktisk luftforbruk}}{\text{støkiometrisk luftmengde} \cdot \lambda}$$

Ved å summere opp enkeltverdiene for hele målesyklusen (= kjøreturen) får man så den totale forbrukte gassmengden.

For å regne om utslippene til g / sek etter formelen nedenfor må først luft- og brennstoff massestrømmene regnes om til nm^3/sek ved at luftmassen deles på std luft-tetthet ($1.293 \text{ kg}/\text{nm}^3$) og brennstoffmassen deles på tettheten fra gassanalysen, $0.757 \text{ kg}/\text{nm}^3$, og summeres så til avgasstrøm i nm^3/sek . Dessuten må det kompenseres for fuktigheten i avgassen, da utslippene skal oppgis for tørr avgass. Dette er vist i eksemplet i Vedlegg 5.

Utslippsmengden er blitt beregnet slik:

Konsentrasjonene målt i ppm regnes om med følgende formel:

$$\text{Utslipp i mg / nm}^3 \text{ avgass} = \text{målt ppm} \cdot w$$

hvor w i formelen står for *midlere tetthetsforhold mellom utslippskomponenten og avgasstrømmen*, og er for avgass fra naturgassforbrenning oppgitt i standarden til:

$w = 2,05$ for NO_x , $w = 1,249$ for CO og $w = 0,714$ for THC. Benevnelsen er kg/nm^3

Ved å multiplisere dette med avgassmengden i nm^3/sek får man så massestrømmen for hver utslipps- komponent i g / sek.

Når det gjelder CO₂ så måles den som vol-% av den tørre avgassmengden (i nm³ / sek), og ved å multiplisere med tettheten for CO₂ på 1.98 kg / nm³ får man mengden i kg/sek.

For hver sampling (hvert sekund) beregnes altså *gram utslipp* for dette tidsintervallet og som deretter summeres opp for hele måleperioden (= kjøreruten). Ut fra denne summen og kjent kjørelengde kan (midlere) *utslipp pr km* beregnes og videre med kjent (passasjer-)belastning beregnes så *utslippet i gram pr passasjer og km*.

Eksempel på en beregning for en gitt utslippskomponent er vist i Vedlegg 5.

Målt drivstofforbruk er i tillegg blitt kontrollert ved å sammenligne med totalt gassforbruk etter hver runde. Totalt forbruk er blitt målt med et coriolis-flowmeter montert på en av fyllestasjonene hos Tide på Mannsverk. Denne angir mengden gass i hele kg som fylles opp etter at hver runde er kjørt. En unøyaktighet ved denne metoden har vært det meget grove manometeret på bussene som ble benyttet for å kontrollere etterfyllingen.

Da enheten som komponentene skal presenteres i er satt til *gram per kilometer per passasjer* må tilbakelagt strekning måles. Dette er blitt gjort med et *odometer*, ettermontert i bussene av Tide. Odometeret er et instrument som måler utkjørt strekning og forbrukt kjøretid meget nøyaktig, og brukes i busser for å angi hvor i ruten bussen befinner seg og om bussen holder ruten tidsmessig.

I tillegg til *tilbakelagt strekning* er også *hastigheten* blitt logget fra bussens odometer.

7. Resultater

7.1. Generelle kommentarer til behandlingen av rå-dataene

Alle målingene ble utført under sammenlignbare forhold hva gjelder temperatur, ca 6 °C og luftfuktighet på ca 90%, og alle verdier representerer snittet av 3 enkeltmålinger, med mindre noe annet er oppgitt.

Resultatene har vist at utslippene av CO, THC og NO_x er meget små (ref Euro VI) og ligger derfor veldig lavt i forhold til måleområdet for de anvendte instrumentene og deres kalibreringsgasser. Dette bidrar til å øke måleusikkerheten for disse (meget små) verdiene. Når det gjelder CO₂ så har de målte verdiene passet bedre med måleområdet for det anvendte instrumentet og bør følgelig oppvise større grad av nøyaktighet.

Arbeidet viste fort at rå-signalene svinget kraftig, sannsynligvis pga driftsbetingelsene i trafikken («opp- og ned-gassing», gir-skift i automat-kassen osv) samt at analysatorene viste en grad av ustabilitet avhengig av vibrasjonsforholdene inne i bussen. Det ble derfor nødvendig å ta hensyn til disse forholdene under bearbeidingen av rå-dataene, ved at *alle negative verdier ble satt til «0»* ut fra at dette i praksis ikke ble ansett som plausible verdier, se i tillegg Kap. 8.

En annen nødvendig justering av rå-signalene gjaldt tidsforsinkelsen på noen av målekanalene, både pga forsinkelsen i selve prøvetakingen (lange sugerør) og dessuten også pga lang responstid («treghet») i analysatorene. Andre målesignaler som har gitt umiddelbar respons (luftmengde-målingen, Lambda-sonden) er blitt brukt til å justere tidsforsinkelsen for

de trege signalene (det ble brukt en fast verdi) slik at alle verdiene samsvarte best mulig for et gitt tidspunkt i målesyklusen. Se mer om dette i Kap. 8.1.

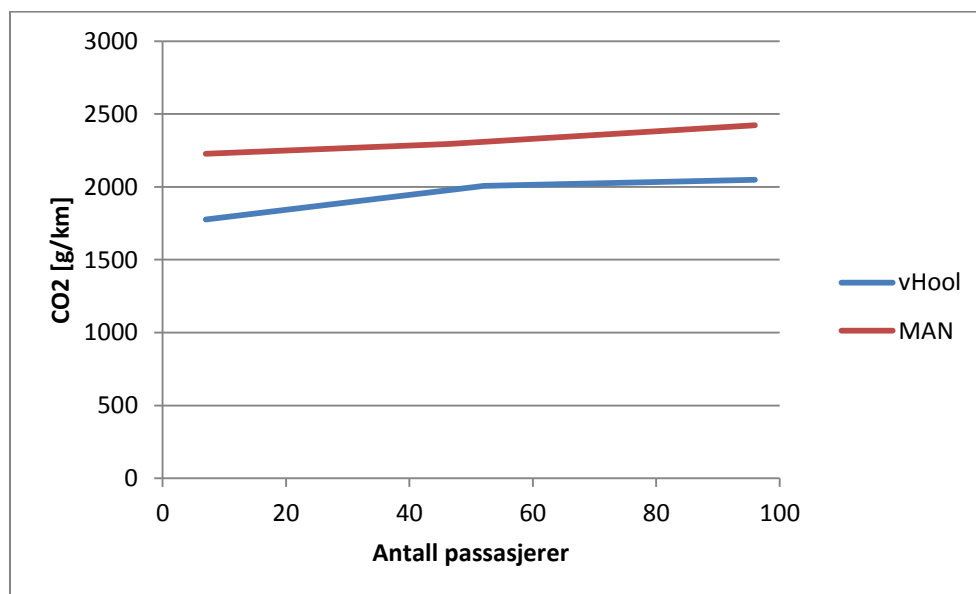
Data-analysene har videre viste at de største sprikene i resultater kom fra om bussene startet måle-turen i «kald» eller «varm» tilstand. Dessverre ble ikke innvirkningen av dette oppdaget før en tid ut i oppdraget, slik at resultatene inneholder en blanding av «varm» og «kald» kjøring oppover denne stigningen. For å få en konsistent sammenligning av alle kjøringene, er det derfor valgt å se bort fra denne første del-strekningen i den videre resultat-behandlingen. som utgjorde i distanse ca 1.4 av totalt 15 km (under 10%), Dette er nærmere diskutert i Kap. 8.1.

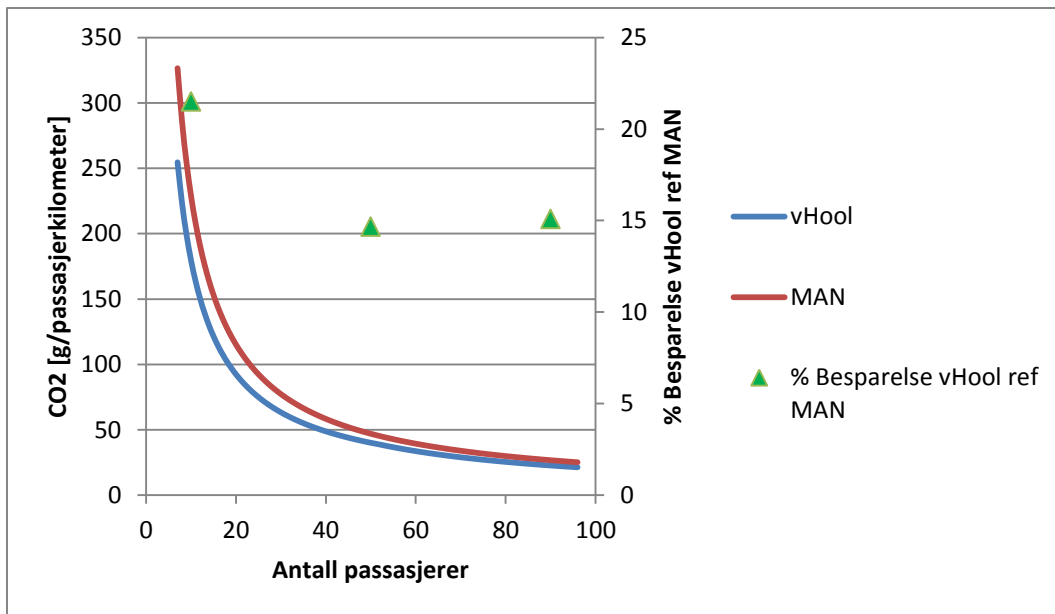
7.2 Enkelt-resultater

Innledningsvis må det igjen presiseres at dette er målte verdier ved normal bussdrift på Linje 2 i Bergen, og kan derfor vanskelig sammenlignes direkte med offisielle syklus-verdier.

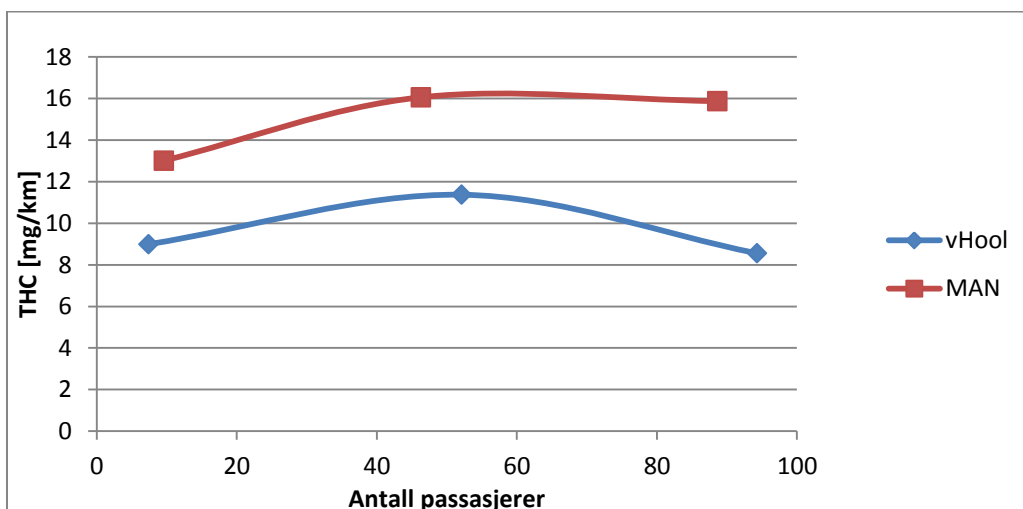
CO₂ utslippene:

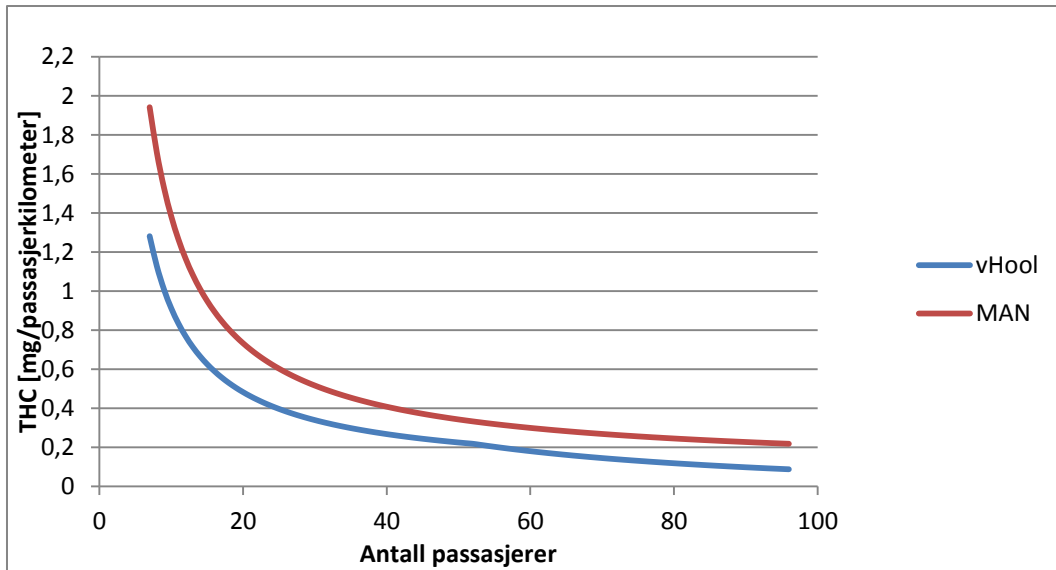
Nedenfor vises målte utslipp av CO₂ i g / km som funksjon av belastningen (passasjerantall) samt regnet om til spesifikke verdier som g / passasjer-km. Man ser at vHool-bussen har et jevnt over 15 – 20% lavere utslipp i hele belastningsområdet, og når dette deles på antall passasjerer som transporteres, er reduksjonen ca 20% ved lav belastning og ca 15% ved høy passasjer-belastning. Til tross for den store vekt-forskjellen mellom bussene, så kommer hybrid-bussen (vHool) klart best ut (pga bidraget fra batteriet).





THC- utslipp (metan): I mangel av egnet måleutstyr for CH_4 (metan) – utslippene er det blitt benyttet standard FID måleutstyr for totale hydrokarboner THC og som er blitt kalibrert mot propan C_3H_8 . Det må imidlertid legges til at med et brennstoff som typisk inneholder 95% metan (se Vedlegg 3) og støkiometrisk forbrenning ($\lambda = 1$) med veldig høy temperatur, er det rimelig å anta at ca 95% av THC-utslippene faktisk er metan (fordi dette er den gass-komponenten som trenger høyest temperatur for å brenne og blir derfor igjen etter at de andre er brent opp). Mao bør de målte THC-verdiene gi et godt bilde av metan-utslippet fra disse bussene.

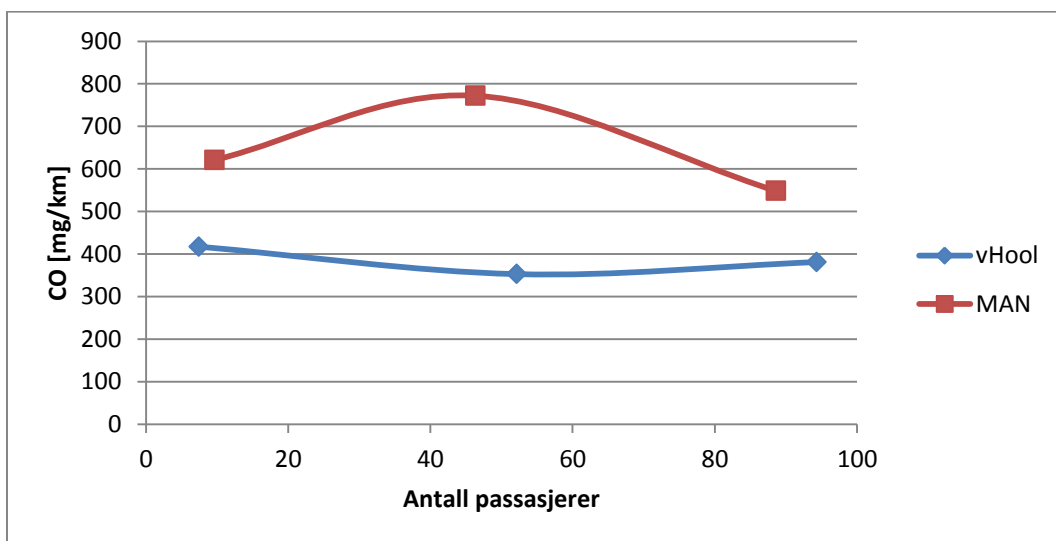


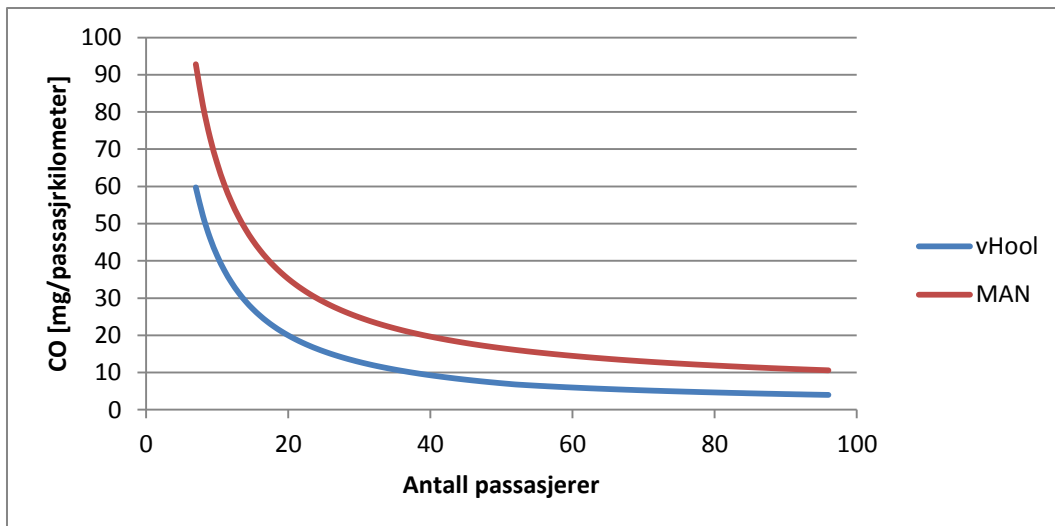


Man merker seg de meget små THC-verdiene (maks 16 mg / km ved maks belastning for MAN-bussen, vHool ikke over 12 mg/km) og videre at vHool-bussen (hybrid) hele tiden gir laveste verdier, både absolutt og pr passasjer-km.

Dette kan ha flere årsaker, som at denne har mindre gassmotor-kraft og brenner mindre gass pga tilskuddet fra batteriet, men også fordi denne bussen har en betydelig mindre motor enn MAN-bussen, (se Vedlegg 2) men har samme katalysator-størrelse som denne, mao betydelig større relativ katalysator-volum og dermed sannsynligvis også bedre konverteringseffektivitet, -når katalysatoren først har nådd tilstrekkelig driftstemperatur.

CO-utslipp:

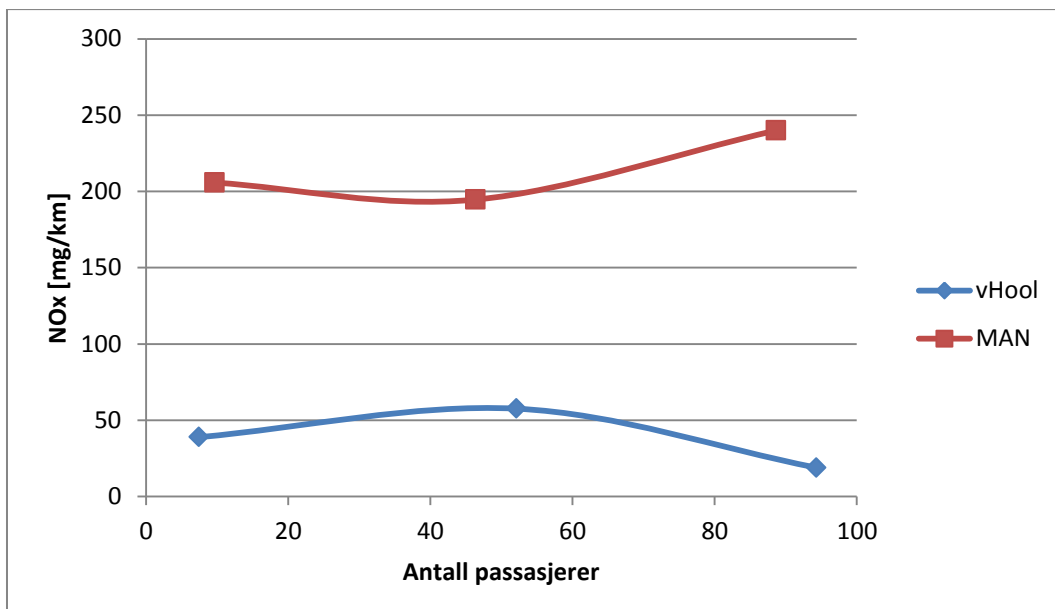


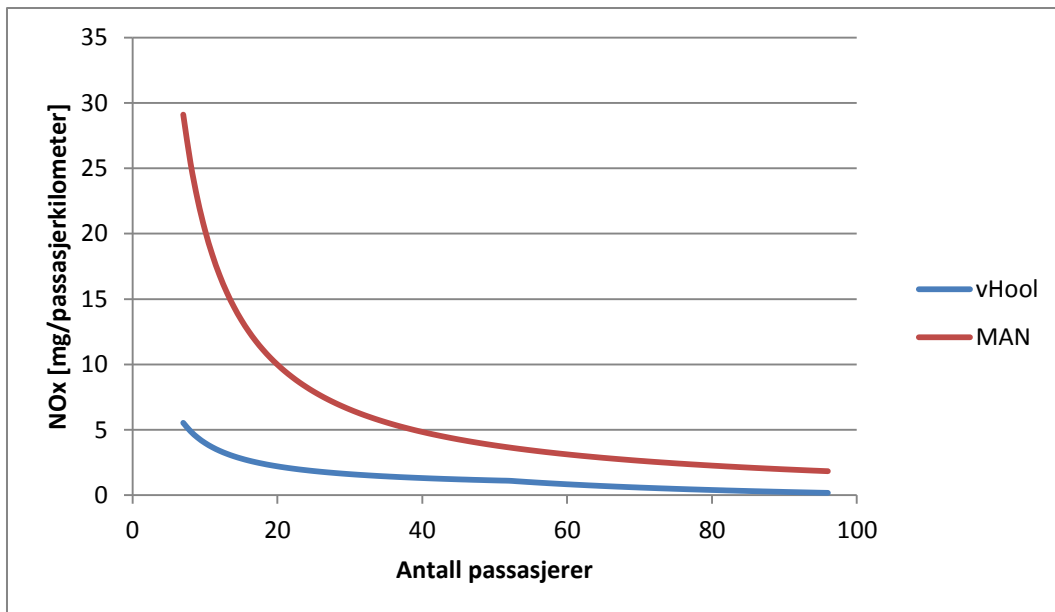


Her dreier det seg også om meget små verdier (< 800 mg / km for MAN, < 450 mg / km for vHool) og hele tiden er vHool-bussen best. Årsakene antas å være de samme som for THC, at denne har den minste motoren og forbrenner derfor minst gass, og den har dessuten størst relativt katalysator-volum som gir teoretisk best rens-effekt.

Hvorfor del-lastpunktene spriker noe og faller ut av den generelle «trenden» at CO-utslippet er ganske konstant og last-uavhengig er noe usikkert, men kan kanskje skyldes visse måle-usikkerheter.

NOx - utslipp:





Diagrammene ovenfor viser NO_x-utslippene fra de to test-bussene. Oppdraget hadde spesifisert dette oppdelt i NO og NO₂, men av mangel på egnet måleutstyr for medføring i bussene og med referanse til Euro VI er det blitt målt NO_x. Den antatte fordelingen mellom NO og NO₂ er diskutert i Kap 8.1.

Igjen må det understrekes at det er for begge bussene målt svært lave verdier, spesielt gjelder dette for vHool (=hybrid) bussen. Til sammenligning foreskriver Euro 6 for bensindrevne personbiler en syklus-grenseverdi på 60 mg/km, noe vHool-bussen synes å klare på denne teststrekningen! Som årsak må man anta at hybridiseringen her igjen kommer inn og gjør at forbrenningsmotoren i vHool-bussen ikke behøver å arbeide så hardt i tillegg til det større relative katalysatorvolumet med antatt bedre renseeffekt denne bussen har.

Normalt kurveforløp burde vært en viss økning i NO_x med økende belastning og når dette ikke er kommet så klart frem må man anta at dette skyldes visse måle-unøyaktigheter.

8. Diskusjon av resultatene.

8.1 Generelle kommentarer om nøyaktigheten av målingene:

Tidsforsinkelsen i signalene:

Beregning av mengde av CO₂, CO, THC og NO_x baseres på $\int T_{\text{ørr_avgass}}(t + \delta) * \text{konsentrasjon}(t) dt$. Nøyaktig beregning av tidsforsinkelsen δ fram til de forskjellige instrumentene er vanskeligere å bestemme med sikkerhet. På lengre strekninger ser det ut som om verdien av δ har liten betydning. På korte strekninger varierer resultatet en del med verdien til δ . På hele strekningen begrenses verdien innenfor et par prosent av total resultatet når δ testes ut mellom 0 og 26 sekunder. Det er da brukt samme verdi δ på hele strekningen.

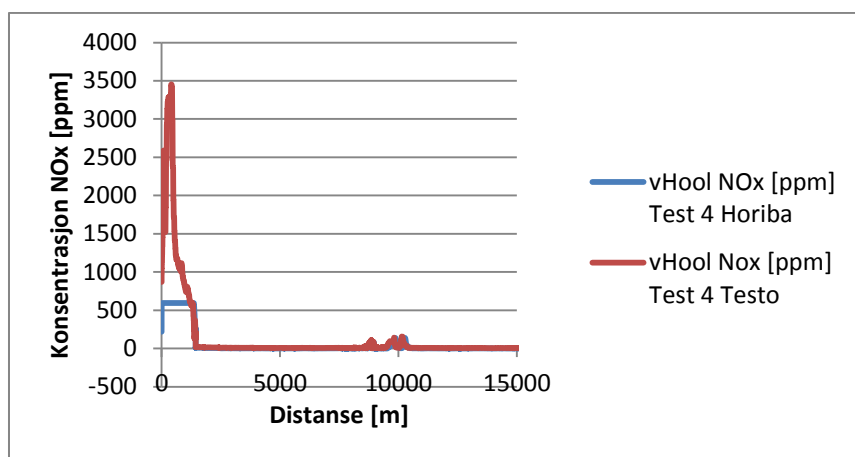
Med måling hvert sekund har integrasjonsmetoden funnet å ha ingen betydning. Trapes-, Simpsons-, og Bode-metoden gir i praksis samme resultat.

«Kald» og «varm» katalysator ved start:

Det som har gitt markert størst variasjoner i resultatet er mengdene som slippes ut på første del av strekningen på hver tur, sans. fordi temperatur på motor og katalysator varierte ved oppstart. I starten på hver tur var det en ca 1.4 km lang jevn stigning opp til en snuplass (dvs ganske hard belastning) og utslippene på denne strekningen når bussene var «kald» viste seg i absolutt mengde å utgjøre svært mye av den totale utslippsmengden for en hel måle-tur (gjelder ikke for CO₂!). Når bussen derimot kjørte direkte opp denne stigningen i «varm» tilstand uten mellomliggende stopp, var utslippene flere 10er-potenser lavere..

Dette kommer tydelig fram i Test 4 («kald») på vHool bussens NOx- målinger, se nedenfor. På de første 400 meterne gikk Horiba-instrumentet i metning (600 ppm) og som tilsier at målingene i denne perioden ikke er korrekte. Målinger med Testo instrument viste en topp på over 3000 ppm. Vi har dog ikke en god oversikt over temperatur på motor og katalysator ved en slik oppstart.

Vedr THC-utslippene så fulgte Testo og J.U.M instrumentene hverandre godt, men Testo ble bare brukt på vHool bussen.

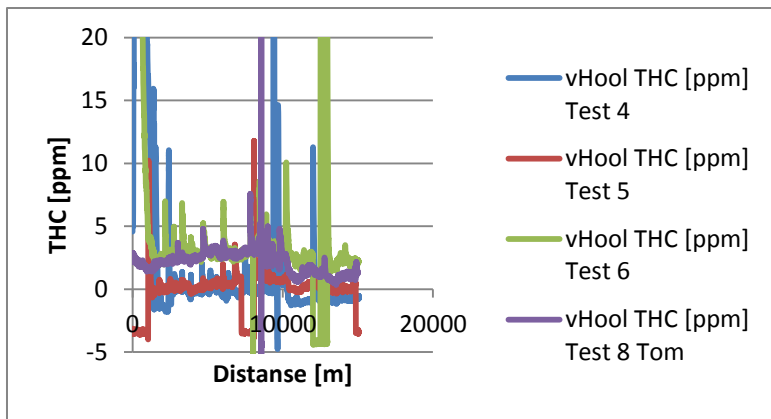


For at resultatene skal være sammenlignbare har vi derfor valgt å holdt de første 1400 meterne utenfor målingene. Det vil si at alle resultatene som presenteres er med «varm» motor og katalysator. Det synes altså som om katalysatoren virker vesentlig dårligere når den er «kald».

Innsamlede data for CO₂ ser ut til å være konsistente for alle tester for begge busser.

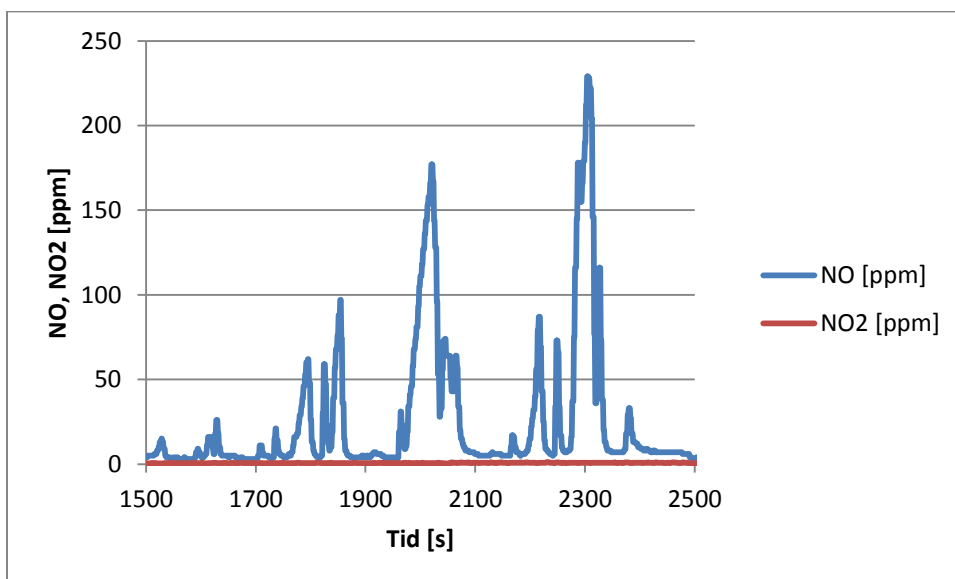
Eliminering av unøyaktige data:

Måleresultatene for vHool for test4 og test 5 (halv last) for THC og NOx ser ut til å være de minst pålitelige, se nedenfor. Instrumentet ble kalibrert for THC målinger før hver tur. Det kan virke som om kalibreringen er galt justert for THC målingene på testrunde 4 og 5. Måleresultatene for THC følger de andre rundene, men ligger systematisk en del lavere. I testrunde 5 falt også målingen av THC ut i perioder av betydning. Det var behov for å tenne/initiere instrumentet ved visse mellomrom. Det kan være fornuftig bare å bruke resultatene for THC og NOx målingene bare fra testrunde 6 for vHool målingen med halv last, det vil si å utelate THC og NOx målinger fra runde 4 og 5.



Om forholdet mellom målt NO_x og fordelingen mellom NO – NO₂:

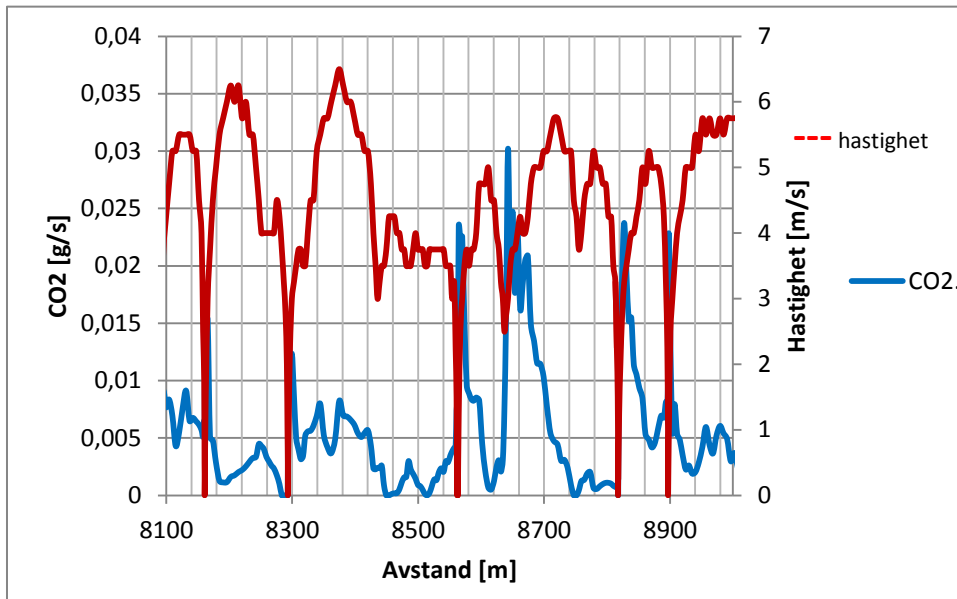
Vedr den forespurte fordelingen mellom NO og NO₂ kan det sies at fra en 3-veis katalysator av denne typen, hvor det foregår en *reduserende prosess* (CO reduserer NO til N₂ og CO₂) er det *ytterst lite NO₂ som oppstår*, - om i det hele tatt, slik at det aller meste som slippes ut er NO. Dette ble også bekreftet av den sjekk-målingen som ble gjort parallelt med Testo 350-analysatoren og som kunne måle NO og NO₂ separat. Figuren under viser målt fordeling på ett gitt tidspunkt av en måle-tur og bekrefter at NO₂ utslippet er svært lavt (nærmest = 0).



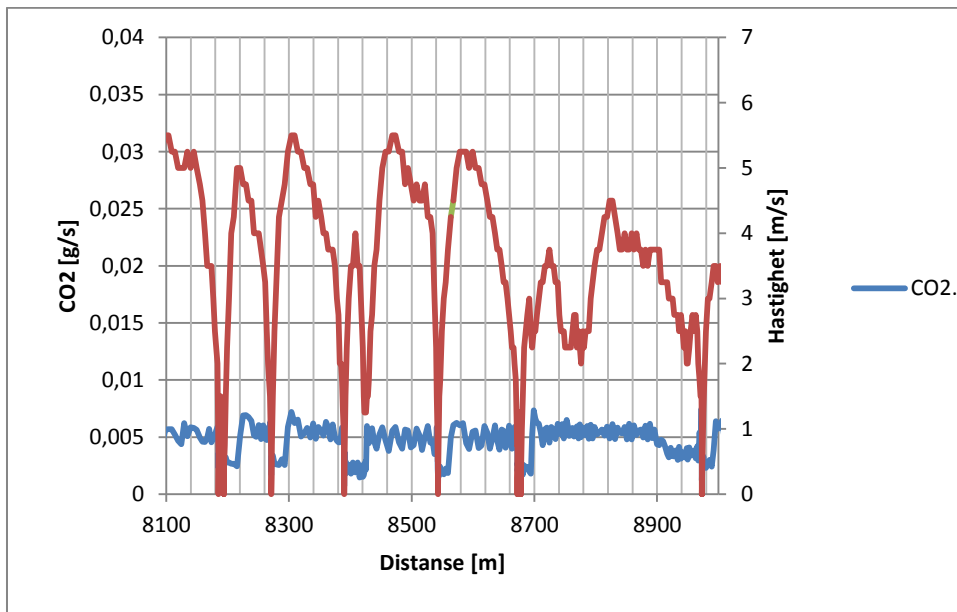
8.2 Forskjeller i utslippene for de to buss-typene ved varierende hastighet:

I de to nedenfor viste diagrammene har begge bussene kjørt en gitt del-strekning inne i sentrum med svært varierende, men rel. like hastighetsprofiler, gitt ved de røde kurveforløpene. De blå kurveforløpene viser de tilhørende CO₂-utslippene, og som det tydelig går frem er dette for MAN-bussen svært varierende mens det for vHool-bussen er mye mer stabilt og jevnt på en verdi rundt 0.005 g/sek (selv om integrert verdi for MAN-bussen ikke er veldig forskjellig). Dette viser imidlertid at den hybride drivlinjen fører til at

gassmotoren arbeider mer jevnt og konstant selv om bussens hastighet samtidig er ganske varierende.



MAN: Hastighetsprofil og CO2



Van Hool: Hastighetsprofil og CO2

Referanser:

- 1: Stein Bjørlykke: «Hybrid biogas buses»
Publication for the project "More Baltic Biogas Bus, WP 3"
HOG Energi, Bergen, 20.11.2014

- 2: Ørjan Høyvik: «Sammenligning av tradisjonell og hybrid drivlinje på gassbusser»
Semesteroppgave i faget MOE 252 «Termiske maskiner – fordypning»
HiB / AIØ høstsemesteret 2014.

VEDLEGG

Vedlegg 1:

Måleoppdraget pr brev fra HOG av 29.04.2013

Til: Lars Magne Nerheim

HiB

Bergen 29.4.2013

Måleprogram for biogasshybridbusser, søknad om Transnovastøtte

I søknaden som gikk til Transnova 21. mars 2013 fra Skyss/HOG er måleprogrammet omtalt slik:

Høgskolen i Bergen skal stå for måling av utslippene. Det vil bli foretatt som enkeltprøver på karakteristiske dager i løpet av året. Høgskolen besitter stor kompetanse og er velutstyrt på målesiden. Lars Magne Nerheim vil stå ansvarlig for målingene. Underveis vil det også bli vurdert om studentoppgaver/masteroppgaver kan knyttes til prosjektet.

Videre blir delmål i prosjektet formulert slik:

Redusere forbruk av biogass i forhold til en vanlig biogassbuss.

Redusere utslipp av CO₂, CH₄, NO₂, NO og CO

Redusere støyutslipp

Vinne erfaring med innkjøps- og driftsøkonomien til en biogasshybrid buss

Vinne driftserfaring og erfaring med kjørbarhet av biogasshybrid buss

Beregne samfunnsøkonomien knyttet til en gasshybridløsning for bytrafikk

Vedlegg 2:

Diverse data for de to busstypene (fra Ref 2):

Buss:	MAN Lion's City GL	VAN HOOL Exquicity 24
Lengde [m]:	18.75	23.82
Akselavstander [m]:	5.875 / 6.770	6.60 / 6.71 / 6.71
Bredde [m]:	2.50	2.55
Høyde [m]:	3.37	3.40
Overheng (fremme /bak) [m]:	2.70 / 3.405	1.90 / 1.90
Frigangsvinkel (foran / bak) [°]	7 / 7	
Svingradius, utvendig [m]	11.7	12.2
Svingradius, innvendig [m]	-	5.20
Inngangshøyde [m]	0.34	0.34
Egenvekt m. fører [kg]	18 313	24 665
Tillatt nyttelast [kg]:	11 687	11 835
Maks tillat totalvekt [kg]	30 000	36 500
Tillatt aksellast, 1.aksel [kg]	7 245	7 245
Tillatt aksellast, 2.aksel [kg]	11 500	13 000 (drivaksel)
Tillatt aksellast, 3.aksel [kg]	13 000 (drivaksel)	13 000
Tillatt aksellast, 4.aksel [kg]	-	7.245
Hjul (antall per aksel)	2 – 4 – 4	2 – 4 – 4 – 2
Dekkdimensjon	275/70 R22.5	275/70 R22.5
Felgdimensjon	8.25 x 22.5	7.5 x 22.5

Passasjer-kapasiteter:

Buss type	MAN Lion's City GL	VAN HOOL Exquicity 24
Sitteplasser:	51	54
Ståplasser:	97	97
Totalt antall:	148	151

Forbrenningsmotorene

Buss:	MAN Lion's City GL	VAN HOOL Exquicity 24
Motor:	MAN E2876	MAN E0836
Plassering / konfigurasjon:	Langsmontert, liggende R6	Langsmontert R6
Totalt slagvolum [dm ³]:	12, 816	6, 872
Boring [mm]:		108
Slaglengde [mm]:		125
BSFC [g/kWh]:		250
Effekt [kW]:	228 (ved 2000 o/min)	206 (ved 2200 o/min)
Dreiemoment [Nm]:	1250 (fra 1000 – 1700 o/min)	1000 (fra 1000 – 1900 o/min)
BMEP, maks. effekt [bar]:	10.7	16.4
BMEP, maks. moment [bar]:	12.3	18.3

Vedlegg 3

RENT BRENSEL LNG - LIQUEFIED NATURAL GAS - KOLLSNES2

Dok.ansv. Ameln	Tetthet [kg/Nm3]: 0,7569
Fagansv.: Ameln	Tetthet [kg/Sm3]: 0,7172
ISO-6976 1983 ed.	Relativ tetthet(v 0gr C): 0,5854
AVL, DGC og Kl. Mc Kinley	Relativ tetthet(v 15gr C): 0,5853
Gasnor AS	Metantall: 84,8
Dato 28.10.2014	Motoroktantall: 131,4
	Utslippsfaktor: mol/mol kg/kg
	1,05 2,73

Prøve I.D:		KOLLSNES2: 2 analyser i oktober 2014			
Gass komposisjon		Brennverdi			
Produkt:	Mol %	Brutto		Netto	
		MJ/kg	MJ/kg	Vol %	Masse %
Nitrogen	0,640	0,000	0,000	0,641	1,059
Karbondioksyd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Metan	95,022	55,515	50,028	95,070	90,095
Etan	3,441	51,902	47,511	3,416	6,115
Propan	0,504	50,325	46,332	0,494	1,313
i-butan	0,247	49,347	45,561	0,239	0,848
n-butan	0,065	49,505	45,719	0,063	0,225
i-pentan	0,081	48,910	45,249	0,076	0,344
n-pentan	0,000	49,006	45,345	0,000	0,000
hexan	0,000	48,678	45,103	0,000	0,000
heptan	0,000	48,435	44,921	0,000	0,000
SUM:	100,000			100,000	100,000

Gass komposisjon		Brennverdi pr.element:		Molvekt	Molfraksjon
Produkt:	Mol %	Brutto		kg/Kmol	
		MJ/kg	MJ/kg		
Nitrogen	0,640	0,000	0,000	28,014	0,179
Karbondioksyd	0,000	0,000	0,000	44,010	0,000
Metan	95,022	50,017	45,073	16,043	15,244
Etan	3,441	3,174	2,905	30,070	1,035
Propan	0,504	0,661	0,608	44,097	0,222
i-butan	0,247	0,418	0,386	58,123	0,143
n-butan	0,065	0,111	0,103	58,123	0,038
i-pentan	0,081	0,168	0,156	72,150	0,058
n-pentan	0,000	0,000	0,000	72,150	0,000
hexan	0,000	0,000	0,000	86,177	0,000
heptan	0,000	0,000	0,000	100,204	0,000
SUM:	100,000	54,549	49,231		16,9203

Enhet:	BRUTTO		NETTO	
	Brennverdi:	Wobbe Indeks:	Brennverdi:	Wobbe Indeks:
MJ/kg	54,549	71,294	49,231	64,343
MJ/Sm3	39,123	51,139	35,309	46,153
MJ/Nm3	41,290	53,964	37,264	48,703
kcal/kg	13028,581	17027,787	11758,442	15367,771
kcal/Sm3	9344,038	12213,961	8433,100	11023,238
kcal/Nm3	9861,604	12888,686	8900,209	11632,185
Btu/lb	23453,263	30652,391	21166,836	27664,131
kWh/kg	15,153	19,804	13,675	17,873
kWh/Sm3	10,867	14,205	9,808	12,820
kWh/Nm3	11,469	14,990	10,351	13,529

Vedlegg 4:

Beregnet støkiometrisk luftmengde for gassen (fra Ref. 2):

Fra gass-sammensetningen (Vedlegg 3) hentes følgende verdier:

Komponent:	Andel, vol-%
Metan	95,070
Etan	3,416
Propan	0,494
i-butan	0,239
n-butan	0,063
i-pentan	0,076
Tetthet [kg/nm ³]	0.7569

Oksygenbehovet beregnes etter følgende formel

$$O_{min} = \frac{1}{2}(CO + H_2) + 2 \cdot CH_4 + 3 \cdot C_2H_6 + \left(m + \frac{n}{4}\right) C_mH_n - O_2$$

For denne sammensetningen går «m» til 5 (for pentan). Første og siste ledd fjernes:

$$O_{min} = 2 \cdot CH_4 + 3 \cdot C_2H_4 + 5 \cdot C_3H_8 + 6,5 \cdot C_4H_{10} + 8 \cdot C_5H_{12}$$

Andelene settes inn vol-andeler der iso- og normal-butan konsentrasjonene er slått sammen:

$$O_{min} = (2 \cdot 0,95070) + (3 \cdot 0,03416) + (5 \cdot 0,00494) + (6,5 \cdot 0,00302) + (8 \cdot 0,00076) = 2,0543$$

Støkiometrisk luftmengde beregnes fra forholdet mellom oksygenbehov og andel oksygen i luften.

Det brukes at det er 21 vol-% oksygen i luft:

$$L_{min} = \frac{O_{min}}{0,21} = \frac{2,0543}{0,21} [nm^3 \text{ luft}/nm^3 \text{ gass}] \approx 9,78 \text{ nm}^3 \text{ luft}/nm^3 \text{ gass}$$

Støkiometrisk luftmengde pr kg gass:

$$v_{Lr} = L_{min} \cdot \frac{1}{\rho_{gass}} = 9,78 \cdot \frac{1}{0,7569} [nm^3 \text{ luft}/kg \text{ gass}] \approx 12,9 \text{ nm}^3 \text{ luft}/kg \text{ gass}$$

Støkiometrisk luftmengde på massebasis:

$$L_{min_m} = L_{min} \cdot \rho_{luft} \cdot \frac{1}{\rho_{gass}} = 9,78 \cdot 1,292 \cdot \frac{1}{0,7569} [kg \text{ luft}/kg \text{ gass}] \approx 16,7 \text{ kg luft}/kg \text{ gass}$$

Vedlegg 5:

Beregningseksempel ut fra målte avgassverdier (fra Ref 2):

Eksemplene på dataene er hentet fra excelarkene «måling_2» og «2_5.5tonn_MAN». Dataene er tatt fra raden (tidspunkt) 16:37:57:

Δp	Lambda	NOx	CO	THC	CO ₂	O ₂
[Pa]	-	[ppm]	[ppm]	[ppm]	vol-%	vol-%
573.358	0.998	60.117	35.698	48.932	11.668	-0.045

Beregningene nedenfor er gjort stegvis der det er brukt fire desimaler i mellomregningene.

Luftforbruket:

Differansetrykket er målt til 573.358 Pa. Dette trykket er målt på luft med en temperatur og luftfuktighet på henholdsvis 9.71 °C og 74.26 %. Temperaturen og luftfuktigheten er hentet fra excelarket «tf_2_full_last_MAN».

For å beregne volumstrømmen følges manualen for Merian Z50MCZ-4F. Ligningen nedenfor gir strømningsraten (Q) kubikkfot per minutt [CFM] ved standard trykk og temperatur:

$$Q = (B \cdot DP + C \cdot DP^2) \cdot \left(\frac{\mu_{std}}{\mu_{wet-air}}\right) \cdot \left(\frac{T_{std}}{T_f}\right) \cdot \left(\frac{P_f}{P_{std}}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{wet}}{\rho_{dry}}\right)$$

Koeffisientene B og C er gitt til å være henholdsvis 5.3808304E+01 og -3.5916938E-01.

Differansetrykket (DP) regnes om til tommer vannsøyle ved 4 °C:

$$\text{Differansetrykk ved } 8^\circ\text{C} = 573.358 \cdot \frac{1}{9.80665} [\text{mm VS}] = 58.4662 \text{ mm VS}$$

$$\text{Fra mm VS til tommer VS: } 58.4662 \cdot \frac{1}{25.4} [\text{tommer VS}] = 2,3018 \text{ tommer VS}$$

Korrigerings i forhold til temperaturen:

$$\Delta p \text{ ved } 4^\circ\text{C} = \Delta p (T) \cdot \frac{\text{tetthet vann ved } T}{\text{tetthet vann ved } 4^\circ\text{C}}$$

T = 9.71°C og tettheten finnes ved interpolering fra tabellverdier fra manualen:

Vanntemperatur [°C]	Tetthet [lbs/ft ³]
4	62.426
15.5	62.366

$$\frac{15.5^\circ\text{C} - 9.71^\circ\text{C}}{15.5^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}} = \frac{62.366 \text{ lbs/ft}^3 - \text{tetthet ved } 9.71^\circ\text{C}}{62.366 \text{ lbs/ft}^3 - 62.426 \text{ lbs/ft}^3}$$

$$\text{tetthet ved } 9.71^\circ\text{C} = -1 \cdot \left(\frac{579}{1150}\right) \cdot (-0.06) \text{ lbs/ft}^3 - 62.366 \text{ lbs/ft}^3 = 62.3962 \text{ lbs/ft}^3$$

Korrigert differansetrykk:

$$\Delta p \text{ ved } 4^\circ\text{C} = 2,3018 \cdot \frac{62.3962}{62.426} [\text{tommer VS}] = 2,3007 \text{ tommen VS}$$

Temperatur/viskositet korreksjon hentes fra tabell A-32422 i manualen. Tabellen bruker fahrenheit, 9.71°C tilsvarer 49.478 °F. Følgende formel er gitt for tabellen:

$$\left(\frac{\mu_{std}}{\mu_f}\right) \cdot \left(\frac{T_{std}}{T_f}\right) = \frac{529.67}{459.67 + ^\circ\text{F}} + \frac{181.87}{\mu_{air}}$$

Der formel for μ_{air} er gitt som følgende:

$$\mu_{air} = \frac{14.58 \cdot \left(\frac{459.67 + ^\circ\text{F}}{1.8}\right)^{\frac{3}{2}}}{110.4 + \left(\frac{459.67 + ^\circ\text{F}}{1.8}\right)} = \frac{14.58 \cdot \left(\frac{459.67 + 49.478}{1.8}\right)^{\frac{3}{2}}}{110.4 + \left(\frac{459.67 + 49.478}{1.8}\right)} = 176.3742$$

Temperatur/viskositet korreksjon:

$$\left(\frac{\mu_{std}}{\mu_f}\right) \cdot \left(\frac{T_{std}}{T_f}\right) = \frac{529.67}{459.67 + 49.478} \cdot \frac{181.87}{176.3742} = 1.0727$$

Korreksjon av viskositet på grunn av fuktig luft. Her er T i Kelvin, altså 281.15 K i dette beregningseksempel:

$$\mu_{wet-air} = \left(\frac{14.58 \cdot (T)^{\frac{3}{2}}}{110.4 + T}\right) \cdot \left(\frac{\mu_{wet}}{\mu_{dry}}\right)$$

Forholdet μ_{wet}/μ_{dry} er gitt i grafen A-35500 i manualen. Temperaturen i denne grafen starter på 50 °F. Alle korreksjonsfaktorer for temperaturer rundt 50 °F er tilnærmet lik 1.0 uavhengig av luftfuktigheten. Det første leddet i formelen ovenfor tilsvarer formelen for μ_{air} . Pga dette blir det ikke brukt noen videre korreksjonsfaktor for fuktig luft med hensyn til temperatur.

Registrert omgivelsestrykk under målingen er 99.2 kPa. Dette tilsvarer 29.2938 tommer kvikksølv som ved hjelp av interpolering brukes til å lese av korreksjonsfaktoren P_{cf} :

$$\frac{29.30 - 29.2938}{29.30 - 29.25} = \frac{0.9792 - P_{cf}}{0.9792 - 0.9776}$$

$$P_{cf} = \left(\frac{P_f}{P_{std}}\right) = (-1) \left(\left(\frac{29.30 - 29.2938}{29.30 - 29.25}\right) \cdot (0.9792 - 0.9776) - 0.9792 \right) = 0.9790$$

Korreksjonsfaktor for fuktig luft med hensyn på tetthet gis fra tabell A-35600. Denne tabellen angir korreksjonsfaktorer for luftfuktighet med 20%-intervall og korreksjonsfaktor for temperatur med 10°F-intervall. Nedenfor er et utdrag fra denne tabellen gitt:

	Relative luftfuktighet	
Temperatur	60%	80%
40°F	0.9981	0.9975
50°F	0.9973	0.9964

For å finne korreksjonen for 49.478 °F og 74.26 % utvides tabellen ved hjelp av interpolering:

$$\frac{\rho_{wet}}{\rho_{dry_{40^{\circ}F}}} = (-1) \left(\left(\frac{80 - 74.26}{80 - 60} \right) \cdot (0.9975 - 0.9981) - 0.9975 \right) = 0.9977$$

$$\frac{\rho_{wet}}{\rho_{dry_{50^{\circ}F}}} = (-1) \left(\left(\frac{80 - 74.26}{80 - 60} \right) \cdot (0.9964 - 0.9973) - 0.9964 \right) = 0.9967$$

Utvidet tabell:

	Relativ luftfuktighet		
Temperatur	60%	74.26%	80%
40°F	0.9981	0.9977	0.9975
50°F	0.9973	0.9967	0.9964

Korreksjonsfaktor ved 49.478 °F og 74.26 %:

$$\frac{\rho_{wet}}{\rho_{dry_{49.478^{\circ}F, 74.26\%}}} = (-1) \left(\left(\frac{50 - 49.478}{50 - 40} \right) \cdot (0.9967 - 0.9977) - 0.9967 \right) = 0.9968$$

Denne metoden (med utvidet tabell) er brukt i beregning ved hjelp av excel (se tf_2_full_last_MAN). Etersom temperatur- og luftfuktighetsdifferansen er liten kan man som en forenkling ta utgangspunkt i gjennomsnittlig temperatur og luftfuktighet. Forskjellen blir veldig liten.

Strømningsraten beregnes med formelen gitt innledningsvis. Strømningsraten blir i henhold til formelen ved standard trykk og temperatur.

$$Q = (B \cdot DP + C \cdot DP^2) \cdot \left(\frac{\mu_{std}}{\mu_{wet-air}} \right) \cdot \left(\frac{T_{std}}{T_f} \right) \cdot \left(\frac{P_f}{P_{std}} \right) \cdot \left(\frac{\rho_{wet}}{\rho_{dry}} \right)$$

$$Q = ((5.3808304 \cdot 10)2.3007 + (-3.5916938 \cdot 10^{-1})(2.3007)^2) \cdot 1.0727 \cdot 0.9790 \cdot 0.9968 \text{ CFM}$$

$$Q = 127.6019 \cdot 0.3048^3 \text{ sm}^3/\text{min} = 3.6133 \text{ sm}^3/\text{min}$$

For å få strømmingen på massebasis multipliseres den med tettheten for luft ved 15°C og 1 atm.

Videre deles det på 60 for å få kg per sekund:

$$\rho_{standard} = \frac{101325 \cdot 28.97}{8314.47 \cdot 288.15} [\text{kg/sm}^3] = 1.2252 \text{ kg/sm}^3$$

$$\dot{m}_{luft} = 3.6133 \text{ sm}^3/\text{min} \cdot 1.2252 \text{ kg/sm}^3 \cdot \frac{1}{60} = \mathbf{0.0738 \text{ kg/s}}$$

Brennstofforbruk:

Når luftmengden er kjent kan brennstofforbruket beregnes via målt lambda og beregnet støkiometrisk luftmengde:

$$\dot{b}_r = \frac{\text{faktisk luftforbruk}}{\text{støkiometrisk luftmengde} \cdot \lambda} = \frac{0.0738 \text{ kg l./s}}{16.7 \text{ kg l./kg b.} \cdot 0.998} = 4.4280 \cdot 10^{-3} \text{ kg brennstoff/s}$$

Avgassmengde:

Summen av luft- og brennstofforbruket utgjør avgassmengden. Denne må konverteres via tetthetene til volumstrøm, siden de ulike avgasskomponentene måles på volum-basis (i ppm og vol-%):

$$\dot{m}_{avgass} = 0.0738 \text{ kg/s} + 4.4280 \cdot 10^{-3} \text{ kg brennstoff/s} = 0.0782 \text{ kg avgass /s}$$

$$Q_{avgass} = \left(\frac{0.0738 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1.2925 \frac{\text{kg}}{\text{nm}^3}} \right) + \left(\frac{4.4280 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0.7569 \frac{\text{kg}}{\text{nm}^3}} \right) = 0.0629 \text{ nm}^3/\text{s}$$

Teoretisk mengde vanndamp:

Mengden vanndamp må trekkes fra avgassmengden ettersom konsentrasjonene av de ulike avgasskomponentene er gitt i forhold til *tørr avgass*. Her introduseres en liten feilkilde ettersom teoretisk mengde ikke vil samsvare helt med den reelle mengden. Andelen hydrogen på massebasis er nødvendig for å beregne mengden vanndamp. Denne verdien er 0.2436 er beregnet separat.

$$V_{\text{vanndamp}}_{avgass} = 22.4 \cdot \frac{h}{4} = 22.4 \cdot \frac{0.2436}{4} [\text{nm}^3/\text{kg br. stoff}] = 1.3642 \text{ nm}^3/\text{kg br. stoff}$$

Forbruket er kjent så den faktiske mengden vanndamp kan beregnes:

$$\dot{V}_{\text{vanndamp}} = 1.3642 \text{ nm}^3/\text{kg br. stoff} \cdot 4.4280 \cdot 10^{-3} \text{ kg br. stoff/s} = 6.0407 \cdot 10^{-3} \text{ nm}^3/\text{s}$$

Tørr avgassmengde:

Trekkes mengden vanndamp fra total mengde avgass får man tørr avgass:

$$T_{\text{ørr avgassmengde}} = 0.0629 \text{ nm}^3/\text{s} - 6.0407 \cdot 10^{-3} \text{ nm}^3/\text{s} = 0.0569 \text{ nm}^3/\text{s}$$

Mengder av målte avgasskomponenter:

De fleste målte avgasskomponentene er gitt i ppm. Konsentrasjonene i ppm regnes om med formlene gitt nedenfor:

$$NO_x = NO_{x\text{ppm}} \cdot 2.05 = 60.117 \cdot 2.05 \left[\frac{\text{mg}}{\text{nm}^3} \right] * 0.0569 \frac{\text{nm}^3}{\text{s}} = 7.01 \text{ mg/s}$$

$$CO = CO_{\text{ppm}} \cdot 1.249 = 35.698 \cdot 1.249 \left[\frac{\text{mg}}{\text{nm}^3} \right] * 0.0569 \frac{\text{nm}^3}{\text{s}} = 2.537 \text{ mg/s}$$

$$THC = HC_{\text{ppm}} \cdot 0.714 = 48.932 \cdot 0.714 \left[\frac{\text{mg}}{\text{nm}^3} \right] * 0.0569 \frac{\text{nm}^3}{\text{s}} = 1.988 \text{ mg/s}$$

CO₂ er målt i vol-% av tørr avgass og finnes direkte:

$$CO_2 = 11.668 \text{ vol\%} \cdot \frac{1}{100\%} \cdot 0.0569 \frac{nm^3}{s} = 6.6391 \cdot 10^{-3} * 1.98 \frac{kg}{nm^3} = 13.1 \text{ g/s}$$

Totale utslippsmengder:

Dette vedlegget er et beregningseksempel for en måling gjort på et bestemt tidspunkt og repr. gjennomsnittsverdien i det tidsintervallet (ett sekund). Den totale utslippsmengden for hele strekningen får man ved å summere verdiene for samtlige tidsintervall (målepunkt) for hele kjøreturen.

Vedlegg 6:

Beskrivelse av Horiba PG-350E avgassanalysator

HORIBA PG-350E Portable Gas Analyzer

Process & Environmental Department
HORIBA Europe GmbH, Germany

PG-250(Existing) **PG-350E (New)**

Explore the future. Automotive Test Systems | Process & Environmental | Medical | Semiconductor | Scientific

HORIBA PG-350E Portable Gas Analyzer

Lightest Portable Gas analyzer with physical methods, all required Certifications

- Concept
 - Toughness
 - More Easy Operation
 - High Speed
 - More Intelligence
 - High Portability

Explore the future. Automotive Test Systems | Process & Environmental | Medical | Semiconductor | Scientific

Certifications and Approvals

- PG-350E has passed TUV approval (EN-15267)
- PG-350E has passed the SRM approval

("E" stands for Europe)

Certificate **Confirmation**

Explore the future. Automotive Test Systems | Process & Environmental | Medical | Semiconductor | Scientific

HORIBA PG-350E General Informations

- **Specification (EU = "E" type = SRM)**
 - **5 components measurement (standard)**
 - NO_x : 0-25/50/100/250/500/1000/2500ppm (CLD)
 - SO₂ : 0-50/100/200/500ppm (NDIR)
 - CO : 0-60/100/200/500/1000ppm (NDIR)
 - CO₂ : 0-10/20/30vol% (NDIR)
 - O₂ : 0-5/10/25vol% (PMA)
 - **Optional**
 - O₂ : 0-5/10/25vol% (Galvanic)
 - SO₂ : 0-200/500/1000/3000ppm (NDIR)
 - CO : 0-200/500/1000/2000/5000ppm (NDIR)

Explore the future. Automotive Test Systems | Process & Environmental | Medical | Semiconductor | Scientific

HORIBA PG-350E Feature 1

More Easy Operation

- Color touch panel
- User guidance
- Capture display
- Trend Graph

MEASURE 1/4 MEASURE 1/9

Explore the future. Automotive Test Systems | Process & Environmental | Medical | Semiconductor | Scientific

HORIBA PG-350E Feature 2

High Speed

- Timer function for warm-up
 - You can book the time for using
- Warm-up time: **30 minutes** (for SRM specifications)
- Response time
 - SO₂ : 180 seconds (instead of 240sec)
 - NO_x : 45 seconds
 - CO : 45 seconds
 - CO₂ : 45 seconds
 - O₂ : 45 seconds

Measurement begins


Warm-up

Timer is activated


Explore the future. Automotive Test Systems | Process & Environmental | Medical | Semiconductor | Scientific

Vedlegg 7:

Beskrivelse av J.U.M 3 – 200 FID avgassanalysator



PORTABLE HIGH TEMPERATURE TOTAL HYDROCARBON ANALYZER MODEL 3-200




**TÜV approved for
2. BImSchV, 13. BImSchV and 17. BImSchV and
fully complies with EN 12619, EN 13526 (EU) and
EPA Method 25A and Method 503 (USA)**

The J.U.M. Engineering HFID Model 3-200 is a portable very compact heated total hydrocarbon analyzer for high accuracy, sensitivity and stability.

The very reliable Model 3-200 heated FID uses our time proven hydrogen flame ionization detector (FID) in a 190°C heated oven to prevent the loss of high molecular weight hydrocarbons and to provide best performance in the analysis of low trace to high concentration levels of contaminants in emissions, ambient air, high purity gases, air and other gases.

All sample wetted components are integrated into the heated chamber. The permanent heated sample filter is cleaned by back purging with compressed air or nitrogen. This allows uninterrupted measurements during cleaning the sample filter. While back purging the sample filter, the sample line is also cleaned. The use of a stack probe filter is not necessary.



The combustion air supply for the detector is built in. No expensive zero gas generator or external cylinder for synthetic air is needed.

Our optional 50 liter metal hydrid fuel storage (See *inserted picture*) allows a 45 hour minimum of uninterrupted operation. This fuel storage can be very safely self-filled at a low pressure of 25 bar. No special adapter needed.

Also available with our highly effective methane only option

Features

- Maintenance free sample filter backpurge system allows filter to be cleaned without dismantling (automatic optional)
- Built in burner air generator, no external air cylinder needed
- All components in contact with sample fully heated and controlled at 190°C
- Built-in sample pressure and sample pumps
- Automatic flame out control
- Fast response within 1 second
- Low fuel consumption
- Very selective
- Microprocessor controlled PID-type temperature controller
- Remote control for sample, calibrate and backpurge is standard
- Remote or automatic range change optional
- Internal NMHC cutter option to measure either THC or Methane only

Applications

- Stack gas hydrocarbon emissions monitoring
- Fence line monitoring
- Raw exhaust vehicle emissions analysis
- Catalytic converter testing
- Measuring engine combustion efficiency
- Hydrocarbon contamination monitoring in air and other gases
- Carbon adsorption regeneration control
- Detection of trace hydrocarbons in purity gases used in the semi conductor industry
- LEL monitor of solvent laden air

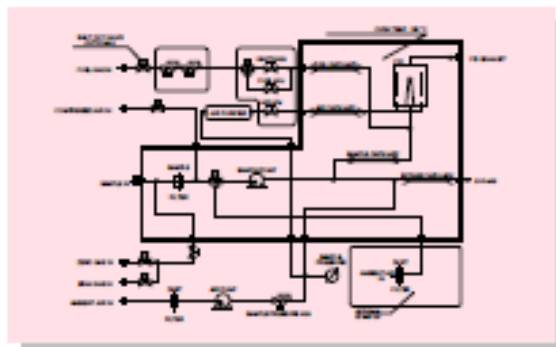
Product Brochure,
FID Model 3-200, english, © J.U.M. Engineering 2009

Principle of Operation

The Flame Ionization Detection (FID) method is used to determine the presence of total hydrocarbon concentrations in a gaseous sample. Burning hydrocarbon-free hydrogen in hydrocarbon-free air produces a negligible number of ions.

Once a sample containing hydrocarbons is introduced into this flame a very complex ionization process is started. This process creates a large number of ions. A high polarizing voltage is applied between the two electrodes around the burner nozzle and produces an electrostatic field. Now negative ions migrate to the collector electrode and positive ions migrate to the high voltage electrode. The so generated ionization current between the two electrodes is directly proportional to the hydrocarbon concentration in the sample that is burned by the flame. This signal is measured and amplified by our electrometer-unit.

A sample pressure regulator provides a controlled back pressure at the sample capillary which gives admittance of a constant sample flow rate to the burner. This technique without the conventional back pressure regulator is used by J.U.M. Engineering for over 30 years to provide the highest possible sample flow rate stability and lowest maintenance. Our compactly designed flow control module for controlling the fuel and air flow rates via needle valves use high precision pressure regulators. The needle valves are factory adjusted and sealed to ensure the optimization of the burner.



Technical Data	
Method of analysis	Flame Ionization Detector
Sensitivity	Max. 1 ppm CH ₄ full scale
Response time	0.2 seconds
T ₉₀ time	1.2 seconds
T ₉₀ time with heated line (7.5m) and filter	less than 8 seconds
Zero drift	<1.0% full scale / 24h
Span drift	<1.0% full scale / 24h
Linearity	Up to 10,000 ppm within 1% FSD
Oxygen synergism	< 1.2% FSD
Measuring ranges (ppm)	0-10, 100, 1,000, 10,000, 100,000, others on request
Analog outputs	0-10 VDC and 4-20 mA
Display	3 1/2 digit
Sample pump	approx. 2.5 l/min capacity @ operating temp.
Zero and span adjust	Manual on front panel
Fuel consumption 100% H ₂	approx. 20 ml/min @ 1.5 bar (22 psig)
Fuel consumption 40%H ₂ /60%He	approx. 90 ml/min @ 1.5 bar (22 psig)
Burner air consumption	built in burner air supply
Oven temperature	150°C (374°F)
Temperature control	µ-processor PID controller
Power requirements	either 230VAC/50-Hz, 850 W or 115VAC/60Hz, 850 W
Ambient temperature	5-43°C (41-110°F)
Dimensions (W x D x H)	19" (483 mm) x 460 mm x 132 mm
Weight	approx. 20 kg (44 lbs)
J.U.M. reserves the right to make improvements on the product described in this brochure at any time without prior notice. Information provided in this brochure is subject to be changed without notice.	

Available Options	
Some Options Cannot be Combined	
AMU 32	Automatic range change
APO 32	EXTERNAL automatic programmable backpurge system for the sample filter
AZM 32	Automatic flame ignition and re-ignition
ENGA 32	6-digit direct unit display, 0-100,000 ppm
FOAS 32	Flame out alarm with automatic fuel shut off valve
ICM 32 *	Built-in NMHC Cutter, measure either THC or Methane-Only with one analyzer
LTO 32	Measurement of low trace hydrocarbon levels. Requires external, zero grade combustion air supply!
PDA 32	Sample pressure monitor with alarm
RCA 32	0-20 mA analog output instead of 4-20 mA
RCC 32	Remote control range change
RC10 32	0-20 mA analog output, galvanically isolated
RC14 32	4-20 mA analog output, galvanically isolated
TPR 32 **	Internal temperature controller for heated sample line, e.g. JUM TJ100
F88 32	Hydrogen fuel storage cartridge including male and female (mounted) 1/4" Swagelok quick connector
Important!	* ICM cannot be combined with LTO ** TPR available as external module only when combined with ICM
Availability of options may change without notice!	



J.U.M.® Engineering G.m.b.H.

Manufacturing, R&D, Distribution & Service

Gauna-Str. 5
D-85757 Karlsfeld, Germany
Tel.: 49-(0)8131-50415, Fax: 49-(0)8131-98894
E-mail: info@jum.com, Internet: http://www.jum.com

Represented By

Vedlegg 8:

Beskrivelse av Meriam laminar strømingsmåler for luftmengde



LFEs for flanged process connections

CALIBRATION AND ACCURACY

Meriam LFEs are calibrated with air at atmospheric conditions referenced to 29.92" mercury absolute (760mm Hg. Abs.) and 70° F. (21.1° C). Each completed element is calibrated and traceable to the National Institute of Standards and Technology in our ISO 17025 certified flow lab. Meriam LFEs are supplied with a reproducible flow curve in terms of SCFM versus inches of water differential pressure. Correction factors are included to cover an inlet pressure range from 26 to 36" Hg Abs. and an inlet temperature from 50° F to 150° F. For special flow applications, we request that you contact Meriam with complete flow information. The rated accuracy* of all Meriam LFEs is percentage of actual reading; not the much wider percentage of full scale flow rate tolerance of other devices.

***Accuracy Levels Available:**

- Commercial Calibration
- Master Calibration
- Independent Lab Calibration

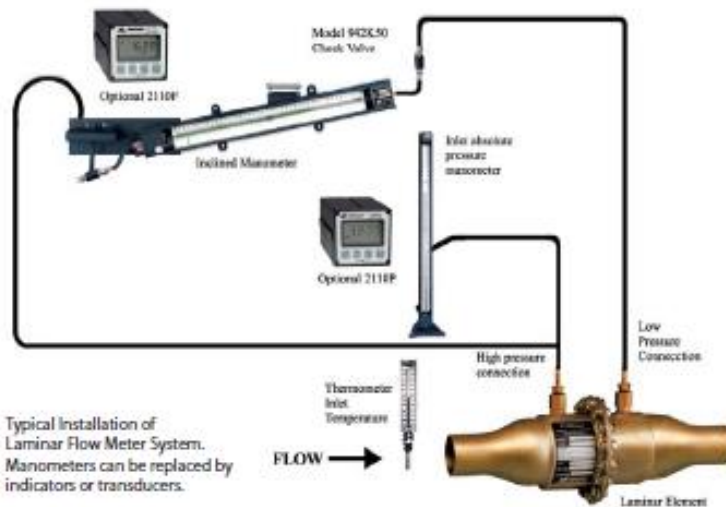
- ± 0.72% of Actual Reading[†]
- ± 0.64% of Actual Reading^{**}
- ± 0.50% of Actual Reading or better, consult factory

[†] ± 0.86% Reading for full scale flow of 1000 SCFM or higher
^{**} ± 0.70% Reading for full scale flow of 1000 SCFM or higher

Special calibration procedure service is available from our ISO 9001 certified flow lab for customers governed by aggressive quality programs requiring periodic recalibration. The Special Calibration Procedure #A-33544 is designed to meet the basic requirements of MIL-STD-45662A, ANSI Z540, 10CFR50 and MIL-Q-9858A. Contact Meriam for more information.



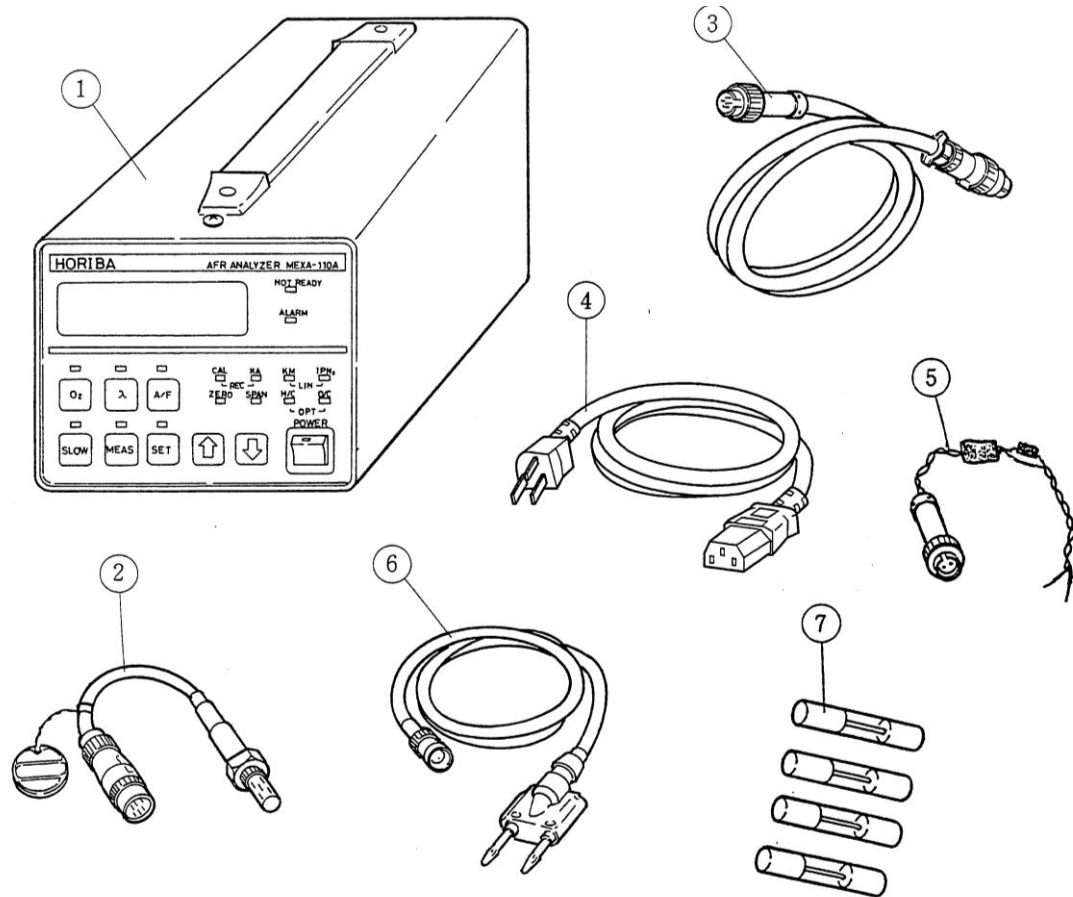
Filtered Inlet LFEs available for intake measurement applications



Typical Installation of Laminar Flow Meter System. Manometers can be replaced by indicators or transducers.

Vedlegg 9:

HORIBA Mexa 110λ Lambda – måler:



No.	Parts	Model	Parts No.	Q'ty	Remarks
1	Receiver	KX-621118-FH	F 023333900	1	
2	UEGO sensor	KX-721032-F	F 022379200	1	
3	Sensor cable	KX-821021-FH	E 012537100	1	
4	AC power cord	KX-821031-FH	E 012066100	1	100V, 115V AC type
5	DC power cord	KX-821038-FH	E 013307000	1	
6	Recorder cord	KX-821040-3	E 012066600	1	
7-1	Fuse (2A)	TGD-2A	E 012628600	2	
7-2	Fuse (1A)	TGD-1A	E 012628500	2	
7-3	Fuse (5A)	MGD-5A	E 012628700	2	
7-4	Fuse (5A)	MGB-5A	E 013306900	2	DC power cord
8	Power source adapter	KPR-13	E 010568500	1	
9	Instruction manual		I 042822000	1	

A. Specifications

Measurement range	A/F: 9.5-60.0 λ: 0.65-4.12 O ₂ : 0.00-25.00 % O ₂	Condition: H/C = 1.85, O/C = 0.000
Accuracy	± 0.3 A/F when 9.5 A/F ± 0.1 A/F when 14.7 A/F ± 0.3 A/F when 20A/F ± 0.7 A/F when 30 A/F ± 1.0 A/F when 40 A/F ± 1.5 A/F when 50 A/F ± 2.0 A/F when 60 A/F	Condition: H/C = 1.85, O/C = 0.000
Recorder output	0-1 V DC	
Recorder setting range	A/F: ZERO 0-99 1 increment SPAN 5, 10, 20, 50, and 100 λ: ZERO 0-9.9 0.1 increment SPAN 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, and 10.0 O ₂ : ZERO 0.00 (fixed) SPAN 5, 10, 20, 25, 50, and 100 % O ₂	
Setting	IPN ₂ : ± 50 μA 5 increments K _A : 0.100-0.999 mA% 0.001 increment K _M : 0.700-1.300 0.001 increment H/C: 0.00-9.99 0.01 increment O/C: 0.000-9.999 (*1) 0.01 increment (*1): [O/C] × 1.032 < 2.032 + [H/C]/2	
Power supply	85-264 V DC 50/60 Hz 72 W 10-15 V DC 50 VA (recommended voltage: 12-15 V)	
External dimensions	150W × 125H × 275D mm Approx. 2.4kg	
Temperature of exhaust gas used by sensor	- 7° to 900°C (recommended temperature: 200-800°C)	
Heat residence limit of sensor leads	200°C	
Heat residence limit of sensor connector	120°C	
Heat residence limit of sensor cable	- 20° to 80°C (not including connectors at both ends of cable)	
Ambient temperature (Receiver)	When in use: 5° to 45°C When in storage: - 10° to 70°C	

Vedlegg 10:

Testo 350-XL elektrokjemisk avgass – analysator:

testo 350 - the total solution for emission testing and combustion analysis

The testo 350 emission analyzer - the world's most advanced - provides compliance level accuracy, extreme testing flexibility, and the highest performance. It's no wonder why the testo 350 is chosen by more professionals for emission testing and process monitoring. Simply put, for every combustion application, it's the only choice.

The testo 350 helps meet ever increasing demands of regulations through continued R&D innovation. Exclusive sensor design, patented sample gas paths, active sample conditioning all come together for a perfect, lightweight, simple-to-use emission monitoring solution. So, whether you are testing for state or EPA compliance, or to troubleshoot and tune your combustion process, the testo 350 will do it all and do it with ease.

Analyzer Box

- Greater accuracy with Testo exclusive Low NO_x and Low CO sensors
- Continuous temperature compensation and sensor temperature control
- Wide testing ranges with integrated sample dilution systems
- Advanced NDIR technology for accurate CO₂ measurement
- Superior sample conditioning for True NO_x results
- Powerful pumps for fast response

Control Unit

- Simple handheld operation provides greater testing flexibility
- Display and print the values you want
- Operate docked or remotely



Sampling probes

The widest and most complete line available

Recommended for testing using:

- US EPA CTM-030
- US EPA CTM-034
- ASTM D6522
- And state and local testing



The Analyzer Box - “S” or “XL” model

The analyzer box is the “heart” of the measuring system and is available in two different versions:

The basic 350-S model

The testo 350-S comes standard with an O₂ cell and one other module of your choice. However, up to five additional modules (NO_x, SO₂, NO, NO_{low}, CO, CO_{low}, H₂S, C_xH_y or CO₂) can also be retrofitted for a maximum of six cells. Temperature and differential pressure are standard while efficiency and excess air are calculated. Upgrades to the “S” model include a sample conditioning system, dilution system and/or fresh air valve for long-term monitoring.

The advanced 350-XL model

All of the “S” model upgrades are standard in the “XL” version.

- Test up to six gases simultaneously or swap them for additional parameters with convenient plug and play sensors (C_xH_y, NO_{low}, CO_{low}, SO₂, H₂S, CO₂)
- Advanced sample conditioning utilizes an integrated Peltier chiller for moisture drop-out, a peristaltic hose pump for controlled water removal, and quick-change particulate filters
- Proven sample gas path with Teflon® lined hoses
- Continuous temperature compensation for assured accuracy
- Innovative dilution systems for the widest testing ranges and greatest sensor protection. CO to 400,000 ppm! NO, NO_x, SO₂, H₂S to 5 times the sensor range
- User defined programs with onboard memory to 250,000 values
- Integrated pressure measurement for draft, ΔP, velocity and mass emission
- Rechargeable battery with outboard DC connection and AC operation
- Flow rate and sensor temperature monitoring for US EPA CTM-030, -034 and ASTM D6522 requirements
- Comprehensive calculations including O₂ corrections for NO_x, CO, and SO₂, mass measurement with pitot and stack dimension input
- Simple on-site sensor calibration capability including diagnostics and sensor output (0 – 100%)

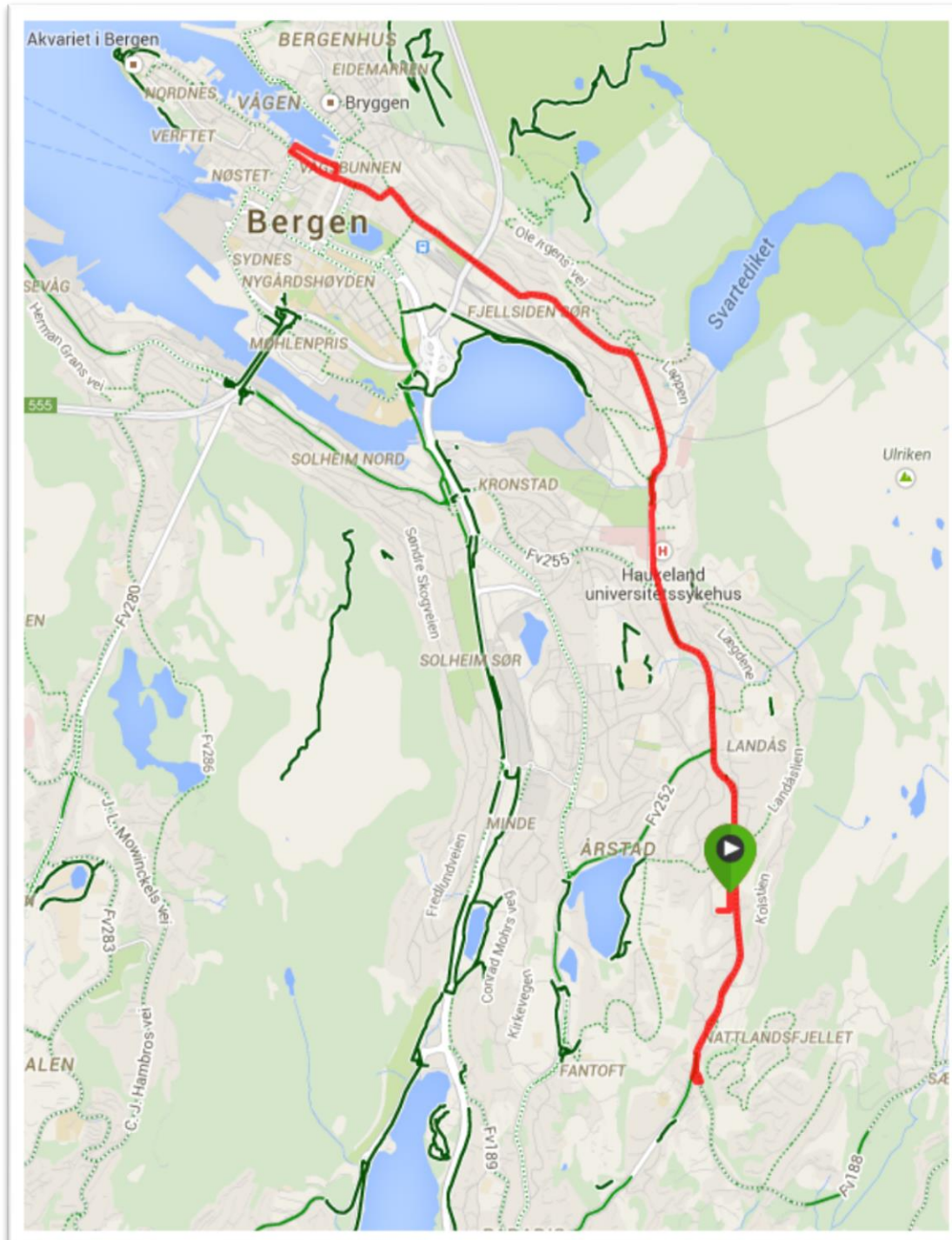


Compare Analyzer Box Models S and XL			testo 350 S	testo 350 XL
Maximum no. of sensors			6	6
O ₂	0 – 25 Vol.		■	■
CO)	0 – 10,000 ppm		○	■
CO)	0 – 500 ppm		○	○
NO	0 – 3,000 ppm (0.1 ppm resolution)		○	■
NO			○	○
NO			○	■
SO	0 – 5,000 ppm		○	○
HC	0 – 4 Vol. % (0.001 % resolution)		○	○
H ₂	0 – 300 ppm (0.1 ppm resolution)		○	○
CO (NDIR)	0 – 50 Vol. %		○	○
Built-in gas preparation unit (is recommended with high humidity levels in flue gas and during long-term measurements >2 hrs measuring time)			○	■
Automatic fresh air rinse with valve (incl. measurement range extension with dilution factor 5 for all sensors)			○	■
Measurement range extension for CO measuring module (with selectable dilution factors)			○	○
CO measuring module switch-off via adjustable switch-off threshold			■	■
Trigger input – stops and starts measurement externally			○	○
			■	■
Built-in rechargeable battery			■	■
2 temperature probe sockets (Type K NiCr-Ni)			■	■
Data logger (250,000 readings)			■	■
Testo data bus connection			■	■

○ = Upgrade Option

Vedlegg 11:

Data om test-strekningen («Linje 2»)



Start og slutt v. grønt merke. Turen gikk: Mannsverk-Birkelundstoppen-Strandkaien-Mannsverk Til sammen ca 15 km.

