



Utvärdering av DME som drivmedel m a p partiklar

HENRIK SALSING, VOLVO GROUP TRUCKS TECHNOLOGY
STEN MEYER, VOLVO GROUP TRUCKS TECHNOLOGY
ANDERS LORÉN, RISE
RAÚL OCHOTERENA, RISE

LEVERANS NR: 2019.1.21G



Projektnummer 2019.1.21g
Titel på projektet – svenska Utvärdering av DME som drivmedel m a p partiklar
Titel på projektet – engelska Evaluation of DME as a fuel, focusing on particle emissions
Projektledareorganisation Volvo Group Trucks Technology
Namn på projektledare Henrik Salsing
Namn på ev övriga projektdeltagare Anders Lorén, Raúl Ochoterena, Sten Meyer och Lars Svensson
Nyckelord: 5-7 st DME, förnyelsebart, förbränning, partikelantal, PEMS

Sammanfattning

En omställning av det svenska transportsystemet från dagens fossilbränsleberoende till fossilfrihet kräver avgörande insatser för att lyckas. DME kan vara en viktig energibärare för att lyckas med detta bl a för att koldioxidminskningen är reell, råvarutillgången är betydande samt att DME kan omvandlas effektivt till bränsle. Dessutom är modifieringar i infrastruktur och fordon relativt sett små.

Detta arbete besvarar frågeställning hur det förhåller sig med partikelemissioner från en DME-lastbil.

Portabel emissionsutrustning (PEMS) kompletterad med instrument för att bestämma partikelstorleksfördelningen och samla in partiklar som funktion av storlek användes för bestämning av emissioner från en tung DME-lastbil vilken kördes Göteborg – Varberg tur och retur. Lastbilen var utrustad med en 13 L VGT-EGR motor försedd med oxidationskatalysator och katalysator för att reducera kväveoxider.

Resultaten visar att partikelantalet blev högre än förväntat, omkring 400 gånger högre än resultat från motorlaboratoriet, och att endast en bråkdel av partiklarna kunde förklaras av att ha sitt ursprung i motoroljeadditiv. Därmed kunde inte hypotesen om att partikelutsläpp från en DME-motor i lastbil ute på väg förblir låga även utan avgasefterbehandlingsutrustning för partiklar bekräftas. För att styrka den måste ursprunget till partiklarna först bestämmas och sedan förstå hur de skall reduceras.

Projektet finansierades av Volvokoncernen och kommer att finansieras av Trafikverket via Triple F.

Summary

To change the Swedish transport system from today's system heavily depending on fossil fuel to a fossil free ditto requires decisive efforts to succeed. DME can be an important energy carrier in order to succeed in this because the carbon dioxide reductions are significant, the feedstock supply is large and it can be converted into fuel efficiently. Furthermore, modifications in infrastructure and vehicles are relatively minor.

This work answers the question of particulate emissions from a DME truck.

A PEMS system supplemented with instrument to determine particle size distributions and to collect particles as a function of size were used to determine emissions from a heavy DME truck in the test cycle Gothenburg - Varberg - Gothenburg. The engine used was a 13 L VGT-EGR engine equipped with oxidation catalyst and catalyst to reduce nitrogen oxides.

The results gave higher particle numbers than expected, about 400 times higher than results from the engine laboratory, and that only a fraction of the particles originated from engine oil additives. Thus, the hypothesis that particulate emissions from a DME engine in a truck remains low even without exhaust aftertreatment equipment for particles, could not be confirmed. In order to do so, the origin of the particles must first be determined and second understand how to reduce them.

The project was financed by the Volvo Group and will be financed by the Swedish Transport Administration via Triple F

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	3
Innehållsförteckning	4
1 Inledning	5
1.1 Bakgrund.....	5
1.2 Syfte	5
1.3 Mål.....	5
1.4 Övrigt.....	5
1.5 Resultat – leveranser	5
2 Bidrag till Triple F	6
3 Genomförande – PEMS-utrustning, ELPI och fordon	8
3.1 Fordon och Portable emission measurement system – PEMS	8
3.2 Electric low pressure impactor – ELPI	9
3.3 Kemisk analys	10
4 Resultat	11
4.1 Kemisk analys	11
4.2 Fordon och PEMS	14
4.3 ELPI.....	18
5 Nyttiggörande och nästa steg	20
6 Diskussion	20
Referenslista.....	20
Tack	21
Akronymer, förkortningar och förklaringar	22
Appendix	B

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Volvokoncernen har under lång tid, bl a med finansiering från Energimyndigheten, arbetat med utveckling av DME-teknik för tunga fordon. Många frågeställningar har då blivit besvarade och problem lösta. Det finns dock några frågeställningar kvar att besvara innan en kommersiell transportlösning som kan minska CO₂-utsläppen med upp till 95 % är slutgiltigt verifierad och en av dem är hur det förhåller sig med partikelemissioner från en DME-lastbil ute på väg. I motorlaboratoriet har det visats att partikelemissionerna inte innehåller sotpartiklar och att de partiklar som ändå återfinns där i huvudsak kommer från motoroljan.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att skapa kompletterande underlag beträffande partiklar från DME-lastbil och på så sätt styrka hypotesen att partikelutsläpp förblir små även under drift i lastbil ute på väg.

Volvokoncernen är problemägaren och också den främsta mottagaren av resultaten men även de som har intresse av fossilfria och konkurrenskraftiga transporter.

1.3 Mål

Verifiera kommersiellt gångbar transportlösning som kan minska CO₂-utsläppen med upp till 95 % genom att bekräfta hypotesen att partikelutsläpp från en DME-motor i lastbil ute på väg förblir låga även utan avgasefterbehandlingsutrustning för partiklar. Kunskapen som genereras inom projektet kommer att öka kunskapen kring partiklar från DME-motorer och förhoppningsvis även visa på hur de kan minskas då källan till partiklarna troligen blir bekräftad.

1.4 Övrigt

Projektet genomfördes under hösten och vintern 2019 och kulminerade i själva mätningarna på DME-lastbilen vilka genomfördes 26 november till 2 december 2019. Dessförinnan hade projektet begärt och fick förlängning från den 31 augusti till den 31 december 2019 och ytterligare till den 20 januari 2020 för att sammanställa rapporten.

Den beviljade budgeten från Triple F för projektet återfinns i Tabell 1 och visar på fördelningen mellan RISE, Volvokoncernen och Triple F.

Tabell 1 Budget för projektet med fördelning mellan RISE, Volvo och Triple F

	RISE	Volvo	Total
Egen finansiering, [kSEK]	0	187.5	187.5
Triple F, [kSEK]	187.5	187.5	375
Andel från Triple F, [-]	1	0.5	0.67
Total, [kSEK]	187.5	375	562.5

1.5 Resultat – leveranser

Partikelantal, partikelmassa, partikelstorleksfördelning och kemisk sammansättning i avgaser från DME-lastbil på väg sammanställd i rapport.

2 Bidrag till Triple F

En omställning av det svenska godstransportsystemet från dagens utpräglade fossilbränsleberoende, där exempelvis inrikes transporter står för drygt 30 % av Sveriges totala koldioxidutsläpp (i ekvivalenter) och de tunga lastbilstransporterna för 6 % [1], till på sikt fossilfrihet kräver avgörande insatser på såväl internationell som nationell nivå för att lyckas. Bidraget från de tunga lastbilstransporterna i denna omdaning av transportsystemet kommer att ske på många sätt genom alltifrån ökad användning av andra energibärare till att genomföra effektivare transporter.

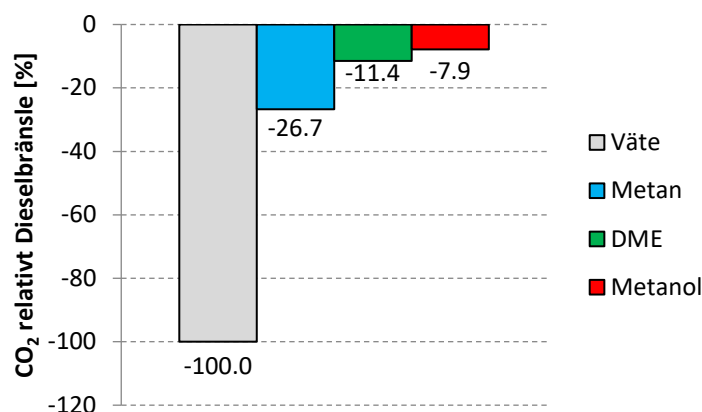
Den idag totalt dominerande energibäraren för tunga transporter – fossilt Dieselbränsle – kommer troligen graduellt att ersättas med fossilfria energibärare som förnyelsebart Dieselbränsle, andra förnyelsebara bränslen och kanske även i viss utsträckning elektricitet. Det är dock avgörande att de alternativ som väljs verkligen minskar koldioxidutsläppen i *såväl* framställnings¹- som förbrukningsled². I framställningsledet skall råvarorna effektivt gå att omvandla från råvara till energibärare/bränsle genom exempelvis gott markutnyttjande och en förädlingsprocess som har hög verkningsgrad/selektivitet för bränslet i fråga utan att biprodukter måste omarbetas till bränsle. Vidare, i förbrukningsledet skall bränslets energiinnehåll omvandlas till transportarbete så effektivt som möjligt. Det kan exempelvis vara genom att välja en effektiv energiomvandlare som en förbränningsmotor arbetande enligt Dieselprocessen som förbränner ett bränsle som med sina inneboende egenskaper ger lägre koldioxidutsläpp. Det sistnämnda kanske förtjänar ett exempel. Det är i stor utsträckning förhållande mellan mängden kol- och väteatomer i bränslet som avgör förhållandet mellan koldioxid och vattenemissioner så (utan hänsyn till olika motorers verkningsgradsskillnader) minskar metan och DME utsläppen av koldioxid med omkring 25 respektive 10 % jämfört med Dieselbränsle utan förnyelsebart innehåll på energiekvivalentbasis, se Figur 1. Diagrammet baseras på stökiometrisk förbränning av respektive bränsle i luft vid fullständig förbränning. Det blir inga utsläpp av koldioxid vid förbränning av väte eftersom denna energibärare inte innehåller kol. Det framgår också att utsläppsminskningarna även blir betydande för metan. Det framgår dock inte men som är viktigt vid bedömning av alternativa bränslen ur ett helhetsperspektiv, nämligen den tekniska komplexitet som krävs för att föra med energibäraren på ett fordon eller hantering i infrastrukturen i övrigt. I väteexemplet krävs mycket höga tryck och i metanexemplet vanligen antingen höga tryck eller mycket låga temperaturer. Denna hantering är energikrävande och försämrar bränslets totala verkningsgrad. Elektricitet som energibärare skulle också ge samma minskning av koldioxidemissioner från fordonet som väte men även där gäller den ökade komplexiteten att föra med sig energibäraren, i detta fall batterier, och totalverkningsgradsförsämringar.

Sammanfattningsvis, valet av energibärare/bränsle kan väsentligen minska koldioxidutsläppen under fordonets drift, som exempelvis väte och metan visar, men ur ett livscykelperspektiv är det ändå i framställningsledet de stora koldioxidminskningarna kan göras genom väl övervägda val av råvara och bränsle [2, 3].

Hur bra bränslet än må vara ur fossilfrihetsperspektiv (både i framställnings- och förbrukningsled) så spelar det ingen roll så länge bränslet inte kommer till stor användning och verkligen kan ersätta fossilt Dieselbränsle. Det är därför avgörande att bränslen väljs som tilltalar kunderna, så att de ger fordon med prestanda och tillförlitlighet jämförbara med dagens och inte minst möjligheter att skapa ekonomiskt värde för dess ägare. Bara då kan de alternativa energibärarna komma att spela en avgörande roll i godstransportsystemet och dess omställning till fossilfrihet.

¹ Vanligen "well to tank"

² Vanligen "tank to wheel"



Figur 1 Minskning av koldioxidutsläpp vid förbränning relativt Dieselbränsle utan förnyelsebart innehåll på energibasis

DME skulle kunna vara ett sådant bränsle då det är ett bränsle där dess råvara kan odlas effektivt, dess framställning är energisnål (för att vara ett förnyelsebart bränsle) och dess tekniska anpassning för infrastruktur och fordon liten (exempelvis jämfört med väte och metan men inte med Dieselbränsle). Det krävs dock acceptans både i en teknikutvecklingsorganisation, speciellt då den numera måste behärska många tekniker som dessutom blir allt mer komplexa, och bland presumtiva kunder för att bränslet skall få det genomslag som är så nödvändigt för att det skall kunna ha en reell inverkan på en fordonsflottas utsläpp av koldioxid.

Författarna till denna rapport vill inte dryfta sig till att göra en kvantitativ bedömning kring hur stor reduktionen av koldioxidutsläpp kan bli med DME. Känt är dock följande. DMEs potential är stor då koldioxidminskningen är reell (upp till 95 % relativt fossilt Dieselbränsle), råvarutillgången är betydande och existerande i form av exempelvis svartlut samt att den kan omvandlas effektivt till bränsle, eftersom förädlingen från råvara till DME är energieffektiv. Ett belysande exempel är att ett tungt DME-fordon kan köras omkring sex gånger längre sträcka (eller 1/6 av marken behöver användas) jämfört med ett fordon som använder rapsmetylester (RME). Resonemanget baseras på den energi som kan utvinnas från en hektar mark under ett år och då går det således att få ut mer energi ifall DME väljs än RME. Motsvarande jämförelse för förnyelsebar syntetisk Diesel är att DME-fordonet kan köras ungefär dubbelt så långt [4].

Således, DME är en energibärare vilken har stor potential att reducera koldioxidutsläppen men ifall den inte når någon större spridning i form av bränsle till fordon uteblir ett signifikant bidrag till omställningen av vårt godstransportsystem. Pondera att DME-fordon når marknaden inom ett par år då är det rimligt att tro att introduktionen görs i liten skala och att produktionstakten därefter ökas graduellt under några års tid innan full takt nås. Det tar därför rimligen lång tid innan DME-fordon (eller vilket alternativbränslefordon som helst) kan ha en avgörande inverkan på godstransporternas utsläpp av fossil koldioxid.

Därför bör arbetet påbörjas så snart som möjligt, långsiktighet råda kring exempelvis styrmedel (som bidrag och skatter) och lagstiftning och en verklig efterfrågan från kunderna finnas, så att fordonstillverkarna tar steget att investera i utveckling av den teknik som så mycket behövs.

Utöver den tid som krävs för att ta en redan existerande och i små steg förbättrad teknik till produktion tar det ytterligare tid att utveckla och mogna ny teknik, så att den blir redo att industrialiseras. Därför är den långsiktiga kunskapsbyggnaden så viktigt, så att teknikportföljen verkligen innehåller lösningar som kan realiseras när tiden är mogen och behovet finns. Detta projekt har tillfört sådan kunskap och förutom själva resultatet så har det gett generell kunskap kring en lämplig metod för att samla in, analysera och

bestämma partiklars ursprung. Denna metod är inte speciellt knuten till DME som bränsle utan är generellt tillämpbar.

3 Genomförande – PEMS-utrustning, ELPI och fordon

Arbetet beskrivet i denna rapport utfördes av Volvokoncernen (Volvo Group Trucks Technology, Powertrain Engineering i Göteborg, Lundby) och RISE (Material och produktion, Borås), där den förstnämnda organisationen stod för fordonskunnandet och den sistnämnda bidrog med det kemiska kunnandet.

3.1 Fordon och Portable emission measurement system – PEMS

Lastbilen som används för testerna var en Mack CXU från 2015 som löpande använts i Volvos DME-projekt, se Figur 2. Totalvikten för ekipaget var 29,6 ton. Lastbilen var utrustad med en 13 liters VGT-EGR Dieselmotor modifierad för DME genom dedikerat bränslesystem. Vidare bestod avgas efterbehandlingsystemet av en oxidationskatalysator och en katalysator för att reducera NO_x-emissioner (SCR). Däremot användes inte reduktionsmedlet (urea) i den sistnämnda så NO_x-emissioner från motorn motsvarar de som lämnar fordonets avgassystem. Oxidationskatalysatorn var av prototyp typ medan SCRn hade produktionsstatus.

För experimenten anslöts ett extra mät rör på avgassystemet där temperatursensorer och emissionsslangar för provtagning av gaser och partiklar anslöts, se Figur 3. Emissionerna leddes till en mätcontainer placerad på trailern, i vilken PEMS-(portable emission measurement system) och ELPI (electric low pressure impactor)-utrustningen var placerad.



Figur 2 DME-lastbilen under förberedelser inför en testcykel och på väg till Varberg en solig novemberdag 2019.

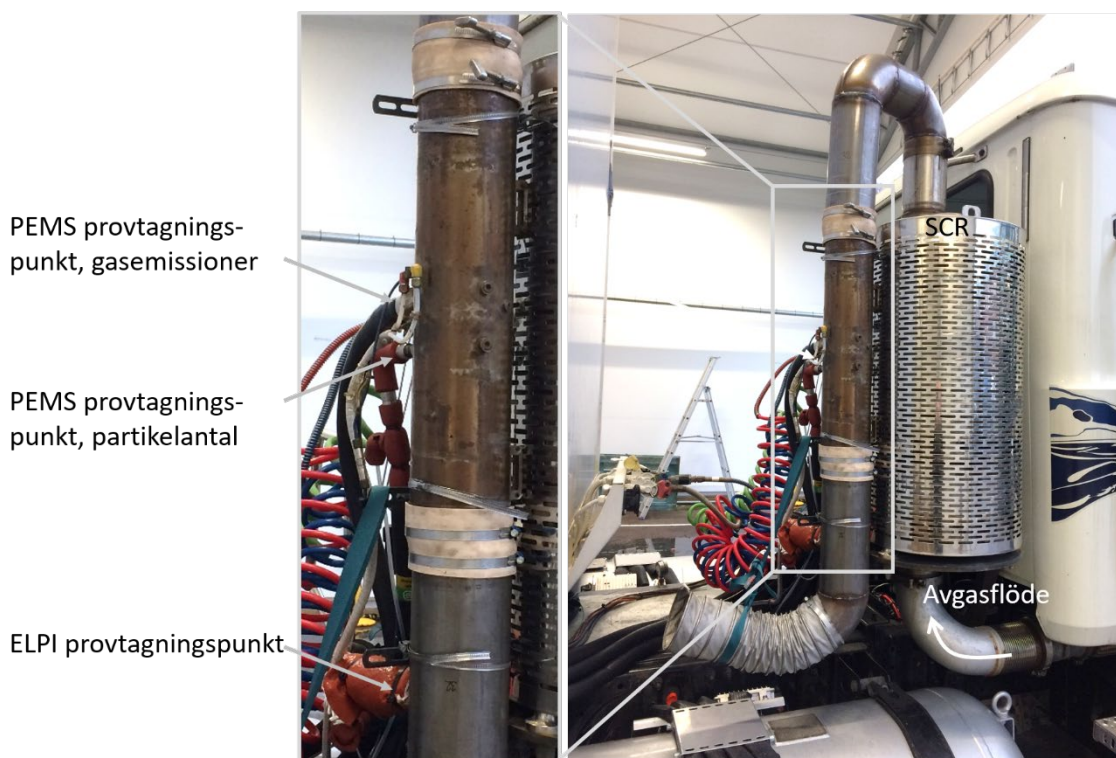
Konventionella emissioner (CO, CO₂, HC och NO_x) samt partikelantal samplades kontinuerligt under körcyklerna. Konventionella instrument användes för att mäta emissionerna och en condensation particle counter (CPC) för partikelantal. I rapporten presenteras resultat från körcykeln Göteborg – Varberg tur och retur som genomfördes 29 november och 2 december 2019.

En utförlig beskrivning av PEMS-utrustningen, körcykel etc återfinns i appendixet.

3.2 Electric low pressure impactor – ELPI

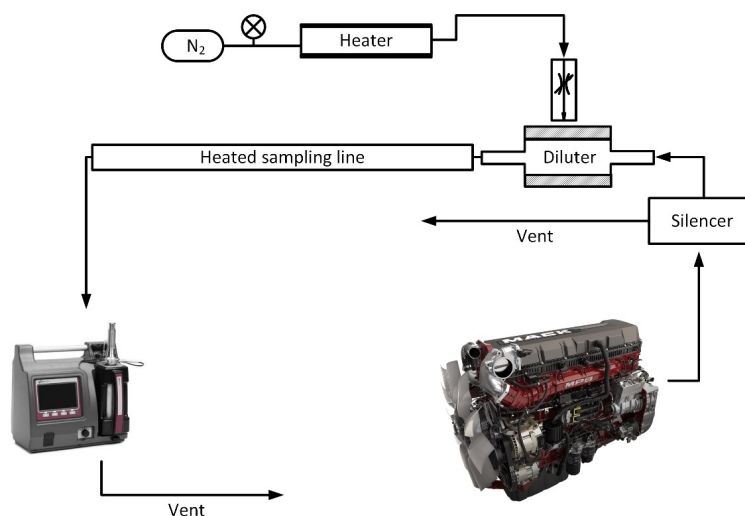
Avgaserna provtogs från avgasrörets centrum ca 1,5 meter nedströms SCRn (se Figur 3) med en isokinetisk prob (samlingsrör utformat så att flödet som avleds från huvudgasflödet för att analyseras har samma partikelstorleksfördelning som huvudgasflödet) och de konditionerades genom koaxial spädning för att minska agglomeration ("sammanklumpning" av partiklar) och koagulering (bildning av nya partiklar) [1, 6]. Konditioneringen gjordes genom att späda avgaserna med varm kvävgas. De utspädda gaserna leddes till partikelinstrumentet (ELPI) via ett uppvärmt (ca 180 °C) kopparrör.

Spädningen beräknades teoretiskt och verifierades experimentellt och varierade mellan $2,3(\pm 0,5):1$ och $2,2(\pm 0,5):1$.



Figur 3 Provtagningspunkter på lastbilens avgassystem för PEMS och ELPI utrustning

Partikelstorleksfördelningen bestämdes med en lågtrycksimpaktor (Dekati ELPI+) med 1 Hz provtagningsfrekvens. Substraten bestod av polykarbonat med ett lager av fett för infångning av



Figur 4 Schematisk ELPI-uppställning med provtagning från avgasröret ("silencer"), kvävgasspädning samt flöde av utspädda avgaser till partikelinstrumentet

partiklar. Substraten var monterade i en vertikal impaktor bestående av 14 substratförsedda steg (egentligen 15 steg men ett steg är ej substratförsedd) vars uppgift är att separera partiklarna baserat på storlek. Stegen är staplade ovanpå varandra och är så ordnade att det översta steget samlar in de största partiklarna medan det sista de minsta. Detaljerad information om instrumentet står att finna hos instrumenttillverkaren [7]. En översiktlig beskrivning av den experimentella uppställningen visas i Figur 4.

Resultaten i denna rapport är korrigerade för spädningar och flöden i avgasröret samt för diffusionsförluster från spädningstrustningen till instrumentet.

3.3 Kemisk analys

Bestämning av kemiskt innehåll på de i ELPI storleksfraktionerade substraten utfördes med ICP/OES (induktiv kopplad plasma/optisk emissions spektroskopi) efter mikrovågsuppslutning. Substraten var gjorda av polykarbonat och fettbelagda för att hålla partiklarna på plats. Fettet består av kol och omöjliggör bestämmandet av kol från motorns avgaser. Analysen fokuserades på grundämnen som väntades härröra från motorolja och några allmänt vanligt förekommande ämnen inklusive ämnen som kan finnas i katalysatorer. Ett av ELPI substraten karakteriserades även med svepelektronmikroskop (SEM-EDX) för morfologi och grundämnesinnehåll. Kvantifieringen av grundämnena omräknades till oxider och jämfördes med den uppskattade partikelmassan, detekterad av ELPIs elektrometer.

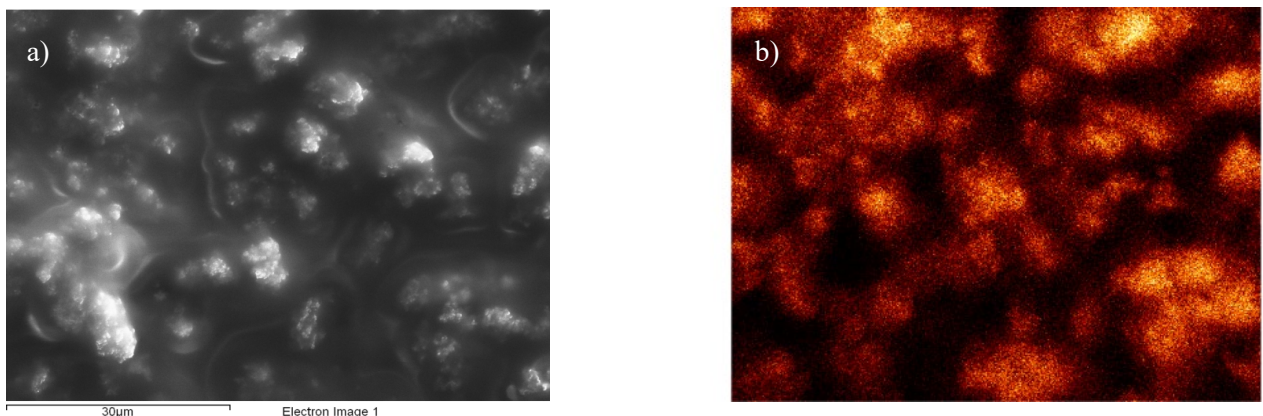
ICP/OES användes på substraten som hade varit monterade under körningarna den 29 november och 2 december medan SEM-EDX substraten kom från inledande körningar genomförda under slutet av november. Metodiken skilde sig mellan den första och sista substratomgången eftersom flöde leddes genom substraten kontinuerligt dag som natt för den första och i så stor uträkning som möjligt bara under körcykeln för den sista omgången.

4 Resultat

Resultatkapitlet har delats upp enligt kemisk analys, där analysen av substraten redovisar vilka ämnen som fastnade på dem, fordon och PEMS, som visar samband mellan exempelvis partikelantal och bränsleflöde och slutligen ELPI, där bl a partikelstorleksfördelning presenteras.

4.1 Kemisk analys

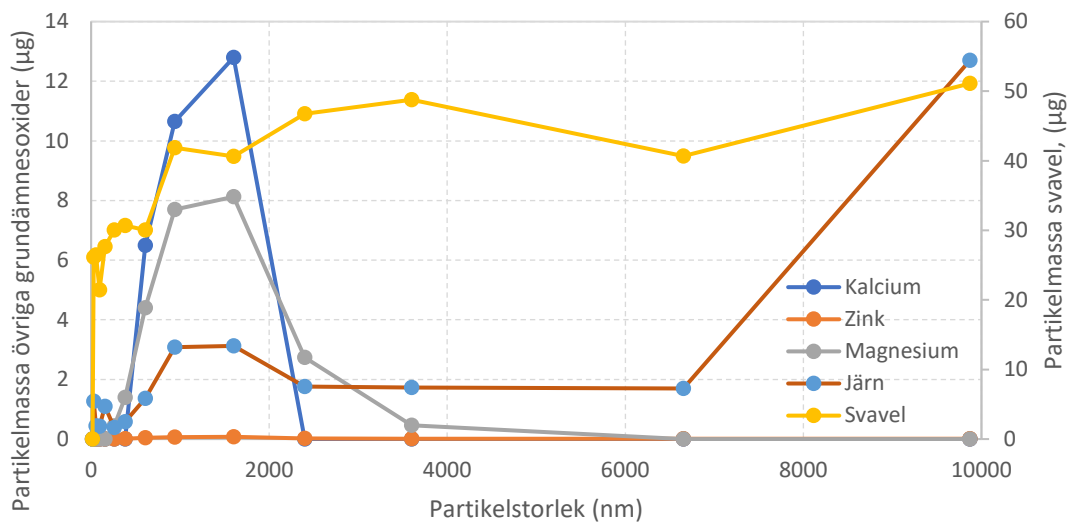
SEM-EDX karaktärisering av en av en representativ partikelfraktion (partikelstorlek 380 nm) påvisade odefinierade strukturer vilket väntas för en partikulär fraktion med hög belastning på ett substrat. Sammansättningen på mikrometernivå var relativt jämn och dominerades av svavel. Dessutom påvisades även kalium, kalcium, järn och zink. Elektronbild och svavelbild enligt nedan (Figur 5). Kvantitativa bestämningar av dessa element utfördes för alla impaktorfraktioner med ICP/OES.



Figur 5 a) elektronmikroskopbild b) samma bild med selektivitet för svavel. Prov från en partikelfraktion med en partikelstorlek omkring 380 nm.

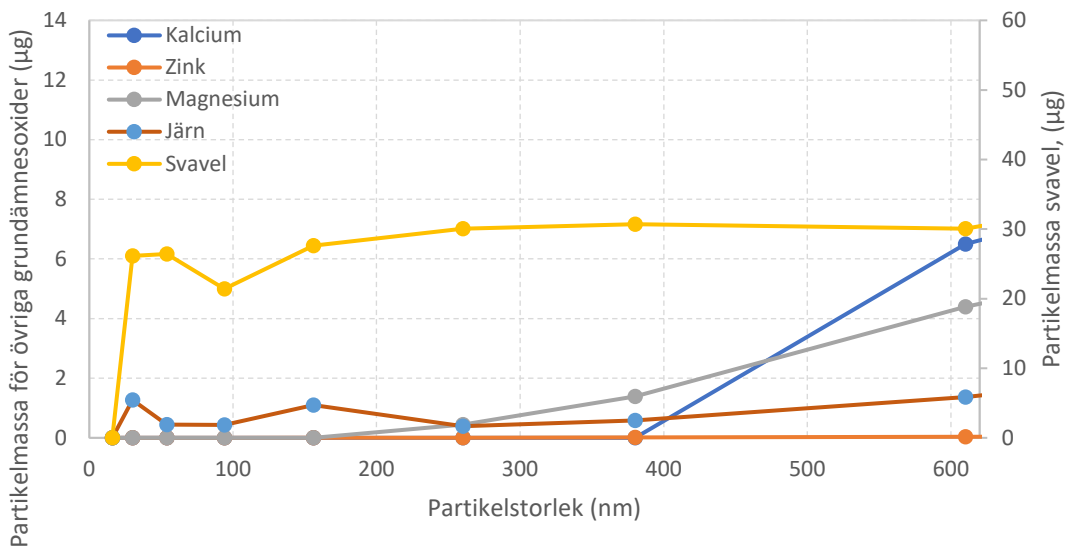
Av de med ICP/OES eftersökta grundämnena dominerande svavel följt av kalcium, magnesium och järn, Tabell 2. Svavel har en relativt konstant massa per storleksfraktion jämfört med övriga uppmätta ämnen (se Figur 6). Magnesium, kalcium och zink har en partikelstorleksfördelning med maxima runt 1600 nm. Dessa tre metaller härrör sannolikt från motorolja och är väntade. Sambandet mellan förekomsten av Zn/Ca och Zn/S kan ses i Figur 8 och Figur 9 och illustrerar samvariation av ämnen från samma eller olika källor. Vid samma källa är sambandet linjärt så som i Figur 8. Således verkar det finnas två källor för de partiklar som påträffas i emissionerna från denna DME-lastbil. En hypotes skulle kunna vara inlagrat svavel i SCRn från tidigare körningar. Svavlet skulle i så fall härstamma dels från motoroljan, dels från den luktmedelstillsats som tidigare använts i batcher av DME. Det borde dock röra sig om låga koncentrationer från båda dessa källor och SCRn har inte använts under särskilt lång tid (en ny användes när lastbilen byggdes om till DME-utförande). Det är dock känt att motorn tidigare hade extra hög oljeförbrukning. Svavlet skall emellertid så småningom försvinna ifall avgastemperaturerna har varit tillräckligt höga under tillräckligt lång tid. Därför är kanske inte hypotesen så trolig men likväl den enda som finns.

Grundämnesfördelning i olika partikelstorlekar, 16-10000 nm

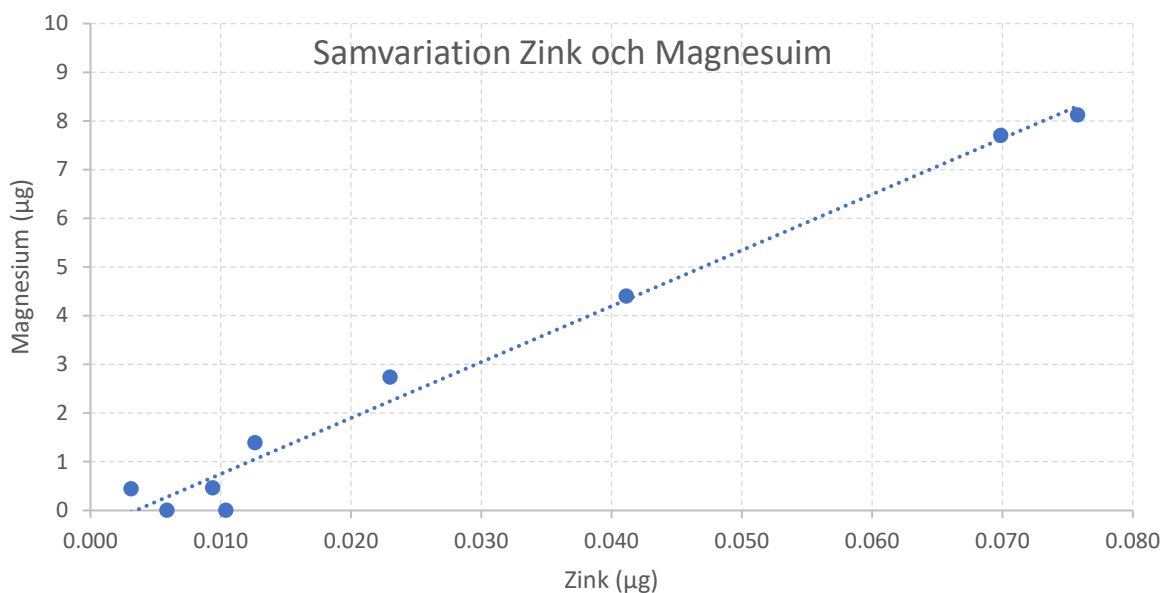


Figur 6 Innehåll av grundämnena, som oxider, som funktion av partikelstorlek från samtliga impactorsteg. Svavel avläses mot högra y-axeln.

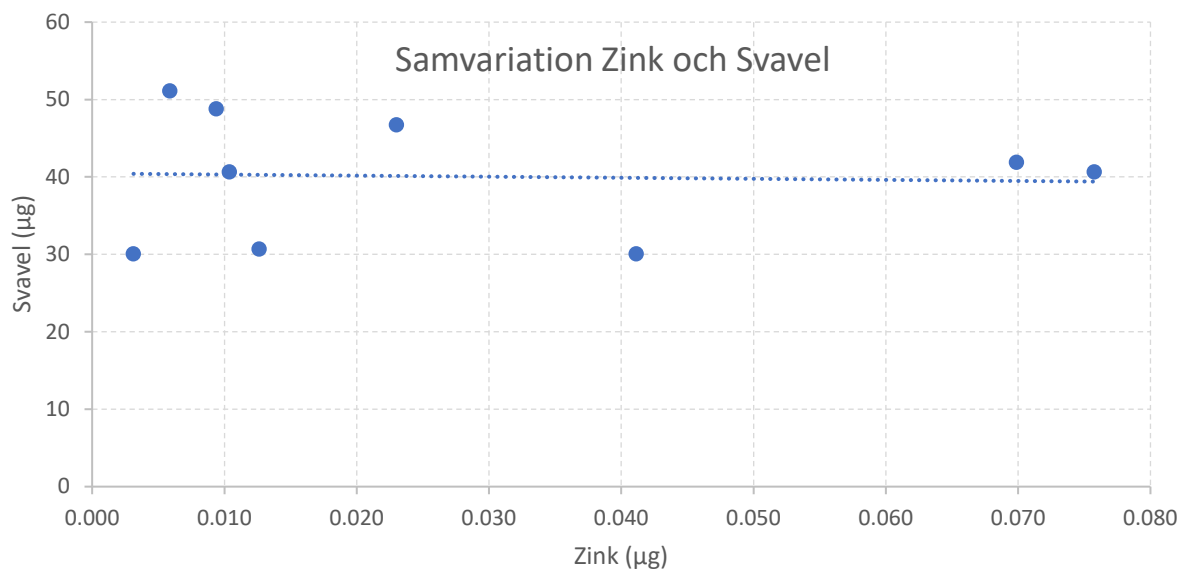
Grundämnesfördelning i olika partikelstorlekar, 16-610 nm



Figur 7 Innehåll av grundämnena, som oxider, som funktion av partikelstorlek från ett urval av impactorstegen. Svavel avläses mot högra y-axeln.

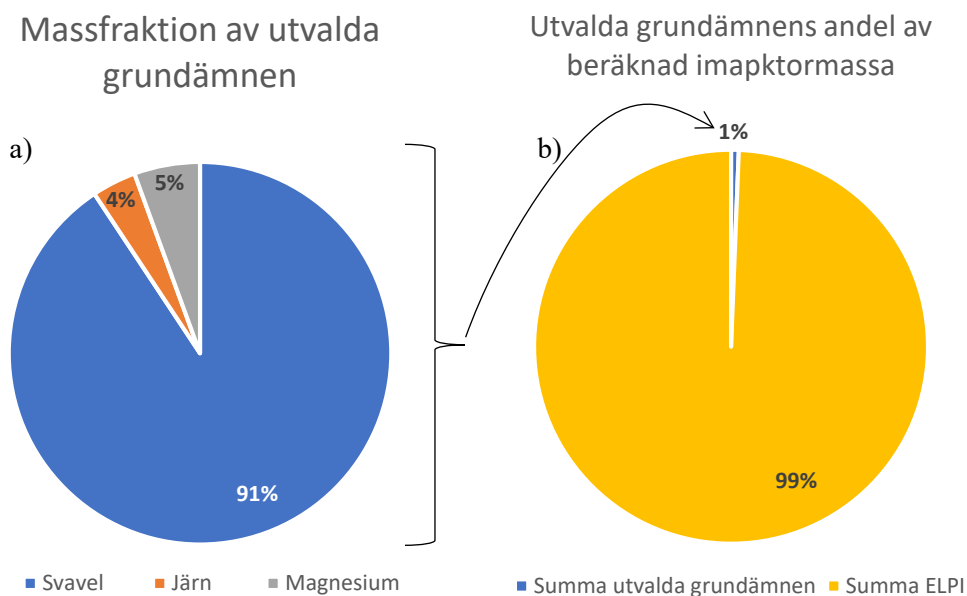


Figur 8 Linjär samvariation av Zn och Mg, indikerar samma källa.



Figur 9 Obefintlig samvariation av Zn och S, vilket indikerar olika källor.

Summan av den massa som kan förklaras på impaktorstegen är 550 µg (Figur 10a). Detta kan jämföras med summan av partiklarna baserat på detektion i ELPIn, och beräknat på densiteten 1,7 g/cm³ (fraktal densitet av 3,0 g/cm³ CaSO₄) som är 71 000 µg (Figur 10b). Differensen skulle kunna tolkas som förekomst av ämnen som inte bestämts, exempelvis kol (sot). Då andelen kol i proverna ej kan bestämmas på ELPI-substrat med en bstrykning av organiskt fett kan vi inte fastlägga att skillnaden mellan ELPI och ICP/OES skulle vara kol. Det är dock känt från experiment i motorprovrum att kol endast utgör en liten andel av partiklar från en DME-motor. Ytterligare ansatser behövs för att kunna förklara skillnaden i massa.



Figur 10 a) Fördelningen av de eftersökta grundämnena i avgasflödet b) Den kemiska analysens förklaringsgrad av den teoretiska massan insamlad på impaktorsubstraten. En mycket stor andel återstår att förklara.

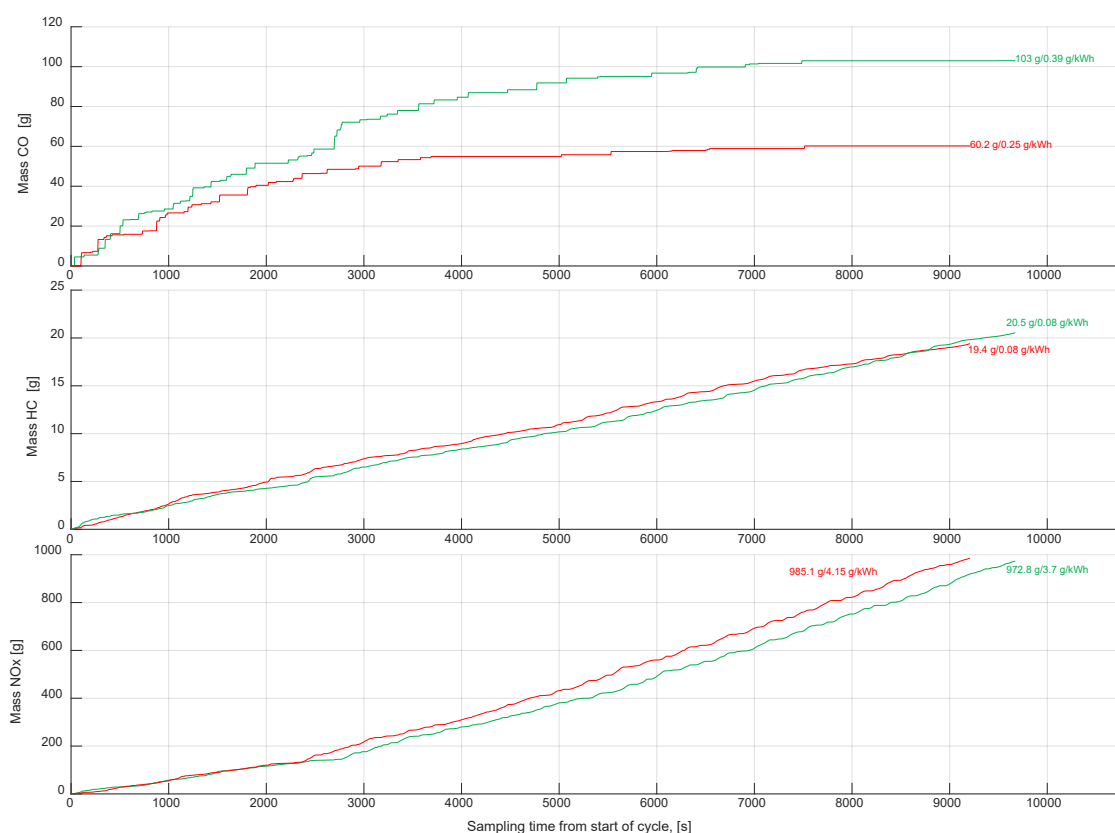
Tabell 2 Grundämnesinnehåll, som oxider, som funktion av (impaktorstegnummer och) partikeldiameter

Impaktorstegnummer [-]	Partikeldiameter [nm]	Ca [µg]	Zn [µg]	S [µg]	Fe [µg]	Mg [µg]
2	16	<1,7	<0,001	<0,6	<0,1	<0,1
3	30	<1,7	<0,001	26	1	<0,1
4	54	<1,7	<0,001	26	0	<0,1
5	94	<1,7	<0,001	21	0	<0,1
6	156	<1,7	0,00	28	1	<0,1
7	260	<1,7	0,00	30	0	0,4
8	380	<1,7	0,01	31	1	1,4
9	610	6,5	0,04	30	1	4,4
10	940	11	0,07	42	3	7,7
11	1600	13	0,08	41	3	8,1
12	2400	<1,7	0,02	47	2	2,7
13	3600	<1,7	0,01	49	2	0,5
14	6650	<1,7	0,01	41	2	<0,1
15	9870	<1,7	0,01	51	13	<0,1

4.2 Fordon och PEMS

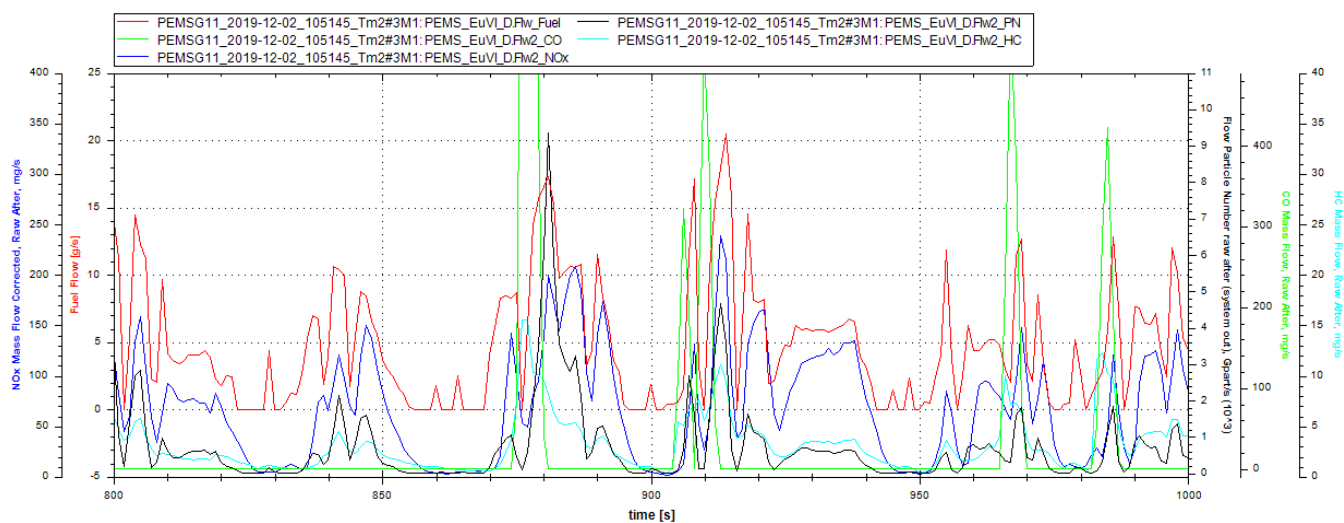
Börjar med att analysera konventionella emissioner från fordonet, nämligen koldioxid (CO), kolväten (HC) och oxider av kväve (NO_x) innan partikelemissionerna granskas närmare. Emissionerna är mätta efter avgasefterbehandlingssystemet vilket medför att CO och HC är oxiderade och NO_x är reducerade. Den sistnämnda är dock inte minskad eftersom urea (reduktionsmedlet) inte användes under

körningarna. Därför sammanfaller dessa emissioner med emissionerna före avgasefterbehandlingssystemet. Katalysatorerna är effektiva att oxidera CO men för att oxidera HC krävs i DME-fallet högre temperaturer. Det är känt från tidigare prov att huvuddelen av de ämnen som mäts som HC nedströms katalysatorerna egentligen är DME (övriga kolväten har oxiderats och är därmed borta). Figur 11 visar de ackumulerade konventionella emissionerna från körcyklerna. Det noterbara är att CO skiljer sig en del mellan tillfällena (vilket de andra emissionerna inte gör). Någon förklaring till detta finns inte. Troligen är CO-emissionerna från motorn uppströms avgasefterbehandlingssystemet höga. Ett räkneexempel för att belysa detta. Anta en medelkonverteringsgrad för CO på 0,95 i cykeln. Det ger runt 8 och 5 g/kWh för den 29 november respektive 2 december. Det är högt för en motor som arbetar med globalt luftöverskott (motor arbetandes enligt Dieselprocessen). En generell slutsats kan då vara att motorkalibreringen är för grundläggande, så att för lite friskluft tillförs förbränningsrummet och sannolikt då under transienter. Det medför att all bildad mängd CO inte kan oxideras.



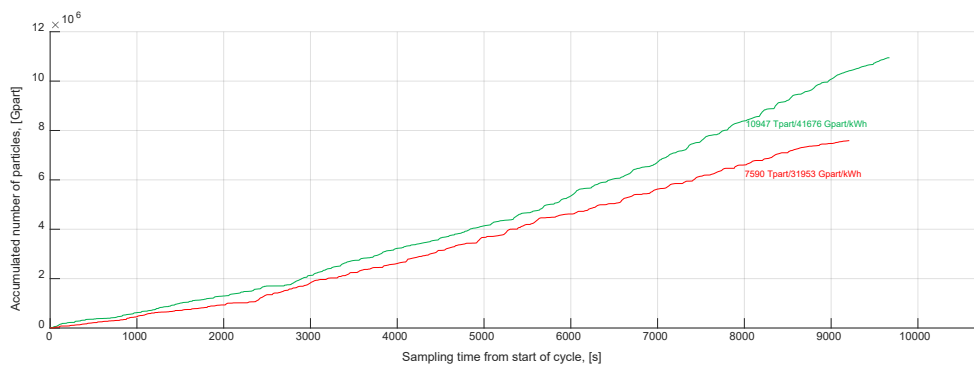
Figur 11 Ackumulerad massa av CO, HC och NO_x som funktion av körcykeltid för 29 november (—) och 2 december (—). Talen anger total och specifik massa.

Figur 12 visare en del av körcykeln (800 - 1000 sek) från den 2 december som funktion av tiden för NO_x-, bränsle-, partikelflöde, CO- och HC-flöde. Tydliga CO-spikar uppstår under vissa accelerationer (transienter) men däremellan är nivåerna låga. Sannolikt klarar oxidationskatalysatorerna att oxidera i stort sett all CO under dessa betingelser. De övriga emissionerna verkar följa bränsleflödet väl och så även för HC, vilket visar på att oxidationskatalysatorerna inte har så hög konverteringsgrad (som för CO).



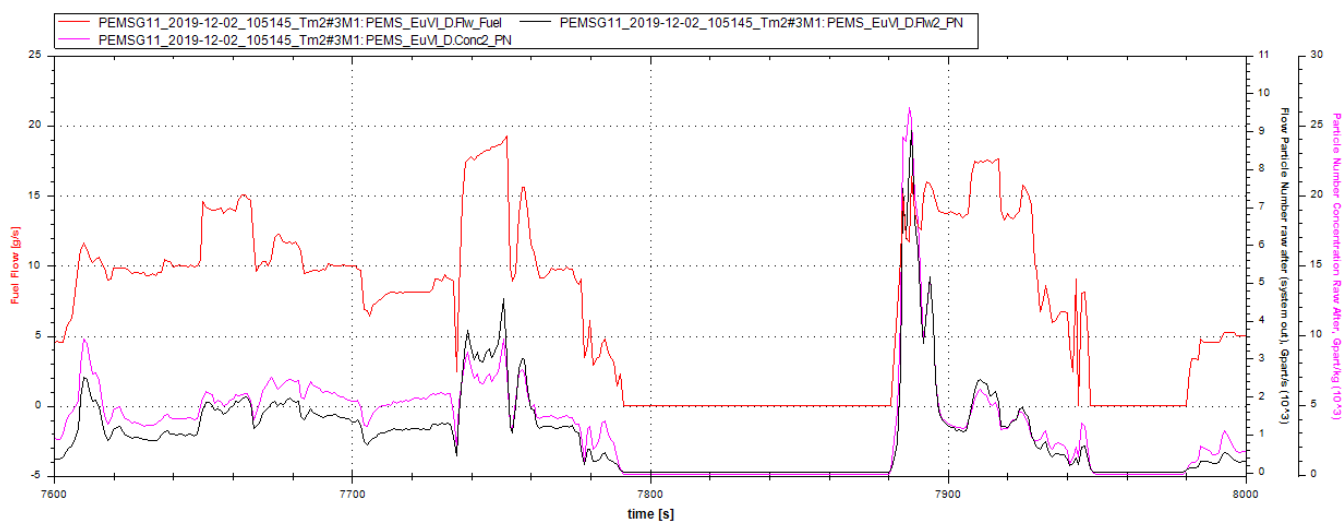
Figur 12 NO_x , bränsle-, partikel-, CO - och HC -flöde som funktion av tiden för körcykel från den 2 december 2019

Fortsätter nu att studera partikelemissionerna mera i detalj och börjar med ackumulerat antal partiklar för de två dagarna, se Figur 13. Även här skiljer sig mätdata mellan dagarna. Orsaken är inte känd men det skulle vara möjligt att argumentera för att den öppna vevhusventilationen skulle bidra till minskat antal uppmätta partiklar för den 2 december. Det förefaller dock mindre rimligt då CO också är lägre från denna körning. Därför är orsaken troligen en annan, likafullt okänd.



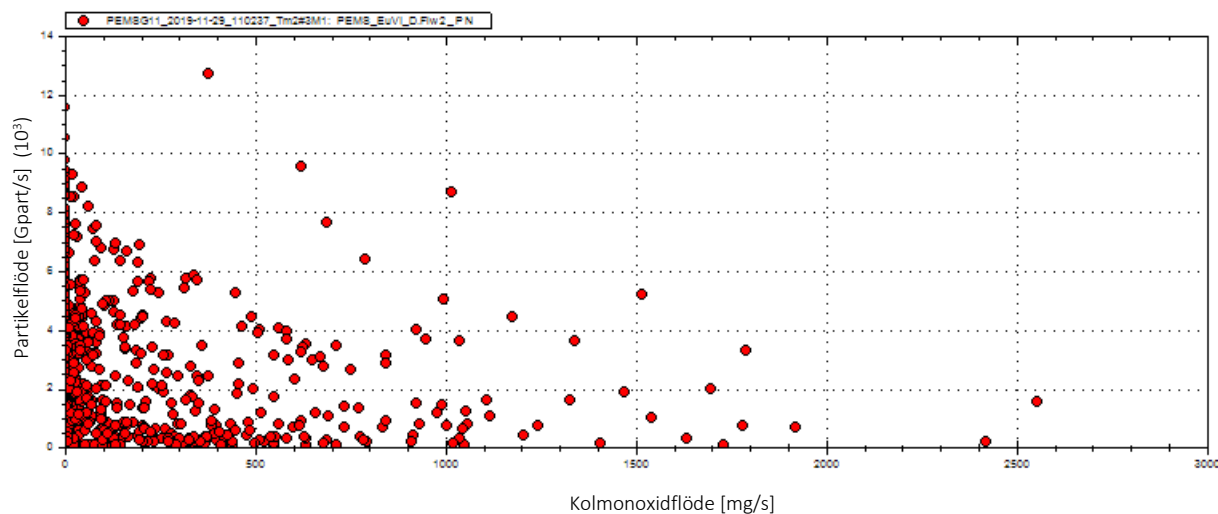
Figur 13 Ackumulerat antal partiklar som funktion av körcykeltid för 29 november (—) och 2 december (—). Talen anger totalt ($T=10^{12}$) och specifikt antal partiklar.

Figur 14 visar att det finns stora likheter mellan partikel- och bränsleflöde (svart kurva) och bränsleflöde (röd kurva) (jämför även med Figur 5 i appendix). Detta tyder på att partiklarna härstammar från förbränningen, notera exempelvis att partikelkoncentrationen är låg då bränsleflödet är noll från 7800 till 7880 sek.



Figur 14 Bränsle- och partikelflöde samt partikelkoncentration som funktion av tiden för körcykel från den 2 december 2019

Går det då att knyta topparna till toppar av CO, så att partikeltopparna uppstår vid stort luftunderskott. Svaret är nej, då CO toppar inte alltid sammanfaller med partikeltoppar, se Figur 12. Plottas partikelflödet som funktion av CO-flödet framgår det ännu tydligare, se Figur 15.



Figur 15 Partikelflöde som funktion av kolmonoxidflöde för körcykel från den 29 november 2019

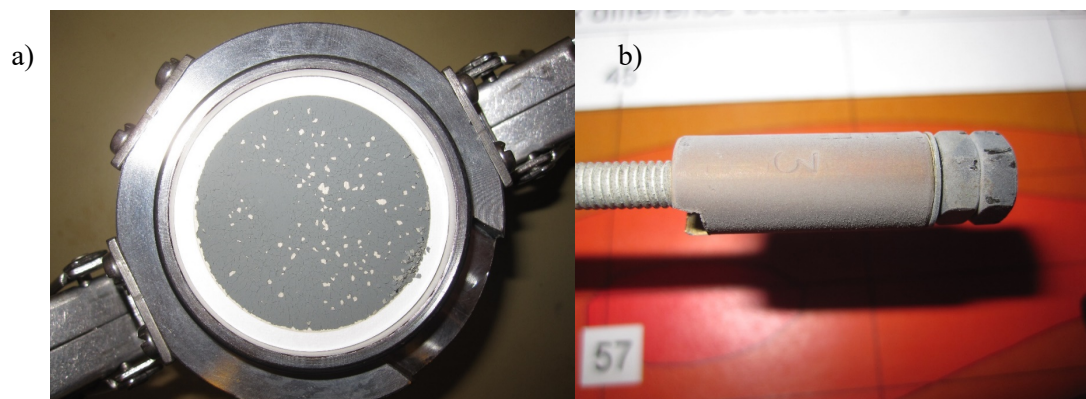
4.3 ELPI

ELPI-steg med monterade substrat från de inledande körningarna under slutet av november ses i Figur 15, för partikelstorleksintervallet 16 till drygt 10 000 nm.



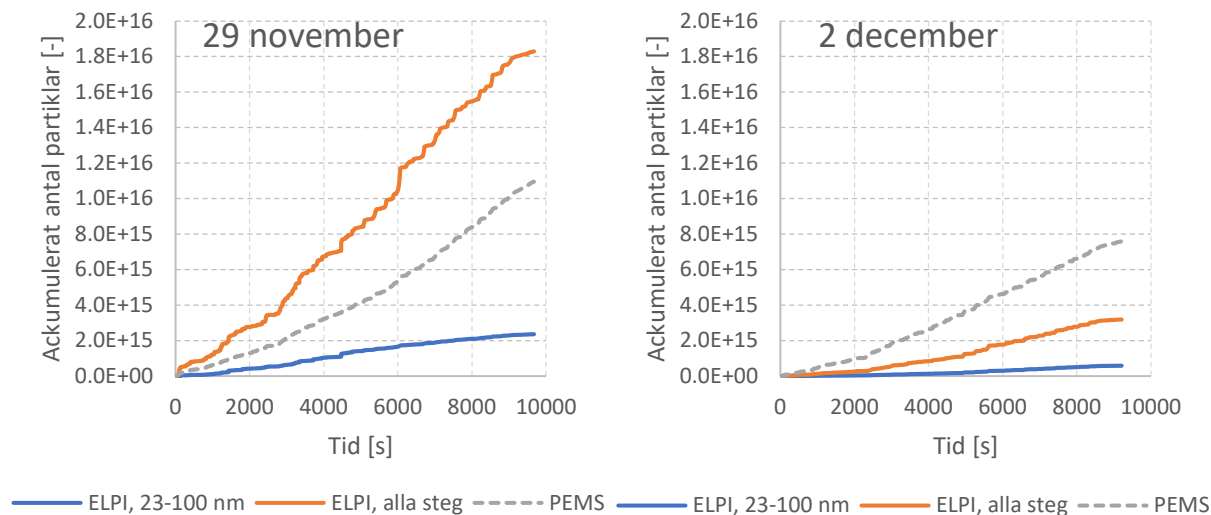
Figur 16 Steg (2 - 15 med förstoring av 4 - 5) och substrat från inledande körningar under slutet av november. Steget med det lägsta numret samlar in de minsta partiklarna och det största de största.

Detaljbilderna för steg 4 och 5 visar tydligt de infångade partiklarna och deras mörka färg. Den sistnämnda observationen är anmärkningsvärd för författarna känner inte igen den från partiklar insamlade på filter i motorlaboratoriet då kulören mer är grå eller brun, se Figur 17. Filtret i den figuren har varit monterat så att avgaserna leddes direkt nedströms turbon (dvs innan avgasefterbehandlingsutrustningen) till filtret. Provstaven var monterad direkt i avgasflödet. Filtret och provstaven var monterade under 118 respektive 161 h. Det har visats att det gråfärgade materialet härstammar från ämnen som normalt återfinns som additiv i motorolja. Den mörka färgen på ELPI-substraten skulle i sig kunna tyda på partiklar från annan källa.



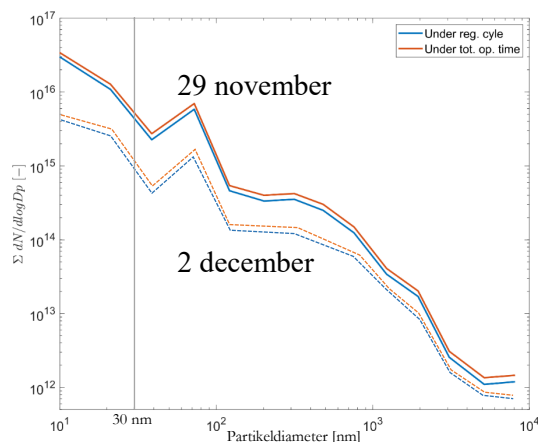
Figur 17 Partiklar från DME motorexperiment i motorlaboratoriet infångade strax nedströms turbon på a) glasfiberfilter monterat i metallhållare efter 118 h motordrift samt b) provstav monterad i avgasröret efter 161 h drift.

Totalantalet partiklar för den 29 november och 2 december visas i Figur 18 där varje figur innehåller kumulativa grafer för de partikelstorlekar som omfattas av partikelantalsreglementet (23-100 nm), dels mätt med partikelantalsinstrumentet i PEMS-utrustningen, dels med ELPIIn och en graf uppmätt med ELPIIn alla steg. Noterbart är skillnaden i partikelantal mellan dagarna samt hur PEMS-grafen hamnar relativt ELPI-kurvorna. Ännu mer anmärkningsvärda är de höga partikelantalen, långt mycket högre än förväntat, cirka 400 gånger högre än experiment i motorlaboratoriet.



Figur 18 Ackumulerat antal partiklar för ELPI (intervallet 23-100 nm och alla steg) samt från partikelantalsinstrumentet i PEMS-utrustningen (streckad) från körcyklerna 29 november och 2 december. De streckade kurvorna är samma kurvor som i Figur 13.

Normaliserad partikelstorleksfördelning för respektive impaktorsteg visas i Figur 19, dels från den specifika PEMS-körcykeln, dels under hela den tid som lastbilen var i drift de aktuella dagarna. De små partiklarna dominerar till antalet men även partiklar väsentligt mycket större än vad som förväntas från förbränning av DME, då dess förbränning i huvudsak genererar nukleationspartiklar, hittades. Nukleationspartiklar anges vanligen till mindre än 30 nm (grå linje i diagrammet). Det är känt att partiklar både växer till storleksmässigt och till antal då de passerar avgassystemet [8] men att det skulle leda till så stora partiklar som här verkar mindre rimligt. Ur figuren framgår inte bara att antalet partiklar är färre dag två (som ovan) men också att de minsta partiklarna har minskat mer till antalet än de större.



Figur 19 Normaliserad partikelstorleksfördelning från PEMS-körcykeln (—) samt under tiden lastbilen var i drift (---) från 29 november (heldragna linjer) och 2 december (streckade linjer).

5 Nyttiggörande och nästa steg

Författarna kommer att publicera denna rapport samt delta i årskonferensen och då presentera resultaten från projektet. Utöver det har kunskapen som skapats inom arbetet redan dokumenterats (genom rapporten i appendix) inom Volvokoncernen. Arbetet kommer att ligga till grund för hur vi väljer att arbeta vidare med DME.

Väldigt få, men vi hoppas på ett ökande antal, aktörer arbetar med DME, så därför är arbetet såtillvida unikt. Vidare, ytterst få fordonstillverkare kan tillhandahålla tunga DME-fordon och som dessutom kan provas ute på väg och PEMS-prov genomföras, som vi dessutom här har kompletterat med instrument och kunnande från forskningsinstitutet RISE.

Arbetets resultat kan inte direkt knytas till minskade nettoutsläpp av koldioxid från godstransportsystemet men vi tror att det är en liten pusselbit till alternativbränslepusslet eftersom arbetet tillför en metodik för att bedöma bränslen i allmänhet med avseende på bl a partiklar och visar på hur metodiken har använts för DME i synnerhet.

6 Diskussion

Hypotesen kring låga partikelutsläpp från DME kunde inte styrkas men inte heller helt förkastas eftersom kunskapen som skapades inom projektet inte kunde förklara vari partiklarna hade sitt ursprung. Detta bör på sikt kunna förklaras men då krävs ytterligare arbete, dels att utöka screeningen av antalet förväntade grundämnen, dels mäta avgaserna från andra positioner på fordonet. Därför har inte projektet i detta nu, mer än att ha arbetat med en god kandidat för att minska koldioxidutsläppen från godstransportsystemet på ett rationellt och effektivt sätt, direkt bidraget till att utveckla ett hållbart transportsystem. Vi hoppas dock på att vi har möjligheten att göra det i framtiden.

Referenslista

1. <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag/>, 30 december 2019
2. *WELL-TO-TANK Report version 4.a: JEC WELL-TO-WHEELS ANALYSIS*, [Report EUR 26237 EN - 2014](#), 2014
3. *Defossilizing the transportation sector*, [R586](#), FVV, 2018
4. *Intern utredning, Volvo Technology Corporation*, 2007
5. Kittelson, D.B., W.F. Watts, J. Johnson, 2002. "Diesel Aerosol Sampling Methodology - CRC E-43: Final Report", University of Minnesota, Report for the Coordinating Research Council, 19 August 2002..
6. http://dieselnet.com/tech/measure_dpm.php
7. <https://www.dekati.com/products/elpi/>
8. Salsing, H., "DME Combustion in Heavy Duty Diesel Engines", doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola, Chalmers, 2011

Tack

Författarna önskar tacka för kommande finansiering från Trafikverket genom Triple F och tackar för finansieringen från Volvokoncernen. Vi vill också tack Volvo Powertrain Engineering Malmö, som engagerade sig och löste bränslehanteringen på ett förtjänstfullt sätt med Jörgen Öberg i spetsen. Vidare vill vi tacka Sergi Yudanov för uppdateringen av motorns bränslesystem, stora engagemang och entusiasm kring DME, Nils Jacobson för glädjen att hjälpa till med styrningen av lastbilstankarna och Glenn Änggren för underhållet och ombyggnationen av lastbilen och inte minst ompysslandet av lastbilen under de pågående proven. Naturligtvis vill vi också passa på att framföra vårt tack till PEMS-gruppen på Volvo Lundby och då framförallt till Sten Meyer och Lasse Svensson, som möjliggjorde att dessa mätningar på ett så ovanligt bränsle verkligen blev av.

Akronymer, förkortningar och förklaringar

CO, koldioxid

EGR, exhaust gas recirculation, en del av avgaserna leds tillbaka till motorns insugsrör där de blandas med friskluft. De återförda avgaserna sänker förbränningstemperaturen och NO_x-bildningen reduceras därmed.

ELPI, electric low pressure impactor, mätinstrument för att bestämma partikelstorleksfördelning

HC, kolväten, summa av kolväten uppmätta med en FID (konventionellt emissionsanalysinstrument för kolväten)

NO_x, oxider av kväve, NO + NO₂

PEMS, portable emission measurement system, mobil emissionsmätningssystem för att mäta emissioner i fordon på väg (i motsats till fast installerad i ett laboratorium, exempelvis)

RISE, RISE Research Institutes of Sweden AB är ett svenskt helägt statligt forskningsinstitut,

som samverkar med universitet, näringsliv och samhälle för innovationsutveckling. RISE ägnar sig åt industriforskning och innovation samt utför provning och certifiering. Företaget har 2 700 anställda.

RME, rapsmetylester, bränsle baserat på rapsolja som har upparbetats genom förestring

SCR, selective catalytic reduction, reduktion av kväveoxider (NO_x) genom katalysator och reduktionsmedel (urea)

VGT, variable geometry turbine, dvs variabla ledskenor för turbons turbin för att omlänka avgasflödet

Volvokoncernen, är en av världens ledande tillverkare av lastbilar, bussar, anläggningsmaskiner marina och industriella drivsystem. Företaget har 105 175 anställda med produktion i 18 länder och försäljning på omkring 190 marknader

Appendix

Utdrag från Volvo "Engineering report" ER-675394

Engineering ReportDate
2019-12-04

Report Type

TestCalc.DesignAEMisc.

Ordered by (department, name, location)							
BF63570 Henrik Salsing							
Issued by (department, name, location)							
BF63970 Sten Meyer							
Approval date		Date carried out			No of Pages		
191204		2019-11-11--2019-12-02			16		

PEMS test of D13-DME in a Mack Tractor in ISC3 at 30 tonnes GCW with Gas and PN PEMS and an ELPI particulate size instrument.

Summary

PEMS testing performed on an advanced engineering vehicle to evaluate on road emissions from the Volvo D13 DME engine in ISC-compliant trips. An ELPI (Electrical Low Pressure Impactor an instrument for particle size distributions) with support from RI.SE was also installed during the test.

The emission results are summarised in Table 1 below. Emissions are good considering no NOx after treatment, but the PN is high, even if it was lower during the last test, when the crank case ventilation was opened. The ELPI data will be reported separately.

Table 1: Test results.

Test	Header	Cool Start Temp	Vehicle mass	Route	Ambi Temp	WBW CO	WBW HC	WBW NOx-dc	WBW PN	DS NOx
-	-	°C	kg	-	°C	g/kWh	g/kWh	g/kWh	GP/kWh	g/km
PEMSG11_2019-11-26_144904	Hisingen Runt?	54	29600	Default	6.2	0.746	0.122	3.976	34877	8.339
PEMSG11_2019-11-27_102626	Failed du to brake	11	29600	Default	7.3	nan	nan	nan	nan	8.675
PEMSG11_2019-11-29_110237	ISC3 30 ton no stop	13	29600	ISC3	1.6	1.804	0.119	4.670	49000	6.877
PEMSG11_2019-12-02_105145	ISC3 30 ton no stop	48	29600	ISC3	0.2	0.973	0.115	4.848	32907	6.952

Contents

1	Introduction.....	3
1.1	Background	3
1.2	Target.....	3
1.3	Requirements	3
1.4	Test object.....	4
1.5	Weight information.....	5
1.6	Fuel specification	5
1.7	Urea Quality.....	6
2	Measurement equipment and test route.....	7
2.1	PEMS equipment installation & connection.....	7
2.2	Extra equipment installation & connection.....	9
2.3	Test route	10
2.4	Data for evaluation.....	11
2.5	Emissions test.....	11
2.5.1	Notes on specific tests	11
2.5.2	Emission results.....	12
2.5.3	Trip composition	12
3	Comments	13
3.1	Test conditions.....	13
3.2	Test results	13
3.3	Equipment	13
3.3.1	PEMS	13
3.3.2	Extra equipment.....	13
3.3.3	Container and alternator	13
4	Conclusion	14

1 Introduction

1.1 Background

The advanced engineering project AE0910093 have a testing delivery of on road emissions to be performed before end of 2019.

1.2 Target

To measure the on road emissions with focus on PN from a DME engine in ISC3. An additional ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) operated by RI.SE was used to gauge the size distribution of the particulates.

1.3 Requirements

This test is an advanced engineering report and not to be compared to a legal emission requirement. The evaluation is performed according to EU VI step D in order to calculate PN. PN evaluation is not included in the earlier protocols.

1.4 Test object

The vehicle used for the tests is a model year 2015 MACK tractor used from time to time in various DME project.



Photo 1: Vehicle before test.

Table 2: Engine system information.

Engine	13-3139
Fuel	DME
Engine Rating	460 hk, 345 kW / 2490 Nm
Emission legislation	n/a but will be evaluated as Euro VI Step D2
EATS specification	DOC and SCR but no DPF

Table 3: Vehicle specification

Vehicle	Mack Pinnacle CXU613
Registration number:	n/a
VIN	1M1AW09Y6EM041826
Odometer before PEMS test	2710 km
Odometer after PEMS test	3144 km
Truck Specification	6x4 Tractor

Table 4: Engine SW and calibration.

EMS SW	3195E314F28.vst
EMS dataset	mackupload_20191024.cal

1.5 Weight information

The trailer was loaded with 8 weights to achieve a test mass of approximately 30 tonnes.

Table 5: Test load. All masses in kg

Configuration	Truck + Trailer CYF159
Scale used	Volvo Lundby
Date	2019-11-29
Fuel (estimated)	50%
Weights @ 1 tonnes	8
Truck total	17930 kg
Trailer (tridem)	11670 kg
Combination	29600 kg

1.6 Fuel specification

DME see Figure 1, is a single molecule gaseous fuel with a vapour pressure of 5--6 bar at room temperature. Refuelling was made from the transportable DME-tank at "Spetsbågen", filled with >99,99% DME of "chemical grade" with 200 ppm PC32 lubricity additive of the same type as used for diesel fuel. A fuel batch delivered to VPT-Malmö was used for the test.

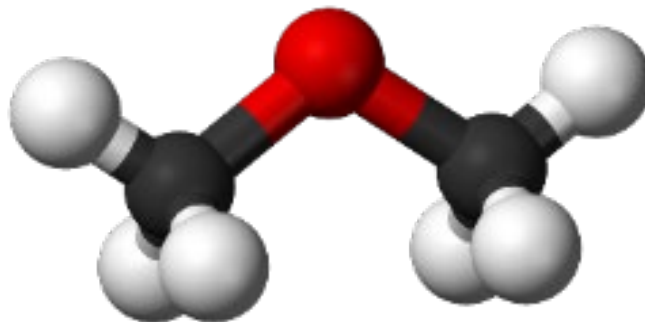


Figure 1: DME, Dimethyl ether (methoxymethane)

Exhaust gas composition for DME is not listed in UNECE R49.06 so an excel-sheet supplied from BF63570 was used to calculate the emission species "u-values". As average density of the exhaust the time average value from test MLM05_2017-12-21_001, a cold FTP, is used. The values entered into the PEMS is shown in Figure 2. The NO₂ value is used for NO_x since the Horiba oxidizes all NO to NO₂ with Ozone.

Fuel Information

Fuel Name: DME Unit Model: Metric
Description: DME
Fuel Type: Diesel Custom
Fuel Used: Reference

Fuel

Density: 0.67 kg/l
H/C Ratio: 3
O/C Ratio: 0.5
S/C Ratio: 0
N/C Ratio: 0
Lower Heating Value: 28800.00 kJ/kg

Exhaust

Density: 1.2800 kg/m3 at 0 deg C
H/C Ratio: 3
O/C Ratio: 0.5
S/C Ratio: 0
N/C Ratio: 0

Component	u_gas
NOx	0.000623
CO	0.001024
HC	0.000623
CO2	0.000652
O2	0.001793
CH4	0.001788

Figure 2: DME values entered into the PEMS.

1.7 Urea Quality

The urea injection software was obsolete on this truck, thus no urea injection was expected in this test series.

2 Measurement equipment and test route

The instrumentation and calibration of the vehicle is detailed below.

2.1 PEMS equipment installation & connection

The EFM with sampling probes for Gas, PN and exhaust temperature was connected to the vehicle tailpipe after rather long exhaust extension built to place the sampling point within reach of the heated lines from the PEMS trailer. An extension pipe was installed after the EFM to connect the ELPI sample probe and temperature sensor.



Photo 2: Exhaust system with EFM and sampling points

The ambient sensor and the GPS antenna were installed on the front left corner of the trailer. See Photo 3.



Photo 3: Ambient temperature sensor installation.

The PEMS and ELPI is installed in an air-conditioned container and is powered from a diesel-alternator.

Table 6: Gas PEMS instrument.

Name	PEMSG11
Model	Horiba OBS-ONE-GS
Volvo Equipment ID	EMS 21159
Linearization verification for all gas analysers	2019-09-24

Table 7: Gas PEMS instrument.

Name	PN PEMS 2
Model	Horiba OBS-ONE-PN
Volvo Equipment ID	EMS 22157
Linearization verification for all gas analysers	2019-07-10

Table 8: Exhaust Mass Flow Meter

Name	PEMS PN2 EFM
Model	PEMS EFM OBS-ONE
Volvo Equipment ID	EMS 22156
Serial #	160601GH
Calibration performed	2019-05-13

Table 9: Ambient Humidity/Temperature Sensor.

Name	PEMS Humidity OBS-ONE
Volvo Equipment ID	GFU 22142
Last Calibration date	2019-04-29

Propane has three carbon atoms, thus three times the Propane concentration is entered into the PEMS for hydrocarbon span value. Mole concentrations are used according to R49.06. The zeroing of the Gas-PEMS was made with synthetic air.

2.2 Extra equipment installation & connection

The ELPI was operated by RI.SE and are responsible of calibration and evaluation of that instrument. To dilute the exhaust stamped by the ELPI a rack of nitrogen bottles was placed on the trailer. An analogue out unit "RB-01" was connected to the PEMS in order to supply vehicle speed, engine speed and exhaust mass flow to the ELPI.

2.3 Test route

The test route used were ISC3.

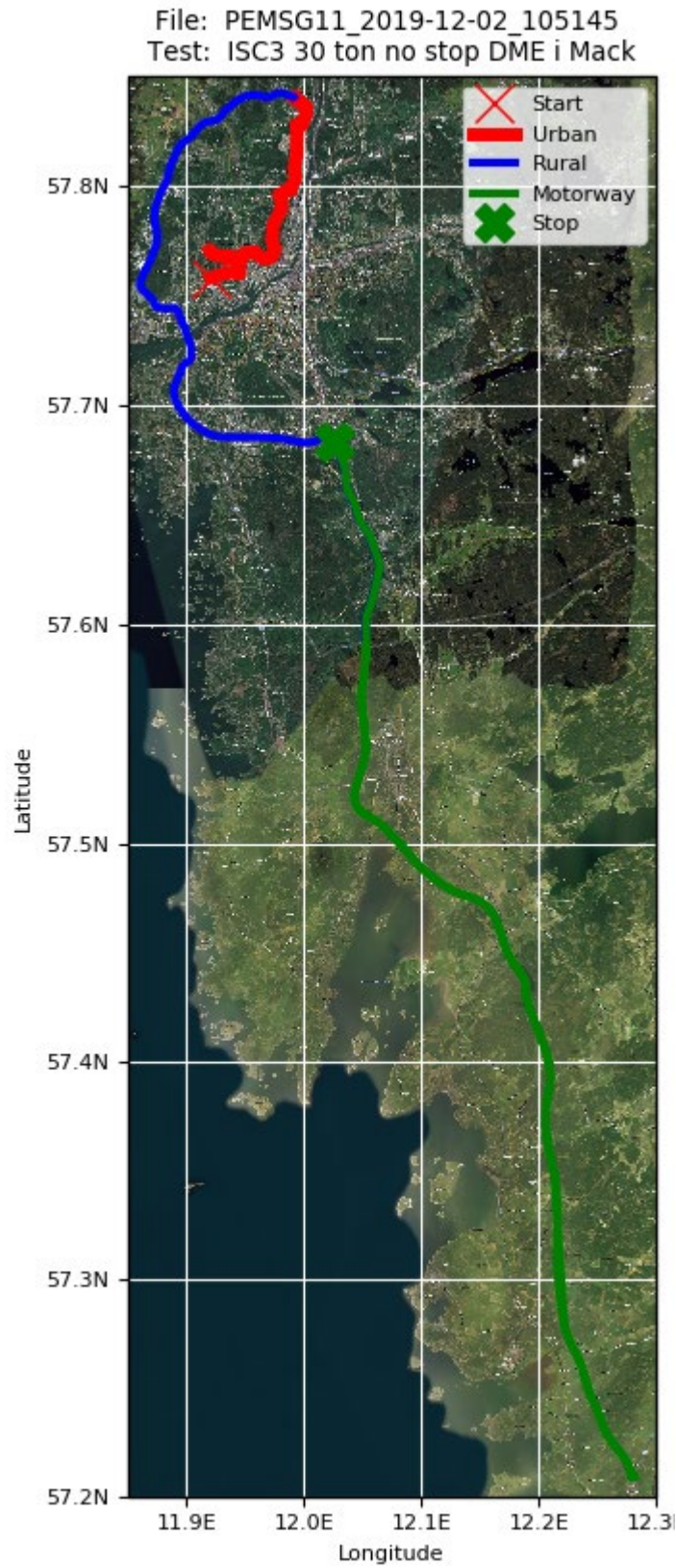


Figure 3: ISC3 used.

2.4 Data for evaluation

The cycle work is estimated from a nominal full load supplied by BF63570. BSFC and BSCO₂ is taken from FTP test MLM05_2017-12-21_001. The full load taken from a PLM on 13-3012 supplied by BF63570.

Specification	DME 460
Energy_CycleNetWBWRef [kWh]	40.4
Spec2_CbalFCCycleRaw [g/kWh]	306.14
Ma_CO2BWRef [g]	12368
Eng_CylVolume [dm ³]	12.777
Eng_Pwr_Max [kW]	345
Fuel_Air_Ratio	9

2.5 Emissions test

The tests were completed on roads around Göteborg.

2.5.1 Notes on specific tests

- 2019-11-18--19: Fabricating of exhaust system adaptors.
- 2019-11-20--21: Installation of PEMS and ELPI.
- 2019-11-22: Waiting for the electricity to be reinstated at the DME filling station.
- 2019-11-25: Connection of analogue out from the PEMS to the ELPI. Connection of breakout cable to connect Vision via EMS-CCP. Vision is also connected to the "DME-CAN". Checked recorder signals.
- 2019-11-26: Vehicle fuelled to 50 %. First test run around Hisingen for 1 h. Had to restart engine to get rid of de-rate. Brakes were stuck once when turning onto Norrleden; solved by turning engine off and on.
- 2019-11-27: Tried ISC3 but had to abort when the brakes got stuck several times during the warmup and urban phase.
- 2019-11-28: BF63970 not available due to group activity. Brakes adjusted and compressed air leak on truck fixed. Truck tested and sticky brake problem reduced, however the diesel alternator in the trailer stopped. Service requested to get fuel supply working on the diesel alternator.
- 2019-11-29: ELPI filter replacement by RI.SE took extra time in the morning. ISC3 Performed, Dryer Humidity Warning on PN-PEMS at 11:36. Consistent NO_x and PN during the test.
- 2019-12-02: Final test. Crank case ventilation opened before the test. OK test, Lower PN compared to the 29th.
- 2019-12-03: Truck restored and PEMS trailer returned.

2.5.2 Emission results

The ambient conditions and emission results can be seen in Table 10.

Table 10: Emission results and ambient conditions

Test	Header	Route	Cool Start Temp	Vehicle mass	Ambi Temp	WBW CO	WBW HC	WBW NOx-dc	WBW PN
-	-	-	°C	kg	°C	g/kWh	g/kWh	g/kWh	GP/kWh
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PEMSG11_2019-11-26_144904	Hisingen Runt?	Default	54	29600	6.2	0.746	0.122	3.976	34877
PEMSG11_2019-11-27_102626	Failed du to brake	Default	11	29600	7.3	nan	nan	nan	nan
PEMSG11_2019-11-29_110237	ISC3 30 ton no stop	ISC3	13	29600	1.6	1.804	0.119	4.670	49000
PEMSG11_2019-12-02_105145	ISC3 30 ton no stop	ISC3	48	29600	0.2	0.973	0.115	4.848	32907

Emissions are not corrected for analyser drift. Calculation are made with Sakura version 1.1.5.55.

2.5.3 Trip composition

The achieved trip composition, average speeds and, over speeds etc. are presented in Table 11.

Table 11: Trip Composition etc.

Test	Header	Route	Cool Start Temp	Vehicle mass	Ambi Temp	Urban time	Rural Time	Motor-way Time	Cycle Energy Ratio
-	-	-	°C	kg	°C	%	%	%	-
-	-	-	-	-	-	20	25	55	
PEMSG11_2019-11-26_144904	Hisingen Runt?	Default	54	29600	6.2	54.1	23.9	22.0	1.80
PEMSG11_2019-11-27_102626	Failed du to brake	Default	11	29600	7.3	71.0	16.7	12.3	0.52
PEMSG11_2019-11-29_110237	ISC3 30 ton no stop	ISC3	13	29600	1.6	28.7	24.1	47.2	6.19
PEMSG11_2019-12-02_105145	ISC3 30 ton no stop	ISC3	48	29600	0.2	25.7	25.2	49.2	5.88

3 Comments

3.1 Test conditions

The climate was gradually colder with frost during the last nights. The truck was warmed up on idle in the morning and restarted before the last two test tests to avoid de-rate.

3.2 Test results

The last two test produced valid tests in ISC3. PN is very high compared to DPF equipped diesel trucks. PN and CO was lowered on the last day. NOx is OK for an engine with no working NOx after treatment (Euro 3 level).

3.3 Equipment

3.3.1 PEMS

The PEMS worked well. The PN-PEMS handled the higher PN levels without alarms. The only data available on J1939 for the PEMS was engine speed and load, but this data was enough to synchronise with the vision recording. The settings used in Sakura are shown in Figure 4.

On-road Emission Utility, Match Parameters (step 4 of 12)			
Match Parameters			
Parameter	Matching Parameter	Scale	
T_Coolant	se_CoolantTemp	▼	
Spd_Engine	OBD_Ch1	▼	
Spd_Vehicle	VehicleSpeed	▼	
Flw_Fuel_lph	fco_FuelRate	▼	3600
Trq_Engine_01s	tc_TorqueValue	▼	1

Figure 4: Sakura settings used to get Temperature, fuel flw, vehicle speed and torque from Vision and rpm from the PEMS. 3600 is the conversion from l/s to l/h.

3.3.2 Extra equipment

The ELPI was installed by RI.SE and worked well apart from that it had to be turned off each time when switching between shore power and the diesel alternator. A rack of nitrogen bottles (8*40 l) were used to dilute the exhaust sampled by the ELPI. The flow was moderate, so that rack would have lasted for a considerably longer test series.

3.3.3 Container and alternator

The alternator failed when the fuel level in the external tank got lower. This was temporarily solved by switching back to the alternators smaller internal fuel tank. A permanent solution is to install an extra fuel pump near the external tank below the trailer.

4 Conclusion

The testing went well considering the status of the truck. For future testing, it is advisable to make sure that the truck is tested with a loaded trailer in an ISC rout before the testing period starts in order to avoid non PEMS related delays.

The ELPI measurements didn't delay the testing more than marginally, and can be used in future tests without a need for an extended test plan.

This is the first time BF63970 have measured PN on an engine without DPF. Therefore it is interesting to look at any possible correlation between PN and fuel flow. With 16 second of time shift there is a considerable correlation between fuel flow and PN flow. See Figure 5.

DME Fuel vs. PN correlation with 16 s timeshift

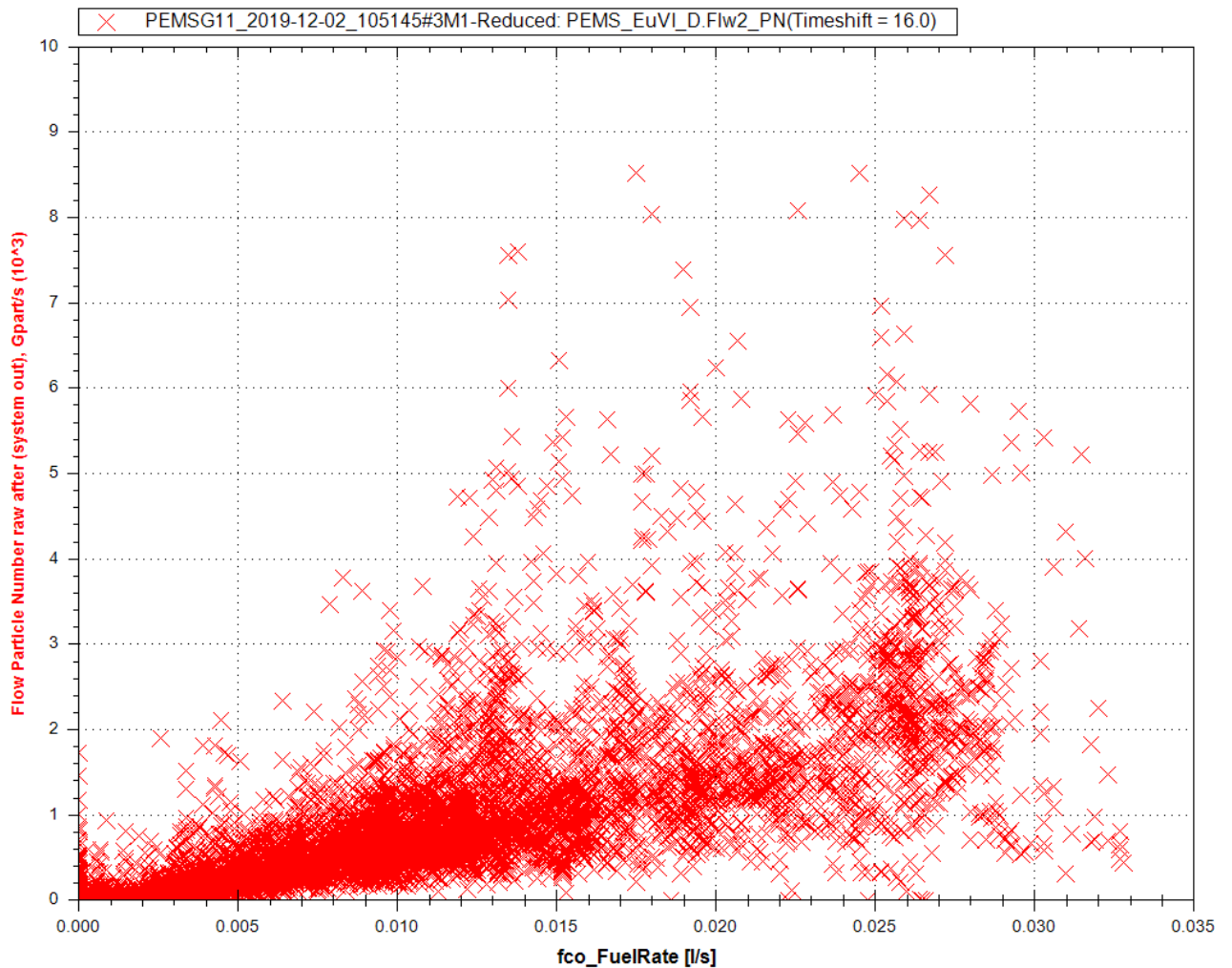


Figure 5: Fuel vs. PN flow correlation $r^2 = 0.55$.

No comparable diesel data without DPF is available. A time resolved plot of a part of the same test is shown in Figure 6. Here it seems as the PN flow increases considerably at fuel flows above 15 ml/s.

DME PN/Fuel/HC Zoomed In

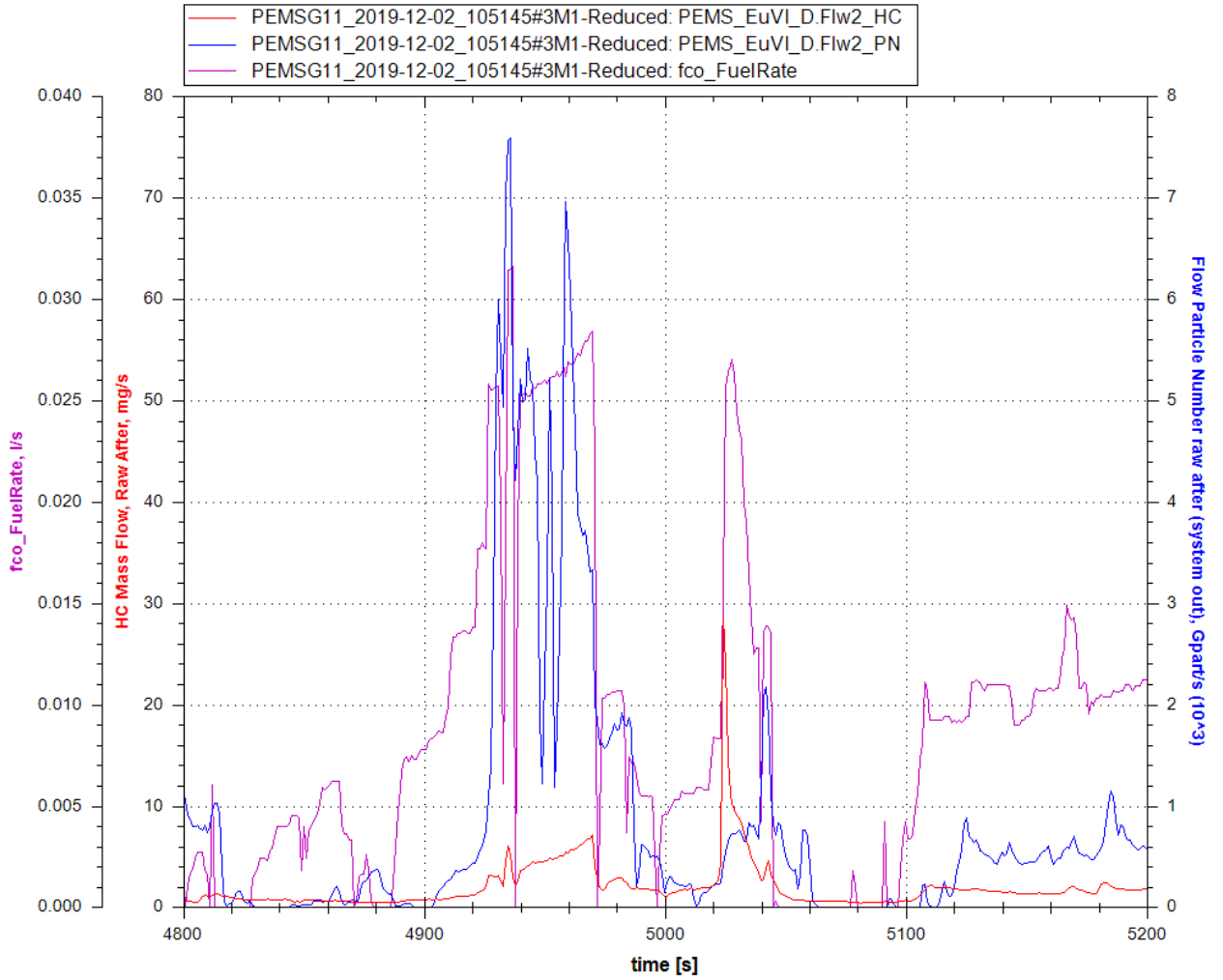


Figure 6: PN, fuel and HC flow for a short time of the test on 2019-12-02.