

Udstødningsgasser fra Gaffeltrucks

Gaffeltrucks benyttes indendørs, i forskellige størrelser op til 6 ton nyttelast. Motorkraften leveres i overvejende grad af diesel- og gasmotorer. Begge motortyper udnytter brændstoffets fordele rigmeligt godt, da disse typer gasmotorer også er bygget til at benytte kun et brændstof. Alligevel udsender begge motortyper alvorlige og farlige emissioner, der i allerhøjeste grad kræver opmærksomhed.

Hvilke emissioner udsender diesel-/gasmotorer?

Carbonmonoxid er en farveløs, lugtfri gasart, der opstår som resultat af en forbrænding hvor der er mangel på Oxygen (ilt). CO er en meget giftig gasart, der kræver stor respekt. I de menneskelige røde blodlegemer er der særlige molekyler (hæmoglobin), som har til opgave at optage Oxygen i lungerne og transportere dette med blodstrømmen til kroppens forskellige dele. Carbonmonoxid binder sig meget stærkt dette molekyle, og forhindrer disse i at transportere Oxygenet. CO forgiftning er derfor en slags "indre kvælning". Ud over at være dødeligt har CO eksponering en langtids virkning, som hovedpine og manglende evne, ved daglig indtagelse af selv meget små doser.

Hydrocarboner er en gruppe organiske stoffer, der optræder som gasarter og alle indeholder Carbon (kulstof) og/eller Hydrogen (brint). I udstødningsgasser er der ofte mere end 200 forskellige mere eller mindre stærkt lugtende gasarter. Stort set alle disse forbindelser er særdeles farlige, og på samme plan som almindelige kendte opløsningsmidler. Årsagen til HC er manglende eller ufuldstændig forbrænding af brændstof.

Store mængder HC kan hurtigt medføre helbredsproblemer, da HC passerer igennem lungevævet og forårsager ændringer inde i den menneskelige organisme. Dette er en risiko, når man dagligt færdes omkring en motorgaffeltruck indendørs. Små doser giver langtids virkninger (i løbet af 15 år). Fx ved at færdes udendørs omkring en motorgaffeltruck eller en lastbil med kran monteret. De vigtigste at nævne under HC gruppen er: formaldehyder, aldehyder, acroleiner, benzen, alkoholer, ethen, styren og en speciel farlig undergruppe der benævnes poly-aromatiske hydrocarboner, ofte forkortet til PAH.

Partikler, nogle ville kalde det sod, røg eller os, består af meget små Carbon partikler, med en konsistens som flormelis. Størrelsen, samt deres meget lave vægtfylde, bevirker at vores åndedræts system har svært ved at støde dem ud ved udånding. Man omtaler denne type partikler som værende respirable. Disse meget små partikler fanges dybt nede i luftvejene, hvor de afgiver, de under forbrændingsprocessen opsugede, store mængder Hydrocarboner.

Nitrogenoxider eller nitroøse gasser er, i denne forbindelse, en blanding af forskellige kemiske forbindelser mellem Nitrogen og Oxygen. NOx kan forekomme som en rødbrun eller gul gasart, der er tungere end luft og har en stikkende lugt. NO og NO2 optræder i et varierende forhold. Det er især NO2 der er giftig, mængden af denne gasart er normalt mindre end 20% af hele NOx indholdet. Hos dieselmotoren udgør NO2 mindre end 10%. NOx emissionen er størst ved hård belastning af motoren.

Mængden af emissioner

Den mængde emissioner en gaffeltruck med enten gasmotor eller dieselmotor udsender, varierer afhængig af mange faktorer. Men gennemgående er der efter Arbejdstilsynets grænse værdier, der populært omtales som HGV, for store koncentrationer når der arbejdes med motortrucks indendørs. Der findes ingen HGV specielt for motorer, men sammensættes af: CO (35 ppm, 40 mg/m³), PAH (0,2 mg/m³), Formaldehyd (0,3 ppm), NO₂ (3 ppm, 5 mg/m³), NO (25 ppm, 30 mg/m³). For partikler tænkes i nær fremtid indført en HGV på 2 mg/m³ for respirabelt kulstøv. Løsning af disse typer luftforurening ved hjælp af ventilation er kompliceret og meget dyrt. Ofte opstår der store problemer med træk og kulde, fordi det er særdeles store mængder luft der skal suges ud. Der opstår også et spørgsmål vedr. varmegenvinding af energien i det udsugede luft. Det er derfor sundt fornuft, først at løse emissions problemer ved kilden og derefter sikrer passende ventilation.

Det er med nogen usikkerhed muligt at beregne sig frem til en meget forsigtig vurdering af en given gasformig (CO, HC, NO_x) rumkoncentration efter følgende forenklet ligning, ud fra gennemsnitlige emissions størrelser der ses i skemaet. For mere fyldestgørende beregninger, kontakt os på telefon.

Den mængde partikler en dieselmotor fra en gaffeltruck, kan udstøde på en arbejdsdag, vil typisk ligge omkring 2-3 gram partikler pr. liter forbrugt brændstof. I praksis betyder dette at en større gaffeltruck, med fx en 4 liters dieselmotor og et dagligt brændstofforbrug på 35 liter dieselolie, kan udstøde op til 1 liter eller 100.000 mg / 100 gram partikler.

Hvordan måles emissionerne?

Generelt er det uhyre kompliceret at måle på emissioner og kortlægge i hvilke mængder de forefindes både i udstødningsgas og indendørs. I stort set alle tilfælde må det anbefales at søge kvalificeret hjælp, ikke mindst da nogle af instrumenterne er meget kostbare og komplicerede i brug.

Partikler, direkte i udstødningsgassen måles efter flere metoder. Det ældste princip (25 år) er et instrument konstrueret af Robert Bosch i Tyskland, og måleenheden udtrykkes da også i Bosch-tal, fra 1-10. I korthed foregår det ved at man suger en bestemt mængde udstødningsgas igennem et porøst papirfilter, som derved farves sort. Dette filterpapir belyses derefter med en optisk analysator, der aflæser hvor sort det er, udtrykt i Bosch-tal. Denne metode kaldes en øjebliksmåling. For at måle kontinuerligt kan der benyttes et opacitet-meter, der ved at sende en lysstråle igennem hele udstødningsgassen kan sanse hvor uigennemsigtig den er. Dette udtrykkes i procent, 0-100.

Co, måles direkte i udstødningen med en infrarød gasanalysator. Der skelnes mellem flere typer; en der er tilstrækkelig til brug for benzin- og gasmotorer (følsomhed 0,1-10% volumen) og en mere følsom type til dieselmotorer og indendørs koncentrationer (følsomhed 0-50.000 ppm). Indendørs koncentrationer kan med nogen usikkerhed, større end +/- 10%, måles med et Dräge rør. Specielle Dräge rør kan benyttes direkte i udstødningen på en gasmotor.

HC, måles direkte i udstødningen på en gasmotor med en infrarød gasanalysator (følsomhed 100-10.000 ppm). På dieselmotorer eller til indendørs brug, kræves en opvarmet FID med en følsomhed fra 0-10.000 ppm.

NO_x, måles i udstødningen med en kemiluminescens detektor med en følsomhed fra 0-10.000 ppm. Kan med fordel benyttes i nogle udgaver til måling af rumkoncentration.

Hvordan begrænses emissionerne?

Begrænsning af emissioner fra gaffeltrucks starter med en omhyggelig mekanisk vedligeholdelse.

For dieselmotoren har brændstoffets indsprøjtningstidspunkt særdeles stor betydning. Som det ses af figuren, på næste side vil selv få graders forkert indstilling betyde op til dobbelt så stor mængde NO_x eller HC. Det anbefales at benytte de mest moderne elektroniske måleinstrumenter, for jævnlig justering af indsprøjtningstidspunktet. Det skulle nemlig være muligt at købe mindst to forskellige kvaliteter dieselbrændstof. Et brændstof med lavt svovl indhold, mindre end 0,1% vil have en gunstig indflydelse på emissionerne. For tiden er omkring 0,3% svovl almindeligt. Der ses i øvrigt en del kvalitetsforskelle imellem de forskellige fabrikater, fx i evnen til at udtrykke partikeldannelse.

Gasmotorens tændingsindstilling har om ikke samme effekt, så også her stor betydning, for at mindske emissionerne. Brændstoffet, LPG består af Propan eller Propan/Butan i et efter årstidens varierende forhold. Derfor bør gasmotorens fordamper, karburator justeres minimum for hver 800 drifttimer eller hvert forår og efterår. Et alternativ er at handle hos et selskab der er villig til at opgive ændringerne af gassammensætningen for sommer og vinter. Når blandingen skifter, justeres motorens karburator og fordamper og hertil må absolut benyttes et kvalitets CO måleinstrument. Det må erindres, det er ikke muligt at indstille en gasmotor på "gehør" fordi den er særdeles tolerant over for meget fede eller magre blandinger.

I almindelighed anbefales det at give motorerne de bedste betingelser at arbejde under. For eksempel viser det sig, at luftfilter og smøreoliens vedligeholdelsesgrad har betydning for det samlede forureningsbillede. Motorer og hydraulikinstallationer der holdes tætte og rene, har ligeledes en positiv indflydelse på det totale forureningsbillede.

Hvordan tekniske løsninger kan begrænse emissionerne?

Yderligere reduktion af emissionerne fra gaffeltrucks kan opnås ved påmontering af udstyr, der foretager en efterbehandling af udstødningsgasserne. Der findes kun fem teoretiske metoder til at reducere emissionerne med. I praksis er det ofte muligt at kombinere disse metoder, og der igennem designe udstyr til den specielle opgave og samtidig opnå den ønskede reduktion af emissionerne.

Den oxiderende eller universelle katalysator, UniKat, benytter et ædelmetal, der i nogle tilfælde er pålagt keramiske piller, som katalysator. Denne katalysator forårsager en kraftig og hurtig kemisk reaktion af CO, HC og en mindre del partikler med Oxygen, til det ufarlige CO₂ og H₂O. Dette sker under forudsætning af at der er tilstrækkelig varmeenergi og Oxygen i udstødningen. Dieselmotoren har et stort overskud af Oxygen, men meget mindre varmeenergi end gasmotoren, der har det lige omvendt.

Reducerede katalysator benytter et andet ædelmetal, end en UniKat katalysator til at foretage en kemisk reduktion af NO₂ og NO til frit Nitrogen og Oxygen. Dette forudsætter imidlertid en Oxygen fattig udstødningssgas og kan derfor ikke foregå på en dieselmotor.

Det keramiske partikelfilter, NoTox, frafilterer de meget små kulpartikler fra udstødningssgasen som, før eller senere, afhængig af blandt andet kørecyklus, videreforsbrændes til CO, som derefter omdannes til CO₂ og H₂O.

Vandskrubberen vasker mekanisk udstødningssgassens vandopløselige gasarter samt faste partikler ud til slam, der udtages manuelt regelmæssigt. Benyttes kun på dieselmotorer. En 25 år gammel konstruktion oprindeligt beregnet til brug i underjordiske miner.

EGR betyder *udstødnings gas recirkulation*, i praksis føres en del af udstødningssgasen ind i motoren igen, som en inaktiv gasart, for derved at kontrollere forbrændings temperaturen og sænke Nox. Kan benyttes på både diesel- og gasmotorer.

Tungmetaller tilsættes i udpræget grad benzin og dieselolie, for at forbedre egenskaberne, hvis der spares for meget på råvarerne. Som fx bly, manganoxider og mange andre metaloxidforbindelser, der i overvejende grad passerer igennem motoren. Disse tungmetaller findes ikke i LPG. I forbindelse med partikelfiltre på dieselmotorer bør det nævnes at op imod 75% af disse tungmetaller fanges af filteret. Dette hindrer at de udstødes i arbejdsmiljøet, men er dermed bestemmende for filterets levetid, i regelen 3.000 driftstimer.

Praktiske løsninger

I praksis varierer løsningerne meget afhængig af de fremsatte krav, kørecyklus og det pågældende køretøj. Økonomisk svinger udstyret mellem 8-35.000 kroner til gaffeltrucks. Fra den enkle oxiderende katalysator for gasmotorer til det avancerede partikel filter kombineret med oxiderende katalysator, til dieselmotorer.

Gasmotor gaffeltrucks har den fordel at udstødningssgas temperaturen er høj. Dette giver, sammen med en passende mængde Oxygen i udstødningssgasen, en enkel og effektiv løsning med fx en UniKat katalysator, som kan fjerne stort set alt CO og HC. Resultatet opfattes derved at det ikke er muligt at lugte den karakteristiske gasdrift lugt. CO målinger med fx Dräger rør viser den i skemaet, på side 10, viste store virkningsgrad og derfor meget små koncentrationer i nærhed af trucken. En enkel og overkommelig måde at forbedre arbejdsmiljøet væsentligt på. Prislag 8-10.000 kroner. Monteringstid mindre end en dag. Driftstid fra 3-6.000 timer.

Dieselmotor gaffeltrucks er ikke nær så enkle og billige, som gastrucks, at løse luftforureningsproblemer på. Årsagen er dels dieselmotorens konstruktionsprincip, der giver den en større virkningsgrad en gasmotoren, dels luftoverskudet og dermed det mindre varme energi indhold i udstødningen. Netop varme energi indholdet er særdeles vigtigt for oxideringen af både CO, HC, med en katalysator. Desuden indeholder dieselgasser i stor mængde de velkendte partikler, der kræver helt specielle løsninger.

For at reducere CO og HC, og i mindre grad en del af partiklerne, må der være et nøjagtigt kendskab til udstødningsgassens temperatur i manifolden. Måles fx med et NiCrNi termoelement under tomgang, ved middel last og ved fuld last. Målt med varm motor, hvilket vil sige omkring 90 grader C og under realistiske kørselsforhold. 200 grader C er nødvendig for katalytisk oxidering af CO, 230 grader C er nødvendig for HC, med optimalt konstrueret udstyr. Disse temperatur resultater er vigtige, både for at se om det kan lade sig gøre, men også for designet af fx en UniKat oxiderende katalysator. Eventuelt kan der ændres en del på motor og kørselsforhold for her igennem at opnå et tilfredsstillende resultat. Prislæg 10-15.000 kroner. Volumen mæssigt en løsning der ofte kan indbygges ved siden af motoren. Drifftid for et eventuelt pille indhold er typisk 5-6.000 timer, som derefter udskiftes helt. Selve katalysator beholderen er udført i rustfrit stål og holder meget længe. Øgning af brændstof forbruget ligger under 1%, hvilket betyder at det ikke er muligt at fornemme eller måle det.

Kun UniKat katalysatoren er specielt designet til dieselmotorer, hvor et varmelegeme i de fleste tilfælde øger muligheden for en langt bedre virkningsgrad. Gaffeltrucken parkeres med mulighed for tilslutning til 220 volt hver aften. Et ur sørger for at katalysatoren forvarmes 2 timer hver morgen. Denne fremgangsmåde giver flere fordele. Opstarts emissionerne mindskes betydeligt, og katalysatormassen holdes ren for eventuelle opsamlinger af partikler. Denne daglige afbrænding sikrer en ren katalysator med maksimal virkningsgrad. En yderligere forbedring er samtidig at lade motoren forvarmes elektrisk, idet en varm motor forurener mindre under opstart. Desuden øger denne foranstaltning motorens levetid.

Partikelfiltre, kaldet NoTox, er i nogle tilfælde en nødvendig eller den eneste løsning der ønskes anvendt. Udstyret er relativt dyrt, ca. 35.000 kroner, men særdeles effektivt. Som skemaet på side 10 illustrerer, fjernes stort set alle partikler. I praksis opfattes det derved, at det overhovedet ikke kommer partikler ud af udstødningsrøret, uanset kørecyklus. NoTox filteret bygges i de fleste tilfælde til samtidigt at løse et CO og HC problem. Men da filteret, på grund af størrelsen ofte placeres langt fra motoren, vil reduktionen af disse gasser ofte ligge omkring 50-60%.

NoTox filtre fremstilles i 5 standard størrelser, der dækker motorer op til omkring 120 hestekræfter. Volumen mæssigt er det en del mere omfattende end en UniKat katalysator, men finder i de fleste tilfælde plads på kontravægten.

Det er et krav at køretøjet kan placeres nær tilslutningsmulighed, til 220 volt minimum 5 timer i sammen hæng, efter hver 8-10 timer kørselscyklus. Årsagen hertil er at de under kørselen opsamlede partikler skal "afbrændes", til det ufarlige CO₂ og H₂O, således at filteret er rent (regenereret) til næste dags kørsel. I særlige tilfælde, hvor køretøjet arbejder i 2 eller 3 hold skift, og derfor ikke har 5 timer fri efter hver arbejds cyklus, kan filteret udstyres med et oliefyr, eller en meget kraftig varmekanon, for en regenerering (afbrænding) på 15-30 minutter.

Partikelfilteres levetid er bestemt af brændstof kvaliteten, hvor et godt brændstof forårsager mindre opsamlinger, og derfor langsommere blokeres, af både aske og metaloxidforbindelser. Filteret er bygget således at det er muligt at udskifte indmaden efter de normale 3.000 drifttimer. Derved opnås en tilstrækkelig lang levetid.

LIDT KEMI OG TEKNIK

Dieselmotoren: Opkaldt efter den opfinder, *Rudolf Diesel*, født i Tyskland. Motorprincippet for gaffeltrucks er kompressionstænding i 4 takter, hvor brændstoffet sprøjtes ind i den af kompressionen ophevede luft, der straks forårsager en kompliceret forbrænding.

Drägerør: Omfattende system af glasampuller og pumpeudstyr, hvorved det er muligt at måle/detektere mange forskellige gasarter.

Elpatroner: Til UniKat katalysatorer, benyttes 220 volt 500-1500 watt som opvarmer det indre til 400 grader C.

FID: [Flamme Ioniserings Detektor] en lille flamme der brænder af/i Hydrogen, præsenteres for en gasart, hvorved dens ionballance ændres. Dette kan måles og fortæller om "total HC".

Kulstøv: Vægtfylde under 0,1 gram/cm³ - mere end 50% er mindre end 1 my (=0,001mm)

LPG: [Liguet Petroleum Gas] auto/flaskegas, et godt, men dyrt brændstof til trucks.

PPM: [Part pr. million] 10.000 ppm = 1% volume

STOBBE ENGINEERING A/S er en dansk virksomhed der udelukkende beskæftiger sig med forskning, rådgivning og produktion af emissionsbegrænsende udstyr til forbrændingsmotorer. Der er blandt andet udført installationer hos: Carlsberg, Ålborg Portland, ELSAM, Superfos, SAS, Faxe Kalk, Rasmussen & Schiøtz, Københavns Kommune, Aggerskov Betonvare Fabrik, Statens Jordbrug, Chemienova, SCS Båndstål Industri, Jens Villadsens Fabrikker, Grenå Papfarbik med flere.

Udgivet af Stobbe Engineering A/S i 1988. Senest udarbejdet af Jacob Petersen, 7/99