

Kontrol af partikelfiltre med transportabel kontinuert støvmåler

Ole Schleicher
FORCE Technology

Indhold

INDHOLD	3
1 INDLEDNING	5
2 REGLER FOR EMISSIONSKONTROL	7
2.1 LUFTVEJLEDNINGENS KRAV TIL KONTROL	8
3 BAGGRUND FOR KONTROL AF PARTIKEL- FILTRE MED KONTINUERT STØVMÅLER	10
3.1 MÅLING MED KONTINUERT STØVMÅLER PÅ POSEFILTRE	10
3.2 KONKLUSION:	12
4 PARTIKELFILTRE OG FILTERMATERIALER	13
4.1 PARTIKELFILTERBRUD	13
4.2 KONTROL AF PARTIKELFILTRE MED DIFFERENSTRYKMÅLING	14
4.3 STØVTYPER OG KONTROLSTRATEGI	14
5 KONTINUERTE STØVMÅLERE	16
5.1 MÅLEPRINCIP FOR PHOTOMETRE	17
5.2 KONTINUERT TRANSPORTABLE STØVMÅLERE	17
5.3 TEST AF TRANSPORTABLE KONTINUERTE STØVMÅLERE	18
5.4 KONKLUSION	19
6 DISKUSSION OG KONKLUSION	21
BILAG A. KONTINUERTE STØVMÅLERE	22
DATARAM 4 - MODEL DR-4000	22
PERSONAL DATARAM PDR-1200	23
CASELLA MICRODUST PRO	23
DUSTTRAK	25
HAZ-DUST	26

1 Indledning

Referencelaboratoriets styregruppe har fornemmet et stort behov for viden om partikelfiltre i kommunerne. Der er jævnligt kommer henvendelser til svartjenesten om partikelfiltre, f.eks. hvilke filter materialer og/eller klassifikation skal myndigheden anbefale og/eller acceptere, hvad er emissionen efter forskellige filtermaterialer, hvor længe de holder, hvordan sikres at filtrene skiftes i tide, hvilke krav skal man stille til driftskontrol og emissionsmålinger.

Der har også været direkte forespørgsel efter en billigere og hurtigere test af specielt partikelfiltre, som kan vise "virker/virker ikke" i modsætning til præstationskontrol (3 en-time støvmålinger), som kan være meget dyre, men giver et absolut tal for emissionen. En accepteret billigere og hurtigere metode vil sikre bedre og hyppigere kontrol og samtidig sikre, at et huller eller utæt filter opdages tidligere, så det kan udbedres, evt. ved at skifte filterposer eller filterelementer. For virksomhederne bliver kontrollen billigere - især for virksomheder med mange filtre og afkast kan der være tale om en betydelig besparelse. Partikelfiltre er typisk et område, hvor myndighederne har været tilbageholdende med at stille krav om målinger. På virksomheder med flere partikelfiltre og mange afkast, fordi omkostningerne til præstationskontrol på alle afkast ville være meget store, og på små virksomheder med et eller få små partikelfiltre og få afkast, fordi omkostningerne til præstationskontrol på alle afkast vil være store for en lille virksomhed. Resultatet er generelt, at der sjældent forlanges emissionsmålinger, og specielt ikke årligt tilbagevendende målinger på afkast fra partikelfiltre.

Der er således et generelt ønske om en effektiv og billig metode til kontrol af partikelfiltre, så myndighederne bedre kan forsvare at forlange en kontrolmåling, og dermed forbedre overholdelse af støvemissionen fra partikelfiltre.

FORCE Technology (den gang dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ) udviklede i 2002 en metode til kontrol af posefiltre, ved måling af emissionen med en bærbar kontinuert støvmåler, af mærket DataRam DR 2000. Det er denne metode der grundlaget for denne rapport.

Muligheden for at stille krav til filterklasser beskrives kort i projektet, men det understreges, at det ikke er miljøtilsynets opgave at vælge filtre og stille krav til filtertype, med mindre der er fuldstændig entydighed i metoderne, som der eksempelvis er for HEPA-filtre.

På denne baggrund har referencelaboratoriet udarbejdet denne rapport, som redegør for mulighederne for at udføre simple og hurtige målinger af støvemissioner med transportable direkte visende støvmålere, der måler efter lysspredning (light scattering) princippet.

Metoderne er specielt rettet mod kontrol af emissionen fra partikelfiltre, men kan også anvendes til kontrol af emissionen fra ventilationsafkast, kortlægning af støvkilder, måling af støv i arbejdsmiljø og indeklima, samt identificering af afkast med de højeste emissioner, med henblik på, at udføre præstationskontrol i de mest støvbelastede afkast.

I rapporten anvendes partikelfiltre for alle typer filtre, der tilbageholder partikler på en eller anden form for membran, hvor luften passerer igennem. Der kan være tale om posefiltre, konvolutfiltre, kassettefiltre mv.

Elektrofiltre¹ er således ikke omfattet, for her passerer luften ikke en membran der tilbageholder partiklerne.

Kontrollen af partikelfiltre kan sammenlignes med LDAR (Leak Detection and Repair), som blev indført af den amerikanske miljøstyrelse i starten af 80'erne, til detektion af utætheder med VOC emission fra rørsystemer og procesudstyr i den kemiske og petrokemiske industri. Her udføres måling med en bærbar måler, der kan detektere VOC emissionen fra utætheder, som derefter repareres, og kontrolmåles igen. Formålet er ikke at bestemme emissionen, men udelukkende at finde utætheder, så de kan repareres hurtigst muligt.

¹ Elektrofilter er egentlig en misvisende betegnelse, fordi der ikke er tale om en filtrering. Direkte oversat fra det engelske udtryk Electrostatic Precipitator skulle det hedde "elektrostatisk udskiller".

Kontrollen af partikelfiltre med kontinuert støvmåler, kan på samme måde ses som en metode til at identificere utætheder i filtrene, så de hurtigt og målrettet kan udbedres ved utætheder. Med korrekt dimensionerede filtre, og med tætte filtermaterialer, der er velegnede til den aktuelle støvtype, vil emissionen normalt være langt mindre end emissionsgrænseværdien.

2 Regler for emissionskontrol

Luftvejledningen giver rammerne for tilsynsmyndighedernes regulering af luftemissioner fra virksomheder, og herunder kontrol af om emissionsgrænserne overholdes. Princippet i luftvejledningen er, at der som udgangspunkt skal foretages årlig måling af emissionen til dokumentation for at emissionsgrænseværdierne overholdes, når der er tale om virksomheder (afkast) med forurening af nogen betydning.

I mange tilfælde stiller tilsynsmyndigheden ikke krav om målinger, fordi der også foretages en vurdering af omkostningerne til målinger i forhold til nytteværdien af målinger. Specielt indenfor kontrol af partikelfiltre i procesindustrien (som ikke er fyringsanlæg) er tilsynsmyndighederne tilsyneladende tilbageholdende med at forlange målinger. Omkostningerne til præstationskontrol på partikelfiltre kan være meget store, fordi der kan være mange afkast fra hver partikelfilter, og mange virksomheder har flere partikelfiltre. Præstationskontrol med 3 en-times målinger i hvert afkast løber hurtigt op i meget store omkostninger. Selv på små virksomheder, f.eks. en snedker eller tømrer, som måske kun har et filter med to afkast, vil omkostningerne til målinger være i størrelsen omkring 15.000 kr. På større virksomheder med flere partikelfiltre og mange afkast, vil omkostningen til at gennemføre præstationskontrol (tre 1-times målinger) i hvert afkast beløbe sig til flere hundrede tusinde kr.

Præstationskontrollen giver dermed eksakte tal for emissionen på den dag målingerne gennemføres, men vil blive gennemført med en lav hyppighed pga. den relative store omkostning. Dermed er præstationskontrol ikke det bedste værktøj til at sikre at filterne bliver repareret eller skiftet før eller kort tid efter at en lækage opstår.

Partikelfiltre har ofte firkantede nedadvendte afkast, som skal forsynes med forlængerrør, for at leve op til krav til målesteder, og det gør det besværligt og dyrt at foretage målinger i alle afkastene.



Figur 1. Posefilter på træindustri med 7 firkantede nedadvendte afkast, med et forlænget afkast, hvor der kan udføres målinger. Røret kan flyttes til de andre afkast.

2.1 Luftvejledningens krav til kontrol

Luftvejledningen giver klare anvisninger krav og kontrol på side 54:

5.2.1 Generelt

Vilkår i godkendelser og påbud bør være entydige, og de bør kunne kontrolleres med et overkommeligt ressourceforbrug.

Vilkårene bør følges op med kontrol for at eftervise, at kravene overholdes. Kontrollens omfang tilpasses den potentielle belastning af miljøet.

Emissionsgrænseværdier er normalt nemme at fastsætte for partikelfiltre, mens det er lidt vanskeligere at afgøre, om ressourceforbruget til emissionsmålinger er overkommeligt for virksomheden, og det er heller ikke nemt, at tilpasse kravene til den potentielle belastning af miljøet. Der er dog ingen tvivl om, at udgifterne til akkrediterede måling af støvemissionen i alle afkast fra partikelfiltre, kan være et urimeligt ressourceforbrug, specielt når filteret er i orden, så emissionsgrænseværdierne overholdes. Det er også sikkert, at med veldimensionerede og tætte partikelfiltre, hvor afkastene er dimensioneret så B-værdier overholdes, er belastningen af miljøet minimal.

På side 55 i luftvejledningen gentages henstillingen til et overkommeligt ressourceforbrug, idet der som punkt 3 under "*Et emissionsvilkår bør som minimum opfylde følgende.*" står:

Det skal kunne kontrolleres ved et rimeligt og overkommeligt ressourceforbrug.

Dette står dog lidt i kontrast til luftvejledningens klare anvisning for præstationskontrol, der står nederst på side 55:

Præstationskontrol anvendes på virksomheder med forurening af nogen betydning (hvor massestrømsgrænsen er overskredet, men hvor AMS-kontrolgrænsen ikke er overskredet).

Der bør derfor altid foretages præstationskontrol på alle afkast, når massestrømsgrænsen er overskredet, hvilket vil være gældende på en meget stor del af de virksomheder der har partikelfiltre. AMS kontrol for støv ses sjældent på partikelfiltre fra industrielle processer, og de fleste virksomheder med partikelfiltre er formentlig også under AMS kontrolgrænsen. Et mindre antal virksomheder er over AMS kontrolgrænsen, uden at det har udløst krav om AMS kontrol.

Præstationskontrollen uddybes på side 57 i Luftvejledningen:

Præstationskontrol har normalt en måletid på en time eller mere afhængig af, hvad der måles for.

Udføres præstationskontrol eksempelvis med kontinuert registrerende instrumenter) fastsættes måletiden normalt til en time. Som udgangspunkt foretages præstationskontrollen en gang om året) men ud fra en konkret vurdering kan hyppigheden være større eller mindre.

Der bør altså foretages tre en-times målinger af støv fra partikelfiltre en gang om året, dog med mulighed for et større eller mindre hyppighed.

Et vilkår med reduceret hyppighed bør indrettes efter hvornår filterposerne udskiftes, så tætheden kontrolleres f.eks. indenfor 1 - 2 måneder efter udskiftningen, og igen når poserne nærmer sig den forventede levetid. Herefter bør filtrene kontrolleres med øget hyppighed eller skiftes. På den måde sikres at både, at fejlmonterede poser opdages hurtigt efter isætning og at poserne skiftes inden eller kort tid efter de bliver utætte. Dette vil være et administrativt vanskeligt system, specielt hvis virksomheden har flere filtre, hvor poserne ikke udskiftes samtidigt.

På side 58 åbnes der mulighed for at anvende en anden målemetode, end dem der angives i Miljøstyrelsens Metodeliste:

5.2.4.7 Målemetode

I kontrolvilkåret bør angives hvilken målemetode, der skal anvendes. I kapitel 8 findes prøve- og analysemetoder, der kan anvendes ved fastsættelse af vilkår. Hvis der stilles krav om akkrediterede målinger, bør det sikres, at der findes laboratorier, der er akkrediteret til den valgte metode.

Kontrolvilkåret bør formuleres, så der er mulighed for at benytte andre målemetoder af tilsvarende kvalitet, såfremt virksomheden kan begrunde det.

Der er således tydeligt mulighed for at vælge og foreskrive en anden målemetode, bare den er af tilsvarende kvalitet. Hvis "tilsvarende kvalitet" fortolkes i forhold til sikkerheden for, at metoden kan afgøre, om emissionsgrænseværdien overholdes, så er denne rapport's foreslåede målemetode med kontinuert støvmåler klart bedre end slet ikke at foretage målinger. Den er efter referencelaboratoriets vurdering

også bedre end, at foretage præstationskontrol i få udvalgte afkast, fordi målingerne kan foretages i alle afkast for rimelige midler. Resultatet foreligger også med det samme, så der er mulighed for at foretages øjeblikkelige målrettede reparationer og genmålinger, hvis der findes utætheder.

3 Baggrund for kontrol af partikel- filtre med kontinuert støvmåler

Baggrunden for udviklingen af en simpel og effektiv metode til kontrol af støvemissionen fra posefiltre, var dels et ønske fra Junckers Industrier A/S om, at kunne dokumentere, at emissionen af støv fra virksomhedens mange posefiltre med 120 afkast var væsentligt lavere end 1 mg/m³, og dels flere henvendelser fra Trekantsrådets Miljøcenter med ønsket om en nem og billig metode til kontrol af posefiltre.

3.1 Måling med kontinuert støvmåler på posefiltre

Junckers Industrier havde 15 posefiltre med i alt ca. 120 afkast, der samlet udsendte omkring 780.000 m³ luft i timen. For at kunne overholde B-værdien for træstøv, skulle koncentrationen i alle afkastene være noget mindre end 1 mg/m³. Støvemissionen fra velfungerende posefiltre er langt mindre end Luftvejledningens emissionsgrænseværdi på 5 mg/m³, og virksomheden havde da også hidtil anvendt en emission på 1 mg/m³ til OML beregninger af om B-værdien overholdes. Flere traditionelle målinger havde vist emissioner på mindre end 1 mg/m³, men med relativt store variationer. De store variationer skyldes formentlig utætheder i enkelte filtersektioner.

Junckers Industrier ønskede derfor, at kunne dokumentere, at støvemissionen fra posefiltrene var så lav, at der kunne anvendes en lavere emission end 1 mg/m³ i OML beregningerne.

En serie indledende målinger på Junckers posefiltre viste, at selv få minutters måling i et afkast fra et partikelfilter, nemt kunne afsløre utætheder i den pågældende filtersektion, fordi der var en tydelig forhøjet støvemission i forhold til øvrige sektioner med meget lav emission. Målingerne viste også, at støvkoncentrationen fra et velfungerende og tæt partikelfilter er mindre end 0,1 mg/m³.

FORCE Technology (dengang dk-TEKNIK) udførte efterfølgende målinger af støvemissionen i 94 afkast fra 7 posefiltre på Junckers Industrier. Målingerne er udført med en transportabel støvmåler, en DataRAM DR 2000, hvor de målte værdier opsamles i en indbygget datalogger. Måleren blev dels kalibreret ved at udføre parallelmålinger med almindelige støvmålinger, og dels ved at veje et internt filter, som filtrerer den luft der suges igennem måleren.

Pose filter Nr.	Støvtype	Antal afkast	Middel emission mg/m ³	Middel emission uden utætte sektioner mg/m ³
1	Vådt savsmuld fra opskæring af frisk træ	7	0,06	0,06
2	Pudsestøv, primært UV lakslib	14	0,03	0,03
3	Pudsestøv, træ og kit	25	0,2 ¹	0,01
4	Tørt savsmuld og spåner	14	0,02	0,02
5	Tørt savsmuld, pudsestøv og spåner	25	0,7 ²	0,04
6	Tørt savsmuld, pudsestøv og spåner	7	0,003	0,003
7	Tørt savsmuld og spåner	2	0,8 ³	0,2

Tabel 1. Målinger af støv fra posefiltre med DataRAM på Junckers Industrier A/S

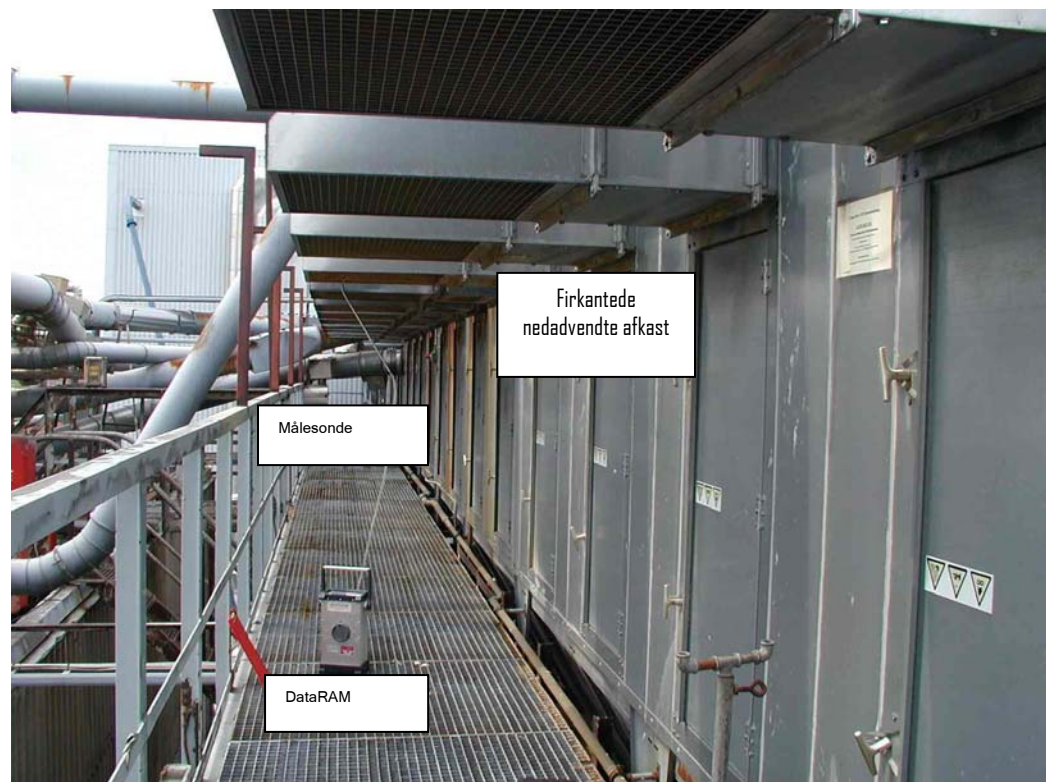
Under målingerne blev det observeret, at udeluften indeholdt mere støv end luften fra de fleste afkast. Det betød, at støvmåleren viste højere koncentration under regenereringen af filtersektionen, hvor der blæses udeluft baglæns gennem filterposerne. Målingerne måtte derfor afbrydes, hvis regenereringen startede under målingen.

Alle posefiltre på Junckers Industrier på nær filter nr. 7, er almindelige sektionsoopdelte filtre, med skrabetransportør i bunden og afkast fra hver sektion. Filtreringen sker indefra og ud gennem filterposerne. Regenereringen sker ved at en ventilator monteret i afkastet blæser udeluft baglæns ind gennem filterposerne, hvorved filterkagen falder af.

Partikelfilter nr. 7 består af én stor sektion, med poserne monteret over hver sin støttekurv, så filtreringen sker udefra og ind i poserne. Regenereringen sker med en kørende vogn i toppen, som med en ventilator blæser målrettede luftpulser ned i hver enkelt filterpose, hvilket giver en mere effektiv regenerering. Dette filter har to afkast, et fra hver halvdel af filteret. Ved de første målinger var dette partikelfilter tydeligt utæt. Filteret blev efterset og ordnet, og målingerne blev gentaget. Disse målinger viste lavere koncentrationer, men de var ikke helt så lave som fra de andre posefiltre.

Målingerne på 4 af posefiltrene med tilsammen 42 afkast viste, at emissionen fra alle sektionerne var mindre end $0,1 \text{ mg/m}^3$, og der således ikke var nogen utætte poser eller samlinger. Den gennemsnitlige emission fra de 4 posefiltre var $0,04 \text{ mg/m}^3$.

De to sidste posefiltre havde flere utætte sektioner, med støvkoncentrationer på mellem 1 og 9 mg/m^3 . Efter tætning af disse sektioner blev målingerne gentaget, hvorefter koncentrationerne var lige så lave som fra de øvrige sektioner.



Figur 2. Måling med DataRAM i afkast fra partikelfilter

På baggrund af de udførte målinger accepterede tilsynsmyndigheden, at Junckers Industrier kunne anvende en emission på $0,5 \text{ mg/m}^3$ ved OML beregninger til dokumentation for overholdelse af B-værdien. Det blev fulgt op med følgende vilkår i en ny miljøgodkendelse:

Vilkår 11. Junckers Industrier A/S skal en gang årligt gennemføre orienterende støvmålinger på alle afkast med en massestrøm som skønnes at overstige 200 kg/h for rensning, jf. tabel 3.4.1 i miljøteknisk beskrivelse. Målingerne kan udføres med en DataRAM eller andet udstyr med en tilsvarende målekvalitet.

Flere filtre på Junckers er siden blevet nedlagt, så der i dag kun er to filtre, hvor massestrømmen skønnes at overstige 200 kg/h, og på de filtre udføres der årligt kontrolmålinger med kontinuert støvmåler. Målingerne har siden, dvs. de sidste 3 år, vist tætte filtre, med emissioner langt under emissionsgrænselværdien på 5 mg/m³.

3.2 Konklusion:

Emissionsmålinger med kontinuert støvmåler i alle afkast, er tydeligt en væsentlig bedre og mere sikker kontrol af partikelfiltre med mange afkast, end traditionelle målinger udført i nogle få afkast. Med en kontinuert støvmåler kan mange afkast kontrolleret hurtigt og effektivt, og utætte sektioner kan identificeres, så inspektion og vedligeholdelse kan begrænses og målrettes til de utætte sektioner.

Med kontinuert støvmåling kan der udføres både engangsdokumentation af emissionen fra nye og eksisterende partikelfiltre, samt løbende kontrolmålinger, enten årligt eller f.eks. før og efter vedligehold/poseskift. Kontrol af partikelfiltrene kan også indarbejdes i et miljøledelsessystem, hvor det vil give en god dokumentation for emissionen, som kan være værdifuld i forhold til Miljøreddegørelse, Grønt regnskab, livscyklusvurderinger mv.

Et gennemtænkt kontrolsystem til partikelfiltre med kontinuert støvmåler kan sikre en optimering af virksomhedens omkostninger til poseskift ved maksimal levetid for filtrene. I visse situationer kan det bedre betale sig at skifte filtrene når slutningen af den forventede levetid nærmer sig i stedet for at fortsætte en hyppig kontrol.

4 Partikelfiltre og filtermaterialer

Partikelbegrænsning på mange forskellige virksomheder og produktionsprocesser foretages i dag med partikelfiltre. Der findes flere varianter af partikelfiltre, der hver har deres fordele og begrænsninger, som dog ikke vil blive berørt her. Her vil vi fokusere på principperne for partikelfiltre og de faktorer, der har betydning for filtreringseffektiviteten og årsager til forhøjet emission, der kan overskride emissionsgrænsen.

Princippet for partikelfiltre er, at gassen suges eller trykkes gennem en dug af naturligt eller syntetisk tekstil, hvor partikler tilbageholdes. Filtreringsmekanismen er en kombination af egentlig sivirkning, indfangning, diffusion og elektrostatiske tiltrækning. En helt ny og ren filterpose filtrerer dårligere, end når den har været brugt en tid, dels fordi filtermaterialet fyldes op med små partikler, og dels fordi der opbygges et tykt lag af partikler på filterdugen (filterkagen), som i høj grad medvirker til en større filtreringseffektivitet.

Et veldimensioneret partikelfilter, med filtermateriale der er velegnet til den pågældende støvtype og en god filterkage, kan rense støv fra mange forskellige processer med mere end 99,9 % effektivitet.

Partikelfiltre er specielt effektive overfor de store partikler, fordi de simpelthen ikke kan trænge igennem filtermaterialet, så de udskilles 100 %, med mindre der er utætheder i partikelfilteret. Mange målinger har vist, at hvis der er et stort indhold af partikler større end 10 µm, så vil årsagen normalt være utætheder i filteret.

De udskilte partikler, der danner filterkagen, øger trykfaldet over filterdugen, således at luftmængden på et tidspunkt ikke længere kan passere filterdugen. Det er derfor nødvendigt med jævne mellemrum at fjerne filterkagen fra dugen ved en rensning.

Partikelfiltre kan enten renses mekanisk ved rystning af poserne eller ved at blæse luft baglæns gennem poserne. Sidstnævnte princip er mest udbredt, fordi det både er mere effektivt og mere skånsomt overfor poserne end mekaniske rensning.

Den nødvendige og optimale rensfrekvens afhænger i høj grad af koncentrationen af partikler i rågassen, jo højere koncentration jo hyppigere rensning. Rensningen er derfor ofte styret af en differenstrykmåler, som starter rensningen, når differenstrykket har nået setpunktet. Timerstyring af rensningen findes også, men er knap så udbredt, da rensningen ikke bliver optimal i forhold til belastningen.

Efter rensningen vil der være en kort periode med en lidt ringere rensningseffektivitet, indtil der igen er opbygget en filterkage.

4.1 Partikelfilterbrud

Som regel er nye filtre tætte og renses luften effektivt, men der ses alligevel eksempler på lækager fra starten eller efter kort tids drift. Årsagen kan være, at fabrikantens forskrifter ikke er fulgt ved monteringen, så der er utætheder, eller at anlægget kører med for høje og forcerede trykforhold, hvilket kan medføre lækager ved filterposernes befæstelse.

Med de støvkoncentrationer, der ofte er i tilgangen til partikelfiltre, er et hul i en filterpose på størrelse med en fingertykkelse ofte nok til, at en emissionsgrænseværdi på 5 - 10 mg/norm-m³ overskrides. Det er således vigtigt, at selv små utætheder opdages og udbedres så hurtigt som muligt.

Utætheder kan forekomme i forbindelse med udskiftning af filterposer, enten fordi filterposens befæstelse ikke slutter tæt, eller fordi montagen ikke er udført ordentligt. Der er også eksempler på, at filterposer er blevet rykket løs i forbindelse med inspektion, f.eks. fordi der er trådt på den. Der kan også være tale om poser af ringe kvalitet, f.eks. dårlig pasform så de er utætte ved fastgørelsen eller dårlige syninger der er utætte eller går op efter nogen tids brug.

Regulære brud på filterposerne forekommer hyppigere, jo ældre poserne bliver, fordi materialet bliver slidt og dermed mister mekanisk styrke. Sliddet sker primært, hvor filtermaterialet hviler og gnider mod trådkurven, men kan også forekomme, hvis pulsluftdysen er monteret skævt og rammer og slider posen ved hver rensning.

Der er således risiko for utætheder og forhøjet emission efter udskiftning af filterposer. Efter udskiftning af alle filterposerne, hvor det er sikret, at partikelfilteret er helt tæt, vil der normalt være en årrække, hvor risikoen for utætheder er begrænset, men herefter vil det almindelige slid begynde at medføre brud på filterposerne. Posernes levetid afhænger af mange forhold, bl.a. af luft- og partikelbelastningen, partiklernes egenskaber, samt filterposernes materiale og tykkelse. Den konkrete levetid for et konkret anlæg kan derfor ikke angives, men leverandørerne ved normalt hvilke filtermaterialer der er bedst egnede til forskellige applikationer, og hvilken levetid de normalt vil have.

I dag er filterposerne næsten altid lavet af kunststof, f.eks. polyester, som kan holde og være effektive i mange år, uden at gå i stykker. Tidligere var bomuldsposer meget udbredt, men de mørnede ofte i løbet af få år, med deraf stærkt forøget risiko for brud.

4.2 Kontrol af partikelfiltre med differenstrykmåling

Differenstrykmålere anvendes almindeligvis til at afgøre, hvornår filterposerne skal skiftes, men de kan ikke registrere utætheder eller revner i filterposer, som medfører emissioner over grænseværdien. En revne i en filterpose på størrelse med en finger vil ikke medføre nogen målelig ændring i differenstrykket, men vil give en meget stor forøgelse af emissionen, fordi der slipper en mindre mængde urensset luft igennem, som kan have en meget stor koncentration af støv.

I mindre partikelfiltre kan en differenstrykmåling muligvis detektere, hvis en filterpose falder af, men det vil normalt også blive opdaget meget hurtigt, fordi der vil stå en støvsky ud af afkastet. I større filteranlæg med mange hundrede filterposer, vil en differenstrykmåling ikke kunne detektere, hvis en filterpose falder af. Det mest almindelige problem med partikelfiltre er huller og revner i filterposerne, som ikke kan opdages med differenstrykmåling.

Der er også nogle rent praktiske problemer med at anvende differenstrykmåling, bl.a. fordi det vil være vanskeligt at fastsætte en fast alarmgrænse, bl.a. fordi differenstrykket varierer i takt med den almindelige regenerering af filteret, som ofte sker mange gange i timen. Der kan både være variation i takt med, at filterkagen bliver tykkere og tykkere, indtil den falder af ved regenereringen, og dels forekommer der trykstød ved selve regenereringen.

Differenstrykket kan også variere efter belastningen på filteret, f.eks. hvis volumenstrømmen reguleres efter en varierende produktion, hvilket mange steder sker af hensyn til energibesparelser.

Det vurderes, at det generelt ikke er muligt at anvende differenstrykket til at overvåge, om et partikelfilter er i orden, mht. om der er utætheder og forhøjet emission.

4.3 Støvtyper og kontrolstrategi

Der er principielt to typer støvpartikler:

1. Partikler på trods af regenereringen fylder filtermaterialet op, så tryktabet og rensningsgraden øges med tiden, indtil poserne skiftes pga. for stort tryktab. Filterposernes levetid er normalt kortere end for type 2 støvpartikler.
2. Partikler der effektivt fjernes fra filtermaterialet ved regenereringen, så levetiden bestemmes af hvornår filtermaterialet er så slidt, at rensningseffektiviteten falder, så emissionen øges. Det skyldes typisk huller der opstår hvor filtermaterialet gnider op mod filterkurven eller ved befæstelsen.

Der bør lægges forskellige strategier for de to støvtyper:

Type 1 støv

- Med tætte filtre og filterposer, vil der normalt aldrig være noget problem i, at overholde emissionsgrænsen med type 1 støv, fordi filtreringseffektiviteten er meget høj.

- Krav om dokumentation fra leverandøren, for at filteret og filterposerne er velegnet til den aktuelle type støv, med garanti for at grænseværdien kan overholdes.
- Driftskontrollen bør kunne begrænse til at sikre at filteret er tæt, f.eks. jævnlig inspektion og evt. årlig måling med kontinuert støvmåler. Afhængigt af levetiden for filterposerne, kan støvmålingen evt. begrænses til en kontrolmåling af filterets tæthed, f.eks. 1 - 2 måneder efter udskiftning af filterposerne. Ved konstaterede utætheder, bør udbedring af utæthederne dokumenteres ved yderligere en måling.
-

Type 2 støv

- Der vil normalt ikke være noget problem i at overholde emissionsgrænsen for filtre med slidende støvpartikler, men udfordringen i forhold til kontrolstrategi er, at emissionen kan stige med tiden, efterhånden som filtermaterialet blive slidt tyndere og mere porøst. Derfor kan grænseværdien overskrides selvom der ikke er et egentligt brud på filteret.
- Leverandøren bør dokumentere, at filteret og filterposerne er velegnet til den aktuelle type støv, og bør kunne oplyse om filtermaterialets normale levetid før emissionsgrænsen risikeres at være overskredet.
- Driftsvilkår om hyppighed for skift af filterposer, journalføring over skift af filterposer, samt måling af støvemissionen med kontinuert støvmåler hver eller hver andet år, samt altid 1 - 2 måneder efter skift af filterposer, for at sikre at det er tæt. Ved konstaterede utætheder, bør udbedring af utæthederne dokumenteres ved yderligere en måling.
- Evt. orienterende målinger af emissionen umiddelbart inden filterposeskift.

Hvis der er anvendt et filter og filtermateriale der er velegnet og effektivt til den aktuelle type støv, så emissionen er langt under emissionsgrænsen, så kan man tilrettelægge emissionskontrollen på anden måde, end den normale præstationskontrol til dokumentation for, at emissionsgrænseværdien overholdes.

Hvis emissionen er langt under grænseværdien når filteret er i orden, kan man ved kontrol af, at filteret er tæt, være meget sikker på, at emissionen også er langt under grænseværdien.

En driftskontrol, med jævnlige inspektioner af filterets rengasside til kontrol for utætheder, der normalt kan ses som støvaflejring, og evt. krav til hyppighed for udskiftning af filterposerne og journal for utætheder og skift af poserne, kan medvirke til at sikre tætte og velfungerende partikelfiltre. Husk rengøring ved udbedring af utætheder, så støvaflejringerne ikke giver falsk alarm for utætheder ved næste inspektion.

Driftskontrollen kan evt. kombineres med simple målinger af emissionen med kontinuert støvmåler.

Er der tale om slidende partikler, kan det være mere aktuelt med hyppigere måling således, at en stigning kan blive registreret, og indgå i vurderingen af hvornår filterposerne skal udskiftes.

5 Kontinuerte støvmålere

Kontinuert måling af støvemissionen er en velkendt teknologi, som findes på mange virksomheder og anlæg. Bekendtgørelserne for affaldsforbrænding og større fyringsanlæg stiller begge krav om kontinuert måling af støvemissionen, og luftvejledningen har et generelt krav om AMS kontrol af støv, når massestrømmen er større end 200 kg pr. afkast. Den type målere er fastmonteret udstyr, som på baggrund af en kalibrering med parallelle gravimetriske målinger af støvkonzentrationen viser den aktuelle støvkonzentration med stor nøjagtighed. De har dog den ulempe, at hvis der sker væsentlige ændringer i støvets egenskaber, specielt partikelstørrelsesfordelingen, f.eks. ved svigtende eller utæt rensning, så vil kalibreringskurven ikke længere være nøjagtig, hvilket er væsentligt, når formålet er at dokumentere emissionens størrelse.

Der findes flere alternative typer direkte visende målere til bestemmelse af partikler og aerosoler, som vist i Tabel 2.

Particle Sampling page 8.6

Table 8.1. Characteristics of Selected Direct-Reading Particle Instruments

Type	Cost \$10 ³	Averaging time	Measured property	Calibration dependence	Size Range μm	Advantages	Disadvantages
Photometer (RAM, HAM)*	2-6	continuous	total light scattering	density, size distrib., refractive index	0.3-15	continuous readout	calibration changes with dust type
Beta-gauge	15	1-30 min	absorption of beta radiation	atomic number	1-15	direct mass measure	low sensitivity
Optical Particle Counter	3-20	0.1-10 min	light scattering, size and count	density, refractive index	0.3-15	size distrib, sensitive	low resolution, size accuracy
Piezobalance	4	0.5-20 min	mass	particle size	.02-10	direct mass measure	sensor needs cleaning often
Fibrous Aerosol Monitor (FAM)	14	1-1000 min	light scattering, fiber size, count	fiber length, diameter	optically visible	specific for fibers	non-asbestos interference

* Real time Aerosol Monitor, Hand held Aerosol Monitor
Source: Baron PA. Modern real-time aerosol samplers. Appl Ind Hyg. 3(3):97-103, 1988.

Tabel 2. Direkte visende partikelmålere

Referencelaboratoriet har erfaringer med fotometer typen til kontinuert måling af støv i afkast, specielt fra partikelfiltre, hvorfor der i denne rapport er fokuseret på denne type. Der kan være støvmålere med andre måleprincipper, f.eks. partikeltællere, som med den rette kalibrering også kan være anvendelige til en hurtig og simpel kontrol af afkast og partikelfiltre.

Fotometer typen har en række fordele, der gør den velegnet til kontrol af partikelfiltre:

- de er simple
- de er bygget til transportabel eller personbåren brug
- målingen vises i mg/m³
- de kan nemt kalibreres til andre støvtyper
- de er rimelige i pris.

Direkte visende transportable støvmålere er været på markedet i mange år, og på nogle punkter giver de fordele i forhold til traditionel gravimetrisk måling. De giver på stedet et hurtigt resultat for koncentration og variation af støv, de er simple og hurtige at anvende, og de er generelt billigere at anvende. De er klart overlegne med hensyn til at kunne vise den tidsmæssige variation i koncentrationen af støv, hvor de gravimetriske metoder kun vil give en gennemsnitsværdi over måleperioden.

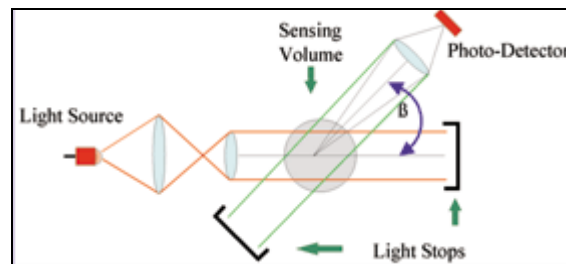
Værdien af hurtige direkte visende målinger af støv, er stigende med stigende antal målesteder med nogenlunde konstante koncentrationer, og med behovet for at klarlægge variationerne i koncentrationen. Ved kortlægning af støvkoncentrationer og støvemissionskilder er kontinuert måling ofte den eneste realistiske mulighed, fordi der på kort tid kan udføres målinger mange steder, hvor udgifterne til gravimetrisk målinger i det samme antal målesteder ville blive væsentlig højere.

Ulemperne ved direkte visende transportable støvmålere er, at kalibreringen af måleren til visning i koncentration (mg/m^3) er afhængig af de fysiske proportioner for det aktuelle støv der måles på. For at få præcise kvantitative målinger, skal måleren derfor kalibreres til det støv der måles på, ved parallelle gravimetrisk måling.

5.1 Måleprincip for photometre

Partikelkoncentrationen bestemmes ved at måle partiklernes refleksion af lys fra en lysstråle der sendes ind i målekanalen (light scattering technique). Infrarødt lys med en bølgelængde på 880 nm sendes gennem målekammeret og reflekteres af partiklerne, se Figur 3. Lysreflektionen er proportional med koncentrationen af partikler, og den måles med en fotocelle. Nogle målere anvender en spids vinkel for måling af lysreflektionen ($12\text{-}20^\circ$), hvilket minimerer den usikkerhed der relateres til partiklernes farve, form og refraktive indeks.

Målingen medtager koncentrationen af alle luftbårne partikler (støv, damp, røg, tåge eller væskedråber), og dækker normalt et meget stort måleområde, f.eks. fra omkring $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til $400 \text{ mg}/\text{m}^3$.



Figur 3. Måleprincip

Instrumenterne fabrikkalibreres med standardiseret teststøv efter ISO 12103-1, også kaldet Arizona vejstøv eller Arizona Fine kalibrerings støv.

Sammenhængen mellem støvkoncentrationen i mg/m^3 og måling af lysreflektionen afhænger primært af partiklernes størrelse, vægtfylde, farve og refractive indeks. For at få troværdige målinger af andre typer støv end fabrikkalibreringsstøvet, skal der foretages en kalibrering med dette støv, enten ved vejning af et internt filter, der opsamler alt det støv der måles, eller ved parallelle gravimetrisk målinger. Når kalibreringsfaktoren for en type støv er bestemt, kan den anvendes ved efterfølgende målinger, forudsat at støvet ikke har ændret sig væsentligt i mellemtiden.

Man skal være opmærksom på, at støvets fugtindhold kan have stor betydning for målingen, fordi den kontinuerte måling er ved det aktuelle fugtindhold, mens gravimetrisk målinger altid er på en tørret prøve, dvs. alt vandet er fordampet fra partiklerne. Små luftbårne partikler har en tendens til at optage vand, hvis luftfugtigheden er høj. Derved vokser partiklerne med stigende luftfugtighed, og det giver for høje målinger, fordi lysreflektionen er større fra de større partikler. Effekten er betydningsløs op til en relativ fugtighed (RH) på 50 %. Ved højere niveauer, specielt over 70 % er størrelsesforøgelsen meget signifikant, og ved 100 % RH kan måleresultatet være op til 2,5 gange forøget. Ved luftfugtigheder større end 50 % RH, bør man være opmærksom på og tage højde for denne effekt.

5.2 Kontinuert transportable støvmålere

Der er gennemført en screening af udbuddet af transportable kontinuerte støvmålere af fotometer typen, der vurderes at kunne anvendes til kontrol af støvemission fra partikelfiltre. Listen er ikke nødvendigvis

komplet, ligesom kun en type er blevet afprøvet, og det var reelt den tidligere model DR-2000, som er afløst af den mere avancerede DR-4000. De fundne støvmålere er vist i Tabel 3.

Navn og model	WEB	Pris niveau (2006) Kr.
DataRam, DR-4000	www.thermo.com	85.000
DataRam, pDR-1200		46.000
Casella Microdust Pro	www.bgiusa.com	41.000
DustTrak	www.tsi.com	35.00
Haz-Dust I	www.skinc.com	20.000 *
Haz-Dust IV		25.000 *
Haz-Dust EPAM-5000		30.000 *

Tabel 3. Kontinuerte transportable støvmålere (* internetpriser USA)

En oversigt og gennemgang af de fundne støvmålere er vist i bilag A.

5.3 Test af transportable kontinuerte støvmålere

Der er fundet flere studier af kalibreringsfaktorer for forskellige direkte visende transportable støvmålere.

Kuusisto (1983) har fundet, at 4 målere efter det fotometriske princip havde en præcision på < 25 %.

Gero og Tomb (1988) sammenlignede 46 Miniram målere ved måling af Arizona vejstøv, silika støv og kalkstenstøv, og målingerne afveg højest med en faktor 2 fra hinanden.

Lehocky og Williams (1996) sammenlignede gravimetrisk målinger af respirabelt støv med direkte visende transportable støvmålere ved måling af kulstøv på et kulfyret kraftværk. Selvom målingerne ikke var helt overensstemmende, var konklusionen, at direkte visende transportable støvmålere var anvendelige i stedet for gravimetrisk metode, ved måling af respirabelt kulstøv.

Thorpe og Walsh (2001) har undersøgt effekten af bl.a. støvkoncentration, støvtype og partikelstørrelsesfordeling for tre direkte visende transportable støvmålere, en DataRam, en Casella Microdust og en HAM.

DataRAM og HAM målerne er fabrikskalibreret med respirabelt støv og Microdust er fabrikskalibreret med totalt støv, og det giver sig udslag i forskellige respons ved måling af støvtyper med indhold af ikke respirabelt støv (> 10 µm).

Målingerne blev udført i et testkammer med konstant koncentration af henholdsvis stenstøv, nåletræstøv, MDF støv og melstøv. Instrumenternes visning blev sammenlignet med parallelle gravimetrisk målinger af den respirable del af støvet (prøverne blev udtaget gennem en cyklon).

Selvom testene er udført med støv med forskellige partikelstørrelsesfordelinger, og det kun er den respirable del (< 5 µm) der er bestemt gravimetrisk, hvor det til emissionskontrol er totalstøv der skal bestemmes, så kan resultaterne godt bruges til nogle generelle vurdering af målinger af totalstøv.

Undersøgelsen viser at:

- Alle tre målere viste en god lineær sammenhæng med respirabelt støv, når partikelstørrelsesfordelingen blev holdt konstant.
- Alle målerne viste en meget god overensstemmelse ved måling på test på prøver med udelukkende respirabelt støv.

- Ved test på støv indeholdende ikke respirabelt støv ($> 5 \mu\text{m}$) var der en stigende fejlvisning på instrumenter, som viste for lave værdier i forhold til totalstøv, og for høje værdier i forhold til den respirable del af støvet.
- Microdust måleren viste konsekvent 2 - 3 gange højere koncentrationer end DataRam og HAM målerne for alle støvtyperne. Det skyldes, at den er kalibreret med total-støv, mens de andre kun er kalibreret efter den respirable del af støvet.
- DataRam og HAM målingerne med stenstøv viste meget god overensstemmelse med de gravimetriske målinger, formentlig fordi stenstøvet svarer meget godt til det Arizona vejstøv de er fabrikskalibreret med.

I forhold til måling af total-støv, kan der af undersøgelsen udledes at:

- Ved måling af respirabelt støv, med partikelstørrelser $< 5 \mu\text{m}$, vil der være en meget god overensstemmelse mellem DataRam og HAM målerne og gravimetriske målinger, mens Microdust vil have en tendens til at give for høje resultater.
- Ved måling af støv med stigende andel af partikler $> 10 \mu\text{m}$, vil alle målerne vise for lave koncentrationer. Her vil Microdust vise lidt mere rigtige koncentrationer, men alle målerens resultater kan korrigeres til at vise rigtigt, hvis responsen for den aktuelle støvtype og sammensætning bestemmes ved gravimetrisk parallelmåling.
- Alle målerne vil give for lave målinger ved stigende indhold af store partikler. Ved måling af støv efter partikelfiltre, vil der normalt være en sammenhæng mellem stigende koncentration og stigende indhold af store partikler, fordi de store partikler kun slipper igennem partikelfilteret, hvis der er utætheder. Det er med andre ord ikke relevant at måleren viser korrekt i denne situation. Den skal blot vise at emissionen er for høj, og at filteret skal skiftes eller repareres.

5.4 Konklusion

Kontinuerte direkte visende støvmålere af fotometer typen er fundet meget velegnede til en direkte kontrol af støvemissionen fra partikelfiltre og andre afkast. Der bør dog altid anvendes en kalibreringsfaktor for det aktuelle eller tilsvarende støv, som er bestemt ved vejning af internt filter, eller parallelle gravimetriske målinger.

Målerne anses for pålidelige, og selvom der er usikkerhed på kalibreringen, vil de med stor sikkerhed kunne sandsynliggøre, at en emissionsgrænseværdi er overholdt, hvis måleværdien er langt under grænseværdien.

I tvivlssituationer kan man vælge at gennemføre en præstationskontrol eller simpelthen skifte poserne.

Ved sammenlignende målinger i ens afkast fra forskellige sektioner af det samme partikelfilter, vil eventuelle utætheder med meget stor sikkerhed blive afsløret.

6 Diskussion og konklusion

Luftvejledningen åbner op for muligheden for at benytte alternative metoder til emissionskontrol, såfremt de kan begrundes fagligt og godkendes af tilsynsmyndigheden. Det er med andre ord muligt for tilsynsmyndigheden at vælge den metode de ønsker blot der kan argumenteres for, at det er fornuftigt.

Generelt for partikelfiltre er formålet med kontrol, at finde ud af om det virker eller ikke virker, idet et partikelfilter som ikke er fejldimensioneret eller behæftet med fejl (revnede poser, poser der er faldet af, eller nedslidt dug) uden problemer kan overholde de emissionsgrænseværdier der er opstillet i Luftvejledningen.

Det vigtigste ved kontrol af partikelfiltre er, så tidligt som muligt, at finde ud af om der er opstået utætheder og ikke nødvendigvis hvad den nøjagtige emission er. Dermed bliver hyppig anvendelse af billige metoder mere interessant end mindre hyppige dyre og præcise præstationskontrolmålinger, der kan udgøre en betydelig økonomisk udgift for en virksomhed med mange partikelfiltre og mange afkast. Disse metoder behøver efter Referencelaboratoriets opfattelse ikke at give præcise tal for emissionen, men blot kunne verificere om filteret virker eller ikke virker.

På mindre virksomheder er der ofte ingen kontrolvilkår for partikelfiltrene (bl.a. pga. prisen på en præstationskontrol) og virksomheden kan i princippet producere indtil emissionen bliver så stor at naboerne begynder at klage over støv på biler, vasketøj etc. I disse tilfælde er det under alle omstændigheder vigtigt at sikre at poserne bliver skiftet med jævne mellemrum og at kontrollere at poser mv. er monteret korrekt 1-2 måneder efter poseskift. På den måde sikres at virksomheden ikke fortsætter med at producere i hele posernes levetid med en pose der er faldet af eller revnet under montering. Kontrollen kan uden problemer gennemføres med en håndbåren støvmåler, som kan verificere at filteret virker efter hensigten. Hvis viden om posernes holdbarhed kontra driftstimer og belastning er begrænset kan det være svært at fastsætte vilkår om hyppigheden af poseskift. Også her kan en billig håndbåren metode benyttes til at kontrollere posernes holdbarhed, efter f.eks. 2 - 3 år, og derefter hyppigere kontrol jo ældre filterposerne bliver.

På større virksomheder med mange partikelfiltre og ofte mange afkast fra hvert partikelfilter kan en årlig præstationskontrol i mange afkast være meget dyr, og det eneste der opnås er det samme som en hurtig kontrolmåling med en håndbåren støvmåler, nemlig en konstatering af, om filteret virker eller ej.

Referencelaboratoriet anbefaler, at man i stedet for at udføre præstationsmåling i mange afkast fra partikelfiltre, kontrollerer filtrene med en direkte visende støvmåler, som kan verificere, om filteret er intakt og uden utætheder.

Der bør altid foreligge og anvendes en kalibreringsfaktor for det aktuelle støv, enten fra en konkret bestemmelse for det aktuelle støv, eller tal fra anden kalibrering på tilsvarende støv.

Hvis målingerne viser, at støvemissionen er meget lav, f.eks. mindre end 10 - 20 % af grænseværdien, kan man med rimelighed antage, at emissionsgrænseværdien er overholdt med meget stor sikkerhed, selvom den kontinuerte metode har en væsentlig større usikkerhed end den gravimetriske metode.

Ønskes større sikkerhed for om emissionsgrænseværdien overholdes, kan man efterfølgende gennemføre en præstationskontrol i det afkast hvor man har målt den med højest koncentration med den kontinuerte støvmåler. Dette princip kan også anvendes til screening af andre typer afkast, med henblik på at finde den eller de afkast med den højeste støvkonzentration, hvor der så udføres præstationskontrol.

Det er Referencelaboratoriets samlede vurdering, at kontrol af partikelfiltre ved anvendelse af kontinuert støvmåling, er mere effektiv end akkrediterede præstationsmålinger, fordi den i langt højere grad giver mulighed for at holde øje med filteret og opdage og reparere eventuelle utætheder i tide. Samtidig giver metode mulighed for en optimeret driftsøkonomi, hvor filtrenes levetid kan udnyttes uden risiko for miljøet.

Bilag A. Kontinuerte støvmålere

Referencelaboratoriet har screenet udbuddet af transportable kontinuerte støvmålere af fotometer typen, som vurderes at kunne anvendes til kontrol af støvemission fra partikelfiltre. Listen er ikke nødvendigvis komplet, ligesom kun en type er blevet afprøvet, og det var en nu udgået model, DataRAM DR-2000, som er afløst af den mere avancerede DR-4000. De fundne støvmålere er vist i tabellen.

Navn og model	WEB	Pris niveau (2006) Kr.
DataRam, DR-4000	www.thermo.com	85.000
DataRam, pDR-1200		46.000
Casella Microdust Pro	www.bgiusa.com	41.000
DustTrak	www.tsi.com	35.000
Haz-Dust I	www.skinc.com	20.000 *
Haz-Dust IV		25.000 *
Haz-Dust EPAM-5000		30.000 *

Kontinuerte transportable støvmålere (* internetpriser USA)

DataRam 4 - Model DR-4000

Måleområde 0,0001 til 400 mg/m³. Pris ca. 85.000 kr. uden ekstraudstyr. Med ekstra udstyr kan der foretages isokinetisk udsugning fra kanaler og afkast.



Figur 4. DataRAM DR-4000

DataRAM suger via en pumpe en luftprøve ind i målekammeret, hvor partikelkoncentrationen bestemmes ved måling med to lysstråler. En del af lysstrålerne reflekteres i de passerende partikler, og en del af det reflekterede lys måles med fotoceller via to linser.

DataRAM måler koncentrationer af alle luftbårne partikler (støv, damp, røg, tåge eller væskedråber), og displayet viser niveauet i mikrogram eller milligram pr. kubikmeter. Koncentrationen beregnes ud fra en fabrikskalibrering, foretaget med en gravimetrisk referencemåling på en standard støvprøve, SAR Fine, fra Powder Technology Inc., med median aerodynamisk partikel diameter på 2 til 3 µm.

Partikelstørrelse for maksimal respons er 0,08 - 10 μm . Responsen på partikler større end 10 μm er stærkt reduceret.

Kalibrering er velegnet til mange applikationer med tilsvarende partikelstørrelser, men DataRAM kan også feltkalibreres til andre specifikke støvsammensætninger. Feltkalibreringen kan ske ved vejning af internt filter, samt vejning af filter i forudskiller, hvis den anvendes. Ud fra beregning af den samlede luftmængde der er suget gennem DataRAM og vægten af de opsamlede partikler, kan kalibreringsfaktoren beregnes som det procentuelle forhold mellem den målte og den beregnede koncentration. Kalibreringsfaktoren kan tages ind, så de korrigerede resultater vises direkte i mg/m^3 .

DataRAM DR-4000 bestemmer også prøveluftens temperatur og luftfugtighed, og den beregner en middeldiameter for de målte partikler. Det må dog formodes at den beregnede middeldiameter er behæftet med en betydelig usikkerhed.

Personal DataRam pDR-1200

Er beregnet til personbåren passiv måling af støv, men kan forsynes med pumpe og filtersæt.

Pris ca. 46.000 kr. inklusiv pumpe og filtersæt.



Figur 5. DataRam pDR-1200

Model pDR-1200 er grundmodellen pDR-1000 udbygget med filtersæt, og yderligere en pumpe er nødvendig for at foretage målinger i afkast og kanaler.

Måleområde fra 0,001 til 400 mg/m^3 . Data i øvrigt som for den foregående DataRam DR-4000.

Casella Microdust Pro

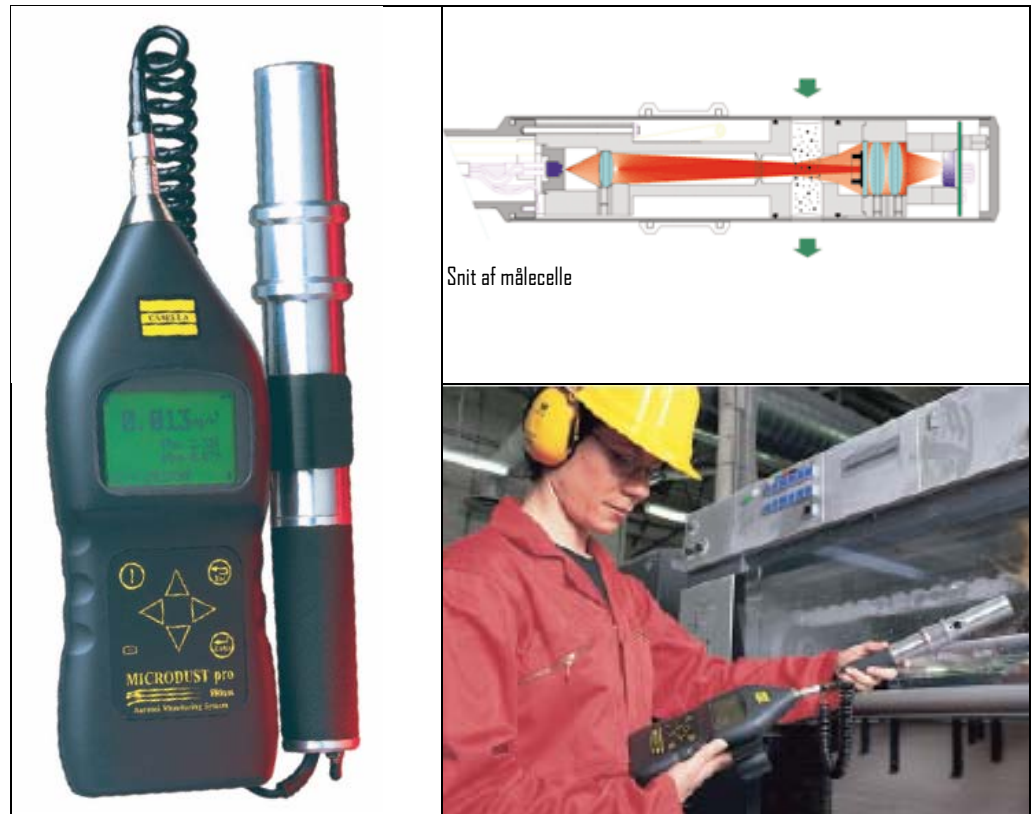
Er beregnet til passiv måling af støvkonzentration, men kan forsynes med pumpe og filtersæt, som gør det muligt at suge en luftprøve ind gennem målecellen, samt opsamle støvet på et filter.

Måleområde 0,001 til 2.500 mg/m^3 .

Pris ca. 41.000 kr. for måler inklusiv pumpe og filtersæt.

Microdust pro er individuelt fabrikskalibreret, med parallelle gravimetrisk maling, og Arizona Fine kalibrerings støv (ISO 12103-1, A2) Instrumentet kan når som helst resættes til denne fabrikskalibrering, ved at indsætte den medfølgende kalibreringsenhed i målecellen.

Kalibrering til den aktuelle støvtype kan foretages ved at indsætte et filter efter målecellen, som vejes før og efter målingen, og kalibreringsfaktoren kan beregnes som forholdet mellem de to målinger.



Figur 6. Casella Microdust Pro

DustTrak

Måleområde 0,001 - 100 mg/m³. Kalibreret med ISO 12103-1 A1 test dust.
Pris ca. 35.000 kr.

Batteridrevet instrument, som efter fotometerprincippet måler og logger støvmængder i mg/m³. DustTrak indeholder en pumpe, således at den suger luft ind ved en given hastighed. Denne luftstrøm er samtidig med til at holde optikken ren, hvilket forøger driftssikkerheden. DustTrak kan bruges som måleinstrument for enkeltmålinger eller som logger, hvor der kan opsamle op til 30.000 måleværdier. Der kan vælge øvre grænse på partikelstørrelser på 10µm, 4µm, 2,5µm og 1µm.



Figur 7. DustTrack

Haz-Dust

De tre HAZ-Dust målere, type I, IV og EPAM-5000 er ikke undersøgt nærmere, men data svarer nogenlunde til de øvrige målere.

HAZ-Dust I har et måleområde på 0,01 - 20 mg/m³ eller 0,1 - 200 mg/m³.

Internet pris i USA svarende til ca. 20.000 kr.



Figur 8. HAZ-Dust I

HAZ-Dust IV har et måleområde på 0,01 - 200 mg/m³, og et indvendigt filter, der kan vejes til kalibrering en konkret støvtype.

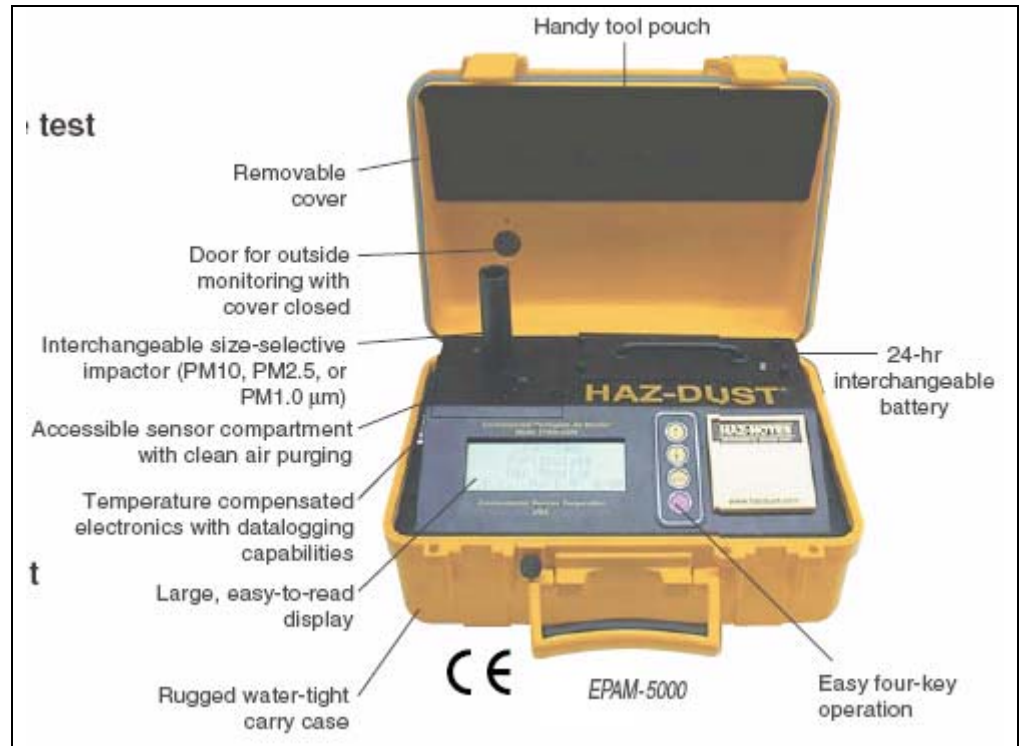
Internet pris i USA svarende til ca. 25.000 kr.



Figur 9. HAZ-DUST IV

EPAM-5000 har et måleområde på 0,01 - 200 mg/m³ og et indvendigt filter, der kan vejes til kalibrering en konkret støvtype.

Internet pris i USA svarende til ca. 30.000 kr.



Figur 10. EPAM-5000