

# Rensemuligheder for partikler, herunder fine partikler

DECEMBER 1999

Udarbejdet af  
Lene Christensen og  
Knud Christiansen  
dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ  
December 1999

## Resumé

Notatet indeholder beskrivelse af muligheder for partikelemissionsbegrænsning samt deres effektivitet overfor forskellige størrelsesfraktioner. Egnethed overfor forskellige brancher er kort omtalt i relation hertil. Der er givet en kort gennemgang af egnede målemetoder til måling af partikelemission, ligesom deres anvendelighed overfor forskellige partikelstørrelser er beskrevet. Endelig er der givet forslag til kontrol af rens effektivitet samt beskrevet hvilke forhold, der bør overvejes i forbindelse med vilkårsfastsættelse.

# Indhold

<b>1</b>	<b>INDLEDNING</b> .....	<b>4</b>
1.1	PROJEKTBEKRIVELSE.....	4
1.2	PROJEKTAFGRÆNSNING.....	4
1.3	DEFINITIONER.....	5
<b>2</b>	<b>PARTIKLER</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>BEGRÆNSNING AF PARTIKELEMISSION</b> .....	<b>9</b>
3.1	DYNAMISKE UDSEILLERE.....	9
3.2	FILTRERENDE UDSEILLERE.....	11
3.3	ELEKTROFILTER.....	14
3.4	VÅDUDSEILLERE.....	15
3.5	ABSOLUTFILTRE.....	17
3.6	SAMMENLIGNING AF RENSEMETODER.....	17
<b>4</b>	<b>MÅLING AF PARTIKELEMISSION</b> .....	<b>21</b>
4.1	MÅLING AF PARTIKELEMISSION.....	21
4.2	ANALYSE AF OPSAMLEDE PARTIKLER.....	24
4.3	KONTROL AF RENSEEFFEKTIVITET.....	25
4.4	VALG AF MÅLEMETODER.....	26
<b>5</b>	<b>REFERENCER</b> .....	<b>28</b>

**Bilag A Anbefalede metoder til præstations- og stikprøvekontrol**

**Bilag B Metoder til vurdering af filtereffektivitet for absolutfiltre**

# 1 Indledning

## 1.1 Projektbeskrivelse

### *Baggrund*

Ved miljøsagsbehandling er det ofte nødvendigt at kunne danne sig et overblik over hvilke rensningsmetoder, der er velegnede til forskellige typer af partikelemissioner, herunder hvad metodernes effektivitet er overfor forskellige partikelstørrelser.

### *Målgruppe*

Projektets målgruppe er Miljøstyrelsen og andre godkendelsesmyndigheder, der skal vurdere mulighederne for rensning af luftemission samt fastsætte vilkår i forbindelse med en afgørelse efter miljøbeskyttelsesloven.

### *Projektbeskrivelse*

Projektet indeholder beskrivelse af

- begrebet partikler, herunder eksempler på typiske partikelemissioner, relateret til aktuelle brancher samt en kort gennemgang af, hvorfor rensning er påkrævet.
- begrænsning af partikler, herunder muligheder for emissionsbegrænsning afhængig af partikelstørrelsesfordeling. Forskellige rensemetoder beskrives med hensyn til rensprincip og rensningsgrad. Beskrivelsen af de enkelte rensemetoder er så vidt muligt underbygget med aktuelle erfaringsværdier. Afslutningsvis er der udarbejdet en oversigt over de enkelte anvendte rensemetoder, der viser fordele og ulemper samt eventuelle begrænsninger ved de enkelte rensemetoder. Investerings- og driftsudgifter er endvidere søgt belyst forholdsmæssigt.
- måling af partikelemission, herunder kort gennemgang af forskellige målemetoder og deres anvendelighed overfor måling af forskellige partikelstørrelser.
- forslag til kontrol af rens effektiviteter.

## 1.2 Projektafgrænsning

I projektet er der valgt ikke at opgøre eksakte priser, idet udgiften til partikelemissionsbegrænsende foranstaltninger typisk vil være meget anlægsspecifik, herunder afhænge af den aktuelle partikelstørrelsesfordeling, volumenstrøm, temperatur, fysiske forhold m.m. Der er i stedet valgt at beskrive udgifter og omkostninger forholdsmæssigt de enkelte rensningsmetoder imellem.

Der er valgt kun oversigtsmæssigt at beskrive mulige målemetoder til præstationskontrol af de enkelte filtertyper. For nærmere beskrivelse heraf henvises til andre af Miljøstyrelsens projekter, hvor dette emne er mere udførligt behandlet.

Vedrørende forslag til formulering af vilkår overfor virksomheder, der har etableret rensforanstaltninger, henvises til Miljøstyrelsens Luftvejledning nr. 6/1990 ”Begrænsning af luftforurening fra virksomheder”.

### *Princip for udformning af vilkår*

I Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1990 om begrænsning af luftforurening fra virksomheder er principperne for fastlæggelse af vilkår beskrevet.

I prioriteret rækkefølge er disse

- *Substitution*
- *Minimering af emissionerne*
- *Rensning med bedst mulige teknik*
- *Fortynding*

Ved udarbejdelse af vilkår skal myndighed og virksomhed i fællesskab arbejde ud fra denne grundholdning.

### 1.3 Definitioner

I forbindelse med projektet er der anvendt følgende definitioner:

Volumenstrøm opgives typisk i enheden [ $m^3(n,t)/h$ ], hvor (n,t) refererer til tør røggas ved referencetilstand 0 C og 101325 Pa.

Massestrøm er et udtryk for den mængde stof pr. tidsenhed, som vil udgøre hele virksomhedens emission, såfremt der ikke foretages emissionsbegrænsning. Massestrøm opgives typisk i enheden [g/h].

Emissionskoncentration er et udtryk for den aktuelle emissionskoncentration, der skal være overholdt i hver enkelt afkast på virksomheden. Emissionskoncentration udtrykker samtidig den koncentration af partikler, der vil være efter eventuel rensning. Emissionskoncentration angives typisk i enheden [ $mg/m^3(n,t)$ ], hvor (n,t) refererer til tør luft ved referencetilstand 0 C og 101325 Pa.

B-værdien (bidragsværdi) er et udtryk for den enkelte virksomheds maksimalt tilladelige immissionskoncentrationsbidrag til omgivelserne. B-værdi opgives i enheden [ $mg/m^3$ ].

En partikel er en lille afgrænset masse af fast eller væskeformigt stof.

Partikelstørrelse er som navnet direkte antyder en angivelse af aktuel partikelstørrelse (diameter). Partikelstørrelser angives typisk i enheden [ $\mu m$ ].

Ved grove partikler forstås en partikelstørrelse større end 2,5  $\mu m$ . Ved fine partikler forstås en partikelstørrelse mindre end 2,5  $\mu m$ . Ultrafine partikler har en partikelstørrelse mindre end 0,1  $\mu m$ .

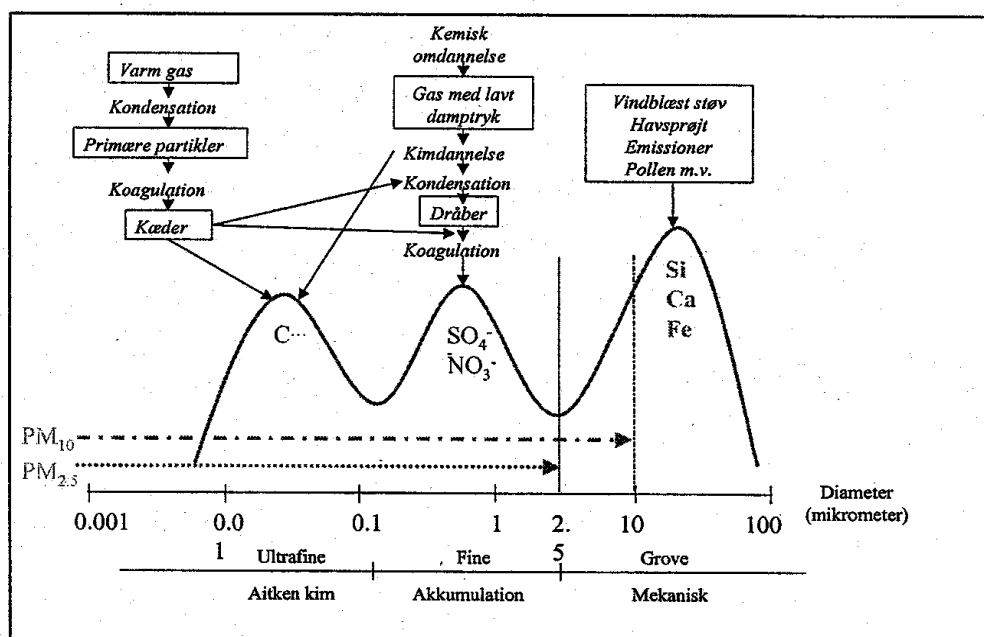
Rensningsgrad udtrykker, hvor godt en given emissionsbegrænsende foranstaltning er i stand til at tilbageholde partikler. Rensningsgrad opgives typisk i [%].

Usikkerhed i forbindelse med måling og analyser udtrykker det interval, man kan forvente, at den korrekte værdi befinder sig indenfor. Usikkerhed opgives typisk som interval i [%].

## 2 Partikler

- Partikler* Der er naturligt forekommende partikler, og der er den menneskeskabte partikel-emission, også kaldet antropogen partikelemission.
- Den menneskeskabte partikelemission vil oftest forekomme i forbindelse med energiproducerende anlæg, trafik og mange industrielle aktiviteter, som eksempelvis korn- og foderstofproduktion, cementproduktion, træforarbejdende virksomheder m.m.
- Partikelstørrelser* Afhængig af hvilke aktiviteter, der foregår på den enkelte virksomhed eller enkelte anlæg, kan der forekomme emission af partikler med forskellig størrelsesfordeling. Figur 2.1 viser en inddeling af partikler afhængig af aktuel partikelstørrelse.
- Grove partikler* Grove partikler dannes typisk ved forskellige mekaniske processer. Grove partikler kan bestå af alle mulige stoffer afhængigt af deres oprindelse. Som eksempel på emission af større partikler kan nævnes emission fra betonvareindustrier, foderstofproducerende virksomheder samt forskellige overfladebehandlingsprocesser, herunder sandblæsning. Flyveaske fra fyring med fast brændsel og affaldsforbrænding samt kulstøv fra kulfyrede kraftvarmeproducerende anlæg er ligeledes eksempler på større partikler, ligesom olieokoks fra fueloliefyrede anlæg. Jævnfør figur 2.1 benævnes partikler større end 2,5 µm grove partikler.
- Fine partikler* Fine partikler er et resultat af en række omdannelsesprocesser, bl.a. ved kemiske processer mellem partikler og gasser. De fine partikler består for det meste af hygroskopiske, uorganiske salte, eksempelvis sulfater, nitrater eller klorider. De væsentligste kilder til fine partikler er afbrænding af svovlholdigt brændsel samt alle forbrændingsprocesser, der giver anledning til dannelse af kvælstofoxider, herunder bl.a. trafik, kraftværker, opvarmning m.m. Emission fra bl.a. metalforarbejdende virksomheder, herunder svejserøg kan tilsvarende medføre emission af fine partikler, ligesom træstøv fra træforbejdningprocesser er et eksempel på emission af fine partikler. Fine partikler defineres som partikler, der er større end 0,1 µm og mindre end 2,5 µm.
- Ultrafine partikler* Ultrafine partikler dannes fra dampfase ved høj temperatur, eksempelvis i forbrændingsmotorer og ved kondensation, når temperaturen falder ved transport gennem udstødningsrør eller røgkanal, og vokser hurtigt fra nogle få molekyler til ultrafine partikler, typisk i størrelsesordenen 0,001 – 0,1 µm. De ultrafine partikler består for det meste af organiske, hydrofobiske stoffer, eksempelvis kulstof, oliedråber, komplekse organiske forbindelse (PAH) eller oxiderede organiske stoffer. Den væsentligste kilde til emission af ultrafine partikler er trafik, herunder specielt dieselmotorer. Emissioner fra forskellige fremstillingsprocesser kan også bidrage til emission af ultrafine partikler, herunder eksempelvis asfaltproduktion samt medicinalindustrien.

Figur 2.1 Inddeling i partikelstørrelser.



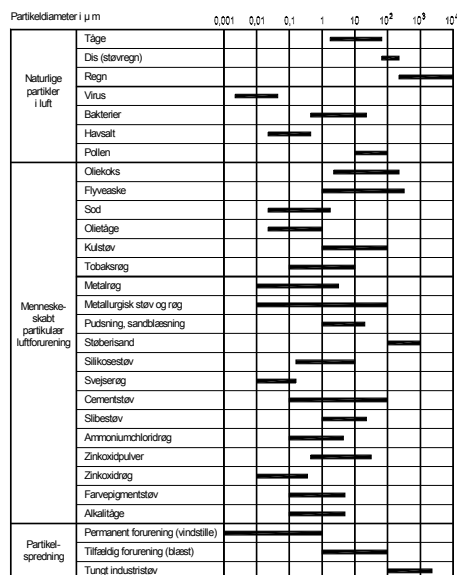
*Relation til Luftvejledning*

I Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1990 om begrænsning af luftforurening fra virksomheder er der fastsat grænseværdier for den enkelte virksomheds maksimalt tilladte immissionsbidrag af støvpartikler mindre end 10 μm. Årsagen til, at man her har valgt at skille ved 10 μm skyldes, at man har defineret partikler mindre end 10 μm som svævestøv, der følger luftens bevægelser, og som rummer en potentiel sundhedstruende effekt, fordi de kan indåndes og trænger langt ind i åndedrætssystemet.

I figur 2.2 er vist eksempler på typiske partikelstørrelser for forskellige atmosfæriske emissioner.

Figur 2.2 Typiske partikelstørrelser

Partikelstørrelse for forskellige atmosfæriske forureninger



Kilde: Handbook of Chemistry and Physics.

### Hvorfor rensning

De fleste steder foretages der i dag en effektiv rensning for partikelemission i forbindelse med partikelfrembringende aktiviteter.

Hvor man tidligere koncentrerede sig om totalindholdet i en emitteret volumenstrøm, bliver der mere og mere fokus på den aktuelle partikelstørrelsesfordeling, herunder specielt indholdet af fine partikler.

Undersøgelser i både USA og Europa har vist, at der kan opstå sundhedsrisiko ved tilstedeværelsen af svævestøv. En ny undersøgelse har vist, at høj koncentration af svævestøv kan medføre kroniske skader og nedsætte åndedrætsfunktionen samt skade kredsløbssystemet. Det er derfor vigtigt at interessere sig for emission af fine og ultrafine partikler.

Undersøgelsen viser endvidere, at skadevirkningen er afhængig af koncentrationen af svævestøv, størrelsen af partikler samt eksponeringstiden.

De fine partikler kan trænge ind i åndedrætsorganerne, og jo mindre partikler er, desto farligere er disse. Næsten 100% af alle partikler mindre end 1 µm trænger helt ned i lungerne, hvor de kan aflejres.

I EU er interessen for luftkvalitet stor, herunder emission af partikler. I april 1999 har EU således vedtaget et direktiv vedr. emission af partikler, hvori der er sat grænseværdier for immission (EU-1999/30/EU). Ifølge dette direktiv bliver immissionsgrænseværdien for PM<sub>10</sub> i år 2010 på 20 µg/m<sup>3</sup>, målt som årsmiddelværdi. Niveuaet i større byer ligger i dag typisk i størrelsesordenen 40-80 µg/m<sup>3</sup>. For at opnå de nye lave grænseværdier kræver det således i fremtiden, at det bliver muligt at rense for de finere partikler.



### 3 Begrænsning af partikelemission

Partikelbegrænsning kan foretages efter fem principielt forskellige metoder:

- Dynamiske udskillere
- Filtrerende udskillere
- Elektrofiltre
- Vådudskillere
- Absolutfiltre

De fem grupper, hvori der findes flere varianter, har hver deres fordele og begrænsninger. Nedenstående vil de enkelte rensemetoder blive gennemgået.

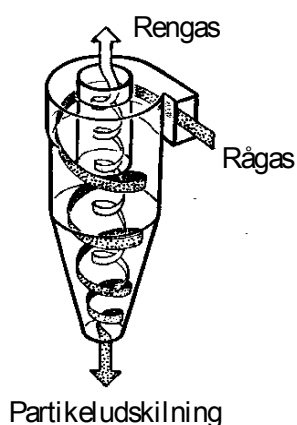
#### 3.1 Dynamiske udskillere

*Princip*

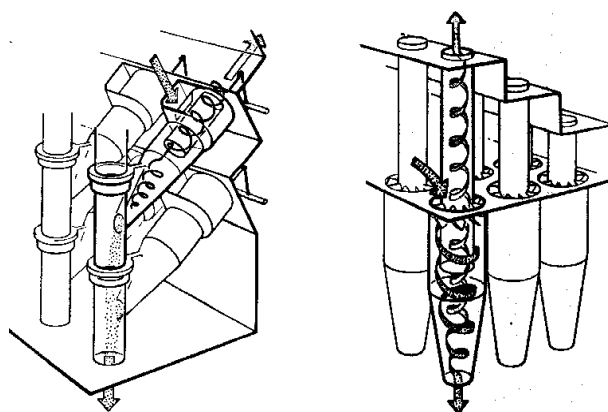
De dynamiske udskillere startede som egentlige faldkamre, hvor afkastluften blev ført gennem et stort rum. Her faldt hastigheden væsentligt, og partiklerne blev så at sige “bundfældet” i rummet. Denne metode er kun effektiv overfor store partikler. I dag anvendes næsten udelukkende cykloner indenfor denne gruppe.

En cyklon anvender centrifugalkraften til at slynge partiklerne ud til siden, således at den rensede gas kan udledes fra cyklonens centrale rør, se figur 3.1.

Princippet kan sammenlignes med en centrifuge, hvor vandet slynges ud af tøjet. I cyklonen er det afkastluften, der roterer. For at udnytte centrifugalkraften skal diameteren være så lille som mulig, og indløbshastigheden så stor som mulig. Derfor anvendes mest de såkaldte multicykloner, som er et batteri af mange små cykloner, se figur 3.2.



Figur 3.1. Cyklon



Figur 3.2. Multicyklon

Partiklerne skal sluses ud fra spidsen uden nævneværdig luftudstrømning. Til dette formål kan anvendes et lukket støvkammer, som tømmes eller udskiftes med passende mellemrum.

Det er nødvendigt, at partiklerne kan falde frit ned til cyklonens spids og ud af den. Ophobning af partikler fører meget hurtigt til partikelmedrivning i den rensede luft. Hvis partiklerne kan klæbe på cyclonvæggen, vil denne rensningsmetode ikke kunne anvendes, medmindre der træffes særlige foranstaltninger. Ved risiko for kondensation af vanddamp i cyclonen skal den isoleres, således at kondensation forhindres.

#### *Renseeffekt*

Cyklonen har ved den rigtige dimension en god virkningsgrad for store og middelstore partikler større end 10  $\mu\text{m}$ . Udskillelsen i cyclonen af en given partikel er først og fremmest bestemt af partiklens størrelse og dens hastighed. Sandsynligheden for udskillelse falder drastisk med faldende partikelstørrelse, og cycloner har derfor ikke tilstrækkelig udskillelsesgrad i luft med små partikler ( $< 10 \mu\text{m}$ ).

Gennem de sidste 5 – 10 år er cycloner dog blevet introduceret til anvendelse til rensning af partikler ned til 1  $\mu\text{m}$ . Dette kan f.eks. være, hvor der skal foregå filtrering ved højtemperatur.

Cyklonernes simple konstruktion og lave driftsomkostninger gør dem imidlertid velegnet i mange tilfælde, hvor rensningskravene er beskedne, eller som forudskiller til andre rensningsmetoder.

#### *Virkningsgrad*

En cyclons virkningsgrad afhænger af dens cylinderdiameter, røggassens indstrømningshastighed og viskositet samt af partiklernes massefylde. En smal cyclon og en høj indgangshastighed giver en god virkningsgrad. Dette kan imidlertid give et stort tryktab over cyclonen, idet tryktabet er proportional med indløbshastigheden i anden potens.

Sammenhængen mellem de omtalte parametre udnyttes i bl.a. multicykloner. Her fordeles afkastluften på et antal parallelt forbundne cycloner, hvorved der opnås en lille diameter uden samtidig at øge indløbshastigheden og dermed tryktabet. Trykfaldet over et multicyklonanlæg ligger normalt omkring 50 - 110 mPa.

Mange cycloner er mere effektive end en enkelt cyclon, fordi den vejlængde, partiklerne skal tilbagelægge for at nå ud til væggen og blive udskilt, er kortere end i én stor cyclon.

Multicykloner kan købes som færdige sammenbyggede blokke, hvorved installationsarbejdet er det samme som ved en enkelt cyclon. Til gengæld er rengøringsarbejdet vanskeligere end ved en enkelt cyclon.

Cykloner skal, især ved sure røggasser og store slidende partikler, holdes ved lige for at sikre, at rensningsgraden for cyclonen er optimal, og at der bl.a. ikke sker tæring af cyclonen.

#### *Rensningsgrad*

Rensningsgraden for et veldimensioneret cyclonanlæg er typisk i størrelsesordenen 90 – 95%, afhængig af partiklestørrelsen. Erfaringsmæssigt kan der renses ned til en partikelkoncentration på ca. 150-200  $\text{mg}/\text{m}^3(\text{n,t})$ . Cycloner eller multicykloner er i dag normalt ikke tilstrækkeligt effektive til at opfylde miljøkravene, men de ses i

kombination med andre udskillere eller i processer, hvor de eksempelvis udskiller et produkt fra en transportluft.

### 3.2 Filtrerende udskillere

#### *Princip*

Princippet ved filtrerende udskillere er, at gassen suges eller trykkes gennem en dug af naturligt eller syntetisk tekstil, hvorpå og hvori støvpartiklerne afsættes. Filtreringsmekanismen er en kombination af egentlig sivirkning, indfangning, diffusion og elektrostatisk tiltrækning. Til at begynde med er virkningsgraden lav, men efterhånden som der opbygges et partikellag på filterdugen, vokser effektiviteten hastigt.

De udskilte partikler øger imidlertid også trykfaldet over filterdugen. Det er derfor nødvendigt en gang i mellem at fjerne størsteparten af partiklerne fra dugen ved en eller anden rensemetode.

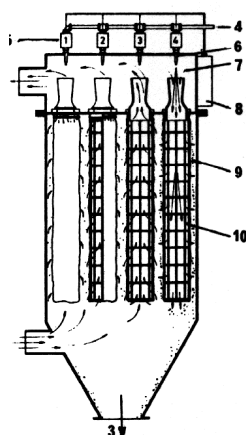
#### *Posefiltre*

Posefiltre er den mest almindelige teknik, når man taler om filtrerende udskillere. Filterelementet er som hovedregel poseformet, hvilket har givet anledning til navnet. Posefiltre anvendes til både at rense store og små volumenstrømme samt afkastluft fra siloer til røggas fra store kulfyrede kraftværker.

Posefiltre kan enten renses mekanisk og/eller ved at blæse luft den omvendte vej af procesluften gennem filteret.

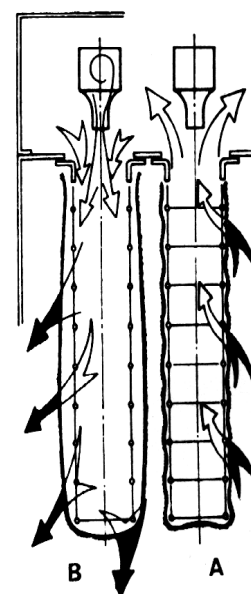
Jet-pulse-filtre er den mest udbredte posefiltertype i dag. Jet-pulse-filtre bliver oftest renses ved, at der i ganske kort tid blæses trykluft den modsatte vej. Herved dannes en trykbølge, som udvider posen, hvorved filterkagen falder af. Resten rystes af, når posen efter impulsens ophør klapper tilbage mod støttekurven. Denne form for rensning sker så hurtigt, at det ikke er nødvendigt at afspærre den sektion, der skal renses.

Princippet er vist i figur 3.3 og 3.4.



- 1 :Rågastilgang
- 2 :Rengasafgang
- 3 :Udskilt støv
- 4 :Trykluft
- 5 :Magnetventiler
- 6 :Trykluftdyse
- 7 :Skylleimpuls
- 8 :Kanal
- 9 :Pose under rensning
- 10: Trådkurv til at holde pose åben

Figur 3.3 Jet-puls-filter



Figur 3. 4. Renseprincip af poserne  
 B: pose under rensning,  
 A: almindelig drift.

I traditionelt opbyggede posefiltre renses filtrene ved mekanisk rystning. Her afspærrer de enkelte sektioner ved rensning.

I Jet-pulse-filtre kan udskiftning af filterpose foretages udefra ved at trække poserne op af filteret.

I traditionelle posefiltre må man ind mellem poserne for manuelt at udskifte dem. Dette kræver, at filteret har haft tid til at køle af forinden. Hvis driftsstop er uacceptabelt, må filterskift derfor indgå i den forebyggende vedligeholdelse.

Til mekanisk rystede filtre er det nødvendigt, at posefiltermaterialet har stor mekanisk styrke. Dette kan betyde, at filtermaterialet bliver mere tæt end nødvendigt.

Derimod kan man i jet-pulse-filtre anvende filtermateriale med mindre mekanisk styrke og dermed mindre tæt. Dette har den væsentlige fordel, at der er mindre trykfald over filteret. Jet-pulse-filtre kan derfor give en højere filtreringshastighed (eng.: air-to-cloth ratio), udtrykt i  $\text{m}^3$  gas pr.  $\text{m}^2$  filterareal pr. minut. Et højt ACR betyder mindre tekstil og dermed et mindre antal poser. Hermed bliver filteret billigere.

Posefiltermaterialet er primært opbygget på to forskellige måder. Disse to metoder kaldes vævet eller nålefilt. Det vævede filtermateriale er et forholdsvis tæt materiale med stor mekanisk styrke. Anvendelse af nålefilt giver mindre tryktab end det vævede materiale, men til gengæld er den mekaniske styrke kun halvt så stort.

Afhængig af aktuel luftmængde, der skal renses, findes der mange forskellige filtermaterialer, hvor specielt temperaturen er afgørende for valg af filtermateriale. Udover de mere traditionelle filtre findes der filtre af eksempelvis PVC, fiberglas, metal

*Filtreringshastighed/  
 filterbelastning*

*Filtermaterialer*

og mineral. De tre sidstnævnte materialer kan anvendes ved meget høje temperaturer, den såkaldte varmgasfiltrering, ved 200 - 1000° C. Prisen for disse filtre er imidlertid væsentlig højere end de almindelige anvendte materialer.

Valg af optimal posefilteropbygning og filtermateriale afhænger af flere faktorer, herunder :

- Volumenstrøm
- Temperatur
- Fugtighed
- Krav til rengas (typisk max. tilladeligt emissionsniveau)

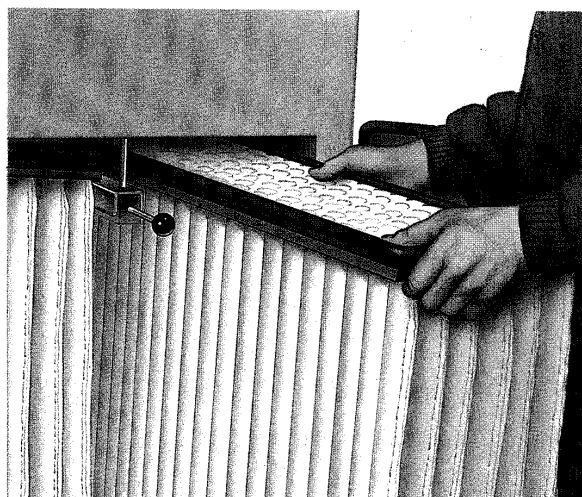
#### *Rensningsgrad*

Posefiltre har generelt god rensningsgrad overfor partikler, hvilket vil sige i størrelsesordenen 95-99%. Afhængig af valg af filtermateriale og posefiltrets opbygning ligger rengaskoncentrationen typisk på 1 – 10 mg/m<sup>3</sup>(n,t).

#### *Andre filtrerende udskillere*

Udover posefiltre kan der til eksempelvis filtrering af udsugningsluften fra slibeprocesser siloer m.m. anvendes andre stoffiltre af f.eks. bomuld eller polyester. Stoffiltrene kan eventuelt være belagt med en teflonfilm. Sådanne filtre benævnes kassette- eller kuvertfiltre. Disse to filtertyper findes både som selvrensende filtre og som engangsfiltre. Udformningen af filterne har givet navn til de forskellige typer filtre.

På figur 3.5 er vist eksempel på kassettefilter.



Figur 3.5. Kassettefilter.

Indenfor det sidste årti er der blevet fremstillet keramiske filtre. Disse filtre har ofte poseform, og filtrenes største fordel er, at de kan tåle væsentlig højere temperaturer end ”almindelige” posefiltre, idet det er muligt at filtrere luft med temperaturer på 800 - 900 C. Såfremt der anvendes de normale posefiltre, vil det kræve f.eks. køling af røggassen til under 175 C.

Udbredelsen af keramiske filtre er ikke stor i Danmark.

### 3.3 Elektrofilter

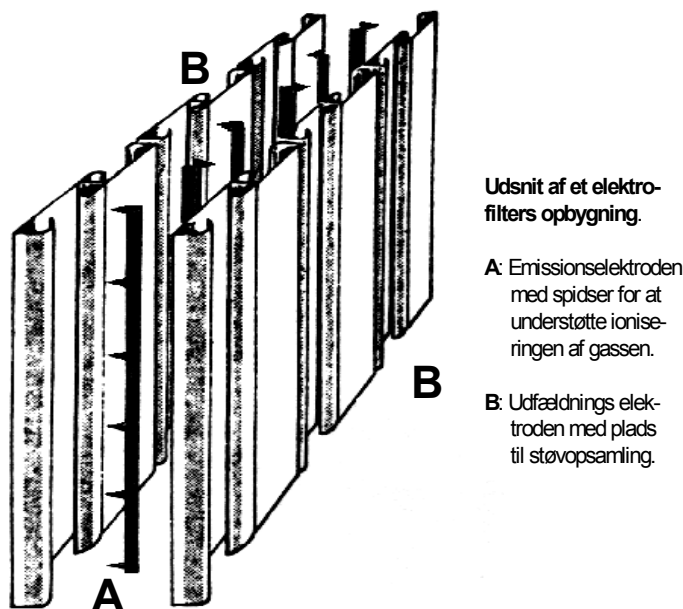
#### Princip

I elektrofiltre anvendes elektriske spændingsforskelle til udskillelse af partikler fra eksempelvis røggas, der skal renses. Princippet er, at støvpartiklerne først oplades elektrisk, hvorefter gassen passerer et område med stor elektrisk feltstyrke. Afkastluften ledes i et stort filterhus. Ideen er at opnå en meget lille hastighed (ca. 1-2 m/s). De elektrisk ladede støvpartikler vil her forlade røggassen på grund af, at spændingsforskellen føres mod særligt udformede opsamlingselektroder. Filteret består af to eller flere sektioner, samlet i et fælles filterkammer af f.eks. stålplader. Sektionerne er helt adskilt fra hinanden, såvel mekanisk som elektrisk. Hver sektion består af et emissionssystem med højspænding og et jordforbundet udfældningssystem.

#### Opbygning

Emissionselektroderne kan være tynde spiraler, tråde eller tynde plader, forsynede med udstansede spidser. Mange emissionselektroder er f.eks. udformet i lighed med det, vi kender som pigtråd. Elektroderne er ophængt i et rammesystem, som med isolatorer er adskilt fra selve filterhuset. Emissionselektroderne påtrykkes en stor negativ spænding fra en transformer/ensretter. Spændingen skaber et elektrisk felt, som ioniserer afkastluften, hvorved partiklerne lades negativt. Herved frastødes de af feltet og vandrer mod udfældningspladerne. (Princippet svarer til de elektrostatiske kræfter, der får ”hårene til at rejse sig på hovedet”).

Figur 3.6 viser et udsnit af elektrofilterets opbygning.



Figur 3.6 Udsnit af elektrofilter.

Efter partiklerne har afgivet deres ladning til opsamlingselektroden, vil tiltrækningskræfterne søge at holde partiklerne samlet. Når partikellaget, der har sat sig på elektroderne, har nået en vis tykkelse, falder det af, dels af sig selv, men dog hovedsagelig fordi der med mellemrum med specielle automatiske systemer bliver foretaget

bankning af elektrodesystemerne. Partiklerne glider ned langs elektrodernes vægge og ned i opsamlingsstragte.

Højspændingssystemet består af følgende komponenter: Reguleringstransformator, højspændingstransformator og en ensretter. Spændingen, der benyttes, er jævnspænding af størrelsen 30.000 - 80.000 volt bl.a. afhængig af de forhold, hvorunder filteret skal arbejde, d.v.s. først og fremmest af partiklernes og gassens egenskaber.

Opsamlings- eller udfældningselektroderne kan udføres som rør eller plane flader.

#### *Rensningsgrad*

Partiklernes elektriske modstand er helt afgørende for udskilningsgraden ved et elektrofilter. En høj elektrisk modstand, høj gastemperatur og lavt fugtindhold vil påvirke udskilningsgraden i negativ retning. Dette kan modvirkes ved vandindsprøjtning.

Trykfaldet over elektrofilteret er kun 10 - 20 mPa, fordi gashastigheden igennem filteret er lav omkring 0,5 - 3 m/s.

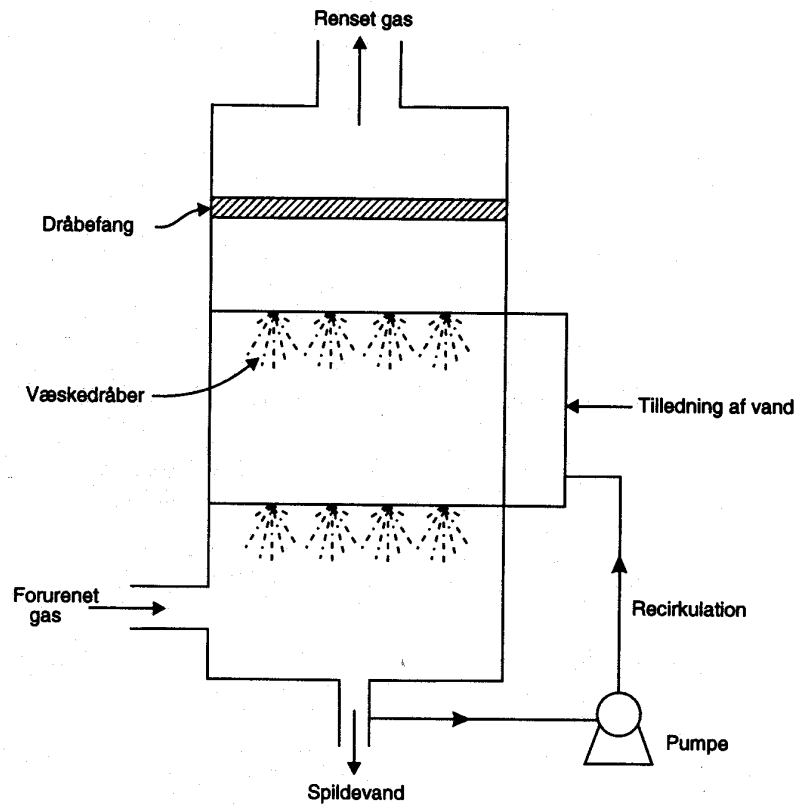
Elektrofilterets udskilningsgrad er ikke særlig afhængig af kornstørrelsen af partiklerne. Det kan rense en røggas med en kornstørrelse på ned til under 10  $\mu\text{m}$  med en god virkningsgrad. Rensningsgraden for et elektrofilter ligger typisk i størrelsesordenen 95-99% med rengaskoncentrationer på erfaringsmæssigt 10-20  $\text{mg}/\text{m}^3(\text{n,t})$ .

### 3.4 Vådudskillere

#### *Princip*

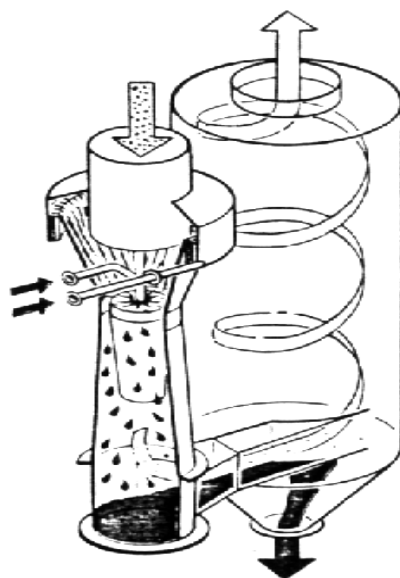
I en vådudskiller (skrubber) indfanges partiklerne i væskedråber - normalt vanddråber - hvorefter dråberne udskilles af gassen. Grundtanken er, at dråberne, indeholdende et stort antal små partikler, er lettere at udskille end de langt mindre partikler.

Figur 3.7 viser den principielle opbygning af en vådudskiller.



Figur 3.7 Principiel opbygning af en vådudskiller

Figur 3.8 viser et eksempel på en skrubber, en såkaldt venturiskrubber, hvor væske og partikler reagerer under høj hastighed.



Figur 3.8. Venturi-skrubber



Vådudskillerne bruger energi til fordråbningen og til at accelerere gashastigheden (tryktab). Vådudskillerne har derfor et ret højt energiforbrug, specielt hvis de skal være effektive overfor små partikler.

Problemet er, at små partikler har en meget høj overfladespænding. Dette vanskeliggør, at partiklerne overhovedet opfanges af dråberne, og i nogle tilfælde skal der tilsættes en blødgører til vaskevandet (fænomenet kan iagttages, når man for eksempel drysser mel i vand. Melet vil forblive tørt på overfladen).

*Rensningsgrad*

Afhængig af udformning af den aktuelle vådudskiller er rensningsgraden i størrelsesordenen 90-95% med typiske rengaskoncentrationer på 40-80 mg/m<sup>3</sup>(n,t).

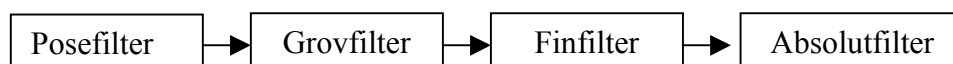
### 3.5 Absolutfiltre

*Princip*

Absolutfiltre hører principielt til filtrerende udskillerne, men er omtalt særskilt her. Absolutfiltre eller HEPA-filtre er betegnelsen for et filter, der har en meget høj udskillelsesgrad af partikler ved en partikelstørrelse ned til 0,3 µm. Filtrene anvendes bl.a. i medicinalindustrien ved ind- og udsugningsluften. Dette sker for at sikre et rent miljø ved sterilproduktion i lokalerne og for at sikre, at emissionen til det ydre miljø bliver begrænset mest mulig.

Filteret består normalt af et forfilter til grove partikler (partikler større end 2,5 µm) og et filter til fint støv (partikler større end 0,1 µm). Med disse to filtre frafiltreres de fleste partikler for ikke at belaste absolutfilteret. Efter filtrene følger det egentlige absolutfilter (partikler større end 0,3 µm). I nogle tilfælde kan der foran filteret være placeret et egentligt posefilter.

I figur 3.9 er angivet, hvordan filteret indgår ved luftrensning.



Figur 3.9. Principskitse af absolutfilter.

Hastigheden gennem absolutfiltre er meget lille i forhold til andre filtre, idet den er på ca. 0,01 m/s, og der er relativt stort tryktab over filteret.

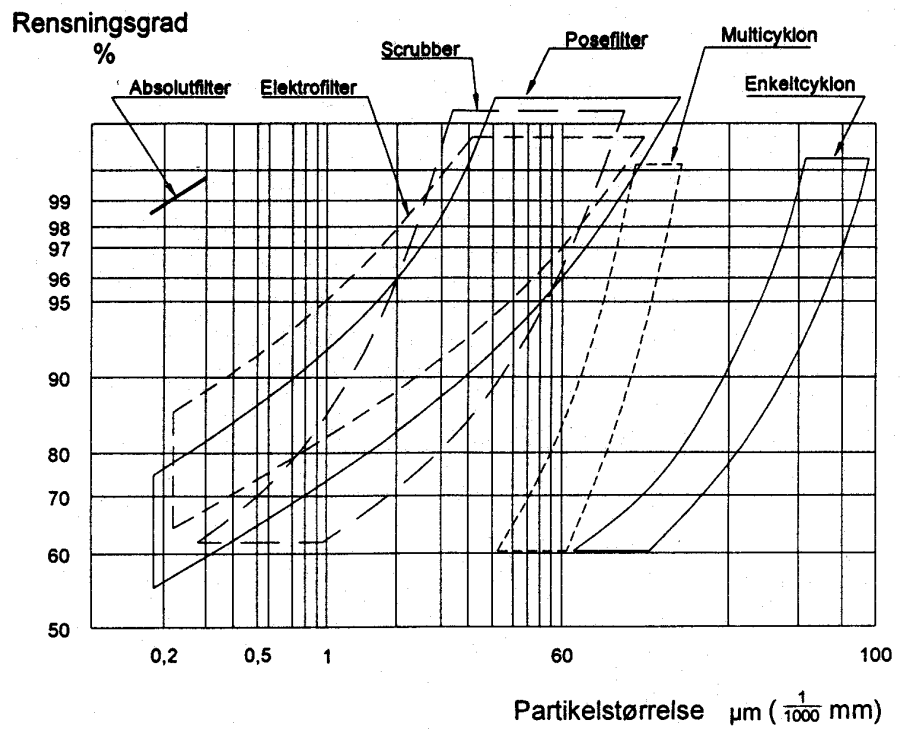
*Rensningsgrad*

For partikler på 0,3 µm er rensningsgraden mindst 99,97 %.

### 3.6 Sammenligning af rensemetoder

Ovenstående beskrivelse af forskellige metoder til begrænsning af partikelemission kan sammenfattes ved nedenstående figurer, hvor der er foretaget en sammenligning af de forskellige emissionsbegrænsende foranstaltninger.

Figur 3.10. Sammenligning af forskellige rensningsforanstaltninger.



Oversigt over fordele og ulemper ved de enkelte metoder er vist i figur 3.11

Figur 3.11 Tekniske fordele og ulemper ved forskellige rensemetoder.

Røggasrensningssystem	Rensningsgrad [%]	Aktuel partikelstørrelse	Emissionskoncentration efter rensning [mg/m <sup>3</sup> (n,t)]	Temperatur [°C]	Fordele	Ulemper
Cyklon	70-95	> 10 µm	150 – 200	Uafhængig af temperatur	Effektiv overfor store partikler	Lav effektivitet overfor små partikler
Posefilter	90-99	< 10 µm	1 - 10	Max. 150 – 180	Stor renseseffektivitet	Begrænsning i gastemperatur. Stor anlægsudformning. Problem med fugtige gasser.
Keramiske filtre	99	< 10 µm	< 1	Max. 8- 900	Kan anvendes ved høje temperaturer	Relativt dyr i investering. Begrænsede erfaringer i Danmark
Elektrofiltre	90-99	< 10 µm	10 – 20	Max. 4- 500	Stor renseseffektivitet	Kun erfaringer fra relativt store anlæg
Skrubber	90-95	< 10 µm	40 – 80	Stort set uafhængig af temperatur	Mulighed for energiuudnyttelse. Lille og simpel anlægsudformning	Giver spildevandsudledning
Absolutfilter	99,97	< 0,3 µm	< 0,1	Max. 80	Særlig god renseseffektivitet for små partikler.	Begrænset volumenstrøm. Stort trykfald.

### Investerings- og driftsudgifter

Valg af aktuel rensemetode afhænger både af tekniske og økonomiske afvejninger, herunder vurdering af investerings- og driftsudgifter. Skal man foretage en vurdering af de ovennævnte rensemetoder, kan man indledningsvist sige, at cykloner er forholdsvis billige i både anskaffelse og drift.

Udgiften til posefiltre afhænger af valg af filtermateriale samt hvor tit der sker udskiftning heraf. Posefiltre er på mindre anlæg billigere i anskaffelse end eksempelvis elektrofiltre, men kan have høje driftsudgifter, da poserne i nogle tilfælde ikke holder mere end 2 - 3 år, dog afhængig af filtermateriale samt hvilket kemisk og fysisk miljø, de er udsat for.

Elektrofiltre er en forholdsvis stor investering for rensning af små volumenstrømme. Til opvejning heraf har elektrofiltre lavt energiforbrug, hvilket er ensbetydende med lave driftsudgifter.

Partikelrensning med vådudskillere er relativt billigt i investering, afhængig af den konkrete anlægsudformning.

Er der tale om rensning for fine og ultrafine partikler i form af absolutfilter, må man påregne, at filteret er forholdsvis dyrt i anskaffelse, ligesom der vil være relativt høje driftsudgifter, på grund af stort trykfald over filteret, hvilket medfører et relativt stort energiforbrug.

### Valg af rensemetode

Når en virksomhed vælger en metode til rensning, er det ikke kun den økonomiske investering, der skal fokuseres på. Det er også nødvendigt at tage hensyn til renskrav, volumenstrømskarakteristik (fugtighed, temperatur) m.m.

Ved rensning af luft for partikler med lave grænseværdier, som eksempelvis træstøv, er det vigtigt, at der vælges et optimalt posefilter til rensning. En skrubber vil ikke kunne anvendes i dette tilfælde, ligesom en sådan løsning ikke ville være egnet til rensning af udsugning fra eksempelvis en medicinalvirksomhed. Her vil der typisk blive stillet krav om absolutfiltrering.

Ved valg af rens mulighed for et varmeproducerende anlæg kan der med fordel vælges en skrubberløsning. Herved kan virksomheden samtidig rense røggassen til overholdelse af de vejledende grænseværdier og udnytte varmeindholdet i røggassen.

En del anlæg er i dag forsynet med en såkaldt kondenserende enhed der udnytter røggassens energiindhold yderligere. Disse enheder fungerer samtidig også som vådudskillere. Ved afkøling af røggassen til under dugpunktstemperaturen vil vanddampen begynde at kondensere og der frigives varme. Den frigivne varmemængde øges jo længere røggassen køles ned. Til køling af røggassen anvendes returvandet til kedlen fra eksempelvis fjernvarmenettet. Erfaringerne fra de værkerne viser, at der kan opnås høje virkningsgrader. Således er den gennemsnitlige årvirkningsgrad på danske anlæg omkring 100 %, og enkelte anlæg med mere avancerede systemer når op på ca. 108 % baseret på den nedre brændværdi.

Har virksomheden fine partikler i afkastluften, kan det måske være vanskeligt at vælge den optimale rens metode. Umiddelbart er posefilter et godt valg, men det kan eventuelt være nødvendigt at forbedre denne metode ved andre tiltag, såfremt der ønskes en yderligere rensning.

Vedligeholdelse af filtrene kan også have betydning. Ved valg af rens metode er det vigtigt, at virksomheden afklarer, hvorvidt man ønsker at installere en løsning, der er vedligeholdelsesfri, eller man ønsker at føre jævnlige tilsyn og udføre vedligehold på filteret.

## 4 Måling af partikelemission

Nedenstående vil forskellige metoder til måling af partikelemissioner kort blive gennemgået.

Afhængig af den aktuelle partikelstørrelse er der forskellige metoder til både prøvetagning og analyse af partikelemission.

### *Målemetoder*

Overordnet betragtet er der følgende målemetoder for partikelemission:

- Opsamling på filter (filter eller planfilter)
- Opsamling i cyklon (partikelstørrelse)
- Opsamling i kaskadeimpaktor (partikelstørrelsesfordeling)
- Opsamling i væske
- Kontinuerlige målinger

### *Analyse*

Analyse af de opsamlede partikler kan foregå ved

- Vejning (gravimetrisk bestemmelse)
- Mikroskopering eller scanning
- Partikelstørrelsesfordeling
- Kemisk analyse

Generelt udføres partikelemissionsmålinger og -analyser manuelt, de kontinuerlige målinger undtaget.

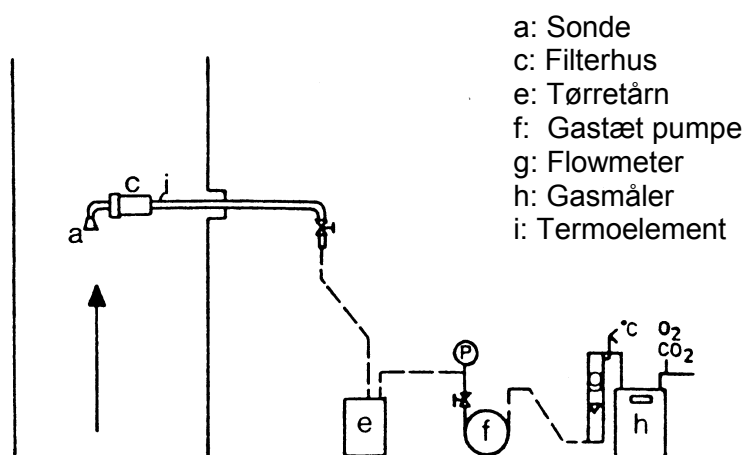
### 4.1 Måling af partikelemission

#### *Opsamling på filter*

Partikelkoncentrationen bestemmes ved, at en delluftstrøm passerer gennem et filter. Afhængig af forventet partikelemission anvendes enten dybfilter (måleområde 20 – ca. 1000 mg/m<sup>3</sup>(n,t)) eller et planfilter (måleområde 0,1 – 50 mg/m<sup>3</sup>(n,t)).

Til bestemmelse af partikelkoncentration anvendes en pumpeenhed. Det udsugede gasvolumen bestemmes v.h.a. en kalibreret gasmåler.

I figur 4.1 er princippet ved partikelemissionsmålinger ved opsamling på filter illustreret.



- a: Sonde
- c: Filterhus
- e: Tørretårn
- f: Gastæt pumpe
- g: Flowmeter
- h: Gasmåler
- i: Termoelement

Figur 4.1 Partikelmåling ved opsamling på dybdefilter.

Måleprincippet er det samme uafhængigt af, om der anvendes dybdefilter eller planfilter.

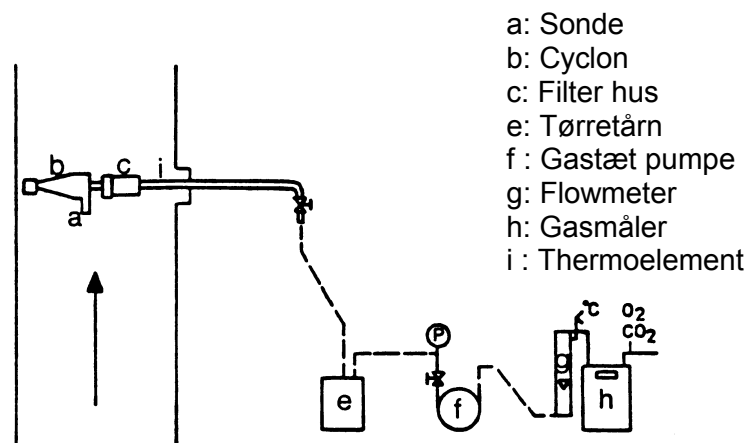
Usikkerheden ved den beskrevne målemetode afhænger selvfølgelig af de aktuelle prøvetagningsforhold. Erfaringsmæssigt udgør usikkerheden i størrelsesordenen  $\pm 10\%$ .

#### Opsamling i cyklon

Den aktuelle partikelstørrelse bestemmes ved, at en delluftstrøm passerer gennem en cyklon og et filter. Cyklonen vil udskille partikler mindre end ca.  $10 \mu\text{m}$ . Bestemmelse af partikelstørrelse er ved denne metode relevant ved partikelkoncentrationer i intervallet  $20 \text{ mg/m}^3(\text{n,t}) - \text{ca. } 10 \text{ g/m}^3(\text{n,t})$ .

Til bestemmelse af partikelstørrelsen anvendes en pumpeenhed. Det udsugede gasvolumen bestemmes v.h.a. en kalibreret gasmåler.

I figur 4.2 er princippet ved partikelstørrelsesmåling ved opsamling i cyklon og filter illustreret.



- a: Sonde
- b: Cyclon
- c: Filter hus
- e: Tørretårn
- f: Gastæt pumpe
- g: Flowmeter
- h: Gasmåler
- i: Thermoelement

Figur 4.2 Partikelmåling ved opsamling i cyklon og på filter.

Usikkerheden ved den beskrevne målemetode er i størrelsesordenen  $\pm 10\%$ .

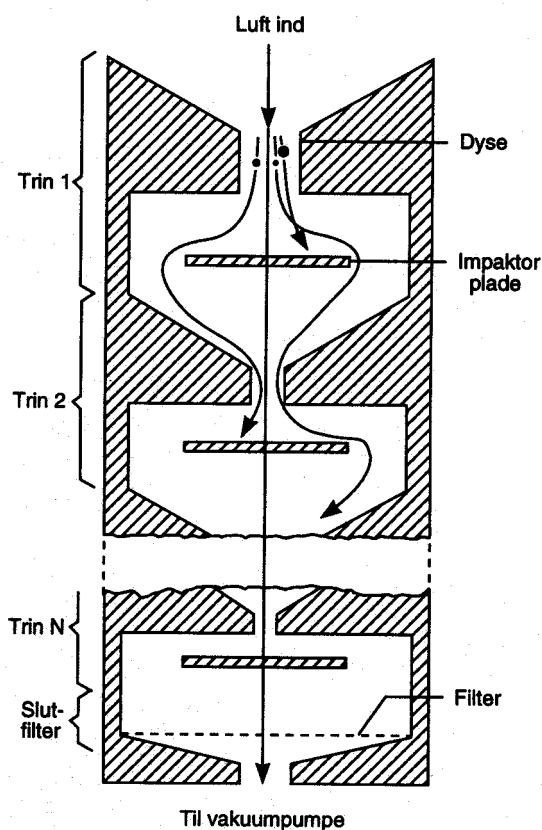
### Opsamling i kaskadeimpaktor

Partikelstørrelsen bestemmes ved, at en delluftstrøm passerer gennem en kaskadeimpaktor. Kaskadeimpaktoren udskiller partikler i et antal forskellige partikelstørrelser. De forskellige fraktioner opsamles på ved aflejring på plader. Slutfraktionen (den mindste partikelstørrelse) opsamles på et planfilter. Den opsamlede mængde på pladerne bestemmes gravimetrisk.

En kaskadeimpaktor kan anvendes, når partikelkoncentrationen ligger i intervallet  $0,1 - 2 \text{ mg/m}^3$  pr. fraktion.

Til bestemmelse af partikelstørrelsesfordelingen anvendes en pumpeenhed. Det udsugede gasvolumen bestemmes v.h.a. en kalibreret gasmåler, der anvendes til udsugning.

I figur 4.3 er princippet ved partikelstørrelsesmåling ved opsamling i kaskadeimpaktor illustreret.



Figur 4.3. Kaskadeimpaktor.

I en impaktor udnyttes partiklernes inertie, idet mindre partikler har større tilbøjelighed til at følge luftstrømmen, selv når denne skifter retning. Dette medfører, at kun partikler mindre end en vis diameter vil følge luften udenom pladerne. De større partikler vil ramme pladen og blive opsamlet på denne. Ved at indsætte flere plader i impaktoren med stadig mindre dyser og herved opnå større lufthastighed, kan der opnås adskillelse i flere forskellige partikelstørrelser. Til sidst i impaktoren er placeret et planfilter, der opsamler partikler større end ca.  $0,5 \mu\text{m}$ .

Kaskadeimpaktoren kan placeres i en kanal efter en cyklon som vist på figur 4.2.

Usikkerheden ved den beskrevne målemetode er i størrelsesordenen  $\pm 10\%$  på hver fraktion.

#### *Opsamling i væsker*

Opsamling i væsker anvendes i visse tilfælde til opsamling af aerosoler. Ellers benyttes væskemetoder normalt i forbindelse med filtermetoder for at opsamle fine partikler og gasser, der passerer filteret. Stofferne tilbageholdes normalt i væsken ved en kemisk reaktion. Valg af væske samt efterfølgende analysemetode i laboratoriet er afhængig af hvilken parameter, der ønskes undersøgt.

#### *Kontinuerlige målinger*

Til dokumentation af effektivitet af rensemetoder f.eks. posefiltre anvendes på større anlæg kontinuerlige støvmålere. Disse målere benævnes AMS (Automatisk Målende System)<sup>1</sup> Målingerne kan f.eks. være baseret på måling af lysreflektionen i røggaskanalen. Via et elektrisk signal foretages omregning til enheden  $\text{mg}/\text{m}^3$ , der opsamles på et datasystem. Ved kontinuerlige målinger er det muligt at vurdere emissionen over en længere periode end ved manuelle målinger, der ofte kun foretages over få timer.

AMS-målere bør med jævne mellemrum kontrolleres overfor akkrediterede målinger efter nærmere forskrifter.

#### *Akkrediterede målinger*

Til sikring af dokumentation og ensartethed af målingerne findes et offentligt godkendt system, som kontrollerer de uvildige målefirmaer. Målefirmaerne skal her gennem forskellige former for dokumentation godtgøre, at målingerne udføres med samme usikkerhed og med de samme anerkendte metoder fra gang til gang. Herved kan firmaerne opnå at blive akkrediterede. I Danmark administreres ordningen af DANAK (Dansk Akkreditering) under Erhvervsfremmestyrelsen.

Såfremt målingerne ikke kan udføres akkrediteret, bør myndigheden give accept på den målemetode, der påtænkes anvendt.

## **4.2 Analyse af opsamlede partikler**

Som tidligere nævnt kan analyse af de opsamlede partikler foregå efter flere forskellige principper.

#### *Vejning*

Uafhængig af hvilken filtertype, der anvendes til opsamling af partikler, foregår vejning, også benævnt gravimetrisk bestemmelse, ved at der foretages differensvejning.

Differensvejning foretages under kontrolleret temperatur og luftfugtighed.

Før eksponering med partikler tørres filtrene i en ovn og afkøles i en lufttæt glasbeholder (eksikator). Filtrene vejes direkte fra eksikator på en analysevægt.

Efter eksponering tørres og afkøles filtrene igen, før de returvejes. Differensen mellem de to vejninger modsvarer den opsamlede (tørre) partikelmængde på filteret.

#### *Mikroskopering eller scanning*

På den eksponerede støvmængde på filteret er det muligt at foretage forskellige analyser som f.eks. bestemmelse af hvilke grundstoffer, der findes i støvmængden. Dette

<sup>1</sup> AMS betyder Automatic Measuring System eller Automatisk Målende System. AMS er et fast installeret måleudstyr til automatisk måling og registrering af emissioner. Der er en EN-norm under udarbejdelse, som anvender dette begreb, og som stiller præstationskrav til AMS.



anvendes i forbindelse med f.eks. miljøsager for at sammenligne emissioner med gener. Bestemmelserne kan foretages enten ved mikroskopering eller scanning.

*Partikelstørrelsesfordeling*

Størrelsen af partikler har betydning for transport i atmosfæren, afsætning på forskellige overflader og i menneskers organer. Det kan derfor være nødvendigt at fastlægge den aktuelle partikelstørrelsesfordeling. Bestemmelsen kan foregå ved de såkaldte impaktorer, som er tidligere omtalt i afsnit 4.1 og vist i figur 4.3.

*Kemisk analyse*

Ved kemisk analyse på filteret og/eller absorptionsvæske er det muligt at bestemme eventuel emission af forskellige kemiske forbindelser og grundstoffer, herunder hvorvidt de findes på fast- eller gasfase. Dette kan være nødvendigt for valg af rensemethode til begrænsning af emissionen af disse stoffer.

*Akkrediterede analyser*

En tilsvarende akkrediteringsordning for udførelse af emissionsmålinger er det også muligt at opnå akkreditering til at udføre analyser. Som tidligere nævnt skal laboratoriet gennem forskellige former for dokumentation godtgøre, at analyserne udføres med samme usikkerhed og med de samme anerkendte metoder fra gang til gang.

### 4.3 Kontrol af renseeffektivitet

For at sikre optimal drift er det vigtigt at dokumentere, at den valgte emissionsbegrænsende foranstaltning fungerer tilfredsstillende.

Generelt kan siges, at enhver partikelbegrænsende foranstaltning bør kontrolleres efter etablering.

Til eftervisning af at den valgte emissionsbegrænsende foranstaltning fungerer tilfredsstillende og til dokumentation for overholdelse af vilkår, er der tre typer emissionsmålinger.

- *Præstationsmålinger*
- *Kontinuerte målinger*
- *Stikprøvemålinger*

Alle disse tre typer målinger kan gennemføres med samme målemetode, ligesom der af tekniske hensyn kan vælges forskellige metoder til de tre typer. Forskellen ligger således ikke så meget i målemetoderne, men i højere grad i kontrolperiodens længde og databehandling.

*Præstationsmålinger*

Præstationsmålinger anvendes ofte ved førstegangskontrol af anlæg ved en veldefineret produktionstype eller -mængde, men kan også anvendes til kontrol af eksempelvis eksisterende filtre. Emissionsgrænserne anses for overholdt, når hver måling er mindre eller lig med grænseværdien. Der skal normalt foretages mindst tre målinger.

*Kontinuerte målinger*

Kontinuerte målinger med automatisk måleudstyr anvendes normalt på virksomheder med luftforurening af væsentlig betydning. Massestrømmen er afgørende for, hvornår der bør kræves kontinuerte målinger. Disse massestrømsgrænser findes i Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1990 "Begrænsning af luftforurening fra virksomheder", kapitel 5.4.1. Emissionsgrænserne for kontinuerte målinger anses normalt for overholdt, når månedsmiddelværdien er under grænseværdien. Der skal dog ved kraftige (eksempelvis en faktor 3) overskridelser ske underretning af tilsynsmyndigheden.

Ved valg af kontinuerte målinger er det vigtigt, at der samtidig bliver fastlagt procedurer for kalibrering og kontrol af målerne.

Vilkår om krav til målinger bør naturligvis afhænge af bl.a. den aktuelle emission, rensemetodens stabilitet m.m.

### *Stikprøvemålinger*

Hvis det af økonomiske eller tekniske årsager ikke er muligt at etablere kontinuerte målinger, kan stikprøvemålinger anvendes som alternativ til kontinuerte målinger.

Stikprøvemålinger giver en meget begrænset dokumentation af den virkelige emission, idet de udføres på et antal tilfældige dage. Førømtalte vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6/1990 indeholder nærmere regler for, hvordan stikprøvemålinger kan dokumenteres overholdt.

Målingerne ved stikprøver og præstationsmålinger udføres og rapporteres normalt af et uvildigt, akkrediteret laboratorium.

Nedenstående er vist oversigt over sammenhæng mellem de forskellige typer emissionsmålinger.

### *Oversigt over kontrolperiode, midlingstid og antal målinger*

Kontroltype	Kontrolperiode	Midlingstid	Antal enkeltmålinger
Præstationskontrol	3 timer	1 time	3 stk.
Kontinuerte målinger	1 måned	1 time	Kontinuert (= antal timer/måned)
Stikprøvekontrol	1 år	1 time	2 stk. pr. stikprøve

## 4.4 Valg af målemetoder

Afhængig af om der er tale om manuelle målinger eller AMSmålinger, vil der være forskellige måder at foretage kontrol af renseeffektivitet på. Valg af målemetode vil endvidere afhænge af den aktuelle partikelstørrelse, herunder om der er tale om totalstøv eller støv < 10 µm.

### *Anbefalede målemetoder*

Metodevalget er afgørende i forbindelse med måling af luftemissioner. Målingens resultat kan være yderst afhængig af den benyttede metode. For at undgå at emissionskontrollen bliver afhængig af det udførende laboratoriums aktuelle metodevalg, har Miljøstyrelsen vedtaget, at der for de mest almindeligt forekommende stoffer og stofgrupper i vejledning nr. 6/1990 skal anbefales en tilhørende målemetode.

For måling af partikler er der en række anbefalede metoder til præstations- og stikprøvekontrol. Disse er oversigtsmæssigt beskrevet i bilag A, hvor der kort er omtalt hvilken standard, den aktuelle målemetode refererer til, typisk måleområde samt en kort beskrivelse af den enkelte målemetode.

### *Absolutfiltre*

Har en virksomhed installeret et absolutfilter, bør dette kontrolleres efter fremstilling og efter montering af filteret. Det er vigtigt, at et absolutfilter også bliver testet efter

montering for at undersøge, om der er sket fejl ved montering, transportskader eller lignende. Det er ofte selve monteringen, der er årsag til lækager.

Til dokumentation af, om absolutfilteret er tilstrækkeligt effektivt, når det er installeret, vurderes der at være fire forskellige metoder. Disse fire metoder er angivet i bilag B

Den testmetode, som vurderes bedst anvendelig, er en såkaldt lækagetest, (de to sidstnævnte metoder) hvor filteret bliver afprøvet overfor de partikelstørrelser, filteret især er fremstillet til at kunne filtrere. Gravimetrisk bestemmelse kan også anvendes, men vil være relativt dyrere at udføre end lækagetesten, på grund af det nødvendige tidsforbrug for at sikre tilstrækkelig udsuget partikelmængde

Dataram målemetoden kan eventuelt anvendes til spotkontrol, hvis der er mistanke om brud af filter eller filterpakninger. Dette vil dog kræve, at instrumentet er kalibreret overfor den forventede partikelstørrelse ved eksempelvis samtidig måling med gravimetrisk udstyr. Dataram måler ved de forskellige partiklers lysfølsomhed og på baggrund heraf bestemmes koncentrationen i luften (Nepheolemetri).

Et relevant vilkår for en virksomhed, der har installeret absolutfilter kunne være:

*”Efter installation og inden idriftsættelse af filteret eller udskiftning af filterelementer skal Virksom A/S foretage test af HEPA-filter. Testen skal udføres efter ASME N510 eller tilsvarende standard. Testen skal gentages mindst en gang hvert år.*

*Antal målepunkter i kanalen ved testen før og efter filteret skal være i overensstemmelse med bilag D i Miljøstyrelsens vejledning nr.6/1990 “Begrænsning af luftforurening fra virksomheder”.*

*Såfremt testen viser, at lækagen er mindre end 0,03%, accepteres filteret. Filterhuset forsynes med en mærkat for testdato og seneste dato for næste test. Endvidere indføres disse datoer i driftsjournalen.*

*Fungerer filteret ikke acceptabelt, meddeles dette telefonisk til tilsynsmyndigheden indenfor 24 timer fra udførelse af testen. Den telefoniske meddelelse skal senest indenfor en uge efterfølges af en skriftelig meddelelse, der som minimum skal indeholde en redegørelse for tiltag til afhjælpende foranstaltninger for ændring af filteret eller driftsforholdene med angivelse af tidspunkter for de forskellige etaper.”*

## 5 Referencer

1. Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1990 "Begrænsning af luftforurening fra virksomheder".
2. VDI Berichte 1478 "Fortschritte in der luftreinhaltetechnik". Mannheim, september 1999.
3. Miljøstyrelsens "Metoder til præstations- og stikprøvekontrol samt kontinuert anlægsmåling", udkast februar 1998.
4. Jes Fenger m.fl. "Luftforurening". Polyteknisk forlag 1994.
5. Miljø- og Energiministeriets Miljøprojekt nr. 388/1998 "Inddragelse af renere teknologi i tilsyns- og godkendelsesarbejdet".
6. Miljøstyrelsens vejledning nr. 3/1993 "Godkendelse af listevirksomheder".
7. Dansk Ingeniørforening, temadag "Industriell luftrensning for partikler" den 22. september 1993.
8. Statens forureningstilsyn (SFT). Veiledning "Forbrenningsanlegg" 95/13.
9. Diverse emissionsmålerapporter, dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ 1980-1999.
10. Overvågning af luftkvaliteten i Danmark, indlæg ved MILJØ-KEMI Konference 2000, Marienlyst, Helsingør, den 2. februar 2000.
11. Afprøvning af filtereffektiviteten for tre filtersystemer ved filtrering af svejserøg, FORCE Instituttet, januar 1997.
12. Diverse materialer fra forskellige leverandører af luftrensningsudstyr.

## BILAGA

### Anbefalede metoder til måling af partikelemission. Metoder til præstations- og stikprøvekontrol.

Stofgruppe	Parameter	Anbefalet metode			
		Standard	Titel	Måleområde	Beskrivelse
Støv	Partikler målt som totalstøv	VDI 2066, Bl. 2 (1993)	Messen von Partikeln: Manuelle Staubmessung in strömenden Gasen; Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung; Filterkopfgerate (4 m <sup>3</sup> /h & 12m <sup>3</sup> /h)	1-1000 mg/m <sup>3</sup>	Isokinetisk udsugning af en kendt delgasstrøm, filtrering på kvartsuld- eller planfilter og gravimetriske bestemmelse af den opsamlede støvmængde. "In-stack" system i gasser med vanddugpunkt under den aktuelle gastemperatur.
		VDI 2066, Bl. 7 (1994)	Messen von Partikeln: Manuelle Staubmessung in strömenden Gasen; Gravimetrische Bestimmung geringer Staubegehalte; Planfilterkopfgerate.	0,1-20 mg/m <sup>3</sup>	Isokinetisk udsugning af en kendt delgasstrøm, filtrering på planfilter og gravimetriske bestemmelse af den opsamlede støvmængde. "In-stack" måling i gasser med vanddugpunkt under den aktuelle gastemperatur.
		CEN WI 264010 (1997)	Stationary source emissions. Determination of low range mass concentration of dust.	0-50mg/m <sup>3</sup>	Måling af støv ved lave niveauer, mindre end 50 mg/m <sup>3</sup> , "in- og outstack" i både tørre og våde gasser. Princip: Isokinetisk udsugning af en kendt delgasstrøm, filtrering på planfilter og gravimetriske bestemmelse af den opsamlede støvmængde
	Partikler < 10µm	VDI 2066/2. (1993)	Messen von Partikeln: Manuelle Staubmessung in strömenden Gasen; Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung; Filterkopfgerate (4 m <sup>3</sup> /h & 12m <sup>3</sup> /h)	1-1000 mg/m <sup>3</sup>	Isokinetisk udsugning af en kendt delgasstrøm, fraktionering af støv ≤ 10µm ved hjælp af forudskil-ler, filtrering på kvartsuld- eller planfilter og gravi-metriske bestemmelse af den opsamlede støv-mængde. "In-stack" måling i gasser med vanddug-punkt under omgivende temperatur.

## Bilag B

### Metoder til vurdering af filtereffektivitet for absolutfiltere

Måleprincip	Måleområde	Ulemper	Standard
Isokinetisk udsugning af en kendt delgasstrøm filtrering på planfilter og gravimetrisk bestemmelse af den opsamlende støvmængde	Ca. 0,1 til ca. 100 mg/m <sup>3</sup> . Partikler større end 0,3 µm.	Lang måletid, minimum 8 timer for hver måling. Stor usikkerhed.	VDI 2066
Optisk (nefelometrisk) måling af mængden af partikler i gasstrømmen efter filter. Mulighed for isokinetisk udsugning	Ca. 0,001 til ca. 400 mg/m <sup>3</sup> . 0,1 til 10 µm.	Skal være kalibreret overfor den forventede støvtype og partikelstørrelse.	-
Laserbaseret partikelælling. Tæller antal af partikler i forskellige størrelsesklasser. Kan også benyttes til lækagetest.	Har øvre begrænsning, når partiklerne begynder at skygge for hinanden. Ca. 0,1 µm til ca. 10 µm. Måleområdet afhænger af detektortype.	Giver store vanskeligheder ved måling i støvbelastede omgivelser. Skal kalibreres overfor støvtype og partikelstørrelse.	FED-STD 209
Måling af tilsatte aerosoler før og efter filter. Bestemmelsen sker som en effektivitet af filteret. Lækagetest.	Hovedsagelig for partikler omkring 0,3 µm. Specifik for de tilsatte aerosoler.	Giver ikke specifikke værdier, men fortæller udelukkende om filteret er OK.	ASME N510

VDI Verein Deutche Ingenieure (Tysk standard)

FED-STD Federal standard. Amerikansk standard for renrumstest og absolutfiltertest

ASME The American Society of Mechanical Engineers