

■ www.sintef.no ■

**SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim
Resepsjon: Sem Sælands vei 11
Telefon: 73 59 72 00
Telefaks: 73 59 72 50

<http://www.energy.sintef.no>

Foretaksregisteret:
NO 939 350 675 MVA

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Veiledning for bestilling av renseanlegg for vegtunneler
Krav til metoder og prosedyrer for dokumentasjon av
renseeffekt**

SAKSBEARBEIDER(E)

Håkon Skistad

OPPDAGSGIVER(E)

Vegdirektoratet

TR NR. A5685	DATO 2002-04-24	OPPDAGSGIVER(E)S REF. Harald Buvik	PROSJEKTNR. 16X249.01
ELEKTRONISK ARKIVKODE 001101hsk134754		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.) Håkon Skistad	GRADERING Åpen
ISBN NR. 82-594-2349-9	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.) Trygve M. Eikevik	OPPLAG SIDER 29
AVDELING Klima og kuldeteknikk		BESØKSADRESSE Kolbjørn Hejes vei 1d	LOKAL TELEFAKS 73 59 31 86

RESULTAT (sammendrag)

Vegdirektoratet har gitt SINTEF i oppdrag å utarbeide en veiledning for bestilling og etterprøving av renseanlegg i tunneler. Denne veiledningen omfatter kravspesifikasjoner, angir metoder og prosedyrer for å dokumentere kravopnåelse.

STIKKORD

EGENVALGTE	Vegtunneler	Måling av utskillingsgrad
	Renseanlegg	

INNHOLDSFORTEGNELSE

Side

1	BAKGRUNN.....	4
2	DEFINISJON AV UTSKILLINGSGRADER	5
2.1	Generelt.....	5
2.2	Beregning av total utskillingsgrad utfra målinger for en rensestasjon.....	6
2.3	Totalutskillingsgrad.....	7
3	KRAV TIL MÅLEMETODE	8
3.1	Ulike typer støvmålinger	8
3.2	Gravimetrisk målinger.....	8
3.3	Partikkeltellinger	8
4	KRAV TIL UTSKILLINGSGRAD	9
4.1	Generelt.....	9
4.2	Utskillingsgrad basert på utskilt masse	9
4.3	Utskillingsgrad basert på partikkelantall	9
4.4	Krav til rengjøring av filtrene.....	9
5	LEVERANDØRANSVAR	10
5.1	Alt.1 "Totalansvar"	10
5.2	Alt.2 Delt ansvar	11
6	DOKUMENTASJON I ET TILBUD.....	11
7	ISOKINETISK PRØVETAKING.....	12
8	PLASSERING AV MÅLEPUNKTER	13
8.1	Sjaktmonterte og sløyfemonterte rensestasjoner	13
8.2	Rensestasjoner montert i tunnelhenget	16
9	KRAV TIL PROSEDYRER FØR OG UNDER ETTERPRØVING	18
9.1	Før etterprøving.....	18
9.2	Under etterprøving	18
9.3	Kontroll av luftmengden gjennom rensestasjonen.....	19
9.4	Metode for å produsere støv.....	19
10	ETTERPRØVING AV UTSKILLINGSGRAD BASERT PÅ GRAVIMETRISKE STØVMÅLINGER.....	20
10.1	Måleutstyr	20
10.1.1	Prøvetakingssslange.....	20
10.1.2	Filtermedium	20
10.1.3	Filterholder.....	20
10.1.4	Pumpe.....	21
10.1.5	Volumstrømmåler / Gassur.....	21
10.2	Plassering av prøvetakingspunktene.....	21
10.3	Prøvetakingsprosedyre	21
10.4	Analyse av støvprøvene.....	21
10.5	Beregning av utskillingsgrad	22
11	ETTERPRØVING AV UTSKILLINGSGRAD BASERT PÅ PARTIKKELTELLING.....	23
11.1	Bakgrunn.....	23

11.2	Noen praktiske begrensninger	23
11.3	Måleutstyr	23
11.4	Sammenkopling av prøvetakingsslangene.....	23
11.5	Slangelengde	23
11.6	Prøvetakingstid og renspylingstid	24
11.6.1	Rensestasjon montert i sjakt eller i sløyfe	25
11.6.2	Rensestasjon montert i heng	25
11.7	Prøveperiodens lengde	26
11.8	Analyse av målingene	26
11.9	Beregning av utskillingsgrad	27
12	DOKUMENTASJON ETTER FUNKSJONSPRØVING	28
12.1	Bakgrunnsopplysninger.....	28
12.2	Mottatt luftmengde ved rensestasjonsområdet.	28
12.3	Luftmengde gjennom rensestasjonen	28
12.4	Målingene.....	28
12.5	Renseanlegget	28
13	LITTERATURHENVISNINGER	29

1 BAKGRUNN

Vurdering av metoder for utfelling av partikulære forurensinger i eller fra vegtunneler i Norge er basert på to prinsipielt forskjellige forhold:

1. Sikkerhets/miljømessige forhold knyttet til tunnelens trafikanter og deres oppfatning av redusert luftkvalitet (siktforhold). Dette kommer særlig til uttrykk om vinteren da piggdekkslitasje og mineralsk svevestøv kombinert med eksos/forbrenningspartikler kan gi sterkt nedsatt sikt.
2. Partikkelutslipp fra høytrafikkerte vegtunneler kan representere et helse/miljøproblem for tredjeperson ved overskridelse av anbefalt luftkvalitetsnorm, og et problem for det ytre miljø.

Når det gjelder bruken av renseanlegg (det være seg både partikkel- og/eller gassrenseanlegg for vegtunneler) må det være en forutsetning at nytteeffekten må stå i et rimelig forhold til den totale investering og driftskost for anlegget. Nyttens og utskillingsgraden for slike renseanlegg må være spesifisert og dokumentert. Det må etableres standarder for etterprøving og dokumentasjon av utskillingsgraden for aktuelle filtre, både for laboratorieprøving og etterprøving i felten.

Vegdirektoratet har gitt SINTEF i oppdrag å utarbeide en veiledning for bestilling og etterprøving av renseanlegg i tunneler. Denne veiledningen omfatter kravspesifikasjoner, angir metoder og prosedyrer for å dokumentere kravoppnåelse.

Denne rapporten er blitt til over en periode på to år, og sluttproduktet er vesentlig endret i forhold til utgangspunktet. Nøkkelpersoner i utarbeidelsen av rapporten har vært:

Harald Buvik, Vegdirektoratet
Mona Løvås, Vegkontoret i Hordaland,
Tom Myran, SINTEF Bergteknikk / NTNU
Hans Martin Mathisen, SINTEF Energiforskning AS
Håkon Skistad, SINTEF Energiforskning AS

Buvik, Myran og Skistad har gitt rapporten det endelige innholdet i møte den 23. april 2002.

2 DEFINISJON AV UTSKILLINGSGRADER

2.1 Generelt

Utskillingsgraden sier hvor stor andel av støvet i luften som fjernes vha. en rensestasjon.

Utskillingsgraden er gitt av formelen:

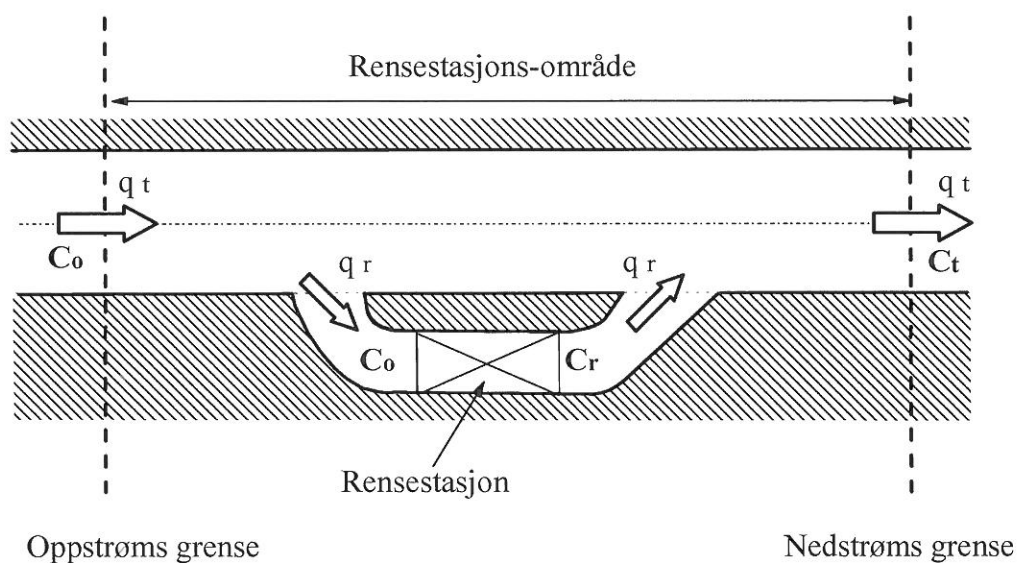
$$\eta_t = 1 - \frac{c_t}{c_0}$$

hvor

η_t = utskillingsgraden for tunnelluften

c_t = støvkonsentrasjonen nedstrøms rensestasjonen

c_0 = støvkonsentrasjonen oppstrøms rensestasjonen



Figur 1 Definisjon av luftmengder og støvkonsentrasjoner.

Det overordnede prinsipp for rensing av tunnelluft er at hele luftmengden som strømmer gjennom tunnelen (q_t) skal renses med en viss utskillingsgrad. Denne utskillingsgraden kaller vi for totalutskillingsgraden,

I praksis er det bare den luften som strømmer gjennom renseanlegget som blir renses (betegnet q_r i Figur 1). Der er viktig å skille mellom utskillingsgraden i luften gjennom renseanlegget og utskillingsgraden i hele luftmengden som strømmer gjennom tunnelen.

I det følgende er det beskrevet hvordan vi i praksis etterkontrollerer utskillingsgraden i for tunnelluften og utskillingsgraden i luften som strømmer gjennom rensestasjonen.

2.2 Beregning av total utskillingsgrad utfra målinger for en rensestasjon

Den totale utskillingsgraden kan beregnes utfra utskillingsgraden for rensestasjonen og luftmengdene i hhv. rensestasjonen og i hele tunnelen. Se Figur 1. Omregningen kan gjøres vha. følgende formel:

$$\eta_t = \eta_r \frac{q_r}{q_t}$$

hvor:

q_r = luftmengden gjennom rensestasjonen

q_t = luftmengden ut/inn til rensestasjonsområdet

η_r = utskillingsgraden for rensestasjonen = $(c_0 - c_r) / c_0$

η_t = utskillingsgraden for luften inn/ut fra rensestasjonsområdet = $(c_0 - c_t) / c_0$

c_0 = støvkonsentrasjonen i luften som strømmer inn til rensestasjonsområdet

c_r = støvkonsentrasjonen i luften som strømmer ut fra rensestasjonen

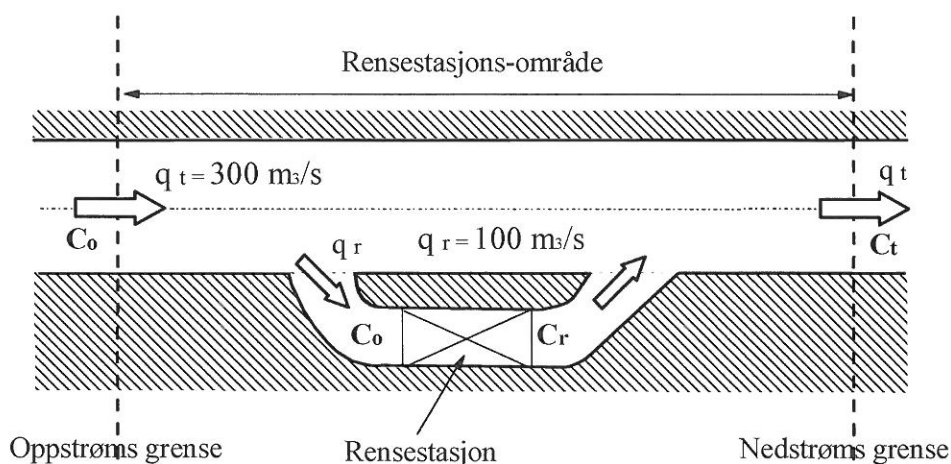
c_t = støvkonsentrasjonen i luften som strømmer ut fra rensestasjonsområdet

Eksempel:

En tunnel ventileres med $300 \text{ m}^3/\text{s}$. Det er plassert en rensestasjon i tunnelen som renser $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Rensestasjonens utskillingsgrad er målt til 90%. Se Figur 2).

Den totale utskillingsgraden for luften i tunnelen blir:

$$\eta_t = \eta_r \frac{q_r}{q_t} = 90\% \frac{100 \text{ m}^3/\text{s}}{300 \text{ m}^3/\text{s}} = 30\%$$

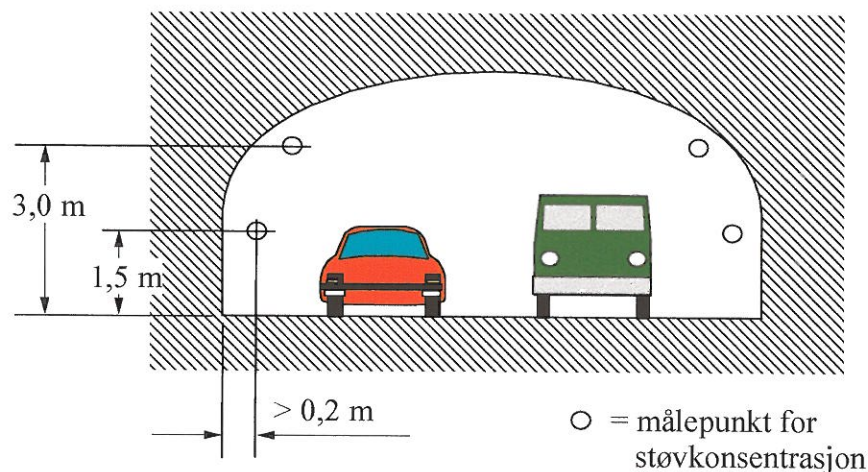


Figur 2 Figur til beregningseksempellet ovenfor.

2.3 Totalutskillingsgrad

Totalutskillingsgrad er fremtidens standard. I de tilfeller hvor man har totalleveranser (jfr. pkt 5.1) skal totalutskillingsgraden benyttes.

Totalutskillingsgraden kan måles ved å plassere målepunkter i snitt hhv. oppstrøms og nedstrøms målestasjonsområdet, se Figur 1. I hvert målesnitt plasseres målepunktene som vist i Figur 3. Konsentrasjonen i målesnittene beregnes som middelet av de fire målepunktene, og totalvirkningsgraden beregnes som angitt under pkt. 2.1.



Figur 3 Målepunkter for støvkonsentrasjon ved oppstrøms- og nedstrøms grense for rensestasjonsområdet.

Denne metoden skal brukes for å dokumentere praktisk nytteeffekt av miljømessige rensetiltak (dokumentasjon av kost/nytte-effekt).

3 KRAV TIL MÅLEMETODE

Det er gravimetrisk målemetode som skal benyttes ved etterprøving av renseanlegg.

3.1 Ulike typer støvmålinger

Målinger av utskillingsgrad baseres i praksis på to typer støvmålinger:

- gravimetriske støvmålinger (antall mg støv pr m^3 luft) og
- partikkeltellinger (antall partikler pr. m^3 luft).

Begge målemetodene har vært benyttet i praksis, men utskillingsgradene basert på de to målemetodene kan ikke sammenliknes direkte. Det kan stilles opp teoretiske sammenhenger mellom utskillingsgrad basert på partikkeltetthet og utskillingsgrad basert på gravimetriske målinger. Slike omregninger viser seg imidlertid å stemme dårlig overens med virkeligheten fordi partikkelsammensetningen varierer fra tunnel til tunnel og med årstiden.

3.2 Gravimetriske målinger

Myndighetenes luftkvalitetskriterier angis i vekt pr. volumenhet, dvs. som milligram støv per kubikkmeter (mg/m^3) eller som mikrogram støv per kubikkmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Støv i urbane områder, herunder trafikkstøv, behandles av loven som vekt støv pr. kubikkmeter luft. Også Arbeidstilsynet har fastsatt krav til luftkvalitet i arbeidsatmosfæren som vekt støv pr. kubikkmeter luft, med unntak av asbest.

Ved å velge gravimetriske målinger som standard følger vi den samme standarden som de nevnte myndighetene.

3.3 Partikkeltellinger

I en del kontrakter på 1990-tallet ble garanterte utskillingsgrader angitt basert på partikkeltellinger. For å følge utviklingen i disse renseanleggenes ytelse over tid vil partikkeltellinger fortsatt være aktuelt. Vi har derfor tatt med rutiner for etterprøving basert på partikkeltellinger i denne rapporten.

4 KRAV TIL UTSKILLINGSGRAD

4.1 Generelt

Når man stiller kravene til rensestasjoner må man være klar over sammenhengen mellom den totale utskillingsgraden for tunnelluften og utskillingsgraden for selve rensestasjonen. Dette er beskrevet i forrige kapittel.

Utskillingsgraden skal måles under en normal trafiksituasjon.

Kravene til utskillingsgrad gjelder for en rensestasjon som har vært i drift halvparten av tiden mellom rengjøringssyklusene.

4.2 Utskillingsgrad basert på utskilt masse

Den beskrevne utskillingsgraden skal angis i tilbudet, og vise fordelingen i forhold til utskilt masse (mg/m^3) i de primære fraksjonene :

$\text{Pm}_{2,5}$ (vekten av partiklene som er mindre enn $2,5\mu\text{m}$)

Pm_{10} (vekten av partiklene som er mindre enn $10\mu\text{m}$)

Totalstøv (vekten av total mengde svevestøv)

For rensestasjonen skal utskillingsgraden tilfredsstille følgende krav for hver enkelt størrelsesfraksjon og for totalstøv:

$\text{Pm}_{2,5}$: $\eta \infty 98\%$

Pm_{10} : $\eta \infty 98\%$

Totalstøv : $\eta \infty 90\%$

Totalrensegraden er en funksjon av utskillingsgraden i rensestasjonen og andelen av luften i tunnelen som føres gjennom rensestasjonen. Se eksempelet i pkt. 2.2.

4.3 Utskillingsgrad basert på partikkelantall

I en rekke av de renseanleggene som er installert i vegtunneler er utskillingsgraden angitt basert på partikkelantall

Det skal ikke beregnes middelerdi av utskillingsgradene for de ulike størrelsesfraksjonene.

Et renseanlegg skal oppfylle garantiverdiene for hver enkelt størrelsesfraksjon. Generelt skal man være forsiktig med å basere garantikrav på partikkeltellinger, se kapittel 11.2.

4.4 Krav til rengjøring av filtrene

Leverandøren oppgir anbefalt tid mellom rengjøringssyklusene.

5 LEVERANDØRANSVAR

Det vanlige er at ansvaret for leveransen av ventilasjonsanlegget og leveransen av renseanlegget legges på forskjellige leverandører. I dette tilfellet vil hver av leverandørene ha ansvaret for funksjonen av sin leveranse, mens byggherren må sørge for at ventilasjonsanlegg og renseanlegg passer sammen, og at renseanlegget gir den nødvendige rensingen av hele luftmengden som strømmer gjennom tunnelen.

Når man snakker om totalutskillingsgrad (se kapittel 2.3) er det én leverandør som tar ansvaret for både ventilasjons- og rensefunksjonen. (Utskillingsgraden for totalluftmengden avhenger av utskillingsgraden i luften gjennom rensestasjonen og forholdet mellom luftmengdene i rensestasjonen og i hele tunnelen).

5.1 Alt.1 "Totalansvar"

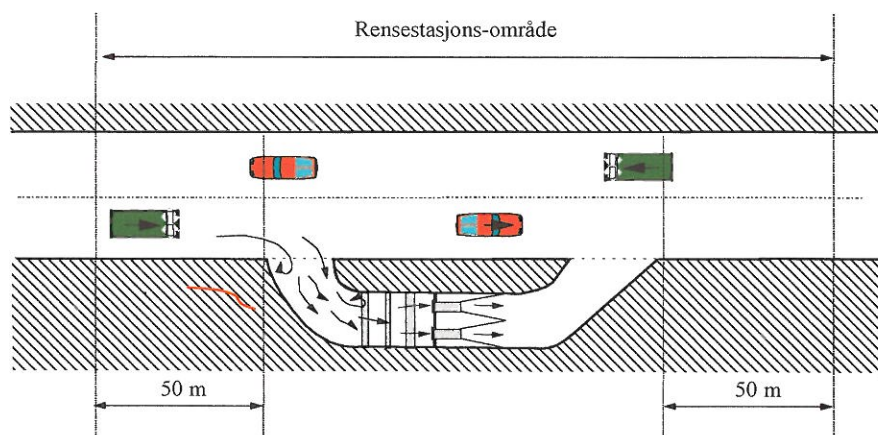
I dette tilfellet er det én leverandør (leverandøren av renseanlegget) som har ansvaret for rensingen av den totale luftmengden gjennom tunnelen. Kravet til utskillingsgrad som leverandøren skal være ansvarlig for knyttes til differensen i forurensingsgraden i tunnelufta før og etter rensestasjonen. Det betyr at leverandøren er ansvarlig for

- at renseanlegget er montert og fungerer i hht. kontakten,
- at den foreskrevne luftmengden går gjennom rensestasjonsområdet,
- at luftmengden renses med den forutsatte utskillingsgraden,
- at renseanlegget ikke har større forbruk av energi eller effekt enn det som er kontraktsfestet.

Leverandøren må komme inn i planleggingsprosessen på et så tidlig tidspunkt at han kan ha nødvendig påvirkning på

- utformingen av tunnelprofilet ved og omkring rensestasjonen,
- utformingen av selve rensestasjonen,
- plasseringen av de tilhørende tekniske installasjonene.

Rensestasjonsområdet defineres som det området som ligger innenfor 50 meter på hver side av hhv. inntak og avkast fra rensestasjonen. Se Figur 4.



Figur 4 Definisjon av rensestasjonsområdet.

5.2 Alt.2 Delt ansvar

Dette er den vanlige situasjonen i dag. I dette tilfellet har leverandøren av rensestasjonen bare ansvaret for rensestasjonens funksjon. Kravet til utskillingsgrad som leverandøren skal være ansvarlig for knyttes til utskillingsgraden i den luften som strømmer gjennom rensestasjonen.

På bakgrunn av dimensjonerende forutsetninger for ventilasjon gjennom tunnelen, beregnes den teoretiske luftmengden som leverandøren av rensesanlegget "mottar" ved innløpet til rensesløyfen (rensestasjonsområdet start). Utfra dette beregner byggherren hvilken totalutskillingsgrad han har fått. (jfr. pkt.2.2)

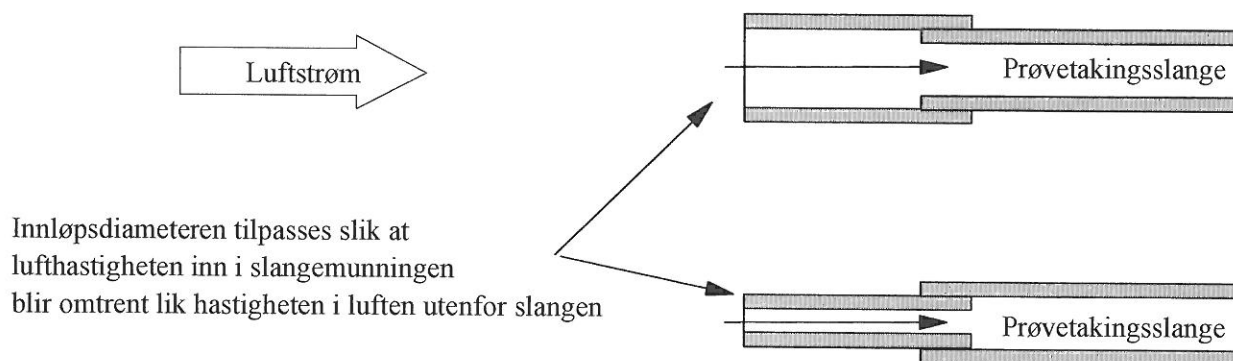
6 DOKUMENTASJON I ET TILBUD

I tillegg til det som er angitt i de aktuelle norske standardene må byggherren kreve at følgende data oppgis av leverandøren:

- Beskrivelse av rensestasjonen
- Fabrikat og typebetegnelse for hver filterenhet
- Luftmengde gjennom filteret
- Utskillingsgrader for den luftmengden som går gjennom rensestasjonen i de aktuelle størrelsesfraksjonene (se pkt. 4.2)
- Dokumentasjon for at det tilbudte utstyret er i stand til å tilfredsstille kravene til utskillingsgrad.
- Forventet drifts- og vedlikeholdsbehov
- Hvor ofte må rensestasjonen rengjøres for å tilfredsstille kravene til utskillingsgrad
- Effekt- og energiforbruk
- LCC-beregning (Life Cycle Cost-beregning)

7 ISOKINETISK PRØVETAKING

Isokinetisk prøvetaking vil si at luftprøven som skal analyseres suges inn med samme hastighet som luften omkring, se Figur 5.



Figur 5 Isokinetisk prøvetaking.

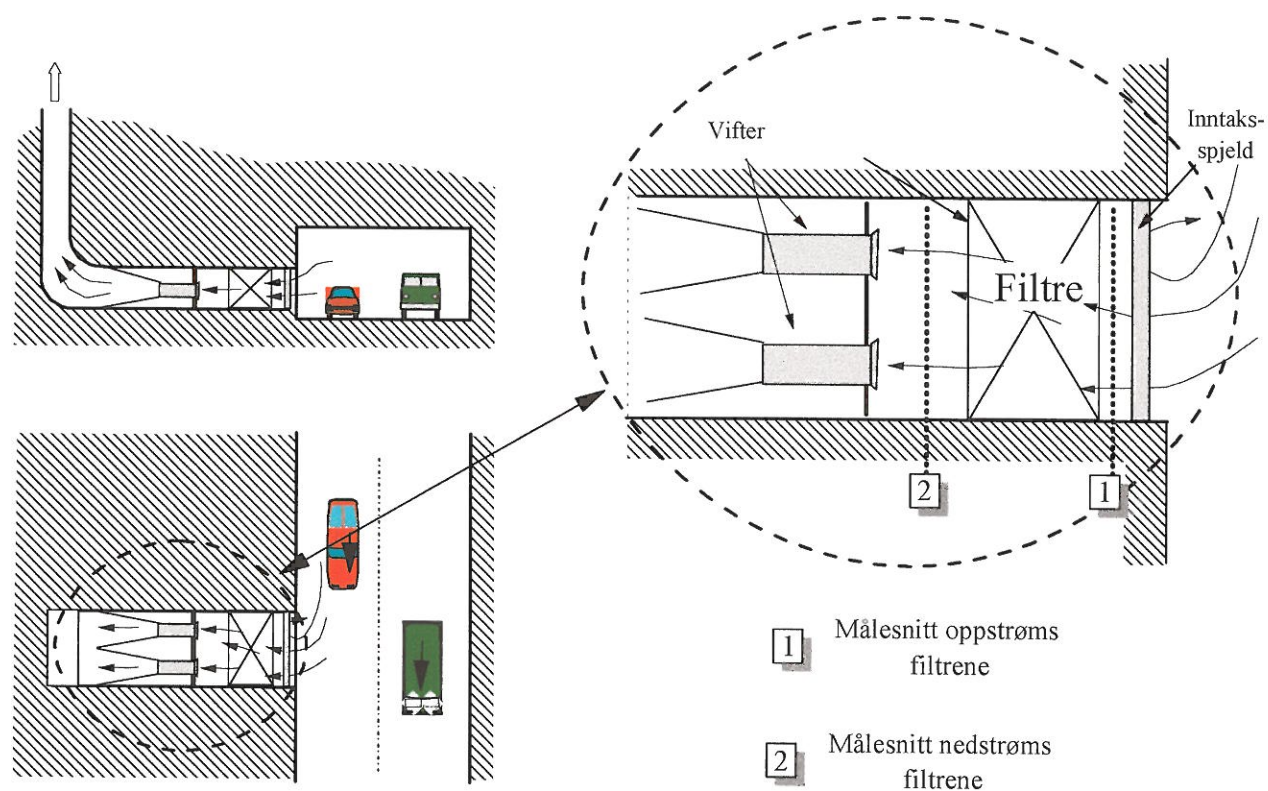
For å få en tilnærmet isokinetisk prøvetaking skal diameteren i innløpet på prøvetakingsslangene og luftmengden som suges inn i prøvetakeren være tilpasset hverandre slik at lufthastigheten inn i prøveslangen er tilnærmet lik hastigheten i luftstrømmen på prøvetakingsstedet. Innløpsenden på prøvetakingsslangen skal være rettet mot luftstrømmen.

8 PLASSERING AV MÅLEPUNKTER

Dette kapittelet omfatter plassering av målepunkter når det bare er selve rensesstasjonens utskillingsgrad som skal etterprøves. (I motsetning til totalutskillingsgraden, som omtalt i kapittel 2.3).

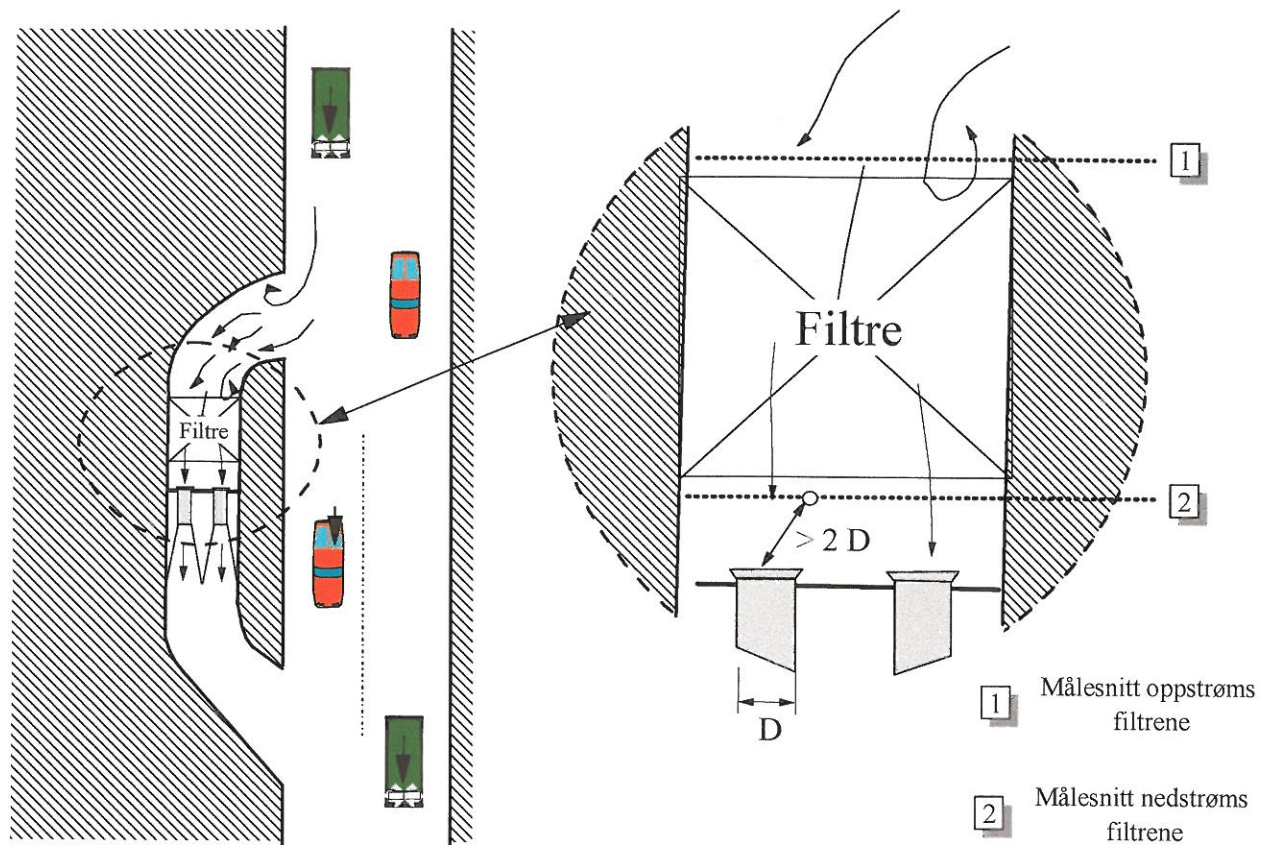
8.1 Sjaktmonterte og sløyfemonterte rensesstasjoner

Plasseringen av målesnittene oppstrøms og nedstrøms filtrene i en sjaktmontert rensesstasjon er vist på Figur 8.



Figur 6 Plassering av prøvetakingssnittene i en sjaktmontert rensesstasjon.

Plasseringen av målesnittene for en sløyfemontert rensesstasjon er den samme som for en sjaktmontert rensesstasjon. Se Figur 7.



Figur 7 Plassering av prøvetakingssnittene i en sløyfemontert rensestasjon.

Prøvetakingssnittet nedstrøms filtrene skal ikke plasseres nærmere viftene enn 2 ganger innløpsdiameteren for viftene. Se Figur 10.

Inntaket til sjakt- og sløyfemonterte rensestasjoner kan ha en dårlig strømnings teknisk utforming. Dette tilsier at vi må ha flere målepunkter over tverrsnittet for å ta hensyn til at partikkeltettheten og lufthastigheten kan være ujevnt fordelt over tverrsnittet. Plasseringen av prøvetakingspunktene er vist på Figur 8.

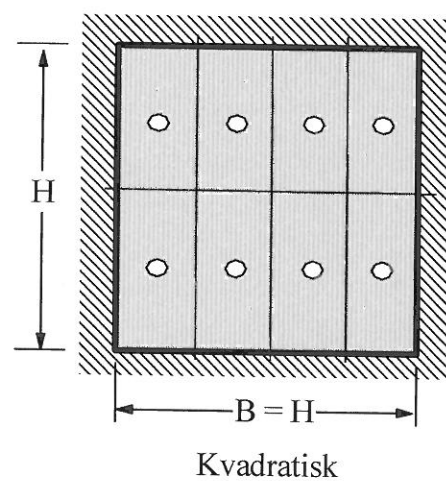
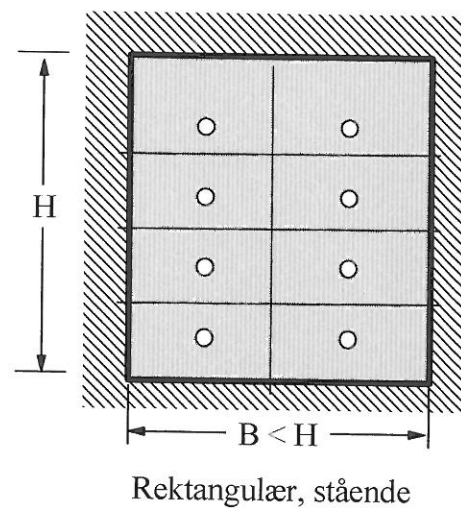
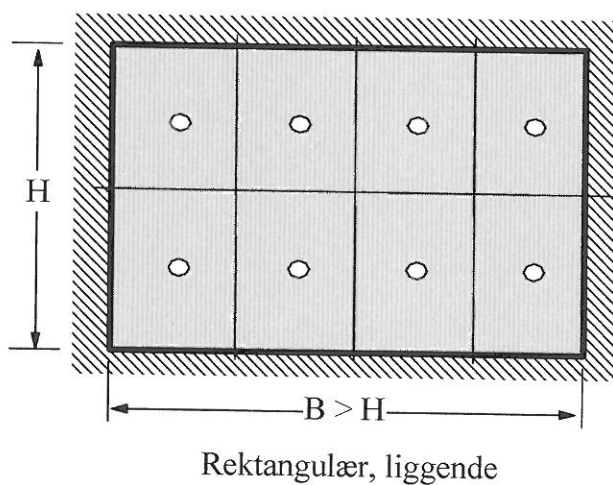
8 like store arealer
med ett målepunkt
plassert midt i hvert felt

Kvadrat eller liggende rektangel:

- 2 horisontale rader á 4 punkter

Stående rektangel:

- 2 vertikale rader á 4 punkter

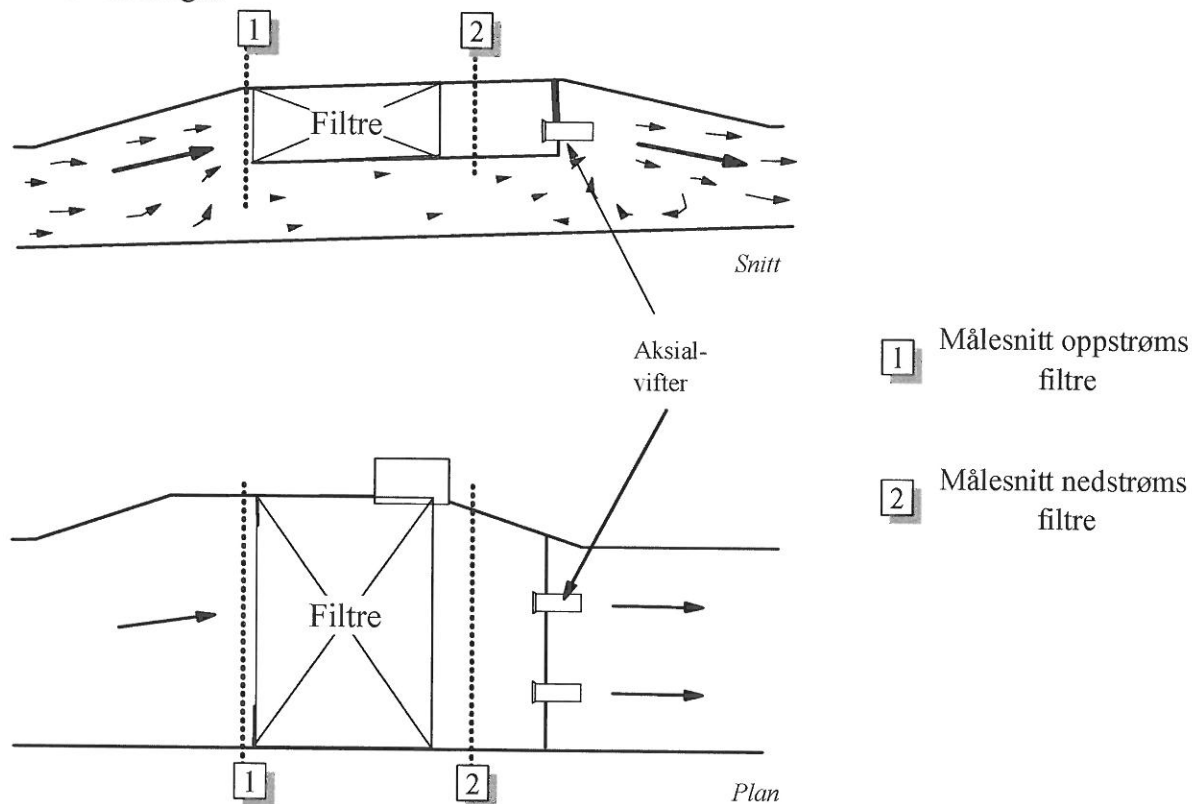


Figur 8 Plassering av målepunktene i måletverrsnittene oppstrøms og nedstrøms rensestasjonen i en sjaktmontert rensestasjon. (Se Figur 6).

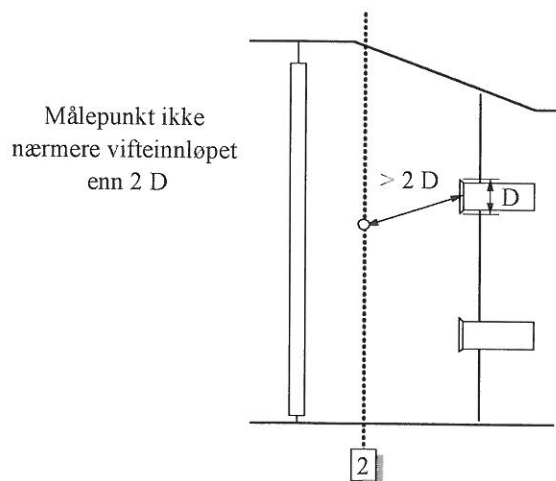
8.2 Rensestasjoner montert i tunnelhenget

Det tas prøver av den støvholdige luften hhv. oppstrøms og nedstrøms rensestasjonen.

- Prøvetaking oppstrøms rensestasjonen skal foregå oppstrøms det første filtertrinnet (pos 1 på Figur 9).
- Prøvetaking nedstrøms rensestasjonen skal foregå nedstrøms det siste filtertrinnet (pos 2 på Figur 9). Figur 9 viser en prinsippskisse av en rensestasjon som er montert i tunnelhenget.



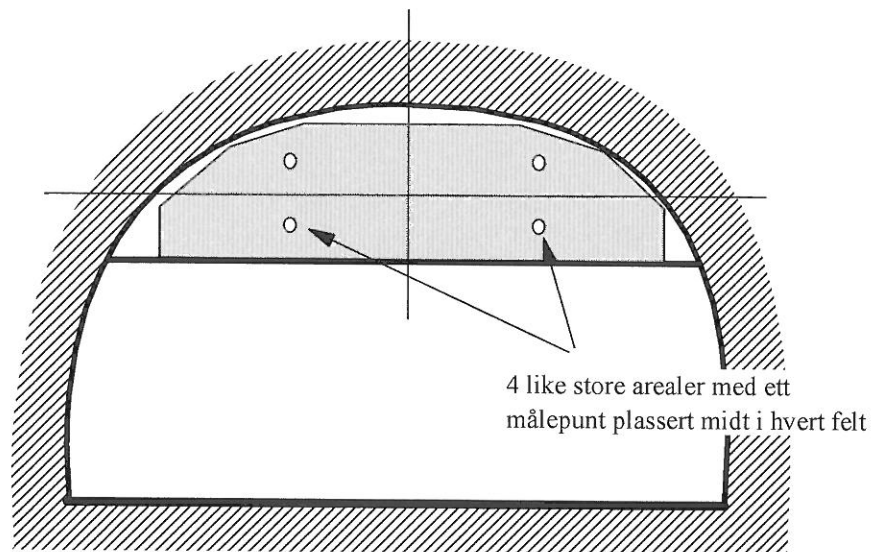
Figur 9 Oppbygning av rensestasjon med elektrostatfilter. Målestasjonene oppstrøms og nedstrøms rensestasjonen er angitt med hhv. 1 og 2.



Figur 10 Prøvetakingspunktene skal ikke plasseres nærmere vifteinnløpet enn 2 ganger innløpsdiameteren.

Antall prøvetakingspunkter må ses i sammenheng med hvordan rensestasjonen er plassert og med luftstrømningsforholdene inn til filterinntaket.

For renseanlegg som er plassert under taket i tunnelen, skal det skal være 4 prøvetakingssteder i hvert av måletverrsnittene (pos 1 og 2 på Figur 9).



Figur 11 Fordeling av prøvetakingspunktene.

Prøvetakingspunktene skal være jevnt fordelt over strømningsverrsnittet, se Figur 11. Dette gjelder målesnittene både oppstrøms og nedstrøms filtrene.

9 KRAV TIL PROSEDYRER FØR OG UNDER ETTERPRØVING

9.1 Før etterprøving

Før etterprøvingen skal følgende være utført:

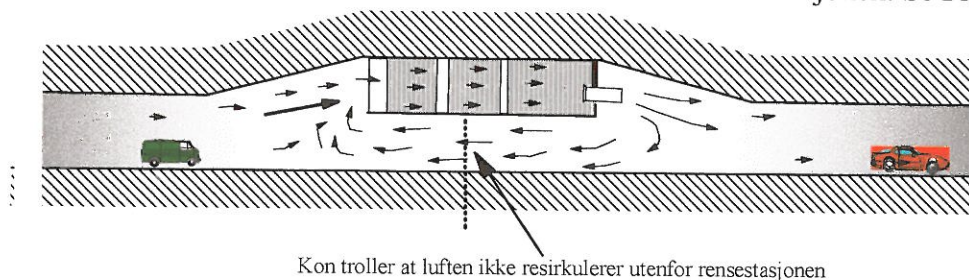
1. Byggherre og leverandør skal i fellesskap gjennomgå prøveopplegget. Innsigelser fra en av partene skal varsles i rimelig tid før prøvingen, og prøveopplegget skal være godkjent av begge partene før prøvene starter. Innsigelser mot prøveopplegget på et senere tidspunkt godtas ikke.
2. Anlegget skal være ferdigmeldt fra leverandøren med dokumentasjon for at alle tekniske funksjoner er prøvet og funnet i orden. Denne dokumentasjonen skal også omfatte luftmengde gjennom rensestasjonen under normal drift.
3. Rengjøring.
Filtre, vegger, tak og gulv inne i rensestasjonen og alle gjenstander og utstyr som befinner seg inne i rensestasjonen skal rengjøres rengjort i hht. leverandørens anvisninger. Etter rengjøring, og før prøvene gjennomføres, skal rensestasjonen være i normal drift i en periodelike lang som halve tiden mellom rengjøringssyklusene.
4. Representanter fra leverandøren og byggherren skal være tilstede under prøvene.
5. Dersom prøvene utføres av leverandøren skal byggherren ha knyttet til seg tilstrekkelig kompetanse til å påse at etterprøvingen og analysen av dataene foregår på en faglig tilfredsstillende måte, og i hht. den prosedyren som her er beskrevet.
6. Dersom prøvene foretas av byggherren er det ønskelig at leverandøren stiller med tilstrekkelig kompetanse til å forsikre seg om at prøvene foregår riktig.

9.2 Under etterprøving

Under etterprøvingene skal følgende punkter ivaretas:

7. Det skal føres logg over alle forhold som kan ha betydning for driften av rensestasjonen og utskillingsgraden. Spesielt skal det noteres:
 - Tidspunkt for start og stopp av målingene.
 - Driftsspenning på ionisatorer og kollektorplater.
 - Om det er foretatt spesielle ting som kan påvirke driften av rensestasjonen.
 - Trafikkforholdene i tunnelen under etterprøvingen
 - Værforhold. Temperatur. Fuktig eller tørt inne i tunnelen og i veibanen?
8. Leverandøren skal besørge at rensestasjonen drives som forutsatt. Driftsforholdene skal være de samme som under normal drift (spenninger på ionisatorer og kollektorer, luftmengder gjennom rensestasjonen m.m.)
9. Dører og åpninger mellom rensestasjonen og omgivelsene, og mellom de forskjellige trinnene i rensestasjonen, skal være lukket og ikke åpnes under målingene.
10. Støvkonsentrasjonen i luften skal ligge innenfor de grensene som er forutsatt i kontrakten.

11. Det skal kontrolleres at luften ikke strømmer tilbake utenfor rensestasjonen. Se Figur 12.

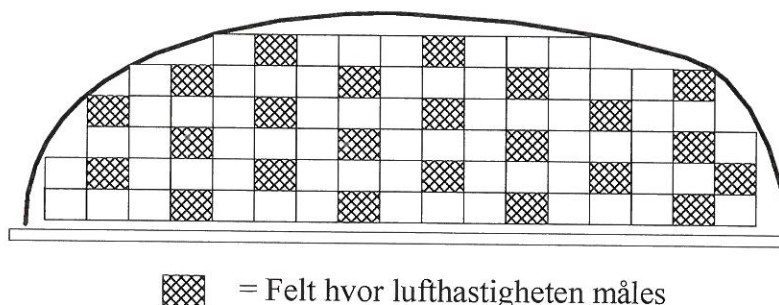


Figur 12 Det skal ikke være resirkulasjon under etterprøvingene.

I tunneler med toveis trafikk vil det i korte perioder være resirkulasjon pga. trafikken. Kravet skal i slike tilfeller tolkes som at det over tid ikke skal være noen netto resirkulasjon.

9.3 Kontroll av luftmengden gjennom rensestasjonen

Umiddelbart før målingene skal det tas stikkprøver av luftmengden gjennom rensestasjonen. Dersom disse stikkprøvene ikke bekrefter leverandørens dokumentasjon skal det foretas fullstendig måling av luftmengden gjennom rensestasjonen.



Figur 13 Fordeling av hastighetsmålepunkter oppstrøms elektrostatfilteret.

Luftmengden måles med anemometer oppstrøms filteret. Målepunktene fordeles jevnt over hele filterets innløpsareal. Det skal være minst 10 målepunkter. Se Figur 13.

9.4 Metode for å produsere støv

Dersom normal trafikk ikke produserer tilstrekkelig støv for etterprøving av rensestasjonen kan følgende metoder brukes:

- Vinterforhold (mineralsk støv): En feiebil legger ut tidligere oppsamlet støv og feier dette opp igjen oppstrøms rensestasjonen.
- Sommerforhold (sot): Et dieselaggregat holdes i drift oppstrøms rensestasjonen.

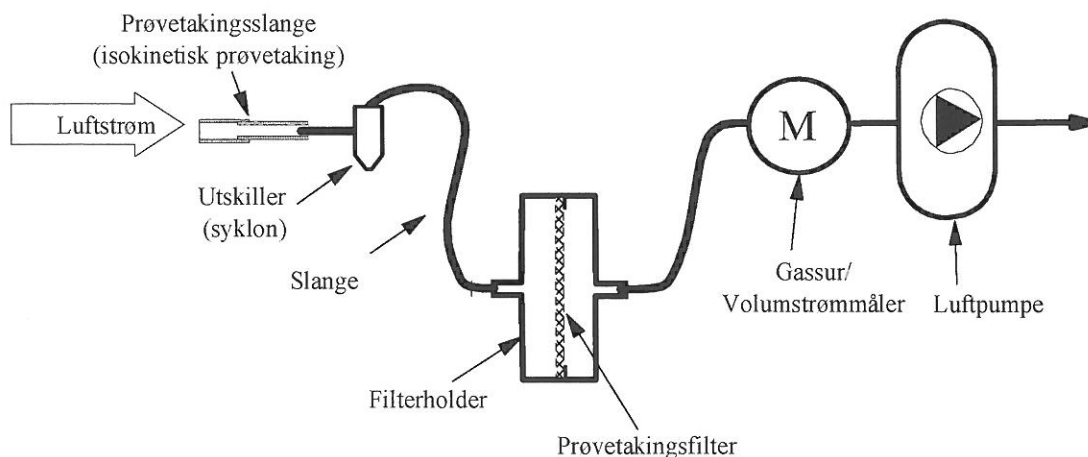
10 ETTERPRØVING AV UTSKILLINGSGRAD BASERT PÅ GRAVIMETRISKE STØVMÅLINGER

10.1 Måleutstyr

Prinsippet for gravimetrisk støvmåling er at et kjent gassvolum trekkes gjennom et filter som veies før og etter prøvetakingen for å bestemme oppsamlet partikkelmasse.

En utstyrsenhet for gravimetrisk støvmåling er vist på prinsippskissen, Figur 14. Det består av:

- Prøvetakingsslange
- Forutskiller (syklon)
- Filterholder m/prøvetakingsfilter
- Luftpumpe
- Volumstrømmåler / Gassur



Figur 14 Prinsippskisse - Utstyrsenhet for gravimetrisk bestemmelse av støvkonsentrasjoner i luft med isokinetisk prøvetaking.

For innregulering av korrekte volumstrøm gjennom pumpa må benyttes en reguleringsventil. Denne vil normalt plasseres foran pumpa.

Filter veies før og etter prøvetaking under kontrollerte atmosfæriske betingelser. Blindfilter anvendes alltid for korreksjon av faktorer som kan påvirke vekten av filteret.

10.1.1 Prøvetakingsslange

For å unngå ulik oppfangning av forskjellige partikkelstørrelser må det anvendes isokinetisk prøvetaking. (Se avsnitt 7). Slangelengden skal ikke overstige 0,5 meter.

10.1.2 Filtermedium

Filtermediet skal være av en type som ikke påvirkes av atmosfæriske forhold. Porestørrelsen i prøvetakingsfilteret skal ikke overstige 0,8µm.

10.1.3 Filterholder

Filterholdere og sonder skal være av ledende materiale for å unngå at elektrostatiske oppladning av partikler fører til partikkelavsetninger på andre steder enn oppsamlingsfilteret.

10.1.4 Pumpe

Pumpene som anvendes skal være nettdrevne.

10.1.5 Volumstrømmåler / Gassur

Luftmengde som er trukket gjennom filteret i prøvetakingsperioden skal dokumenteres med en nøyaktighet på $\pm 5\%$.

10.2 Plassering av prøvetakingspunktene

For måling av totalutskillingsgrad: Se kapittel 2.1.

For måling av rensestasjonens utskillingsgrad: Se kapittel 8.

På hvert prøvetakingspunkt monteres en utstyrsenhet som vist på Figur 14.

10.3 Prøvetakingsprosedyre

Det føres logg over når hver utstyrsenhet startes og stoppes, og over volumstrømmen som er trukket gjennom måleutstyret i løpet av måleperioden.

Driftstiden for alle utstyrsenhetene skal overlappe i minst 90% av måletiden.

Prøveperioden skal være så lang at vekten av oppsamlet støv utgjør minst 10 % av filtervekten. Oppsamlingstiden skal være minst 2 timer. Normalt vil den være ca en uke.

10.4 Analyse av støvprøvene

Filtrene tørkes og veies i det samme laboratoriet som klargjorde prøvefiltrene.

Støvkonsentrasjonen beregnes som oppsamlet støvmengde pr. m³ luft som er suget gjennom filtrene. Analysen av prøvene skal ha en dokumentert nøyaktighet bedre enn $\pm 5\%$.

10.5 Beregning av utskillingsgrad

Støvkonsentrasjonene stilles opp i tabell som vist nedenfor, og aritmetisk middelværdi av støvkonsentrasjonen oppstrøms filteret resp. nedstrøms filteret beregnes.

Støvkonsentrasjoner mg/m ³	
Oppstrøms	Nedstrøms
C _{1O}	C _{1N}
C _{2O}	C _{2N}
C _{3O}	C _{3N}
C _{4O}	C _{4N}
C _{5O}	C _{5N}
C _{6O}	C _{6N}
C _{7O}	C _{7N}
C _{MO}	C _{MN}

Utskillingsgraden beregnes som:

$$\eta = 1 - c_{MN}/c_{MO}$$

hvor

η = utskillingsgrad

c_{MN} = midlere støvkonsentrasjon i luften nedstrøms filteret [mg/m³]

c_{MO} = midlere støvkonsentrasjon i luften oppstrøms filteret [mg/m³]

11 ETTERPRØVING AV UTSKILLINGSGRAD BASERT PÅ PARTIKKELTELLING

11.1 Bakgrunn

Denne prosedyren er utarbeidet på grunnlag av erfaringer fra etterprøving av elektrostatfilter i vegtunneler i 1999 og 2000. Metoden for analyse av målingene (se kapittel 11.8) bygger på standardene Eurovent 4/9 og PrEN 779 som er utarbeidet for laboratorieprøving av elektrostatfiltre. Prosedyrene er utarbeidet etter erfaringer fra

SINTEF Bygg- og miljøteknikk, Avd. Bergteknikk,
SINTEF Energiforskning as, Avd. Kilma- og kuldeteknikk,
SINTEF Unimed og
Høgskolen i Sør-Trøndelag, avd. for teknologi, Institutt for maskinteknikk.

En rensestasjon med elektrostatfilter kan bestå av flere typer filtre i serie. Ved etterprøving er det rensestasjonens totale utskillingsgrad som skal kontrolleres, dvs. at alle rensetrinnene i stasjonen skal regnes med som en helhet.

11.2 Noen praktiske begrensninger

Med jevne mellomrom løsner flak av støvartikler fra oppsamlingsplatene på elektrostatfilteret. De partiklene som løsner fanges vanligvis opp i etterfilteret. Ikke alle renseanlegg har etterfiltre. Dette medfører at partiklene som løsner ikke blir fanget opp. Disse partiklene som løsner med ujevne mellomrom, og på forskjellige steder i filteret, og vil i de fleste tilfeller ikke bli fanget opp av partikkeltelleren.

Dette medfører at de målte utskillingsgradene blir bedre enn de virkelige virkningsgradene.

11.3 Måleutstyr

- Partikkeltettheten måles med en partikkelteller. Partikkeltelleren skal skille mellom de samme størrelsesfraksjoner som det er spesifisert i kontrakten. Partikkeltelleren skal ha gyldig kalibreringsbevis.
- Prøvetakingsslangene skal være rene ved prøvetakingens begynnelse.
- Hvis det benyttes automatisk sjalter for luftstrømmene fra prøvetakingsslangene, skal denne være rengjort i alle rør og ventiler før prøvene starter.

11.4 Sammenkopling av prøvetakingsslangene

Prøvetakingsslangene koples som vist på Figur 15 og Figur 16, slik at det blir to inngangsslanger til partikkeltelleren.

11.5 Slangelengde

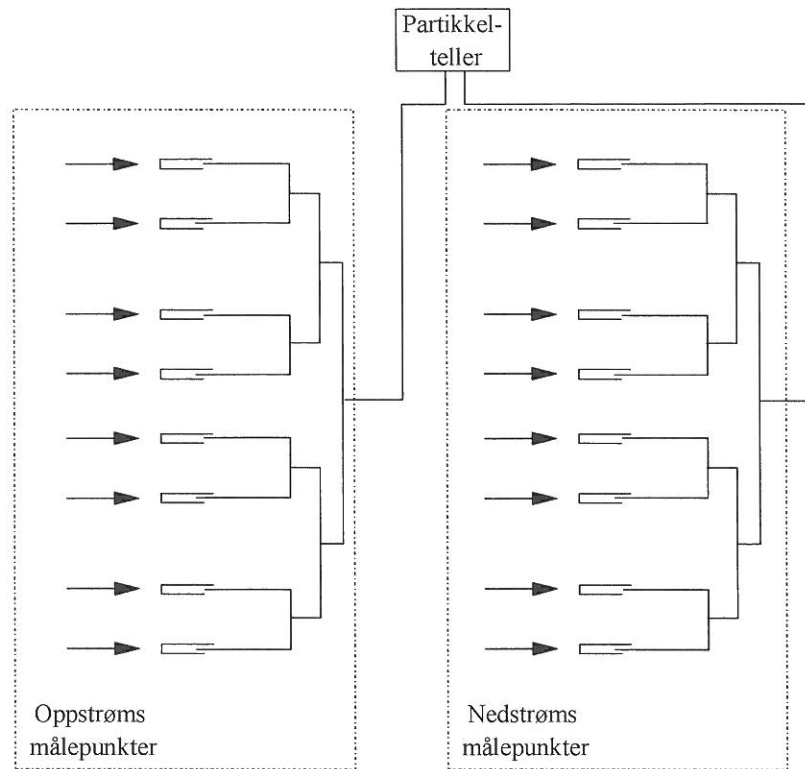
Slangene til de ulike målepunktene skal være like lange, og slangene skal ha minst mulig bend mellom prøvetakingsstedet og partikkeltelleren. Slangelengden skal være kortest mulig, og ikke overstige 15 meter. Lufthastigheten i slangene skal være større enn 4 m/s.

11.6 Prøvetakingstid og renspylingstid

Prøvetakingstiden skal være minst ett minutt. Prøvetakingen skal veksle mellom oppstrøms og nedstrøms målepunkter, se avsnitt 11.8.

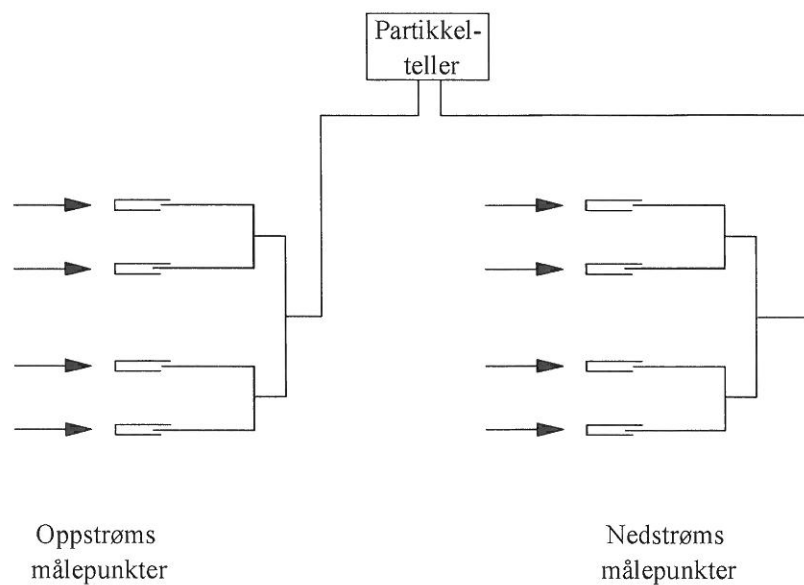
Dersom det benyttes automatisk sjalting, skal renspylingstiden være så lang at man ikke får partikler fra én prøve over i den neste. Volumet i slangene skal kontrolleres og sammenholdes med volumstrømmen som suges inn til partikkeltelleren. Renspylingstiden skal være minst tre ganger så lang som gjennomstrømningstiden for luften i slangene, og ikke mindre enn 1 minutt.

11.6.1 Rensestasjon montert i sjakt eller i sløyfe



Figur 15 Sammenkopling av slanger for prøvetaking med 8 punkter i hvert målesnitt (som for en sjaktmontert rensestasjon)

11.6.2 Rensestasjon montert i heng



Figur 16 Prøvetaking med 4 prøvetakingspunkter i hvert måletverrsnitt.

11.7 Prøveperiodens lengde

Prøvetakingsperioden skal pågå inntil utskillingsgradene stabiliserer seg, og i minst 2 timer for hver av de driftstilstandene som filteret skal prøves for.

Filterets utskillingsgrad endrer seg med tiden fra en rengjøringssyklus til den neste. Prøvetakingsperioder skal skje på et tidspunkt som er midt mellom to rensesykluser.

11.8 Analyse av målingene

Måleperioden deles opp i målesekvenser. En målesekvens består av 13 tellinger (PrEN 779) som vist i tabellen nedenfor.

Tellingene utføres slik:

Telling nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Foran filter	N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇
Bak filter		n ₁		n ₂		n ₃		n ₄		n ₅		n ₆	

Grunnligningen for utskillingsgraden (filtreffektiviteten) for en telling er:

$$E_i = \left(1 - \frac{n_i}{\frac{N_i + N_{i+1}}{2}} \right) \cdot 100\%$$

En bruker altså middelverdiene fra tellingene foran filtret og beregner utskillingen med tellingen etter filtret. For PrEN 779 bruker en denne ligningen for de 13 tellingene, og en får 6 slike enkelt effektiviteter: $E_1..E_6$.

Totaleffektiviteten, $E_{4/9}$, for denne partikkelstørrelsen blir da en middsverdi av disse:

$$E_{4/9} = (E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6)/6$$

Denne regner så ut for hver størrelsesfraksjon. Hver størrelsesfraksjon behandles for seg. Standarden gir ikke anledning til midling av utskillingsgradene for de enkelte fraksjonene.

I praksis vil utskillingsgraden som regel fluktuere med tiden, men middelverdien over en lengre periode vil være konstant.

Utskillingsgraden fremstilles grafisk som funksjon av tiden for å vise om resultatet endrer seg over tid. Dersom utskillingsgraden viser en klart stigende eller fallende tendens over hele måleperioden, må årsaken til dette finnes og utbedres.

Dersom enkelte perioder viser meget avvikende utskillingsgrader, og det kan dokumenteres utfra loggjournalen at spesielle uforutsette ting er inntruffet, skal verdiene fra disse periodene forkastes.

11.9 Beregning av utskillingsgrad

Når målingene ikke viser en jevnt stigende eller fallende tendens midles alle verdiene som er beregnet etter likningen ovenfor. Ved denne midlingen skal utskillingsgradene fra alle målesekvensene som ikke er forkastet (se ovenfor) tas med.

Tabellen nedenfor viser et eksempel på oppstilling av prøveresultat.

Partikkelstørrelse	Målt utskillingsgrad
0,3 - 0,5 μ	85%
0,5 - 1 μ	89%
1 - 2 μ	92%
2 - 5 μ	95%
5 - 10 μ	95%

Det skal ikke beregnes middelerdi av utskillingsgradene for de ulike størrelsesfraksjonene. Et renseanlegg skal oppfylle garantiverdiene for hver enkelt størrelsesfraksjon.

Merk: Man kan ikke regne om utskillingsgraden basert på partikkeltellinger til utskillingsgrad basert på gravimetriske målinger.

12 DOKUMENTASJON ETTER FUNKSJONSPRØVING

Anleggets funksjon skal dokumenteres ved målerapport før overtakelse. Målingene skal gjøres under de forholdene som er beskrevet i konkurransegrunnlaget. Målingene skal omfatte luftmengde i tunnelen og utskillingsgrad for rensestasjonen. Etter at funksjonsprøvingen er foretatt skal følgende dokumentasjon foreligge:

12.1 Bakgrunnsopplysninger

Det skal foreligge dokumentasjon som viser:

1. Tid og sted for prøvene
2. Hvilke firmaer og hvilke personer som har gjennomført prøvene.
3. Hvilke firmaer og hvilke personer som har vært tilstede ved prøvene.
4. Opplysninger om værforhold og trafikk.
5. Leverandøren har forestått driften av anleggene i hht. sin egen driftsinstruks.
6. Dører og åpninger mellom rensestasjonen og omgivelsene har vært lukket under prøvene.
7. Støvkonsentrasjonen i luften har ligget mellom de grenser som er angitt i anbudsdokumentene, eventuelt at leverandør har godkjent den aktuelle støvkonsentrasjonen som gyldig for etterprøvingen.
8. Uttalelse fra både leverandør og byggherre om at de godkjenner den måten prøvene er blitt gjennomført på.

12.2 Mottatt luftmengde ved rensestasjonsområdet.

Oppgis av vegvesenet

12.3 Luftmengde gjennom rensestasjonen

Måles som angitt i kapittel 9.3.

12.4 Målingene

1. Beskrivelse/skisser som viser:
 - sammensetningen av måleutstyret,
 - plasseringen av målesnittene,
 - plasseringen av målepunktene i målesnittene,
 - evt. lengde og type slanger til de forskjellige målepunktene
2. Angivelse av utstyr og kalibreringsbevis for måleutstyret
3. Måleresultatene beregnet etter de reglene som er angitt i måleprosedyrene
4. Tabeller evt. datafiler som inneholder alle måleverdiene
5. Evt. opplysninger som kan ha betydning for vurderingen av måleresultatene.

12.5 Renseanlegget

1. Beskrivelse av renseanleggets komponenter
 - Forfilter
 - Elektrostatfilter
 - Etterfilter
 - Vifter
2. Driftsspenninger
 - Spenning på ionisatorene
 - Spenning på kollektorene

13 LITTERATURHENVISNINGER

1. Vegtunneler, Håndbok 021 fra Vegdirektoratet, August 1992. ISBN 82-7207-316-1
2. Direktoratet for Arbeidstilsynet, Administrative normer for forurensninger i arbeidsatmosfæren. Best. nr 361.

SINTEF Energi AS
SINTEF Energy Research

No-7465 Trondheim
Telephone: + 47 73 59 72 00
energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energy