

Arbeidsforskningsinstituttene

Arbeidsfysiologisk institutt - Arbeidspsykologisk institutt - Muskelfysiologisk institutt
Yrkeshygienisk institutt

Kontoradresse: Gydas vei 8, tlf. 02/46 68 50
Postadresse: Pb. 8149 Dep Oslo 1

Tittel: Utprøving av SKC-sykloner

Forfatter(e): Thomas Frost, Rune Hansen, Nils Halleraker, Yngvar Thomassen og Wijnand Eduard

Prosjektansvarlig: Wijnand Eduard

Prosjektmedarbeidere: Thomas Frost, Rune Hansen, Nils Halleraker, Yngvar Thomassen

Utgiver (institutt): Yrkeshygienisk institutt

Dato:
31.08.84

Antall sider:
53

ISSN:
0800-3777

Serie:
HD 891/84

Sammendrag:

Presisjonen av 6l SKC-sykloner ble bestemt med en prøvetaker for 36 parallelle prøver i et støperi og estimert til < 5%.

Penetrasjonen av SKC-sykloner ved 1,9 l/min luftvolumstrøm var for lav og måtte senkes til 1,2 l/min for å få overensstemmelse med horisontal elutriator.

Fem SKC-sykloner ble testet i et støvkammer med feltspat, kvarts- og olivinstøv og sammenlignet med horisontal elutriator, YHI-syklon og Casella-syklon. SKC-syklonen viser en konsentrasjonsavhengig penetrasjon med feltspat, og overensstemmelsen med horisontal elutriator for kvarts- og olivinstøv er utilfredsstillende.

Stikkord:

syklon, utprøving,
luftvolumstrømpulsering

Key words:

cyclone, testing, flow pulsation

UTPRØVING AV SKC-SYKLONER

DEL 1

av

Thomas Frost, Rune Hansen, Nils Halleraker,
Yngvar Thomassen og Wijnand Eduard

HD 891/84

Yrkeshygienisk institutt

1984

INNHOLDSFORTEGNELSE

	side
1. FORORD	4
2. INNLEDNING	5
3. METODER	7
3.1. Presisjon	7
3.2. Sammenligning av SKC-sykloner med horisontal elutriator	7
3.3. Pulsering av luftvolumstrømmen	8
4. RESULTATER	9
4.1. Presisjon	9
4.2. Testing av støvkammeret	12
4.3. Sammenligning av SKC-sykloner med horisontal elutriator	14
4.3.1. Penetrasjon av SKC-syklon som funksjon av luftvolumstrøm	14
4.3.2. Penetrasjon av SKC-syklon i forhold til horisontal elutriator ved forskjellige konsentrasjoner av feltspat	15
4.3.3. Penetrasjon av SKC-syklon i forhold til horisontal elutriator undersøkt med kvarts- og olivinstøv	20
4.4. Pulsering av luftvolumstrømmen og effekt på penetrasjonen av SKC-syklonen	21
4.5. Forskjell mellom posisjoner i støvkammeret	23
5. DISKUSJON	25
5.1. Presisjon	25
5.2. Testing i støvkammeret	26
5.3. Penetrasjon av SKC-syklonen i forhold til horisontal elutriator som funksjon av luftvolumstrøm	29
5.4. Penetrasjon av SKC-syklonen i forhold til horisontal elutriator ved 1,2 l/min.	29
5.5. Pulsering av luftvolumstrømmen	30

	side
6. KONLUSJONER	32
7. LITERATUR	33
BILAG	35
Bilag 1: Bruksanvisning for SKC-sykloner	35
Bilag 2: Måledata av 4.1. Presisjon	47
Bilag 3: Måledata av 4.3.1. Penetrasjon av SKC-syklon som funksjon av luftvolumstrøm	50
Bilag 4: Måledata av 4.3.2. Penetrasjon av SKC-syklon sammenlignet med horisontal elutriator ved forskjellige konsentrasjoner av feltspat	51
Bilag 5: Måledata av 4.3.3. Penetrasjon av SKC-syklon sammenlignet med horisontal elutriator undersøkt med kvarts- og olivinstøv	52
Bilag 6: Måledata av 4.4. Pulsering og effekt på penetrasjonen av SKC- syklonen	53

1. FORORD

Høsten 1982 henvendte Direktoratet for Arbeidstilsynet seg til Yrkeshygienisk institutt med ønske om en utprøving av SKC-sykloner for personbåren prøvetaking av respirabelt støv.

Følgende testprogram ble satt opp:

- Bestemmelse av presisjonen av samtlige sykkloner ved prøvetaking av arbeidsatmosfære i en bedrift
- Sammenligning av et utvalg av sykklonene med standard-apparatur (horisontal elutriator) i et støveksponeeringskammer med forskjellige støvtyper
- Sammenligning av et utvalg av sykklonene og horisontal elutriator med adskillelse etter Johannesburgkonvensjonen

Etter gjennomføring av de første to deler ble det behov for en del til:

- Sammenligning av sykklonen med horisontal elutriator i arbeidsmiljø med følgende variabler: bransje, bedrift, støvkonsentrasjon, sykklon og analyselaboratorium.

Rapporten presenterer resultatene fra de første to deler av undersøkelsen.

Følgende personer ved YHI har deltatt i utførelsen av undersøkelsen: Thomas Frost, Rune Hansen, Nils Halleraker, John Selstad, Yngvar Thomassen og Wijnand Eduard (ansvarlig).

2. INNLEDNING

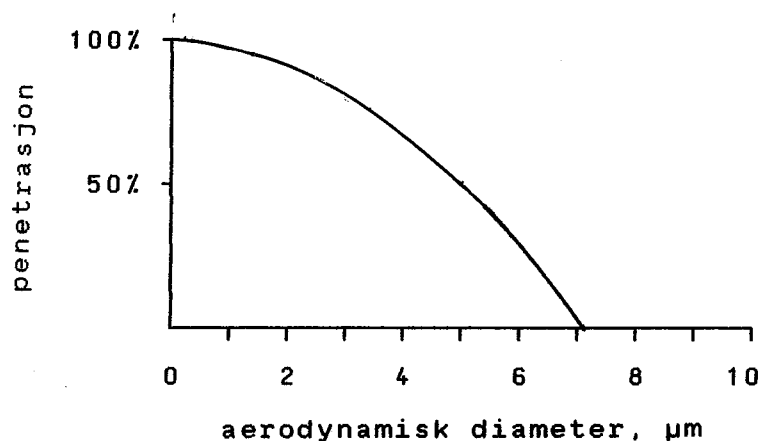
I de fleste europeiske land brukes sykkloner for innsamling av respirable støvprøver.

I Norge har man hittil benyttet sedimentering av totalstøvprøver som analysemetode for bestemmelse av finfraksjonen. Denne metoden har følgende ulemper:

- ca 40 mg støv er nødvendig for en sedimenteringsanalyse hvilket forutsetter sammenslåing av flere prøver
- støv kan løse seg under sedimentering
- aggregater av støvpartikler deles opp, slik at finstøvandelen overestimeres
- finfraksjonen av partikler med lavere og høyere tetthet enn α -kvarts blir henholdsvis over- og underestimert

Hovedgrunnen til ikke å ta i bruk sykkloner er at presisjonen av finstøvbestemmelsen skulle bli dårligere p.g.a. mindre støvmengder, og dårlig overensstemmelse mellom sykkloner og horisontal elutriator i støvkammerforsøk (3).

En forutsetning for at en foravskiller kan brukes ved prøvetaking av respirabelt støv, er at den følger en bestemt adskillelseskarakteristikk og i de fleste land i Europa benyttes Johannesburgkonvensjonen, se figur 1.



Figur 1. Adskillelseskurve ifølge Johannesburgkonvensjonen

På det siste nordiske aerosolgruppemøte i Oslo 1982 (10) ble følgende krav stilt til sykkloner for bruk ved yrkeshygieniske målinger:

- Adskillelseskarakteristikken skal følge Johannesburger konvensjonen. Undersøkes med monodisperse aerosoler
- Intra-syklon variasjon (presisjon) < 5%
- Inter-syklontype variasjon < 5%

En kan også få opplysninger om overensstemmelse av sykkloner i.h.t. Johannesburgkonvensjonen ved å sammenligne med horisontal elutriator (heretter kalt HE).

Adskillelseskarakteristikken til HE kan beregnes teoretisk og undersøkelser med monodisperse partikler har vist at overensstemmelsen er god (4).

HE blir brukt i Europa som referanseinstrument for prøvetaking av respirabelt støv, og en går ut fra at den følger Johannesburgkonvensjonen for reelle støvtyper, selvom dette ikke er vist eksperimentelt.

Adskillelsesmekanismen i en syklon er teoretisk ikke tilstrekkelig definert, og adskillelseskarakteristikken må bestemmes empirisk. Følgende faktorer har betydning: Partikkelform og -tetthet, støvkonsentrasjon, statisk ladning, luftvolumstrøm, syklondimensjoner og toleranse ved syklonfremstillingen.

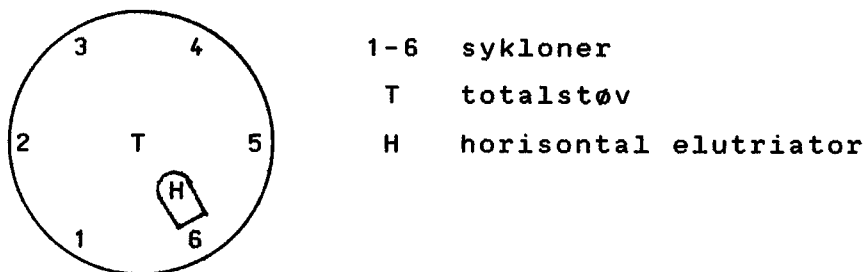
3. METODER

3.1. Presisjon

SKC sykkloner (se for montering bilag 1) og vanlige filterholdere ble plassert i en prøvetaker for 36 parallelle prøver (5). Luftvolumstrømmen ble regulert med kritiske dyser til $\sim 1,9$ l/min. Luftvolumstrømmen ble målt ved starten og ved slutten av måleperioden med et flowmeter. Dertil ble sykklonene fjernet og erstattet med et topplokk. Prøvene ble analysert gravimetrisk for respirabelt støv og for Fe med AAS.

3.2. Sammenligning av SKC-sykloner med horisontal elutriator

Fem SKC sykkloner, en YHI syklon og en HE ble testet med feltspat i et støveksporeringskammer (2). En ekstern Edwards pumpe tilkopleet et sugekammer på 10 dm^3 ble benyttet og luftvolumstrømmen ble regulert med dyser. Utstyret stod stille under prøvetakingen, men ved parallelle serier byttet enhetene plass, slik at plassforskjeller ble jevnet ut, se også pkt. 4.5. Innsugningsåpningen til HE ble også orientert mot forskjellige posisjoner i kammeret. Plassering av utstyret går frem av figur 2:

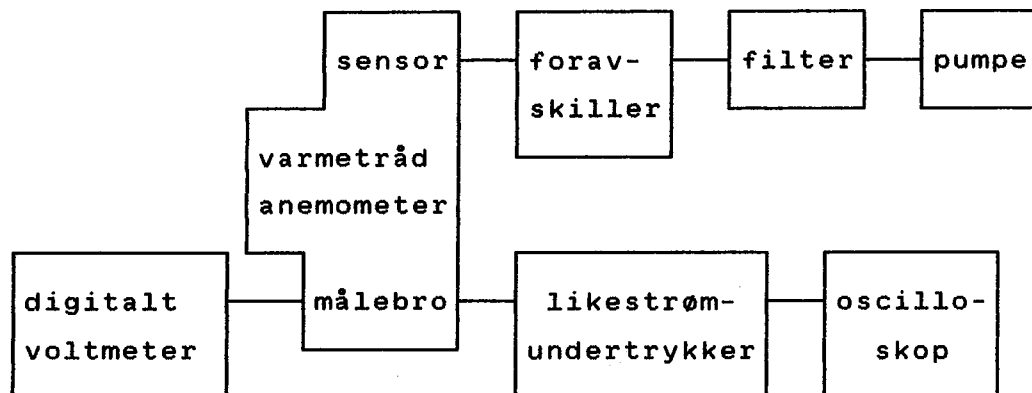


Figur 2: Plassering av utstyr i støveksporeringskammeret

SKC sykklonene, to Casella sykkloner og en HE ble testet med α -kvarts og med olivin på tilsvarende måte.

3.3. Pulsering av luftvolumstrømmen

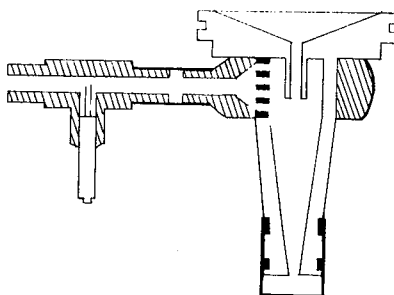
Pulsering av luftvolumstrømmen ble undersøkt med forsøksoppsettet som er skissert i figur 3:



Figur 3: Forsøksoppsett for måling av lufvolumstrømpulsering

Pulseringen ble karakterisert ved REF (relativ effektiv luftvolumstrøm (1,11)).

For å kunne måle pulseringen foran syklonen ble det laget en spesiell adapter, se figur 4.



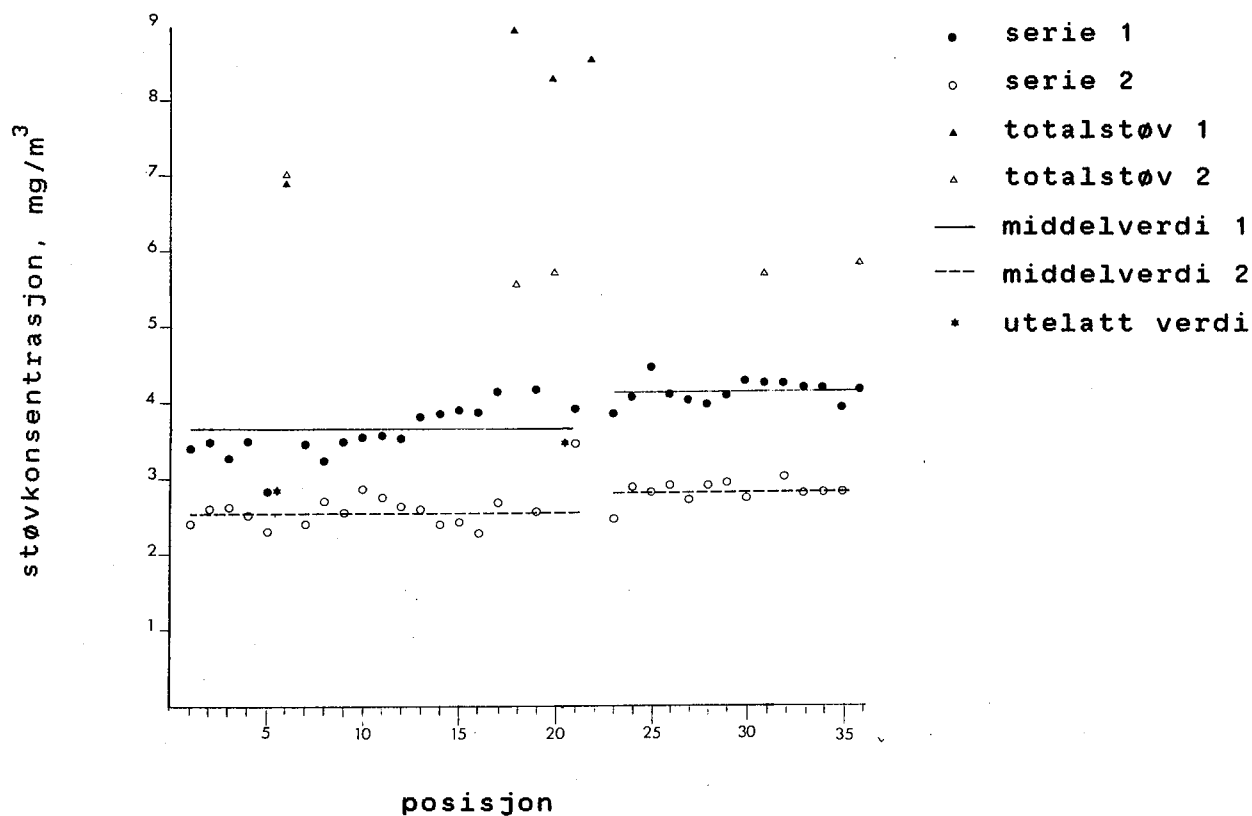
Figur 4: Adapter for måling av lufvolumstrømpulsering foran SKC-syklon

Det ble brukt et varmetrådanemometer type DISA 56C01 CTA med varmetrådsensor type 55P11. En likestrømundertrykker ble benyttet for å kunne studere pulsering av luftstrømmen med 1 frekvens med oscilloskop.

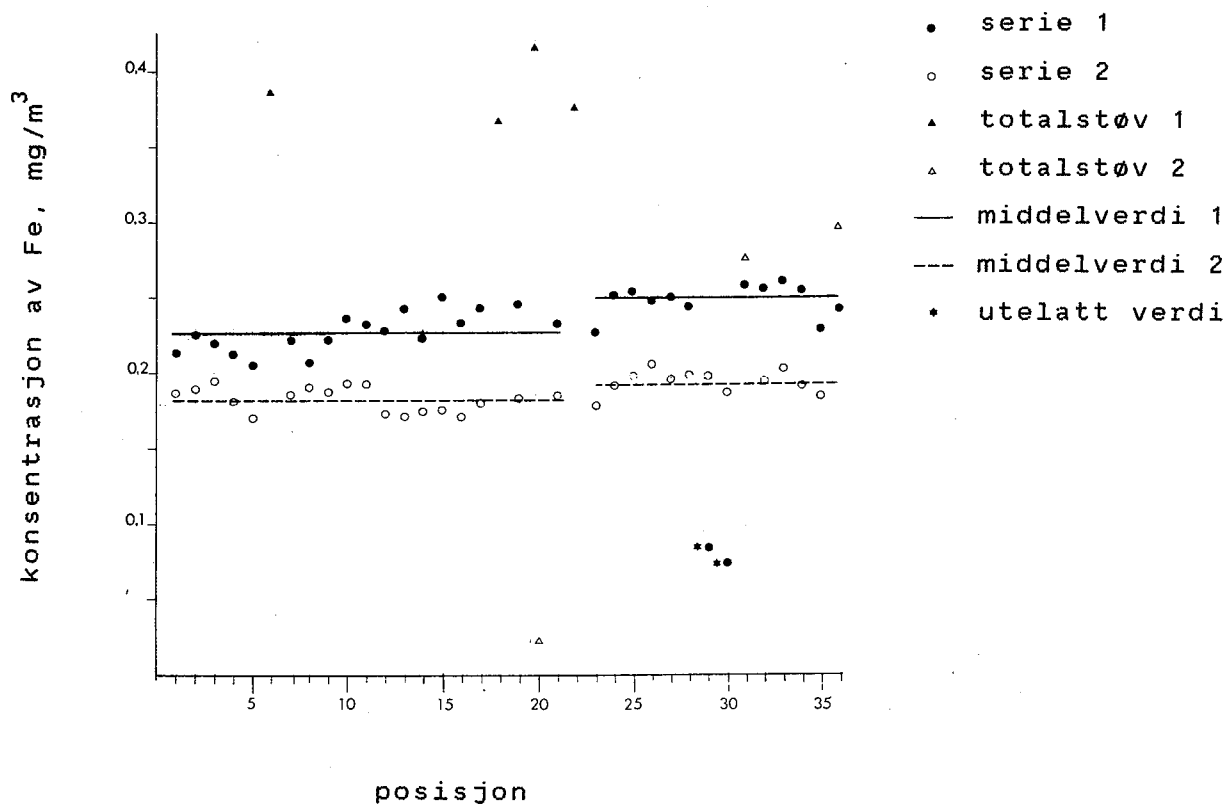
4. RESULTATER

4.1. Presisjon

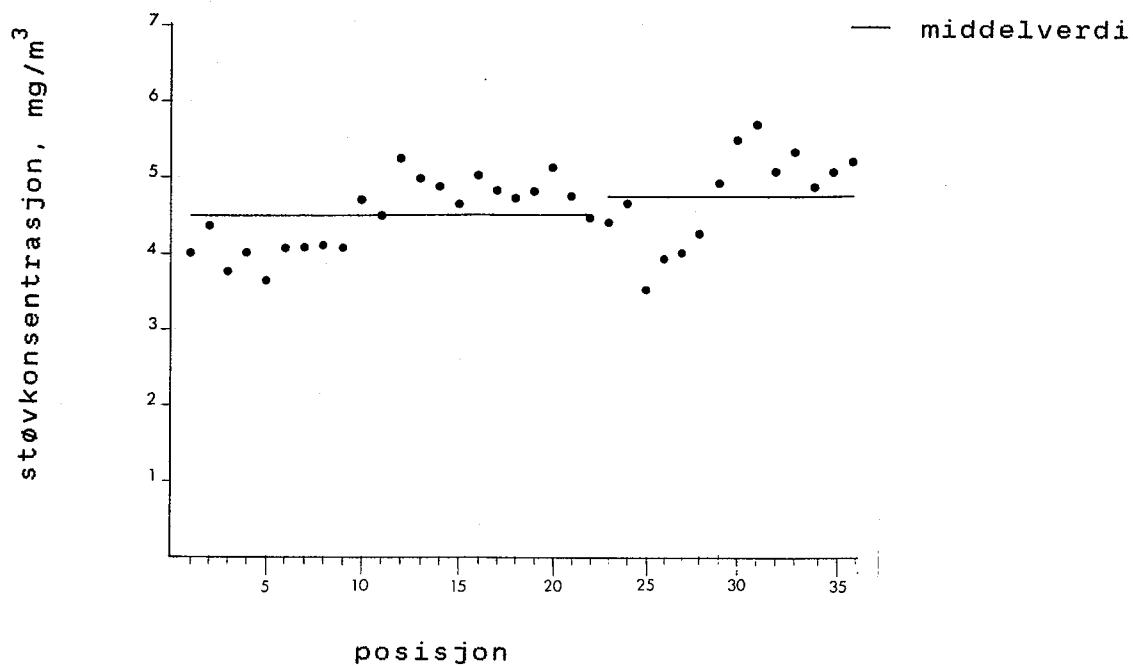
Presisjonen ble undersøkt i et jernstøperi og 61 sykloner ble testet i to serier. I tillegg ble det tatt en serie med vanlige filterprøver for å studere effekten som prøvetakeren hadde på den målte presisjonen. Prøvene ble analysert gravimetrisk og innholdet av Fe ble bestemt med AAS. Resultatene går frem av figur 5-7 og bilag 2.



Figur 5: Resultater av to serier parallelle prøver tatt med SKC-sykloner og analysert gravimetrisk



Figur 6: Resultater av to serier parallelle prøver tatt med SKC-sykloner og analysert på Fe med AAS



Figur 7: Resultater av en serie med parallelle prøver tatt med vanlig filterholder og analysert gravimetrisk

I prøvetakeren er posisjonene fordelt over to ringer: den ytre ring inneholder 21 posisjoner og den indre 15. Det var signifikant forskjell mellom resultatene fra de to ringene, se tabell 1.

serie	analyse- metode	middelverdi (sd), mg/m ³		
		indre ring	ytre ring	
syklo- ner 1	veiling	4,12 (0,04)	3,66 (0,07)	*** ¹
	AAS Fe	0,247(0,003)	0,227(0,003)	*** ²
syklo- ner 2	veiling	2,81 (0,04)	2,54 (0,04)	*** ²
	AAS Fe	0,193(0,002)	0,182(0,002)	**
total- støv	veiling	4,74 (0,16)	4,49 (0,10)	

* p < 0,05 Students t-test, tosidig

** p < 0,01 Students t-test, tosidig

***¹ p < 0,001 Wilcoxon's touthvalgstest, tosidig

***² p < 0,001 Students t-test, tosidig

Tabell 1: Middelerdi og middelerdiens standardavvik av parallele syktonprøver analysert gravimetrisk og med AAS

Standardavviket ble derfor beregnet for hver av ringene, se tabell 2. Ialt 4 uteliggere ble utelatt fordi analyseresultatet av samme prøve funnet med den andre analysemetoden ikke viste noe signifikant avvik fra de øvrige måleverdiene i serien og ble tilskrevet analysefeil.

serie	analysemetode	relativ standard avvik, %	
		indre ring	ytre ring
sykloner 1	veing	3,8 [*]	7,8 [*]
	AAS Fe	4,2	5,9
sykloner 2	veing	4,8	6,5
	AAS Fe	4,2	4,5
totalstøv	veing	12,7	10,4

* tosidig F-test: $F = 3,30$ 18,12 df $p < 0,05$

Tabell 2: Relativt standardavvik av parallelle sykloprøver analysert gravimetrisk og med AAS og av totalstøvprøver analysert gravimetrisk

4.2. Testing av støvkammeret

Effekten av to forskjellige pakkingsmetoder for støv i en Wright-støvgenerator ble undersøkt med SKC- og YHI-sykloner og med HE. Pakkingsmetodene var følgende:

- Norsk: støvet ble pakket manuelt i støvholderen med minst mulig press
- Svensk: støvet ble blandet med etanol til en pasta, fylt i støvbeholderen og tørket i

varmeskap natten over. Deretter ble støvet presset med 500 MPa trykk.

Feltspat <325 mesh ble benyttet og en prøve ble undersøkt per pakkingsmetode. Prøver ble undersøkt med SEM på forekomst av aggregater, se tabell 3.

prøve	pakking av støv	
	løs	hard
	partikler/aggregat	
totalstøv	1,36	1,37
syklon SKC	1,24	1,45
syklon YHI	1,28	1,51
syklon Casella	1,32	1,49
HE	1,47	1,43

Tabell 3: Antall partikler per aggregat i feltspatstøv generert etter hard og løs pakking. Middelerverdi basert på telling av 250 partikler > 1 μm med SEM.

Videre ble det utført 8 forsøksserier med 6 SKC-sykloner med luftvolumstrøm $\sim 1,9$ l/min. Prøvene ble analysert gravimetrisk, se tabell 4. Her ble det ikke funnet noen signifikant forskjell mellom de to pakkingsmetoder (Wilcoxon-van Elteren test).

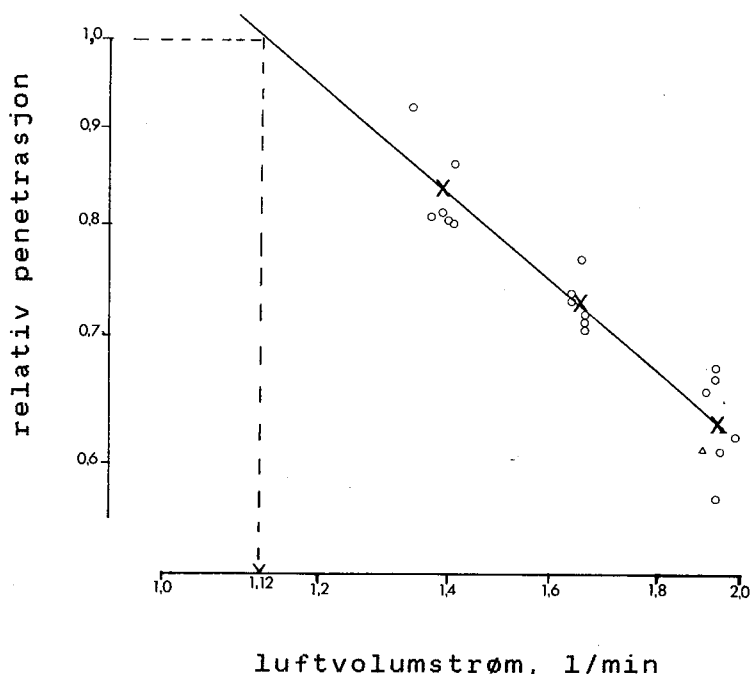
Syklon	Relativ finstøvkonsentrasjon i forhold til HE, range		
	pakking av støv		middelverdi (sd)
	løs (N=3)	hard (N=5)	
SKC 5	0,61-0,74	0,65-0,82	0,71 (0,07)
SKC 17	0,66-0,82	0,65-0,77	
SKC 59	0,64-0,84	0,74-0,77	
YHI 2	0,67-0,76	0,74-0,94	0,78 (0,07)
YHI 4	0,69-0,87	0,71-0,81	

Tabell 4: Relativ konsentrasjon av finstøv av 3 SKC- og 2 YHI-sykloner ved forskjellige pakkingsmetoder for støv i støvgenerator.

4.3. Sammenligning av SKC-sykloner med horisontal elutriator

4.3.1. Penetrasjon av SKC-syklon som funksjon av luftvolumstrøm

Forsøkene fra 4.2. hadde vist at både SKC- og YHI-syklonene hadde betydelig lavere penetrasjon enn HE. Det ble derfor gjennomført tre forsøksserier med to SKC-sykloner ved henholdsvis 1,4, 1,6, og 1,9 l/min og HE, se bilag 3 og figur 8. Syklonene ble testet med forskjellig luftvolumstrøm og posisjon i støvkammeret i hver serie.

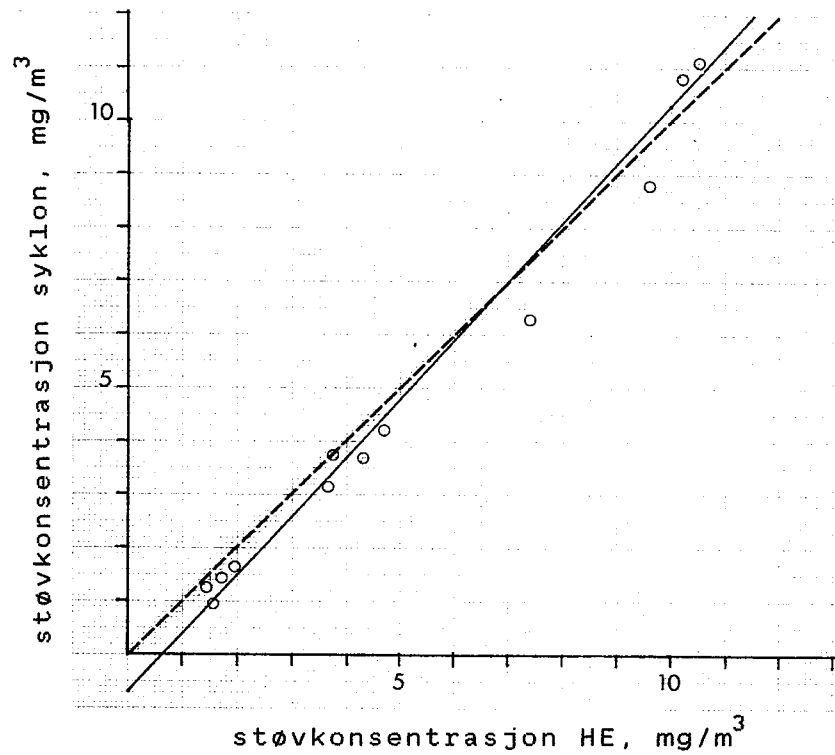


Figur 8: Relativ penetrasjon av 6 SKC-sykloner i forhold til HE ved forskjellig luftvolumstrøm. Middelerdi for hvert luftvolumstrømområde er angitt (X).

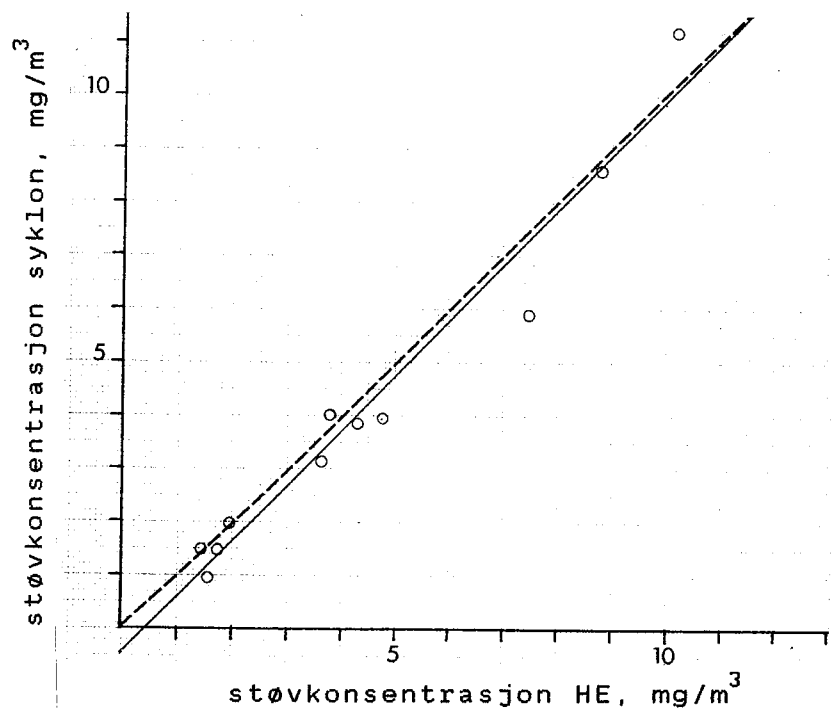
4.3.2. Penetrasjon av SKC syklon i forhold til HE ved forskjellige konsentrasjoner av feltspat

Fem SKC-sykloner og HE ble testet i støveksoneringskammeret ved 1,2 l/min. En YHI-syklon ble også testet ved 1,9 l/min. for å få bedre dokumentasjon på penetrasjonen under disse testbetingelser.

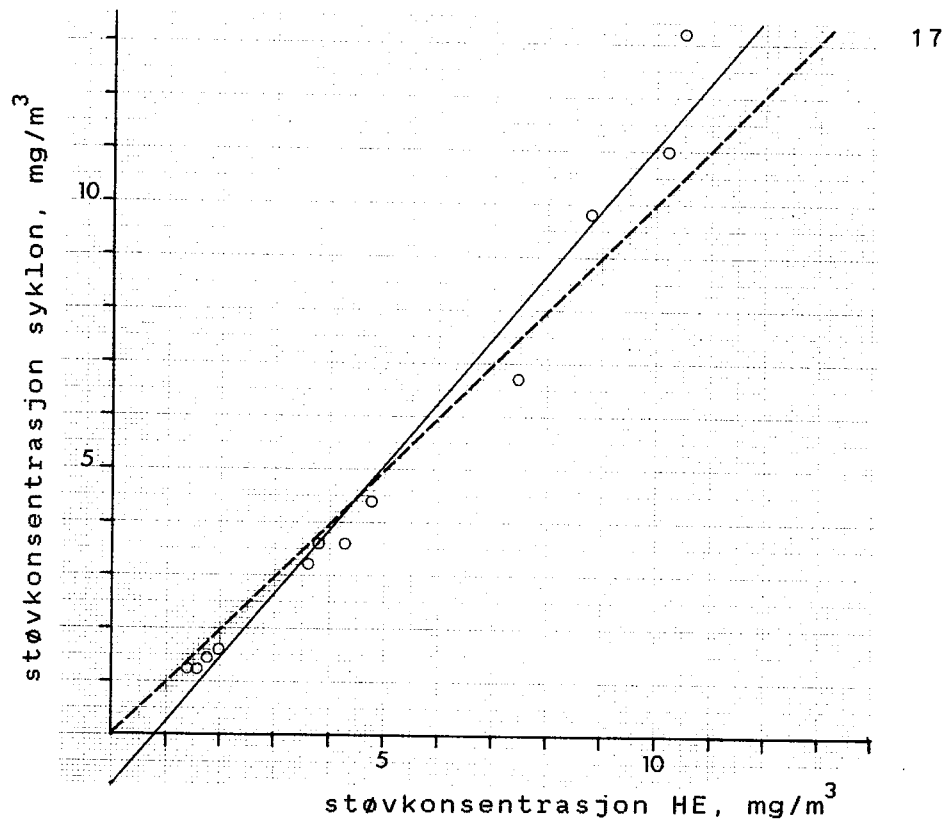
Syklonene ble testet ved ~1,5, ~4 og ~10 mg respirabelt støv/m³ og hver konsentrasjon ble testet 4 ganger. Luftvolumstrømmen var 1,21(0,03) l/min for SKC syklonene, 1,87(0,05) l/min for YHI syklonen og 2,51(0,04) l/min for HE. Resultatene går frem av bilag 4 og figur 9-14.



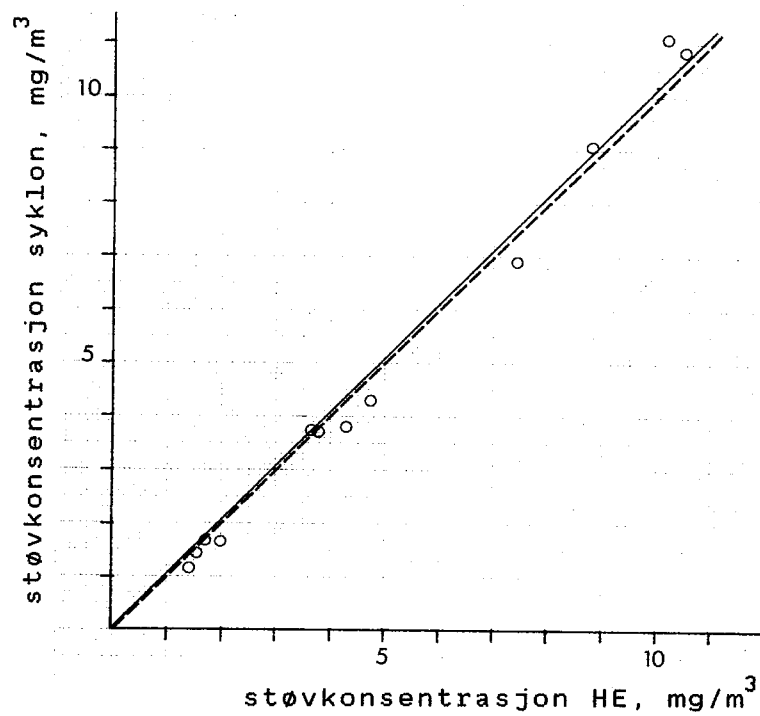
Figur 9: Finstøvkonsentrasjon bestemt med SKC-syklon nr. 5 ved volumstrøm 1,2 l/min som funksjon av finstøvkonsentrasjon bestemt med HE.



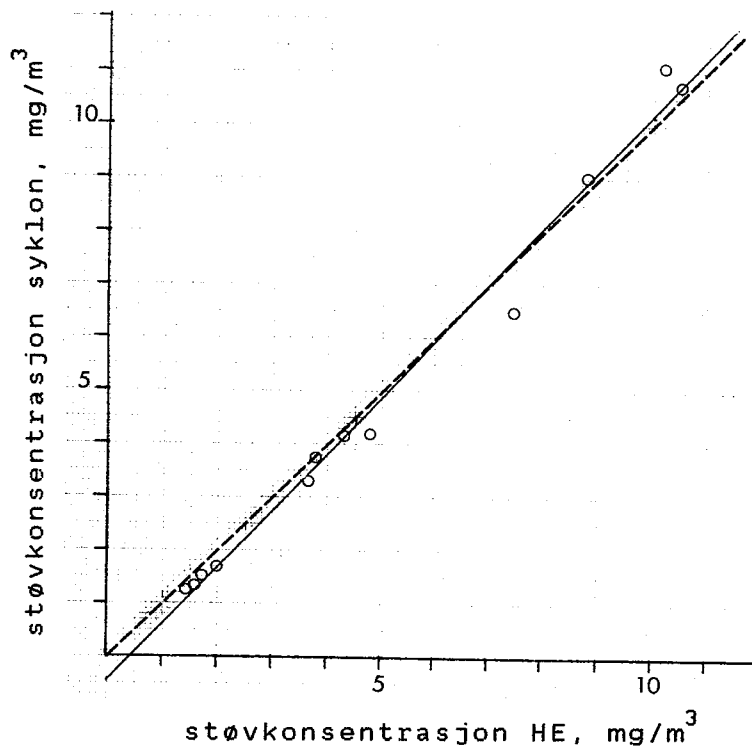
Figur 10: Finstøvkonsentrasjon bestemt med SKC-syklon nr. 17 ved volumstrøm 1,2 l/min som funksjon av finstøvkonsentrasjon bestemt med HE.



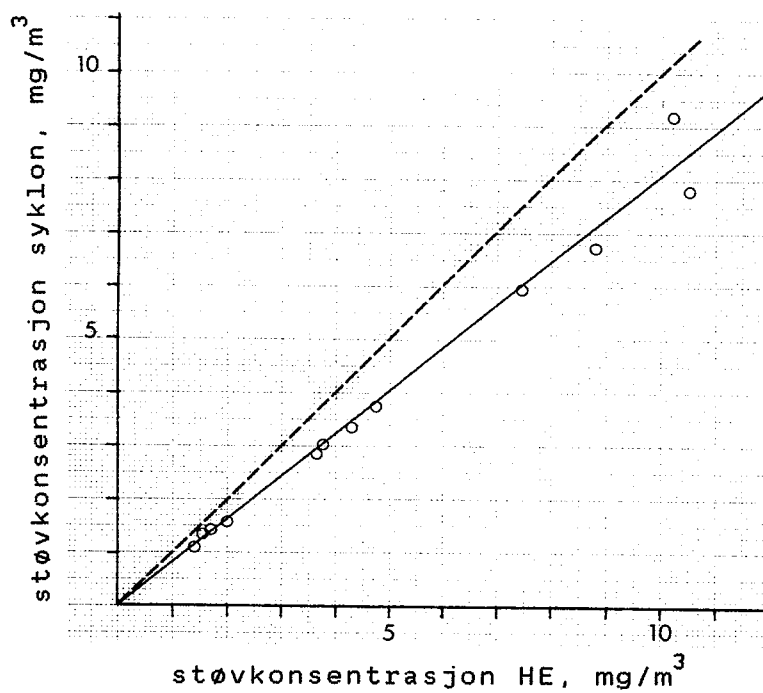
Figur 11: Finstøvkonsentrasjon bestemt med SKC-syklon nr. 39 ved volumstrøm 1,2 l/min som funksjon av finstøvkonsentrasjon bestemt med HE.



Figur 12: Finstøvkonsentrasjon bestemt med SKC-syklon nr. 40 ved volumstrøm 1,2 l/min som funksjon av finstøvkonsentrasjon bestemt med HE.



Figur 13: Finstøvkonsentrasjon bestemt med SKC-syklon nr. 59 ved volumstrøm 1,2 l/min som funksjon av finstøvkonsentrasjon bestemt med HE.



Figur 14: Finstøvkonsentrasjon bestemt med YHI-syklon nr. 4 ved volumstrøm 1,9 l/min som funksjon av finstøvkonsentrasjon bestemt med HE.

Det ble ikke funnet signifikant forskjell mellom SKC-syklonene med 2-veis variansanalyse: $F = 1,29 (4,40)$ og $p > 0,2$.

Resultatene ble analysert med lineair regresjon, se tabell 5.

Y = a + bX ³ (mg/m ³)						
Syklon	a (sd)	a≠0 ?	b (sd)	b≠0 ?	r	N
SKC	-0,61(0,14)	***	1,10(0,02)	***	0,99	59
YHI 4	-0,03(0,20)	-	0,81(0,03)	***	0,99	12

Students t-test: * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

Tabell 5: Lineair regresjon av 5-SKC sykloner og en YHI-syklon (r = korrelasjonskoeffisient)

Som estimat for overensstemmelsen mellom HE, SKC-syklonene og YHI-syklonen ble middelveiden beregnet for alle tre konsentrasjonsområder, se tabell 6.

Finstøvkonsentrasjon feltspat, mg/m ³				
HE	SKC	Δ	YHI	Δ
1,67	1,42	-15%	1,36	-19%
4,12	3,76	- 9%	3,25	-21%
9,24	9,54	+ 3%	7,42	-20%

Tabell 6: Finstøvkonsentrasjon bestemt med HE, 5 SKC-sykloner, og YHI-syklon. Middelveidi av 4 serier, og differansen (Δ) mellom HE og sykloner

4.3.3. Penetrasjon av SKC-syklon i forhold til horisontal elutriator undersøkt med α-kvarts- og olivinstøv

Fem SKC-sykloner og 2 Casella-sykloner (med plast filterkassett) ble testet mot HE med Forhamn kvarts og olivin, begge < 325 mesh. Luftvolumstrømmen var 1,22(0,04) l/min for SKC, 1,85 (0,05) l/min for Casella og 2,55(0,04) for HE under utprøvingen med α-kvarts og 1,20(0,04) l/min for SKC, 1,88(0,03) l/min for Casella og 2,50(0,01) for HE under utprøvingen med olivin. Resultatene går frem av tabell 7 og bilag 5.

Støvtype	Konsentrasjon mg/m ³	Finstøv %	Relativ penetrasjon i forhold til HE (sd)	
			SKC	Casella
feltspat	1,7	59	0,85(0,11)	-
feltspat	4,1	51	0,92(0,07)	-
α-kvarts	2,7	79	0,81(0,15)	0,92(0,11)
olivin	0,9	9	1,34(0,16)	0,97(0,20)

Tabell 7: Relativ penetrasjon i forhold til HE av 5 SKC-sykloner og 2 Casella-sykloner undersøkt med α-kvarts- og olivinstøv.

Forskjellen i relativ penetrasjon av SKC-sykloner undersøkt med olivin er signifikant forskjellig fra penetrasjonen bestemt med feltspat, $p < 0,001$, Wilcoxon-van Elteren-test, 2 sidig.

Forskjellen i relativ penetrasjon av SKC-sykloner undersøkt med α-kvarts er signifikant forskjellig fra penetrasjonen bestemt med feltspat ved 4,1 mg/m³, $p < 0,001$.

4.4. Pulsering av luftvolumstrømmen og effekt på penetrasjonen av SKC-syklonen

Luftstrømpulseringen til forskjellige pumper ble målt med og uten demper, se tabell 8.

Pumpe	N	Luftstrømpulsering, REF %	
		Luftvolumstrøm (sd)	
		1,2 l/min	1,9 l/min
Casella AFC 123	5	11,8(1,7)	8,3(0,2)
- med demper	5	5,3(0,3)	4,0(0,2)
Casella T13055	2	~50	~50
- med demper	2	8,8-9-3	6,8-7,6
DuPont P 2500	1	15,6	10,6
- med demper	1	4,2	3,5
Edwards med suges- kammer og dyser	2	0,34-0,43	

Tabell 8: Luftstrømpulsering til forskjellige pumper med og uten pulseringsdemper (type YHI) og Millipore AAWP filter med porestørrelse 0,8 µm.

Videre ble effekten av filter og støvbelastning på filter på luftstrømpulseringen undersøkt, se tabell 9.

Filter	N	Pulsering REF %	ΔP Pa
Millipore AAWP 0,8 μm	6	13,3 (0,2)	730-820
- med 1 mg feltspat	6	12,5 (0,4)	730-870
Nuclepore, 0,4 μm	1	10,1	1420

Tabell 9: Pulsering av luftvolumstrøm til en Casella-pumpe type AFC 123 ved 1,2 l/min med forskjellige filtere og trykkfall over filterne

Effekten av luftstrømpulseringen på penetrasjonen av SKC-syklonen ble undersøkt ved å sammenligne 5 SKC-sykloner koblet til Casella pumper type AFC 123 uten pulseringsdemper med HE ved ~ 4 mg feltspat/ m^3 . Luftvolumstrømmen var 1,22 (0,032) l/min (N=20). Den midlere relative penetrasjon for 5 SKC-sykloner var 0,820 (0,098) med Casella-pumper type AFC 123 og i forsøkene med Edwards-pumpe, tilkoblet sugekammer med dyser ble funnet 0,916 (0,072). Forskjellen var signifikant, Students t-test, 2-sidig, $p < 0,01$. Se måledata bilag 4 og 6.

4.5. Forskjell mellom posisjoner i støvkammeret

Den relative konsentrasjon av feltspat bestemt med SKC syklon ble beregnet for alle måleserier anført i avsnitt 4.3.2., se tabell 10.

Posisjon	Relativ konsentrasjon middelverdi
1	0,97
2	1,01
3	1,05
4	1,05
5	0,97
6	0,94

Tabell 10: Midlere relative konsentrasjon av feltspat bestemt med SKC-sykloner på posisjon 1-6 i støvkammeret

En-veis variansanalyse viser at forskjellen mellom posisjoner er signifikant, $F = 3,92$ 5,47 df $p < 0,01$, og standardavviket som følge av forskjellige posisjoner = 3,9%.

5. DISKUSJON

5.1. Presisjon

Det ble funnet en signifikant forskjell mellom resultatene fra den indre og den ytre ringen i prøvetakeren for 36 parallelle prøver. Det ble også observert en orienteringseffekt i den første syklon serie og i serien med totalstøv, se tabell 1 og 2. Resultatene fra de to ringene ble derfor behandlet hver for seg. Standardavviket av den ytre ringen i den første syklonserie analysert ved veiing var signifikant høyere enn standardavviket for den indre ringen.

Standardavviket inkluderer syklonens presisjon, presisjon av analysen og presisjon av prøvetakingen. Analysepresisjonen ved bestemmelse av Fe på støvfilter med AAS anslås til 2% og ved veiing til 2,5-3%.

Prøvetakingspresisjonen består av standardavviket på grunn av plassering i prøvetakeren og presisjonen ved bestemmelse av luftvolumet, som anslås til 1%. Standardavviket til plasseringen i prøvetakeren var tenkt estimert ved standardavviket av serien med totalstøvprøver. Det viste seg å være betydelig høyere enn standardavviket til syklonseriene og kunne ikke være representativ som mål for prøvetakerens bidrag til standardavviket. En årsak til den dårlige presisjonen er at en del av støvet løsnet før veiing.

Det samlede (Eng. "pooled") relative standardavviket for to serier og to ringer ble beregnet og de kjente bidrag til standardavviket ble trukket fra. Den øvre grense for SKC-syklonenes presisjon ble beregnet til 5,5% for den totale aerosolen (gravimetrisk), og 4,3% for den Fe-holdige aerosolen (AAS). Hvis analyseresultatene fra den ytre ring i serie 1 ved veiing utelates blir den øvre grense for SKC-syklonenes presisjon 4,5% for den totale

aerosolen. Disse estimatene er innenfor kravet som ble stilt på det siste nordiske aerosolgruppemøte (10).

Totalstøvserien viste en tydelig orienteringseffekt som kan skyldes en betydelig lufthastighet ved innsugningsåpningen til prøvetakeren. Denne effekten ventes å øke med partikkelstørrelse, og resultatene til totalstøvserien var derfor ikke egnet til å bestemme standardavviket mellom posisjoner for syklontestene. Dertil må prøvetakeren utstyres med en foravskiller som fjerner partikler $< 5 \mu\text{m}$. Videre løsnet en del av støvet fra filterne før veiing, noe som ofte er vanskelig å unngå, og må betraktes som en feilkilde i prøvetaking av forholdsvis store partikler.

5.2. Testing i støvkammeret

Det var påvist en betydelig uoverensstemmelse mellom resultater fra utprøving av sykkloner utført ved ASS, Sverige og ved YHI før utprøvingen ble satt igang:

Sverige:	Casella-syklon	$\sim 1,0 \times \text{HE}$
Norge:	Casella-syklon	$\sim 1,4 \times \text{HE}$

Videre var de svenske resultatene bedre i overensstemmelse med litteraturen (6)(7)(8) hvor en god overensstemmelse mellom Casella-syklonen (eller Higgins-syklonen) og HE ble funnet. Årsaken til uoverensstemmelse mellom norske og svenske syklontester måtte klarlegges først. Det fantes følgende forskjeller mellom forsøksbetingelsene:

	norsk	svensk
pakking av støv	løst	hard
statisk ladning	fjernes	fjernes ikke
pumpe	Casella T13055	stasjonær + dyser
pulsering	~ 5% REF	~ 0% REF
rotasjon	ja	nei

Tabell 11: Forskjeller i forsøksbetingelser i norske og svenske sykklon tester.

Ved de videre forsøkene ble en ekstern pumpe benyttet for å sikre en mer stabil luftvolumstrøm med lav pulsering. Rotasjon av pumpene kunne da ikke foretas, og enhetene byttet plass for hvert forsøk. En mulig forklaring for forskjellen var at ved løs pakking kunne det dannes løse aggregater, som ble adskilt i HE, men ble revet fra hverandre i sykklonen med en større finstøvandel tilfølge. Effekten av løs og hard pakking av støvet i støvgenerator ble studert, se tabell 3 og 4. Aggregattellingene kunne tyde på at det kunne være tilfelle, men effekten var liten. Gravimetrisk forsøk kunne ikke bekrefte dette. Det ble forøvrig funnet at penetrasjonen av to YHI-sykloner var ~ 0,8 x HE og det var betydelig lavere enn det som var funnet før, se tabell 12.

Syklon	Relativ konsentrasjon av finstøv i forhold til HE, middelveidi(sd)	N
YHI 1	0,97 (0,15)	21
YHI 4	0,97 (0,12)	22
Casella 1	1,40 (0,25)	17
Casella 2	1,38 (0,24)	17

Tabell 12: Relativ konsentrasjon av finstøv av 2 YHI- og 2 Casella-sykloner funnet av Bruun et al (3).

Videre var penetrasjonen av SKC-syklonene $\sim 0,7 \times HE$. Forutsetter vi at forholdet mellom YHI- og Casella-syklonene er det samme under de nå rapporterte forsøk, ville penetrasjonen av Casella-syklonen ha vært $\sim 1,1 \times HE$. (Casella-syklonene kunne ikke benyttes fordi vi manglet gummistriker).

Det ble ikke gjort flere forsøk, fordi en anså at overensstemmelsen av våre resultater med de svenske var akseptabel. Følgende faktorer ble vurdert for å forklare hvorfor resultatene nå er såpass forskjellige, men en klar årsak ble ikke funnet:

- Pakking av støv har liten innflytelse (det er lettere å innstille støvkonsentrasjonen).
- Luftvolumstrømmen av Casella-pumper synker under måling med flowmeter. I virkeligheten er luftvolumstrømmen høyere og samles mere støv. Men samtidig blir en større del av støvet adskilt som grovstøv. Feilen i finstøvkonsentrasjon p.g.a. større volumstrøm blir derfor i betydelig grad kompensert.

- Pulsering av luftvolumstrømmen kan ha ført til lavere penetrasjon av sykklonene i forsøkene til Bruun et al (3).
- Lekkasje i HE kan forklare forskjellen, men det er usannsynlig at to HE lekker like mye: ved sammenligning mellom norsk og svensk elutriator ble det funnet god overensstemmelse (3).
- Veiling ble nå utført i klimatisert veierom, mens dette tidligere ikke var tilfelle. Dette har nok ført til bedre presisjon av analysen, men det er uklart om nøyaktigheten kan ha blitt endret vesentlig.

5.3. Penetrasjon av SKC-syklonen i forhold til horisontal elutriator som funksjon av luftvolumstrøm

Penetrasjonens avhengighet av luftvolumstrømmen er tilnærmet lineær når resultatene fremstilles grafisk med logaritmisk skala for begge variabler. Ekstrapolering til penetrasjon = 1,0 gir luftvolumstrøm = 1,12 l/min. Resultatene fra forsøkene med hard og løs pakking av støv i generatoren ligger derimot noe høyere og derfor ble 1,2 l/min valgt for de videre forsøk. Resultatene fra utprøvingen med $\sim 10 \text{ mg/m}^3$ viste bra overensstemmelse, og derfor ble luftvolumstrømmen ikke endret mere.

5.4. Penetrasjon av SKC sykklonen i forhold til horisontal elutriator ved 1,2 l/min.

Resultatene med feltspat viser at penetrasjonen av SKC-syklonene øker med støvkonsentrasjonen. Dette ventes også teoretisk (9), men det er en effekt som opptrer ved betydelig større støvbelastninger. Samtidig med utprøving av SKC-syklonene ble en YHI-syklon testet. YHI-syklonen viser ingen endring i penetrasjon ved økende støvkonsentrasjon. Dette er heller ikke funnet i utprøvinger av Casella-sykloner som er foretatt i Sverige (10). Det er vanskelig

å velge luftvolumstrøm for SKC-syklonen fordi overensstemmelse i et konsentrasjonsområde vil medføre feil i andre konsentrasjonsområder. Ved 1,2 l/min er penetrasjonen 9-15% lavere enn HE for feltspat ved 1,5-4 mg/m³. Forsøkene med α -kvarts og olivin viser signifikant forskjellige resultater fra feltspatforsøkene, se tabell 7. Derimot er resultatene fra 2 Casella-sykloner i god overensstemmelse med HE. En mulig forklaring for SKC- penetrasjonen er at en del ikke respirable partikler penetrerer syklonen. Penetrasjonen av SKC syklonen vil da øke med grovstøv-andelen, og dette ble også observert. Dette kan undersøkes ved kalibrering med monodisperse partikler, men kun ved lav støvbelastning.

SKC-syklonene oppfyller ikke kravet om <5% intersyklon variasjon sammenlignet med Casella-syklonene ved forsøkene med α -kvarts og olivin. Siden Casella-syklonene er i god overensstemmelse med HE er det sannsynlig at SKC-syklonene ikke viser riktig resultat.

Hvorvidt de avvikene fra HE som er funnet i denne undersøkelsen spiller en avgjørende rolle i praktisk prøvetaking, kan neste trinn i utprøvingen vise, hvor SKC sykloner skal sammenlignes med HE i forskjellige arbeidsmiljø.

Et vesentlig spørsmål er hvorfor SKC syklonen viser dårligere karakteristikk enn de andre syklonene. Ved å skjære over en SKC-syklon ble det observert vesentlig dårligere maskinering av syklonen, særlig i hullene for luftinntak. Videre er luftinntaket ikke tangensielt plassert, men \sim 0,3 mm forskjøvet mot sentrum.

5.5. Pulsering av luftvolumstrømmen

Pulsering av luftvolumstrømmen ble i denne undersøkelsen målt med et termoanemometer. Det gir et mer direkte mål enn måling av pulsering av trykket som ble utført i den forrige undersøkelsen (3). Det anbefales at pulseringen

skal være < 10% REF (1)(11). Casella- pumpene av type AFC 1 2J viste en pulsering på 12-13% REF ved 1,2 l/min. Det ble utført en forsøksserie med Casella-pumper uten pulseringsdemper for å studere effekten av luftstrømpulseringen. Resultatene viste at den relative penetrasjonen med pulsering av luftvolumstrømmen var signifikant lavere enn penetrasjonen uten pulsering (0,82 mot 0,92). Det er derfor viktig å dempe luftstrømpulseringen mest mulig, og pulseringsdemper må anvendes.

6. KONLUSJONER

- Presisjonen av 61 SKC-sykloner var < 4,5% undersøkt med støperiaerosol.
- Penetrasjonen av SKC-syklonen øket med støvkonsentrasjon. En YHI-syklon viste ikke denne avhengigheten.
- Ved 1,2 l/min samlet SKC-syklonen 9-15 % mindre feltspatstøv enn HE i området 1,5-4 mg/m³. Ved ~10 mg/m³ er SKC-syklonen i overenstemmelse med HE.
- SKC-syklonen viser betydelige avvik fra horisontal elutriator og Casella sykkloner ved prøvetaking av α -kvarts og olivin.
- SKC-syklonen må testes ytterligere i arbeidsmiljøer mot horisontal elutriator for å studere konsekvensene av de forskjeller som er funnet i støvkammerforsøkene.

7. LITERATUR

1. Alenius S. En method för jämförelse av pulserende, små luftflöden. Arbetarskyddsstyrelsen, Undersökningsrapport AMTV 105/75
2. Bruun R, Endresen T, Gylseth B, Messel S. Testkammer for støv. Konstruksjon og virkemåte. Yrkeshygienisk institutt, HD 837/80
3. Bruun R, Gylseth B, Hansen R og Jahr J. Sammenligning av avskillingskarakteristikk for to typer sykkloner og horisontal elutriator. Yrkeshygienisk institutt, HD 867/81
4. Dunmore JH, Hamilton RJ Smith DSG. J sci instrum 41 (1964) 669-672
5. Eduard W, Fjeldstad PE, Nagy K, Thomassen Y. Prøvetaking av parallelfiltre for kvalitetskontroll av fysikalsk/kjemiske målinger. 32. Nordiske Yrkeshygieniske møte, 1983 Stockholm.
6. Gwatkin G, Ogden TL. The SIMPEDS respirable dust sampler. Colliery guardian, june 1979.
7. Higgins RI, Dewell P. A gravimetric size-selecting dust sampler. In Davies CN ed. Inhaled particles and vapours II Pergamon, London 1967, pp 575-585.
8. Maguire BA, Barker D, Wake D. Size-selection characteristic of the cyclone used in the SIMPEDS 70 MK 2 gravimetric dust sampler. Staub 33 (1973) 95-98.

9. Mothes H, Löffler F. Zum Einfluß der Partikelagglomeration auf die Abscheidung im Gaszyklon. Staub 44 (1984) 9-14.
10. Referat fra Nordisk aerosolgruppemøte, Oslo 1982
11. Åkeson E, Wikström C, Stridh G, Lundgren B. Evaluation program for personal sampling pumps. SP-RAPP 1980:30-E. National Testing Institute, Box 857, S-501 15 Borås.

BILAG**Bilag 1: Bruksanvisning for SKC-sykloner**

PRØVETAGNING AV RESPIRABELT STØV MED SYKLON TYPE SKC

1. INNLEDNING

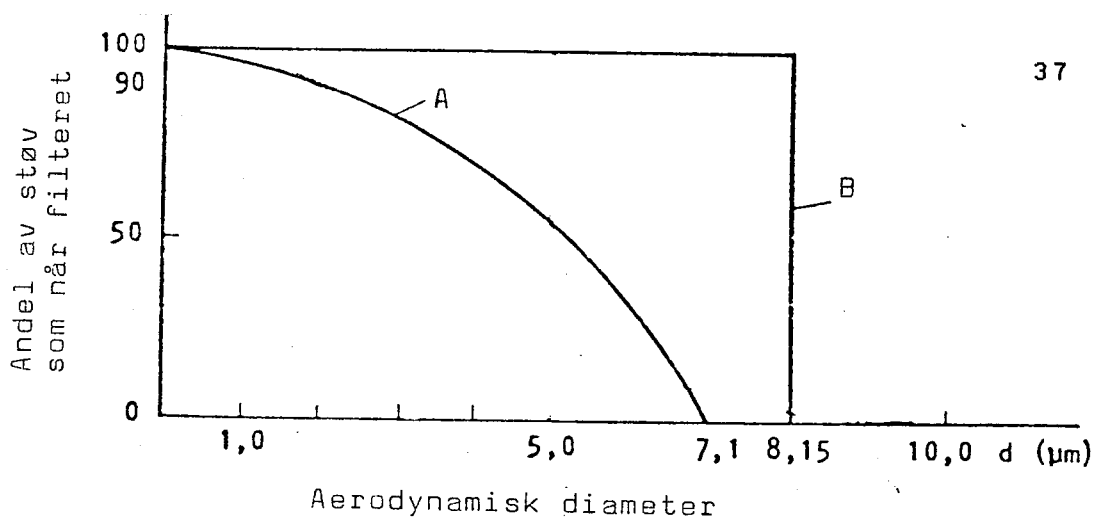
Prøvetagningen foregår stort sett på samme måte som for bestemmelse av totalstøv (1), bortsett fra at en syklon monteres på inntakssiden av filterholderen.

Prøvetagning av respirabelt støv, dvs. støv som kan deponeres i lungeblærene, forutsetter bruk av en forutskiller, f.eks. syklon. I syklonen deles støvet i to partikkelfraksjoner, en grovfraksjon og en finfraksjon. Grovfraksjonen avsettes på syklonens innervegg eller faller ned i en beholder, mens den respirable fraksjonen avsettes på et filter.

Inne i syklonen utnyttes sentrifugering som separeringsmetode, og separeringen i de to partikkelfraksjonene beror på partiklenes densitet (tetthet), hastighet, aerodynamiske egenskaper samt luftens bevegelser i syklonen. Det er derfor viktig at lufthastigheten holdes på foreskrevet nivå tilsvarende 1,2 l/min.

I de administrative normer (2) er angitt at forutskilleren skal ha en karakteristikk som følger den såkalte Johannesburger-konvensjonen. Denne konvensjonen definerer begrepet respirabelt støv som vist i figur 1. I henhold til konvensjonen skal syklonen ikke slippe gjennom partikler med en aerodynamisk diameter større enn 7,1 μm . Av partikler med en aerodynamisk diameter større enn 5 μm skal syklonen slippe gjennom 50%.

Med aerodynamisk diameter menes diameteren til en sfærisk partikkel med densitet 1 g/cm^3 som i luft har samme fallhastighet som den aktuelle partikkel. Denne parameteren brukes fordi den beskriver best hvor støv deponeres i respirasjonsorganene.



Figur 1. Adskillelseskurve ifølge Johannesburgkonvensjonen

Kurve A viser sannsynligheten for at en partikkel slipper gjennom syklonen før det samles opp på et filter.

Til sammenligning er den teoretiske sedimenteringen av kvartspartikler i vann (finfraksjonen) angitt med kurve B. Den forholdsvis skarpe fraksjoneringen ved en aerodynamisk diameter på 8,15 µm motsvarer en sfærisk kvartspartikkel med diameter på 5 µm. Kvarts har en densitet på 2,65 g/cm³.

2. FILTERHOLDER OG FILTER

Filteret plasseres i en filterholder. De ulike deler og deres navn er vist på nedenstående figur 2 og 3.

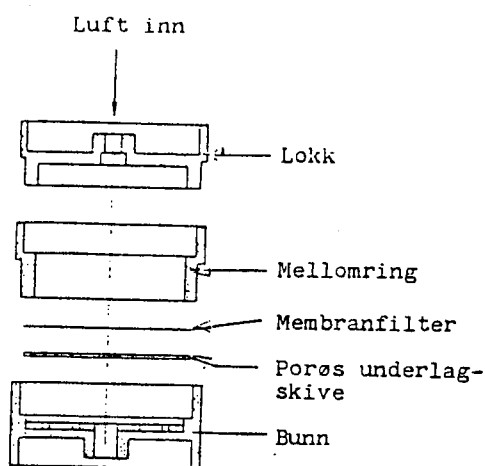


Fig. 2 Filterholder av plast, vist i deler
Målestokk ca. 1:1,25

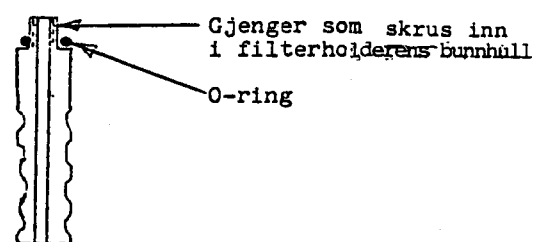


Fig. 3 Slangestuss

2.1 Filter

Filterets porestørrelse kan være maksimalt 8 μm for støv. Arbeidstilsynet anvender stort sett Millipore AAWP, 37 mm diameter og porestørrelse 0,8 μm . Dette filteret har tilfredsstillende filtreringsegenskaper, akseptabelt trykfall, gode håndteringsegenskaper og holder også røyk effektivt tilbake. Dette eller lignende filtre av annet fabrikk anbefales.

2.2 Veiling av rent filter

Veiling utføres på samme måte som for bestemmelse av totalstøv.

2.3 Montering av sykklon før prøvetagning

Umiddelbart før prøvetagningen blir sykklonen (figur 4) påmontert filterholderen i støvfri atmosfære. Fjern først filterholderens lokk og press sykklonen inn i filterholderen (fig. 5). Påse at sykklonens tetningsring (O-ring) er uskadd. Monter deretter filterholderen med sykklon i metallholderen (figur 6). Påse at knasten på sykklonens underside er plassert i metallholderen med sykklon i metallholderens utsparring. Pumpens slangestuss (figur 3) skrues inn i filterholderens bunn.

2.4 Veiling av støvbelagt filter

Veiling av filteret utføres på samme måte som for bestemmelse av totalstøv. Etter at sykklonen er fjernet og filterholderen demontert, påse at støvdeponeringens ytre kant er jevn og skarp. De ytterste millimetre på filterkanten skal være ren og hvit.

