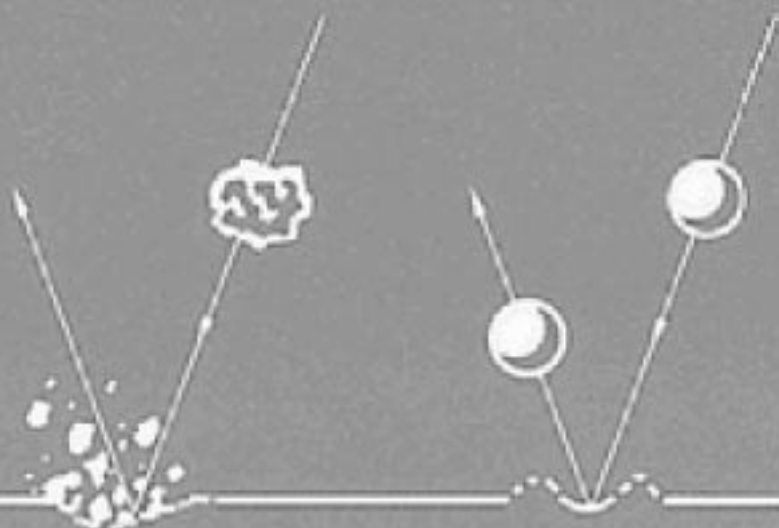


Miljøprojekt nr. 147

1990

Blæserensningsmetoder



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Miljøprojekt

- Nr. 90: Nikkelafgivelse fra metallegeringer
- Nr. 91: Algetoksicitetstest
- Nr. 92: CFC-forbrugsmønster i Danmark
- Nr. 93: Mikrobiel nedbrydning af miljøfremmede stoffer i grundvand
- Nr. 94: Genanvendelse af madaffald fra storkøkkener i København
- Nr. 95: Bundfaunaundersøgelser som redskab til overvågning
- Nr. 96: Svovlbrintedannelse og -kontrol i trykledninger
- Nr. 97: Renere teknologi i fiskeindustrien
- Nr. 98: Renere teknologi i træ- og møbelbranchen
- Nr. 99: Kompostering af haveaffald i Frederiksborg Amt
- Nr. 100: Hazard Assessment of 1,1,1 - Trichloroethane
- Nr. 101: Organiske opløsningsmidler i husholdningsprodukter
- Nr. 102: Fuglefaunaen på konventionelle og økologiske landbrug
- Nr. 103: Sprøjtefri randzoner i kornmarker
- Nr. 104: Miljøforbedring ved hovedseparation i rejepilleindustrien
- Nr. 105: Forbrug af og forurening med bly i Danmark
- Nr. 106: Haloner
- Nr. 107: Galvanisk overfladebelægning uden affald og spildevand
- Nr. 108: Madaffald fra storkøkkener
- Nr. 109: Erstatningsstoffer for fosfat – spredning og effekter i miljøet
- Nr. 110:olie/kemikalieaffald – en spørgeskemaundersøgelse
- Nr. 111: Undersøgelser af vejledende pyritgrænseværdier
- Nr. 112: Kvantitative og kvalitative kriterier for risikoaccept
- Nr. 113: Storskrald og haveaffald
- Nr. 114: Papirindsamling via specialcontainere og genbrugsstation
- Nr. 115: Vandmiljøplanens overvågningsprogram
- Nr. 116: Renere teknologi i svine- og kreaturslagteribranchen
- Nr. 117: Dioxinmission ved affaldsforbrænding
- Nr. 118: Klorkilders betydning for dioxindannelse ved forbrænding
- Nr. 119: Okkerrensning i forbindelse med landbrugsmæssig dræning
- Nr. 120: Kontrol af køretøjer med katalysator
- Nr. 121: Forurenede industrigrunde
- Nr. 122: Indsamling af papir og pap fra erhvervsvirksomheder
- Nr. 123: Risikovurdering af forurenede grunde
- Nr. 124: Vedligeholdelse af køle-smøremidler
- Nr. 125: Fugleføde i kornmarker – insekter og vilde planter
- Nr. 126: Miljøvenlige malematerialer i jernindustrien
- Nr. 127: Miljøfremmede, organiske stoffer i kommunalt spildevand
- Nr. 128: Nedsivning fra byggeaffald
- Nr. 129: Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald - del 1
- Nr. 130: Forureningsfri galvanomaskiner til værkstedsbrug
- Nr. 131: Miljøvurdering af PVC og udvalgte alternative materialer
- Nr. 132: PVC i kontorartikler, sundhedssektor m.v.
- Nr. 133: PVC i byggeri og anlæg
- Nr. 134: PVC i emballage
- Nr. 135: Hjemmekompostering
- Nr. 136: Bearbejdning af danske måledata af regn og afstrømning
- Nr. 137: Regulering af forurening fra afløbssystemer under regn
- Nr. 138: Renere teknologi på energiområdet
- Nr. 139: Afvask af trykpresser med sojaolie
- Nr. 140: Vandige materialer til korrosionsbeskyttelse
- Nr. 141: Det grønne affaldssystem i AFAV
- Nr. 142: Det grønne affaldssystem i Høng
- Nr. 143: Katodisk elektrodyppemaling
- Nr. 144: Reparationsmaling af automobiler
- Nr. 145: Genanvendelse af nedknust tegl
- Nr. 146: Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding 1
- Nr. 147: Blæserensningsmetoder

Miljøprojekt nr. 147

1990

Blæserensningsmetoder

Undersøgelse af mindre forurenende
blæserensningsmetoder for stålkonstruktioner

Niels Lund Jensen
Marianne Rachlitz

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Miljøstyrelsen vil, når lejlighed gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Denne rapport er finansieret af Rådet vedr. genanvendelse og mindre forurenende teknologi i forbindelse med gennemførelsen af »Udviklingsprogram for renere Teknologi 1987-1989«.

Indhold

	English summary	Side 5
0.	Resumé	7
1.	Indledning og formål	9
2.	Konklusion	11
2.1	Blæserensningsmetoder	11
2.2	Forespørgsel til entreprenører	13
2.3	Økonomi	13
2.4	Miljø	14
2.5	Eksperimentel del	15
2.6	Sammenfatning	18
3.	Blæserensning	21
4.	Metoder: Udstyr og anlæg	23
4.1	Tør fristråleblæsning	23
4.2	Våd fristråleblæsning	24
4.3	Fugt fristråleblæsning	25
4.4	Slamfristråleblæsning	26
4.5	Højtryksspuling	27
4.6	Vakuumblesning, fristråleblæsning med tilbagesug	27
4.7	Slyngrensning	28
4.8	Mobile slyngrensningsanlæg	30
4.9	Stationære anlæg til tør fristråleblæsning	31
4.10	Blæsekabiner	33
5.	Materialer: Blæsemidler	35
5.1	Alment	35
5.2	Blæsemiddelter, standarder	38
5.3	Gennemgang af gængse blæsemiddelter	39
5.4	Forsøg med utraditionelle blæsemidler	44
6.	Status i virksomhederne	45
6.1	Omsætning af blæsemidler	45
6.2	Årsproduktion, metoder og blæsemidler	47
6.3	Blæsemetoder	49
6.4	Blæsemidler	50
7.	Miljøbelastning ved blæserensning	53
7.1	Sønderdelingstilbøjeligheden	53
7.2	Indhold af skadelige stoffer i blæsemidlerne	55
7.3	Indhold af skadelige stoffer i det afrensede materiale	56
7.4	Forbrug af blæsemiddel	57

8.	Økonomi	59
8.1	Eksempel I. Slyngrensning ctr. fristråle i stort anlæg	59
8.2	Eksempel II. Slyngrensning ctr. fristråle i mindre anlæg	61
8.3	Eksempel III. Fristråleblæsning med forskellige blæsemidler	62
9.	Eksperimentel del	65
9.1	Kemiske indholdsanalyser i mineralske blæsemidler	66
9.2	Fysiske egenskaber for mineralske blæsemidler	67
9.3	Nedbrydning af mineralske éngangs-blæsemidler	68
9.4	Nedbrydning af genanvendelige blæsemidler	74
9.5	Støvbelastning ved forskellige blæserensningsmetoder	75
9.6	Renseeffekt for forskellige blæsemidler	79
9.7	Renseeffekt for forskellige blæserensningsmetoder	81
10.	Litteraturliste	85
11.	Bilag:	
1.	Korrosion og forbehandling	89
2.	Beregning af faldhastighed for partikel i stillestående luft	95
3.	Kemisk indholdsanalyse for udvalgte naturlige mineralske blæsemidler	97
4.	Kemisk indholdsanalyse for udvalgte mineralske blæsemidler	99
5.	Forekomst af α -kvarts og støv $\phi < 10 \mu\text{m}$ i udvalgte naturlige mineralske blæsemidler	103
6.	Fysiske karakteristika for udvalgte kunstige mineralske blæsemidler	105
7.	Nedbrydning af udvalgte mineralske blæsemidler i sandknuser	109
8.	Procedure ved optagelse og vejning af støvprøver	111
9.	Metode og procedure ved optisk tælling og bestemmelse af kornstørrelsesfordeling for partikler $< 105 \mu\text{m}$	113
10.	Nedbrydning af udvalgte genanvendelige blæsemidler	117
11.	Støvbelastning ved forskellige blæserensningsmetoder	121
12.	Analyse af blyindhold i udvalgte støv- og vandprøver	129
13.	Renseeffekt for udvalgte blæsemidler	131
14.	Overfladestruktur og blæsemiddelrester	135
15.	Oversigt over prøveplader til eksponering, analyse og viderebehandling	139
16.	Renseeffekt for udvalgte blæserensningsmetoder	140
17.	Eksponering af malede prøveplader	141

English summary

5 types of commercial blast cleaning equipment, 4 types of mineral abrasives and some recyclable abrasives have been selected for testing on the basis of a literature study, enquiries to suppliers of equipment and abrasives.

One time abrasives have been investigated regarding their chemical contents, physical properties and break-down tendency and finally their cleaning effect.

The recyclable abrasives have been examined with regard to their length of life.

The various blast cleaning methods have been tested for dust-formation and cleaning effect, and the economy has been estimated.

The investigation shows that the slag abrasives have very different chemical contents and they contain a row of heavy metals in various compounds.

The abrasives have different physical properties with regard to density, cutting rate and shape before and after blasting.

During blasting abrasives such as silica sand, coal slag and olivin sand are so demolished, that half of the material has a diameter of less than 0.25 mm on completion. The corresponding figure for copperslag is only 25%.

The natural mineral abrasives contain a relatively great amount of respirable dust before use.

In the blasting proces using natural and artificial mineral abrasives, roughly the same amount of respirable dust is created. One exception is coalslag, which has a higher formation of fine dust.

The cleaning rate for the tested abrasives varies significantly within and between the types.

Within the same type of abrasives the rate can vary 25%-50% according to grain size distribution.

The nature of the substrate has a great impact on the cleaning rate. A relative difference of 300% has been recorded.

The lifetime of recyclable abrasives varies significantly within the same type.

The tested blast cleaning methods (blasting with dry abrasives, blasting with water, or blasting with a combination of water and sand), create very different amounts of dust - from 0 to 70 mg respirable dust/m³ air.

The cleaning rate depends on the methods as well as the type of surface to be cleaned. Choice of suitable method depends on the nature of the job.

Economically speaking, there are great advantages if the units can be cleaned in the shop, especially if the proces can fit in to centrifugal blast cleaning equipment.

With outdoor blasting methods the costs are primarily dependent on the type of the job.

There exists a category of blasting equipment, which has the common feature that it, to greater or lesser extent, can fulfil the wish for dustfree blasting.

Four methods can be identified:

- Vacuum blasting: No dust formation and cleaning operations, but heavy reduction in the cleaning rate.
- Wet blasting: Heavy reduction in dust formation, unchanged cleaning rate, but formation of rust and cleaning problems.
- Blasting with high pressure water (2000-2500 bars): No dust formation, removal of salts, no cleaning problems, but rustformation and very heavy reduction in cleaning rate.
- Blasting with high pressure water, with abrasive: No dust formation, small reduction in cleaning rate, removal of salts, but cleaning problems and formation of rust.

Consequently there is no universal alternative method to dry blasting, but several methods each with advantages and disadvantages can be consider as alternatives. The use of alternative methods often require an open mind and a flexible approach.

In prolongation of this work, a series of demonstration projects will be carried out with the aim of judging the methods on a full scale.

0. Resumé

På basis af litteraturundersøgelse og forespørgsler til leverandører af blæserensningsudstyr og blæsemidler, er der udvalgt 5 kommercielle blæserensningsudstyr, 4 typer mineralske éngangsblæsemidler samt nogle genanvendelige blæsemidler til afprøvning.

Éngangsblæsemidlerne er undersøgt med hensyn til kemisk indhold, fysiske egenskaber samt tilbøjelighed til nedbrydning og renseseffekt.

De genanvendelige blæsemidler er undersøgt med hensyn til levetid.

De forskellige blæserensningsmetoder er undersøgt for støvbelastning samt renseseffekt.

Der er foretaget en vurdering af økonomien ved de alternative metoder og midler i forhold til fristråleblæsning med kvartssand.

Undersøgelserne viser, at slaggeprodukter har varieret kemisk sammensætning og at de indeholder en række tungmetaller i forskellige forbindelser.

Blæsemidlerne har forskellige fysiske egenskaber hvad angår specifik vægtfylde, kornform før og efter blæsning samt slibeeffekt på ståloverfladen.

Under blæseprocessen nedbrydes kvartssand, kulslagge og olivinsand så meget, at ca. halvdelen af materialet er under 0,25 mm efter blæsningen, medens kun 25% er under 0,25 mm ved blæsning med kobberslagge.

De naturlige mineraler (bjergarter) indeholder en stor del respirabelt støv før brug. Ved blæsningen med såvel naturlig som kunstige (højovnsslagge) mineralske midler dannes stort set samme mængde respirabelt støv med undtagelse af kulslaggen der klart har den stærkeste tendens til dannelse af finstøv.

Renseshastigheden for de afprøvede blæsemidler varierer mellem og indenfor typerne.

Indenfor samme type kan hastigheden variere 25-50%, afhængig af kornstørrelse.

Underlagets beskaffenhed har betydning for de indbyrdes renseshastigheder. Der er målt op til 300% forskel.

Levetiden for de genanvendelige blæsemidler varierer betydeligt indenfor samme type.

De afprøvede blæserensningsmetoder - blæsning med tørt blæsemiddel, blæsning med vand eller blæsning med kombination af vand og sand - giver ved den anvendte prøveopstilling meget varierende støvbelastninger svingende fra 0 til 70 mg respirabelt støv/m³ luft.

Renseshastigheden er afhængig af både metode og type overflade der skal renses, således at valg af hensigtsmæssig blæserensningsmetode skal ses i lyset af opgavens art.

Økonomisk viser det sig, at der er store fordele at hente hvis emnerne kan renses i værksted, især ved slyngrensning.

Ved udendørs metoder afhænger omkostningerne især af opgavetypen.

Der findes en række kommercielt tilgængelige udstyr med det fælles træk at de i større eller mindre grad kan opfylde ønsket om støvfri blæsning.

Der kan skelnes mellem 4 metoder:

- Blæsning med tilbagesug: Ingen støvbelastning og rengøring, men kraftig reduktion i renehastighed.
- Blæsning med våd fristråle: Kraftig reduktion af støvbelastningen, uændret renehastighed, men nyrustdannelse og rengøringsproblemer.
- Blæsning med højtryksvand (2000-2500 bar): Ingen støvbelastning, fjernelse af salte og ingen rengøringsproblemer, men nyrustdannelse og kraftig reduktion i renehastighed.
- Blæsning med højtryksvand tilsat blæsemiddel: Ingen støvbelastning, lille reduktion i hastighed, fjernelse af salte, men rengøringsproblemer og nyrustdannelse.

Der er altså ikke et klart universelt alternativ til tør fristråleblæsning, men en række alternativer der hver især har en række fordele og ulemper.

Anvendelse af de alternative metoder kræver således nytænkning og omstilling fra gængs praksis.

I forlængelse af dette arbejde gennemføres en række demonstrationsprojekter, hvis formål er at belyse metodernes anvendelighed i praksis.

1. Indledning og formål

Nærværende projekt er udført indenfor Miljøstyrelsens program for renere teknologi i perioden 1987-1989.

I projektet var nedsat en styregruppe med følgende medlemmer:

Peter Gammeltoft, Miljøstyrelsen
Karsten Skov, Miljøstyrelsen
Bent Brask, Industriens Arbejdsgivere
Lisbeth Seedorf, Arbejdsmiljøinstituttet
Ago Saarnak, NIF
Niels Rask Nielsen, J.C. Hempel's Skibsfarvefabrik A/S
Søren Nysteen, J.C. Hempel Holding A/S
Søren Bohse Hendriksen, J. Hassing & Søn
Bendt Mortensen, Rambøll & Hannemann
Peter Svane, TI/Overfladeteknik

Korrosionsbeskyttelse af stålkonstruktioner med organiske eller uorganiske belægninger udføres i dag kun efter en forbehandling af overfladen.

Der behandles årligt et areal af størrelsesordenen 15 mio. m², hvoraf størsteparten forbehandles helt eller delvis ved blæserensning.

Dette giver et årligt forbrug af blæsemidler af størrelsesordenen 200.000 t beregnet som éngangsblæsemidler.

Blæserensning har været anvendt industrielt siden århundredeskiftet. I starten kun som fristråleblæsning, men i takt med kravene til rationel drift og senere til in- og eksternt miljø bliver en stadig større del af arbejdet udført i lukkede stationære anlæg.

En betydelig andel af arbejdet udføres fortsat udendørs ved fristråleblæsning med éngangsblæsemidler, primært kvartssand.

I de senere år er der i Danmark markedsført blæserensningsudstyr der arbejder efter metoder der skulle reducere støvgenerne ved blæsning.

Ligeledes er der et voksende udbud af blæsemidler der skulle kunne reducere sundhedsrisici ved indånding af støv samt i visse tilfælde reducere selve støvdannelsen.

Det er projektets formål at definere og beskrive de eksisterende blæserensningsmetoder og vurdere den potentielle, miljømæssige belastning der er forbundet med de enkelte metoder og blæsematerialer.

Projektet er inddelt i 2 faser. En teoretisk og en eksperimentel del.

Fremgangsmåden i 1. fase:

- Litteraturundersøgelse
- Forespørgsel til blæsemiddelleverandører om udbud og dokumentation
- Forespørgsel til udstyrsleverandører om udbud og dokumentation
- Forespørgsel til entreprenører om status i branchen
- Besigtigelse af arbejdende udstyr
- Beskrivelse af udstyr

- Beskrivelse af blæsemidler
- Beregninger over støvspredning
- Økonomioverslag

Fremgangsmåden i 2. fase:

- Undersøgelse af mineralske blæsemidler med hensyn til kemiske og fysiske egenskaber samt nedbrydningstendens
- Undersøgelse af genanvendelighed for mineralske og metalliske blæsemidler
- Undersøgelse af forskellige blæserensningsmetoder og -midler med hensyn til støvbelastning og renseeffekt.

2. Konklusion

2.1 Blæserensningsmetoder

Der eksisterer i dag en række kommercielt tilgængelige blæserensningsmetoder, der bygger på et af følgende principper:

- blæsning med tørt blæsemiddel
- blæsning med vand
- blæsning med en kombination af sand i vand eller vand i sand.

Der kan skelnes mellem følgende typer:

1. Tør fristrålblæsning: Blæsemidlet accelereres pneumatisk og slynges mod emnet via en dyse.
2. Slyngrensning: Blæsemidlet accelereres ad mekanisk vej og slynges mod emnet via et skovlhjul.
3. Vakuumblesning, fristrålblæsning med tilbagesug: Blæsemidlet accelereres som ved tør fristrålblæsning, men blæsestedet er afskærmet med kappe som er tilsluttet et kraftigt støvsugeraggregat hvorved støv og brugt blæsemiddel suges bort.
4. Højtryksspuling: Blæsemidlet, her vand, fremføres under højt tryk ved
 - a. 100-200 bar, op til 60 l/min.
 - b. ca. 500 bar, op til 50 l/min.
 - c. ca. 700 bar, op til 45 l/min.
 - d. >1400 bar, op til 20 l/min.og slynges mod emnet via én eller flere dyser.
5. Højtryksspuling med blæsemiddeltilsætning: Vand fremføres under højt tryk (500-700 bar) til en ejektordyse hvor blæsemidlet suges ind i vandstrømmen, hvorefter blandingen via en dyse slynges mod emnet.
6. Våd fristrålblæsning: Blæsemidlet fremføres som ved tør fristrålblæsning og undervejs tilføres vand under tryk (5-50 bar) i en mængde på 0,5-10 l/min. Våd fristrålblæsning udføres også med udstyr hvor vandet er tilsat blæsemidlet i trykbeholderen (slamlæsning) og udstyr hvor vandet først tilsættes efter dysen.
7. Fugt fristrålblæsning: Blæsemidlet fremføres som ved tør fristrålblæsning og tilsættes en meget lille vandmængde 0,2-0,3 l/min., der er forstøvet til en fin tåge i sand/luftblandingen.

Som blæsemiddel anvendes hovedsagelig:

- mineralske éngangsblæsemidler (udendørs og indendørs) herunder kvartssand, kobberslagge og kulslagge.
- metalliske genanvendelige blæsemidler (indendørs) herunder stål og jern.

Der er stor forskel på jern- og stålblæsemidlernes genanvendelighed (teoretisk standtid). Anlægstypen, anlagsenergien og justering af regenereringsenhed er ligeledes af stor betydning for levetiden af blæsemidlerne.

De kommercielt tilgængelige udstyr og anlæg til blæserensning kan opdeles som vist nedenfor.

	Mobile	Stationære
Åbne	Tør fristråle Våd fristråle Fugt fristråle Højtryksspuling	Tør fristråle Tør fristråle med regenerering af blæsemiddel, herunder: - for hånd - robot
Lukkede	Fristråle med tilbagesug (vakuum) Slyngrensning	Kabiner med fristråle Slyngrensning, herunder: - conveyor - rullebane - tromle - robot

Den overvejende del, ca. 60%, af blæserensning i Danmark udføres i værksteder med stålblæsemidler. Ved sådanne anlægstyper er det principielt muligt at begrænse støvemissionen.

En mindre del af værkstedsarbejdet udføres som fristråleblæsning med kvartssand.

De øvrige ca. 40% udføres som fristråleblæsning med éngangsblæsemidler udendørs.

Forbruget af blæsemidler til udendørs blæserensning er af størrelsesorden 100.000 t, heraf udgør kvartssand langt den dominerende andel.

Alternativt findes:

- lukkede systemer
- systemer med vandtilsætning

som ikke medfører den samme støvforurening som fristråleblæsning med tørt kvartssand.

Ingen af metoderne er ud fra en teknisk betragtning fuldt sammenlignelige med fristråleblæsning, idet metoderne afviger med hensyn til produktivitet, rensning og/eller følsomhed overfor klimaforhold.

Omvendt har nogle af metoderne, især de "vandbaserede" metoder, en række fordele i opnåelse af en kemisk renhed på overfladen.

Alle blæsemidler giver anledning til afsætning/indlejring af korndele i den blæste overflade og i den sammenhæng giver anvendelsen af slagter et billede der afviger fra standardbillederne i normen for rensningsgrader, ISO 8501-1, 1988.

De ståloverflader der dannes ved de alternative metoder er således anderledes end ved traditionel fristråleblæsning, og det kan betyde at udvalget af anvendelige malinger indskrænkes. En række malingproducenter har imidlertid en udvikling i gang af produkter der er velegnede til nyrustne og støvede overflader.

2.2 Forespørgsel til entreprenører

Ved forespørgsel til et bredt udvalg af sandblæseentreprenører har det vist sig, at tør fristråleblæsning er den langt dominerende metode udendørs. Årsagen hertil er, at de alternative metoder generelt anses for:

- at reducere renehastigheden
- at give anledning til nyrust og slamafsætning
- at forøge oprydningsarbejdet
- at give manglende sammenlignelighed med standard, ISO 8501-1, 1988
- at være uhåndterlige
- at give øget afhængighed af vejrlig.

Overgang til stålblæsemidler kan ofte være forbundet med etablering af andre værkstedsfaciliteter med dertil hørende miljøgodkendelse, hvilket derfor af entreprenørerne betragtes som en barriere.

Med hensyn til slaggerne er opfattelsen, at:

- overfladen sværtes (usammenlignelig med standard)
- ruheden bliver for stor
- renehastigheden forringes
- det sorte støv giver anledning til klager fra omgivelser og operatører
- de indeholder giftige forbindelser
- de er for dyre.

Der er dog et lille mindretal af entreprenører der finder at de alternative metoder og materialer giver fordele, f.eks. bedre sigtbarhed, ud over overholdelse af snævert miljømæssige påbud.

Etablering af sekundære støvdæmpede foranstaltninger i form af forskellige inddækninger er ofte forbundet med store omkostninger og effektiviteten kan være tvivlsom.

2.3 Økonomi

Udendørs

Tør fristråleblæsning med kvartssand er umiddelbart den billigste metode.

Substitution med andre mineralske éngangsblæsemidler, typisk slaggeprodukter, indebærer en forøgelse af udgifterne til blæsemiddel på 2-3 gange.

Endvidere kan anvendelse af slaggerne betyde forøgede bortskaffelsesomkostninger.

Udførelse af våd fristråleblæsning indebærer en mindre investering (f.eks. kr. 20.000). Driftsomkostningerne som sådan vil være som ved tør fristråleblæsning. Der må dog påregnes øgede omkostninger til rengøring lige omkring blæsestedet før malebehandling, men omvendt færre omkostninger til rengøring af omkringliggende områder for støv.

Anlæg til højtryksspuling uden tilsætning af blæsemidler kræver meget store investeringer og driftsomkostningerne vil ligeledes være betydelig større end for tør fristråleblæsning.

Anlæg til højtryksspuling med tilsætning af blæsemiddel medfører en investering af samme størrelsesorden som total udstyr til fristråleblæsning.

Driftsomkostningerne til vand og blæsemiddel er stort set som omkostninger til blæsemiddel ved tør fristråleblæsning med kvartssand, men da renehastigheden som regel er lidt lavere på grund af udmattelse af operatøren, vil de totale driftsomkostninger være højere.

Anlæg til fristråleblæsning med tilbagesug kræver merinvestering i evakueringsenhed (ca. kr. 40.000). Driftsomkostningerne vil være højere på grund af tredobbelt energiforbrug og reduktion i renehastighed. Omvendt er omkostninger i forbindelse med rengøring minimale.

Indendørs

Indendørs kan arbejdet udføres som tør fristråleblæsning med éngangsblæsemiddel eller genanvendeligt blæsemiddel eller som slyngrensning.

Teknisk er metoderne ikke ligeværdige, idet udførelse af slyngrensning sætter begrænsninger på konstruktionernes kompleksitet og størrelse.

Uanset metode kræves investering i udstyr og anlægssfaciliteter.

I de følgende summariske betragtninger er disse medtaget.

Ved meget store anlæg, f.eks. rensning af 300 m²/time vil omkostningerne pr. m² ved slyngrensning andrage ca. kr. 5, medens omkostningerne til fristråleblæsning med stål vil andrage ca. kr. 33.

Ved en mindre men gængs anlægsstørrelse ca. 25 m²/time fås følgende priser pr. m²:

- slyngrensning, kr. 8
- fristråleblæsning med stål, kr. 38
- fristråleblæsning med sand, kr. 51.

Omkostningerne ved anvendelse af genanvendelige blæsemidler afhænger naturligvis af standtiden, dvs. her den teoretiske levetid/genanvendelighed. I praksis er levetiden noget kortere på grund af udskilning i regenereringsenheden og udslib i forbindelse med intern transport.

I mange tilfælde ses praktiske levetider på mindre end 50% af den teoretiske. Sammenlignes således omkostningerne pr. m² for samme type blæsemiddel ved en praktisk levetid på henholdsvis 150 og 450 gange, fås en omkostningsforskel på en faktor 2.

2.4 Miljø

Blæsemiddel

Miljøbelastningen ved anvendelse af et blæsemiddel afhænger af følgende faktorer:

- sønderdelingstilbøjeligheden
- indhold af skadelige stoffer i blæsemidlet
- indhold af skadelige stoffer i det afrensede materiale
- forbrug af blæsemiddel pr. arealenhed.

En vurdering af den potentielle luftbårne forurening som respirabelt α kvarts, stammende fra kvartssand er af størrelsesordenen 250-500 t/år. Støvparkler i det respirable område har så lav en faldhastighed at de i praksis kan spredes uendelig langt væk, alternativt blive "stående" i luften i meget lang tid.

Den støvmæssige belastning ved tør fristråleblæsning er afhængig af anvendt blæsemiddel, idet nogle blæsemidler inde-

holder mere eller mindre stor andel af respirable partikler og nogle sønderdeles mere end andre.

Kvartssand er kemisk set et veldefineret og ensartet produkt, medens slaggerne er karakteriseret ved meget store variationer i såvel primære bestanddele som indhold af tungmetaller og korrosive forbindelser.

Som følge heraf har slaggerne i litteraturen været gjort til genstand for en del undersøgelser og afprøvninger med henblik på en vurdering af

- toxiske/cancerogene effekter
- udvaskningstilbøjelighed
- egnethed som blæsemiddel.

Undersøgelserne har dokumenteret følgende:

- Enkelte slaggetyper har ved dyreforsøg vist sig at kunne medføre fiberogene ændringer i lungevævet, men tilbøjeligheden synes at være betydelig mindre end ved α kvartsstøv.
- Ingen slagger har vist tilbøjelighed til udvaskning af tungmetaller ved afprøvning i forskellige vandige medier.
- Nogle af de undersøgte slagger har vist sig uegnede til blæserensning, idet de har ført til afsætning af korrosionsfremmende forbindelser på emnet.

Ved udendørs arbejde er forbruget og dermed affaldsmængden af blæsemiddel mellem 50 og 100 kg/m².

Underlaget

Ved blæserensningen kan der skelnes mellem to hovedgrupper af forurenende stoffer stammende fra underlaget.

Ubehandlet stål

Hovedsagelig jern og jernoxider samt visse andre metaller, sædvanligvis i små koncentrationer.

Mængde pr. afrenset m² er af størrelsesordenen op til 300 g.

Behandlet stål

Maling bestående af bindemiddel, pigmenter og tilsætningsstoffer.

Mængde pr. afrenset m² er af størrelsesordenen op til 500 g.

Anlæg

I lukkede anlæg er miljøbelastningen afhængig af levetid på blæsemidlet og anlæggets evne til at tilbageholde finstøv.

Der kan ved disse anlæg være tale om et forbrug og dermed en affaldsmængde svingende fra 8 kg til 64 g blæsemiddel pr. m² rensset overflade.

2.5 Eksperimentel del

De i det følgende anførte konklusioner angår de afprøvede blæserensningsmetoder og midler.

Kemiske indholdsanalyser

Analyse af 3 naturlige mineralske blæsemidler viser at de stort set har samme kemiske indhold og at der ikke forekommer målbare sundhedsskadelige eller korrosionsfremmende stoffer.

Analyse af kobber- og kulslagge viser at der er stor variation i indholdet mellem de forskellige typer, men selv indenfor typerne er der en stor variation i det kemiske indhold.

Fælles for de kunstige mineralske typer er, at de indeholder en række tungmetaller. Ifølge de gældende tyske normer ligger indholdet dog under grænseværdierne for indhold af toksiske og cancerogene metalforbindelser under forudsætning af at chrom forekommer som chromtrioxid Cr_2O_3 . Det er dog meget sandsynligt at chrom befinder sig som chromtrioxid, idet fremstillingen sker i en reducerende atmosfære.

Disse værdier kan ikke sammenlignes med grænseværdierne i den danske liste, idet disse gælder for luftbåren forurening i en arbejdsituation.

Der eksisterer p.t. ingen parallelle danske værdier.

Forekomsten af bl.a. kobber og kul i henholdsvis kobber og kulslagge kan være uheldig, idet begge stoffer virker korrosionsfremmende hvis de er afsat på ståloverfladen i tilstrækkelig mængde.

Analyser af to typer kvartssand viser, at indholdet af respirabelt støv varierer mellem de to produkter med en faktor $1\frac{1}{2}$. Da α kvarts indholdet imidlertid varierer med samme faktor, men i modsat retning, bliver indholdet af respirabelt α kvarts nogenlunde ens for de to produkter. α kvarts indholdet i olivinsand er forsvindende, nemlig kun ca. 3-6% af indholdet i kvartssand, men andelen af respirabelt α kvarts er dog omkring 10% af kvartssandets, på grund af den store andel finstøv i olivinsandet.

Det fundne indhold af α kvarts i olivinsand overskrider i øvrigt leverandørens angivelse.

Fysiske egenskaber

Der er stor forskel på de forskellige blæsemiddeltyper hvad angår:

- vægtfylde
- kornform før og efter blæsning
- slibeeffekt

Den specifikke vægtfylde varierer for de forskellige blæsemidler.

Kornformen af blæsemidlet har betydning for flydning af blæsemidlet gennem udstyret, medens kornformen efter blæsning må formodes at have en sundhedsmæssig betydning.

Der kan forekomme meget angulære (kantede) og fiberlignende fraktement.

Det ligger udenfor projektets rammer at bedømme den sundhedsmæssige effekt heraf.

Slibeeffekten, dvs. bortslebet materiale fra en stålplade pr. kg anvendt blæsemiddel, varierer med type blæsemiddel.

Nedbrydnings tilbøjelighed for éngangsblæsemidler

Undersøgelserne viser at der er stor variation mellem de enkelte typers nedbrydning under blæseprocessen. Således bliver kvartssand, kulslagge og olivinsand slået så meget i stykker under blæsningen, at ca. halvdelen af materialet er under 0,25 mm efter blæsningen (0,25 mm regnes normalt for nedre grænse for effektive korn). Kobberslaggen derimod knuses ikke i nær samme udstrækning, idet kun 25% er under 0,25 mm efter blæsningen. Forskellen kan ses med det blotte øje.

Endvidere konstateres, at en stor del af respirabelt støv i de naturlige mineraler findes i produkterne allerede før brug.

Ved brug dannes stort set samme mængde respirabelt støv for éngangsblæsemidlerne, undtaget dog kulslaggen som har den klart stærkeste tendens til dannelse af finstøv under blæsningen.

Nedbrydning af genanvendelige blæsemidler

Standtiden for udvalgte metalliske blæsemidler varierer betydeligt, hvorfor det må konkluderes, at der kan være betydelige økonomiske og miljømæssige forskelle på anvendelse af produkter indenfor samme type.

Støvbelastning ved forskellige blæserensningsmetoder

Det fremgår ved den anvendte opstilling til måling af støv, at der er meget stor forskel på støvbelastningen ved de forskellige blæsemetoder svingende fra 0 til 70 mg respirabelt støv pr. m³ luft. Det sidste svarer til ca. 4 milliarder partikler/m³.

Det skal bemærkes, at koncentrationen meget nøje hænger sammen med den anvendte opstilling.

Tør fristråleblæsning med højt tryk (dvs. 10 bar) og kvartssand giver den højeste belastning. Reduktion af trykket mindsker belastningen væsentligt.

Tør fristråleblæsning med kobberslagge giver en støvbelastning på $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ delen i forhold til kvartssand.

Højtryksspuling med sand og blæsning med tilbagesug samt våd fristråleblæsning med stor vandtilsætning giver stort set ingen støvbelastning.

Ved blæserensning af malede overflader vil en del af malingen blive omdannet til et fint (respirabelt) støv. Dette vil ved malinger der indeholder giftige pigmenter, f.eks. blymønje, kunne indebære sundhedsrisici.

Renseeffekt for forskellige blæsemidler

Den rensehastighed der kan opnås varierer både mellem typerne og indenfor typerne afhængig af kornstørrelsen. Således giver fine korn en overlegen rensehastighed på nyt stål, medens de lidt sværere korn giver en bedre rensehastighed på grubetærede og tjæreepoxybehandlet stål.

Endvidere har underlagets beskaffenhed betydning for de indbyrdes rensehastigheder.

Hastigheden kan variere op til 300%.

Indenfor samme blæsemiddeltpe med forskellig kornstørrelse kan hastigheden variere 25-50%.

Den under blæsningen opnåede ruhed varierer fra FG til CG (meget fint til meget groft) efter ISO/DIS 8503/3, hvilket også er at forvente ved de repræsenterede kornstørrelser.

Forbruget af blæsemidler i kg/min. antyder, at den optimale blæsning i grove træk opnås ved samme volumenstrøm blæsemiddel.

Visuelt bedømt et det kun få af de anvendte blæsemidler der giver den specificerede rensningsgrad efter ISO 8501-1, idet både kulør generelt samt indlejrede blæsemiddelpartikler giver differens.

Bedømmes overfladerne i Scan Electron Mikroskop kan det konstateres, at graden af indlejrede blæsemiddelpartikler stort set er den samme uanset blæsemiddeltpe og størrelse.

Afvielser fra standarden er således kun knyttet til at visse blæsemidler er visuelt konstaterbare, mens andre kræver særligt udstyr for at kunne iagttages.

Renseeffekt for forskellige blæserensningsmetoder

Rensehastigheden, uanset metode, varierer meget med type af overflade der skal renses.

Rensning af en ny stålplade (rustgrad A) er i alle tilfælde hurtigere end en grubetæret plade (D-plade). Fjernelse af 400 µm tjæreepoxy er ved alle metoder meget langsommere, medens 100 µm blymønneholdig alkydmaling hurtigt lader sig fjerne.

Ved tør fristråleblæsning opnås en større rensehastighed ved højere tryk.

Våd fristråleblæsning ved samme tryk og lille vandmængde ændrer ikke renseshastigheden i forhold til tør fristråleblæsning, uanset underlag.

Våd fristråleblæsning ved lavt tryk og meget vand forlænger blæsetiden ca. med en faktor 2.

Tør fristråleblæsning med tilbagesug giver en reduktion i renseshastighed på en faktor 2.

Højtryksspuling uden blæsemiddel er ikke anvendelig på alle underlag og med undtagelse af malede overflader var det ikke muligt at opnå rensningsgrad som for de øvrige metoder.

Metoden var således ikke i stand til at fjerne glødeskal i et tempo der gør den kommerciel interessant, medens den fungerede meget tilfredsstillende på malede overflader.

Højtryksspuling med sand giver renseshastigheder som er næsten eller på højde med tør fristråleblæsning ved tryk på 7 bar. Det sidste gælder især ved fjernelse af tjæreepoxybelægning. Rekylet ved højtryksspuling kan være af en størrelsesorden der i praksis nedsætter renseshastigheden betydeligt.

Renhedsgraden efter blæsning bedømt ved fugtkammereksponering af malede plader viser, at kun højtryksspuling med sand har været i stand til at fjerne saltforureningen fra grubetærede plader.

2.6 Sammenfatning

Det må vurderes, at den ubetinget største miljømæssige og tekniske gevinst indenfor blæserensning kan opnås ved at udføre arbejdet i værksted med et stålblæsemiddel med lang standtid. I de tilfælde hvor slyngrensning er teknisk mulig, kan store økonomiske fordele opnås.

Ved arbejde udendørs er det i praksis stort set kun muligt at anvende mineralske éngangsblæsemidler. Dette indebærer, uanset den valgte type, at omgivelserne belastes med store støvmængder, herunder også respirabelt støv.

De naturlige mineralske blæsemidler (kvarssand) indeholder før brug betydelige mængder respirabelt støv. Støvbelastning fra denne kilde burde kunne begrænses ved udvaskning.

De kunstige mineralske blæsemidler indeholder ikke respirabelt støv før blæsning, men der finder en betydelig støvdannelse sted under blæseprocessen, især for kulslaggens vedkommende.

Blæsning med kobberslagge er klart det mindst støvbelastende.

De kemiske indhold i de mineralske blæsemidler antyder, at de i varierende omfang kan rumme sundhedsproblemer, ud over den indlysende belastning ved respirabelt støv.

Renseshastigheden varierer betydeligt og afhænger af blæsemiddel, kornstørrelsesfordeling og underlag.

Støvbelastningen ved udendørs blæserensning kan kun reduceres ved at anvende udstyr der kan hæmme eller eliminere støvspredningen.

Der findes en række kommercielt tilgængelige udstyr med det fælles træk at de i større eller mindre grad kan opfylde ønsket om støvfri blæsning.

Der kan skelnes mellem 4 metoder:

- Vakuumbæsning/fristrålebæsning med tilbagesug: Ingen støvbelastning og rengøring, men kraftig reduktion i renehastighed.
- Bæsning med våd fristråle: Kraftig reduktion af støvbelastningen, uændret renehastighed, men nyrustdannelse og rengøringsproblemer.
- Bæsning med højtryksvand (2000-2500 bar): Ingen støvbelastning, fjernelse af salte og ingen rengøringsproblemer, men nyrustdannelse og kraftig reduktion i renehastighed.
- Bæsning med højtryksvand og tilsat blæsemiddel: Lille reduktion i hastighed, fjernelse af salte, men rengøringsproblemer og nyrustdannelse.

Der er altså ikke et klart universelt alternativ til tør fristrålebæsning, men en række alternativer der hver især har en række fordele og ulemper.

Anvendelse af de alternative metoder kræver således nytænkning og omstilling fra gængs praksis.

I forlængelse af dette arbejde gennemføres en række demonstrationsprojekter, hvis formål er at belyse metodernes anvendelighed i praksis.

3. Blæserensning

Blæserensning eller sandblæsning anvendes ofte som fælles betegnelse for et antal metoder, der har det fælles træk, at et granuleret materiale med stor hastighed slynges mod et emnes overflade.

Metoderne finder anvendelse indenfor et bredt spektrum af brancher til bl.a.: Dekorativ bearbejdning af sten, glas og rustfast stål, rensning af støbeforme til gummi og kunststof, koldhamring til fjernelse af spændinger i højstyrke gods, rensning af støbegods og sidst, men ikke mindst, forbehandling i forbindelse med overfladebehandling.

I det følgende er kun medtaget de metoder og materialer der er relevante i forbindelse med overfladebehandling af stål, herunder forzinket stål.

Ved udstyr og anlæg til blæserensning forstås i denne sammenhæng apparater der kan transportere, accelerere og styre en blæsemiddelstrøm:

Der kan skelnes mellem 3 principielle metoder:

- a. Pneumatiske: Blæsemidlet opblandes i en hurtiggående luftstrøm i et rør/slangearrangement og slynges mod emnet i en given vifte - altså i ordret forstand blæsning med sand.
- b. Hydrauliske: Vand under meget højt tryk med eller uden iblandet blæsemiddel skydes mod emnet - normalt benævnt som højtryksspuling.
- c. Mekaniske: Blæsemidlet påvirkes direkte af centrifugalkraften under passage fra center til periferi i et skovhjul og slynges tangentialt mod emnet - normalt benævnt som slyngrensning.

Ved blæsemiddel forstås et stof der i granuleret eller flydende form skydes mod en overflade for at opnå en bearbejdning.

Der kan skelnes mellem:

Naturlige mineralske	kvaltssand, olivinsand flintsand m.fl.
Kunstige mineralske:	kulslagge, kobberslagge aluminiumoxid glas keramiske m.fl.
Metalliske:	stål jern aluminium m.fl.
Organiske:	plast nøddeskaller frugtkerner m.fl.
Andre:	vand kuldioxid is zinkbelagte granulater

Indenfor den opdeling kan endvidere skelnes mellem genanvendelige og éngangsblæsemidler.

De faktorer som har betydning for bearbejdningsprocessen m.h.t. effektivitet, kvalitet, miljø og økonomi er følgende:

1. Blæsemiddelparametre
 - Type
 - Kornform
 - Hårdhed
 - Styrke og tendens til støvdannelse
 - Kemisk indhold
 - Kornstørrelse og -fordeling
 - Udvaskningstilbøjelighed
 - Optagelse i organismen
2. Blæseparametre
 - Lufttryk og -mængde
 - Dysestørrelse og -type
 - Anlægsdimensioner
 - Dyseføring, afstand og vinkel
 - Blæsemiddel/luftblanding
 - Energiforbrug
 - Støvdæmpning
3. Emneparametre
 - Stålkvalitet
 - Rustgrad
 - Forureninger
 - Udformning
4. Rensningskvalitet
 - Fysisk renhed
 - Kemisk renhed
 - Ruhed

4. Metoder: Udstyr og anlæg

De kommercielt tilgængelige udstyr og anlæg til blæserensning kan, som nedenfor, opdeles i mobile og stationære herunder åbne og lukkede typer.

	Mobile	Stationære
Åbne	Tør fristråle Våd fristråle Fugt fristråle Højtryksspuling	Tør fristråle Tør fristråle med regenerering af blæsemiddel, herunder: - for hånd - robot
Lukkede	Vakuum (fristråle med tilbagesug) Slyngrensning	Kabiner med fristråle Slyngrensning, herunder: - conveyor - rullebane - tromle - robot

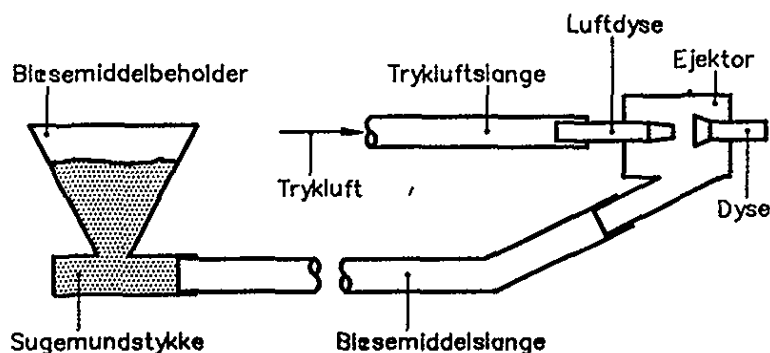
I det følgende gennemgås en række principielle udstyrs opbygninger.

4.1 Tør fristråleblæsning

Tør fristråleblæsning udføres med et trykluftdrevet anlæg, enten efter:

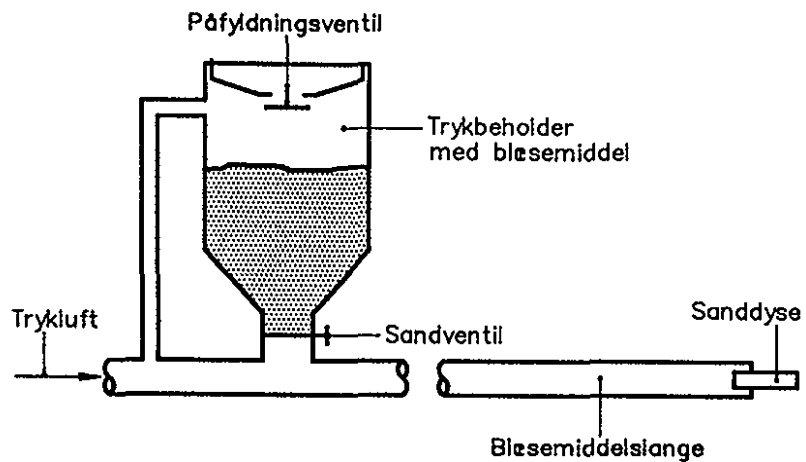
- Ejektorprincippet, eller
- Trykkammerprincippet.

Figur 4.1 viser principopbygningen af et ejektoranlæg. Blæsemidlet føres frem til en ubelastet beholder ved hjælp af et undertryk skabt af en hurtigtgående luftstrøm mellem luftdyesen og blæsedysen, hvorefter blæsemidlet suges ind i luftstrømmen og slynges mod emnet.



Figur 4.1

Figur 4.2 viser opbygningen af et trykkammeranlæg. Blæsemidlet opbevares i trykbeholder og doseres gennem en ventil ned i en luftstrøm, hvorefter sand/luftblandingen trykkes frem til sanddysen hvor strømmen accelereres og slynges mod emnet.



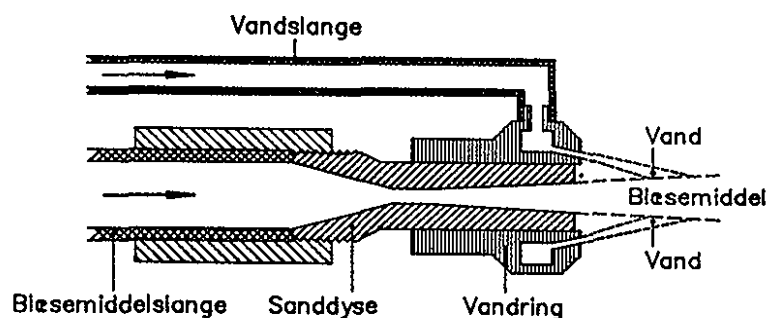
Figur 4.2

Trykkammerprincippet er det dominerende indenfor mobile anlæg på grund af høj effektivitet og enkel udformning. Ejektorprincippet finder primært anvendelse i mindre blæsekabiner - se afsnit 4.9.

4.2 Våd fristråleblæsning

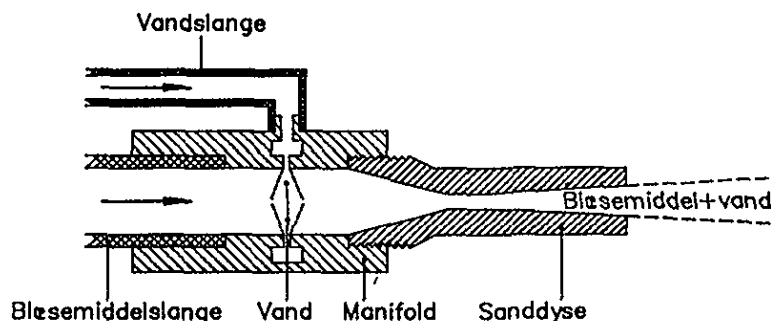
Våd fristråleblæsning udføres ved at tilsætte vand til sand/luftblandingen fra et trykkammeranlæg.

Den enkelte og billigste metode er at sende vand under vandværkstryk ud omkring blæsestrålen fra en vandring monteret på dysen - se figur 4.3.



Figur 4.3

En mere effektiv, men også udstyrskrævende metode, består i at injicere vand under højt tryk gennem én eller flere dyser i en manifold før sanddysen. Herved opnås at forstøvet vand befugter blæsemidlet og accelereres sammen med blæsemidlet i sanddysen - se figur 4.4.



Figur 4.4

Hermed opnås en bedre befugtning af blæsemidlet end ved den eksterne vandtilsætning, hvorved spredningen af støvet mindskes ⁶⁵

Våd fristråleblæsning anvendes på lokaliteter hvor der kræves støvdæmpning eller kan forekomme let antændelige gasser.

Endvidere finder metoden anvendelse på overflader der er stærkt forurenede med vandopløselige salte.

Forekomsten af en vandfilm på den afrensede ståloverflade giver anledning til en hurtig dannelse af nyrust. Nyrust kan undgås ved tilsætning af inhibitor¹ til vandet eller oversprøjtning med inhibitor efter blæsning ^{20,22,29,32,40,65}.

4.3 Fugt fristråleblæsning

Fugt fristråleblæsning udføres med anlæg som til våd fristråle, men med den principielle forskel, at der kun tilføres den vandmængde der er absolut nødvendig for at opnå en dæmpning af støvspredningen.

Vandtilførslen sker i alle tilfælde bag dysen og i et enkelte tilfælde til luftstrømmen før tilførsel af blæsemiddel.

Ifølge sagens natur er der en flydende overgang mellem våd- og fugtanlæg, men det er kendetegnende for egentlig fugt fristråleanlæg at vandmængden kan styres meget præcist og at det injicerede vand kan forstøves til en fin tåge indenfor det relevante interval for vandmængde. Den indsprøjtede vandtåge skal være af et omfang og en fordeling så alle blæsemiddelkorn befugtes i sandslangen. Derudover skal være et vandtågeoverskud til befugtning af de fine partikler der opstår ved anslaget mod emnet.

¹ Inhibitor er et stof der ad kemisk vej hæmmer korrosionen.

Kravene til vandtilsætningen indebærer endvidere at der ikke må forekomme større mængder afslået vand i sandslangen der kan give ujævn blæsning og momentan overbefugtning af emnet.

Formålet ved fugtblæsning med den dermed forbundne fine vandforstøvning skulle være ^{29,34,40,57,58}:

- Ingen eller stærkt reduceret nyrustdannelse på grund af hurtig tørring (få minutter)
- Lille vandforbrug 200-300 g/min.
- Relativ effektiv støvdæmpning.

Til gengæld er der konstateret en vis mængde af relativt fastsiddende støv på emnet.

Ifølge oplysninger kan dette fjernes ved luftblæsning eller støvsugning til et tilfredsstillende resultat, teknisk som miljømæssigt*.

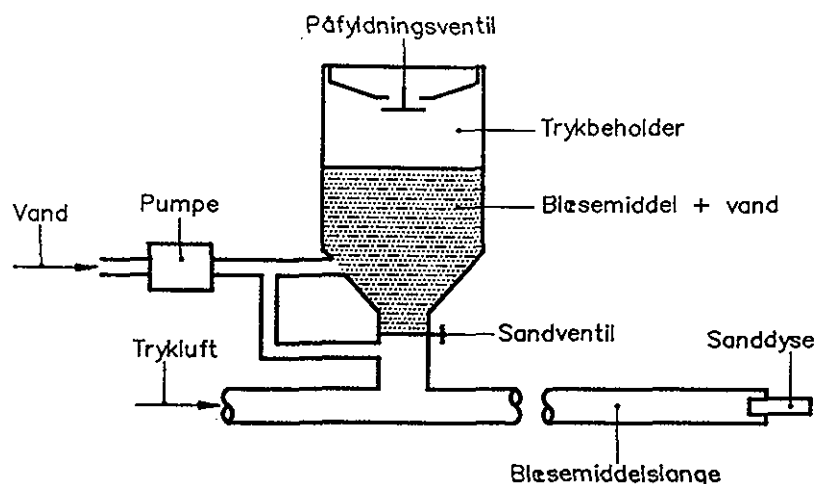
Der foreligger ikke dokumentation for evne til fjernelse af vandopløselige salte.

* Samtale med Peter Kiso, Peiniger International, Hamburg

4.4 Slamfristråleblæsning

Slamfristråleblæsning udføres med anlæg hvor en blanding af vand og blæsemiddel samles allerede i trykbeholderen.

I figur 4.5 er vist en principopbygning af et udstyr.



Figur 4.5

Der anvendes et blæsetryk på op til 7 bar og overtryk fra vandpumpen i sandbeholderen på 12-14 bar. Herved kan det fugtige blæsemiddel trykkes frem mod den bærende trykluftstrøm i sandslangen. Undervejs er det muligt at tilsætte yderligere vand.

Normalt er den samlede vandtilsætning op til $\frac{1}{2}$ l pr. min.

Udstyret skulle give en stærkt begrænset støvbelastning selv ved disse beskedne mængder tilsat vand.

4.5 Højtryksspuling

Højtryksspuling udføres med anlæg bestående af en pumpe der kan fremføre vand under højt tryk gennem en slange til en dyse hvor vandet accelereres til en høj hastighed samt danner en given vifte.

Der kan skelnes mellem anlæg ud fra driftstryk, udsprøjtet vandmængde, vandhastighed, dysekarakteristika og tilsætning af blæsemiddel.

I denne sammenhæng er en mere simpel differentiering ud fra tryk og blæsemiddeltilsætning, tilstrækkelig som udgangspunkt^{17,18,19,65}.

1. 100-200 bar: Afrensning af fedt, voks og grove forurenninger, eventuelt med tilsætning af passende rensmiddel.
2. Omkring 500 bar: Afrensning af løs maling, anti-fouling, rust og tjære.
3. Omkring 700 bar: Afrensning af maling, boremudder, kedelsten, forbehandling af stål uden glødeskal til given rensningsgrad.
4. >1400 bar: Forbehandling af stål uden glødeskal til given rensningsgrad (højere kemisk rensningsgrad).
5. Tilsætning af blæsemiddel efter ejektorprincippet ved 400-700 bar. Forbehandling af stål med og uden glødeskal til given rensningsgrad.
6. Tilsætning af blæsemiddel efter trykkammerprincippet ved 150-200 bar: Forbehandling af stål med og uden glødeskal til given rensningsgrad.

Metoderne 3-6 kan alle fjerne malinglag med varierende effektivitet.

4.6 Vakuumblesning, fristråleblesning med tilbagesug

Vakuumblesning udføres med et anlæg der i princippet er et indkapslet fristråleanlæg. Sanddysen på et almindeligt fristråleanlæg indbygges i en kappe der kan rumme blæsestråle og anslagsområde.

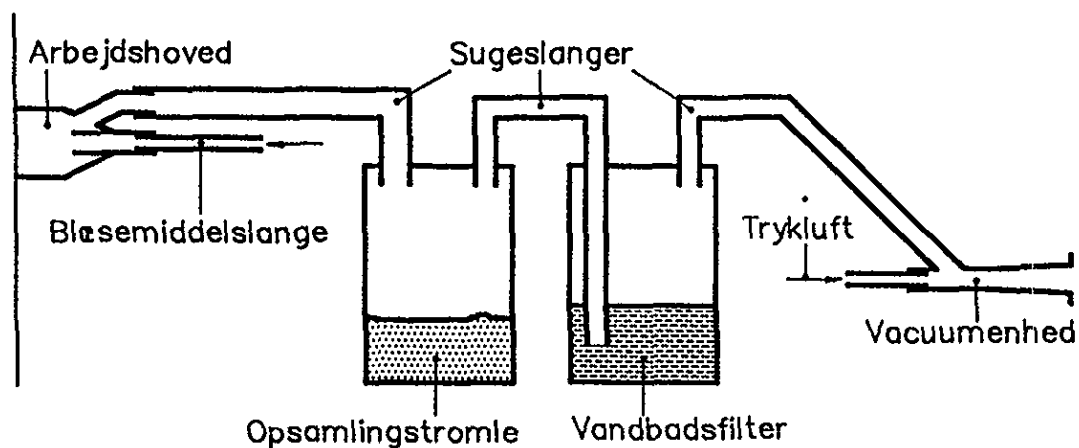
Ved hjælp af et kraftigt sug i kappen kan den udblæste luft/blæsemiddelblanding samt det dannede støv og afrenset materiale suges tilbage fra blæsestedet.

Der kan skelnes mellem små bærbare eller håndtransportable anlæg til afrensning af mindre områder og anlæg, hvor der er tilstræbt en kapacitet svarende til almindelig fristråleblesning.

De små anlæg arbejder ofte efter ejektorprincippet og der anvendes genanvendelige blæsemidler.

De større anlæg arbejder efter trykkammerprincippet. Opbygningen af blæsehovedet med indkapslet dyse, med sug og luftrensning har en større kapacitet.

En typisk tilrigning til éngangsblæsemidler kan være som vist i figur 4.6.



Figur 4.6

Blæsehovedet kan være udstyret med hjul samt en fleksibel mellemring til mindre variation af blæsevinklen. Endvidere kan de fleste blæsehoveder udstyres med overgangsstykker der passer til plane emner samt udvendige og indvendige hjørner.

Forudsætningen for at anlægget kan fungere støvfrit er, at blæsehovedet holdes tæt mod overfladen af emnet.

I forhold til fristråleblæsning er anlægget tungere og langsommere at håndtere. Frihedsgraderne m.h.t. blæsevinkel og -afstand er begrænsede.

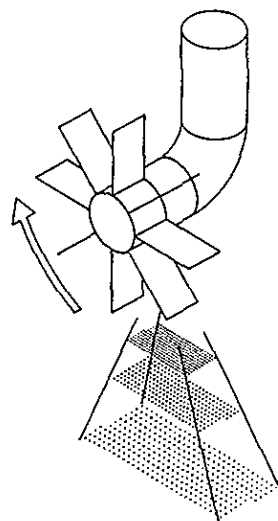
Til gengæld indebærer den minimale støvbelastning at operatørens orientering i lukkede rum bliver god.

Større anlæg kan også tilrigges til genanvendelige blæsemidler ved at supplere med en regenereringsenhed der kan separere støv og grove partikler fra det brugte blæsemiddel ^{65,68}.

4.7 Slyngrensning

Ved slyngrensning udnyttes energien fra en motor direkte til via et rotorslynghjul at accelerere og styre blæsemidlet ^{65,68}.

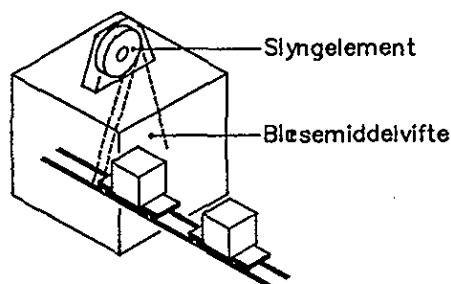
Blæsemidlet doseres i midten af det hurtigt roterende slynghjul og kastes under påvirkning af centrifugalkraften ud med høj hastighed - se figur 4.7.



Figur 4.7

Blæsemiddelmængde og retning (vifte) kan styres gennem ændring af henholdsvis kapaciteten på fødedysen og orienteringen og længden af fødeintervallet.

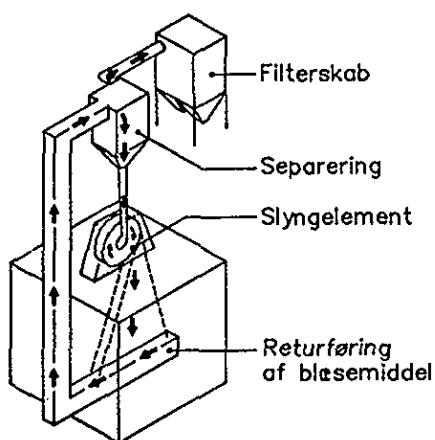
Et slyngrensingsanlæg består af ét eller flere direkte drevne slynghjul eller slyngelementer der er placeret på et kabinet hvori emnerne placeres, f.eks. som på følgende figur 4.8, hvor emnerne passerer ind gennem blæsemiddelviften.



Figur 4.8

Der anvendes udelukkende genanvendelige blæsemidler, primært i form af relativt blødt stål, hårdhed R_c 45-50.

Blæsemidlet regenereres og føres tilbage til fødebeholderen. Nedbrudt blæsemiddel og støv fra emnet frasepareres og opsamles i et filterskab - se figur 4.9.



Figur 4.9

Stationære slyngrensaneanlæg kan udformes så de m.h.t. kapacitet, emnestørrelse og emneudformning kan anvendes til afrensning af et meget stort udsnit af de i praksis forekommende emner.

Standardanlæg findes til blæsning af plader og profiler af forskellig størrelse og udformning.

Afhængig af behov for kapacitet (gennemløbshastighed) og udformning af emnet, der skal renses, indbygges et antal slyngelementer med ønsket strålevinkel på emnet og udkastet blæsemiddel pr. tidsenhed.

Der findes anlæg helt fra små maskiner med et enkelt slyngelement og tromle, bånd eller bord til fremføring af små emner til anlæg med op til 40 slyngelementer og en blæsemiddelstrøm på 14 t/min. der kan rumme hele skibssektioner.

Specielbyggede anlæg kan udformes så de er tilpasset et specielt masseproduceret emne f.eks. togvogne.

Slyngrensningsanlæg kan indbygges i proceslinier hvor emnerne fremføres af conveyor eller rullebaner.

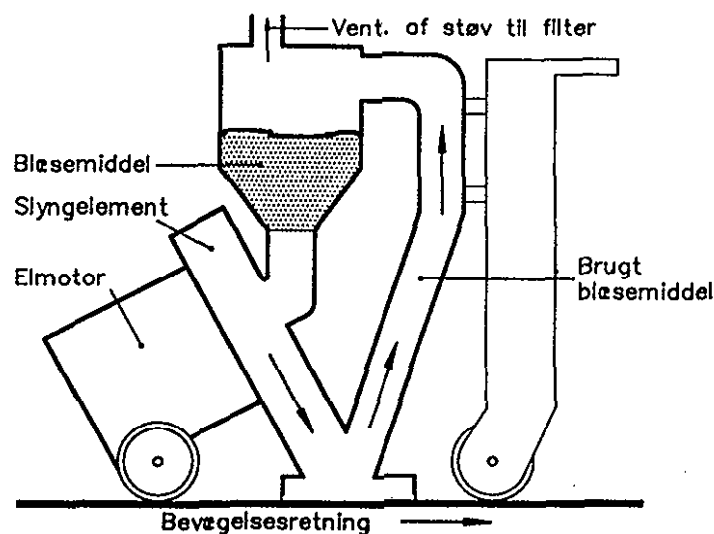
Mindre mobile anlæg kan robot styres, så de kan programmeres til blæsning af store emner uden indsats af mere end et enkelt slyngeelement monteret på en manipulator.

Stål kan afrenses til given rensningsgrad og ruhed. Ruheden afhænger dog af det anvendte blæsemiddel. En skarp stærkt vinkeldannet overflade kan kræve anvendelse af et relativt hårdt skarp kantet stålblæsemiddel med deraf følgende reduceret levetid for slynghjul og slidplader 14,15,24,26,27,28,41.

Slyngrensningsanlæg er følsomme overfor forureninger der kan hæfte til blæsemidlet. Olie- og fedtforureninger på emnet vil blive overført til blæsemidlet og fordelt ud på en større overflade. Korrosive salte vil kun blive delvis fjernet og måske endda spredt til nye områder.

4.8 Mobile slyngrensningsanlæg

Slyngrensningsanlæg til anvendelse på konstruktioner uden- og indendørs er enkle anlæg som kan bevæges i forhold til emnet - se figur 4.10.



Figur 4.10

Mobile anlæg findes som håndtrukne til afrensning oven/ned på plane flader, eller motortrukne til større arealer og kranmonterede eller wireophængte typer der kan arbejde på stærkt hældende og vertikale flader.

Typiske anvendelsesområder er skibsdæk, skibssider, skibsbunde, tanksider og -toppe.

Anlæggene er ofte opbygget med en separat luftbehandlingsenhed til rensning af den relativt store luftmængde der

medgår til at holde blæsestedet fri for støv og opsamle brugt blæsemiddel til regenerering ²⁷.

Afhængig af type og fabrikat kan mobile anlæg afrense stål til given rensningsgrad og ruhed.

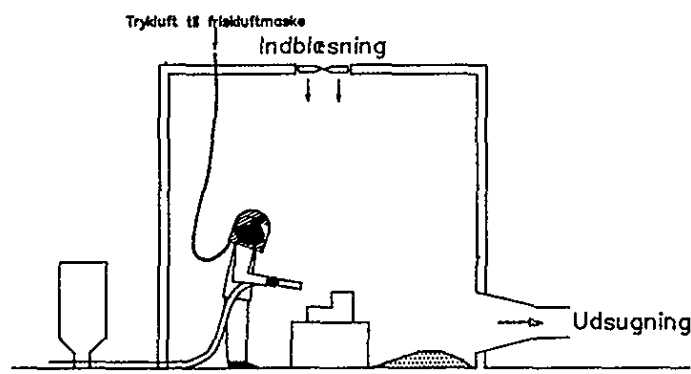
Følsomhed overfor forureninger er som ved stationære anlæg, men den cirkulerende blæsemiddelmængde er som regel meget mindre.

4.9 Stationære anlæg til tør fristråleblæsning

Stationært anlæg til tør fristråleblæsning er blot et indendørs placeret fristråleanlæg.

I denne forbindelse forstås dog et anlæg placeret i en hal med egnet udformning og rumventilation samt udstyr til rensning af afkastluften.

I sin simple form kan anlægget være opbygget som i figur 4.11.



Figur 4.11

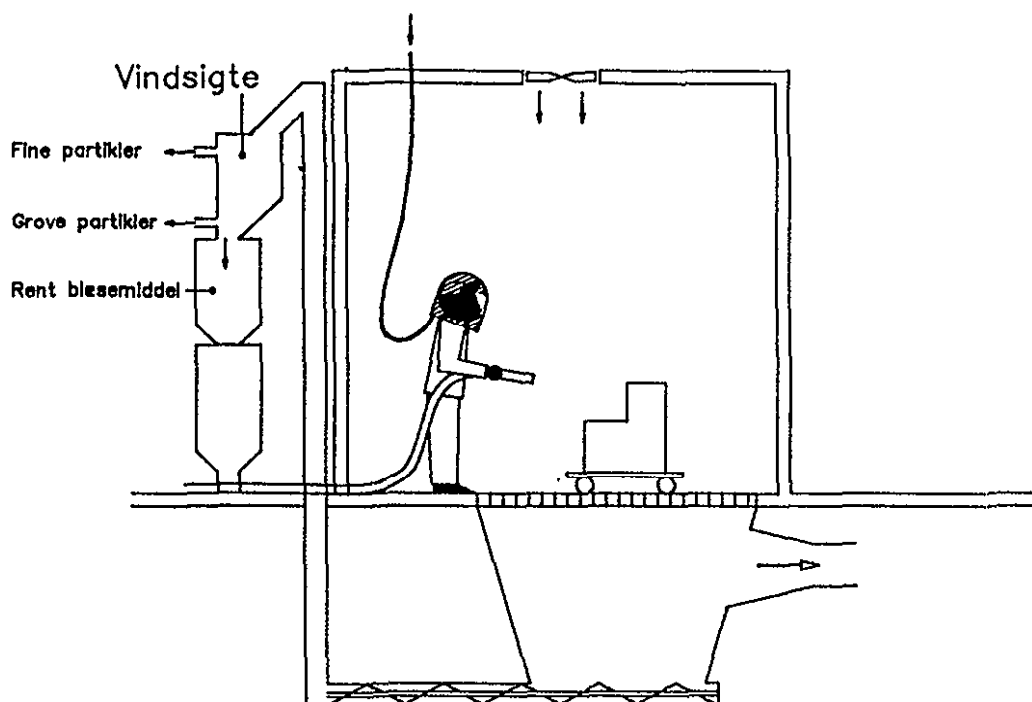
Brugt blæsemiddel og afrenset materiale ender på gulvet, mens støv bortventileres.

Den simple type anlæg anvendes normalt kun til éngangs-blæsemidler.

Til genanvendelige blæsemidler anvendes anlæg med en indbygget regenereringsenhed.

Returføringen af blæsemiddel kan i den mest enkle form ske ved at skubbe det brugte blæsemiddel ned i en brønd der via en skruetransportør og kopelevator eller ansugningsslange er forbundet med regenereringsenheden.

Som vist i følgende figur 4.12 kan anlægget yderligere effektiviseres ved at udføre gulvfladen som en rist og opsamle blæsemiddel i en eller flere tragte over hele gulvfladen.



Figur 4.12

I stationære anlæg kan vælges genanvendelige blæsemidler.

De genanvendelige blæsemidler (ofte stålgrit) til tør fristråleblæsning er i lighed med typerne til slyngrensning følsomme overfor forureninger på emnet, herunder fugt.

Rumventilationen i hallen bør under arbejdet kunne fjernes og erstatte støvforurenet luft så en minimumssigtbarhed kan opretholdes. Endvidere bør den på kort tid efter ophør af sandblæsning have reduceret støvkoncentrationen så hallen kan befærdes uden brug af åndedrætsværn.

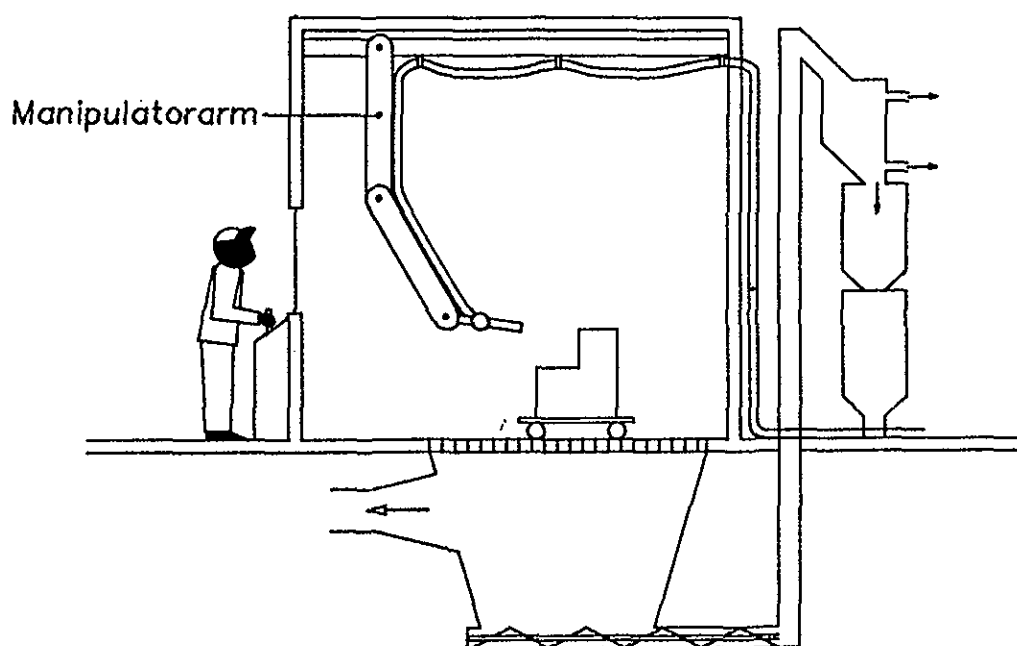
I Danmark findes p.t. (efteråret 89) ikke krav til ventilationskapaciteten. Fra uformel side opgives strømningshastigheder fra 0,1-0,5 m/sek.

Det siger sig selv, at en sådan variation i strømningshastigheden modsvarer meget store variationer i installeret ventilationskapacitet og dermed i anlægsomkostninger. Ved etablering og ombygning vil det være en fordel for alle parter om der ved projektering, tilbud og kontrol kunne udgås fra ensartede værdier. Den manglende konkretisering af værdier kan endvidere indebære en konkurrenceforvridning til fordel for miljømæssigt ringe anlæg.

I Sverige og Tyskland har man f.eks. valgt at angive et antal luftskifter pr. tidsenhed, stigende med antallet af dyser (blæsesteder) og faldende med stigende halvolumen.

Orienterende krav til det maksimale støvindhold i afkastluften er til gengæld angivet i udkast til Vejledning fra Miljøstyrelsen. På nuværende tidspunkt synes der at være enighed om størrelsesordenen.

Stationære fristråleanlæg er normalt manuelt betjent, hvilket indebærer visse fysiske grænser for kapaciteten og den effektive arbejdstid med den enkelte dyse. Fra udlandet kendes eksempler på at føringen af dysen udføres af en manipulatorarm, eventuelt tilsluttet en styringsenhed - se figur 4.13. Herved kan kapaciteten på dysen kan hæves og der kan opnås en væsentlig grad af automatisering, når de enkelte emnetypers blæsedata er indprogrammeret.



Figur 4.13

Der findes udenlandske erfaringer med anvendelse af let konstruerede mobile frustråleanlæg der kan fæstnes på større konstruktioner, f.eks. broer på dertil indrettede skinner eller liftanordninger.

Anlæggene indeholder de samme komponenter som stationære anlæg og arbejder med genanvendelige blæsemidler.

Det må antages at der på store dele af en egnet konstruktion kan udføres blæserensning med en miljøbelastning svarende til almindelige stationære anlæg^{33,66}.

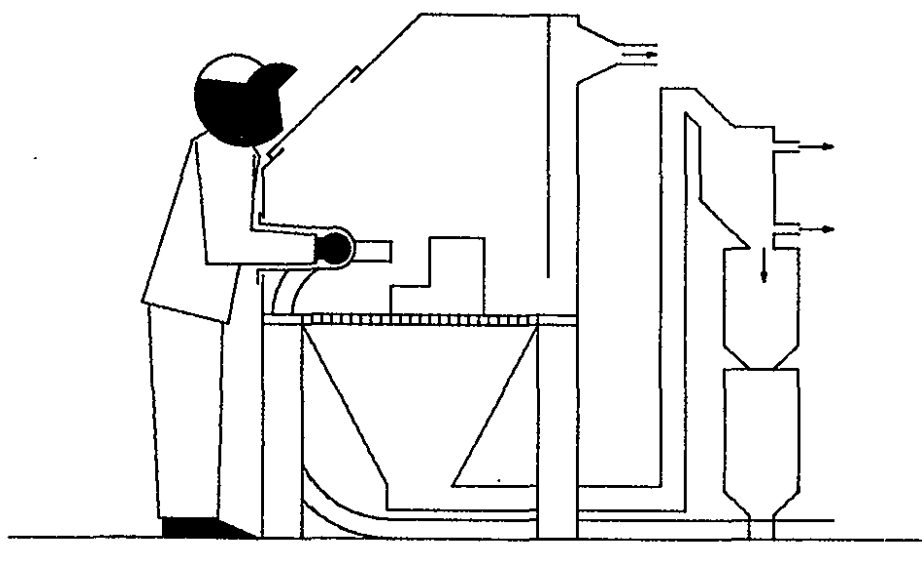
I Danmark er opført faciliteter til behandling af små stål-skibe i lukkede anlæg. Endvidere påtænkes det at afrense en brounderside med et mobilt hængende anlæg, der sektionsvis kan afskærme broen.

4.9 Blæsekabiner

Tør og våd frustråleblæsning af småemner kan udføres i kabiner der betjenes udefra - se figur 4.14.

Kabinerne er miniatureudgaver af et stationært anlæg til frustråleblæsning.

Kapacitet, rensningsgrad og ruhed som ved frustråleblæsning.



Figur 4.14

Arbejdstilsynet har udarbejdet en anvisning om sandblæsning, At-meddelelse nr. 4.04.7, nov. 1985.

5. Materialer: Blæsemidler

5.1 Alment

Afsnittet omhandler kun blæsemidler bestående af fast materiale og er alene baseret på litteraturoplysninger.

Virkemåde

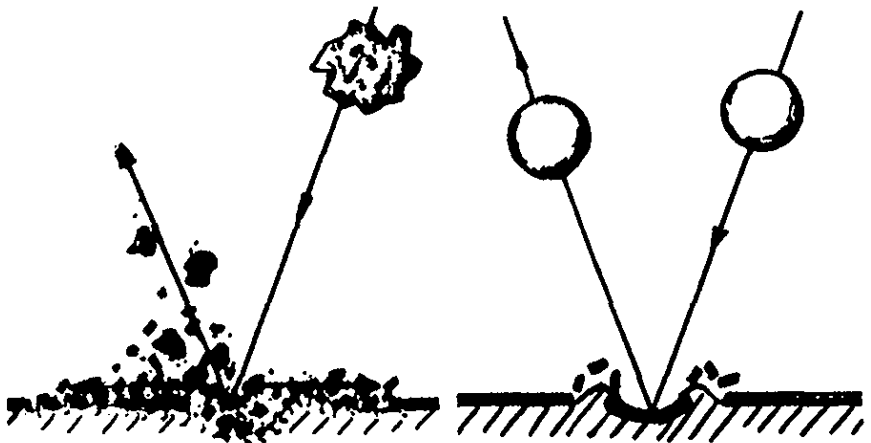
Blæsemidlets funktioner ved rensning af en ståloverflade kan opdeles i 2:

- slagpåvirkning
- rive-/slibepåvirkning.

Ved slagpåvirkningen tilsigtes en deformering af det materiale der ønskes afrenset, hvorved materialet løsnes eller springer fra overfladen.

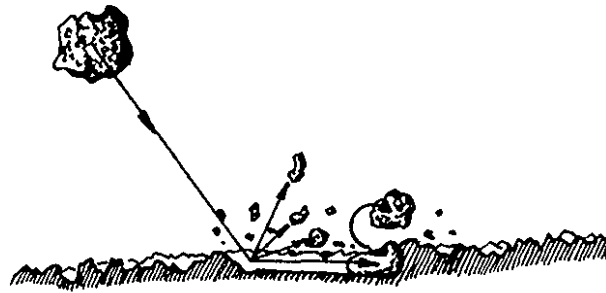
Mekanismen ved anvendelse af henholdsvis skarpkantet og rundt blæsemateriale fremgår af nedenstående figur 5.1.

Ved rive-/slibepåvirkningen tilsigtes en bortslidning af materialet, jvf. figur 5.2.



Mekanismen ved blæsning med skarpkantet og rundt blæsemateriale

Figur 5.1



Figur 5.2

I praksis foregår de 2 processer samtidig. Afhængig af blæsemiddel og blæsevinkel vil den ene eller den anden effekt være dominerende.

Effektivitet

Effektiviteten af blæserensningen er generelt afhængig af den energi der kan overføres til bearbejdning af overfladen. Her gælder følgende sammenhæng:

$$E = \frac{1}{2} mv^2, \text{ hvor}$$

E = partiklens energi

m = massen af blæsemiddel

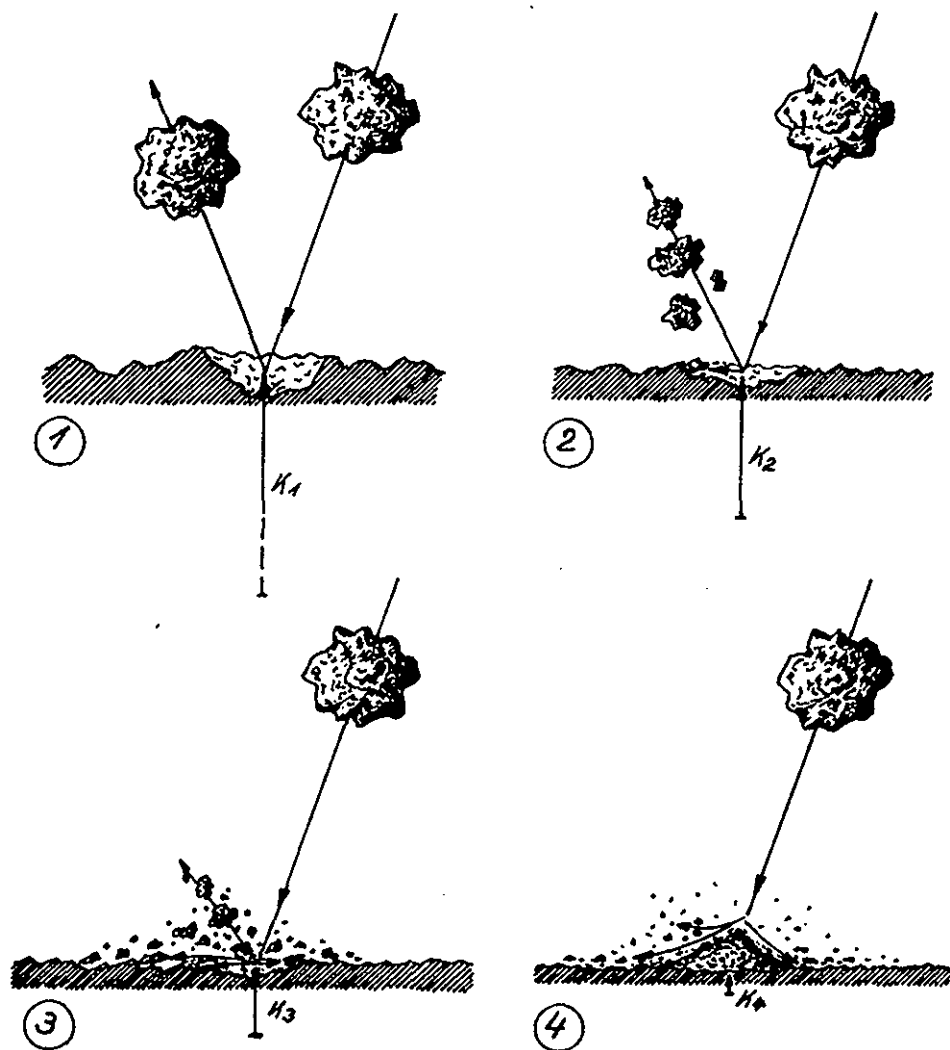
v = hastigheden hvormed partiklen rammer overfladen.

Heraf fremgår, at jo større massefylde, kornstørrelse og hastighed et blæsemiddel har, des større effekt afsætter det enkelte korn på overfladen. Omvendt falder "dækningsgraden" med stigende kornstørrelse, dvs. der bliver større afstand mellem anslagpunkterne.

I praksis bør man for at sikre en effektiv og optimal rensning sammensætte blæsemidlet med passende kornstørrelsesfordeling afhængig af:

- underlagets karakter
- blæsemidlets fysiske egenskaber.

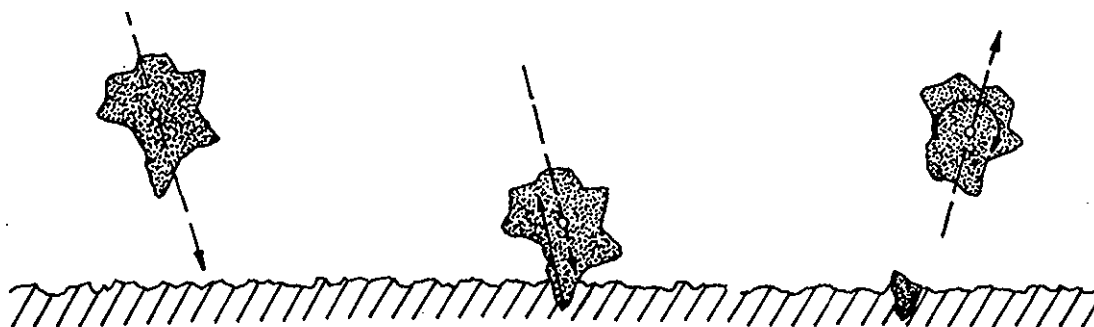
Ved anslag mod underlaget vil blæsemidlet deformeres og/eller sønderdeles. Det er karakteristisk for éngangsblæsemidler at disse har en høj tilbøjelighed til sønderdeling og støvdannelse. Genanvendelige blæsemidler vil enten blot deformeres eller sønderdeles i langt mindre grad. Forholdene ved anslaget kan skitseres som i nedenstående figur 5.3.



Figur 5.3

Som det fremgår vil bearbejdningen eller den overførte energi også være afhængig af den indre styrke i blæsemidlet, idet en del af anslagsenergien forbruges ved sønderdelingen.

Ved blæserensning er det uundgåeligt at en del af blæsemidlet afsættes som fastsiddende partikler på ståloverfladen - se figur 5.4.



Figur 5.4

Blæsemidler må naturligvis ikke indeholde stoffer der kan virke korrosionsfremmende. Sådanne stoffer kan være:

- vandopløselige salte
- metalforbindelser der kan give galvanisk korrosion ^{55,65}.

5.2 Blæsemiddeltyper, standarder

Blæsemidlerne kan inddeles som i skema 5.1, jvf. ISO/DIS 8504-2 ⁶¹.

Ved blæserensning foreskrives normalt en rensningsgrad i henhold til ISO 8501-1, 1988 - tidligere DS 2019. Rensningsgraden er defineret såvel i tekst som i billeder.

Billederne er fotografier af varmvalset stål blæst med kvartssand. Anvendelse af andre typer blæsemiddel vil give større eller mindre afvigelser fra standarden.

Oversigt over blæsemiddeltyper

Hovedgruppe	Under-gruppe	Type		Partikel-form	Bemærkninger
Metalliske blæsemidler	Ferri	Støbt jern	Varmebehandlet/hærdet	S eller G	Til fristråleblæsning og/eller slyngrensning
		Støbt stål	Varmebehandlet/hærdet forskellige legeringer, herunder rustfast	S eller G	
		Trådklip	Varmebehandlet/hærdet forskellige legeringer, herunder rustfast	W	
Ikke-metalliske blæsemidler	Naturlige mineraler		Kvartssand Olivin Feldspat Flint Stavrolit		Til fristråleblæsning
	Syntetiske mineraler	Aluminium	Korund Mullite	G G eller S	Til fristråleblæsning
		Silicium		G	Til specielle formål
		Slagger	Kulslagger (aluminium-silikat) Stålovn og jern-højovns slagger (calciumsilikat) Kobberslagge (jern-silikat)	G	Hovedsagelig til fristråleblæsning
	Organiske	Keramik og glasperler		S	Rustfaste emner og specielle formål
		Nøddeskal Plastic		G	Hovedsagelig fristråleblæsning (let afrensning uden ruhed)

Kilde: ISO/DIS 8504-2, med modifikationer

S: Shot, kugler

G: Grit, kantet

W: Wire, trådklip

Skema 5.1

5.3 Gennemgang af gængse blæsemiddeltyper

Éngangsblæsemidler

Ved éngangsblæsemidler forstås almindeligvis mineralske granulater af forskellig oprindelse.

Hovedtyperne er:

- kvartssand
- kulslagge
- kobberslagge
- olivinsand.

Kvartssand

Kvartssand til blæserensning udvindes for størsteparten af bakkemateriale. En mindre del er dog udvundet af sømateriale.

Det udvundne sand vaskes eventuelt, sigtes og tørres. Normalt foretages udsigtning i flere kornstørrelsesfordelinger. Den kemiske sammensætning er meget ensartet. Kvartssand stammer fra Danmark.

Kulslagge

Kulslagge er et affaldsprodukt fra kraftværker med vådbundskedler. Produktets hovedbestanddel er amorft jernalumini-umsilikat og markedsføres ofte under betegnelsen alumi-umsilikat.

Den kemiske sammensætning af slaggen varierer afhængig af bl.a. kulstype.

Før levering til blæsning foretages følgende:

- evt. nedknusning
- evt. vask
- tørring
- sigtning
- evt. fjernelse af kulstøv.

Hovedparten af slaggerne leveres i oprindelig kornstørrelse og indeholder en relativ stor mængde grovkornede partikler.

Generelt er der ikke konstateret indhold af toksiske og cancerogene stoffer der overskrider de tyske normer⁵⁵.

Den danske produktion af kulslagge foregår kun på ét kraftværk og kun på en reserveblok, hvorfor produktionen ikke er jævn. Den øvrige del importeres fra Vesttyskland og Holland.

Kobberslagge

Kobberslagge er et affaldsprodukt fra fremstilling af kobber såvel primær (ud fra malm) som sekundær (ud fra skrot).

Produktets hovedbestanddel er glasagtig jernsilikat med amorf struktur.

Den kemiske sammensætning af slaggen varierer, og materialet indeholder større mængder af cancerogene og toksiske stoffer end kulslagge. Variationen stammer fra de anvendte råstoffer, især sekundærfremstillingen vil ofte give højere koncentrationer af sundhedsskadelige stoffer.

Før levering til blæsning foretages samme oparbejdning som for kulslagge.

Der findes ingen dansk produktion af kobberslagge. Den største del importeres fra Vesttyskland og Sverige.

Øvrige slagger

Der findes slagger egnet til blæsning fra andre produktioner, f.eks. af Nikkel og Chrom, men disse typer findes p.t. ikke på det danske marked.

Olivinsand

Olivinsand udvindes enten af bakkemateriale eller af nedknust klippe. Der findes bl.a. forekomster i Norge og på Grønland.

Produktets hovedbestanddele er silikat og magnesiumoxid.

Den kemiske sammensætning er ensartet, men geologisk er det muligt at der kan forekomme områder med asbestforekomster i olivinen. I Danmark anvendes kun nedknust klippe fra Norge.

I skema 5.2 er anført nogle eksempler på kemisk indhold og fysiske karakteristika ved nogle éngangsblæsemidler. Eksemplerne er udvalgt blandt udenlandske undersøgelser af typer der er relevante for det danske marked. Se skema 5.2 3,4,5,6,13,51,55,65,67.

Eksempler på indhold og egenskaber af mineralske blæsemidler

		Kobberslagge	Kulslagge	Olivinsand	Kvartssand
Indhold					
Silikat, bundet	Si O ₂	25-34%	47-54%	40-42%	95-99%
Kvarts	Si O ₂	< 2%	< 2%	< 1%	30-80%*
Jern	Fe O/Fe ₂ O ₃	30-57%	4-26%	1-10%	0,1%
Aluminium	Al ₂ O ₃	3-10%	15-34%	0,03-1,0%	0,5-1,0%
Calcium	Ca O	0,2-20%	1-5%	0,05%	0,1%
Natrium	Na ₂ O	-	-	-	0,1-0,2%
Kalium	K ₂ O	-	-	-	0,2-0,4%
Zirconium	Zr ₂ O ₃	-	-	-	0,05%
Magnesium	MgO	-	-	48-50%	Spor
Titanium	TiO ₂	-	-	-	1%
Kul	C	-	< 0,7%	-	-
Svovl	S	< 1%	-	-	-
Kobber	Cu	0,0-1,5%	0,001-0,3%	U/D	-
Antimon	Sb	0,1-1%	-	-	-
Bly	Pb	< 2,0%	0,003-0,03%	0,0	-
Kadmium	Cd	0,3-3,0%	0,01-0,1%	0,01%	-
Mangan	Mn	0,003-0,03%	0,1-1%	0,1-1,0%	Spor
Tin	Sn	0,01-0,04%	-	-	-
Arsen	As	0,0001-0,0002%	< 0,01%	0,004%	-
Beryllium	Be	0,03-0,3%	0,0005-0,0013%	-	-
Krom	Cr	0,01-0,1%	0,003-0,3%	0,03-0,4%	Spor
Nikkel	Ni	-	0,01-0,1%	0,01-0,1%	-
Kobolt	Co	-	-	-	-
Glødetab		÷ 1 - ÷ 5%	÷ 1 - ÷ 1,5%	0,13%	0,1-0,15%
Kontamineringer					
Kloridindhold		6-27 ppm	6-55 ppm	17 ppm	-
Ledningsevne		3-73 µS/cm	3,5-7,5 µS/cm	4,6 µS/cm	-
Fysiske egenskaber					
Specifik vægtfylde		2,5-4,2 g/cm ³	2,6 g/cm ³	3,2 g/cm ³	2,6-2,7
Hårdhed, Mohr		7-7,5	6-7	6,5-7	7
Kornform		Meget angulær	Angulær	Angulær - let rundet	Let rundet
Anvendelsestekniske egenskaber					
Sammenlignelig med rensningsgraderne i DS 2019		Ikke umiddelbart	Ja, med mindre modifikationer.	Ja, med mindre modifikationer.	Ja
Støvdannelse		Lav/høj	Let til moderat	Høj	Høj
Genanvendelighed		1-3 gange	1-3 gange	1 gang	1 gang
Forbrug kg/m ² (Sa 2½)		39-71	33-52	40	29-40
Tid, m ² /time (Sa 2½)		12-17	10-21	19	17-21
Tendens til flash rust		Ingen/meget	Ingen/let	Ingen	Ingen
Tendens til blæredannelse		Ingen/kraftig	Ingen	Ingen/kraftig	Ingen

* Målt i respirabelt støv

- Ingen oplysninger/Ikke undersøgt

U/D Under detektionsgrænsen

Skema 5.2

Korund

Gruppen af genanvendelige mineralske blæsemidler er domineret af korundtyper og i mere beskedent omfang flint.

De almindeligt anvendte korundtyper er et kunstigt fremstillet mineral.

Efter smeltning i lysbueovn køles massen ned i form af en blok der efterfølgende nedknuses og udsigtes i de ønskede kornstørrelsesfordelinger.

Som blæsemiddel er korund meget aggressivt. Kornene er skarpkantede og materialet har en høj hårdhed på omkring 9 Mohr, hvilket i forbindelse med en vægtfylde på ca. 4 g/cm³ gør det til et meget effektivt blæsemiddel.

For at få størst udnyttelse (længst standtid) anvendes ofte et relativt lavt blæsetryk på ca. 5 bar (mod normalt 7-10 bar), men selv ved det lavere tryk kan opnås en rensehastighed som svarer til den de beslægtede blæsemidler har ved et højere tryk.

Der kan skelnes mellem forskellige typer korund efter hårdhed, sejhed og jernindhold. Ofte er typerne helt enkelt karakteriseret ved deres kulør.

I skema 5.3 er angivet nogle retningsanalyser af typerne 51,69.

Type Indhold	Hvid ædel- korund %	Rosa ædel- korund %	Brun normal- korund %	Blæse- rensnings- korund %	Blæse- rensnings- korund (regene- reret)** %	Blandings- korund (regene- reret)*** %
Al ₂ O ₃	99-99,6	99,4	95,8	64,3	84,2	80,1
SiO ₂	0,02-0,1	0,1	0,7-1,0	7,0	1,7	11,6
Fe ₂ O ₃	0,02-0,1	0,02	0,2-0,5	21,5*	0,3	0,2
TiO ₂	0,008-0,1	0,008	3,1-4,0	5,8	2,8	0,7
CaO	0,05	0,05	0,2	-	0,8 (incl. MgO)	1,6 (incl. MgO)
Na ₂ O	0,25-0,3	0,25	0,02	-	-	-
Cr ₂ O ₃	-	0,25%	-	-	-	-

* Bundet som jernsilikat

** Regenereret fra slibemidler: indeholder desuden 3,9% SiC og 6,3% epoxy-bindemiddel

*** Regenereret fra slibemidler: indeholder desuden 5,8% SiC

Skema 5.3

Den hvide ædelkorund er den hårdeste og sprødeste type. Den rosa er produceret ved tilsætning af chrom til hvidkorund, hvorved der opnås en større sejhed og dermed længere standtid. Den brune normalkorund er karakteriseret ved sin relativt høje sejhed.

Nogle korundtyper har et jernindhold der gør dem uegnede til rensning af rustfaste materialer.

Flint

Flint til sandblæsning udvindes f.eks. som sten af sømateriale. Stenene nedknuses og udsigtes i de ønskede kornstørrelser.

I skema 5.4 er angivet en retningsanalyse for flint.

	Vægt%
SiO ₂	99,01
Al ₂ O ₃	0,08
Fe ₂ O ₃	0,24
CaO	0,23
MgO	Spor-

Skema 5.4

Metalliske blæsemidler

Gruppen af metalliske blæsemidler er domineret af jern- og stålstøbte sand.

Der skelnes mellem følgende hovedtyper:

- Jernstøbt shot
- Jernstøbt grit
- Stålstøbt shot
- Stålstøbt grit
- Trådklip

De runde partikler fremstilles ved at bratkøle en udsprøjtet stråle af det smeltede materiale i en vandstråle. De vinkel-dannede partikler (grit) fremstilles ved en efterfølgende knusning.

For både shot og grit kan udføres en varmebehandling til regulering af hårdhed og sprødhed.

De jernstøbte blæsemidler har et højt kulstofindhold på 3,2-3,6% og er relativt sprøde og hårde. Den mest anvendte kvalitet er jerngrit med en hårdhed på 60-65 HRC til brug i fristråleanlæg.

De stålstøbte har et kulstofindhold på 0,85-1,2% og kan fås i varierende hårdhed og sejhed afhængig af varmebehandling og legeringstilsatser som f.eks. silicium og mangan.

De stålstøbte udgør den dominerende del af disse blæsemidler. Enten i form af shot hvoraf langt størsteparten bliver anvendt i slyngrenseanlæg eller grit der anvendes både til fristråleblæsning og slyngrensning.

Til fristråleblæsning anvendes i reglen et hårdt stål (HRC 60-65) som er af et effektivt slibende materiale.

Til slyngrensning anvendes normal relativt blødt stål (HRC 45-50) for at opnå en lang levetid på slyngelementerne, idet metoden er så effektiv, at det kompenserer for det mindre aggressive blæsemiddel.

Den sidste hovedtype udgøres af trådklip som fremstilles ved at klippe en ekstruderet ståltråd i korte stykker. Trådklip anvendes i slyngrenseanlæg. Det er et sejt blæsemiddel med en lang levetid 7,8,9,51.

Jern- og stålstøbte blæsemidler leveres normalt i kornstørrelser/kornstørrelsesfordelinger i henhold til SAE J444 eller DIN 8201.

Genanvendeligheden eller standtiden for blæsemidler varierer mellem 20 og 4000 gange.

Den højeste standtid findes for bløde shot og trådklip og den korteste for jerngrit.

I praksis vil standtiden ofte være kortere end den specificerede bl.a. på grund af udskilning af brugbare korn i regenereringsenheden.

5.4 Forsøg med utraditionelle blæsemidler

I bestræbelserne på at finde afløsere for de klassiske blæsemidler eller midler til løsning af nogle af de problemer der er knyttet til blæserensning har bl.a. været udført forsøg med:

- blæsning med iskrystaller
- blæsning med CO₂-is
- blæsning med zinkbelagte blæsemidler.

Iskrystaller

TNO i Holland har gennemført en omfattende forsøgsrække for at afdække mulighederne for at blæse- eller slyngrense med partikler af frossent vand. Ud over vanskelighederne med at fremføre de frosne partikler har forsøget vist, at hammer-/slibeeffekten er for ringe til at materialet kan udnyttes kommercielt ¹⁶.

CO₂-is

Metoden til blæsning med CO₂-is er udviklet af Lockheed.

Her er tale om et kommercielt tilgængeligt anlæg.

Anlægget arbejder i princippet som et traditionelt fristråleanlæg hvor der benyttes CO₂-is med en densitet på 1,5 g/cm³ som blæsemiddel.

Midlet er specielt egnet til at afrense belægnings og forureninger på overflader hvor der er høje krav til et ubeskadiget/upåvirket underlag (f.eks. flyindustrien) ⁵⁴.

Blæsemidlet vil formentlig vise sig for langsomt og dyrt til at være et egentligt alternativ til traditionelle blæsemidler.

Der pågår dog forsøg i Sverige med rensning af stål, men udfaldet er endnu ukendt.

Zinkbelagt blæsemiddel

Der findes kommercielt tilgængelige blæsemidler med en tynd zinkbelægning.

Som bærende partikel anvendes et slaggeprodukt der belægges ved hjælp af et epoxybindemiddel med et få µm tyndt lag af fint zinkstøv.

Herved undgås umiddelbart ingen af de miljømæssige gener, tværtimod tilføjes en belastning med zinkstøv.

Fordelen ligger i den inhibering der tilføres den blæste overflade ved at en del af zinken afsættes på overfladen.

Inhiberingen kan bl.a. udnyttes til at anvende våde blæsemetoder hvor der ikke kan accepteres nyrust.

Prisen på blæsemidlet, 4-5 gange den normale pris på kul- og kobberslagger, gør det dog til et relativt kostbart materiale at anvende i fristråleanlæg ^{1,2,3,44}. Udbredelsen er følgelig yderst ringe.

6. Status i virksomhederne

Et halvt hundrede virksomheder i branchen er blevet interviewet om omsætning og anvendelse af anlægstyper og materialer samt synspunkter på eksisterende alternativer til tør fri-stråleblæsning med kvartssand. Heraf var ca. 20 leverandører af blæsemidler og blæseudstyr, mens de resterende 30 var udførende virksomheder.

De leverende virksomheder dækker en meget stor del af det danske marked.

Spørgsmålene til blæsemiddelleverandørerne handlede om:

- Årsomsætning af diverse typer
- Listepreiser
- Erfaringer indsamlet fra udførende virksomheder
- Analyser af typerne
- Praktiske afprøvninger, herunder af støvdannelse
- Genanvendelighed.

Omvendt dækker de udvalgte udførende virksomheder skønsmæssigt kun 25-40% af omsætningen beregnet som afrensede kvadratmeter.

De udførende virksomheder er kun delvis tilfældigt udvalgt, idet der er lagt vægt på at de skulle repræsentere forskellige sider af branchen, så som: Lønarbejdende, stålforarbejdende med egen overfladebehandling, skibsværfter med delvis køb af overfladebehandling.

Virksomhederne spænder fra mindre lønarbejdende der blæserenser 10.-20.000 m²/år uden værkstedsfaciliteter, til store forarbejdende virksomheder der blæserenser omkring 1 mill. m²/år i lukkede anlæg.

Herved er undersøgelsen ikke repræsentativ hvad angår kvantiteter, men til gengæld burde der være en rimelig sikkerhed for at hovedparten af synspunkter og erfaringer er repræsenteret.

Spørgsmålene til virksomhederne handlede om følgende forhold:

- Årsproduktion
- Anvendte blæsemetoder og vurdering af de anvendte samt alternative metoder
- Anvendte blæsemidler og vurdering af de anvendte samt alternative metoder.

Svarene er opsummeret i nedenstående afsnit 6.1-6.4.

6.1 Omsætning af blæsemidler

Årsomsætningen i mængder og priser for de enkelte blæsemidler er opsummeret i skema 6.1.

Leverandøropgivelser af omsat mængde og pris

	1 Kvarts- sand	2 Kul- slagge	3 Kobber- slagge	4 Olivin- sand	5 Flint- sand	6 Korund	7 Jerngrit	8 Stålgrit	9 Stålshot	10 I alt
Mængder* Årsgennemsnit i tons	87.000	26.000	13.000	0	200	600	520	1.000	800	129.120
b. Gennem- snitlige listepriser kr./tons	125	340	360	400	1.100	8.500	3.800	4.800	4.800	-
c. Total omsæt- ning i tusind kr. (A × B)	10.875	8.840	4.680	0	220	5.100	1.976	4.800	3.840	40.331

* For de metalliske blæsemidler er endvidere sammenlignet med importstatistikken. Talsættene er ikke fuldt sammenlignelige, men der optræder en rimelig størrelsesmæssig korrespondance.

Skema 6.1

Som det fremgår omfatter skemaet såvel éngangs- som genanvendelige blæsemidler. Af hensyn til en vurdering af de relative blæsemiddeludgifter pr. arealenhed er i skema 6.2 foretaget et skøn over standtiden på grundlag af modtagne oplysninger. De deraf følgende relative omkostninger er herefter beregnet.

Det er ved beregningen forudsat at der gennemsnitlig kan afrenses 1 m²/50 kg blæsemiddel.

Teoretisk vurdering af relative omkostninger til blæsemiddel pr. arealenhed, kvartssand = 100

	1 Kvarts- sand	2 Kul- slagge	3 Kobber- slagge	4 Olivin- sand	5 Flint- sand	6 Korund	7 Jerngrit	8 Stålgrit	9 Stålshot
Genanvendelighed gange	1	1-4	1-4	1	1-10	10-30	20-300	30-500	500-2500
Pris kr./tons	125	340	360	400	1100	8500	3800	5200	5200
Relativ pris pr. arealenhed	100	68-272	72-288	320	88-880	220-680	33-486	26-444	7-28

Skema 6.2

Der er ikke i skønnet taget hensyn til investeringer, vedligehold, tab af blæsemiddel m.v.

6.2 Årsproduktion, metoder og blæsemidler

Ud fra virksomhedernes enkeltoplysninger er foretaget en sammenstilling af blæsemetodernes og blæsemidlernes vægt i den samlede årsproduktion.

Fordeling af anvendte metoder og blæsemidler i interviewede virksomheder, årsgennemsnit i 1.000 m² og procent

Metode \ Blæse- middel	1 Kvarts- sand	2 Kul- slagge	3 Kobber- slagge	4 Korund	5 Jerngrit	6 Stålgrit	7 Stålshot	8 Vand	9 I alt
I værksted									
- Fristråle	200	40	5	2	300	700	0	0	1247
- Slyngrensning	-	-	-	-	0	1000	200	-	1200
Udendørs									
- Fristråle	700	460	400	-	0	0	0	-	1560
- Våd fristråle	2	2	3	-	-	-	-	-	7
- Vakuumb-fristråle	1	10	10	20	0	0	0	-	41*
- Slyngrensning mobil	-	-	-	-	0	0	15	-	15
- Højtryksspuling	15	3	2	-	-	-	-	3	23
Total for udførende									
- Absolut									
- Relativ	918 22%	515 13%	420 10%	22 1%	300 7%	1700 42%	215 5%	3 0%	4093 100%
Leverandøroplysninger									
- Anslået**									
antal m ²	1740	520	260	300	420	2000	4300	-	9540
- Relativ fordeling	18%	5%	3%	3%	4%	21%	45%	-	99%

- Ikke relevant kombination

* En del udføres indendørs, men udenfor sandblæsehal

** Skønnet antal m² ved anvendelse af de opgivne mængder i skema 6.1 (standtid i nævnte rækkefølge: 1, 1, 1, 25, 40, 100, 1000 gange)

Skema 6.3

Endvidere er anført et skøn over den totale årsproduktion baseret på leverandørernes oplysninger (her er for overskuelighedens skyld valgt ét tal for standtiden). Forskellen mellem resultatet af "total for udførende" og "leverandøroplysninger" skyldes at

- ikke alle udførende indgår i undersøgelsen, bl.a. stålstøberier og leverandører
- de udførende er ikke udvalgt repræsentativt
- stort set alle blæsemiddelleverandører er medtaget.

Som det fremgår er stålblæsemidlerne de dominerende blæsemidler og delvis i forlængelse heraf er slyngrensning den dominerende metode.

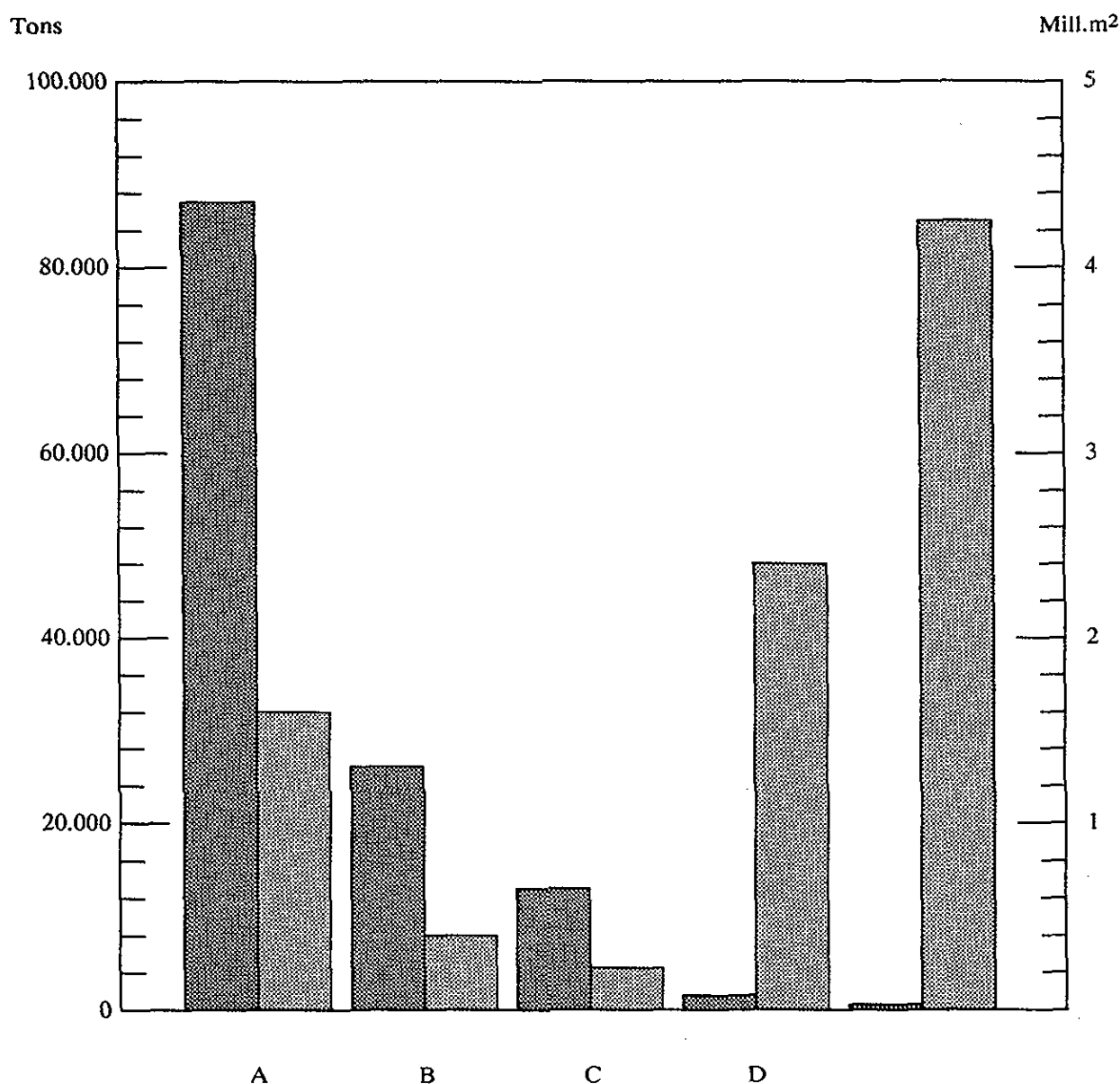
Fristråleblæsning med éngangsmidler har dog stadig en produktionsandel på over 30%. Ud fra leverandøroplysning-

gerne må det formodes, at det dominerende blæsemiddel fortsat er kvartssand, idet der dog er en vis ligevægt mellem forbruget af sand og slagger hos de interviewede udførende virksomheder.

Anvendelsen af alternative metoder udendørs synes at være forsvindende. I omstående skema må de alternative metoder anses for at være overrepræsenteret.

I nedenstående figur 6.4 er anført forbrug af blæsemidler i forhold til behandlede antal m².

Forbrug - Blæsemidler, mængder og rensede m²



- A = Kvartssand
- B = Kulslagge
- C = Kobberslagge
- D = Grit
- E = Shot

6.3 Blæsemetoder

Våd fristråleblæsning

Branchen kender metoden, men kun få bruger den, fordi:

- Vandet medfører nyrustdannelse og rensningsgraden tåler ikke sammenligning med standarden (tør sandblæst)
- Slamlag afsættes på de rensede områder
- Der opstår en pakning af blæsemiddel i hjørner og samlinger på komplicerede emner samt i gruber på D-stål (grubetæret stål)
- Der kræves mere omfattende oprydningsarbejde, herunder rengøring af færdigbehandlede områder
- Rensehastigheden reduceres op til 50%.

En mindre del af virksomhederne overvinder nogle af disse problemer ved nedspuling eller skylning/støvsugning af slam, brug af inhibitor i vandet, anvendelse af malingstyper der kan påføres på nyrust og udvælgelse af arbejdsdage med meget tørrende klimaforhold.

Enkelte betragter metoden som effektiv, ulemperne som overkommelige, samtidig med at der opnås væsentlige gevinster med hensyn til støvdæmpning, fjernelse af salte og gnistfare-reduktion.

Højtryksspuling

Kun meget få virksomheder har egentlige erfaringer med højtryksspuling, og i givet fald kun med anlæg på 600-700 bars tryk og tilsætning af blæsemiddel efter ejektorprincippet.

Effektiviteten vurderes til 25-50% i forhold til tør fristråleblæsning. Metoden anvendes kun sjældent til andet end svirpning (let blæsning) eller til fjernelse af forureninger i forbindelse med tør blæsning og meget sjældent ved nybehandling.

En enkelt anvender højtryksspuling uden tilsætning af blæsemiddel med samme effektivitet, men med et deraf følgende reduceret oprydningsarbejde.

En virksomhed anvender anlæg der arbejder efter trykkammerprincippet. Herved opnås en fuld renseshastighed på rent stål og en bedre effektivitet når der skal afrenses svære fleksible gummiagtige belægninger (sådanne belægninger kan være særdeles modstandsdygtige overfor fristråleblæsning).

I øvrigt gælder stort set samme synspunkter som ved vådblæsning.

Vakuumblesning

Anvendes kun af meget få som et egentlig alternativ, men snarere til reparationer efter transport og sammenføjning.

Metodens effektivitet er stærkt afhængig af konstruktionsudformning, men vurderes generelt til 25-50%.

Fordelene er bedre arbejdsforhold, stærkt reducerede gener for andre personer i området og hensigtsmæssig affaldshåndtering.

En ulempe er, at anlægget er tungere og mere trættende at arbejde med.

Slyngrensning

Er typisk en integreret del af en produktionsproces og har kun i mindre omfang karakter af rent lønarbejde.

Stålkomponenter vil ofte blive slyngrenset (og eventuelt påført en shopprimer) før oparbejdning, uanset at der i forbindelse med den afsluttende overfladebehandling skal udføres en blæserensning.

I virksomheder med en stor gennemstrømning af stålkomponenter, der kan slyngrenses indledningsvis i produktionsprocessen, betragtes udgiften til slyngrensning som indtjent ved reduktionen af arbejdet med blæserensning i forbindelse med overfladebehandlingen.

Som lønarbejde er slyngrensningen mindre markant effektiv.

Med hensyn til mobile slyngrensere er der kun oplyst om anvendelse på vandrette flader til blæsning med stålshot og rensningsgrad Sa 2. Men metoden er meget effektiv og uden gener for andre personer i området.

Generelt anvendes våd fristråle, højtryksspuling og vakuumbæsning kun når der foreligger direkte påbud eller klare tekniske forhold taler herfor.

Fugtblæsning

Der synes ikke at være danske erfaringer.

Anvendelsen af de øvrige alternativer er klart økonomisk motiveret.

6.4 Blæsemidler

Hvor intet andet er nævnt er blæsemidlet sammenlignet med kvartssand.

Kul- og kobberslagge

Blæsemidlerne er almindelig kendt i branchen, men erfaringerne er dog koncentreret på et mindre antal virksomheder. Produkterne har fortrinsvis været anvendt på værfterne efter man i en årrække har ønsket at undgå kvartssand.

Der er stærkt divergerende opfattelser af produkterne.

Det følgende er en fællesnævner for de vurderede ulemper:

- Overfladen sværtes og er dermed usammenlignelig med standarden for rensningsgraden (især ved kobberslagge)
- Ruheden bliver for stor
- Effektiviteten er mindre (10-30%)
- Produkterne må deponeres på kontrolleret lodseplads
- Sort støv giver anledning til klager fra omgivelser og operatører
- Indhold af giftige forbindelser der kan forurene in- og eksternt
- Produkterne er for dyre

Omvendt bedømmes fordelene som følger:

- God effektivitet
- Mindre støvdannelse
- Genanvendelighed (af kulslagge) 2-4 gange
- Sammenlignelig med standard (kulslagge)

Det er den generelle vurdering at de fleste virksomheder vil foretrække kvartssand frem for slagge og at disse kun anvendes når der er tale om et mere eller mindre direkte påbud.

En undersøgelse af tyske virksomheders erfaringer med erstatningsprodukter (slagge) for kvartssand viser sig med hensyn til ulemper at være stort set overensstemmende med ovenstående⁵⁵.

En række af de interviewede virksomheder havde indenfor de senere år investeret i værkstedsfaciliteter til fristråleblæsning med genanvendelige blæsemidler. I et vist omfang er disse investeringer foranlediget af miljøkrav.

Ulemperne ved anvendelse af metalliske blæsemidler vurderes som følger:

- Rensningsgraden er ikke umiddelbart sammenlignelig med standarden
- Ikke velegnet til sandsvirpning
- For stor ruhed, på grund af uhensigtsmæssig stor kornstørrelse (forkert driftblanding)
- Materialet er fugtfølsomt
- Stålstøv forurener omgivelserne med rustpletter (dårlig filtrering af afkastluften)
- Høj m² pris på grund af investeringer i værksted

Omvendt vurderes fordelene som følger:

- Ringe støvdannelse, mindst ved stålgrit
- God effektivitet
- Billigt blæsemiddel, på grund af genanvendeligheden (erfaringerne spænder fra 20 til 500 gange)
- Sammenlignelig med standarden (efter en vis erfaring med anvendelsen).

Der anvendes i stigende omfang hvad der kan betegnes som sekundære støvdæmpende foranstaltninger, i form af inddækning med pressenninger, finmasket net eller vandtæppe.

Afhængig af lokalisering stiller nogle virksomheder krav om opsætning af afdækning eller inkluderer dette i tilbud som en direkte følge af erfaringer med omgivelsernes reaktion på generne ved sandblæsning.

Inddækninger kan udføres med presenninger, net eller vandtæppe.

Inddækningerne menes at give en rimelig dæmpning af den synlige støvspreddning. Vandtæppet er dog temmelig følsomt overfor vind og kan nemt give fugt på overfladen ved turbulente strømninger omkring konstruktionen.

Virksomheder der udfører arbejde og seriøst foretager foranstaltninger til støvdæmpning beklager at der findes andre virksomheder i branchen der i miljømæssig henseende udfører arbejde efter "hit and run"-princippet og dermed overholdes Arbejdstilsynets anvisning 4.04.7, nov. 1985 heller ikke.

7. Miljøbelastning ved blæserensning

Miljøbelastningen ved anvendelse af et blæsemiddel afhænger af følgende faktorer:

- sønderdelingstilbøjeligheden
- indhold af skadelige stoffer i blæsemidlet
- indhold af skadelige stoffer i det afrensede materiale
- forbrug af blæsemiddel pr. arealenhed

7.1 Sønderdelingstilbøjeligheden

Miljøbelastningen ved blæserensning stammer fra både blæsemiddel og underlag.

I det omfang der er tale om tør blæserensning består forureningen kun af faste partikler.

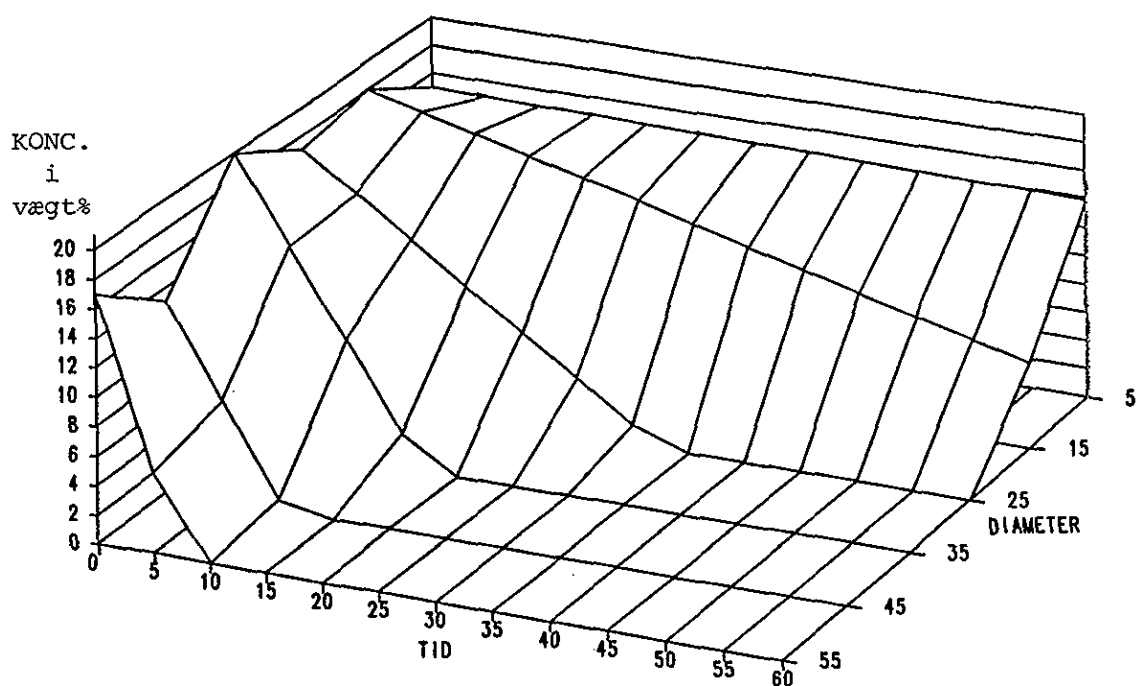
Der kan skelnes mellem 3 kategorier:

- Partikler med $\phi > 25-50 \mu\text{m}$: Faldhastigheden gør, at disse partikler under normale omstændigheder vil falde indenfor arbejdsområdet og hermed kunne fjernes i forbindelse med oprydning.
- Partikler med $\phi 10-25 \mu\text{m}$: Faldhastigheden for disse partikler medfører at de antagelig ved mange arbejder vil falde udenfor selve arbejdsstedet.
- Partikler med $\phi < 10 \mu\text{m}$: Betegnes i denne sammenhæng som luftbårent støv, faldhastigheden er så lille at partiklerne kan spredes over et i praksis uendelig stort areal. Disse partikler er fremover betegnet som respirabelt støv mod det sædvanlige på op til $7 \mu\text{m}$.

I figur 7.1 er vist en række sedimentationstider som funktion af partikeldiameter¹. Figuren er en model over sedimentation for støv i indåndingshøjde (1,5 m), udtrykt som koncentrationen afhængig af partikelstørrelse og tid.

¹ Det er ved beregningen forudsat at partiklerne er sfæriske (kugleformede). Se i øvrigt bilag 2.

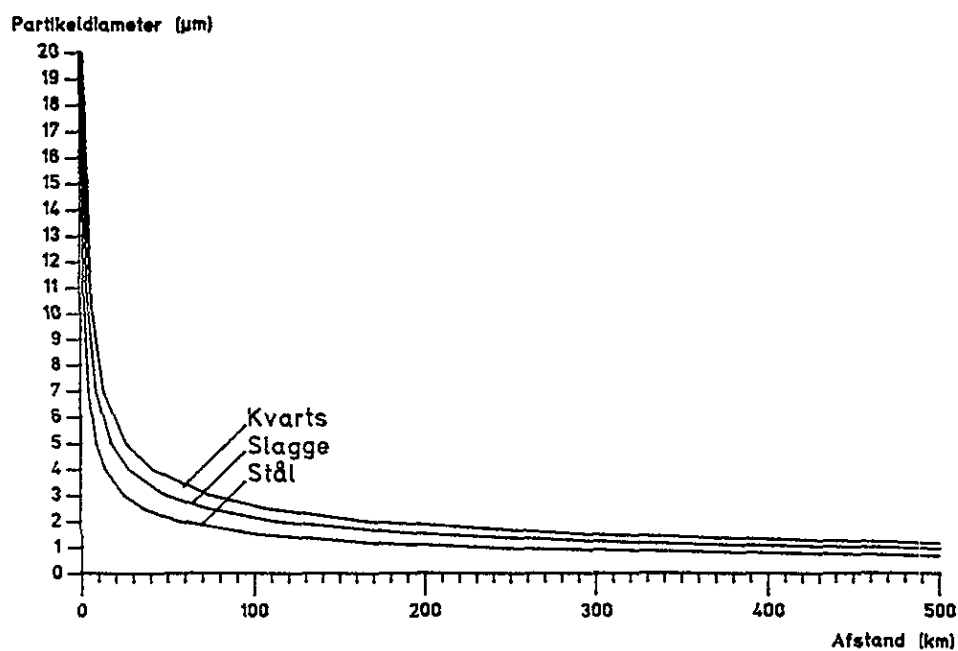
Sedimentationstid for kvartsstøv
Tid i sekunder og diameter i micrometer



Figur 7.1

Ved blæserensningen udendørs vil støvet være påvirket af vinden. I figur 7.2 er foretaget en teoretisk beregning over nedfaldsafstande som funktion af kornstørrelse ved forskellige aktuelle densiteter af blæsemiddel.

Nedfaldsafstand for blæsemidler
Udsendt i 10 meters højde ved en vindhastighed på 5 m/s



Figur 7.2

Som det fremgår er densiteten kun af sekundær betydning for de luftbårne partikler.

Forskellige blæsemiddeltyper har forskellig tilbøjelighed til at sønderdeles.

Nedenstående skema 7.1 er et eksempel på en afprøvning af nogle udvalgte blæsemidler ⁵¹

Blæsemiddel	Relativ støvkonzentration pr. vægtenhed blæsemiddel i forhold til jerngrit		
	Partikelstørrelse (µm)		
	0-5	5-10	0-10
Jerngrit	1,0	1,0	1,0
Korund	4,4	0,8	5,2
Kulslagge	6,0	2,7	8,7
Olivinsand	33,5	12,0	45,5
Kvartssand	53,5	21,5	75,0

Skema 7.1

Mængde og størrelse af partiklerne efter sønderdeling er afgørende for den luftbårne miljøbelastning.

Undersøgelser^{51,58,60,68} af sønderdelingen af kvartssand har vist, at ca. 2% (vægt) af det udblæste sand ender med en kornstørrelse under 20 µm. Såfremt det antages at 50% heraf ligger i det luftbårne interval fås ved et årligt forbrug på 90.000 t kvartssand:

$$\text{Luftbåret støv: } \frac{90.000 \text{ t} \times 2}{100 \times 2} = 900 \text{ t}$$

Hvis det endvidere antages at 30-80% heraf (jvf. skema 5.2) er α kvarts, er den potentielle belastning altså:

$$30-80\% \text{ af } 900 \text{ t} \sim 270-720 \text{ t}$$

Denne mængde består helt eller delvist af respirabelt α kvartsstøv, hvoraf kun en mindre del erfaringsmæssigt kan forventes at være tilbageholdt (vådblæsning, værkstedsarbejde m.v.).

7.2 Indhold af skadelige stoffer i blæsemidlerne

Der foreligger udenlandske specifikationer for indhold af forskellige stoffer i blæsemidler.

I efterfølgende skema 7.2 er anført typiske værdier ^{55,63,64,65}.

Skadeligt stof	Materiale	Max. indhold vægt%
α-kvarts	Kvartssand	1-3%
Cancerogene metaller eller deres forbindelser	Arsen, Beryllium, Chromat, Nikkel, Cobolt	0,2%
Toxiske metaller eller deres forbindelser	Antimon, Bly, Kadmium, Mangan, Tin	2%

Skema 7.2

I ISO-regi arbejdes med et forslag til standard hvori er anført max. grænse for alle 3 kategorier.

Undersøgelser af blæsemidler på det amerikanske marked har vist, at der har kunnet konstateres høje forekomster af f.eks. arsenholdigt støv i forbindelse med blæsning med slag-ger⁶⁵.

Imidlertid har ingen af de testede blæsemidler fra såvel Vesttyskland som USA vist sig at indeholde ovenstående metaller i en koncentration der nærmer sig værdierne i skema 7.2.

Dyreforsøg med eksponering med respirabelt støv fra slag-ger og kvartssand har vist at kulslugger kan fremkalde fibero-gene forandringer ⁶⁷.

Indeholdet af tungmetaller i slaggeproduktionen kunne tænkes at give anledning til grundvandsforureninger ved de-ponering på losseplads. I Danmark er der ingen normer for den tilladte udludning fra disse materialer.

I Tyskland viser undersøgelser at udludning af blæsemid-del i forskellige vandige medier ikke har givet koncentration-er der overskrider gældende tyske grænseværdier.

Ved undersøgelserne er anvendt såvel ubrugt som brugt blæsemiddel og naturligt forekommende vandkvaliteter⁵⁵.

7.3 Indhold af skadelige stoffer i det afrensede materiale

Ved blæserensningen kan der skelnes mellem to hovedgrup-per af forurenende stoffer stammende fra underlaget.

Ubehandlet stål

Hovedsagelig jern og jernoxider samt visse andre metaller, sædvanligvis i små koncentrationer.

Mængde pr. afrenset m² er af størrelsesordenen op til 300 g.

Behandlet stål

Maling bestående af bindemiddel, pigmenter og tilsætnings-stoffer.

Mængde pr. afrenset m² er af størrelsesordenen op til 500 g.

Miljøbelastningen i form af partikler stammende fra emnet, primært jernoxider og maling, er dårligt beskrevet. Som tidli-gere nævnt svarer belastningen til den afrensede mængde, men det er ubekendt hvordan partikelstørrelsen af det afren-sede materiale fordeler sig.

For en meget anvendt primer på stål som blymønjepigmenteret alkydmaling, hvis blyindhold skønsmæssigt er 1 g/ μ m tør malingfilm/ m^2 , vil det ved en almindelig anvendt lagtykkelse på ca. 60 μ m medføre at der frigøres omkring 60 g blyoxid pr. m^2 .

Tilsvarende vil en mindre række af primere og antifouling malinger kunne frigive forbindelser der almindeligvis henregnes til gruppen af toksiske og/eller cancerogene stoffer.

Partikler fra selve underlaget vil hovedsagelig bestå af jernoxider, idet der dog ved blæserensning af rustfast og rusttrægt stål samt forzinket stål, vil kunne frigøre chrom respektive zinkforbindelser.

Støv fra malede og umalede underlag vil som det fremgår af forsøgsplanen blive undersøgt med hensyn til kornstørrelsesfordeling, med det formål at skabe et udtryk for den potentielle luftbårne miljøbelastning.

Uanset partikelstørrelse af afblæst malemateriale vil tungmetalindholdet i nogle malinger kunne udgøre en alvorlig miljøbelastning der kun vil kunne reduceres i det omfang støvet kan opsamles.

7.4 Forbrug af blæsemiddel

Blæsemiddelforbruget afhænger af

- blæsemidlets effektivitet
- blæsemidlets genanvendelighed (standtid)

forudsat samme blæseparametre og underlag.

Undersøgelser har vist, at effektiviteten af éngangsblæsemidler kan variere op til 100%. I vurderingen udgås fra et forbrug på 50 kg/ m^2 ⁶⁵.

Ved genanvendelige blæsemidler kan forventes standtider fra 20 til 4000, hvilket betyder at forbruget pr. m^2 rensede overflade kan svinge fra 8 kg ned til 64 g.

8. Økonomi

De i afsnittet angivne priser er baseret på oplysninger i 1989.

Med hensyn til de udendørs blåsemetoder er det på nuværende tidspunkt ikke muligt at opstille kalkyler fordi disse metoder først kan prissættes ved fuldskalaafprøvninger i demonstrationsprojekterne.

Variationer som følge af anlægsinvesteringernes afskrivning vil være forsvindende ved valg mellem metoder som: Vådblæsning, fugtblæsning og vakuumbblæsning og til dels højtryksspuling og mobil slyngrensning. Den afgørende økonomiske faktor er her renseshastigheden og rensningsgraden samt udnyttelse af investeringen.

Ud fra en teoretisk betragtning er der meget store forskelle i den relative blåsemiddeludgift pr. arealenhed, se afsnit 6.

For at belyse dette nærmere er der i det følgende opstillet 3 eksempler hvor de elementære økonomiske forhold ved almindeligt anvendte blåsemidler og udstyr/anlæg er angivet.

Det skal indledningsvis anføres, at eksemplerne er opbygget med henblik på vurdering af relative omkostningsforskelle og ikke med henblik på at indgå direkte i en konkret driftsøkonomisk vurdering af en anlægsopbygning. Endvidere kan der naturligvis optræde pris- og kvalitetsdifferencer i forhold til de der er anvendt i det følgende.

Eksempler

1. Slyngrensning ctr. fristråleblæsning i stort anlæg
2. Slyngrensning ctr. fristråleblæsning i mindre anlæg og med diverse typer blåsemiddel
3. Fristråleblæsning med kvartssand contra fristråleblæsning med genanvendelige metalliske blåsemidler ved høj og lav ansat levetid.

Det skal bemærkes, at der i alle tre eksempler opereres med praktisk levetid/genanvendelighed. Den teoretiske standtid for et blåsemiddel kan kun sjældent opnås på grund af udskilning af brugbare korn i regenereringsenheden og udslip i forbindelse med intern transport af emner. Som eksemplerne også viser, varierer omkostningerne væsentligt som følge af levetiden.

8.1 Slyngrensning ctr. fristråleblæsning i stort anlæg

Sammenligning af slyngrenseanlæg og fristråleanlæg med genanvendelige blåsemidler med en kapacitet på 300 m²/h ~ 360.000 m²/år - se skema 8.1.

Ved udarbejdelsen af overslaget er følgende forudsætninger indgået:

- 1 slyngrenseanlæg ~ 20 trykbeholderanlæg v/7 bar og 10 mm dyse (et fristråleanlæg i denne størrelsesorden ville næppe blive opført i praksis)
- Genanvendelighed af blåsemiddel: Fristråleanlæg 250 gange (hårdhed ca. 60 HRC), slyngrenseanlæg 2500 gange (hårdhed 42-48 HRC), de teoretiske standtider er henholdsvis 500 gange og 3000 gange
- Blåsemiddelstrøm pr. m²: 160 kg
- Forskelle i ruhedsprofil er ikke medtaget

- Rensningsgrad Sa 2½, ISO 8501-1, 1988 (tidligere DS 2019)
- Håndteringsanlæg er ikke medtaget
- 1200 timer effektivt arbejde pr. år
- Opvarmningsbehov: gns. 8° på indblæsningsluft i 2100 timer/år
- Fristråleanlægget opbygget i én stor hal
- Blæsemiddel kr. 5000/ton
- Der er set bort fra den større fleksibilitet ved fristråleblæsning i forhold til slyngrensning.
- El-pris kr. 0,45/kWh

Omkostningssammenligning. Slyngrensning ctr. fristråleblæsning

	Slyngrensning kr.	Fristråle kr.
Investeringer		
- Maskininstallation	1.100.000	3.100.000
- Ventilation og opvarmning	75.000	500.000
- Bygning	500.000	2.000.000
- Luftrensning	incl. i anlæg	2.000.000
Total	1.675.000	7.600.000
Årlig forrentning og afskrivning, 12%, 5 år	445.000	2.025.000
Årlige driftsudgifter		
- Bemanding	1.200.000	7.500.000
- Blæsemiddel, stålgrit	115.000	1.150.000
- Energiforbrug, blæsning	50.000	500.000
- Energiforbrug, ventilation	15.000	180.000
- Vedligehold, maskininstallation	50.000	600.000
Årlige omkostninger incl. forrentning og afskrivning	1.875.000	11.955.000
Omkostning/m²	5,21	33,21

Skema 8.1

Som det fremgår er omkostningerne pr. m² ved slyngrensning kun ca. 16% af omkostningen ved fristråleblæsning. Anlæg af ovennævnte størrelse er og vil formodentlig vedblive at være relativt sjældne i Danmark, hvorfor der ligeledes skal anføres et eksempel for en mere almindelige produktionsstørrelse.

8.2 Slyngrensning ctr. fristråleblæsning i mindre anlæg

Forudsætninger

- Slyngrenseanlæg med en kapacitet ~ fristråleanlæg med 2 arbejdspladser.
- Emner:
 - 1800 plader ~ ca. 650 t ~ 16.000 m²
 - 3600 profiler ~ 450 t ~ 14.000 m²
 - Ialt ca. 30.000 m² pr. år.
- Affald, kun i form af brugt blæsemiddel.

Forudsætninger for omkostningssammenligning, Slyngrensning ctr. fristråleblæsning i mindre anlæg

Emne	Slyngrensning, stålgrit/shot 42-48 HRC	Fristråleblæsning		
		Stålgrit ca. 60 HRC	Jerngrit ca. 65 HRC	Kvartssand
Blæsemiddelstrøm pr. år til rensning af tonagen	7200 t	7200 t	7200 t	1900 t
Blæsemiddelforbrug pr. år	ca. 3 t	ca. 30 t	ca. 50 t	ca. 1900 t
Standtid				
- Teoretisk	3000	500	350	1
- Praktisk*	2500	250	150	1

* Erfaringsmæssigt, idet der er taget hensyn til tab til omgivelserne

Skema 8.2

Omkostningssammenligning

	Slyngrensning, stålgrit Kr.	Fristråleblæsning tons		
		Stålgrit Kr.	Jerngrit Kr.	Kvartssand Kr.
Maskininvestering	420.000	725.000	725.000	600.000
Årlig forrentning og afskrivning, 12%, 5 år	112.000	193.500	193.500	160.000
Bemanding, omkostning/år	90.000	650.000	650.000	650.000
Blæsemiddelomkostning/år	6.050	96.300	108.000	243.750
Energiforbrug, omkostning/år	3.000	85.000	85.000	85.000
Vedligehold, omkostning/år	20.000	65.000	65.000	65.000
Omk. til bortskaffelse af affald/år	360	2.160	5.184	234.000
Årlige omkostninger, ialt	241.410	1.091.960	1.106.684	1.437.750
Årlige omkostninger pr. ton	219	993	1.006	1.307
Årlige omkostninger pr. m ²	8,05	36,40	36,89	47,93

Skema 8.3

Den største forskel i omkostningerne er mellem slyngrensning og fristråleblæsning. Indenfor fristråleblæsning er der dog en markant omkostningsforskel fra genanvendelige til éngangsblæsemidler.

8.3 Fristråleblæsning med forskellige blæsemidler

I følgende eksempel skal omkostningerne ved fristråleblæsning med kvartssand, stålgrit og jerngrit sammenlignes ved henholdsvis kort og lang praktisk levetid.

I modsætning til de øvrige eksempler er her kun medtaget omkostninger der er direkte forbundet med anvendelsen af de udvalgte blæsemiddeltyper, hvorfor omkostninger pr. m² kun må sammenlignes indenfor eksemplet.

Forudsætninger

Produktion: 100 m² pr. dag, 200 dage pr. år.
Omkostninger til bortskaffelse af affald kr. 120,-/t

Omkostningssammenligning, kort levetid

	Stål	Jern	Kvarts
Pris, kr./kg	5,00	3,75	0,125
Blæsemiddelstrøm, kg/m ²	160	160	55
Praktisk standtid	150	90	1
Kapacitet, m ² /dag	100	100	100
Blæsemiddelforbrug, kg/m ²	1,07	1,78	55
Blæsemiddeludgift, kr./m ²	5,33	6,67	6,88
Afskrivning på regenerering, 12%, 5 år, kr./år	27.000	27.000	0
Afskrivning, kr./m ²	1,35	1,35	0
Omk. til bortskaffelse af affald, kr./dag	12,80	21,33	660
Total udgift, kr./dag	681,13	823,00	1.347,50
Relative omkostninger, kr./m ²	6,81	8,23	13,48

Skema 8.4

Omkostningssammenligning, lang levetid

	Stål	Jern	Kvarts
Pris, kr./kg	5,00	3,75	0,125
Blæsemiddelstrøm, kg/m ²	160	160	55
Praktisk standtid	400	250	1
Kapacitet, m ² /dag	100	100	100
Blæsemiddelforbrug, kg/m ²	0,40	0,64	55,00
Blæsemiddeludgift, kr./m ²	2,00	2,40	6,88
Afskrivning på regenerering, 12%, 5 år, kr./år	27.000	27.000	0
Afskrivning, kr./m ²	1,35	1,35	0
Omk. til bortskaffelse af affald, kr./dag	4,80	7,68	660
Total udgift, kr./dag	339,57	382,68	1.347,50
Relative omkostninger, kr./m ²	3,40	3,83	13,48

Skema 8.5

Som det fremgår er der meget store forskelle på de relative omkostninger som følge af blæsemiddelvalget. Endvidere indebærer "kort" og "lang" levetid store forskelle i omkostningerne, hvilket understreger, at det er af stor driftøkonomisk betydning at nærme sig blæsemidlets teoretiske standtid og dermed udnytte materialet fuldt ud.

Endelig skal det erindres, at blæsemidler med en lang standtid er relativt lidt støvende og dermed mindre belastende for luftrensningssystemerne.

Økonomiberegningerne i dette afsnit er udført i samarbejde med Fa. Sonnimax A/S.

9. Eksperimentel del

Den eksperimentelle del omfatter undersøgelse af blæsemidler og -metoder der er kommercielt tilgængelige i Danmark og som er bragt i forslag af udstyrs- og materialeleverandører.

Undersøgelserne har omfattet følgende:

a. Laboratoriemæssige undersøgelser af mineralske blæsemidler

- Kemiske indholdsanalyser
- Fysiske egenskaber
- Nedbrydning

for følgende blæsemidler:

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| - Kwartssand, 2-4 typer | mrk. KVA 2, 4, (6), (9) |
| - Kobberslagge, 2 typer | mrk. KOB 5, 7 |
| - Kulslagge, 2 typer | mrk. KUL 4, 15 |
| - Olivinsand, 2 typer | mrk. OLI 7, (16) |
| - Flint, 1 type | mrk. FLI (3) |
| - Korund, 2 typer | mrk. KOR 1 (9) |

For de i parentes angivne er kun foretaget enkelte analyser.

Herudover er standtiden målt for følgende genanvendelige blæsemidler:

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| - Stålgrit, 3 typer | mrk. STÅ 1, 12, 13 |
| - Jerngrit, 4 typer | mrk. JER 1, 11, 12, 13 |
| - Glasperler, 1 type | mrk. GLA 13 |
| - Keramikperler, 1 type | mrk. KER 13 |

b. Test under realistiske forhold, blæsemetoder og blæsemidler:

- Rensehastighed
- Rensningsgrad
- Ruhed
- Kemisk renhed
- Rensning af korrosionsfælder
- Forbrug af blæsemidler og vand
- Støvdannelse, blæsemiddel
- Støvdannelse, maling på underlag.

for følgende metoder:

- Tør fristråleblæsning
- Våd fristråleblæsning
- Fugt fristråleblæsning
- Tør fristråleblæsning m/tilbagesug
- Højtryksspuling u/tilsætning af blæsemiddel
- Højtryksspuling m/tilsætning af blæsemiddel

9.1 Kemiske indholdsanalyser i mineralske blæsemidler

<i>Formål</i>	Formålet med analyserne var primært at få konstateret, hvilke skadelige stoffer de udvalgte blæsemidler indeholdt, herunder især indhold af toksiske og cancerogene tungmetaller samt α kvarts.
<i>Omfang</i>	Der er udført kemisk analyse af - KVA 2 - KVA 4 - FLI 3 - KOR 1 - KOB 5 - KOB 7 - KUL 4 - KUL 15 - OLI 7 Derudover er analyseret for αkvarts og respirabelt støv i: - KVA 2 - KVA 4 - OLI 7
<i>Metoder</i>	1. Indholdsanalyse af naturlige mineralske blæsemidler: - Røntgenfluorescens 2. Indhold af kunstige mineralske blæsemidler - Røntgenfluorescens og atomabsorption 3. Analyse for αkvarts: - IR-spektrofotometri Beskrivelse af analysemetoderne er anført i resultatbilagene 3, 4 og 5.
<i>Resultater</i>	Ad 1, bilag 3 Ad 2, bilag 4 Ad 3, bilag 5.
<i>Kommentarer</i>	
<i>Ad 1</i>	De 3 blæsemidler har stort set samme kemiske indhold og indeholder ingen målbare sundhedsskadelige eller korrosionsfremmende stoffer.
<i>Ad 2</i>	Analyserne viser naturligt nok, at der er en stor variation mellem de forskellige typer, men selv indenfor typerne er der en stor variation i det kemiske indhold. Fælles for de kunstige mineralske typer er, at de indeholder en række tungmetaller. Ifølge de gældende tyske normer ligger indholdet dog under grænseværdierne for indhold af toksiske og cancerogene metalforbindelser under forudsætning af at chrom forekommer som chromtrioxid Cr_2O_3.

Forekomsten af bl.a. kobber og kul i henholdsvis kobber og kulslagge kan være uheldig, idet begge stoffer virker korrosionsfremmende hvis de i tilstrækkelig mængde er afsat på ståloverfladen.

Endvidere er f.eks. kobber et økotoxisk stof.

Ad 3

Det fremgår af de to analyser af kvartssand, at indholdet af respirabelt støv varierer mellem de to produkter med en faktor $1\frac{1}{2}$. Da α kvarts indholdet imidlertid varierer med samme faktor, men i modsat retning, bliver indholdet af respirabelt α kvarts nogenlunde ens for de to produkter. α kvarts indholdet i olivinsandet er forsvindende, nemlig kun ca. 3-6% af indholdet i kvartssand, men andelen af respirabelt α kvarts er dog omkring 10% af kvartssandets, på grund af den store andel finstøv i olivinsandet.

9.2 Fysiske egenskaber for mineralske blæsemidler

Omfang

1. Specifik vægtfylde
2. Rumvægt
3. Kornform før blæsning
4. Kornform efter blæsning
5. Afslidning

Blæsningen blev udført i "sandknuseren". En nærmere beskrivelse af opstilling findes i bilag.

Ad 1

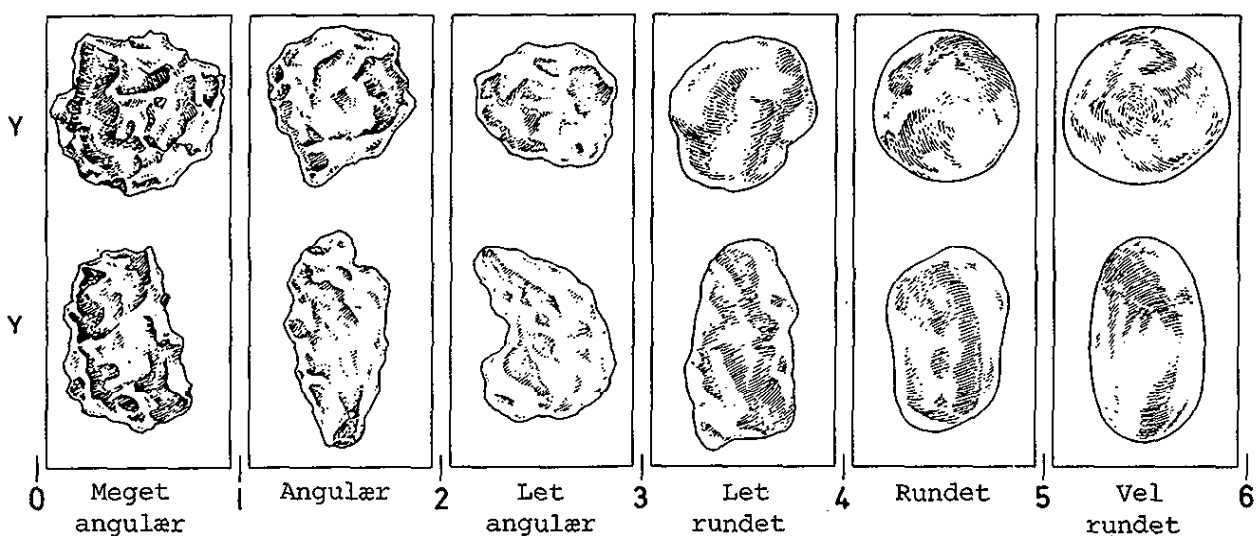
Vejningen blev foretaget af TI/Industriel metallurgi

Ad 2

Metoden er beskrevet i: Crepaz, Rudolf, "Sandkontrol", TI/Industriel metallurgi.

Ad 3

Kornform før blæsning er bedømt ved en forstørrelse på $63\times$ efter Powers M C.: A new roundness scale for sedimentary particles. Journal f. Sed. Petrology vol. 23 s. 117-119. Skalaen er angivet i figur 9.1.



Figur 9.1

Ad 4

Kornform efter blæsning er ligelædes bedømt efter Powers skala. Billeder af kornformerne er udført i lysoptisk mikroskop med gennemfaldende lys.

Bedømmelsen er udført af TI/Byggeteknik. Apparatet, se bilag 9.

Ad 5

Afslidningen er opgivet i g afslidt materiale pr. kg indblæst blæsemiddel og pr. sek. blæsning.

Som slidplade er anvendt en 3 mm dekaperet St 37 plade. Blæseproceduren er som under pkt. 4.

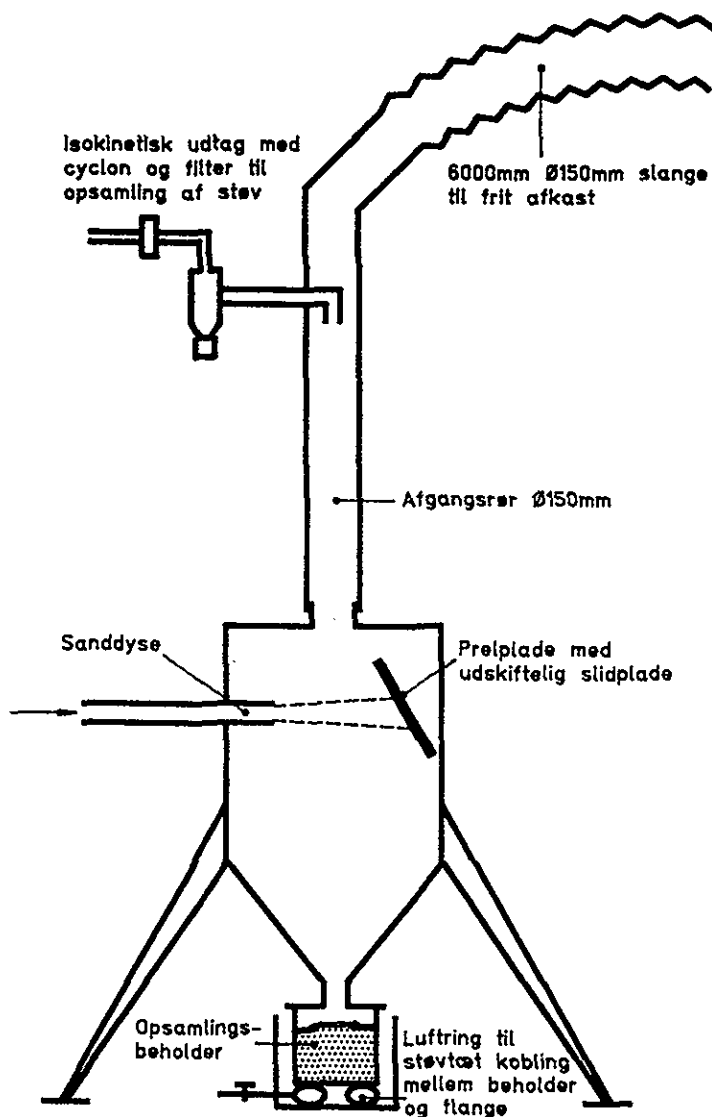
9.3 Nedbrydning af mineralske éngangsblæsemidler

Formål

Formålet er at vurdere støvdannelsen ved tør fristråleblæsning.

Metode

Nedbrydningen af mineralske éngangs-blæsemidler er udført i nedenstående opstilling.



Der anvendes et almindeligt standard sandblæsningsudstyr. Sanddysen (8 mm venturi) placeres og låses i en studs på "knuseren".

Ved start og stop anvendes først sandventilen herefter den almindelige start/stop funktion. Herved opnås en mulighed for en relativ præcis registrering af sandforbruget, mens opstillingen arbejder optimalt (dvs. arbejder med den blæsemiddel/luftblanding der giver den højeste renseshastighed).

Ved test af ét blæsemiddel følges følgende procedure:

- a. Der afvejes 3×11 kg
- b. Resten af sækken (50 kg) påhældes sandkedlen
- c. Der blæses, hvorunder sandventilen justeres til optimal blanding under almindelig manuel føring af dysen og det kontrolleres:
 - at indgangstrykket på anlægget er 8 bar $\pm 0,3$ bar
 - at dysetrykket er 7 bar $\pm 0,3$ bar
 - at flowet er konstant indenfor $\pm 3\%$
- d. Der monteres en slidplade (med kendt vægt) og det kontrolleres at knuseren er ren
- e. Sandblæseanlægget tømmes fuldstændig for blæsemiddel
- f. Der påfyldes 11 kg blæsemiddel og blæsningen startes
- g. Følgende registreres:
 - Tid for gennemstrømning af blæsemidlet
 - Mængde og kornstørrelsesfordeling for den andel der ender i bundbeholderen på knuseren
 - Mængde og kornstørrelsesfordeling for det luftbårne støv
- h. Punkt f og g foretages 3 gange
- i. Slidpladen udtages og vægttabet registreres.

Bestemmelse af kornstørrelse for partikler $> 105 \mu\text{m}$ er foretaget efter DIN 52401.

Bestemmelse af kornstørrelse for partikler $< 105 \mu\text{m}$ er foretaget i et automatisk lysoptisk mikroskop. Metoden er beskrevet i bilag 9.

Opsamling af støvprøver foretages efter en modificeret VDI 2066 norm. Metoden er beskrevet i bilag 8.

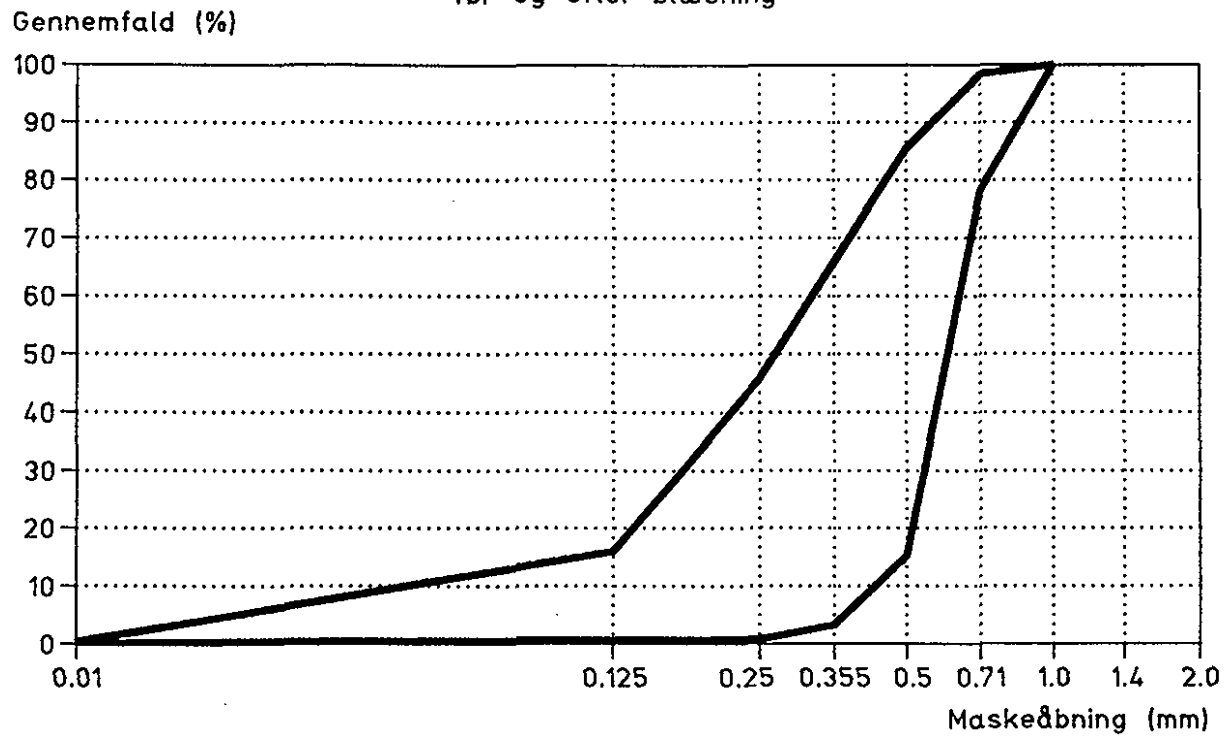
Resultat

Detailresultater er anført i bilag 7.

Kommentarer

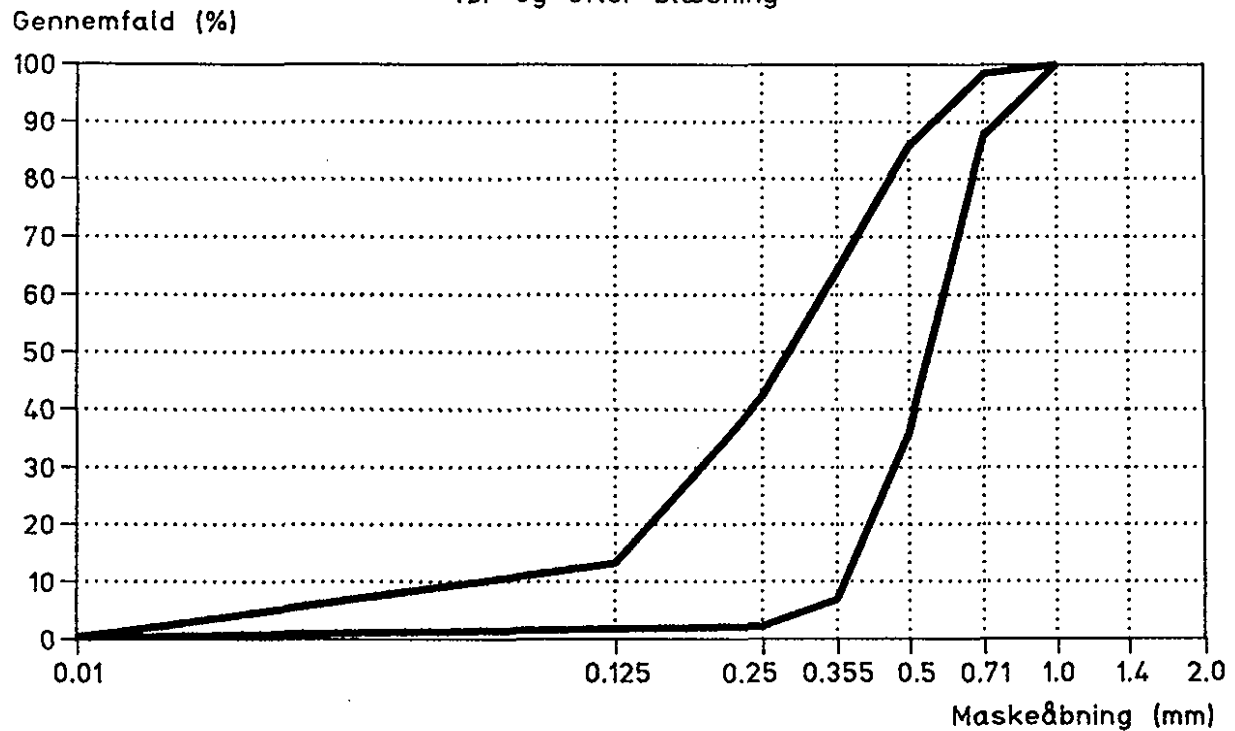
Sigteanalyserne før og efter blæsning fremgår af følgende figurer.

Sigteanalyse af KVA 2 før og efter blæsning



Figur 9.3

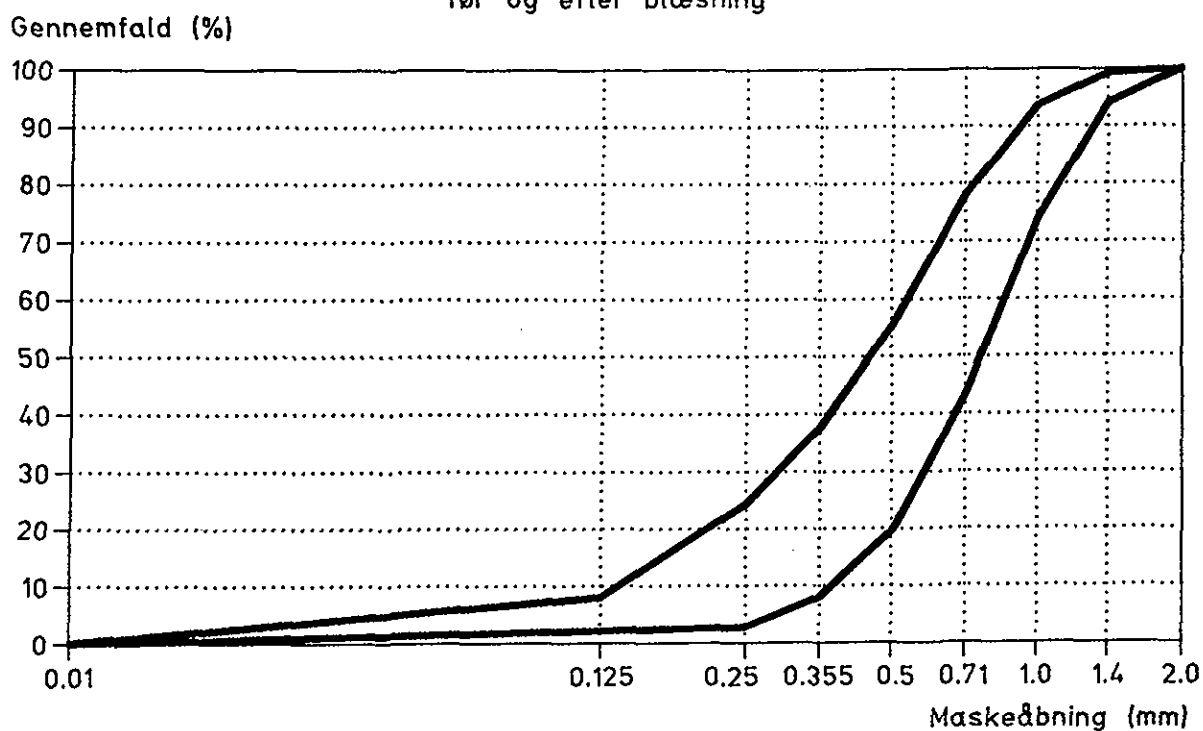
Sigteanalyse af KVA 4 før og efter blæsning



Figur 9.4

Sigteanalyse af KOB 5

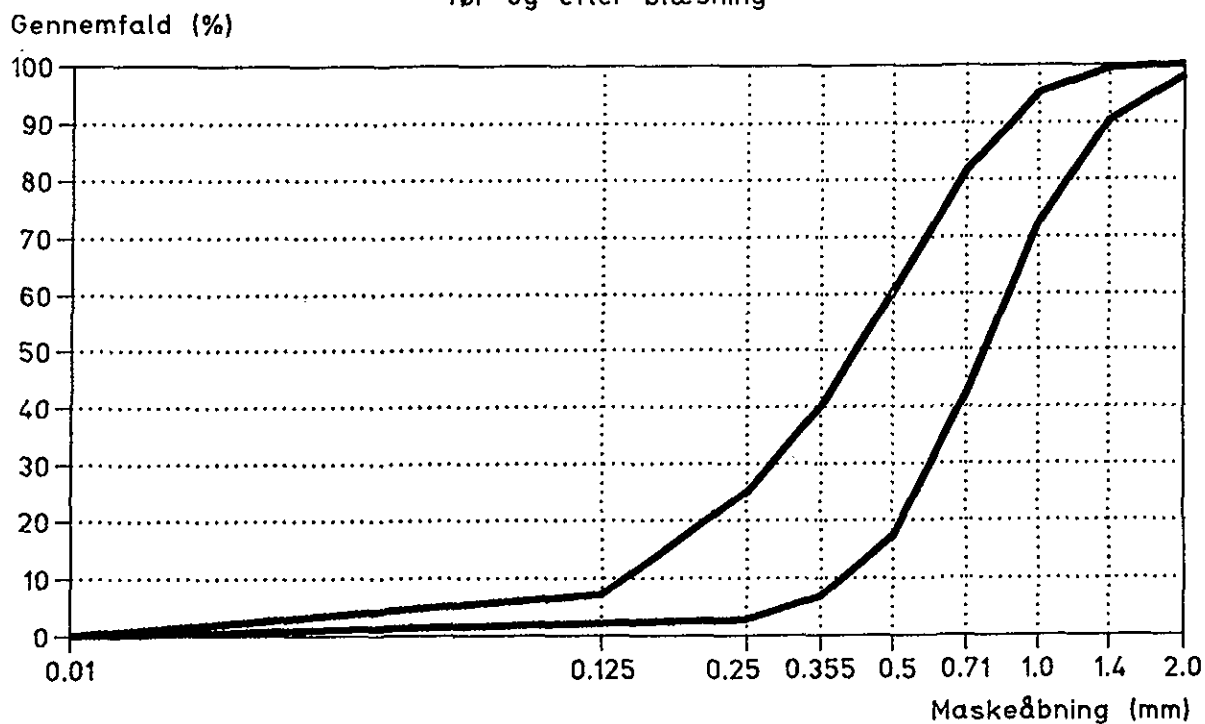
før og efter blæsning



Figur 9.5

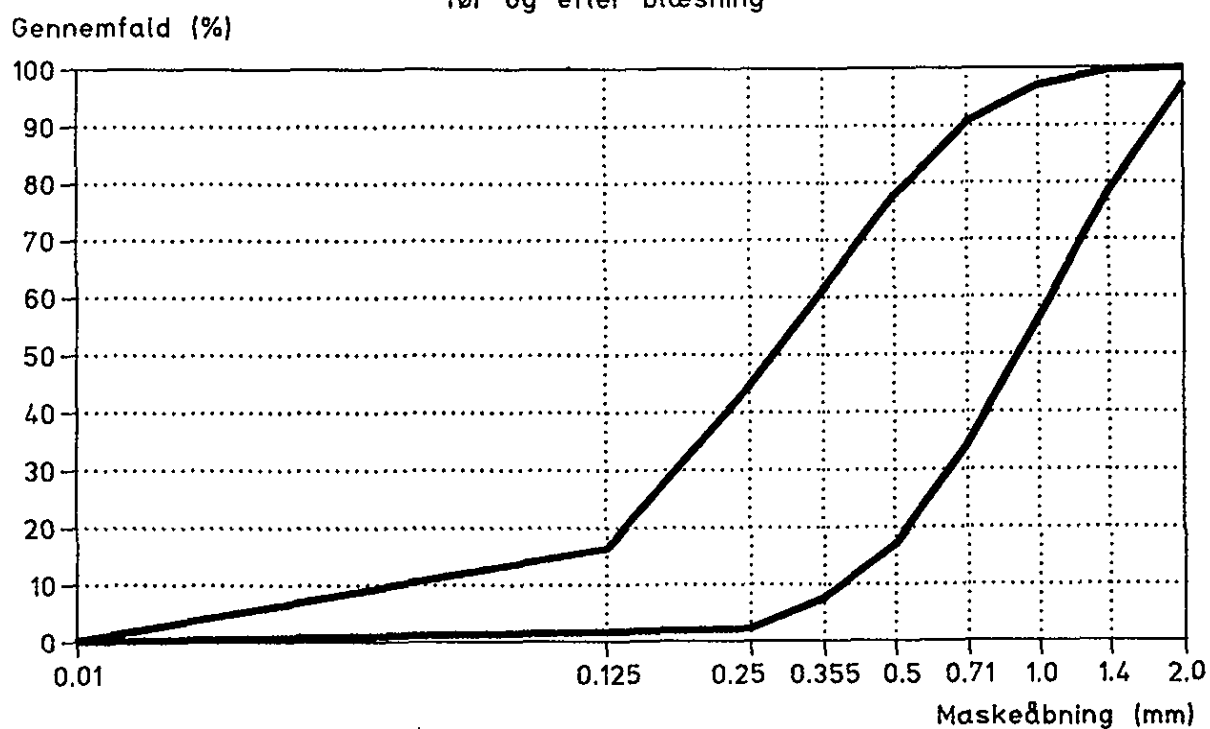
Sigteanalyse af KOB 7

før og efter blæsning



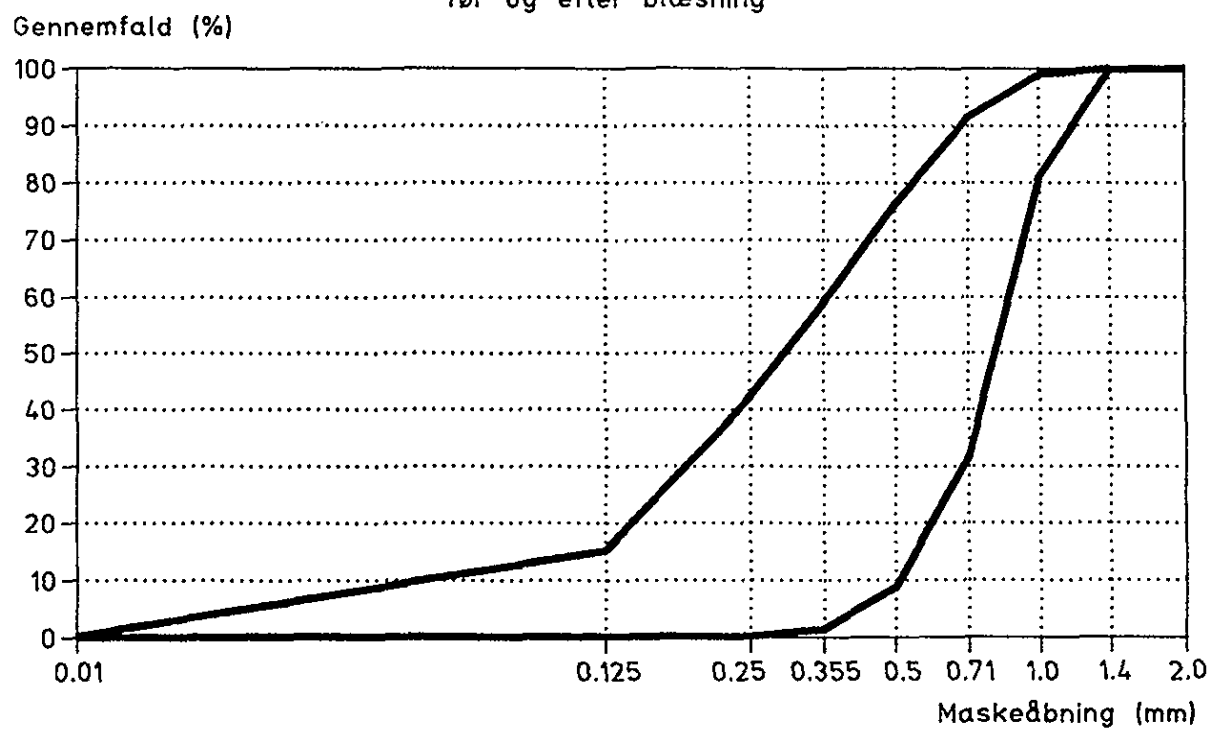
Figur 9.6

Sigteanalyse af KUL 4 før og efter blæsning



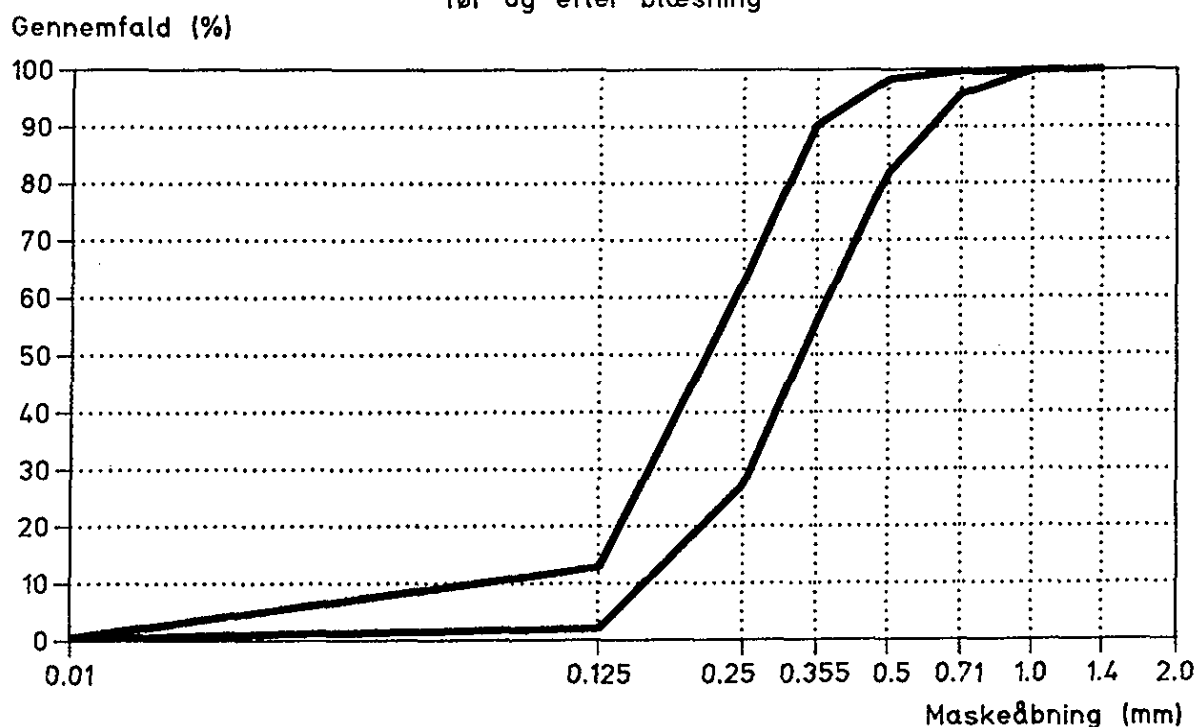
Figur 9.7

Sigteanalyse af KUL 15 før og efter blæsning



Figur 9.8

Sigteanalyse af OLI 7 før og efter blæsning



Figur 9.9

	Før blæsning		Efter blæsning		
	< 250 μm %	< 10 μm %	< 250 μm %	< 125 μm %	< 10 μm %
KVA 2	0,8	0,16	45,8	16,0	0,47
KVA 4	2,2	0,26	42,2	13,2	0,57
KOB 5	2,8	0,0	24,4	8,0	0,33
KOB 7	2,8	0,0	25,0	7,2	0,32
KUL 4	2,2	0,1	44,0	16,4	0,45
KUL 15	0,2	0,0	42,0	15,2	0,47
OLI 7	27,2	0,41	62,6	12,8	0,76

Som det fremgår af ovenstående tabel og sigtekurver er der stor variation mellem de enkelte typers nedbrydning under blæseprocessen. Således bliver kvartssand, kulslagge og olivinsand slået så meget i stykker under blæsningen, at ca. halvdelen af materialet er under 0,25 mm efter blæsningen (0,25 mm regnes normalt for nedre grænse for effektive korn). Kobberslaggen derimod knuses ikke i nær samme udstrækning, idet kun 25% er under 0,25 mm efter blæsningen. Forskellen er visuel konstaterbar.

Endvidere fremgår, at en stor del af respirabelt støv i de naturlige mineraler findes i produkterne allerede før brug.

Ved brug dannes stort set samme mængde respirabelt støv, undtaget dog kulslaggen som har den klart stærkeste tendens til dannelse af finstøv under blæsningen.

9.4 Nedbrydning af genanvendelige blæsemidler

Formål

Formålet er at bedømme standtiden for genanvendelige blæsemidler.

Metode

Erwin Abrasive Test Machine.

Beskrivelse er anført i bilag 10.

Ved prøvningen er tilstræbt at give blæsemidlet en mekanisk påvirkning der svarer til den det udsættes for ved normal anvendelse.

Standtiden er således et udtryk for blæsemidlets teoretiske levetid, dvs. genanvendelighed hvis der ikke forekommer tab til omgivelserne.

Resultater

Detailresultater er anført i bilag 10. Følgende standtider blev fundet:

	Standtid (antal omdr. ved 6900/min.)
STÅL 1/A	439
STÅL 12	350
STÅL 13	457
JERN 11	249
JERN 12	239
JERN 13	364

Kommentarer

Af resultaterne fremgår, at standtiden for de udvalgte metal-liske blæsemidler varierer indenfor 239-457.

Denne forskel er oversættelig til forskelle i praktiske levetider, hvorfor det må konstateres, at der selv på dette smalle udvalg af materialer er indkøbsmæssige og bortskaffelsesmæssige økonomiske forskelle.

Det skal bemærkes, at forskellene ville have været endnu mere markante hvis de til projektet leverede prøver havde haft samme kornstørrelsesfordeling.

Afprøvningen af de mineralske blæsemidler indikerer ligeledes store forskelle i standtider, især er forskellen mellem glasperler og keramik (typisk anvendt til blæsning af rustfast stål) meget markant til fordel for keramik.

9.5 Støvbelastning ved forskellige blæserensningsmetoder

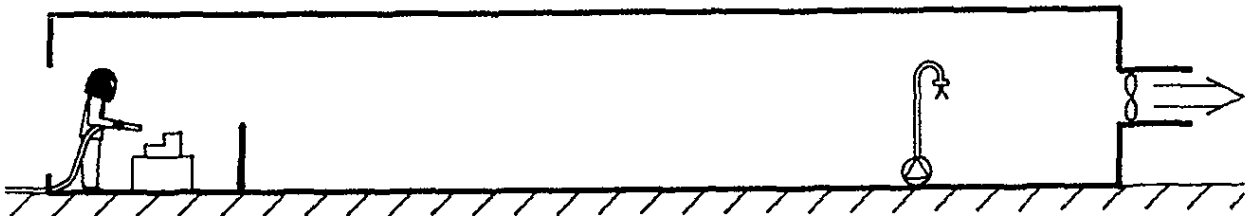
Formål

Formålet med undersøgelsen var at bedømme støvbelastningen ved forskellige blæserensningsmetoder udført under kontrollerede og ensartede forhold.

Støvbelastning skal i denne sammenhæng forstås som den potentielle belastning en given blæserensningsmetode kan påføre det omkringliggende miljø. Belastningen omfatter på denne måde både støvdannelse og støvspredning uden at der er skelnet systematisk mellem disse.

Metode

Det blev valgt at anvende nedenstående opstilling (figur 9.10), bestående af en 15 m lang vindtunnel med 10 m mellem blæsested og prøveopsamlingssted og en kontrolleret laminar luftgennemskylning på 0,5 m/s.



Figur 9.10

Selve opsamlingen af støvprøver og bedømmelse er beskrevet i bilag 8 og 9.

Opstillingen blev indkørt med anvendelse af følgende referencemetode og materiale:

- tør fristråle
- dysetryk: 7 bar
- dysestr.: 8 mm venturi
- kvartssand KVA 4, 0,4-0,8 mm.

Testproceduren er beskrevet i bilag 11.

Resultater

Detailresultater fremgår af bilag 11.

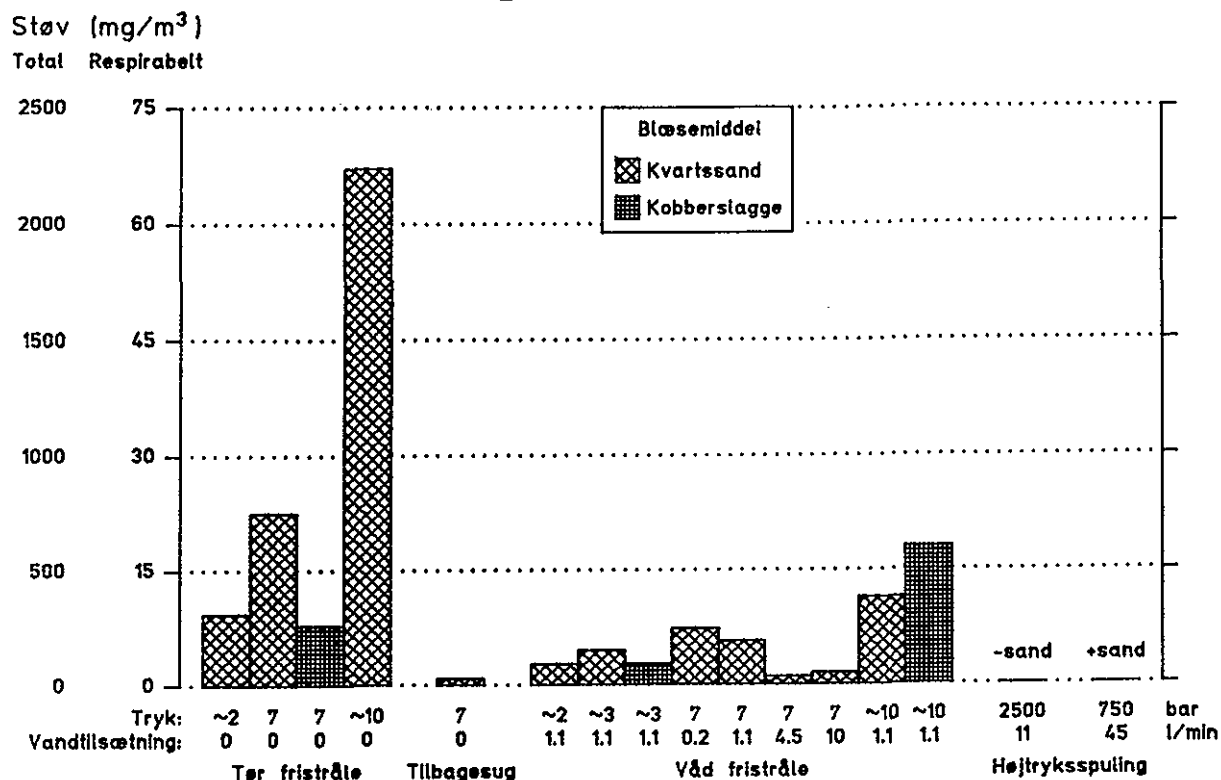
En oversigt over resultaterne er anført i følgende skema 9.11 og 9.12.

Støvelastning ved udvalgte blæserensningsmetoder

Metode	Blæsemiddel	Dysetryk Bar	Vandtil- sætning l/min.	Støv mg/m ³	Respira- belt støv mg/m ³	Respira- belt støv mill. par- tikler pr. m ³
Tør fristråle	Kvartssand	2,0-2,5	0	170	10	530
Tør fristråle	Kvartssand	7	0	750	25	1280
Tør fristråle	Kobberslagge	7	0	260	10	440
Tør fristråle	Kvartssand	9,5-10,0	0	2240	70	3810
Fristråle med tilbagesug (vakuum)	Kvartssand	7	0	30	~0	50
Våd fristråle	Kvartssand	2,0-2,5	1,0-1,2	90	5	160
Våd fristråle	Kvartssand	3,0-3,5	1,0-1,2	150	5	260
Våd fristråle	Kobberslagge	3,0-3,5	1,0-1,2	90	5	150
Våd fristråle	Kvartssand	7	0,2-0,25	250	10	420
Våd fristråle	Kvartssand	7	1,0-1,2	190	5	330
Våd fristråle	Kvartssand	7	4,5	30	~0	60
Våd fristråle	Kvartssand	7	10	50	~0	90
Våd fristråle	Kvartssand	9,5-10,0	1,0-1,2	380	15	650
Våd fristråle	Kobberslagge	9,5-10,0	1,0-1,2	600	20	1020
Højtryksspuling	Vand	2400-2700	11	~0	~0	~0
Højtryksspuling m/sand	Sand	750	45	~0	~0	~0

Skema 9.11

Støvbelastning ved forskellige blæsemetoder



Skema 9.12

Kommentarer

Af undersøgelserne fremgår, at der er meget stor forskel på støvbelastningen ved de forskellige blæsemetoder svingende fra 0-70 mg respirabelt støv pr. m^3 luft, hvilket svarer til ca. 4 milliarder partikler/ m^3 .

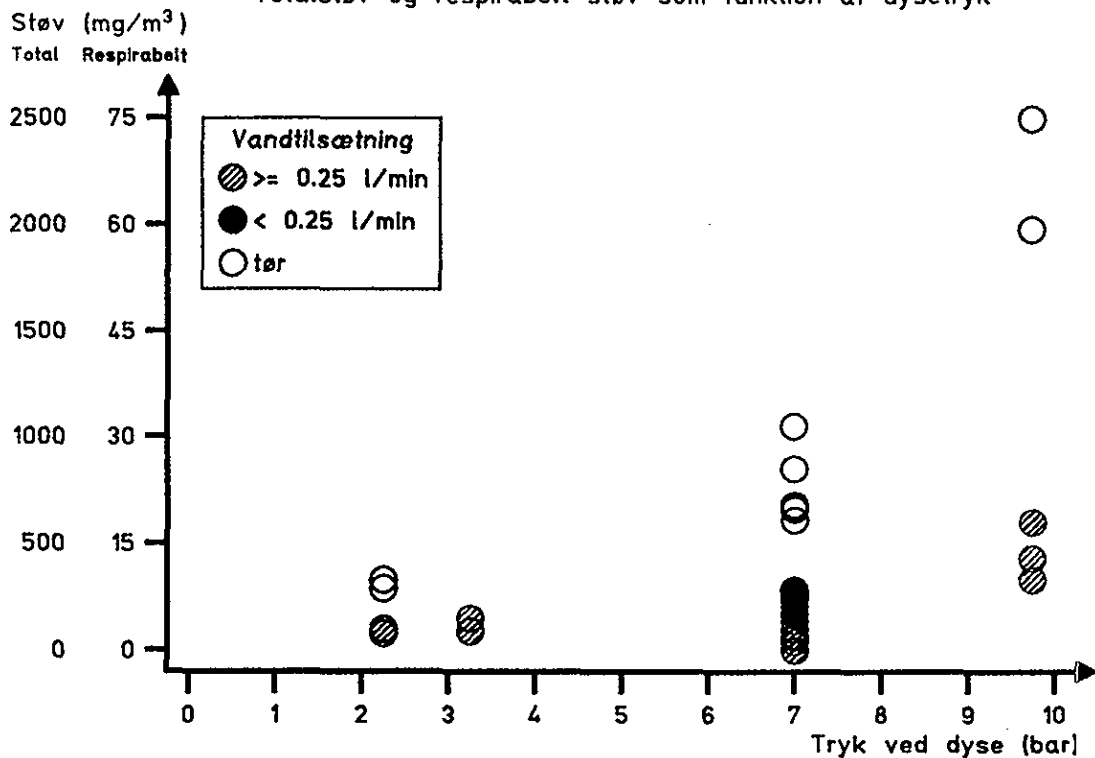
Det skal i denne forbindelse nævnes, at Arbejdstilsynets anvisning nr. 3.1.0.2, Arpil 1988, angiver en grænseværdi på respirabelt α -kvartsholdigt støv på $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ luft og for kvarts total på $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$.

I Miljøstyrelsens udkast til Luftvejledning angives en B-værdi på max. $0,005 \text{ mg}/\text{m}^3$ for luftkvalitet (Udkastet er under forhandling, men der synes p.t. (1989) at være enighed om værdien).

Ved tør fristråleblæsning afhænger støvbelastningen meget af det anvendte dysetryk, jvf. figur 9.13.

Støvbelastning ved forskellige blæsemetoder

Totalstøv og respirabelt støv som funktion af dysetryk



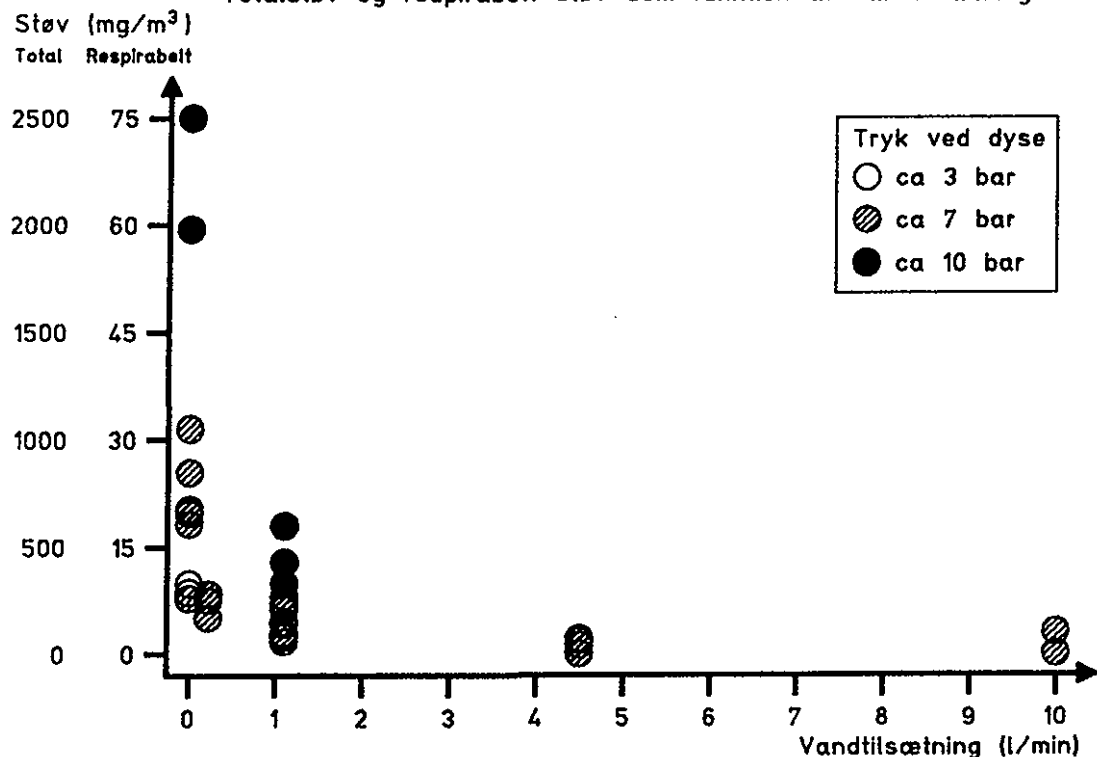
Figur 9.13

Valg af blæsemiddel med lavt indhold af finstøv (kobberslagge) reducerer støvbelastningen med næsten $\frac{1}{3}$.

Våd fristråleblæsning giver reduktion af støvbelastning, reduktionen afhænger af den tilsatte vandmængde og i mindre omfang af vandtilsætningsmetoden.

Støvbelastningen som funktion af vandtilsætning ved forskellige dysetryk er anført i nedenstående figur 9.14.

Støvbelastning ved forskellige blæsemetoder Totalstøv og respirabelt støv som funktion af vandtilsætning



Figur 9.14

Højtryksspuling med og uden sand giver ingen målbar støvbelastning.

Ved tør fristråleblæsning af stålplade påført ca. 100 µm maling indeholdende bly (blymønje) kan det konstateres, at indholdet af bly i støvet udgør 1,3%, jvf. bilag 12.

Ved våd fristråleblæsning reduceres mængden til ca. det halve.

Disse resultater indikerer ligesom andre erfaringer på området at en del af malingfilmen ved sandblæsning bliver formalet til et fint svævestøv.

Ved højtryksspuling af en malet plade kan der efterfølgende i afløbsvand findes svævestøv med en blykoncentration på 6 ppm.

9.6 Renseeffekt for forskellige blæsemidler

Formål

Formålet med undersøgelsen var at vurdere renseseffekten for udvalgte blæsemidler, dvs. opnået rensningsgrad og ruhed efter blæsning på 3 veldefinerede typer underlag:

- Rustgrad A
- Rustgrad D
- Tjæreepoxy, 400 µm

Metode

Beskrivelse af metode og testprocedure fremgår af bilag 13.

Endvidere er overfladestruktur og blæsemiddelrester bedømt, jvf. bilag 14.

Resultater

Detailresultater fremgår af bilag 13 og 14.

Kommentarer

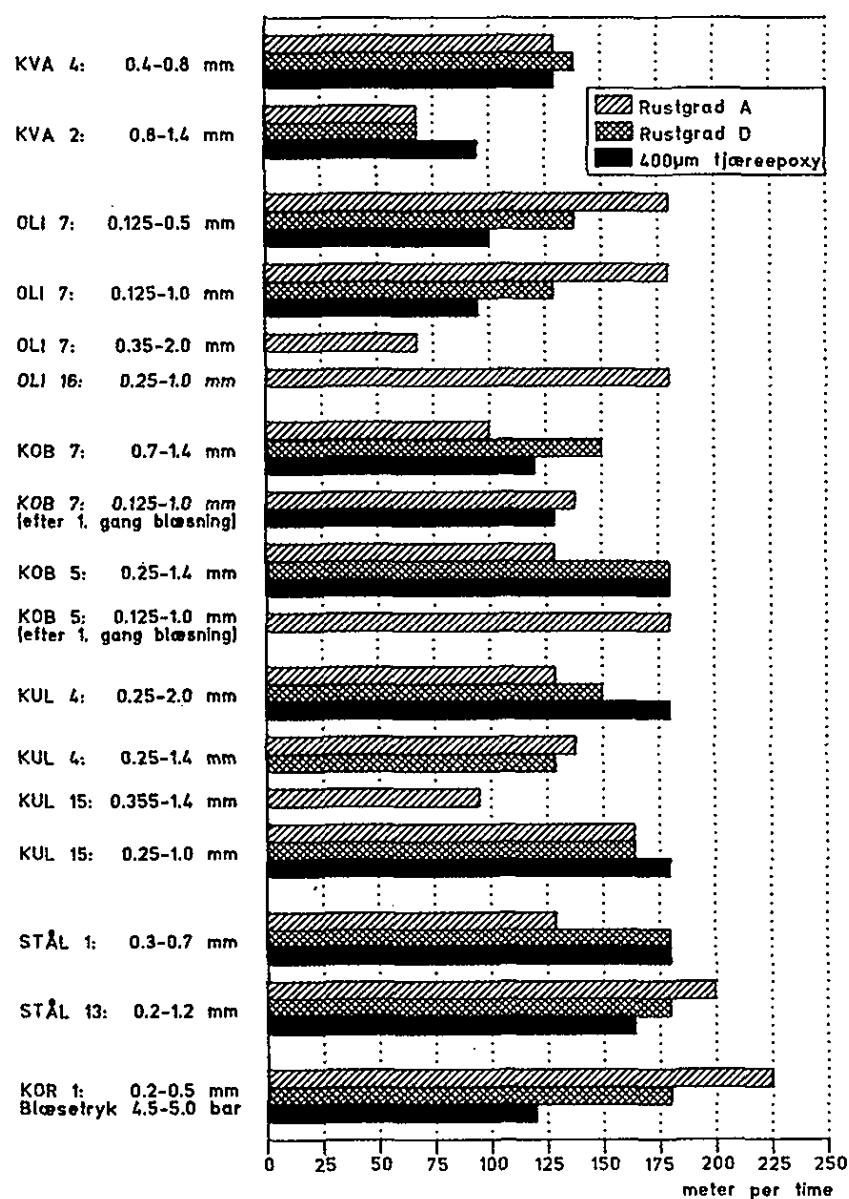
Det fremgår af resultaterne at den rensehastighed der kan opnås både varierer mellem typerne og indenfor typerne afhængig af kornstørrelsen.

Endvidere har underlagets beskaffenhed betydning for de indbyrdes rensehastigheder.

Af nedenstående figur 9.15 ses en oversigt over de målte relative rensehastigheder, for de forskellige blæsemidler. Heraf ses at hastigheden kan variere op til 300%.

Renseeffekt for udvalgte blæsemidler

Blæsehastighed hvorved rensningsgrad 2½ (ISO 8501-1, 1988) opnås



Figur 9.15

Indenfor samme blæsemiddeltpe med forskellige kornstørrelse kan hastigheden variere 25-50%.

Den under blæsningen opnåede ruhed varierer fra FG til CG (meget fint til meget groft) efter ISO/DIS 8503-3, hvilket også er at forvente ved de repræsenterede kornstørrelser.

Forbruget af blæsemidler i kg/min. antyder, at den optimale blæsning i grove træk opnås ved samme volumenstrøm.

Visuelt bedømt er det kun få af de anvendte blæsemidler der giver den specificerede rensningsgrad efter ISO 8501-1, idet både kulør generelt samt indlejrede blæsemiddelpartikler giver differens.

Bedømmes overfladerne i Scan Electron Mikroskop kan det konstateres, at graden af indlejrede blæsemiddelpartikler er stort set den samme uanset blæsemiddeltpe og størrelse.

Afvielser fra standarden er således kun knyttet til at visse blæsemidler er mere visuelt konstaterbare, medens andre kræver særligt udstyr for at kunne iagttages.

9.7 Renseeffekt for forskellige blæserensningsmetoder

Formål

Formålet med undersøgelsen er at bedømme renseseffekten for udvalgte mindre miljøbelastende blæserensningsmetoder sammenlignet med tør fristråleblæsning ved anvendelse af kvartssand.

Metode

Effektivitetsmålingerne blev udført i vindtunnelopstillingen som er beskrevet i bilag 11.

Underlagstyper rustgrad A, rustgrad D og tjæreepoxy er beskrevet i bilag 13. Her skal nævnes, at typerne hver for sig indbyrdes er meget homogene, herunder at glødeskallen på A-pladerne er fuldstændig ensartet.

Pladerne med blymønje er anvendt i støvbelastningsprøvningen. For udvalgte blæsemetoder blev dog valgt at udføre en parallel effektivitetsmåling.

Alle prøvningerne blev indledt med registrering og kontrol af:

- Tryk
- Vandforbrug
- Sandforbrug.

Endvidere omfattede indkøringen, at udstyret blev justeret til optimal renseshastighed på de aktuelle underlag, herunder en prøveafrensning til fastlæggelse af Sa 2½.

En oversigt over underlag og prøveplader er anført i bilag 15.

Efter blæserensningen blev det ene sæt plader sprøjtepåført ca. 80 µm klorkautsjukgrundmaling med henblik på, gennem fugtkammereksposering, at vurdere den kemiske renhedsgrad i form af vandopløselige salte på stålet.

Ved eksponeringen afstedkommer saltforekomsterne blæredannelser.

Eksponering blev foretaget efter DIN 50017 i 190 timer.

Efter eksponering blev pladerne visuelt bedømt efter DS/ISO 4628/2 (blærer) og ASTM D 610 (rust).

Vedhæftningen af malebehandling blev bedømt på udvalgte plader før og efter eksponering.

Endvidere blev de ubehandlede blæste plader eksponeret udendørs i 1 uge.

Formålet hermed er, at bedømme tilbøjelighed til nyrustdannelse, herunder anløbning på områder med grubetæring.

Denne hastighed er et udtryk for forureningsgraden på den blæste plade.

Resultater

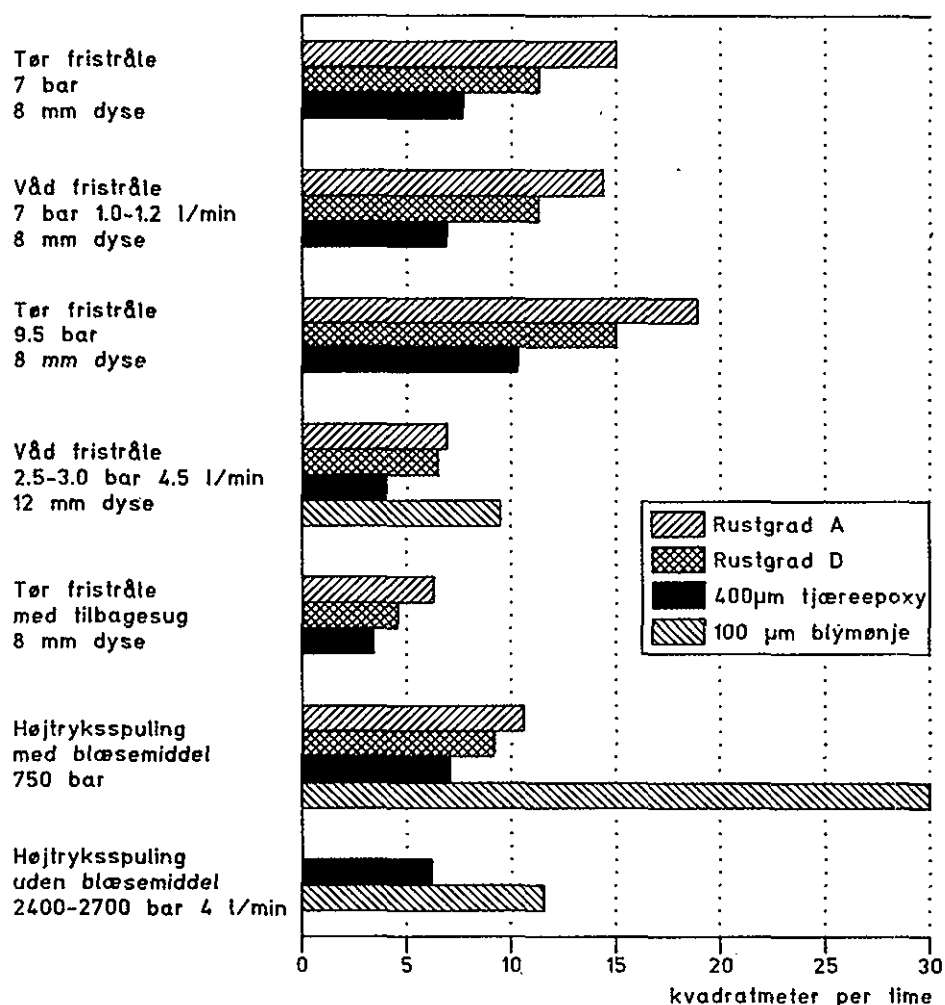
Detailresultaterne for renehastighed fremgår af bilag 16. På figur 9.16 på næste side er anført en oversigt over de opnåede renehastigheder.

Resultater for fugtkammereksposering fremgår af bilag 17.

Ved udendørs eksponeringen har følgende kunne konstateres:

Renseeffekt for udvalgte blæserensningsmetoder

Rensehastighed på forskellige underlag
til rensningsgrad 2½ (ISO 8501-1, 1988)



Figur 9.16

- Tør fristråleblæsning med de mineralske blæse éngangsmidler, jvf. bilag 13, giver samme kemiske renhedsgrad med hensyn til korrosionsfremmende stoffer.

- Våd fristråleblæsning af A-plader giver en kraftigere tendens til genanløbning efter optørring end tør fristråleblæsning.
- Ved tør fristråleblæsning af D-plade ses hurtig og kraftig anløbning begyndende omkring grubetæringene.
- Højtryksspuling med sand på D-plade giver anløbning svarende til tør fristråleblæsning på A-pladen.
- Våd fristråleblæsning af D-plade placeres midt imellem de to ovennævnte.

Kommentarer

Det fremgår af undersøgelserne at rensehastigheden, uanset metode, varierer meget med type af overflade der skal renses.

Rensning af en ny stålplade (rustgrad A) er i alle tilfælde hurtigere end en grubetæret plade (D-plade). Fjernelse af 400 µm tjæreepoxy er ved alle metoder meget langsommere, mens 100 µm blymønjeholdig alkydmaling hurtigt lader sig fjerne.

Ved tør fristråleblæsning opnås en større rensehastighed ved højere tryk.

Våd fristråleblæsning ved samme tryk og lille vandmængde ændrer ikke rensehastigheden, uanset underlag.

Våd fristråleblæsning ved lavt tryk og meget vand forlænger blæsetiden ca. med en faktor 2.

Tør fristråleblæsning med tilbagesug giver en reduktion i rensehastighed på en faktor 2-3.

Den lave rensehastighed skyldes bl.a. manglende operatørrutine.

Højtryksspuling uden blæsemiddel er ikke anvendelig på alle underlag og med undtagelse af malede overflader var det ikke muligt at opnå rensningsgrad som for de øvrige metoder.

Den var ikke i stand til at fjerne glødeskal i et tempo, der gør metoden kommerciel interessant, medens den fungerer meget tilfredsstillende på malede overflader.

Højtryksspuling med sand giver rensehastigheder som er næsten eller på højde med tør fristråleblæsning ved tryk på 7 bar. Det sidste gælder især ved fjernelse af tjæreepoxybelægning.

Blæsemiddelforbruget er under 50% af forbruget ved tør fristråleblæsning.

Renhedsgraden efter blæsning bedømt ved fugtkammereksponering af malede plader viser, at kun højtryksspuling med sand har været i stand til at fjerne saltforureningen fra grubetærede plader.

Vedhæftningen af malingen er ved næsten alle metoder fundet tilfredsstillende kl 0. Fugtfristråleblæsning har på én af pladerne efterladt så meget fastsiddende støv at vedhæftningen er kl 1.

Disse resultater skal tages med et vist forbehold, idet der ikke er tale om totalt malingsystem og filmen endnu var relativ blød på prøvningstidspunktet.

10. Litteraturliste

Litteraturlisten omfatter såvel titler der er henvist direkte til, som titler af mere baggrundsmæssig interesse i denne sammenhæng.

1. Robinson, Peter J.: Zinc Coated Abrasive for Surface Preparation of Steel Lengthens Rust-Free Period. Materials Performance, Februar 1984
2. Test Method for Establishing Abrasive QPL. Journal of Protective Coatings & Linings, August 1985
3. A Tentative Specification for Mineral Slag Abrasive, US Department of Transportation and Maritime Administration. Journal of Protective Coatings & Linings, November 1984
4. Bennet, P. James: Non-Metallic Abrasive for Surface Preparation. Journal of Protective Coatings & Linings, April 1986
5. Smith, Tony m.fl.: Abrasives. Product Finish. Februar 1984
6. Schultz, Wolfgang: Entwicklungstendenzen des Strahlmittelmarktes. Oberfläche + JOT · Markt-Übersicht '85
7. Shotblastning: Developments in Equipment and Shotblast Media. Anti-Corrosion, Juli 1985
8. Test Centre offers free Advice on Abrasive Shot and Grit Problems. Anti-Corrosion, August 1984
9. Shotblasting for Corrosion-free Surface Preparation: A Review of new Equipment and Processes. Anti-Corrosion, Juli 1984
10. Preece, Danny: Improving Blast Cleaning Efficiency, Part 1: Selecting the Plant. Product Finishing, Juli 1986
11. Bahlmann, W. og Helwig, G.: Zur Folgeausgabe von DIN 8200 Strahlverfahrenstechnik; Begriffe, Einordnung der Strahlverfahren. I-Lach, 5/1983.
12. Marktübersicht Strahlgeräte. Die Mappe 3/1987
13. Kuppinger, G: Das Quarzsandverbot und sein Einfluss auf die Strahlmittelauswahl. I-Lach, 1/1983
14. Spielvogel, Erwin: Strahlmittel als Werkzeug, Teil III. I-Lach, 8/1982
15. Spielvogel, Erwin: Strahlmittel als Werkzeug, Teil IV. I-Lach, 10/1982
16. de la Court, F H: Ijs als straalmiddel voor geschilderde of verontreinigde oppervlakken. TNO, projektrapport V-84 VI, april 1984
17. Frenzel, Lydia M, m.fl.: Evaluation of 20.000 psi Water Jetting for Surface Preparation of Steel prior to Coating or Recoating. Coastal Science Associates, Inc./Butterworth Inc. April 1983.
18. Ewald, Michael H.: Industrial Applications of High Pressure Water. Journal of Protective Coatings & Linings, Marts 1987
19. Metager, Karl Eugen: Mit Hochdruckwasser Lackanbackungen beseitigen. I-Lach 1/1984

20. Dekker, T.T. m.fl.: A Theoretical and Practical Investigation on Surface Cleanliness of Pretreated Steel. Sigma Coating, Holland marts 1986
21. Tater, Kenneth B. m.fl.: Influence of Surface Preparation Upon Performance of Protective Coatings in Various Atmospheres. Material Performance, November 1983
22. Surface Preparation of Contaminated Steel Surfaces. NACE Task Group T-6G-22. Materials Performance, Marts 1987
23. Naylor, J.P.: Abrasive Fusion Bond Zinc and Resin to Steel Surface. Anti-Corrosion, Juni 1983
24. Cleanliness and Anchor Patterns Available Through Centrifugal Blast Cleaning of New Steel. NACE Task Group T-6G-13. Materials Performance, April 1976
25. Brickwood, Roger: Is Traditional Sandblasting Dead? Finishing, Maj 1984
26. Mügge, Hans Jürgen: Schleuderradstrahlanlagen und ihre Einsatzbereiche. Oberfläche + JOT. Markt-Übersicht '87
27. Mallory A.W: Description of Centrifugal Wheel (Airless) Blast Systems. Materials Performance, November 1982
28. Mallory A.W: Richtlinien für den Betrieb von Schleuderstrahlanlagen. I-Lach, 7/1985
29. Matuscheck, R.J: Freistrahlen ohne Umwelt-belastung-Wunsch und Wirklichkeit zugleich. I-Lach, 8(1986
30. Fristråleblästning: Ett krävande jobb i dålig miljö. Ytforum 2, 1986
31. Rüsing, Adalbert: Strahlen in der Reparatur-technik. Oberfläche + JOT, 1983
32. Die Strahltechnik. Nasstrahlen, Feuchtstrahlen, Nebenstrahlen, Stauffreistrahlen. Die Mappe, 1/87
33. Freistrahlen mit Stahlkorn. I-Lach, 2/1983
34. Öchsner, W. Ph: Das Feuchtstrahlen von Stahloberflächen. Farbe + Lach, 6/1986
35. Berling-Schlick, Elsbeth: Strahlanlagen sind Entrostungsanlagen, aber auch viel mehr. Oberfläche + JOT. Markt-Übersicht '86
36. Wallis, G.R: Mechanical Finishing by Impact Treatment. Product Finishing, Oktober 1982
37. Frondistou-Yannas, S: Effectiveness of Nonabrasive Cleaning. Methods for Steel Surfaces. Materials Performance, Juli 1986
38. Horowitz, I: Strahltechnik und Korrosionsschutz im Stahlbau. Der Stahlbau, 9/1983
39. Bahlmann, W: Strahlen als Oberflächen-Vorbereitungsverfahren für die Metallbeschichtung. I-Läch, 9/1982
40. Sauberes Strahlen als Voraussetzung für die Schiffskonservierung. I-Läch, 4/1983
41. World's Largest Indoor Blasting/Painting Facility. Industrial Finishing, 10/1983
42. Rüsing, Adalbert: Die (Sand) Strahltechnik. Teil I. Die Mappe, 6/1985
43. Rüsing, Adalbert: Die (Sand) Strahltechnik. Teil II. Die Mappe, 7/1985

44. Lowrey, Kenneth W.: Blast Cleaning with Zinc-Coated Abrasive. Coating Protection of Steel Structures.
45. Obrzut, John J.: Some New Thoughts About Cleaning Steel for Painting. Iron Age, Marts 1978
46. Brannon, Jan H.: Surface Preparation by Flashblasting. Naval Engineers Journal, Juli 1983
47. Gunbro, Benkt: Helautomatisk Blästeranläggning. Ytforum 2/1987
48. Whinney, Cecelia: Blast Finishing - Part I. Metal Finishing, November 1983
49. Whinney, Cecelia: Blast Finishing - Part II. Metal Finishing, December 1983
50. Sørensen, Frode og Styhr Petersen, H.J.: Det kemiske arbejdsmiljø ved lodning, affedtning, blæsning, slyngrensning og højtryksrensning i Jern- og Metalindustrien. Arbejdsmiljøfondet, 1985
51. Puhasmägi, Vello: Begränsning av luftföroreningar vid blästning av metallytor. IVF-Resultat 74640, 1974
52. Crepaz, Rudolf: Kvalitetskrav til kvartssand som industriråstof. TI/Industriel Metallurgi, 1987
53. Crepaz, Rudolf: Sandkontrol. TI/Industriel Metallurgi, 1983
54. Konferencenotiser fra: Rostskyddsmålning '88. Korrosionsinstitutet, Stockholm, 1988
55. Bahlmann, W: Erfahrungen mit Ersatzstoffen für silikogene Strahlmittel. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung Dortmund, 1980
56. Mikkelsen, Erik: Fristrålesandblæsning. TI/Overfladeteknik, 1976
57. Gieler, Rolf P.: Feuchtstrahlen auf Stahl. Peiniger-Stiftung, Leverkusen, 1983
58. Hille: Sprinkle-Blasting. TÜV-Rheinland, Institut für Umweltschutz, 1982
59. Rachlitz, Marianne: Rationalisering af stålkonstruktioners korrosionsbeskyttelse. (RASK). TI/Overfladeteknik R 45-86/TI-O, 1986
60. Balieu, Erik: Aerosoler. Egenskaber og karakterisering. TI/Kemisk-Analytisk Laboratorium, 1984
61. ISO: International Organization for Standardization
 - DIS, 8501/1
 - DIS 8501/2
 - DIS, 8502/1
 - DIS, 8502/2
 - DIS, 8502/3
 - DIS, 8502/4
 - DIS, 8503/1
 - DIS, 8503/2
 - DIS, 8503/3
 - DIS, 8503/4
 - DIS, 8504/1
 - DIS, 8504/2
62. Anvisning om Sandblæsning. Direktoratet for Arbejdstilsynet. At-meddelelse nr. 4.04.7, November 1985

63. Sandblåsting. Direktoratet for arbeidstilsynet. Oslo 1978
64. Kvarts. Arbetarskyddsstyrelsens Författningssamling. AFS 1983:14, Stockholm 1983
65. Konferensrapporter: Surface Preparation: The State of the Art. Proceedings of the SSPC Annual Symposium. May 22-23, 1985. Cincinnati, Ohio.

Salts: Their Detection and Their Influence on Coating Performance, Dwight G. Weldon and Troy A. Cain, KTA-Tator

Vacuum Recovery Systems for Abrasives, Dave Hansel, Clemco Industries

Abrasive Blasting Above 100 PSI, Marshall Seavey, Schmidt Manufacturing

Establishing Chemical Specifications for Blasting Grit to be in Compliance with OSHA and EPA Regulations, Dr. Ronald J. Roman and Dennis S. Skeie, Industrial Mineral Products

Abrasive Standards and the U.S. Navy, A Status Report, J.D. Hansink and K.W. Loest, Rocky Mountain Energy

Specification Criteria for Abrasive Blasting Media, H.R. Belile, S.D. Rodgers, F. Porter, A.E. Smith and J. Griffin, U.S. Navy

Portable Power Tool Cleaning, Duane T. Bloemke, Desco Manufacturing Company

Evaluation of Wet Blast Cleaning Units, Dr. Bernard R. Appleman and Dr. Joseph A. Bruno, Jr., Steel Structures Painting Council

Application of High Pressure Water Jetting in Corrosion Control, Dr. Lydia Frenzel, Coastal Science Associates, I. Michael Ginn, Butterworth, George V. Spires, Brown & Root

Vacuum Blasting, The New Age of Surface Preparation, Raymond F. Williams, Inventive Machine Corporation

The Effects of Steel Profile and Cleanliness on Coating Performance, Richard W. Drisko, Eddy S. Matsui and Lee K. Schwab, Naval Civil Engineering Laboratory

Surface Preparation - The State of the Art, D.A. Bayliss, I.T.I. Consultancy Services
66. de la Court, F.H. og Kielhorn F.H.: Stofvrij Gritstralen in verband mit het milieu. TNO-rapport nr. V-86-180, August 1986
67. Stettler, L.F. m.fl.: Fibrogenic Effects and Chemical Characterization of Coal and Mineral Slags Used as Sand Substitutes. Kapitel 8 i Health Issues Related to Metal and Nonmetallic Mining. Red. Wagner W.L. Butterworth Publishers 1983
68. Eliasson, Lars og Severinsson, Kjell: Arbetsmiljö vid torrblåstring. IVF-resultat 86501, Januar 1986
69. Strahlkorund Handbuch, Udgiver: Fachverband Elektrokorund- und Siliziumkarbid-Hersteller.

Korrosion og forbehandling

En ubeskyttet ståloverflade vil korrodere når den udsættes for vand og ilt eller vand og syre.

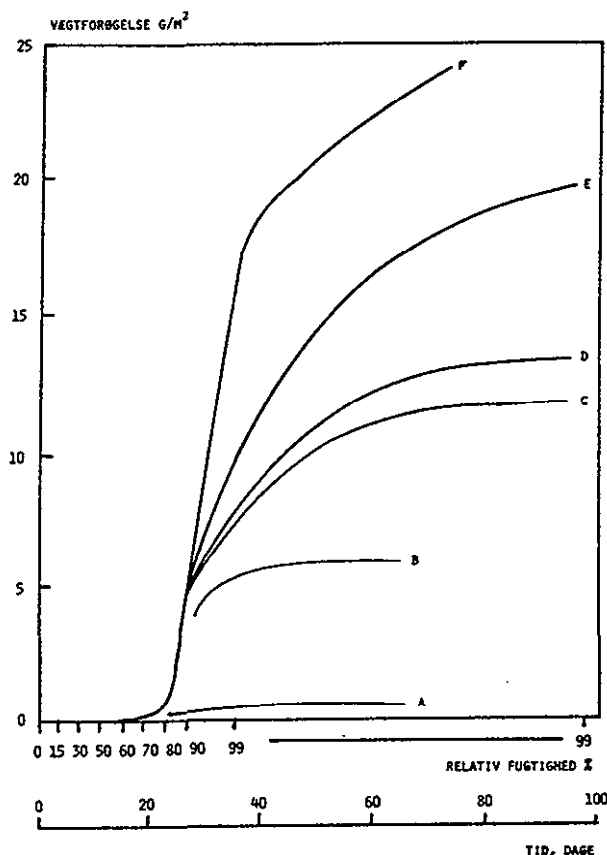
Stål + ilt + vand = korrosionsangreb + rust

Stål + syre + vand = korrosionsangreb + rust + brint

Rustlaget fylder op til 7 gange stålets oprindelige rumfang. Det er almindeligvis porøst (afhængig af stålets sammensætning) og uden mekanisk styrke. Rusten suger vand fra omgivelserne, hvilket forårsager fortsat korrosion. I klorid- og sulfat atmosfære (havus og industri) forøges korrosionen væsentligt, da disse salte er meget vandsugende (hygroscopiske) og korrosionsstimulerende. Desuden kan der være tale om synergisme (blandingseffekt) når to eller flere forureninger forekommer samtidigt, jvf. figur 2.1.

Atmosfærisk korrosion på
poleret stålplade ved
Vernons forsøg.

- A - Aktivt kulpulver
- B - Ammoniumsulfat
- C - Svovldioxid
- D - Svovldioxid
+ kvartspulver
- E - Svovldioxid
+ ammoniumsulfat
- F - Svovldioxid
+ aktivt kulpulver



Figur 2.1

Ref.: Handbok i Rostskyddsmålning, Bulletin nr. 85-2. udg.
Korrosionsinstitutet, Sverige

Vægtforøgelsen skyldes, at rust vejer mere end rent jern ($25 \text{ g/m}^2 = \text{jerntab på } 1 \mu\text{m}$).

Den relative luftfugtighed blev for hvert enkelt forsøg øget gennem måleperioden fra 0 til 99%.

De enkelte kurver skal ikke betragtes som absolutte værdier, men kun ses i relation til hinanden.

En generel karakterisering af korrosionsmiljøet angives ved hjælp af korrosionsklasser, jvf. figur 2.2.

Korrosionsklasser

Korrosions- klasse	Miljøets agressivitet	Indendørs	Udendørs
0	Ingen	Lokaler med RF < 60% (kontorlokaler) affugtede lokaler	
1	Ubetydelig	Uopvarmede velventilerede lokaler uden kondens (uisolerede) stålskelet- bygninger med naturlig ventilation. Opvarmede lokaler RF < 60% uden kondens (installationer i industrianlæg)	
2	Middel	Skiftende fugtpåvirkning med kortvarig kondensdannelse (industri lokaler)	Ikke forurenede landatmosfære og lig- nende miljø med lav sulfat syrebase og chlorid forurening
3	Stor	Vekslende fugtighed, kraftig kondens Kemikaliepåvirkning	Forurenede atmosfære sulfat og anden forurening fra industri optræder. Ikke forurenede kystatmosfære
4	Meget stor	Konstant fugtigt (bryggerier, slagterier, svømmehaller) Kemikaliepåvirkning Neddypet	Forurenede kystatmosfære Kemikaliepåvirkning I vand og i jort

Ref.: DS/R 454

Figur 2.2

Ståloverfladen har i reglen altid en belægning eller en forurening der er uønsket og som følgelig skal fjernes eller reduceres i forbindelse med overfladebehandling. Endvidere kan selve stålet have en overfladestruktur, der skal ændres før videre behandling.

I figur 2.3 er anført en række gængse belægnings- og forureninger på almindeligt forekommende konstruktionsmetaller samt de typiske skader de kan forårsage på en malbehandling.

De forbehandlingsmetoder der i dag anvendes på stålkonstruktioner er:

- kemiske
- mekaniske
- termiske

De forskellige metoder har meget varierende egenskaber og en række faktorer i overfladebehandlingsprocessen bl.a.:

- produktionsstørrelse
- konstruktionsudformning
- klima
- lokalisering
- levetid af overfladebehandlingen
- malingsystem

har betydning for valg af forbehandling.

En oversigt over forbehandlingsmetodernes anvendelighed og effekt er anført i figur 2.4.

Renseeffekten af de forskellige metoder afhænger af arten af forurening.

Som det fremgår af figur 2.4 vil det ofte være nødvendigt at kombinere 2 eller flere metoder for at opnå en tilfredsstillende rensning.

I figur 2.5 er vist et eksempel på levetiden af et givet malingsystem som funktion af forbehandlingsmetode og rensningsgrad.

Det skal understreges, at dette er et eksempel, men at der generelt er sammenhæng mellem rensningsgrad og levetid er dokumenteret ved talrige afprøvninger og praktiske erfaringer.

Betydningen af almindeligt forekommende forureninger m.v. for malebehandlingen på udvalgte underlag

Underlag Forureninger m.m.	Varm- valset stål	Kold- valset stål	Støbe- jern	Rust- træge stål	Rust- fast stål	Alumi- nium	Varm- forzink- ning	Sendzi- mirfor- zink- ning	El-for- zink- ning	Sprøjte- metal- lisering
Glødeskal	Krak. Galv. Korr.	-	-	Krak. ÷ Vedh.	-	-	-	-	-	-
Rødrust	Korr. ÷ Vedh.	Korr. ÷ Vedh.	Korr. ÷ Vedh.	Korr. ÷ Vedh.	-	-	-	-	-	-
Grubetæ- ringer	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	-	Blærer Korr.	-	-	-	-
Skarpe kanter	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.
Pladelus og ujævnheder	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	÷ Dæk- ning Korr.	-	-	-	-
Olie/fedt	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.
Salte	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.
Støv/snavs	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.	÷ Vedh.
Svejseslagger og- perler	÷ Dæk- ning ÷ Vedh.	÷ Dæk- ning ÷ Vedh.	÷ Dæk- ning ÷ Vedh.	÷ Dæk- ning ÷ Vedh.	÷ Dæk- ning ÷ Vedh.	÷ Dæk- ning ÷ Vedh.	-	-	-	-
Alkaliske aflejringer	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Blærer Korr.	Sjældne	Meget sjældne	-	-	-	-
Hvidrust og vandopl. korr.produk- ter fra alumi- nium og zink	-	-	-	-	-	÷ Vedh.	-	-	-	-
Flusmiddel	-	-	-	-	-	-	÷ Vedh.	-	-	-

Forklaring til forkortelser:

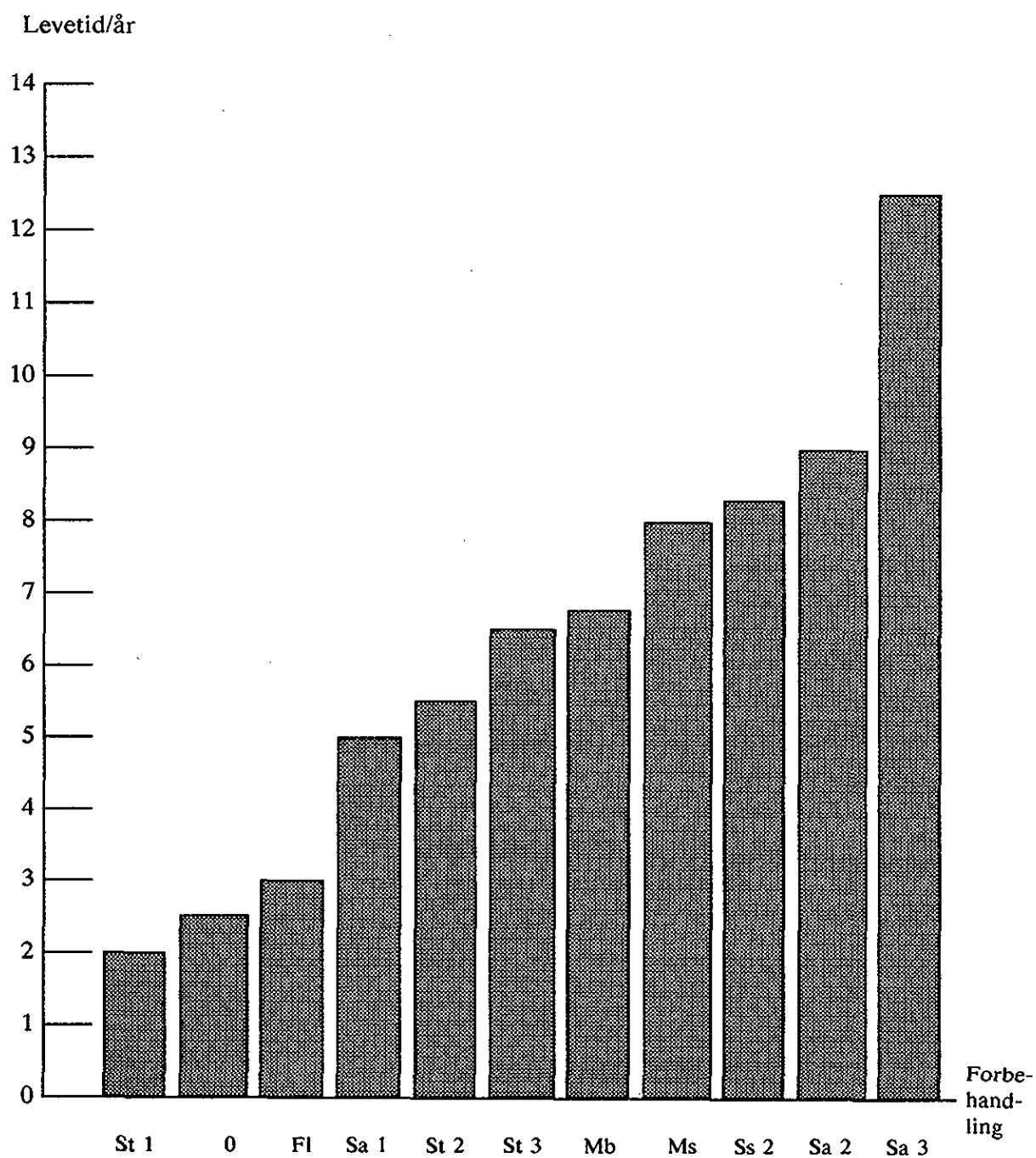
Krak. = Krakelerer
Galv. = Galvanisk korrosion
Korr. = Korrosion
Vedh. = Vedhæftning

Figur 2.3

Renseeffekt for forskellige forbehandlingsmetoder

Metode \ Forurening	Afstøvning	Emulsionsrensning	Affedning	Neutralisering af svejseområder	Slibning	Trykluftværktøjer	Stålbørstning	Tør sandblæsning	Våd sandblæsning	Sandsvirpning	Højtryksspuling	Højtryksspuling med sand
Glødeskal	○	○	○	○	●	●	○	●	●	△	○	△
Rødrust	○	○	○	○	●	●	●	●	●	△	△	△
Grubetæring	○	○	○	○	●	△	○	△	●	○	△	△
Skarpe kanter	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○
Ujævnheder	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○
Olie/fedt	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○
Salte	○	●	○	○	○	○	○	○	●	○	●	●
Støv/snavs	●	●	△	○	○	○	○	△	●	△	●	●
Svejseslagger	○	○	○	○	●	●	△	△	△	○	△	△
Alkaliske aflejring	○	△	○	●	○	○	○	○	△	○	△	△
"Hvidrust" m.m.	○	△	○	○	○	○	○	△	●	△	●	●
Flusmiddel	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Gammel maling	○	○	○	○	●	△	△	●	●	△	△	△
Signaturforklaringg ● God effekt △ Nogen effekt ○ Ingen effekt												
1. Kun nålehammer 2. Svejsesepiler 3. Med emulgator 4. Mattering og opruning 5. Afhængig af arbejdsstryk kan der opnås en rensningsgrad som ved våd sandblæsning og en tilfredsstillende rensehastighed												

Figur 2.4

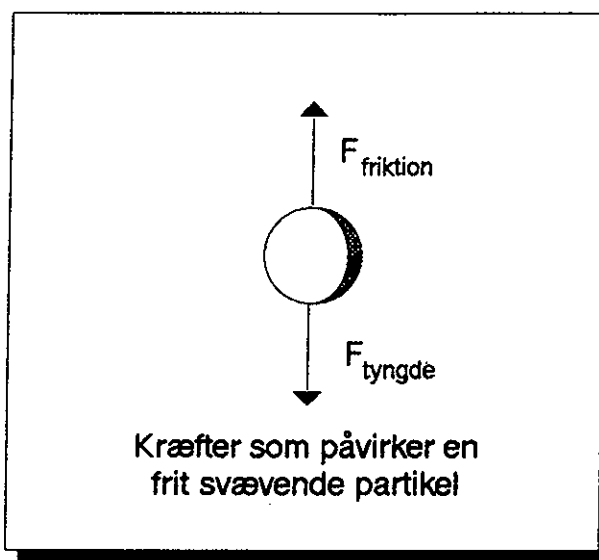


Figur 2.5

Ss: Slyngrensning
 Ms: Slibning med maskine
 Mb: Stålbørstning
 Sa: Sandblæsning
 Fl: Flammerrensning
 St: Stålbørstning
 O: Ingen forbehandling

Beregning af faldhastighed for partikel i stillestående luft

En partikel i stillestående luft vil være påvirket af den nedadrettede tyngdekraft og en opadrettet friktionskraft.



Tyngdekraftens træk F_{tyngde} i en kugleformet partikel med diameter D og massefylde ρ_p kan bestemmes ud fra ligningen:

$$F_{\text{tyngde}} = \pi/6 \times D^3 \times (\rho_p - \rho_{\text{luft}}) \times g \quad (1)$$

hvor g er tyngdeaccelerationen.

Friktionskraften på samme partikel kan bestemmes ud fra ligningen:

$$F_{\text{friktion}} = 0,5 \times A \times f_p \times V_s^2 \times \rho_{\text{luft}} \quad (2)$$

hvor f_p er en friktionskoefficient.

Efter et givet tidsrum vil der opstå en ligevægt hvor tyngden og friktionen vil være lige store modsat rettede kræfter. Herved får partiklen en konstant faldhastighed V_s . Sættes (1) lig med (2) kan V_s isoleres:

$$V_s = ((4 \times D \times (\rho_p - \rho_{\text{luft}}) \times g) / (3 \times f_p \times \rho_{\text{luft}}))^{0,5} \quad (3)$$

Kendes f_p kan V_s beregnes. V_s er imidlertid ikke explicit givet af (3), idet f_p er en funktion af Reynolds tal og dermed V_s . f_p kan bestemmes eksperimentelt, men for Reynolds tal under 80 kan følgende tilnærmede ligning anvendes:

$$f_p = 0,4 + 24/Re + 6/(1 + Re^{0,5}) \quad (4)$$

Ved hjælp af en iterativ procedure kan V_s således bestemmes.

Denne metode er anvendt til bestemmelse af faldhastigheder (m/s) i nedenstående skema:

Massefylde af partikel (kg/m ³)	Partikelstørrelse (µm)					
	50	75	100	200	500	750
2650	0,180	0,364	0,570	1,435	3,602	5,018
3800	0,253	0,498	0,768	1,857	4,498	6,202
4150	0,273	0,536	0,825	1,976	4,747	6,529
7450	0,464	0,877	1,311	2,991	6,754	9,152

Som alternativ er der anvendt en anden beregningsmetode. Det drejer sig om et EDB-program som kan beregne banekurver for partikler ved sugehove. Sættes sugehovens udsugede volumenmængde til et meget lille tal, og placeres partiklen meget langt væk fra sugehoven kan faldhastigheden bestemmes. En detaljeret gennemgang af beregningsmetoden kan ses i nedenstående litteraturhenvisning.

Massefylde af partikel (kg/m ³)	Partikelstørrelse (µm)					
	50	75	100	200	500	750
2650	0,183	0,366	0,573	1,434	3,605	5,000
3800	0,255	0,500	0,770	1,855	4,400	6,091
4150	0,276	0,540	0,829	1,973	4,733	6,511
7450	0,467	0,880	1,315	2,986	6,797	9,197

Nomenklatur:

- A: Arealet af partiklens projektion i bevægelsesregningen (m²)
 D: Partiklens diameter (m)
 f_p : Friktionskoefficient
 F_{friktion} : Friktionskraft på partiklen (N)
 F_{tyngde} : Tyngdens træk i partiklen (N)
 g: Tyngdeacceleration 9,82 m/s²
 Re: Reynolds tal
 V_s : Partiklens faldhastighed (m/s)
 ρ_p : Partiklens massefylde (kg/m³)
 ρ_{luft} : Luftens massefylde 1,21 kg/m³

Litteraturhenvisning

Ventilation '85, Proceeding of the 1st International Symposium on Ventilation for Contaminant Control, October 1-3, 1985, Toronto, Canada, Advanced Designmethods in Industrial ventilation, v/Heinsohn og Choi, side 81-109.

Kemisk indholdsanalyse for udvalgte naturlige mineralske blæsemidler

Analyserne er udført af Holmegaards Glasværker i november/december 1988 ved røntgenfluorescensanalyse.

Indhold		Kvartssand KVA 2	Kvartssand KVA 4	Flint FLI 3	Standard- afvigelse
Silikat	Si O ₂	99,005	99,078	99,847	-
Aluminium	Al ₂ O ₃	0,44	0,48	0,028	0,03
Magnesium	Mg O	0,00	0,00	0,01	0,01
Calcium	Ca O	0,01	0,01	0,08	0,01
Mangan	Mn O	0,01	0,00	0,00	0,01
Natrium	Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	-
Kalium	K ₂ O	0,38	0,36	0,04	0,03
Jern	Fe ₂ O ₃	0,024	0,031	0,023	0,003
Titan	Ti O ₂	0,03	0,03	0,01	0,01
Zirkonium	ZrO ₂	0,01	0,01	0,00	0,01
Chrom	Cr ₂ O ₃	0,001	0,001	0,002	*

Indhold angivet i vægt%

- * Bestemmelsen af chrom bliver på grund af chromrør i røntgenanlægget relativt usikker. Erfaringsmæssigt er det dog berettiget at angive værdierne med ét betydende ciffer. Af øvrige bestanddele kan erfaringsmæssigt kun være tale om et glødetab på max. 0,5%, hvilket ikke er aktuelt i dette tilfælde.

Kemisk indholdsanalyse for udvalgte mineralske blæsemidler

Hovedelementer er udtryk i %, sporelementer i ppm

Hoved- elementer		Korund	Kobber- slagge	Kobber- slagge	Kul- slagge	Kul- slagge	Olivin- sand
		KOR 1	KOB 5	KOB 7	KUL 4	KUL 15	OLI 7
Silikat	Si O ₂	3,75	36,33	23,03	46,55	56,22	39,40
Titan	Ti O ₂	4,92	0,35	0,44	1,56	1,37	0,02
Aluminium	Al ₂ O ₃	84,97	4,72	6,40	26,05	20,08	0,61
Jern	Fe ₂ O ₃ /Fe O	11,95	54,02	55,21	13,81	9,04	7,82
Calcium	Ca O	0,08	3,64	0,95	6,46	3,04	0,07
Magnesium	Mg O	0,17	1,74	2,35	3,07	1,88	49,83
Mangan	Mn O	0,04	0,26	0,31	0,14	0,06	0,10
Kalium	K ₂ O	0,06	0,55	0,77	2,33	2,03	0,01
Svovl	S	0,01	0,67	1,64	0,02	0,01	0,01
Natrium	Na ₂ O	0,15	0,59	0,60	1,14	0,71	0,01
Kul (TC)	C	0,29	0,14	0,15	0,66	0,58	0,12
Sporelementer	Sum	106,40	103,01	91,85	101,80	95,03	98,00
Kobber	Cu	120	6.536	11.534	213	18	14
Antimon	Sb	2.839	1.246	1.048	1.181	1.005	275
Bly	Pb	26	455	2.909	104	23	8
Cadmium	Cd	14	0	0	0	0	0
Tin	Sn	0	291	2.046	0	0	0
Arsen	As	100	91	439	10	8	8
Beryllium	Be	52	41	82	50	30	0
Chrom	Cr	679	1.701	2.751	328	190	647
Nikkel	Ni	208	265	434	362	188	3.073
Cobolt	Co	468	327	275	241	137	151
Zirkonium	Zr	829	179	203	368	230	16
Silicium	Si	1,75	16,97	10,76	21,75	26,27	18,41
Titan	Ti	2,95	0,21	0,26	0,94	0,82	0,01
Aluminium	Al	44,96	2,50	3,38	13,79	10,62	0,32
Jern	Fe	8,36	37,78	38,62	9,66	6,32	5,47
Calcium	Ca	0,06	2,60	0,68	4,61	2,17	0,05
Magnesium	Mg	0,10	1,03	1,39	1,81	1,11	29,35
Mangan	Mn	0,03	0,20	0,24	0,11	0,05	0,08
Kalium	K	0,05	0,46	0,64	1,94	1,69	0,01
Natrium	Na	0,11	0,44	0,45	0,85	0,53	0,01

Metode og procedure

Analyserne er udført af Geologisk Institut, Århus Universitet i januar/februar 1989. På grund af det høje Al-indhold er prøve KOR 1 oplukket ved smeltemetode, medens de øvrige prøver er oplukket i autoklave.

Zr er bestemt ved røntgenfluorescens, de øvrige elementer ved atomabsorption. Pb og As er bestemt ved grafitovnsteknik, de øvrige ved flammeteknik.

Glødetab er målt til 0 i alle 6 prøver.

Hovedelementerne er i tabellen både angivet som oxid og på metalform. Årsagen hertil er, at antagelsen om, at alle metalioner forefindes på oxidform ikke nødvendigvis gælder for f.eks. slaggeprøver med stort Fe- og sporelementindhold, der kan findes som rene metaller eller bundet til f.eks. sulfid. Dette er formentlig den væsentligste årsag til, at nogle prøver ved oxidsummationen giver over 100%.

Bemærk endvidere at sporelementindholdet ikke er medregnet i summationen. Især for prøverne KOB 5 og KOB 7 udgør sporelementerne en betragtelig andel.

Usikkerheder

Oversigt over standardafvigelser på hovedelementer, baseret på årelang analyseerfaring, samt en blanding af skøn over og beregninger af de relative analyseusikkerheder på sporelementer, hvor erfaringsgrundlaget er mindre. Ved små koncentrationer tæt på detektionsgrænsen stiger den relative usikkerhed meget markant.

Beregnet standardafvigelse i %	Hovedelement
3.04	Mn
2.18	Na
4.04	Fe
4.17	Si
4.08	K
4.43	Al
2.18	Mg
1.87	Ca
< 4.5	Ti

Relativ måleusikkerhed i %	Sporelement
0-10 ppm: 10-25	As
10-500: 5-10	
> 500: < 5	
< 2500 ppm: op til 20	Sb
> 2500: < 5	Cd

Relativ måleusikkerhed i %	Sporelement
< 30 ppm: op til ca. 7%	Be
> 30 ppm: < 2%	
< 250 ppm: op til 25%	Cr
> 250 ppm: < 2%	
< 40 ppm: op til 15%	Cu
40-2000: < 5	
> 2000: < 3,5%	
< 5%	Co
< 2,5%	Sn
< 10 ppm: op til 50%	Pb
> 10: formentlig < 5%	
< 500 ppm: op til 10%	
> 3000: formentlig > 1%	
Toleranceinterval:	
± 16 ppm	Zr

Den relative usikkerhed på Kulstof (TC) og Svovl ligger normalt < 5%.

Forekomst af α kvarts og støv $\phi < 10 \mu\text{m}$ i udvalgte naturlige mineralske blæsemidler

Blæsemiddel- type og produktkode	α kvarts vægt%	Støv $\phi < 10 \mu\text{m}$ mg/kg	α kvarts støv $\phi < 10 \mu\text{m}$ mg/kg	Vægt% støv $\phi < 10 \mu\text{m}$	
				Ialt	α kvarts
Kvartssand KVA 2					
Prøve 1	71,3	1548	1127,8	0,15	0,11
Prøve 2	63,5	1776	1103,7	0,18	0,11
Kvartssand KVA 4					
Prøve 1	40,2	2448	984,1	0,24	0,10
Prøve 2	40,7	2832	1149,8	0,28	0,12
Olivinsand OLI 7					
Prøve 1	1,8	4056	73,0	0,41	0,01
Prøve 2	2,8	4296	120,3	0,43	0,01

Analysearbejdet er varetaget af TI/Industriel Metallurgi i januar 1989

Analysemetode

Uddrag af Lis Holst og Vagn Vadstrup: Støv og krystallinsk kvarts i støberiernes råmaterialer, s. 42:

"Behandling af prøve"

Prøven tørres efter VDG Mærkblad P 32. Prøven koges i ca. 200 ml destilleret vand i 5 min., piskes i 5 min. Der slemmes 8-10 gange svarende til 4-5 l vand, slemmevandet opsamles. Slemningen foretages efter VDG Mærkblad P 36.

Slemstofindhold

Mængden af slemstof (partikler $\leq 20 \mu$) bestemmes som vægtdifferencen mellem indvejet, tørret prøve, og vægten af den tørrede slemmerest, omregnet til %.

Sigtning

Den tørrede slemmerest sigtes efter DIN 4188, sigtekurve, middeldkornstørrelse, samt mængden af partikler $< 63 \mu$ bestemmes.

Respirabelt støv

Fra slemmevandet udtages 5-100 ml. Den udtagne mængde tilpasses således, at den mængde respirabelt støv, der senere overføres til filter bliver mellem 1 og 2 mg. Den udtagne prøve fra slemmevandet sedimenteres 2 gange i Andreasen Pipette.

Der filtreres gennem Gelmann Filter DM 450, porestørrelse $0,45 \mu$.

Filteret er i forvejen udvasket til konstant vægt og konditioneret. Det belagte filter tørres og konditioneres. Mængden af respirabelt støv (partikler $< 5 \mu$) bestemmes som vægtdifferencen mellem det belagte, tørrede og konditionerede filter, og det tørrede og konditionerede filter. Der omregnes til mg/kg prøve.

Respirabelt krystallinsk kvarts

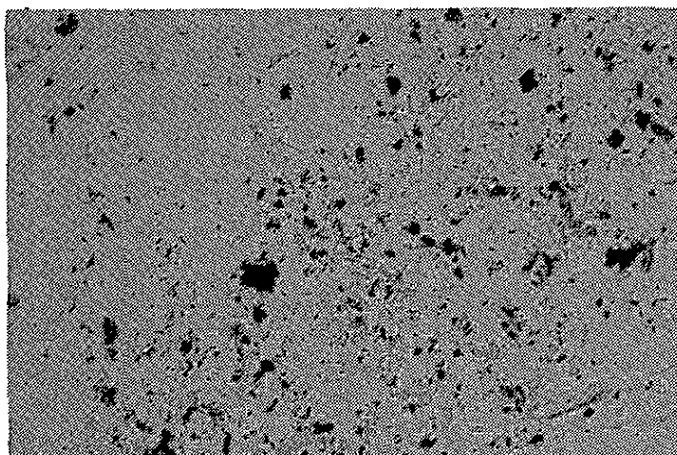
Det belagte filter analyseres for krystallinsk kvarts i IR-spektrofotometer ud fra absorptionen af lys med bølglængde 795 nano meter, sammenlignet med referencekurver ud fra Quartsstandard DG 120.

Ved analysen bestemmes mængden af krystallinsk kvarts i det respirable støv på filteret. Resultatet omregnes til %, samt til mg/kg prøve".

Fysiske karakteristika for udvalgte mineralske blæsemidler

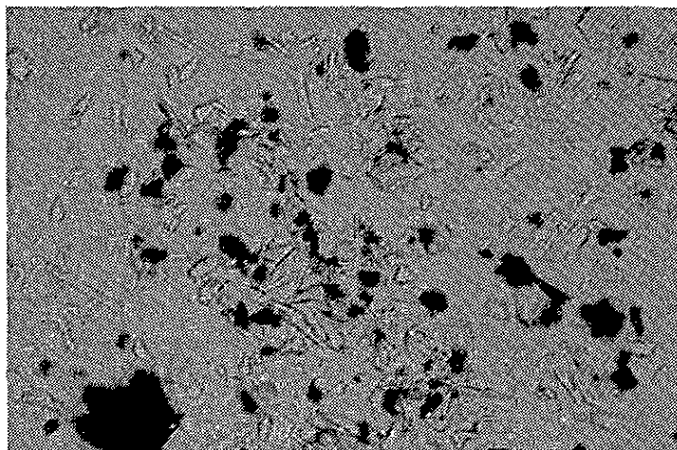
Blæsemiddel- type og produktkode	Specifik vægtfylde kg/l	Rumvægt/ fyldevægt kg/l	Kornform før blæsning	Kornform efter blæsning (se fotos)	Afslidning	
					g/kg	g/sek.
Kvartssand KVA 2	2,6	1,6	Angulær til rundet med hovedvægten på let rundet.	Meget angulær til subangulær med hoved- vægten på meget angulær	0,7	0,10
Kvartssand KVA 4	2,6	1,6	Angulær til rundet med hovedvægten på let rundet	Meget angulær til subangulær med hoved- vægten på meget angulær	0,7	0,11
Kobberslagge KOB 5	3,5	1,9	Meget angulær til let angulær med hoved- vægten på let angulær	Meget angulær til let afrundet med hoved- vægten på angulær	1,5	0,18
Kobberslagge KOB 7	3,8	2,1	Meget angulær til angulær med hovedvægten på meget angulær	Meget angulær til let afrundet med hoved- vægten på angulær . Der forekommer nålelignende fraktement	1,4	0,18
Kulslagge KUL 4	2,6	1,5	Meget angulær til let rundet med hoved- vægten på angulær	Meget angulær til let angulær med hoved- vægten på me- get angulær*	1,7	0,15
Kulslagge KUL 15	2,8	1,4	Meget angulær til let rundet med hoved- vægten på angulær	Meget angulær til let angulær med hoved- vægten på me- get angulær*	2,0	0,19
Olivinsand OLI 7	3,2	1,8	Angulær til let afrundet med hovedvægten på angulær	Angulær til let afrundet med hovedvægten på angulær	1,1	0,13

* Materialerne KUL 4 og KUL 15 forekommer at være skrøbelige med mange luftindeslutninger.



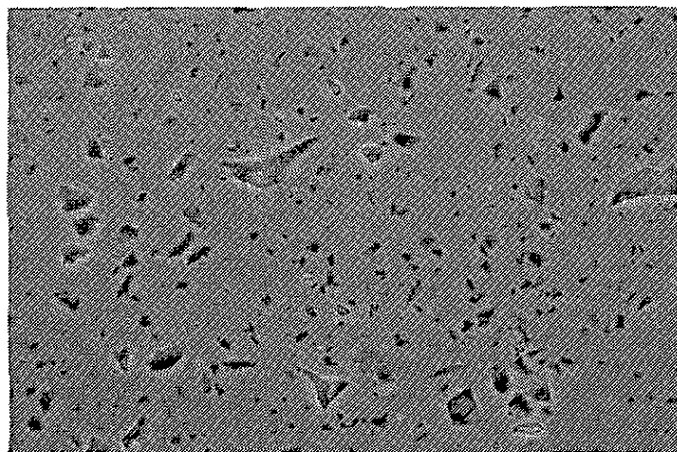
KUL 4

Kornformer. Meget angulær - sub angulær
De fleste partikler synes at være meget angulærer
Som KVA 2 + 4
Billedfelt: 1,0 × 1,6 mm
Forstørrelse: 63 ×



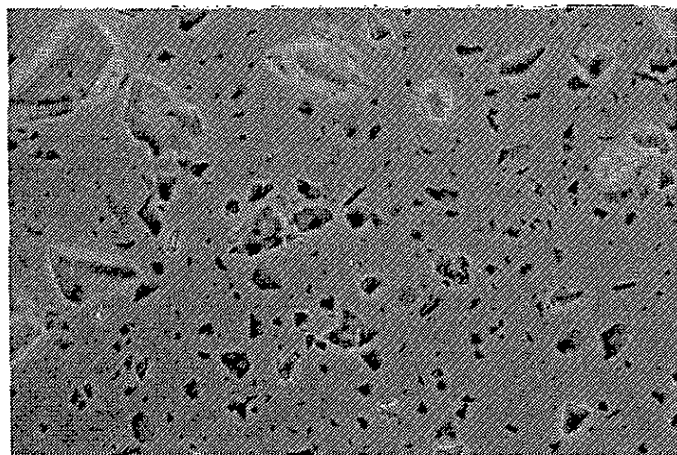
KUL 15

Kornformer. Meget angulær - sub angulær
Billedfelt: 0,4 × 0,6 mm
Forstørrelse: 160 ×
Polariseret lys



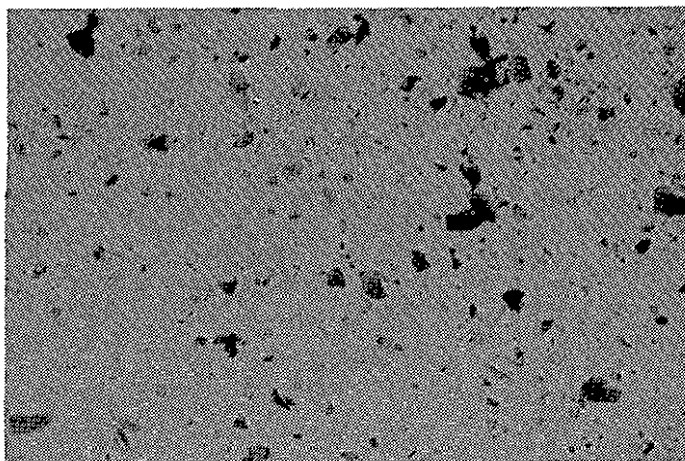
KVA 2

Kornformer. Meget angulær - sub angulær
Hovedparten af kornene tilhører den første klasse
Billedfelt: 0,4 × 0,6 mm
Forstørrelse: 160 ×
Polariseret lys. Fasekontrast

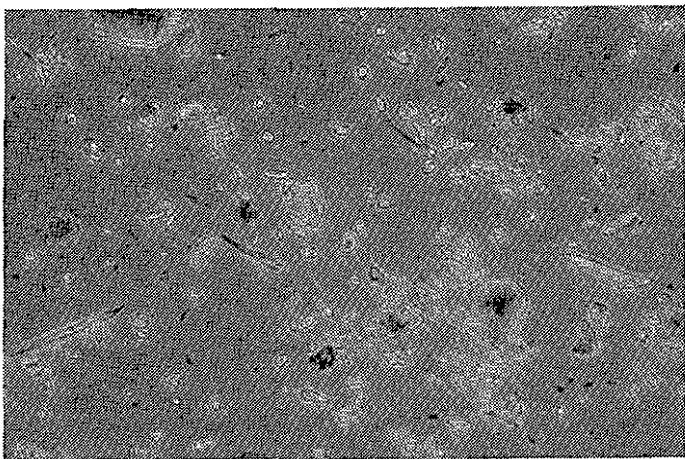


KVA 4

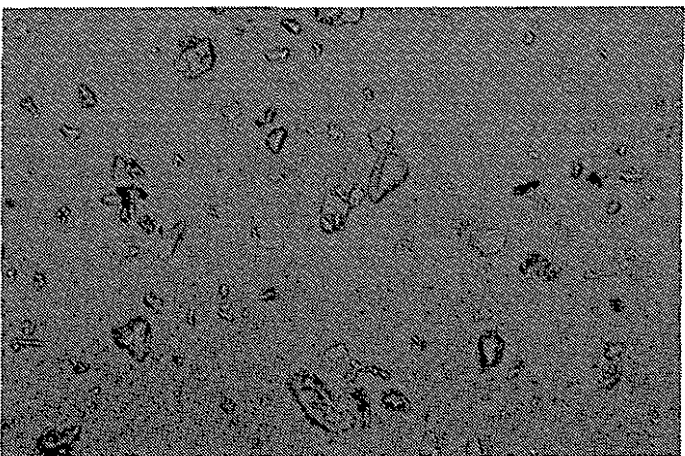
Kornformer. Meget angulær - sub angulær
Billedfelt: 0,4 × 0,6 mm
Forstørrelse: 160 ×
Polariseret lys
Fasekontrast



KOB 5
 Kornformer. Meget angulær - subafundet
 De fleste partikler skønnes at ligge i klassen angulær
 Billedfelt: 0,4 × 0,6 mm
 Forstørrelse: 160 ×
 Polariseret lys



KOB 7
 Som KOB 5. Dog skal det bemærkes,
 at der er mange "nåle"-lignende fragmenter
 Billedfelt: 0,4 × 0,6 mm
 Forstørrelse: 160 ×
 Polariseret lys. Fasekontrast



OLI 7
 Kornformer. Angulær - subafundet
 Billedfelt: 0,4 × 0,6 mm
 Forstørrelse: 160 ×
 Polariseret lys

Nedbrydning af udvalgte mineralske blæsemidler i sandkruiser

1 Blæsemiddel og produktkode	2 Opsamlet støv i mg			3 Opsamlet støv <10 µm i mg			4 Tab ved blæsnings- i g (gennem- snit)	5 Rest efter blæsnings- i g (gennem- snit)	6 Støv <10 µm i rest i g i rest i g kolonne 5	7 Støv i udgangs- materiale i %		8 Kornstørrelsesfordeling i rest efter blæsning i %			9 Støv <10 µm i % af indblæst materiale	10 Dannelse af støv <10 µm under blæsning kolonne 9 ÷ 7,2 %
	Cy- klon	Fil- ter		Cy- klon	Fil- ter	Ialt				<250 µm %	<10 µm %	<250 µm %	<125 µm %	<10 µm %		
Kvartssand KVA 2	3719 4447 4719	10 15 24		99	9	108	780	10.220	32,7	0,8	0,16	45,8	16,0	0,32 (0,34) *	0,47	0,31
Kvartssand KVA 4	4450 3827 3877	22 14 28		162	15	177	830	10.170	26,8	2,2	0,26	42,2	13,2	0,26	0,57	0,31
Kobberslagge KOB 5	3511 2639 2392	13 7 1		105	6	111	730	10.270	8,2	2,8	~0,0	24,4	8,0	0,08	0,33	0,33
Kobberslagge KOB 7	2323 2912 3175	31 38 51		112	20	132	620	10.380	7,5	2,8	~0,0	25,0	7,2	0,07	0,32	0,32
Kulslagge KUL 4	3083 3528 3893	43 33 41		105	21	126	1.010	9.990	14,7	2,2	~0,0	44,6	16,4	0,16	0,45	0,45
Kulslagge KUL 15	3730 3671 3714	27 34 29		111	13	124	1.160	9.840	13,4	0,2	~0,0	42,2	15,2	0,15	0,47	0,47
Olivinsand OLI 7	3808 3462 3068	33 38 36		103	18	121	1.210	9.790	42,4	27,2	0,41	62,6	12,8	0,54	0,76	0,35

* Parallel analyse udført ved sedimentation. Prøverne var tilfældigt udvalgt blandt de aktuelle blæsemidler med henblik på en kontrol af metoden.
Se i øvrigt bilag 5

Bemærkninger til kolonnerne i tabellen

- Ad 1* Her er anført typen og den gennemgående produktkode
- Ad 2* Mængden af luftbårent støv måles ved et isokinetisk prøveudtag på skorsten til knuseren. Støvet udskilles ved strøming gennem cyklon og filter (Bilag 8).
- Ad 3* Andelen af opsamlet støv med $\phi < 10 \mu\text{m}$, bestemmes i et automatisk lysoptisk mikroskop (Bilag 9).
- Ad 4* Tab ved blæsning bestemmes ved at trække vægten af blæsemidlet i opsamlingsbeholderen fra den tilførte mængde.
- Ad 5* Vægten af blæsemidlet der er faldet ned i opsamlingsbeholderen.
- Ad 6* Vægten af støv med $\phi < 10 \mu\text{m}$ i opsamlingsbeholderen, bestemt ved automatisk lysoptisk mikroskopi.
- Ad 7* Sigteanalyse af ubrugt blæsemiddel. Detailanalyse af andel $< 125 \mu\text{m}$ er udført ved automatisk lysoptisk mikroskopi.
- Ad 8* Sigteanalyse af indholdet i opsamlingsbeholderen og beregning af relative andele, også på grundlag af analysen under pkt. 6.
- Ad 9* Samlet støvmængde $\phi < 10 \mu\text{m}$ beregnet som vægt% af indblæst mængde blæsemiddel.
- Ad 10* Punkt 9 ÷ den mængde støv $\phi < 10 \mu\text{m}$ der var i blæsemidlet før anvendelse.

Procedure ved optagelse og vejning af støvprøver

*Måleopstilling og
strømningsvej
(tilnærmet VDI 2066-Norm)*

Forcyklon med dyse, cutsizes $d_{50} = \text{ca. } 2 \mu\text{m}$ → Planfilterholder $\phi 142$ med slutfilter → dråbefang → silikageltørrefilter → flowmeter → gasmåler → pumpe.
Cyklon og rørforbindelse til planfilterholder opvarmes med varmekæde til $> 70^\circ\text{C}$.
Slutfilter opvarmes med varmluftkanon til ca. 60°C .

Indledning

Opsamlingsglas for partikler i cyklon taravejes og nummereres.
Slutfilter ekssikeres, taravejes og nummereres.
Vægt: Mettler, model P163, tolerance $\pm 5 \text{ mg}$.

Måleudtagning

Udsugning i x-antal min. ved 100% flowmetervisning.
Gasmåletemperatur, -tryk og -tæller før/efter noteres.

Afslutning

Cyklonindhold overføres til opsamlingsglas der bruttovejes.
Slutfilter ekssikeres og bruttovejes.
Samlet støvkonzentration sammenholdes med udsuget luftmængde jvf. gasmåler.

**Metode og procedure ved optisk tælling og
bestemmelse af kornstørrelsesfordeling
for partikler < 105 µm**

*Støvprøve for cyklon
(indsamling, se bilag 8)*

En del af prøven udtages med spatel, og anbringes i en holder. Holderen anbringes i et dispergeringsapparat af typen Leitz.

Prøven suges automatisk ind i en vakueret kolonne, og spredes ud på en glasplade.

Glaspladen, med den dispergerede prøve, anbringes i et automatisk mikroskop af typen Leitz TAS (billedanalyse), og der vælges den indstilling/forstørrelse der passer til den pågældende prøve.

I dette tilfælde er anvendt gennemfaldende lys og en optisk forstørrelse svarende til 150×. Ved denne forstørrelse er opløsningen i mikroskopet 1,8 µm og mindste synlige partikel 0,9 µm.

Tællingen udføres herefter automatisk under visuel kontrol.

Efter analysen hvor partiklerne er talt og størrelsesfordelt, bliver resultaterne skrevet ud på printer.

Middeldiameter og standardafvigelse
Bilag 4, kolonne 3.1

Prøve	Middeldiameter µm	Standardafvigelse µm
1 KVA 2	3,2	3,4
2 KVA 2	3,4	3,9
3 KVA 2	3,2	3,9
5 KVA 4	2,4	2,3
7 KOB 5	2,6	3,1
8 KOB 5	2,9	2,5
9 KOB 5	2,7	2,9
11 KOB 7	3,1	3,2
13 KUL 4	2,8	3,5
14 KUL 4	3,2	3,8
15 KUL 4	3,0	2,9
22 KUL 15	2,6	2,4
24 OLI 7	2,7	2,4
25 OLI 7	3,0	3,8
26 OLI 7	2,8	3,3

Bilag 4, kolonne 7.2

Prøve	Middeldiameter μm	Standardafvigelse μm
KOB 5	3,2	3,9
KOB 7	For lille til måling	
KUL 4	2,7	4,0
KUL 15	2,8	3,5

Bilag 4, kolonne 8.3

Prøve	Middeldiameter μm	Standardafvigelse μm
KVA 2	2,1	1,7
KVA 4	2,5	3,5
KOB 5	2,2	2,8
KOB 7	2,1	2,1
KUL 4	2,4	3,3
KUL 15	2,3	2,3
OLI 7	2,9	3,9

Bilag 7, kolonne 7 og 8

Prøve	Middeldiameter μm	Standardafvigelse μm
S 2.2	3,9	4,1
S 7.1	3,8	3,7
S 3	3,5	3,8
S 4	3,4	3,5
S 12.2	2,7	2,8

*Støvprøver på filter
(indsamling - se bilag 8)*

Det eksponerede filter anbringes på et rengjort objektglas og opløses.

Dette medfører, at filteret bliver transparent.

Derefter anbringes objektglasset med det opløste filter i en støvtæt boks, og tørres i varmeskab. Efter tørring anbringes den færdige prøve i et automatisk mikroskop af typen Leitz TAS (billedanalyse), og der vælges den indstilling/forstørrelse på mikroskopet, der passer bedst til den pågældende prøve.

I dette tilfælde er anvendt gennemfaldende lys og en optisk forstørrelse svarende til $320\times$. Ved denne forstørrelse er opløsningen i mikroskopet $0,7\ \mu\text{m}$ og mindste synlige partikel $0,4\ \mu\text{m}$.

Tællingen udføres herefter automatisk under visuel kontrol.

Efter analysen hvor partiklerne er talt og størrelsesfordelt skrives resultaterne ud på printer.

Middeldiameter og standardafvigelse:

Bilag 4 kolonne 3.2

Prøve	Middeldiameter μm	Standardafvigelse μm
KVA 2	0,7	0,7
KVA 4	0,6	0,5
KOB 5	0,9	1,0
KOB 7	1,2	1,4
KUL 4	0,9	0,9
KUL 15	1,3	1,3
OLI 7	Ikke til at måle	

**Nedbrydning af udvalgte genanvendelige blæsemidler
Erwin-test og Jern- og stålgrit**

Prøve parametre	Akk. omdr.	Akkumuleret tab i vægt%						
		Stålgrit STÅ 1/A	Stålgrit STÅ 1/B	Jerngrit JER 11	Jerngrit JER 12	Stålgrit STÅ 12	Jerngrit JER 13	Stålgrit STÅ 13
Antal omdr. pr. min.: 6900	100	22	16	39	37	24	27	19
	200	42	35	80	84	52	56	43
	300	64	58	121	125	83	82	67
	400	90	86			117	110	88
	500	114	111					109
	600							
Udtagnings- sigte: nr. 50 0,297 mm	700							
	800							
	900							
	1000							
	1100							
	1200							
Antal omdr. til 100% nedbryd- ning		438	440	249	239	350	364	457
Sigte nr. (ASTM)	Maske- åbning mm	Vægt%	Vægt%	Vægt%	Vægt%	Vægt%	Vægt%	Vægt%
6	3,36	-	-	-	-	-		
12	1,68	-	-	-	-	-		
20	0,84	-	3,4	2,3	9,9	33,0	8,9	91,4
30	0,59	-	73,6	56,4	64,6	66,1	69,1	8,4
40	0,42	100	18,4	38,2	24,4	0,5	18,7	0,2
50	0,297	-	3,4	1,7	0,9	0,1	2,5	0,1
70	0,210	-	0,8	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0
100	0,149	-	-	-	-	-	-	-
140	0,105	-	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
200	0,074	-	-	-	-	-	-	-
270	0,053	-	-	-	-	-	-	-
Bund	Bund	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0

Erwin-test af kunstige mineralske af metalliske blæsemidler

Prøve parametre	Akk. omdr.	Akkumuleret tab i vægt%				
		Korund KOR 1	Korund KOR 9	Keramik KER 13	Glasperler GLA 13	Jerngrit JERN 13
Antal omdr. pr. min.: 3700	100	52	40	28	46	8
	200	9	69	38	83	14
	300	160	98	47	108	17
Antal omdr. pr. kørsel: 100	400		126	60		
	500			68		
	600			72		
Udtagnings- sigte: nr. 70 0,210 mm (Jern 13 dog nr. 50 0,297 m)	700			82		
	800			87		
	900			91		
	1000			95		
	1100			100		
	1200					
Antal omdr. til 100% nedbryd- ning		201	307	1100	268	Ikke af- sluttet p.g.a. den lange standtid
Sigte nr. (ASTM)	Maske- åbning mm	Vægt%	Vægt%	Vægt%	Vægt%	Vægt%
6	3,36	-	-	-	-	-
12	1,68	-	-	-	-	-
20	0,84	-	-	-	-	8,9
30	0,59	0,2	0,0	0,0	0,0	69,1
40	0,42	66,0	0,3	0,0	0,6	18,7
50	0,297	28,2	61,8	0,0	0,0	2,5
70	0,210	5,0	28,8	100,0	100,0	0,3
100	0,149	-	-	-	-	-
140	0,105	0,6	8,9	0,0	0,0	0,1
200	0,074	-	-	-	-	-
270	0,053	-	-	-	-	-
Bund	Bund	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Metode og procedure

Generelt

Til nedbrydningen af metalliske og forsøgsvist, af kunstige mineralske blæsemidler blev anvendt en Ervin Abrasive Test Machine.

Maskinen rummer en opstilling der omfatter en lille slyngenser med automatisk recirkulering af brugt blæsemiddel. Slyngeelementet løber med en konstant hastighed på 6900 omdr./min., hvilket modsvarer den normale udgangshastighed i slyngenser og fristråleanlæg. Recirkuleringen sker ved en langsom rotation af huset omkring slyngeelementet, for hver omdrejning udkastes hele blæsemiddelprøven. Antallet af omdrejninger for blæsemidlet er nedbrudt til støv er således et udtryk for standtiden eller levetiden.

Til test af kunstige mineralske blæsemidler blev udført en nedgearing af slyngelementet fra 6900 til 3700 omdr./min.

Testprocedure

Testproceduren forklares nemmest ved at gennemgå nedenstående resultatskema.

DIN		ASTM		Specificeret		Sigttanalyse		
Sigte nr.	Ma-ske-åb-ning mm	Sigte nr.	Ma-ske-åb-ning mm	SAE	Vægt %	g	Vægt %	Vægt % Akk.
2	3,0	6	3,36					
4	1,5	12	1,68					
6	1,0	20	0,84					
10	0,60	30	0,59					
15	0,40	40	0,42					
20	0,30	50	0,97					
30	0,20	70	0,210					
40	0,150	200	0,149					
60	0,100	140	0,105					
80	0,075	200	0,074					
100	0,060	270	0,053					
Bund	Bund	Bund	Bund					

[illegible]

1. Givne data for blæsemidlet, type, kornstørrelsesfordeling m.v. angives
2. Der udføres en sigteanalyse af blæsemidlet
3. Der afvejes 100 g blæsemiddel (for de mineralske anvendes 20 cm³) der påfyldes maskinen.
4. Antallet af omdrejninger indstilles. For de aktuelle blæsemidler anvendes 100 omdrejninger
5. Slynghjulet startes og når det når max. omdrejninger startes husets rotation.
6. Efter 100 omdrejninger stoppes maskinen og blæsemidlet tømmes ud af maskinen
7. Blæsemidlet sigtes nu over en sigte 0,297 mm i 6 min.
8. Blæsemidlet på sigten vejes, resultatet noteres i kolonnen: "Rest i g" og det procentuelle tab beregnes.
9. Blæsemidlet i bunden vejes og resultatet noteres
10. Blæsemidlet på sigten suppleres med nyt ubrugt blæsemiddel til prøven har 100% af den oprindelige vægt.
11. Prøven påhældes maskinen
12. Testen fortsættes indtil der kan noteres et akkumuleret tab på over 100%
13. Resultatet kan for hver blæsemiddel udtrykkes i ét tal, nemlig det antal omdrejninger der svarer til et akkumuleret tab på 100%.

Der er ikke udført mere end en bestemmelse for hver blæsemiddel, men ved indkøring af maskinen blev fundet en meget stabil nedbrydningsrate.

Støvbelastning ved forskellige blæserensningsmetoder

1 Metode	2 Blæsemiddel	3		4 Vandtilsæt- ning i l/min.	5 Sandforbrug kg pr. min. / 1 pr. min.	6 Støv mg/m ³	7 Støv $\phi < 10 \mu\text{m}$ mg/m ³	8 Støv ϕ 0,9-10 μm mill. partikler pr. m ³	9 Bemærkninger (S er reference- nummer)
		Dyse- tryk bar	Dyse- str. mm						
Tør fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	0	8-10/5-7	1050	30	1.790	S 1 Fikseret dyse
Tør fristråle TI	Kvartssand og sand	7	8	0	8-10/5-7	850	25	1.450	S 1,1
Tør fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	0	8-10/5-7	610	20	1.040	S 2,1 Fikseret dyse
Tør fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	0	8-10/5-7	660	20	1.120	S 2,2 Fikseret dyse
Tør fristråle TI	Kobberslagge	7	8	0	8-10/4-5	260	10	440	S 3 Fikseret dyse
Tør fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	0	8-10/5-7	670	20	1.140	S 4 Blæsning af 1 m ² blymønje
Tør fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	0	8-10/5-7	680	20	1.160	S 5 Blæsning af 1 m ² blymønje
Tør fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	2,0-2,5	12	0	10-12/7-8	330	10	560	S 6,1 Fikseret dyse
Tør fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	2,0-2,5	12	0	10-12/7-8	290	10	490	S 6,2 Fikseret dyse
Tør fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	9,5-10,0	8	0	10-12/7-8	1980	60	3.370	S 7,1 Fikseret dyse
Tør fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	9,5-10,0	8	0	10-12/7-8	2500	75	4.250	S 7,2 Fikseret dyse

Støvhelastning ved forskellige blæserensningsmetoder

1 Metode	2 Blæsemiddel	3		4 Vandtilsæt- ning l/min.	5 Sandforbrug kg pr. min. / 1 pr. min.	6 Støv mg/m ³	7 Støv $\phi < 10 \mu\text{m}$ mg/m ³	8 Støv ϕ 0,9-10 μm mill. par- tikler pr. m ³	9 Bemærkninger (S er reference- nummer)
		Dyse- tryk bar	Dyse- str. mm						
Fristråle med tilbagesug (Vacuum)	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	0	8-10/5-7	~0	~0	~0	S 8 Bevæges over vandret plade
Fristråle med tilbagesug (Vacuum)	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	0	8-10/5-7	~0	~0	~0	S 9 Bevæges over vandret plade
Fristråle med tilbagesug (Vacuum)	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	0	8-10/5-7	80	5	140	S 10 Blæsning af 1 m ² blymønje
Våd fristråle	Kvartssand 0,4-0,8	2,0-2,5	12	Manifold 1,0-1,2	10-12/7-8	80	5	140	S 11 Fikseret dyse
Våd fristråle MT	Kvartssand 0,4-0,8	3,0-3,5	12	Manifold 1,0-1,2	10-12/7-8	150	5	260	S 12 Fikseret dyse
Våd fristråle MT	Kobberslagge	3,0-3,5	12	Manifold 1,0-1,2	10-12/5-6	90	5	150	S 12,2 Fikseret dyse
Våd fristråle MT	Kvartssand 0,4-0,8	2,0-2,5	12	Manifold 1,0-1,2	10-12/7-8	100	5	170	S 13 Blæsning af 1 m ² blymønje
Våd fristråle MT	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 4,5	8-10/5-7	~0	~0	~0	S 14 Fikseret dyse
Våd fristråle MT	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 0,2-0,25	8-10/5-7	280	10	480	S 15 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 0,2-0,25	8-10/5-7	250	10	430	S 16 Fikseret dyse

Støvbelastning ved forskellige blæserensningsmetoder

1 Metode	2 Blæsemiddel	3		4 Vandtilsæt- ning l/min.	5 Sandforbrug kg pr. min. / i pr. min.	6 Støv mg/m ³	7 Støv $\phi < 10 \mu\text{m}$ mg/m ³	8 Støv ϕ 0,9-10 μm mill. par- tikler pr. m ³	9 Bemærkninger (S er reference- nummer)
		Dyse- tryk bar	Dyse- str. mm						
Våd fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 0,2-0,25	8-10/5-7	280	10	480	S 17 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 0,2-0,25	8-10/5-7	170	5	290	S 25 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 1,0-1,2	8-10/5-7	270	10	460	S 18 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 1,0-1,2	8-10/5-7	210	5	360	S 19 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 1,0-1,2	8-10/5-7	240	5	410	S 20 Fikseret dyse
Våd fristråle MT	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 4,5	8-10/5-7	70	~0	120	S 21 Fikseret dyse
Våd fristråle MT	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 4,5	8-10/4-5	60	~0	100	S 22 Fikseret dyse
Våd fristråle MT	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 10	8-10/5-7	100	5	170	S 23 Fikseret dyse
Våd fristråle MT	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 10	8-10/5-7	~0	~0	~0	S 24 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Manifold 1,0-1,2	8-10/5-7	60	~0	100	S 26 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 0,4-0,8	7	8	Ring 1,0-1,2	8-10/5-7	140	5	240	S 27 Fikseret dyse

Støvelastning ved forskellige blæserensningsmetoder

1 Metode	2 Blæsemiddel	3		4 Vandtilsæt- ning l/min.	5 Sandforbrug kg pr. min. / 1 pr. min.	6 Støv mg/m ³	7 Støv $\phi < 10 \mu\text{m}$ mg/m ³	8 Støv ϕ 0,9-10 μm mill. par- tikler pr. m ³	9 Bemærkninger (S er reference- nummer)
		Dyse- tryk bar	Dyse- str. mm						
Våd fristråle TI	Kvartssand 04-08	7	8	Manifold 4,5	8-10/5-7	~0	~0	~0	S 28 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 04-08	7	8	Ring 4,5	8-10/5-7	40	~0	70	S 29 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 04-08	7	8	Manifold 1,0-1,2	8-10/5-7	230	5	390	S 30 Blæsning af 1 m ² blymønje
Våd fristråle TI	Kobberslagge	9,5-10,0	8	Manifold 1,0-1,2	10-12/5-6	600	20	1020	S 31 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 04-08	9,5-10,0	8	Manifold 1,0-1,2	10-12/7-8	430	15	730	S 32 Fikseret dyse
Våd fristråle TI	Kvartssand 04-08	9,5-10,0	8	Manifold 1,0-1,2	10-12/7-8	330	10	560	S 33 Fikseret dyse
Højtryks- spuling I	Vand	2400- 2700	-	11	0/0	~0	~0	~0	S 34 Fikseret dyse
Højtryks- spuling I	Vand	2400- 2700	-	11	0/0	~0	~0	~0	S 35 Blæsning af 1 m ² blymønje
Højtryks- spuling I	Vand	2400- 2700	-	11	0/0	~0	~0	~0	S 36 Blæsning af 1 m ² blymønje

Støvbelastning ved forskellige blæserensningsmetoder

1 Metode	2 Blæsemiddel	3		4 Vandtilsæt- ning i l/min.	5 Sandforbrug kg pr. min. / l pr. min.	6 Støv mg/m ³	7 Støv $\phi < 10 \mu\text{m}$ mg/m ³	8 Støv ϕ 0,9-10 μm mill. par- tikler pr. m ³	9 Bemærkninger (S er reference- nummer)
		Dyse- tryk bar	Dyse- str. mm						
Højtryks- spuling med sand OJ	Kvartssand og sand	750	-	45	4-5/2,5-3,5	~0	~0	~0	S 37 Fikseret dyse
Højtryks- spuling med sand OJ	Kvartssand og sand	750	-	45	4-5/2,5-3,5	~0	~0	~0	S 38 Fikseret dyse
Højtryks- spuling med sand OJ	Kvartssand og sand	750	-	45	4-5/2,5-3,5	~0	~0	~0	S 39 Fikseret dyse
Højtryks- spuling med sand OJ	Kvartssand og sand	750	-	45	4-5/2,5-3,5	~0	~0	~0	S 40 Blæsning af 1 m ² blymønje

Bemærkninger til kolonnerne i tabellen

- Ad 1* Metoden angiver hvilken blæsemetode der er anvendt samt hvem der har udført blæsningen.
- Ad 2* Der er anvendt to blæsemidler henholdsvis KVA 4, 0,4-0,8 mm og KOB 5, 0,25-1,4 mm.
- Ad 3* Dysetryk er målt med nålemanometer lige bag dysefatningen. Dyserne er af venturitypen med en lysning som angivet.
- Ad 4* Vandtilsætningen er målt før, under og efter hver test.
- Ad 5* Sandforbruget er bedømt under indkøringerne ved at tage tid på gennemstrømning af en afvejet mængde.
- Ad 6* Den totale opsamlede støvmængde er omregnet til mg/m³.
- Ad 7* Andelen af støv <10 µm af den totale støvmængde. Der blev udtaget 5 prøver til analyse af kornstørrelsesfordelingen i det opsamlede støv (metode: se bilag 9) og uanset metode, blæsemiddel og støvbelastning var resultatet, at 3% af totalstøvet var <10 µm.
- Ad 8* Andelen af partikler i intervallet 0,9-10 µm er beregnet efter en tilsvarende analyse som viste at 1 mg totalstøv indeholdt ca. 1,7 mill. partikler i dette interval.
- Ad 9* Her fremgår om der er tale om fikseret dyse eller om opsamlingen er sket mens dysen har været under manuel føring. F.eks. ved blæsning af blymønjebelagte plader eller ved afprøvning af vakuumbløseudstyr.

S er referencenummer.

Testprocedure

Det er tilsigtet at der anvendes tredobbelt bestemmelse for hver metode, metodevariant eller blæsemiddel samt at hver test har en varighed af 4 min.

For metoder med en meget svag støvbelastning blev støvet opsamlet i én portion for at øge analysenøjagtigheden.

Hver afprøvning blev indledt med en indkøring af udstyret, herunder justering til optimal rensehastighed, forbrug af sand, forbrug af vand, tryk ved dysen.

Målinger af støvbelastningen er som hovedregel udført med en fast monteret dyse (60° på emnet i en afstand på 50 cm). Opsamlingen igangsættes når støvbelastningen er homogen ned gennem hele tunnelen, hvilket sker efter ca. 30 sek.

Bedømmelse af metodernes rensehastighed og effektivitet er udført på samme blæseplads. Disse resultater er særskilt omtalt i bilag 16.

Analyse af blyindhold i udvalgte støv- og vandprøver

Prøve mrk.	Total masse g	Pb µg/g	% RSD
S36** Højtryksspuling	45,0	5,8	1,7
S30** Vådblæst	0,027	7.400	19*
S5** Tørblæst	0,104	12.800	2,1

%RSD angiver den procentiske relative standardafvigelse ud fra dobbeltbestemmelser.

* Den store spredning skyldes sandsynligvis den lille prøvemængde (~10 mg) pr. bestemmelse.

** Jvf. betegnelserne i bilag 11, kolonne 9

Støvprøverne er udtaget som beskrevet i bilag 11 og indgår som sådan i vurderingerne af støvspredning, men der er det særlige ved dem, at de er opsamlet under blæsning af en stålplade på 1 m² påført 100 µm blymønje.

Vandprøven er indsamlet i afløbsvandet fra højtryksspulingen, ligeledes af en stålplade med blymønje.

Metode

Analyse for indhold af bly (Pb) ved induktiv-koblet-plasma-atomemissions-spektrometri (ICP-AES).

Prøverne blev kogt med 2-5 ml koncentreret HNO₃ (Merck p.a.) under langsom inddampning under urglas til ca. 0,5 ml. Herefter fortyndet med demineraliseret vand (Millipore Q-grade) til 5 ml og filtreret.

Blindprøver blev fremstillet tilsvarende.

Dobbeltpræparation blev foretaget.

Filtraterne blev analyseret for Pb.

Kvantificeringen blev foretaget overfor eksterne standarder.

Standarden i serien 5,0 og 10,0 µg/ml BDH stamopløsning ved fortynding med 1,0 HNO₃.

Basissolventet var 1,4 M HNO₃.

Apparatur

Et Perkin-Elmer PlasmaII Emissionsspektrometer med dobbelt vakuummonochromatorsystem styret af en Perkin-Elmer model 7700 mikrocomputer med PII software, version 9,5T, blev anvendt.

Renseeffekt for udvalgte blæsemidler

Blæsetid pr. meter til rensningsgrad Sa 2½ (ISO 8501-1, 1988) er opnået

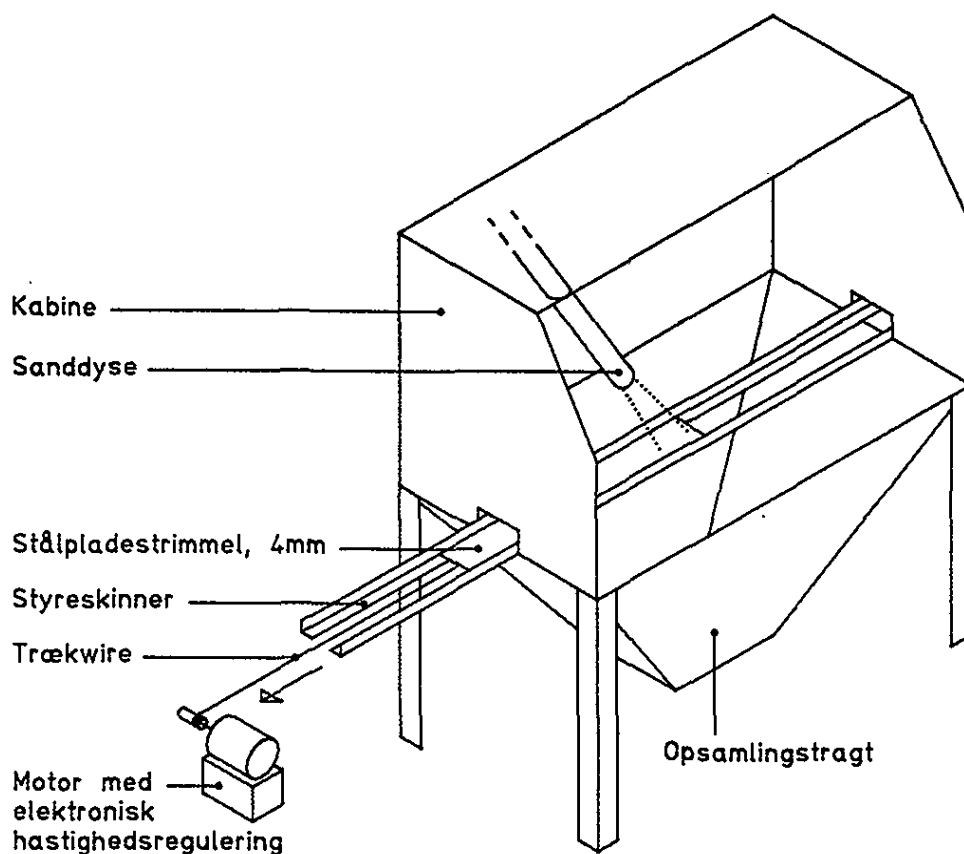
Blæsemiddel	Rust- grad A Sek./ m	Rust- grad D Sek./ m	400 µm tjære- epoxy Sek./m	Forbrug kg/min.	Ruhed ISO 8503-3 (kun rust- grad A)	Bemærkninger
Kvartssand KVA 4: 0,4-0,8 mm KVA 2: 0,8-1,4 mm	28 53	26 53	28 38	9 7,3	MG CG	
Olivinsand OLI 7: 0,125-0,5 mm OLI 7: 0,125-1,0 mm OLI 7: 0,35-2,0 mm OLI16: 0,25-1,0 mm	20 20 53 20	26 28 - -	36 38 - -	6,7 6,5 5,1 7,5	FG* FG MG MG	Hvide indlejrede res- ter af blæsemiddel Mange store hvide indlejrede rester af blæsemiddel Hvide og gule indlej- rede rester af blæse- middel
Kobberslagge KOB 7: 0,7-1,4 mm KOB 7: 0,125-1,0 mm (Efter første gang blæsning) KOB 5: 0,250-1,4 mm KOB 5: 0,125-1,0 mm (Efter første gang blæsning)	36 26 28 20	24 - 20 -	30 28 20 -	7,5 7,6 7,7 -	CG MG CG MG	Generel svag gulning og sorte indlejrede rester af blæsemiddel Små indlejrede rester af blæsemiddel Mange små sorte ind- lejrede rester af blæ- semiddel Få og små sorte ind- lejrede rester af blæ- semiddel
Kulslagge KUL 4: 0,25-2,0 mm KUL 4: 0,250-1,4 mm KUL 15: 0,355-1,4 mm KUL 15: 0,25-1,0 mm	28 26 38 22	24 28 - 22	20 - - 20	7,5 8,1 6,8 7,5	CG CG CG MG	Store indlejrede sorte rester af blæsemiddel Store indlejrede sorte rester af blæsemiddel Indlejrede sorte rester af blæsemiddel Få og små sorte ind- lejrede partikler af blæsemiddel
Stålsand Stål 1: 0,3-0,7 mm Stål 13: 0,2-1,2 mm	18 28	20 20	22 20	16,6 18,2	FG/MG CG	Generel svag gulning
Korund KOR 1: 0,2-0,5 mm Blæsetryk: 4,5-5,0 bar	16	20	30	7,5	FG*	

* Ruheden ligger helt i bunden af intervallet

Metode og testprocedure

Opsstilling

En almindelig blæsekabine af typen Sablux ombygget med udgang for udefra kommende sandslange fra et trykkedel-anlæg, kraftigere ventilation og gennemgående skinner til gennemføring af 120 mm brede prøveemner - se figur 1.



Figur 1

Til bevægelse af emnerne er opstillet en DC-motor med styring og nedgearing, således at emnehastigheden frit kan vælges fra 1 m/min. til 8 m/min.

Blæseparametre

Anlæg: Trykkel 50 l, sandslange 5 m 5/4"
 Dyse: 8 mm, venturi
 Dysetryk: 7 bar (når andet ikke er nævnt)
 Dysevinkel: 60° til underlag
 Dyseafstand: 50 cm til underlag.

Sand-/luftblandingen indstilles for hver enkelt blæsemiddel, således at der anvendes den justering der giver den højeste renseshastighed.

Emner

Der anvendes 3 typer underlag, alle udskåret i en bredde på 120 mm og en længde på min. 1 m.

A-plade

Dvs. en stålplade med rustgrad A i henhold til ISO 8501-1, hvilket vil sige en plade med intakt glødeskal uden rust. De anvendte strimler er udskåret af stålplader af samme batch 4 mm plade.

D-plade

Dvs. en stålplade med rustgrad D i henhold til ISO 8501-1, hvilket vil sige en plade med et svært rustlag og kraftige grubetæringer overalt.

De anvendte strimler er udskåret af stålplader TI-O har haft opbevaret under fuldstændig ensartede forhold i mere end 5 år.

Tjæreepoxy-plade

Udskårne strimler af A-plade er sandblæst til Sa 2½ (ISO 8501-1) og påført tjæreepoxy i et tørt lag på gennemsnitlig 400 µm. Påføringen er sket mere end 2 måneder før anvendelse.

A-pladerne vil i sagens natur være fuldstændig ensartede, mens der vil kunne optræde mindre variationer mellem de øvrige plader med hensyn til modstand mod blæserensning.

Kontrol med dobbeltbestemmelser ved indkøring af opstillingen viste dog at disse variationer ikke var af en størrelsesorden der generede bedømmelsen.

Bedømmelse

Ved indkøring af opstillingen er fundet, at den gennemgående reference kvartssand KVA 4, 0,4-0,8 mm, ved en hastighed på 28 sek./m kan afrense en stribe på 6-7 cm på en A-plade til min. Sa 2½ i henhold til billedstandarden i ISO 8501-1.

Det er valgt at køre med en lille tolerance på bredden af den afrensede stribe, fordi der er en vis variation i hvor skarp overgangen mellem rensset og uberørt plade fremstår. Således kan en bred stribe (7 cm) med en svag Sa 2½ i kanter få samme værdi som en smal stribe (6 cm) med en klar Sa 2½ over hele arealet.

Den primære bedømmelse udføres ved at finde den hastighed hvormed det enkelte blæsemiddel kan afrense de tre typer underlag til ovennævnte standard.

Det gøres ved en prøve- og fejlprocedure og når rensningen rammes stoppes og samtlige strimler mærkes med blæsemiddel og hastighed og gemmes til en efterfølgende samlet vurdering.

Den sekundære bedømmelse udføres ved at tage alle strimler fra samtlige tester opdelt i de tre underlagstyper, parre identiske rensningsgrader og herefter kontrollere om resultatet korresponderer med værdierne for rensningshastighederne.

De gennemførte forsøg viste alle at der var fuldstændig korrespondance mellem den primære og sekundære bedømmelse.

Overfladestruktur og blæsemiddelrester Udseende af blæserensede overflader

En række overflader blev udvalgt til en mikroanalyse af den overfladestruktur der opstod ved blæserensning samt graden af indlejrede blæsemiddelkorn.

Følgende overflader blev analyseret:

1. Kwartssand KVA 4, 0,4-0,8 mm blæst som en del af effektivitetsprøverne, bilag 13.
2. Kwartssand KVA 4, 0,4-0,8 mm blæst i forbindelse med støvbelastningsundersøgelserne, bilag 11. Tør fristråle.
3. Olivinsand OLI 16: 0,25-1,0 mm blæst som en del af effektivitetsprøverne, bilag 13.
4. Kobberslagge KOB 7: 0,7-1,4 mm blæst som en del af effektivitetsprøverne, bilag 13.
5. Kulslagge KUL 15/I: 0,25-1,0 mm blæst som en del af effektivitetsprøverne, bilag 13.
6. Kulslagge KUL 15/II: 0,35-1,4 mm blæst som en del af effektivitetsprøverne, bilag 13.

Udvælgelse af prøve

Indenfor de valgte typer overflade blev på hvert prøvepanel valgt et område på 20 × 30 mm der med hensyn til rensningsgrad og ruhed var repræsentativt for panelet.

Rensningsgraden lå i alle tilfælde mellem Sa 2½ og Sa 3 i henhold til 8501-1, 1988.

Prøverne blev udtaget med slagsaks.

Analyse/fotografering

DTI/Kemiteknik har udført analyser og fotografering af overfladen på et Scan-Electron Mikroskop (SEM) Cambridge S 360, med faciliteter til røntgenmikroanalyse (EDAX) af grundstofsammensætningen.

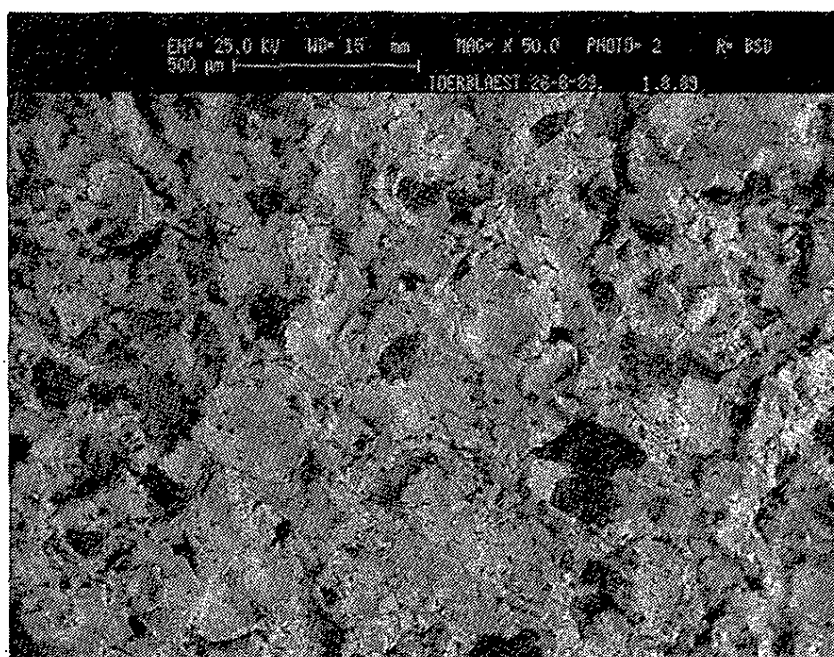
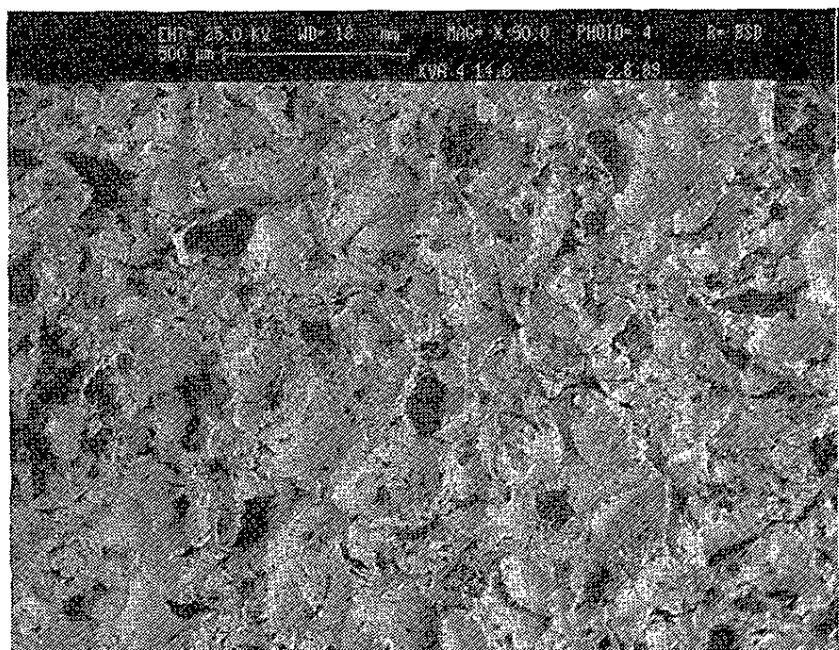
Resultater

Resultaterne er her primært gengivet som en række billeder af de overflader blæserensning med de udvalgte blæsemidler efterlader.

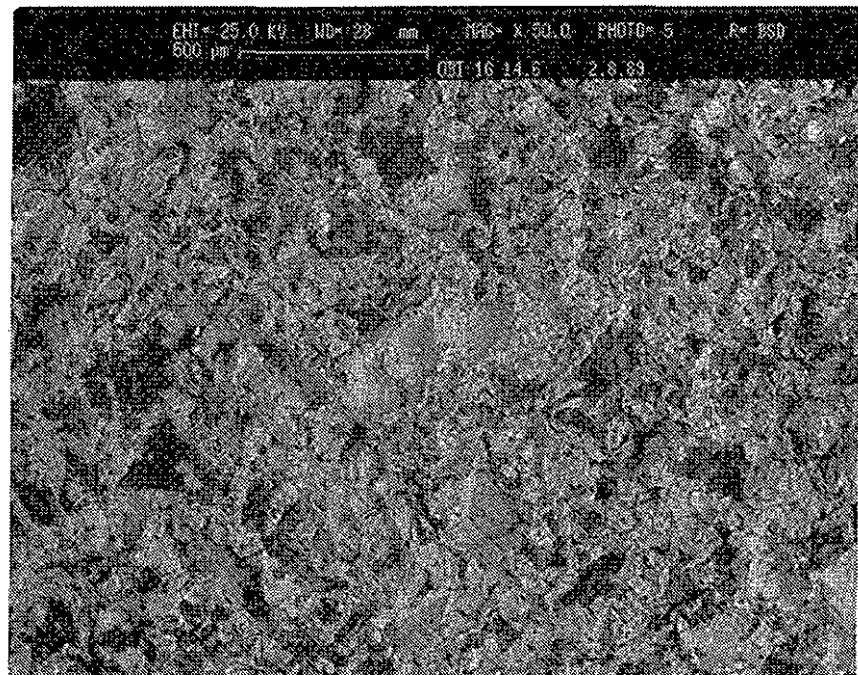
Der er tale om forstørrelser på 50×, hvorved billedet repræsenterer en overflade på ca. 2,5-1,5 mm. Også ved udvælgelsen af billedfelt er lagt stor vægt på opnåelsen af et repræsentativt udsnit.

De forureninger der forekommer på overfladen fremstår som mørke områder. Der er i alle tilfælde tale om blæsemiddelrester, idet der er overensstemmelse mellem de kemiske analyser af blæsemidlerne og grundstofsammensætningen i de mørke områder.

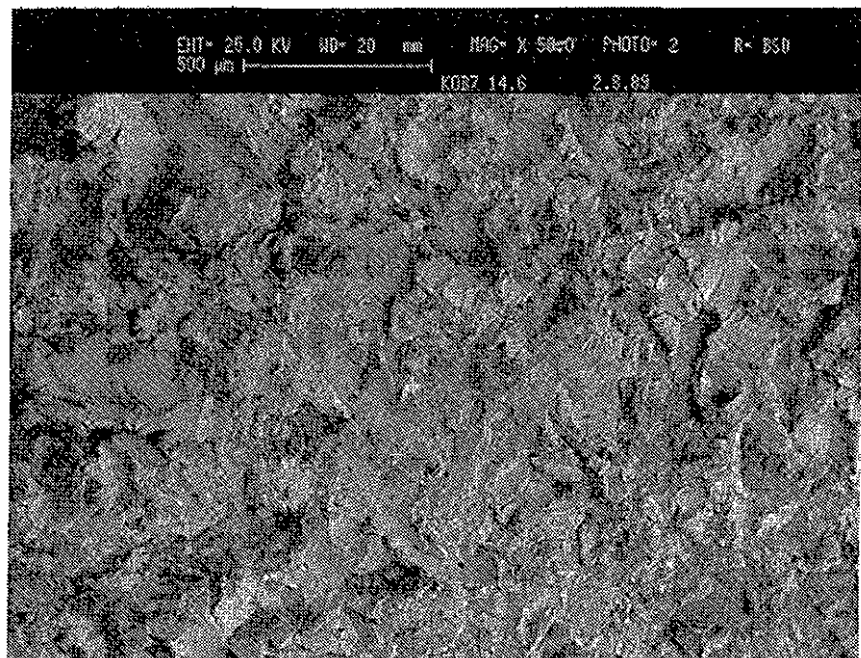
Det er bemærkelsesværdigt, at alle de udvalgte blæsemidler i relativt ensartet omfang giver anledning til indlejring af partikler i ståloverfladen.



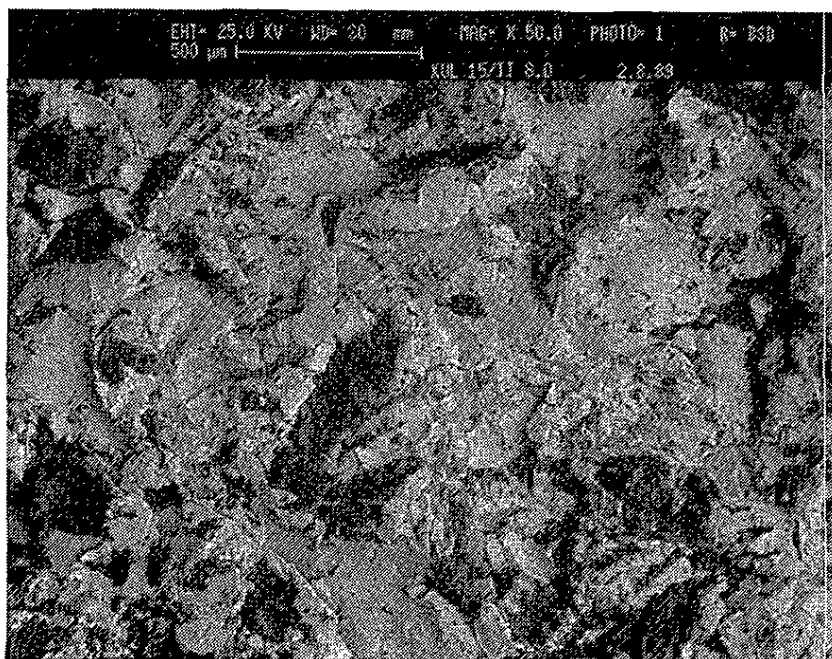
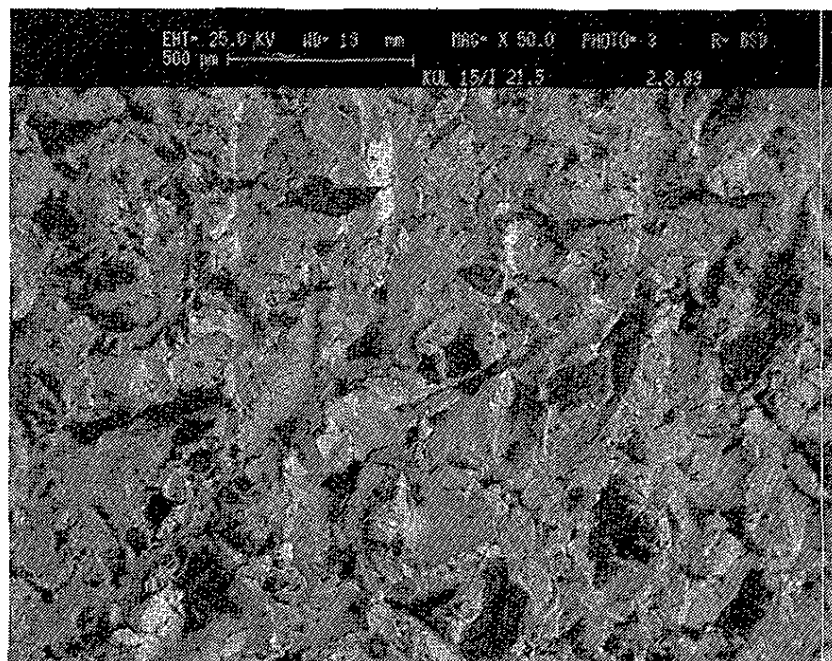
Kvartssandet giver i denne relativt fine kornstørrelse anledning til mange små og mellemstore indlejringer samt en medium og skarp ruhedsprofil.



Olivinsandet er tungere end kvartssandet og giver følgelig lidt mindre kontrast på ståloverfladen. Ellers er billedet som for kvartssand med den forskel, at ruhedsprofilen er skarpere.



Kobberslagger er endnu tungere og det er lidt vanskeligt at skelne de indlejrede partikler. Partiklerne er relativt store og der er mange af dem. Ruheden er grov og skarp.



Kulslaggen på disse to billeder forekommer i 2 kornstørrelsesfordelinger. Den fine (5) giver naturligt en mængde små indlejrede partikler, mens den grove (6) giver store og med det blotte øje synlige partikler. Ruhedsprofilen varierer fra (5) en fin meget skarp til (6) en grov medium skarp profil.

Oversigt over prøveplader til eksponering, analyse og viderebehandling

Blæserensnings- metode	Rustgrad A (ISO 8501-1, 1988)		Rustgrad D (ISO 8501-1, 1988) neddyppet i saltvand 3% i 15 t	
	Plade 1	Plade 2	Plade 1	Plade 2
Tør fristråle i vind-tunnel	Delt, malet og eksponeret i FK ¹ , mrk. S	Eksponeret udendørs	Malet og eksponeret i FK, mrk. II	Eksponeret udendørs ² 6 cm ² til analyse ³
Tør fristråle i kabine				
KVA 4	Eksp. udendørs	6 cm ² til analyse	-	-
KOB 5	Eksp. udendørs	6 cm ² til analyse	-	-
KOB 7	Eksp. udendørs	6 cm ² til analyse	-	-
KUL 4	Eksp. udendørs	6 cm ² til analyse	-	-
KUL 15/I	-	6 cm ² til analyse	-	-
KUL 15/II	-	6 cm ² til analyse	-	-
OLI 16	-	6 cm ² til analyse	-	-
Tør fristråle med tilbagesug i vindtunnel,	Delt, én plade malet og eksponeret i FK, mrk. V	Eksponeret udendørs	Malet og eksponeret i FK, mrk. IX	Eksponeret udendørs
Fugt fristråle i vindtunnel,	Malet og eksponeret i FK, mrk. Z	Malet og eksponeret i FK, mrk. ZZ	-	-
Våd fristråle i vindtunnel	Delt malet og eksponeret i FK, mrk. 0	Eksponeret udendørs	Malet og eksponeret i FK, mrk. X	Eksponeret udendørs 6 cm ² til analyse
Våd fristråle, lavtryk i vindtunnel	Delt, malet og eksponeret i FK, mrk. TT	Eksponeret udendørs	-	-
Højtryksspuling u/sand i vindtunnel	-	-	Malet og eksponeret i FK, mrk. T	Eksponeret udendørs
Højtryksspuling m/sand i vindtunnel	Delt, malet og eksponeret i FK, mrk. XX	Eksponeret udendørs	Malet og eksponeret i FK, mrk. H	Eksponeret udendørs 6 cm ² til analyse

¹ FK står for fugtkammer

² Udendørs vil sige under vestvendt halvtag

³ Analysen er beskrevet i bilag 14

⁴ Med mindre andet er nævnt er blæsemidlet kvartssand KVA 4, 0,4-0,8 mm

Renseeffekt for udvalgte blæserensningsmetoder

Rensehastighed (tid/m²) på forskellige underlag i tid/m² til rensningsgrad Sa 2½
(ISO 8501-1, 1988)

Blæsemetode Blæsemiddel: KVA 4 0,4-0,8 mm	Underlagstyper, hastighed sek. pr. m ²				Blæse- middel- forbrug kg/min.	Ruhed ISO 8503-3 (kun rust- grad A)	Bemærkninger
	Rust- grad A ISO 8501-1	Rust- grad D ISO 8501-1	400 µm tjære- epoxy	100 µm blymønje			
Højtryksspuling 750 bar m/blæsemiddel 45 l/min.	340	390 (435) (1.)	510	120	4	MG	1. Gælder for KVA 2: 0,8- 1,5 mm rensnings- grad Sa 2
Højtryksspuling 2400-2700 bar 11 l/min. u/blæsemiddel	÷ (1.)	540 (2.)	580	310	0	-	1. Angriber ikke rust- grad A 2. Rensnings- grad: Sa 2½ blev ikke opnået
Våd fristråle, 12 mm dyse, lavtryk, 2,5- 3,0 bar. Vand: 4,5 l/min.	520	550	910	380	10-12	FG/MG	
Våd fristråle, 8 mm dyse, 7 bar. Vand: 1,0-1,2 l/min.	250	320	520	-	8-10	MG	
Tør fristråle, 8 mm dyse, 7 bar	240	320	470	-	8-10	MG	
Tør fristråle, 8 mm dyse, 9,5 bar	190	240	350	-	10-12	-	
Tør fristråle m/tilbagesug, 8 mm dyse	570	780	1050	-	8-10	FG/MG	

Eksposering af malede prøveplader

1 Metode/rustgrad	2 Mrk.	3 Rust efter 24 timer ASTM-D 610		4 Rust efter 115 timer ASTM-D 610		5 Blærer efter 190 t DS/ISO 4628	6 Vedhæftning Fra tør ved 0 t til våd efter 190 t DS/ISO 2409
		Flade	Ridse	Flade	Ridse		
Tør fristråle/A	S	10	0- $\frac{1}{2}$	10	$\frac{1}{2}$	0	Kl 0 - kl 0
Tør fristråle/A	S	10	0	10	0	0	Kl 0 - kl 0
Tør fristråle/D	II	8	$\frac{1}{2}$	8	$\frac{1}{2}$	2-3 (S2)	-
Tør fristråle med tilbagesug/A	V	10	0- $\frac{1}{2}$	10	$\frac{1}{2}$	0	-
Tør fristråle med tilbagesug/D	IX	7	1	6	1	4 (S2)	-
Våd fristråle/A	0	8	0	7	$\frac{1}{2}$	0	Kl 0 - kl 0
Våd fristråle/A	0	8	0	7-8	0	0	-
Våd fristråle/D	X	7	0	6	$\frac{1}{2}$	2 (S2)	-
Fugt fristråle/A	Z	9	0	9	$\frac{1}{2}$	0	Kl 0 - kl 0
Fugt fristråle/A	ZZ	9	0- $\frac{1}{2}$	9	$\frac{1}{2}$	0	HS*: kl 1 - kl 1 VS*: kl 0 - kl 0
Højtryk u/sand/D	T	9	1	8	1	3 (S2)	kl 1 - kl 1
Højtryk m/sand/A	XX	10	$\frac{1}{2}$	10	$\frac{1}{2}$	0	kl 0 - kl 0
Højtryk m/sand/A	XX	10	0	10	0	0	-
Højtryk m/sand/D	H	10	0	10	0	0	-
Våd fristråle lavtryk/A	TT	8-9	$\frac{1}{2}$	8	$\frac{1}{2}$	0	kl 0 - kl 0
Våd fristråle lavtryk/A	TT	8-9	$\frac{1}{2}$	8-9	$\frac{1}{2}$	0	

* HS og VS: Højre og venstre side (når ZZ står i øverste højre hjørne)

Kommentarer til tabellen

Pladerne blev blæserenset som beskrevet i bilag 15 og herefter påført ca. 80 µm klorkautsjuk grundmaling ved airless sprøjtning.

- Ad 1* Her er metoden og rustgraden (ISO 8501-1, 1988) angivet. Alle D-plader havde været neddyppet i 3% saltvand i 15 timer.
- Ad 2* Mærke indbanket i pladen.
- Ad 3* Bedømmelse af rustgrad efter 24 timer. På fladen, skala fra 1-10 (10 ~ ingen rust), ved ridsen udtrykker tallet, mm rust fra ridse.
- Ad 4* Bedømmelse af rustgrad efter 115 timer. På fladen, skala fra 1-10 (10 ~ ingen rust), ved ridsen udtrykker tallet, mm rust fra ridse.
- Ad 5* Der forekom ikke blærer efter 115 timer, hvorfor eksponeringen blev fortsat til 190 timer. Skalaen for vurderingen af blærer går fra 0-5 og 0 ~ ingen blærer. Tallet efter S karakteriserer størrelsen, med stigende tal voksende størrelse (S 2 er blærer < ϕ 1 mm).
- Ad 6* Vedhæftningen på udvalgte plader før og efter eksponering. Efter eksponering udføres testen, mens malingfilmen endnu er fugtmættet.

Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

Serietitel, nr.: Miljøprojekt, nr. 147

Udgivelsesår: 1990

Titel:

Blæserensningsmetoder

Undertitel:

Undersøgelse af mindre forurenende blæserensningsmetoder for stålkonstruktioner

Forfatter(e):

Jensen, Niels Lund; Rachlitz, Marianne

Udførende institution(er):

Miljøstyrelsen. Rådet vedr. genanvendelse og mindre forurenende teknologi (spons)

Resumé:

Korrosionsbeskyttelse af stålkonstruktioner f.eks. skibe og broer kan kun gennemføres efter forbehandling af overfladen. Størstedelen af det årligt behandlede areal på 15 mio. m² forbehandles ved blæserensning med et årligt forbrug på ca. 200.000 t engangsblæsemidler. Eksisterende blæserensningsmetoder og -materialer er indgående undersøgt og beskrevet, og miljøbelastningen i forbindelse hermed vurderet. Således tilvejebringes et bedre grundlag for valg af teknologi og miljøbelastningskonsekvenser heraf.

Emneord:

overfladebehandling; stål; rensning; renere teknologier; økonomi; farlige stoffer; anlægsteknik; materialeprøvning; støv

ISBN: 87-503-8580-1

ISSN: 0105-3094

Pris (inkl. moms): 105,- kr.

Format: A4

Sideantal: 144

Md./år for redaktionens afslutning: maj 1990

Oplag: 750

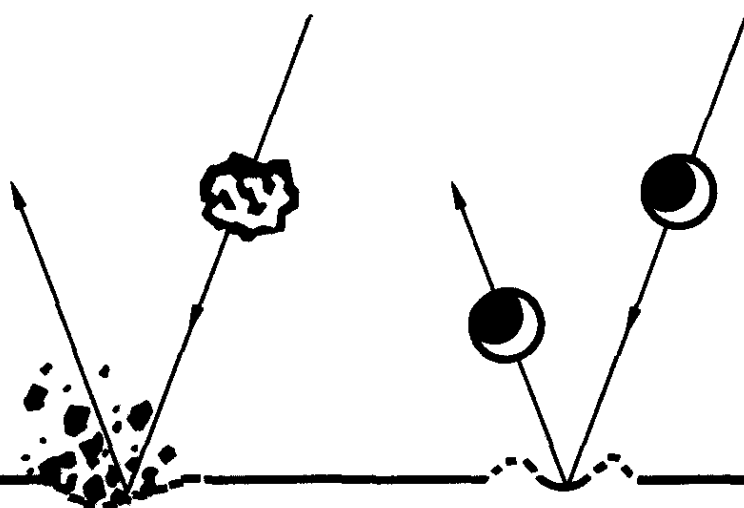
Andre oplysninger:

Tryk: Lassen Offset

Trykt på Miljøpapir

Blæserensningsmetoder

Korrosionsbeskyttelse af stålkonstruktioner f.eks. skibe og broer kan kun gennemføres efter forbehandling af overfladen. Størstedelen af det årligt behandlede areal på 15 mio. m² forbehandles ved blæserensning med et årligt forbrug på ca. 200.000 t engangsblæsemidler. Eksisterende blæserensningsmetoder og -materialer er indgående undersøgt og beskrevet, og miljøbelastningen i forbindelse hermed vurderet. Således tilvejebringes et bedre grundlag for valg af teknologi og miljøbelastningskonsekvenser heraf.



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

Pris kr. 105,- inkl. 22% moms

ISSN nr. 0105-3094

ISBN nr. 87-503-8580-1