

Steen zagen met een handmatige cirkelzaag - stof neerslaan met behulp van vocht: het MADEX-apparaat

R. Régnie⁽¹⁾, J.M. Dessagne⁽¹⁾, C. Loriette⁽²⁾

⁽¹⁾ Département Ingénierie des Procédés (Afdeling Procestechniek)

⁽²⁾ Laboratoire Interrégional de Chimie de l'Est

Referentienummer van het document

Werkdocument IP/RR/301089924/DT/04-001 van 2 maart 2004.

Samenvatting

Het zagen van steen met behulp van een draagbare cirkelzaag gaat vaak gepaard met grote hoeveelheden stof, die moeilijk te reduceren zijn met behulp van gangbare methoden als stofafzuiging. Het bedrijf URANIA draagt een oplossing aan die bestaat uit het verstuiven van water in de behuizing van de machine om stof in de emissiezone neer te slaan.

Het team heeft deze methode getest in een proefopstelling met en zonder deze oplossing. Onder laboratoriumomstandigheden kwam de algehele reducerende werking, gemeten volgens een methode op basis van een Europese norm, gemiddeld in de buurt van de 92%.

Inhoudsopgave

1.	<i>Probleemstelling</i>	1
2.	<i>Geteste apparaat</i>	1
3.	<i>Methodologie</i>	2
3.1.	 Evaluatiecriterium	2
3.2.	 Methode om de emissievolumes te meten	2
3.3.	 Berekening van de reducerende werking	2
3.4.	 Stofmonsterneming	3
3.5.	 Deeltjesgrootteverdeling	4
3.6.	 Proefopstelling	4
3.6.1.	Testcabine	4
3.6.2.	Automaat	5
3.7.	 Functioneringsomstandigheden van het apparaat	5
4.	<i>Resultaten</i>	5
4.1.	 Concentratiemetingen	5
4.2.	 Reducerende werking	6
4.3.	 Metingen van de deeltjesgrootteverdeling	7
5.	<i>Conclusie</i>	8
6.	<i>Afbakening van de tests</i>	8

1. Probleemstelling

Bouwmateriaal (betontegels, steen, trottoirbanden) wordt vaak handmatig gezaagd met behulp van een draagbare cirkelzaag. Dit type apparaat genereert grote hoeveelheden stof, die moeilijk kunnen worden gereduceerd met behulp van gangbare technieken als stofafzuiging.

Een alternatieve oplossing, ontwikkeld door het bedrijf URANIA, bestaat uit het neerslaan van stof in de emissiezone door een kleine hoeveelheid water te verstuiwen in de beschermende behuizing van de zaag. Op verzoek van de CRAM de Bourgogne et Franche-Comté zijn er in-situ tests uitgevoerd die de doeltreffendheid hebben bewezen van dit procédé, ondanks een overschrijding van de grenswaarden voor de concentratie van silica (rapport LICE/CR/973/AB/S van juni 2001). Dit resultaat vormde voor de CRAM aanleiding om de beoordeling van de werking van het apparaat onder beter beheerste testomstandigheden voort te zetten. Het laboratorium PROCédé Captage Epuration des Polluants (PROCEP) van het onderzoeks- en veiligheidsinstituut kreeg dan ook het verzoek om een testprotocol op te stellen voor het meten van de werking in verschillende configuraties en om deze tests uit te voeren. Dit is gedaan in samenwerking met het Laboratoire Interrégional de Chimie de l'Est (LICE).

2. Geteste apparaat

Het apparaat dat de emissie van stof moet verminderen (zie figuur 1 aan het einde van het document), draagt de naam Madex en bestaat uit een watertoevoerinstallatie die middels een slang met een kleine diameter (int. Ø 4 mm) is verbonden met de behuizing van de cirkelzaag. Het water, dat aangezogen wordt uit een reservoir van 10 l, wordt op druk gebracht door een elektrische pomp en vervolgens verstoven in de behuizing van de machine. Het waterverbruik, dat ingesteld werd op aanwijzing van de fabrikant, bedroeg ongeveer 20 liter/uur⁻¹.

De cirkelzaag was voorzien van een diamantschijf met een diameter van 230 mm (zie figuur 2 aan het einde van het document).

3. Methodologie

3.1. Evaluatiecriterium

Het gebruikte evaluatiecriterium is de doeltreffendheid op het gebied van reductie van de stofemissie, die wordt bepaald op basis van de stofvolumes die door het apparaat worden uitgestoten en in de lucht terechtkomen, respectievelijk gemeten met en zonder het apparaat in werking. Deze volumes worden gemeten overeenkomstig de specificaties van de norm NF EN 1093-3¹, waarin enkele verbeteringen zijn doorgevoerd die ontwikkeld zijn in het kader van een co-normatief Europees onderzoeksproject.

3.2. Methode om de emissievolumes te meten

De tests zijn uitgevoerd in een open cabine met horizontale ventilatie. De cirkelzaag werd bevestigd op een automaat die ervoor zorgde dat de zaagactiviteiten steeds identiek waren. Het uitgestoten stof werd door een longitudinale luchtstroom via een tuit in een cilindrische afvoerbuis geblazen. In de tuit werd een mengventilator geplaatst om een profiel van de stofconcentratie te kunnen verkrijgen. Hierbij werd de representativiteit van de gemiddelde concentratie in het meetgedeelte gegarandeerd doordat er op vijf punten een monster werd genomen.

3.3. Berekening van de reducerende werking

Na elke testreeks werd de stofmassastroom gemeten. Deze werd bepaald op basis van het gemiddelde van de vijf concentraties die werden gemeten in het buistraject, de ventilatiestroom in de cabine, de duur van de stofproductie en de duur van de monsterneming.

De massastroom werd berekend aan de hand van de volgende formule:

$$M = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot Q \int_{t_1}^{t_2} C(t) \cdot dt$$

¹ NF EN 1093-3 - Veiligheid van machines - Evaluatie van de emissie van gevaarlijke stoffen in de lucht - Deel 3: emissiewaarde van een opgegeven vervuilende stof - proefstandmethode met gebruik van de werkelijke vervuilende stof.

waarbij t_1 : begin van de stofproductie en de monsterneming;
 t_2 : einde van de stofproductie;
 t_3 : einde van de monsterneming;
 Q : luchtstroom in de meetbuis;
 C : gemeten concentratie op elk punt in het buistraject.

De testreeksen werden herhaald, zes keer zonder apparaat en vier keer met apparaat, om rekening te houden met de variabiliteit van de uitstoot, die met name te wijten is aan slecht beheersbare parameters als de heterogeniteit van het materiaal waar de tegel uit bestaat.

De reducerende werking is dus gelijk aan:

$$E_r = 1 - \frac{\overline{M}_{avec}}{\overline{M}_{sans}}$$

FR	NL
avec	met
sans	zonder

waarbij

\overline{M}_{avec} : gemiddelde massastroom met verstuiver in werking;
 \overline{M}_{sans} : gemiddelde massastroom zonder verstuiver in werking;

FR	NL
avec	met
sans	zonder

Tijdens de tests was de luchtstroom in de buis (Q) constant, zodat de stofreducerende werking (E_r) zich beperkt tot de verhouding tussen de gemeten gemiddelde concentraties met en zonder het Madex-apparaat in werking.

3.4 Stofmonsterneming

De concentraties in de buis werden bepaald door gravimetrie op basis van continue stofmonsteringen op een membraanfilter van cellulose-ester (AAWP02500 MILLIPORE met \varnothing 25 mm en een porositeit van 0,8 μm). De gehele bemonsteringsinstallatie omvatte vijf onafhankelijke afzuigcircuits, bestaande uit een opvangbuis (\varnothing 6 mm) die aan een filterhouder was bevestigd en een pomp die was aangesloten op een sonische straalpijp, zodat een constante stroom kon worden behouden (zie de figuren 3 en 4 aan het einde van het document).

De verschillende metingen werden uitgevoerd volgens het principe van isokinetisme tussen de luchtsnelheid in de afvoerbuis en de luchtsnelheid aan het begin van de bemonsteringsbuizen.

De luchtstromen boven elke bemonsteringslijn werden onafhankelijk gemeten met behulp van een volumemeter.

Om verstopping van de filters te voorkomen, verschilde de bemonsteringsduur per type test:

- zonder verstuiver: 5 min;
- met verstuiver: 15 min.

3.5. Deeltjesgrootteverdeling

Om de deeltjesgrootteverdeling van de gegenereerde aerosol te kunnen beschrijven, werden er twee methoden gebruikt:

- **Verstuiver staat uit:** de methode bestaat uit een bemonstering op filter in de stofstroom op enkele centimeters van het contactpunt van de diamantschijf, om het grootst mogelijke deeltje van het deeltjesgroottespectrum op te vangen. Dit monster werd vervolgens geanalyseerd aan de hand van een techniek op basis van telling in vloeibare fase (Coulter-teller).
- **Verstuiver staat aan:** de voorgaande methode kon niet worden toegepast vanwege het geringe aantal zwevende deeltjes en de beperkte duur van de activiteiten. De deeltjesgrootteverdeling werd vastgesteld door middel van optische telling (Grimm-teller) in het meetgedeelte van de afvoerbuis. Rekening houdend met de omstandigheden met betrekking tot de ventilatiestroom, het mengen van de lucht en de afstand tussen de stofproductie en het meetpunt (ca. 8,5 cm), werd de hypothese opgesteld dat het genomen monster uit droge deeltjes bestaat.

3.6. Proefopstelling

De proefopstelling bestaat uit twee hoofdelementen:

3.6.1. Testcabine

De testcabine (zie figuur 5 aan het einde van het document) bestaat uit een parallellepipedumvormige omsloten ruimte (afmeting 6 x 3 x 2,4 m³) met een open zijde die uitkomt op een testhal en, tegenover de open zijde, een tuit die doorloopt in een afvoerbuis (Ø 650 mm). De luchtstroom die binnenkomt via de open zijde werd gemengd met behulp van een tegen de stroom in draaiende schroefvormige ventilator die in de tuit was geïnstalleerd, in het midden van de lengteas van de cabine. De luchtstroom bedroeg 3,6 m³/s⁻¹, ofwel zaagsnelheden van respectievelijk 0,5 m/s⁻¹ in de cabine en 10,8 m/s⁻¹ in de buis.

3.6.2. Automaat²

De automaat (zie figuur 6 aan het einde van het document) bestaat uit een vast parallellepipedumvormig chassis met daarbovenop een bewegende plaat die een dwarsas volgt en een bewegende slede die een lengteas volgt (afmetingen: breedte 1 m; lengte 1,65 m; hoogte 1,5 m (1,85 m in totaal)). Het verplaatsen en het aansturen van de mobiele elementen gebeurt via een bedieningspaneel (zie figuur 7 aan het einde van het document). Een reeks bestaat uit een serie longitudinale verplaatsingen met een constante snelheid, waarbij aan het einde van elke beweging van groef wordt gewisseld. De zaagdiepte wordt bepaald door de verplaatsingssensoren in te stellen.

3.7. Functioneringsomstandigheden van het apparaat

De activiteit bestond dus uit het trekken van parallelle groeven (lengte 1 m, diepte 1 cm, breedte 3 à 4 mm) in een tegel bestaande uit een mengsel van beton en rivierkiezels, van het type dat wordt gebruikt voor de bouw van buitentrappen (afmetingen: 1 x 0,36 x 0,08 m³).

4. Resultaten

4.1. Concentratiemetingen

De spreiding van de concentraties in het meetgedeelte is groter bij de configuraties zonder het Madex-apparaat, zoals te zien is in figuur 8, waar elke gemiddelde waarde is voorzien van balken die de afwijkingen weergeven en daarmee de ruimtelijke heterogeniteit van de vijf monsteringen in de buis laten zien. Als het Madex-apparaat in werking is, valt er een veel lagere variabiliteit waar te nemen.

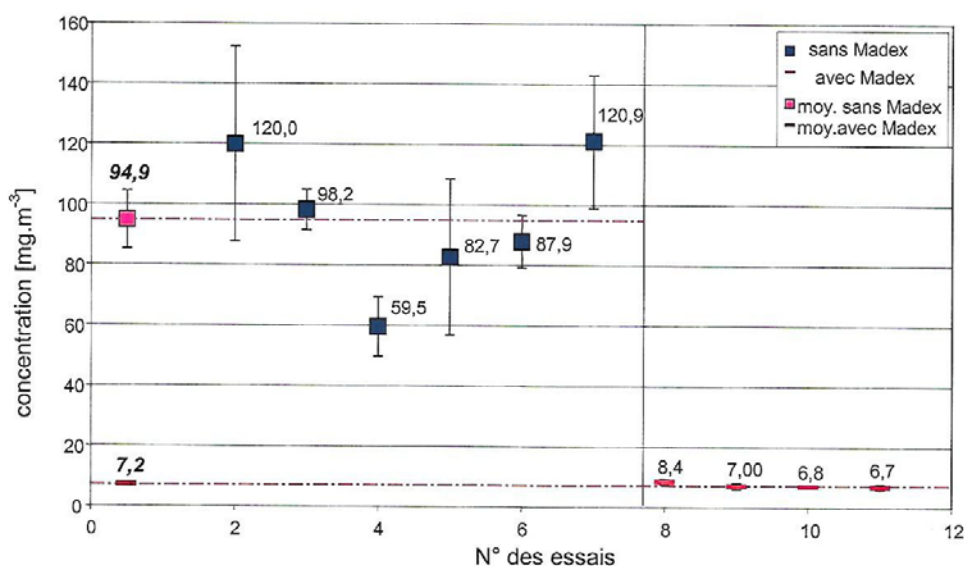
Zonder het Madex-apparaat zien we een grote spreiding van de resultaten, waar verschillende oorzaken aan ten grondslag kunnen liggen:

- de heterogeniteit van het mengsel van beton en kiezels van de gebruikte stenen;
- het feit dat er afwisselend wordt gezaagd aan de kant waar de kiezels een reliëf vormen en de gladde kant. Afhankelijk hiervan beweegt de machine meer of minder makkelijk voorwaarts.

² Automaat ontworpen en vervaardigd door het Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (BIA) in het kader van het bovengenoemde Europese onderzoeksproject.

- de afzetting en de verschillende impacties op de wanden van de cabine, de buis en andere obstakels (ventilator) van deeltjes met een variabele grootte;
- de hoeveelheid stof in kwestie; deze parameter heeft betrekking op variabele afzettingen, door impactie, in de bemonsteringskoppen en op filterhouders. Deze stofmassa wordt dus min of meer meegewogen op het moment dat het filter wordt gewogen.

Met het Madex-apparaat zorgt de aanwezigheid van water ervoor dat de invloed van de zaagomstandigheden wordt verminderd. Bovendien, omdat er minder stof wordt gegenereerd, is er minder sprake van impactie en worden de deeltjes dus efficiënter verzameld.



FR	NL
concentration [mg.m ⁻³]	concentratie [mg/m ⁻³]
N° des essais	aantal tests
sans Madex	zonder Madex
avec Madex	met Madex
moy. sans Madex	gem. zonder Madex
moy. avec Madex	gem. met Madex

Figuur 8. Berekende concentraties met en zonder het Madex-apparaat in werking

4.2. Reducerende werking

Met het Madex-apparaat			Zonder het Madex-apparaat		
gemiddeld	standaard deviatie	variatie coëfficiënt	gemiddeld	standaard deviatie	variatie coëfficiënt
mg/m ⁻³	mg/m ⁻³	%	mg/m ⁻³	mg/m ⁻³	%
7,2	0,4	6	94,9	9,6	10

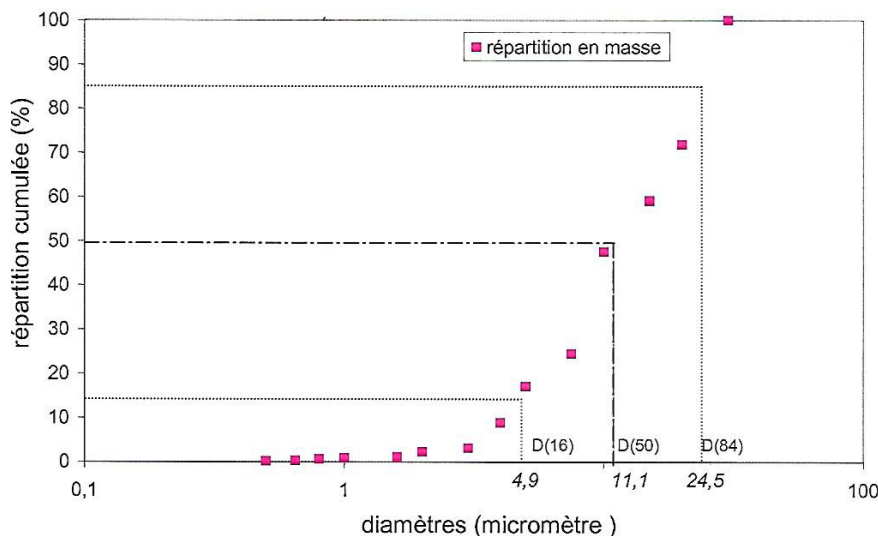
$$E_r = 1 - \frac{7,2}{94,9} = 0,924 \quad \text{ofwel} \quad 92,4 \% \pm 0,9 \%$$

4.3. Metingen van de deeltjesgrootteverdeling

De metingen die aan de hand van twee verschillende technieken zijn gedaan, laten bepaalde overeenkomsten zien in de deeltjesgrootteverdeling bij de beide testconfiguraties. Met het Madex-apparaat is de mediaan $11,1 \mu\text{m}$ $\sigma_g = 2,2$ (zie figuur 9); zonder het Madex-apparaat bevinden de bij drie monsters gemeten medianen zich tussen $15 \mu\text{m}$ en $20 \mu\text{m}$ $\sigma_g = 2,3$ (zie figuur 10).

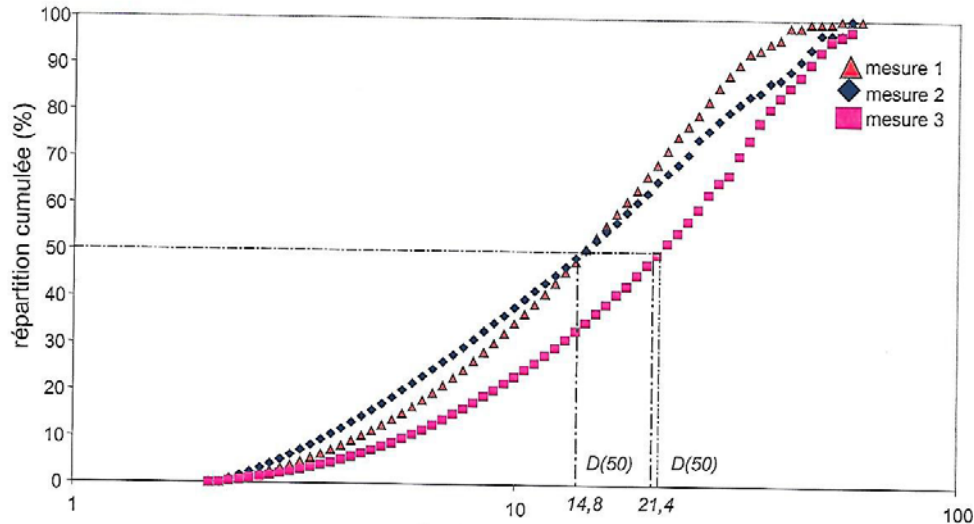
De deeltjesteller heeft de bijzondere eigenschap alle aerosols die door zijn meetcel worden waargenomen mee te rekenen, ongeacht hun aard. Welnu, het proces om de stofemissie te verminderen door water te verstuiven, genereert een aerosol van min of meer vochtig stof en water. Het water is niet helemaal zuiver; het bevat verschillende soorten minerale deeltjes die de spectrale verdeling van de aerosol wijzigen, met name in het deel met kleine diameters.

Een vrij grove methode om rekening te houden met dit fenomeen was om de deeltjesgrootteverdeling van de aerosol te meten terwijl er niet werd gezaagd en deze af te trekken van de deeltjesgrootteverdeling die tijdens de tests werd vastgesteld. Op deze manier, terwijl alle andere factoren verder hetzelfde bleven, bestond de hieruit voortvloeiende deeltjesgrootteverdeling, die werd bepaald met behulp van de deeltjesteller (Grimm), voor het grootste deel uit droog stof afkomstig van het zagen.



FR	NL
répartition cumulée (%)	cumulatieve verdeling (%)
diamètres (micromètre)	diameters (micrometer)
répartition en masse	verdeling over de massa

Figuur 9. Cumulatieve kromme Madex-apparaat in werking (Grimm-meting)



FR	NL
répartition cumulée (%)	cumulatieve verdeling (%)
mesure 1	meting 1
mesure 2	meting 2
mesure 3	meting 3

Figuur 10. Bepaalde cumulatieve kromme zonder Madex-apparaat (bemonstering op filter)

5. Conclusie

Getest onder laboratoriumomstandigheden heeft het Madex-apparaat een voldoende reducerende werking door de hoeveelheid stof te verminderen met meer dan factor 13, oftewel een reducerende werking van 92%. Het verstuiwen van water heeft weinig effect op de deeltjesgrootte van het gegenereerde stof.

6. Afbakening van de tests

Het onderzoek naar het Madex-proces beperkt zich uitsluitend tot het vaststellen van de doeltreffendheid van het apparaat met betrekking tot het reduceren van de stofemissie onder gecontroleerde proefopstellingsomstandigheden.

Er is geen onderzoek gedaan naar de conformiteit met de voorschriften die van toepassing zijn op het ontwerp van het opvangapparaat en meer in het algemeen op de machines waar het apparaat mee kan worden gecombineerd.

Belangrijke opmerking:

Om het opvangapparaat op de markt te kunnen brengen, moet aan de geldende voorschriften worden voldaan.

Voor de Europese Unie zijn dit richtlijnen als:

- 98/37/CE “Machine”,
- 78/23/CEE “Laagspanning”,
- 89/336/CEE “Elektromagnetische compatibiliteit”.

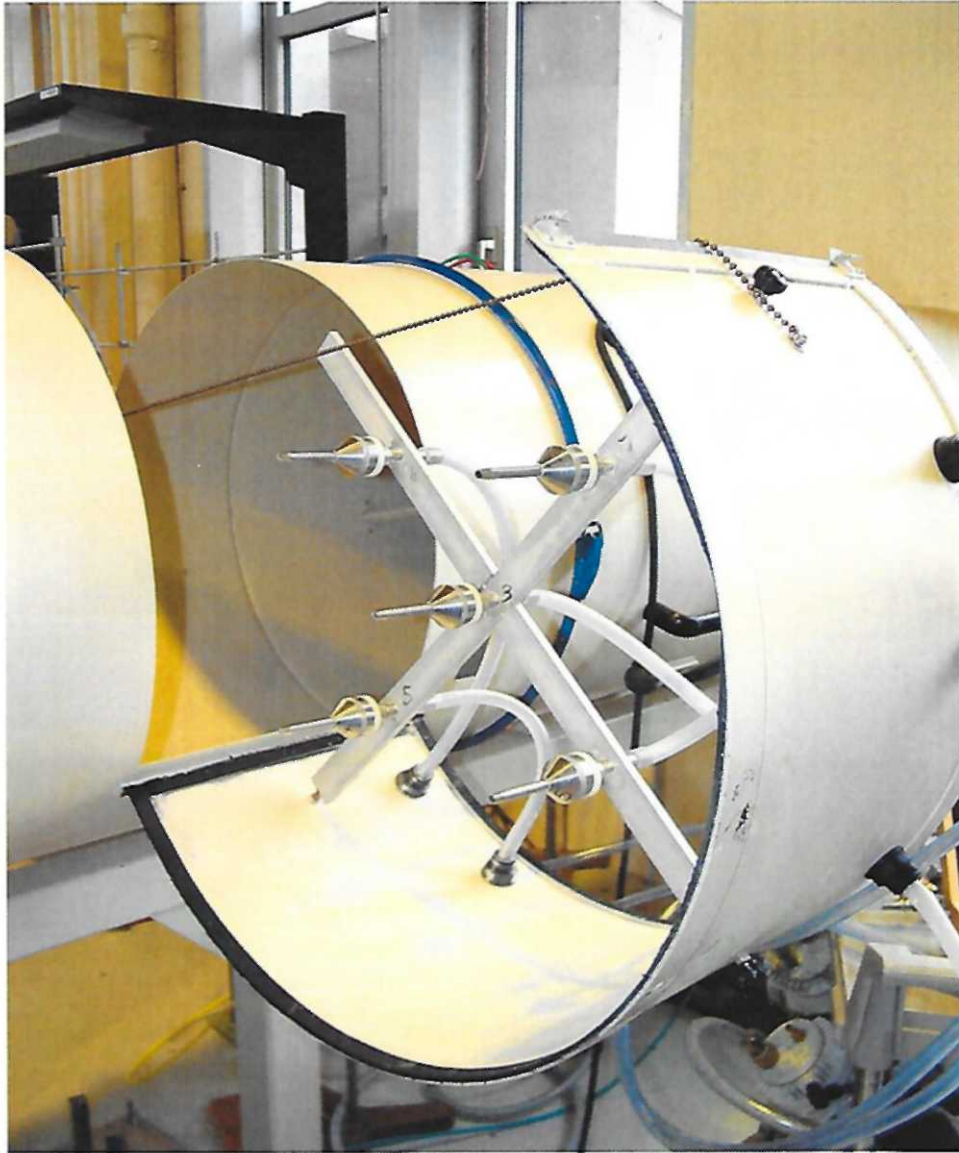
De risicoanalyse moet betrekking hebben op het apparaat in combinatie met de verschillende modellen draagbare cirkelzagen waarmee het kan worden gebruikt. De gevolgen voor de conformiteit van de cirkelzagen met deze richtlijnen moeten eveneens in ogenschouw worden genomen, met name ten aanzien van het risico van waterverstuiving.



Figuur 1. Pomp-/verstuifinstallatie



Figuur 2. Cirkelzaag met een diamantschijf van 230 mm



Figuur 3. Bemonsteringsbuizen



Figuur 4. Bemonsteringscircuit



Figuur 5. Geventileerde open cabine die werd gebruikt voor de tests



Figuur 6. Automaat



Figuur 7. Bedieningspaneel van de automaat