



Nr B 2342
Maj 2019

Metoder för snabb och enkel mätning av exponering för kvarts i arbetsmiljön – finns det?

Ann-Beth Antonsson, Anne-Marie Rydström, Bo Sahlberg



I samarbete med Skanska, JM, NCC och PEAB

Författare: Ann-Beth Antonsson, Anne-Marie Rydström, Bo Sahlberg

Medel från: SBUF och Stiftelsen IVL

Rapportnummer B 2342

ISBN 978-91-7883-037-4

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2019**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
Summary	5
1 Bakgrund.....	6
1.1 Hygieniska gränsvärden och andra föreskrifter	7
2 Mätning av kvarts- och dammhalt.....	7
2.1 Partiklar i olika storleksfraktioner	7
2.2 Den vanligaste mätmetoden	8
3 Mål	9
4 Metod	9
5 Alternativa mätmetoder	10
5.1 Filterprovtagning, portabla analysinstrument	10
5.2 Diffusionsprovtagare	10
5.3 FTIR	11
5.4 Röntgendiffraktion, XRD.....	13
5.5 Röntgenfluorescens, XRF.....	14
5.6 Direktvisande partikelinstrument	14
6 Diskussion om användbarhet	15
6.1 Metoder för att mäta kvartsexponering	15
6.2 Andra sätt att använda mätningar	16
7 Slutsatser	17

Sammanfattning

Inom byggverksamhet förekommer många arbetsmoment då respirabelt oorganiskt damm som innehåller kvarts bildas. Att exponeras för kvarts över det hygieniska gränsvärdet innebär flera allvarliga hälsorisker, som att utveckla silikos, cancer och kronisk obstruktiv lungsjukdom och även hjärt-kärl- och reumatiska sjukdomar. Byggnadsarbetare är en yrkeskategori som löper stor risk att exponeras för kvarts. Att snabbt kunna mäta vilka kvarts halter som anställda exponeras för eller som förekommer vid olika arbetsmoment som underlag för beslut om vilka åtgärder som ska genomföras för att skydda arbetstagarna är därför viktigt.

Dagens metoder för exponeringsmätning av respirabelt oorganiskt damm och kvarts, som utvecklades på 1970/80-talet, är tidskrävande och resultatet av mätningen redovisas ofta flera veckor efter att provtagningen har genomförts. Det kan innebära att det arbete som utförts vid byggarbetsplatsen har ofta avslutats innan mätresultat erhålls. Dessutom krävs specialistkompetens för att kunna utföra provtagning och analys. Byggbranschen har därför lyft behovet av moderna, snabbare och billigare mätmetoder – gärna direktvisande instrument - som kan användas för att jämföra uppmätta halter med hygieniska gränsvärden för respirabelt damm och kvarts och som kan ge underlag vid exponeringsbedömningar.

En granskning har gjorts av de mätmetoder som finns och används och vi har även sökt analysmetoder som är under utveckling. Granskningen visar att den enda metod som i dagsläget är tänkbar för att snabbt mäta exponering är filterprovtagning och analys med ett portabelt FTIR-instrument. Ett sådant instrument kostar i storleksordningen 150 000 – 300 000 SEK.

En alternativ metod, som har mer fokus på att kontrollera exponering för höga dammhalter, bygger på användning av partikelinstrument. Med dessa instrument flyttas fokus från att mäta exponering för kvarts till att identifiera dammande arbetsmoment och vidta åtgärder för att minska exponeringen. Det finns flera olika typer av partikelinstrument i olika prisklasser, från cirka 50 000 SEK och uppåt. Denna typ av mätningar kräver närvaro under hela arbetsdagen och kontroll av om det förekommer tillfälliga höga exponeringar för damm.

Inom IVL drivs ett parallellt projekt om referensmätningar för kvarts inom byggindustrin. I det projektet har direktvisande instrument för respirabelt damm använts för att kartlägga dammande arbetsmoment, på ett liknande sätt som beskrivs ovan. Resultat från det projektet kommer att rapporteras i en separat rapport.

Summary

Construction includes many processes where respirable inorganic dust containing crystalline silica is generated. Exposure to silica in concentration above the Swedish occupational exposure limit value (OEL) is connected to severe health hazards, such as risk of developing silicosis, cancer, chronic obstructive pulmonary disease as well as cardiovascular and rheumatic diseases. Construction workers have a high risk of exposure to silica. Measurement of workers exposure to silica and measurement of what concentrations occur during different work tasks is essential as a basis for decisions about what control measures are needed to protect the workers.

The methods used to measure the concentration of respirable organic dust and silica were developed during the 1970ies and 1980ies. The methods require a lot of time and the result of the measurements are usually presented several weeks after the measurement was conducted. In practice, the work tasks during which the measurements were conducted have often ceased before getting the results from the measurements. In addition, expert knowledge is often required both for the measurements and the analysis. Therefore, the construction industry has pointed out the need for modern, fast and cheap methods to measure silica exposure. The aim is to be able to measure the exposure to respirable dust and silica, the results of which can be used as a basis for risk assessments. Direct-reading instruments is an interesting option which should be evaluated.

Available and used measuring methods have been reviewed and methods under development have been searched for. The review shows that the only currently available method which can be used to measure respirable silica is filter sampling followed by field analyses with a portable FTIR-instrument. The cost for such an instrument is currently between 150 000 and 300 000 SEK.

An alternative method, which has focus on controlling exposure to high concentrations of dust instead of measuring exposure, is measurements with an instrument measuring the number and mass of particles. These instruments are used to identify work tasks generating high concentrations of dust, which moves focus from exposure and comparison with OEL to identifying and controlling the emissions of dust. There are several different instruments available at different prices, ranging from 50 000 SEK and upwards. This type of measurement require presence during the working day in order to facilitate identification of the cause of temporary high concentrations of dust, i.e. what work tasks are generating the high concentrations.

Within IVL, a parallel project is currently ongoing about so called reference measurements for silica in the construction industry. Reference measurements are measurements made under well-defined circumstances, which can be used as a basis for risk assessment in other companies, provided the circumstances are similar. In that project, direct-reading instruments for measurement of respirable dust have been used in a way which resembles the description above. The result from that projekt will be published in a separate report this year (2019).

1 Bakgrund

Inom byggverksamhet förekommer många arbetsmoment då respirabelt oorganiskt damm som innehåller kvarts bildas. Att exponeras för kvarts över det hygieniska gränsvärdet innebär flera allvarliga hälsorisker som att utveckla silikos, cancer och kronisk obstruktiv lungsjukdom och även hjärt- kärl- och reumatiska sjukdomar. Byggnadsarbetare är en yrkeskategori som löper stor risk att exponeras för kvarts. Att snabbt kunna mäta vilka kvartshalter som anställda exponeras för eller som förekommer vid olika arbetsmoment, som underlag för beslut om vilka åtgärder som ska genomföras för att skydda arbetstagarna, är därför viktigt.

Alla arbetsmoment där betong, cementprodukter och sten hanteras eller bearbetas – alltså vanligen förekommande arbetsmoment inom byggindustrin – innebär risk för kvartsexponering. Hur höga halter oorganiskt damm och kvartsdamm som bildas beror på flera olika faktorer; vilka arbetsmoment som utförs, kvartshalten i de material som bearbetas, vilka skyddsåtgärder som finns och hur effektiva dessa är. En försvårande faktor är att kvartspartiklarna är små, osynliga för ögat och kan finnas kvar i luften flera timmar efter avslutat arbete. Det är därför svårt att göra en uppskattning av exponeringen. Att kunna mäta halten oorganiskt damm och kvartsdamm i real-tid (med direktvisande instrument) vid byggarbetsplatser skulle därför vara värdefullt för att kunna åstadkomma säkra arbetsförhållanden.

Det finns idag direktvisande instrument som mäter partikelhalt och dammhalt (ofta mäts antalet partiklar och utgående från antalet partiklar och densitet beräknas dammhalt). Flera instrumentleverantörer framhåller att de direktvisande instrumenten de tillhandahåller kan användas för att mäta oorganiskt damm och att kvartshalten sedan kan beräknas utgående från uppgifter eller antagande om hur hög kvartshalten är.

Dagens metoder för exponeringsmätning av respirabelt oorganiskt damm och kvarts, som utvecklades på 1970/80-talet, är tidskrävande och resultatet av mätningen redovisas ofta flera veckor efter att provtagningen har genomförts. Det kan innebära att det arbete som utförts vid byggarbetsplatsen har ofta avslutats innan mätresultat erhålls. Dessutom krävs specialistkompetens för att kunna utföra provtagning och analys. En exponeringsmätning kostar från 20 000–25 000 SEK.

Flera åtgärder finns och används vid byggarbetsplatser. Med de mätmetoder för kvarts som vanligtvis används går det inte att på ett enkelt sätt kontrollera om dessa åtgärder har avsedd effekt.

Byggbranschen skulle behöva tillgång till mätmetoder för respirabelt oorganiskt damm och kvarts som kan användas för att jämföra exponeringen med det hygieniska gränsvärdet och som också kan användas för att identifiera föroreningskällor och utvärdera effekten av skyddsåtgärder. På så sätt skulle det vara möjligt att avgöra vilka åtgärder som är effektiva för att säkerställa godtagbara nivåer av kvartsdamm i luften på byggarbetsplatser.

SBUF och byggföretagen Skanska Sverige AB, JM och NCC ser därför ett behov av moderna, snabbare och billigare mätmetoder – gärna direktvisande instrument – som kan användas för att jämföra uppmätta halter med hygieniska gränsvärden för respirabelt damm och kvarts och som kan ge underlag vid exponeringsbedömningar. Detta projekt har som mål att undersöka vilka mätmetoder som skulle kunna användas för att snabbt och enkelt kunna få en bild av kvartsexponeringen på arbetsplatserna.

SBUF, byggföretagen Skanska Sverige AB, JM och NCC, Arbetsmiljöverket, Byggnads och SEKO ingår i projektets referensgrupp.

1.1 Hygieniska gränsvärden och andra föreskrifter

De gränsvärden som gäller för oorganiskt damm och kvarts har sammanställts i Tabell 1. Samtliga gränsvärden är nivågränsvärden, dvs. anger den halt som inte får överskridas som medelvärde för en hel arbetsdag (8 timmar).

Tabell 1. Gällande gränsvärden för oorganiskt damm och kvarts (Arbetsmiljöverket, 2015).

Ämne	Nivågränsvärde (mg/m ³)	Kommentar
Kvarts, respirabelt	0,1	Ej kristobalit eller tridymit
Kristobalit, respirabelt Tridymit, respirabelt	0,05	Dessa varianter av kvarts bildas vid hög temperatur och högt tryck och förekommer sannolikt inte på byggarbetsplatser
Oorganiskt damm, respirabelt	2,5	
Oorganiskt damm, inhalerbart	5	

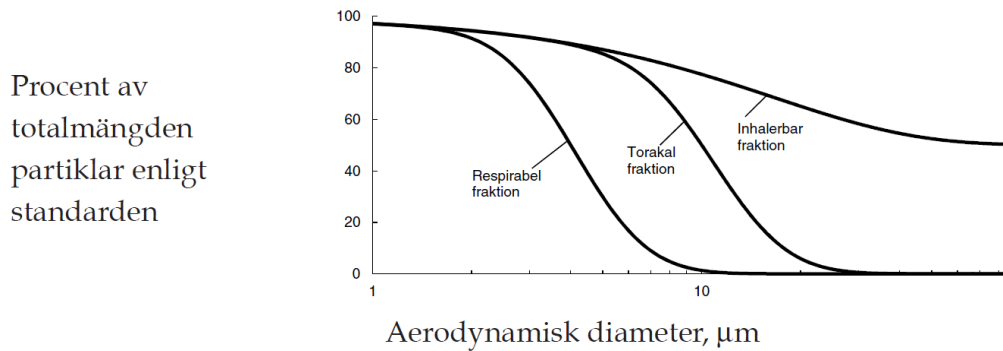
Utöver de hygieniska gränsvärdena, finns det särskilda krav på arbetsplatser där det finns risk för exponering för kvarts (Arbetsmiljöverket, 2015). Bland annat finns krav på riskbedömning, mätningar och åtgärder som förebygger exponering.

2 Mätning av kvarts- och dammhalt

2.1 Partiklar i olika storleksfraktioner

Vid mätning av halterna av oorganiskt damm och kvarts, är det viktigt att ange vilken storleksfraktion man mäter. Hälsorisen bestäms i stor utsträckning av storleken på partiklarna eftersom partiklar av olika storlekar når olika långt ner i lungorna. Gränsvärdet för kvarts (Arbetsmiljöverket, 2018a) gäller den *respirabla* fraktionen, dvs. den fraktion som når längst ner i lungorna vid inandning. Storleksbestämning för luftburna partiklar definieras i standarden "Arbetsplatsluft - Partiklar i aerosoler - Bestämning av storleksfördelning" (SIS, 2015).

Partiklar delas in i tre fraktioner: *inhalerbara*, *torakala* och *respirabla* beroende på hur långt ner i luftvägarna och lungorna de når vid inandning. Den inhalerbara fraktionen är de luftburna partiklar som man kan andas in via näsa och mun. Den torakala fraktionen är de inhalerbara partiklar som passerar luftstrupen. Den respirabla fraktionen är den del av de inhalerbara partiklarna som når längst ner i luftvägarna, ända ner till alveolerna, dvs. lungornas finaste förgreningar, se Figur 1.



Figur 1. Indelning av partiklar i olika storleksfraktioner, inhalerbar, torakal och respirabel utgående från deras aerodynamiska diameter enligt standarden SS-EN 481. Y axeln anger hur stor andel av partiklarna med en viss diameter som man andas in genom mun och näsa (inhalerbar fraktion), som passerar struphuvudet (torakal fraktion) och som avsätts i alveolerna (respirabel fraktion). Källa: (Arbetsmiljöverket, 2018b)

2.2 Den vanligaste mätmetoden

1960 introducerades den första bärbara batteridrivna luftprovtagaren designad för att mäta personlig exponering (Sherwood and Greenhalgh, 1960). Ända sedan dess har denna metod dominerat inom yrkeshygienen; personlig exponering mäts genom att dra luft igenom ett filter, på vilket partiklar samlas upp. Filtret skickas till laboratorium för analys.

Vid filterprovtagning av kvarts samlas prov upp genom att en känd luftmängd med hjälp av en bärbar pump dras genom ett filter monterat i en filterkassett. Filtret vägs och analyseras med röntgendiffraktion på laboratorium. För att säkerställa att enbart respirabel fraktion samlas in krävs att provet tas via en cyklon som skiljer av de grövsta partiklarna så att endast den respirabla fraktionen når och samlas upp på filtret. För att den avskilda partikelfraktionen ska bli korrekt, krävs det att luftflödet ligger på rätt nivå (2,5 liter/minut). Vid mätning av arbetstagarens exponering ska provtagaren placeras nära andningszonen. Provtagningsstiden skall vara minst 6 timmar för att den uppmätta halten (exponeringen) ska kunna jämföras med gränsvärdet (AFS, 2015).

En kartläggning av vilka metoder som användes internationellt för att bestämma halten kvartsdamm i arbetsmiljön genomfördes 2008 (Maciejewska, 2008). De vanligaste analysmetoderna för att bestämma kvartshalt i totaldamm var röntgendiffraktion, (X-ray Diffraction, XRD) och FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) (Maciejewska, 2008). XRD har fördelen att kunna urskilja de olika kristallina formerna av kvarts (kvarts, kristobalit och tridymit). FTIR är den metod som de flesta länder har baserat sin lagstiftning på. Anledningen till detta är troligen att metoden är enklare och billigare. FTIR bygger på att det kemiska ämnet absorberar infraröd strålning vid en specifik våglängd som överensstämmer med molekylstrukturens vibrationsfrekvens. En nackdel med FTIR är att den lätt störs av förekomst av andra mineraler som innehåller kisel (dvs. icke-kristallin kisel), vilket minskar noggrannheten i mätningen.

I Sverige har Arbetsmiljööinstitutets råd om provtagningsmetoder under lång tid använts som riktlinje för vilka mätmetoder som ska användas (Levin, 2000). Här anges XRD som den analysmetod som ska användas.

3 Mål

Det långsiktiga syftet är att säkerställa att halten respirabelt oorganiskt damm och kvarts i luften på byggarbetsplatser är godtagbara.

Projektets mål är att undersöka om det är möjligt att snabbt och enkelt mäta dessa halter och därmed underlätta bedömningen av anställdas exponering för kvarts som ska göras enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter Kvarts – stendamm i arbetsmiljön (Arbetsmiljöverket, 2015).

Målet är att rekommendera metoder för mätning av kvarts i arbetsmiljön som:

- Möjliggör mätning av respirabelt oorganiskt damm och kvarts för jämförelse med gränsvärdet, där resultatet av mätningen erhålls direkt efter mätningen
- Möjliggör mätning av momentana halter damm och (om möjligt) även kvarts. Kvartshalten kan beräknas (med större eller mindre noggrannhet) utgående från uppmätt dammhalt.
- Kan användas inom byggbranschen, av företagens egna arbetsmiljöexperter men också av företagshälsovården.
- Är tillräckligt tillförlitliga för att kunna användas i riskbedömningar som godtas av Arbetsmiljöverket.

4 Metod

En litteraturstudie gjordes genom att söka i 3 databaser, Science Direct, Scopus och Pubmed, med utvalda söktermer. Artiklarna skulle endast omfatta de senaste 5 årens vetenskapliga artiklar, eftersom en översikt över den tidigare litteraturen finns tillgänglig och har använts inom projektet. Resultatet av litteratursökningen har sammanställts i tabell 1. Som synes, återfanns ett mycket stort antal artiklar utgående från sökkriterierna.

Tabell 2. Sammanställning av antalet artiklar som återfanns vid litteratursökningen.

Databas	Söktermer:	Filter	Resultat
Science Direct och Scopus	respirable quartz measurement	2013-2018 Particulates, Dust, Exposure Assessment, Silica, Exposure	299 artiklar
Science Direct och Scopus	respirable quartz instrument development	2013-2018 Particulates, Dust, Quartz, Silica, Exposure	84 artiklar
Science Direct och Scopus	end-of-shift spectroscopy quartz		84 artiklar
Pubmed	respirable quartz measurements occupational health		51 artiklar
			518 artiklar totalt

Vid en granskning av dessa artiklar, visar det sig att merparten av artiklarna handlar om mätningar av halten respirabel kvarts, där mätningarna har gjorts med konventionella metoder. Ett fåtal artiklar handlade om nya mätmetoder och dess beskrivs översiktligt nedan.

Utöver litteratursökningen har vi också använt oss av litteratur som rör detta område och som vi känner till via vårt kontaktnät. Även dessa artiklar har använts som underlag för diskussion om mätmetoder för kvarts. Vi har också kontaktat leverantörer av mätinstrument för att samla in information om instrument som kan användas för att mäta kvarts i fält.

5 Alternativa mätmetoder

Utgående från litteratursökningen har nedanstående metoder att mäta halten respirabel kvarts identifierats. Varje metod beskrivs och för- och nackdelar med metoderna diskuteras.

5.1 Filterprovtagning, portabla analysinstrument

En ny metod som beskrivs i litteraturen är filterprovtagning i kombination med analys av filtren i fält, direkt efter provtagning. Denna metod har fördelen av att snabbt ge ett analysresultat, vilket innebär att kvartshalten kan beräknas och de uppmätta halterna kan diskuteras kort tid efter det att mätningen avslutats. Mätningen tar vanligtvis en arbetsdag vilket i praktiken sannolikt innebär att resultaten kan diskuteras vid arbetsdagens slut eller dagen efter provtagningen.

Filterprovtagningen görs lämpligen som konventionell pumpad provtagning, se avsnitt 2 ovan. Ett alternativ till den pumpade provtagningen är provtagning av partiklar med en nyutvecklad diffusionsprovtagare (kallas ibland passiv provtagare). Provtagning med diffusionsprovtagare beskrivs och diskuteras nedan.

Under senare år har det utvecklats portabla analysinstrument. Sådana instrument finns både för FTIR-analys och XRD-analys. Båda dessa typer av instrument beskrivs och diskuteras nedan.

5.2 Diffusionsprovtagare

Diffusionsprovtagare har använts under många år för provtagning av gasformiga luftföroreningar. Mätprincipen bygger på att luften diffunderar (pga. luftens egenrörelse) in mot provtagaren. För gaser finns vanligtvis ett speciellt medium som reagerar med de ämnen man vill provta.

Diffusionsprovtagare för provtagning av damm i gruvor har utvärderats (Shirdel, 2018). Utvärderingen visar att provtagaren ger en kraftig överskattning av dammhalten vid personburen provtagning (30 gånger högre värden än vid provtagning med föravskiljare för att enbart fånga in den respirabla fraktionen), men fungerar bättre för stationära prover. Denna provtagningsmetod bedöms därför inte vara lämplig för personburen provtagning av respirabelt damm.

Analys av filtren görs med mikroskop (Shirdel, 2018), vilket innebär att analysen knappast kan göras i fält.

Slutsats: diffusionsprovtagare är inte ett alternativ för snabb och enkel provtagning av kvarts.

5.3 FTIR

De flesta länder anger att vid mätning för jämförelse med gränsvärdet för kvarts, ska kvarts analyseras med FTIR. Detta beror sannolikt på att analysmetoden är kostnadseffektiv och förhållandevis enkel att använda.

FTIR är en analysmetod som bygger på att man mäter absorptionen i hela IR-spektrat och jämför den uppmätta absorptionen med ett bibliotek med absorptionsspektra för olika ämnen. FTIR mäter inte kristallin kvarts, utan kisel i flera olika former vilket innebär att förekomst av amorft kvarts (t.ex. kaolin eller andra amorfa mineraler som innehåller kvarts) ger en överskattning av kvartshalten. I många miljöer där kvarts förekommer, finns det dock inte särskilt mycket av sådana andra mineraler. I en artikel beskrivs en utvärdering av Bruker Optics model Alpha FT-IR Spectrometer för mätning av kvarts i filterprover från gruvor. I denna studie konstaterades att det förekom kaolin i det kvartshaltiga dammet och kaolin stör FTIR-analysen. Detta kan dock hanteras genom att använda sig av kalibreringsmetoder (Miller et al., 2017). Det bör kontrolleras om kaolin förekommer i byggindustrin i sådana mängder att det kan störa FTIR-analysen.

Analysen av kvarts kan också störas av filtermaterialet (dvs. material i det filter som använts för provtagning och uppsamling av det kvartshaltiga dammet) (Cauda et al., 2016).

För analys med FTIR, finns det två metoder. Antingen kan filtret analyseras direkt, eller så löser man upp provet i syra eller inaskar det (dvs. bränner bort organiskt material så att bara sådant som är obrännbart återstår, dvs. kvarts och andra oorganiska ämnen). För analys i fält (DOF, analys Direct On Filter) får man räkna med att filtret måste analyseras direkt, utan någon uppslutning eller förbränning av filtret. När FTIR används för DOF-analys, ska den användas i s.k. transmissionsmode (Miller et al., 2012). Utvärdering som gjorts av DOF-analys med FTIR visar att metoden är tillförlitlig (Cauda et al., 2016).

Under senare år har flera portabla FTIR-instrument blivit kommersiellt tillgängliga vilket innebär en möjlighet att utföra analysen i fält. Dessa instrument är storleks- och viktmässigt möjliga att ta med ut till en arbetsplats. De är också billigare än de instrument som används på laboratorier.

I tabell 2 redovisas information om och tekniska prestanda för de olika FTIR-instrumenten. Vi har försökt få fram information om detektionsgränser för kvartsanalys med dessa instrument, men har inte lyckats få fram dessa uppgifter för samtliga instrument. Detektionsgränsen är viktig för att kunna bedöma instrumentens användbarhet.

Tabell 3. Översikt över kommersiellt tillgängliga portabla FTIR-instrument som kan användas för analys i fält (Cauda, 2016). Uppgifterna har uppdaterats med information från företagens webbplatser mars 2019 och uppgifter som erhållits via mail.

Fabrikat	Bruker Alpha	Thermo	Perkin Elmer	Agilent
Modell	Alpha II FTIR Spectrometer	Nicolet iS5 FTIR Spectrometer	Spectrum Two FT-IR Spectrometer	Cary 630 med transmissions modul ¹⁾
Webbplats	www.bruker.com	www.thermofisher.com	www.perkinelmer.com	www.agilent.com
Vikt	7 kg	10 kg	12 kg	C:a 15 kg
Storlek (bottenplattan)	30 x 20 cm	36 x 25 cm	46 x 30 cm	16 x 40 x 13 cm
Batteri	Ja	Nej	Ja, kan köpas till	Nej, kan laddas via bilens cigarettändare om tillbehör alt. extra batteri
Kostnad, (US-dollar uppgifter från USA, 2016)	25 000 US dollar	14 000 US dollar	200 000 – 250 000 SEK	160 000 – 255 000 SEK
Detektionsgräns, kvarts	u.s.	u.s.	u.s.	C:a 3 µg

(1) Agilent, Cary 630 kan analysera filter, 25 mm i diameter. Två analyser per filter rekommenderas (olika positionering av filtret) eftersom FTIR-strålen inte täcker hela filtret. Medelvärde av de två analyserna beräknas.

Portabla FTIR-instrument har utvärderats för analys av kvarts. I en studie utvärderades Bruker Optics model Alpha FT-IR Spectrometer testades i gruvor ("noncoal mines") på filterprover av respirabel kvarts och slutsatsen var att metoden ansågs vara lämplig för analys av respirabel kvarts (Weakley, 2014). En annan studie utvärderade två olika IR-instrument varav ett FTIR och ett enklare IR-instrument (VFA-IR, variable filter array spectrometer). Instrumenten testades i en kolgruva. Filterprover togs på respirabel kvarts och de torra filtren analyserades med FTIR och VFA-IR. FTIR bedömdes fungera bra, VFA-IR mindre bra (Miller et al., 2012). Slutsatsen även i denna artikel är att FTIR är användbar för att mäta kvartshalten på heldagsprover.

När FTIR-instrument används för direkt analys av filter (DOF), är det viktigt att känna till att fel i analysen kan uppstå pga. ojämn fördelning av kvarts på filtret. Vanligtvis samlas mest partiklar i mitten av filtret och mindre i utkanterna. FTIR-instrumenten analyserar inte hela filtret direkt utan snarare område för område på filtret. För att minska effekten av detta, har en provtagare med cyklon för provtagning av respirabel fraktion och med ett filter med mindre diameter än vanligt ($\phi = 6$ mm) utvecklats och testats (Lee et al., 2017). Utvärderingen visar att denna provtagare gav 5 % högre halter av respirabelt damm än de standardprovtagare som används. Flödet genom denna provtagare ska vara 1,2 l/min, dvs. cirka hälften av flödet genom en konventionell provtagare (Lee et al., 2017). Detektionsgränsen minskade till 1/10-del med den nya provtagaren, vilket beror på att partiklarna samlas på en mindre yta. Denna provtagare utvecklades speciellt inom ett forskningsprojekt och finns för närvarande inte kommersiellt tillgänglig.

Faktorer som bör undersökas och där prestanda för portabla FTIR-instrument kan skilja sig från laboratorieinstrument är bland annat (Miller et al., 2012):

- Portabla FTIR-instrument är inte lika känsliga som laboratorieinstrument. En detektionsgräns på högst 25 µg/m³ rekommenderas. Om detektionsgränsen är högre, blir

det svårt att mäta halter under cirka 25 % av det nuvarande svenska gränsvärdet för respirabel kvarts, när mätning görs en hel arbetsdag.

- Beroende på instrument kan analysen av ett filter ta olika lång tid. Med exempelvis Perkin Elmers Spectrum Two tar analysen ett par sekunder, medan analysen med det instrument som användes i en studie av Miller, tog 400 sekunder (knappt 7 minuter) (Miller et al., 2017).
- Det krävs kontroll av om det förekommer ämnen i provet som kan störa FTIR-analysen. Exempelvis kan kaolin ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) som förekommer i kolgruvor störa, liksom flera andra mineraler.

Provtagningen har också betydelse för resultatet av analysen med FTIR. Speciellt viktigt är:

- Provtagningen ska göras på respirabelt damm. Det är en fördel om det filter som används har så liten diameter som möjligt, eftersom det dels sänker detektionsgränsen och dels minskar risken för fel på grund av att dammet inte är jämt spritt över filtret.
- Filtermaterialet har betydelse för analysen. Filtermaterialet ska väljas så att det inte stör analysen. De material som rekommenderas för provtagning av kvarts med efterföljande FTIR-analys är polypropylen (PP) och polyvinylklorid (PVC) (Farcas D, 2016).

Det finns ett fåtal tillverkare av FTIR-instrument. De utvecklar löpande sina modeller och instrumentens prestanda mm kan därför ha förändrats jämfört med tabell 2 ovan.

Slutsats: Portabla FTIR-instrument är en intressant metod för att analysera prov i fält, direkt efter provtagning. FTIR-instrument behöver i så fall köpas in, vilket sannolikt kostar i storleksordningen 150 000 – 300 000 SEK, beroende på vilken modell som väljs. Vid inköp av ett sådant instrument är det viktigt att bl.a. kontrollera detektionsgränsen för kvarts. Det kan också vara bra att studera de tutorials (utbildnings- och informationsfilmer) om de olika instrumenten som de flesta tillverkare har på sina webbplatser.

De utvärderingar av FTIR för kvartsanalys som har gjorts, har främst gjorts i gruvor. Det är önskvärt att också utvärdera hur väl denna metod fungerar på byggarbetsplatser innan den börjar användas i stor skala.

En begränsning med FTIR-analysen är att den endast ger mängden kvarts (och eventuella andra ämnen som man väljer att analysera samtidigt). Dammhalten kan inte mätas med FTIR.

5.4 Röntgendiffraktion, XRD

Det finns portabla instrument som bygger på röntgendiffraktion, XRD och som möjligen skulle kunna användas i fält för analys av filter från provtagning av respirabel kvarts.

Det är möjligt att göra en kvantitativ analys av kvartsinnehållet med XRD men för att bestämma halten i luft krävs provtagning dvs. uppsamling på filter, med känd luftmängd. En del XRD-instrument kräver förhållandevis stora mängder damm för analysen, exempelvis Olympus Terra Portable XRD som kräver 15 mg (instrumentet väger 14,5 kg). 15 mg motsvarar för en hel dags provtagning en respirabelt dammhalt på cirka 15 mg/m^3 .

Ett (enligt tillverkaren) "portabelt" (95 kg) instrument är Bruker D2 PHASER Desktop XRD. Den har utvärderats för kvarts och det går att analysera kvartshalter över 30 mg med hög precision.

Analysen tar cirka 5 minuter. Även lägre halter kan analyseras, men då tar analysen betydligt längre tid (25 minuter i ett försök).

En begränsning med XRD-analys, liksom med FTIR-analys är att den endast ger mängden kvarts (och eventuella andra ämnen). Dammhalten kan inte mätas med XRD.

Slutsats: Vi har sökt efter portabla XRD-instrument men har inte hittat några som verkar vara användbara för analys av respirabel kvarts, dvs. analys av filter med i storleksordningen 0,01 – 1mg kvarts per filter.

5.5 Röntgenfluorescens, XRF

En metod som hittills inte använts i någon större omfattning för kvartsanalys är röntgenfluorescens. XRF-instrument finns som bärbara instrument och flera olika modeller finns som är mindre och lättare (väger något eller några kilo) än t.ex. de portabla FTIR-instrumenten. Instrumenten används främst för att analysera sammansättning av grundämnen i ett prov, inte för att analysera mängder. För att kunna bestämma kvartshalten, krävs analys av mängden kvarts.

Med denna metod analyseras förekomst av grundämnen, dvs. förekomst av kisel analyseras, inte kvarts som är kristallin kiseldioxid dvs. en kemisk förening som innehåller kisel. XRF kan alltså inte användas för direkt analys av kvarts.

I andra sammanhang har man använt röntgenfluorescens i kombination med s.k. receptormodellering för att beräkna förekomst av olika föreningar som förekommer i provet. Genom denna teknik kan man exempelvis beräkna hur stor andel av provet som är kvarts och vilka andra mineraler med viss sammansättning som också förekommer i provet och hur stor andel som utgörs av dessa mineraler.

För att XRF-instrument ska kunna användas för kvartsanalys, krävs ett utvecklingsarbete och det är möjligt att de dammprover som samlas in i byggindustrin har så varierande sammansättning att det är svårt att beräkna kvartshalten. Om man kan visa att i stort sett all kisel i damm från byggindustrin utgörs av kvarts, går det att mäta mängde kisel och ur den beräkna kvartsmängd och kvartshalt. Dessutom krävs att XRF kan användas för att bestämma mängden kisel i ett prov, inte enbart fördelningen mellan olika grundämnen, och det är osäkert om bärbara XRF klarar detta.

Slutsats: Det är möjligt att XRF-analys skulle kunna användas för att bestämma kvartshalten på byggarbetsplatser. Detta har dock inte testats och utvärderats och skulle i så fall kräva ett utvecklingsarbete.

5.6 Direktvisande partikelinstrument

Ett sätt att få fram ett mått på kvartshalten är att mäta den respirabla dammhalten och därefter göra ett antagande om halten kvarts i dammet (normalt sett varierar kvartshalten på byggarbetsplatser mellan 0 och 25 %) och därefter beräkna halten respirabel kvarts

Halten respirabel kvarts = Halten respirabelt damm * Andelen kvarts i dammet

Denna metod är intressant av flera olika skäl, men den har också begränsningar:

- Instrumenten mäter och registrerar halten under hela dagen. Loggning av mätdata och beräkning av medelhalt krävs för att man ska få fram ett medelvärde för halten under hela arbetsdagen.
- Det finns olika typer av partikelinstrument och de kan också mäta olika fraktioner av damm. För att ett mätinstrument ska vara användbart, krävs att det kan mäta den respirabla fraktionen.
- Partikelinstrument mäter inte exakt, eftersom de mäter partiklarnas volym utifrån antagandet att partiklarna är sfäriska, och sedan beräknar massan utgående från antagen densitet på partiklarna. Det innebär att halter (eller dagsmedelvärden av halten respirabelt damm) uppmätta med partikelinstrument inte kan jämföras med gränsvärden för respirabelt damm. Det är dock möjligt att kalibrera partikelinstrument om man vet vilken densitet de partiklar har som man mäter på.

Om partikelinstrumenten ska användas för att mäta kvartshalten, innebär det att

- Instrumentet måste mäta den respirabla dammhalten
- Helst ska instrumentet vara kalibrerat för det damm (dammets densitet) som förekommer på arbetsplatsen.
- Man behöver känna till kvartshalten i det damm som man mäter på.

Inom projekt som IVL drivit om referensmätningar inom byggindustrin har kvartshalter i respirabelt damm beräknats och sammanställts (kommande rapport). Sammanställningen visar att kvartshalterna varierar mycket och kan variera mycket även på en och samma arbetsplats.

Slutsats: Sammantaget innebär detta att direktvisande partikelinstrument inte kan användas inom byggindustrin om man vill ha tillförlitliga mätdata för kvarts. På arbetsplatser där kvartshalten är mer konstant (exempelvis gruvor) är det dock möjligt att partikelinstrument kan kalibreras för att mäta kvarts med bättre noggrannhet.

6 Diskussion om användbarhet

6.1 Metoder för att mäta kvartsexponering

Av den genomgång av de olika mätmetoderna som redovisas ovan drar vi slutsatsen att tillförlitlig mätning av exponeringen för respirabel kvarts kan göras med

- Pumpad filterprovtagning med föravskiljare och laboratorieanalys med XRD (vanligast i Sverige) eller FTIR.
- Pumpad filterprovtagning med föravskiljare med analys i fält med portabel FTIR.

Analys i fält innebär att man mycket snabbt efter avslutad provtagning kan få fram mätresultatet, vilket ofta är önskvärt. Detta kräver dock vana vid att arbeta med FTIR och FTIR-instrumenten är portabla, men kan också vara något otympliga och tunga. De bör användas i rena miljöer inomhus, för att inte riskera att provtagningsfiltren kontamineras av den omgivande miljön i samband med analysen.

Det är möjligt att det också finns XRD-instrument som kan användas i fält och dessa kan sannolikt också användas för bestämning av kvartsexponering, förutsatt att de kan mäta tillräckligt låga

halter (storleksordningen ner till 0,01 mg per filter, vilket motsvarar 10 % av gränsvärdet för ett heldagsprov). Vid de sökningar vi gjort, har vi dock endast hittat tunga och därmed svårhanterliga sådana instrument.

6.2 Andra sätt att använda mätningar

Mätningar kan göras av olika skäl och på olika sätt. I denna rapport har fokus legat på exponeringsmätning och jämförelse med gränsvärdet. Man kan dock tänka sig att använda mätningar som underlag för riskbedömning och åtgärder, utan att fokusera på exponeringen. Här beskrivs ett sådant tänkbart scenario för byggindustrin.

Inom byggindustrin förekommer många olika arbetsmoment, en del dammande, andra väldigt dammande och andra som inte alls sprider damm. Mätningar med direktvisande partikelinstrument visar att halten ofta är relativt låg under en stor del av dagen men att det tidvis förekommer höga halter. En stor del av exponeringen för kvarts beror på dessa tillfälliga och kraftigt förhöjda halter.

Pumpad filterprovtagning ger mätvärden som speglar medelvärdet under mätperioden. Denna provtagningsmetod kan därför inte ge information om hur halterna varierar under dagen eller vid vilka arbetsmoment som halterna är förhöjda.

Direktvisande partikelinstrument ger en snabb bild av dammhalten och ger också möjlighet att följa hur halten varierar under dagen eller på olika platser i rummet. Även om man inte kan kvantifiera kvartsexponeringen med direktvisande instrument, kan man identifiera farligt höga exponeringar som bör undvikas. Man kan också kontrollera om halten är förhöjd i lokalen, vilket kan bero på dålig städning eller på att damm sprids från angränsande pågående arbeten.

Man kan dra slutsatsen att exponeringen för respirabel kvarts med stor sannolikhet är under kontroll, dvs. under nivågränsvärdet, om följande tre villkor är uppfyllda:

- Bakgrundshalten av respirabelt damm är låg (genom mätning kan påvisa att den ligger under t.ex. 0,1–0,2 mg/m³).
- Arbetsmoment där det förekommer förhöjda halter av respirabelt damm är kända.
- Åtgärder, t.ex. användning av andningsskydd, vidtas vid de dammande arbetsmomenten så att man säkerställer att exponeringen för kvarts begränsas.

Detta förutsätter att de åtgärder som vidtagits är effektiva, t.ex. att andningsskydd sluter tätt mot ansiktet och har rätt och väl fungerande filter.

Detta sätt att använda direktvisande instrument innebär att man finns på plats under arbetsdagen och bevakar om det förekommer dammande arbetsmoment, identifierar de dammande arbetsmomenten och utgående från det rekommenderar åtgärder som minskar exponeringen för damm inklusive kvarts.

Detta sätt att använda direktvisande instrument för mätning av respirabelt damm har testats i ett parallellt pågående projekt om referensmätningar för byggindustrin. Det projektet kommer att rapporteras i en separat rapport senare under 2019.

7 Slutsatser

På byggarbetsplatser, som är stadda i ständig förändring, finns ett behov av att kunna mäta kvartsexponeringen och snabbt få fram halten kvarts, dvs. snabb och enkel tillgång till analys av kvarts behövs.

En granskning har gjorts av de mätmetoder som finns och används och vi har även sökt analysmetoder som är under utveckling. Granskningen visar att den enda metod som i dagsläget är tänkbar för att snabbt mäta exponering är filterprovtagning och analys med ett portabelt FTIR-instrument. Ett sådant instrument kostar i storleksordningen 150 000 – 300 000 SEK.

En alternativ metod, som har mer fokus på att kontrollera exponering för höga dammhalter, bygger på användning av partikelinstrument. Dessa instrument kan användas för att mäta halten av respirabelt damm, vilket kan räknas om till en maximalt möjlig halt av respirabel kvarts. Med dessa instrument flyttas fokus från att mäta exponering för kvarts till att identifiera dammande arbetsmoment och vidta åtgärder för att minska exponeringen. Det finns flera olika typer av partikelinstrument i olika prisklasser, från cirka 50 000 SEK och uppåt. Denna typ av mätningar innebär att man behöver finnas på plats under hela mätningen för att kontrollera om det förekommer tillfälliga höga exponeringar för damm.

8 Referenser

- AFS 2015. Hygieniska gränsvärden. *Arbetsmiljöverket*.
- ARBETSMILJÖVERKET 2015. Kvarts - stendamm i arbetsmiljön, AFS 2015:2.
- ARBETSMILJÖVERKET 2018a. AFS 2018:1 Hygieniska gränsvärden. *AFS*.
- ARBETSMILJÖVERKET 2018b. Hygieniska gränsvärden.
- CAUDA, E. 2016. Advanced real-time and field-based approaches for monitoring respirable dust and crystalline silica in workplaces. PITTSBURGH MINING RESEARCH DIVISION.
- CAUDA, E., MILLER, A. & DRAKE, P. 2016. Promoting early exposure monitoring for respirable crystalline silica: Taking the laboratory to the mine site. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13, D39-D45.
- FARCAS D, L. T., CHISHOLM WP, SOO J-C, HARPER M 2016. Replacement of filters for respirable quartz measurement in coal mine dust by infrared spectroscopy. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13:2, D16-D22.
- LEE, T., LEE, L., CAUDA, E., HUMMER, J. & HARPER, M. 2017. Respirable size-selective sampler for end-of-shift quartz measurement: Development and performance. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 14, 335-342.
- LEVIN, J. O. 2000. *Principer och metoder för provtagning och analys av ämnen på listan över hygieniska gränsvärden*, Solna, Solna.
- MACIEJEWSKA, A. 2008. Occupational exposure assessment for crystalline silica dust: Approach in Poland and worldwide. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 21.
- MILLER, A. L., DRAKE, P. L., MURPHY, N. C., NOLL, J. D. & VOLKWEIN, J. C. 2012. Evaluating portable infrared spectrometers for measuring the silica content of coal dust. *Journal of Environmental Monitoring*, 14, 48-55.
- MILLER, A. L., WEAKLEY, A. T., GRIFFITHS, P. R., CAUDA, E. G. & BAYMAN, S. 2017. Direct-on-Filter alpha-Quartz Estimation in Respirable Coal Mine Dust Using Transmission Fourier Transform Infrared Spectrometry and Partial Least Squares Regression. *Appl Spectrosc*, 71, 1014-1024.
- SHERWOOD, R. J. & GREENHALGH, D. M. 1960. A personal air sampler. *The Annals of occupational hygiene*, 2, 127.
- SHIRDEL, M. 2018. *Measuring Occupational Dust Exposure with a Passive Sampler*. Umeå Universitet.
- SIS 2015. Arbetsplatsluft - Allmänna krav på metoder för mätning av kemiska ämnen.
- WEAKLEY, A. M., ARTHUR ; GRIFFITHS, PETER ; BAYMAN, SEAN 2014. Quantifying silica in filter-deposited mine dusts using infrared spectra and partial least squares regression. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 19, 4715-4724.

