



# rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

## Eldfasta fibrer kan vara farliga! En kunskapssammanställning

Bengt Christensson Annika Karlsson Klas Ancker

B1531

Oktober 2003



<b>Organisation/Organization</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	<b>RAPPORTSAMMANFATTNING</b> <b>Report Summary</b>
<b>Adress/address</b> Box 21060 100 31 Stockholm	<b>Projekttitel/Project title</b> Eldfasta keramiska fibrer - användning, exponering och åtgärder
<b>Telefonnr/Telephone</b> 08-08-598 563 00	<b>Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor</b>  <b>AFA</b>
<b>Rapportförfattare/author</b> Bengt Christensson Annika Karlsson Klas Ancker	
<b>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report</b> Eldfasta fibrer kan vara farliga! En kunskapssammanställning/Synthetic high temperature fibres can be dangerous! A knowledge compilation	
<b>Sammanfattning/Summary</b> <p>Eldfasta fibrer är ett begrepp som omfattar flera fibermaterial med olika kemi, hälsorisker och användningsområden. Det finns fibrer som orsakar cancer i djurförsök. I epidemiologiska studier har arbetare exponerade för aluminiumsilikatfibrer fått försämrad lungfunktion och pleura plaques. Aluminiumsilikatfibrerna är även misstänkta att ge cancer på människa. Det finns andra eldfasta fibrer som inte är misstänkta att vara cancerframkallande. Alla eldfasta isolerfibrer är hudirriterande.</p> <p>I rapporten avses med de fibrer som är avsedda för långvarig användning i temperaturer över 700°C. På många arbetsplatserna hanteras fibrerna utan kunskap om materialet och riskerna. Läs produktens säkerhetsdatablad. Där finns information om risker och behov skyddsutrustning.</p> <p>I Sverige har endast ett fåtal mätningar utförts. Vid hantering av eldfast syntetiska fibrer är exponeringar ofta över det hygieniska gränsvärdet.</p>	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords</b> Eldfasta fibrer, keramiska fibrer, fiberhalter, RCF, AES, fibre concentrations, high temperature fibre	
<b>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data</b> IVL Rapport/report B1531	
<b>Rapporten beställs via /The report can be ordered via</b> Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , e-post: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> , fax: 08-598 563 90, eller via IVL, Box 210 60, 100 31 Stockholm.	

**Innehållsförteckning**

Summary.....	2
1 Bakgrund.....	3
2 Historik.....	5
3 Eldfasta fibrer.....	7
3.1 Andra syntetiska oorganiska fibrer.....	10
3.2 Form och storlek.....	10
4 Egenskaper.....	11
5 Användning.....	13
5.1 Användningsområden.....	13
5.2 Förbrukning och antal exponerade.....	14
6 Hälsoeffekter.....	15
6.1 Hur påvisas hälsoeffekterna?.....	16
6.2 Hälsoeffekter av eldfasta fibrer.....	16
6.3 Bedömning av hälsoriskerna.....	18
7 Kriterier och metoder för exponeringsbedömningar.....	19
7.1 Kriterier.....	19
7.2 Mät- och analysmetoder.....	20
7.3 Dosbestämning.....	22
8 Exponeringsmätningar.....	23
8.1 Mätresultat, fiberhalter.....	23
8.2 Dosberäkningar.....	26
9 Diskussion med sammanfattning.....	26
10 Litteratur.....	27

## **Summary**

“Synthetic high temperature fibres” is a term used for various kinds of fibrous materials. Their health effects and use vary based on their chemical composition. This report describes different kinds of synthetic high temperature fibres, their use, and health effects from them. Also described are results from measurements of airborne concentrations in the working environment, which are compared to threshold limit values.

In the report, synthetic high temperature fibres are defined as heat resistant fibres that can be used at temperatures, above 700°C. This is a lower temperature limit than usual. This lower temperature limit was chosen as there are a lot of fibrous materials used for heat resistance purposes that can, and sometimes are, exchanged for each other among this group of fibres.

Refractory ceramic fibres (RCF) and some special glass fibres have been shown to cause cancer in animal tests. Epidemiological studies of workers exposed to RCF revealed decreased lung function and pleural plaques. Another synthetic high temperature fibre, calciumsilicate fibre, is more soluble in the lungs than the RCFs. Therefore this kind of fibre is less likely to cause cancer. All insulation high-temperature fibres are skin irritants.

In many workplaces, workers are handling these fibres without knowledge of the risks. However, information about the risks should be submitted in a material safety data sheet, which the supplier has to deliver together with the ceramic fibres. In the material safety data sheet, information about risks and the need for protective equipment shall be presented together with other information.

Only a few exposure measurements have been made in Sweden. Exposure to fibres during open handling of fire resistant fibres often exceeds the threshold limit value, which in Sweden is 1 fibre/ml. ACGIH has recommended a TLV of 0,2 f/ml.

# 1 Bakgrund

Inom IVL Svenska Miljöinstitutet pågår ett projekt om eldfasta syntetiska fibrer i arbetsmiljön. Bakgrunden till projektet är de publikationer under senaste femton åren som visar att vissa eldfasta fibrer kan ge nedsatt lungfunktion och sannolikt även cancer. Detta har skapat en stor oro om hälsoriskerna på flera arbetsplatser där eldfasta fibrer används. Projektet syfte är att beskriva användning, exponering och befintliga åtgärder.

Resultaten från projektet var tänkta att publiceras i en mer ingående slutrapport och fyra kortfattade broschyrer. Rapporten ges ut av IVL och broschyrerna av Prevent. På grund av debatten i media det senaste året har vi valt att publicera de inledande avsnitten till slutrapporten som en egen rapport. Kunskapssammanställningen beskriver eldfasta fibrers egenskaper, användningsområden, risker och tidigare utförda exponeringsmätningar. Eftersom denna rapport ligger utanför den ursprungliga planeringen är den bild IVL förmedlar inte fullständig. Rapporten gör inte anspråk på att vara vetenskapligt komplett eftersom vi inte har möjlighet bevaka all forskning på området. Det är inte ovanligt att motsägande forskningsresultat finns och detta gäller inte minst forskningen om syntetiska oorganiska fibrer. Trots begränsningar i den vetenskapliga bevakningen anser vi att rapporten ger vägledning för företag och deras anställda vid bedömning av riskerna vid hantering av eldfasta fibrer. Det som varit vägledande i vår beskrivning av riskerna, är den försiktighetsprincip som bör gälla när material hanteras där riskerna inte är helt klarlagda. Rapporten har sammanfattats i en broschyr som ges ut av Prevent. En strikt vetenskaplig bedömning av riskerna publiceras i ett kriteriedokument om syntetiska oorganiska fibrer som kommer att ges ut tidigast under hösten 2003 av Arbetslivsinstitutet.

I slutet av projektet (senast våren 2004) kommer IVL att publicera projektets slutrapport och Prevent att ge ut tre broschyrer inriktade på hanteringen av eldfasta fibrer inom olika branscher.

*På arbetsplatserna råder det ofta stor osäkerhet om riskerna vid hantering av de eldfasta fibrerna. Därför är rapporten inriktad på dessa fibrer och omfattar inte vanlig mineralull och glasull. I projektet avses med eldfasta fibrer de syntetiska fibrer som huvudsakligen används som isolerfibrer eller brandskydd där fibrerna långvarigt tål temperaturer över 700°C, d v s temperaturer där vanlig mineralull och glasull inte kan användas. Gränsen har valts för att få med alla temperaturtåliga fibrer, men inte vanlig glas- och mineralull. Observera att den valda temperaturgränsen för eldfasta fibrer i rapporten är betydligt lägre än vad som definierar ett eldfast material.*

Anledningen till valet av 700°C som undre temperaturgrens för eldfasta fibrer beror på att det även finns flera fiberprodukter som klarar denna gräns och har liknande användningsområden som de fibrer som normalt avses med begreppet eldfasta fibrer. Flera av dessa mindre värmeresistenta fibrer påminner om eldfasta fibrer till utseendet. För flera av dessa mindre värmetåliga fibermaterial saknar vi information om riskerna. Eftersom det inte kan uteslutas att fibrerna har en sammansättning som medför hälsorisker vid hantering har vi valt en temperaturgrens som innefattar även dessa fibrer. Rapportens tyngdpunkt ligger dock på de eldfasta fibrerna som är värmeresistenta över 1000°C.

När det gäller de eldfasta fibrernas hälsoeffekter redovisas de bedömningar som organisationer som EU, IARC, ACGIH, men även enskilda forskare gjort (förkortningarna förklaras senare i rapporten).

Projektet om eldfasta fibrer finansieras av AFA (för närmare presentation av AFA, se AFA:s hemsida [www.afa.se](http://www.afa.se)) och det operativa arbetet utförs av IVL. Projektet bedrivs i nära samarbete med en referensgrupp som består av

Maj-Britt Aava Hedlund	Prevent
Gabriella Balodis	Arbetsmiljöverket
Sture Bengtsson	Industrifacket
Lars-Erik Folkesson	Metallindustriarbetareförbundet
Britt Gottfridsson	Arbetsmiljöverket
Olle Hedvall	Holger Eldfast AB
Kjell Johansson	Byggnadsarbetareförbundet
Staffan Krantz	Arbetslivsinstitutet
Kenny Kvarnström	Industriföretagen
Anita Odefalk	Almega

## 2 Historik

Utvecklingen av eldfasta fibrer startade redan på 40-talet. På 50-talet blev de en kommersiell produkt [24]. Högtemperaturlånga syntetiska oorganiska silikat- och aluminiumoxidfibrer började användas industriellt i Sverige i mitten av 70-talet. Flera av de nya materialen tål högre temperaturer än asbest och började ersätta asbest redan innan asbesten avvecklades. I Europa producerades 1986 ca 16 000 ton eldfasta fibrer. 1991 hade siffran stigit till ca 40 000 ton. Eldfasta fibrer tillhör de produkter som ökar mest i världen. I Sverige finns ingen tillverkning av eldfasta fibrer.

I samband med den ökande kunskapen om asbestens farlighet ökade efterfrågan på andra fibermaterial. Eldfasta fibrer var ett av många ersättningsmaterial. De eldfasta fibrerna ersatte asbest på flera områden, t ex som isolering och packningar. Eftersom eldfasta fibrer ersatte asbest var det många arbetare som fick uppfattningen att de nya fibrerna var mindre farliga eller t o m "ofarliga ersättningsfibrer".

För att ge god isolering tillverkas mycket tunna eldfasta fibrer. En stor andel av isolerfibrerna är respirabla dvs har en diameter som är mindre än 3 µm (0,003 mm). För att klara hög temperatur och inte oxideras är de tillverkade av metalloxider och/eller kiseldioxid. De kan även tillverkas av silikater.

Asbestregleringen i Sverige har sitt ursprung i mitten på 60-talet. Under 70-talet utfärdade Arbetarskyddsstyrelsen nya anvisningar med strängare krav. Bakgrunden var risken för cancer och de dödsfall som redan orsakats av asbest. 1982 trädde det svenska förbudet i kraft mot användning, bearbetning och behandling av asbest, vilket innebar att övergången till asbestfritt material blev tvingande.

På 70-talet framkom i djurförsök att även andra oorganiska fibrer än asbest kunde ge cancer. Beroende på försöksmetodik, doser etc erhöles varierande resultat och en del av resultaten har ifrågasatts. Även eldfasta keramiska fibrer testades. I djurförsöken gav eldfasta fibrer av aluminiumsilikat (RCF, Refractory Ceramic Fibre; eldfasta keramiska fibrer på svenska) en högre grad av hälsopåverkan än de flesta andra testade fibrer. Även vissa specialglasfibrer gav stor hälsopåverkan. För vanlig glas- och mineralull har det genomförts epidemiologiska studier där det kunnat fastställas att vanlig glas- och mineralull inte ger ökad frekvens av lungcancer och mesoteliom (cancer i lungsäck och bukhinna). Slutsatsen är att vanlig mineral- och glasull vid normal användning kan hanteras som om de inte orsakade cancer. För specialglas och eldfasta fibrer är det brist på epidemiologiska studier. Tills vidare skall specialglas och eldfasta fibrer av aluminiumsilikat (RCF) betraktas som om de kan orsaka cancer.

När aluminiumsilikatfibrer blivit utsatta för temperatur kring och över 900°C kan de omvandlas till kristobalit, en form av kristallin kiseldioxid. Kristobalit kan orsaka både silikos och lungcancer.

Producenterna av eldfasta keramiska fibrer bildade 1979 en samarbetsorganisation ECFIA (European Ceramic Fibres Industri Association) för att samverka i frågor om hälsa, säkerhet och miljö. ECFIA initierade ett stort mätprogram "CARE" (Control And Reduction of Exposure) för att utvärdera exponering vid olika arbeten. Huvudsyftet är att minimera exponeringen. Programmet startade i Europa 1997. Även i USA, Australien och Asien pågår motsvarande arbete. ECFIA har i två studier studerat hälsopåverkan utan att kunna påvisa hälsoeffekter. Genom CARE och andra åtgärdsprogram förväntar ECFIA att arbetsmiljön blir så bra att eldfasta fibrer skall kunna hanteras utan risk för lungskador. Parallellt med uppföljningen av nuvarande eldfasta fibrer har alternativa eldfasta silikatfibrer utvecklats som inte innehåller aluminiumoxid. Dessa har låg biologisk påverkan genom hög löslighet i lunga. Tyvärr klarar de inte lika hög temperatur som aluminiumsilikatfibrerna, även om de klarar betydligt högre temperatur än vanlig glas- och mineralull. Om de lösligare fibrerna blir utsatta för hög temperatur kan det inte uteslutas att även de precis som aluminiumsilikatfibrerna kan omvandlas till kristobalit.

I Sverige har Arbetsmiljöverket gett ut en särskild föreskrift "Syntetiska oorganiska fibrer" [15] som bland annat reglerar hanteringen av eldfasta fibrer. Föreskriften revideras för närvarande och den reviderade versionen förväntas beslutas 2003 - 2004. Det finns även andra föreskrifter som har betydelse för bedömning av keramfiberarbetet t ex "Hygieniska Gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar" [16]. Denna föreskrift uppdateras regelbundet.

Producenterna är restriktiva i försäljningen av aluminiumsilikatfibrerna (RCF). Eldfasta keramiska fibrer (RCF) rekommenderas inte till konsumentprodukter. De nya lösligare eldfasta fibrerna säljs dock utan dessa begränsningar.

Representanter för producenterna av de eldfasta fibrerna har även uppvaktat myndigheter i olika länder bland annat i Sverige (så sent som 2002) för att informera om sin uppfattning om riskerna. I februari 2003 uppvaktade ECFIA också representanter för detta projekt. Tillverkarna har dock inte kunnat lägga fram dokument som medfört en ändrad syn på eldfasta fibrer av aluminiumsilikat (RCF). Viktiga organisationer och myndigheter, t ex ACGIH, WHO och EU har alla kommit till slutsatsen att det inte går att utesluta att bland annat aluminiumsilikatfibrer kan orsaka cancer hos människa. Utvecklingen idag går även mot lägre hygieniska gränsvärden. ACGIH har t ex nu samma gränsvärde för RCF som vi i Sverige har för asbest. De lösligare eldfasta fibrerna innefattas inte i RCF. Dessa betecknas CMS (Calcium Magnesium Silicate fibre) eller AES (Alkali Earth Silicate fibre). Precis som vanlig



mineral- och glasull orsakar CMS och AES inte cancer. På grund av de mindre riskerna vid normal hantering av CMS och AES brukar de även kallas mineralull. *För att undvika förväxling med vanlig mineral- och glasull och markera skillnad till andra eldfasta fibrer har vi i rapporten valt att kalla CMS och AES-fibrerna för eldfast mineralull eller lösligare eldfasta fibrer.*

### 3 Eldfasta fibrer

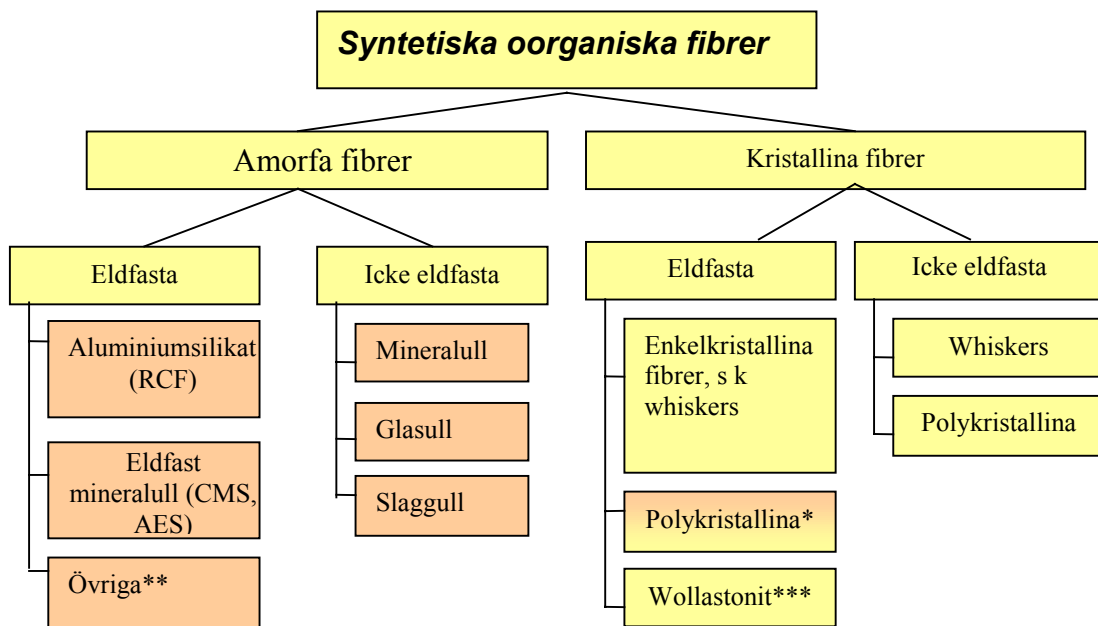
Keramiska material är material som normalt består av silikat, kiseldioxid, metalloxider, eller blandningar därav. Med eldfasta material avses material som klarar över ca 1500°C. Material som klarar högre temperaturer, ca 2000°C eller mer, kallas för högeldfasta. Material som tål mycket höga temperaturer består normalt av rena oxider, karbider eller nitrider. Oxiderbara material tål dock inte högre temperaturer om syre är närvarande.

*I flera texter avses med eldfasta keramiska fibrer (RCF) aluminiumsilikatfibrer. För att undvika denna begränsning till aluminiumsilikatfibrer har vi valt att benämna de temperaturtåliga fibrerna för eldfasta fibrer. En stor del av de fibrer som kallas eldfasta klarar dock inte 1500°C. I rapporten kallas de fibrer som långvarigt klarar högre temperaturer än 700°C för eldfasta fibrer. Gränsen har valts eftersom den skiljer de temperaturtåliga fibrerna från vanlig mineralull och glasull.*

Eldfasta fibrer och andra tillverkade oorganiska fibrer kan sammanfattas under begreppet syntetiska oorganiska fibrer (några exempel ses i figur 1) för att skilja dem från naturliga oorganiska fibrer, t ex asbest. Ibland brukar silikat- och metalloxidfibrer som tillhör gruppen syntetiska oorganiska fibrer benämnas keramiska fibrer. De vanligaste keramfibermaterialen är de inte eldfasta materialen mineral- och glasull.

Syntetiska oorganiska fibrerna brukar kallas "MMMF" (man made mineral fibres). Ibland ses begreppet "MMMVF" där V står för vitreous (avser amorf silikat). MMMVF är en undergrupp till MMMF. Ibland förekommer begrepp som "SVF" (synthetic vitreous fibres) och "SMF" (synthetic mineral fibres). SVF omfattar eldfasta silikatfibrer, kvartsglas, glasull (E-glas, C-glas AR-glas, S-glas mm), vanlig mineralull (stenull, diabasull mm) och slaggull. SMF omfattar alla syntetiska mineralullsfibrer precis som MMMF. I figur 2 beskrivs översiktligt den kemiska sammansättningen för flera typer av SVF.

Huvuddelen av de eldfasta fibrerna är amorfa (glasartade) precis som vanlig mineral- och glasull d v s glasartade oorganiska silikatfibrer.



Anmärkning: \*Vissa polykristallina fibrer användas bland annat som isolerfibrer, t ex aluminiumoxid.

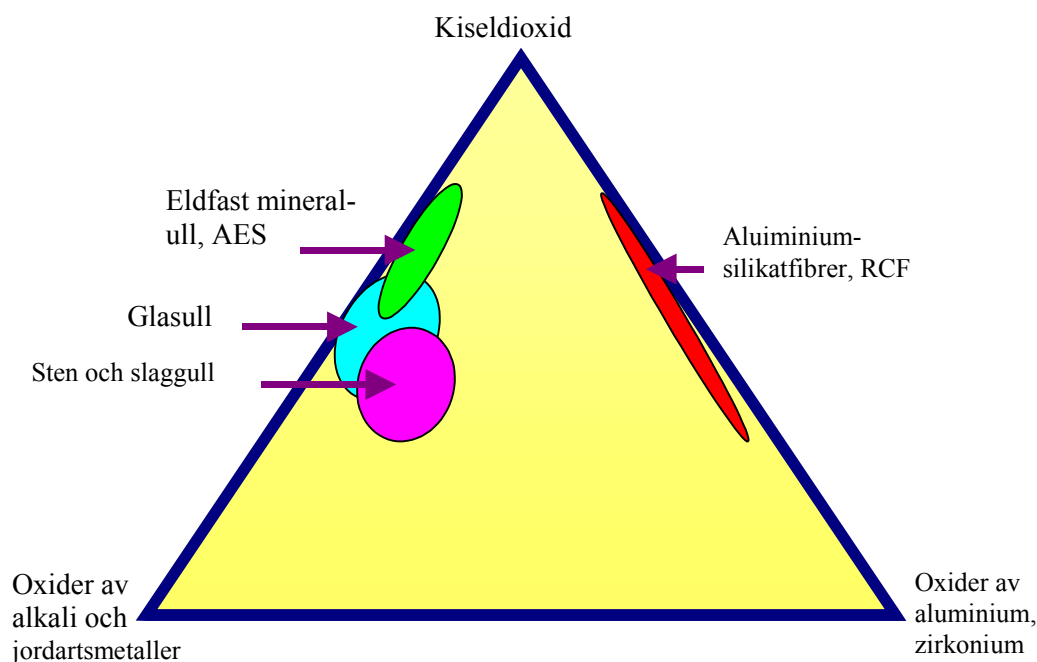
\*\*Det finns åtskilliga fibrer med olika sammansättning där vissa är eldfasta, en stor grupp ofta glasartade fibrer av olika sammansättning.

\*\*\*Finns även naturligt

Figur 1. **Syntetiska** oorganiska fibrer. Figuren är inte fullständig - utan skall ses som en mycket grov översikt där åtskilliga material saknas. Material som används som isolerfibrer har markerats med mörkare bakgrund. Med eldfasta fibrer avses fibrer som tål hög temperatur i luft.

Det finns en grupp fibrer som klarar olika temperaturer i intervallet 700 - ca 1000°C. Här finns diverse olika främst glasartade fibrer där man med olika tillsatser förbättrat temperaturlågheten. Fibrerna beskrivs som fibrer av specialglas, silikatfibrer, kvartsglas och kiseldioxid.

Eldfast mineralull (CMS, AES) löses upp relativt snabbt i kroppsvätska efter inandning. CMS (AES) utvecklades som ett resultat av debatten om riskerna för cancer vid exponering för eldfasta keramiska fibrer (RCF). Under de senaste åren har eldfast mineralull (CaO+MgO ca 35% och SiO<sub>2</sub> ca 65%), ökat kraftigt och tagit stora marknadsandelar från andra eldfasta fibermaterial. De klarar höga temperaturer och kan ersätta RCF-fibrer i många applikationer.



Figur 2. Den kemiska sammansättningen hos några olika SVF [19].

Ett av de vanligaste eldfasta fibermaterialen är aluminiumsilikat (RCF). Med det engelska begreppet RCF avses i regel aluminiumsilikatfibrer. På senare år har begreppet RCF använts i Sverige. Aluminiumsilikatfibern tillverkas av kaolinlera eller kiseldioxid och aluminiumoxid. Proportionerna mellan SiO<sub>2</sub> och Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varierar något, men är ofta ca 50 - 50%. Den mest använda fibern är amorf. Genom tillsats av zirkonium (ca 15%), en mindre ökning av kiselandelen och minskning av andelen aluminium erhålls en fiber som klarar högre temperaturer.

En annan vanlig eldfast fiber är aluminiumoxidfibrer (ca 95% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Denna fiber är normalt polykristallin och klarar ännu högre temperaturer än RCF. Vid lägre

temperaturer än vad RCF klarar används även eldfasta fibrer av smält kvarts ofta med tillsatser av olika metalloxider. Andra polykristallina fibrer är kiselkarbid, zirkoniumoxid och aluminiumborosilikat.

### 3.1 Andra syntetiska oorganiska fibrer

Whiskers består av enkristallina karbider, nitrider eller oxider. De används som förstärkningsfibrer i keramiska skär och metallkompositer. Exempel på vanliga whiskersmaterial är kiselkarbid och aluminiumoxid. Andra är kiselnitrid och kaliumtitanat.

En fiber med stor spridning är wollastonit (kalciumsilikat). Fibern som är kristallin finns både som syntetisk och i naturlig form. Fibrerna används bland annat vid tillverkning av stål och vid industriell porslinsstillverkning.

Det finns även fibrer av grafit- och kol. Dessa används huvudsakligen som förstärkningsfibrer vid tillverkning av högpresterande produkter i hårdplast, t ex detaljer till sportbilar och flygplan. Tidigare fanns endast kontinuerliga kolfibrer med diametrar över 6  $\mu\text{m}$ . På senare år har det även tillverkats tunnare långa kolfibrer.

Det finns åtskilliga andra keramiska fibermaterial som har mer eller mindre smala användningsområden, några exempel: boroxid, bornitrid, titankarbid, titanoxid och kaliumtitankarbid.

### 3.2 Form och storlek

När risken för lungsjukdom på grund av fiberexponering skall bedömas är fibrernas diameter av största vikt. Endast fibrer tunnare än ca 5  $\mu\text{m}$  når lungornas yttersta förgreningar och lungblåsor. Fibrer med diameter över ca 10  $\mu\text{m}$  avskiljs i de övre luftvägarna, d v s de når inte lungorna.

Fibrer tillverkas i olika bredd och längd beroende på applikation och tekniska möjligheter. Fiberdiametern är viktig eftersom isoleringsförmågan ökar med minskad diameter. Även fiberlängden har betydelse för isoleringsförmågan. Tillverkarna använder sig därför av ett längdviktat mått på diametern. Vid bedömning av arbetsmiljön studeras endast fibrernas diameter. Denna diameter benämns som den projicerade diametern. Detta innebär att man måste vara observant på vilken diameter som beskrivs. Vid tillverkning av isolerull erhålls normalt fibrer där de smalaste har projicerade diametrar mindre än 0,5  $\mu\text{m}$  och de tjockaste över 10  $\mu\text{m}$ . Fibrernas längd kan variera från mindre än 10  $\mu\text{m}$  till över 1 dm. Detta gäller isolerull av de flesta material, t ex glas, sten, aluminiumsilikat och eldfast mineralull. För vissa

glasfiberprodukter t ex i vissa filter är diametern betydligt mindre, ibland i storleksordningen bara några tiondels  $\mu\text{m}$ .

För textila produkter och förstärkning av härd- och termoplaster används normalt kontinuerliga fibrer av glas som ibland klipps ned till längder från några cm upp till några dm. De kontinuerliga fibrerna tillverkas med en viss diameter där andelen fibrer som avviker kraftigt från medeldiametern är mycket liten. Andra exempel på oorganiska kontinuerliga fibermaterial är diabas och kol. Fibrerna brukar ofta tillverkas i diametrar från ca 6  $\mu\text{m}$  och upp till ca 15  $\mu\text{m}$ . Det finns dock exempel på tunnare kontinuerliga fibrer, t ex glasfibrer (till hörseldun) och kolfibrer.

Whiskers är små mycket tunna kristallina fibrer. Andra små mycket tunna fibrer är mikrofibrer som är glasliknande fibrer med längdviktad diameter  $<1 \mu\text{m}$  eller väldigt tunna organiska textilfibrer [24].

På senare år har det även tillverkats ännu mindre fibrer än whiskers s k nanofibrer. Fibrernas diameter är i storleksordningen nm ( $1 \text{ nm} = 0,000001 \text{ mm}$ ). Det finns även ihåliga nanofibrer som brukar benämnas nanotuber. Dessa material förväntas få stor betydelse i framtiden bland annat vid miniatyriseringen av elektroniska produkter. Huvudsakligen har nanofibrer tillverkats av kol. Eftersom kol lätt oxideras är kolfibrer inte eldfasta.

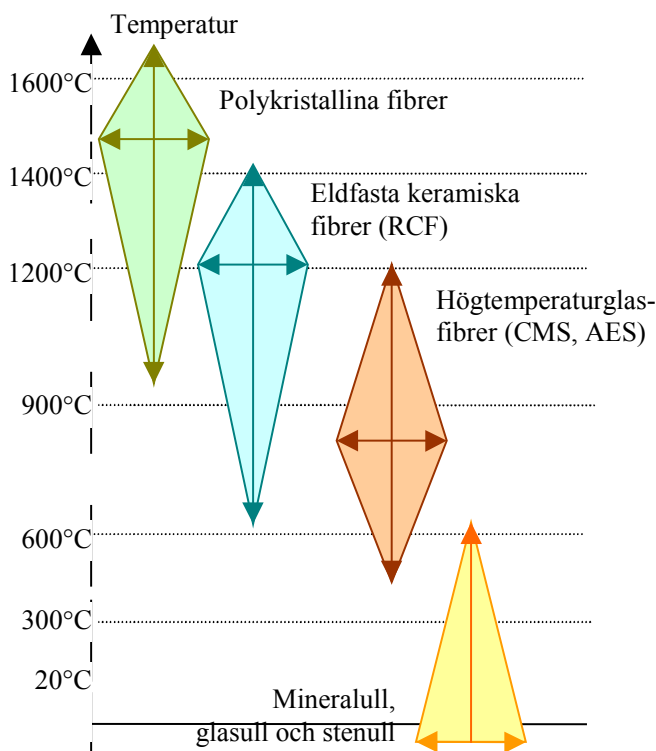
Wollastonit-fibrer är av storleksordningen några  $\mu\text{m}$  i diameter och upp till 1 cm i längd.

## 4 Egenskaper

Eldfasta fibermaterial är i denna rapport en sammanfattande benämning på fibermaterial som tål högre temperatur än  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ . De olika fibrerna används inom olika temperaturområden. I figur 3 ses en grov sammanställning av de temperaturintervall som gäller för olika fibermaterial [26]. Uppgifter om temperaturintervallen varierar för de eldfasta fibrerna. Antagligen beror det på faktiska variationer i sammansättning för olika produkter. Genom att ändra andelarna av aluminiumoxid, kiseldioxid och olika andra tillsatta metalloxider förändras den eldfasta fibrernas egenskaper bland annat med avseende på temperaturbeständighet och löslighet (figur 3). Av figuren framgår att vanliga mineralullsfibrer inte klarar temperaturer över  $700^\circ\text{C}$ .

Fibrer av huvudsakligen kvartsglas kan vid användas i temperaturer upp till ca  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . De nya lösliga eldfasta fibrerna klarar temperaturer upp till ca  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  d v s nästan samma temperaturer som aluminiumsilikatfibrerna (ca  $1300^\circ\text{C}$ ). Med tillsatser av t ex zirkoniumoxid kan aluminiumsilikatfibrerna användas vid högre temperaturer (ca  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Vid ännu högre temperaturer kan polykristallina fibrer användas (ca  $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Aluminiumoxidfibrer är en vanlig polykristallin fiber som till mer än 95% består av aluminiumoxid (ca 1600°C). De polykristallina aluminiumoxidfibrerna är inte "vitreous fibres" d v s inte MMMVF och SVF. Aluminiumfibrer finns även som whiskers d v s små enkristallina fibrer.



Figur 3. Olika keramiska fibrers temperaturområden. Observera att andra temperaturområden kan förekomma för enskilda produkter ofta genom små ändringar i sammansättningen. Bredden syftar på den temperatur där materialet främst används.

Eftersom syntetiska eldfasta fibrer till stor del har samma tekniska och kemiska egenskaper som asbest blev många oroliga för att även dessa fibrer skulle kunna ge cancer. Det finns dock också skillnader i egenskaperna hos asbest och syntetiska eldfasta fibrer. De eldfasta fibrerna tål mycket högre temperaturer än asbest. Ingen asbest klarade temperaturer över 1000 °C. Asbest består av kristallina fibrer medan eldfasta fibrer normalt består av amorfa fibrer. Vid bearbetning kan både asbest och eldfasta fibrer brytas till allt kortare fibrer, som lättare kan bli luftburna. Eldfasta fiber går dock inte sönder på längden till skillnad från asbest som lätt delas på längden i allt tunnare fibrer (s k fibriller). Det medför att vid bearbetning blir de syntetiska eldfasta fibrerna inte tunnare till skillnad från asbest. Exponeringen för framför allt mycket tunna fibrer bör bli betydligt mindre vid arbete med syntetiska fibrer än med asbest vid samma bearbetning.

Mycket damm bildas dock även när eldfasta fibrer bearbetas, d v s när fibrerna bryts till mindre fragment. En anledning till hög dammbildning är att ofta används endast lite eller inget bindemedel i högtemperaturprodukter vilket gör dem betydligt mer dammande än vanlig glasull och mineralull som båda innehåller bindemedel. Efter att

ha varit utsatt för hög temperatur under lång tid blir materialet sprödare. Sprödheten beror på materialets sammansättning, fiberstorlek, tid vid hög temperatur och hur hög temperaturen varit.

Under lång tid vid temperaturer vid ca 900 °C och högre kan det även finnas risk för att fibrer som innehåller silikater eller kiseldioxid helt eller delvis kristalliserar. Bland annat kristobalit har påvisats i isolermaterial (RCF) vid ugnsrivning. Kristobalit är en form av kristallin kiseldioxid. Hur mycket kristobalit som bildas beror på temperatur och hur länge som fibern varit utsatt och fiberns kemiska sammansättning. Misstanke finns att även den lösligare CMS (AES) delvis kan omvandlas till kristobalit. CMS (AES) innehåller dessutom en högre andel SiO<sub>2</sub> (ca 65%) än t ex aluminiumsilikatfibern (ca 50% SiO<sub>2</sub>).

## 5 Användning

### 5.1 Användningsområden

De eldfasta fibrerna har många användningsområden, men de används mest som energibesparande isolering vid temperaturer där mineralull och glasfiber på grund av den höga temperaturen inte kan användas. Isolering används även som brandisolering / brandtätning. Energibesparingen av heta processer kan uppgå till 50 % genom isolering med eldfasta fibrer.

De eldfasta fibrerna säljs som filter, mattor, skivor, papp, isolerflätor, tätningsmassa och lös fibrer. På internet kunde följande förslag på användningsområden återfinnas på tillverkarnas hemsidor:

- ugnsisoleringar i allt från smältverk, glasbruk, varmhållningsugnar till pizzaugnar,
- isolering av braskaminer och i spisar med keramiska hällar,
- isolering i värmekraftverk och sopförbränning,
- isolering av sodapannor och mesaugnar,
- ugnsisolering i tegelbruk och porslinsindustri.
- fartygsisolering som flamskydd och isolering i avgassystem,
- filter och isolering i kemisk industri,
- isolering och värmeskydd i flyg- och rymdtröstning,
- isolering av behållare för brandfarligt eller radioaktivt material.
- sjunkboxar mm på gjuterier och smältverk,
- skorstensisolering och tätning,
- rörisolering,
- isolerskivor,
- brandskydd,

- brandskydd av känsliga behållare,
- flamskydd,
- flamskyddsfärger,
- värmeskydd och filter i avgassystem,
- värmare,
- packningar,
- filtermedia,
- filter i krockkuddar,
- i syregeneratorer,
- bullerdämpningspaneler vid höga temperaturer,
- elektriska komponenter,
- svetsdukar och svetshandskar, och
- avancerade kompositer (bland annat i fiberförstärkta metaller).

## 5.2 Förbrukning och antal exponerade

I projektet har vi inte lyckats finna bra uppgifter om förbrukningen av eldfasta fibrer i Sverige.

En grov skattning av världsförbrukningen är 200-300 kton/år. Antalet dagligen exponerade i Europa skattas till 25 000 arbetare [23]. Med exponerade avses här de arbetare som hanterar eldfasta fibrer öppet. De som hanterar produkter innehållande eldfasta fibrer t ex en ugnslucka eller monterar packningar är inte medräknade. I alla led under materialets väg från tillverkning till deponi och när fibermaterialet sitter monterat finns personal som kan exponeras i mindre omfattning. Dessa lågexponerade personer är betydligt fler än de som öppet hanterar fibrerna.

Eftersom förbrukningen av eldfasta fibrer i Sverige inte är känd blir skattningen av antalet exponerade mycket osäker. En grov skattning av hur många som hanterar materialet öppet nästan dagligen är 500 - 1000 personer. ECFIA har bedömt antalet dagligen exponerade i Sverige till ca 400 personer [23]. De exponerade återfinns huvudsakligen inom följande områden:

- Isolerare, det finns några större isoleringsföretag med anställda på flera orter. De är även exponerade för glas- och mineralull. Enligt uppgift från ett av de större isoleringsföretagen i Sverige har de ca 250 isolerare (av totalt ca 500) som ibland eller ofta arbetar med eldfasta fibrer. Huvuddelen, kanske 95% av de använda fibrerna är av lösligare eldfasta fibrer (eldfast mineralull) [22]. Vid omisolering byts aluminiumsilikatfibrerna ut mot eldfast mineralull om så är tekniskt möjligt. Det medför att andelen hanterad aluminiumsilikat minskar successivt.



- Ugnsmurare. På de flesta arbetsplatserna (smältverk och gjuterier) finns det ca två murare. På större smältverk kan de vara fler. Vid större omisoleringar hyrs ofta entreprenörer in för att utföra arbetet.
- Installatörer som installerar eldfasta fibrer i ventilation från ugnar, värmeanläggningar, processenheter mm.

Industri- och metallarbetare kan komma i kontakt med eldfasta fibrer i samband med varuproduktion. Direkt kontakt kan ske vid tillverkning av produkter som innehåller eldfasta fibrer t ex packningar, spisar, kaminer, instrument etc. Antalet direkt exponerade per företag kan variera mycket men ofta är det inte fler än ca tre personer. Flera av dessa yrkesgrupper, främst isolerare, ugnsmurare och installatörer har ofta exponerats för asbest tidigare.

På arbetsplatserna tillkommer sedan driftspersonal, städpersonal och reparatörer som under kortare perioder kan komma i kontakt med de eldfasta fibrerna.

Även privatpersoner och de som skall ta hand det uttjänta materialet kan utsättas för viss exponering. Dessutom är de sannolikt ovetande om exponeringen.



Bild 1. Eldfasta keramiska fibrer finns i många produkter. På bilden en sönderslagen keramisk spishäll. Eftersom plattan är sönderslagen syns de fyra plattornas spiralformade värmetrådar. I denna spis ligger varje värmetråd i en skål av eldfasta fibrer.

Bild: Anders Pålsson, Stenametall, Halmstad

## 6 Hälsoeffekter

Erfarenheter och den oro som är kopplad till exponering för respirabla fibrer baseras huvudsakligen på erfarenheterna av asbest. Med respirabla fibrer avses fibrer tunnare än 3  $\mu\text{m}$ . Detta medför att man i studier av andra respirabla fibrer är särskilt observant om fibrerna har liknande hälsoeffekter som respirabla asbestfibrer, d v s lungfunktionsnedsättning, fibros, lungcancer, lungsäckscancer (mesoteliom) och pleural plaques.

Stora epidemiologiska studier av vanlig glas- och mineralull har genomförts i Sverige och Europa. Ingen ökad risk för cancer har kunnat påvisas.

Många syntetiska fibrer är i betydligt högre grad än t ex asbest mekaniskt irriterande på hud, övre luftvägar och ögon. Den mekaniska irritationen orsakas huvudsakligen av fibrer med diametrar över 5 µm.

## 6.1 Hur påvisas hälsoeffekterna?

För att kunna bedöma risker bör varje fibermaterial testas med avseende på fysikaliska och kemiska parametrar (morfologi, löslighet, kemi och dos), screeningtester in vitro och in vivo, långtids inhalationstester och uppföljande med epidemiologiska studier [1].

Den toxikologiska utvärderingen tar lång tid och många material börjar användas innan full kunskap erhållits om riskerna. Trots trettio års användning av flera eldfasta fibermaterial, djurförsök och ibland epidemiologiska studier är kunskapen om hälsoriskerna fortfarande inte tillräcklig.

De fysikaliska och kemiska parametrar som är viktiga i bedömningen av fibrers hälsopåverkan vid inandning är följande:

- **Formen.** Från asbest är erfarenheten att långa tunna fibrer sannolikt är farligast (s k "Stantonfibrer" längd >8 µm och fiberdiametrar <1,5 µm). Mycket långa tunna fibrer är mindre vanliga bland eldfasta fibrerna om man jämför med asbest.
- **Lösligheten.** Cancer från fibrer anses orsakas av fibrer med lång uppehållstid i lungan. Har fibrerna hög löslighet blir uppehållstiden i lungan kort och risken för cancer minskar.
- **Kemin** och ytkemin hos fibrerna. Ytkemin kan ha stor betydelse. Hur kemin inverkar är för närvarande okänt.
- **Dosen,** d v s inhalerad mängd fibrer. Det har sannolikt betydelse hur man exponeras, t ex höga halter under kort tid eller lägre halter under lång tid.

Ovannämnda faktorer är mycket viktiga, men trots detta kan man inte med säkerhet bedöma riskerna vid exponering eftersom vi inte har någon tillfredsställande kunskap om de bakomliggande mekanismerna som medför att vissa fibrer orsakar fibros och cancer medan andra fibrer inte gör det.

## 6.2 Hälsoeffekter av eldfasta fibrer

De eldfasta fibrerna för isoleringsändamål är huvudsakligen respirabla, d v s så tunna att de vid inandning kan deponeras i lungornas yttersta förgreningar och lungblåsorna.

Indikationer på cancerrisken kan man få från djurförsök. I flera djurförsök där råttor och hamster inandats aluminiumsilikat (RCF) under lång tid har det kunnat konstateras att

eldfasta keramiska fibrer (RCF) kan orsaka fibros, lungcancer och lungsäckscancer (mesoteliom) [2, 3]. Resultaten har dock ifrågasatts och det finns andra studier som tyder på att riskerna kan ha överskattats [4].

Fibrer i lungan hos avlidna barn studerades i USA [6]. 1 g torr lungvävnad innehöll 1300 000 fibrer. Över hälften av fibrerna var asbest. Andra vanliga fibrer var syntetiska fibrer och talk. Även aluminiumsilikatfibrer var vanliga. Glesbygdsboendes lungor hade ungefär halva antalet fibrer jämfört med boende i tätbefolkade områden. Det framgår inte om aluminiumsilikatfibrerna härrör enbart från naturliga källor (leror, mullit) eller om även eldfasta keramiska aluminiumsilikatfibrer ingår.

Försämrad lungventilation har konstaterats hos arbetare som tillverkar eldfasta keramiska fibrer (RCF). Den försämrade lungventilationen kunde enbart konstateras om man även var eller hade varit rökare [7, 25].

Studier av arbetare exponerade för eldfasta keramiska fibrer (RCF) visar på ökad förekomst av pleural plaques [8, 9]. Rossiter et al är dock skeptisk till att fibrerna var den huvudsakliga eller enda orsaken till lungförändringarna [9].

Kristobalit kan bildas vid långvarig upphettning av aluminiumsilikat (RCF) till över 900°C. Det kan inte uteslutas att även andra silikatfibrer kan bilda kristobalit (MMMVF (SVF), AES, CMS). Kristobalit är en form av kristallin kiseldioxid som vid inandning kan orsaka silikos och lungcancer. I djurförsök har dock cancer inte kunnat påvisas av upphettad aluminiumsilikat (RCF) [5]. Detta kan bero på kristallstrukturen hos den bildade kristobaliten [31].

Vissa glasartade specialfibrer med låg andel alkali- och jordartsmetaller har orsakat cancer i djurförsök.

De medicinska effekter som konstaterats för aluminiumsilikat (RCF) vid djurförsök och epidemiologiska studier har inte kunnat konstateras för polykristallina aluminiumoxidfibrer. De polykristallina fibrerna har dock inte testats i motsvarande omfattning som aluminiumsilikatfibrerna (RCF).

Inga hälsoeffekter har rapporterats från försök med eldfast mineralull (CMS, AES).

Fibrer med diametrar >5 µm är mekaniskt irriterande på hud. Fibrerna är även irriterande i övre luftvägar och ögon [10]. Deponerade fibrer ger skada på slemhinna och påverkar ytskiktet på ögats tårfilm [15]. Irritativa besvär finns rapporterade redan vid mycket låga halter av luftburna fibrer (<0,1 f/ml).

I keramfibertillverkarnas uppföljningsprojekt "CARE" har inte någon lungskada kunnat konstateras som kan kopplas till eldfasta fibrer [23, 24]. Projektet är dock inte inriktat på epidemiologi.

Ännu har ingen förhöjd cancerrisk eller fibros kunnat påvisas på människa efter exponering för eldfasta fibrer, dvs det slutgiltiga beviset på förhöjd cancerrisk eller fibrosrisk saknas. En orsak kan vara att det ofta dröjer 30 år eller mer innan den som exponerats eventuellt insjuknar i cancer eller får diagnosen fibros.

### 6.3 Bedömning av hälsoriskerna

IARC (International Agency for Research on Cancer, en organisation inom WHO) värderar forskning om olika ämnen kan orsaka cancer. De klassar materialen i fyra kategorier beroende på funna bevis på samband:

- Kategori 1. Ämnen som kan ge cancer hos människa. Det finns tillfredsställande bevis för samband mellan exponering och förekomst av cancer.
- Kategori 2A. Ämnen som sannolikt kan orsaka cancer hos människa.
- Kategori 2B. Ämnen som möjligen kan orsaka cancer hos människa.
- Kategori 3. Ämnen som inte kan klassificeras att de kan orsaka cancer hos människa.
- Kategori 4. Ämnen som sannolikt inte orsakar cancer hos människa.

IARC har klassificerat eldfasta keramiska fibrer (RCF) och vissa specialglas (E-glasfibrer och 475-glasfibrer) i grupp 2B. De flesta MMMVF (Isolerglasull, kontinuerliga glasfibrer, mineralull och slaggull) har klassificerats i grupp 3 [11].

EU och Kemikalieinspektionen har en liknande klassning som IARC när det gäller cancer med följande tre kategorier[12, 13]:

- Kategori 1. Ämnen som kan ge cancer hos människa. Det finns tillfredsställande bevis för samband mellan exponering och förekomst av cancer.
- Kategori 2. Ämnen som skall betraktas som om de kan orsaka cancer hos människa. Det finns tillfredsställande bevis för att kunna förutsätta att exponering kan orsaka cancer baserat på långtids djurförsök och/eller annan relevant information.
- Kategori 3. Ämnen som möjligen kan orsaka cancer hos människa, men det finns ingen adekvat tillgänglig information för ett tillfredsställande ställningstagande. Det kan finnas enstaka bevis från djurstudier, men det är otillräckligt underlag för att placera substansen i kategori 2.

EU har klassificerat syntetiska glasaktiga (silikat) fibrer (MMMVF, SVF) i kategori 2 (kategori 2, R49, Xi, R38) och 3 (kategori 3, R40, Xi, R38) efter innehållet av oxider av

alkalimetall och alkaliska jordartsmetaller ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{BaO}$ ). Överstiger halten eller är lika med 18% klassificeras fibrerna i grupp 3 och vid lägre halter i grupp 2. [13]. R49 anger att substansen kan ge cancer vid inandning, Xi irriterande, R38 irriterande på hud och R40 misstänkt cancerogen. EU:s klassificering gäller under förutsättning av substansen innehåller minst 0,1% keramiska fibrer. Ämnen behöver dock inte klassificeras som cancerogen om fibrerna är större än  $6\ \mu\text{m}^1$  eller uppfyller andra kriterier som visar att ämnet inte orsakar cancer [13].

EU klassificerar är de eldfasta keramiska fibrerna (RCF) i kategori 2. De lösligare eldfasta fibrerna (eldfast mineralull, AES) är inte klassificerade som cancerogena.

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) har även de klassificerat olika ämnen enligt en egen indelning. Till skillnad från IARC klassas SVF (MMMF) i tre kategorier A2 (misstänkt att orsaka cancer på människa; RCF), A3 (orsakar cancer hos djur med okänd relevans för människa; glas-, sten och slaggull) och A4 (ej klassificerad som att orsaka cancer på människa; Kontinuerliga glasfibrer) [29].

*Observera att när eldfasta fibrer (SVF, MMMVF) som innehåller silikater upphettas till över  $900^\circ\text{C}$  kan det finnas risk för att kristobalit bildas. IARC har klassificerat kristobalit i kategori 1 [30].*

## 7 Kriterier och metoder för exponeringsbedömningar

Eftersom misstanke finns att vissa eldfasta fibrer orsakar cancer hos människa rekommenderas internationellt att utöver själva exponeringsmätningen skall även personens tidigare exponering beskrivas tillsammans med persondata och hälsostatus samt att dokumentationen sparas tillsammans med personuppgifter under 40 år. Tillverkarna rekommenderas exponeringsmätning en gång/år om man inte sedan tidigare har god kännedom om exponeringen [18].

### 7.1 Kriterier

Arbete med oorganiska syntetiska fibrer regleras i Sverige med en särskild föreskrift [15]. Det föreskrivs bland annat mätningar för kristallina fibrer en gång per år om halten ligger över halva gränsvärdet. En revidering av föreskriften pågår för närvarande.

---

Anm 1:EU har satt en gräns där ämnen inte behöver cancerklassas om diametern är större än eller lika med  $6\ \mu\text{m}$ . Här avses den nominell diameter; vilket ursprungligen är en materialteknisk parameter där värdet avser den längdviktade geometriska genomsnittliga diametern. Kravet för att inte bli föremål för eventuell cancerklassning är bland annat att den uppmätta nominella diametern minus två standardavvikelser är större än  $6\ \mu\text{m}$ . Endast tunnare fibrer bedöms kunna orsaka lungskador vid inandning. Isolerfibrer är i regel tunnare än EU:s gräns på  $6\ \mu\text{m}$ .

Kriterierna för exponeringsbedömning är inriktad på de tunna fibrer som är tillräckligt små för att kunna nå lungornas minsta förgreningar och lungblåsor, d v s de tunna fibrer som kallas respirabla fibrer. Huvudkriterierna för att fibrerna i luftprov skall räknas framgår av tabellen nedan.

Längd	Större än 5 $\mu\text{m}$
Diameter	Mindre än 3 $\mu\text{m}$
Längd/Diameter Förhållande	Större än 5

De angivna måtten avser de mått som fibrerna har i optiskt mikroskop eller elektronmikroskop. I de flesta länder används längd/bredd-förhållandet  $>3/1$  istället för  $>5/1$ . Internationellt rekommenderas förhållandet  $>3/1$ .

I Sverige är det hygieniska gränsvärdet för exponering för respirabla syntetiska oorganiska fibrer under en hel arbetsdag 1 f/ml. Detta gränsvärde ses över för närvarande. Gränsvärdet gäller för alla syntetiska oorganiska respirabla fibrer [16]. I Västeuropa förekommer idag gränsvärden mellan 0,25 och 2 f/ml. Vanliga gränsvärden är 0,5 och 1,0 f/ml. ACGIH (amerikansk yrkeshygienisk organisation) rekommenderar 0,2 f/ml för eldfasta keramiska fibrer (RCF) [29] d v s samma gränsvärde som Sverige har för asbest.

De tjockare fibrerna är irriterande på hud, ögon och övre luftvägarna. Gränsvärden för fibrer med diametrar över 3  $\mu\text{m}$  har diskuterats, men för närvarande finns inga fibergränsvärden i Sverige. Här gäller gränsvärdet för oorganiskt totaldamm 10  $\text{mg}/\text{m}^3$  [16].

## 7.2 Mät- och analysmetoder

Luftprov för fiberhaltsbestämning tas med ett särskilt filter av blandade cellulosaestrar. Filtret är anslutet till en batteridriven pump [20]. Filtrens pordiameter är 0,8  $\mu\text{m}$ . Avskiljningsgraden för 0,3  $\mu\text{m}$  stora partiklar är bättre än 99,99 %. Prov för räkning i SEM tas på filter av polykarbonat med pordiametern 0,1  $\mu\text{m}$ . Under provtagningen är filtret placerat på arbetstagarens axel. Den provtagna volymen bestäms med flödesmätare och klocka. Normalt provtagningsflöde är 2 l/min. Vid utvärdering av arbetstagares fiberexponering bestäms antalet respirabla fibrer/ml luft. Fibrerna räknas normalt i ett ljusmikroskop vid ca 500 gångers förstoring (bild 2). För att tydliggöra tunna fibrer används ljusmikroskop med faskondensor.



Bild 2. Luftprov taget med provtagningsutrustning buren av en ugnsmurare i samband med isolering av en smältugn med eldfasta keramiska fibrer (RCF). De "svarta långa strecken" är keramiska fibrer. Bilden tagen i ljusmikroskop vid 100 gångers förstoring.  
Bild: Lennart Lundgren (ITM).

För att kunna räkna fibrerna överförs en del av filtret till ett objektsglas och görs transparent med acetonångor. Om den provtagna mängden är för stor kan inte mikroskopisten särskilja fibrerna eller fibrer dolda av andra partiklar. Provtas för lite fibrer blir värdet osäkert på grund av få räknade fibrer. Den som provtar fibrer måste därför bedöma när lagom provmängd är tagen och då byta filter. Tyvärr kan ibland korta dammande moment förekomma och den som provtar kanske inte är förberedd på detta. Provtagna när det är som högst fiberhalt kan kanske inte räknas. Andra prov när halten är lägre räknas. Baseras redovisningen enbart på de prov som kunde räknas redovisas en för låg total fiberhalt. Tyvärr är det mycket vanligt att enstaka filter inte kan räknas. Vid rapportering av fiberhaltsmätningar bör det därför redovisas om ett prov inte har räknats och dess möjliga betydelse för slutresultatet. I ett keramfiberprojekt utfört av Arbetslivsinstitutet förekom provtagningsstider mellan 1 minut och ca 4 timmar [17]. Normalt brukar provtagningsstiden vara i intervallet 30 minuter - 4 timmar. Vid provtagningsstider över 4 timmar kan halten bakgrundspartiklar (i tung industrimiljö) vara så hög att fibrerna inte kan räknas eftersom de inte kan särskiljas från alla bakgrundspartiklar.

Metoden och kriterierna vid räkning av fibrer i ljusmikroskop är ursprungligen utvecklad för asbest men har modifierats något för att anpassas till syntetiska mineralfibrer [14].

I ljusmikroskop är det svårt att identifiera om de räknade fibrerna är eldfasta fiber. Med svepelektronmikroskop (SEM) kan identifieringen underlättas eftersom enskilda fibrers elementsammansättning kan bestämmas. I SEM ses även tunnare fibrer än i ljusmikroskop. En annan fördel med SEM är att fibrernas diametrar kan bestämmas mer exakt. Det finns dock inga svenska gränsvärden för fibrer räknade i SEM. De hygieniska gränsvärdena idag är baserade på räkning av fibrer i ljusmikroskop. Eftersom man ser tunnare fibrer i SEM är resultaten inte jämförbara med resultat från ljusmikroskop. För att se om fibrerna kristalliserat till kristobalit krävs ett transmissionselektronmikroskop.

Anledningen till att gränsvärdena avser antal fibrer räknade i ljusmikroskop är historisk och härrör från tiden när riskerna med asbest uppmärksammades. Eftersom en stor erfarenhetsbank byggts upp kring exponering för fibrer och fiberhalter baserade på räkning i ljusmikroskop förlorar man stora delar av denna erfarenhet om man byter metod och använder SEM istället.

Det finns även direktvisande instrument som direkt på arbetsplatsen bestämmer halten luftburna respirabla fibrer. Instrumenten kan dock inte nå samma precision som filterprovtagning och manuell fiberräkning på laboratorium. Vid räkning av fibrer på laboratorium följer man ett stort antal räkneregler. De direktvisande instrumenten kan inte följa alla dessa räkneregler. Vid höga dammhalter fås även en överskattning av fiberhalten eftersom instrumenten kan se flera partiklar som en fiber. Instrumenten kan även underskatta halten om en stor andel av fibrerna är kraftigt böjda eller krokiga. Instrumenten kan dock användas för att erhålla en grov skattning av fiberhalten. Precisionen hos de direktvisande instrumenten är för dålig för att bedöma om arbetstagares exponering ligger över eller under gränsvärdet om inte halterna är mycket höga eller mycket låga. Instrumentens största användningsområde är vid åtgärdsarbete. Genom mätning vid utprovning av olika åtgärder kan snabbt besked erhållas om de vidtagna åtgärdernas påverkan på fiberhalten.

### 7.3 Dosbestämning

Många arbeten med eldfasta fibrer sker med långa tidsintervall, t ex kan renovering av ugnar etc ske med flera års mellanrum, medan andra arbeten kanske sker någon gång i månaden eller kanske varje dag. Enbart mätning av fiberhalten räcker inte alltid för att få en klar bild av hur utsatta arbetstagarna är för eldfasta fibrer. Genom att inhämta information om exponeringstiden kan arbetstagarnas fiberdos om arbetet fortgår utan förändringar beräknas för 40 år (arbetslivsdos, sort fiberår/ml). Metoden har tidigare



använts vid bedömning av exponering för eldfasta keramiska fibrer (RCF) [17]. Det finns inga gränsvärden för fiberdosen, utan man kan idag endast använda värdena för jämförelser. De kan även ha stor betydelse för framtida epidemiologiska studier.

## 8 Exponeringsmätningar

### 8.1 Mätresultat, fiberhalter

Krantz S et al [17] utförde exponeringsmätningar på två smältverk och två gjuterier i början av -90-talet. Mätningarna avsåg rivning och montering av keramiska fibrer i ugnar, skänkar och rännor för smält metall. Mätningar gjordes även vid mindre arbeten som ugnoperatör (öppnar och stänger luckor tätade med eldfasta keramiska fibrer), laboratoriearbete, städning och bakgrundshalten i lokaler där eldfasta keramiska fibrer fanns. Öppen hantering gav halter i intervallet 0,1 - 210 f/ml. 8 - 100 % av de räknade fibrerna var eldfasta keramiska fibrer. Vid höga fiberhalter var även andelen eldfasta keramiska fibrer av totala antalet fibrer högt. För de som inte kom i direkt kontakt med de eldfasta keramiska fibrerna erhöles värden i intervallet <0,01 - 0,39 f/ml. Andelen eldfasta keramiska fibrer var <1 - 69 %. De tagna proverna utvärderades enligt de båda fiberdefinitionerna längd bredd förhållandet >3:1 och >5:1. Halten för de som hanterade fibrerna blev ca 20% lägre (regressionskoefficient 0,9) om man räknar enligt >5:1 istället för >3:1. För mätningar av bakgrundshalten och för personal som hanterade utrustning som innehöll fibrer blev skillnaden betydligt större (ca 75%) och korrelationen dålig (regressionskoefficient 0,46). De redovisade värdena avser >5:1. Enligt rapporten fanns det en stor skillnad på fabrikanternas sätt att presentera fiberdiametern och den faktiska fiberdiametern. Åtta produkter som innehöll eldfasta keramiska fibrer (RCF) studerades med avseende på fiberdiametrar. Tillverkarna uppgav 2 - 3 µm. De uppmätta mediandiametrarna var i intervallet 0,6 - 1,5 µm. Fibrer tunnare än 0,1 µm kunde även förekomma.

Riala, R. et al [21] utförde mätningar av bland annat keramiska fibrer vid byte av isoleringen i ett kraftverks turbinhall. Vid rivning uppmättes 61 f/ml i rivningszonen och 0,37 f/ml utanför på samma plan. Medexponeringen för en hel dags exponering blev 12 f/ml. Fibrerna räknades i svepelektronmikroskop. Vid återisolering använde man sig av det nya materialet "Carbowool" som består av lösligare eldfasta fibrer (eldfast mineralull). Halterna uppmättes till 0,8 f/ml. Motsvarande värde vid räkning i optiskt mikroskop (PCOM) gav 0,3 f/ml.

De flesta resultaten från arbetsmiljömätningar har publicerats av keramindustrin. Burley C et al [18] redovisade följande resultat från CARE-programmet vid en yrkeshygienisk konferens år 2000:

- Totalt var 90% av alla mätvärden under 1 f/ml.
- Montering 0,43 f/ml (geometriskt medelvärde).
- Efterarbeten vid montering 0,59 f/ml (geometriskt medelvärde).
- Rivning 0,92 (geometriskt medelvärde).
- Tog man med användningen av andningsskydd låg motsvarande värden under 0,2 f/ml.
- I en tidigare redovisning från "CARE"-programmets första år fanns det arbetsplatser med exponeringar >20 f/ml.
- Fibrerna i CARE-programmet är räknade i faskontrastmikroskop (PCOM). Idag har mer än 12000 prov tagits i CARE och angränsande projektet. Tabell 1 är en sammanfattning från två diagram ur tillverkarnas (ECFIA:s) egen redovisning av dessa exponeringsmätningar. I tabell 1 redovisas antalet prov och geometriska medelvärdet för exponeringen i f/ml uppdelat på arbetsuppgifter. Eftersom fördelning av uppmätta halter brukar vara lognormal är det aritmetiska (vanliga) medelvärdet normalt betydligt högre än det geometriska medelvärdet.

Diagram 1 och 2 är kopior från ECFIA:s redovisning. Diagram 1 visar fördelningen av mätvärden i f/ml för respektive arbetsuppgift. Diagram 2 visar förändringen i exponering över tiden och effekten av andningsskydd. Ingen eller liten förändring av värdena i diagram 2 betyder att få åtgärder av betydelse för exponeringen vidtagits.

Tabell 1. Antal tagna prov i tillverkarnas eget underlag för exponeringsbedömningar vid olika arbeten samt uppmätta fiberhalter i f/ml, uppdelat på arbetsuppgifter, keramfibertillverkare och kunderna (tillverkare av produkter som består av eller som innehåller eldfasta keramiska fibrer). Totalt över 12000 prover ingår. Värden från ECFIA:s redovisning.

Arbetsuppgifter	Antal prov	Uppmätt halt, geometriskt medelvärde, f/ml	
		Tillverkare	Användare/Kunder
Produktion inkl modultillverkning	1886	0,2	0,2
Modultillverkning		0,5	0,4
Övrig tillverkning	1817	0,1	0,1
Fibertillverkning	1938	0,2	-
Slutbehandling	2376	0,6	0,6
Installation/montering	939	-	0,3
Blandning, formning	1683	0,2	0,3
Rivning	363	-	0,8
Övrig personal	1090	<0,1	0,1

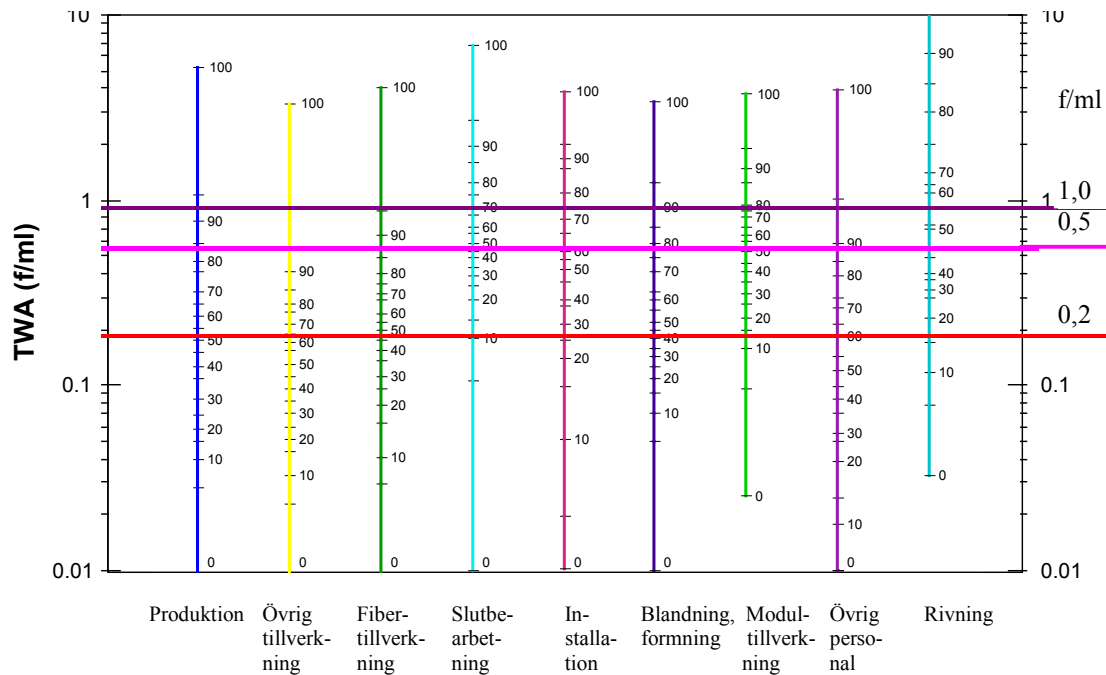


Diagram 1. Fördelningen i f/ml av de enskilda proven uppdelat på olika arbetsuppgifter. I diagrammet har olika gränsvärden markerats. Ur ECFIA:s redovisning. För varje arbetsuppgift anger siffrorna på stapeln hur stor andel av proverna låg respektive fiberhalt. De grova horisontella linjerna anger överst det svenska gränsvärdet 1 f/ml, 0,5 f/ml och ACGIH:s gränsvärde 0,2 f/ml.

#### Viktat aritmetiskt medelvärde (f/ml)

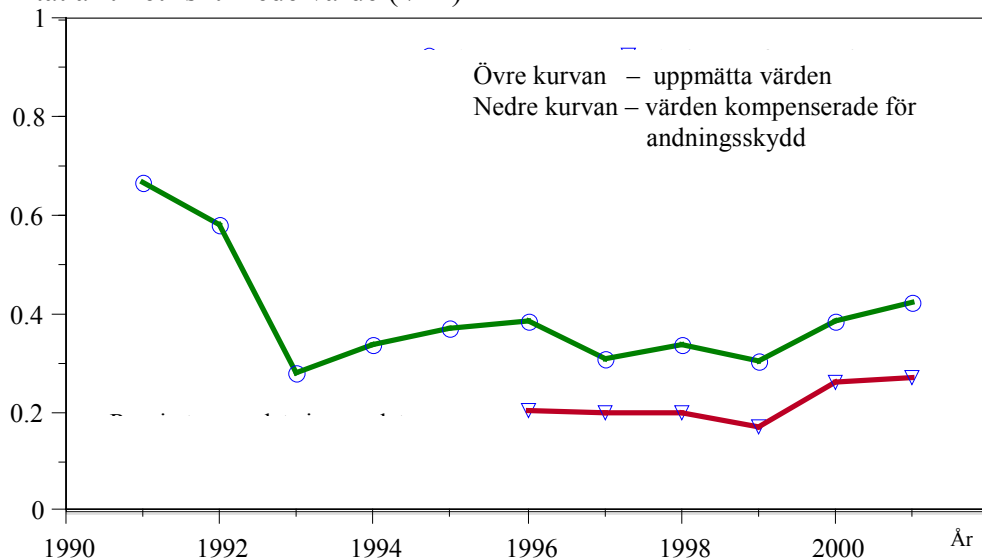


Diagram 2. Förändring i exponeringen för keramiska fibrer (f/ml) över tiden och minskningen i exponering om andningsskydd används vid dammande moment. Ur ECFIA:s redovisning. I redovisningen framgår inte hur man justerat för andningsskydd.

## 8.2 Dosberäkningar

Staffan Krantz et al [17] har beräknat den fiberdos som arbetare i smältverk och gjuterier erhåller under 40 års arbete om nuvarande arbete är representativt för hela tidsperioden. För de som öppet hanterade eldfast fibrer erhöles värden mellan 0,005 - 85 fiberår/ml (lägst för en lokalvårdare och högst för en ugnsmurare). För de som hanterade utrustning som innehöll eldfasta fibrer, t ex ugnsluckor, arbete nära skänkar etc erhöles 0,0 - 1,1 fiberår/ml (lägst för övrig personal och högst för en gjutare). De minst exponerade gruppen, de som arbetade i samma lokal som det fanns utrustning innehållande eldfasta fibrer fick doser på 0,0 - 0,4 fiberår/ml (även här lägst för övrig personal och högst för en gjutare). De som hanterade öppet eldfasta fibrer var huvudsakligen exponerade för eldfasta fiber, men för de två andra grupperna utgjorde eldfasta fibrer endast en mindre del av den totala fiberexponeringen. Den angivna värdena avser enbart dos för eldfasta fibrer (aluminiumsilikat). Om man exponeras för 1 f/ml som medelvärde under en hela arbetsdagen i 40 år blir totala dosen 40 fiberår/ml. Med ACGIH:s gränsvärde på 0,2 f/ml blir totala dosen 8 fiberår/ml.

## 9 Diskussion med sammanfattning

Användningen av eldfasta fibrer ökar kraftigt och finns i allt fler produkter. Idag kan eldfasta fibrer även finnas i konsumentprodukter.

Eldfasta fibrer är ett begrepp som omfattar flera olika fibrer med varierande kemi, hälsorisker och användningsområden. I rapporten avses med eldfasta fibrer de fibrer som är avsedda för långvarig användning i temperaturer över 700°C. Området är svåröverskådligt och på arbetsplatserna har man inte alltid reda på vilken typ av eldfasta fiber som hanteras. Det bästa sättet att få besked om vilken fiber som hanteras är att begära att få säkerhetsdatablad för produkten. Går det inte att få fram detta skall produkten hanteras som om att den orsakar cancer vid inandning. Eftersom det är dammet som kan vara farligt skall man skydda sig med ett dammfilter av klass P3 eller friskluftsmask, om inget annat anges i säkerhetsdatabladet.

Eldfasta fibrer för isolering innehåller alla en stor andel fibrer som är tillräckligt tunna (< 3 µm i diameter) för att vid inandning kunna nå lungans finaste kapillärer och lungblåsor. Därmed är det viktigt att de eldfasta fibrerna inte har egenskaper som kan skada lungan.

För eldfasta keramiska fibrer (RCF) finns misstanke att de kan orsaka cancer. Lungförändringar, dock ej cancer, har konstaterats bland arbetare som hanterar dessa fibrer. För eldfast mineralull (AES, CMS) finns ingen misstanke om att den kan orsaka cancer vid normal användning. Eldfast mineralull har utvecklats som ett alternativ på

grund av den osäkerhet som råder om hälsoriskerna vid användning av eldfasta keramiska fibrer (RCF). Tyvärr klarar inte eldfast mineralull lika höga temperaturer som eldfasta keramiska fibrer (RCF). AES bör ersätta RCF på alla platser där det är tekniskt möjligt.

Det finns även åtskilliga andra eldfasta fibrer än RCF och AES (CMS) t ex fibrer av kvartsglas-, specialglas- och aluminiumoxid. För vissa material och materialblandningar kan den toxikologiska utvärderingen vara bristfällig.

Vid långvarig upphettning till temperaturer över 900°C kan eldfasta keramiska fibrer (RCF) omvandlas till kristobalit, ett ämne som kan ge både silikos och lungcancer. En fråga är om även eldfast mineralull och andra silikatfibrer (t ex ej eldfasta fibrer som vanlig mineral- och glasull) kan omvandlas till kristobalit. Det finns resultat som tyder på att den bildade kristobaliten inte ger lungförändringar på grund av den bildade kristobalitens kristallstruktur. Tills dess frågan är tillfredsställande utredd bör extra försiktighet iaktas vid rivning av fibrer som varit utsatta för långvarig upphettning.

Åtskilliga exponeringsmätningar har utförts vid hantering av eldfasta fibrer. Normalt ligger man under det svenska hygieniska gränsvärdet 1 f/ml. Vid avisolering är dock medelvärdet nära gränsvärdet och mer än 40% av värdena överskred gränsvärdet. I Sverige har värden över 200 f/ml uppmätts vid avisolering. Även för andra arbetsmoment var exponeringen över gränsvärdet för en betydande andel av personalen. Det finns ett stort behov att ta fram och vidta åtgärder för minska exponeringen.

Flera länder har lägre gränsvärde än Sverige. ACGIH har gränsvärdet 0,2 f/ml för eldfasta keramiska fibrer (RCF). Om detta gränsvärde införs skulle gränsvärdet överskridas på de flesta arbetsplatserna där eldfasta fibrer hanteras öppet.

## 10 Litteratur

1. Brochard P, Bignon J, Proposal Of A Tiered Approach To Assessing And Classifying The Health Risk Of Exposure To Fibres., *Ann. Occup. Hyg.*, v.39, n.5, pp.737-745, 1995.
2. McConnell E E, Mast R W, Hesterberg T W, Chevalier J, Kotin P, Bernstein D M, Thevanez P, Glass L R, Anderson R. Chronical Inhalation Toxicity of a Kaolin-based Refractory Ceramic Fiber in Syrian Golden Hamsters. *Inhalation Toxicology* 7; 503-532. 1995.
3. Mast R W, McConell E E, Anderson R, Chevalier J, Kotin P, Bernstein D M, Glass L R, Miller W C, Hesterberg T. Studies on Chronic Toxicity (Inhalation) of Four

- Types of Refractory Ceramic Fiber in Male Fisher 344 Rats. *Inhalation Toxicology* 7; 425-467. 1995.
4. Davies, J M G. An Assessment of Current Experimental Data Regarding the Carcinogenicity of Refractory Ceramic Fibres (RCF). Dokument daterat 9 juli 2002 erhållet från ECFIA.
  5. Miller B G, Searl A, Davis J M G, Donaldson K, Cullen R T, Bolton R E, Buchanan D, Soutar C A. Influence of fibre Length, Dissolution and Biopersistence on Production of Mesothelioma in the Rat Peritoneal Cavity. *Annals of Occupational Hygiene* 1999, 43 supp 3 pp 155-66.
  6. Case B W, Kuhar M, Harrigan M, Dufresne A. Lung Fiber Content of American Children Aged 8 - 15: Preliminary Findings, British Occupational Hygiene Society Seventh International Symposium on Inhaled Particles, Edinburgh, 16-20 September 1991.
  7. Trethowan W N, Burge P S, Rossiter C E, Harrington J E, Calvert I A. Study of the respiratory health of employees in seven European plants that manufacture ceramic fibres. *Occupational Environmental Medicine* 52; 97-104. 1995.
  8. Lockey J, Lemasters G, Rice C, McKay R, Hansen K, Lu J, Levin L, Gartside P. An Industry-wide Pulmonary Morbidity Study of Current and Former Workers Manufacturing Refractory Ceramic Fibers and RCF Products, British Occupational Hygiene Society Seventh International Symposium on Inhaled Particles, Edinburgh, 16-20 September 1991.
  9. Rossiter CE, Gilson J C, Sheers G, Thomas H F, Trethowan W N, Cherrie J W, Harrington J M. Refractory Ceramic Fibre Production Workers - Analysis of Radiographic Readings. *Annals of Occupational Hygiene*. Vol 38, supplement 1 pp 731-738. 1994.
  10. Hazards from the use of refractory ceramic fibre. Health and Safety Executive Information Document HSE267/3. Health and Safety Inspectorate, London
  11. Man-made Vitrous Fibres. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 81, 9-16 October 2001 (Update 2002) 418 pages.
  12. Kemikalieinspektionens allmänna råd till föreskrifterna (KIFS 1994:12) om klassificering och märkning av kemiska produkter. Allmänna råd 2001:1.
  13. EG-direktiv 97/69 om ändringar i Direktiv 67/548/EEG. EG, Bryssel 1997.

14. Luftundersökningar - Arbetsplatsluft - Räknekriterier för asbestfibrer. Standardkommissionen i Sverige, 1981 (Svensk Standard SS 02 84 18).
15. Syntetiska oorganiska fibrer. Arbetarskyddsstyrelsen, 1990. Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling AFS 1990:9. Solna
16. Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar. Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling. AFS 2000:3. Solna
17. Krantz S, Christensson B, Lundgren L, Paulsson B, Figler B, Persson A. Exponering för keramiska fibrer vid smältverk och gjuterier. *Arbete och Hälsa* 1994:34. Arbetsmiljöinstitutet Solna 1994. 36 sidor.
18. Burley C, Class P, Deadman J, Sébastien P, Webster D, Wimmer H, Allshouse J and Maxim D. CARE: - A european industrial hygiene programme to assist users of refractory ceramic fibres (RCF). International Occupational Hygiene Association, Cairnes 2000.
19. NIOSH RCFs Criteria Document. Key Issues. Comparisons between Naturally Occurring Mineral Fibres, Refractory Ceramic Fibres (RCFs), and Alkaline Earth Silicate (AES) Wools. Refractory Ceramic Fibres Coalitions (RCFC, Nordamerikas motsvarighet till ECFIA) kommentarer till NIOSH (USA:s National Institute of Occupational Safety and Health). Dokument erhållet från ECFIA.
20. Levin J-O (red). Principer och metoder för provtagning och analys av ämnen på listan över hygieniska gränsvärden. *Arbete och Hälsa* 2000:23. Solna 2000.
21. Riala, R., Hyvönen, M., Grönroos, K., Salmi, J., Tossavainen, A. Ceramic fiber exposure in turbine overhaul. Finnish Institute of Occupational Health. International Occupational Hygiene Association, Cairnes 2000.
22. Hedvall O: Personligt meddelande. (Representerar Holger Eldfast AB, ett företag som importerar och säljer bland annat eldfasta fibrer).
23. Class P: Personligt meddelande. (Representant för ECFIA)
24. Burley C. Personligt meddelande. (Representant för ECFIA)
25. Cowie H A, Wild P, Beck J, Auburtin G, Piekarski C, Massin N, Cherrie J W, Hurley J F, Miller B G, Groat S, Soutar C A. An epidemiological study of respiratory health of workers in the European refractory ceramic fibre industry. *Occupational Environmental Medicine*, 2001;58. London 2001. Pp 800 - 810

26. Ersatzstoffe für Keramikfasern im Ofen- und Feuerfestbau. Technische Regel für Gefahrstoffe, TRGS 619. Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz (BIA), 2002-02.
27. [www.ecfia.org](http://www.ecfia.org), "code of practice"
28. Recognition and Control of Exposure to Refractory Ceramic Fibres. ECFIA, Paris november 1999.
29. Threshold Limit Values for chemical Substances and Physical Agents, ACGIH 2001, Cincinnati 2001 (inkl kriteriedokument publicerat 2000).
30. Silica, Some Silicates, Coal Dust and para-Aramid Fibrils. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 68, 1997. 506 pages.
31. NIOSH RCFs Criteria Document. Key Issues. Crystalline Silica in After Service SVF:s Used för High Temperature Insulation. Refractory Ceramic Fibres Coalitions (RCFC, Nordamerikas motsvarighet till ECFIA) kommentarer till NIOSH (USA:s National Institute of Occupational Safety and Health). Dokument erhållet från ECFIA.



## IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

### Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie)  
IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden  
IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt  
IVLs hemsida: [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie. Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



---

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

P.O.Box 210 60, SE-100 31 Stockholm  
Hälsingegatan 43, Stockholm  
Tel: +46 8 598 563 00  
Fax: +46 8 598 563 90

P.O.Box 470 86, SE-402 58 Göteborg  
Dagjämningsgatan 1, Göteborg  
Tel: +46 31 725 62 00  
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult  
Aneboda, Lammhult  
Tel: +46 472 26 77 80  
Fax: +46 472 26 77 90

[www.ivl.se](http://www.ivl.se)