UNIVERSITETET I OSLO

Fagnotat

Til: Eiendomsavdeling - EA, UiO
Fra: Cheau Ling Poon, yrkeshygieniker BHT-UiO
Norbert Roos, professor Head Electron Microscopy Unit UiO
Jens Wohlmann, overingeniør Electron Microscopy Unit UiO

Dato: 22. februar 2022

Om de ulike analysemetodene av asbestfibrer i materialer og luft

De ulike analysemetodene for bestemmelse av asbestfibrer i materialer-, støv- og luft er beskrevet nedenfor.

Forkortelser:

- Polarisasjonsmikroskopi (PLM-analyse)
- Fasekontrastlysmikroskopi (PCM-analyse)
- Skanningelektronmikroskopi (SEM-analyse)
- Transmisjonselektronmikroskopi (TEM-analyse)
- Røntgenmikroanalysator (EDAX)
- Elektrondiffraksjon (ED)

Hva er asbest

Asbest er naturlig fibrøse silikatmineraler med ulik morfologi og kjemisk sammensetning (se tabell 1 nedenfor). Asbest er kjemikalie-, fukt-, mekanisk og temperatur-bestandig, i tillegg til at den ikke avdampes til luft. Asbest var derfor mye brukt i bygninger og installasjoner, spesielt mye brukt etter andre verdenskrig og fram til 1985. Asbesten har gode isolerende, lyddempende og absorberende egenskaper og var først benyttet i panelplater og deretter i blandinger med plast og asbest i elektriske paneler, og i gulvprodukter (vinylasbestfiber). Asbest var videre benyttet på betong og stålkonstruksjon i bygningsmaterialer, og som isolasjon rundt rør, kjeler, tanker, ventilasjonsanlegg, etc. (M. Evje, B. V. Johansen et.al. 2017).

Tabell 1: Asbest morfologi og kjemisk sammensetning (M. Evje, B. V. Johansen et.al. 2017)

Gruppe	Type asbest	Kjemisk sammensetning
Serpentiner	Krysotil (Hvitasbest)	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$
Amfiboler	Amositt (Brunasbest)	$(Fe,Mg)_7(Si_8O_{22})(OH)_2$
	Krokidolitt (Blåasbest)	$Na_2Fe^{II}_3Fe^{III}_2(Si_8O_{22})(OH)_2$
	Tremolitt	$Ca_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$
	Aktinolitt	$Ca_2(Mg,Fe)_5(Si_8O_{22})(OH)_2$
	Antofylitt	$(Mg,Fe^{II})_7(Si_8O_{22})(OH)_2$

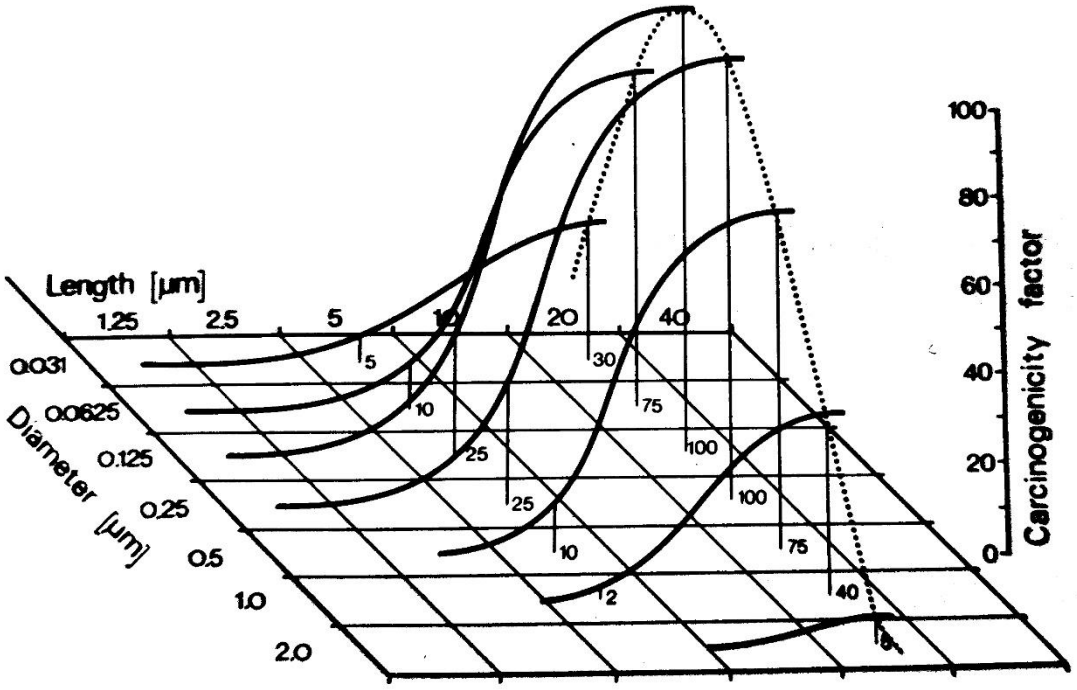
Partikkelstørrelse og helseeffekter

Asbest er ganske stabil i de fleste miljøene og frigjøres når det er mekanisk påkjenning (eks. boring på asbestholdige materialer) på asbesten som resultere i at den brytes til asbestfiberformet støv. Asbest kan ikke trenge gjennom hud og hoved eksponeringsvei for asbest er via luftveier ved inhalering av asbestfiberformet støv. Asbestfibrenes diameter og lengde avgjør hvor langt ned i lungene fibrene vil trenge gjennom luftveiene. Dose og antall år siden første eksponering vil også avgjør asbestrelatert helserisiko ifølge arbeidsmedisiner fra Aktimed Helse Karl-Christian Nordby:

«En eksponering på 1 fiber/cm3 over hele arbeidstiden i en 20-års periode gir anslagsvis 1.5-2x økt risiko for asbestrelatert lungekreft. For samtidig røyking er det høyere anslag, fordi tobakksrøyk og asbest samvirker.

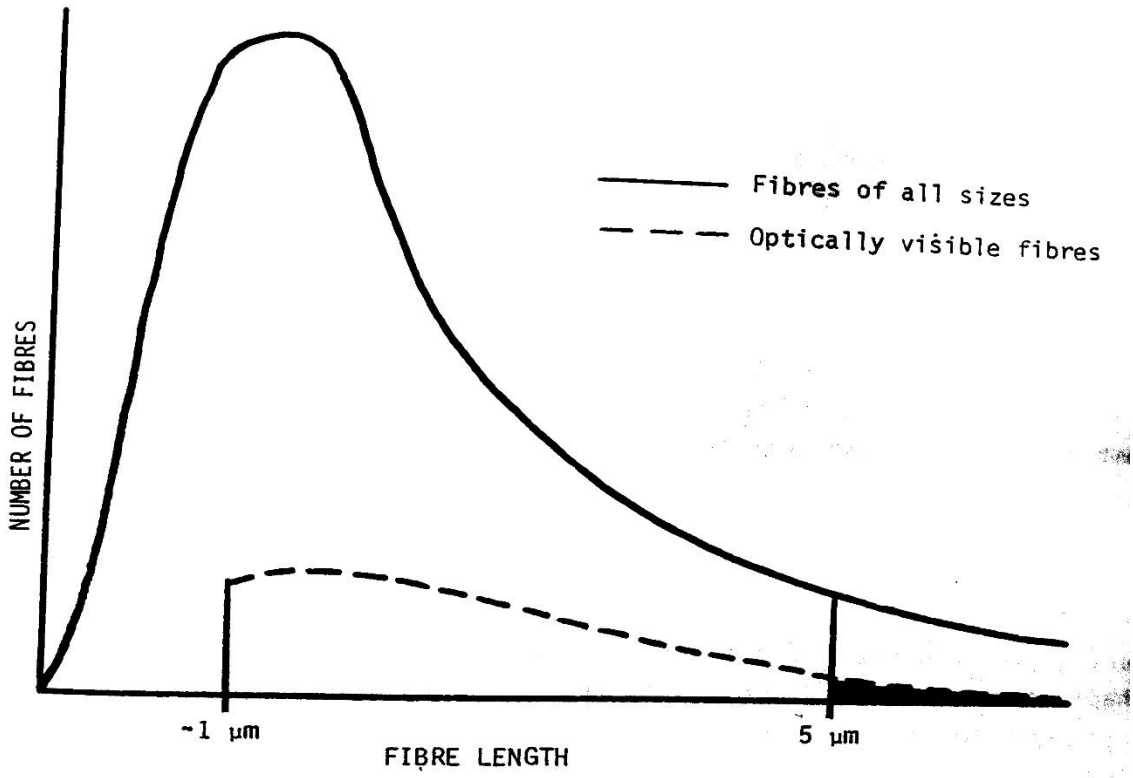
Vi vet ikke om det i praksis er en terskeleffekt for dette utfallet. Legges en lineær risikoøkning til grunn, vil risikoen knyttet til 0,001-0,01 fiber/cm3 luft knyttet til sporadisk eksponering naturlig nok ligge veldig nær et relativt risikoestimat på 1,00 (ingen økt risiko). For mesoteliom, en kreftform som er 50 ganger så sjelden som lungekreft, er det mindre kunnskap om risiko ved eksponering, men en miljøeksponering i størrelsesorden 0.01-0.001 fiber/cm3 luft over lang tid, vil gi et svært lite bidrag til vår totale miljøeksponering for asbestfibrer, og grenseverdi/norm er satt så lavt av den grunn at all eksponering er uønsket, selv om eksponering for asbest er uunngåelig. Og her er også både dose og antall år siden første eksponering med faktorer som avgjør risikoen.»

Det finnes omfattende forskning på helseeffektene av asbest i både primært humant vev og dyremodeller, hovedsakelig fra perioden mellom 1960 og 1985, en tid da asbestproblematikken ble erkjent og forsket mye på i detalj. Da det ble klart at asbest fibermorfologi hadde kreftfremkallende potensial, ble det utført omfattende studier på forholdet mellom disse faktorene i både menneskelige prøver og dyremodeller. Dette ble heftig diskutert, men det er en klar konsensus i denne litteraturen. Selv om de absolutte dimensjonene (til fibrene) som diskuteres og studeres, dekker et bredt spekter fra mindre enn 50nm til mer enn 3µm i diameter og fra mindre enn 2,5µm til mer enn 40µm i lengde, øker det kreftfremkallende potensial av asbestfibre med mindre diameter og større lengde (se figur 1).



Figur 1: (Pott and Muhle 1983, "animal experiments with mineral fibers")

Disse fibermorfologiske faktorene tatt i betraktning, er valget av den analytiske metoden helt avgjørende for å detektere karsinogent fibrer med små diameter mindre enn 0,2 µm. Lysmikroskopi klarer ikke å identifisere fibrer lavere enn 0,2 µm på grunn av at metoden har en teoretisk oppløsningsgrensen på 196 nm. I praksis er det som regel vanskelig å se fibrer på 200nm diameter i lysmikroskopet (se figur 2)



Figur 2: Forholdet mellom total mengde fibrer og fibrer som kan detekteres med lysmikroskopet (PCM). Det svarte arealet til høyre indikerer fibrer identifisert med PCM. (Chatfield 1983, "short mineral fibers in ariborne dust")

Analysemetoder

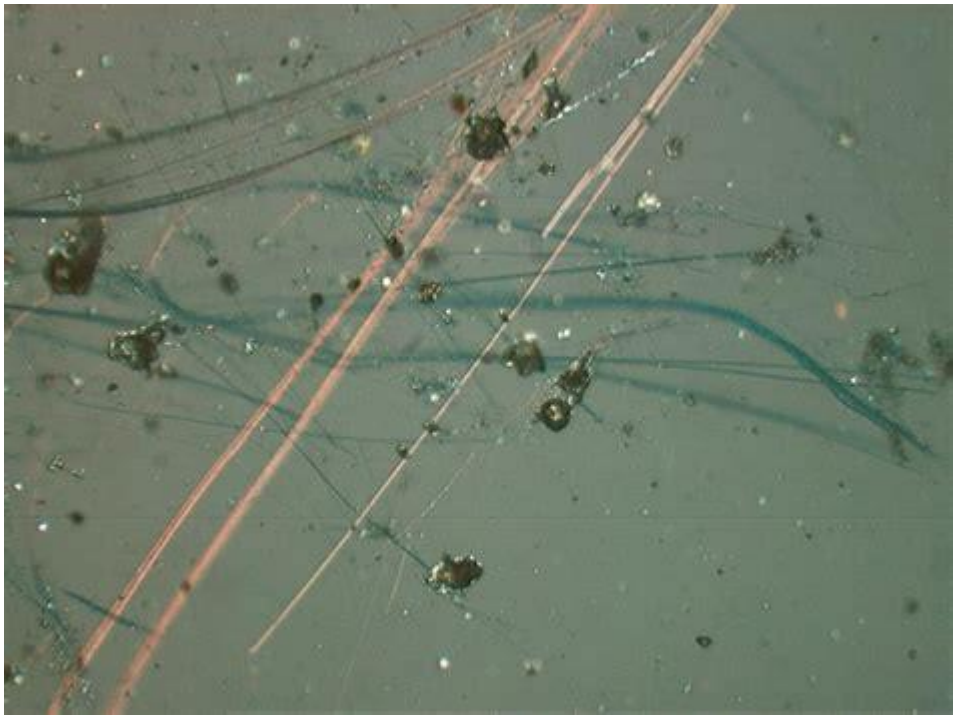
Tabellen nedenfor viser en oversikt over ulike analysemetoder på ulike prøvematerialer. Mer beskrivelse om de ulike analysemetodene er beskrevet nedenfor.

Tabell 2: Oversikt over type prøver, prøvetakingsmetode og analysemetoder

Prøver	**Prøvetakingsmetode**	**Analysemetoder**
Støv	Støvprøver samles oppi dramglass	PLM, PCM, SEM, TEM
Materialer	Ta snitt/bit av en prøve og unngå krysskontaminering ved egnet emballering med dramglass og forseglet i en zip-pose. Hør med lab om størrelse på prøve som trengs	PCM, SEM, TEM
Luft	Filterkassetter: celluloseesterfilter til PCM/SEM, polykarbonatfilter til SEM/TEM	PCM, SEM, TEM

PLM-analyse

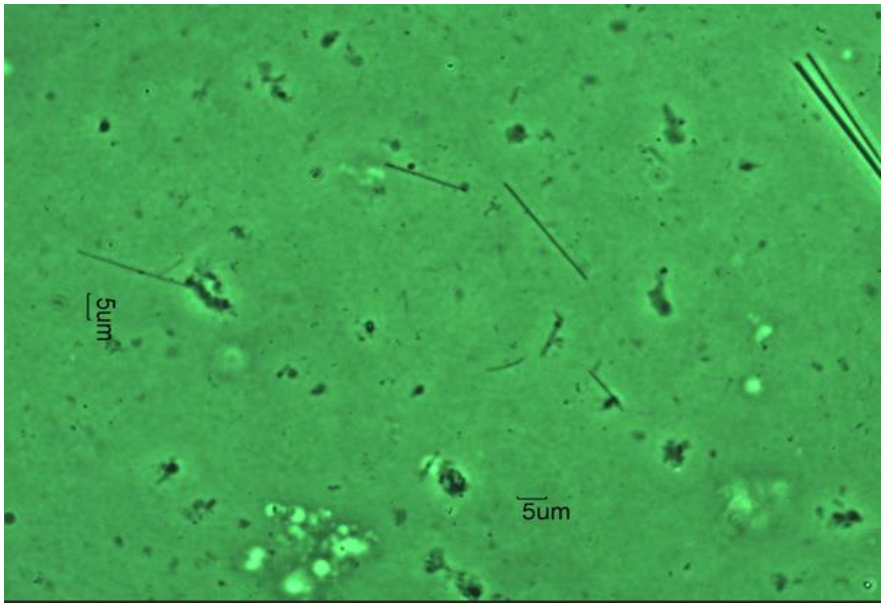
Polarisasjonsmikroskopi metoden trenger en å knuse materialprøven til et fint pulver og deretter tilsette ulike olje med kjent brytningsindeks. Hver brytningsindeks er identisk med en av de seks kommersielt asbestfiber typer brukt i bygningsmaterialer. Annet fiber typer med samme brytningsindeks som asbestfibrer kan også gi positiv utslag. Denne metoden er avhengig av mikroskopoperatørens erfaring og dyktighet, da det kommer av mikroskopoperatørens subjektiv vurdering om vedkommende oppfatter at det er fiber eller ei. I slutten av 1980-tallet har opptil 40 % av undersøkelser som var blitt gjort med PLM-analysen fått falskt positiv asbest i Oslo-området



Bilde: Krysotil med PLM (kilde easlabs.com)

PCM -analyse

Metoden teller fibrer i lysmikroskopet som er samlet på et membranfilter ved en forstørrelse på 400-500 ganger og teller fibrer som har en lengde på > 5 µm og diameter < 3 µm. Metoden teller teoretisk fibrer ned til 0,2 µm i diameter, men i praksis er deteksjonsgrensen noe høyere. Metoden skiller ikke mellom asbest og andre fibrer. Se bilde eksemplet nedenfor.



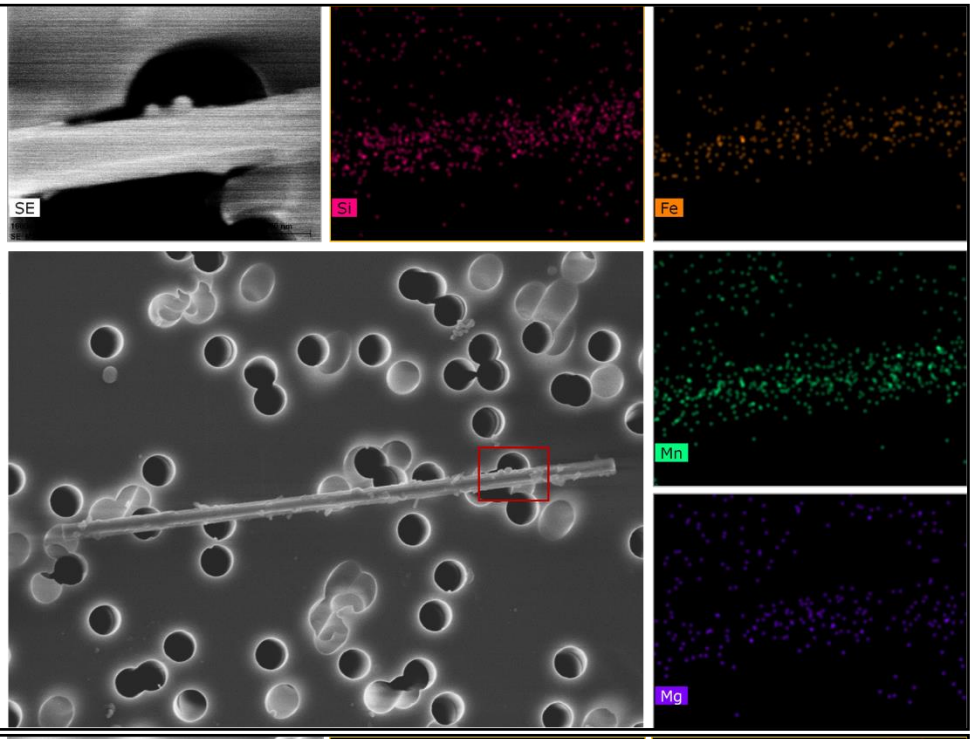
Bilde: eksempel av fibrer fra PCM-analysen (kilde Microlabgallery)

SEM-EDAX

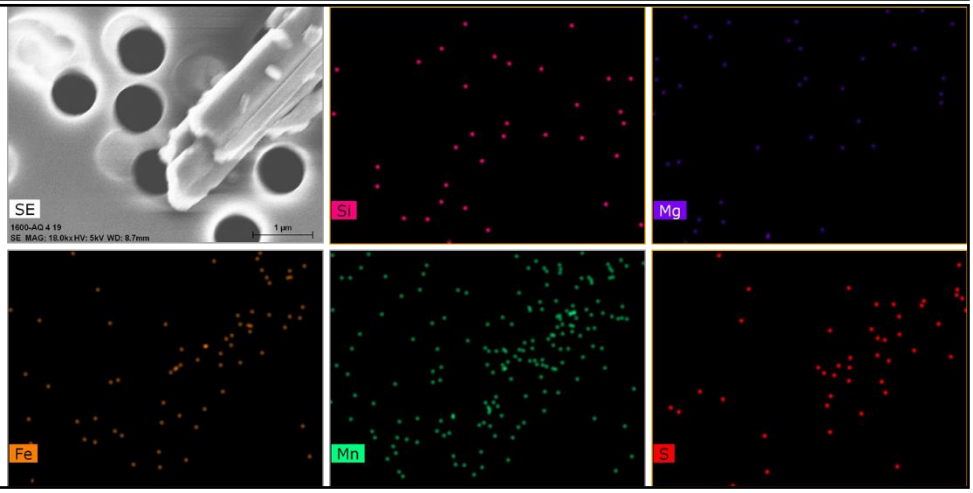
Metoden teller og karakteriserer fibrer i skanning elektronmikroskopet (med en forstørrelse på 5000 ganger) som er samlet på et membranfilter. Siden elektronmikroskoper har en bedre oppløsningsevne enn lysmikroskoper er det mulig å detektere mye mindre fibrer. I kombinasjon med røntgenmikroanalyse er det mulig å skille mellom asbest og andre fibrer ved å analysere dens kjemiske sammensetning. I tillegg er det teoretisk mulig å skille mellom ulike typer asbest på samme måte. Dessverre krever prøvepreparingen for SEM at preparatet dekkes med et tynt lag av metaller som kan være til hinder for EDAX analysen. Videre er fibertelling i SEM noe mindre akkurat (pga. av usikkerhet knyttet til arealstørrelsen man analyserer).

Nedenfor har vi illustrert følgende bilder (kilde hentet fra EM-lab).

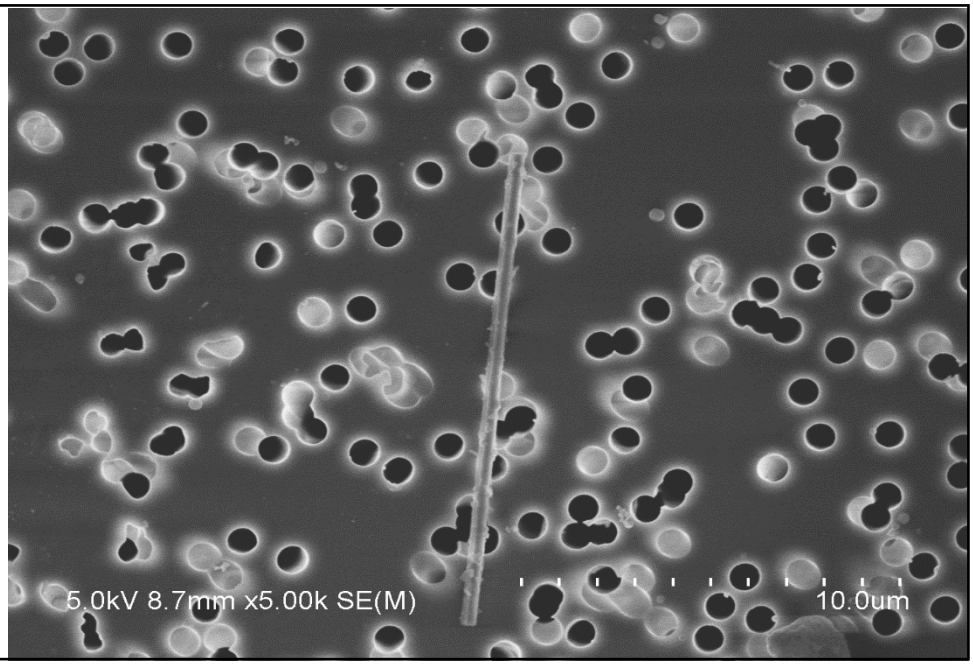
Eksempel av en hel amositt fiber på polykarbonatmembran ved 8000x forstørrelse og EDAX elementanalyse



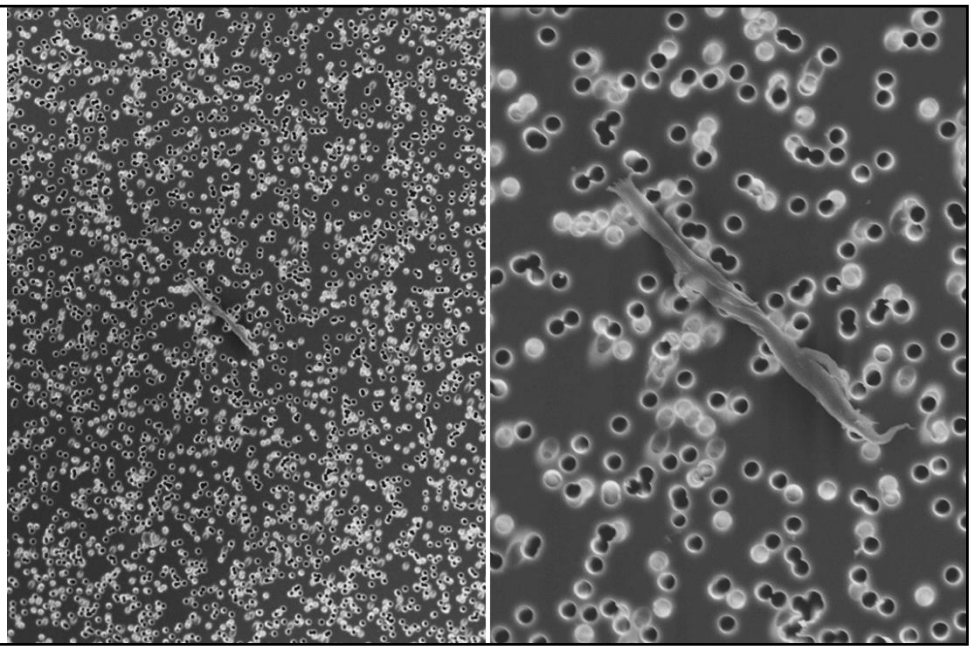
Eksempel av en fiber (gips) som lett kan forveksles med en asbestfiber på grunn av sin morfologi. EDAX elementanalysen viser at det ikke er Mg eller Si tilstedet.



Amositt ved 5000x

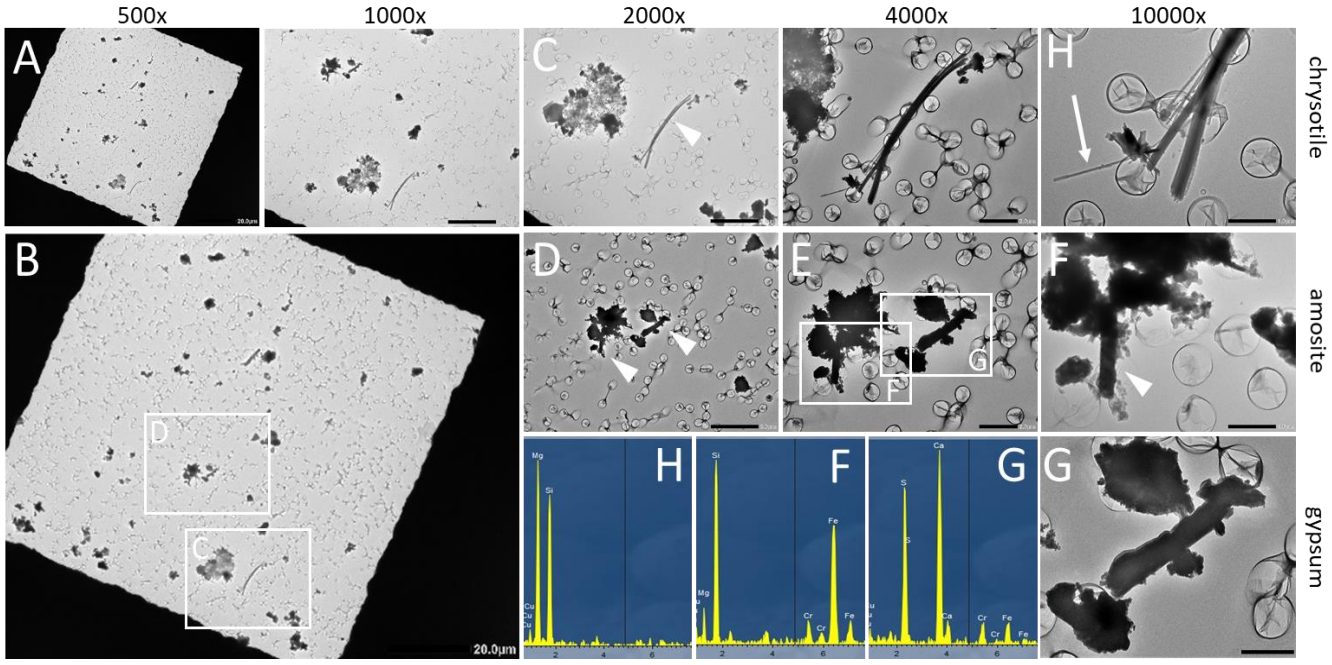


Ikke mineralsk fiber ved 1100x and 4000x som lett kan forveksles med mineralske fibrer

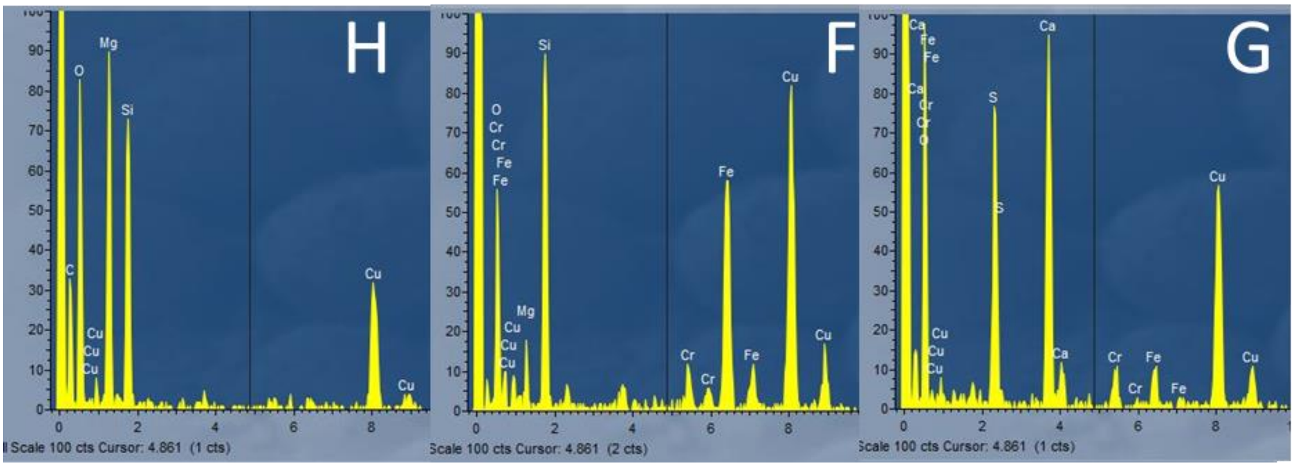


TEM-EDAX

Metoden teller og karakteriserer fibrer i transmisjons elektronmikroskopet som er samlet inn på et membranfilter. Fiberne overføres til et tynt karbonlag som analyseres i TEM. Siden elektronmikroskoper har en mye bedre oppløsningsevne enn lysmikroskoper er det mulig å detektere mindre fibrer. I prinsippet er det mulig å detektere fibrere med forstørrelser på over 25000 ganger i mikroskopet. I kombinasjon med røntgenmikroanalyse er det mulig å skille mellom asbest og andre fibrer ved å analysere dens kjemiske sammensetning. I tillegg er det mulig å skille mellom ulike typer asbest på samme måte. Da undersøkelsen i TEM ikke krever metallbelagte prøver, har man ikke de restriksjonene som i SEM undersøkelser.



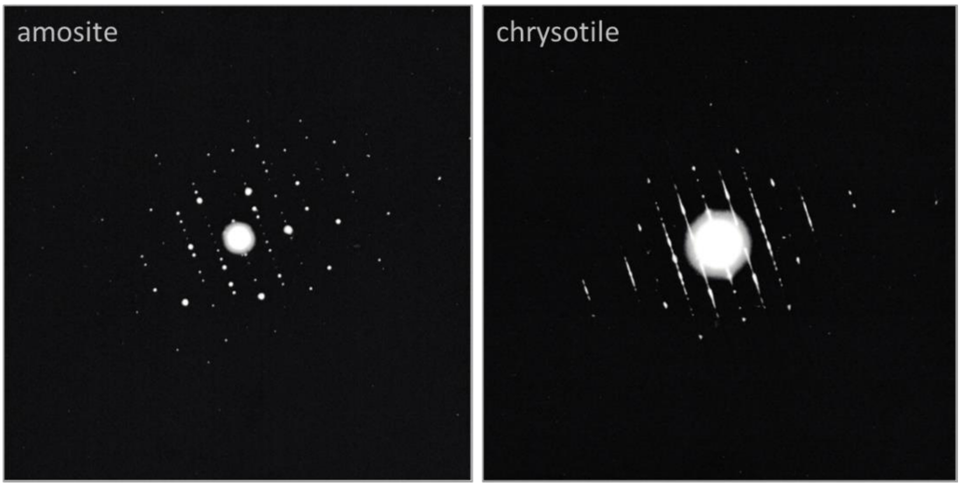
Spektrene H, F, G i mer detaljert:



TEM og EDAX av 3 typer mineralfibrer tatt på typiske forstørrelsesområder brukt i de forskjellige metoder (PCM 500x, SEM 1000-200x og TEM 4000-10000x). Bildet B er en digital forstørrelse av bildet A ved 500x for å vise strukturer som kan ses i bilder C og D ved høyere mikroskop forstørrelser. Det samme gjelder bildet E hvor områder markert med firkant er tatt ved høyere forstørrelser og presentert som bilder F og G. Bilder F, G og H er tatt ved 10000x. EDAX analysen er tatt på de markerte fibrene. Som man kan se, er krysotilfiber markert med pil i bildet H, nesten ikke å identifisere ved forstørrelser under 4000x. Selv om fibrer kan ha morfologiske likhetstrekk er det mulig å skille mellom asbesttyper (spektrum H for krysotil, spektrum F for amositt) og ikke asbest fibrer (spektrum G for gips) på grunn av dens kjemiske sammensetning.

TEM-ED

Transmisjonsmikroskopet gir i tillegg muligheten til å analysere krystallstrukturen i en fiber ved hjelp av elektrondiffraksjon. Denne metoden analyserer hvordan atomer fra forskjellige kjemiske elementer er organisert i en krystallstruktur, se bilder nedenfor. Dette gir en høyst presis identifikasjon av (også meget små) enkelte fibrer.



Konklusjon

PCM analyser er en type minimumsstandard WHO har blitt enig om og er godkjent som analysemetode i mange land. Metoden er i utgangspunktet utviklet for å overvåke eksponering av asbest i arbeidsmiljøer der man er kjent med at asbest er hovedkomponenten som er tilstede. Dessverre har denne metoden ikke nødvendigvis den presisjonen man kunne ønske seg for vanlig innemiljøovervåking etter for eksempel, en asbestsanering i en skole eller barnehage som fortsatt er i vanlig bygningsdrift, der det kan være andre fiber lignende strukturer tilstede (som da telles som asbestfibrer) og mindre fibrer som ikke detekteres med PCM-metoden. For å kunne "friskmelde" et område etter sanering er TEM med EDAX og/eller ED den mest nøyaktige metoden som er tilgjengelig, da metoden også detekterer mindre asbestfibrer (både elementer og krystallstrukturer). I land som Tyskland og Frankrike og delvis USA er dette "the method of choice". I situasjoner hvor det i utgangspunktet er veldig lave asbestfiber konsentrasjonen i luften (for eksempel en delsanering av asbest i soner i et bygg som er i normaldrift) er PCM ikke egnet som analysemetoden. Da denne metoden har en praktisk deteksjonsgrense som ligger over 0,01 fibrer/cm3, og igjen som ikke klarer å skille mellom asbest- og andre typer fibrer. Medlemslandene i EU drøfter i skrivende stund om å få ned grenseverdien for asbest fra 0,1 fibrer/cm^3 ila. 8 timers dag til 0,001 fibrer/cm^3. Danmark har alt satt ned grenseverdien til 0,003 fibrer/cm^3 den 1. januar 2022. I utkastet til EU-draft rapport datert 25.03.2021 står det følgende i artikkel 7 punkt d:

«Fibre counting shall be carried out wherever possible by analytical transmission electron microscopy or any other method giving equivalent results»

Elektronmikroskopiske analysemetoder må i utgangspunktet ikke være dyrere eller mer tidkrevende enn andre metoder og er som regel like raskt å gjennomføre.