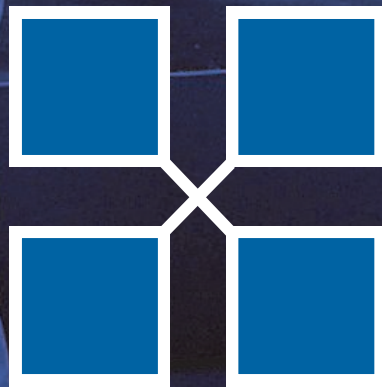
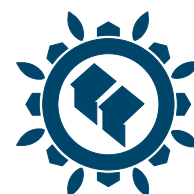


NANOPARTIKLER I ARBEJDSMILJØET



Overfladebehandling



INDUSTRIENS
BRANCHEARBEJDSMILJØRÅD



Industriens Branchearbejdsmiljøråd

Postbox 7777
1790 København V
www.i-bar.dk



Organisation for erhvervslivet

Arbejdsgiversekretariat

DI Organisation for Erhvervslivet
1787 København V
Telefon: 3377 3377
Telefax: 3377 3370
E-mail: di@di.dk
www.di.dk



Medarbejdersekretariat

CO-industri
Vester Søgade 12
1790 København V
Telefon: 3363 8000
Telefax: 3363 8099
E-mail: miljoe@co-industri.dk
www.co-industri.dk

Foto & Layout: Teknologisk Institut

Grafik: Teknologisk Institut & Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø

Tryk: Rosendahls Schultz grafisk a/s

Materialer fra Industriens Branchearbejdsmiljøråd kan fås ved henvendelse til organisationerne, og kan downloades fra www.i-bar.dk eller de kan købes hos Videncenter for Arbejdsmiljø, www.arbejdsmiljobutikken.dk, tlf. 39 16 52 30.

Bestillingsnummer: 102268

Oplag: 1000 eksemplarer

Januar 2011

ISBN: 978-87-92141-33-0

Forord og indhold

Udviklingen af nanoteknologi og nanomaterialer rummer store danske erhvervspotentialer inden for en lang række områder. De sidste 10 år er der sket en stigning i udvikling og anvendelse af partikulære nanomaterialer. Forskningsresultater har samtidig givet anledning til mistanke om mulige sundhedsrisici relateret til eksponering for nanopartikler i arbejdsmiljøet.

Pjecen fokuserer på risici for eksponering for luftbårne nanopartikler i arbejdsmiljøet og mulige strategier til at forebygge eksponering. Herunder håndteringen af nanopartikulære pulvrematerialer og suspensioner samt støv- og aerosoldannelse ved overfladebehandling.

Pjecen er henvendt til arbejdsmiljørepræsentanter på arbejdspladser, som arbejder med industriel overfladebehandling. Den giver inspiration til muligheder for håndtering af luftbårne nanopartikler i forbindelse med overfladebehandling. Uddybende information og redskaber findes i det tilhørende inspirationskatalog og onlineværktøjet NanoSafer via www.i-bar.dk.

Pjecen er udarbejdet ud fra viden anno 2010. Viden på området forventes dog at måtte opdateres i årene fremover på baggrund af nye erfaringer og et stigende antal resultater fra de mange igangværende nationale og internationale forskningsprojekter.

Læsere bør være opmærksomme på, at der i dag ikke er udviklet specifik lovgivning på området, og pjecen er ikke godkendt som vejledning i Arbejdstilsynet, men udtrykker partnernes foreløbige anbefalinger.

Pjecen indeholder følgende afsnit:

Forord og indhold	3
Introduktion til nanomaterialer	4
Sikkerhedsforanstaltninger	6
Nanomaterialer i overfladebehandling	11
Introduktion til NanoSafer	18

Introduktion til nanomaterialer

Udviklingen af nanomaterialer med nye eller forbedrede egenskaber rummer store danske erhvervs- og samfundspotentialer – eksempelvis inden for områder som miljøteknologi, bio-pharma, energi og katalyse, optik, elektronik, informations- og kommunikationsteknologi, plast, byggeri, farve- og lak samt overfladebehandling.

Nanoteknologi er en relativt ny teknologi. Selvom visse produkter og teknologier har været nanoteknologiske i mange år, så har nanoteknologi indtil for få år siden primært været en videnskabelig disciplin, hvor arbejdet på området har foregået i laboratorierne. "Nanoteknologi" omfatter som sådan både materialer, viden og produktionsteknologi til måling, analyse og manipulation af materialer. Industrielle anvendelser af nanoteknologi ses i dag inden for:

- Katalysatorer
- Informations- og kommunikationsteknologi
- Produktion af fiberoptik og sensorteknologi
- Overfladebehandling
- Polering og slibning
- Produktion af lak, plast og beton
- Medicin
- Fødevarer
- Kosmetik
- Tekstil

Nanopartikler og nanomaterialer

Ordet *nano* kommer fra græsk og betyder dværg. Nano er en måleenhed svarende til en milliardtedel (10^{-9}), og 1 *nanometer* (nm) er en milliardtedel af en meter. *Nanopartikler* er defineret ud fra en fysisk størrelse på ca. 1 nm til 100 nm. Definitionen af nanopartikler omfatter partikler af forskellige former. Herunder fibre, plade- og kugleformede partikler.

Nanopartikler

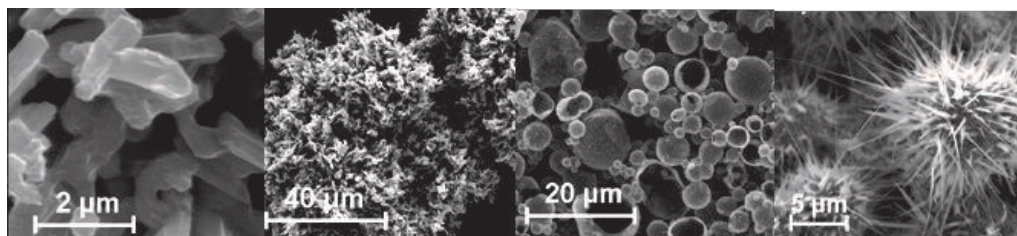
Nanopartikler er en fællesbetegnelse for alle stoffer, hvor de primære partikler har mindst én dimension mindre end ca. 100 nm.

Der er endnu ikke videnskabeligt belæg for, at grænserne på 1 og 100 nm er korrekte i forhold til at klassificere partiklerne. Diskussionen om definitioner foregår fortsat i regi af ISO og EU's videnskabelige komité SCENHIR. Derfor kan de øvre og nedre grænser i fremtiden blive ændret, når mere viden bliver etableret.

Inden for kosmetik og medicinalindustri findes der særlige definitioner på nanomaterialer.

Industrielt producerede nanopartikler kan have flere forskellige og komplekse geometriske former. Kernen i nanopartikler består ofte af metal, metaloxid, silikat, karbid eller organiske cellevægslignende stoffer - såsom peptider og fosforlipider. Syntetiske nanopartikler kan være dopede med andre grundstoffer og/eller overflademodificeret med uorganiske og organiske lag og kemiske funktionaliseringer.

Billederne viser eksempler på nanopartiklernes mangfoldige geometriske former [<http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/fnano/img/almanach200801.jpg>].



Nanopartiklers oprindelse

Partikler i nanometerstørrelse er ikke et nyt fænomen. De forekommer naturligt mange steder. Der kan skelnes mellem følgende 3 typer af partikler:

- *Naturlige nanopartikler* dannes fra vulkanudbrud og afbrænding af organisk materiale (fx fra en skovbrand).
- *Industrielle biprodukter* dannes ved menneskelig aktivitet. Disse inkluderer sod og partikler fra køretøjers udstødning og maskiner i industriel produktion, og de findes derfor i alle byer og nær en række industrielle processer (fx i svejserøg).
- *Syntetiske nanopartikler* designes og fremstilles med bestemte forskningsmæssige eller kommercielle formål.

Nanopartikler har en meget stor overflade i forhold til deres masse. Det betyder, at de i sammenligning med større partikler er langt mere reaktive. Tabellen nedenfor illustrerer, hvor stor forskellen er på det samlede overfladeareal og partikelantallet som følge af partikelstørrelsen i 1 mg af et bestemt stof.

Syntetiske nanopartikler påkræver sig stor opmærksomhed i arbejdsmiljøorganisationen. Deres specielle fysisk-kemiske egenskaber, som netop gør dem anvendelige til en række industrielle og forskningsmæssige formål, giver også mistanke om sundhedsskadelige effekter.

Tabellen viser en beregning af antal partikler og samlet overfladeareal i 1 mg partikler.

Partikeldiameter	0,01 µm (10 nm)	0,1 µm (100 nm)	1 µm (1.000 nm)
Antal partikler	10^{15}	10^{12}	10^9
Samlet overflade areal	3.000 cm ²	300 cm ²	30 cm ²

I arbejdsmiljøarbejdet er det væsentligt at se på alle typer luftbårne partikler. Der er dog stor forskel på partiklernes kemiske sammensætning, størrelse og fysiske form alt efter deres oprindelse. Disse faktorer har betydning for partiklernes toksicitet.

Sikkerhedsforanstaltninger

Forskningsresultater har de senere år givet anledning til mistanke og debat om mulige sundhedsrisici relateret til eksponering for syntetiske nanopartikler i arbejdsmiljøet.

Det er endnu uklart, hvilke partikler der er sundhedsskadelige for mennesker, samt i hvilket omfang mennesker vil blive eksponeret. Det er ligeledes ikke afklaret, hvordan man håndterer partiklernes komplekse form og sammensætning i relation til specifikke definitioner og regulering af området.

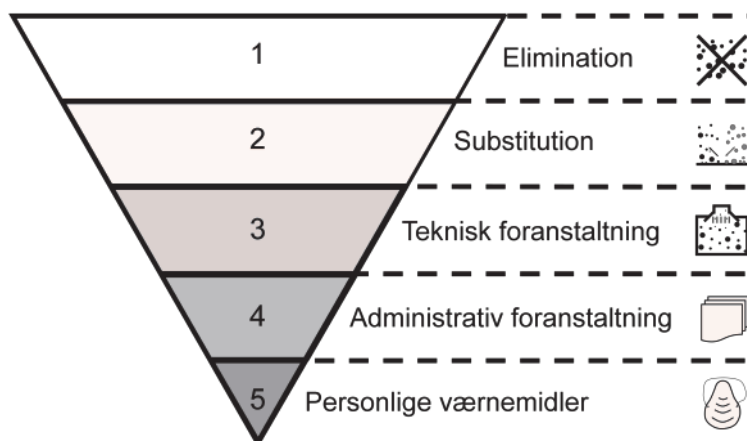
Opstilling af sikkerhedsforanstaltninger tager ofte udgangspunkt i data fra produktblade og sikkerhedsdataark. Der findes endnu ingen regulering, der sikrer en entydig specifikation af mærkning og klassificering af produkter med nanopartikler. Er man i tvivl, bør man derfor rådføre sig med leverandøren, og man skal som minimum indhente datablade på de anvendte materialer og produkter.

Ud fra den tilgængelige viden omkring helbredseffekten af luftbårne nanopartikler anbefales det at minimere eksponeringen for luftbårne partikler så meget, som det er praktisk muligt, og at man følger forsigtighedsprincippet.

Anvendelse af kontrolhierarkiet

Trods usikkerheder om nanopartiklers sundhedsskadelige effekter er det muligt at mindske eksponeringen for nanopartikulært støv og dermed skabe en forebyggende arbejdsmiljøindsats.

Det anbefales at lave en gennemgang af mulige eksponeringsrisici på hele arbejdspladsen. Herunder særligt at kortlægge anvendelser og mulige udslip af luftbårne nanopartikler. Hvor der er behov for at opstille eller forbedre sikkerhedsforanstaltninger, kan man med fordel bruge kontrolhierarkiet og opstille sikkerhedsforanstaltninger i den prioriterede rækkefølge. Ofte vil det være nødvendigt med en kombination af sikkerhedsforanstaltninger.



Figuren viser kontrolhierarkiet, som skal bruges til at prioritere forskellige mulige sikkerhedsforanstaltninger. Elimination og substitution af sundhedsskadelige materialer og arbejdsprocesser er første vej til beskyttelse. Derefter kan man overveje tekniske foranstaltninger osv. ned gennem hierarkiet.

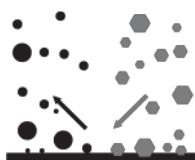


Elimination og substitution

Ifølge AT-vejledningen om arbejde med stoffer og materialer (AT C.1.3) skal arbejdsgiveren sikre, at farlige stoffer og materialer på arbejdspladsen fjernes, erstattes eller begrænses til et minimum. Det skal især ske ved at erstatte et farligt stof eller materiale med et ufarligt, mindre farligt eller mindre generende stof eller materiale - eller ved at ændre arbejdsprocessen.

Arbejdsmiljøorganisationen skal sammen med relevante ressourcepersoner afdække følgende spørgsmål:

- Kan produkter designes ved hjælp af mindre sundhedsskadelige materialer? Herunder om det specifikke nanomateriale kan bruges med en anden funktionalisering?
- Kan de planlagte produkter produceres hos underleverandør med større ekspertise i håndtering af nanomaterialer eller et lukket procesanlæg?
- Kan pulvermaterialer erstattes med granulater, suspensioner eller mindre støvende materialer?



Vejledningen påpeger, at stoffer og materialer skal bruges i en form, der medfører mindst mulig risiko for påvirkning ved arbejdet. Det kan overvejes at bruge granulat eller suspensioner af partikler i stedet for et støvende pulver.

I forbindelse med eksperimenterende forsknings- og udviklingsarbejde er det sjældent muligt at substituere nanomaterialet, da det ofte er netop dets specifikke egenskaber, man søger at udnytte eller udforske.

Funktionalisering af nanopartikler kan være udslagsgivende for partiklernes toksicitet og eksponeringspotentiale. Funktionaliseringen af nanopartikler kan medføre en øget risici, men kan også i nogle tilfælde skabe en mulighed for substitution til et mindre risikobetonet materiale.

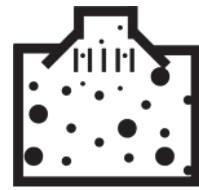
I nogle tilfælde har det vist sig, at man kan substituere nanopartiklers funktionalisering eller molekylære form og fortsat opnå de ønskede effekter. Fx har det i nogle tilfælde været muligt at erstatte fullerener, karbon nanorør, kvanteprikker og forskellige metaloxider med materialer, man formoder er mindre risikobetonede. Mulighederne for funktionaliseringen af nanopartikler omfatter:

- Skift af krystallinsk eller molekylær form.
- Tilføjelse/fjernelse af doteringsstof til kemisk modifikation.
- Ændring af kemisk overflade.
- Ændringer af størrelsesfordelingen af partikler.

Når man ser på alternative materialer, skal der indhentes fyldestgørende og ensartede oplysninger fra leverandører for at kunne sammenligne mulige substitutioner. I overvejelserne indgår hensyn til det ydre miljø.

Tekniske foranstaltninger

Tekniske foranstaltninger omfatter fysiske og tekniske indretninger ved arbejdsprocessen til at isolere, indkapsle og afskærme processen, samt brugen af mekanisk ventilation og filtre (lokalt og/eller centralt). Forskning indikerer, at almen kendte tekniske foranstaltninger generelt set kan nedsætte eksponeringen for nanopartikler effektivt, hvis de er designet korrekt til den specifikke arbejdsproces.



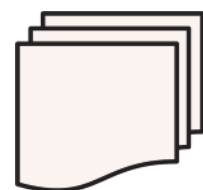
I APV arbejdet er det nødvendigt at gennemgå eksisterende faciliteter og nye anlæg for at sikre, at indkapsling, afskærmning og ventilation er designet korrekt. Fire forhold er væsentlige i gennemgangen af tekniske foranstaltninger.

- Ved at indrette produktionen korrekt er det muligt at reducere risikoen for at komme i kontakt med nanomaterialer.
- Ved at sikre at gulve, vægge og inventar er lavet i materialer med glatte og rengøringsvenlige overflader minimeres samling af nanopartikulært støv på overflader. Herved lettes rengøring ved spild og eksponering af medarbejdere mindskes.
- Støv- eller aerosoldannende processer skal så vidt muligt foregå indkapslet og/eller under udsugning. Det kan være i et lukket behandlingsanlæg eller sprøjtekabine med HEPA-filtre. Eksponering kan minimeres ved brug af lokal ventilation og personlige værnemidler.
- Nanomaterialer skal opbevares i lukkede og afmærkede skabe (evt. sammen med andre sundhedsskadelige kemikalier).

Det tilrådes i videst omfang at anvende automatiserede, ventilerede og lukkede anlæg til industriel overfladebehandling med nanopartikler. Brug af punktsug vurderes ikke at give tilstrækkelig beskyttelse i alle anvendelser og tilrådes ikke til hverken ophældning, iblanding eller påføring. Anvendes punktsug eller andet ventilation bør det som minimum suppleres med personlige værnemidler.

Administrative foranstaltninger

I mange produktioner med overfladebehandling anvendes foruden nanonanomaterialer en lang række potentielt sundhedsskadelige materialer og kemikalier. Det er derfor vigtigt at have velbeskrevne procedurer for registrering, bortskaffelse, brug af anlæg, udstyr og værnemidler. Ligeledes at personalet er uddannet og instrueret i disse procedurer. I mange tilfælde har man disse administrative foranstaltninger på plads, og man kan med fordel bruge nogle af disse i arbejdet med nanopartikler.



Administrative foranstaltninger omfatter adgangsbegrænsninger, uddannelse i gode arbejdsrutiner, udarbejdelse af arbejdspladsbrugsanvisninger og vejledninger om håndtering af daglige arbejdsrutiner, spild, uheld, rengøring, personlig hygiejne, brand, driftsstop og vedligehold ol.

I NanoSafer og hovedrapporten "Nanopartikler i arbejdsmiljøet" findes en række yderligere eksempler og inspiration til opstilling af administrative sikkerhedsforanstaltninger.



Personlige værnemidler

Personlige værnemidler skal være sidste vej til at beskytte sig, men kan være nødvendige som supplement til andre tekniske og administrative foranstaltninger. De bruges som sidste udvej til at beskytte medarbejderne mod:

1. Partikler og materialer, man enten har mistanke om er sundhedsskadelige.
2. Eller partikler og materialer, man ikke kender sundhedsvirkningen af.

Er værnemidler nødvendige, sker der ofte en eksponering af lokalet. Klare skriftlige instruktioner og uddannelse af personale skal være på plads i forhold til rengøring. Ligeledes hvor og hvornår personlige værnemidler er påbudt, og hvor og hvornår det er sikkert at tage værnemidler af igen.

Åndedrætsværn

Filtrerende åndedrætsværn skal altid være tilgængeligt i produktioner med fint støv. Maskefiltre vil aldrig beskytte 100 % mod nanopartikler, men masker med P3 filtre vurderes at være de mest effektive til at opfange nanopartikler af forskellige størrelser under normale arbejdsforhold og i kortere perioder.

Den største kilde til eksponering ved brug af masker er, hvis ikke masken sidder tæt rundt om næse og mund. En god pasform er derfor vigtig.

Medarbejdere, som arbejder med nanofibre (ex. karbon nanorør), bør være ekstra forsigtig og bør overveje at anvende friskluftforsynet åndedrætsværn og sikkerhedsforanstaltninger på niveau med asbestarbejde eller kræftfarlige stoffer og materialer.

Billedet til venstre viser anvendelse af personlige værnemidler ved sprøjtning af en sol-gel belægning på overflader. Arbejdet udføres i ventileret sprøjtekabine. Medarbejderen på billedet anvender 2 lags handsker, skåneærmer og friskluftforsynet åndedræt.



Handsker

Forskning har vist, at nanopartikler kan gennemtrænge en række forskellige handske typer. Som billedet til højre viser, kan det være nødvendigt at bære minimum 2 lag handsker. Antallet af lag skal dog tilpasses arbejdsprocessen, så arbejdet fortsat kan gennemføres i praksis uden unødige spild o.l. Studier har vist, at karbonbaserede og TiO₂-nanopartikler skaber allergisk sensibilisering af celler hos mus (allergisk reaktion eller adjuvans-effekt). Nitrilhandsker er blandt de mest effektive til at modstå gennemtrængning af partikler. Valg af handsketype tilpasses det specifikke arbejde, og man følger producenternes anbefalinger.

Der henvises i øvrigt til handskevejledning på www.i-bar.dk.



Billedet til højre viser en medarbejder iført en lang inderhandske og en nitrilhandske yderst til beskyttelse mod gennemtrængning af nanopartikler.

Medarbejderen anvender skåneærmer som sikrer at støv ikke samles mellem handske og ærmekanten.

Beklædning og briller

Der findes ikke meget viden om korrekt valg af beklædningsmaterialer. Blandt de generelle råd er at:

- Overflader på beklædning og fodtøj skal være støvafvisende og gerne af et non-woven materiale (ex. tyvek)
- Heldragten skal være tætsluttende ved hals og håndled.
- Nogle nanomaterialer kan være irriterende for øjne, eller de kan være opblandet i en irriterende eller ætsende solvent. Arbejdet skal i sådanne tilfælde laves i aflukkede anlæg, eller ved anvendelse af beskyttende beklædning og sikkerhedsbriller, som slutter tæt om øjnene.
- Kontamineret beklædning forsegles i det givne arbejdsområde, inden det transporteres til vask eller affald. Dermed minimerer man risici for at forurene tilstødende arbejdsområder. Brug opløselige poser, hvis tøjet sendes til vask.

Nanomaterialer i overfladebehandling

Kommercielle lakker og additiver indeholdende nanopartikler til behandling af træ, metal, glasfiber og betonkonstruktioner er under udbredelse og anvendes i flere produktioner i Danmark. Industrien har mange års erfaringer med håndteringen af epoxy, flygtige opløsningsmidler og andre sundhedsskadelige kemikalier. Erfaringer fra dette arbejde giver et godt fundament for håndteringen af nanopartikler i arbejdsmiljøet.

Arbejdssituationer med eksponeringsrisici

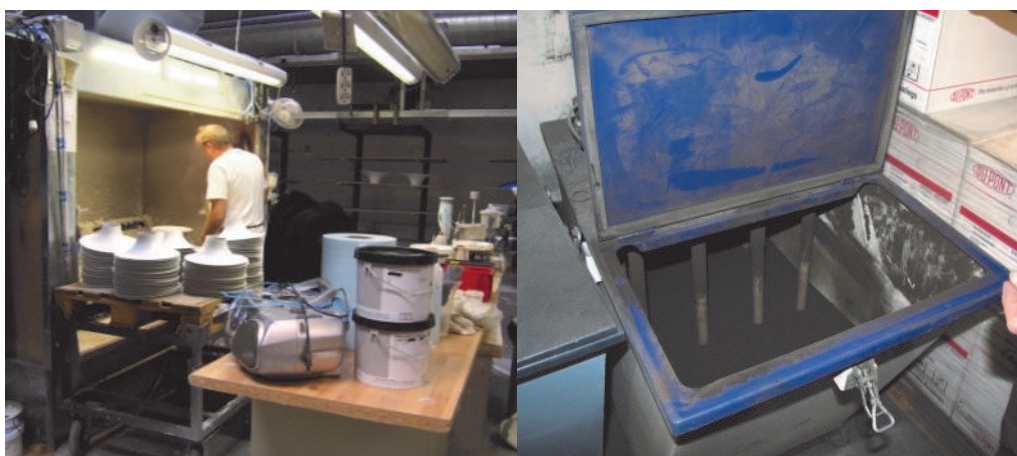
I overfladebehandling anvendes en række forskellige nanopartikler. Blandt de mest udbredte er TiO_2 , SiO_2 , Ag og andre metalforbindelser. Der foregår ligeledes udvikling og forsøg med anvendelser af kulstof nanorør og enzymer.

Partiklerne vil ofte være overflademodificeret med forskellige kemiske forbindelser for at lette dispergering i lakken. Kemien i overflademodificeringen kan øge sundhedsrisiciene ved nanomaterialerne og øger behovet for tiltag, som nedsætter eksponeringsrisici.

Billederne viser to situationer med eksponeringsrisici ved sprayprocesser.

Billedet til venstre viser en manuel belægning af vådlak i en sprøjtekabine.

Billedet til højre viser påfyldning af pulverlak til et automatiseret anlæg.



Eksponering for luftbårne nanopartikler og partikelholdige aerosoler kan opstå ved forskellige aktiviteter:

- Påføring og behandling med spray
- Ophældning og iblanding af additiver i lakken
- Slibning og polering af overflader
- Kemisk pådampning og plasmabehandling
- Laboratoriarbejde
- Andre typer situationer i forbindelse med uheld, spild, rengøring, vedligehold ol.

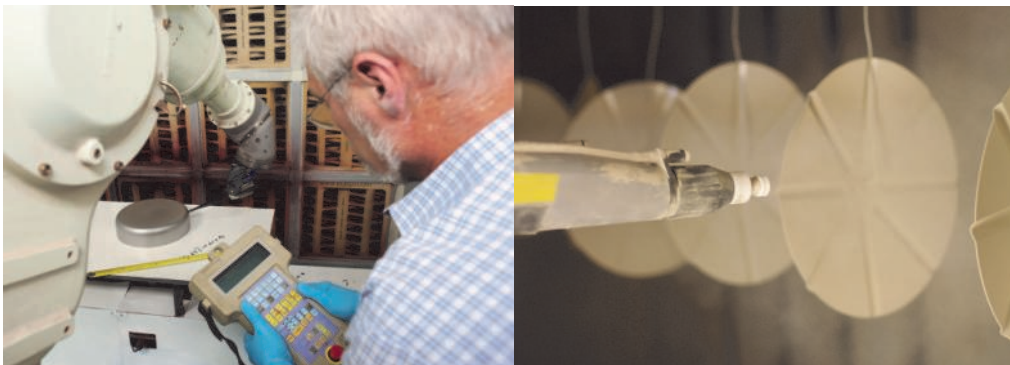
Påføring af overflader

Påføring af nanopartikelholdige vådlakker med spraydyser skaber væsentlige eksponeringsrisici for medarbejdere, fordi der dannes luftbårne nanopartikler og partikelholdige aerosoler under processen.

Nanopartikler bundet i en pulverlak kan minimere risiciene for direkte eksponering for nanopartikler. Dog er partikelstørrelsen på mange nyere pulverlakker så fine, at de vil kunne indåndes. Man bør derfor være opmærksom på at opstille de rette sikkerhedsforanstaltninger for såvel pulver- som vådlakker indeholdende nanopartikler. De bedste løsninger til at beskytte medarbejdere er:

- At undgå brugen af spraydyser og i stedet påføre med pumpe, rulle eller pensel.
- At bruge et automatiseret, ventileret og lukket anlæg til sprayprocesser.

Man ved, at sprøjtekabiner kan yde tilstrækkelig beskyttelse mod flygtige opløsningsmidler. Korrekt indstillede og ventilerede sprøjtekabiner med emnet rigtigt placeret forventes derfor også at kunne anvendes til behandling med nanopartikelholdige lakker. Er man i tvivl om sin opstilling og/eller materialets toksicitet, bør man supplere med brug af åndedrætsværn (P3 eller friskluftforsynet) og handsker.



Til venstre ses en ingeniør, som indstiller en robot til pålægning af en nanopartikelholdig Sol-Gel-belægninger.

Til højre ses et anlæg til sprøjtelakering af mindre emner. Anlægget er automatiseret og kan håndtere forbehandling, påføring og tørring.

Ophældning og iblanding af additiver

Nanopartikelholdige additiver leveres typisk som koncentrerede suspensioner i vand, alkohol eller fortynder, som let kan omrøres i en standard lak. Ny forskning viser, at nanopartikler kan aerosoliseres fra suspensioner ved ultralydssonikering i tilfælde, hvor partiklerne er meget hydrofobe. Anvender man ultralyd eller anden højfrekvensbehandling til dispergering af additiver, er det derfor vigtigt at være opmærksom på eksponering for nanopartikelholdige aerosoler.

Nanopartikelholdige additiver i pulverform bør normalvis kun håndteres i produktionsanlæg, der er indrettet til at håndtere støv. Har man behov for at lave særlige opblandinger, bør man derfor overveje at få det blandet hos en leverandør. Alternativt kan man søge rådgivning til at opstille sikkerhedsforanstaltninger med afskærmning og ventilation til dannelse af undertryk omkring processen suppleret med brug af værnemidler og instruktion af medarbejdere.

Slibning og polering af overflader

I forbindelse med overfladebehandling kan det være nødvendigt at slibe og polere en nanopartikelholdig overflade. I et nyligt forskningsstudie har man undersøgt, om der sker en særlig frigivelse af nanopartikler fra en nanopartikelholdig lak i forhold til en almindelig lak ved slibning med sandpapir på overfladen. Resultatet viste ikke signifikante forskelle mellem de to lakker.

Hvordan partiklerne er bundet i overfladen og eventuelt frigives afhænger af partiklernes binding i lakken. Eksempelvis om partiklerne er kemisk bundet, eller blot dispergeret i lakken. Ligeledes kan slibemetoden have betydning for frigivelsen af partikler og deres størrelsesfordeling. I tilfælde, hvor medarbejdere sliber regelmæssig og/eller i længere perioder, bør man derfor sikre sig med ventilation og personlige værnemidler.

Kemisk pådampning og plasmabehandling

Nye metoder til belægning af ultratynde overflader med kemisk pådampning og plasmabehandling er under udbredelse. Anlæg hertil findes i såvel udviklingsmiljøer som industrielle produktioner.

Kemisk pådampning af molekylslag på en overflade er muligt med CVD, PCVD og lignende udstyr. Processer af denne type foregår ofte under vakuum eller med gasarter som argon, kvælstof ol. i et lukket anlæg.

Til venstre ses et apparatur til deponering af ultratynde overfladebelægninger ved dannelse af plasma. Opstillingen er for stor til at kunne lukkes helt inde, og der anvendes udsug og værnemidler ved åbning.

Til højre ses en forsøgsopstilling med open-air plasma i et stinkskab.



Partikelmålinger viser, at selvom CVD processen er lukket, kan der opstå væsentlig eksponering for luftbårne nanopartikler ved åbning af CVD anlægget og (i tilfælde af, at anlægget bruges til fremstilling af nanopartikler) ved høstning af partikler.

Plasmabehandling anvendes til rensning, overfladeaktivering og belægning af ultratynde film på plast, metal, glas og tekstilmaterialer. Selve plasmabeskydningen består af ultrafine partikler. Der findes ikke studier, som efterviser det reelle eksponeringsniveau nær processen. Det forventes dog, at der dannes et markant antal nanopartikler omkring processen. Af disse grunde bør processen derfor indkapsles og/eller varetages under udsugning.

Arbejde i laboratorium

En del arbejde med nanomaterialer foregår fortsat i laboratorier, hvor der udvikles, testes og laves kvalitetskontrol på nye overflader. Alle arbejdsprocesser med håndtering af nanopartikelholdigt pulver eller aerosoldannelse bør udføres i stinkskab eller LAF-bænk. Det omfatter åbning af beholdere, afvejning, omhældning, ultralydsbehandling og påføring med spray. Sammen med handskeboks vurderes stinkskabe og LAF-bænke at give den bedste beskyttelse i laboratoriet (se også pjecen 'Nanopartikler i arbejdsmiljøet - Laboratorium').

Vedligehold, spild og rengøring

Andre situationer kan opstå, hvor man ikke kan håndtere nanomaterialer i et automatiseret, ventileret og lukket anlæg. Blandt de vigtigste situationer er:

- Uheld eller spildsituationer under arbejde eller transport
- Håndtering af affald
- Rengøring af udstyr og lokaler
- Vedligehold af ventilationsanlæg og udstyr

Håndtering af uheld og spildsituationer bør generelt set håndteres som uheld med andre stoffer og materialer med afskærmning af området, brug af personlige værnemidler og lignende foranstaltninger (jf. AT vejledning C.1.3). Samme sikkerhedsniveau tilrådes ved udskiftning af filtre, vedligehold af anlæg ol.



Billedet til venstre viser rengøring af et mindre spild med HEPA-filtreret industristøvsuger.

Billedet til højre viser den efterfølgende aftørring af området med en fugtig klud.

Rengøring

Ved rengøring af spild og rengøring af lokale og udstyr kan følgende råd følges:

- Fjern straks eventuel spild af pulvermaterialer og støv med en fugtig engangsklud, støvsuger med HEPA filter eller centralstøvsuger.
- Tør efter flere gange. Nanopartikler kan være usynlige og kan sætte sig i meget fine ujævnheder i overfladen.
- Nanopartikler deponeres og hæfter på alle overflader, uanset om fladen vender opad, nedad eller er lodret.
- Engangsklude lægges straks efter brug i plastpose, der lukkes forsvarligt.

Vedligehold

Er der behov for vedligehold eller reparation på anlæg eller udstyr, tages der særlige forholdsregler, hvis der har været anvendt nanomaterialer.

- Anlægget ventileres grundigt inden det åbnes, eller medarbejdere går ind i anlægget.
- Selve anlægget og området omkring det rengøres grundigt for nanopartikelholdigt støv.
- Området omkring anlægget eller stedet hvor udstyr vedligeholdes afskærmes, og der ventileres med generel ventilation under arbejdet.
- Har reparationer eller vedligehold givet anledning til yderligere udslip af støv, rengøres området igen efter arbejdet. Det kan eksempelvis være i forbindelse med udskiftning af filtre ol.
- Medarbejdere bør anvende personlige værnemidler under rengøring og vedligehold. Herunder handsker, åndedrætsværn og beklædning som let kan forsegles og bortskaffes efterfølgende uden at forurene andre arbejdsområder.

Billedet til venstre viser rengøring af arbejdsstedet forud for en vedligeholdelsesopgaver.

På billedet til højre ses en tekniker, som udskifter et filter i anlægget. Teknikeren anvender personlige værnemidler, og arbejdsområdet er afskærmet under arbejdet.



Affaldshåndtering

Har man et spild af nanopartikler eller et additiv i pulverform afskærmes arbejdsområdet, mens rengøring pågår.

Støvholdigt affald med nanopartikler fra rengøring og produktion mærkes og bortskaffes som værende sundhedsskadeligt i arbejdsmiljøet. Der laves en dobbelt forsejlet emballage, som transporteres i en særlig lukket spand eller affaldspose, der ligeledes er mærket.

På billedet til højre ses, hvordan klude, beklædning ol. fra en vedligeholdelsesopgaver forsejles i en plastpose i arbejdsområdet, så man undgår forurening af andre arbejdsområder.

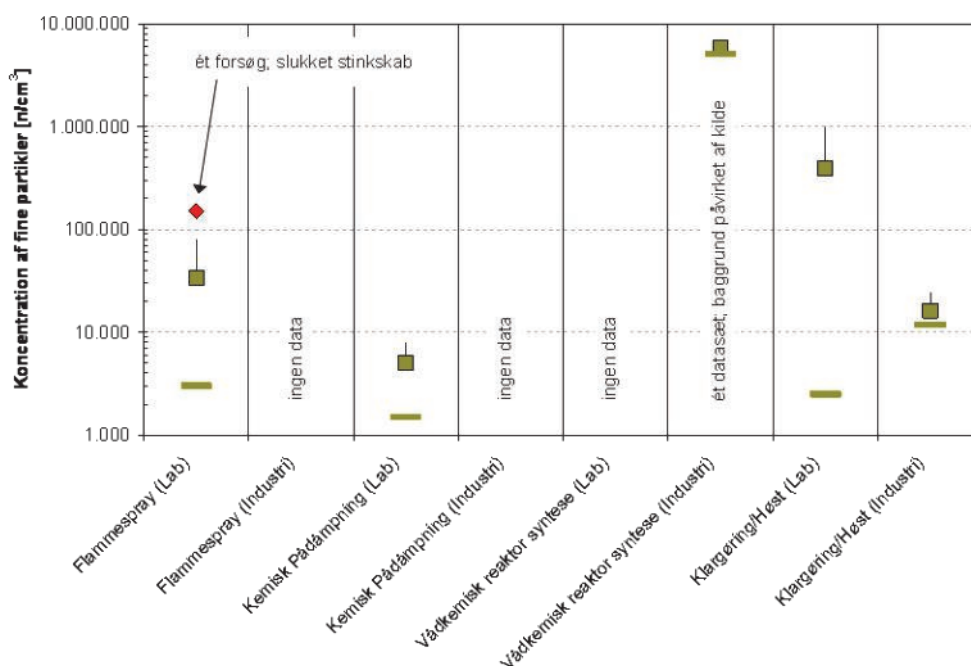


Affaldet leveres efterfølgende til Kommunekemi med mærkning af affaldsgruppe og med tydelig etiket, der viser, at indholdet er mistænkt for at være sundhedsskadeligt og derfor ikke må åbnes. Således sikres det, at forurening ikke spredes fra et arbejdsområde til et andet.

Feltmålinger

Der findes målinger af eksponeringsniveauer for flere arbejdsituationer med nanomaterialer i laboratorier og industrielle processer. Graferne på de følgende sider opsummerer eksisterende resultater fra målinger af eksponeringsniveauer.

De illustrerede feltmålinger bør læses med visse forbehold. Der er endnu ikke lavet gentagende forskningsforsøg, der kan validere data fra forsøgene. Ligeledes vil eksponeringen fra denne type arbejdsituationer i nogen grad afhænge af den specifikke opstilling og valgte materialer under målingen. Det generelle billede er dog, at eksponeringsniveauerne ved alle typer processer er så høje, at man bør forholde sig seriøst til det i arbejdsmiljøorganisationen.



Grafen viser partikelmålinger fra feltstudier på arbejdspladser, der anvender nanopartikelholdige pulvere.

Den røde markering i grafen viser målinger ved slukket stinkskab og illustrerer således effektiviteten af stinkskaftet ved flammesyntese. Effektiviteten kan være anderledes ud for flygtige pulvermaterialer.

Kemisk pådampning

Resultaterne præsenteret til højre og i midten af grafen ovenfor viser resultater fra arbejdsituationer i forbindelse med overfladebehandling i et vakuumanlæg til kemisk pådampning (CVD). Resultaterne viser, at der kan være eksponering forbundet med åbning af anlægget ved tilsyn eller efter endt proces.

Ligeledes viser resultaterne, at der kan være markante partikelniveauer og eksponeringsrisici forbundet med høsten af partikler fra kemisk pådampning. Det kan eksempelvis være ved belægning af grafenlag under produktion af kulstof nanorør på kemisk pådampning.

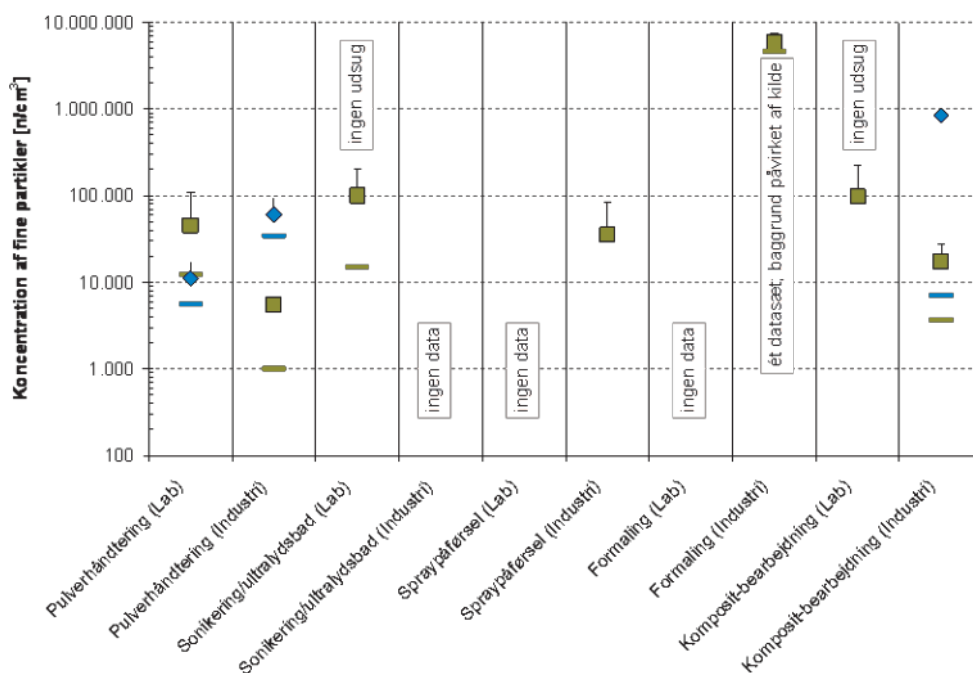
Spraypåføring

Resultatet for spraypåføring af SiO-Fe nanopartikler viser, at der i overfladebehandling med brug af spraydyser kan opstå et højt eksponeringsniveau af fine partikler nær arbejdsprocessen.

Pulverhåndtering og dispergering

For aktiviteter med håndtering af nanopartikelholdige pulvere og bearbejdning af nanomaterialer ses emissionsrater eller forhøjede partikelkoncentrationer i stort set alle rapporterede situationer. Flere af målingerne for pulverhåndtering er lavet i produktioner med mange års erfaring i pulverhåndtering, hvorfor håndtering af pulver i produktion ikke anbefales for virksomheder uden denne erfaring.

Grafen viser partikelmålinger fra feltstudier på arbejdspladser, der anvender nanopartikelholdige pulvere.



Grafen viser, at dispergering ved ultralydsbehandling kan generere høje koncentrationer af partikelholdige aerosoler. Der findes ingen data for partikelkoncentrationer under industriel sonikering og ultralydsbehandling, men det er velkendt, at processen kan medføre utilsigtet eksponering. Resultaterne understreger, at det er vigtigt at være opmærksom på eksponeringsfaren ved håndtering af selv relativt små mængder nanopartikler og processer, hvor der indgår højfrekvent energi.

Andre arbejdsprocesser

Resultaterne til højre i grafen understreger, at bearbejdning (skæring, formaling og anden nedbrydning) af nanokompositter kan danne fragmentering af nanopartikelært eller nanoporøst støv. Der kan derfor være eksponeringsfare ved sådanne forarbejdningsprocesser. Studierne viser blandt andet, at vådskæring er meget effektivt til at reducere dannelsen af luftbårne nanopartikler, og at indkapsling med dannelse af undertryk omkring processen kan minimere spredning af støv.

Introduktion til NanoSafer

NanoSafer er første generation af et internetbaseret værktøj, som gør det muligt at lave en evaluering af det forventede risikoniveau ved produktion eller håndtering af specifikke syntetiske nanopartikler eller nanopartikeldannende processer.

Brug af NanoSafer

Værktøjet er mest anvendeligt, hvis du har god viden om de materialer og aktiviteter, der skal evalueres. Det er også godt at have konkret viden eller alternativt en kvalitativ fornemmelse af emissionspotentialet ved det givne stof eller den givne aktivitet. Det kan enten være et pulvermateriales støvningsindeks (mg/kg) eller niveauet af et udslip fra en proces (mg/min).

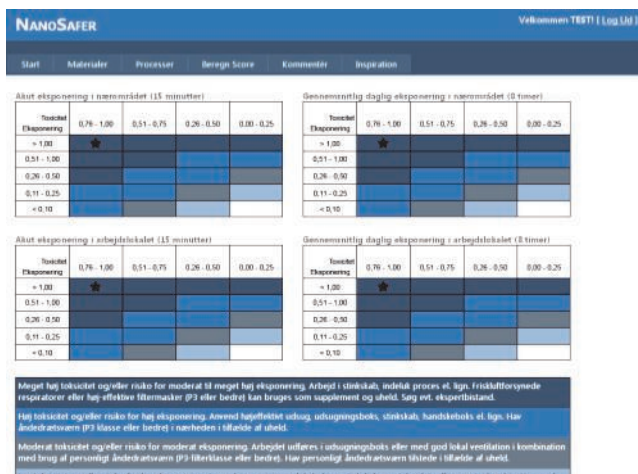
For at kunne lave vurderingen af eksponeringsscenarioet kræves data fra materialedataark, sikkerhedsdataark og enten en kvalitativ eller kvantitativ viden om, hvor støvafgivende en given aktivitet er. Hvis ikke data forekommer, så kan generelle data fx indhentes i opslagsværker eller via anviste links.

Fanebladene 'Materialer' og 'Processer'

Den første fase består i at registrere sit stof og indtaste primære fysisk-kemiske data. Herefter kan vælges at foretage en automatiseret vurdering af stoffets "nano-relevans". Hvis materialet ikke vurderes til at have nano-relevans, bør man overveje at foretage risikovurdering som normalt.

Hvis stoffet vurderes at bestå af nanopartikler, kan man gå videre og indtaste data til vurdering af stoffets toksicitet. Vurderingen baseres på data om primærpartiklens størrelse og form samt de risiko- og sikkerhedsætninger, der i sikkerhedsdataarket danner grundlag for bestemmelse af beskyttelsesniveau.

Derefter indtastes data til beregning af eksponeringsniveau. Det omfatter data om arbejdsprocessen og kontekstuelle data (f.eks. energiniveauet i processen, lokalestørrelse, ventilationsrate osv.).



I eksemplet til venstre ses en vurdering af afvejning (proces) af karbon nanorør (materiale) uden brug af ventilation. Nederst ses angivelsen af modulets anbefalede sikkerhedsniveau.

Fanebladet ”Beregn Score”

Endelig går man til beregningsmodulet, hvor man kan kombinere alle indtastede nanomaterialer og arbejdsprocesser i separate vurderinger. Usikkerheden ved små partikler tillægges en særlig risikofaktor. Samtidig vægter NanoSafer potentielle risici for alvorlige og kroniske sundhedseffekter (KRAN) højere end mindre alvorlige effekter.

Eksponeringsfaren vises for akut eksponeringsfare (15 min) og eksponeringsfaren for en hel arbejdsdag (8 timer) i både nærfeltet omkring aktiviteten og i den generelle rumluft. Man får altså fire værdier for eksponeringsfaren og én værdi for det toksiske potentiale.

Beregningsmodulet er konstrueret således, at den primære beregning vurderer eksponeringsfaren uden anvendelse af tekniske beskyttelsesforanstaltninger (f.eks. punktsug eller stinksug). Efterfølgende kan man lave nye beregninger, hvor kildestyrken er tilpasset i forhold til den forventede effektivitet for en specifik beskyttelsesforanstaltning.

Fanebladet ’Inspiration’

Under ’Inspiration’ er det muligt at få viden og inspiration om effekten af kendte sikkerhedsforanstaltninger og opmærksomhedspunkter i arbejdsmiljøindsatsen på arbejdspladsen.

Under ’Kontrolhierarki’ og ’Arbejdsplads’ findes en række inspirationssekvenser, som med billede og lyd formidler centrale budskaber om håndtering af nanomaterialer. Dette kan være til inspiration i arbejdet med at nedbringe eksponeringsrisici for arbejdet med specifikke materialer eller arbejdsprocesser. Under ’Inspiration’ findes også links til uddybende information i rapporten ’Nanopartikler i arbejdsmiljøet’.

I eksemplet til højre ses et af modulerne fra NanoSafer med inspiration til opstilling af forskellige typer sikkerhedsforanstaltninger og anvendelse af kontrolhierarkiet.



Du finder NanoSafer via www.i-bar.dk/nanosafers.aspx. Her kan du oprette brugernavn og adgangskode via linket ’Opret konto’. Med dit brugernavn og adgangskode kan du logge ind og gemme indtastede data fra gang til gang.



Medarbejdersekretariat

CO-industri

Vester Søgade 12

1790 København V

Telefon: 3363 8000

Telefax: 3363 8099

E-mail: miljoe@co-industri.dk

www.co-industri.dk



Organisation for erhvervslivet

Arbejdsgiversekretariat

DI Organisation for Erhvervslivet

1787 København V

Telefon: 3377 3377

Telefax: 3377 3370

E-mail: di@di.dk

www.di.dk

Industriens Branchearbejdsmiljøråd

Postboks 7777

1790 København V

www.i-bar.dk



INDUSTRIENS
BRANCHEARBEJDSMILJØRÅD