

## FOREBYGGENDE TILTAK OG VERKTØY FOR HÅNDTERING AV NANOMATERIALER PÅ ARBEIDSPLASSEN

Denne e-faktaartikkelen presenterer flere risikostyringsverktøy som er blitt utviklet for å være til hjelp i valget av egnede forebyggende tiltak på arbeidsplassen, og som kan støtte selskaper i deres risikovurdering når det gjelder nanomaterialer på arbeidsplassen.

### 1. Innledning

#### 1.1 Hva er nanomaterialer?

Nanomaterialer er materialer som inneholder partikler med én eller flere dimensjoner i størrelsesintervallet 1 til 100 nm <sup>(1)</sup>, en størrelse som kan sammenlignes med atomer og molekyler. De kan være naturlig til stede, for eksempel i asken fra vulkanutbrudd, eller en utilsiktet konsekvens av menneskelig aktivitet, for eksempel de som finnes i dieseleksos. Et stort antall nanomaterialer blir imidlertid produsert og markedsført med hensikt, og det er disse denne e-faktaartikkelen i hovedsak handler om.

Nanomaterialer har spesifikke egenskaper – som først og fremst er et resultat av liten størrelse og stort overflateareal, men også av form, kjemiske egenskaper, overflatefunksjon og overflatebehandling – noe som innebærer mange fordeler på tallrike bruksområder. På grunn av disse egenskapene kan nanomaterialer også ha en rekke potensielle giftvirkninger, selv om de samme materialene i makroformat ikke har det [2, 3].

#### 1.2 Eksponeringsveier og helse- og sikkerhetsrisiko knyttet til nanomaterialer

Under normale miljøforhold kan nanomaterialer danne agglomerater eller aggregater som er større enn 100 nm, og på den måten endre (men ikke nødvendigvis miste) sine nanospesifikke egenskaper. Imidlertid kan slike nanomaterialer igjen frigjøres fra svakt sammenføyde agglomerater og kan, under visse forhold, også danne sterkere sammenføyde aggregater. Det undersøkes for tiden om dette kan skje i lungevæske etter innånding av slike agglomerater eller aggregater [2, 3]. Agglomerater og aggregater som inneholder nanomaterialer, bør derfor også tas i betraktning når risikoen på en arbeidsplass skal vurderes.

Den indre eksponeringsmekanismen som trer i kraft når nanomaterialer kommer inn i kroppen, kan omfatte ytterligere absorpsjon, distribusjon og metabolisme. Noen nanomaterialer har blitt funnet i for eksempel lunger, lever, nyrer, hjerte, reproduktive organer, fostre, hjerne, milt, skjelett og bløtvev [2]. Det gjenstår ubesvarte spørsmål angående bioakkumulering av nanomaterialer og mekanismer for utskilling fra celler og organer. Et annet problem er at selv om et nanomateriale i seg selv ikke har

<sup>(1)</sup> Ifølge Europarådets anbefaling [1]:

- Et "nanomateriale" er "et naturlig, tilfeldig oppstått eller produsert materiale som inneholder partikler i ubundet form eller som et aggregat eller et agglomerat, og der minst 50 % av partiklene i den antallsmessige størrelsesfordelingen har en eller flere ytre dimensjoner i størrelsesintervallet 1–100 nm. Den antallsmessige størrelsesfordelingen uttrykkes som et antall objekter innenfor et gitt størrelsesintervall, delt på det totale antallet objekter."
- "I særlige tilfeller, og der hensyn til miljø, helse, sikkerhet eller konkurranseevne tilsier det, kan terskelen for den antallsmessige størrelsesfordelingen på 50 % erstattes med en terskel som ligger mellom 1 og 50 %."
- "Som unntak fra ovennevnte skal fullerener, grafittflak og enkeltveggede karbonnanorør med én eller flere dimensjoner mindre enn 1 nm anses som nanomaterialer".

giftvirkninger, kan det muligens fungere som en trojansk hest i den forstand at et giftigere materiale kan feste seg til nanomaterialet, og på den måten få innpass i kroppen, i organer eller celler [4].

De viktigste virkningene av nanomaterialer er blitt funnet i lungene og omfatter betennelse, vevsskader, oksidativt stress, kronisk giftvirkning, cytotoksisitet, fibrose og tumordannelse. Noen nanomaterialer kan også påvirke hjerte- og karsystemet. De potensielt farlige egenskapene til produserte nanomaterialer er gjenstand for kontinuerlig forskning [2, 3].

Det er tre mulige hovedeksponeringsveier for nanomaterialer på arbeidsplassen [2, 4–8]:

- **Innånding** er den vanligste eksponeringsveien for luftbårne nanopartikler på arbeidsplassen. Innåndede nanopartikler kan avsettes i de øvre luftveiene og i lungene, avhengig av partiklenes størrelse og form. Etter innånding kan de krysse lungenes overflatevev, få innpass i blodet og nå frem til flere organer og vev. Det er også registrert at noen innåndede nanomaterialer har nådd frem til hjernen via luktenerven.
- **Svelging** kan forekomme som følge av utilsiktet hånd til munn-overføring fra forurensede overflater, eller ved inntak av forurenset mat eller vann. Svelging kan forekomme som en konsekvens av innånding av nanomaterialer, ettersom innåndede partikler som renskes ut av de øvre luftveiene via flimmerhårene, kan bli svelget. Noen nanomaterialer som svelges, kan krysse overflatevevet i tarmen, få innpass i blodet og nå frem til flere organer og vev.
- **Hudgjennomtrengning** er fortsatt på forskningsstadiet [6, 8]. Intakt hud ser ut til å utgjøre en god barriere mot opptak av nanomaterialer [9]. Skadet hud ser ut til å være mindre effektiv, men opptaksnivået er sannsynligvis lavere enn ved innånding [9]. Til tross for dette bør imidlertid hudkontakt også forebygges og kontrolleres.

Eksponeringspotensialet avhenger derfor hovedsakelig av sannsynligheten for at nanomaterialer blir luftbårne, og pulverform eller spray utgjør et større risikopotensial enn oppløsninger i væske, pastaer, granulater eller komposittmaterialer. Nanomaterialer i væsker utgjør i sin tur et større risikopotensial enn bundne eller faste nanostrukturer, som i en polymermatrise [10].

Og sist, men ikke minst, kan sikkerhetsrisiko også være en følge av den høye eksplosiviteten, brennbarheten og det katalytiske potensialet til visse nanopulvere (nanomaterialer i pulverform), og spesielt til metallnanopulvere.

### 1.3 Risikostyring knyttet til nanomaterialer på arbeidsplassen

På arbeidsplassen har arbeidsgiverne en generell plikt til å ivareta arbeidernes helse og sikkerhet i alle aspekter ved arbeidet ved å gjennomføre jevnlig risikovurderinger – som beskrevet i det såkalte "rammedirektivet" 89/391/EØF [11] – og disse skulle også omfatte mulig risiko tilknyttet nanomaterialer. I tillegg innfører direktiv 98/24/EF om kjemiske agenser på arbeidsplassen [12] strengere bestemmelser for risikostyring i tilknytning til stoffer på arbeidsplassen – spesielt hierarkiet av forebyggende tiltak som styrker fjerning eller erstatning som prioriterte tiltak – som også gjelder nanomaterialer, ettersom disse faller inn under definisjonen av "stoffer". Hvis et nanomateriale, eller materialet med samme oppbygning på makronivå, er kreftfremkallende eller arvestoffskadelig, må direktiv 2004/37/EF om kreftfremkallende og arvestoffskadelige kjemikalier på arbeidsplassen [13] også følges. Nasjonal lovgivning kan uansett ha strengere bestemmelser og må konsulteres.

Ettersom nanomaterialer regnes som stoffer, er klassifiseringen i kjemikalierregelverket om registrering, vurdering, godkjenning og begrensninger av kjemikalier (REACH) [14] og forskriften om klassifisering, merking og emballering av stoffer og blandinger (CLP) [15] like relevante.

Til tross for pågående forskning utvikles nanoteknologifeltet raskere enn det genereres kunnskaper om nanomaterialenes helse- og sikkerhetsaspekter. Det mangler fortsatt kunnskaper om nanomaterialenes innvirkning på arbeidernes helse og sikkerhet, og om metodene for vurdering av risiko.

Under gjennomføringen av risikovurdering i tilknytning til nanomaterialer på arbeidsplassen kan arbeidsgiveren derfor møte vanskeligheter knyttet til

1. utilstrekkelig informasjon om nanomaterialenes farlige egenskaper
2. manglende konsensus om hvilke standardiserte metoder og hjelpemidler som skal brukes for å måle eksponeringsnivåer og identifisere nanomaterialer og utslippskilder
3. begrenset informasjon om virkningene av risikoreducerende tiltak (filtre, hansker osv.)

4. manglende informasjon om forekomsten av nanomaterialer, spesielt i blandinger eller produkter, men også nedover i brukerkjeden, når nanomaterialer eller produkter som inneholder nanomaterialer, blir brukt eller behandlet

Sikkerhetsdatablader er et viktig informasjonsverktøy for å forebygge risiko som skyldes farlige stoffer på arbeidsplassene. Imidlertid inneholder disse som regel lite eller ingen informasjon om forekomsten av nanomaterialer og deres egenskaper, risiko for arbeidere og forebyggende tiltak [17–19]. Organisasjonene anbefales derfor å kontakte leverandørene direkte for å få ytterligere informasjon. Endringer i vedlegg II til REACH [20], det juridiske rammeverket for sikkerhetsdatablader samt veiledningen fra Det europeiske kjemikaliebyrået (ECHA) om sikkerhetsdatablader [21], som gir ytterligere råd om hvordan man skal forholde seg til nanomaterialenes egenskaper, forventes å høyne kvaliteten på informasjonen i sikkerhetsdatabladene.

Retningslinjer fra Organisasjonen for økonomisk samarbeid og utvikling i Europa (OECD) [22] støtter identifisering av kilder til utslipp av luftbårne nanomaterialer fra diverse typer prosesser og arbeidspraksis.

Foreløpige indikasjoner tyder på at følgende aktiviteter og former for praksis som involverer nanomaterialer på arbeidsplasser, bør vies spesiell oppmerksomhet i vurderingen av eksponeringsfaren og bør prioriteres for risikostyring.

- Aktiviteter der nanomaterialer med følgende egenskaper brukes:
  - Nanomaterialer med kjente spesifikke giftvirkninger (f.eks. arsenikk og kadmium og blandinger med disse, eller krystallinsk silisium), eller for hvilke det samme materialet i makroformat har kjente, spesifikke giftvirkninger.
  - Biologisk persistente nanomaterialer, både ikke-fibrøse (som titandioksid, aluminiumoksid) og fibrøse (som karbonnanorør).
  - Oppløselige materialer med kjent helsefare, eller der fravær av helsefare ikke er dokumentert.
- Alle situasjoner der nanomaterialer kan bli luftbårne, for eksempel lasting og lossing av nanomaterialer eller kjemikalier som inneholder nanomaterialer, til eller fra utstyr til knusing eller blanding, fylling av kjemikalier i beholdere, prøvetaking av produserte kjemikalier og åpning av systemer for produktgjenvinning.
- Rengjøring og vedlikehold av installasjoner (inkludert lukkede produksjonssystemer) og av risikoreduserende utstyr, for eksempel filtre i lokale eksosventilasjonssystemer.
- Forskning og utvikling av stoffer som inneholder nanomaterialer, for eksempel komposittmaterialer.
- Håndtering av pulvere og sprayblandinger som inneholder nanomaterialer Pulvere har en sannsynlig økt risiko for eksplosjon, selvantennelse og elektrostatisk utladning, noe som medfører sikkerhetsmessige bekymringer. De kan i tillegg danne støvskyer, som fører til økt fare for innånding.
- Mekanisk eller termisk behandling av gjenstander som inneholder nanomaterialer som kan frigjøres som følge av disse prosessene (f.eks. laserbehandling, maling, kutting).
- Avfallsbehandling som involverer gjenstander som inneholder nanomaterialer.

I prinsippet kan alle aktiviteter som involverer nanomaterialer og utføres utenfor en lukket installasjon, anses som farlige fordi de innebærer en eksponeringsrisiko for arbeiderne. Eksponering er imidlertid også mulig selv innenfor lukkede installasjoner, for eksempel ved lekkasjer eller under rengjøring og vedlikehold, og dette bør også tas hensyn til i risikovurderingen og iverksettingen av forebyggende tiltak.

Det er viktig at man i prosessene for risikostyring ikke bare prioriterer nanomaterialer med kjente virkninger på helse og sikkerhet, men også nanomaterialer med manglende, ufullstendig eller usikker informasjon angående farer og eksponering, der man bør ha en føre-var-holdning til forebygging av eksponering for nanomaterialer på arbeidsplassen.

Ettersom usikkerhetsmomentene ovenfor gjør at tradisjonelle tilnærminger til risikovurdering av farlige stoffer ikke alltid egner seg for nanomaterialer, er en alternativ tilnærming å bruke kontrollkategorisering. Dette er en forenklet fremgangsmåte for å vurdere risikoen knyttet til aktiviteter

og stoffer og kategorisere dem i henhold til deres potensielle fare og potensialet for eksponering på den aktuelle arbeidsplassen.

Denne e-faktaartikkelen presenter flere slike risikostyringsverktøy som bruker kontrollkategorier, og som er blitt utviklet for å bistå i valget av egnede forebyggende tiltak på arbeidsplasser, og som i lys av begrensningene som er nevnt ovenfor, kan støtte selskaper i deres prosedyrer og veiledninger for risikovurdering på arbeidsplassen.

## 2 Veiledninger og verktøy for håndtering av nanomaterialer på arbeidsplassen

For å overkomme de allerede nevnte begrensningene og legge til rette for risikovurdering og -styring av nanomaterialer på arbeidsplassen, er det utviklet en rekke nyttige og informative veiledninger og verktøy.

Som med all annen risikovurdering avhenger kompleksiteten og detaljnivået av hvilke farlige stoffer det dreier seg om, og av hvilken aktivitet som skal utføres. I mer komplekse situasjoner anbefales det derfor å søke ekspertbistand til bruken av disse verktøyene.

I tillegg til veiledningene og verktøyene som beskrives nedenfor, hadde Europarådet på tidspunktet da utkastet til dette dokumentet ble laget, gitt Risk & Policy Analysts Ltd (<http://www.rpaltd.co.uk/>) i samarbeid med IVAM UvA BV (<http://www.ivam.uva.nl>) i oppdrag å utarbeide en praktisk veiledning for trygt arbeid med konstruerte nanomaterialer og nanoteknologi på arbeidsplassen, som en del av en større undersøkelse som tok sikte på å fastslå den potensielle virkningen av nanomaterialer og nanoteknologi på arbeidsplassen og evaluere omfanget og innholdet av eventuelle endringer av relevant EU-lovgivning angående helse og sikkerhet på arbeidsplassen. (Du finner mer informasjon på: <http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=148&langId=en&callId=311&furtherCalls=yes>).

### 2.1 Nettbaserte interaktive verktøy for kontrollkategorisering

Kontrollkategorisering er en kvalitativ eller semikvantitativ tilnærming til risikovurdering og risikostyring for å fremme helse og sikkerhet på arbeidsplassen. Formålet er å minimere arbeidernes eksponering for farlige kjemikalier og andre risikofaktorer på arbeidsplassen, og spesielt i arbeidssituasjoner der tilgangen til informasjon om farer, eksponeringsnivåer og risikoer er begrenset. Disse verktøyene håndterer usikkerhet knyttet til farer i en gitt arbeidssituasjon eller en gitt aktivitet ved å anslå den potensielle risikoen på en praktisk og forebyggende måte. Ved fravær av fullstendige data brukes med andre ord en føre-var-tilnærming.

De har som formål å bistå organisasjoner ved å gi dem en lettfattelig, praktisk tilnærming til risikovurderingen av nanomaterialer på sine arbeidsplasser, hjelpe dem med å velge relevante forebyggende tiltak og bidra til å øke bevisstheten om risikoene knyttet til bruken og håndteringen av nanomaterialer. De kan derfor være spesielt nyttige for små og mellomstore bedrifter, og særlig for mikroforetak, som kan stå overfor tilleggsutfordringen det er å ha færre ressurser eller mangle intern ekspertise på dette området.

De fleste av disse verktøyene er under kontinuerlig utvikling for å kunne oppdateres med nye kunnskaper om helse- og sikkerhetsaspektene ved nanomaterialer, metoder for å måle eksponeringsnivåer og forebyggende tiltak. På grunn av den nåværende begrensede informasjonen som finnes på området, støtter kontrollkategorisering seg på en rekke antakelser om farer og eksponering, og det medfører visse begrensninger i bruken av kontrollkategorier.

#### 2.1.1 Stoffenmanager Nano (foreligger på nederlandsk, engelsk og finsk)

Tilgjengelig på: <http://nano.stoffenmanager.nl/Default.aspx>

Stoffenmanager Nano Module 1.0 (versjon 1.0) er et verktøy for kontrollkategorisering, utarbeidet av det nederlandske sosial- og arbeidsdepartementet i samarbeid med den nederlandske organisasjonen for anvendt vitenskapelig forskning, TNO og Arbo Unie, for kvalitativ vurdering og styring av helserisiko på arbeidsplassen som følge av eksponering for nanomaterialer via innånding [23]. Stoffenmanager Nano er blitt utviklet for å hjelpe arbeidsgivere og arbeidstakere med å prioritere eksponeringssituasjoner som innebærer håndtering av nanomaterialer, og hjelp til å velge adekvate tiltak for å styre risikoene. Verktøyet er nettbasert og gratis (krever registrering).



Det egner seg for all typer uløselige, produserte nanomaterialer, for eksempel karbon, nanopartikler av uløselig metall- og metalloksid samt persistente nanofibrer. Når det gjelder løselige nanopartikler, sendes brukeren videre til det generelle Stoffenmanager-verktøyet for håndtering av yrkesmessig risiko forbundet med farlige stoffer. Stoffenmanager Nano kan brukes når størrelsen på de primære nanopartiklene er mindre enn 100 nm, eller det spesifikke overflatearealet til nanopulveret er større enn 60 m<sup>2</sup>/g. Verktøyet kan brukes på enkeltpartikler og på agglomerater eller aggregater. Det er basert på fastsettelse av fare- og eksponeringskategorier ved hjelp av forskjellige attributter, der hvert attributt er tilordnet en skår. Alle skåren gir til sammen en bestemt farekategori (liten, gjennomsnittlig, høy, svært høy eller ekstrem) og en eksponeringskategori (lav, gjennomsnittlig, høy eller svært høy). Kombinasjonen av de to kategoriene bestemmer den generelle risikoprioriteringen (lav, middels eller høy).

Attributtene som brukes til å klassifisere nanomaterialene i disse farekategoriene, gjelder nanomaterialenes egenskaper og toksikologiske data, sammen med det samme materialets egenskaper i fast form. Alle uoppløselige nanofibrer er klassifisert i den høyeste farekategorien på grunn av bekymringer over deres asbestlignende virkninger etter innånding.

Den potensielle eksponeringen vurderes trinnvis og tar hensyn til flere aspekter fra nanomaterialets kilde til arbeiderens pustesone. Følgende kategorier brukes til å bestemme eksponeringskategoriene:

- nanomaterialets potensial for å bli luftbårent (forstøvningsevne)
- håndteringsprosessen for nanomaterialene
- kontrolltiltak i bruk
- nanomaterialets potensial for fortykning/spredning
- separasjon av arbeidere
- overflateforurensning
- åndedrettsverneutstyr i bruk
- oppgavens hyppighet
- oppgavens varighet

Verktøyet Stoffenmanager Nano oppretter til slutt tre risikokategorier (eller prioritetskategorier) ved å slå sammen resultatene fra trinnene for kategorisering av eksponering og fare. En plan for å redusere risikoen kan deretter utarbeides. Stoffenmanager Nano oppretter en liste over mulige kontrolltiltak for hver risikokategori, som kan iverksettes for å redusere den potensielle eksponeringen og dermed redusere risikoen. Deretter utføres prosessen for risikovurdering på nytt automatisk. Det gjør det mulig for brukeren å kontrollere virkningene av kontrolltiltakene som ble valgt.

Stoffenmanager Nano gir mulighet for å produsere og skrive ut en rapport med resultatene av risikovurderingen. Verktøyet gjør det i tillegg mulig for brukeren å opprette en liste eller et bibliotek over nanoproduktene som brukes på arbeidsplassen eller i selskapet, og tilbyr faktaark til opplæring med eksempler på god praksis samt PIMEX-filmer <sup>(2)</sup>.

### 2.1.2 CB Nanotool 2.0 (foreligger på engelsk)

Tilgjengelig på: <http://controlbanding.net/Services.html>

CB Nanotool 2.0 er et interaktivt programverktøy for nanomaterialer, basert på kontrollkategorisering. Programverktøyet ble utviklet ved det amerikanske Lawrence Livermore National Laboratory for å utføre en risikovurdering og beskytte forskerne i laboratoriet [24–26].

Verktøyet bruker en 4 x 4 risikomatrise for å fastsette risikonivået, med parametrene for alvorlighetsgrad på den ene aksene og parametrene for sannsynlighet på den andre. Skåren for alvorlighet beregnes ved hjelp av følgende faktorer:

- nanomaterialets egenskaper:

<sup>(2)</sup> PIMEX (Picture Mixed Exposure) er filmer som kan brukes til å gi god innsikt i virkningene av kontrolltiltak. Det nederlandske sosial- og arbeidsdepartementet har utarbeidet disse filmene som et ledd i forbedringen av sitt program for helse- og sikkerhetspolicy. Mer informasjon finnes på: <https://stoffenmanager.nl/Public/Pimex.aspx>

- overflatekjemi
- partikkelform
- partikkeldiameter
- oppløselighet
- kreftfremkallende, arvestoffskadelige og reproduksjonsskadelige egenskaper (CMR) (tre faktorer)
- giftvirkning ved hudkontakt
- astmafremkallende egenskaper
- egenskaper ved mormaterialet
  - giftvirkning basert på mormaterialets yrkeshygieniske grenseverdi
  - CRM-egenskaper (tre faktorer)
  - potensial for hudskader
  - astmafremkallende egenskaper

Sannsynlighetsskåren er basert på følgende faktorer som bestemmer graden av potensiell eksponering:

- mengden av nanomateriale som håndteres under arbeidsoperasjonen
- materialets forstøvnings- eller duggdannelsesevne
- antallet arbeidere med lignende eksponering
- operasjonens hyppighet
- operasjonens varighet

Verktøyet gir indikasjoner på hvordan hver av disse parametrene skal vektes, og angir den maksimale skåren som kan tillegges hver av dem.

Verktøyet håndterer usikkerheten knyttet til helserisikoen ved nanomaterialer ved å slå sammen informasjon om nanomaterialet og det samme materialet i makroformat. Hvis den nødvendige informasjonen knyttet til en gitt parameter ikke foreligger, angir verktøyet en inndataverdi på 75 % av den maksimale skåren som er definert for denne parameteren, for den ukjente parameteren. Dette sies å representere en balanse mellom et føre-var-prinsipp (en konservativ tilnærming) og et rimelig vitenskapelig estimat som gjør det mulig å videreføre forskningen samtidig som arbeiderne blir beskyttet.

Risikonivået for nanomaterialoperasjonen finnes ved å slå sammen alvorlighets- og sannsynlighetsskåren. Metoden definerer fire mulige risikonivåer, hvert av dem med et tilhørende kontrollkategori:

- innføring av generell ventilasjon (laveste risikonivå)
- avtrekkshette eller lokal eksosventilasjon
- inneslutting
- spesialistrådgivning (høyeste risikonivå)

### 2.1.3 NanoSafer (foreligger på dansk)

Tilgjengelig på: <http://nanosafer.i-bar.dk/>

NanoSafer er et dansk verktøy for kontrollkategorisering ved håndtering av nanomaterialer på arbeidsplassen [27]. Dette kontrollkategoriseringsverktøyet dekker bare nanomaterialer i pulverform. NanoSafer ble utviklet av Dansk Teknologisk Institut og Det Nasjonale Forskningscenter for Arbeidsmiljø. Det er nettbasert og gratis (krever registrering), men foreligger bare på dansk.

Det første trinnet er å identifisere nanomaterialet og dets fysiske egenskaper (partikkelstørrelse,

tetthet og overflateareal), dets yrkeshygieniske grenseverdi (hvis tilgjengelig), dets forstøvningsindeks (for respirerbart støv eller mineralstøv) og toksikologisk informasjon fra sikkerhetsdatabladet.

Det andre trinnet er å definere prosessen (håndtering av pulver eller utilsiktet utslipp), mengden av nanomateriale som brukes, brukshyppigheten og arbeidsmiljøet.

Metoden slår sammen dataene om materialet (som gjør det mulig å vurdere giftighetsgraden) med prosessdataene (som gjør det mulig å vurdere eksponeringsgraden). Risikonivået vurderes for akutt eksponering (15 minutter) og 8-timers eksponering. Dette gjennomføres for arbeidere som befinner seg både nær og langt unna utslippskilden (henholdsvis nær- og fjerneksponering). Verktøyet anbefaler også egnede kontrolltiltak for hvert risikonivå, med informasjonsvideoer om disse tiltakene.

## 2.2 Andre kontrollkategoriseringsverktøy for nanomaterialer

### 2.2.1 ANSES kontrollkategoriseringsverktøy for nanomaterialer (foreligger på fransk og engelsk)

Tilgjengelig på: <http://www.afsset.fr/index.php?pageid=2820&parentid=805>

Dette kontrollkategoriseringsverktøyet for nanomaterialer ble utviklet av eksperter fra Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES, Frankrike) i samarbeid med et ekspertpanel fra National Research and Safety Institute (INRS, Frankrike), Institut de Recherche Robert Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail (IRSST, Canada), Scientific Institute of Public Health (ISP-WIV, Belgia) og Institute for Work and Health (IST, Sveits). ANSES kontrollkategoriseringsverktøyet foreligger bare i papirversjon [28].

Dette verktøyet kan brukes i alle arbeidsmiljøer der nanomaterialer produseres eller er i bruk, for eksempel i industrielle produksjonsanlegg, forskningslaboratorier og pilotanlegg.

Forfatterne påpeker at denne metoden må integreres i et overordnet system for HMS-styring, noe som faktisk er tilfelle for alle verktøyene som beskrives i denne e-faktaartikkelen. Bruken av verktøyet er imidlertid underlagt enkelte begrensninger:

- Metoden bør brukes bare på rutinemessig håndtering av materialer på arbeidsplassen, som en del av selskapets normale drift.
- Nanomaterialene bør ikke være for fortynnet, og heller ikke ha for stort volum.
- Metoden kan bare brukes til å fastslå helserisiko – ikke sikkerhetsrisiko (dvs. ikke risiko for brann/eksplosjon) eller miljørisiko.

Det anbefales også at brukeren har tilstrekkelig kompetanse innenfor forebygging av kjemisk risiko (f.eks. kjemi og toksikologi) i tillegg til nanovitenskap og nanoteknologi. Det anføres til slutt at bruk av metoden uten ekspertise, en kritisk holdning eller støtte kan føre til feilaktige forutsetninger, noe som i sin tur innebærer at uegnede forebyggende tiltak iverksettes og risikoen for eksponering økes.

Opprettelsen av farekategorier starter med innledende spørsmål for å fastslå

- om produktet eller materialet som brukes i arbeidsprosessen, inneholder nanomaterialer
- om nanomaterialet eller produktet som inneholder nanomaterialer, er klassifisert som et farlig stoff
- om produktet inneholder biologisk persistente nanomaterialer

Hvis det aktuelle nanomaterialet eller produktet er klassifisert i henhold til lovgivningen som gjelder kjemikalier og merking, skal den klassifiseringsinformasjonen brukes ved tilordningen av farekategori. Hvis den toksikologiske informasjonen er ufullstendig eller mangler, foretas en foreløpig tilordning av farekategori på basis av informasjonen som er tilgjengelig for mormaterialet eller tilsvarende materiale (dvs. et stoff med lignende sammensetning og/eller krystallinsk fase og fra den samme kjemikaliekategorien; med dokumenterte fysiokjemiske egenskaper som ligner det aktuelle stoffet). I tilfeller der informasjonen om giftvirkningene av et mormateriale eller tilsvarende materiale er blitt brukt, beskriver verktøyet inkrementelle faktorer som tar hensyn til usikkerheten knyttet til sammenligningen som er blitt gjort. Hvis det finnes bulkmateriale, har det forrang fremfor det tilsvarende materialet. Og til slutt: Hvis det er flere valgmuligheter for det samme bulkmaterialet (tilsvarende), skal det med høyest giftinnhold legges til grunn.

Verktøyet kan ikke brukes hvis nanomaterialets giftvirkning er ukjent eller ikke kan knyttes til noe mormateriale eller tilsvarende materiale.

For å kunne tilordne til eksponeringskategorier operasjoner som omfatter nanomaterialer, må handlingens utslippspotensial estimeres. En nøkkelparameter i denne estimeringen er den fysiske formen til nanomaterialet som behandles. Fire fysiske kategorier blir vurdert: fast, flytende, pulver og aerosol. I visse tilfeller endres utslippspotensialet for den fysiske formen for å ta hensyn til materialets naturlige tendens til å bli luftbåret [f.eks. løst tørrstoff (faste stoffer som kan smuldres, pulveriseres eller reduseres til pulver ved trykk fra en vanlig menneskehånd), svært flyktige væsker eller pulvere med høy eller moderat forstøvningsevne] og visse prosesshandlinger (f.eks. smelting og spraying).

Risikokontrollkategorien fastsettes ved å slå sammen kategoriene for fare- og utslippspotensial. Tekniske løsninger anbefales for hver av de fem kategoriene for risikokontroll som defineres i verktøyet:

- naturlig eller mekanisk generell ventilasjon (CL1)
- lokal ventilasjon (CL2)
- lukket ventilasjon (CL3)
- full inneslutting (CL4)
- full inneslutting og gransking av en spesialist (CL5)

### ***2.2.2 Veiledning for trygt arbeid med nanomaterialer og nanoprodukter – håndbok for arbeidsgivere og arbeidstakere (foreligger på engelsk)***

Tilgjengelig på:

<http://www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomats&products.pdf>

Denne veiledningen for kontrollkategorisering er blitt utviklet som et samarbeid mellom nederlandske arbeidsgivere og arbeidstakere og de sosiale samarbeidspartnerne FNV, VNO-NCV og CNV, og er finansiert av det nederlandske sosial- og arbeidsdepartementet. Veiledningen er særskilt rettet mot arbeidsgivere og arbeidstakere, for at de skal kunne organisere trygge forhold for arbeid med nanomaterialer og produkter som inneholder nanomaterialer, og for å støtte dem i utformingen av egnede kontrolltiltak og iverksettingen av god arbeidspraksis. Den foreligger bare i papirutgave [29].

Denne veiledningen består av åtte forskjellige trinn og beskriver de aktuelle formene for innhenting av nødvendig informasjon:

- Utarbeide en fortegnelse over nanomaterialene som produseres eller er i bruk.
- Fastslå hvilke potensielle helsefarer som kan knyttes til nanomaterialene som produseres eller er i bruk (tre kategorier).
- Utarbeide en fortegnelse over aktiviteter som utføres med nanomaterialer.
- Kartlegge muligheten for at arbeidere eksponeres for nanopartikler gjennom aktivitetene som utføres (tre kategorier).
- Fremskaffe den resulterende kontrollkategorien for hver aktivitet (tre kategorier).
- Utarbeide en handlingsplan med risikokontrolltiltak.
- Opprette et register over alle arbeidere som håndterer nanomaterialer innenfor farekategori 2 eller 3.
- Undersøke hvorvidt forebyggende medisinske undersøkelser er gjennomførbare, og handle deretter.

Denne veiledningen for kontrollkategorisering er lettfattelig og enkel å bruke, og den gir anbefalinger for risikostyringstiltak for å øke tryggheten for dem som arbeider med konstruerte nanomaterialer. Det understrekes at eksisterende lover for arbeid med farlige stoffer fortsatt gjelder; hvis nanomaterialets tilhørende faste stoff er klassifisert som et CMR-stoff, eller hvis nanomaterialet selv utviser CMR-egenskaper, skal den aktuelle lovgivningen følges. Veiledningen støtter ikke risikohåndtering for nanomaterialer som genereres utilsiktet, for eksempel diesel- eller sveiserøyk.



### 2.2.3 *Workplace Health and Safety Queensland: Arbeidsinstruks til verktøy for kontrollkategorisering av nanomaterialer (foreligger på engelsk)*

Tilgjengelig på:

<http://www.deir.qld.gov.au/workplace/subjects/nanotechnology/controlbanding/index.htm>

Kontrollkategoriseringsdelen av denne arbeidsinstruksen ligner CB Nanotool 2.0. Den omhandler også nanomaterialers brennbarhet, men inneholder ikke all informasjonen som kreves for å vurdere nanomaterialenes brann- og eksplosjonsfare.

Dette nanoverktøyet er særlig relevant for forskningsfasiliteter, der det sannsynligvis brukes små kvanta av nanomaterialer. Det kan imidlertid også brukes generelt ved alle arbeidsssteder der nanomaterialer er til stede. Dette verktøyet blir sannsynligvis forbedret etter hvert som mer informasjon om farene og risikoene i tilknytning til nanomaterialer blir tilgjengelig.

## 2.3 Andre verktøy

### 2.3.1 *GoodNanoGuide (GNG) (foreligger på engelsk)*

Tilgjengelig på: <http://www.goodnanoguide.org>

GoodNanoGuide (GNG) er en nettbasert interaktiv samarbeidsplattform utviklet av International Council on Nanotechnology ved Rice University i USA. Nettstedet fungerer som en plattform for utveksling av ideer om håndtering av nanomaterialer på arbeidsplassen. Det gir også råd om hvordan nanomaterialer best kan håndteres i en arbeidssituasjon med brukere på grunnleggende, middels og avansert nivå [30].

I **den grunnleggende delen** er det bare en kort innføring i nanomaterialer, nanoteknologi og sikkerhet knyttet til nanoteknologi, med lenker til andre internettressurser.

I **delen på middels nivå** forutsettes det at brukeren allerede har kjennskap til nanoteknologier og nanomaterialer og er på utkikk etter retningslinjer eller protokoller for arbeid med spesifikke typer konstruerte nanomaterialer. Denne delen inneholder forslag til tre forskjellige måter å kategorisere nanomaterialer på. Brukerne kan bestemme hvilken tilnærming de anser som den beste for situasjonen på sin arbeidsplass:

- Den første tilnærmingen er en forenklet kontrollkategorisering, der nanomaterialer klassifiseres ut fra den foreliggende kunnskapen om farene knyttet til nanomaterialet (om det er kjent som inert/reaktivt/ukjent). Den gir også råd om hvordan eksponeringen kan kontrolleres, basert på eksponeringens varighet (kort/middels/langvarig) og nanomaterialets potensial for å bli luftbårent (bundne materialer/potensiell frigjøring/fritt eller ubundet).
- Den andre foreslåtte tilnærmingen er hentet fra British Standards Institution (BSI), som kategoriserer nanomaterialer etter type fare (fibrøs/kreftfremkallende, arvestoffskadelig, astmafremkallende eller reproduksjonsskadelig/uoppløselig/oppløselig) [31]. Det anses som et utgangspunkt for vurdering av fare. Her gis ingen veiledning for eksponeringsvurdering/-kontroll.
- Den tredje tilnærmingen er basert på nanomaterialets kjemiske struktur (fullerener/karbonnanorør/metaller/oksider/kvanteprikker/halvleder-nanomaterialer). Det gis informasjon om spesifikke risikoer og protokoller for sikker håndtering.

**Delen på avansert nivå** inneholder HMS-protokoller for sikker håndtering av nanomaterialer. Den viser en matrise over aktiviteter som innebærer potensielle farer ved håndtering, sammen med diverse fysiske former for nanomaterialer (tørt pulver, væskespredning, organisk polymermatrise og uorganisk polymermatrise).

- Prosessen starter med å identifisere de **potensielle farene**. Indikatorene for potensielle farer som bør vurderes, er de fysiokjemiske, toksikologiske og økotoksikologiske egenskapene (f.eks. partikkelstørrelse, overflateareal, overflatekjemi, reaktivitet, morfologi, biopersistens, interaksjoner med biomolekyler og antimikrobielle virkninger, samt eventuelle endringer som skyldes, for eksempel, aldring av nanomaterialet eller interaksjoner med andre molekyler). BSIs skjema for klassifisering anbefales også [31].
- Det andre trinnet er å estimere **eksponeringspotensialet**. Verktøyet gir informasjon om

eksponering i forskjellige faser av håndteringen av nanomaterialet.

- Prosessens tredje trinn er å velge egnede **kontrolltiltak**. Verktøyet gir informasjon om anbefalte kontroller for ulike oppgaver som innebærer håndtering av nanomaterialer.

Delen på avansert nivå inneholder også en redigerbar HMS-referansehåndbok som kan veilede brukeren i undersøkningen av risikoer knyttet til nanomaterialer, og hvordan disse kan reduseres.

## 2.4 Sammenlignende oversikt over verktøyene som er beskrevet

**Tabell 1: Oversikt over tilgjengelige styringsverktøy for risikohåndtering og deres respektive kjennetegn**

| Risikostyringsverktøy                             | Tilnærming til risikostyring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Bruksområde                                                                                                                                                                                                       | Begrensninger                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stoffenmanager Nano (nederlandsk, engelsk, finsk) | (1) Identifisering av nanomaterialene og oversikt over deres respektive egenskaper<br>(2) Beskrivelse av prosesser<br>(3) Beskrivelse av arbeidsområde<br>(4) Beskrivelse av kontrolltiltak som allerede er innført<br>(5) Resulterende risikovurdering<br>(6) Utarbeidelse av handlingsplan med risikokontrolltiltak                                          | Uopløselige (i vann) produserte nanomaterialer som er mindre enn 100 nm og har et spesifikt overflateareal som er større enn 60 m <sup>2</sup> /g. Det omfatter primære nanopartikler, agglomerater og aggregater | (a) Hvis nanomaterialet tilhører den høyeste fareklassen (E), anses risikoen som høy uavhengig av eksponeringen, ettersom verktøyet er basert på en føre-var-tilnærming med hensyn til de farligste materialene.<br>(b) Alle fibre er plassert i den høyeste fareklassen (E)<br>(c) Kontrolltiltakene som velges for bruk, reduserer sjelden det faktiske risikonivået innenfor verktøyet. |
| CB Nanotool 2.0 (engelsk)                         | Typisk kontrollkategoriseringsplan med estimering av farekategorier (alvorlighetsskår) og eksponeringskategorier (sannsynlighetsskår) for aktiviteter for å fastslå det totale risikonivået (fire nivåer). Alvorlighetsskåren beregnes ut fra nanomaterialets og makroskalamaterialets kjennetegn. Det gis en anbefalt kontrolltilnærming for hvert risikonivå | Laboratoriearbeid; situasjoner som involverer bare små mengder nanomaterialer                                                                                                                                     | Toksikologiske endepunkter som dekkes av verktøyet, er sjelden blitt undersøkt; eksponeringskategoriene dekker bare noen få bestemmende faktorer                                                                                                                                                                                                                                           |
| NanoSafer (dansk)                                 | (1) Identifisering av nanomaterialets og makroskalamaterialets egenskaper                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Arbeidssteder der nanomaterialer håndteres i pulverform, samt utilsiktede utslipp av                                                                                                                              | Farevurderingen baseres på fysiske parametere og sikkerhetsdatablader, som sjelden inneholder                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

| Risikostyringsverktøy                                                     | Tilnærming til risikostyring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Bruksområde                                                        | Begrensninger                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                           | <p>(partikkelstørrelse, tetthet og overflateareal), tilgjengelige yrkeshygieniske grenseverdier som for respirerbart støv eller mineralstøv, forstøvningsindeks og toksikologisk informasjon fra sikkerhetsdatablad</p> <p>(2) Identifisering av prosessen (pulverhåndtering eller utilsiktet utslipp)</p> <p>(3) Fastsettelse av vurderingsskåren</p> <p>(4) Veiledning for kontrolltiltak</p>                                                                                                                            | nanomaterialer                                                     | toksikologisk informasjon om nanomaterialer; verktøyet dekker bare nanomaterialer i pulverform; tilgjengelig bare på dansk                                                  |
| ANSES kontrollkategorisering (fransk, engelsk)                            | <p>Kontrollkategorisering integrert i planen OHSAS 18001 (standard for HMS-styringssystemer):</p> <p>(1) Analyse av tilgjengelig informasjon (produkt og arbeidssted)</p> <p>(2) Tilordning av farekategorier</p> <p>(3) Tilordning av utslippspotensial</p> <p>(4) Definisjon av handlingsplan</p> <p>(5) Iverksettning av handlingsplan</p> <p>(6) Rutineovervåking</p> <p>(7) Periodisk risikogjennomgang</p> <p>(8) Vitenskapelig og teknologisk gransking for oppdatering av kunnskap</p> <p>(9) Dataregistrering</p> | Alle arbeidsmiljøer                                                | Informasjon som er nødvendig for tilordning av farekategorier (f.eks. aktiviteten til reaktive oksygenarter), kan være vanskelig å innhente. Foreligger bare i papirversjon |
| Veiledning for trygt arbeid med nanomaterialer og nanoprodukter (engelsk) | <p>(1) Utarbeidelse av en fortegnelse over nanomaterialene som produseres eller er i bruk</p> <p>(2) Klassifisering av potensielle helsefarer ved nanomaterialer som produseres eller er i bruk</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | For arbeidsgivere og arbeidstakere som arbeider med nanomaterialer | Foreligger bare i papirversjon                                                                                                                                              |
|                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                    |                                                                                                                                                                             |

| Risikostyringsverktøy                                           | Tilnærming til risikostyring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Bruksområde                                                                                         | Begrensninger                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                 | (3) Utarbeidelse av en fortegnelse over aktiviteter som utføres med nanomaterialer<br>(4) Klassifisering av mulighetene for eksponering av arbeidere<br>(5) Fremskaffing av den resulterende kontrollkategorien for hver aktivitet som involverer nanomaterialer<br>(6) Utarbeidelse av en handlingsplan<br>(7) Registrering av arbeidere som håndterer nanomaterialer<br>(8) Undersøkelse av hvorvidt forebyggende medisinske undersøkelser er mulig |                                                                                                     |                                                                                                                                                    |
| Queensland arbeidsinstruks for kontrollkategorisering (engelsk) | Kontrollkategoriseringsdel en ligner den i CB Nanotool, men omfatter også brennbarhetsaspekter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Vurderer brennbarhet, i likhet med CB Nanotool                                                      | Som for CB Nanotool. Brann- og eksplosjonsfaren er ikke fullt ut identifisert. Foreligger bare i papirversjon.                                     |
| GoodNanoGuide (engelsk)                                         | Gir veiledning på basis av brukerens kunnskapsnivå: grunnleggende, middels og avansert. I det avanserte alternativet er tilnærmingen til risikostyring å<br>(1) identifisere farepotensialet,<br>(2) estimere eksponeringen og<br>(3) anbefale kontroller                                                                                                                                                                                             | Tilnærmingen er svært generelle og kan brukes på mange situasjoner der nanomaterialer blir håndtert | Mange av nettsidene for verktøyet er fortsatt ufullstendige. Veiledningen er basert på amerikanske forskrifter (f.eks. for personlig verneutstyr). |



## 3 Forebyggende tiltak

Etter å ha vurdert risikoen knyttet til eksponering for nanomaterialer, må arbeidsgivere sørge for at eksponeringen enten forebygges eller kontrolleres i tilstrekkelig grad.

### 3.1 Fjerning og erstatning

Som for alle andre farlige stoffer bør fjerning og erstatning prioriteres fremfor andre forebyggende tiltak. Målet er å hindre alle arbeidstakere i å eksponeres for nanomaterialer. Når det gjelder produserte nanomaterialer som brukes eller fremstilles på grunn av spesifikke egenskaper som muligens ikke finnes i andre og mindre farlige materialer, er det imidlertid ikke sikkert at fjerning eller erstatning av nanomaterialet er et alternativ. Avveiningen mellom de ønskede egenskapene og virkningene på den ene siden og helserisikoene på den andre siden må likevel alltid foretas, og fjerning og erstatning må vurderes grundig.

I ethvert tilfelle bør produksjon av nanomaterialer i en form som kan bli luftbåren (f.eks. pulverform), unngås. Disse bør erstattes av en mindre farlig form, for eksempel oppløselig eller flytende form, granulater eller pastaer, eller nanomaterialer bundet i fast form.

I tillegg kan det la seg gjøre å redusere farepotensialet til et nanomateriale ved å dekke det med et belegg, det vil si, endre materialets overflate.

### 3.2 Tekniske tiltak

Forebyggende tiltak av teknisk art bør iverksettes ved kilden til utslippet. Det mest effektive tekniske forebyggings tiltaket er inneslutning ved kilden gjennom bruk av lukkede systemer og lukkede maskiner og prosesser, det vil si innelukkning og isolering som skaper en fysisk barriere mellom en person og nanomaterialet. Det er imidlertid viktig å understreke at selv med slike tiltak må risikoen for lekkasje fortsatt tas i betraktning. Lokale eksosventilasjonssystemer utstyrt med partikkelfilter, for eksempel høyeffektive partikkelfiltre (HEPA) eller luftfiltre med ultralav gjennomtrengning i avtrekkshetter eller nedstrømsvern, er andre standardtiltak for prosesser som ikke kan inneslutes fullstendig.

Spesifikke bestemmelser i tillegg til tekniske kontroller kan bli nødvendig hvis innesluttede prosesser åpnes opp, for eksempel for lasting/lossing, prøvetaking, rengjøring eller vedlikehold. I slike situasjoner anses bruk av åndedrettsverneutstyr som en gyldig styringsstrategi (se avsnitt 3.4.1).

### 3.3 Organisatoriske tiltak

Det viktigste organisatoriske tiltaket som vil bidra til å redusere til et minimum den potensielle eksponeringen av arbeidere, er å segregere arbeidsområder, med andre ord, minimere antallet personer som kan utsettes for eksponering. Bestemte områder der nanomaterialer produseres eller er i bruk og følgelig kan slippes ut, bør brukes spesielt til slike formål og isoleres eller adskilles fra andre arbeidssteder, for eksempel ved å sette opp vegger. Disse områdene bør være tydelig merket med skilt som indikerer at adgang bare er tillatt for autorisert personell med nødvendig opplæring.

Det er viktig å være klar over at det for tiden ikke finnes noen standardiserte normer for bruken av sikkerhetsskilt til merking av arbeidssteder eller beholdere med nanomaterialer. Det anbefales å utvise aktsomhet ved bruk av eksisterende risiko- og sikkerhetsfraser (Forordning (EF) nr. 1272/2008 om klassifisering, merking og emballering av stoffer og stoffblandinger [15]) og advarselsskilt for å gi tilfredsstillende, relevant og spesifikk informasjon om alle faktiske eller potensielle helse- og sikkerhetsrisikoer knyttet til bruk og håndtering av nanomaterialer.

I tillegg til å redusere antallet arbeidstakere som eksponeres for nanomaterialer, er det også viktig at følgende organisatoriske tiltak blir iverksatt:

- Redusere til et minimum arbeidernes potensielle eksponeringstid.
- Redusere til et minimum mengden av nanomateriale i partikkelform som brukes til enhver tid.
- Overvåke luftkonsentrasjonsnivåene.
- Rengjøre (tørke av med en fuktig klut) arbeidsområdene jevnlig.
- Arbeidstakere som håndterer potensielt farlige nanomaterialer, bør omfattes av

helseovervåkingsprogrammer der eksponeringssituasjonen blir dokumentert i detalj.

I tillegg bør alle arbeidstakere som kan bli eksponert for nanomaterialer på arbeidsplassen få instruksjoner, informasjon og opplæring i tilstrekkelig grad til å forstå hvilken risiko for deres egen sikkerhet og helse den potensielle eksponeringen for nanomaterialer innebærer, og hvilke forholdsregler de bør ta for å unngå eller redusere denne eksponeringen til et minimum. Hvis det er usikkerhetsmomenter knyttet til de aktuelle nanomaterialenes påvirkning på arbeidernes helse og sikkerhet, skal arbeidstakerne på samme måte informeres om dette, og føre-var-prinsippet skal håndheves.

### 3.4 Personlig verneutstyr

I henhold til hierarkiet av kontrolltiltak skal personlig verneutstyr brukes som en siste utvei. Hvis personlig verneutstyr <sup>(3)</sup> blir fastslått å være nødvendig i henhold til risikovurderingen, skal det utarbeides et eget program for personlig verneutstyr [32]. Et godt program for personlig verneutstyr vil inneholde følgende elementer: valg av egnet personlig verneutstyr, tilpasning, opplæring i bruken av og vedlikehold av personlig verneutstyr.

Den ytterligere fysiske belastningen ved å bruke personlig verneutstyr må vurderes for å sikre at brukeren er i tilstrekkelig form til å bruke utstyret. Det kan gjennomføres prøver for å påse at det personlige verneutstyret ikke hindrer brukeren i å utføre arbeidet på en sikker måte, eller i å bruke annet nødvendig utstyr og verktøy, for eksempel briller. Husk at graden av beskyttelse ved personlig verneutstyr kan bli redusert når flere typer personlig verneutstyr brukes samtidig. Ytterligere farer, for eksempel løsemiddeldamp, kan også gjøre det personlige verneutstyret mindre effektivt. Derfor må alle farer knyttet til nanomaterialer tas i betraktning under risikovurderingsprosessen og ved valg av personlig verneutstyr. Alt personlig verneutstyr må være CE-merket og brukes i samsvar med instruksjonene fra produsenten, uten endringer.

#### 3.4.1 Åndedrettsvern

Hvis tiltakene som er nevnt ovenfor, ikke er tilstrekkelige til å kontrollere eksponeringen for luftbårne nanomaterialer (f.eks. nanopulvere eller aerosoler som inneholder nanomaterialer), eller ikke i tilstrekkelig grad reduserer denne eksponeringen, anbefales det å bruke egnede former for åndedrettsvern ved slik eksponering. Dette bør for eksempel være tilfellet når kontrolltiltakene i seg selv blir vedlikeholdt eller reparert.

Valget av åndedrettsvern avhenger av

- type, størrelse og konsentrasjon av det luftbårne nanomaterialet
- angitt beskyttelsesfaktor for åndedrettsvernet (som integrerer filtreringseffektivitet og tilpasning av ansiktsforseglingen)
- arbeidsforhold

Det valgte åndedrettsvernet kan være halv- eller heldekkende ansiktsmasker med filter av typen P3/FFP3 eller P2/FFP2, partikkelfiltrerende maske med vifte og hjelm (TH2P eller MH3P) eller partikkelfiltrerende masker med vifte og hel- eller halvmaske (TM2P og TM3P) <sup>(4)</sup>. Heldekkende ansiktsmasker kombinert med luftslanger og viftedrevet filtreringsenhet har vanligvis høyere beskyttelsesfaktor.

Effektiviteten til filtrene i åndedrettsvern for et spesifikt nanomateriale under spesifikke forhold bør undersøkes med produsenten av åndedrettsvernet, ettersom testresultater kanskje ikke kan generaliseres for alle nanomaterialer. Vær oppmerksom på at HEPA-filtre, filterkassetter og masker med fibrøse filtreringsmaterialer har god virkning for nanomaterialer (i enda større grad enn for større partikler [34]).

Andre faktorer, som tilpasning til ansiktet, ordentlig vedlikehold av åndedrettsvernet og hvor lenge det er i bruk, kan også påvirke reduksjonen av eksponeringen. For ansiktsmasker er den største risikoen

<sup>(3)</sup> EU-direktiv 89/686/EØF [32] inneholder forskrifter for utforming og bruk av personlig verneutstyr og sikrer at det oppfyller den tiltenkte funksjonen med å beskytte arbeidstakere mot spesifikke farer.

<sup>(4)</sup> Se [33]: Gjennomtrengningsgraden for P2-filtre er 0,2 % og for P3-filtre er den på 0,011 % av partiklene for nanopartikler av kaliumklorid. Tester med grafittpartikler av forskjellig størrelse viste gjennomtrengning på maksimalt 8 %. Dette indikerer at P3-filtre gir en høyere grad av beskyttelse, men resultatene kan ikke generaliseres til å gjelde alle nanopartikler.

at de ikke slutter tett nok til ansiktet [34]. Regelmessig prøving av maskene bør arrangeres for alle brukere for å kontrollere at de er lekkasjesikre, og brukerne bør få opplæring i bruken av åndedrettsvern. Eksponeringsreduksjon bør alltid anses som en kombinasjon av filterets effektivitet og åndedrettsapparatets bruksegenskaper, som uttrykkes i såkalte respiratoriske faktorer i enkelte EU-land.

I tilfeller der åndedrettsvernet ikke dekker øynene, bør øyebeskyttelse også brukes (tettsittende vernebriller).

### 3.4.2 Hansker

Hansker må ha en høy mekanisk holdbarhet, og bare hansker som oppfyller kravene i standardene i serien EN 374, bør brukes som beskyttelse mot kjemiske farer generelt. Til håndtering av nanomaterialer anses hansker laget av lateks, nitril eller neopren som effektive [33]. Hanskenes effektivitet for et spesifikt nanomateriale vil avhenge av den fysiske formen på nanomaterialet som er til stede på arbeidsstedet (støv, væsker osv.) – dette bør undersøkes og bekreftes av hanskeleverandøren. Tykkelsen på hanskematerialet er en vesentlig faktor for å fastslå nanomaterialets diffusjonshastighet; derfor anbefales det også å bruke to par hansker samtidig for å gi tilstrekkelig beskyttelse [34].

### 3.4.3 Vernetøy

Vernetøy bør velges i samsvar med risikovurderingen. Ikke-vevde tekstiler (lufttette materialer) som polyetylen med høy tetthet (stoffer som holder på og avgir lite støv) bør foretrekkes fremfor vevde tekstiler. Det anbefales å unngå bruk av vernetøy laget av bomullsmaterialer [34].

Hvis det brukes vernetøy til flergangsbruk, for eksempel kjeledresser, bør det sørges for regelmessig vask og forebygging av sekundæreksposering [35]. Det må sørges for at rene kjeledresser og rent vernetøy kan tas på og skitne plagg fjernes på en måte som forurenses verken personer eller arbeidsstedet generelt.

## 3.5 Forebygging av eksplosjon og/eller brann

Som følge av den lille størrelsen og det store overflatearealet kan partikulære nanomaterialer i pulverform medføre eksplosjonsfare, mens deres respektive grunnmaterialer ikke kan det <sup>(5)</sup> [36]. Det må utvises forsiktighet ved håndtering eller generering av nanomaterialer, også ved maling, pussing eller polering av materialer som inneholder nanomaterialer.

Forebyggende tiltak for nanomaterialer i pulverform er i hovedsak de samme som for alle andre eksplosive eller brennbare grunnmaterialer og eksplosive støvskyer, og skal følge kravene i direktiv 99/92/EF om minimumskrav for å bedre sikkerheten og beskytte helsen til arbeidstakere som potensielt utsettes for eksplosive atmosfærer. Disse omfatter følgende:

- Håndtering skal, såfremt det er mulig, avgrenses til spesifikke Ex-soner og utføres i inerte atmosfærer.
- Materialer skal gjøres oppløselige ved å fukte arbeidsstedet (forebygge støv).
- Lettantennelig utstyr og andre antennelseskilder eller forhold som fremmer statisk elektrisitet, bør fjernes fra arbeidsstedet. I stedet bør det brukes utstyr som er sikkert i seg selv (signal- og kontrollkretser som går på svakstrøm og har lav spenning), der det er mulig.
- Støvlag bør fjernes med en fuktig klut.
- Lagring av eksplosive eller brennbare materialer på arbeidsteder bør reduseres til et minimum. Antistatiske poser kan brukes.

Hvis nanomaterialer blir brukt, i motsetning til generert, under arbeidsoperasjoner, bør produsentens anbefalinger i sikkerhetsdatabladet tas i betraktning. Vær imidlertid oppmerksom på de generelle merknadene om kvaliteten på sikkerhetsdatablader hva nanomaterialer angår.

<sup>(5)</sup> Eksplosiviteten til de fleste organiske støvformer og mange former for metallstøv øker når partikkelstørrelsen reduseres. 500 µm ser ut til å være den øvre grensen for partikkelstørrelse i en eksplosiv støvsky. Det er for tiden ikke fastsatt noen nedre grense for støveksposjoner.

### 3.6 Kontrollere effektiviteten til forebyggende tiltak

Risikovurderingen bør revideres med jevne mellomrom, og valget og iverksettingen av risikostyringstiltak kontrolleres regelmessig og undersøkes med hensyn til hvor effektive de er. Det innebærer å sørge for at alt verneutstyr fungerer slik det skal, blant annet rene benker eller boder for laminær strømming, og regelmessig inspeksjon av alt ventilasjonsutstyr og dets respektive filtreringssystemer. I tillegg skal det kontrolleres at personlig verneutstyr er egnet, og om nødvendig oppdatere det.

Effektiviteten til et tiltak for risikoreduksjon kan vurderes ved å analysere konsentrasjonen av nanomaterialer i luften før og etter det forebyggende tiltaket ble iverksatt. De målte eksponeringsnivåene når risikostyringstiltak er i bruk, skal ikke avvike i vesentlig grad fra bakgrunnskonsentrasjonene når det ikke foreligger noen kilde til produserte nanomaterialer. Andre indirekte målinger av effektiviteten av tekniske forebyggende tiltak kan også utføres, for eksempel røyktester og eller kontrollmålinger av hastighet.

Yrkeshygieniske grenseverdier kan bli utarbeidet i fremtiden; imidlertid er minst mulig eksponering det primære målet for risikostyring på arbeidsplassen, så det er ikke tilstrekkelig bare å overholde yrkeshygieniske grenseverdier. Det finnes for tiden flere tilnærminger til utvikling av referansenivåer for nanomaterialer [37, 38].

### Referanser

1. Europakommisjonen (EU-kommisjonen), EU-kommisjonens anbefaling av 18. oktober 2011 om definisjonen av nanomateriale, EUT L 275, s. 38–40, 2011. Tilgjengelig på: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:EN:PDF>
2. Europakommisjonen (EU-kommisjonen), arbeidsdokument for kommisjonens medlemmer: Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects. Vedlegg til meddelelsen fra Kommisjonen til Europaparlamentet, Rådet og Den europeiske økonomiske og sosiale komité: Second Regulatory Review on Nanomaterials, SWD(2012) 288 final, Brussel, 3. oktober 2012. Tilgjengelig på: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
3. Det europeiske arbeidsmiljøorganet (EU-OSHA), Workplace exposure to nanoparticles, Det europeiske risikoobservatoriet, litteraturanmeldelse, 2009. Tilgjengelig på: [https://osha.europa.eu/en/publications/literature\\_reviews/workplace\\_exposure\\_to\\_nanoparticles](https://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles)
4. Lauterwasser, C., Small Size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies, rapport fra Allianz Center for Technology og OECD. Tilgjengelig på: <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>
5. Murashov, V., 'Occupational exposure to nanomedical applications', WIREs Nanomed Nanobiotechnol, 2009, 1: s. 203–213.
6. Hanson, N., Harris, J., Joseph, L.A., Ramakrishnan, K., Thompson, T., EPA Needs to Manage Nanomaterial Risks More Effectively, U.S. Environmental Protection Agency, Report No. 12-P-0162, 2011. Tilgjengelig på: <http://www.epa.gov/oig/reports/2012/20121229-12-P-0162.pdf>
7. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Approaches to Safe Nanotechnology—Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, Publication No. 2009-125, 2009.
8. Gratieri, T., Schaefer, U.F., Jing, L., Gao, M., Kostka, K.H., Lopez, R.F.V., Schneider, M., 'Penetration of quantum dot particles through human skin', Journal of Biomedical Nanotechnology, 2010, 6(5): s. 586–595.
9. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, Publication Number 2012-147, 2012.
10. Senjen, R., Nanomaterials Health and Environmental Concerns, European Environmental



- Bureau, 2009. Tilgjengelig på:  
<http://www.eeb.org/?LinkServID=540E4DA2-D449-3BEB-90855B4AE64E8CE6&showMeta=0>
11. Rådskonferanse av 12. juni 1989 om iverksetting av tiltak som forbedrer arbeidstakernes sikkerhet og helse på arbeidsplassen (89/391 EØF), EUT L 183, 29. juni 1989. Tilgjengelig på:  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1989L0391:20081211:EN:PDF>
  12. Rådskonferanse 98/24/EF av 7. april 1998 om beskyttelse av arbeidstakernes helse og sikkerhet under arbeid med kjemiske agenser (fjortende særkonferanse i henhold til artikkel 16 nr. 1 i direktiv 89/391/EØF). Tilgjengelig på:  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:EN:PDF>
  13. Europakonferansen- og rådskonferanse 2004/37/EF om vern av arbeidstakere mot risiko ved å være utsatt for kreftfremkallende eller arvestoffskadelige stoffer i arbeidet (sjette særkonferanse i henhold til artikkel 16 nr. 1 i direktiv 89/391/EØF). Tilgjengelig på:  
[http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32004L0037R\(01\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32004L0037R(01))
  14. Europakonferansen og Rådets konferanse (EF) nr. 1907/2006 av 18. desember 2006 om registrering, evaluering, autorisasjon og restriksjoner av kjemikalier (REACH), om opprettelse av et europeisk kjemikaliebyrå, om endring av direktiv 1999/45/EF og oppheving av rådskonferanse (EØF) nr. 793/93 og kommisjonskonferanse (EF) nr. 1488/94 samt rådskonferanse 76/769/EØF og kommisjonsdirektiv 91/155/EØF, 93/67/EØF, 93/105/EF og 2000/21/EF, EUT L 396, 30. desember 2006. Tilgjengelig på:  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:32006R1907>
  15. Europakonferansen og Rådets konferanse (EF) nr. 1272/2008 om klassifisering, merking og emballering av stoffer og stoffblandinger (CLP-forskrift), EUT L 353, 31. desember 2008. Tilgjengelig på:  
<http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp/legislation>
  16. Nygren, O., Skaug, V., Thomassen, Y., Tossavainen, A., Tuomi, T., Wallin, H., 'Evaluation and control of occupational health risks from nanoparticles', TemaNord, 2007: 581, Nordisk ministerråd, København, 2007. Tilgjengelig på:  
[http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at\\_download/publicationfile](http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile)
  17. Borm, P., Houba, R., Linker, F., Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands, 2008. Tilgjengelig på:  
<http://www.nano4all.nl/Reportshortsummary.pdf>
  18. Austrian Central Labour Inspectorate (ACLI), Use of Nano at the Workplace, 2009. Tilgjengelig på:  
[http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano Untersuchung.pdf](http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano%20Untersuchung.pdf)
  19. SafeWork Australia, An Evaluation of MSDS and Labels Associated with the Use of Engineered Nanomaterials. Tilgjengelig på:  
<http://www.safeworkaustralia.gov.au/sites/swa/about/publications/pages/rp201006evaluationofmsdsandlabels>
  20. Kommisjonskonferanse (EU) nr. 453/2010 av 20. mai 2010 om endring av Europakonferansen- og rådskonferanse (EF) nr. 1907/2006 om registrering, vurdering, godkjenning og begrensninger av kjemikalier (REACH), EUT L 133, 31. mai 2010.
  21. Det europeiske kjemikaliebyrået (ECHA), Guidance on the Compliance of Safety Data Sheets, desember 2011. Tilgjengelig på:  
[http://echa.europa.eu/documents/10162/13643/sds\\_en.pdf](http://echa.europa.eu/documents/10162/13643/sds_en.pdf)
  22. Organisasjonen for økonomisk samarbeid og utvikling (OECD), 'Emission assessment for the identification of sources and release of airborne manufactured nanomaterials in the workplace: compilation of existing guidance', ENV/JM/MONO, serie om sikkerhet ved produserte nanomaterialer, nummer 11, 2009.
  23. Van Duuren-Stuurman, B., Vink, R., Verbist, K. J. M., Heussen, H. G. A., Brouwer, D. H., Kroese, D. E. D., Van niftrik, M. F. J., Tieleman, E., Fransman, W., 'Stoffenmanager Nano Version 1.0: A web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects', Ann



- Occup Hyg, 2012, 56(5): s. 525–541.
24. Paik, S.Y., Zalk, D.M., Swuste, P., 'Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures', Ann Occup Hyg, 2008, 52(6): s. 419–428.
  25. Zalk, D.M., Paik, S.Y., Swuste, P., 'Evaluating the control banding nanotool: a qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures', J Nanoparti Res, 2009, 11(7): s. 1685–1704.
  26. Zalk, D.M., Paik, S.Y., 'Control banding and nanotechnology', The Synergist, 2010, 3(10): s. 26–29.
  27. Teknologisk Institut, Nanopartikler i arbejdsmiljøet – Viden og inspiration om håndtering af nanomaterialer, Center for Arbejdsliv/Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø, 2010.
  28. ANSES, Development of a Specific Control Banding Tool for Nanomaterials, rapport, 2010. Tilgjengelig på <http://www.anses.fr/Documents/AP2008sa0407EN.pdf> (nedlastet 26. juni 2012).
  29. FNV, VNO-NCV, CNV, Guidance Working Safely with Nanomaterials and Nanoproducts-The Guide for Employers and Employees, Version 1.0, 2011. Tilgjengelig på: <http://www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomats&products.pdf>
  30. International Council on Nanotechnology (ICON), GoodNanoGuide, 2010. Tilgjengelig på: <http://www.goodnanoguide.org/tiki-index.php?page=HomePage>
  31. British Standards (BSI), Nanotechnologies – Part 2: Guide to Safe Handling and Disposal of Manufactured Nanomaterials, PD 6699-2:2007.
  32. Direktiv 89/656 / EØF – bruk av personlig verneutstyr av 30. november 1989 om minimumskrav til sikkerhet og helse i forbindelse med arbeidstakernes bruk av personlig verneutstyr i arbeidet (tredje særdirrektiv i henhold til artikkel 16 nr. 1 i direktiv 89/391/EØF). Tilgjengelig på: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/workplaces-equipment-signs-personal-protective-equipment/osh-directives/4>
  33. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 'Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche - Ein Betriebsleitfaden', Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech, Band 11, 2009. Tilgjengelig på: [http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden\\_sichere\\_Verwendung\\_Nanomaterialien\\_Lack\\_Farbenbranche.pdf](http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden_sichere_Verwendung_Nanomaterialien_Lack_Farbenbranche.pdf)
  34. Golanski, L., Guillot, A., Tardif, F., Are conventional protective devices such as fibrous filter media, cartridge for respirators, protective clothing and gloves also efficient for nanoaerosols?, DR-325/326-200801-1, Nanosafe2, 2008. Tilgjengelig på: [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf)
  35. UK NanoSafety Partnership Group (UKNSPG), Working Safely with Nanomaterials in Research & Development, august 2012. Tilgjengelig på: [http://www.liv.ac.uk/media/livacuk/safety/documentsguidance/Working\\_Safely\\_with\\_Nanomaterials\\_Release\\_1.0\\_-\\_Aug2012.pdf](http://www.liv.ac.uk/media/livacuk/safety/documentsguidance/Working_Safely_with_Nanomaterials_Release_1.0_-_Aug2012.pdf)
  36. Dyrba, B., Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben (Eksplosjonsvern: behov for handling angående nanostøv), udatert. Tilgjengelig på: <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (nedlastet 3. desember 2012).
  37. The Social and Economic Council of the Netherlands (SERj), Provisional nano reference values for engineered nanomaterials, 2012. Tilgjengelig på: [http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012\\_01.aspx](http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012_01.aspx) (nedlastet 20. oktober 2012).
  38. Nanowerk, SAFENANO team complete BSI British Standards guide to safe handling of nanomaterials, 2012. Tilgjengelig på: <http://www.nanowerk.com/news/newsid=4136.php>