

## 6. Sikkerhedsforanstaltninger

Som udgangspunkt for arbejdsmiljøorganisationens arbejde er det relevant at søge svar på følgende spørgsmål:

- Hvor på arbejdspladsen kan medarbejderne blive eksponeret for nanopartikler?
- Hvilke principper og sikkerhedsforanstaltninger er anvendelige for at minimere eksponering?

Nedenstående kapitel giver inspiration til, hvordan arbejdsmiljøorganisationen kan finde svar på disse spørgsmål.

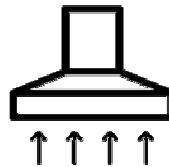
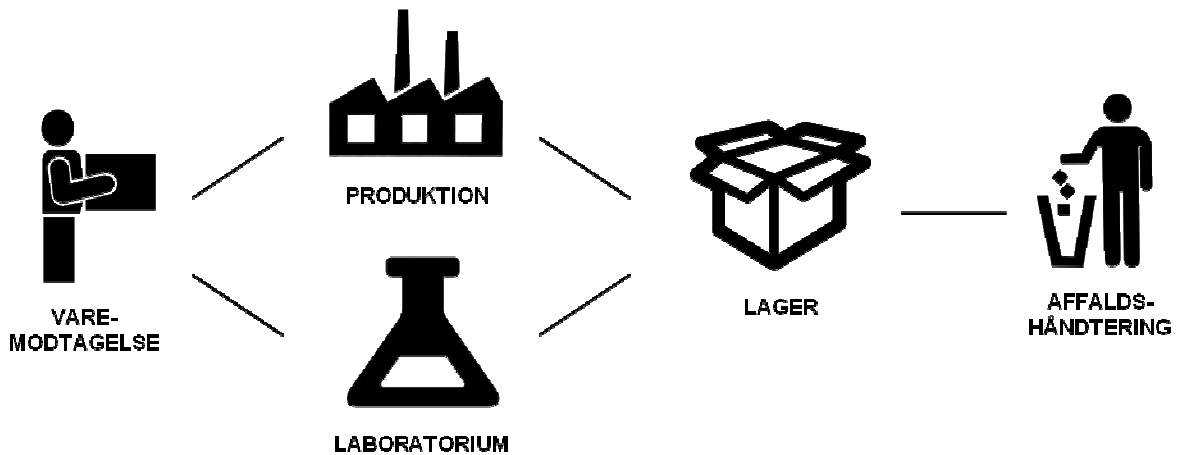
### APV vejen til forureningskilden

For at indkredse de områder på arbejdspladsen hvor der er særlig risiko for, at nanopartikler kan slippe ud fra produktionsanlæg, skal *alle* områder af virksomheden gennemgås. Selve produktionen vil ofte skabe risici for eksponering, men der kan være andre (mindre oplagte) områder, hvor risiciene er store. Der er derfor brug for en gennemgang af hele virksomheden og alle arbejdsgange, hvor nanopartikelholdige materialer håndteres eller bearbejdes.

Identificeringen af forureningskilder og forebyggelse af arbejdssituationer, hvor medarbejdere kan blive eksponeret for nanopartikler, kan laves som en del af det obligatoriske APV arbejde (jf. AT vejledning D.1.1) og/eller arbejdsmiljøcertificeringsarbejde (jf. DS/OHSAS 18001). Arbejdsmiljøorganisationen kan her overveje, hvorvidt der skal inddrages særlige ressourcepersoner i arbejdet. Dette kunne eksempelvis være en medarbejder fra forsknings- og udviklingsafdelingen, en miljøkoordinator eller en ekstern rådgiver.







Nedenstående diagram kan bruges til at skabe en grundig gennemgang af områder på virksomheder, hvor medarbejdere kan blive eksponeret for luftbårne nanopartikler.

Figur 6.1: Gennemgang af arbejds- og funktionsområder på arbejdspladsen



I nedenstående tabel gives en række praktiske eksempler fra virksomhedsbesøg, som uddyber arbejdsområderne i ovenstående figur.

**Table 6.1: Arbejdsområder og opmærksomhedspunkter til APV gennemgangen.**

 <p>VARE-MODTAGELSE</p>	<p>Poser, sække, big-bags, spande eller kasser med pulver bliver leveret til varemodtagelsen og transporteret til reoler eller direkte ud til produktionen. Medarbejderne kan blive eksponeret for nanopartikler, hvis der er huller i emballagen, eller hvis der er indtørret støv på emballagens overflader.</p>
 <p>TRANSPORT</p>	<p>Når produkter eller emballage med nanopartikulært støv eller væsker transporteres rundt i virksomheden kan der opstå uheld. Derfor er der behov for, at alle er informeret om, hvordan spild håndteres.</p>
 <p>PRODUKTION</p>	<p>Generelt anbefales det at rette opmærksomheden på alle processer, hvori tørt støv indgår eller dannes under processen.</p> <p>I procesanlæg bør opmærksomheden rettes imod håndtering af støvende nanomaterialer ved: Påfyldning, mixing, opblanding, opslemning, tørring, sigtning/filtrering, rørsamlinger samt affaldsopsamling.</p> <p>I andre produktioner kan det være maskinel forarbejdning (slibning, nedknusning, opskæring o.l.) og andre tørre forarbejdninger.</p> <p>Vær opmærksom på, at nanopartikler i suspension kan frigive nanopartikler ved udtørring eller meget høj energitilførsel (fx sonikering).</p>
 <p>LABORATORIUM</p>	<p>Der er risici for eksponering ved håndtering af tørre og støvende nanomaterialer eller rene nanopartikler. Åbning af beholdere, afvejning, omhældning og opblanding udføres derfor så vidt muligt i stinkskab eller handskeboks.</p> <p>Produktion af nanopartikler og andre processer, såsom gas- og plasmafase, flammespray syntese o.l. kræver særlig opmærksomhed, da eksponeringen kan være markant.</p> <p>Ligeledes kan der være udslip af partikler fra en vandig (eller anden solvent) suspension ved høj energitilførsel (ex sonikering).</p>
 <p>DRIFTSTOP OG VEDLIGEHOLD</p>	<p>I forbindelse med driftsstop og vedligeholdelse af maskiner eller udstyr bør det sikres, at dette er gjort forsvarligt rent, og at medarbejderne er udstyret med det korrekte sikkerhedsudstyr.</p> <p>Anvender virksomheden eksterne håndværkere eller teknikere er det vigtigt, at disse er grundigt informeret om særlige arbejdsprocedurer og regler for rengøring, ventilation, håndtering af affald o.l.</p>
 <p>LAGER</p>	<p>Færdigvarer bør ikke skabe eksponeringsrisiko, idet nanopartikler forventes være indkapslede og overflader forseglede af hensyn til (for)brugeren af produktet.</p> <p>Vær opmærksom på støvresten på råvarer og halvfabrikat fra produktionen. Vær også opmærksom på lækager i støvholdige råvarer.</p>

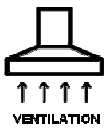


Rengøringspersonale, produktionsmedarbejdere, teknikere og håndværkere kan være udsat for eksponeringsrisiko under rengøring.

Dette kan også være tilfældet i lokaler, hvor der ikke direkte håndteres nanomaterialer. Flere studier har vist, at nanopartikler kan spredes til tilstødende lokaler gennem luft, tøj og via andre (større) støvpartikler i luften.

Rengøringspersonalet bør være nøje instrueret i, hvor der skal anvendes særlige rengøringsmetoder, udstyr og personlige værnemidler. Personalet bør hele tiden være informeret om afvigelser i den daglige drift, som kan påvirke rengøringen.

Alle medarbejdere bør selv gøre rent efter sig ved spild o.l.. Ligeledes bør de være tilstrækkelig informeret om, hvordan spild håndteres.



Det er vigtigt med et effektivt ventilationssystem, som kan sikre et stort luftskifte. Det er vigtigt, at ventilationsanlæggets filtre bliver rengjort og systematisk vedligeholdt.

Vær opmærksom på, at nanopartikler kan ophvirvles i luften ved opstart af et centralt ventilationsanlæg, og at dette derfor med fordel kan startes før medarbejderne møder ind.



Affald opsamles i lukkede plastiksække, der er tætte og kan lukkes uden, at støv afgives til omgivelserne. Affaldet mærkes korrekt. Affaldet transporteres forsvarligt fra virksomheden, og der kan indgås særlig aftaler med den lokale affaldsstation om destruktion af affaldet.

I produktioner, hvor der anvendes pulver, vil der altid være risiko for, at medarbejderne bliver eksponeret for nanopartikulært støv. Det samme gør sig gældende i produktioner, hvor der slibes eller foregår maskinel bearbejdning af nanomaterialer. På laboratorier har man ligeledes identificeret en række arbejdsprocesser, der genererer nanopartikulært støv og aerosoler. Neden for ses eksempler på arbejdsprocesser, hvorfra der kan frigives nanopartikulært støv eller partikelholdige aerosoler til luften.

**Tabel 6.2: Eksempler på partikelholdige arbejdsprocesser med risiko for partikeleksponering**

Produktion og stabilisering af nanopartikler og fibre	Håndtering af nanopartikulært pulvermateriale	Håndtering af nanopartikler i suspension	Bearbejdning af faste materialer eller andre materialer	Andre arbejdsprocesser og situationer
Electrospinning	Åbne partikelholdige beholdere, sække m.m.	Omhædning med stænk til følge eller anvendelse af let dampende væsker	Maskinel bearbejdning med nedbrydning af materialet. Fx. Slibning af overflader, spåntagning, knusning, beskæring	Rengøring af materiel og arbejdstøj
Flammespray syntese (aerosil)	I omhædning og afvejning af pulver	Kraftig mekanisk påvirkning af væsken. fx ved omrøring, trykfiltrering eller højtryksspuling	Lodning, svejsning og støbning	Transport og sammenpresning af støvholdige poser, sække, big-bags o.l.
Gas- og plasmafase syntese	Omrøring og mixing af pulver	Mekanisk påvirkning af væsker ved tilførsel af fx ultralydsonikering og kavitation	Laserbearbejdning, plastsvejsning o.l.	Check af ventilationsanlæg og skift af filtre
Nedslibning, fræsning i kuglemølle, perlemølle, snittemølle o.l.	Filtrering og sigtning af pulver	Påføring af væsker med sprayudstyr		Spild af pulver og væsker (udtørring)
Elektrisk Bue udladning, laser ablation (atmosfærisk)		Varmetilførsel/kogning		Reparation og rensning af anlæg ved driftsstop
CDV (kemisk pådampning) (vakuum)				

## Principper for det forebyggende arbejde

Arbejds miljøorganisationens rolle er at kontrollere, at arbejdet med nanopartikler bliver udført så forsvarligt som muligt. Det er derfor arbejds miljøorganisationens opgave at støtte ledere og medarbejdere i arbejdet med at finde frem til de mest sikre arbejds metoder og forbedringer af det fysiske arbejds miljø. Arbejds miljøorganisationens fornemste opgave er at sikre, at medarbejderne ikke bliver eksponeret for stoffer og materialer, der kan skade medarbejdernes helbred.

Som udgangspunktet kan arbejds miljøorganisationen støtte sig til eksisterende principper og vejledninger for forebyggende sikkerhedsarbejde (se bekendtgørelsen om arbejdets udførelse (56) og AT-vejledningen om arbejde med stoffer og materialer (67)). Dette inkluderer også forsigtighedsprincippet og hierarkiet for forebyggende sikkerhedsforanstaltninger.

Der findes en række internationale dokumenter, som kan give inspiration til risikohåndtering, evaluering af anvendelige sikkerhedsforanstaltninger og god praksis for arbejdet med nanopartikler. Flere af de nævnte dokumenter samler også viden op om de øvrige sikkerhedsforanstaltninger.

- NIOSH (2009): Approaches to safe nanotechnology (7)
- BSI (2007): Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. (14)
- Safe Work Australia (2009): Engineered Nanomaterials: Evidence on the Effectiveness of Workplace Controls to Prevent Exposure (68)
- BAuA (2007): Guidance for Handling and Use of Nanomaterials at the Workplace (69)
- ASTM (2007): Standard Guide for Handling Unbound Engineered Nanoscale Particles in Occupational Settings (8)
- Ellenbecker & Tsai (2008): Intermim Best Practice for Working with Nanoparticles (70)
- Ostiguy et al. (2009): Best Practice guide to synthetic nanoparticle risk management (31)

Med udgangspunkt i denne litteratur gennemgår de efterfølgende afsnit relevante principper og sikkerhedsforanstaltninger i sikkerhedsarbejdet

### **Forsigtigheds-, forebyggelses- og substitutionsprincipperne**

Opstilling af principper for et forebyggende arbejdsmiljøarbejde kan være vanskeligt, når det gælder nanomaterialer. Det skyldes – som tidligere omtalt – usikkerheden om nanopartiklernes skadelige virkninger. Der er dog bred enighed om, at tvivlen skal komme medarbejderne til gode, og derfor skal nanopartikelholdige materialer håndteres med stor forsigtighed.

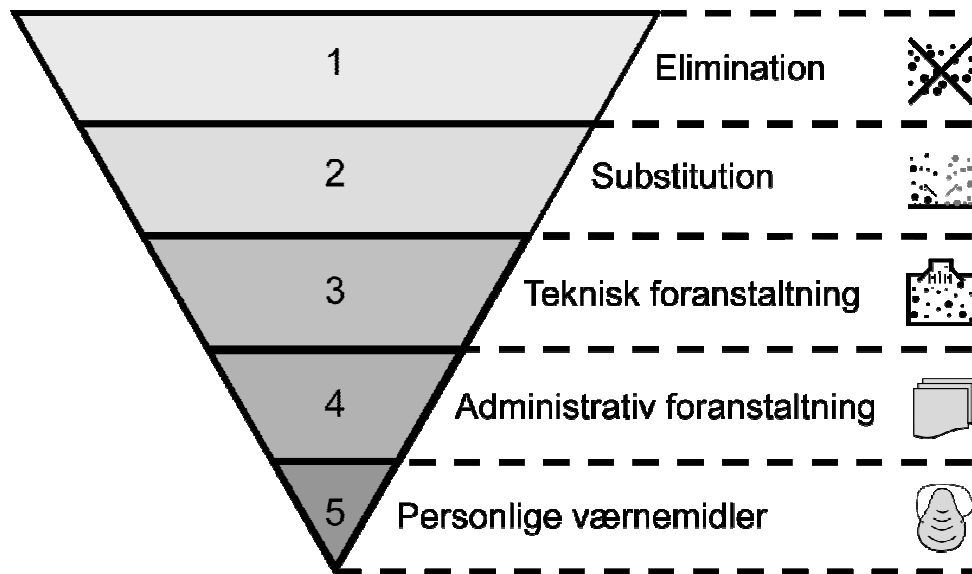
Forsigtighedsprincippet kan med fordel bruges som det generelle princip i arbejdet med nanopartikler. Forsigtighedsprincippet tilsiger at undgå eller minimere eksponering mest muligt, så længe der er usikkerhed om sundhedseffekterne af et givent materiale (7).

Arbejdsmiljøloven bygger blandt andet på forebyggelses- og substitutionsprincipperne. De tilsiger blandt andet, at man bedst muligt forebygger eller evaluerer eksponering og ulykker under hensyntagen til den tekniske udvikling og medarbejderne på arbejdspladsen. Herunder at man substituerer farlige materialer med mindre farlige materialer, hvor det er muligt. Det nedenstående hierarki for prioritering af arbejdsmiljøarbejdet giver inspiration til, hvordan forebyggelses- og substitutionsprincipperne i praksis kan udledes i arbejdet med nanopartikler.

### **Hierarkiet for prioritering af arbejdsmiljøarbejdet**

I sikkerhedsarbejdet er det vigtigt at følge principper, som er velkendte indenfor forebyggende arbejdsmiljøarbejde. 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 nødvendig med en kombination af sikkerhedsforanstaltninger.

Figur 6.2: Hierarki for forebyggende sikkerhedsforanstaltninger



## Elimination og substitution

Elimination og substitution er de første indsatser, man bør overveje for at forebygge arbejdsmiljørisici. Arbejdsmiljøorganisationen kan sammen med relevante ressourcepersoner forsøge at svare på følgende spørgsmål:

- Kan eksisterende eller nye produkter designes ved hjælp af mindre farlige materialer? Herunder om de specifikke nanopartikler kan bruges med en anden funktionalisering eller overflademodificering?
- Kan de planlagte produkter produceres hos underleverandør med større ekspertise i håndtering af nanopartikelholdige materialer eller med et mere lukket produktionsanlæg?
- Kan pulver erstattes med faste stoffer eller væsker?

I forbindelse med eksperimenterende arbejde er det sjældent muligt at eliminere nanomaterialet, da det ofte er netop dettes specifikke egenskaber, man søger at udnytte.

I nogle tilfælde har det vist sig, at man kan substituere materialets overflademodificering eller molekylære form og fortsat opnå de ønskede effekter. Dette har vist sig muligt for visse anvendelser af fullerener, karbon nanorør, kvanteprikker og forskellige metaloxider (68). Eksempelvis kan man i tilfælde, hvor man ikke søger stor fotokatalytisk overfladeaktivitet, anvende en rutil  $\text{TiO}_2$  frem for anatase  $\text{TiO}_2$ , som er potentielt mere sundhedsskadelig. Mulighederne for substitution ved funktionaliseringen og overflademodificering omfatter:

- Skift af molekylær form
- Tilføjelse af doteringsstof
- Ændring af kemisk overflade
- Ændringer af størrelsesfordelingen af partikler

Hvis overvejelserne resulterer i en beslutning om, at produkterne skal indeholde nanopartikler med en specifik funktionalisering, så er det nødvendigt at se nærmere på, hvordan arbejdsprocesser kan isoleres eller indkapsles, så eksponering af medarbejdere begrænses mest muligt.

Funktionalisering og overfladeforandring af nanopartikler kan være udslagsgivende for partiklernes toksicitet. Det kan i nogle tilfælde gøre partiklen potentielt mere risikobetonet, men kan også i nogle tilfælde skabe mulighed for substitution.

## 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 kendte tekniske foranstaltninger effektivt kan nedsætte eksponeringen for nanopartikler, hvis de er designet korrekt til den specifikke arbejdsproces (68). I APV-arbejdet er det nødvendigt at gennemgå eksisterende lokaler/anlæg og nye anlæg for at sikre, at indkapsling, afskærmning og ventilation er designet korrekt. I det følgende gives en række praktiske opmærksomhedspunkter vedrørende tekniske foranstaltning, som kan være til inspiration i APV-gennemgangen.

## Produktionsanlæg

En lille mængde partikler kan indeholde millioner af partikler, som ikke nødvendigvis er synlige. Indretning af produktionsanlæg skal derfor gennemtænkes meget nøje for at undgå udslip af støv og aerosoler. Det kan være nødvendigt at få lavet partikelmålinger eller installationer, der opsamler støv over længere produktionsstider for at identificere udslip. Erfaringer viser dog, at et godt indrettet produktionsanlæg kan reducere risikoen for eksponering effektivt (68).

### Inspiration: Indretning af produktionsanlæg

- Gulve, vægge og inventar udført af materialer med glatte overflader letter rengøring.
- Afvejning af pulvermateriale bør foregå under forsvarlig udsugning. Helst med et luftgardin foran udsugningen, som forhindrer partikler i at komme ud i luften.
- Påfyldning på anlægget - f.eks. ved at tømme sække med pulver ned i et kar - bør afskærmes bedst muligt fra omgivelserne. En effektiv udsugning rundt om og over det kar, hvori sækken tømmes, hjælper til at forhindre støvudslip.
- Samlinger på rør på anlægget kan med fordel forsegles med flere lag (med gennemsigtigt materiale) for at sikre, at partikler ikke trænger igennem, og at evt. utæt inderste lag kan ses som aflejringer i yderste lag.
- Affaldsprodukter tømmes ud i sække, der er fæstnet tæt til ventilationsanlægget.



## Laboratorieindretning

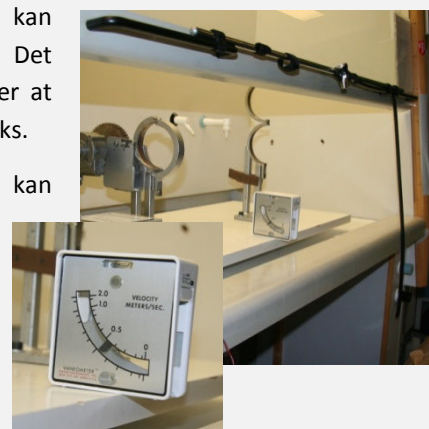
Ved at indrette laboratorier og stinkske korrekt er det muligt at reducere risikoen for at komme i kontakt med nanopartikler. Ved at sikre at gulve, vægge og inventar er lavet i materialer med glatte og rengøringsvenlige overflader minimeres samling af nanopartikulært støv på overflader. Herved lettes rengøring ved spild og eksponering af medarbejdere mindskes.

Brugen af stinkske er den mest anvendte tekniske foranstaltning i laboratoriet. Sammen med handskeboks vurderes stinkske at give den bedste beskyttelse i laboratoriet. Støv- eller aerosoldannende processer bør så vidt muligt foregå i stinkske eller LAF-bænke. Er det ikke muligt at gennemføre en arbejdsproces i et stinkske eller LAF-bænk, kan eksponering minimeres ved opstilling af anden afskærmning samt brug af lokal ventilation og personlige værnemidler.

Glas og apparatur m.m. bør anbringes i lukkede skabe. Der skal være så få ting i lokalet som muligt. Nanopartikelholdige materialer bør opbevares i lukkede og mærkede skabe (evt. sammen med andre farlige stoffer).

### Inspiration: Indretning og arbejdet ved stinkske og kemibænke

- Lufthastigheden i skabets hejseugeåbning skal som udgangspunkt fastholdes på 0,5 m/s ( $\pm 10\%$ ).
- Under håndtering af meget flyvske pulvermaterialer kan pulveret blive ophvirvlet af en luftstrøm på 0,5 m/s. Det eksempelvis være nogle typer karbon nanorør. Overvej her at bruge en anden opstilling i stinkske eller brug handskeboks.
- Test ved hvilken lugehøjde skabet suger 0,5 m/s. Her kan anvendes et vaneometer.
- Turbulens i lokalet rundt om stinkske undgås ved, at der ikke er trafik bag operatøren, og at alle vinduer og døre er lukkede i rummet.
- Anvend så lidt materiale som muligt.
- Undgå at bringe støv ud i lokalet ved ikke at lave hurtige armbevægelser og at tage armene ud af stinkske. Er det nødvendigt at forlade stinkske under arbejdet og dermed tage armene ud, er det en god ide at have et ekstra lag handsker på, som kan tages af inde i skabet, før armene tages ud.
- Spild og uheld reduceres ved at forberede hele arbejdsprocessen grundigt. Herunder at alle pipetter, glas, apparatur o.l. er tilgængeligt inde i skabet. Ligeledes at fugtige aftøringsmaterialer, vand og affaldsbeholdere står klar i skabet til at rengøre eventuelt spild med det samme.



Der henvises i øvrigt til "Stinkske – Vejledning om arbejde i stinkske" (71).

## Anvendelsen af ventilation og filtre

Filtre til opsamling af partikler er fortsat et område, som ikke er afdækket til bunds. Særligt områder som filtrenes levetid, håndtering af filterskift og bortskaffelse mangler belysning. Man kan derfor med fordel anvende mest mulig afskærmning og personlige værnemidler til medarbejdere, som er involveret i filterskift og bortskaffelse af filtre. Generelt set viser de eksisterende studier på området, at HEPA filtre og (højt ladede) elektrostatiske filtre har den bedste opsamlende effekt (68).

Ventilationsanlæg og udsugningsanlæg skal løbende kontrolleres, så ind- og udsugning fungerer korrekt. Det er afgørende, at rengøring, vedligeholdelse og eftersyn foregår systematisk.

#### Inspiration: Ventilationsanlæg og udsugning

- Alle filtre rengøres og udskiftes efter en tidsplan, så der er sikkerhed for, at filtrene er effektive.
- Plastposer, der opfanger partikler fra udsugningen, udskiftes efter nøje planlagte procedurer.
- Giv øget opmærksomhed på filterskift ol., da frigivelse af partikler til luften. Eksposering for medarbejdere kan være høj.
- Start evt. ventilationssystemet (15-30 min) inden medarbejdere møder på arbejde, da opstarten kan ophvirvle partikler i luften fra udstyr, gulv o.l., som overstiger niveauet ved produktionen.



En uddybende gennemgang af viden om filtertyper og filtreringseffekt under forskellige arbejdsforhold findes i en rapport udarbejdet af Safe Work Australia (68).

### Administrative foranstaltninger

Når arbejdsmiljøorganisationen, ledere og medarbejdere har gennemgået indretningen af laboratorier og produktionsanlæg, skal der ses nærmere på hvilke administrative foranstaltninger, der kan medvirke til at reducere berøring eller inhalering af støv eller aerosoler. De nedenstående afsnit giver inspiration til opstilling af en række administrative foranstaltninger. Det er dog væsentligt at hver arbejdsplads udarbejder egne foranstaltninger med udgangspunkt i den enkelte produktion samt de ressourcer og kompetencer, der er til stede.

Udarbejdelse af en politik for arbejde med nanomateriale kan være et godt udgangspunkt for at få styr på sikkerheds- og sundhedsarbejdet i virksomheden. Derefter kan politikken udmøntes til praktiske vejledninger/anvisninger til hele virksomheden.

Et kig på arbejdets organisering kan ligeledes bidrage til et mere sikkert arbejdsmiljø, hvis der opnås et fornuftigt og enkelt flow i de enkelte arbejdsprocesser og funktionsområder. Jo mere enkelt og overskueligt arbejdet er tilrettelagt jo mindre risiko er der for, at der sker spild eller uheld. Det kan også være relevant at begrænse adgangen for uvedkommende til arbejdsområder, hvor nanopartikelholdige materialer håndteres eller bearbejdes.

### Instruktioner og anvisninger

Arbejdspladsbrugsanvisninger bidrager til at sikre, at de bedste arbejdsmetoder bliver brugt. Ligeledes at nye medarbejdere kan få den korrekte instruktion i, hvordan arbejdet udføres på den mest enkle og forsvarlige måde.

Inddragelsen af medarbejdere i udarbejdelsen af instruktioner og anvisninger sikrer, at praktiske håndteringsaspekter o.l. bliver indtænkt i instruktionerne, og bidrager til at instruktioner omsættes til gode arbejdsrutiner.

Anvisninger og instruktioner bør udarbejdes skriftlig og gerne i kombination med billeder, video og andet AV-materiale.

Typiske instruktioner og anvisninger omfatter:

- Arbejdspladsbrugsanvisninger
- Vejledninger og skabeloner til registrering af dokumentation af farlige stoffer
- Udførelsen af specifikke arbejdsopgaver
- Retningslinjer for brug af værnemidler
- Retningslinjer for håndtering af spild og uheld
- Vejledning og retningslinjer for rengøring, personlig hygiejne o.l.
- Vejledninger til eksterne håndværkere, teknikere o.l.

### Gode arbejdsrutiner

Det kan være en god idé at sætte fokus på, hvilke rutiner i det daglige arbejde der kan være med til at mindske risikoen for eksponering for nanopartikler. I boksen herunder er der samlet eksempler på gode arbejdsrutiner.

#### Inspiration: Gode arbejdsrutiner

- Foruren ikke andres arbejdsmiljø med eget arbejde.
- Planlæg dit arbejde, så det kan foregå med overblik, rolige bevægelser og under rolige omstændigheder. Det mindsker uheld og spredning af støv.
- Aftør altid emballage udvendigt med en våd klud - også selv om der ikke forekommer synligt støv.
- Ryd op og gør dit arbejdssted rent, hver gang du afslutter en arbejdsproces
- Ved brug af en kost og almindelige støvsugere bør man vel være opmærksom på, at der ophvirvles støv i lokalet. Fjern straks al spild med en fugtig engangsklud, støvsuger med HEPA filter eller centralt støvsuger.

Når alt andet er overvejet og arbejdsmiljøet er blevet så optimalt, som det har været muligt, så er der behov for at vurdere behovet for personligt sikkerhedsudstyr.

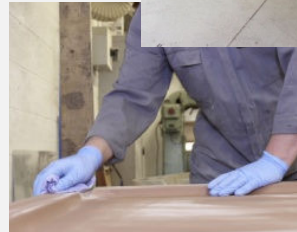
### Spild og uheld

Hvis arbejdsmiljøorganisationen, ledere og medarbejdere har fulgt de retningslinjer, der er angivet i dette kapitel, vil risikoen for spild og uheld være reduceret. Alligevel kan der ske spild og uheld. Derfor skal et arbejdssted have nøjagtige nedskrevne instruktioner, som skal være synlige og tilgængelige for ledere og medarbejdere.

### Inspiration: Håndtering af spild og uheld

Ved spild:

- Fjern straks spild med en fugtig engangsklud, støvsuger med HEPA filter eller centralstøvsuger.
- Tør efter flere gange. Nanopartikler kan være usynlige og sætte sig i meget fine ujævnheder i overfladen.
- Engangsklude lægges straks efter brug i plastpose, der lukkes forsvarligt.



Ved uheld

- Brug maske eller forlad straks lokalet/området.
- Begræns skaden – stop uheldet.
- Afskærm området og forsøg at få øget ventilationen i området.
- Området rengøres grundigt.
- Tag bad, skift tøj og rens din støvmaske.



### Rengøring

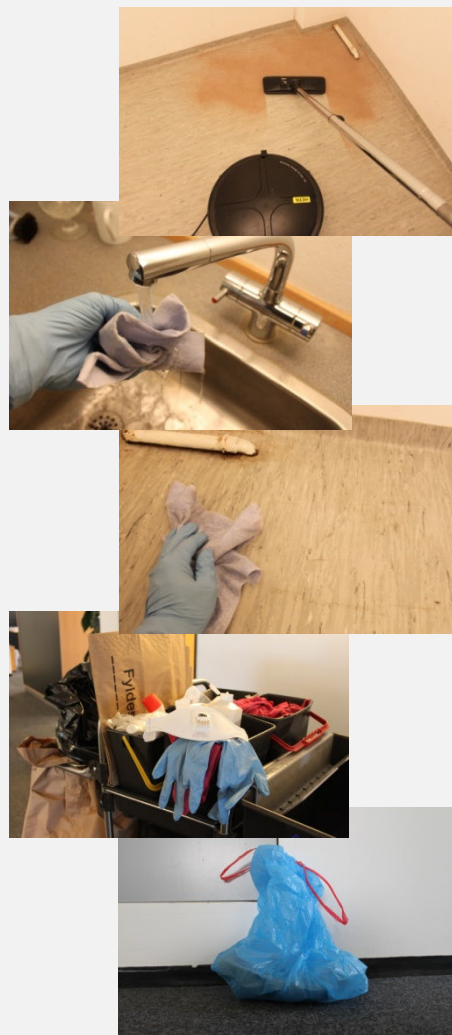
Arbejds miljøorganisationen og rengøringspersonalet kan med fordel forsøge at besvare følgende spørgsmål:

- Hvilken type nanomateriale arbejdes der med i de lokaler, der skal gøres rent?
- Er der tilstrækkelig med information om spild af væsker/pulver, som kan udgøre en risiko ved rengøringen?
- Er de særlige risikofyldte arbejdssteder udpeget, og er der givet instruktion?

Med udgangspunkt i besvarelsen af disse spørgsmål kan der opstilles de nødvendige retningslinjer. Her kan nedenstående punkter være til inspiration.

### Inspiration: Rengøring

- Brug vand og gerne på en fugtig klud. Undgå at spule og sprøjte med vandet til at rense spildte materialer. Ved at bruge vand bindes støvpartikler, så de ikke spredes i luften.
- Vask overflader flere gange. Støvet er ikke nødvendigvis synligt og kan sætte sig i meget fine strukturer på overfladen.
- Ved at feje eller bruge almindelige støvsugere spredes partikler i luften. Hvis der anvendes en industristøvsuger anbefales det at bruge et HEPA filter, som har vist sig at kunne opsamle små partikler.
- Et centralt sugelanlæg med støvsugeslanger tæt ved de enkelte arbejdssteder eller ventilationssystem, der omgiver processen, er den bedste løsning.
- Rengøringspersonale og medarbejdere, der gør rent på områder med anvendelse af nanopartikler, skal have undervisning/instruktion i anvendelse af de korrekte personlige værnemidler.
- Overvej om det er nødvendigt at anvende personlige værnemidler under rengøringen.
- Forsegl og mærk støvholdige klude og andet affald fra rengøringen i plastposer, så det kan bortskaffes forsvarligt.



### Brand og eksplosion

Nanopartikler kan som meget andet støv og fibermateriale være eksplosivt (7). Enkelte undersøgelser er udført, som viser at flere typer nanopartikler udviser nogenlunde samme brand og eksplosionseffekter som tilsvarende mikro- og makromaterialer - herunder karbon nanorør og aluminiumholdige oxider (72). De produktionsanlæg, hvori der arbejdes med brændbare eller eksplosive nanopartikler, skal have særligt brandsikkerhedsudstyr. Arbejdsmiljøorganisationen instruerer medarbejderne om brandsikkerhed og de særlige foranstaltninger, der skal overholdes i en produktion med nanomateriale. Flugtveje skal være anvist i produktionen.

### Inspiration: Brandsikkerhed

- Der skal være opstillet signaludstyr og alarmer, der hurtigt giver besked til medarbejderne om at forlade produktionen, hvis der opstår brand
- Alle medarbejdere bør være undervist i, hvordan de skal forholde sig, såfremt der opstår brand i anlægget.
- Der skal være tilgængelige forskrifter for flugtveje, og de almindelige regler om undervisning af medarbejderne skal være overholdt.
- Der henvises i øvrigt til AT-vejledningen om arbejde i forbindelse med eksplosiv atmosfære (73).



### Driftsstop og vedligehold

Reparation, omstilling, kalibrering ol. opgaver ved driftsstop og vedligehold af anlæg (herunder ventilationsanlæg) omfatter nogle af de arbejdsituationer, hvor den umiddelbare eksponering for partikler kan være højest, fordi man ofte er nødt til at åbne ellers lukkede/afskærmede dele af anlægget. Det er derfor vigtigt at have en god procedure og instruktion for, hvordan disse situationer håndteres. En række af de vigtigste procedurer og instruktioner er listet nedenfor.

### Inspiration: Driftsstop og vedligeholdelse

- Der bør forefindes instruktion for reparation og vedligeholdelsesopgaver, som kan forstås af alle - også fremmede (udefrakommende) håndværkere, teknikere o.l.
- Håndværkere og teknikere kan rengøre området, men afhængig af risikoen i et område kan det være nødvendigt, at rengøringen foretages af medarbejdere fra området.
- Lukkede eller afskærmede anlæg er ofte lukket for at minimere eksponering, og der anvendes personlige værnemidler, hvis anlægget åbnes ved driftsstop og vedligehold



Disse principper kan også bruges ved ombygninger eller nedtagning af maskiner og udstyr.

### Personlig hygiejne

Selv om der er gjort meget for at forhindre medarbejderne i at få støv og aerosoler på sig, skal der hele tiden udvises stor forsigtighed med den personlige hygiejne. Der er endnu ikke lavet undersøgelser, der entydigt viser, at nanopartikulært støv er akut giftige. Nogle nanopartikler kan irritere huden, og enkelte studier indikerer, at nanopartikler kan fremme allergi (74). Nanopartikler spredes hurtigt i luften og kan transporteres til tilstødende lokaler. Medarbejderne kan også være med til at sprede partikler og støv på kroppen og på deres tøj.

#### Inspiration: Personlig hygiejne

- Hold huden ren og tør. Plej huden med en god creme.
- Sørg for at vaske hænder hyppigt og gå i bad lige efter arbejde.
- Skift ofte arbejdstøj og fodtøj.
- Brug ikke smykker – lad ure ligge i omklædningsrum.



### Personlige værnemidler/sikkerhedsudstyr

I omgang med nanopartikelholdige materialer på laboratoriet kan der være situationer, hvor der skal bruges personlige værnemidler. Personlige værnemidler bør være sidste vej til at beskytte sig. Er værnemidler nødvendige, skyldes det ofte at der er en eksponering af hele lokalet. Klare skriftlige instruktioner og uddannelse af personale bør derfor være på plads i forhold til rengøring. Ligeledes i forhold til hvor og hvornår personlig værnemidler er påbudt, og hvor og hvornår det er sikkert at tage værnemidler af igen. Alle personlige værnemidler skal opbevares forsvarligt, filtre skal skiftes ifølge producentens vejledning og værnemidlet rengøres efter brug.

### Åndedrætsværn

Åndedrætsværn og støvfiltres effektivitet afhænger af en række forhold (68):

- Partikelstørrelse
- Luftgennemstrømning
- Temperatur og luftfugtighed
- Filtertype/materiale
- Anvendelsestid
- Partikelladning
- Pasform

Det antages generelt, at værnemidlerne virker efter hensigten, men for nanopartikler er der er sat spørgsmål ved denne antagelse. For at belyse dette foretog NIOSH en gennemgang af den eksisterende viden om værnemidlers effektivitet over for nanopartikler (7). Generelt konkluderes det, at udsug, stinksåbe m.v. fungerer mod luftbårne nanopartikler, men det kan blive nødvendigt at foretage specialindstillinger. Der er dog stor mangel på dokumentation for deres effektivitet. NIOSH konkluderer også, at de ikke kan anbefale brug af almindelige støvmasker som værnemidler til luftbårne nanopartikler. Effektiviteten for 40 nm partikler kan være lavere end 20 % for de dårligste typer. Respiratorer giver bedre beskyttelse. Nye resultater tyder på, at effektiviteten for 40 – 100 nm partikler ligger fra 90 % til mere end 99 % afhængig af typen og testmetode (75).

Der er fortsat stor mangel på viden om filtrenes levetid og effektivitet over for specifikke nanopartikler. I et litteraturstudie fra Safe Work Australia fremgår det, at forskningsresultater tyder på, at P2 og P3 masker af PTFE materiale under normale arbejdsforhold (normal vejtrækning) og luftighed i kortere perioder kan fungere effektivt som værnemiddel (68). P3 filtre vurderes at give den bedste beskyttelse.

### Inspiration: Åndedrætsværn

Filtrerende åndedrætsværn skal altid være tilgængeligt i produktionen med fint støv.

- Maskefiltre vil aldrig beskytte 100 % mod nanopartikler.
- Masker med P3 filtre vurderes at være de mest effektive til at opfange nanopartikler af forskellige størrelser under normale arbejdsforhold og i kortere perioder.
- For medarbejdere som arbejder med nanofibre (fx karbon nanorør) bør man være ekstra forsigtig, og man bør overveje at anvende friskluftsforsynet åndedrætsværn og sikkerhedsforanstaltninger på niveau med asbestarbejde eller kræftfarlige stoffer og materialer. Se AT-vejledningerne om kræftfarlige stoffer og materialer (76) og asbest (77).
- Den største kilde til eksponering ved brug af masker opstår, hvis masken ikke sidder tæt rundt ind næse og mund. En god pasform er derfor meget vigtig.



Friskluftsanlæg anvendes, når der er risiko for, at medarbejderne kan indånde nanopartikler, der er særlig risikofyldte. Asbestbekendtgørelsen nr. 1502 af 2004 siger, at denne type åndedrætsværn højst må anvendes 6 timer om dagen (78). Ved stor fysisk aktivitet må der højst arbejdes 4 timer, og der skal holdes pauser senest efter 2 timer (78).

### Handsker

Studier har vist, at karbonbaserede partikler og TiO<sub>2</sub>-nanopartikler skaber allergisk sensibilisering af celler hos mus og de menes at have en adjuvanseffekt (74; 79). Forskningsresultater har ligeledes vist, at nanopartikler kan gennemtrænge en række forskellige handsketyper. Det anbefales derfor, at man bærer minimum 2 lag handsker, hvoraf et lag er lange nitrilhandsker, og yderste lag er modstandsdygtigt overfor eventuelle kemiske reagenter (68; 72), hvis man arbejder med sundhedsskadelige nanopartikler.

### Inspiration: Handsker

- Nitrilhandsker vurderes at være anvendelige til at blokere nanopartiklers indtrængning. Der er dog fortsat mange usikkerheder. Man bør derfor altid søge professionel rådgivning hos en leverandør.
- Man kan også overveje at anvende flere lag handsker. Det er særligt vigtigt, hvis man samtidig arbejder med kemikalier, som kan nedbryde eller beskadige nitrilhandsken.
- Antallet af handskelag bør afvejes i forhold til, om arbejdsprocessen fortsat kan gennemføres i praksis uden unødige spild o.l.
- Det er vigtigt, at handsken går op og dækker ærmer, at den er forseglet mellem handsken og ærmet, så partikler ikke samles i ærmekanten.



## Beklædning

I omgang med nanomaterialer bør der være adgang til beklædning og fodtøj, som værner medarbejderne mod direkte kontakt med nanopartikler. Der findes ikke meget videngrundlag for valg af beklædningsmaterialer. Et enkelt studie har dog vist, at Non-Woven materialer er mere afvisende for nanopartikulært støv (68). Ved særlig risikofuld håndtering af nanopartikler - fx karbon nanorør – kan man overveje at bære heldragt.

### Inspiration: Beklædning

- Overflader på beklædning og fodtøj bør være støvafvisende og gerne af et non-woven materiale (fx tyvek).
- Heldragt bør være tætsluttende ved hals og håndled.
- Nogle nanopartikler kan være irriterende mod øjne, eller de kan være opblandet i en irriterende eller ætsende solvent. Her anvendes sikkerhedsbriller, der slutter tæt omkring øjnene.
- Beklædning forsegles i det givne arbejdsområde inden det transporteres til vask eller affald. Dermed minimerer man risici for at forurene tilstødende arbejdsområder.

