



Nanopartiklar

– hälsorisker i arbetet

Prevent förmedlar kunskap om hur man genom ett hälsofrämjande arbetsmiljöarbete kan skapa framgångsrika företag där alla är säkra och mår bra. Prevent vill inspirera och stödja arbetsplatsernas arbetsmiljöarbete. Det gör vi genom att

- informera om arbetsmiljöfrågor
- utbilda och genomföra seminarier runt om i landet
- ta fram enkla och användbara produkter och metoder.

Prevent är en ideell organisation som ägs av Svenskt Näringsliv, LO och PTK, det vill säga arbetsgivare och fack tillsammans.

Besök www.prevent.se – kunskaper för en bättre arbetsdag!

© 2024	Prevent Arbetsmiljö i samverkan Svenskt Näringsliv, LO och PTK
Upplaga	2
Projektledning	Prevent
Textbearbetning	Mats Bohgard
Foto	Creative Commons
Grafisk form	Graphera
Telefon	08-402 02 00
E-post	kundservice@prevent.se
Webb	www.prevent.se
Art nr	330N



prevent

ARBETSMILJÖ I SAMVERKAN
SVENSKT NÄRINGSLIV, LO & PTK

Innehåll

Inledning	4
Nanoteknik och nanopartiklar	5
Var hittar vi nanopartiklar i våra livs- och arbetsmiljöer?	9
Hur upptas nanopartiklar i människokroppen?	10
Luftburna nanopartiklar	13
Hälsorisker	15
Systematiskt arbetsmiljöarbete (SAM) och nanosäkerhet	17
Mätningar	19
Arbetsmiljöarbete – åtgärder	21
Eliminering och substitution	22
Inkapsling och automatisering	22
Ventilationstekniska åtgärder	23
Organisatoriska åtgärder	24
Personlig skyddsutrustning	24
Riskbedömningsverktyg	26
Lagstiftning och föreskrifter	27
Läs mer	29

Inledning

Den här texten ska ge kunskap om de mycket små partiklar och strukturer som tillverkas och används inom nanotekniken och som kan innebära hälsorisker i arbetslivet.

Prevent är en ideell organisation som ägs av Svenskt Näringsliv, LO och PTK. Prevent förmedlar kunskaper som hjälper företag att förbättra sin arbetsmiljö. Bra arbetsmiljö innebär att människor jobbar säkert och mår bra, vilket bidrar till ökad hälsa och lönsamhet. Alla vinner på en bättre arbetsmiljö.

Nanoteknik och nanopartiklar

Begreppen *nanovetenskap* och *nanoteknologi* användes till en början mest inom grundläggande fysik. Under 1980-talet och framför allt 1990-talet spred sig begreppen till tvärvetenskap och bredare tekniska tillämpningar och man började också tala om *nanomaterial* och *nanopartiklar* (engelska "engineered nano materials" och "nano particles"). Nanopartiklar har sedan dess också kommit att användas för partiklar med nanostorlek som inte är avsiktligt tillverkade, till exempel partiklar som alltid har funnits i vår omgivning och partiklar som är oavsiktligt tillverkade i form av till exempel luftföroreningar.

Denna text handlar om risker med avsiktligt tillverkade material och partiklar för olika tekniska tillämpningar. Men vi kan förstås lära oss från andra nanopartiklar i vår omgivning som vi utsätts för.

Tekniska tillämpningar av nanovetenskap och nanoteknologi kallar vi i fortsättningen i denna text för *nanoteknik*.

När storleken hos partiklar och strukturer minskar, förändras ofta egenskaperna jämfört om man har dem i bulkform. Det gäller kemiska, elektriska, magnetiska, mekaniska och optiska egenskaper. Forskare och teknikutvecklare började inse att det finns stora möjligheter att tillverka material med unika och mycket attraktiva egenskaper. De insåg att det fanns stora innovationsmöjligheter för hållbar teknikutveckling. Men också risker. Nano är ett så kallat prefix i den standardlängdskala som utgår från metern (decimeter = tiondels meter, centimeter = hundraedels meter, millimeter = tusendels meter, mikrometer (μm) = miljondels meter och nanometer (nm) = miljarddels meter).



En typisk nanopartikel förhåller sig i storlek till en fotboll som fotbollen förhåller sig till jordklotet. Atomers diameter ligger i storleksordningen 0,1 nm. Det handlar alltså om att hantera strukturer på atomär storleksnivå.

Det brukar anges att utvecklingen av *sveptunnelmikroskopet* (som gjorde det möjligt att studera och manipulera strukturer på atomstorleksnivå) och upptäckten av fullerener (klotformiga eller rörformiga strukturer uppbyggda av kolatomer) bidrog till att teknologin kom att utvecklas till och anses som ett framtidsområde inom en lång rad teknikområden (elektronik, materialteknik, kemiteknik, livsmedelsteknik, medicinteknik med mera).

Nanotekniken kom att utvecklas till ett område där olika material framställs med unika egenskaper. De minsta beståndsdelarna brukar man kalla nanopartiklar. Den vedertagna definitionen av *nanopartiklar* anger att minst 50 % av partikelstorleken ska ligga mellan 1 och 100 nm. Om de är sfäriska (eller nära sfäriska) ligger diametern i detta storleksområde. Om de är fibrer ligger två dimensioner i detta storleksintervall och om de är flak ligger en dimension i storleksintervallet. Gränserna är inte exakta utan anger den ungefärliga storleken hos partiklar och strukturer.

Det finns i princip tre sätt att tillverka små partiklar: genom att sönderdela material, genom att sätta ihop molekyler och atomer med hjälp av kemiska reaktioner, eller genom förångning följt av kondensation. Det finns många metoder för att skraddarsy partiklar så att de innehåller en kombination av ämnen eller får specifika former för olika tillämpningsområden.

Idag sker intensiv forskning och utveckling inom nanoteknikområdet. Men det har sedan länge funnits produkter som utnyttjar nanoteknik. En del har funnits redan innan nanoteknik började användas som begrepp. Nanopartiklar används till exempel för att tillverka slitstarka däck, målarfärger, hållbara material för olika slags konstruktioner och i solskyddsmedel som skydd mot ultraviolett strålning. Nanostrukturerade ytor som är svåra att repa finns i stekpannor. Nanofibrer finns i kläder för att hindra kladd och smuts att fastna. Fönsterglas och andra byggnadsmaterial kan ges ytor som inte smutsas ner så lätt. Båtbottenfärger som håller skroven rena från växter utan tillsatser av giftiga kemiska föreningar är ett annat exempel.

Den snabba teknikutvecklingen gör att det är svårt att få överblick över området när det gäller såväl material och produkter som risker. Redan tidigt har det funnits oro för att de nya materialen och partiklarna kan vara skadliga för människokroppen. *Nanotoxikologi* infördes som begrepp i början av 2000-talet för ett vetenskapsområde där nanomaterials hälsopåverkan

studeras. Nanotoxikologi används också som begrepp vid studier av ekotoxikologiska effekter av nanomaterial.

Ett annat mer proaktivt och åtgärdsinriktat begrepp har blivit allt vanligare: *Nanosäkerhet (nano safety* på engelska). Det används i många utbildningar, bland annat på ingenjörsutbildningar och riskutbildningar. Nanosäkerhet innefattar även nanopartiklars påverkan på den yttre miljön.

Ibland har produkter nano i sitt produktnamn utan att ha något med nanoteknik att göra. Det kan vara så att själva ordet kan anses vara säljande. Ibland kan det vara svårt att hitta uppgifter om innehåll av nanomaterial i produktbeskrivningarna även om produkten innehåller nanopartiklar – kanske för att marknadsförare är rädda för att det kan förknippas med risker.

När man utvecklar nya material finns idag en strävan att göra riskbedömningar redan i samband med forsknings- och utvecklingsarbetet. När det utvecklas nya material med särskilda egenskaper är det uppenbart att det kan finnas risker när människor exponeras för dem. Redan under utveckling och forskning krävs försiktighetsåtgärder för att skydda människor som arbetar med utveckling och bearbetning av materialen. Det är viktigt att kunskapsutveckling om både exponering och toxikologi sker parallellt med utveckling av materialen.

Var hittar vi nanopartiklar i våra livs- och arbetsmiljöer?

Det finns mängder med partiklar av olika storlekar i vår omgivning. Förutom större partiklar finns det, och har alltid funnits, partiklar i nanostorlek som kan tas upp i kroppen och påverka vår hälsa. I all modern elektronik finns idag nanometerstora strukturer i mikrochippen. Just detta är inte något vi behöver fundera så mycket på vid användning. Däremot kan det finnas skäl att vara uppmärksam om risker vid produktion och återvinning.

De ingenjörsmässigt tillverkade nanopartiklarna utgör dock en mycket liten del av partiklarna mellan 1 och 100 nm i vår omgivningsmiljö. Nanometerstora partiklar skapas till exempel vid skogsbränder och vulkanutbrott, eller består av torkade havssprejpartiklar eller partiklar bildade av flyktiga organiska föreningar (till exempel terpenier) från skogar under inverkan av ozon. Nanometerstora partiklar i vår omgivning är även sådana som vi själva skapat ofrivilligt som luftföroreningar: bilavgaser, industriutsläpp med mera.

Många material innehåller nanopartiklar och nanostrukturer som aldrig kan nå människan eftersom de ligger inkapslade i produkten. Men ganska ofta kan partiklarna bli luftburna. I vårt vardagsliv stöter vi ständigt på luftburna partiklar av olika storlekar. I bostäder finns det normalt några tusen till några hundratusen partiklar i varje milliliter luft. På senvintern när solen står lågt och lyser in genom fönstret, brukar vi kunna se en del av dem när solstrålarna reflekteras mot dem och når våra ögon. Partiklarna finns där också när vi inte ser dem. Och de partiklar som vi kan se är egentligen

toppen av ett isberg. De flesta partiklar är alldeles för små (som nanopartiklar mellan 1 och 100 nm) för att de ska ses med blotta ögat.

De större partiklar vi har i bostäder kommer mest från material som har sönderdelats, som textilier, hudfragment, nötning från golv och jorddamm utifrån med mera. Nanopartiklarna uppstår då vi lagar mat, röker cigaretter, eldar stearinljus eller eldar i öppna spisar och fotogenkaminer. De kan också bildas genom kemiska reaktioner när utomhusluftens ozon kommer in i våra bostäder och reagerar med organiska ämnen från till exempel kemiska rengöringsmedel. Många små partiklar kan komma in utifrån – från bilarnas avgaser och från energiproduktion. En hel del partiklar kommer också från vägtrafiken vid slitage mellan däck och vägbana. De allra minsta nanopartiklarna har inte så hög sannolikhet att tränga in i byggnader med stängda fönster och dörrar på grund av att de lätt fastnar då luften passerar genom ventilationssystem och otätheter i byggnaden.

I olika arbetsmiljöer utgör luftburna partiklar sedan länge ett hälsoriskproblem. Olika typer av mekanisk bearbetning (slipning, blästring med mera), liksom termiska processer (svetsning, lödning, termisk sprutning och skärning med mera) är välkända orsaker till att små partiklar bildas. Dessa har vi inte kallat nanopartiklar tidigare (ultrafina partiklar – *ultra fine particles* – var ett vanligare begrepp inom yrkeshygien och arbetsmedicin). Men det finns många studier av partiklar i yttre miljö, i stads- och inomhusmiljö och i olika arbetsmiljöer från vilka vi kan lära oss hur partiklar i nanostorlek kan uppstå, transporteras och påverka människan och vår livsmiljö.

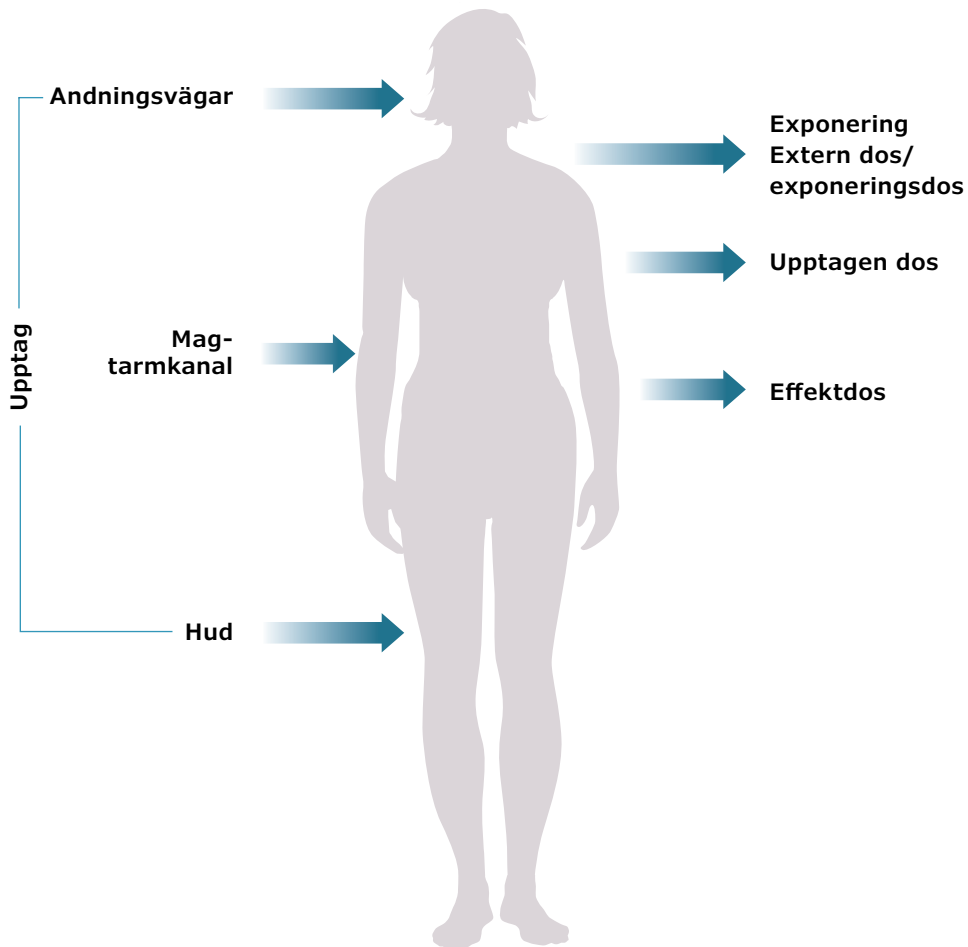
Hur upptas nanopartiklar i människokroppen?

Kroppen kan ta upp nanopartiklar på i huvudsak två sätt:

- inandning (andningsvägarna)
- nedsväljning (mag-tarmkanalen).

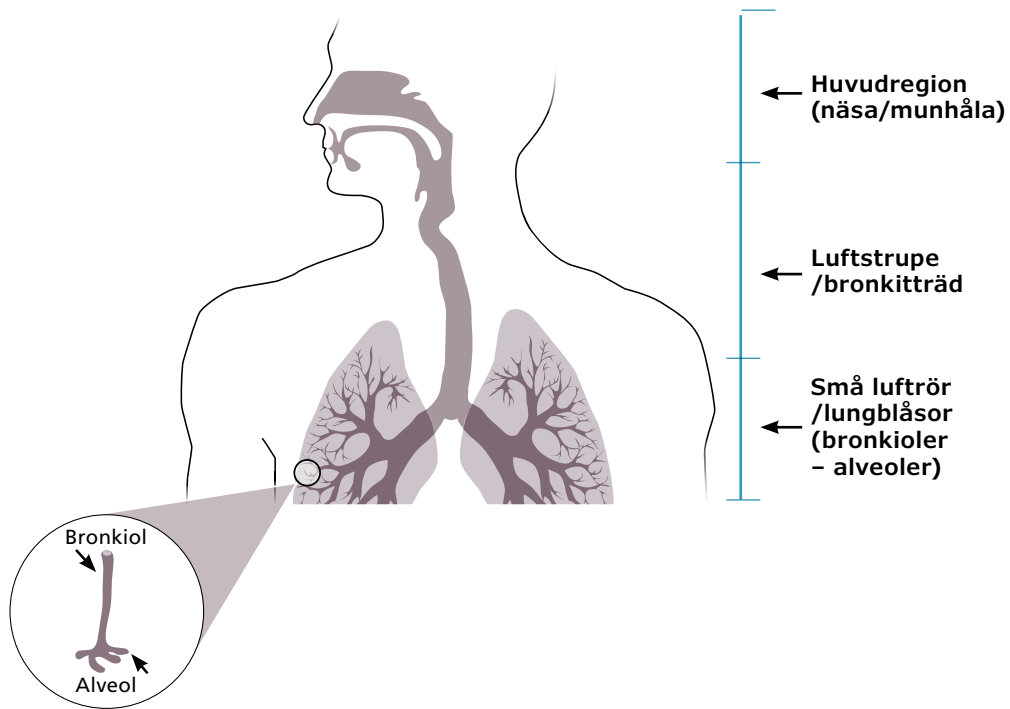
Dessutom finns risk att nanopartiklar kan tas upp via huden, särskilt om huden är skadad.

Det har gjorts och pågår många studier av hur nanopartiklar kan tas upp i kroppen. Kunskapsläget utvecklas hela tiden, och i samband med bedömning av möjliga upptagsvägar måste man använda sig av den senaste tillgängliga informationen.



I arbetslivet kan nanopartiklar tas upp på de sätt som beskrivits ovan. Om man arbetar utan skyddskläder och handskar kan huden komma i kontakt med nanopartiklar. Om man hanterar nanopartiklar i samband med att man äter, snusar eller på annat sätt får in dem i munnen kan de nå mag-tarmkanalen.

Men den allvarligaste risken brukar anses vara luftburen exponering när nanopartiklar når andningsvägarna. Sådan exponering är svårast att skydda sig emot och kan ofta ge de allvarligaste hälsoeffekterna. En del av partiklarna som hamnar i andningsvägarna kan transporteras upp till svalget, varefter de omedvetet sväljs ner och kan på så sätt nå mag-tarmkanalen.



Luftburna nanopartiklar

Det finns mycket kunskap om hur luftburna partiklar kan tas upp genom andningsvägarna. Partiklar som är i de storlekar som vi kallar nanopartiklar (1–100 nm) kan bli luftburna. Hur de transporteras och rör sig med luften beror på storleken. Stora makroskopiska partiklar (grovt damm) kan ha en avsevärd fallhastighet och uppehåller sig därför inte särskilt länge i luften. De allra minsta partiklarna (1–20 nm) uppehåller sig inte heller särskilt länge i luften. Dessa rör sig på ett slumpmässigt sätt i luften på grund av luftmoleky-lers kollisioner med partiklarna och kommer snabbt att kollidera och fastna på ytor och andra partiklar. Partiklar mellan 20 och 100 nm kan uppehålla sig länge i luften. De följer luftens rörelser på samma sätt som gaser. Om partiklar träffar på en yta eller andra partiklar, fastnar de nästan alltid där. Partiklar som är större än några få nanometer kan vid inandning nå långt ner i andningsvägarna. De allra minsta fastnar högt upp i andningsvägarna (näsa och mun) på grund av den höga diffusionshastigheten.

Det finns omfattande forskning om upptag och hälsoeffekter av partiklar i olika miljöer. Från resultat från denna forskning får vi kunskaper som hjälper oss att bedöma eventuella risker i samband med utveckling av nanomaterial. Ett problem vid bedömning av exponering för partiklar i nanoområdet är att man traditionellt (vid till exempel kriteriedokument och i jämförelse med gränsvärden), istället för att räkna antalet partiklar, mäter exponeringsnivåer i form av masskoncentrationer i luften (till exempel mg/m^3). Undantag finns i gränsvärdeslistan för asbest där gränserna är satta i antal fibrer per milliliter luft eftersom det anses att antalet små fibrer som fastnar i lungorna är mer förknippat med hälsorisk än massan.

Nanopartiklar har så låg vikt att de bidrar mycket lite till masskoncentrationen. Diametern hos en partikel som är 1 µm (mikrometer) är 10 gånger större än en partikel som är 100 nm. Det innebär att den har 1000 gånger större vikt om partiklarna har samma densitet och den har en miljon gånger högre vikt än en 10 nm-partikel. Om vi jämför med grövre damm blir nanopartiklarnas massa försvinnande liten. Det krävs metoder som bygger på mätning av antal eller total partikelarea för att bedöma förekomst av nanometerstora partiklar om nanopartiklarna förekommer tillsammans med större partiklar inandningsluften.

I arbetsmiljöer finns det många processer som ger upphov till partiklar av olika storlek. Hit hör till exempel i stort sett all mekanisk bearbetning och hantering och alla processer med höga temperaturer (till exempel förbränning och termiska metoder). Det finns också många exempel på när gasformiga ämnen reagerar med varandra i luften och ger reaktionsprodukter som är fasta eller vätskeformiga.

Hälsorisker

Vi har kunskaper om hälsorisker med luftburna partiklar i arbetsmiljön från flera hundra års forskning (kvarstdamm, asbestfibrer med mera) och senare år från tillverkade nanopartiklar (kimrök, titandioxid, kolnanorör).

Att vi kan bli sjuka av att andas in luftburna partiklar har vi alltså vetat länge. Den italienske läkaren Barnadinao Ramazzino skrev omkring år 1700 att stenarbetare som andades in stendamm blev sjuka av att det finkornigaste dammet hamnade långt ner i andningsvägarna. Den sjukdomen kallar vi idag för silikos. Carl von Linné beskrev från sin resa i Dalarna lidande och död hos människor som jobbade med gruv- och stenhanting. Idag vet vi att till exempel asbestfibrer, mjöldamm och träddamm kan göra människor sjuka. Det är ämnen som inte alla är särskilt giftiga när vi hanterar dem i bulkform, men kan ge allvarliga och till och med livshotande sjukdomar om vi andas in dem i form av små partiklar. Bagare har varit en utsatt yrkesgrupp som ofta har fått astma av sitt arbete, trots att vi inte alls tycker att mjöl är särskilt farligt när det finns i nybakt bröd.

Att riskerna är större med små partiklar beror på

- att de kan bli luftburna och hålla sig svävande i luften under lång tid
- att de kan hamna långt ner andningsvägarna när vi andas in dem
- att material som delas upp i många små partiklar får stor reaktionsyta mot vävnader de kommer i kontakt med
- att små partiklar kan ta sig igenom vävnadsbarriärer (till exempel blod-hjärnbarriären) som naturligt förekommande material vanligtvis inte kan passera

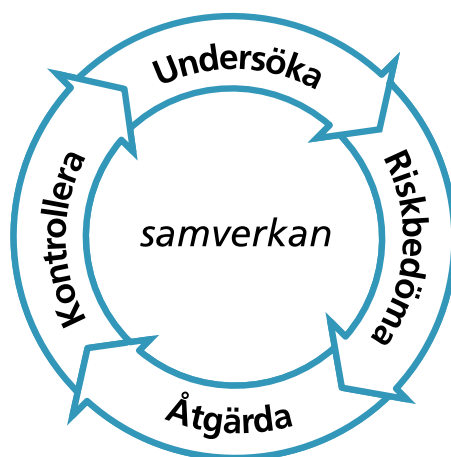
- att små partiklars yta är mycket kraftigt krökt, vilket gör att molekyler på ytan är lösare bundna till varandra än om ytan är planare och att ytan därmed får helt andra (mer reaktiva) kemiska och fysikaliska egenskaper än motsvarande plana yta.

Vid inandning kommer de stora partiklarna mellan 10 och 100 μm hamna i övre delen av andningsvägarna. De stora partiklarna har vi i princip ett inbyggt skydd emot. När vi andas in uppstår kraftiga virvlar i näsan som gör att dessa partiklar kastas mot näsans innerväggar och att de till stor del fastnar. De som passerar näsan kan fastna i halsen eller i bronkträdet (luftvägarnas trädformade strukturer). Därifrån kan de transporteras upp i svalget och sväljas ner. De mindre partiklarna (mindre än 5 μm) har vi sämre skydd emot. En del av dem (de allra minsta) kan också fastna i näsan men en mycket stor del av dem kan passera långt ner i andningsvägarna.

Partiklar med en diameter av ett fåtal nanometer fastnar direkt i näsan eller svalget. En del av partiklarna som är större än ett fåtal nanometer kan passera ner i andningsvägarna och bli utandade igen. En stor del av dem hamnar och fastnar dock långt ner i andningsvägarna – i lungblåsorna – där luften lämnar över syre till blodet och där blodet lämnar koldioxid till utandningsluften. Väggarna mellan lungblåsar och blodkärl är tunna och känsliga. Där kan partiklarna skapa inflammatoriska reaktioner. Det finns också risk att små partiklar, om de är olösliga, passerar in i blodet och sedan når olika organ i kroppen och ger risk för hälsopåverkan. Vi vet idag att små partiklar i omgivningsluften som vi andas in ger ökad dödlighet och sjuklighet hos befolkningen genom lungsjukdomar och hjärtkärlsjukdomar. Det har stor betydelse om nanopartiklarna är lösliga eller ej. Lättlösliga partiklar löses snabbt upp i lungvävnader och förlorar därmed sina nanoegenskaper (om de blir helt upplösta). Sedan några hundra år tillbaka är det mänskliga aktiviteter som oavsiktligt orsakar nästan alla småpartiklar i luften på grund av urbaniseringen (eldning för uppvärmning i städerna), industrialiseringen (förbränning i ångmaskiner och termiska processer i produktionstekniken), och förändring av transportsystem (ång- och diesellok, ång- och dieseldrivna fartyg, förbränningsmotorer i bilar). Nanotekniken kan öka antalet nanopartiklar i den luft vi andas, både på arbetsplatser och i andra miljöer.

Systematiskt arbetsmiljöarbete (SAM) och nanosäkerhet

Som för allt arbetsmiljöarbete gäller att arbetet med att identifiera, bedöma och åtgärda risker ska ske enligt föreskrifterna *Systematiskt arbetsmiljöarbete*. Det innebär att man följer stegen i det så kallade SAM-hjulet: undersökning, riskbedömning, åtgärder och kontroll.



Misstänker man risker för exponering för nanopartiklar ska detta undersökas. Risker ska bedömas och åtgärder vidtas. Åtgärderna kan behöva föras upp i en handlingsplan som klargör vem som är ansvarig för åtgärden, när den ska vara genomförd och hur effekten av den ska utvärderas.

Att riskbedöma hanteringen av nanopartiklar och att föreslå effektiva åtgärder för att minska risken kan vara svårt och kräver ofta stöd och hjälp av sakkunnig. Ett sätt att få hjälp kan vara att diskutera med en arbetsmiljöingenjör på företagshälsovården. Om de inte själva har kompetens på området kan de hänvisa vidare.

Ett viktigt steg i arbetsmiljöarbetet är att undersöka verksamheten med tanke på eventuella risker inom det aktuella området. När det gäller risk för exponering av nanopartiklar kan undersökningen bestå till exempel av genomgång av processer, visuell besiktning av verksamheten (lokaler, utrustning) och genomgång av organisationen. Mätningar av nanopartiklar kan vara ett stöd i det arbetet. Det bör poängteras här att det inte räcker att enbart mäta fria nanopartiklar i luften. Nanopartiklarna är ju ofta agglomererade med större partiklar, vilket innebär att större partiklar kan vara bärare av nanopartiklar och nanostrukturer.

I undersökningsarbetet bör man involvera olika kompetenser, till exempel arbetsmiljöingenjörer, arbetsmiljöansvariga, fackkunniga, skyddsombud/arbetsmiljöombud och företagshälsovården, för att få en bred kunskapsbas i det vidare arbetet.

Att undersöka arbetsmiljön är mer än att bara mäta hur mycket nanopartiklar man har i verksamheten. I första hand handlar det om att titta på hur verksamheten och arbetsuppgifterna ser ut, vilka material man hanterat och var det finns risk för exponering. Man måste göra en bedömning av alla delar av verksamheten för att avgöra var nanopartiklar eventuellt kan förekomma eller bildas. Man måste även göra en bedömning hur exponeringen kan ske och vilka vägar partiklar kan ta in i kroppen. Man får då inte glömma bort att också inkludera aktiviteter som ligger utanför den direkta produktionen såsom städning och rengöring eller underhåll av maskiner och utrustning, byten av luftfilter med mera.

I undersökningen ingår att man går igenom de processer, aktiviteter och material som används på arbetsplatsen för att inventera om det förekommer nanomaterial och om man arbetar med materialet på sådant sätt att människor riskerar att exponeras. Detta kan göras genom att leta information i produktdatablad och säkerhetsdatablad och med hjälp av företagshälsovård och arbetsmiljöexperter (arbetsmiljöingenjörer/yrkeshygien-

iker). Idag är det vanligt att man i samband med utveckling av nya material, kontinuerligt bedömer risker med materialen. Det finns relativt omfattande dokumentation om risker för kända nanomaterial som kimrök (carbon black), titandioxid, kolnanorör med mera. Det kan ibland vara svårt att få information om nya material innehåller nanopartiklar. Särskilt eftersom utvecklingen går snabbt och att dokumentationen inte blir offentlig förrän alla patent finns på plats. Det krävs särskilda försiktighetsåtgärder för de arbetstagare som arbetar i forsknings- och utvecklingslaboratorier.

Risker med nanomaterial och nanopartiklar brukar klassificeras som kemiska hälsorisker. De ska identifieras och förtecknas. Risken för att kemiska riskkällor kan orsaka ohälsa eller olycksfall i verksamheten ska undersökas och bedömas så ofta som förhållandena i verksamheten kräver. Dessutom ska sådan undersökning och riskbedömning alltid genomföras när verksamheten förändras tillfälligt eller permanent eller om det kan antas att resultatet av riskbedömningen kommer att påverkas med anledning av ny information. Eftersom det sker en mycket snabb utveckling inom nanoteknikområdet krävs det att man använder uppdaterad information när det gäller hälsorisker.

Mätningar

Gemensamt för de allra flesta mätningar är att de görs som en del i en riskbedömning. Mätningar kan användas för att undersöka och bedöma olika risker och även som underlag för beslut om åtgärder men också för att kontrollera att åtgärder haft effekt.

Oavsett vad mätningarna ska användas till, behöver man beakta att hälsoriskerna inte enbart beror på förekomsten av nanopartiklar utan också påverkas av vilka nanopartiklar som hanteras, partiklarnas form och löslighet med mera. Mätningarna görs vanligtvis med någon form av filterteknik, vilket innebär att luft pumpas genom ett filter, varvid partiklarna avskiljs för senare analys av dessa på laboratorium med elektronmikroskop eller andra metoder. Det finns också direktvisande metoder som till exempel kan bygga på principer där man laddar partiklarna elektriskt för att sedan kunna detektera dem med den elektriska strömmen de för med sig i en luftström eller kondenserar vätska på partiklarna så att de blir tillräckligt stora för att kunna detekteras med optiska metoder.

Allra vanligast i arbetsmiljöer är att mätningar görs för jämförelse med gränsvärden. Denna typ av mätningar görs personburet (eftersom det är den anställdas exponering som är i fokus) och bygger på att det finns gränsvärden. Idag finns det i stort sett inga gränsvärden specifikt för nanopartiklar. De gränsvärden som finns gäller för vissa ämnen eller material, oavsett partikelstorlek. Tills vidare får befintliga gränsvärden och föreslagna riktvärden användas i kombination med en försiktighetsprincip vid utvärdering av exponeringsmätningar. I många fall kan man dock undersöka och vidta åtgärder utan att mäta.

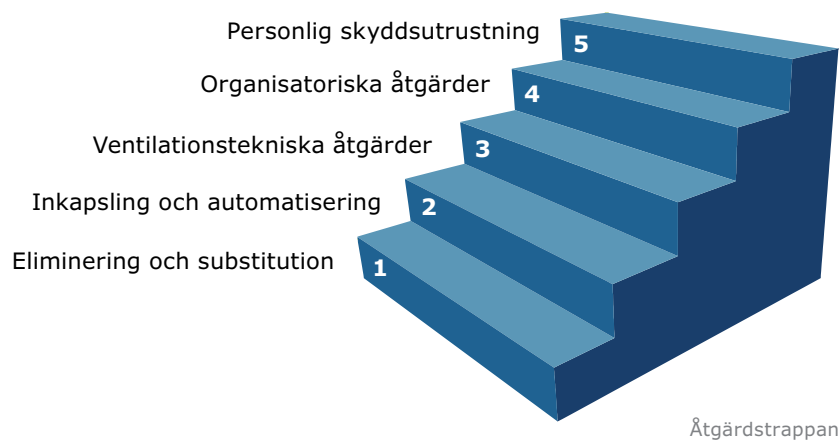
Ett syfte med att genomföra mätningar kan vara att identifiera källor för och spridning av nanopartiklar via luften. Målet med det kan exempelvis vara att kartlägga hur halterna varierar på ett arbetsställe och under olika delar av en process, för att förstå vid vilka moment och från vilka platser som nanopartiklar sprids till luften och hur dessa partiklar sedan sprids i lokalen och till de som arbetar där. Denna typ av mätningar kräver helt andra mätstrategier än när avsikten är att jämföra med gränsvärden. För denna typ av mätningar används direktvisande mätinstrument. De möjliggör mätningar nära processen och arbetsutrustningen och visar snabbt hur halterna varierar över tid och vid olika arbetsmoment.

Mätningar kan användas för att utvärdera åtgärder som genomförts. En sådan utvärdering bygger vanligtvis på att samma typ av mätning görs före och efter åtgärd. Dessa mätningar kan innefatta både personburna mätningar av exponering och mätningar för att jämföra föroreningskällor och spridning före och efter åtgärd. Ofta är produktionsprocesser komplexa och föroreningar sprids inte enbart från en punkt eller ett processteg. I sådana fall är det en fördel att göra en mer detaljerad utvärdering av hur åtgärderna påverkar föroreningskällorna och spridningen av föroreningar.

Arbetsmiljöarbete – åtgärder

I det systematiska arbetsmiljöarbetet ska man göra riskbedömningar och handlingsplaner. Ett sätt att göra riskbedömningar är att värdera sannolikheten för att något ska inträffa och vilka konsekvenser det i så fall får i verksamheten. Man får då ett sammanvägt riskvärde som kan ligga till grund för prioriteringar vad gäller åtgärdsplaner.

När det gäller kemiska risker är åtgärdstrappan central i arbetsmiljöarbetet. Åtgärder ska vidtas enligt gällande lagar och föreskrifter. Åtgärder som vidtas av arbetsmiljöska ska följa en prioritetsordning – en åtgärdstrappa. Denna beskrivs i Arbetsmiljöverkets föreskrifter *Kemiska arbetsmiljörisker* och innebär att man överväger åtgärder i en viss ordning. Följande steg brukar anges: eliminering och substitution, inkapsling och automatisering, ventilationstekniska åtgärder, organisatoriska åtgärder samt personlig skyddsutrustning.



Eliminering och substitution

Om man har en process där det finns en exponeringsrisk för ett skadligt ämne är det bästa sättet att byta ut ämnet mot ett mindre skadligt ämne. Vid arbete med nanopartiklar har dessa valts ut för att de har önskvärda, specifika egenskaper just på grund av sin storlek. Det är därför inte troligt att det går att byta partiklarna till grövre storleksfraktioner, men man kan undersöka om de går att byta ut mot nanopartiklar med mindre toxiska egenskaper, till exempel med högre löslighet eller annan form. Man kan även överväga att använda andra processer och material som minskar risken för utsläpp i luften eller att människor exponeras. Detta gäller hela produktens livscykel: från tillverkning av själva partiklarna, tillverkningsprocesser för produkter, användning och destruktion eller återvinning.

Våta material dammar inte och är av den anledningen bra ur arbetsmiljösynpunkt. Torra material kan under tillverkningsprocessen bytas ut mot våta material. Man måste dock vara medveten om att sprejer är luftburna och kan på så sätt utgöra en risk för exponering som måste bedömas och åtgärdas. Det finns ju också viss risk med att vätskeformigt material spills ut och sedan torkar och blir luftburet på grund av mekanisk påverkan.

Inkapsling och automatisering

Inkapsling av en process kombinerat med undertryck fungerar väl så länge man inte behöver komma åt processen i någon större utsträckning. Vid tillverkning av nanopartiklar finns det många gånger krav på hög renhet i produktionen, vilket innebär att processer också kapslas in av process-tekniska skäl. Inkapsling är således bra både för arbetsmiljö och processrenhet/processsäkerhet.

Genom att automatisera processer kan den manuella hanteringen av nanopartiklar minskas eller elimineras. Automatisering av satsning av dammande material till en process är exempel på denna typ av åtgärd. Det som är viktigt att säkerställa är att luftburna föroreningar från den automatiserade processen inte sprids i lokalen. Man kan därför behöva komplettera med andra tekniska åtgärder. Det är också viktigt med städrutiner och rengöringsteknik så att man undviker kontaminering av ytor utanför inkapslingen.

Ventilationstekniska åtgärder

De flesta nanopartiklar, utom de allra minsta, följer luftströmmar när de blivit luftburna vilket gör att ventilationstekniska åtgärder kan vara effektiva. Man skiljer i detta sammanhang på *processventilation* och *allmänventilation*. I åtgärdssammanhang är det framför allt processventilation som är effektivt. Det innebär att man ventilerar bort föroreningarna innan de har hunnit sprida sig till hela omgivningsluften. Det finns en rad tekniska utformningar för processventilation (ventilation av inkapslade volymer, luftbarriärer, punktutsug placerade nära källan). Normala processventilationsmetoder kan fungera bra för nanopartiklar.

Nanopartiklar kan på grund av den slumpmässiga rörelse som orsakas av stötar från luftmolekyler agglomerera (träffa på och slås ihop) med andra större partiklar. Det innebär att större partiklar kan vara bärare av nanopartiklar och röra sig på annat sätt i luften och även deponeras på andra ställen i andningsvägarna jämfört med små partiklar. På grund av denna slumpmässiga rörelse kan partiklarna också fastna på ytor i omgivningen och på detta sätt sluta vara luftburna. När partiklar av den här storleken har fastnat på ytor förblir de oftast där på grund av starka attraktionskrafter. För att avlägsna dem krävs i regel mekanisk rengöring. Det gäller framför allt om ytan de fastnar på är ren. Om ytan är dammig, som den kan vara i industrimiljöer, fastnar snarare nanopartiklar på dammet än på ytan och kan då virvlas upp av luftrörelser eller genom mekanisk påverkan (till exempel om någon går över golvet eller sopar golvet).

Allmänventilation kan endast i begränsad omfattning minska exponeringen för hälsofarliga ämnen. Allmänventilationen är framför allt till för att skapa termisk komfort och för att föra bort emissioner från sådant som inte kan processventileras – till exempel koldioxid och andra utsöndringar från människor.

Organisatoriska åtgärder

Förutom tekniska åtgärder kan det vara lämpligt att vidta organisatoriska åtgärder så som

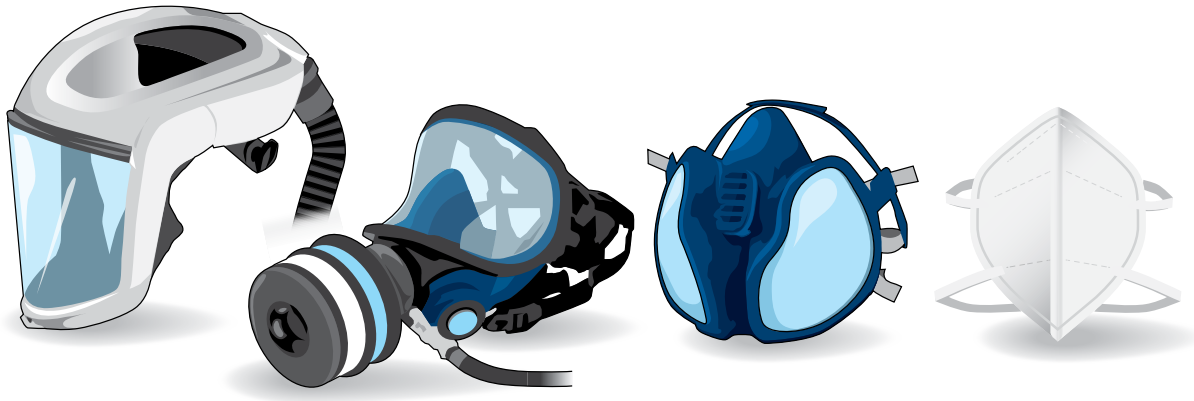
- separering av arbete med nanopartiklar från övrig verksamhet
- minimering av exponeringstid
- minimering av mängder som hanteras vid varje tidpunkt
- utbildning
- instruktioner
- utveckling och översyn av rutiner
- rutiner för städning och underhåll
- bjuda in relevanta delar av företagsledningen till arbetet.

Dessa åtgärder räcker inte för att eliminera exponeringsrisker, men kan komplettera de tekniska åtgärderna. Om tekniska åtgärder inte kan tillämpas, exempelvis vid tillfälliga arbetsplatser, är de organisatoriska åtgärderna ett lämpligt komplement även till personlig skyddsutrustning.

Personlig skyddsutrustning

Det sista steget i åtgärdstrappan är att använda personlig skyddsutrustning. Om det inte går att på annat sätt skydda sig mot exponering för nanopartiklar, återstår att man skyddar individen med hjälp av personlig skyddsutrustning. Det kan då handla om handskar, skyddskläder och andningsskydd. Det kan vara nödvändigt att bära skyddsutrustning även om processen är inkapslad. Det kan ju alltid finnas risk för läckage.

För att skydda sig mot luftburen exponering finns ett antal olika typer av *andningsskydd*.



Andningsapparat

Helmask

Halvmask

Självbärande filter

De effektivaste andningsskydden bygger på att ren luft tillförs från en tryckluftsanordning in under ett visir eller tättslutande mask. Sådana anordningar kallas *andningsapparater* och är nödvändiga om man arbetar i direkt livshotande miljöer och om man vill ha högsta säkerhet. Det finns också andningsapparater som tillför nästan partikelfri luft genom att man har en luftpump fäst vid ett bälte och låter luften passera genom ett filter innan de trycks in under visir eller mask.

De vanligaste skydden anbringas tätt mot ansiktet och luften sugs genom filter av det undertryck som bildas vid inandning. Hur väl de skyddar beror på i vilken utsträckning man kan undvika läckage mellan mask och hud och hur effektivt filtret avskiljer partiklar. Skyddet kan vara utformat som en gummimask. Man skiljer då mellan *halvmask*, som täcker näsa och mun, och *helmask* som också täcker ögonen. Det finns också *självbärande filter*, tillverkade av porösa material, som täcker mun och näsa.

Gemensamt för de skydd där det skapas undertryck vid inandning är att det krävs noggrann tillpassning för att minimera läckage. Skägg och rynkor kan göra att det i praktiken blir omöjligt att få ett effektivt skydd. De allra minsta nanopartiklarna är lätt att avskilja genom filtrering, men de partiklar som ligger mellan 20 och 100 nm är svårare att filtrera. Därför krävs filter av högsta filtreringsgrad, FFP3 (EU-standard) för att få en tillräcklig filtreringseffektivitet i hela storleksområdet. Då har man en filtreringseffektivitet som är mer än 99 % för de partikelstorlekar som har störst penetreringsförmåga.

Hur väl ett andningsskydd skyddar anges av den så kallade skyddsfaktorn. Den definieras som kvoten mellan partikelkoncentrationen utanför skyddet och koncentrationen innanför skyddet. För andningsapparater med helmask kan man uppnå en skyddsfaktor på mer än 100 000. För ett självbärande filterskydd är det svårt att uppnå en skyddsfaktor över 50 på grund av svårigheter att undvika läckage. Har man skägg och har vanlig halvmask med filter får man räkna med att skyddsfaktorn är väldigt låg.

Riskbedömningsverktyg

Ett alternativt sätt att göra riskbedömning på är att använda internet-baserade modelleringsverktyg där hanteringen beskrivs och jämförs med relevanta referensdata. För hantering av nanomaterial finns flera program som är kostnadsfria att använda. Två exempel på dem är *Nanosfer* och *Stoffenmanager nano*.

Programmen bygger på att man gör riskbedömningar över olika exponeringsscenarier. För scenarierna matar man in tillgänglig information om materialet som man använder, arbetslokalen, hantering och toxicitet. Information om materialet är bland annat materialets kemiska och fysikaliska egenskaper, hantering eller bearbetning av materialet och arbetsytan där materialet används.

Utifrån inmatade data görs sedan en samlad riskbedömning för respektive scenario. Att använda denna typ av verktyg för riskbedömningar har förstås en del begränsningar. Verktygen kan dock användas på så sätt att man förstår vad det är som driver riskbedömningen. Genom att ändra på inmatade data kan man förstå hur det påverkar emissioner och exponering.

Läs mer

- Stoffenmanager, www.nano.stoffenmanager.com
- Nanosfer, www.nanosfer.org



Lagstiftning och föreskrifter

I Sverige regleras kemiska risker i arbetsmiljön i Arbetsmiljöverkets föreskrifter *Risker i arbetsmiljön*. Några specifika regler för nanopartiklar finns inte i de svenska föreskrifterna. Nanopartiklar räknas som en kemisk riskkälla och för dem gäller föreskrifterna *Kemiska arbetsmiljörisker*. De bestämmelser som finns i EU:s olika direktiv om kemiska arbetsmiljörisker är införda i Arbetsmiljöverkets föreskrifter.

Arbetsmiljöverkets föreskrifter om kemiska arbetsmiljörisker beskriver grundprinciperna för hur kemiska risker ska undersökas, riskbedömas och åtgärdas. I riskbedömningen behöver man ta hänsyn till om material eller ämnen förekommer i nanoform och samla in information om detta från säkerhetsdatablad eller sin leverantör.

Eftersom det är vanligast att exponeras för nanopartiklar via andningsvägarna behöver förhållanden där nanopartiklar kan bli luftburna särskilt uppmärksammas. I Arbetsmiljöverkets föreskrifter *Hygieniska gränsvärden* finns gränsvärden för ett antal ämnen och bestämmelser om hur mätningar av luftföroreningar ska göras. Dessa föreskrifter gäller också för nanopartiklar. Det finns dock inte några särskilda hygieniska gränsvärden för ämnen som förekommer i nanoform i dessa föreskrifter. Det finns inte heller några specifika regler som gäller mätning av nanopartiklar.

När det saknas tillräckliga kunskaper om ett ämnes hälsoskadliga effekter ska man tillämpa försiktighetsprincipen, vilket innebär att man utgår från att ämnet kan vara farligt, se (bestämmelser i) miljöbalken.

Inom EU regleras kemikalier av Reach-förordningen som bland annat reglerar registrering av kemikalier, utvärdering av hälsorisker och begränsning av användningen av vissa särskilt farliga ämnen. I Reach-förordningen finns även krav på vad säkerhetsdatablad för kemiska produkter ska innehålla och hur de ska vara utformade.

Som ett komplement till Reach finns CLP-förordningen som handlar om klassificering, märkning och förpackning av ämnen och blandningar. Reach- och CLP-förordningarna gäller som lag i EU:s medlemsländer. Nanopartiklar omfattas av Reach och CLP.

Enligt Reach ska information om ämnen registreras och ska innefatta uppgifter om hälsorisker. Om ett ämne eller en blandning som innehåller nanopartiklar släppts ut på marknaden krävs en registrering enligt ovan.

I säkerhetsdatablad ska det, enligt bestämmelser i Reach bilaga II, stå om ämnet eller blandningen (produkten) innehåller nanopartiklar. Det ska också anges relevant säkerhetsinformation för nanomaterialet, samt nanopartiklarnas egenskaper. Säkerhetsdatablad för produkter som innehåller nanopartiklar ska alltså innehålla information för att underlätta den riskbedömning som ska göras enligt arbetsmiljöreglerna.

Läs mer

Arbetsmiljöverket – www.av.se

Nanosafer – www.nanosafer.org

Stoffenmanager – www.nano.stoffenmanager.com

Prevent – www.prevent.se



prevent

ARBETSMILJÖ | SAMVERKAN
SVENSKT NÄRINGSLIV, LO & PTK

Alla vinner på en bättre arbetsmiljö. Prevent förmedlar kunskap om hur man genom ett hälsofrämjande arbetsmiljöarbete kan skapa framgångsrika företag där alla är säkra och mår bra. Vi är en ideell organisation som ägs av Svenskt Näringsliv, LO och PTK. Besök www.prevent.se – kunskaper för en bättre arbetsdag!