

IVAM UvA BV

NANO I MØBELINDUSTRIEN

Status 2012, sammenfatning

Fleur van Broekhuizen
30-5-2012



IVAM UvA BV

NANO I MØBELINDUSTRIEN

Status 2012, sammenfatning

Fleur van Broekhuizen
30-5-2012

KOLOFON

TITEL

Nano i møbelindustrien – status 2012, sammenfatning

FORFATTER

F. A. van Broekhuizen (IVAM UvA BV, NL)

STYRINGSGRUPPEN

R. Gehring (EFBWW), C. Ravazzolo (EFIC), M. Eirup (EFIC), B. de Turck (UEA), R. Rodriguez (UEA), U. Spannow (BAT, DK), J. Waage (FNV Bouw, NL) og J. Moratalla (AIDIMA, ES)

DENNE RAPPORT ER BESTILT AF

EFBWW (European Federation of Building and Wood Workers),
EFIC (European Furniture Industries Confederation) og
UEA (European Furniture Manufacturers Federation) i forbindelse med den europæiske sociale dialog



ANERKENDELSE

Undersøgelsen blev bevilget af Europa-Kommissionen, Generaldirektoratet for beskæftigelse ved bevillingsaftale nr. VS/2011/0134 – SI2-596685 i forbindelse med den europæiske sociale dialog inden for møbelindustrien.

Forfatterne ønsker at takke virksomhederne (møbelfabriker, råvarefabrikanter, produktfabrikanter), brancheorganisationer, forsknings- og udviklingsinstitutioner og enkeltpersoner for deres værdifulde bidrag til undersøgelsen, deling af deres indsigt og for deres åbenhed i drøftelserne.

DER KAN FÅS FLERE OPLYSNINGER OM RAPPORTEN HOS

IVAM UvA BV

Amsterdam – NL

Tel.: +31 20 525 5080

www.ivam.uva.nl

E-mail: office@ivam.uva.nl

Omslag og grafisk opsætning: Beryl Natalie Janssen/Cologne

Oplysningerne i denne rapport kan anvendes, forudsat at der henvises korrekt til kilden.
IVAM UvA BV påtager sig intet ansvar for skade som måtte følge af anvendelse af rapportens resultater.

INDHOLDSFORTEGNELSE

- 4 INDLEDNING

- 5 MARKED OG PERSPEKTIVER

 - 5 Markedspotentiale
 - 8 Begrænsende faktorer for anvendelse af nanomaterialer til møbler

 - 8 Omkostninger over for fordele
 - 8 Langsigtet ydeevne
 - 8 Sundheds- og sikkerhedsspørgsmål

- 9 SUNDHEDS- OG SIKKERHEDSHENSYN

 - 9 Indledning
 - 9 Nanomaterialernes skadelige helbredsvirkninger

 - 9 Helbredseffekt ved nano-TiO₂
 - 9 Helbredseffekt ved nano-SiO₂
 - 10 Helbredseffekt ved nano-Ag
 - 10 Grænseværdier for eksponering på arbejdspladsen

 - 12 Eksponeringsveje

 - 12 Eksponering ved indånding og beskyttelse af helbredet
 - 13 Eksponering via huden
 - 13 Eksponering ved indtagelse

 - 13 Eksponering af slutbrugeren

- 14 TILRETTELÆGGELSE AF EN SIKKER ARBEJDSPLADS

 - 14 Scenarier for eksponering på arbejdspladser i møbelindustrien
 - 17 Transparent kommunikation om risici og sporbarhed
 - 18 Initiativer til lovgivning om nanomaterialer og nanoprodukter

- 20 AFSLUTTENDE BEMÆRKNINGER

INDLEDNING

SOM LED I DEN EUROPÆISKE SOCIALE DIALOG har EFBWW (European Federation of Building and Wood Workers), EFIC (European Furniture Industries Confederation) og UEA (European Furniture Manufacturers Federation) taget initiativ til at bestille IVAM UvA BV til at iværksætte en undersøgelse af den aktuelle bevidsthed blandt aktørerne og til at udarbejde en oversigt over de aktuelle nanoprodukter på det europæiske møbelmarked. I dette sammendrag opsummeres resultaterne, der er beskrevet i rapporten "Nano in furniture, state of the art 2012". De centrale spørgsmål, der behandles, er:

- Hvilke typer nanomaterialer anvendes i fremstilling af møbelprodukter?
- Hvilke perspektiver er der i nær fremtid for anvendelse af nanomaterialer i møbelfremstillingen?
- Hvilke sundheds- og sikkerhedsmæssige problemer kan spille en rolle for arbejdstagerne på arbejdspladen?
- Hvordan indføres forsigtigsprincippet på arbejdspladsen?

"Nano" angiver en størrelsesorden. Nanoteknologi betyder kort og godt evnen til at observere, overvåge og påvirke materialer (og deres adfærd) ned til nanostørrelse (dvs. en størrelsesorden ca. 10.000 gange mindre end tykkelsen af et menneskehår). Dette involverer avanceret billedteknikker til at undersøge og forbedre materialer-

nes adfærd, men også til design og produktion af meget fine pulvere, væsker og faste stoffer, der indeholder partikler i en størrelse mellem 1 og 100 nm, såkaldte nanopartikler. Et nanomateriale (MNM) er et materiale, der mindst består af 50% nanopartikler¹. Virksomheder anvender nanomaterialer til at give deres produkter nye eller forbedrede egenskaber (nanoprodukter). Møbelindustrien er ikke storbruger af rånanomaterialer, men anvender nanoprodukter. Eksempler herpå er lakker, der er meget modstandsdygtige over for ridser, antibakterielle, selvrensende coatinger eller coatinger, der er lette at rense og ultrastærke betonmaterialer til brug til køkken- og gademøbler.

Samtidig er der alvorlige bekymringer for sundhed og sikkerhed ved de fremstillede nanomaterialer. Fremstillede nanomaterialer kan være farligere for mennesker end de konventionelle stoffer i mikroskala, fordi fremstillede nanomaterialer:

- er så små, at de lettere kan trænge ind i menneskekroppen (dvs. via næsens nervesystem, lungerne eller huden);
- er så små, at deres pulvere kan opføre sig som gasser;
- kan fremkalde specifikke toksicitetsreaktioner på grund af deres form og store overfladeareal;
- kan udvise forskellige kemiske og fysiske egenskaber, dvs. elektrisk ledelse.

Man er først nu ved at begynde at forstå de helbredsmæssige mekanismer ved fremstillede nanomaterialer. De præcise mekanismer, der er i spil, kan samtidig variere afhængig af det konkrete fremstillede nanomateriale, og der er stadig mange ukendte faktorer i den forbindelse. Det kan imidlertid forventes, at toksicitetsprofilen mindst delvis er relateret til den unikke adfærd, der i første omgang gør nanomaterialer interessante til produktinnovation. Typiske observerede effekter på helbredet går fra betændelse, hjerte-karsygdomme, celledød, dannelse af arvæv (for eksempel i lungerne) og fosterskader til udvikling af cancerceller i de angrebte væv. De virkninger, der er observeret for fremstillede nanomaterialer, afhænger dog kraftigt af dosis og eksponeringsvarighed. Virkningerne afhænger ligeledes af karakteren af eksponering for fremstillede nanomaterialer. Foreløbige fund antyder for eksempel, at fremstillede nanomaterialer kan være yderst toksiske i ren form, men ikke nødvendigvis udviser denne toksicitet ved eksponering, når de fremstillede nanomaterialer er indlejret i en matrix.

I dette sammendrag opsummeres anvendelsen af nanomaterialer i møbler i 2012, potentialer i nær fremtid, sundheds- og sikkerhedsmæssige spørgsmål og god praksis for tilrettelæggelse af en sikker arbejdsplads i den europæiske møbelindustri.

¹ Europa-Kommissionen vedtog en definition den 18. oktober 2011. For flere oplysninger: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/11/704&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

MARKED OG PERSPEKTIVER

NANOTEKNOLOGI kan have stor indvirkning på møblers fremtid og anvendelsesområderne; på kvalitet og funktionaliteter, men ligeledes på miljø, arbejdsmiljø og den almene sundhed. Når man ser på 2012-markedet, befinder anvendelse af fremstillede nanomaterialer (MNM) i møbelfremstilling og møbelprodukter sig stadig på et tidligt udviklingstrin. De første erfaringer fra marken antyder primære anvendelsesområder inden for coatings (overfladebehandling), nanocoatninger, med en markedsandel, der sandsynligvis er mindre end 1% af samtlige andre påførte "ikke-nanocoatninger". Markedet for fremstillede nanomaterialer inden for møbler er præget af mangel på *sporbarhed*, uvidenhed om tilgængelighed eller anvendelse, tavshedspligt, der omgiver forsknings- og udviklingsaktiviteter og en modvilje fra møbelfabrikanternes side mod at vise sig som brugere af fremstillede nanomaterialer, som følge af den verdensomspændende debat om sundheds- og sikkerhedsspørgsmål og usikkerhed i den forbindelse.

MARKEDSPOTENTIAL

I starten af dette årtusinde blev fremstillede nanomaterialer fremført som den vigtigste innovation, der ville kendetegne fremtiden for forskning i møbelforskning og -udvikling. Der var høje forventninger, men til dato er forskning og udvikling kun i begrænset omfang udmundet i succesfulde markedsprodukter. Som en følge af den verdensomspændende økonomiske krise er investeringer i forskning og udvikling i de senere år holdt tilbage og yderligere udvikling er aftaget.

Et område, hvor anvendelsen af fremstillede nanomaterialer har tiltagende succes, er i kvalitetsforbedring af møbler for at reducere behov for service og vedligeholdelse. Hospitaler og (erhvervs-) kontorer er eksempler på

steder, hvor disse produkter kan være af høj merværdi. Nano-SiO₂, flydende glas, er ét af de mest nævnte fremstillede nanomaterialer i denne sammenhæng. Flydende glas anvendes til letat-rengøre coatninger, vand- og olieafvisende samt graffitiafvisende coatninger. Flydende glas tilsættes ligeledes lakker, der er meget modstandsdygtige over for ridser, eller coatninger til at beskytte metal, træ eller sten mod erosion og slitage. Det kan beskytte mod algevækst og angreb fra andre organismer, såsom træorm eller termitter. Nano-SiO₂ anvendes endvidere til opnåelse af ultrahøjresistent beton og beton med høj densitet, der er enestående til anvendelse i køkkener og gadeinventar. Direkte kontakt med møbelfabrikanter og deres leverandører antyder, at markedet for disse anvendelser er gradvist stigende.

Et andet succesområde for fremstillede nanomaterialer er bakteriedræbende eller selvrensende coatninger. Nano-sølv og nano-TiO₂ er de to mest observerede fremstillede nanomaterialer til denne funktion. Begge fremstillede nanomaterialer er relativt dyre og finder anvendelse i overfladebehandling af møbler i lægecentre eller andre steder, hvor infektion skal undgås, dvs. fødevareresektoren, svømmebassiner eller saunaer eller endog kollektiv transport.

Et sidste område, hvor fremstillede nanomaterialer er introduceret, er i forebyggelse af misfarvning og UV-

nedbrydning af materialer. Nano-ler er fremstillede nanomaterialer, der anvendes til stabilisering af farvestoffer. Nano-TiO₂, nano-ZnO og nano-CeO₂ er fremstillede nanomaterialer, der anvendes som UV-blokkere, for eksempel i træbeskyttelsescoatninger.

Mange flere materialeanvendelser er beskrevet i litteraturen eller er tilgængelige på markedet, fx. smart glas, nano-cellulosestetkstil og lime. Se også den fulde rapport "Nano in furniture, state of the art 2012" for en detaljeret oversigt over de forskellige nanomaterialer, der er tilgængelige i møbelindustrien. Disse materialer forekommer mere eller mindre uudnyttede i 2012. Fremstillede nanomaterialer kan i nær fremtid spille en rolle i videreudvikling af møblers ydeevne og udformning af en mere bæredygtig møbelindustri. Fremstillede nanomaterialer kan fremme:

- fremstilling af lettere, stærkere og mere holdbare materialer;
- indføring af nye materialefunktionalteter;
- udskiftning af farlige flammehæmmere med helt nye systemer baseret på fremstillede nanomaterialer;
- anvendelse af helt nye limningsteknikker og formulering af lime baseret på fremstillede nanomaterialer;
- design af intelligente møbler, som køkkenskabe, der registrerer, at du er løbet tør for pasta eller en farve, der ændrer farve efter brugerens daglige ønske.



Nylonstof behandlet med vandafvisende middel. Coating, der er let at rengøre og baseret på flydende glas.

TABEL 1 Oversigt over nanomateriale-funktionaliserede produktgrupper, der er tilgængelige til møbler i 2012

PRODUKT-GRUPPE	BESKRIVELSE	RELATIV BRUG I MØBLER ²
Glas	Nanoteknologi i møbler er de senere år blevet anvendt til at udvikle og fremstille forskellige glastyper, f.eks. refleksfrit glas, matteret glas, termisk isoleringsglas (baseret på refleksion eller absorption af infrarødt lys) og biocidholdigt glas. Der er mange anvendelsesmuligheder herfor. Tænk for eksempel på glasmonter, dvs. til anvendelse i museer, lamper, borde, kontormøbler eller møbler til medicinske formål. Deres udbredelse inden for møbelfremstilling er imidlertid lav ifølge store markedsaktører.	Lav – ikke påviselig
Kompositmateriale	Der er på forsknings- og udviklingsniveauet stor aktivitet inden for kompositte nanomaterialer. Det gælder både plastkompositter og trækompositter. Der er med hensyn til trækompositter beskrevet forskellige anvendelser, som gør brug af nanotræfibre til optimering af kompositmaterialernes styrke og ydeevne. De første kontakter med kompositindustrien antyder imidlertid, at denne anvendelse endnu ikke har nået markedet. Nogle eksempler er: <ul style="list-style-type: none"> • nye flammehæmmende systemer • nanocellulose som forstærkningsfiber • nanosiliciumdioxid for større styrke 	Lav – ikke påviselig
Træ	I skovbrug (træets produktionsfase) anvendes nanoteknologi til at optimere biocidsystemer for træbevarelse og en mere bæredygtig træproduktion. Inden træ anvendes i et produkt, kan nanoteknologi anvendes til at undersøge træets ydeevne mere detaljeret og dermed til at anvende dets potentialer på en bedre måde. I træets anvendelsesfase er der nye teknikker under udvikling for ændring af dets overflade for at forbedre træets holdbarhed i dets funktion og UV-resistens.	Lav – ikke påviselig
Metal	Metalforbedringer ved anvendelse af nanomaterialer sker ved ændring af metalstrukturen eller i forbindelse med overfladeændring. Galvanisering er ét eksempel på en teknik med anvendelse af nanomaterialer. Hærdning af stål er en anden.	Lav – ikke påviselig
Tekstil	Der er beskrevet mange forskellige anvendelser af nanomaterialer til tekstiler og nanomaterialerne findes i mange forskellige produkter. Det ser imidlertid ud til, at der i møbelsektoren kun anvendes smudsafvisende og antibakterielle tekstiler samt tekstiler, der er lette at rengøre. Højabsorberende tekstiler fremstillet af nanocellulose er en fjerde anvendelse, der vinder markedsandele.	Begrænset men stigende
Beton	Beton anvendes primært på offentlige udendørssteder. Mikrosilika (nanosiliciumdioxid), anvendt i produktionen af Ultra High Performance Concrete (UHPC), og nano-TiO ₂ , anvendt til at give betonen en "selvrensende" overflade er to mulige anvendelser af nanomaterialer, der kan være af supplerende værdi i denne sektor. Prima-Marina, Escofet®, er et eksempel på en produktlinje til udendørsbænke og borde, hvortil der anvendes UHPC, også kendt som fyldende sten. Carbonnanorør er MNM'er der aktuelt undersøges for funktion til at forbedre styrken af betonkompositter og kan være en forestående anvendelse nær.	Medium og stadig mere anvendt
Lim	Lim med nanomaterialer, der er beskrevet til møbler, der baseret på siliciumdioxid eller silanforbindelser, der reagerer som tværbindingmidler i klæbestofpolymerstrukturen eller som en stabilisator af vandbaserede lime til finindstilling af produktets viskositet. Tilsætningsdispersionen Dermocoll®S fra Bayer er et eksempel på sidstnævnte og består af en siliciumdioxid-polyurethandispersion. En anden type bruges til at regulere overfladers ruhed. Den ru overflade øger klæbestyrken og reducerer behovet for lim.	Lav – ikke påviselig
Coating; vand- eller olieafvisende	Der kan opnås vand- eller olieafvisning ved hjælp af forskellige teknikker. Kan anvendes på tekstiler, træ eller metaller til at reducere erosion og slitage og beskytte mod smuds, fingeraftryk etc. Kan imidlertid også anvendes på trækompositter til at forebygge opsvulmning ved vandabsorption. I teknologien med flydende glas anvendes for eksempel en porøs vandafvisende coating, der stadig tillader, at det underliggende materiale kan ånde.	Relativt høj og stigende
Coating; ridsebestandig	Et stigende marked for nanoprodukter er ridsebestandige malinger eller lakker. De kan anvendes til træsystemer som borde, stole, døre eller gulve, men kan ligeledes anvendes på andre "bløde" materialer inden for møbler, der anvendes intensivt, som plastik- eller laminerede plader. Der findes forskellige typer af coatingssystemer med denne typiske egenskab, som enten kan være på vandbase eller ikke på vandbase.	Relativt høj og stigende

² På grund af fremstillede nanomaterialers pioner karakter og begrænsede udbredelse inden for møbelindustrien har det ikke været muligt kvantitativt at fastsætte anvendelsen af fremstillede nanomaterialer inden for forskellige produktgrupper. Forekomsten og markedsprospektiverne for fremstillede nanomaterialer inden for møbler er derfor anført relativt. "Høj" skal fortolkes som *relativt høj med hensyn til samtlige fremstillede nanomateriale-forstærkede produktgrupper, der er tilgængelige på markedet*. "Lav" skal fortolkes som *ikke påviselig* selv om det kan tænkes at blive anvendt, uden at anvendelse er anført som nano. "Lille" betyder *lille, men observeret*.

Coatning; antigraffiti	Antigraffiti-coatninger er beskrevet til udendørsanvendelse, som gademøbler. De kan imidlertid også anvendes som møbler til børn eller til køkkener til at opfylde flere møbelformål eller som white boards.	Medium og stigende
Coatning; let at rengøre	Smudsafvisning er en af de anvendelsesmåder, der er beskrevet, hvor nanomaterialer anvendes til at forbedre møbelstoffers overflade. Denne teknik er ofte baseret på "lotusbladprincippet". Lotusbladet består af fine hår, der reducerer overfladespændingen og forhindrer absorption af olie og vand. Som følge heraf "perler" snavs let af. Når dette princip anvendes til møbelmaterialer, bliver overfladen let at rengøre. Dette indebærer for eksempel, at der er behov for mindre rengøringsmidler, også til tekstiler.	Relativ høj og stigende
Coatning; UV-beskyttelse	Møbler, der anvendes udendørs, udsættes konstant for alle vejrforhold, herunder UV-stråler. UV-bestråling øger materialers og coatingers nedbrydning og en måde at forhale denne proces på er at tilsætte UV-absorberende midler. Navnlig til træoverflader er fordelene ved nanotilsætningsmidler for at lette denne absorption beskrevet. UV-absorberende tilsætningsstoffer anvendes ligeledes til at forlænge levetiden og farvefastheden for malinger eller coatinger, der nedbrydes som følge af UV-eksponering.	Begrænset men stigende
Coatning; selvrensende	Selvrensende coatinger nedbryder organiske materialer (forureninger og organismer). Disse kan være interessante at udforske til køkkenmøbler, hvor der dagligt aflejres tynde lag af madlavningsolier og andre fødevarerrelaterede bestanddele (proteiner, kulhydrater). Disse kan være interessante inden for områder som hospitaler, saunaer, swimmingpools mv., selv om de ikke er et alternativ til normal rengøring.	Lav, stigende inden for specifikke områder
Coatning; bakterie- dræbende	Bakteriedræbende coatinger dræber, som ordet siger, bakterier og mikroorganismer, såsom alger eller svampe, der forsøger at overleve på den coatede overflade. Dette kan være en vigtig funktionalitet for møbler i store offentlige områder, såsom metrosystemer, tog, kontorer, dagpleje, hospitaler eller inden for bioindustrien, hvor coating kan bidrage til at reducere risikoen for infektion fra en person eller et dyr til andre og som sådan forebygge udviklingen af sygdomme.	Lav, stigende inden for specifikke områder

TABEL 2 Nanomaterialer, der dominerer inden for nanoprodukter anvendt i møbelindustrien i 2012

Bidrag til produkt →	Ridsebestandighed	Let rengøring	Anti-graffiti	UV/lysstabilitet	Selvrensende	Anti-bakteriel
Nanomateriale						
SiO ₂	X	X	X			
TiO ₂ /ZnO				X	X	X
CeO ₂				X		
Ag						X
CuO						X

Der findes en oversigt over forskellige produktgrupper, der er tilgængelige og anvendes i møbelprodukter, i ovenstående skema.

I 2012 domineres de nanomaterialer, der anvendes inden for specifikke produktgrupper til møbler (tabel 1) af nano-SiO₂, nano-TiO₂ og nano-Ag. I tabel 2 opsummeres de seks vigtigste nanomaterialer, der oftest anvendes i forskellige nanoprodukter til møbler. Tabel 2 indeholder ligeledes en oversigt over de primære funktionaliteter, som de introducerer i produktet. Disse nanomaterialer kan i princippet tilsæt-

tes til næsten ethvert basisprodukt. Det kræver for eksempel en relativt lille ændring af nanomaterialet for at ændre det fra at være baseret på organiske opløsningsmidler til en vandbaseret coating, eller fra en træcoating til en metalcoating. Og det er et koncentrationsanliggende at ændre vandafvisende coating til en coating, der er let at rengøre.

Der kan findes eksempler på nanomaterialer eller -produkter i talrige databaser over produkter indeholdende nanomaterialer, der er tilgængelige på markedet. De fleste af disse databaser

tager sigte på forbrugere (dvs. Woodrow Wilson institute³, Nanowerk⁴, Nanodaten⁵, Bund⁶ og Nanodatabasen⁷). Ingen af disse angår materialer eller produkter specielt til møbler. Der er dog en række forhindringer, der skal håndteres, inden markedet kan anvende disse muligheder i stor målestok.

³ <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>

⁴ www.nanowerk.com

⁵ www.nanodaten.de

⁶ <http://bund.net/nanodatenbank>

⁷ www.nano.taenk.dk



Slebet overflade af en MDF-plade med et bambus-toplag, behandlet med ridseresistent lak baseret på Nano-SiO₂.

BEGRÆNSENDE FAKTORER FOR ANVENDELSE AF NANOMATERIALER TIL MØBLER

Selv om de fremstillede nanomaterialers muligheder i forbindelse med møbler kan være lovende, hæmmes indføringen af nanomaterialer i møbelprodukter af en række forhold. De vigtigste faktorer, der begrænser anvendelse på nuværende tidspunkt, er opsummeret nedenfor.

OMKOSTNINGER OVER FOR FORDELE

De fleste fremstillede nanomaterialer er relativt nye materialer. Deres årlige produktionsmængde er stadig lav og omkostningerne som følge heraf høje. Fremstillede nanomaterialer anses derfor ofte for at være for dyre som erstatning for eksisterende alternativer. Denne situation vil dog ændres, når produktionsmængderne gradvist stiger. Nano-TiO₂ er et eksempel på et fremstillet nanomateriale, der netop har nået det punkt, hvor det er omkostningseffektivt som UV-blokker i coatninger.

LANGSIGTET YDEEVNE

Mange nanomaterialer skal stadig bevise deres langsigtede holdbarhed på grund af deres nylige introduktion. Traditionelle produktionsprocesser

skal eventuelt tilpasses, og både producenter og forbrugere skal have tillid til deres ydeevne for at fabrikanterne vil investere i denne nye teknik. Som følge heraf anvendes fremstillede nanomaterialer overvejende i coatninger. De fremstillede nanomaterialer kan dog med voksende erfaring og tillid forventes at finde vej til mere komplekse og krævende materialer. Nanocellulosefibre er et eksempel på et fremstillet nanomateriale, der kan anvendes i nær fremtid til at forstærke både coatninger og kompositte materialer.

SUNDHEDS- OG SIKKERHEDSSPØRGSMÅL

Der er stadig begrænset viden om de enkelte fremstillede nanomaterialers sundheds- og sikkerhedsaspekter. Der er imidlertid tilstrækkelig grund til at mistænke flere alvorlige helbredseffekter sammenlignet med tilsvarende, ikke-nanomaterialer som følge af de fremstillede nanomaterialers lille størrelse og nano-specifikke reaktivitet. Usikkerheden ved de fremstillede nanomaterialers sundheds- og sikkerhedsaspekter begrænser møbelfabrikanter i anvendelse af disse i møbel-fremstillingen. Usikkerheden fører til bekymring om miljøet samt de ansattes og forbrugerens sundhed og sikkerhed. Dette fører ligeledes til bekymring om risici ved eksponering for fremstillede nanomaterialer og

egnede forebyggende foranstaltninger under påføring og anvendelse samt kontrolforanstaltninger, når de er udtjente. Det er derfor vigtigt, at oplysninger om sikker påføring og anvendelse af fremstillede nanomaterialer formidles gennem møbelproduktets værdikæde: fra producenten af råmaterialerne til møbelfabrikanten og til møbelproduktets slutbrugere. Solide og troværdige oplysninger fra leverandøren gør møbelfabrikanten i stand til at opfylde sine forpligtelser om beskyttelse af de ansatte mod risici forbundet med fremstillede nanomaterialer. Når oplysninger om anvendelse omhyggeligt meddeles mellem aktører i møblernes værdikæde, vil møbelindustrien være i stand til at anvende fremstillede nanomaterialer på en sikker måde og kunne drage fordel af de muligheder, som nanomaterialerne giver.

SUNDHEDS- OG SIKKERHEDSHENSYN

INDLEDNING

Nanomaterialer kan have en farligere effekt for mennesker end deres ækvi-valenter i mikrostørrelse:

- Fordi de kan lettere kan trænge ind menneskers væv;
- Fordi deres pulvere kan opføre sig som gasser, hvilket påvirker deres bevægelses- og eksponeringsprofil;
- Fordi de kan transporteres via nervesystemet, krydse placenta eller trænge ind i huden
- Fordi deres form kan medføre specifik toksicitet, som inflammation eller oxidativ stress;
- Fordi de har en større overflade i forhold til volumen (eller overflade i forhold til masse), hvilket øger deres kemiske reaktivitet;
- Fordi de kan udvise forskellige kemiske egenskaber, såsom at blive katalytisk aktive;
- Fordi de kan udvise forskellige fysiske egenskaber, såsom elektrisk ledeevne eller øget opløselighed.

Selv om den aktuelle viden stadig er utilstrækkelig til at forudsige toksicitet baseret på nanomaterialernes sammensætning og morfologi, kan man forvente, at toksicitetsprofilen mindst er delvis relateret til den unikke kemiske og fysiske adfærd, der gør dem interessante for produktinnovationer i første omgang. Uanset nanomaterialers eller – produkters iboende farer, afhænger helbredseffekten af risikoen for eksponering. Når eksponeringen er effektivt forhindret, vil der ikke være nogen heldbredsrisiko.

NANOMATERIALERNES SKADELIGE HELBREDSVIRKNINGER

Der er ingen generel "*helbredsmæssig effekt af nanomaterialer*". Hvert nanomateriale vil have egne og unikke sundhedsskadelige virkninger. For de fremstillede nanomaterialer, der viser sig at dominere de nanoprodukter, der anvendes for nærværende i møbelindustrien, er det alene toksiciteten ved nano-TiO₂, der kendes relativt godt. I modsætning hertil kendes toksiciteten ved nano-SiO₂ og nano-Ag (nano-sil-ver), der er de to oftest anvendte fremstillede nanomaterialer, mindre godt, og for alle øvrige fremstillede nanomaterialer er toksicitetsdataene få eller ikke-eksisterende.

På grund af de mange ukendte faktorer med hensyn til skadelige helbredsvirkninger for hvert enkelt nanomateriale er det fornuftigt at indsamle viden og at se efter mere almindelige tendenser. De hyppigst observerede helbredsindvirkninger fra nanomaterialer er inflammation og oxidativ stress. Ved en tilstrækkelig dosis kan inflammation og oxidativ stress føre til celledød eller arvævsvækning, for eksempel i lungerne. Ekstraordinær cellevækst, dna-skade og hormonforstyrrelser er andre virkninger, der kan resultere heraf. Der er udarbejdet en omfattende gennemgang af tilgængelig viden om helbreds- og sikkerhedsanliggender i forbindelse med nanomaterialer af Aschberger et al. (2011)⁸. Disse generelle helbredseffekter kan eventuelt vise sig som luftvejsbetændelse, bronkitis, astma, hjerte-karsygdomme, cancer eller skader på afkom. Sensibilisering af eksponeret hud antydes ligeledes som en mulig virkning, for eksempel i tilfælde af overfladeraktive biocid-nanomaterialer, som nano-

TiO₂, nano-Ag eller nano-SiO₂ (se nedenfor). De aktuelle data er utilstrækkelige til at bekræfte sensibiliseringsvirkninger for fremstillede nanomaterialer.

HELBREDEEFFEKT VED NANO-TiO₂

I 2011 gennemgik NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) samtlige videnskabelige data, der var tilgængelige om helbreds- og sikkerhedsprofilen ved nano-TiO₂. NIOSH⁹ konkluderede, at der var tilstrækkelig evidens til at kategorisere nano-TiO₂ som et muligt kræftfremkaldende stof. Hvad der er endnu mere interessant, er at NIOSH konkluderer, at den kræftfremkaldende virkning, der er observeret for nano-TiO₂, er skabt via en sekundær mekanisme, hvilket betyder, at denne virkning ikke er "kemisk specifik" men "partikelspecifik", forårsaget af det faktum, at nano-TiO₂ er ikke-opløselig og i nano-størrelse. En tilsvarende virkning kan derfor forventes for andre ikke-opløselige fremstillede nanomaterialer. NIOSH konkluderede endvidere, at anvendelse af en tynd coating omkring hver nano-TiO₂-partikel synes at øge dens kræftfremkaldende potent, og at morfologien (der er amorf eller krystallinsk) ikke syntes at have en signifikant indvirkning på den kræftfremkaldende virkning.

HELBREDEEFFEKT VED NANO-SiO₂

Sammenlignet med nano-TiO₂ forstås toksicitetsprofilen for det sekundære nanomateriale, nano-SiO₂, endnu mindre. Nano-SiO₂ kan fremstilles i en amorf eller krystallinsk form og i en lang række af former og morfologier. Afhængigt af den præcise struktur er

⁸ Aschberger A, Micheletti C, Sokull-Kluttgen B and Christensen FM (2011) Analysis of currently available data for characterizing the risks of engineered nanomaterials to the environment and human health – Lessons learned from four case studies, *Environment International*, 37, 1143 – 1156

⁹ Occupational Exposure to Titanium Dioxide, NIOSH, Current Intelligence Bulletin 63, April 2011

deres fysiske og kemiske reaktivitet forskellige, og deres toksicitetsprofil kan ligeledes være forskellig. Napier-sky et al. (2010)¹⁰ gennemgik de forskellige former og synteseveje og beskrev tilgængelig viden om de faktiske toksicitetsmekanismer. De konkluderer, at toksiciteten ved nano-SiO₂ synes at være kraftigt forbundet med stoffets krystallinske struktur. Krystallinsk nano-SiO₂ har vist sig at forårsage oxidativ stress, samt dna- og membranskader. Til gengæld er det den amorf form af nano-SiO₂, der oftest anvendes af industrien til at forbedre produktets ydeevne. Anvendelsen i ridsebestandige lakker er et eksempel herpå. Toksiciteten ved amorf nano-SiO₂ betragtes som meget lavere end for krystallinsk nano-SiO₂, og som følge heraf beskæftigede kun en begrænset del af studierne sig yderligere med stoffets præcise profil. Det begrænsede arbejde, der er tilgængeligt, antyder, at nano-SiO₂ ikke er involveret i progressiv lungefibrose, men kan resultere i akut lungebetændelse ved høje doser. Det kan dog stadig vise sig, at billedet er mere nuanceret afhængigt af det præcise design af amorf nano-SiO₂. Der kommer stadig flere studier, som peger på den kraftige interaktion mellem nano-SiO₂ og peptider, den store indvirkning af overfladearealet på dette nanomaterials reaktivitet og toksicitetsafhængighed af ændring af overfladen. Interaktion med for eksempel peptider kan antyde en allergisk virkning (svarende til epoxyprodukter), og hvad der ligeledes er vigtigt, så findes der i forskellige studier forskellige toksiciteter ved anvendelse af forskellige testmetoder.

Napiersky et al. (2010) og referencer deri antyder, at de nano-typiske helbreds- og sikkerhedsrisici for arbejderne primært opstår, når pulver af rå-

nanomateriale fremstilles eller håndteres. De anfører, at nano-SiO₂ fikseres i suspension eller en fast matrix, og at eksponering ved indånding derfor må forventes at være meget lav.

HELBREDEEFFEKT VED NANO-AG

Toksiciteten ved sølv er grundigt undersøgt tidligere. Det viser sig, at sølv er relativt ugiftigt for mennesker, men kan være ekstremt giftigt for organismer i miljøet. I modsætning til makroskopisk sølv forstås toksicitetsprofilen for nano-Ag mindre godt. I begge tilfælde bestemmes toksiciteten ved emission af sølvioner (Ag⁺). I tilfældet med nano-Ag kan selve nanopartiklen forårsage en øget toksicitet, da stoffet efter eksponering kan have en anden fordeling i menneskekroppen (eller i miljøet) sammenlignet med sølvpartikler af større størrelse. I miljøtoksicitetsundersøgelser blev det for eksempel observeret, at nano-Ag reagerer som en Ag⁺-bombe hos mikroorganismer. En oversigt over tilgængelige data, der beskriver toksicitetsprofilen for nano-Ag, findes i et nyligt studie af TNO (2011)¹¹.

På trods af aktuel manglende viden om den fulde toksicitetsprofil for nano-Ag er der tydelige tegn på, at forsigtighed er påkrævet ved anvendelse af nano-Ag i kommende produkter. En af de væsentlige anvendelser af nano-Ag er til medicinsk behandling af yderst følsomme sår, bakterieinfektioner eller som desinfektionsmiddel for bakteriestammer, der er meget hårdføre og/eller er blevet resistente over for antibiotika. Misbrug kan dog bidrage til udvikling af bakterieresistens over for sølv (se TNO 2011 og referencerne deri), og når det sker, kan det have stor indvirkning på et menneskes helbred.

GRÆNSEVÆRDIER FOR EKSPONERING PÅ ARBEJDSPLADSEN

Til vurdering af sikkerhed på arbejdspladsen anvendes der ofte grænseværdier for eksponering (GV). Den aktuelle videnskabelige viden er for begrænset til at foreslå helbredsbase-rede grænseværdier for de fleste nanomaterialer. Virksomheder eller forskningsorganisationer foreslår kun sundhedsbase-rede grænseværdier eller DNEL-værdier (derived no-effect level) for et begrænset antal af deres fremstillede nanomaterialer. Tabel 3 opsummerer et udvalg.

Som et alternativ, indtil faste helbredsbase-rede nanoværdier er udviklet, kan referenceværdier anvendes som en pragmatiske benchmarkværdier. Forskellige initiativer har set nærmere på mulighederne for at konstruere et skema til afledning af generiske referenceværdier for fremstillede nanomaterialer, som det tyske IFA (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung) og det britiske British BSI (British Standard Institute). I Holland er arbejdsgiver- og arbejdstagerorganisationer blevet enige om at anvende sådanne benchmarkniveauer til eksponering på arbejdspladserne: de såkaldte foreløbige nano-referenceværdier (NRV). I marts 2012 blev der offentliggjort et NRV-skema af Dutch Economic Council (SER)¹² som en officiel vejledning til det hollandske social- og beskæftigelsesministerium, der vises i tabel 4.

De afledte NRV'er skal anvendes som pragmatiske benchmarkniveauer – de garanterer ikke, at en eksponering for nanomaterialer under disse værdier er sikker. NRV kan anvendes, så længe EU eller de enkelte medlemsstater

¹⁰ Napiersky D, Thomassen LCJ, Lison D, Martens JA and Hoet PH (2010) The Nanosilica Hazard: another variable entity, *Particle and Fibre Toxicology*, 7, 39

¹¹ van Manen – Vernooij B, le Feber M, van Broekhuizen FA, van Broekhuizen P (2011) Pilot "Kennisdelen Nano in de verfketen", TNO Report V20123 | 1

¹² SER Advies 12/01, March 2012, Voorlopige nanoreferentiewaarden voor synthetische nanomaterialen, Annex 1

TABEL 3 Forslag til GV, REL og DNEL for specifikke nanopartikler

STOF		GV eller REL mg/m ³	DNEL mg/m ³	Reference
MWCNT (Baytubes) *	8-timers TWA **	0,05		Pauluhn, 2010
MWCNT (Nanocyl)	8-timers TWA	0,0025		Nanocyl 2009
CNT (SWCNT und MWCNT) *	8-timers TWA	0,007		NIOSH 2010
Fullerene		0,8		NEDO-2 2009
Ag (18-19 nm)	DNEL		0,098	Stone et al 2009
TiO ₂ (10 -100 nm) (REL) **	10 timer/dag, 40 timer/uge	0,3		NIOSH 2011

* CNT = Carbon Nanotube; SWCNT = single-wall CNT; MWCNT = multi-wall CNT

** REL = (Recommended exposure limit) – anbefalet eksponeringsgrænse; TWA = (Time-weighted average) tidsvægtet gennemsnit

TABEL 4 Det hollandske skema over foreløbige nanoreferenceværdier (NRV) som anbefalet af SER i marts 2012

KLASSE	BESKRIVELSE	DENSITET (kg/m ³)	NRV (TWA 8 T.)	EKSEMPLER
1	Stive, biopersistente nanorør, nanofibre og nanostænger, for hvilke asbestlignende virkninger ikke er udelukket	-	0,01 fibre/cm ³ (= 10.000 fibre/m ³)	SWCNT, MWCNT eller metaloxidfibre, for hvilke asbestlignende virkninger ikke udelukkes af fabrikanten.
2	Biopersistente, granulære nanomaterialer i området fra 1 til 100 nm	> 6 000	20.000 partikler/cm ³	Ag, Au, CeO ₂ , CoO, Fe, Fe _x O _y , La, Pb, Sb ₂ O ₅ , SnO ₂
3	Biopersistente, granulære nanomaterialer i området fra 1 til 100 nm	< 6 000	40.000 partikler/cm ³	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , TiN, TiO ₂ , ZnO, nanoler Carbon Black, C ₆₀ , dendrimerer, polystyren nanorør, nanofibre og nanostænger, for hvilke asbestlignende virkninger udtrykkeligt er udelukket
4	Ikke-biopersistente, granulære nanomaterialer i området fra 1 til 100 nm	-	Anvendelig OEL	f.eks. fedtstoffer, siloxaner, salt (=NaCl)

ikke har fastlagt helbredsbase-
nano-grænseværdier, eller så længe
specifikke helbredsbase-
anbefalede grænseværdier for eksponering
på arbejdspladsen eller Derived-No-
Effect-Levels (DNEL) fra REACH-doku-
mentationen ikke er tilgængelige.
Samarbejdet mellem de hollandske
sociale parter, der resulterede i NRV-
skemaet og dets officielle status som
SER-vejledning, er unikt. Den define-
rede målestok er ligeledes unik: antal
nanopartikler pr. cm³, hvilket udtryk-
ker den aktuelle forståelse for, at
nanomaterialers reaktivitet er forbun-
det med overfladeareal i stedet for
masse. Anvendelse af NRV-skemaet
på europæisk plan anbefales af Den

europæiske faglige sammenslutning
(EFS), og det ønskelige i dets anven-
delse inden for EU undersøges for
nærværende.

Et nanomateriale er ved anvendelse i
et produkt ikke nødvendigvis en "ufor-
anderlig" partikel. Nanomaterialet vil i
mange produkter reagere med eller
bindes til produktmatricen. Eksempler
herpå er nano-siliciumdioxid i ridsere-
sistente lakker, nanosølv i tekstiler af
høj kvalitet eller et nanomateriale, der
anvendes til galvanisering. I andre pro-
dukter forbliver nanomaterialet løsere
indlejret i produktmatricen, såsom
nano-titandioxid i selvrensende coat-
ninger. Skæbnen for et nanomateriale i

et produkt indvirker på dets skadelige
helbreds-virkninger og sandsynlighe-
den for eksponering. Det er derfor
vigtigt at forstå, at dets toksicitet kan
variare i dets forskellige livsfaser: fra
eventuelt skadelig som råmateriale til
et ugiftigt produkt under anvendelse
blandt forbrugerne til farligt affald
igen i slutfasen eller ved udledning i
miljøet. Spørgsmålet om livsfaser er
derfor centralt i helbreds- og sikker-
hedsdebatten om nanomaterialer:

*Hvad sker der med nanomaterialet,
når det er anvendt, og hvad sker der
med dets nano-specifikke karakter?*

EKSPONERINGSVEJE

I møbelindustrien vil arbejderne blive eksponeret (næsten uden undtagelse) for nanoprodukter (enten i den form, hvori de købes, eller i former, der kan udvikles på grund af anvendelse eller bearbejdning) og ikke for rene nanomaterialer, hvilket betyder, at eksponering primært forekommer i forbindelse med:

Produkter, hvor nanopartikler (eller nanomaterialer) er indlejrede (i en fast matrix, et pulver, en væske eller opløsning), og støv eller aerosoler af disse produkter, når de bearbejdes, påsprøjtes eller på anden måde anvendes på arbejdspladsen.

Dette har en indvirkning på arbejdernes aktuelle eksponering for nanomaterialet i produktet. Studier af Saber et al. (2011a¹³,b¹⁴) viser, at der kan være en væsentlig forskel mellem eksponering for rene nanomaterialer og nanomaterialer, der er indlejret i en coating. De undersøgte forskellige coatinger (acrylcoatinger og UV-hærdet lak) tilsat forskellige nanomaterialer (nano-TiO₂, nano-SiO₂, nanoler og Carbon Black) og konstaterede, at de rene nanomaterialer ikke udviste nano-specifikke betændelses- og dna-skadelige virkninger, mens toksicitetsprofilen, når de først er indlejret i coatingen eller lakken, for pudsestøvet fra disse nanoprodukter svarede til toksiciteten for samme produkter uden nanomaterialer. Med andre ord viser det første og foreløbige videnskabelige arbejde, at nanomaterialer, der er indlejret i en matrix, ikke nødvendigvis udviser den nano-specifikke toksicitetsprofil, som de har i deres rene form. Det er et meget lovende første resultat, der har stor betydning for

risikovurderingen ved arbejde med nanomaterialer og -produkter inden for møbelindustrien, og som tilskynder til yderligere undersøgelser i denne retning for at afgøre, om en tilsvarende virkning observeres med andre materialer og produkter.

En generalisering af den måde, hvorpå et fremstillet nanomateriale kan være en del af nanoproduktet, leder frem til tre punkter:

1. Et fremstillet nanomateriale kan være kemisk inert, men i stand til fysisk at interagere. Dette resulterer i en matrix, hvori det fremstillede nanomateriale er indlejret og ikke kemisk reagerer med produktets matrix. På denne måde forbliver nanomaterialet "løst" og kan i princippet slippe ud.
2. Et fremstillet nanomateriale kan være kemisk reaktivt. Dette resulterer i kemisk binding mellem det fremstillede nanomateriale og matricen, hvilket gør det usandsynligt, at nanomaterialet vil kunne slippe ud.
3. Et fremstillet nanomateriale kan være kemisk og fysisk reaktivt og bindes kemisk til matricens overflade. Det er på denne måde ikke sandsynligt, at det vil kunne slippe ud, men eksponering kan forekomme ved direkte kontakt med overfladen. Bakteriedræbende overflader er eksempler herpå.

I de tre næste afsnit vil der blive belyst forskellige måder, hvorpå arbejdere i møbelindustrien kan eksponeres for nanomaterialer fra de produkter, som de arbejder med. Som følge af arbejdets karakter og de produkter, de typisk arbejder med, er det mest sandsynligt, at eksponering ved indånding af nanomaterialestøv (fra skæring,

pudsning, boring, savning eller maskinbearbejdning) eller aerosoler fra maling eller limspray er dominerende i forhold til helbredsrisici. Gennemtrængning af huden kan ligeledes spille en rolle (selv om den dog er meget mindre), for eksempel med overfladereaktive stoffer, såsom bakteriedræbende stoffer, kan man forudse erhvervsrelaterede helbredsproblemer. Eksponering via indtagelse kan også forventes. Nanomaterialer frigjort fra lungerne eller næseregionen vil blive indtaget via slimhinder, og der er risiko for indtagelse for eksempel af støv eller maling indeholdende nanomateriale ved frokost eller sammen med kaffe, når hænder og ansigt ikke er korrekt vasket.

Eksponering for nanopartikler ved transport af møbeldele, såsom nano-forstærket keramik, glas, stål, plastik, kompositter, isoleringsmaterialer, beton, træ eller overflader behandlet med hærkede coatinger forventes at være meget lille på grund af det faktum, at nanomaterialet i disse tilfælde forventes at være indeholdt i en fast matrix. Det tilrådes ikke desto mindre, i tilfælde af usikkerhed, at undgå hudkontakt i disse situationer ved at bære handsker.

EKSPONERING VED INDÅNDING OG BESKYTTELSE AF HELBREDET

Eksponering for nanomaterialer ved indånding kan forekomme, når luftbårne partikler udvikles på arbejdspladsen, enten fordi de involverede processer udvikler støv eller aerosoler, eller fordi der håndteres nanomaterialepulver. I møbelindustrien kommer de fleste nanomaterialer ind på arbejdspladsen som en del (bestanddel) af et

¹³ Saber AT, Jensen KA, Jacobsen NR, Birkedal R, Mikkelsen L, Moller P, Loft S, Wallin H and Vogel U (2011a) Inflammatory and genotoxic effects of nanoparticles designed for inclusion in paints and lacquers, *Nanotoxicology, Early Online*, 1 – 9

¹⁴ Saber AT, Koponen IK, Jensen KA, Jacobsen NR, Mikkelsen L, Moller P, Loft S, Vogel U and Wallin H (2011b) Inflammatory and genotoxic effects of sanding dust generated from nanoparticle-containing paints and lacquers, *Nanotoxicology, Early Online*, 1 – 13

nanoprodukt, f.eks. en coating eller et behandlet tekstil. Håndtering af rå nanomaterialer blev ikke observeret i dette særlige projekt. Tilsætning af nano-siliciumdioxidbaserede matte-ringsmidler til coatinger eller lak og visse pigmentstoffer (leveret i suspension) er set inden for branchen.

Forskellige undersøgelser har vist, at nanopartikler kan gennemtrænge lungegæv og nå blodbanen. Nanopartikler kan ligeledes nå hjernen via nervesystemet i næsen. De kan derfor krydse blod-hjerne-barrieren eller endvidere transporteres gennem nervesystemet. Disse to mekanismer kan muligvis spille en større rolle ved udviklingen af visse hjertesygdomme eller sygdomme i centralnervesystemet.

En gruppe af nanomaterialer, der fortjener særlig opmærksomhed, er de rørformede nanomaterialer. For nogle år siden fik kulstofnanorør verdensomspændende opmærksomhed på grund af mistanke om deres mesotheliom-virkning (cancer i et særligt område af lunger og bughinde). Yderligere undersøgelser heraf viser, at toksiciteten for kulstofnanorør (og øvrige nanorør) afhænger kraftigt af nanomaterialets præcise form og funktionalitet. En omfattende gennemgang af den aktuelle viden inden for dette område er foretaget af Zhao and Liu (2012)¹⁵. I tilgang, der bygger på forsigtighedsprincippet, tilrådes det ikke desto mindre, at man undgår enhver eksponering for nanorør, stænger eller fibre, medmindre fabrikanten af nanomaterialet udtrykkeligt udelukker asbestlignende virkninger.

Rørformede (eller stanglignende) nanomaterialer fortjener særlig opmærksomhed ved vurdering af arbejdernes og forbrugernes helbred og sikkerhed samt ved miljøvurdering.

Anvendelse af kulstofnanorør er ikke set inden for møbelindustrien til dato. Men deres anvendelse kan forudses på grund af deres unikke elektriske egenskaber og deres potentiale for at virke som forstærkende fibre, alternative flammehæmmere eller midler mod algevækst.

EKSPONERING VIA HUDEN

Huden betragtes traditionelt som en god barriere mod partikler. Når huden kompromitteres (dvs. brydes, skades) eller er belastet (som ved led), kan nanopartikler trænge gennem huden. Hårsække og -porer er andre steder på huden, hvor nanopartikler kan trænge ind. Når en nanopartikel krydser hudbarrieren, er det klart, at det underliggende hudvæv og blodbanen er de to første mål. Via blodet kan nanopartiklen transporteres videre til andre organer. Selve huden kan også være et målorgan. Hidtil har hudsensibilisering som følge af eksponering for fremstillede nanomaterialer ikke været genstand for omfattende undersøgelser. På grund af visse fremstillede nanomaterialers funktionalitet, der for eksempel er designet til nedbrydning af organisk materiale, eller til at fungere som et biocid, kan et sensibiliserende potentiale ikke udelukkes uden yderligere undersøgelser. For nano-SiO₂ antyder reaktionen med peptider et muligt sensibiliserende potentiale, der bør undersøges nærmere. Huden som eksponeringsvej fortjener derfor særlig opmærksomhed inden for møbelindustrien, for eksempel når arbejdet indebærer udvikling af støv, der indeholder nanomaterialer.

EKSPONERING VED INDTAGELSE

Indtagelse involverer ikke kun nanomaterialer, der direkte sluges (via munden), men kan ligeledes angå

nanopartikler, der indåndes og fjernes fra lungesystemet med slim og efterfølgende sluges (betegnet sekundær indtagelse). Nanopartikler kan optages over tarmen og trænge ind i blodbanen, som naturlige næringsstoffer normalt gør.

EKSPONERING AF SLUTBRUGEREN

Selv om slutbrugeren af et møbelprodukt højst sandsynligt ikke aktivt bearbejder (fremstiller) produktet, kan der muligvis forventes eksponering for nanomaterialer. Navnlig fordi der kan være intens (hud-) kontakt med produktets overflade (stol, bord mv.). Eksponering vil imidlertid kun forekomme, hvis nanomaterialet er "mobilt", for eksempel som i tilfælde af plastificeringsmidler, eller hvis nanomaterialet befinder sig øverst i matricen, som det er tilfældet for bakteriedræbende stoffer. Ved vurdering af sådanne risici for nanomaterialeksponering skal man være klar over, at nanomaterialer ofte er beregnet til at blive bundet til eller indlejret i materialets matrix. Af den årsag vil slutbrugers eksponering være lav ved mange anvendelser. Slutbrugers eksponering bør dog være et emne, der skal omhyggeligt overvejes, når nye møbler udvikles.

¹⁵ Zhao X and Liu R (2012) Recent progress and perspectives on the toxicity of carbon nanotubes at organism, organ, cell, and biomacromolecule levels, *Environment International*, 40, 244–256

TILRETTELÆGGELSE AF EN SIKKER ARBEJDSPLADS

FORSIGTIGHEDSPRINCIPPET, der støttes af Europa-Kommissionen og arbejdsmarkedets parter i møbelindustrien, fastlægger, hvordan arbejde med nanomaterialer kan foregå på en forsvarlig måde. Princippet er ikke lovgivning, men snarere en arbejdsmetode bestående af 5 byggeklodser:

ring til et minimum. Vejledningen *Guidance on Working Safely with Nanomaterials and Nanoproducts*, der er udarbejdet af de hollandske arbejdsmarkedsparter, er et eksempel på et sådant redskab. Andre redskaber fokuserer på sundhedsbaserede grænseværdier). Vejledningen kan sammen

SCENARIER FOR EKSPONERING PÅ ARBEJDSPLADSER I MØBELINDUSTRIEN

I de seneste år er der offentliggjort stadig mere forskning af den mulige eksponering for nanomaterialer under faktiske arbejdsituationer. Disse studiers hovedfokus er den mulige eksponering under sandblæsning og sprøjtning og under arbejde med nanomaterialer i pulverform. Foreløbige resultater peger alle i samme retning, og det kan konkluderes, at eksponering for frie nanomaterialer kun observeres ved arbejde med rene nanomaterialer eller nanomaterialepulver. Når nanomaterialet er indlejret i en matrix, observeres der ikke længere eksponering for rent nanomateriale. I stedet ses det typisk, at eksponering under sandblæsning eller sprøjtning består af produktmatricen med nanomaterialet indlejret i denne matrix. Målinger af arbejdspladseksponeringer udført i forbindelse med dette projekt ligger på linje med disse foreløbige fund.

I første omgang kan arbejde med fremstillede nanomaterialer i møbelindustrien kategoriseres i tre "risikozoner":

STØRST RISIKO er der ved de aktiviteter, hvor der håndteres rene, fremstillede nanomaterialer i pulverform. De første forebyggende foranstaltninger kan være:

- (1) at undersøge om substitution med et alternativt produkt med kendte helbreds- og sikkerhedsrisici er en mulighed;
- (2) at anmode leverandøren om at levere fremstillede nanomaterialer i fyldende form eller som pasta;
- (3) at forebygge enhver eksponering (ved beskyttelse af arbejderen, ventilation, fortrinsvis ved anvendelse af udsugning eller robotter i en fuldt lukket og automatiseret proces, eller ved hjælp af personlige beskyttelsesforanstaltninger).

TABEL 5 Byggeklodser til en sikker metode til arbejde med nanomaterialer i møbelindustrien

1. Når der ikke foreligger tilstrækkeligt tilgængelige data til at fastslå sundheds- og sikkerhedsrisici i forbindelse med fremstillede nanomaterialer, skal eksponering af arbejdstagerne i møbelindustrien undgås.
 - Undgå eksponering for fremstillede nanomaterialer i henhold til forebyggelsesstrategien.
2. På grund af usikkerheden om sundheds- og sikkerhedsrisici ved fremstillede nanomaterialer skal fabrikanter og leverandører underrette deres kunder i værdikæden i møbelindustrien om forekomsten af fremstillede nanomaterialer i deres materialer eller produkter.
 - Angivelse af nanomaterialeindhold og mulig frigivelse fra et produkt eller materiale via værdikæden.
 - Angivelse af nanomaterialeindhold og mulig frigivelse fra et produkt eller materiale til en central myndighed.
3. Registrering af eksponering på arbejdspladsen muliggør tidlig overvågning og retrospektiv undersøgelse af helbredsreaktioner forårsaget af fremstillede nanomaterialer hos arbejdstagerne i møbelindustrien.
 - Tilsvarende registrering af kræftfremkaldende stoffer: nanofibre og kræftfremkaldende, mutagene, reproduktionstoksiske eller sensibiliserende fremstillede nanomaterialer
 - Tilsvarende registrering af reproduktionstoksiske stoffer: Samtlige andre ikke-opløselige fremstillede nanomaterialer
4. Gennemsigtighed i kommunikationen om risici er væsentlig, for at arbejdstagere og arbejdsgivere kan indrette en sikker arbejdsplads, når der arbejdes med fremstillede nanomaterialer i møbelindustrien:
 - Oplysninger i leverandørbrugsanvisning om kendte nano-risici, risikolethed og manglende viden.
 - Oplysninger i sikkerhedsdatabladet om kendte nano-risici, forvaltning og manglende viden
 - Anmod om en kemisk sikkerhedsrapport (REACH) for stoffer >1 ton/år/virksomhed.
5. Fastsættelse af nano-grænseværdier eller nano-referenceværdier er krævet for vurdering af sikkerhed og sundhed på arbejdspladsen:
 - For nanopartikler, der kan frigøres på arbejdspladsen.

Det er krævende at følge en sikker metode. Der er udviklet forskellige redskaber til at støtte arbejdsgivere og arbejdstagere i denne proces. En redskabstype tager sigte på at bistå arbejdstagere og arbejdsgivere i vurdering af sundhedsrisici på arbejdspladsen, hvor der arbejdes med fremstillede nanomaterialer, og på at hjælpe dem med at indføre forebyggende foranstaltninger for at undgå eksponering eller reducere eksponering

med NRV-skemaet betragtes som god praksis for etablering af en sikker arbejdsplads. Tilsvarende processer er i gang på EU-plan og i flere EU-medlemsstater og i USA.

FIGUR 1. En arbejdstagers placering i sprøjtekabinen under sprøjtning og i forhold til luftstrømmen fra ventilations-systemet, der vises med pilen. Grøn angiver lavt antal nanopartikler, rød indikerer et højt antal.



AF MELLEMLSTOR RISIKO er aktiviteter, der udføres med materialer indeholdende fremstillede nanomaterialer (væsker eller faste stoffer), dvs. maling, lak, lim, kompositte materialer eller tekstiler. Sprøjtning, sandslibning, polering, skæring eller anden forarbejdning af materialer indeholdende fremstillede nanomaterialer er eksempler på aktiviteter med en høj eksponeringsrisiko, der let kan forekomme i møbelindustrien. I disse tilfælde kan der forventes eksponering for støv eller aerosoler indeholdende fremstillede nanomaterialer. Denne eksponering bør undgås. De første aktiviteter til styring af enhver eksponeringsrisiko kunne være:

- (1) at forhindre frembringelse af støv eller aerosoler så vidt muligt ved at ændre påføringsteknikken,
- (2) at anvende et effektivt udsugnings-system
- (3) anvende personlige beskyttelsesforanstaltninger mod indånding eller hudkontakt.

AF LAV RISIKO er aktiviteter, såsom håndtering af materialer i fast eller flydende form, der indeholder fremstillede nanomaterialer, uden at frembringe støv eller aerosoler. At bære en plade coatet med fremstillede nanomaterialer eller en bøtte maling med fremstillede nanomaterialer fra A til B er et eksempel på en sådan aktivitet. De fremstillede nanomaterialer er indeholdt i matricen vil ikke let blive afgivet ved berøring. Det tilrådes ikke desto mindre for at undgå hudkontakt, at der anvendes handsker, for eksempel ved transport af møbelprodukter behandlet med bakteriedræbende coating, der er overfladereaktive.

Ved arbejde i kategorierne "størst risiko" eller "mellemlstor risiko", anbefales det endvidere at overvåge den aktuelle nanopartikel-eksponering for de involverede arbejdstagere. Hensig-

ten med disse målinger er at kontrollere, om de forebyggende foranstaltninger er effektive.

I det efterfølgende er der en beskrivelse af de vigtigste resultater af måling af arbejdspladseksponering i forbindelse med denne undersøgelse. Arbejdspladsmålinger blev foretaget ved anvendelse af to tidsbaserede nanopartikelmålere (NanoTracer, Philips Aerasense), der målte mængden af tilstedeværende nanopartikler i deres gennemsnitlige partikeldiameter. Sammensætningen af de nanopartikler, der var i luften, blev analyseret ved hjælp af et Scanning Electron Microscope kombineret med Energy Dispersive X-ray-spektroskopi (SEM/EDX¹⁶). Der findes forskellige analyseteknikker på markedet til vurdering af arbejdspladseksponering for nanomaterialer. For den grundige vurdering er det som minimum vigtigt:

1. at kvantificere eksponeringen som antallet af nanopartikler, der stammer fra arbejdsaktiviteten
2. at bestemme disse nanopartiklers kemiske sammensætning

Følgende situationer er baseret på kortvarige observationer. De tjener kun til inspiration for udformning af forebyggelsestiltag, der kan iværksættes på den enkelte arbejdsplads.

Påsprøjtning af malinger, lak eller lim

Når et nanoprodukt påsprøjtes, er indånding af aerosoler den største eksponeringsrisiko, og af den årsag bør påsprøjtning og arbejde med støvende materialer undgås, når det er muligt. Eksponeringsrisiciene er mindre ved anvendelse af en børste eller rulle end ved anvendelse af en sprøjtepistol. Arbejdsrelaterede eksponeringer er

ligeledes mindre, når sprøjtning foregår i et lukket miljø ved hjælp af en robot end ved manuel sprøjtning.

FØRSTE OBSERVEREDE SITUATION: HØJTRYKSSPRØJTEMALING med lak indeholdende fremstillede nanomaterialer på pladematerialer foregik i en sprøjtekabine, vist i fig. 1. Der blev ikke truffet særlige foranstaltninger for at undgå eksponering for fremstillede nanomaterialer, bortset fra den normale beskyttelse ved lak med højt indhold af opløsningsmiddel. Der blev observeret en høj eksponeringsgradient for fremstillede nanomaterialer, hvilket vises med pilen i fig. 1. De målte koncentrationer i nærheden af vakuurvæggen var meget højere. Denne observation antyder, at et veludvalgt ventilationsystem er effektivt til at fjerne fremstillede nanomaterialer fra arbejdstagerens ånde- og drætsområde. Der er endnu ikke fastslået nogen nano-grænseværdi for dette fremstillede nanomateriale til vurdering af arbejdstagerens eksponering. Ved sammenligning af denne arbejdsaktivitet med NRV som et eksempel på god praksis vil der ikke være behov for yderligere forebyggende foranstaltninger. Det anbefales ikke desto mindre, at der bæres egnede personlige værnemidler. Eksponering for fremstillede nanomaterialer undgås, når det er muligt.

Når der er en risiko for eksponering for støv eller aerosoler, der indeholder fremstillede nanomaterialer, er det vigtigt at udstyre ventilationsystemet med et HEPA-filter, bære åndedrætsmaske med FFP3-filter, og beskyttelsesbriller, nitrilhandsker (helst to par) og en Tyvek© (eller tilsvarende ikke-vævet) dragt for beskyttelse af huden.

¹⁶ SEM/EDX Analyser blevet udført på universitetet i Utrecht (NL), afdelingen for elektronmikroskopi, med støtte fra JA Post og JW Geus.



ANDEN OBSERVEREDE SITUATION: LAVTRYKSSPRØJTEMALING med en coating med fremstillede nanomaterialer blev foretaget med en manuel pumpepray. Aktiviteten vises i fig. 2. Sprayen blev anvendt til at fugte en aftørningsklud, hvormed overfladen af en pude blev behandlet. Rummet var ikke ventileret. Sprøjtning blev udført fra hoftehøjde. Der blev ikke påvist nogen eksponering for fremstillede nanomaterialer. Dette tilfælde antyder, at pumpeprøjtning ved et omhyggeligt lavt tryk kan resultere i en lav eksponering, der ikke kan påvises, og at der følgelig ikke var påkrævet supplerende foranstaltninger til kontrol af eksponering for at undgå indånding af fremstillede nanomaterialer. Der bør bæres personlige værnemidler til beskyttelse af huden.

Eksponering for fremstillede nanomaterialer afhænger blandt andet af arbejdstagerens adfærd under arbejdet med fremstillede nanomaterialer og arbejdets intensitet og varighed. Det anbefales altid at vurdere effektiviteten af de forebyggende foranstaltninger, fortrinsvis ved hjælp af en kvantitativ og kvalitativ analyse.

Slibning og polering af malinger og lakker

TREDJE OBSERVEREDE SITUATION: SLIBNING AF PLADEMATERIALER AF TRÆ BEHANDLET MED LAK, DER ER MEGET MODSTANDSDYGTIG OVER FOR RIDSER
Under slibning dannes der ofte nanopartikler som en fraktion af det totale

frembragte slibestøv. Nanopartikler dannes endvidere af slibemaskinens motor. Tilgængelige data viser, at slibning ved lav hastighed frembringer få nanopartikler. Slibning ved høj hastighed frembringer flere nanopartikler. Tilgængelige data antyder endvidere en tilsvarende emission af nanopartikler fra coatinger, der indeholder, og coatinger, der ikke indeholder nanomateriale-additiver. Studier af Saber et al. (2011) antyder endvidere, at slibestøv fra malinger indeholdende nanomateriale udviser samme skadelige effekt som slibestøv fra samme ikke-nanoholdige maling. Denne hypotese er dog usikker og kommende forskning vil afklare forholdene nærmere. På baggrund af den aktuelle viden er der ikke grund til at antage, at der er *supplerende* risiko knyttet til eksponering for nanopartikler i forbindelse med opbrydning/slibning af overflader, der er behandlet med nanocoatinger. Afhængigt af matricen og den tid, hvor de inhalerede ultrafine partikler forbliver i lungerne, er der dog mulighed for, at matricen vil opløses i lungevæsken, hvorved der forekommer eksponering for de nanomaterialer, der er indlejret i denne matrix.

Når man har med et (ikke støvende) nano-produkt i fast form at gøre, afhænger muligheden for eksponering af den indeholdte nanobestanddelers interaktion med den omgivende matrix. Når de fremstillede nanomaterialer er inerte, men i stand til fysisk at interagere, resulterer dette i en matrix, hvori nanomaterialet er indlejret, men ikke kemisk bundet til matricen. På denne måde forbliver de fremstillede nanomaterialer "løse" og kan i princippet slippe ud og øge risikoen for eksponering ved berøring. Det kan ligeledes tænkes, at fremstillede nanomaterialer bindes kemisk til overfladen og er reaktive, for eksempel i form af en bakteriedræbende overflade. Eksponering for fremstillede nanomaterialer kan ligeledes i dette

FIGUR 2. Coating af en tandlægestols pude ved anvendelse af sprøjtepumpe og blød aftørningsklud.





FIGUR 3. To eksempler på foranstaltninger til at undgå eksponering for fremstillede nanomaterialer under slibning og polering af materialer, der indeholder fremstillede nanomaterialer. Til venstre et arbejdsbord med vakuum-udsugning; til højre optimal beskyttelse ved brug af nitrilhandsker, Tyvek-beskyttelsesdragt og åndedrætsmaske med FFP3-filter.

tilfælde medføre effekt på helbredet. Det er først efter indlejring af de fremstillede nanomaterialer og fiksering heraf i matricen, at eksponering er usandsynlig.

Slibning af pladematerialerne i det tredje observerede tilfælde 3 fandt sted ved et ikke-ventileret arbejdsbord. Slibemaskinen var udstyret med en lokal udsugning. Der blev observeret eksponering for fremstillede nanomaterialer under slibning og polering. Da disse aktiviteter ophørte, blev eksponeringen hurtigt reduceret. Der kunne ikke måles eksponering for nanomaterialer under vådslibning. Denne måling antyder, at tørslibning og polering medfører eksponering for fremstillede nanomaterialer, der kan være højere end anbefalet i det hollandske NVR-skema, navnlig når slibningen foregår over en hel arbejdsdag. I dette tilfælde er arbejde i et ikke-ventileret miljø ikke tilstrækkeligt til at begrænse eksponeringen, og der bør iværksættes yderligere forebyggende foranstaltninger. Eksempler på et vakuumventileret arbejdsbord eller væg og personlige værnemidlet vises i fig. 3.

Det er ligeledes vigtigt, når arbejdet er afsluttet, at undgå hudkontakt med pulver, støv eller væsker, der indeholder fremstillede nanomaterialer. For eksempel når der stadig sidder støv indeholdende fremstillede nanomaterialer på det slebne plademateriale. Anvend aldrig trykluft til at fjerne støvet. Der kan ved rengøring af arbejdspladsen anvendes en industristøvsuger med HEPA-filter, og der bør anvendes våde aftørringsklude for at undgå spredning af nanopartikler. Anvendelse af en kost, børste eller husholdningsstøvsuger bør undgås. Spild, tom emballage eller rester skal mærkes og bortskaffes som giftigt industriaffald.

Skæring af tekstil

FJERDE OBSERVEREDE SITUATION: ET NYLONTEKSTIL behandlet med en vandafvisende nanocoating klippes med normal saks. Der kunne ikke påvises nogen nanopartikeleksponering. Der bør udvises særlig omhu for at undgå mulig eksponering for nanofibre. Selv om der ikke blev påvist eksponering for fibre indeholdende fremstillede nanomaterialer, anbefales det, at der arbejdes foran en vakuumvæg eller på et vakuumventileret arbejdsbord, når der er en risiko for eksponering for fibre indeholdende fremstillede nanomaterialer.

De aktuelle eksponeringer afhænger i høj grad af faktorer som det specifikke produkt, de nøjagtige forhold i omgivelserne og den konkrete arbejdsituation for den eller de pågældende arbejdstagere.

DE FIRE EKSEMPLER på aktiviteter i møbelindustrien, der præsenteres her, bør ikke generaliseres. Der bør for hver nye individuelle situation foretages en risikovurdering for at bedømme effektiviteten af de iværksatte foranstaltninger til kontrol af eksponering og identificere, hvilke forebyggende foranstaltninger, der skal iværksættes, for at beskytte arbejdstagernes sundhed. Disse fire observerede situationer antyder imidlertid, at de aktuelle forebyggende foranstaltninger, der allerede er påkrævet i møbelindustrien, kan være tilstrækkelige til beskyttelse af arbejdstagere mod eksponering for fremstillede nanomaterialer i de produkter, som de arbejder med.

TRANSPARENT KOMMUNIKATION OM RISICI OG SPORBARHED

Der er et enormt problem med mangelfuld "deling af informationer om nanomaterialer" gennem hele produktets værdikæde, inden for møbelindustrien, men også i mange andre sektorer. Der er i 2012 begrænset gennemsigtighed om tilstedeværelsen af fremstillede nanomaterialer i materialer og produkter, der er tilgængelige til brug i forbindelse med møbler. Dette skyldes primært, at den europæiske lovgivning (endnu) ikke kræver nano-specifik meddelelse om fremstillede nanomaterialer, der er til stede i materialer eller produkter, udover de krav, der er fastlagt for samtlige stoffer i henhold til REACH-forordningen og forordningen om CLP (mærkning). Om og hvordan dette krav kunne tilrettelægges i fremtiden, drøftes for nærværende på europæisk plan.

Kommunikation om fremstillede nanomaterialer i materialer eller produkter på frivillig basis har kun været en begrænset succes. De vigtigste årsager til manglende kommunikation, der er anført af de forskellige aktører inden for møbelindustrien, er opsummeret i denne rapport. Kommunikationskæden starter typisk hos producenten af fremstillede nanomaterialer, der informerer materialeproducenten eller producenterne, der informerer leverandøren, som informerer møbel-fabrikanten. Møbel-fabrikanten informerer de ansatte om de anvendte fremstillede nanomaterialer og brugerne af det producerede møbel. Materialeproducenternes forsyningskæde kan være lang. Værdikæden for tekstiler kan for eksempel bestå af fiberproducenter, der leverer til en garnproducent, som sælger garnet til en væver. Møbelproduktionen kan imidlertid være et patchwork af forskellige underleverandører, der indgår i sam-

lingen af et møbelprodukt. For hvert trin, der tages i værdikæden, har flere og flere værdifulde informationer om de fremstillede nanomaterialer tendens til at gå tabt.

I kommunikationen fra leverandøren til møbelfabrikanten dominerer fire faktorer den manglende sporbarhed for fremstillede nanomaterialer i materialer. Konkurrence og ophavsrettigheder er en faktor, der fører til hemmelighed. Marketing er anden faktor. For nogle materialer sælger "nanoteknologi". Det antydes, at de indeholder fremstillede nanomaterialer, men viser sig ikke at gøre det. For andre materialer er dette argument mindre overbevisende. De er derfor ofte ikke "mærket" som nano. Kun et fåtal materialer eller produkter er korrekt mærket og indeholder specifikke informationer om fremstillede nanomaterialer. En tredje vigtig grund, der begrænser fremstillede nanomaterialers sporbarhed, er den samfundsmæssige debat om fremstillede nanomaterialers usikre sundheds- og sikkerhedsaspekter. I stedet for information om denne usikkerhed er usikkerheden blevet en årsag til fortrolighed for ikke at "rejse unødvendige spørgsmål". Den fjerde faktor, der begrænser kommunikationen, er uvidenhed. Materialeleverandører er ofte ikke selv velinformerede og kan som følge heraf kun give få eller ingen oplysninger til møbelfabrikanten.

Møbelfabrikanter har ansvaret for deres ansattes sundhed og sikkerhed. Møbelfabrikanten skal endvidere sikre, at produkterne er sikre at anvende. Kommunikation om fremstillede nanomaterialer indebærer:

1. at man er informeret (dvs. af leverandøren eller underleverandøren);
2. at der etableres en sikker arbejds-

- plads, og at de involverede arbejdstagere informeres/instrueres;
3. brugerne i værdikæden informeres på en passende måde.

Møbelfabrikanter oplyser, at usikkerheden om sundhed og sikkerhed nu ofte afholder dem fra at anvende fremstillede nanomaterialer i deres produkter. Spørgsmålet om, hvordan man skal reagere efter, at informationer om fremstillede nanomaterialer er modtaget, påvirker endvidere deres ønske om at blive informeret om de fremstillede nanomaterialer, de måske allerede anvender. Nogle møbelfabrikanter ønsker snarere ikke at få besked, for så snart du ved besked, hvad vil du så gøre? Andre har allerede handlet ved kort og godt at bede deres leverandører og samarbejdspartnere om at rapportere tilbage til dem om mulig forekomst af fremstillede nanomaterialer i deres produkter.

Denne situation kræver seriøs opmærksomhed. Det anbefales, at møbelfabrikanter spørger deres leverandører om, hvorvidt deres materialer indeholder fremstillede nanomaterialer eller ej, og beder dem om at blive informeret om, hvordan de anvendes ansvarligt. Møbelproducenter bør samtidigt forsikres om, hvordan de, når de arbejder med fremstillede nanomaterialer, vil være i stand til at indrette arbejdspladsen arbejdsmiljø-mæssigt fuldt forsvarligt. Der findes forskellige tilgængelige foranstaltninger til at forebygge eksponering, såsom specifikke ventilationssystemer og personlige værnemidler, der har vist sig at være effektive til ligeledes at beskytte mod eksponering for fremstillede nanomaterialer. Der findes endvidere en række forskellige redskaber til at støtte arbejdsgivere og ansatte i at udarbejde en arbejds-

pladsvurdering, herunder en handlingsplan for sikkert arbejde med fremstillede nanomaterialer. Arbejdsgivere og ansatte bør endvidere informeres om, at den nanospecifikke toksicitet ved fremstillede nanomaterialer afhænger af eksponeringsrisikoen. Fremstillede nanomaterialer kan anvendes sikkert, når de er indlejret i for eksempel en matrix. Når de fremstillede nanomaterialer fikseres, kan eksponering ved direkte kontakt med materialets overflade have effekt på helbredet, når nanomaterialerne udviser overfladereaktive egenskaber, som for eksempel bakteriedræbende coatinger. Møbelindustrien bør tilskyndes til at undersøge de forhold, hvorunder de kan drage fordel af de fremstillede nanomaterialers potentiale til møbelinnovation – og dette på en ansvarlig måde.

INITIATIVER TIL LOVGIVNING OM NANOMATERIALER OG NANOPRODUKTER

Som for andre kemiske stoffer reguleres registrering, evaluering, autorisation og restriktion af nanomaterialer i princippet i henhold til REACH¹⁷. Europa-Kommissionens rapport *Nanomaterials in REACH* (2008) indeholder en oversigt over, hvordan REACH indvirker på reguleringen af nanomaterialer¹⁸. Den anden vigtige lovgivning for normale stoffer og blandinger er forordningen om klassificering, mærkning og emballering af kemiske stoffer, CLP¹⁹. Nanomaterialer, der opfylder kriterierne for klassificering som farlige i henhold til CLP-forordningen, skal klassificeres og mærkes. Europa-Kommissionens rapport *Regulation, Classification, Labelling and Packaging of nanomaterials under REACH and*

¹⁷ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/reach/index_en.htm

¹⁸ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reach/nanomaterials_en.pdf

¹⁹ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/classification/index_en.htm

CLP (2009) indeholder en oversigt over indvirkningen af REACH og CLP på nanomaterialer²⁰. Behovet for yderligere specifikation af disse lovgivninger for nanomaterialer og udviklingen af yderligere vejledning overvejes for nærværende.

Et første, konkret fransk initiativ til at gøre indberetning af brug af nanomaterialer i produkter obligatorisk er indledt i forbindelse med den franske miljølovgivning *Loi Grenelle*²¹. Det er meningen, at denne lov skal træde i kraft pr. 1. januar 2013, hvorefter samtlige producerede, importerede eller distribuerede stoffer skal indberettes fra 2012 og fremover. Forordningen gælder for kemiske produkter, biocider og stoffer med nanopartikelstatus (§ 1), når de produceres, importeres eller distribueres i Frankrig i mængder af 100 gram eller mere årligt. Andre lande, såsom Italien, Tyskland og Belgien overvejer ligeledes at udvikle en form for indberetningsskema for nanomateriale for at få et bedre overblik over deres nationale marked.

²⁰ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reach/nanos_in_reach_and_clp_en.pdf

²¹ <http://www.nanonorma.org/>

AFSLUTTENDE BEMÆRKNINGER

ET DYBTGÅENDE STUDIE af den europæiske møbelindustri og interviews med møbelfabriker og materialeleverandører viser, at markedet for anvendelse af nanomaterialer i møbelprodukter i 2012 stadig befinder sig på et tidligt udviklingstrin. Nanoteknologi kan have stor betydning for møbelindustriens fremtid; på møblernes kvalitet og funktionalitet, men ligeledes for miljø, arbejdsmiljø og den almene sundhed i forbindelse med fremstillingsprocessen og de færdige produkter. Bakteriedræbende, vandafvisende coatninger samt coatninger, der er højresistente over for ridser og UV-beskyttede coatninger er eksempler herpå. På trods af mange muligheder for møbelinnovation er der væsentlige udfordringer med hensyn til omkostninger, (langsigtet) kvalitet, usikkerhed om arbejdsmiljø og forbrugeraccept. Der blev ligeledes observeret en række succesfulde markedsanvendelser med nanomaterialer. Eksempler herpå er flydende-glasbaserede coatninger til at opnå høj modstandsdygtighed mod ridser, vandafvisende egenskaber, bakteriedræbende virkninger eller produkter, der er lette at rengøre, UV-beskyttende coatninger, bakteriedræbende tekstiler og tekstiler, der er lette at rengøre samt beton med ultrahøj ydeevne.

Studiet af den europæiske møbelindustri viser endvidere et højt niveau af uvidenhed. Møbelfabrikanter er typisk

ikke velinformede om de nanomaterialer, som de anvender, og informationerne der meddeles, er ofte vanskelige at fortolke. Denne situation kræver seriøs opmærksomhed. Det anbefales, at møbelfabrikanter spørger deres leverandører om, hvorvidt deres materialer indeholder fremstillede nanomaterialer eller ej, og beder dem om at blive informeret om, hvordan de anvendes ansvarligt.

Nanomaterialer kan være farligere end deres konventionelle ækvivalenter af mikrostørrelse og kan udvise uventede sundhedsmæssige virkninger på grund af deres nanospecifikke karakter, herunder hjerte-karsygdomme, lungebetændelser, indvirkninger på centralnervesystemet, celledød, arvævsdannelse (for eksempel i lungerne), dysfunktioner i fostre og udvikling af cancerceller i påvirket væv. Samtidigt skal møbelfabrikanter sørge for at etablere en sikker arbejdsplads, når de arbejder med nanomaterialer. Der findes en række forskellige redskaber til at støtte arbejdsgivere og ansatte i at foretage en arbejdspladsvurdering, herunder en handlingsplan for sikkert arbejde med nanomaterialer. Der kan typisk forventes eksponeringsrisici, når der frembringes nanomaterialeholdigt støv eller aerosoler. Påsprøjtning af malinger og lakker, slibning af coatede overflader og polering eller savning af faste materialer er eksempler på arbejdsaktiviteter,

hvor dette kan forekomme. Der findes forskellige tilgængelige forebyggende foranstaltninger til at begrænse eksponering, såsom specifikke ventilationssystemer og personlige værnemidler, der har vist sig at være effektive til ligeledes at beskytte mod eksponering for nanomaterialer. Automatisering af produktionsprocesser ved anvendelse af robotteknologi i lukket miljø er en anden måde til at undgå eksponering af arbejderne. Foreløbige resultater antyder endvidere, at nanomaterialer indlejret i støv eventuelt ikke længere udviser nanospecifik toksicitet. Lav risiko for eksponering for nanomaterialer forventes, når arbejderne rører disse materialer, der er indlejret og fikseret i en matrix.

Ved udforskning af mulighederne for at anvende fremstillede nanomaterialer skal møbelfabrikanterne iværksætte forebyggende foranstaltninger til beskyttelse af arbejdernes helbred – baseret på forsigtighedsprincippet og informationer fra leverandøren af de fremstillede nanomaterialer, en arbejdspladsvurdering og de generelle principper for forebyggelse forbundet med de aktuelle kemiske stoffer.