

European Federation
of Building
and Woodworkers



Nanoprodukter i den europæiske byggebranche

Status 2009

Sammenfatning

Fleur van Broekhuizen
Pieter van Broekhuizen

Amsterdam, november 2009



Initiative financially supported by the European Commission in the framework of programs and actions in the social and employment sectors

Kolofon

Titel: Nanoteknologi i den europæiske byggebranche – Status 2009 –
Sammenfatning
Forfatter: F.A. van Broekhuizen og J.C. van Broekhuizen
Styregruppe: R. Gehring (EFBT), D. Campogrande (FIEC), J. Gascon (FCC, Spain), U. Spannow
(3F, DK), J. Waage (FNV Bouw, NL)

Denne rapport er bestilt af: EFBT (European Federation of Building and Wood Workers, dvs. Det europæiske bygnings- og træarbejderforbund) og FIEC (European Construction Industry Federation, dvs. Byggeindustriens europæiske sammenslutning) inden for rammerne af den europæiske arbejdsmarkedsdialog

Anerkendelse

Undersøgelsen blev bevilget af Europa-Kommissionen, Generaldirektoratet for Beskæftigelse via bevillingsaftale nr. VS/2008/0500 – SI2.512656 inden for rammerne af den europæiske arbejdsmarkedsdialog inden for byggebranchen.

Forfatterne vil gerne takke virksomheder (byggevirksomheder, råmaterialeproducenter, produktproducenter, affaldsbehandling), brancheorganisationer, FoU-institutter og enkeltpersoner for deres værdifulde bidrag til undersøgelsen, for den indsigt, de gav os, og for deres åbenhed i drøftelserne.

Flere informationer om rapporten fås via:

IVAM UvA BV

Amsterdam-NL

Tlf: +31 20 525 5080

www.ivam.uva.nl

E-mail: office@ivam.uva.nl

De nærmere oplysninger fra denne rapport må bruges, forudsat kilden er korrekt angivet. IVAM UvA b.v. påtager sig intet ansvar for nogen form for skader eller mén, der skyldes brug eller anvendelse af denne rapportes resultater.

Resume

Denne rapport indeholder en undersøgelse af problemstillingerne i forbindelse med nanoprodukters tilgængelighed, brug samt sundhed og sikkerhed i den europæiske byggebranche i år 2009. En europæisk undersøgelse blandt arbejdsgivere, arbejdere og arbejderrepræsentanter fra byggesektoren, dybdeinterview med flere centrale interessenter og en grundig faglitteraturundersøgelse førte frem til den indsigt, der præsenteres her.

Det kendskab, byggebranchens forskellige aktører har til nanomaterialernes tilgængelighed og egenskaber, er yderst begrænset. Det gælder for byggeriets arbejdsgivere og ansatte såvel som de relaterede professioner som arkitekter, bygningsingeniører og bygherrer.

Kun en begrænset mængde nanoprodukter finder vej til nutidens byggepladser, hvilket skyldes manglende kendskab og det faktum, at ingredienserne i nanostørrelse ofte er for dyre til, at produkterne er konkurrencedygtige. De vigtigste produkttyper, der findes på markedet, er beton- og cementmaterialer, nanomaling og isoleringsmaterialer, der er forbedret med nanopartikler. Der forskes og udvikles ikke desto mindre intensivt, og det forventes, at markedsandelen af nanoprodukter og lignende vil vokse fremover som følge af de unikke kendetegn, de rent faktisk har (og forventes at have).

De samme produkter kan ikke desto mindre udgøre nye risici for helbred og sikkerhed for den, der arbejder på byggepladsen, hvilket videnskaben kun lige er begyndt at forstå. Det gælder især, når arbejdet omfatter generering af nanopartikler og aerosoler. Typiske aktiviteter med stor potentiel risiko for at blive udsat for nanopartikler er, når der anvendes våde eller støvende nanoprodukter, maskintørrede eller præfabrikerede nanoprodukter, og når de anvendte materialer og udstyret rengøres og vedligeholdes. Generelt mangler der ikke desto mindre udførlige oplysninger om produkternes sammensætning og deres mulige nanospecifikke problemstillinger i forhold til sundhed og sikkerhed, og ofte ser man, at de informationer, som råstofproducenterne får, går tabt undervejs i brugerkæden.

Det gennemsnitlige byggefirma vil derfor få meget svært ved at foretage en ordentlig risikoanalyse og organisere en sikker arbejdsplads for de ansatte. En mulighed for selv at håndtere de ukendte faktorer er at vælge en forebyggende tilgangsvinkel. Det tilrådes ikke desto mindre, at der udvikles et godt sæt værktøjer, der kan hjælpe virksomhederne med at implementere denne tilgangsvinkel (f.eks. et registrerings- og meddelelssystem, nanoreferenceværdier eller god praksis for flere udvalgte arbejdsaktiviteter i højrisikogruppen), så videnskløften overvindes.

Indholdsfortegnelse

Resume

1. Indledning	5
2. Nanoteknologi i byggesektoren	7
2.1 Faktorer, der påvirker brugen af nanoprodukter i byggeriet	8
2.2 Aktiviteter, der skal værne om arbejdssikkerheden	13
3. Nanoprodukter på byggepladsen	15
3.1 Indledning	15
3.2 Cement, beton og våd mørtel	16
3.3 Coatings og maling	17
3.4 Nanoteknologi og infrastruktur	19
3.5 Isoleringsmaterialer	20
4. Sundhedsrisici	21
4.1 Indledning	21
4.2 Eksponeringsveje	22
4.3 Sundheds- og sikkerhedsproblemer ved flere nanopartikler	23
4.4 Mulige tilgangsvinkler til sikker brug af nanoprodukter	24
5. Muligheder for yderligere aktiviteter	28

1. Indledning

I forbindelse med den europæiske arbejdsmarkedssdialog har FIEC (European Construction Industry Federation) og EFBT (Det europæiske bygnings- og træarbejderforbund) taget initiativ til at give IVAM UvA BV den opgave at undersøge det aktuelle kendskab blandt interessenterne og få et overblik over de nanoprodukter, der rent faktisk findes på det europæiske byggemarked. Denne sammenfatning opsummerer resultaterne af en omfattende undersøgelse af den aktuelle status i 2009, hvad angår nanoprodukternes tilgængelighed, brug samt sundheds- og sikkerhedsaspekter i den europæiske byggesektor. Hovedrapporten "Nanotechnology in the European Construction Industry, state-of-the-art 2009" beskriver udførligt denne undersøgelses resultater.

På grund af markedets konstante efterspørgsel efter mere holdbare, bæredygtige og billigere produkter, forskes og udvikles der kontinuerligt i produkter til byggebranchen. En af de allernyeste teknologiske udviklinger, der anvendes på FoU-området er nanoteknologien. Nanoteknologi betyder ganske enkelt evnen til at iagttage, overvåge og påvirke materialer (og deres adfærd) ned til detaljer i nanomål (nm) (dvs. en tykkelse ned til ca. 10.000 gange mindre end tykkelsen på et menneskehår). Det omfatter avanceret billeddannelsesteknik, der bruges til at studere og forbedre materialets adfærd, men også design og produktion af meget fine typer pulver, væsker eller faste stoffer, der indeholder partikler i størrelsen 1-100 nm, de såkaldte nanopartikler. Virksomhederne udnytter disse nanopartikler til at give deres produkter nye og bedre egenskaber. Eksempler herpå er transparente, infrarødt-reflekterende vinduescoatings, som giver bedre indeklima, superstærke betonmaterialer, som muliggør tyndere og lettere konstruktioner, samt selvrensende coatings, der også er med til at mindske organisk luftforurening.

Selv om internettet rummer masser af oplysninger om nanoteknologi i byggeriet, og forventningerne til fremtiden er høje, så er virkeligheden i dag, at kun en begrænset mængde nanoprodukter når frem til byggepladsen, fordi teknikkerne og ingredienserne i nanostørrelse ganske enkelt er så dyre at producere, at de endnu ikke kan konkurrere med de eksisterende produkter. Ifølge nogle store aktører på området: *"I den henseende halter bygningsindustrien ca. 10 år bagefter industrien som helhed, hvilket skyldes de omkostninger, det drejer sig om, og de tekniske og sikkerhedsmæssige standarder, der forlanges af de anvendte materialer"*.

Det er ikke desto mindre vigtigt at bide mærke i, at der kommer flere og flere nanoprodukter. Nanoprodukterne til byggebranchen har nogle helt unikke egenskaber, men de kan også udgøre nye sundheds- og sikkerhedsrisici for arbejderne på arbejdspladsen. Eftersom nanomaterialerne og -produkterne generelt er meget nye, er det først nu, man begynder at få øjnene op for disse sundheds- og sikkerhedsmæssige risici¹. Dette og de høje

¹ Der er forskellige åbne spørgsmål vedrørende nanomaterialernes og -produkternes helbredsmæssige faremomenter og eksponeringskinetik. På den anden side er der en masse eksisterende viden og erfaring inden for arbejdssikkerhed og sundhedsvurdering samt håndtering af eksponeringsrisici. At bruge det, vi ved, til at klare det, vi endnu ikke ved, er den udfordring, vi står overfor, når der arbejdes med nanoprodukter.

forventninger omkring nanoprodukternes markedspotentiale² i den nærmeste fremtid gør det endnu vigtigere at følge udviklingen på det nanoteknologiske område helt fra begyndelsen og være klar over, at der er usikkerhedsmomenter, hvad angår nanomaterialernes og -produkternes sundheds- og sikkerhedsaspekter, så de fornødne forholdsregler kan implementeres, når det skønnes at være nødvendigt. Denne rapport forsøger at give et bedre indblik i de nanoprodukter, der anvendes i byggeriet i dag, og deres kendetegn, så en risikovurdering bliver nemmere.

Når der tales om nanomaterialer og -produkter, er det vigtigt at forstå, at der endnu ikke findes universelt accepterede definitioner, og derfor kan der nemt opstå misforståelser. Denne rapport er baseret på følgende:

1. at et nanomateriale er et materiale, der indeholder nanopartikler eller koncentrationer eller aggregater deraf i fast form eller opløst i en væske, eller interne eller eksterne nanostrukturer eller områder i nanostørrelse.
2. at et nanoprodukt er et produkt, hvori der forsætligt tilsættes nanomaterialer, hvorved produktets egenskaber påvirkes.

Nanopartikler defineres som partikler, der er "engineered" eller teknisk udviklede (dvs. menneskeskabte i modsætning til "naturlige" partikler i nanostørrelse, der f.eks. dannes ved vulkanudbrud) i størrelsen 1-100 nm. De kan være opløselige eller ikke. I øjeblikket er det kun uopløselige partikler, der kaldes nanopartikler, fordi de uopløselige bestandige er dem, der er mest interessante, hvad angår potentielle nanotypiske indvirkninger på sundheden. Aktuelt drøfter man imidlertid de problemstillinger, der er forbundet med mulige nanotypiske sundhedseffekter, der skyldes opløselige partikler i nanostørrelse, også på grund af nanopartiklernes typiske skæbne i miljøet.

² Se f.eks. www.hessen-nanotech.de

2. Nanoteknologi i byggesektoren

For at få et komplet overblik over den aktuelle tilgængelighed og brug af nanomaterialer og -produkter på byggepladsen, få indblik i den løbende udvikling, der kan føre til brug af nanoprodukter i den nærmeste fremtid, og signalere og sætte arbejdets sundheds- og sikkerhedsmæssige problemstillinger, der skyldes de anvendte nanoprodukter, i perspektiv, blev tre ruter fulgt:

1. En omfattende (videnskabelig) faglitteratur- og internetsøgning udgjorde grundlaget for den præsenterede indsigt i de nanomaterialer og -produkter, der har været brugt i byggebranchen, samt de helbredsmæssige problemstillinger ved arbejdet, der kan spille en rolle, når de anvendes.
2. FIEC og EFBT gennemførte en undersøgelse blandt deres medlemmer i 24 europæiske lande for at teste det generelle kendskab blandt arbejdsgivere (repræsentanter) og ansatte om anvendelsen af nanoprodukter inden for sektoren (herefter kaldet 2009-undersøgelsen). 2009-undersøgelsen søgte at danne et førstehåndsindtryk af erfaringerne på området, begrundelserne for at skifte til et nanoprodukt samt de problemstillinger vedrørende sundhed og sikkerhed, som produktleverandørerne har formidlet. Det var ikke meningen at opnå omfattende indsigt i detaljerne omkring den aktuelle anvendelses- og arbejdspraksis omkring nanoprodukter i byggebranchen, da det kræver en meget mere detaljeret tilgang.
3. Der blev organiseret dybdegående interview med bygningsarbejdere og -arbejdsgivere, arkitekter, produkt-producenter og FoU-forskere [FoU; forskning og udvikling] vedrørende byggematerialer og -produkter for at få en mere dybtgående indsigt i de eksisterende aktiviteter på området nanoprodukter til byggebranchen. Resultaterne af interviewene var vigtige for at sætte resultaterne af 2009-undersøgelsen og faglitteratur- og internetsøgningerne i perspektiv og fremhæve den udvikling på nanoområdet, som aktuelt anses for at være mest betydningsfuld for byggesektoren.

Tabel 1 Oversigt over den typiske baggrund (funktionsprofil) for deltagerne i 2009-undersøgelsen og en oversigt over de forskellige typer organisationer, man henvendte sig til om dybdeinterview.

Deltagere ³	Funktion	Dybdeinterview (%)	Type organisation
6	Arbejdsgiver	21	Byggeindustri
4	Maler (arbejder, arbejderrepræsentant)	21	(rå-) produktproducent
4	Sikkerhedsrådgiver (arbejder, arbejderrepræsentant)	9	Brancheorganisationer
3	Forskellige (arbejder, arbejderrepræsentant)	4	Arkitekter
11	Ikke præciseret (arbejder, arbejderrepræsentant)	42	Universiteters FoU
38 ⁴	Professionelle sundheds- og sikkerhedsrådgivere / professionelle hygiejnefolk (kun NL)		

³ Der kom i alt 28 svar fra 14 forskellige europæiske lande, plus 38 professionelle sundhedseksperter fra Holland, som behandles separat.

⁴ Svarerne fra de professionelle hygiejnefolk og sundheds- og sikkerhedsrådgivere fra Holland (i alt 38 svar) var enestående for 2009-undersøgelsen. Derfor blev de vurderet separat. Resultaterne fra denne vurdering var helt på linje med resultaterne fra de øvrige svar.

De endelige informationer præsenteres i afsnittene herunder. Tabel 1 viser en oversigt over funktionsprofilen for dem, der besvarede 2009-undersøgelsen og for den type organisationer, man henvendte sig til for at gennemføre dybdeinterview.

2.1 Faktorer, der påvirker brugen af nanoprodukter i byggeriet

I 2003 havde FoU-specialister store forventninger til den nærmeste fremtids udvikling af nanoprodukter til byggebranchen. Det var dog kun få af de produkter, man forventede dengang, der reelt nåede frem til nutidens byggeplads⁵. Forskellige årsager kan nævnes. De vigtigste drøftes i afsnittene herunder.

Prismæssig konkurrence

Den væsentligste årsag til at nanoprodukter har succes i samfundet, men ikke når frem til byggebranchen, er de omkostninger, der indgår i dem. I øjeblikket er nanomaterialer og følgelig nanoprodukter stadigvæk betydeligt dyrere end deres alternativer uden nano, hvilket skyldes den teknologi, som produktionen kræver. For byggesektoren betyder det, at initiativerne standses allerede i et produkts FoU-fase, når det kan forudses, at nanoproduktet aldrig vil kunne fremstilles til konkurrencedygtige priser. Det skyldes især den kendsgerning, at byggematerialer næsten altid bruges i store mængder, og små prisforskelle på kiloprisen giver samlet set enorme forskelle i de totale omkostninger, når byggeriets samlede mængder beregnes.

Derfor tøver producenter af byggematerialer med at udvikle nanoprodukter, og de nanoprodukter, der er udviklet, anvendes kun, når det specifikt ønskes. Det gælder især for produkter, der anvendes i store mængder, såsom beton og mørtel, samt for bygningscoatings. Men for f.eks. isoleringsmaterialer, arkitektoniske coatings og glascoatings stimulerer samfundets øjeblikkelige fokus på forbedring af energiregnskabet i forbindelse med klimaændringer og reduktionen af drivhuseffekten og deres videre indføring på markedet.

Tekniske præstationer

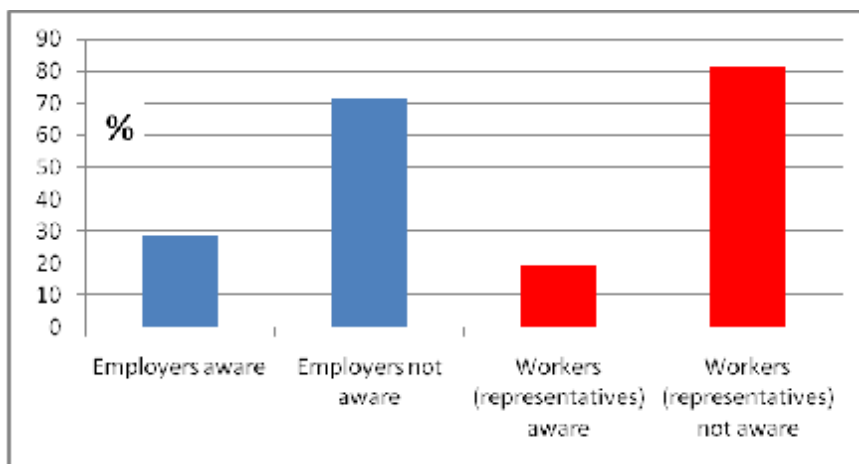
Produktets tekniske egenskaber er også en begrænsende faktor for udbredt indføring af nanoprodukter. De tekniske egenskaber skal dokumenteres grundigt for at imødekomme de tekniske standarder for netop det materiale. Men det afhænger naturligvis af markedssektoren. For beton er det f.eks. en væsentlig problemstilling. For selvrensende vinduesbelægninger er dette problem mindre vigtigt, da f.eks. sikkerhedsstandarderne er væsentligt mindre.

Kendskabet inden for sektoren

Kendskabet (eller mangel på samme) er et andet vigtigt element, der hæmmer nanoprodukternes udbredelse i byggebranchen. Uden kendskab til dem, ved man simpelthen ikke, at der er noget nyt at anvende eller efterprøve. I Europa er viden om nanoteknologi i byggeriet særdeles begrænset, og den er i øjeblikket forbeholdt nogle få vigtige aktører, der udvikler markedet. 2009-undersøgelsen blev startet af FIEC og EFBT for at undersøge kendskabet blandt bygningsarbejdere og deres arbejdsgivere, og figur 1 viser,

⁵ Bartos PJM 2009, Nanotechnology in Construction 3, Proceedings of the NICOM3. ISBN 978-3-642-00980-8

at de fleste, der svarede (~75%), ikke vidste, om de arbejdede med nanoprodukter. Dette resultat bygger på 28 returnerede spørgeskemaer, hvor målet var at få 3 svar fra hvert medlem af FIEC eller EFBT fra hvert af de 24 deltagende EU-lande, man henvendte sig til (det totale mål var 144 svar)⁶.



Figur 1. 2009-undersøgelsens svar fra arbejdsgivere og -tagere (repræsentanter) om deres kendskab til, om der var nanoprodukter på deres arbejdsplads eller ikke.

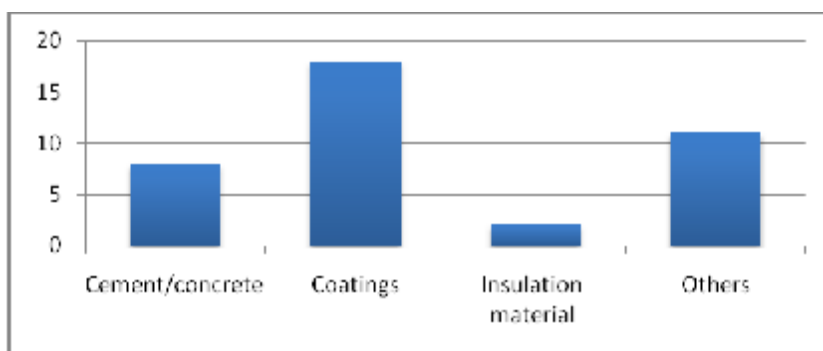
Undersøgelsens resultater må dog kun tolkes som en slags markering af den aktuelle videnstatus inden for sektoren, hvad angår brugen af nanoprodukter i byggebranchen. Faktisk er det sandsynligt, at de 25% af svarpersonerne, der siger, de kender til det, er anledning til en overvurdering af de virkelige tal på grund af positiv selektion: Dem der ved, at de arbejder med nanoprodukter er mere interesserede i at svare. Dette udledes af forskellige kommentarer, der er kommet fra repræsentanter for bygningsarbejdere og -arbejdsgivere i forbindelse med 2009-undersøgelsen, der f.eks. siger:

- "...Jeg har talt med flere virksomheder om emnet, og ingen kender noget materiale, der indeholder disse produkter. Jeg har også talt med flere personer fra arbejdsmiljømyndighederne, og de kender heller ikke disse produkters eksistens ... (UK)"
- "...vi forsøgte at få oplysninger fra flere undersektorer i byggebranchen, men indtil nu har vi ikke fået brugbare svar. Problemet (og vi er ikke særlig overraskede) er stadig ukendt (CH)"
- "...emnet er simpelthen for abstrakt og ukendt til at kunne besvare undersøgelsen i det hele taget (NL)"

Disse og andre resultater fra de gennemførte dybdeinterview, foretaget sideløbende med 2009-undersøgelsen med flere involverede vigtige aktører (dvs. BASF, Heidelberg Cement, Skanska), tyder på, at nanoteknologien endnu ikke er trængt igennem til byggesektoren i noget betydeligt omfang. En serie kontakter til forskellige små og mellemstore virksomheder understøtter dette billede af, at nanoteknologien i dag kun er et nichemarked inden for byggebranchen. Men der er også modsatte signaler, som et firma, der rådgiver om sundhed og sikkerhed inden for VVS- og elektricitetsbranchen i Danmark, der tilkendegiver, at de "...ikke har nogen informationer om noget nanoprodukt, der bruges i disse brancher, men de er helt sikre på, at nogle af de produkter, de støder på, i virkeligheden er nanoprodukter".

⁶ Svarene på spørgeskemaerne kom fra 14 forskellige lande med typisk 1 eller 2 svar fra hvert land, undtagen Holland. De langt flere svar fra Holland skyldes et sideløbende (nationalt) projekt, som handlede om nanoprodukter i byggebranchen og vedrørte arbejdsmæssig eksponering.

De svarpersoner i 2009-undersøgelsen, der arbejdede med nanoprodukter, arbejdede for det meste med cement- eller betonprodukter, coatings og isoleringsmaterialer (se **figur 2**). Andre produkttyper, herunder vejbelægningsprodukter, brandhæmmende materialer eller tekstiler, blev kun markeret af nogle få. Alle svarpersonerne brugte nanoprodukter begrundet med deres præstationer (hvor et alternativt produkt blev fravalgt) og nogle gange (ekstra) ifølge kundens specifikke ønske.



Figur 2. Nanoprodukter reelt markerede som anvendte samt antal produkter pr. produkttype, fra resultatet af 2009-undersøgelsen

Det er imidlertid interessant, at nogle af de deltagere, der svarede: *“Nej, jeg er ikke klar over, at jeg arbejder med nanoprodukter,”* angiver, at de muligvis arbejder med nogle typer nanoprodukter, når de konfronteres med en specifik liste over produkttyper (~18% af alle svarpersonerne: arbejdere, arbejderrepræsentanter og arbejdsgivere). De produkttyper, der typisk anføres i disse besvarelser, overlapper med de produkter, der nævnes af de deltagere, der er klar over, at de arbejder med nanoprodukter (~21% af alle svarpersonerne: arbejdere, arbejderrepræsentanter og arbejdsgivere). Det viser en mere generel mangel på viden om arten af de produkter, der arbejdes med, men kan også tolkes sådan, at det viser de produktgrupper, hvor deltagerne muligvis forventer, at nanoprodukterne først optræder. Alternativt kunne svaret dog være styret af påvirkning fra markedsføringen, der forbinder et fremragende teknisk produkts præstationer med forstavelsen *nano-*, hvilket antyder, at alle *“nye”*, *“unikke”*, eller *“ekstra stærke”* produkter mistænkes for at være nanoprodukter.

Nanoteknologiens fordele for sektoren

Brugen af nanoteknologi til forbedret materialeundersøgelse og -udvikling kræver en stærk FoU-afdeling, hvortil der skal bruges kostbart udstyr, der betjenes af fagfolk. Eftersom byggebranchen aldrig har fokuseret særlig meget på forskning og udvikling, foregår FoU-aktiviteter vedrørende nano hovedsagelig hos store multinationale producenter som BASF, AKZO-NOBEL, DuPont, Heidelberg og Italcementi eller i specialiserede forskningsinstitutter (enten universitetsbaserede eller private). Det betyder indirekte, at små og mellemstore virksomheder spiller en ringe eller slet ingen rolle i de nuværende banebrydende nanoaktiviteter inden for byggesektoren. Undtagelser er små og mellemstore virksomheder, der har en kontrakt, der gør, at de kan bruge forskningsfaciliteter, der tilhører deres større *“moderselskab”*, og små og mellemstore virksomheder, der er oprettet i forbindelse med universiteter (hvor de kan bruge universitetets faciliteter), med fokus på specifikke nichemarkeder på nanoområdet, f.eks. produktion og design-efter-ønske af specifikke

nanomaterialer, og nogle få små og mellemstore virksomheder, der med held har brugt resultater fra større virksomheder til at udvikle deres egne innovative produktlinjer.

Denne situation ændres dog i øjeblikket i coating-sektoren. Nanocoatings er typisk nået "langt" i deres udvikling i forhold til andre byggeprodukter som beton- eller isoleringsmaterialer, og metoderne til at anvende nanomaterialer bliver mere og mere "almen viden" blandt producenterne. Derfor begynder små og mellemstore virksomheder nu at spille en rolle inden for maling og coatings, hvor de starter egne nanoproduktlinjer.

Sådan formidles *nano* langs brugerkæden

For den gennemsnitlige bygningsarbejder er detaljeret viden om kemien i det produkt, han arbejder med, ikke første prioritet. De tekniske samt sundheds- og sikkerhedsmæssige informationer er det, der er brug for. Sådan er det for "normale" produkter og ikke spor anderledes for nanoprodukter. Brugen af standardmetoder til at bestemme de arbejdsmæssige sundhedsrisici, der skyldes eksponering for nanoprodukter, drøftes imidlertid i øjeblikket, og der er flere åbne spørgsmål vedrørende disse metoders anvendelighed. Der er en generel usikkerhed omkring sundheds- og sikkerhedsrisici fra nanoprodukterne, som derfor skal behandles og bruges med en vis forsigtighed.

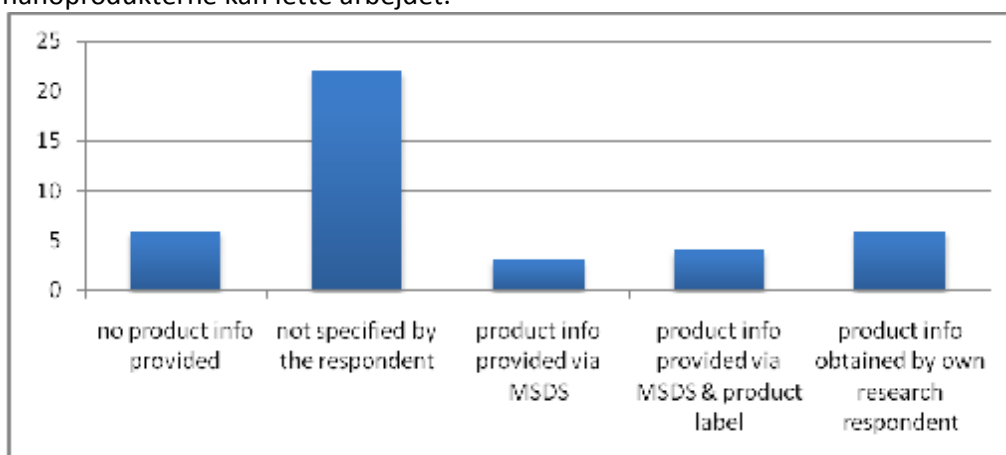
Nanomaterialer kan være langt mere reaktive (pr. gram materiale) end typerne uden nano, og de kan opføre sig helt anderledes. Derfor kan de også forårsage andre helbredseffekter, der kan være mere alvorlige. De fastsatte grænser, hvorefter der kræves registrering og formidling af information om sundheds- og sikkerhedsrisici, er derfor muligvis for høje til at sikre en sikker arbejdsplads. Grænserne bør nedsættes. I Europa arbejder ETUI og EFS derfor på at ændre denne situation via en ændring i REACH, som vil kræve obligatorisk rapportering af alle nanomaterialer, der forsætligt tilsættes et produkt.

I øjeblikket er der kun få muligheder for at lære om et nanoprodukts præcise kemiske sammensætning. Ikke mange af de producenter, som bruger ingredienser i nanostørrelse eller nanomaterialer, informerer deres kunder om det, fordi reglerne om klassificering, markering og emballering af stoffer og blandinger (CLP)⁷ ikke forpligter dem til det. I 2009-undersøgelsen er det kun 7 ud af 41 nanoprodukter, der er i brug, hvor deltagerne angiver, at de informeres om produktets kendetegn via et MSDS (Material Safety Data Sheet - materialesikkerhedsdatablad) og ud af dem, var der kun 4 tilfælde, hvor MSDS foreskrev beskyttende forholdsregler for nanoproduktet, som afveg fra de forholdsregler, der foreskrives for de tilsvarende produkter (uden nanopartikler), som samme byggevirkomhed havde brugt tidligere (se **figur 3**). Svarene tyder på, at sundheds- og sikkerhedsaspekterne for de fleste af produkterne formidles dårligt ned gennem brugerkæden (for 34 af produkterne findes der intet MSDS for produktet, så vidt deltagerne ved, enten en bygningsarbejder eller arbejdsgiver). For de produkter, hvor der medfølger et MSDS, afhænger det af producenten eller leverandøren, om dette MSDS formidler sundheds- og sikkerhedsinformationer specifikt for nanoingrediensen. For de produkter som deltagerne anførte i 2009-undersøgelsen, viser de fleste MSDS'er ingen tegn på nogen nanoingredienser, mens det tekniske datablad i nogle tilfælde klart viser, nogle gange antyder og nogle gange synes at antyde (f.eks. ud fra produktnavnet), at produktet

⁷ http://ec.europa.eu/environment/chemicals/dansub/home_en.htm; Engelsk version af forordningen (EF) nr. 1272/2008: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:EN:PDF>

indeholder mindst ét nanomateriale. Nanospecifikke informationer på det tekniske datablad varierer fra temmelig detaljeret: et angivet størrelsesområde og SEM-billede⁸ af nanopartikler eller beskrivelse af det aktive overfladeareal af nanomaterialet pr. gram, til en "enkel" bemærkning om, at produktet indeholder f.eks. nanokvarts (uden nærmere specifikation af, hvordan denne type kvarts ser ud).

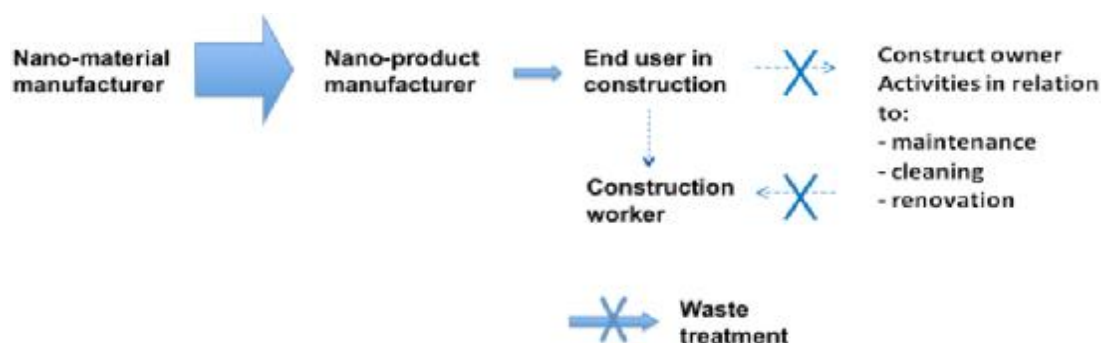
I alle tilfælde, hvor der blev givet flere oplysninger om nanoproduktet, påstår produktproducenterne, at deres produkt er ufarligt, når det anvendes som foreskrevet, og i intet tilfælde blev der krævet nogen (nano)specifikke færdigheder eller uddannelse for at bruge nanoproduktet korrekt. For de fleste nanoprodukter i 2009-undersøgelsen beskrives de foreskrevne beskyttelsesforanstaltninger som "*ikke anderledes end tidligere*", da der blev brugt produkter uden nano, og arbejdspraksis skulle efter sigende være den samme. Kun for to produkter blev der foreskrevet mere beskyttende forholdsregler, sammenlignet med produkter uden nano til et lignende anvendelsesformål. For 2009-undersøgelsen gjaldt det to cementprodukter, der indeholdt nanosilica. Men der var også tegn på, at nanoprodukterne kan lette arbejdet.



Figur 3. Specifikation af produktinformationer til nanoprodukter, markeret som i brug i 2009-undersøgelsen (givet i tal)

I øjeblikket fungerer informationskæden stort set således (se også figur 4): Producenter af "råmaterialer" til nanomaterialer giver oplysninger om materialeegenskaber (som reaktionsevne, specifikke adfærdskendetegn, størrelse, form, krystalstruktur, masse og tæthed) samt specifikationer om sundheds-, sikkerheds- og miljøaspekter (så vidt de kendes) til næste bruger i kæden (oftest produktproducenten). Alt efter deres forretningsrelation, kan disse oplysninger blot være det minimum, som loven kræver, eller mere omfattende, når der er gensidig tillid mellem dem. På det punkt i kæden stopper videregivelsen af de nanospecifikke informationer imidlertid normalt. Produktproducenterne bruger oftest kun nanomaterialet som tilsætningsstof og i mindre mængder end den koncentration, hvor registrering og formidling kræves. Kun nogle af disse producenter informerer deres kunder alligevel. Men i nogle tilfælde kun med egenskaber, der nævner "*opnået via nanoteknologi*" uden flere oplysninger. Kunden må så stadig gætte sig til, hvad der rent faktisk er i dette nanoprodukt.

⁸Scanning med elektronmikroskop



Figur 4. Intensiteten af videregivelse af nanospecifik information gennem brugerkæden fra leverandøren af råmaterialer til dem, der skal håndtere affaldsmaterialet. Pilens tykkelse viser stort set mængden af nanospecifikke informationer, der gives til næste led i brugerkæden.

Nano sælger

Nanoteknologien og de produkter, som denne teknologi frembringer, anses for at være en løsning på mange af vor tids højt prioriterede problemstillinger, såsom mangel på råstoffer, miljøforurening, energiforbrug og emissionen af drivhusgasser, ja selv sikkerhedsspørgsmål som terrorangreb og verdensfred. Disse store forventninger gjorde, at *nano*- blev sidestillet med nøgleord som *succes*, *høje præstationer* og *bæredygtig udvikling*. Derfor begyndte virksomheder såvel som forskere at sælge deres arbejde som *nano* for at tiltrække kunder eller finansiering. Denne tendens startede for ca. 10-15 år siden og fortsætter selv nu, men denne tendens er på retur som følge af de implicerede sundheds- og sikkerhedsmæssige bekymringer, men også på grund af pres fra brancheorganisationer, der vil undgå forvirring omkring nanotemaerne⁹, så bruges *nano* stadigvæk til at fremhæve et produkts høje tekniske præstationer eller diskrete, avancerede design.

Og det gælder ikke kun for produkter, der faktisk indeholder nanomaterialer. Selv helt almindelige produkter, der indeholder enzymer (som typisk har størrelser i nanoplan) eller olieopløsninger (med bittesmå oliedråber i nanostørrelse) er blevet betegnet som *nano*. Eller produkter, der må anses for at være grænsetilfælde, hvor grundmaterialerne er produceret via nanomaterialer eller nanoproduktionsprocesser, men hvor de faktiske ingredienser ikke længere indeholder nanomateriale. Resultatet er en forvirrende situation, hvor nanoprodukter til tider sælges som nanoprodukter, mens det modsatte også sker: Produkter uden nano sælges til tider som nanoprodukter.

2.2 Aktiviteter, der skal sikre arbejdssikkerheden

Uanset ovenstående er flere og flere producenter af nanoprodukter blevet klar over de mulige problemstillinger, der angår sundhed og sikkerhed ved brugen og håndteringen af nanopartikler. På byggepladsen kan man blive eksponeret for nanopartikler fra:

1. primær brug af et nanoprodukt: arbejde med et nanoprodukt (et brugsklart produkt eller et produkt med flere komponenter, der blandes på stedet)
2. sekundær brug af et nanoprodukt: maskinbehandling af nanoprodukt (f.eks. boring, sandslibning eller rengøringsaktiviteter)

⁹ Privat kommunikation med flere forskellige materialeproducerende virksomheder.

Især når aktiviteterne omfatter håndtering af støvende eller flydende materialer eller frembringer støv eller aerosoler, kræves der en omhyggelig risikovurdering. Typiske eksempler: Spraying med nanocoating, tilsætning af mikrosilica [engelsk; silica fume] til våd mørtel, sandblæsning af en fotoaktiv betonfacade eller rengøring af en antibakteriel væg (der indeholder sølv). På den anden side forventes det, at eksponeringsrisikoen over for nanopartikler ved håndtering af faste (præfabrikerede) nanoprodukter som nanoforbedrede keramiske materialer, glas, stål, plast, komposit, isoleringsmaterialer, beton eller træ uden nogen form for maskinbehandling er ringe (eller ikke eksisterende), fordi nanopartiklerne forventes at forblive inde i den faste matrix. Der kan dog forekomme eksponering med tiden, når materialet slides, eller når bygningen skal renoveres eller nedbrydes.

Som et første forsøg på at skabe en sikker arbejdsplads, anbefaler forskellige organisationer som vigtige materialeproducenter og Europa-Kommissionen en forsigtig forebyggende tilgangsvinkel. Som følge af den betydning, den forebyggende tilgangsvinkel altid tillægges og anbefalingerne fra Europa-Kommissionen og områdets større interessentbrancher, som BASF og Dupont, sker produktionen af de fleste nanopartikler og nanomaterialer i flydende form (opslæmning eller opløsning) ved forhold med "undertryk" eller under forseglede forhold, hvilket sikrer maksimal partikelkontrol, og eksponeringsrisikoen minimeres. Med disse begrundelser og i modsætning til tidligere leveres tilsætningsstoffer i nanostørrelse som regel i en opslæmning eller opløsning, der er klar til brug fra produktproducenten. Når det ikke er muligt, f.eks. ved mikrosilica i UHPC-beton, og hvor tilsætningsstofferne skal forblive i pulverform, opfinder man andre løsninger, der skal forebygge eksponering, såsom brugen af emballagematerialer (store sække), der opløses i vand, og hvis materialer ikke påvirker produktets forventede kendetegn (beton).

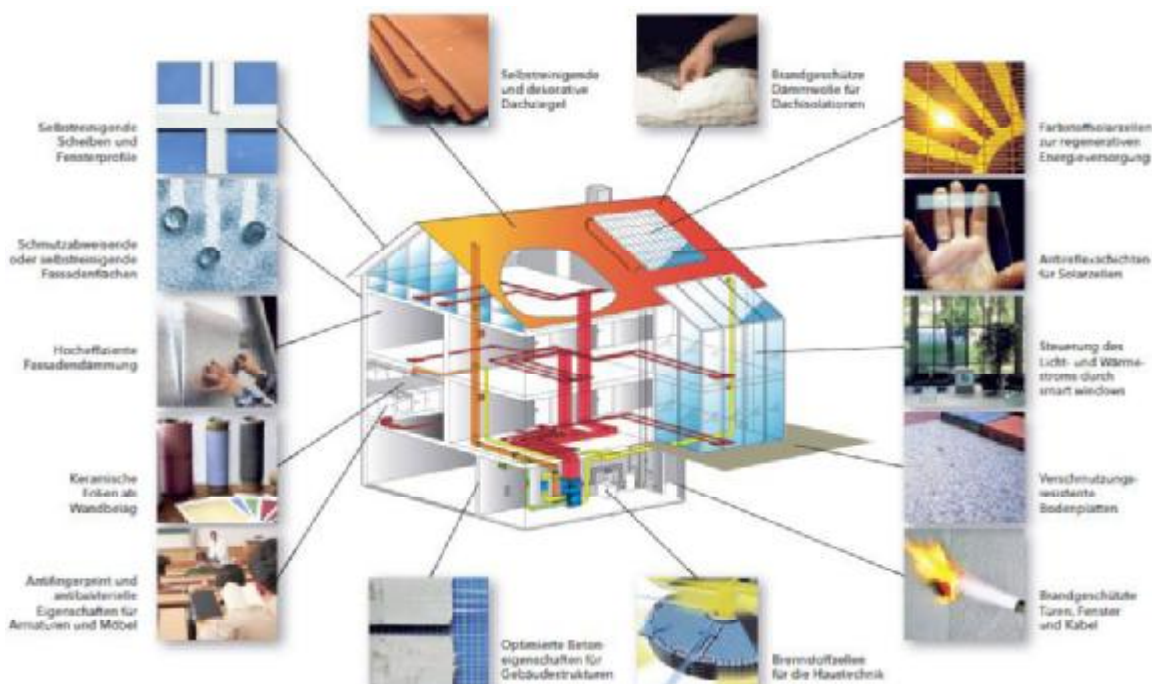
Det er dog stadig vanskeligt at afgøre, om en bestemt praksis eller de trufne beskyttelsesforanstaltninger er tilstrækkelige til at arbejde sikkert. Måleinstrumenter til at bestemme den faktiske eksponering på arbejdspladsen er kostbare, svære at betjene og giver kun begrænsede svar om de reelle eksponeringsniveauer. I dag ved man, at der på markedet fås forskellige typer personlige værnemidler, som kan beskytte mod nanopartikeleksponering. Informationer om personlige værnemidler findes i en undersøgelse, som OECD offentliggjorde for nylig. Den giver et komplet og sammenlignende overblik over mulighederne for hudbeskyttende udstyr og åndedrætsværn, der skal beskytte arbejderne mod at blive udsat for teknisk fremstillede nanomaterialer.¹⁰

¹⁰ OECD's publikationsserie om miljø, sundhed og sikkerhed om sikkerheden ved fremstillede nanomaterialer Nr. 12 (2009) ENV/JM/MONO(2009)17

3. Nanoprodukter på byggepladsen

3.1 Indledning

Den samlede markedsandel for nanoprodukter i byggebranchen er ikke ret stor og forventes anvendt i nicheområder¹¹. Men andelen forventes at vokse i den nærmeste fremtid¹², og det forventes, at nanopartikler spiller en vigtige rolle som selve grundlaget for materialedesign, -udvikling og -produktion til byggebranchen¹³. Allerede nu kan nanoprodukter i princippet findes i næsten enhver del af et almindeligt hus eller bygning (se figur 5).



Figur 5. Skematisk oversigt over et typisk hus i dag med markering af, hvor nanoprodukterne kan findes¹⁴.

Anførte nanoprodukter i besvarelsen af 2009-undersøgelsen omfattede hovedsagelig cement og beton, coatings og isoleringsmaterialer. Man fandt, at de svarede ganske udmærket til de produkttyper, der blev fremhævet i dybdeinterviewene, hvilket viser, at coatings og cement- og betonmaterialer sandsynligvis udgør den største markedsandel af nanoprodukter i nutidens byggebranche, efterfulgt af isoleringsmaterialer. Det stemte også udmærket overens med resultaterne fra en omfattende faglitteratursøgning, der blev foretaget i forbindelse med denne rapport. Derfor prioriterede man at fokusere på cement- og betonmaterialer, coatings og isoleringsmaterialer. De nanopartikler, der oftest omtales i denne sammenhæng, er kulstoffluoridpolymere (CF-), titandioxid (TiO_2), zinkoxid (ZnO), silica (eller mikrosilica: SiO_2), sølv (Ag) og aluminiumoxid (Al_2O_3). Det er også værd at bemærke, at

¹¹ Personlig kommunikation

¹² Fra 20 millioner USD i 2007 til ~ 400 millioner USD inden udgangen af 2017; Freedonia Group Inc. *Nanotechnology in Construction* – Pub ID: FG1495107; 1. maj 2007

¹³ Dvs. Nanotechnology and Construction 2006; www.hessen-nanotech.de

¹⁴ Taget fra brochuren: "Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen" udgivet af HA Hessen Agentur 2007, kilder: Schrag GmbH VDI TZ

der ikke blev fundet tegn på, at kulstofnanorør (CNT, carbon nanotubes) blev anvendt i disse produkter, selv om mange publikationer tyder på vedvarende forskning og produktudvikling i denne retning.

CF-polymerer (carbon-fluorid) er teflonlignende molekyler, der påføres en overflade, så den bliver olie- og vandafvisende. Anvendes typisk på glas.

Titandioxid (TiO₂) absorberer UV-lys og bruges som et beskyttende lag mod UV-nedbrydning. Nogle former for TiO₂ er fotokatalytiske og katalyserer nedbrydningen af organisk forurening som alger, PAH'er (dvs. polyaromatiske kulbrinter), formaldehyd og NO_x, som påvirkes af UV-lys. Anvendes til næsten enhver overflade, der skal UV-beskyttes, gøres selvrensende eller hjælper med at mindske luftforurening.

Zinkoxid (ZnO) har lignende fotoaktive kendetegn som TiO₂ og kan bruges til lignende formål.

Mikrosilica (amorf SiO₂) komprimerer beton, gør det stærkere og mere holdbart under alkaliske forhold, såsom i havmiljøer. Det kan også tilsættes beton, hvor det stabiliserer fyldningsmaterialer som flyveaske, coatings, så de får en meget stærk matrix, eller bruges som ildhæmmer. Typisk anvendelse er UHPC (dvs. Ultra High Performance Concrete), ridseresistente coatings og brandsikkert glas.

Sølv (Ag) virker som baktericid og kan tilsættes alle materialer. I byggeri finder man det mest i coatings. Det er sølvionet, der dannes, når Ag opløses i vand, der er skyld i den antibakterielle aktivitet.

Aluminiumoxid (Al₂O₃) bruges i coatings til at virke sammen med bindematerialet og til at gøre coating meget ridseresistent.

3.2 Cement, beton og våd mørtel

For beton betyder kombinationen af en allerede eksisterende god egenskab, der fås til lav pris, en stor udfordring for enhver vellykket anvendelse af nanoteknologi¹⁵. Et af de områder, hvor nanoteknologi har vist sig meget værdifuld nu og i den nærmeste fremtid, er for undersøgelser af materialeegenskaber (og optimering via denne bedre forståelse)¹⁶.

Brugen af nanopartikler i cement- og betonmaterialer fokuserer på TiO₂ og mikrosilica. Begge tilsætningsstoffer bruges imidlertid i små mængder i et to-lags system og kun, når det virkelig er nødvendigt for egenskaberne, hvilket skyldes omkostningerne. Eksempler på produkter baseret på mikrosilica, som nu fås på markedet, er ChronoliaTM, AgiliaTM og DuctalTM fra Lafarge og EMACO[®]Nanocrete fra BASF¹⁷. Eksempler på fotokatalytisk cement er TioCem TX Active (Heidelberg Cement¹⁸), NanoGuardStone-Protect fra Nanogate AG¹⁹ og TX Arca og TX Aria (Italcementi), der produceres som binder for mange forskellige coatings til ydervægge, tunneler, betongulve, fortovsblokke, fliser, tagsten, vejmarkeringsmaling, betonpaneler, puds og cementmaling²⁰.

¹⁵ NICOM3, konferenceberetning 2009

¹⁶ Forskellige præsentationer og privat kommunikation med flere virksomheder og universitetsforskere på NICOM3, Prag 2009

¹⁷ Ifølge deres informationer var det oprindelige materiale faktisk mikrosilica, men sammenføjet med større partikler i produktionsprocessen.

¹⁸ Ifølge deres informationer er TiO₂ i dette produkt ikke i nanostørrelse, men lidt større: I området mikronstørrelse

¹⁹ <http://www.nanogate.de/en/>

²⁰ <http://www.italcementigroup.com/ENG/Italcementi+Group/>



Figur 6: Venstre: "EMACO" udbuddet af nanobeton. Til højre: Dio Padre Misericordioso i Rom, en af de oftest nævnte succeser for brugen af fotokatalytisk beton ved tilsættelse af TiO_2 . Materiale: TX Active (TX Arca) fra Italcementi gruppen.

Der er ikke fundet tegn på, at CNT-forstærket beton rent faktisk blev brugt. De anførte begrundelser er de høje omkostninger ved CNT, og besværet med at fordele det i en matrix. Undersøgelser af mulighederne for at anvende CNT i beton er ikke desto mindre et aktivt forskningsområde.

Eftersom kvalitetskravene er meget strenge, tager udvikling af materialer typisk 5-10 år. I den nærmeste fremtid forventes mikrosilicaområdet udviklet til stabilisering af beton, der indeholder en stor andel genbrugt beton¹⁵ og indkapslede tilsætningsstoffer til optimal finjustering af hærdningsprocessen.

3.3 Coatings og maling

Blandt alle nanoprodukter, der er indført i byggebranchen, har coatings og maling indtil nu tilsyneladende været bedst til at vinde sig en plads på markedet: *"Forudsat man finder nanoprodukter på en byggeplads, er chancen for at finde nanomaling eller -coatings langt den største"*^{21, 22}. Der er flest dekorative coatings, men der er også fundet særdeles effektive bygningscoatings såsom industrielle gulvcoatings. Nanoteknologien bruges i maling og coatings med følgende begrundelser:

1. nanopartikler virker bedre sammen med den underliggende overflade via større former, dybere gennemtrængning, forbedret dækning eller et bedre samspil mellem overflade og coating, så overfladedækningen bliver mere holdbar.
2. nanopartikler er transparente for synligt lys.
3. transparens åbner døren for helt nye tilsætningsstoffer og kendetegn i coatings, der ellers ikke er transparente, såsom ridse- eller UV-resistens, IR-absorption eller refleksion, brandhæmning, elektrisk ledende samt antibakterielle og selvrensende egenskaber.

De suppleres af nye coatingsystemer til næsten enhver overflade fra plast til stål. Inden for produktgruppen nanocoatings fokuseres der på antibakterielle coatings (tilsat TiO_2 , ZnO eller Ag), fotokatalytiske "selvrensende" coatings (TiO_2 eller ZnO), UV- og IR-reflekterende eller absorberende coatings (TiO_2 eller ZnO), brandhæmmende coatings (SiO_2) og ridseresistente coatings (SiO_2 eller Al_2O_3). Disse funktioner anvendes typisk til coatings til vægge (inde og ude), træfacader, glas og forskellige vejbelægninger.

²¹ Personlig kommunikation

²² <http://www.soci.org/Chemistry-and-Industry/Cnl-Data/2009/16/Nanocoatings-incognito>

Fotokatalytisk, antibakteriel og selvrensende vægmaling

Nanovægmaling sælges for det meste for de fotokatalytiske, antibakterielle eller selvrensende egenskaber. Eksempler på selvrensende fotokatalytiske coatings er Arctic Snow Professional Interior Paint fra Arctic paint LTD (TiO_2), Cloucryl fra Alfred Clouth Lack-fabrik GmbH&Co KG²³ (ZnO) og Amphisilan fra Caparol²⁴. Et eksempel på en antibakteriel coating, baseret på nano-Ag, er Bioni Hygienic fra Bioni CS GmbH (se også Figur 7)²⁵. En coating, der er nem at rense, og som afviser både vand og olie, er Fluowet ETC100 (baseret på CF-polymerer fra Clariant).



Figur 7. Mikrobe-hæmmende vægcoating med sølvpartikler i nanostørrelse bruges på klinikker og i hospitaler

Nanocoatings til træoverflader

Nanocoatings til træprodukter udvikles til vægge og facader (udvendigt), men også til parketgulve og møbler (indvendigt) og fokuserer på at afvise vand (og i mindre omfang olie), ridseresistens og UV-beskyttelse. Selv om der er adskillige produkter på markedet, er der skepsis om især holdbarheden af vand- og UV-beskyttelsescoatings, hvilket skyldes kvaliteten af nogle af produkterne i første generation²⁶. Det betyder, at det er vanskeligt for de nye coatings at bevise deres værd, og der er meget få eksempler på virkelig anvendelse på byggepladsen.

BYK Additives and Instruments²⁷ er et eksempel på en virksomhed, der reklamerer med en ny generation af UV-beskyttende coatings. De kan være baserede på organiske UV-absorberende stoffer²⁸ eller metaloxiderne ZnO og CeO_2 . TiO_2 bruges mindre, hvilket begrundes med transparens og fotokatalytisk aktivitet.

Eksempler på særdeles ridseresistente trælakker, der indeholder nano- SiO_2 , er Bindzil CC30 (Baril Coatings), Nanobyk 3650 (BYK Additives and Instruments) og Pall-X Nano (Pallmann). Nanobyk 3600 (BYK Additives and Instruments) er et eksempel på en meget ridseresistent coating, der er baseret på tilsatte Al_2O_3 partikler i nanostørrelse.

I modsætning til eksterne slidfaktorer, som UV eller ridser, er en del af træets egenskaber en udblødning af komplekse kemikalier som garvesyre, der med tiden kan misfarve træets overflade. Ved at behandle træoverfladen med en coating, der indeholder nanoler (dvs. hydrotalcit $\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12}\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Nuplex), kan denne proces forsinkes. Produkter inden for dette område produceres også af BYK.

²³ http://www.clou.de/frontend_live/start.cfm

²⁴ Indeholder mikroskopisk mængde TiO_2 af omkostningsgrunde, men nano- SiO_2 for at opnå god ridseresistens.

²⁵ <http://www.bioni.de/index.php?lang=en>

²⁶ Personlig kommunikation med forskellige belægningsproducenter og folk fra træbranchen

²⁷ <http://www.byk.com>

²⁸ f.eks. hydroxyphenylbenzotriazol, hydroxybenzophenon, hydroxyphenyl-S-thiazin eller oxalsyreanilid

Nanocoatings, der beskytter træ mod vand eller olie, er f.eks. 2937 GORI Professional Transparent, der markedsføres af Dyrup Denmark²⁹, Percenta Nano Wood & Stone Sealant³⁰ (beskyttelse af træ- og stenmaterialer mod vand og olie, formentlig baseret på CF-polymerer), Pro-Sil 80 fra NanoCer³¹ og Nanowood fra Nanoprotect³². Men nogle af disse coatings er baseret på "*miceler*" af fedt i nanostørrelse i vand. Selv om de produceres med nanoteknologi, må miceler ikke betragtes som nanopartikler, og derfor må belægningerne ikke kaldes nanocoatings.

Nanocoatings til glas

Ud over selvrensende, fotokatalytiske, varmeresistente, antireflekterende og dughæmmende coatings til glas, sker der interessante udviklinger på området med indendørs klimaregulering (blokering eller infrarødt og synligt lys). Der findes både (re)aktive og passive løsninger. Passive løsninger består af tynde film, der virker permanent³³. Aktive indendørs klimareguleringsløsninger gør brug af termokromiske, fotokromiske eller elektrokromiske teknologier, der reagerer ved bestemte temperaturer, lysintensiteter eller tilført strømspænding ved at ændre absorptionen til infrarødt lys, så bygningen holdes kølig. Sidstnævnte er det eneste, der kan reguleres manuelt. Ved at aktivere strømspænding over glasset via en enkel berøring af noget, der svarer til en lyskontakt, bliver en coating af tungstenoxid på glassets overflade mere uigennemsigtig, hvorved den absorberer mere infrarødt lys (se dvs. **figur 8**).



Figur 8. (venstre) Glasfacader til bygninger udgør et stort grundlag for nanoteknologiske innovationer i byggebranchen; (højre) elektrokromatisk glas.

3.4. Nanoteknologi og infrastruktur

På området bæredygtighed og kontrol med miljøforureningen undersøger FoU muligheden for at reducere luftforureningen fra trafikens udstødning via en TiO₂-aktiveret infrastruktur. Hertil er der udviklet produkter som NOxer³⁴ betonvejbælgingsblokke og KonwéClear³⁵, en cement-asfaltcoating (se **figur 9**). Forskellige virksomheder som ItalCementi og Heidelberg Cement producerer imidlertid materialer med denne type aktivitet i form af mursten, blokke, paneler, fliser og lydbarrierer.

²⁹ www.dyrup.com

³⁰ <http://en.percenta.com/nanotechnology-wood-stone-sealing.php>

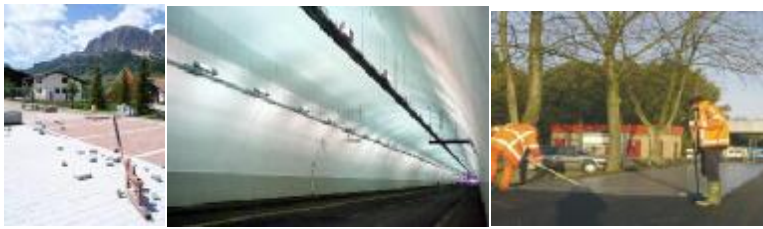
³¹ <http://www.intelcoats.com/nanop%20Indnanocer%20engl.html>

³² <http://www.nanoprotect.co.uk/wood-protection.html>

³³ Eksempler på virksomheder, der reklamerer med dem, er Econtrol®-Glas GmbH & Co, 3M og Saint-Gobain

³⁴ <http://www.eurovia.com/en/produit/136.aspx>

³⁵ <http://hbo-kennisbank.uvt.nl/cgi/av/show.cgi?fid=3698>



Figur 9. Fra venstre til højre: Et fortov i Japan belagt med NOXer®, TX Aria vejbelægningsblokke og tunnel-coating (Italcementi), en vej med KonwéClear (Bouwend Nederland Podium 22, 14. dec. 2006).

3.5. Isoleringsmaterialer

Blandt de nanoprodukter, der bruges i byggebranchen, er isoleringsmaterialer lidt usædvanlige, fordi disse materialer ofte slet ikke indeholder nanopartikler, men er lavet af en nanoskum (eller aerogel) af nanobobler eller nanohuller. Især set ud fra et arbejdsmæssigt sundhedsperspektiv er denne forskel meget vigtig, da den tyder på, at man ikke forventer nogen *nanospecifik* sundhedsrisiko fra arbejdet med disse materialer.

Nanoporøse isoleringsmaterialer som aerogel og bestemte polymer-nanoskumstoffer kan være 2-8 gange mere effektive end traditionelle isoleringsmaterialer. Aerogeler til termisk isolering er i dag oftest silica- eller kulstofbaserede, og ca. 96% af deres rumfang er luft³⁶. Et eksempel er Insulair® NP nanoporøse gelisoleringstæppe fra Insulcon B.V.³⁷ (figur 10), som er fleksibelt og specielt udformet til anvendelse ved ekstreme temperaturer.



Figur 10. Fra venstre til højre: Forbedret isolering via aerogelbaserede materialer; aerogel: Tømte nanoporer i SiO₂-matrix³⁸; Fleksible nanoporøse isoleringstæpper fra Insulcon B.V. (2x)

Andre produkter inden for dette område er Roof Acryl Nanotech (baseret på en nanostruktureret binder af fluor-polyurethan kombineret med et fotokatalytisk top lag af jernoxid)³⁹ fra BASF og Relius Benelux til varme- og kuldebeskyttelse af tage, PCI Silent fra BASF til lydisolering, Spaceloft (specielt designet til byggebranchen) og Pyrogel XT fra Aspen Aerogels⁴⁰, baseret på en nanoporøs silicastruktur, Pyrogel XTF og Pyrogel 2250 fra Aspen Aerogels er baseret på en nanoporøs silicastruktur, som er specielt designet til særligt krævende brandbeskyttelse, Cryogel Z fra Aspen Aerogels baseret på en nano-porøs silicastruktur, der er specielt designet til særligt krævende kuldeisolering.

³⁶ <http://en.wikipedia.org/wiki/Aerogel>

³⁷ http://www.insulcon.com/page/products/Microporous_and_Nanoporous_products.htm

³⁸ <http://www.spaceflightnow.com>

³⁹ <http://www.relius.nl/ViewDocument.asp?DocumentId=419&MenuId=90&MenuLabel=News>

⁴⁰ <http://www.aerogel.com/>

4. Sundhedsrisici

4.1 Indledning

Beviserne hober sig op for, at nanomaterialer kan være mere farlige for mennesker end deres ækvivalenter på mikroskalaen. Ordet "*kan*" skal dog stadigvæk understreges, eftersom vi på nuværende tidspunkt (2009) ved for lidt til at kunne generalisere. Det tilrådes derfor at vælge en forsigtig forebyggende tilgangsvinkel til arbejdet med disse materialer. De to hovedfaktorer, som påvirker nanomaterialernes nye toksicitet er *størrelse* og *form*.

På grund af nanopartiklernes små dimensioner (enten 2-dimensionale, nanostave, eller 3-dimensionale, nanopartikler), opfører deres elektroniske egenskaber sig anderledes, hvilket fremgår af deres kemiske reaktionsevne, som bliver mere aggressiv over for menneskekroppens normale funktioner. Flere af de undersøgte nanomaterialer giver f.eks. mere udpræget betændelse (via en mekanisme, som kaldes oxidativ stress), de samler eller binder sig mere effektivt til dele af menneskekroppen, så de ikke kan fungere, som de skal. På grund af den meget lille størrelse er deres overfladeareal desuden forstørret temmelig meget, hvad angår deres partikelrumfang (og masse), hvilket gør dem betydeligt mere reaktive pr. masseenhed.

Den mindre størrelse og ændringen af de elektroniske egenskaber påvirker også deres fysiske adfærd. For at nævne nogle få eksempler:

- Nanopartikler kan være så små, at de opfører sig som gasarter,
- Nanopartikler kan være så små, at de trænger længere ind i lungerne og lettere optages i blodbanen,
- I modsætning til de fleste andre kemiske stoffer kan de optages via det nasale nervesystem og "let" transporteres til menneskets hjerne⁴¹,
- Nogle nanopartikler kan muligvis passere gennem placentaen og nå frem til fosteret⁴²,
- På grund af deres størrelse og overfladeegenskaber kan de nå frem til steder (celler, organer) i menneskekroppen, som ellers har været godt beskyttet mod en sådan indtrængning af større former,
- Og på grund af deres størrelse og overfladeegenskaber gennemtrænger de lettere menneskets hud end de større former, især hvis huden er en smule skadet (ødelagt, tør, solbrændt, nedslidt).

Ud over størrelsen, spiller nanopartiklernes specifikke form en meget vigtig rolle i materialernes toksiske adfærd. Hvor partikler f.eks. kan være relativt ugiftige, kan nanostave opføre sig som rigtige nåle, der gennemtrænger menneskets hud. Det er imidlertid også observeret, at nanopartikler, som (på grund af deres form og overfladeegenskaber) kan overvinde specifikke barrierer i mennesket.

Andre faktorer, som har vist sig at spille en væsentlig rolle ved bestemmelsen af nanotypiske sundhedsrisici, er materialets samling og fortætning samt dets morfologi (amorf eller krystallinsk), der påvirker den faktiske risiko for at blive udsat for henholdsvis

⁴¹ Oberdorster G et al. 2004, Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalations-toxikologi* 16 (6-7): 437-445

⁴² Hagens WI et al. 2007, What do we (need to) know about the kinetic properties of nanoparticles in the body? *Regulatory Toxikologi and Pharmacology* 49: 217-229

dette materiale i nanostørrelse og intensiteten af materialets potentielle farlighed. Uanset deres iboende risiko, er nøglen til enhver sundhedsrisiko, som nanomaterialer eller -produkter udgør, selve risikoen for at blive udsat for dem.

4.2 Eksponeringsveje

Når der tales om eksponering for nanopartikler, vil først og fremmest bygningsarbejdere (næsten uden undtagelse) blive udsat for nanoprodukter. Det påvirker arbejderens faktiske eksponering for nanopartiklerne i produktet. Indånder en arbejder f.eks. støv, der indeholder nanopartikler, vil den eksponering, arbejderen rent faktisk udsættes for, afhænge af, hvor opløseligt støvet er. Er støvet uopløseligt, vil en del af nanopartiklerne forblive indlejrede i matrixen, og eksponering vil kun komme fra de nanopartikler, som blottes på overfladen af støvkornet. Er støvet imidlertid opløseligt, udsættes vedkommende for alle de nanopartikler, der findes i støvkornet.

Det ligger i de normale daglige aktiviteter, en bygningsarbejder udfører, og de produkter, de typisk arbejder med, at eksponering gennem indånding af nanomaterialer i støvform (fra savning, slibning, boring og maskinbehandling) eller aerosoler i forbindelse med spraymaling højst sandsynligt er den mest almindelige af alle sundhedsrisici. Hudgennemtrængning kan også spille en rolle (men meget mindre) og kan betyde noget, hvis større kropsdele er blottede⁴³. Eksponering gennem primær indtagelse forventes ikke at betyde noget, så længe der sørges for den personlige hygiejne. Eksponering via sekundær indtagelse (der medfører indånding af nanomaterialer gennem luftvejens naturlige rensningsproces) er ikke desto mindre en risiko, når noget indåndes.

Eksponering via indånding

Som generel tommelfingerregel for indånding af støv og aerosoler: Jo mindre partiklerne er, des dybere trænger de ned i lungerne, før de aflejres, og des alvorligere kan deres indvirkning på helbredet være. Typiske observerede sundhedsvirkninger er følgende (NEAA 2005 og referencer heri)⁴⁴:

- Betændelse i luftvejene
- Bronkitis
- Astma
- Hjerte-karproblemer

For nanopartikler gælder den tommelfingerregel dog ikke længere, og en væsentlig del af de indåndede nanopartikler aflejres i næsen⁴⁵. Med hensyn til videre transport i kroppen, er det set, at nogle af disse nanopartikler overføres til nervesystemet, hjernevævet og andre organer som blod, hjerte og lever samt knoglemarven, hvor de kan føre til betændelsestilstande med en kaskade af sekundære sundhedsvirkninger til følge (Oberdorster et al. 2004 og referencer heri; og for en nyere vurdering af emnet af Politis et

⁴³ Huden anses normalt for at være en god barriere mod partikler. Der stilles dog spørgsmål ved dette udsagn af nyere forskning, som tyder på, at specifikke nanopartikler gennemtrænger bøjret hud (f.eks. ved håndledet) eller intakt hudvæv afhængigt af deres kemiske art, størrelse, form og den matrix, hvori de kommer i berøring med huden (Muller-Quernheim, 2003, <http://www.orpha.net/data/patho/GB/uk-CBD.pdf>; Tinkle et al. 2003, *Environ. Health Perspect.* 111:1202-8; og Ryman-Rasmussen et al. 2006 *Toxicol. Sci.* 91:159-65).

⁴⁴ NEAA 2005. Particulate Matter: a Closer Look, www.rivm.nl, Hollands miljøagentur, E. Buijsman, J.P. Beck, L. van Bree, F.R. Cassee, R.B.A. Koelemeijer, J. Matthijsen, R. Thomas og K. Wieringa.

⁴⁵ ICRP 1995. International Kommission for Radiologisk beskyttelse

al. 2008⁴⁶), såsom irritation, betændelse, celledød, ekstraordinær cellevækst, DNA-skader og hormonforstyrrelser (Donaldson et al., 1996; Zang et al., 1998).

4.3 Sundheds- og sikkerhedsproblemer ved flere nanopartikler

Selv om der stadig er meget, vi ikke ved i relation til nanopartiklernes toksicitet, fortsætter forskningen, og de første resultater foreligger snart. CNT, TiO₂, SiO₂ og sølv er blandt de hidtil bedst undersøgte.

Individuelle toksicitetsprofiler

CNT fik for nylig stor opmærksomhed i medierne på grund af de toksiske studier, der viste de første tegn på asbestlignende adfærd i lungevævet⁴⁷. Det ses imidlertid, at toksiciteten afhænger af forholdet mellem længde og diameter, sammenklumpningsgraden, overfladens kendetegn, og om der er små urenheder af metalkatalysatorer⁴⁸.

TiO₂ kan forekomme i anatas eller rutil form, hvoraf den første (oftest brugt til fotokatalytiske formål) typisk er den mest giftige⁴⁹. Det Internationale Risikovurderingsråd konkluderer, at eksponering for TiO₂ i nanostørrelse på intakt hud sandsynligvis ikke påvirker menneskets sundhed⁵⁰, men trænger det igennem beskadiget hud, kan det gøre det⁵¹. En komplet oversigt over sundhedsvirkningerne er udgivet af NIOSH⁵². Nano-TiO₂ kan (under bestemte forhold) udvise genotoksisk potentiale og udviser betændelseseffekter ved indånding. Langtidseksponering til anatas TiO₂ viser endvidere tegn på kræftfremkaldende virkninger, DNA-skader og skader på et fosters centrale nervesystem, hvilket antyder mulige reprotoxiske virkninger på mennesker⁵³.

SiO₂ kan være amorf eller krystallinsk. Ifølge IRGC^{54,55}, er syntetisk produceret amorf nano-SiO₂ opløseligt i vand, ikke-giftigt og behandles normalt med samme menneskelige risikofaktor som amorf silicastøv uden nano. Men afhængigt af produktionsmetoden, kan amorf SiO₂ være forurenet med krystallinsk SiO₂, som, afhængigt af andelen af krystalinitet, påvirker hele prøvens giftighed. Krystallinsk silica er meget giftigt, og man ved, at det forårsager silikose ved arbejdsmæssig eksponering.

⁴⁶ Politis M, Pilinis C, Lekkas TD 2008. Ultra Fine Particles and Health Effects. Dangerous. Like no Other PM? Review and Analysis, *Global NEST Journal*. Vol 10(3), pp.439-452

⁴⁷ For eksempel: Poland CA, et al. 2008, *Nature Nanotechnology*, Vol 3, July 2008, p.223; Pacurari M et al 2008 *Environmental Health Perspectives*, Vol 116, Nr. 9, 1211; Kostaleros K 2008., *Nature Biotechnology*, Vol 26, Nr. 7, 774-776

⁴⁸ Pulskamp K et al 2006 *Toxicology Letters*, 168, 58-74; Wick P et al. 2007 *Toxicology Letters*, 168, 121-131

⁴⁹ Sayes CM et al 2006 *Toxicol. Sciences* 92(1), 174-185

⁵⁰ IRGC 2008. Risk Governance of Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics, ISBN 978-2-9700631-4-8

⁵¹ SCCP 2007. Opinion on the Safety of Nanomaterials in Cosmetic Products, adopted 18 December 2007 NIOSH Draft 2005. Evaluation of Health Hazards and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, Draft Nov. 22, 2005

⁵² NIOSH udkast 2005. Vurdering af sundhedsrisikoen og anbefalinger for professionel eksponering til titandioxid, udkast 22. nov. 2005

⁵³ Simizu M et al. 2009 *Part. Fibre. Toxicol.* Vol 6, 20; Bhattacharya K et al. 2008 *Part. Fibre. Toxicol.* Vol 6, 17

⁵⁴ International Risk Governance Council, 09-2008; ISBN 978-2-9700631-4-8

⁵⁵ Merget R et al. 2002 *Arch. Toxicol.* 75:625

Der vides kun lidt om **nanosølvs** toksicitet for mennesker. Wijnhoven *et al.* (2009)⁵⁶ vurderede den manglende viden og konkluderede, at selv om almindeligt sølv er relativt ugiftigt, kan indåndet eller slugt nano-Ag trænge ind i blodstrømmen og dukke op i centralnervesystemet, hvor det kan have bivirkninger, der kan være mere alvorlige end for almindeligt sølv. En af grundene til at forvente mere alvorlige virkninger er nanopartiklernes store overfladeareal, som medfører frigivelse af en relativt større koncentration af opløste (og reaktive) sølv-ioner.

Arbejds-mæssige eksponeringsrisici

Der er kun få informationer om vurdering af bygningsarbejders arbejds-mæssige eksponering til nanopartikler. Eksponering for nanoprodukter via indånding af støv eller aerosoler er i en vis udstrækning indlysende. Vurdering af eksponeringsrisici ved håndtering eller maskinbehandling af nanoprodukter er dog langt mindre indlysende. Nogle første antydninger findes i det arbejde, som Vorbau *et al.* (2009), Koponen *et al.* (2009) og Kaegi *et al.* (2008)⁵⁷ har udført. Den første undersøgelse viste, at tilsætning af nanopartikler i en coating ikke fører til øget slid på den resulterende coatingsfilm. Den anden undersøgelse viste, at slibning ikke danner individuelle nanopartikler fra de undersøgte coatings (selv om støvstørrelsen påvirkes i området mikronstørrelse), og i modsætning hertil præger ultrafine partikler fra slibemaskinen emissionen af partikler <50 nm. Den tredje undersøgelse tyder ligeledes på, at nano-TiO₂ ikke slipper ud fra en tør coating, men kommer ud i miljøet, når den "skaller af" sammen med bindematerialet, når det slides af. Disse første resultater i denne retning ser lovende ud på den måde, at ingen nanopartikler blev frigivet *bare sådan uden videre*. Det arbejde, der er gjort om dette emne, er dog stadig for begrænset til at drage flere konklusioner om eksponeringsrisici fra nanopartikler, der skyldes bearbejdning af nanoprodukter i det hele taget. Der er heller ikke tilstrækkelig viden til at ekstrapolere resultaterne fra Koponen, Vorbau og Kaegi til at vurdere eksponeringsrisici for andre typer nanopartikler end dem, der blev undersøgt.

4.4 Mulige tilgangsvinkler til sikker brug af nanoprodukter

Organisering af en sikker arbejdsplads kræver viden om nanopartiklernes mulige farlighed og deres adfærd, når der anvendes produkter, de indgår i. Som allerede nævnt, er den aktuelle viden om nanopartiklernes toksikologiske egenskaber (anno 2009) imidlertid ret begrænset. Det samme gælder for nanopartiklernes mulige frigivelse fra nanoprodukter, når de er i brug, rengøres eller vedligeholdes. Det vanskeliggør pålidelig risikovurdering.

Ikke desto mindre er brugen af nanoprodukter en realitet i byggebranchen og må forventes at vokse fremover. Det taler for en ansvarlig tilgangsvinkel, hvilket vi kan lære af den europæiske debat om nanoteknologier⁵⁸. Tilgangsvinklen baseret på forsigtighed, der blev drøftet, kan forklares som en strategi, der arbejder med usikkerhedsmomenterne på en vagtsom, omhyggelig, fornuftig og gennemskuelig måde, der skal implementeres i

⁵⁶ Wijnhoven SWP *et al.* 2009 *Nanotoxicology*, 1-30

⁵⁷ Vorbau M *et al.* 2009 *Aerosol Science* 40:209-217; Koponen IK *et al.* 2009 *Journal of Physics Conference Series*, 151, 012048; Kaegi R *et al.* 2008. *Environ. Pollut.* doi:10.1016/j.envpol.2008.08.004

⁵⁸ Se især rådgivningsrapporten fra det hollandske socioøkonomiske råd: *"Nanoparticles in the Workplace, health and safety precautions"*, 2009 Sociaal Economische Raad, Den Haag Netherlands. Dele af den foreslåede forrebyggende tilgangsvinkel er baseret på denne rapport.

forbindelse med med arbejdsmiljøpolitikken (arbejdspladsvurdering og den tilhørende handlingsplan). Denne strategi lyder kort sagt således (se også tabel 2).

Fokus på aktiviteter med første prioritet

Som en praktisk hjælp til virksomhederne foretrækkes det, at der udvikles god praksis for de arbejdspladser, hvor man kan blive udsat for nanopartikler. Kategorisering af en nanopartikel i henhold til dens tilknyttede risiko kan være nyttig for at afgøre hvilke aktiviteter, der skal fokuseres på, og hvor strenge forholdsregler, der skal iværksættes. Et enkelt system inddelt i tre kategorier (med faldende forventet risiko fra I til III) kan bruges som udgangspunkt⁵⁹:

- I Fibrøse, uopløselige nanopartikler (længde > 5 µm).
- II Nanopartikler, man ved er kræftfremkaldende, mutagene, astmafremkaldende eller reproduktionsskadelige, i deres molekylære eller større partikelform.
- III. Uopløselige eller dårligt opløselige nanopartikler (som ikke tilhører ovenstående kategorier).

Den generelle anbefaling er, at man skal undgå eksponering via indånding eller berøring med huden. For byggebranchen er de prioriterede aktiviteter slibning, boring, blanding, maskinbehandling, skæring, fræsning og spraying af nanomaterialer og produkter, såvel som

Tabel 2. Byggesten for en forebyggende tilgang

Byggesten for en forebyggende tilgang
<ul style="list-style-type: none">● Ingen data --- ingen eksponering<ul style="list-style-type: none">- Forebyg eksponering i henhold til de arbejdsmiljømæssige forebyggelsesprincipper (herunder eventuel substitution af potentielt meget farlige nanopartikler)● Notificering (foretages af producenter og leverandører) om nanoprodukters sammensætning<ul style="list-style-type: none">- Deklaration om produktets nanoindhold gennem hele produktionskæden- Deklaration om produkters nanoindhold samles et centralt administrationssted i form af en database● Eksponeringsregistrering (foretages af arbejdspladsen)<ul style="list-style-type: none">- Registrering af nanofibre og CMRS-nanomaterialer, svarende til registreringen af kræftfremkaldende stoffer- Registrering af andre uopløselige nanomaterialer, svarende til registreringen af reprotoksiske stoffer● Gennemskuelig risikokommunikation<ul style="list-style-type: none">- Informationer på MSDS om kendte nanorisici, -håndtering og manglende viden- Krav om kemisk sikkerhedsrapport (REACH) for stoffer >1 ton/år/virksomhed● Fastsættelse af nano-grænseværdier eller nanoreferenceværdier<ul style="list-style-type: none">- For nanopartikler, der muligvis frigives på byggepladsen

rengøring af arbejdspladsen og brugt udstyr. For at identificere forholdsregler og forhindre eksponering kan de klassiske forebyggelsesprincipper, anvendt til at tage hånd om nanopartikler, benyttes.

⁵⁹ BSI 2007 (31. december), "Public Document" PD 6694-2:2007, "Nanotechnologies -- Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials". I dette dokument indgår en fjerde kategori: opløselige nanopartikler. Eftersom der især fokuseres på uopløselige nanopartikler er denne kategori dog udeladt her.

Notificering af nanoprodukter

På baggrund af resultaterne af 2009-undersøgelsen og de gennemførte dybdeinterview konkluderes det, at de fleste bygningsarbejdere og -arbejdsgivere ikke er klar over, hvilke nanoprodukter, eller er velinformede om de nanoprodukter, de muligvis arbejder med. Så hvordan kan de lave en ordentlig risikovurdering?

Information er et første krav, og et stigende krav fra markedet går ind for at etablere en bestemt obligatorisk måde at notificere på (f.eks. i Holland (SER), Frankrig og Schweiz).

Notificering er især påkrævet for de mest farlige og risikable nanoprodukter. MSDS'er (Materiale Sikkerheds Data Sheets - sikkerhedsdatablade) kan bruges til at overføre disse informationer fra producenten til brugeren af produkterne. En opgave for arbejdsgivere og ansatte i bygningsbranchen kan være at henvise til disse initiativer og aktivt kræve præcise informationer om indholdet af nanopartikler i de anvendte produkter og oplysning om de forholdsregler, der skal træffes, for at undgå negative virkninger, der skyldes eksponering for nanopartikler.

Nano-referenceværdier

Under normale forhold viser de sundhedsbaserede arbejdsmæssige eksponeringsgrænser (OEL'er) den eksponeringsgrænse, hvorunder arbejdet anses for sikkert. Men for nanopartikler findes de ikke. *Nanoreferenceværdier* (NRV'er), defineret som forebyggende eksponeringsgrænser afledt af en forebyggende tilgangsvinkel, kan måske være en løsning, indtil der findes fastsatte grænseværdier. Et eksempel er de "*benchmark-eksponeringsniveauer*," der vises i tabel 3 (baseret på BSI 2007)⁵⁹

Tabel 3. Rangordning af uopløselige nanopartiklers risici og nanoreferenceværdier

Kat	Beskrivelse	NRV	Bemærkning
I.	Fibrøs; et højt længde/bredde forhold af uopløseligt nanomateriale ^a	0,01 fibre/ml	Analogt til asbestfibre
II	Ethvert nanomateriale, som allerede i sin molekylære eller større partikelform er klassificeret som kræftfremkaldende, mutagent, reproduktivt toksisk eller som sensibiliserende (CMR)	0,1 x eksisterende OEL for molekylær form eller større partikler	Den potentielt forøgede opløsningshastighed af disse materialer i nanopartikelform kan medføre øget biologisk tilgængelighed. Derfor indføres en sikkerhedsfaktor på 0,1.
III.	Uopløselige eller dårligt opløselige nanomaterialer og ikke i kategorien fiberholdige eller CMRS-partikler	0,066 x eksisterende OEL for molekylær form eller større partikler	Analogt med NIOSH ⁶⁰ tilrådes en sikkerhedsfaktor på 0,066 (=15x lavere). En alternativt benchmarkniveau foreslås som: 20.000 partikler/ml, som skelnes fra partikkelkoncentrationen i det omgivende miljø.

^a En fiber defineres som en partikel med et længde/bredde forhold på >3:1 og en længde, der er større end 5000 nm.

Registrering af virksomheder og registrering af eksponeringer

En anden mulighed for at implementere en forebyggende tilgangsvinkel foreslås af det hollandske SER og er oprettelsen af et system til registrering af eksponeringer hos

⁶⁰ Baseret på den tilgang, der er beskrevet af NIOSH for uopløseligt nano-TiO₂: NIOSH 2005, Draft NIOSH current intelligence bulletin: "Evaluation of Health Hazard and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide", 22 November 2005

virksomheder, der arbejder med nanoproducter, som indeholder de farligste nanopartikler (dvs. kategori I og II). For bygningsarbejderen på stedet vil det være vanskeligt at bedømme om og under hvilke omstændigheder, overvågningen af sundheds- og sikkerhedsrisici er hensigtsmæssigt og nyttigt. Hvor der mangler viden, foreslås det, at eksponeringsregisteret skal registrere hvem (dvs. hvilke ansatte), der (muligvis) har været udsat for eksponering over for hvad (dvs. hvilke nanopartikler), såvel som hvornår (dvs. i hvilket tidsrum) og hvor (dvs. under hvilke omstændigheder) i et system, der kan udformes på linje med den aktuelle praksis for asbestagtige stoffer og CMR-stoffer. Denne type registrering kan passe godt ind i de metoder, der bruges i små virksomheder, og med denne dokumentation ved hånden er det muligt at spore tilbage til dem, der muligvis er eksponerede, og vurdere hvor vidt, der har været eksponeret, såfremt et bestemt nanomateriale fremover måtte vise sig at være farligt, eller man kommer ud for en bestemt helbredseffekt.

"Control Banding"

En anden måde til at håndtere usikre faremomenter i et givent arbejdsmiljø og aktivitet, og der vurdere de foreliggende potentielle risici på en pragmatisk og forebyggende måde, er at bruge et såkaldt værktøj til "control banding" (CB). Der findes forskellige CB'er, som bruges af små virksomheder overalt i verden (se Tischer et al. 2009 og referencer heri⁶¹). CB anbefaler at tage generelle forebyggende forholdsregler i relation til materialets farlighed, hvor støvet det er, og nanokendetegn såsom nanomaterialernes størrelse, form og overfladens reaktionsevne, hvor meget materiale, der er brugt, og sandsynligheden for eksponering. Et eksempel på sådan en CB-metode er udviklet af Paik et al. (2008)⁶².

⁶¹ Tischer M, Bredendiek-Kamper S, Poppek U, Packroff R 2009. How Safe is Control Banding? Integrated Evaluation by Comparing OELs with Measurement Data and Using Monte Carlo Simulation, *Ann Occup. Hyg.* Vol 53(5):449-462

⁶² Paik SY, Zalk DM, Swuste P. 2008. Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures. *Ann Occup. Hyg.* Vol 52(6):419-428

5. Muligheder for yderligere aktiviteter, der støtter en sikker arbejdsplads

I øjeblikket er der uvished om de sundhedsrisici, der indgår i at arbejde med, anvende eller maskinbearbejde nanoprodukter, og vi er først nu ved at begynde at forstå dem bedre. Det involverer selve nanopartiklernes sundheds- og sikkerhedsprofiler såvel som de faktiske risici for eksponering over for disse nanopartikler ved at arbejde med produktet. På grund af det større forhold mellem overflade og rumfang, nye og ukendte elektroniske egenskaber, anderledes transportkinetik og biologisk skæbne samt ændret kemisk reaktionsevne, der er observeret i flere nanopartikler, sammenlignet med deres makroskopiske modermateriale, er der rejst mistanke om, at nanopartikler kan involvere hidtil uforudsigelige og muligvis alvorlige sundhedsrisici. Det vanskeliggør en ordentlig risikovurdering og -håndtering, og til dato er der ikke udviklet noget adfærdskodeks eller god praksis for byggebranchen til at hjælpe med at klare disse ukendte aspekter. Ud fra hvad vi ved om at arbejde med (farlige) kemikalier, kan der ikke desto mindre udarbejdes forebyggende forholdsregler, så vi på ansvarlig vis kan håndtere de endnu ukendte faktorer, der er forbundet med nanoprodukternes sundhedsrisici. Denne strategi betegnes generelt som den forebyggende tilgangsvinkel. Et udgangspunkt for denne tilgangsvinkel er at forhindre eksponering over for nanopartikler ved at anvende de arbejdsmiljømæssige forebyggelsesprincipper. Når eksponering forhindres effektivt (i tilfælde af utilstrækkelige data om faren), er dette på linje med REACH princippet: *Ingen data--- intet marked*. Inden for rammerne af en forebyggende tilgangsvinkel præget af forsigtighed foreslås følgende byggesten til at støtte en sikker arbejdsplads:

- Ingen data --- ingen eksponering
 - Forebyg eksponering i henhold til de arbejdsmiljømæssige forebyggelsesprincipper (herunder eventuel substitution af potentielt meget farlige nanopartikler)
- Notificering (foretages af producenter og leverandører) om nanoprodukters sammensætning
 - Deklaration om produktets nanoindhold gennem hele produktionskæden
 - Deklaration om produktets nanoindhold samles et centralt administrationssted i form af en database
- Eksponeringsregistrering (foretages af arbejdspladsen)
 - Registrering af nanofibre og CMRS-nanomaterialer, svarende til registreringen af kræftfremkaldende stoffer
 - Registrering af andre uopløselige nanomaterialer, svarende til registreringen af reprotoksiske stoffer
- Gennemskuelig risikokommunikation
 - Informationer på MSDS om kendte nanorisici, -håndtering og manglende viden
 - Krav om kemisk sikkerhedsrapport (REACH) for stoffer >1 ton/år/virksomhed
- Fastsættelse af nano-grænseværdier eller nanoreferenceværdier
 - For nanopartikler, der muligvis frigives på byggepladsen

Et problem, der også vanskeliggør en ordentlig risikovurdering, er, at de nanospecifikke informationer, der er tilgængelige for producenten af råmaterialet ofte går tabt undervejs i bruger-kæden, og kun en lille del af informationerne når reelt frem til arbejderne på byggepladsen. Denne situation kan være endnu værre for bygningsarbejdere, der deltager i (f.eks.) et renoveringsprojekt på en bygning, der indeholder nanoprodukter (på grund af

bygningsejerens uvidenhed). Myndighederne og leverandørerne af nanomaterialer spiller her en rolle for at ændre situationen.

Da det vil være en indviklet opgave, især for små og mellemstore virksomheder i byggebranchen, at skulle omsætte disse forebyggende forholdsregler på individuel basis, tilrådes det at tilvejebringe god arbejdspraksis for nogle udvalgte højt prioriterede aktiviteter, hvor eksponering kan forventes, såsom arbejde med nanocoatings og nanocement/-beton. Eksempler herpå er spraying af nanocoatings, håndtering af våd mørtel, der indeholder nanopartikler, maskinhåndtering af nanoprodukter (dvs. slibning eller boring) eller rengøring eller reparation af udstyr, der har været brugt til disse formål. Et værktøj, som kan hjælpe med at udvikle god praksis, er "Control Banding". Derved får man en rangordning af risikoen, som bygger på viden om netop den type nanopartikel, modermaterialet (makroskopisk form), arbejdspraksis og de aktuelle arbejdsforhold. Den mulige risikos alvorlighed og sandsynligheden for arbejdsbetinget eksponering vurderes og kobles til et risikoniveau, der går fra 1 til 4. Ud fra risikoniveauet foreslås en generel risikohåndteringsstrategi, som kan variere fra "*brug ventilation*" til "*vær iført personlig beskyttelse*" eller "*arbejd i et lukket miljø*".

Der findes direkte-visende udstyr, der kan måle eksponering til nanopartikler på arbejdspladsen, men det er typisk meget dyrt og vanskeligt at arbejde med. Der er udviklet transportable, mere brugervenlige og billigere apparater, som kommer på markedet inden længe, så et større publikum kan få fat i dette udstyr. Personlige eksponeringsmålinger af nanopartikler i byggebranchen er stadig meget begrænsede. De første målinger fra slibning af overflader malet med nanomaling registrerede ingen eksponering for teknisk fremstillede nanopartikler, men de er for begrænsede til, at der kan drages generelle konklusioner om eksponering til nanopartikler, der dannes på byggepladsen.