



Sammendrag

Nanoteknologi gir store muligheter innen materialteknologi, energi, elektronikk og medisin

Nanoteknologi har svært variert anvendelse, fra bestanddeler i materialer til avanserte apparater. Blant bruksområdene finner vi UV-filtre i solkrem, katalysatorer i biler, raskere datamaskiner og nye legemidler. Materialer basert på nanoteknologi finnes allerede i over 400 kommersielle produkter.

Stor satsing i Norge og utlandet

Nanoteknologi anses som sentralt for fremtidig verdiskapning, og er blant de forskningsområdene i verden som vokser raskest. I Forskningsmeldingen er nanoteknologi en hovedsatsing, og en arbeidsgruppe i Forskningsrådet foreslår at bevilgningene økes fra ca. 35 mill. kr i 2007 til 250 mill. kr i 2011. Det er også økende interesse i næringslivet, særlig innen prosessindustri, bioteknologi og elektronikk.

Nanoteknologi medfører usikkerhet

Vi vet lite om hvordan produkter fra nanoteknologi vil påvirke menneske, miljø og samfunn. Nettopp de unike egenskapene som etterspørres av forskere og industri kan tenkes å føre til miljø- og helseskade. Det finnes i dag ikke verktøy for å vurdere og håndtere risiko.

Bruk av nanoteknologi kan kreve ny regulering

Flere land diskuterer om dagens lover og regelverk er gode nok til å møte utfordringene nanoteknologien reiser. EUs nye kjemikalierregelverk REACH er en mulig modell for forvaltning, med krav om at stoffer registreres, evalueres og eventuelt godkjennes sak for sak. Usikkerhet om risiko og regelverk tilsier bruk av føre-var-prinsippet, men det er uenighet om hvordan prinsippet bør anvendes.

Hva er nanoteknologi?

Nanoteknologi består i å fremstille og bruke materialer, apparater og systemer på atom- og molekylnivå. Teknologien utnytter unike egenskaper som opptrer på denne skalaen.

Størrelsen teller

En nanometer (nm) er en milliarddel meter. Nanoteknologi arbeider på en skala fra 100 nm (som omtrent tilsvarer størrelsen på virus) ned til størrelsen på atomer, ca. 0,1 nm.

Nanoteknologi bruker to ulike tilnærminger, *topp-ned* og *bunn-opp*. Topp-ned innebærer å skjære ut strukturer fra et større emne. Elektronikkindustrien har brukt slike teknikker i

flere tiår, og produserer nå på nanoskalaen. Bunn-opp går mer radikalt til verks, ved å bygge nye strukturer. Å montere ulike atomer sammen er foreløpig for arbeidskrevende for industrielle formål, mer vanlig er syntese basert på kjemiske metoder.

Nanoteknologi bygger altså på at vi har flyttet grensene for hva vi kan fremstille *syntetisk*. Det er viktig å understreke at stoff forekommer *naturlig* på dette nivået. Gasser og væsker består av frie molekyler, og proteiner og organiske prosesser opptrer på denne skalaen.

Unike egenskaper

Når stoffer opptrer på nanonivå kan de ha helt andre egenskaper enn i større strukturer:

- Små strukturer har stor overflate i forhold til volum. Det betyr at en større andel av atomene finnes på overflaten, hvor de kan reagere med andre stoffer. Dette påvirker styrke og elektrisk ledningsevne.
- Ved den nedre del av nanoskalaen opptrer kvantemekaniske effekter, som kan påvirke stoffenes optiske, elektriske og magnetiske egenskaper.

Bruksområder

Nanoteknologi kan brukes i alt fra industrielle prosesser til forbrukerprodukter. Særlig aktuelt er anvendelser innen materialteknologi, energi og miljø, elektronikk og medisin.

Materialer, energi og miljø

Laboratorier fremstiller i dag nanorør som er sterkere enn noe annet materiale og samtidig lettere enn aluminium. Nanopartikler kan tilsettes andre materialer for å gi sterke og glatte overflater, mens nanoporøse strukturer gir god varmeisolasjon. Filtre og membraner basert på nanoteknologi kan brukes til rensing av vann og luft. Nanoteknologi kan også gi nye løsninger for lagring og konvertering av energi, blant annet i batterier og solceller.

På markedet: Kosmetikkbransjen har lansert solkrem med nanopartikler av titandioksid som stopper UV-stråler. Nanoteknologi brukes til å herde maling, og gi klær som avviser flekker. Nanomaterialer brukes også i katalysatorer i biler.

Nanoelektronikk

Informasjonsteknologien etterspør stadig mindre enheter. Elektronikkindustrien utvikler nå prosessorer og lagringseenheter på nanonivå. Små enheter bruker mindre energi og kan anvendes innen områder som sensorer for miljøkontroll og medisinsk diagnose.

På markedet: Intel har utviklet transistorer som måler 45 nm, omkring 1/5 av standarden i 1997. Dette gir ca. 100 ganger høyere datakraft.

Medisinske anvendelser

Nanoteknologi benyttes i både diagnose og behandling. Nanosensorer gjør det mulig å oppdage virus og skade, og medisin kan plasseres i nanokapsler som oppløses etter at medisinen er transportert dit den skal virke. I fremtiden er det aktuelt at syntetiske stoffer kombineres med proteiner og DNA for å gi nye typer legemidler. Dette omtales som bionanoteknologi.

På markedet: I følge rapporter fra USA er ca. 250 nanobaserte legemidler (medisiner, instrumenter eller tester) på markedet eller i klinisk testing. Dette er omkring 70 prosent flere enn i 2005.

På lang sikt

I framtiden er det aktuelt at nanoteknologi kan kombineres med og forsterke utviklingen innen informasjonsteknologi, bioteknologi og kognitiv vitenskap. Teknologien kan gi bedre overlevelses- og forsvarsutstyr til forsvaret, men også muligheter for nye kjemiske våpen.

Slike anvendelser kan reise etiske utfordringer. Nanobaserte sensorer kan gi sensitive opplysninger og forsterke personvernutfordringer – selv når de brukes med samtykke. Ny medisinsk diag-

Satsing i forskning og næringsliv

Nanoteknologiens fremgang er et resultat av massiv satsing på forskning og utvikling. USAs myndigheter satset over en mrd. dollar i 2006, og nanoteknologi er blant 10 prioriterte temaer i EUs 7. rammeprogram, med en anslått bevilgning på ca. 3,5 mrd. euro for 2007-2013.

I *Forskningsmeldingen* er nanoteknologi et av tre prioriterte teknologiområder. Arbeidsgruppen for *Nasjonal strategi for nanovitenskap og nanoteknologi* foreslår at det bevilges 250 mill. kr. i 2011 – mot ca. 35 mill. kr. i 2007.

Norske bedrifter forsker på nanoteknologi til bruk i solceller og annen energiteknologi. Malingsprodusenter utvikler nanomaterialer til sine produkter. Det har blitt etablert flere bedrifter innen nanoelektronikk og medisin.

nostikk kan skape økt avstand mellom hva som kan diagnostiseres og hva man vil/kan behandle. Det er også et dilemma at kunnskapsintensiv teknologi kan forsterke kløften mellom rike og fattige land.

Håndtering av usikkerhet

Vi har lite kunnskap om hva som skjer når produkter fra nanoteknologi havner i kroppen eller naturen, og det finnes få studier som har undersøkt dette. Men det er mistanke om at nettopp de egenskapene som gjør nanoteknologien interessant, også kan føre til skade:

- Strukturenes størrelse kan bety at de lettere trekkes dypt inn i lungene eller trenger gjennom huden og andre barrierer.
- Økt evne til å reagere med andre stoffer kan medføre skade på kroppsvev.

Dette betyr ikke at alle produkter basert på nanoteknologi bør vekke bekymring. Mange anvendelser vil være ufarlige. Risiko for skade avhenger både av om stoffet har egenskaper som kan være skadelige, og i hvilken grad menneske og miljø eksponeres.

Skadelige egenskaper

Mistanken om skadelige egenskaper retter seg i første rekke mot frie nanopartikler og nanorør. Det har lenge vært kjent at ultrafint partikler kan skade vev. Forskere har funnet syntetiske nanopartikler i lunger, lever, blod og hjerne etter inhalering eller injeksjon i dyr. Dette antyder at enkelte stoffer kan trenge gjennom blod-hjerne-barrieren. Studier viser også tegn til akkumulering i kroppen. Dette vekker bekymring fordi vi vet at akkumulering av fremmedstoffer kan gi helseskade.

En artikkel i *Toxicological Sciences* i februar 2006 gir et sammendrag av forskningen på helseeffekter av nanorør. Den viser at nanorør vil kunne trekkes dypt inn i lungene. Lange rør kan være motstandsdyktige mot nedbrytning og gi lignende skade som asbest.

Eksponering

Eksponering kan skje ved produksjon, bruk og utslipp. Arbeidere i laboratorier og industri er

særlig utsatt. Det er også grunn til ekstra oppmerksomhet om produkter som brukes direkte i eller på kroppen, som mat, medisin og kosmetikk. Men erfaring med blant annet PCB viser at også produkter som er tiltenkt innesluttet bruk kan havne i miljøet og finnes i mat og drikkevann.

Uforutsigbarhet

Enkelte anvendelser vil være enkle å plassere som lavrisiko eller høyrisiko. Men hva med stoffene i gråsonen – hvor vi verken kjenner egenskapene eller eksponeringsveiene? Stoffet oppfører seg annerledes i naturen enn i laboratoriene. Ofte mangler vi kunnskap om langsiktige konsekvenser i næringskjedene, om nedbrytningsprodukter og deres effekter, og om samvirkning mellom ulike stoffer. Historien om asbest viser problemet ved å anta at fravær av bevis for skade er ensbetydende med bevis for fravær av skade.

Ulike føre-var-strategier

Føre-var-prinsippet legger vekt på at fravær av bevis ikke skal hindre tiltak ved trussel om alvorlig eller uopprettelig skade. Både Norge og EU anser dette som relevant for håndtering av usikkerhet. Prinsippet har blitt brukt i forvaltningen av genmodifiserte organismer (GMO) hvor EU i noen år praktiserte et *de facto* moratorium i påvente av økt kunnskap og et mer helhetlig regelverk. Dette er nå erstattet av et system med risikovurdering og godkjenning sak for sak.

Situasjonen for nanoteknologi har noen likhetstrekk, med mangelfull kunnskap og usikkerhet om regelverk. Kanadiske ETC-group har derfor foreslått et moratorium. Men teknologien er mangfoldig, og mange ønsker derfor en differensiert tilnærming som åpner for utvikling av lovende anvendelser. EUs veileder om bruk av føre-var-prinsippet krever at produkter med lik risiko håndteres likt (ikke-diskriminering), at det skal være samsvar mellom restriksjoner og risiko (proporsjonalitet), og vurdering av kost-nytte. Videre kreves at føre-var-tiltak blir revidert etter at man har søkt å redusere usikkerheten.

Politiske utfordringer

Det er liten tvil om at nanoteknologi gir store muligheter. For å utnytte dette potensialet er det nødvendig med strategisk satsing på forskning og utvikling. Men for å høste av en slik satsing kreves

det også at samfunnet håndterer den usikkerheten teknologien medfører.

Mer kunnskap om risiko

I en artikkel fra *Nature* i november 2006 advarer ledende forskere om at vi mangler elementære verktøy for å forstå og unngå risiko. Risikoforskning har lav prioritet når finansiering, teknologiutvikling og patenter står på spill. Det offentlige må derfor ta ansvar. Dette vil også bidra til kompetanse i forvaltningen.

I følge *St.meld. nr. 14 (2006-2007)* vil regjeringen øke forskningen på helse- og miljøeffekter ved nanomaterialer. *Nasjonal strategi for nanovitenskap og nanoteknologi* gir imidlertid lite forpliktende signaler om slik forskning.

Vurdering av regelverk

Flere land diskuterer om dagens lover og regelverk er egnet til å forvalte nanoteknologi. Diskusjonen dreier seg særlig om å beskytte helse og miljø ved bruk av nanomaterialer.

Kjemiske stoffer og materialer omfattes av sektorspesifikke lover for blant annet legemidler og mat, i tillegg til generelt lovverk om arbeidsmiljø, produktkontroll og forurensning. Norges regelverk er i stor grad felles med EU. Hvorvidt dette regelverket er egnet for nanomaterialer må avklares. Det finnes flere utfordringer:

1. Trengs det føre-var-tilnærminger utover de som hjemles i dag? Gjeldende reguleringer bygger på risikovurdering og -kontroll, men ved nanoteknologi kan mulighetene for dette være begrenset.
2. Legger lovverket til rette for differensiert regulering ut fra grad av risiko? En mulig modell for dette finnes i EUs kjemikaliedirektiv REACH, som krever at stoffer registreres, evalueres og eventuelt godkjennes sak for sak.
3. Vil enkelte nanomaterialer falle utenfor relevant regulering? REACHs krav om risikovurdering gjelder kun for stoffer som produseres/importeres utover ett tonn, og britiske vurderinger viser at slike grenseverdier kan være uegnede for nanomaterialer. Videre kan nanotekno-

Redaksjon

Jon Magnar Haugen, Tore Tennøe.

Abonnement

post@teknologiradet.no

Alle utgaver av *Fra rådet til tinget* kan leses på

www.teknologiradet.no

logi ofte bestå i å modifisere kjente stoffer. Dette kan endre stoffenes egenskaper, men det kan bli vanskelig å avgjøre om dette skal medføre egen risikovurdering og regulering.

4. Dekker regelverket alle aktuelle faser i produktenes livsløp?

Veiledning og tilsyn

Det kan i dag være uklart hvilke regler som gjelder for produksjon og bruk av nanomaterialer. Det er behov for økt tilsyn og veiledning om dette. Er for eksempel generelle krav om aktsomhetsplikt og miljøinformasjon innarbeidet?

Internasjonalt samarbeid

Internasjonal samordning av standarder for blant annet risikovurdering, samt felles registre over anvendelser og deres effekter, kan forenkle forvaltningen og lette handel. Felles regulering vil gi bedre beskyttelse av helse og miljø. REACH, FNs miljøkonvensjoner, og systemet for klassifisering og merking av kjemikalier (GHS), kan være nyttige verktøy. Det vil være viktig for norske myndigheter å følge arbeidet i blant annet EU og OECD for å sikre norske interesser og holdninger.

Åpenhet og dialog om nanoteknologi

I en situasjon med usikkerhet vil det være ulike oppfatninger om muligheter og begrensninger, og om behovet for regulering. Det er viktig at ulike deler av samfunnet involveres i slike refleksjoner. Uten medvirkning kan man oppleve mistillit og avvisning, og dette skader også næringen. I flere land er det derfor satt i gang prosesser for å involvere forskning, næringsliv, organisasjoner og allmennhet i en bred diskusjon om de muligheter og utfordringer nanoteknologi reiser.

Teknologirådet er et uavhengig, rådgivende organ for teknologivurdering, opprettet ved kgl. res. 30. april 1999, etter initiativ fra Stortinget. "Fra rådet til tinget" utgis av Teknologirådets sekretariat.

Ph. 522 Sentrum
0105 Oslo

Prinsensgate 18
Norway

T: +47 23 31 83 00
F: +47 23 31 83 01

www.teknologiradet.no
post@teknologiradet.no