

# HMS-utfordringer med nanomaterialer i arbeidsmiljøet

**Andreas Aune**

Helse, miljø og sikkerhet

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Rikke Bramming Jørgensen, IØT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse



# **HMS-utfordringer med nanomaterialer i arbeidsmiljøet**

## **Oppgavetekst:**

Målet med oppgaven er å undersøke hvordan norske virksomheter håndterer nanomaterialer på arbeidsplassen med hensyn til ivertakelse av arbeidstakernes helse.

## **Innhold:**

- Videreføring av litteraturstudiet påbegynt i fordypningsprosjektet.
- Datainnsamling i norske bedrifter: undersøke omfanget av bruken av nanomaterialer, hvilke HMS-utfordringer håndtering av nanomaterialer gir, og hvordan HMS-utfordringene håndteres.
- Diskusjon og analyse av innsamlede data for å identifisere HMS-utfordringer og muligheter til forbedring.
- Konklusjon.



## **Forord**

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse ved NTNU. Masteroppgaven ble skrevet i løpet av siste semester av det toårige masterprogrammet i Helse, miljø og sikkerhet.

Jeg vil takke veilederen min, Rikke Bramming Jørgensen, for god veiledning og gode råd.

Jeg vil også takke alle som har bidratt til oppgaven med informasjon og tips, alle deltakere i spørreundersøkelsen som utgjør datamaterialet i oppgaven, og en takk rettes til alle som har hjulpet meg med SPSS.

---

Andreas Aune

Trondheim, 11. juni 2015



# Summary

The objective of this Master Thesis has been to explore how nanomaterials are handled in Norwegian companies with respect to the health and safety of the workforce. The scale of nanomaterial use in Norwegian companies, relevant HSE challenges and how the challenges are managed in practice was also part of the objective.

The content of the Master Thesis consists of a literature research of the latest and most relevant publications for the topic, empirical data obtained from a questionnaire administered to relevant companies and their HSE responsible employee. The literature research provides an overview of relevant HSE challenges and feasible measures to manage the challenges at the workplace.

Results from the questionnaire consists of two separate parts. The first part was discussed and compared to findings from a similar questionnaire conducted by the Norwegian Labour Inspection Authority during 2010. Some of the findings are also compared to findings from an international study conducted in other countries. The second part of the results were discussed and analyzed with respect to exploring HSE challenges and how they are managed in the daily lives of Norwegian companies.

The results from the first part showed an increase in companies producing, importing, using or processing nanomaterials while at the same time a decrease in companies working with nanomaterial research and development were reported. An increase in different types of nanomaterials and volumes were reported, and indications of an increased potentially exposed workforce.

The second part of the results identified several HSE challenges relevant for the handling of nanomaterials at the workplace. The results showed how the companies manage some of the challenges while at the same time the analysis shed light on challenges that can be handled in a better way with different measures. The most important findings based on the results obtained from the questionnaire showed a severe lack of knowledge and use of national guidance documents which describes safe handling of nanomaterials. Overall there were indications that the tools applied to assess the risks associated with nanomaterials was of inadequate quality and not well suited for risk assessment of nanomaterials. A source of information on hazard, exposure and adequate personal protective equipment is safety data sheets (SDS). The results showed a lack of SDS with information on nanomaterials which can

be a problem when 92 % of the companies reported SDS as a source of information on hazard and exposure. Another important finding was the lack of use of adequate personal protective equipment (PPE). To reduce the exposure of nanomaterials, specific PPE is recommended. Some of the recommended PPE is respirators equipped with P3- or HEPA filtration and two layers of protective gloves. Approximately half of the companies reported use of such respirators and even less reported use of two layers of gloves. A possible explanation might be the above mentioned inadequacies concerning suitable risk assessment tools, SDS and the poor use of resources provided by the authorities.

Recommendations to make handling of nanomaterial as safe as possible for the workforce applies both to Norwegian companies as well as relevant authorities which aims to assist companies in their HSE challenges. For the companies a first step is to make better use of national guidelines, reports and resources provided by authorities and industries. While this information is readily available for everyone it still remains a challenge for the authorities to redistribute this information to the companies, as the findings in this report indicated. A recommendation for the authorities could be to arrange HSE campaigns in collaboration with industries/sectors to help spread the information to relevant companies. In general and with respect to HSE it seems feasible that companies and authorities alike should increase- and expand information and experience sharing in order to provide the best solutions and practices for handling nanomaterials at the workplace.



# Sammendrag

Formålet med masteroppgaven var å undersøke hvordan norske virksomheter håndterer nanomaterialer på arbeidsplassen med hensyn til ivaretagelse av arbeidstakernes helse. Delmålene bestod av å undersøke omfanget av bruken av nanomaterialer samt å identifisere HMS-utfordringer og hvordan de håndteres i praksis.

Innholdet i rapporten er bygd opp av litteratur bestående av det siste innen forskning relevant for temaet og innsamlede data fra en spørreundersøkelse med personer med ansvar for helse, miljø og sikkerhet i relevante virksomheter. Litteraturen belyser utfordringer med risikovurdering, informasjonskilder, tiltak og hvordan disse utfordringene håndteres i praksis.

Spørreundersøkelsens resultater er delt i to deler. Første del ble diskutert og sammenlignet med funn gjort i tidligere undersøkelser i norske virksomheter, og noen deler av undersøkelsen ble også sammenlignet med en lignende undersøkelse gjort i utenlandske virksomheter. Andre del av resultatet fra spørreundersøkelsen ble diskutert og analysert for å identifisere HMS-utfordringer og hvordan utfordringene håndteres i praksis.

Resultatet fra første del viste at det er flere virksomheter som produserer, importerer, bruker eller bearbeider nanomaterialer, og det var færre som rapporterte virksomhet innen forskning og utvikling. Videre ble det rapportert større bruksmengder, flere mulig eksponerte arbeidstakere og flere nye varianter av nanomaterialer.

Resultatet fra spørreundersøkelsens andre del belyste flere HMS-utfordringer og hvordan noen av de ble håndtert. De viktigste funnene var at nasjonale veiledninger og verktøy som skal bistå virksomheter med HMS-informasjon om nanomaterialer i liten grad er kjent og brukes, og har følgelig ikke nådd ut til relevante virksomheter. Det kan generelt sett tyde på at veiledninger og verktøy utviklet for å risikovurdere nanomaterialer i svært liten grad er kjent, og i enda mindre grad brukes. Andre utfordringer var begrensninger med sikkerhetsdatablader og informasjon om nanomaterialer, da kun litt over halvparten rapporterte at sikkerhetsdatablader inneholdt informasjon om nanomaterialer, selv om nesten alle (92 %) bruker de for å innhente informasjon om helsefarer, eksponering og hvordan de skal beskytte seg mot eksponering. Videre viste resultatet at type PVU anbefalt i forskning og i nasjonale veiledninger og verktøy, slik som åndedrettsvern med minst P3- eller HEPA-filter og to lag med hansker i liten grad brukes. En mulig årsak til at anbefalt PVU i liten grad brukes er de

nevnte manglene vedrørende risikovurdering av nanomaterialer og sikkerhetsdatablader, som videre kan være forårsaket av at Arbeidstilsynets- og lignende ressurser i liten grad brukes.

Et steg på veien som kan forbedre håndtering av HMS-utfordringer med nanomaterialer på arbeidsplassen er å utnytte tilgjengelige ressurser i større grad, slik som nasjonale veiledninger og verktøy. I tillegg må veiledningene og verktøyene videreformidles til relevante virksomheter på en bedre måte. Det kan tenkes at HMS-utfordringene kan håndteres bedre ved å styrke samarbeidet på tvers av virksomheter og myndigheter med hensyn til kunnskaps- og erfaringsutveksling, noe som vil gi mer informasjon av god kvalitet og større muligheter ved utarbeiding av nye veiledninger og dokumenter.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Introduksjon</b> .....	1
1.1	Bakgrunn .....	1
1.2	Formål.....	2
1.3	Hovedpunkter .....	2
<b>2</b>	<b>Metode</b> .....	3
2.1	Spørreskjema .....	3
2.2	Målgruppe/utvalg.....	5
2.3	Valg av analysemetoder.....	6
2.4	Litteratursøk.....	6
2.5	Oppbygging av oppgaven.....	6
<b>3</b>	<b>Nanomaterialer</b> .....	7
<b>4</b>	<b>Nanomaterialer i norske virksomheter</b> .....	8
4.1	Omfanget av nanomaterialer .....	8
4.2	Type nanomaterialer .....	10
<b>5</b>	<b>Nanomaterialer: HMS-aspekter og utfordringer</b> .....	13
5.1	Informasjonskilder og risikokommunikasjon på arbeidsplassen.....	13
5.1.1	Sikkerhetsdatablader .....	14
5.1.2	Eksposeringsscenarioer.....	16
5.1.3	Andre informasjonskilder.....	18
<b>6</b>	<b>Risikovurdering av nanomaterialer i praksis</b> .....	19
6.1	Verktøy og metoder for å risikovurdere nanomaterialer i virksomheten .....	20
6.2	Identifisere farer .....	21
6.3	Vurdere nanomaterialers helsefare .....	21
6.3.1	Opptak av nanomaterialer: relevante eksponeringsveier.....	23
6.3.2	Rapporterte helseeffekter .....	25
6.3.3	Helseeffekter oppsummert .....	35
6.4	Vurdere potensiell eksponering for nanomaterialer .....	36
6.4.1	Måling av nanomaterialer.....	39
<b>7</b>	<b>Tiltak</b> .....	41
7.1	Tiltakstrappa .....	41
7.2	Eliminasjon og substitusjon.....	42
7.3	Tekniske tiltak .....	43
7.4	Organisatoriske tiltak.....	44

7.5	Personlig verneutstyr .....	46
7.6	Rapporterte tiltak for kontroll og reduksjon av eksponering.....	49
<b>8</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>51</b>
8.1	Generelt om virksomhetene og nanomaterialkarakteristikker.....	51
8.2	Eksponeringskilder og tiltak.....	57
8.2.1	Arbeidsoppgaver som kan medføre eksponering for nanomaterialer .....	57
8.2.2	Personlig verneutstyr.....	58
8.2.3	Type personlig verneutstyr ved arbeid med nanomaterialer .....	60
8.2.4	Iverksatte og vurderte tiltak.....	61
8.2.5	Opplæring av ansatte .....	62
8.3	Risikovurdering .....	63
8.3.1	Virksomhetenes kjennskap til risikovurderingsverktøy for nanomaterialer .....	64
8.3.2	Hvilke verktøy brukes til å risikovurdere nanomaterialer.....	65
8.3.3	Årsaken til at noen verktøy er foretrukket .....	67
8.3.4	Informasjon om nanomaterialers potensielle helsefare og –eksponering .....	67
8.4	HMS-aspekter og nanomaterialer .....	68
8.5	Sammenligning av deler av resultatene .....	76
8.5.1	Nanomaterialer, bekymring for HMS-utfordringer og fokus på at det de ansatte jobber med nanomaterialer.....	76
8.5.2	Nanomaterialer og opplæring om beskyttelse mot eksponering .....	78
8.5.3	Informasjon til risikovurdering og nanomaterialer .....	79
8.5.4	Risikovurderingsverktøy og informasjonsinnhenting .....	80
8.5.5	Nanomaterialer og sikkerhetsdatablader .....	81
8.5.6	Nanomaterialer og kjennskap til potensielle helsefarer .....	82
8.6	Informasjon om HMS-aspekter og iverksatte tiltak .....	83
8.6.1	Virksomhetens opplevelse av at det finnes PVU tilpasset nanomaterialer og bruk av PVU 83	
8.6.2	Virksomhetens opplevelse av at det finnes PVU tilpasset nanomaterialer og informasjon i sikkerhetsdatablader.....	84
8.6.3	PVU og form/tilstand nanomaterialene forekommer i.....	84
8.6.4	Sammenligning av PVU og type nanomaterialer .....	85
8.6.5	Iverksatte tiltak og nanomaterialer .....	89
<b>9</b>	<b>Diskusjon</b> .....	<b>91</b>
9.1	Nanomaterialer i norske virksomheter .....	91
9.1.1	Type virksomheter, ansatte, bruksområde og omfanget av bruken.....	91
9.1.2	Nanomaterialer .....	93

9.1.3	Form/tilstand .....	93
9.1.4	Størrelsesorden .....	94
9.2	HMS-utfordringer og håndtering i praksis .....	94
9.2.1	Fokus på- og bekymring for at det arbeides med nanomaterialer .....	94
9.2.2	Eksponeeringskilder og tiltak.....	96
9.2.3	Tiltak og nanomaterialer .....	98
9.2.4	Personlig verneutstyr.....	100
9.2.5	Sikkerhetsdatablader .....	103
9.2.6	Risikovurdering.....	104
9.2.7	Arbeidstilsynets svartjeneste og produktregisteret.....	106
9.3	Metodediskusjon.....	107
9.3.1	Utvalg .....	107
9.3.2	Spørreskjemaet .....	107
9.3.3	Spørreundersøkelsens pålitelighet.....	108
<b>10</b>	<b>Muligheter til forbedring.....</b>	<b>108</b>
<b>11</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>110</b>
<b>12</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>111</b>

<b>i-ii</b>	.....	Summary
<b>iii-iv</b>	.....	Sammendrag
<b>v-vii</b>	.....	Innhold
<b>v-viii</b>	.....	Liste over figurer
<b>ix</b>	.....	Liste over tabeller
<b>x</b>	.....	Forkortelser
<b>xi</b>	.....	Definisjoner

- Vedlegg 1:** Informasjonsskriv
- Vedlegg 2:** Tilbakemelding fra Personvernombudet
- Vedlegg 3:** Risikovurderingsverktøy
- Vedlegg 4:** Eksponeeringsscenarioer
- Vedlegg 5:** Spørreskjema

## LISTE OVER FIGURER

<b>FIGUR 1:</b> BEGREPSHIERARKI FOR NANOMATERIALER. KILDE: (EC, 2014B).....	8
<b>FIGUR 2:</b> PIKTOGRAM NANOMATERIAL. ....	18
<b>FIGUR 3:</b> TRINN I EN RISIKOVURDERING. KILDE: (OPPL ET AL., 2003).....	19
<b>FIGUR 4:</b> NANOMATERIALER AVSATT I LUNGEBLÆRENE. KILDE: (DONALDSON ET AL., 2001)..	23
<b>FIGUR 5:</b> OPPBYGGING AV HUDEN. KILDE: (ENCHANTEDLEARNING). ....	24
<b>FIGUR 6:</b> FRIE-, AGGLOMERERTE- OG AGGREGERTE PARTIKLER. KILDE: (WALTER, U/Å).....	37
<b>FIGUR 7:</b> KILDEN, UTBREDELSERVEIEN OG MOTTAKER. <i>KILDE: (SÄÄMÄNEN, 2014)</i> .....	41
<b>FIGUR 8:</b> TILTAKSTRAPPA. KILDE: (NIOSH, 2015B).....	41
<b>FIGUR 9:</b> FILTRERINGSTEKNIKKER. ....	43
<b>FIGUR 10:</b> PRODUKSJON, IMPORT, BRUK OG BEARBEIDING AV NANOMATERIALER. ....	51
<b>FIGUR 11:</b> TOTALT ANTALL ANSATTE.....	54
<b>FIGUR 12:</b> ANTALL POTENSIELT EKSPONERTE. ....	54
<b>FIGUR 13:</b> OVERSIKT OVER NANOMATERIALER I NORSKE VIRKSOMHETER. ....	55
<b>FIGUR 14:</b> SIKKERHETS DATABLADER OG EKSPONERINGSSCENARIOER. ....	57
<b>FIGUR 15:</b> ARBEIDSGRAVER SOM KAN MEDFØRE EKSPONERING FOR NANOMATERIALER. ....	58
<b>FIGUR 16:</b> BRUK AV PVU FORDELT PÅ ULIKE NANOMATERIALER. ....	59
<b>FIGUR 17:</b> HVA SLAGS PVU BRUKES. ....	60
<b>FIGUR 18:</b> TYPE PVU SAMMENLIGNET MED NANOMATERIALENE SOM FOREKOMMER OFTEST I VIRKSOMHETENE. ....	61
<b>FIGUR 19:</b> IVERKSATTE OG VURDERTE TILTAK.....	62
<b>FIGUR 20:</b> VERKTØY FOR Å RISIKOVURDERE VANLIGE KJEMIKALIER. ....	63
<b>FIGUR 21:</b> KJENNSKAP TIL FORSKJELLIGE RISIKOVURDERINGSVERKTØY. ....	64
<b>FIGUR 22:</b> KJENNSKAP TIL «TRYGG HÅNDTERING AV NANOMATERIALER».....	65
<b>FIGUR 23:</b> BRUK AV «TRYGG HÅNDTERING AV NANOMATERIALER». ....	66
<b>FIGUR 24:</b> ÅRSAKSFAKTORER FOR VALG AV VERKTØY. ....	67
<b>FIGUR 25:</b> INFORMASJONSKILDER. ....	68
<b>FIGUR 26:</b> FOKUS PÅ AT DE ANSATTE ARBEIDER MED NANOMATERIALER. ....	68
<b>FIGUR 27:</b> ANSATTE OG HMS-KOORDINATOR/LEDELSENS BEKYMNING. ....	69
<b>FIGUR 28:</b> GRAD AV OPPLÆRING OM HELSEFARER OG BESKYTTELSE MOT EKSPONERING.....	70
<b>FIGUR 29:</b> HVOR UTFORDRENDE OPPLEVER VIRKSOMHETENE DET Å FINNE INFORMASJON FOR Å RISIKOVURDERE NANOMATERIALER. ....	70
<b>FIGUR 30:</b> KJENNSKAP TIL HELSEFARER OG KARTLEGGING AV EKSPONERINGSKILDER. ....	71
<b>FIGUR 31:</b> VIRKSOMHETENS OPPLEVELSE AV AT DET FINNES PVU TILPASSET NANOMATERIALER PÅ MARKEDET. ....	72
<b>FIGUR 32:</b> BALANSEN MELLOM HMS OG PRODUKSJON/UTVIKLING. ....	72
<b>FIGUR 33:</b> NANOMATERIALER OG KONKURRANSEFORTRINN. ....	73
<b>FIGUR 34:</b> HMS-ASPEKTER VED INNKJØP AV PRODUKSJONLINJER/PRODUKTER.....	73
<b>FIGUR 35:</b> INFORMASJON OM HÅNDTERING AV HMS-ASPEKTER.....	74
<b>FIGUR 36:</b> BRUK AV ARBEIDSTILSYNETS SVARTJENESTE. ....	74
<b>FIGUR 37:</b> REGISTRERING AV NANOMATERIALER I PRODUKTREGISTERET. ....	75

# LISTE OVER TABELLER

<b>TABELL 1:</b> ADMINISTRERING AV SPØRREUNDERSØKELSEN .....	5
<b>TABELL 2:</b> NANOTEKNOLOGISKE VIRKSOMHETER, POTENSIELT EKSPONERTE OG BRUKSMENGDER.....	9
<b>TABELL 3:</b> OVERSIKT NANOMATERIALER, FREMSTILLINGSMETODE OG BRUKSOMRÅDER. KILDE: (DONALDSON AND POLAND, 2012). .....	11
<b>TABELL 4:</b> POTENSIELLE HELSEEFFEKTER OG SYKDOM. KILDE: (BERGAMASCHI, 2012) .....	35
<b>TABELL 5:</b> AKTIVITETER SOM KAN MEDFØRE EKSPONERING. KILDE: (GNG).....	38
<b>TABELL 6:</b> FILTRERINGSKLASSER. KILDE: (ARBEIDSTILSYNET-539, 2007).....	47
<b>TABELL 7:</b> NANOMATERIALER OG RAPPORTERTE TILTAK.....	49
<b>TABELL 8:</b> ÅRSAKSFAKTORER. ....	51
<b>TABELL 9:</b> BRANSJER. ....	52
<b>TABELL 10:</b> BRUKSMÅTER. ....	52
<b>TABELL 11:</b> BRUKSOMRÅDER OG TENKT BRUKSOMRÅDE.....	53
<b>TABELL 12:</b> FORM OG STØRRELSSEFORDELING. ....	56
<b>TABELL 13:</b> RAPPORTERT BRUK AV PVU.....	59
<b>TABELL 14:</b> OPPLÆRING AV ANSATTE OM MULIG HELSEFARE OG –EKSPONERING.....	63
<b>TABELL 15:</b> NANOMATERIALER OG FOKUS.....	76
<b>TABELL 16:</b> NANOMATERIALER OG HMS-ANSVARLIGES BEKYMRING. ....	77
<b>TABELL 17:</b> NANOMATERIALER OG OPPLÆRING OM BESKYTTELSE MOT EKSPONERING.....	78
<b>TABELL 18:</b> NANOMATERIALER OG INFORMASJON TIL RISIKOVURDERING. ....	79
<b>TABELL 19:</b> VERKTØY FOR VANLIGE KJEMIKALIER OG UTFORDRINGER MED INFORMASJON TIL RISIKOVURDERING AV NANOMATERIALER. ....	80
<b>TABELL 20:</b> FORSKJELLIGE TYPER NANOMATERIALER OG SIKKERHETSATABLADER.....	81
<b>TABELL 21:</b> NANOMATERIALER OG KJENNSKAP TIL POTENSIELLE HELSEFARENER.....	82
<b>TABELL 22:</b> INFORMASJON OM HÅNDTERING AV HMS-ASPEKTER VED NANOMATERIALER OG IVERKSATTE TILTAK. ....	83
<b>TABELL 23:</b> BRUK AV PVU I FORHOLD TIL OPPLEVELSEN AV AT MARKEDET TILBYR PVU FOR NANOMATERIALER .....	84
<b>TABELL 24:</b> PVU TILPASSET Å REDUSERE EKSPONERING FOR NANOMATERIALER I FORHOLD TIL SIKKERHETSATABLADER. ....	84
<b>TABELL 25:</b> FORSKJELLIGE TYPER PVU OG FORMER NANOMATERIALENE FOREKOMMER I. ....	85
<b>TABELL 26:</b> SAMMENLIGNING AV FORSKJELLIGE NANOMATERIALER OG TYPE PVU SOM BRUKES. .....	86
<b>TABELL 27:</b> ARBEIDSOPPGAVER SOM KAN MEDFØRE EKSPONERING SAMMENLIGNET MED IVERKSATTE TILTAK. ....	88
<b>TABELL 28:</b> IVERKSATTE TILTAK FORDELT PÅ FORSKJELLIGE NANOMATERIALER.....	90

# Forkortelser

---

<b>APS</b>	Aerodynamic Particle Sizer
<b>CLP</b>	Klassifisering, merking og pakking/emballering
<b>CM(A)R</b>	Kreftfremkallende, mutagen, astmagen/allergi, reprotoksisk
<b>EM/TEM</b>	Transmission Electron Microscopy
<b>FFP</b>	Filtering facepiece
<b>FMPS</b>	Fast Mobility Particle Scanner
<b>ICP-MS</b>	Inductively coupled plasma mass spectrometry
<b>MPPS</b>	Most Penetrating Particle Size
<b>NIOSH</b>	The National Institute for Occupational Safety and Health
<b>NRV</b>	Nano Reference Value
<b>OPC</b>	Optical Particle Counter
<b>PVU</b>	Personlig verneutstyr
<b>REACH</b>	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

---



# Definisjoner

**Agglomerat:** en gruppe nanomaterialer som holdes sammen av relativt svake krefter, inkludert van der Waals krefter, elektrostatiske krefter og overflatespenning

**Aggregat:** heterogen partikkel hvor de forskjellige komponentene holdes sammen av kovalente bindinger (sterke krefter)

**Anatase:** en mineralform av titandioksid

**Apoptose:** naturlig celledød

**Beste praksis:** hvordan man trygt håndterer nanomaterialer under produksjon og bruk

**Bulk:** materialer i størrelsesordener  $> 100$  nm

**Cytotoksisitet:** giftig for celler

**Føre-var prinsippet:** begrep brukt om håndtering av manglende kunnskap og vitenskaplig usikkerhet

**Genotoksisitet:** egenskaper ved et stoff som kan skade genmaterialet

**Kandidatlista/SVHC:** stoffer som er svært miljøskadelige (PBT, vPvB), svært helseskadelige (kreftfremkallende, mutagene, reproduksjonsskadelige) eller tilsvarende egenskaper som ikke helt oppfyller de nevnte kravene

**Løselig/løselig:** stoffer er løselig i vann når løseligheten er  $> 100$  mg/l

**Nanopartikkel:** partikler med alle tre dimensjoner i størrelsesorden 1-100 nm

**Nanoreferanse-verdi:** tidsveid 8-timers gjennomsnittsverdi

**Nekrose:** celledød forårsaket av miljø. Det motsatte av apoptose

**Oksidativt stress:** ubalanse mellom frie radikaler og antioksidanter

**Rutil:** en mineralform av titandioksid

**Van der Waals krefter:** svake kjemiske bindinger karakterisert ved elektrostatiske tiltrekninger



# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Omfanget av nanomaterialer har siden 90-tallet gradvis økt, og har i dag mange bruksområder i forskjellige bransjer. Noen av bruksområdene er i bygg- og anleggsmaterialer, energi, miljø (vannrensing), næringsmidler og emballasje, kjemisk-, elektrisk-, og maskinindustri, IKT, medisin, bil- og marin industri samt forbrukerprodukter med videre (Nanowerk, u/å). En følge av dette er flere mulig eksponerte arbeidstakere. Eksponering for nanomaterialer kan oppstå i forskjellige arbeidsoppgaver, prosesser og i ulikt omfang, og kan potensielt være helsefarlig, men det er usikkert hvilken grad av risiko de utgjør, da nanomaterialer forekommer i mange forskjellige former, størrelsesordener og tilstander som kan påvirke eksponering og helsefare. Usikkerheten håndteres best ved å ta utgangspunkt i føre-var prinsippet og beste praksis med hensyn til å redusere potensiell eksponering og risiko til et minimum.

Både arbeidstakere så vel som HMS-ansvarlige og myndigheter berøres av HMS-utfordringene med håndtering av nanomaterialer på arbeidsplassen. Noen av utfordringene omfatter risikovurdering og tilhørende fare- og eksponeringsvurdering, informasjon om nanomaterialer og håndtering, og hvilke tiltak inkludert personlig verneutstyr (PVU) som er tilstrekkelig til å redusere eksponering, og hvordan dette kan videreformidles til relevante aktører på best mulig måte.

Det finnes ingen klar og tydelig oversikt over omfanget av nanomaterialer i norske virksomheter, men en kartlegging av produksjon, import og bruk av nanoteknologiske produkter i Norge er blitt gjennomført tidligere (Arbeidstilsynet, 2010). Resultatene fra undersøkelsen ga en indikasjon på omfanget av nanomaterialer i forskjellige arbeidsmiljø innen industri og FoU, hvilke typer nanomaterialer som fantes og i hvilke former og størrelsesordener de forekom i. I ettertid av denne kartleggingen er definisjonen på nanomaterialer blitt fornyet (EC, 2011) og omfatter nå flere typer nanomaterialer enn tidligere. Det kan derfor antas at type nanomaterialer og omfanget av bruken har økt.

## **1.2 Formål**

Målet med oppgaven er å undersøke hvordan norske virksomheter håndterer nanomaterialer på arbeidsplassen med hensyn til ivertakelse av arbeidstakernes helse.

## **1.3 Hovedpunkter**

1. Videreføring av litteraturstudiet påbegynt i fordypningsprosjektet.
2. Datainnsamling i norske bedrifter: undersøke omfanget av bruken av nanomaterialer, hvilke HMS-utfordringer håndtering av nanomaterialer gir, og hvordan HMS-utfordringene håndteres.
3. Diskusjon og analyse av innsamlede data for å identifisere HMS-utfordringer og muligheter til forbedring.
4. Konklusjon.

## 2 Metode

Denne masteroppgaven er en videreføring av litteraturstudiet som ble gjennomført høsten 2014. Litteraturstudiet tok for seg HMS-aspekter ved nanomaterialer. Hovedfokuset for litteraturstudiet var nanomaterialer i arbeidsmiljøet, og dette fokuset videreføres i masteroppgaven, men med fokus på norske virksomheter. På bakgrunn av funn i litteraturstudiet ble problemstillingen for masteroppgaven utarbeidet.

For å svare på problemstillingen ble det utarbeidet en nettbasert spørreundersøkelse. Spørreundersøkelsen er av typen «self-completion», det vil si at spørreundersøkelsen fullføres av den som svarer på spørsmålene uten intervensjon fra intervjuer/forsker (Bryman, 2012).

Alle deltakere til spørreundersøkelsen ble rekruttert via e-post. Invitasjonen til spørreundersøkelsen ble gjort ved direkte henvendelse til virksomhetene og med hjelp av mellompersoner som utførte rekrutteringen, eller bidro til å identifisere relevante deltakere.

### 2.1 Spørreskjema

Et spørreskjema kan tolkes både kvantitativt og kvalitativt avhengig av hvilke spørsmålstyper som anvendes i spørreskjemaet. Det skilles mellom lukkede og åpne spørsmål, hvor lukkede spørsmål muliggjør kvantitativ tolkning, og åpne spørsmål muliggjør en kvalitativ tolkning (Bryman, 2012). I denne masteroppgaven er spørreundersøkelsen i hovedsak karakterisert ved lukkede spørsmål. En av ulempene med spørreundersøkelser sammenlignet med intervjuer er lavere svarprosent. Og det må tas høyde for frafall i form av ikke-respons (personer som velger å ikke svare på spørsmålene), samt at det bør korrigeres for responser som har utelatt å svare på mange av spørsmålene, eller svar som gir tydelige tegn på at undersøkelsen ikke er tatt seriøst.

Svarprosenten er viktig for spørreundersøkelsens pålitelighet. Lav svarprosent vil i utgangspunktet svekke påliteligheten og øke usikkerheten til resultatene i undersøkelsen. Men dette er ikke et lineært forhold da populasjonen i undersøkelsen også vil ha noe å si for påliteligheten av resultatene. Regelen er at for å oppnå et mer pålitelig resultat må du for mindre populasjoner ha høyere svarprosent, mens for større populasjoner trenger du mindre svarprosent for å oppnå samme grad av pålitelighet, det vil si man kan ved å øke populasjonen redusere mulig «sampling error» (Bryman, 2012).

For denne oppgaven ble spørreundersøkelsen ble laget i verktøyet SelectSurvey. Svar som avgis registreres og lagres i SelectSurvey. Svarene på undersøkelsen hentes ut og analyseres med SPSS.

Det ble ikke ansett som mulig å oppnå uttømmende antall svaralternativer på flere av spørsmålene, og det ble derfor valgt å inkludere et «åpent felt» hvor respondentene kunne skrive selv for å supplere de øvrige svaralternativene.

Det må tas hensyn til at mange av de utvalgte virksomhetene var basert på antakelser om at de var relevante, det vil si at størrelsen på populasjonen var usikkert. I tillegg ble ca. halvparten av invitasjonene sendt ut via en mellomperson på vegne av meg, og de inviterte ble ikke sortert med tanke på relevans i forhold til undersøkelsen. Det vil derfor være naturlig å anta at mange av de inviterte virksomhetene valgte å ikke delta da de ikke var relevante for innholdet i spørreundersøkelsen.

Det ble gjort noen anbefalte tiltak for å øke sannsynligheten for høyere svarprosent i spørreundersøkelsen (Bryman, 2012):

- Informasjonsskriv med opplysninger om formål, hvorfor de er valgt til å delta samt at det ble presisert at spørreundersøkelsen er konfidensiell, slik at ingen enkeltpersoner eller –bedrifter kan gjenkjennes.
- Tydelig henvisning til hvilke personer som skal svare på undersøkelsen. Dette ble tydeliggjort både i selve e-post teksten og i informasjonsskrivet som ble sendt som vedlegg til invitasjonen.
- Følge opp utvalget ved å sende påminnelser om å svare på spørreundersøkelsen. Dette ble gjort to til tre ganger med ca. 1 uke mellom hver påminnelse for første pulje med invitasjoner.
- Redusert bruk av åpne spørsmål for å gjøre det enklere å svare samt at dette i tillegg er med på å minimere tiden det tar å gjennomføre spørreundersøkelsen.
- Spørsmål med rangerte svaralternativer (6-punkts skala) ble brukt i begrenset grad for å redusere frafall og «respondent fatigue».

## 2.2 Målgruppe/utvalg

En av utfordringene med spørreundersøkelser er at man ikke nødvendigvis vet hvem som har svart på spørsmålene (Bryman, 2012). Målgruppen for spørreundersøkelsen ble avgrenset til virksomheter som håndterer nanomaterialer eller –produkter på arbeidsplassen. Målgruppen ble ytterligere avgrenset til å kun gjelde personer med HMS-oppgaver eller –ansvar i de respektive virksomhetene. Det ble tydeliggjort i invitasjonen, informasjonsskrivet og i innledningen til spørreundersøkelsen hvem det var ønskelig at skulle svare på spørreundersøkelsen (vedlegg 1 & 5).

Respondentene ble delt opp i tre puljer fordelt på tre separate invitasjoner (tabell 1).

*Tabell 1: administrering av spørreundersøkelsen*

<b>Målgruppe: personer med HMS-oppgaver eller HMS-ansvar</b>			
Pulje	Antall utsendte e-poster	Utsendingsdag	Antall påminnelser
1	249	Mandag (9. mars)	2
2	1051	Mandag (16. mars)	1
3	Ca. 350	Mandag (16. mars)	2
Totalt antall utsendte invitasjoner: ca. 1 650			
Antall respondenter: 144			
Antall positive respondenter: 24			

Første pulje bestod av respondenter identifisert med hjelp fra Arbeidstilsynet, linjeforeningen for Nanoteknologi ved NTNU, Teknologirådet og data fra Produktinformasjonsbanken samt at enkelte virksomheter og kontaktpersoner ble identifisert gjennom metoden kalt snøballutvelgelse. Selv om snøballutvelgelse ikke er karakteristisk for kvantitativ forskning (Bryman, 2012), var det nyttig i denne oppgaven for å komme i kontakt med de riktige personene.

Andre pulje bestod av respondenter rekruttert via deres bransjeorganisasjon på vegne av meg. Det ble opprettet kontakt med bransjeorganisasjonen som videre sto for rekrutteringen.

Tredje pulje bestod av virksomheter identifisert på nettsiden til Norsk Industri (NorskIndustri).

### **2.3 Valg av analysemetoder**

Til å analysere resultatene fra spørreundersøkelsen ble det valgt å bruke frekvensanalyser og krysstabeller. Med hensyn til et forholdsvis lavt antall respondenter ble det valgt å ikke gjøre statistiske analyser utover å krysstabulere ulike variabler. Hensikten med krysstabuleringen var å undersøke innbyrdes forhold mellom ulike variabler for å identifisere likheter og ulikheter, det vil si at det i denne oppgaven ble brukt til å identifisere HMS-utfordringer og hvordan de håndteres i praksis. Frekvensanalyser ble gjennomført for å kvalitetssikre datamaterialet, samt at de ble valgt for å undersøke omfanget av bruken av nanomaterialer og for å sammenligne deler av datamaterialet med lignende undersøkelser gjort tidligere

### **2.4 Litteratursøk**

Litteratur for masteroppgaven ble innhentet gjennom litteratursøk i forskjellige databaser. Innholdet i teoridelen som omhandler helseeffekter ble i hovedsak hentet fra PubMed med søkeord som «titanium dioxide nanoparticles AND occupational health effects» og «titanium dioxide nanoparticles AND risk». Det ble også hentet litteratur fra *Scencedirect*, *SCOPUS* og *Google Scholar*. Eksempler på søkeord brukt for å innhente litteratur om tiltak og trygg håndtering av nanomaterialer er «nanoparticles AND risk management» og «nanoparticles AND exposure control» og «nanomaterials AND hse challenges».

### **2.5 Oppbygging av oppgaven**

Denne masteroppgaven er bygd opp av følgende hoveddeler:

- Litteraturstudie
- Resultater fra spørreundersøkelsen
- Diskusjon og analyse av resultatene
  - o Viktigste funn
- Muligheter til forbedring
- Konklusjon



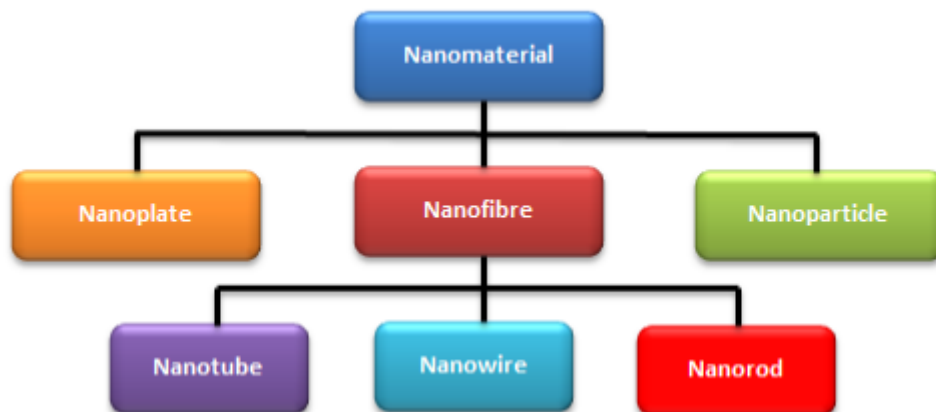
### 3 Nanomaterialer

Ordet nano er av gresk opprinnelse og betyr dverg. I målesammenheng er én nano en milliarddel  $10^{-9}$ . Begrepet nanomaterialer forstås som materialer som befinner seg i størrelsesordenen 1-100 nanometer (nm), og omfatter mange forskjellige former, alt fra partikler til fiberformede strukturer.

Europakommisjonens anbefalte definisjon på nanomaterialer lyder som følger: *«Et naturlig, utilsiktet eller tilvirket material som inneholder partikler som frie partikler, som et aggregat eller som et agglomerat, og hvor størrelsesordenen for 50 % av partiklene eller flere, og én eller flere dimensjoner er i størrelsesordenen 1 nm – 100 nm. I spesielle tilfeller og der hvor bekymringer for helse, miljø og sikkerhet eller konkurranseevne gjør seg gjeldende kan terskelen for størrelsesfordeling erstattes med en ny terskel mellom 1 og 50 %. Med unntak av det ovenstående skal også fullerener, flak av grafen og enkelvegget karbon nanorør med én eller flere dimensjoner under 1 nm forstås som nanomaterialer» (EC, 2011).*

I denne oppgaven brukes begrepet «nanomaterial» uavhengig av hvilken form nanomaterialet befinner seg i, med unntak av kapitlet om helseeffekter der begrepet «nanopartikler» brukes spesifikt om nanomaterialer som opptrer som partikler med alle tre dimensjoner i størrelsesordenen 1-100 nm. Det vil si at begrepet nanomaterial i denne oppgaven er underforstått med en overordnet beskrivelse av materialer med dimensjoner i størrelsesordenen 1 – 100 nm. Dette inkluderer nanoplater, nanopartikler, nanofibre, nanorør, nanotråd og nanostav. Denne inndelingen etter type nanomaterialer er basert på Europakommisjonens nyeste veiledning for håndtering av nanomaterialer, figur 1 (EC, 2014a).

Det som gjør nanomaterialer interessant i forhold til materialer i mikrostørrelser og oppover er at materialeegenskapene endrer seg når de kommer i størrelsesordenen 1-100 nm. Egenskaper som endrer seg er blant annet smeltepunkt, fluorescens, elektrisk konduktivitet, magnetisk permeabilitet og kjemisk reaktivitet (NNI, u/å), og er av stor interesse for samtlige bransjer og industrier (tabell 2).



Figur 1: begrepshierarki for nanomaterialer. Kilde: (EC, 2014b).

## 4 Nanomaterialer i norske virksomheter

I dette kapitlet belyses omfanget av bruken av nanomaterialer, forskjellige typer nanomaterialer og hvilke former og størrelsesordener de forekommer i. Kapitlet er i hovedsak basert på Arbeidstilsynets kartlegging av nanomaterialer i norske virksomheter (Arbeidstilsynet, 2010).

### 4.1 Omfanget av nanomaterialer

Omfanget av produksjon, import, bruk og bearbeiding av nanomaterialer ble kartlagt av Arbeidstilsynet m.fl. i 2010. Basert på resultatene fra kartleggingen er det forskningsmiljøer (FoU) som står for hovedtyngden av nanoteknologiske virksomheter. I tillegg var det noen få produksjonsbedrifter, og noen som hadde planer om bruk av nanoteknologi eller nanoteknologiske produkter i fremtiden. Basert på kartleggingen ble det anslått at totalt 575 arbeidstakere kan være mulig eksponert for nanomaterialer. Tabell 2 viser en oversikt over type- og antall virksomheter, mulig eksponerte personer og omtrentlig omfang i henholdsvis FoU og industri. I tabell 2 er det også inkludert tall fra rapportert omfang i EU og noen tall på verdensbasis for å gi et bedre perspektiv på omfanget i forhold til forskjellige typer nanomaterialer (Arbeidstilsynet, 2010).

Tabell 2: nanoteknologiske virksomheter, potensielt eksponerte og bruksmengder.

Omfang i norske virksomheter			Tonn per år
Type virksomhet	Antall virksomheter	Antall mulig eksponerte	Bruksmengder per år
Forskning & utvikling - Inkludert universiteter - Inkludert FoU med småskala produksjon	18	2-100  1-50 studenter	FoU: < 200 g pulver, < 1000 ml væsker.
Brukere av bilpleieprodukter	6	1-6	Industri & Industri med FoU: 5 kg – 50 tonn pulver, opptil 10 l væsker
Virksomheter som har planlagt bruk av nanoteknologi	2	-	
Produksjonsbedrifter	3	2-200	
Omfang av bruk av nanomaterialer i EU			Tonn per år
<b>Nanomaterial</b>	Titandioksid		55-3,000
	Sinkoksid		5.5-28,000
	Silisiumdioksid		5,500-55,000
	Jernoksider		30-5,500
	Aluminiumoksider		0.55-500
	Ceriumoksider		0.55-2,800
	Karbon nanorør		180-550
	Fullerener		0.6-5.5
	Sølv		0.6-55
	Kvanteprikker		0.6-5.5
	Karbon black		10 <sup>6</sup> (verden)

Kilde: (Arbeidstilsynet, 2010, Piccinno et al., 2012, Vogel et al., 2014).

## 4.2 Type nanomaterialer

Det finnes svært mange forskjellige nanomaterialer, og et utvalg av nanomaterialer og deres tilknyttede bruksområder samt eksempler på fremstillingsmetoder er vist i tabell 3. Listen over type nanomaterialer i tabell 3 er basert på Arbeidstilsynets kartlegging fra 2010, og inkluderer nanomaterialer som ble rapportert i FoU og industri (Arbeidstilsynet, 2010).



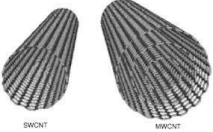
Det ble rapportert at titandioksid og polymere er den type nanomaterialer flest FoU-virksomheter håndterer, mens karbon nanorør/-fibre/-tråder, silikater og karbon black også kommer høyt opp (Arbeidstilsynet, 2010).

Nanomaterialer i industri og FoU med småskala produksjon er fordelt mellom karbon black, titandioksid, sinkoksid, nikkeloksid, aluminiumoksid, manganoksid, silikat, sølv, andre metallpulvere og andre uorganiske fargepigmenter (Arbeidstilsynet, 2010).

De rapporterte formene nanomaterialene finnes i er pulver, væsker, kompositt, filmer, fibriller og cellulosefibre. Av disse var pulver og væsker de hyppigst rapporterte formene. I tillegg til dette ble det rapportert bilpleieprodukter med innhold av nanomaterialer, herunder poleringsmidler, spraylakk, sparkel, lakk/billakk og andre bilpleiemidler (Arbeidstilsynet, 2010).

Fordelingen av størrelsesordener var jevnt fordelt for nanomaterialer mindre enn 20 nm, nanomaterialer i intervallene 20 – 50 nm og 51 – 100 nm. Det var flere av virksomhetene som ikke visste hvilke størrelsesordener virksomhetens nanomaterialer var i, og noen oppga en uspesifisert størrelse på under 100 nm (Arbeidstilsynet, 2010).

Tabell 3: oversikt nanomaterialer, fremstillingsmetode og bruksområder. Kilde: (Donaldson and Poland, 2012).

Type nanomaterial	Eksempel på fremstillingsmetode	Eksempler på bruksområder	Kilde
<p>Karbon black</p>  <p>Bilde: (Quadra)</p>	Ufullstendig forbrenning av hydrokarboner	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bildekk og gummiprodukter</li> <li>- Printerblekk</li> <li>- Maling, papir, plastikk</li> </ul>	(EPA, 2000)
<p>Karbon nanokjegler</p>  <p>Bilde: (Naess et al., 2009)</p>	Kværner Carbon Black & Hydrogen Process (plasmabrenner)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potensielt bruksområde: kontroll/styring av temperatur i elektronikk</li> </ul>	(Yang et al., 2008)
<p>Karbon nanorør/fibre</p>  <p>Bilde: (Scarselli et al., 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arc discharge</li> <li>- Laser ablation</li> <li>- Plasma torch</li> <li>- Chemical vapor deposition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kompositter</li> <li>- Innretninger for energilagring og energiomdanning</li> <li>- Sensorer</li> <li>- Field emission display/radioaktive kilder</li> <li>- Media for hydrogenlagring</li> </ul>	(Baughman et al., 2002)
<p>Titandioksid Sinkoksid Nikkeloksid Aluminiumoksid Manganoksid Krom(III)oksid Silikat</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Physical vapor deposition</li> <li>- Chemical vapor deposition</li> <li>- Mechanical alloying/milling</li> <li>- Hydrotermisk</li> <li>- Mikroemulsjon</li> <li>- Sol-gel Kopresipitering (utfelling)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fargestoff i næringsmidler</li> <li>- Solkremer og kosmetiske kremer</li> <li>- Desinfeksjonsmiddel i vannbehandling</li> <li>- Maling</li> <li>- Farmasøytisk industri</li> <li>- Gummi/bildekk</li> <li>- Katalysatorer</li> <li>- Keramiske materialer</li> <li>- Elektroniske komponenter</li> <li>- Batterier</li> </ul>	(Kumar and Sangwan, 2013, Rao et al., 2005)

Type nanomaterial	Eksempel på fremstillingsmetode	Eksempler på bruksområder	Kilde
Sølv	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fysiske prosesser (fordamping-kondensering)</li> <li>- Kjemiske prosesser (reduksjon)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sengetøy</li> <li>- Vaskemaskiner</li> <li>- Utstyr for vannrensing</li> <li>- Tannkrem,</li> <li>- Produkter til hårvask/rens</li> <li>- Tøy/tekstil</li> <li>- Deodoranter</li> <li>- Filtre</li> <li>- Leker</li> <li>- Luftflukter</li> <li>- Kjøkkenredskaper</li> </ul>	(El-Nour et al., 2010, Vinkovic Vrc'ek et al., 2014)
Gull	Våtkjemiske metoder	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektronikk</li> <li>- Sensorer</li> <li>- Prober</li> <li>- Brukt i diagnostikk</li> <li>- Katalyse</li> </ul>	
Organiske fargepigmenter	Knusing/oppmaling	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solkrem</li> <li>- Kosmetikk</li> </ul>	
Polymere	Sprøytstøping	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Næringsmidler, kosttilskudd/farmasøytiske produkter</li> </ul>	(Augustin and Hemar, 2008)
Vitaminer	Mikrokapsling (f.eks. partikler/dråper dekt med et annet materiale). Teknikker for mikrokapsling: frysetørking, ekstrudering, spraytørking mv.		

## **5 Nanomaterialer: HMS-aspekter og utfordringer**

En grunnleggende forutsetning for at potensielle fordeler ved ny teknologi skal kunne utnyttes er at samfunnet aksepterer teknologien, og at de er av den oppfatning at teknologien ikke byr på risiko som veier mer enn fordelene. Det vil si at risiko må være tilstrekkelig identifisert og kontrollert, og foreløpig er dette manglende i nanoteknologi (Nanowerk).

Noen av HMS-utfordringene i virksomheter som håndterer nanomaterialer er knyttet til hvor farlige de forskjellige nanomaterialene er, potensiell eksponering og hvilke tiltak som kan iverksettes. Usikkerhet preger alle tre HMS-aspektene: helseeffekter og sykdommer, grad av mulig eksponering i arbeidsatmosfæren og effektiviteten av tiltak inkludert PVU for å beskytte arbeidstakerne mot eksponering (EC, 2012).

Det finnes heller ingen lovfestede akseptkriterier som virksomheter, HMS-ansvarlige eller myndigheter kan forholde seg til. Det er utviklet forslag til anbefalte tiltaks- og grenseverdier for noen nanomaterialer, samt at det er delvis enighet om hvilke typer nanomaterialer som kan være farligere enn andre, for eksempel karbon nanorør.

Selv om det ikke finnes et nanospesifikt regelverk er nanomaterialer omfattet av gjeldende regelverk for kjemikalier. Dette innebærer at virksomheter som håndterer nanomaterialer er omfattet av arbeidsmiljøloven, internkontrollforskriften, kjemikalieforskriften (REACH/Forskrift om organisering, ledelse og medvirkning), stoffkartotekforskriften (nå: § 10-1. Planlegging og tilrettelegging av arbeidet i Forskrift om organisering, ledelse og medvirkning) og merkeforskriften/CLP. Derav skal også arbeid som involverer nanomaterialer risikovurderes på lik linje med andre kjemikalier og farer (Arbeidstilsynet, 2012).

Noen av HMS-utfordringene og hvordan de kan håndteres blir belyst i de kommende kapitler.

### **5.1 Informasjonskilder og risikokommunikasjon på arbeidsplassen**

En annen viktig forutsetning for utnyttelsen av ny teknologi skal være forsvarlig er at arbeidstakerne beskyttes mot eksponering på arbeidsplassen. Et viktig element i forbindelse med dette er at virksomheten og arbeidstakerne har nok kunnskap til og ønske å beskytte seg. Risiko ved håndtering av nanomaterialer er fortsatt forbundet med en del usikkerhet både med hensyn til helsefare, eksponering og hvordan man best kan beskytte seg. Europakommisjonen

anbefaler et sett av minimumskriterier som bør inkluderes når arbeidstakere og andre eksponerte skal trenes og opplæres om risiko ved håndtering av nanomaterialer (EC, 2013):

- Fysisk-kjemisk risiko (brann og eksplosjoner)
- Mulig helsefare forbundet med nanomaterialet
- Riktig PVU, og riktig bruk og vedlikehold
- Sikre etterlevelse av prosedyrer utviklet for at arbeidet skal medføre minst mulig eksponering

I dette kapitlet belyses relevante informasjonskilder/-kanaler som kan brukes i virksomheters arbeid med å håndtere HMS-utfordringer med nanomaterialer på arbeidsplassen. Mulige informasjonskilder om nanomaterialer er sikkerhetsdatablader & eksponeringsscenarioer, nasjonale og internasjonale veiledninger samt veiledninger utgitt av andre organisasjoner og faggrupper, piktogrammer og faremerking, forskningslitteratur og eksperter innen HMS og nanoteknologi.

### **5.1.1 Sikkerhetsdatablader**

En kilde til informasjon om helsefare, eksponering og anbefalte tiltak for å redusere eksponering er sikkerhetsdatablader. Rammeverket for sikkerhetsdatablader er gitt av REACH og er tilpasset systemet for klassifisering, merking og pakking/emballering (CLP). Krav til utarbeidelse av – og innhold i sikkerhetsdatablader er gitt i Annex II av REACH (ECHA, 2014). Sikkerhetsdatabladet skal fungere som en kilde til HMS-informasjon om stoffer, og stoffblandinger f.o.m 1 juni 2015, som i henhold til CLP er klassifisert som farlig, eller persistent, bioakkumulerende og giftig (PBT), eller veldig persistent og veldig bioakkumulerende (vPvB), eller når et stoffer er på kandidatlista (del av SVHC-stoffer i REACH). SVHC er en forkortelse av «Substances of Very High Concern». For å synliggjøre nanomaterialer i sikkerhetsdatablader, og at REACH også gjelder for nanomaterialer, er det av 1. desember 2011 krav om at de skal inneholde opplysninger om stoffets overflateareal, størrelsesfordeling og overflatekjemi (ECHA, 2014).

Studier som har undersøkt i hvilken grad nanomaterialer er tatt hensyn til i sikkerhetsdatablader (fra virksomheter i USA) viser at det er manglende informasjon ved flere av HMS-aspektene, og der informasjon er gitt om nanomaterialer har den en tendens til å være misvisende. For eksempel henvises det til materialet som bulk uten videre hensyn til at



stoffet er et nanomaterial, eller at det inneholder stoffer i størrelsesorden 1-100 nm. En av studiene (Eastlake et al., 2012) undersøkte sikkerhetsdatablader fra 44 virksomheter i USA for å vurdere kvaliteten av informasjon med hensyn til identifisering av mulig helsefare, eksponeringskontroll, PVU og toksisitet med hensyn til nanomaterialer. Resultatet av gjennomgangen viste at de fleste av sikkerhetsdatabladene ikke inneholdt tilfredsstillende informasjon om nanomaterialer. Det ble i flere av sikkerhetsdatabladene referert til grenseverdier for materialet på bulk selv om sikkerhetsdatabladet refererte til stoffet som nanomaterial. Dette kan være problematisk og misvisende i de tilfeller nanomaterialets potensielt farlige egenskaper ikke er godt nok undersøkt i forskning, og dermed kan den rapporterte grenseverdien angi en verdi som ikke er relevant for nanomaterialet, og det kan således ikke garanteres for arbeidstakernes helse. Det ble også funnet manglende informasjon om nanomaterialer i stoffblandinger, utilstrekkelige toksikologiske data eller henvisninger til toksikologiske data for materialet på bulk som ikke var relevant for nanomaterialet. Lignende mangler ble også funnet i en annen studie (Lee et al., 2012) som undersøkte 97 sikkerhetsdatablader for nanomaterialer eller materialer med innhold nanomaterialer. Resultatet viste at informasjon om nanomaterialer ikke var tilstrekkelig i henhold til kravene gitt av Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). Det manglet blant annet informasjon om toksisitet og fysisk-kjemiske egenskaper relevant for nanomaterialet.

Et prinsipp som er anbefalt for å håndtere HMS-utfordringer i nanoteknologiske virksomheter er føre-var prinsippet. Årsaken til anbefalingen er at det ofte er manglende tilgang til pålitelige data om risikoforhold angående eksponeringspotensial og helsefare (Eastlake et al., 2012). En måte virksomheter tolker føre-var prinsippet på er å se på det som en anmodning om å minimere eksponering så langt det er praktisk mulig ved å ta i bruk tekniske tiltak og PVU. En kilde til informasjon som brukes for å ta hensyn til føre-var prinsippet er sikkerhetsdatablader (Eastlake et al., 2012, Aven and Renn, 2010), og det kan derfor tenkes at når informasjonen i sikkerhetsdatabladet er manglende eller misvisende kan det gi konsekvenser i form av uforutsette HMS-utfordringer. Dette er spesielt relevant for virksomheter som i hovedsak baserer sine eksponerings- og risikoredueringstiltak på informasjon gitt i sikkerhetsdatablader der sikkerhetsdatabladene ikke har identifisert nanomaterialenes potensial for eksponering, helsefare eller hvordan eksponeringen kan kontrolleres. Det argumenteres videre for at slik manglende identifisering av risikoforhold kan føre til at virksomheter velger å ikke vurdere eller iverksette tiltak (Eastlake et al., 2012).

### 5.1.2 Eksponeringsscenarioer

Et eksponeringsscenario er et verktøy som gir ekstra informasjon om eksponering og risiko forbundet med et stoff eller kjemikalie. Et annet begrep for dette er utvidede sikkerhetsdatablader. Eksponeringsscenarioer brukes i arbeidet med risikohåndtering og risikokommunikasjon, og er et nyttig verktøy i forbindelse med risikovurderinger, spesielt med tanke på eksponeringsvurdering (Vogel et al., 2014). Sikkerhetsdatablader skal i følge regelverket suppleres med eksponeringsscenarioer der produksjon eller import av et stoff overstiger 10 tonn per år.

Formålet med eksponeringsscenarioer er å beskrive hvordan et stoff fremstilles og/eller brukes i sin livssyklus, og hvilke risikohåndteringstiltak fremstilleren eller importøren har iverksatt eller anbefaler etterfølgende brukere å iverksette for å kontrollere eksponering av mennesker eller miljøet. Videre skal eksponeringsscenarioet forklare hvordan estimert eksponering er utledet og gi beskrivelser av bruksområde for nevnte vilkår og tiltak (Arbeidstilsynet, 2014). Et eksponeringsscenario er basert på standardiserte koder for anvendelse, prosesser og type kjemikalie (ECHA, 2012):

- prosesskategori (PROC)
  - *består av typiske eksponeringsscenarioer på arbeidsplassen*
- bruksområde (SU)
  - *bruksområder er utledet og justert for å støtte kommunikasjon i forsyningskjeden*
- kjemikaliekategori (PC)
  - *refererer til stoffer og stoffblandinger*
- miljøutslippkategori (ERC)
  - *forhold som har betydning for miljøutslipp*
- sluttproduktkategori (AC)
  - *relatert til forbrukereksponering*

De standardiserte kodene består av flere underkategorier som til sammen karakteriserer fremstillingen/bruken av nanomaterialet, jf. forrige avsnitt om formålet med eksponeringsscenarioer.

Håndtering av nanomaterialer kan medføre eksponering for nær sagt alle typer arbeidsoppgaver og aktiviteter, med varierende grad av eksponering. Det betyr at et eksponeringsscenario ofte er supplert med såkalte *medvirkende eksponeringsscenarioer* som er eksponeringsscenarioer for hver arbeidsoppgave eller aktivitet som kan medføre eksponering.

Eksponeringsscenarioer for vanlige kjemikalier er basert på hvordan kjemikallet produseres og håndteres samt hvilke kontrolltiltak som reduserer eksponeringen til et akseptabelt i forhold til grenseverdier, men for nanomaterialer finnes det ikke noen lovregulerte grenseverdier som angir et skille mellom farlig eksponering og det nivå som anses trygt. Eksponeringsscenarioer for nanomaterialer vil derfor ikke kunne garantere trygg bruk, men de kan likevel brukes som et referansepunkt for ulike prosesser og tiltak, samt at de kan brukes til å identifisere relevante måter å redusere eksponeringen på (SIKOROVÁ et al., 2014).

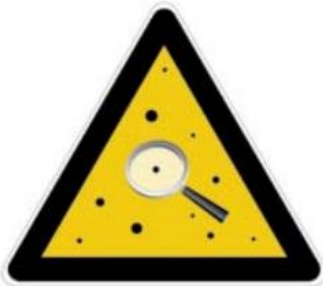
Utarbeiding av eksponeringsscenarioer for nanomaterialer har begrensninger med tanke på at det ikke finnes en felles måleparameter/målestokk som kan si noe om risiko i forhold til eksponeringsnivået, og begrensninger med selve målingene da det er observert store variasjoner i størrelsesfordeling og konsentrasjoner av nanomaterialer målt på ulike områder, og ved ulike forhold på områdene, samt at det ikke finnes noen standardiserte metoder for eksponeringsmåling. En annen faktor som trekkes frem som en årsak til at det er begrenset med data på realistisk eksponering på arbeidsplassen er knyttet til bedriftenes opplevelse av et konkurransefortrinn ved produksjon/bruk av nanomaterialer med de følger at de er mindre villig til å dele slik informasjon (SIKOROVÁ et al., 2014).

Eksponeringsscenarioer er ansett som et viktig bidrag til trygg håndtering av nanomaterialer, og for å styrke dette jobbes det med å bygge opp biblioteker og databaser med realistiske eksponeringsscenarioer som kan bidra til å fremme kunnskapsutveksling og beste praksis (SIKOROVÁ et al., 2014). Eksempler fra EU-prosjekter med slike formål er SANOWORK (Safe Nano Worker Exposure Scenarios) og NANEX. Førstnevnte er et pågående prosjekt og er et samarbeid med mange land i EU. Formålet er å identifisere trygge eksponeringsscenarioer på arbeidsplassen basert på eksponeringsvurderinger gjort ved realistiske forhold og ved hele livssyklusen for nanomaterialet, det vil si fra produksjon til og med avfallshåndtering (EC-SANOWORK, 2012). NANEX er et prosjekt som ble ferdigstilt for flere år siden hvor en del av målet var å utvikle eksponeringsscenarioer for fremstilte nanomaterialer. Det ble utviklet flere eksempler på eksponeringsscenarioer for flere typer

nanomaterialer, og for ulike håndteringsmetoder og produksjonsmetoder. Et av eksemplene var bearbeiding av karbon nanorørholdig kompositt og kan sees i vedlegg 4 (NANEX, 2009).

### 5.1.3 Andre informasjonskilder

*Veiledninger:* i tillegg til sikkerhetsdatablader som kilde til HMS-informasjon om nanomaterialer er det utarbeidet både nasjonale og internasjonale veiledninger med hensyn til sikker håndtering av nanomaterialer på arbeidsplassen. Europakommisjonen ga nylig ut to separate veiledninger for virksomheter som håndterer nanomaterialer, én for arbeidsgivere og én for arbeidstakere (EC, 2014b, EC, 2014c). Veiledningene informerer om farer, eksponering, anbefalte tiltak og forslag/hjelp til risikovurdering av nanomaterialer. Arbeidstilsynet har gitt ut veiledningen «trygg håndtering av nanomaterialer» (Arbeidstilsynet, 2014) samt flere andre rapporter og dokumenter relevant for nanomaterialer, og har også en svartjeneste som bistår i spørsmål om HMS.



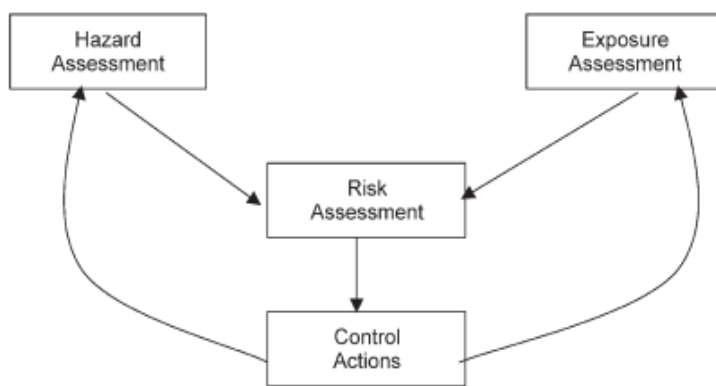
*Figur 2: piktogram nanomaterial.*

Kilde: (Ricaud and Witschgerw, 2012)

*Piktogrammer/faremerking:* hensikten med faremerking er å informere om potensiell farer og -farer ved håndtering av nanomaterialer. Status per i dag er at det ikke finnes noen anerkjente (EU) piktogrammer/faremerker rettet spesifikt mot nanomaterialer. Noen virksomheter har løst dette ved å utvikle egne uoffisielle interne piktogrammer med den hensikt å informere om at nanomaterialer er til stede (EC, 2014c). Et av disse pictogrammene er vist i figur 2.

## 6 Risikovurdering av nanomaterialer i praksis

Det er arbeidsgivers ansvar å sikre at arbeidsplassen er trygg for de ansatte, og dette er forankret i lovverket (Lovdata, 2013). En risikovurdering er et verktøy for å sikre at dette kravet oppfylles, og en risikovurdering vil for virksomheten og for myndigheter fungere som et dokumentert bevis på at helsefare og eksponering er tilstrekkelig kartlagt og kontrollert. En god risikovurdering vil være et supplement i beslutningstaking om valg av tiltak for å redusere eksponering.



Figur 3: trinn i en risikovurdering. Kilde: (Oppl et al., 2003).

En risikovurdering av kjemikalier kan gjøres på forskjellige måter, men felles for alle er at begrepet risiko består av de to grunnleggende elementene helsefare og eksponering (figur 3). Den klassiske fremgangsmåten for å risikovurdere kjemikalier består av tre trinn:

- Identifisere og vurdere graden av fare inkludert en vurdering av dose-respons
- Vurdere eksponering
- Kontrolltiltak

En risikovurdering av nanomaterialer vil i hovedsak være kvalitativ på grunn av begrenset datagrunnlag på realistisk eksponering, helseeffekter og sykdom (EC, 2012). En tilnærming til kvalitativ risikovurdering er control banding, og denne tilnærmingen er karakteristisk for flere av risikovurderingsverktøyene utviklet for nanomaterialer vedlegg 3.

Control banding er en metode for å vurdere og håndtere risiko der både helsefare og eksponering har et manglende datagrunnlag, det vil si at det er en metode for å håndtere risiko som er preget av usikkerhet. Risiko ved produksjon, import, bruk og bearbeiding av nanomaterialer er preget av usikkerhet, og det er derfor anbefalt at virksomheter som

håndterer nanomaterialer tar utgangspunkt i føre-var prinsippet, og control banding er en metode som er i henhold til dette prinsippet (Zalk and Nelson, 2008, Brouwer, 2012).

Control banding bruker såkalte «bånd» som kvalitativt angir helsefare og eksponering. Båndene gis ut i fra kriterier som H-/P-setninger (CMR-stoff, giftig, irriterende etc.) og potensial for eksponering basert på omfanget av bruken, støvethet og forhold på arbeidsplassen med videre. Båndene plottes i en risikomatrix som videre resulterer i et risikonivå og anbefalte tiltak for å redusere og kontrollere eksponeringen (NIOSH, 2015a).

### **6.1 Verktøy og metoder for å risikovurdere nanomaterialer i virksomheten**

Det finnes et bredt utvalg av generelle risikovurderingsverktøy som kan benyttes til å risikovurdere nanomaterialer, hvert med sine respektive fordeler og ulemper. Selv om tradisjonelle verktøy ikke er spesifikke for nanomaterialer, er de ansett som nyttige som et grunnlag eller supplement til å identifisere fokusområder på arbeidsplassen og prioritering av tiltak (DEPA, 2015, EC, 2012).

I fordypningsprosjektet ble det valgt ut 12 verktøy (Aune, 2014), og disse verktøyene er også med i denne oppgaven.

Verktøyene er spesifikt utviklet for å risikovurdere nanomaterialer på arbeidsplassen, men de utvalgte verktøyene er på ingen måte uttømmende for utvalget av verktøy relevant for nanomaterialer, men de er basert på tilgjengelig litteratur som har gjennomgått verktøy som er relevante for å risikovurdere nanomaterialer (Arbeidstilsynet, 2014, Brouwer, 2012).

Verktøyene blir ikke gjennomgått i mer detaljert grad enn hva som fremkommer av vedlegg 3, og dette omfatter hva slags informasjon som trengs for å gjennomføre den grunnleggende vurderingen av helsefare og eksponering. For mer informasjon om verktøyene henvises det til kilden for hvert enkelt verktøy i vedlegg 3.

I en studie ble noen av de nevnte verktøyene sammenlignet med hensyn til hvor realistisk utfallet av en risikovurdering med verktøyene var. Hovedkonklusjonen i studien var at måten mange av verktøyene inkluderte usikkerhet og føre-var prinsippet på gjorde at vurderingen ofte resulterte i høy risiko med påfølgende store krav til tiltak. Det presiseres også at verktøyene på ingen måte erstatter en detaljert risikovurdering utført av eksperter, da eksperthjelp kan bidra til å dekke noen av kunnskapshullene som verktøyene allokerer relativt høye risikonivåer til (Brouwer, 2012).

## 6.2 Identifisere farer

Det første trinnet i en risikovurdering er å identifisere faren, herunder å kartlegge hvilke nanomaterialer som finnes i virksomheten. Nanomaterialer kan identifiseres i sikkerhetsdatablader eller ved å henvende seg til leverandøren hvis sikkerhetsdatablader ikke er tilgjengelig. I hvilken grad informasjon om nanomaterialer i sikkerhetsdatablader finnes-, og hvor utfyllende informasjonen er varierer stort, og i mange tilfeller er informasjonen fraværende. Europakommisjonen henviser til tre punkter i sikkerhetsdatabladet der informasjon om nanomaterialer kan finnes (EC, 2014b):

- Punkt 1 i sikkerhetsdatabladet: *identifikasjon av stoffet/stoffblandingen og av bedriften/foretaket*
- Punkt 3 i sikkerhetsdatabladet: *sammensetning/informasjon om ingredienser*
- Punkt 9 i sikkerhetsdatabladet: *fysisk-kjemiske egenskaper*

## 6.3 Vurdere nanomaterialers helsefare

Det finnes få studier som har undersøkt helseeffekter på mennesker eksponert for nanomaterialer, og potensielle helseeffekter og mulige sykdommer forårsaket av nanomaterialer er heller ikke fullt ut forstått (EC, 2012). Helseeffekter knyttet til nanomaterialer er basert på studier gjort in vitro (cellekulturer) og in vivo (dyremodeller), og det er disse studiene som utgjør hovedtyngden av grunnlaget for toksikologiske farevurderinger av nanomaterialer (Cho et al., 2013). De mest alvorlige effektene forårsaket av nanomaterialer er forbundet med inhalering av nanomaterialer som opptrer som frie partikler (figur 6), samt at noen nanomaterialer har fått mer oppmerksomhet på grunn av store produksjonsvolum eller som har vist indikasjoner på større potensial for helseskade. Flerveggede karbon nanorør er en av typene som er forbundet med større helsefare på grunn av asbest-lignende struktur (fiber) og potensial til å forårsake asbest-lignende effekter etter inhalering, slik som betennelser i luftveiene og dannelse av granulomer (Poland et al., 2008). Andre hensyn som kan inkluderes i en farevurdering er utarbeidede forslag til tiltaks- og grenseverdier samt nano-referanse verdier (NRV), da de ulike verdiene fungerer som en indikator på nanomaterialer som det er mer bekymring/usikkerhet for. Et eksempel på dette er nanomaterialer av sølv som har fått en NRV 20 000 partikler/cm<sup>3</sup> sammenlignet med titandioksid som har NRV 40 000 partikler/cm<sup>3</sup> (IVAM, 2012). Dette kan tolkes som at det bør utøves mer varsomhet ved håndtering av nanomaterialer av sølv sammenlignet med

titandioksid. Dette er også en del av grunnen til at er anbefalt at farevurderinger av nanomaterialer må gjøres ved å ta hensyn til at ulike nanomaterialer utgjør forskjellig grad av risiko og alvorlighet (Cho et al., 2010).

I tillegg til å ta hensyn til forskjellige nanomaterialer, må det også tas hensyn til ulike karakteristikk ved nanomaterialene. For å forenkle farevurderingen av nanomaterialer er det utarbeidet forslag til kategoriseringer. GoodNanoGuide viser til en kategorisering i henhold til British Standards som kategoriserer nanomaterialer i fire grupper (GNG):

1. Fiberstruktur (HARN, high aspect ratio nanomaterial og uløselig)
2. CMAR (nanomaterial som allerede på bulk er klassifisert som kreftfremkallende, mutagen, astmagen eller reprotoksisk)
3. Uløselig (uløselige nanomaterialer som ikke er fibre eller CMAR-stoffer)
4. Løselige (nanomaterialer som ikke er fibre eller CMAR-stoffer)

Den norske veiledningen for risikovurdering av nanomaterialer, trygg håndtering av nanomaterialer, viser til følgende opplysninger for å vurdere mulige helsefarer (Arbeidstilsynet, 2014):

- Størrelsesfordeling i materialet eller produktet
- Overflateareal/-kjemi
- Løselighet (vannløselig når det er > 100 mg/l)
- Tetthet ( $\text{g/cm}^3$ )
- Fysisk tilstand (pulver, fiber, i løsning)
- CMR (kreftfremkallende, mutagen, reproduksjonsskadelig)

Noen av disse egenskapene er også relevant for nanomaterialenes opprinnelige kjemikalie på bulk og bør tas hensyn til i farevurderingen av nanomaterialer, spesielt hvis de er klassifisert som CMR-stoffer, har fiberstruktur eller hvis de er uløselige (OECD).

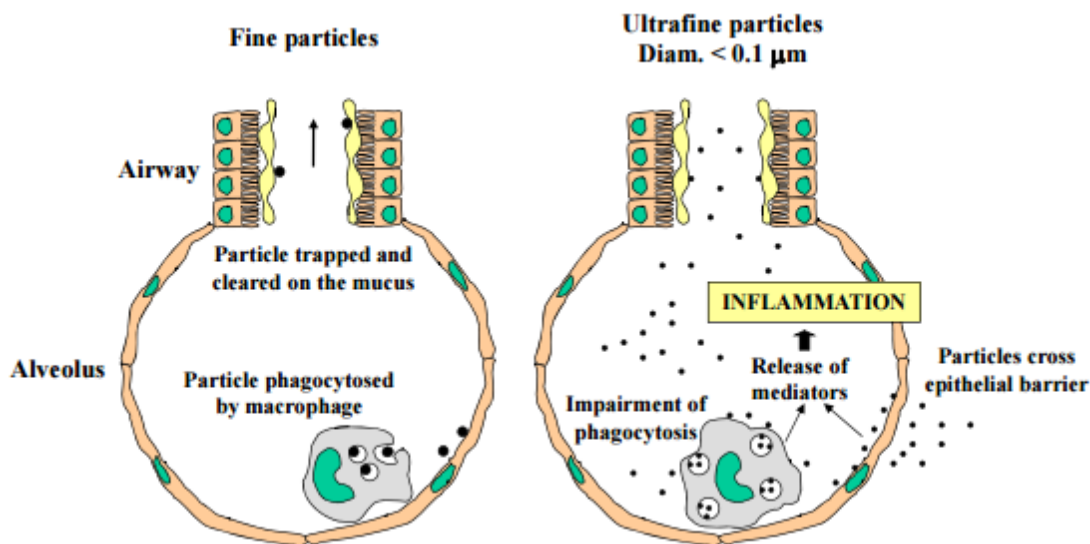


### 6.3.1 Opptak av nanomaterialer: relevante eksponeringsveier

Med eksponeringsveier menes hvordan nanomaterialer kan tas opp/absorberes av organismen. Relevante eksponeringsveier for nanomaterialer i arbeidsmiljøet er i hovedsak inhalasjon og hud (EU-OSHA, 2009, Schulte et al., 2008).

#### 6.3.1.1 Inhalasjon

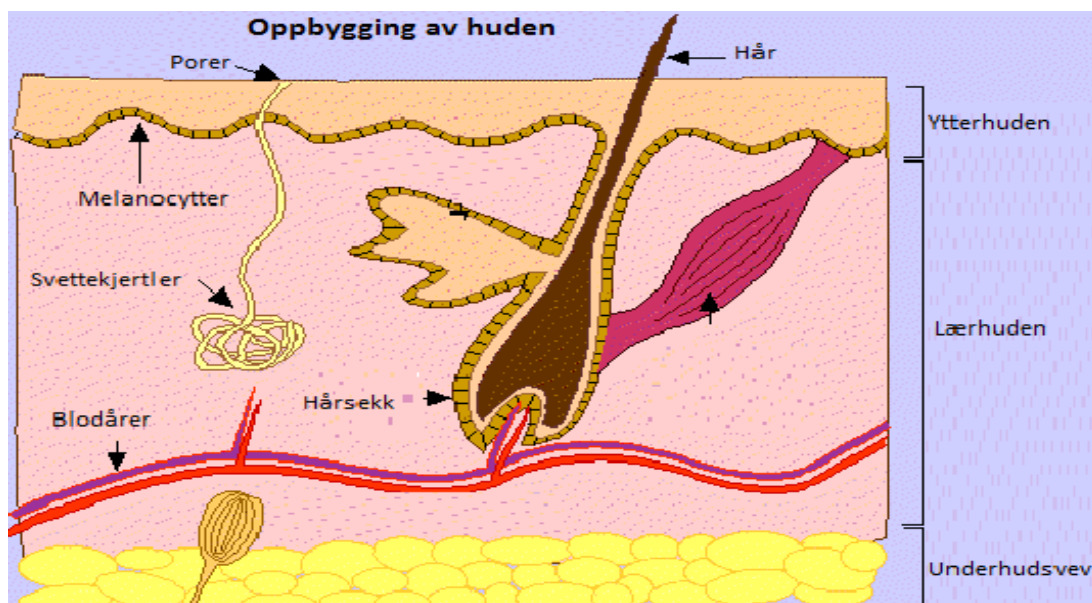
Lungene er målorganet for nanomaterialer som inhaleres. Størrelsen av nanomaterialer (1-100 nm) gjør at de trenger helt ned i lungeblærene (figur 4) når de inhaleres, samtidig vil en del også avsettes i de øvrige delene av luftveiene (Oberdörster et al., 2005). Studier har vist at nanomaterialer avsatt i luftveiene også kan spre seg til andre deler av kroppen inkludert andre organer, via blodbanen, lymfeknuter og nerver så vel som gjennom celler og mellom cellemembraner. Det er heller ikke utelukket av nanomaterialer kan komme seg inn til og inn i fostre hos gravide via morkaka. Studier på nanomaterialer og effekter i gravide er lite undersøkt, men det er gjort funn som indikerer at opptak av nanomaterialer gjennom morkaka og transport over til fostret er mulig, men årsaksfaktorer og hvilke effekter det kan medføre er usikkert (Kulvietis et al., 2011, Chu et al., 2010).



Figur 4: nanomaterialer avsatt i lungeblærene. Kilde: (Donaldson et al., 2001).

### 6.3.1.2 Hud

Figur 5 viser en enkel modell av huden. Hud er relevant der nanomaterialer kan komme i kontakt med eksponert hud, men det finnes lite forskning på i hvilken grad dette forekommer i praksis. Huden er en betydelig barriere mot stoffer generelt, men visse faktorer vil kunne påvirke hudens beskyttelsesevne. Eksempler på dette er hud som ikke er frisk på grunn av eksem, allergi, sår og sprekker med videre, noe som øker sannsynligheten for at nanomaterialer kan trenge gjennom huden og lengre ned i hudlagene. Oberdörster viste at nanomaterialer som har kommet seg forbi ytterhuden og inn i lærhuden kunne spres videre i kroppen via lymfebanen og nærliggende lymfeknuter. Det er også rapportert at nanomaterialer potensielt kan komme seg gjennom huden via hår/hårsekker, svettekjertler og porer (Oberdörster et al., 2005). Resultatene fra en annen studie viste at nanomaterialer av gull penetrerte ytterhuden og kom seg dypere ned i huden uavhengig av om de var dispergert i vann eller i andre kjemikalier (toluen ble brukt i dette studiet), men det ble ikke utelukket at andre kjemikalier brukt i studiet kunne ha bidratt til økt penetrering av ytterhuden (Labouta et al., 2011). Forskning på nanomaterialers evne til å penetrere huden er generelt motstridene og preget av tvetydighet i følge en nyere gjennomgang av relevant forskning på området. Gjennomgangen ble utført av Miljøministeriet i Danmark. Basert på gjennomgangen identifiserte de noen egenskaper ved nanomaterialer som kan påvirke opptak og absorpsjon gjennom huden: størrelse, sammensetning og overflatekemi (DEPA, 2015).



Figur 5: oppbygging av huden. Kilde: (Enchantedlearning).

Selv om fokuset for eksponering for nanomaterialer på arbeidsplassen har vært rettet mot inhalering, og i noen grad hud, kan nanomaterialer også tas opp via svelg/mage-tarm eller via øyne. Nanomaterialer som tas opp via svelg/mage-tarm kanalen er derimot mer interessant for forbrukereksponering for eksempel ved konsum av næringsmidler med innhold av nanomaterialer, enten fra ingredienser, eller som følge av migrasjon fra emballasje. På arbeidsplassen kan det til en viss grad være relevant med tanke på hygienisk adferd/rutiner på arbeidsplassen ved at svelg/mage-tarm eksponeres via kontaminasjon fra hånd-til-munn, eller ved at inhalerte nanomaterialer fjernes med slimheisen og svelges (Oberdörster et al., 2005). Studier på eksponering via øyne og effekter på øyne er begrenset, men kan være relevant for alle former for nanomaterialer og spesielt i virksomheter som bruker sprayprodukter/-prosesser, eller ved uhell med søl og sprut (DEPA, 2015).

### **6.3.2 Rapporterte helseeffekter**

I dette kapitlet vil et utvalg nanomaterialer og noen av deres rapporterte helseeffekter bli belyst basert på tilgjengelig litteratur. De utvalgte nanomaterialene er delvis basert på en tidligere kartlegging av nanoteknologiske produkter (Arbeidstilsynet, 2010). Mange av nanomaterialene ble også omtalt i fordypningsprosjektet (Aune, 2014), og noen av de blir supplert med eksempler på anbefalte grenseverdier og NRV samt knyttet til klassifiseringer i henhold til IARC. IARC's klassifiseringer er inndelt i fire grupper; Gruppe 1, Gruppe 2A, Gruppe 2B, Gruppe 3 og Gruppe 4. Flere nanomaterialer er i klassifisert i gruppe 3, det vil si de som ikke er klassifiserbare med hensyn til kreftfremkallende egenskaper i mennesker på grunn av manglende bevis samt at enkelte er klassifisert i gruppe 2B (IARC).

- Gruppe 1: Kreftfremkallende for mennesker
- Gruppe 2A: Sannsynlig kreftfremkallende for mennesker
- Gruppe 2B: Mulig kreftfremkallende for mennesker
- Gruppe 3: Ikke klassifiserbar med hensyn til kreftfremkallende for mennesker
- Gruppe 4: Sannsynligvis ikke kreftfremkallende for mennesker

Arbeidstilsynet viser til forslag til anbefalte yrkeshygieneiske grenseverdier og NRV for flere typer nanomaterialer (Arbeidstilsynet, 2014). Grenseverdiene er utarbeidet av NIOSH, Nanocyl, Aschberger et al og IVAM, og nevnes i de kommende underkapitler om spesifikke nanomaterialer.

NRV er en verdi basert på føre-var prinsippet, og den er ment å være en midlertidig erstatning for tiltaks- og grenseverdier. NRV er en tidsveid 8-timers gjennomsnittsverdi som angir et maksimumsnivå for konsentrasjon av nanomaterialer. Overskridelse av NRV er et varsel på at tiltak bør iverksettes for å redusere eksponeringen (BROEKHUIZEN et al., 2012). Ved bruk av NRV er det noen forbehold som må tas ved gjennomføring av målinger. Hvis målte konsentrasjoner overskrider NRV må den korrigeres for bakgrunnskonsentrasjoner som kan komme fra andre kilder enn de tilvirkede nanomaterialene. Hvis den målte verdien fortsatt overskrider NRV må konsentrasjoner fra tilvirkede- og utilsiktede nanomaterialer skilles for eksempel ved å foreta målinger ved driftstans og -under drift. Hvis det likevel er usikkert om målingene tilfredsstillende NRV er det anbefalt å karakterisere nanomaterialenes kjemiske- og fysiske egenskaper, eller hvis verdiene overskrides må tiltak iverksettes. For å måle konsentrasjoner henviser IVAM til NEN-689 (IVAM, 2012).

#### **6.3.2.1 Karbon nanorør**

IARC har nylig klassifisert en variant av flervegget karbon nanorør i gruppe 2B, noe som betyr at denne varianten er mulig kreftfremkallende for mennesker (IARC, Utarbeides).

NRV for karbon nanorør er satt til  $0,01 \text{ fibre/cm}^3$ . Anbefalt yrkeshygienisk grenseverdi på  $1 \text{ ug/m}^3$  er utledet og foreslått (Aschberger et al., 2010) (NIOSH, 2013). Nanocyl har foreslått en yrkeshygienisk grenseverdi på  $2,5 \text{ ug/mg}^3$  (Nanocyl, 2009).

Nanomaterialet det er mest bekymring for er karbon nanorør og deres paralleller forskning har trukket til asbest og asbestlignende effekter. Parallellene som er trukket mellom asbest og karbon nanorør er at de har samme form, det vil si de er nålformede/rørformede fiber, noen rigide og andre mindre rigide, samt at det er gjort funn som indikerer at enkelte typer karbon nanorør kan forårsake mesoteliom. Mesoteliom er ofte forbundet med ondartede svulster forårsaket av inhalerte asbestfibre (SNL, 2009b). I en studie fra 2008 ble mus eksponert for lange flerveggede karbon nanorør, og resultatene viste at karbon nanorør forårsaket betennelsesreaksjoner og dannelse av granulom, det vil si effekter som kan sammenlignes med de observert etter inhalering av asbestfibre (Poland et al., 2008).

### 6.3.2.2 *Karbon black*

Karbon black er klassifisert i gruppe 2B av IARC (IARC, 2010), og NRV for karbon black i pulverform er satt til 40 000 partikler/cm<sup>3</sup> (IVAM, 2012).

Uønskede effekter forårsaket som følge av inhalasjon av karbon black i dyremodeller ble allerede rapportert på 90-tallet (Heinrich et al., 1994, Driscoll et al., 1996). Heinrich eksponerte rotter for økende doser med karbon black (7, 11.6 og 10 mg/m<sup>3</sup> pr. time) og observerte økt forekomst av svulst i lungene. Effekten ble antatt å være forårsaket av toksiske effekter på makrofager i lungeblærene og redusert evne til å rense ut partiklene fra lungene. Driscoll eksponerte rotter for karbon black (1, 7.1 og 52.8 mg/m<sup>3</sup>) og observerte at lungenes evne til å kvitte seg med karbon black var svekket ved dosene 7.1 og 52.8 mg/m<sup>3</sup>. I tillegg ble det observert effekter som skade på lungevev, betennelser, lungefibrose og andre indikasjoner på mulig betennelsesreaksjon og dannelse av svulst. Lignende funn er gjort i flere senere studier, hvor det i tillegg er rapportert at større overflateareal gir sterkere effekt. Karbon black i størrelsesorden 1 – 100 nm gir sterkere effekt enn karbon black som opptrer i større størrelser (noe som skjer ved agglomerering og aggregering) og at effektene kan være sterkere hos eldre individer (Sager and Castranova, 2009, Oberdörster, 2000, Stoeger et al., 2006, Bourdon et al., 2012, Saber et al., 2009). I en annen studie ble det observert indikasjoner på at langtidseksponering med høyere doser (7 mg/m<sup>3</sup> og 50 mg/m<sup>3</sup>) av karbon black kan promotere oksidativ DNA-skade i lungene hos rotter (Gallagher et al., 2003). En studie undersøkte effekter av karbon black (0.018, 0.054 og 0.162 mg, engangsdose) i lunger og lever hos mus. Resultatene viste genotoksiske effekter i tillegg til betennelser (Bourdon et al., 2012). Det er gjennomført en lignende undersøkelse hvor mus ble eksponert for karbon black, men med lavere doser (0.67, 2, 6 og 162 ug). Resultatene fra undersøkelsen ga indikasjoner på at karbon black i lavere doser i mus forårsaket DNA-skade (DNA strengbrudd) ved primær genotoksisitet (Kyjovska et al., 2015). Primær genotoksisitet er som tidligere nevnt når en partikkel eller fiber er i direkte kontakt med DNA materialet. Det er også gjort funn som viser at inhalering av karbon black nanopartikler kan forverre en allerede eksisterende betennelse i lunger hos mus (Saputra et al., 2014).

### **6.3.2.3 Kvanteprikker**

Helseeffekter forårsaket av kvanteprikker er i tillegg til størrelsesorden 1 – 100nm knyttet til deres kjerne og skall som kan inneholde metalliske forbindelser som ved oppløsning kan medføre lekkasjer av uheldige stoffer, slik som kadmiumioner. Wu & Tang viste til flere studier som observerte helseeffekter i luftveiene etter eksponering for kvanteprikker. Noen av helseeffektene var cytotoxissitet, genotoksisitet og andre luftveisplager samt astma (Wu and Tang, 2014).

### **6.3.2.4 Titandioksid**

Titaniumdioksid som pulver kan forekomme både som bulk, nanomaterial og i ulike krystallformer (rutil og anatase).

Titandioksid er klassifisert i gruppe 2B av IARC (IARC, 2010), og NRV er satt til 40 000 partikler/cm<sup>3</sup> (IVAM, 2012), og anbefalt yrkeshygienisk grenseverdi er satt til 0,3 mg/m<sup>3</sup> (NIOSH, 2011).

Titandioksids utstrakte bruk i kosmetikk, tilsetningsstoffer i næringsmidler og som hvitt pigment i maling er forankret i forskning som har vist at det har lav toksisitet i mennesker og dyr. Det vises til studier av blant annet (Bernard et al., 1990, Chen and Fayerweather, 1988) i (Gurr et al., 2005). Dette er basert på titandioksid med partikkelstørrelser over 100 nm. Det vises også til forskning som viser at titandioksid-nanopartikler har lav cytotoxissitet sammenlignet med andre typer nanopartikler (Peters et al., 2004, Yamamoto et al., 2004, Zhang et al., 1998) i (Gurr et al., 2005).

Gurr og kolleger studerte ultrafine partikler av titandioksid (krystallform anatase, 10 og 20 nm) og deres effekter i luftveiene. Resultatene ga indikasjoner på at ultrafine partikler av titandioksid kan forårsake oksidativ nedbrytning av fett, oksidativ DNA skade og øke nivået av nitrogenoksid og hydrogenperoksid (Gurr et al., 2005). Warheit og kolleger sammenlignet flere typer ultrafine partikler av titandioksid med hverandre, og undersøkte helseeffektene forbundet med eksponering av rotter. Resultatene viste at de forskjellige variantene av titandioksid uttrykte forskjellig grad av effekt, titandioksid med krystallformen rutil viste lavere toksisitet enn de øvrige. Effektene var betennelser, cytotoxissitet og fiberlignende effekter (Warheit et al., 2006).

En studie med formål å undersøke hvilke effekter titaniumdioksid-nanopartikler (< 25 nm) og –mikropartikler (1, 10 og 50 µg/ml) hadde på menneskets nerveceller og fibroblastceller

kunne viste til resultater som antyder at både titandioksid-nanopartikler og –mikropartikler bidrar til økt celledød (konsentrasjonsavhengig økning) i tilnærmet lik grad, det vil si at det var ingen betydelig forskjell i effekt mellom nanopartiklene og mikropartiklene. Den observerte økningen i celledød etter eksponering skjedde via apoptose, nekrose og muligens en variant som hadde likheter til både apoptose og nekrose (Lai et al., 2008). En annen studie undersøkte toksisitet av blant annet titandioksid-nanopartikler på leverceller fra rotter. Eksponering for lavere konsentrasjoner (10-50 µg/ml) viste ingen målbar effekt på cellene, mens en signifikant effekt ble observert ved eksponering for høyere konsentrasjoner (100-250 µg/ml) (Hussain et al., 2005). Genotoksiske effekter som følge av eksponering for titandioksid-nanopartikler er også observert. Det er rapportert at luftveis epitelceller eksponert for titandioksid-nanopartikler (40 nm rutil titandioksid med et dekklag av silika, < 25 nm anatase titandioksid, 1-100 µg/cm<sup>2</sup>) induserte DNA skade ved 10 µg/cm<sup>2</sup> for anatase og ved 80 µg/cm<sup>2</sup> for rutil. Det ble konkludert med at titandioksid-nanopartikler i anatase varianten og titandioksid som fine partikler (≤ 2.5 µm) mer effektivt forårsaket DNA skade og cytotoxiskitet (Falck et al., 2009). Titaniumdioksid-nanopartiklers (28 nm) effekt på epitelceller fra lunger viste derimot ingen tegn til dannelsen av reaktive oksygenforbindelser eller DNA-skade (Wan et al., 2012). Et inhalasjonsstudie undersøkte hvilke effekter titaniumdioksid-nanopartikler (rutil dekt med silika, ca. 40 nm, nålformet) og fine partikler av titaniumdioksid (ca. 5 µm) hadde på mus med allergisk astma. Resultatene viste indikasjoner på at titaniumdioksid-nanopartikler så vel som –fine partikler undertrykte Th2-type betennelse (overaktivering av Th2 er forbundet med allergiske/astmatiske reaksjoner). Med dette resultatet ble det foreslått at titaniumdioksid-partikler kan regulere betennelser i luftveiene avhengig av status/tilstand til immunsystemet (Rossi et al., 2010).

En studie av Shi og kolleger gjennomgikk toksikologiske data på titandioksid-nanopartikler. De rapporterte at de epidemiologiske studiene som ble gjennomgått ikke viste en sammenheng mellom eksponering i yrkessammenheng for titandioksid-nanopartikler og økt risiko for kreft. Hovedtyngden av datamaterialet de undersøkte viste at anatase varianten av titaniumdioksid-nanopartikler kan være cytotoxisk eller genotoksiske. Det ble rapportert at studiene som undersøkte genotoksitet viste motstridene resultater, og generelt sett ble det brukt høye doser. Det ble også gjennomgått studier med fokus på andre eksponeringsveier, og det kunne tyde på at titaniumdioksid-nanopartikler ikke penetrerer frisk hud. Evnen til å spre seg fra lunger eller mage-tarm-kanalen var knyttet til mye usikkerhet. Det er også uklart

om eksponering for titaniumdioksid-nanopartikler kan ha toksiske effekter på forplantning og utvikling (Shi et al., 2013).

#### **6.3.2.5 Sinkoksid**

Sinkoksid som pulver forekommer både som bulk og som nanomaterial.

Europakommisjonens rapport fra 2012 anbefalte ekstra fokus på sinkoksid på grunn av store produksjonsvolum (EC, 2012).

Sinkoksid i form av røyk fra behandling av metaller (for eksempel sveising) kan ha alvorlige helseeffekter ved eksponering i tilstrekkelige mengder, og er koblet til sykdommen metallfeber, og er godt kjent. Anbefalt nano-referanseverdi for nanomaterialer i pulverform av sinkoksid er satt til 40 000 partikler/cm<sup>3</sup> (IVAM, 2012).

I en studie ble rotter eksponert for sinkoksid nanopartikler i doser de mente var relevant for eksponering i yrkessammenheng (1.1 og 4.9 mg/m<sup>3</sup>). Formålet var å undersøke om eksponering for sinkoksid-nanopartikler kunne ha skadelige effekter i hjerte-lunge regionen hos rotter. Resultatene fra studiet viste betennelse og fibrose i hjerteregionen (7 dager etter eksponering), og nekrose av hjertemuskel (30 dager etter eksponering), noe som viser at slik eksponering hos rotter kan forårsake svekkelse og skade i hjerte og lunger (Chuang et al., 2014). Det er også gjort funn som tyder på at sinkoksid-nanopartikler (20 nm, 1 – 100 µg/ml) potensielt kan forsterke prosessene som leder fram til aterosklerose (prosess som leder frem til fettavleiringer/åreforkalkning). Det ble observert indikasjoner på økt dannelse av skumceller (foam cells, celler fylt med lipider). Skumceller er ikke i seg selv farlige, men hvis de akkumuleres på et sted kan være med å bidra til dannelse- og progresjon av aterosklerose. (Suzuki et al., 2014). Konsekvenser av aterosklerose kan være hjerteinfarkt, hjerneslag, skader i arterievegger og sykdommer i beinregionen. Effektene er avhengig av hvor i kroppen avleiringene oppstår (NHI, 2009).

Funn fra en studie på akutt toksisitet i luftveiene ved eksponering for sinkoksid-nanopartikler viste indikasjoner på alvorlig/eosinofil cytotoxiskitet. Eosinofile celler er forbundet med astmatiske/allergiske reaksjoner (Cho et al., 2010). En annen studie hadde som formål å undersøke om sinkoksid-nanopartikler (50 og 100 nm, ≤ 45 µg/ml) kunne inducere betennelesereaksjoner i sirkulasjonssystemet. Resultatene viste flere indikasjoner på responser som tydet på betennelser induert av sinkoksid-nanopartikler (Tsou et al., 2010). Det er også rapportert om akutte toksiske effekter i form av betennelser og forstyrrelser i



luktorganet hos rotter etter eksponering via neseregionen for sinkoksid-nanopartikler (30 nm, 5 mg/m<sup>-3</sup>) (Gao et al., 2012). En antatt årsak til den toksiske virkningen av sinkoksid-nanopartikler i dette studiet var deres evne til å ødelegge mitokondrie i endotelceller i luktorganet.

En nyere studie viser at sinkoksid-nanopartikler kan nå dermis etter lokal eksponering på huden, men at effektene er forskjellig avhengig av om det er frisk hud eller hud med atopisk eksem som eksponeres. I frisk hud ble det observert betennelsesdempende effekter (positive helseeffekter), mens for hud med atopisk eksem ble det observert økt produksjon av IgE antistoffer (Ilves et al., 2014). Økt produksjon av IgE antistoffer er forbundet med type 1 allergiske reaksjoner, straksreaksjoner (SNL, 2009a).

#### **6.3.2.6 Nikkeloksid**

Nikkelsammensetninger inkludert -oksider er klassifisert i gruppe 1, og metallisk nikkel er klassifisert i gruppe 2B (IARC).

Et inhaleringsforsøk med rotter eksponert for nikkeloksid-nanopartikler (139 ± 12 nm) viste betennelsesreaksjoner, men betennelsen var mildere i forhold til det som ble observert for nikkeloksid-mikropartikler, og dette er også observert i andre studier (Ogami et al., 2009, Cho et al., 2010). En mulig årsak til betennelse kunne være toksisitet forårsaket av nikkeloksid-nanopartikler. Det ble heller ikke observert tegn til svekket evne til å rense ut nikkeloksid-nanopartikler fra lungene (T. Oyabu et al., 2007). Betennelse i lungene ble også observert i andre studier med nikkeloksid-nanopartikler. Her ble derimot rottene eksponert ved høyere doser, henholdsvis 0.2 mg og 5.4 mg/500cm<sup>2</sup> (10-20 nm) (Morimoto et al., 2010, Lu et al., 2009). Resultater fra nyere forskning viste at nikkeloksid-nanopartikler kan forårsake/bidra til cytotoxiskitet. Cytotoxiskitet ble uttrykt gjennom at nikkeloksid-nanopartikler ble tatt opp av cellen, frigjorde nikkellioner (Ni<sup>2+</sup>) som samlet seg opp i cellen, og som til slutt endte opp med å forårsake apoptose, dvs. celledød (Duan et al., 2015). Resultater fra en annen studie viste til cytotoxiskitet via oksidativt stress som følge av reaktive oksygenforbindelser med påfølgende apoptose i leverceller av mennesker etter eksponering for nikkeloksid-nanopartikler (44 nm) (Ahamed et al., 2013).

### **6.3.2.7 Aluminiumoksid**

NRV for nanomaterialer av aluminiumdioksid i pulverform er satt til 40 000 partikler/cm<sup>3</sup> (IVAM, 2012).

Resultatene fra en studie med hensikt å undersøke effekten av aluminiumoksid-nanopartikler på blod-hjerne-barrieren indikerte at aluminiumoksid-nanopartikler kan påvirke hjernens blodforsyning, og at de underliggende mekanismene for aluminiumoksid-nanopartiklers toksisitet kan være deres evne til å forandre på mitokondriefunksjoner (Chen et al., 2008). En annen studie undersøkte aluminiumoksid-nanopartiklers evne til å inducere oksidativt stress i hjernen, lever og nyrer i rotter. Resultatene ga indikasjoner på at aluminiumoksid-nanopartikler injisert i rotter forårsaket dose-avhengig oksidativt stress (Morsy et al., 2013). Oksidativt stress ble også observert i en annen studie som undersøkte cytotoksisitet, effekter på cellulær morfologi og genotoksisitet i stamceller fra mennesker (Alshatwi et al., 2012). Årsaken til oksidativt stress ble antatt å være på grunn av dannelsen av reaktive oksygenforbindelser, da det ble observert indikasjoner på at eksponering for aluminiumoksid-nanopartikler kan forsterke dannelsen av frie radikaler i den undersøkte celletypen samtidig som uttrykkelse av antioksidant enzymer ble nedregulert, det vil si oksidativt stress – ubalanse mellom frie radikaler og antioksidanter (SNL, 2012).

### **6.3.2.8 Manganoksid**

En mulig effekt som følge av eksponering for manganoksid som ultrafine partikler er at de kan komme seg til sentralnervesystemet og forårsake betennelser. Undersøkelsen ble utført på rotter, men det foreslått at det likevel kunne være relevant for mennesker. Rottene ble eksponert via inhalasjon gjennom nesene (500 µg/m<sup>3</sup>). En usikkerhet er at funnene ikke nødvendigvis er overførbare til nanomaterialer (Elder et al., 2006). Mer alvorlige helseeffekter ble observert i en studie hvor rotter ble oralt eksponert (via en intubasjonskanyle) med høyere doser (30 mg/kg<sup>-1</sup>, 300 mg/kg<sup>-1</sup> og 1000 mg/kg<sup>-1</sup>). Det ble observert indikasjoner på genotoksisitet, biokjemiske forandringer og histologiske forandringer, og at effektene ble oppnådd ved lavere doser for nanopartiklene enn for mikropartiklene. Det poengteres at det ble brukt høye doser for å oppnå genotoksiske effekter og biokjemiske forandringer (Singh et al., 2013).

#### **6.3.2.9 Krom(III)oksid**

Sammensetninger med krom(III)oksid er klassifisert i gruppe 3 (IARC). Krom(III)oksid som fine partikler ( $\leq 2.5 \mu\text{m}$ ) er uløselig og kjemisk stabil, og er klassifisert som en lite toksisk variant av kromsammensetninger.

Krom(III)oksid-nanopartikler og mulige helseeffekter er mindre undersøkt, men en studie (Horie et al., 2011) observerte indikasjoner på at krom(III)oksid-nanopartikler var løselige i mediet som ble brukt, og førte til cellulært opptak. Intracellulære og ekstracellulære effekter ble observert etter at krom(III)oksid-nanopartiklene var oppløst. De observerte effektene i cellekulturene var oksidativt stress, apoptose og DNA-skade, og på bakgrunn av funnene ble det foreslått at krom(III)oksid-nanopartikler har helseeffekter lik de for krom(VI)oksid.

Krom(VI)oksid er klassifisert i gruppe 1 av IARC (IARC). En annen studie undersøkte hvilke toksiske effekter metalloksid-nanopartikler hadde på cellulære funksjoner (JENG and SWANSON, 2007). Resultatene fra studien viste at krom(III)oksid-nanopartikler ikke hadde toksisk effekt på cellekulturene.

#### **6.3.2.10 Jernoksider**

NRV for jernoksider er satt til 20 000 partikler/cm<sup>3</sup> (IVAM, 2012).

Nanomaterialer av jernoksider kan forekomme i mange forskjellige former. Noen eksempler er jernoksid, hematitt, jern(III)oksid, magnetitt og andre jernholdige sammensetninger. Forskning på nanomaterialer av jernoksider har generelt vist lavere toksisitet (EC, 2012). Men likevel er NRV for jernoksider satt lavere enn titandioksid og karbon black, noe som kan tolkes som at jernoksider muligens er farligere.

#### **6.3.2.11 Ceriumdioksid**

NRV for ceriumdioksid er satt til 20 000 partikler/cm<sup>3</sup> (IVAM, 2012).

Ceriumdioksid kan forekomme som nanomaterial, men det er lite forskning på potensielle helseeffekter som følge av eksponering. Forskningen består hovedsakelig av høye doser, og en logisk og forventet følge av høye doser er betennelsesreaksjoner (EC, 2012). En annen studie (Cho et al., 2010) viste at ceriumdioksid-nanopartikler forårsaket betennelsesreaksjoner i lungene hos rotter etter eksponering for høye doser. Effektene ble observert både som akutt og kronisk. En annen indikasjon på at de kan være farlige er NRV som for ceriumdioksid er satt lavere enn andre.

### **6.3.2.12 Sølv**

NRV for sølv er satt til 20 000 partikler/cm<sup>3</sup> (IVAM, 2012).

En studie sammenlignet resultater fra sølv-nanopartikler i forskjellige størrelsesordener og cytotoxicitet. Resultatene viste at det kun var sølv-nanopartikler i størrelsen 10 nm som var cytotoxic for menneskelige lungeceller. Det ble antatt at årsaken til høyere cytotoxicitet for disse sølv-nanopartiklene var på grunn av høyere intracellulært utslipp av sølvioner (Ag<sup>+</sup>), dvs. at sølv-nanopartikler kan fungere som en trojansk hest som gjør det mulig å trenge inn i cellene for så og slippe ut sølv-nanopartikler/sølvioner inne i cellen (Gliga et al., 2014). Lignende resultater ble observert i en annen studie, men på andre type celler. Resultatene viste store forskjeller mellom sølv-nanopartikler i størrelsen 5 nm og 40 nm med hensyn til cytotoxicitet. Sølv-nanopartiklene i størrelsen 5 nm var mye mer cytotoxic enn det som ble observert for sølv-nanopartikler i størrelsen 40 nm (Avalos et al., 2013). Sølv-nanopartikler er gitt lavere NRV enn andre, noe som kan være en indikasjon på at de muligens er farligere.

### **6.3.2.13 Gull**

NRV for gull er satt til 20 000 partikler/cm<sup>3</sup> (IVAM, 2012).

Noen studier på gull-nanopartikler og helseeffekter har vist at de er ikke-reaktive og ikke-cytotoxic for organismen, men det kan derimot tenkes at forskjellige funksjonaliseringer/modifikasjoner av overflaten kan gjøre gull-nanopartikler toksiske (Schlinkert et al., 2015) En studie eksponerte celler for konsentrasjoner av gull-nanopartikler (og –sølv) som skulle være realistiske på arbeidsplassen, og resultatene viste ingen akutte toksiske effekter av hverken gull- eller sølv-nanopartikler. Det ble derimot observert betennelsesreaksjoner for både gull- og sølv-nanopartikler i størrelsen 20 nm toksisiteten (Bachand et al., 2012).

### 6.3.3 Helseeffekter oppsummert

Beramaschi (2012) har laget en oversikt over potensielle helseeffekter forårsaket av nanomaterialer, og hvilke kliniske utfall helseeffektene kan ha (tabell 4).

Tabell 4: potensielle helseeffekter og sykdom. Kilde: (Bergamaschi, 2012).

Potensielle helseeffekter	Potensielle kliniske utfall
<ul style="list-style-type: none"><li>- Betennelser</li><li>- Cytotoksisitet (giftig for celler)</li><li>- Oksidativt stress</li><li>- Fibrose</li><li>- Genotoksisitet (både primær og sekundær, dvs. direkte i kontakt med genmaterial eller indirekte via betennelser, (Schins, 2002))</li><li>- Celle homeostasis (likevekt mellom nye celler og celledød)</li><li>- Effekter på immunsystemet (både negative og positive)</li><li>- Celletransformasjon (kan i værste fall, for eksempel, føre til dannelse av svulster)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Betennelser i lungene og forandringer i vev</li><li>- Systemiske betennelser</li><li>- Fremskyndet aterosklerose</li><li>- Variasjoner i hjerterytmen og ustabilitet i forekomsten av plakk</li><li>- Allergier og immunsykdommer</li><li>- Ustabilitet i genomet</li></ul>

De viktigste effektene som følge av eksponering for nanomaterialer er effekter observert i lungene, derav fokuset på inhalasjon som den mest kritiske eksponeringsveien for nanomaterialer på arbeidsplassen. Det er i tillegg knyttet størst bekymring til nanomaterialer som opptrer som frie partikler, men det er samtidig usikkert i hvilken grad nanomaterialer som frie partikler forekommer, da de har en tendens til å agglomerere/aggregere, det vil si at størrelsesfordelingen av partiklene endrer seg fra den opprinnelige størrelsesordenen til en størrelsesorden med større gjennomsnitt og således kan utgjøre mindre risiko for helseeffekter (EU-OSHA, 2009).

## 6.4 Vurdere potensiell eksponering for nanomaterialer

Selv om det finnes svært mange forskjellige nanomaterialer, er det bare et fåtall av variantene som produseres i stor skala, og mange er foreløpig forbeholdt forskningslaboratorier, inkludert laboratorier på høyskoler/universiteter. Eksponering for nanomaterialer kan således deles i to nivåer der det skilles mellom masseproduksjon av nanomaterialer (f.eks. silika og karbon black og titandioksid) og FoU inkludert høyskoler/universiteter (EU-OSHA, 2009).

Arbeidere kan eksponeres for nanomaterialer i alle slags arbeidsoppgaver som involverer håndtering av nanomaterialer, fra FoU til produksjon, avfallshåndtering og rengjøring, og en viktig del av eksponeringsvurderingen er derfor å kartlegge arbeidsoppgaver/-prosesser som kan være en potensiell kilde til eksponering for nanomaterialer, det vil si å identifisere kritiske prosesser. Kartleggingen utføres på samme måte som i en tradisjonell kartlegging av kjemikalier/partikler hvor relevante arbeidsaktiviteter og relevante uønskede hendelser som kan medføre at arbeidstakere blir eksponert for nanomaterialer identifiseres. Nettstedet *GoodNanoGuide* har utarbeidet en liste (tabell 5) over aktiviteter som kan medføre eksponering for nanomaterialer (GNG), og listen er også sitert i Europakommisjonens nyeste veiledning for håndtering av nanomaterialer (EC, 2014c).

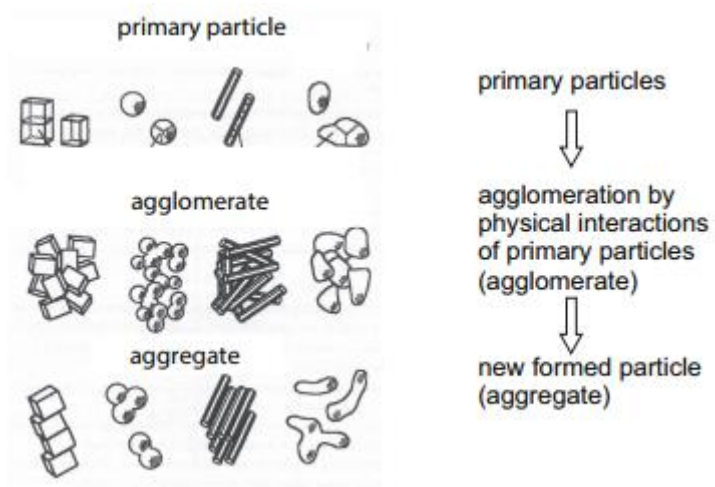
Eksponeringsvurdering i henhold til det norske verktøyet trygg håndtering av nanomaterialer rangerer mulig eksponering for nanomaterialer i arbeidsmiljøet i tre forskjellige klasser (Arbeidstilsynet, 2014).

- klasse 1 (frigjøring ikke mulig på grunn av lukket system)
- klasse 2 (frigjøring av agglomererte/aggregerte nanomaterialer, eller større partikler fra matriser)
- klasse 3 (frigjøring av frie partikler er mulig)

Kvantitative målinger av nanomaterialer i arbeidsatmosfæren har vist at de høyeste eksponeringsnivåene ikke nødvendigvis oppstår under produksjon eller syntesen av nanomaterialer, men ved håndtering av nanomaterialer utenom normal drift og ved andre aktiviteter. Eksempler på slike aktiviteter er fylling og tømning av sekker brukt til nanomaterialer, fjerning av nanomaterialrester fra prosess- og produksjonsutstyr, rengjøring og avfallshåndtering (Fujitani et al., 2008, Yeganeh et al., 2008).

Nanomaterialer som opptrer som frie partikler er antatt å utgjøre større eksponeringsfare enn nanomaterialer bundet i matriks, eller som opptrer som agglomererte eller aggregerte partikler (figur 6). En faktor som antas å spille en viktig rolle for nanomaterialers potensial for

eksponering/utslipp, og som således er viktig for å vurdere eksponering, er derfor hvilken tilstand/form de forekommer i: frie partikler, fiber eller i løsning/matriser med videre (EU-OSHA, 2009).



Figur 6: frie-, agglomererte- og aggregerte partikler. Kilde: (Walter, u.å).

Tabell 5: aktiviteter som kan medføre eksponering. Kilde: (GNG).

Eksponeringskilder	Eksponeringspotensial
Utpakking av material	Potensiell eksponering for høye konsentrasjoner av frie partikler ved overføring av nanomaterialer.
Syntese	Eksponeringspotensial avhenger av produksjonsmetode og om prosessene er lukket/innkapslet, tilstrekkelig ventilert med videre. Må vurdere potensial for eksponering via inhalasjon (f.eks. aerosoler), hud og mage/tarm (kontaminerte flater).
Oppveing og måling	Håndtering av pulver/væsker (frie nanomaterialer).
Dispergering	Potensiell eksponering for høye konsentrasjoner av frie partikler.
Miksing	Potensiell eksponering for høye konsentrasjoner av frie partikler.
Sprayprodukter/-prosesser	Potensiell eksponering for høye konsentrasjoner av frie partikler.
Maskinering	Se syntese.
Pakking/emballering	Potensiell eksponering for høye konsentrasjoner av frie partikler ved overføring av nanomaterialer.
Rengjøring av prosessutstyr	Kontaminert flater på maskiner, utstyr og produktrester kan være relevant både for inhalasjon og hud-/øyeeksponering av nanomaterialer.
Rengjøring av arbeidlokalet/prosesser/utstyr	Kontaminerte flater på arbeidsstasjoner/–lokaler samt at produktrester kan være relevant både for inhalasjon og hud-/øyeeksponering av nanomaterialer.
Opprydding av søl	Se rengjøring.
Avfallshåndtering	Håndtering av pulver, væsker med videre kan medføre eksponering.
Relevante uønskede hendelser som potensielt kan føre til eksponering	-
Avvikling av utstyr	-



#### **6.4.1 Måling av nanomaterialer**

Yrkeshygieniske målinger på arbeidsplassen er anbefalt når det er usikkerhet knyttet til risikonivået. Usikkerheten kan være knyttet til helseeffekter, eller det kan være knyttet til eksponeringen, og når resultatet av risikovurderingen er preget av usikkerhet vil det på generell basis anbefales å gjennomføre en detaljert risikovurdering, for eksempel ved å gjennomføre målinger av lufta i arbeidsatmosfæren (EC, 2014b). Det kan også være at det er avdekket usikkerhetsmomenter i lys av en yrkeshygienisk kartlegging av arbeidsplassen, og anbefalingen kan være at det må gjøres målinger for å kunne konkludere med at arbeidsplassen er trygg, eller om det må iverksettes tiltak for å redusere eksponering (Arbeidstilsynet-450, 2008).

Det er flere utfordringer som begrenser muligheten til å gjøre kvantitative målinger i virksomheter som håndterer nanomaterialer. Dette inkluderer begrensninger i måleutstyr, hva skal måles, kostnader og arbeidstimer, samt relativt store krav til kompetanse ved bruk av utstyret. Noen av disse utfordringene belyses i dette delkapitlet.

Eksisterende instrumenter klarer ikke effektivt å skille mellom emisjon av nanomaterialer laget med hensikt og nanomaterialer som er naturlig tilstede i bakgrunnen, såkalt «bakgrunnsstøy» som stammer fra utilsiktet emisjon fra prosesser og arbeidsoperasjoner. Bakgrunnsstøyen kan være i form av ultrafine partikler fra forbrenning av drivstoff, slitasje, kondensering av damp med videre (Tsuji et al., 2005, Maynard and Aitken, 2007, Kuhlbusch et al., 2011). For å vurdere tilnærmet eksponering ved slikt arbeid kan målinger foretas av lufta når produksjonen er i gang sammenlignes med målinger av lufta under produksjonsstans (ECHA, 2013).

Den tradisjonelle måten å måle aerosoler på er å måle massekonsentrasjonen av aerosoler ved bruk av filterbaserte personlige målere utstyrt med sykkloner. Utfordringen med denne målemetoden er parameteren massekonsentrasjon som ikke er ansett som en optimal parameter for å indikere nanomaterialets helsefare (Maynard and Aitken, 2007, Kuhlbusch et al., 2011). Andre parametere er diskutert i forskning, og flere av de er ansett som bedre parametere enn massekonsentrasjon. Eksempler på andre er antall partikler, overflateareal, form og størrelse. Ved registrering av nanomaterialer i REACH anbefaler ECHA at det gis informasjon om flere av parameterne, men at bruken av parameterne må ses i sammenheng med hva slags nanomaterial som håndteres. For eksempel foreslår ECHA at fiber registreres med informasjon om nummerkonsentrasjon, og for uløselige eller lite løselige partikler anbefales parameterne overflateareal eller antall partikler (ECHA, 2013).

Det finnes instrumenter som er basert på disse parameterne, men den allmenne tilgjengeligheten til slike instrumenter for virksomheter er begrenset blant annet fordi håndtering og bruk av instrumentene krever ekspertise og de er kostbare (Kuhlbusch et al., 2011). En annen begrensning, i tillegg til at det ikke finnes en universal parameter for å måle nanomaterialer, er at instrumentene kun måler én av parameterne slik at det ofte er behov for å bruke flere målemetoder og instrumenter supplert med kjemiske analyser for å si noe om eksponeringspotensialet og mulig helsefare forbundet med nanomaterialene (Arbeidstilsynet, 2014). Arbeidstilsynet har i sitt veiledningsdokument for trygg håndtering av nanomaterialer referert til forskjellige måle- og analysemetoder (Arbeidstilsynet, 2014):

- Filterprøver, sykklon eller «dust tracker» for å måle respirabelt støv ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ )
- Kondensasjonspartikkeltellere for å måle antall partikler (direktevisende instrument)
- FMPS, APS og OPC måler konsentrasjons- og størrelsesfordeling i forskjellige størrelsesintervaller med forskjellige metoder
- Elektronmikroskopi for å bestemme fiberformede nanomaterialer
- ICP-MS og EM/TEM kan brukes til å bestemme fysisk-kjemiske egenskaper

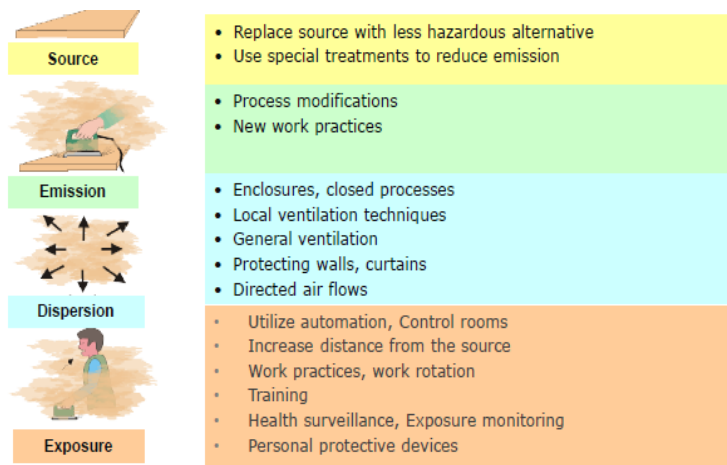
Håndholdte instrumenter for måling av nanomaterialer er under utvikling gjennom prosjektet Nanodevice. Instrumentene er tenkt å måle ulike parametere, være tilpasset forskjellige nanomaterialer, størrelsesordener og noen av instrumentene skal skille nanomaterialer fra «bakgrunnsstøy» samt at det blir enklere å fastsette eksponeringsnivået i for eksempel pustesonen til arbeidstakere som håndterer avfall eller rengjør utstyr, arbeidslokaler eller maskiner (Nanodevice). Det finnes noen håndholdte instrumenter allerede, og noen av disse er som følger (Levin, 2014):

- DISCmini (Antall partikler  $< 10^6$ , gjennomsnittsdiameter av partikler i størrelsesorden 10-300 nm). Kilde: (Testo-AG).
- P-TRAK (nummerkonsentrasjon  $< 5 \times 10^6$ , partikler i størrelsesorden 0.1 – 1  $\mu\text{m}$ ). Kilde: (TSI, 2012).
- Partector (laser diffraction surface area & TEM). Kilde: (Naneos).
- Nanotracer (antall partikler  $< 10^6$ , gjennomsnittsdiameter av partikler i størrelsesorden 20 – 120 nm). Kilde: (Aerasense).

## 7 Tiltak

### 7.1 Tiltakstrappa

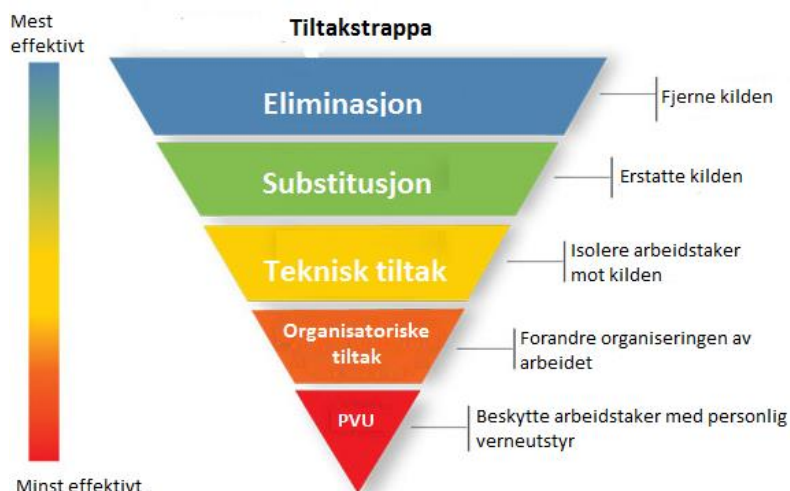
Tiltak kan iverksettes på tre nivåer: ved kilden, utbredelsesveien og tiltak rettet mot arbeidstakerne (figur 7).



Figur 7: kilden, utbredelsesveien og mottaker. *Kilde: (Säämänen, 2014)*

(Han et al., 2008), og særlig for kontroll av støv på arbeidsplassen (Berges et al., 2014). Det er derfor anbefalt å bruke konvensjonelle tiltak basert på tiltakstrappa for å beskytte arbeidstakere mot nanomaterialer, slik som innkapsling og lukkede systemer, men også organisatoriske tiltak og PVU. (ECHA, 2013).

Den klassiske og mest brukte fremgangsmåten å gjøre dette på er og ta utgangspunkt i prioriteringene som følger av tiltakstrappa (figur 8). Forskning viser at konvensjonelle tiltak basert på tiltakstrappa som er brukt i industrien i lang tid er tilstrekkelig til å redusere eksponering for nanomaterialer



Figur 8: tiltakstrappa. Kilde: (NIOSH, 2015b)

Prinsippet bak tiltakstrappa er at det mest effektive er å iverksette tiltak så nærme kilden som mulig, og at PVU som er plassert lengst ned prioriteres sist fordi det er mer utsatt for variasjon og gir mindre pålitelighet enn hva gjelder organisatoriske- og tekniske tiltak eller eliminasjon/substitusjon. Den

beste effekten oppnås når tiltak fra ulike nivåer i tiltakstrappa kombineres, det vil si at selv om en eksponeringskilde er innkapslet bør ikke organisatoriske tiltak og PVU ignoreres (OTA, 1985). Prioritering av hvilke tiltak som skal iverksettes baseres på flere kriterier som veies mot hverandre. Utgangspunktet er at tiltak plassert høyere opp skal iverksettes. Hvert trinn i tiltakstrappa består av forskjellige typer tiltak hver med sine fordeler og ulemper, og et av kriteriene for å prioritere riktig er å vurdere hvor effektive hvert tiltak er for det tiltenkte bruksområdet. Et annet kriterium som veier tungt er kostnader forbundet med innkjøp, drift og vedlikehold. Raynor lister opp noen faktorer som bør vurderes sammen med tiltakstrappa og kostnader når tiltak skal prioriteres (Raynor, 2011):

- pålitelighet: er det behov for tiltak som har liten sannsynlighet for å feile, eller er det behov for flere lag med tiltak (redundans) hvis et av tiltakene skulle svikte?
- eksponerte personer: er det noen arbeidstakere som er mer eksponert enn andre?
- eksponeringsmiljø: er det områder på arbeidsplassen hvor det er mistanke om høyere konsentrasjoner?
- eksponeringsfrekvens: kontinuerlig produksjon eller batch?
- gir intervensjoner/implementering andre utfordringer for arbeidstakerne?

## **7.2 Eliminering og substitusjon**

Prinsippet som sier at farlige materialer eller stoffer skal vurderes substituert med mindre farlige materialer som likevel tilfredsstillende formålet med bruken gjelder også for nanomaterialer (substitusjonsprinsippet), og er regulert gjennom Arbeidsmiljøloven § 4-5 andre ledd (Lovdata, 2006). Det vil si at ved bruk av nanomaterialer i pulverform kan det vurderes å erstatte det med former som er mindre støvende ved å bruke væsker/i løsninger eller redusere potensiell helsefare ved å modifisere overflaten eller den molekylære formen (Arbeidstilsynet, 2014). Substitusjonsprinsippet er også relevant der nanomaterialets opprinnelige kjemikalie på bulk er ansett som helsefarlig eller klassifisert som et CMAR-stoff (EC, 2012).

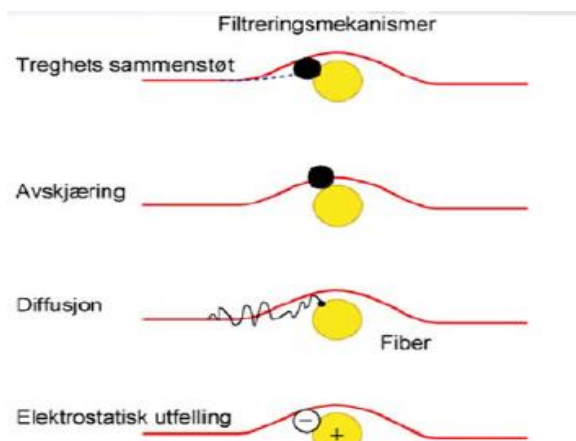
Eliminering av nanomaterialer vil sannsynligvis i de fleste tilfeller være uaktuelt fordi de anvendes på grunn av sine svært spesifikke egenskaper. Det antas at nanomaterialene derfor ikke kan fjernes uten å svekke disse egenskapene, og derfor er prinsippet om eliminering ikke er like aktuelt per i dag (Raynor, 2011).

### 7.3 Tekniske tiltak

Tekniske tiltak innebærer at utførelsen/designet av arbeidsområder, arbeidsprosesser, arbeidsutstyr eller produkter/materialer er gjennomført med hensyn til å minimere eksponering. Tekniske tiltak er rangert over organisatoriske tiltak og PVU fordi de beskytter alle arbeidstakere på lik linje uavhengig av intervensjon av arbeidstakerne. Det betyr at tekniske tiltak er mer pålitelige og effektive enn organisatoriske tiltak og PVU, så lenge vedlikeholdet av tiltakene er adekvat. Tekniske tiltak er derfor kjennetegnet ved å være mer bærekraftig i det lange løp (OTA, 1985).

Flere studier har gjort funn som antyder at konvensjonell ventilasjon og punktavsug/avtrekkshetter også kan fange nanomaterialer effektivt (Schulte et al., 2008, Methner and Old, 2008), men med forbehold om variasjoner avhengig av forhold ved arbeidsplassen som må tilpasses behovet (Raynor, 2011)

Filtrering er en viktig del av tekniske tiltak for å beskytte arbeidere mot eksponering for luftbårne forurensninger, og er viktig både i ventilasjonssystemer med tanke på frisklufttilførsel, utslipp, samt i åndedrettsvern for å filtrere lufta som pustes inn. Teknikker for filtrering er intersepsjon (avskjæring), impaksjon (treghetsprinsippet), diffusjon og elektrostatisk utfelling (figur 9).



Figur 9: filtreringsteknikker.

Kilde: (NIOSH, 2003).

som er så små at de ikke blir holdt igjen av omkringliggende strømmer, men i stedet traverserer luftstrømmene og kolliderer med fibrene i filtret (Donaldson-company, u/å).

Det er rapportert at oppførselen til nanomaterialer ligner oppførselen til gasser, og det antas at best kontroll av eksponering for nanomaterialer oppnås ved å benytte tiltak av samme kvalitet

For filtrering av nanomaterialer er det vist at HEPA-filter er tilstrekkelig (Aitken et al., 2004). HEPA er en forkortelse for High Efficiency Particulate Air filter (HEPA). HEPA-filter benytter filtreringsteknikkene avskjæring, treghetsprinsippet og diffusjon. *Avskjæring* er når partikler følger luftstrømmen gjennom filtret og kolliderer med fibrene i filtret. *Treghetsprinsippet* vil si at på grunn av partiklenes masse vil de gå rett fram og dermed sette seg fast. *Diffusjon* oppstår for partikler

og spesifikasjon som for kontroll av gasser. Ved normale lufthastigheter som dominerer på arbeidsplasser antar man at nanomaterialer ikke har noen treghetseffekt (jf. treghetsprinsippet). Nanomaterialer diffunderer hurtig og kan bli svevende i lufta over lengre tid, og på grunn av den høye diffusjonshastigheten vil emisjon/lekkasje lettere kunne oppstå fra prosesser og utstyr som ikke er innkapslet eller fullstendig lukket (Aitken et al., 2004).

Årsaken til at HEPA-filtrering er en god nok teknikk til å redusere eksponering for nanomaterialer er at partikler som befinner seg i størrelser mindre enn 100 nm (nanomaterialer) domineres av Brownsk diffusjon. Brownsk diffusjon oppstår når luftbårne partikler kolliderer med andre partikler i lufta og får partiklene til å bevege seg i tilfeldige mønstre. Tilfeldige bevegelser øker sannsynligheten for at partiklene fester seg på fibrene i HEPA-filtret, og partikler som har festet seg på filtret vil holde seg på filtret på grunn av van der Waals krefter, og man antar derfor at HEPA-filter også er en effektiv måte for å samle luftbårne nanomaterialer (Aitken et al., 2004, Raynor, 2011). Van der Waals krefter er svake kjemiske bindinger som vanligvis er karakterisert ved elektrostatiske tiltrekninger, og slik bindinger dannes på grunn av polarisering mellom atomer eller molekyler (Senese, 2010).

#### **7.4 Organisatoriske tiltak**

Med organisatoriske tiltak menes det hvordan arbeidsoppgaver utføres (arbeidspraksis) og hvem som utfører de, hvor mange, hvor ofte og når. Endring av arbeidspraksis er lavere prioritert i tiltakstrappa fordi det krever at ledelsen engasjerer seg i å endre arbeidspraksis samtidig som at effektiviteten av tiltakene er avhengig av at arbeidstakerne implementerer og tar i bruk tiltakene, og på riktig måte. Dette er med andre ord mindre pålitelige tiltak, og effektiviteten kan være mer varierende (Raynor, 2011).

Organisatoriske tiltak som for eksempel jobbrotasjon er prioritert på samme nivå som endring av arbeidspraksis fordi slike tiltak ikke reduserer dosen den eksponerte arbeidstaker mottar hver gang arbeidsoppgaven utføres, men heller sprer eksponeringen over et mindre antall eksponerte arbeidstakere. Fordelen med jobbrotasjon og lignende tiltak er at de eksponerte ikke selv har ansvar for effektiviteten av tiltaket. Tiltaket krever derimot at virksomheten engasjerer en ansvarlig person for iverksetting og oppfølging av endringen/tiltaket (Raynor, 2011). Organisatoriske tiltak som kan iverksettes til å redusere eksponering for nanomaterialer vil ikke være veldig forskjellig fra de tiltak som iverksettes for andre arbeidsmiljøfaktorer. Noen eksempler på organisatoriske tiltak er (Säämänen, 2014, Arbeidstilsynet, 2014):

- samle prosesser med eksponeringskilder til et avgrenset område i arbeidslokalet
- adgangsbegrensning til området med eksponeringskilder
- begrense oppholdstid i områder med eksponeringskilder
- endre arbeidspraksis, jobbrotasjon, arbeidsprosedyrer/-instrukser
- trening og opplæring i trygg håndtering
- beste praksis/prosedyrer for rengjørings- og vedlikeholdsarbeid (f.eks. våtrengjøring av støvete områder)
- overvåke eksponering og -arbeidstakernes helse
- føre journal som kan benyttes til blant annet erfaringslæring
- forby spising og drikking i arbeidsområdene, personlig hygiene
- prosedyrer for trygg lagring og avfallshåndtering av nanomaterialer

Det er anbefalt å føre et register over personer eksponert for nanomaterialer, og spesielt når det antas at nanomaterialet som håndteres kan være helsefarlig, men også der det er høy usikkerhet knyttet til eksponering og helsefare. Hensikten med å føre et register over eksponerte arbeidstakere er som følger (NIOSH, 2009):

- Avgrense/definere en gruppe som kan være risikoutsatt
- Overvåke en risikoutsatt gruppe for å finne ut om det kan være en sammenheng mellom eksponering og sykdom
- Overvåke en risikoutsatt gruppe for å sikre at preventive tiltak og medisinsk overvåking blir iverksatt
- Overvåke en risikoutsatt gruppe slik at det lettere gis anledning til passende samfunnsmessig-, rettslig- og økonomisk støtte
- For å vise en samfunnsmessig bekymring for den risikoutsatte gruppen, og for å sørge for et politisk grunnlag for handling med hensyn til eksponeringen
- Informere en gruppe om eksponering, preventive tiltak eller fremskritt innen behandling som ikke var kjent når registret ble opprettet

## 7.5 Personlig verneutstyr

PVU er prioritert sist i tiltakstrappa fordi tiltaket ikke på noen måte fjerner en uønsket arbeidsmiljøfaktor fra virksomheten eller arbeidsplassen, og dette kommer også til syne gjennom arbeidsmiljøloven §3-2 (Lovdata, 2006). Effektiviteten av PVU er i høy grad avhengig av at den enkelte arbeidstaker har tilstrekkelige kunnskaper om bruk og vedlikehold av utstyret og at arbeidsgiver har stilt riktig PVU til rådighet. En oversikt over blant annet PVU som er rapportert brukt ved håndtering av nanomaterialer i praksis kan sees i tabell 7. Det er likevel for nanomaterialer anbefalt at PVU brukes hele tiden på grunn av flere usikkerhetsfaktorer knyttet til eksponeringspotensial og hvor helsefarlige de er (Arbeidstilsynet, 2014).

PVU kan inndeles i åndedrettsvern, beskyttelsesklær, hansker og beskyttelse for øyne og ansikt. Åndedrettsvern kan deles i to typer: filtrerende åndedrettsvern og luftforsynt åndedrettsvern. Filtrerende åndedrettsvern omfatter hel- og halvmasker med utskiftbare filtre, filtrerende halvmasker og motorassisterte åndedrettsvern. Luftforsynt åndedrettsvern omfatter kompressormasker og bærbart selvforsynt utstyr (Arbeidstilsynet-539, 2007). I EU skilles det mellom åndedrettsvern med støvfilteringsklasse P1, P2 og P3 (tabell 6). P2 tilsvarer NIOSH's åndedrettsvern med 95 N/99 N, og P3 tilsvarer NIOSH 100. Det finnes i tillegg mange andre typer filtertyper for blant annet organiske- og uorganiske gasser, ammoniakk med videre. Disse er klassifisert som A, B, E eller K. Avhengig av hvilken eksponering det skal beskyttes mot må det tas hensyn til beskyttelsesfaktoren for åndedrettsvernet, det vil si forholdet mellom konsentrasjonen utenfor og på innsiden av åndedrettsvernet (OH-learning, 2010) Åndedrettsvern tiltenkt for beskyttelse mot eksponering for nanomaterialer er anbefalt utstyrt med minst P3- eller HEPA-filtrer (Arbeidstilsynet, 2014) av samme årsaker som nevnt i avsnittet om filtrering under tekniske tiltak. Men her gjør også andre faktorer seg gjeldende. Det er blitt nevnt at nanomaterialer har lignende oppførsel som gasser, og det er derfor relevant å inkludere hensyn til lekkasjer ved bruk av åndedrettsvernet. Det vil si at for å oppnå tilstrekkelig og optimal beskyttelse må det legges vekt på trening i riktig bruk og vedlikehold av åndedrettsvernet og tilhørende utstyr, og at riktig verneutstyr velges (Arbeidstilsynet, 2014, Aitken et al., 2004).



Tabell 6: filtreringsklasser. Kilde: (Arbeidstilsynet-539, 2007).

Filterklasse	Filtreringseffektivitet	Beskytter mot	Kommentarer
P1	Lav (minst 80 %*)	Faste partikler	Brukes kun dersom støvet er ufarlig
P2	Middels (minst 94 %*)	Faste partikler og væskepartikler	Beskytter mot de fleste typer støv fra substanser med lav giftighet
P3	Høy (minst 99.95 %*)		Brukes når støvet inneholder eller kan inneholde gifte eller meget giftige partikler, kreftfremkallende stoffer, radioaktive partikler, bakterier, virus

\*prosenten angir den mengde av luftbårne partikler den respektive filterklassen minst fjerner.

En studie undersøkte penetrering og lekkasje gjennom NIOSH-åndedrettsvern av klasse N95, N100 FFR (støvmaske) og P100 filterkassetter. Resultatene indikerte at mekaniske filtre gir bedre filtrering for nanomaterialer enn elektrostatiske filtre av samme kvalitet. Det ble også konkludert med at MPPS (most penetrating particle size) må vurderes som en av nøkkelfaktorene ved anbefaling om beskyttelse mot nanomaterialer (Rengasamy et al., 2013). En annen studie testet for lekkasjer (total inward leakage) og penetrering gjennom åndedrettsvern. Åndedrettsvernet som ble testet var av typen N95, P100, FFP2 og FFP3. MPPS var ca. 50 nm, og penetrering var størst for partikler i størrelsesorden 50 nm og 100 nm sammenlignet mot 8 nm og 400 nm for små lekkasjer. Det ble rapportert en dobling i penetrasjon for partikler i størrelsesorden ca. 50 nm sammenlignet med partikler i størrelsesorden 8 nm og 400 nm., samt at det ble observert at for de største partiklene kom det største bidraget fra lekkasjer, og ikke på grunn av penetrering gjennom filtret (Rengasamy and Eimer, 2011).

Bruk av åndedrettsvern skal prinsipielt bare benyttes i følgende tilfeller (Aitken et al., 2004):

- for arbeidsoperasjoner som er av kortere varighet
- når andre tiltak for å kontrollere eksponering er under implementering/utvikling
- når andre tiltak ikke er passende eller en mulighet
- når åndedrettsvern er det eneste tiltaket som gir adekvat beskyttelse (åndedrettsvern er på generell basis anbefalt hele tiden ved arbeid med nanomaterialer på grunn av de mange usikkerhetsfaktorene med tanke på helseeffekter og eksponering)

- i arbeidsoperasjoner hvor eksponeringen er over kortere tid og involverer høye konsentrasjoner og/eller høy toksisitet
- når restrisiko etter andre tiltak mest fornuftig fjernes ved bruk av PVU

Noen kjente utfordringer ved bruk av åndedrettsvern er at det ikke brukes kontinuerlig under hele eksponeringen, vedlikeholdet av utstyret er ikke adekvat slik at optimal funksjon ikke er sikret og at arbeidstakerne ikke bruker åndedrettsvern beregnet for eksponeringen de utsettes for. Det er også en kjent utfordring at det ikke alltid er tilpasset brukerne (fit-testing/passform), eller at det ikke brukes riktig, og konsekvensen av det er lekkasjer og dårligere beskyttelse (Aitken et al., 2004).

*Klær/hansker:* ved bruk av klær og hansker som beskyttelse av huden mot nanomaterialer er det anbefalt å bruke klær av ikke-vevde tekstiler (Arbeidstilsynet, 2014), det vil si støvavvisende tekstiler. Studier har vist at partikkelpenetrasjon gjennom ikke-vevde tekstiler var lavere sammenlignet med vevde-tekstiler. I en studie ble det for eksempel observert at grafitt-nanopartikler penetrerte tekstiler av vevd bomull i større grad enn det som ble observert for ikke-vevde tekstiler (Golanski et al., 2009). I en annen studie ble det undersøkt om titaniumdioksid- og platinum-nanomaterialer penetrerte konvensjonelle hansker for beskyttelse mot kjemikalier (nitrill, lateks og neopren), og resultatet viste ingen indikasjoner på at de anvendte nanomaterialene kunne penetrere hanskene, ei heller over lengre bruk (Golanski et al., 2010).

Til å beskytte hender/hud er det anbefalt å bruke to lag med hansker. Den innerste hansken anbefales å være av nitril med AQL (Acceptable Quality Level) 0,65 for å forhindre gjennomtrenging (Arbeidstilsynet, 2014). Den ytterste hansken har til hensikt å beskytte mot kjemikalier som brukes. AQL består av tre nivåer, < 4.0, < 1.5 og < 0.65, hvor lavere faktor indikerer bedre beskyttelse. Hansker for beskyttelse mot kjemikalier er delt inn i seks klasser hvor høyere klasse betyr at det tar lengre tid for kjemikaliet å trenge gjennom hansken (Arbeidstilsynet, u/å):

Klasse 1: > 10 minutter	Klasse 2: > 40 minutter
Klasse 3: > 1 time	Klasse 4: > 2 timer
Klasse 5: > 4 timer	Klasse 6: > 8 timer

## 7.6 Rapporterte tiltak for kontroll og reduksjon av eksponering

Tabell 7 viser noen eksempler på rapporterte iverksatte tiltak for å kontrollere eksponering for nanomaterialer på arbeidsplassen. Eksemplene presentert i tabellen er basert på case-studier gjort i forskjellige virksomheter og publisert i en database på OSHA sin nettside (OSHA, u/å).

Tabell 7: nanomaterialer og rapporterte tiltak

Type nanomaterial	Tiltak iverksatt
Titaniumdioksid & Sinkoksid  Kilde: (OSHA, 2012b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Blandesystemer i lukket system som forhindrer spredning</li> <li>- Prosessene med nanomaterialer er separert fra andre prosesser</li> <li>- Personlig verneutstyr oppgitt i sikkerhetsdatablader</li> <li>- Lagring av nanomaterialer/-produkter i egne forseglede og merkede beholdere</li> <li>- Arbeidstakere blir trent og opplært i håndtering av nanomaterialer/-prosesser</li> </ul>
Karbon nanorør  Kilde: (OSHA, 2012a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventiler som hindrer spredning (lukket system)</li> <li>- Avtrekkshetter plassert over kritiske prosesser</li> <li>- Klebende matte for å redusere spredning via skotøy</li> <li>- Åndedrettsvern med P3-filtrering</li> <li>- Hud: engangsklær (heldress med hansker)</li> <li>- Rutiner for å bytte til nye klær hver dag og hvordan riktig på- og avkledning gjøres for å hindre spredning</li> <li>- Informasjon og instruksjon til alle arbeidere om risiko ved alle stoffer og prosesser, opplæring i bruk av verneutstyr og de implementerte tiltakene</li> <li>- Tydelig beskrevet arbeidsprosesser: f.eks. våttørking av ventiler/koblinger mellom utstyr for å unngå oppsamling av karbon nanorør, dokumentering av endringer</li> <li>- Rutineovervåking av korrekt bruk av verneutstyr og instruksjoner for håndtering av nanomaterialer</li> <li>- Annet: veiledning om håndtering til nedstrømsbrukere</li> </ul>

Type nanomaterial	Tiltak iverksatt
<p>Uspesifiserte nanomaterialer i elektronikk</p> <p>Kilde: (OSHA, 2012d)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bruk av nanomaterialer i matriks/væske der mulig</li> <li>- Lukkede systemet: hanskebokser, renrom, avtrekk og arbeidsbenker utstyrt med fukting for å unngå støving</li> <li>- Åndedrettsvern med P3-filtrering</li> <li>- Ventilasjons-/filtreringssystemer for å forhindre spredning</li> <li>- Spesifikk opplæring av ansatte ved håndtering av nanomaterialer: informasjon og instruksjon om farer/eksponering og håndtering</li> <li>- Håndterer avfall som kjemisk avfall</li> <li>- Merking av nanomaterialer etter form</li> <li>- For spesielt risikofylte nanomaterialer eller arbeidsoppgaver utføres det målinger/eksponeringsovervåking</li> </ul>
<p>Polymere med innhold av nanomaterialer til utvikling av utstyr til luftfart</p> <p>Kilde: (OSHA, 2012c)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hanskeboks/avtrekksskap</li> <li>- Lagring i lukkede beholdere</li> <li>- Prosesser utføres under avtrekk</li> <li>- Fukting av partikler før blandedprosesser</li> <li>- Rengjøring av alt utstyr etter arbeid under avtrekk</li> <li>- Coating av materialer med nanomaterialer gjøres i spesielt ventilerte rom hvor arbeider er utstyr med heldress, åndedrettsvern (P3), hansker.</li> <li>- Konstant tilførsel av fukt/vann ved sliping/kutting/knusing</li> <li>- Nanomaterial til avfall i egne beholdere merket som høyrisiko avfall (avhengig av type nanomaterial)</li> </ul>
<p>Silika med sølv-nanopartikler</p> <p>Kilde: (OSHA, 2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prosesslinjene for nanomaterialer i pulverform ble utviklet med hensyn til å minimere eksponering av arbeidstakere</li> <li>- Kartlagt kritiske arbeidsoperasjoner og tilpasset ventilasjonssystemet deretter</li> <li>- PVU</li> <li>- Adgangsbegrensning, opplæring i håndtering</li> <li>- Faremerking/skilting av områder med nanomaterialer i pulverform</li> </ul>

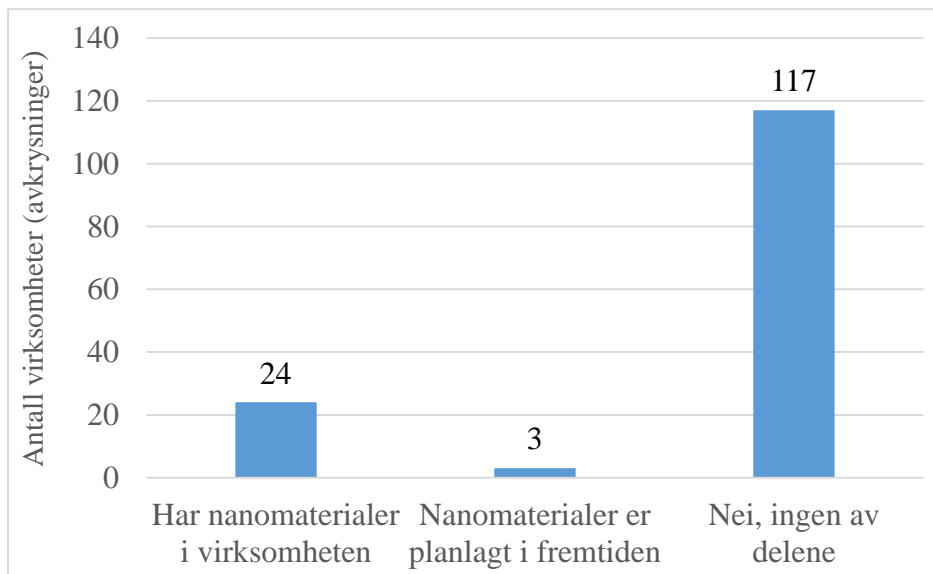
Kilde: <https://osha.europa.eu/en/practical-solutions/case-studies/>

## 8 Resultater

I dette kapitlet presenteres resultatene fra spørreundersøkelsen hvor målet var å undersøke omfanget av bruken av nanomaterialer, og forsøke å identifisere HMS-utfordringer og hvordan utfordringene er løst i praksis i norske virksomheter. Spørsmålene i undersøkelsen presenteres før hver figur/tabell.

### 8.1 Generelt om virksomhetene og nanomaterialkarakteristikker

#### Produseres, importeres, brukes eller bearbeides nanomaterialer i virksomheten, eller er det planlagt i fremtiden?



Figur 10 viser at det var 24 respondenter (virksomheter) som svarte at de produserer, importerer, bruker eller bearbeider nanomaterialer i dag, 3 virksomheter svarte at nanomaterialer er planlagt brukt i fremtiden og 117 svarte at nanomaterialer hverken brukes i dag eller er planlagt i fremtiden.

Figur 10: produksjon, import, bruk og bearbeiding av nanomaterialer.

#### Hvorfor er ikke nanomaterialer planlagt produsert, importert, brukt eller bearbeidet i fremtiden?

De fleste svarte at nanomaterialer ikke er relevant for virksomheten. De øvrige ga forskjellige årsaker til at nanomaterialer ikke er planlagt i fremtiden. Tabell 8 viser en oversikt over årsakene.

Tabell 8: Årsaksfaktorer.

Hvorfor er ikke nanomaterialer planlagt i fremtiden	Antall virksomheter (avkryssninger)
Ikke relevant	91
Teknologisk vanskelig	3
For dyrt/kostbart	7
Uklare HMS-aspekter ved innføring av nanomaterialer	9
Uklart hvordan markedet vil ta imot nanomaterialer	8
Manglende kunnskap om nanomaterialer i bransjen/virksomheten	2
Vet ikke	2

### Hvilken stilling har du i virksomheten?

Spørreundersøkelsen var rettet mot personer med HMS-ansvar/-oppgaver i sine respektive virksomheter. Av virksomhetene som håndterer nanomaterialer i dag innehar flesteparten av respondentene ulike leder-/direktørstillinger, de øvrige respondentene har stilling som forskere og ulike stillinger spesifisert inn mot HMS.

### Hvilken bransje hører virksomheten til?

Eksempler på bransjer som håndterer nanomaterialer er vist i tabell 9. Virksomhetene er fordelt på 8 innen FoU inkludert høyskoler/universitet, og 10 har sin virksomhet innenfor andre bransjer, slik som import/salg, industri/produksjon (kjemisk-, metall-, næringsmiddel-, elektronikkindustri m.fl.) er blant bransjene som håndterer nanomaterialer. I tillegg er 6 av virksomhetene i bilbransjen.

Tabell 9: bransjer.

Virksomhetstype
FoU inkludert universiteter/høyskoler
Produksjon
Kjemisk-/materialindustri
Bilindustri
Import av kjemikalier
Elektronikk
Produksjon av optiske komponenter
Produksjon av høytrykksbeholdere
Produksjon av forbrukerartikler

### På hvilken måte er nanomaterialer i bruk?

Tabell 10 viser en oversikt over hvordan nanomaterialer er i bruk i virksomhetene. Bruksmåten som forekommer hyppigst er bruk av nanomaterialer i produksjon fulgt av import. Noen av virksomhetene arbeider med nanomaterialer i forbindelse med toksisitetstesting og -forskning.

Tabell 10: bruksmåter.

Bruksmåte	Antall virksomheter (avkrysninger)
Fremstilling/produksjon	8
Import	10
Brukt i produksjon	11
Bearbeidet	8
Toksisitetstesting	2

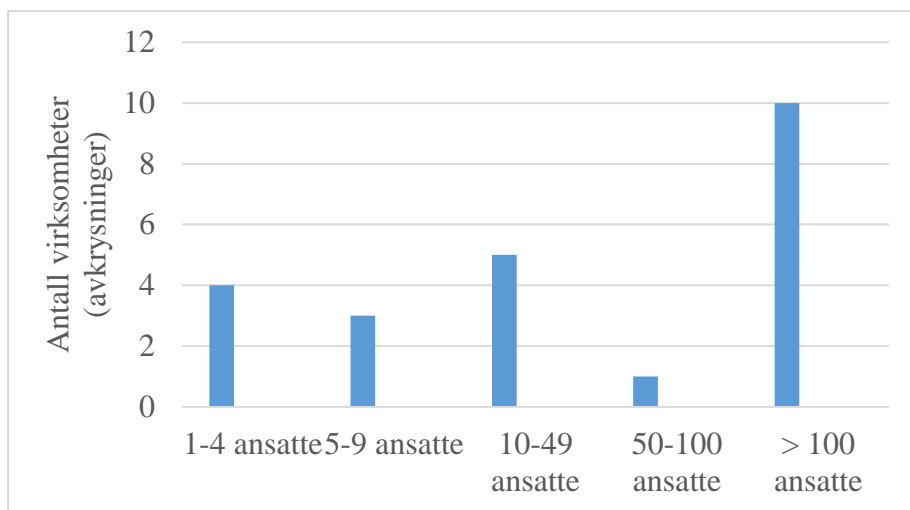
## Hva er bruksområdet eller tenkt bruksområde for nanomaterialene?

Bruksområdet for nanomaterialene spenner vidt og omfatter bilpleieprodukter, forskjellige forbrukerprodukter, bygg- og anleggsmaterialer, elektronikk m.fl. En mer utfyllende liste over eksempler på rapporterte bruksområder og tenkt bruksområde for nanomaterialer er vist i tabell 11.

Tabell 11: bruksområder og tenkt bruksområde.

Eksempler på rapporterte bruksområder eller tenkt bruksområde	
Herdere	Maling
Lim	Toksisitetstesting og -forskning
Råvarer til gummiproduksjon	Termoplastiske kompositter
Gummiblandinger	Betong
Bilpleieprodukter	Fibersement
Bilglass	Ildfaste materialer
Lakkforsegling, diverse lakkprodukter	Vaskemidler
Kjemikalier til overflatebehandling og bevaring av metaller med videre	Nanomaterialer til behandling av lys
Produksjon av elektronikk	Solceller
Polymere	Katalyse
Spleising av karbonfiber	Bygg og vedlikehold
Oljebrønner	Vannrensing
Tannpleieprodukter	Energilagring
Kosmetikk	
Helsekost/vitaminer	

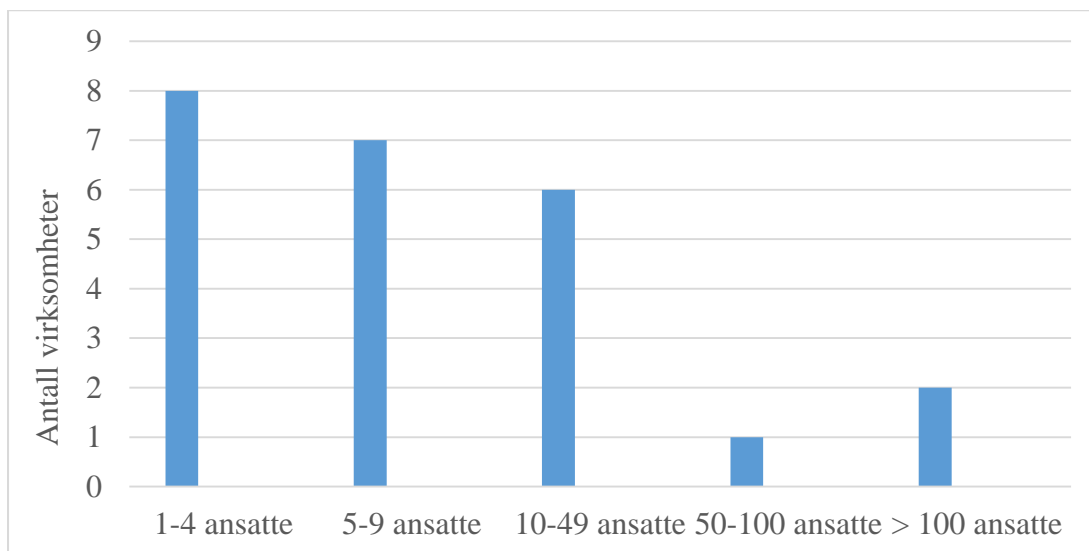
### Hvor mange ansatte jobber i virksomheten?



Figur 11 og 12 viser henholdsvis hvor mange ansatte som jobber i virksomhetene og hvor mange som potensielt er eksponert. Mange av virksomhetene har flere enn 100 ansatte, men samtidig svarer de fleste virksomhetene at antall potensielt eksponerte i hovedsak ligger mellom 1-49 ansatte.

Figur 11: totalt antall ansatte.

### Hvor mange personer har arbeidsoppgaver som innebærer direkte kontakt med nanomaterialer?



Figur 12: antall potensielt eksponerte.

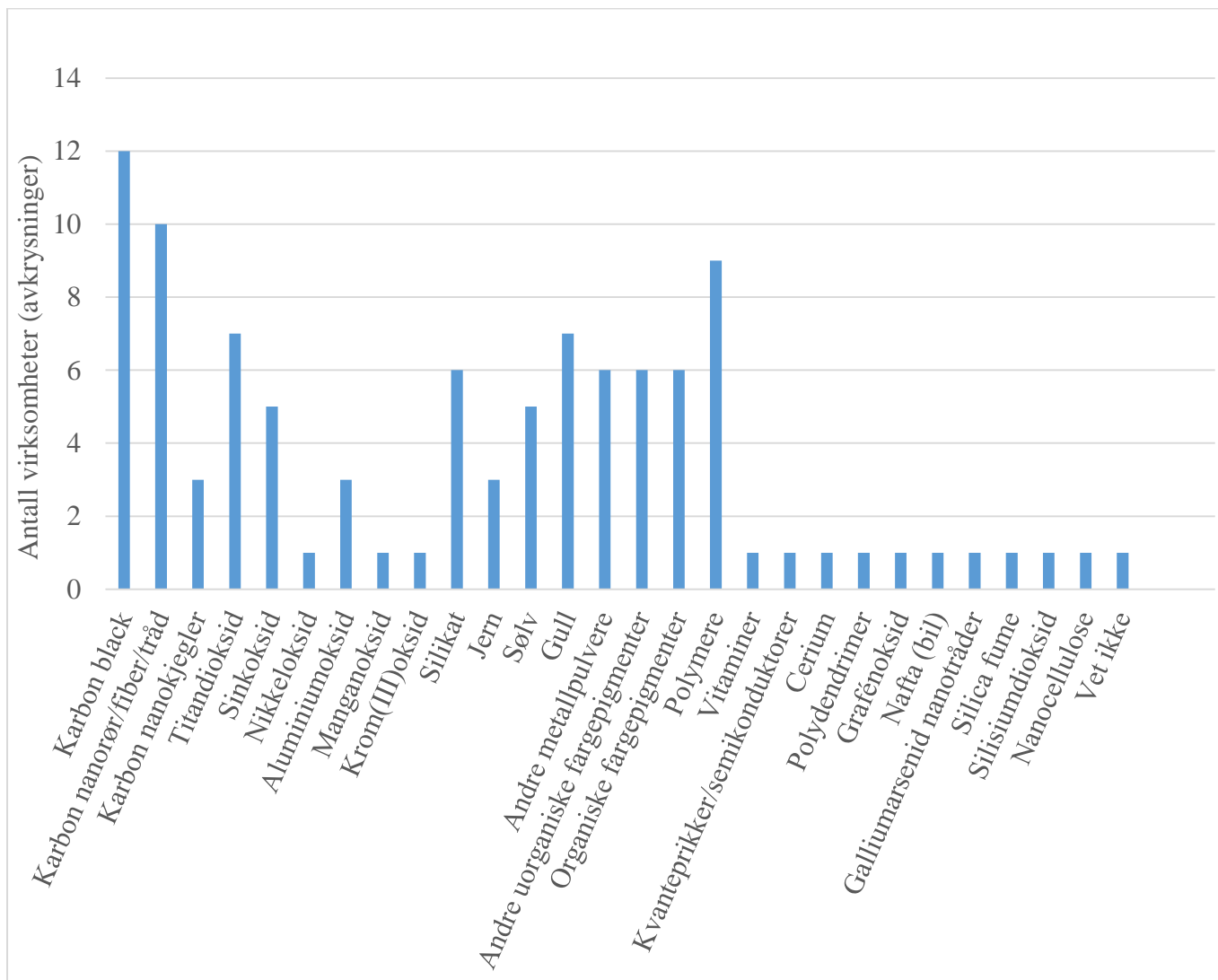
### Hvor mange studenter er eksponert for nanomaterialer i løpet av et år?

For virksomhetene som har studenter som håndterer eller som kan være i kontakt med nanomaterialer, svarer 6 av virksomhetene at de har 1-9 studenter potensielt eksponert for nanomaterialer per år, mens to av virksomhetene svarer at de har mellom 10-49 studenter potensielt eksponert for nanomaterialer per år.



## Hvilke nanomaterialer finnes, eller er planlagt i virksomheten?

Figur 13 viser en oversikt over hvilke nanomaterialer som brukes i norske virksomheter. Det er mange forskjellige nanomaterialer som er i bruk, og ut i fra variantene nevnt i figur 13 kan det ikke utelukkes at det er flere varianter av hver type nanomaterial. Nanomaterialene som forekommer oftest er karbon black, karbon nanorør/-fiber/-tråder, polymere, titandioksid og gull.



Figur 13: oversikt over nanomaterialer i norske virksomheter.

## Hvilken form er nanomaterialene i?

### Hvilke størrelser er partiklene i?

Tabell 12 viser en oversikt over hvilke former og størrelsesfordelinger som er rapportert. Nanomaterialer kan foreligge i forskjellige former. Hyppigst rapportert var nanomaterialer dispergert i væske med 13 svar fulgt av nanomaterialer i pulverform med 11 svar. Mindre representerte former var kompositt, filmer og pasta (annet). I spørreundersøkelsen var nanomaterialer definert som materialer i størrelsesorden 1-100 nm. Det var ingen størrelsesorden som skilte seg ut fra de andre.

Tabell 12: form og størrelsesfordeling.

Form	Antall	Størrelsesfordeling	Antall
Pulver	11	< 20 nm	7
Væske	13	20-50 nm	6
Kompositt	6	51-100 nm	7
Filmer	2	< 100 nm	8
Annet	4	Vet ikke	9

### Hvor mye nanomaterialer i fast form / dispergert i væske brukes, produseres, bearbeides eller importeres per år?

Omfanget av nanomaterialer som brukes/produseres/bearbeides eller importeres per år varierer stort. I spørreundersøkelsen skilles det mellom nanomaterialer i fast- og væskeform. Omfanget av bruken av nanomaterialer i fast form ligger i intervallet 1 kg til > 10 tonn. Omfanget av bruken av nanomaterialer i væskeform ligger i intervallet 2 liter til > 1 000 liter. De fleste virksomheter håndterer mengder mindre enn 1 tonn (fast form) og mindre enn 1 000 liter (væske).

### Inneholder sikkerhetsdatablader informasjon om nanomaterialer?

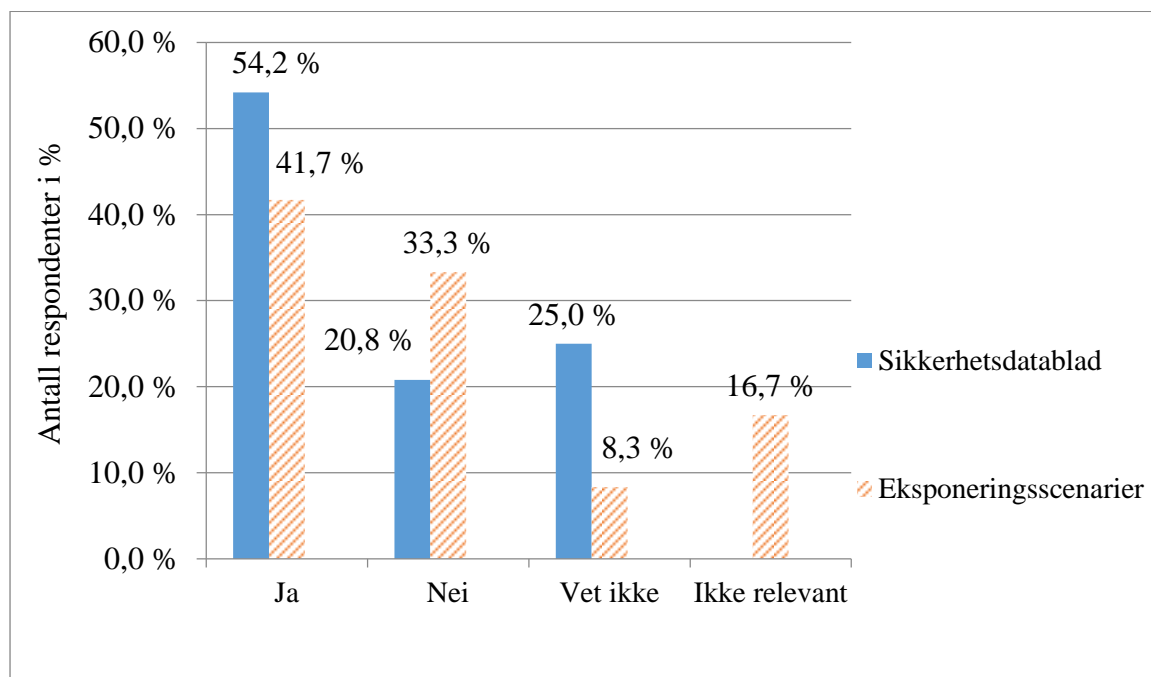
#### Inneholder noen sikkerhetsdatablader eksponeringsscenarioer for nanomaterialer?

#### Skulle du ønske at de inneholdt eksponeringsscenarioer for nanomaterialer?

Figur 14 viser en oversikt over forekomsten av sikkerhetsdatablader og eksponeringsscenarioer for nanomaterialer. Litt over halvparten (ca. 54 %) av virksomhetene svarer at sikkerhetsdatabladene inneholder informasjon om nanomaterialer. Det er ca. 21 % som svarer at sikkerhetsdatabladene ikke inneholder informasjon om nanomaterialer, samt 25 % som ikke vet om sikkerhetsdatabladene inneholder informasjon om nanomaterialer.

Av virksomhetene som svarer at sikkerhetsdatabladene inneholder opplysninger om nanomaterialer svarer under halvparten (ca. 42 %) at sikkerhetsdatabladene inneholder eksponeringsscenarioer for nanomaterialer.

Én virksomhet kjenner ikke til begrepet eksponeringsscenario, og 33 % svarer at sikkerhetsdatabladene ikke inneholder eksponeringsscenarioer for nanomaterialer, og alle kunne ønske at de inneholdt det.



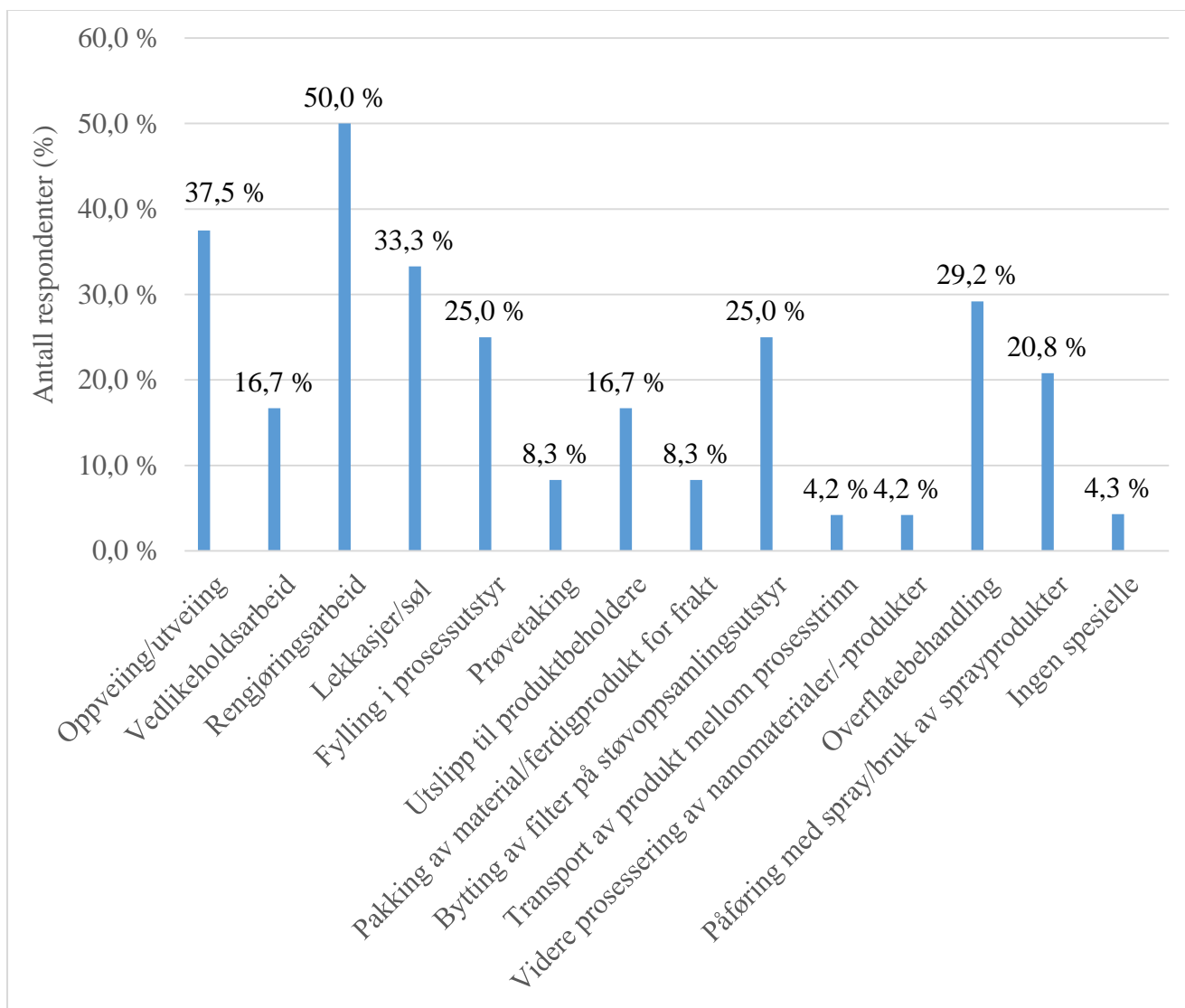
Figur 14: sikkerhetsdatablader og eksponeringsscenarioer.

## 8.2 Eksponeringskilder og tiltak

### 8.2.1 Arbeidsoppgaver som kan medføre eksponering for nanomaterialer

#### Er det noen arbeidsoppgaver som kan føre til mer eksponering enn andre?

Figur 15 viser en oversikt over hvilke arbeidsoppgaver som kan medføre eksponering for nanomaterialer. Arbeidsoppgaver som kan medføre eksponering for nanomaterialer er varierende, men enkelte av arbeidsoppgavene er rapportert oftere. Arbeidsoppgavene som oftest kan medføre eksponering i følge undersøkelsen er rengjøringsarbeid og oppveing/utveing av nanomaterialer.



Figur 15: arbeidsoppgaver som kan medføre eksponering for nanomaterialer.

## 8.2.2 Personlig verneutstyr

### Brukes PVU ved arbeid som ikke omfatter nanomaterialer?

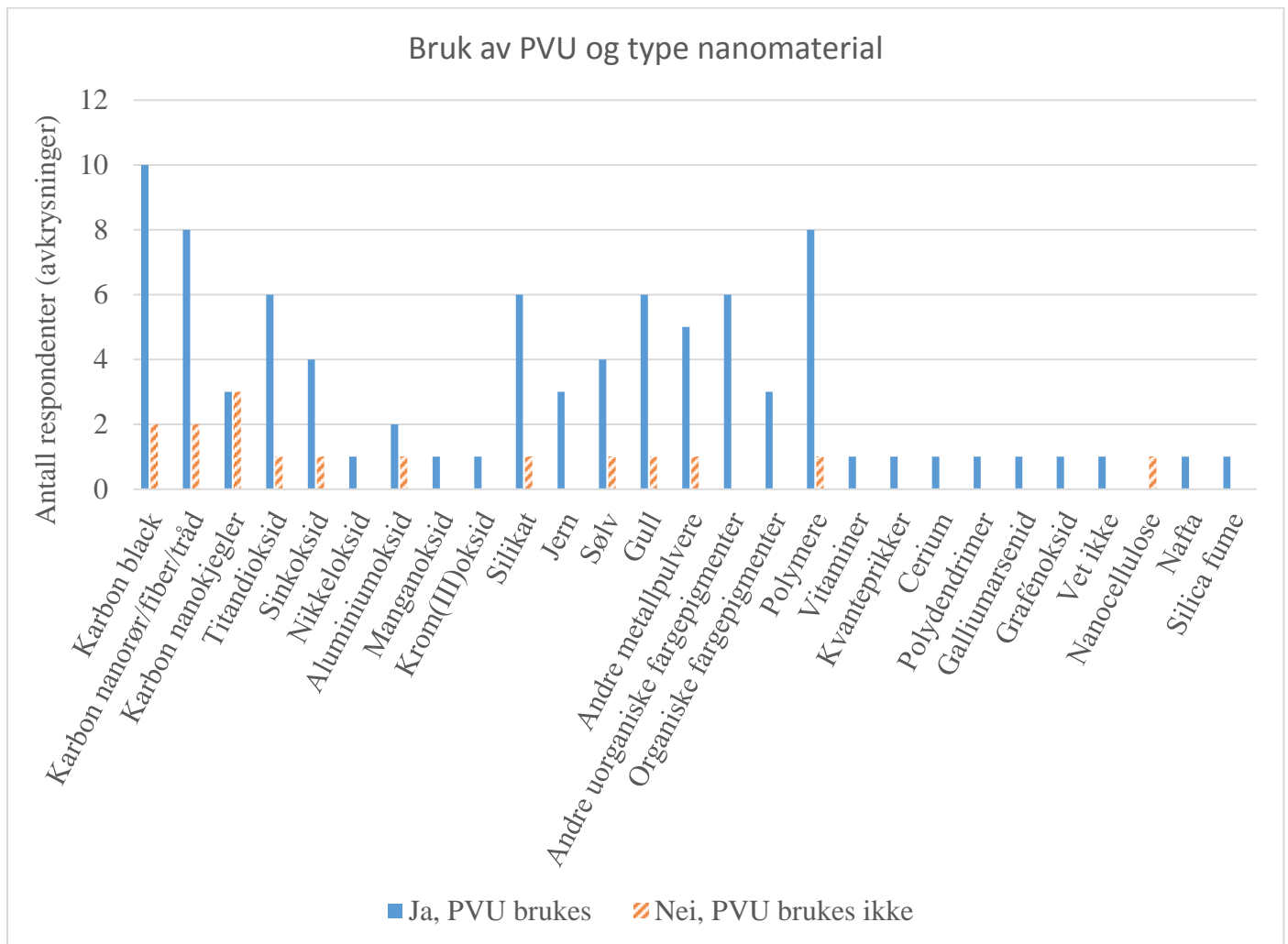
### Brukes PVU ved arbeid med nanomaterialer?

Tabell 13 viser hvor mange som bruker PVU ved generelt arbeid, og hvor mange som bruker PVU ved arbeid som involverer håndtering av nanomaterialer. De fleste virksomheter (88 %) som arbeider med nanomaterialer bruker PVU med den hensikt å beskytte seg mot nanomaterialer, og de fleste (92 %) benytter også PVU ved arbeid som ikke omfatter håndtering av nanomaterialer.

Tabell 13: rapportert bruk av PVU.

Bruk av PVU	Ja	Nei
PVU generelt	92 %	8 %
PVU mot nanomaterialer	88 %	12 %

Figur 16 viser en oversikt over bruk av PVU fordelt på forskjellige nanomaterialer. De fleste svarer at PVU brukes ved håndtering av de fleste typer nanomaterialer. Eksempler på nanomaterialer der PVU ikke brukes er karbon nanokjegler, titandioksid, karbon black og karbon nanorør/-tråd/-fiber.

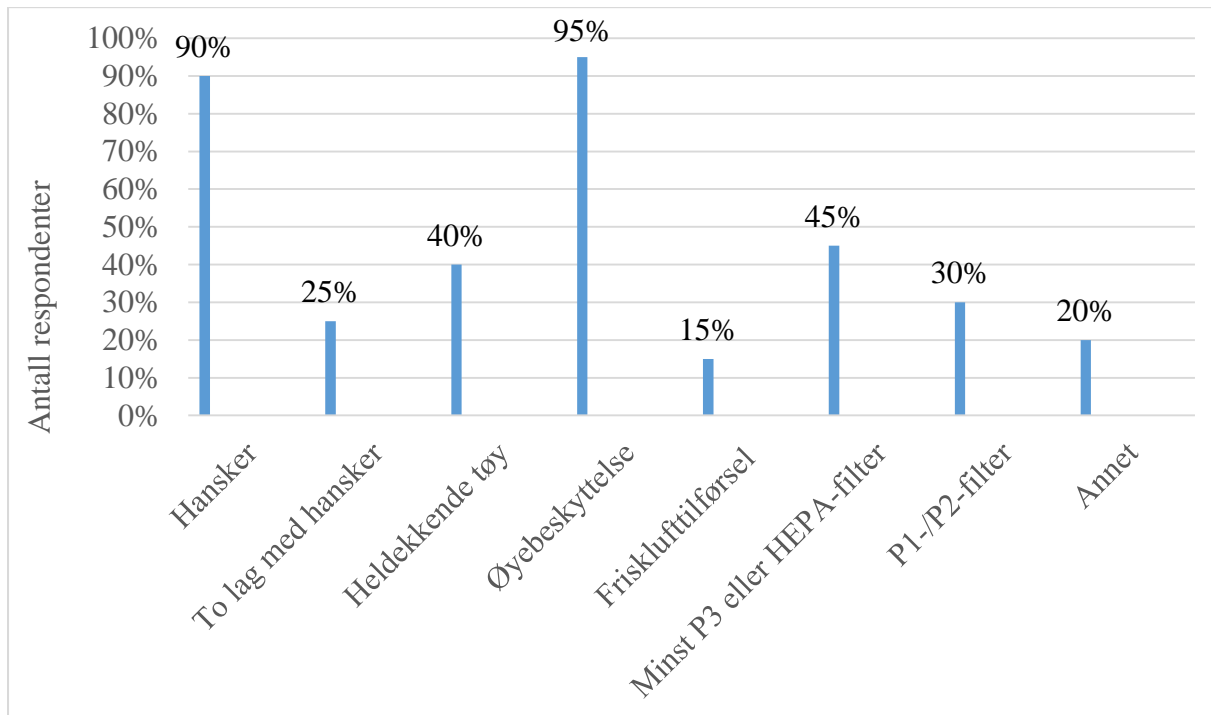


Figur 16: bruk av PVU fordelt på ulike nanomaterialer.

### 8.2.3 Type personlig verneutstyr ved arbeid med nanomaterialer

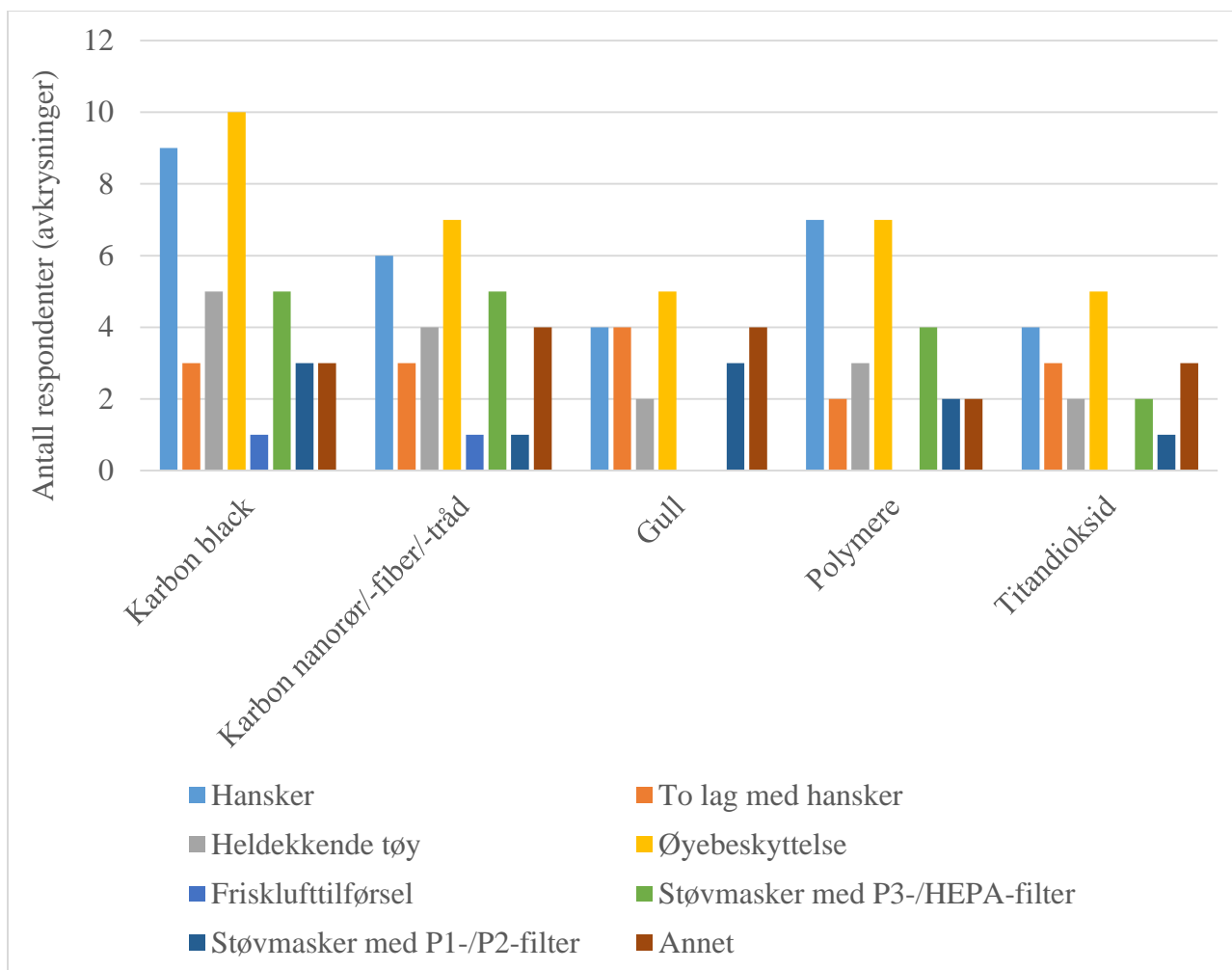
#### Hva slags PVU brukes ved håndtering av nanomaterialer?

En oversikt over hva slags PVU som brukes er vist i figur 17. Type PVU som oftest brukes ved arbeid med nanomaterialer, uavhengig av type nanomaterial, er masker/briller/visir (øyebeskyttelse, 95 %) og hansker (90 %). Andre typer PVU som brukes er to lag med hansker, heldekkende tøy, frisklufttilførsel, åndedrettsvern med minst P3-/HEPA-filter og åndedrettsvern med P1-/P2-filter.



Figur 17: hva slags PVU brukes.

Nanomaterialene som flest virksomheter rapporterte er karbon black, karbon nanorør/-fiber/-tråd, gull, polymere og titandioksid. Figur 1 viser at for de mest rapporterte nanomaterialene er det hansker og øyebeskyttelse som er det mest brukte PVU. Noen av nanomaterialene som for eksempel gull og sølv, håndteres uten bruk av åndedrettsvern med minst P3-/HEPA-filter.



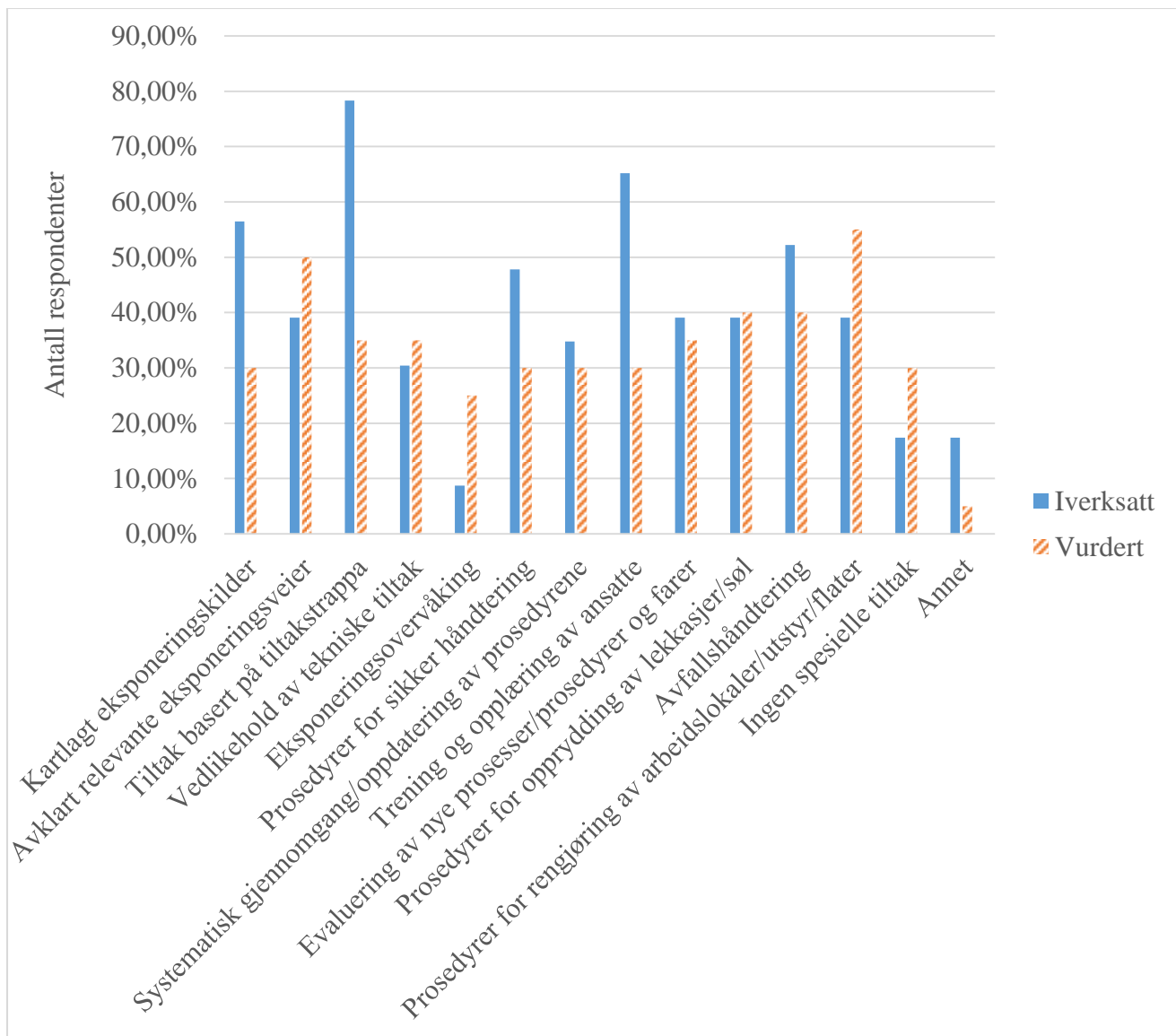
Figur 18: type PVU sammenlignet med nanomaterialene som forekommer oftest i virksomhetene.

#### 8.2.4 Iverksatte og vurderte tiltak

**Hvilke tiltak er iverksatt for å redusere eksponering for nanomaterialer?**

**Hvilke tiltak er vurdert for å redusere eksponering for nanomaterialer?**

Figur 19 viser hvilke tiltak virksomhetene har iverksatt eller vurdert. De fleste av virksomhetene (75 %) har basert sine tiltak på tiltakstrappa, og dette omfatter eliminasjon/substitusjon, tekniske tiltak, organisatoriske tiltak og PVU. Tiltaket som flest har iverksatt er trening og opplæring av ansatte fulgt av kartlegging/identifisering av potensielle eksponeringskilder, avfallshåndtering og prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer. Tiltaket som er minst representert er eksponeringsovervåking.



Figur 19: iverksatte og vurderte tiltak.

## 8.2.5 Opplæring av ansatte

### Hvordan opplæres ansatte om potensielle helseeffekter som følge av eksponering for nanomaterialer, og hvordan de trygt kan håndteres?

Tabell 14 viser en oversikt over hvilke metoder for opplæring av ansatte som brukes. Den mest brukte metoden er diskusjoner og møter fulgt av kurs/seminarer. Det er 6 virksomheter som ikke gjennomfører opplæring for nanomaterialer, men to av disse virksomhetene tilbyr ansatte som håndterer nanomaterialer ekstern opplæring. Det er 4 virksomheter som hverken har spesifikk opplæring på nanomaterialer eller tilbyr ansatte opplæring fra eksterne aktører.



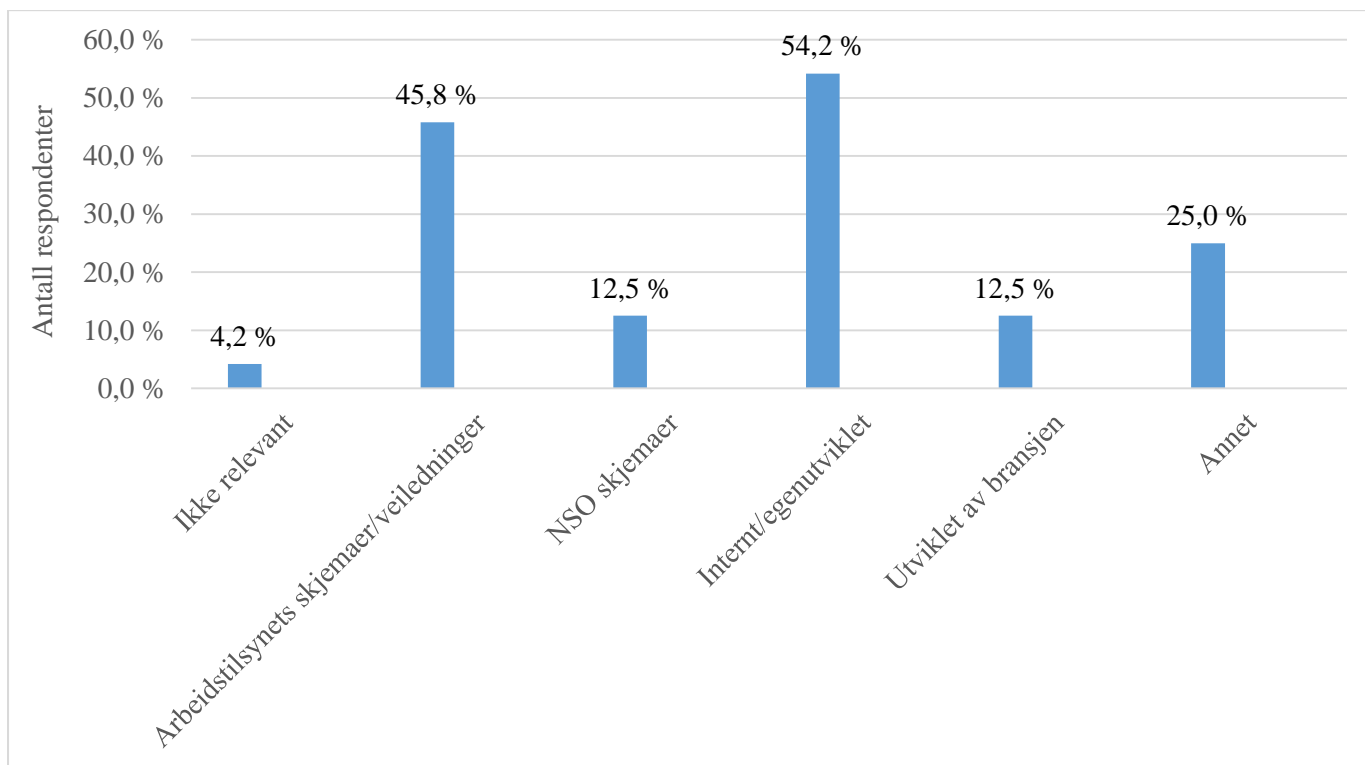
Tabell 14: opplæring av ansatte om mulig helsefare og –eksponering.

Opplæring	Antall respondenter (avkryssninger)
Kurs/seminarer	9
Oppslagsverk/brosjyrer/prosedyrer	6
Diskusjoner/møter	13
Ingen spesifikk opplæring om nanomaterialer	6

### 8.3 Risikovurdering

#### Hvilke verktøy brukes for å risikovurdere farer som ikke er/inneholder nanomaterialer?

For å risikovurdere vanlige kjemikalier viser figur 20 at over halvparten (54 %) av virksomhetene bruker egenutviklede/interne metoder. Mange bruker også Arbeidstilsynets skjemaer og veiledninger (ca. 46 %). I kategorien «annet» spesifiserer noen av virksomhetene at de bruker ECOonline, HAZOP, og noen risikovurderer med utgangspunkt i informasjon i sikkerhetsdatablader og regelverk. Noen få virksomheter bruker skjemaer fra Næringslivets Sikkerhetsorganisasjon (NSO) og verktøy utviklet av bransjen. For å risikovurdere nanomaterialer har 11 virksomheter brukt informasjon om tilsvarende material på bulk, mens 4 virksomheter ikke bruker informasjon om materialet på bulk til å risikovurdere nanomaterialet



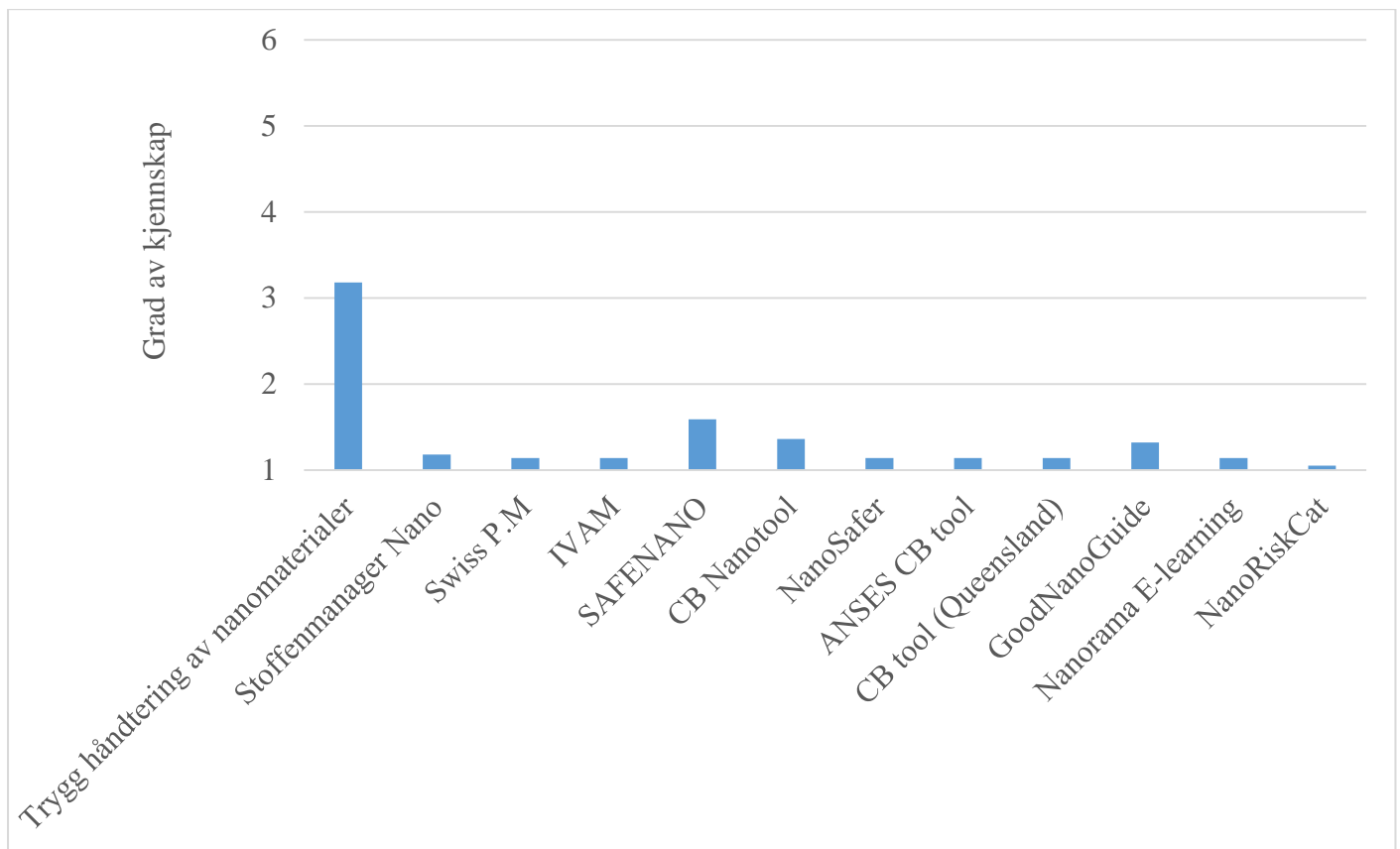
Figur 20: verktøy for å risikovurdere vanlige kjemikalier.

### 8.3.1 Virksomhetenes kjennskap til risikovurderingsverktøy for nanomaterialer

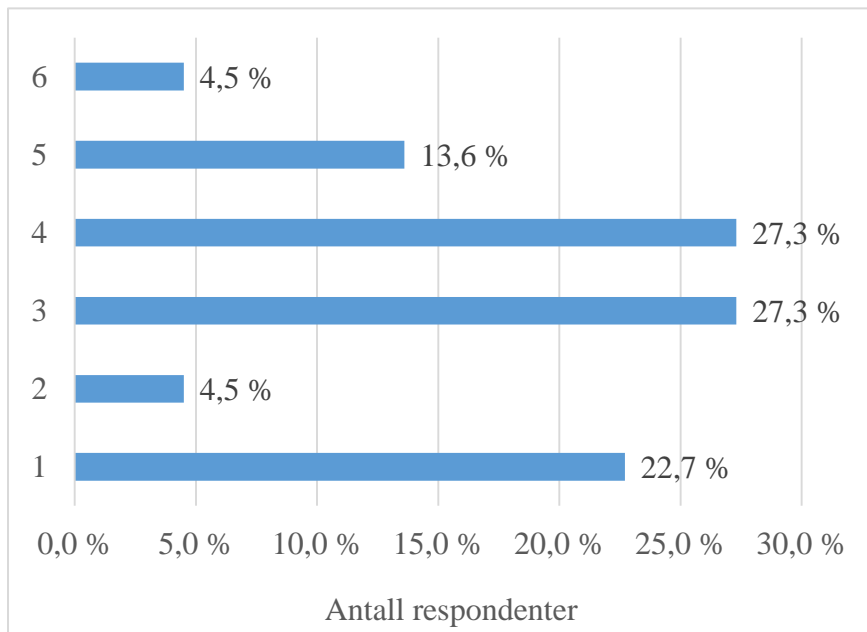
Rangering: 1 = ingen kjennskap, 2 = i svært liten grad, 3 = i liten grad, 4 = i noen grad, 5 = i stor grad, 6 = i veldig stor grad.

#### I hvilken grad kjenner du til disse verktøyene?

Graden av kjennskap virksomhetene har til et utvalg verktøy utviklet for å risikovurdere nanomaterialer ble undersøkt. Figur 21 viser at med unntak av verktøyet *Trygg håndtering av nanomaterialer* har de fleste virksomhetene tilnærmet ingen kjennskap til verktøyene.



Figur 21: kjennskap til forskjellige risikovurderingsverktøy.



### Grad av kjennskap til trygg håndtering av nanomaterialer

Ingen av verktøyene med unntak av *SAFENANO*, *Control Banding Nanotool* og *Trygg håndtering av nanomaterialer* er kjent i større grad enn «i liten grad». Verktøyet flest virksomheter har kjennskap til er *trygg håndtering av nanomaterialer*, og figur 22 viser at spredningen i svarene er stor.

Figur 22: kjennskap til «trygg håndtering av nanomaterialer».

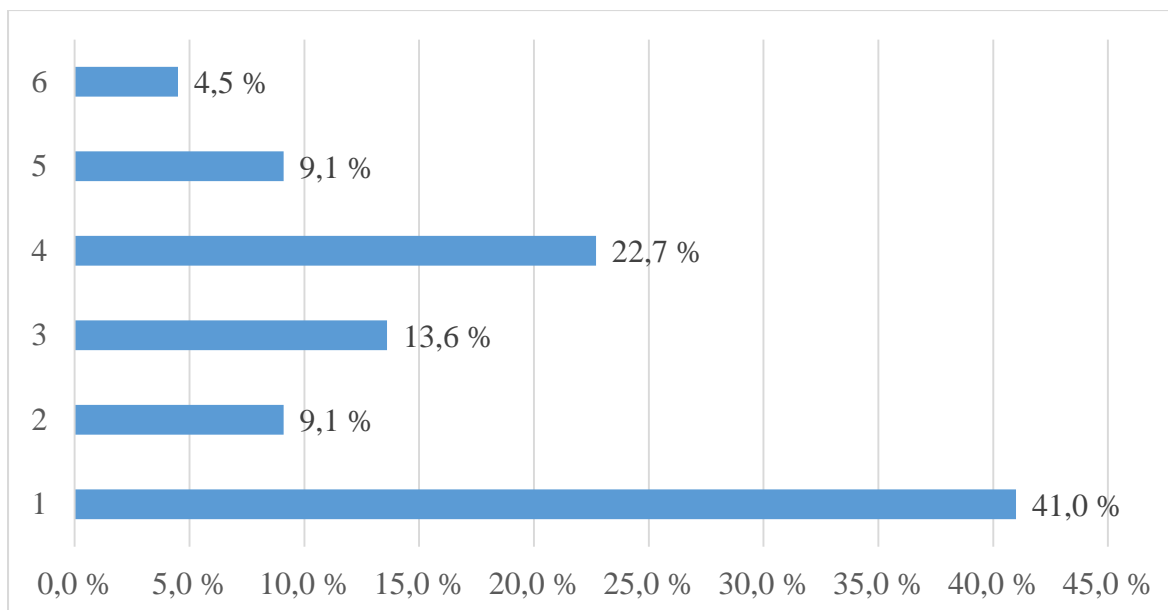
### 8.3.2 Hvilke verktøy brukes til å risikovurdere nanomaterialer

Rangering: 1 = ikke i det hele tatt, 2 = i svært liten grad, 3 = i liten grad, 4 = i noen grad, 5 = i stor grad, 6 = i veldig stor grad.

#### Brukes noen av følgende verktøy til å risikovurdere nanomaterialer i virksomheten?

Det er kun tre av de oppgitte verktøyene som er rapportert brukt i forbindelse med risikovurding av nanomaterialer: *SAFENANO*, *GoodNanoGuide* (hvh. i liten og svært liten grad), og *Trygg håndtering av nanomaterialer*. Figur 23 viser i hvilken grad verktøyet *Trygg håndtering av nanomaterialer* brukes. Over halvparten av virksomhetene rapporterer at de i liten grad eller mindre (ca. 64 %) bruker verktøyet, og av disse rapporterer 41 % at det ikke brukes i det hele tatt. Ca. 36 % av virksomhetene bruker verktøyet i noen grad eller mer, men hovedtyngden av disse (ca. 22,7 %) bruker verktøyet i noen grad.

Gjennomsnittlig grad verktøyet brukes = 2.64 (i liten grad), standardavvik = 1.65.



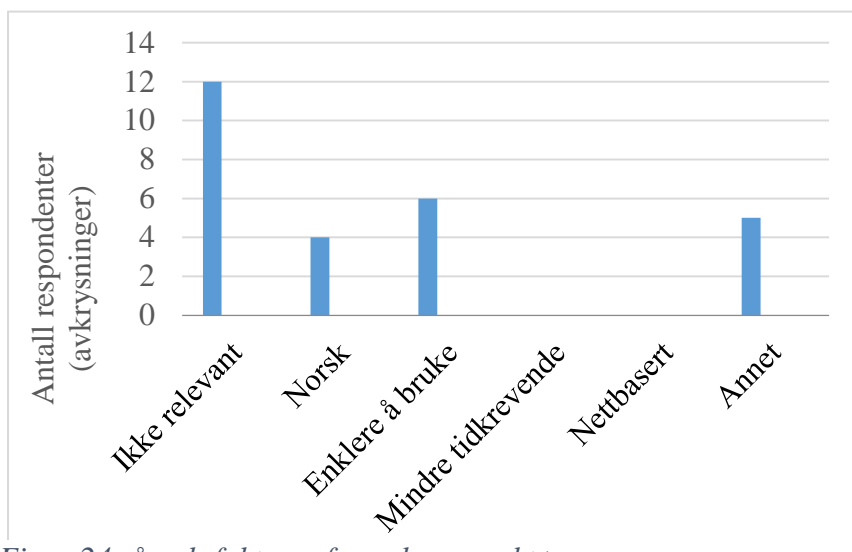
Figur 23: bruk av «trygg håndtering av nanomaterialer».

### Hvis ingen av verktøyene for nanomaterialer brukes, hvilke verktøy bruker virksomheten til å risikovurdere nanomaterialer?

Av alle virksomhetene som håndterer nanomaterialer oppgir 63 % at de bruker samme verktøy for å risikovurdere nanomaterialer som de bruker for vanlige kjemikalier. Det brukes også andre verktøy/hjelpemidler spesifisert i åpne felt i spørreundersøkelsen, og det ble nevnt *forskningslitteratur*, *BASF Guide* og *British Standard* og *ECOonline* i tillegg til de nevnte verktøy for nanomaterialer og vanlige kjemikalier.

### 8.3.3 Årsaken til at noen verktøy er foretrukket

Hvis virksomheten har erfaring med flere verktøy for risikovurdering. Hvorfor brukes det valgte verktøy?



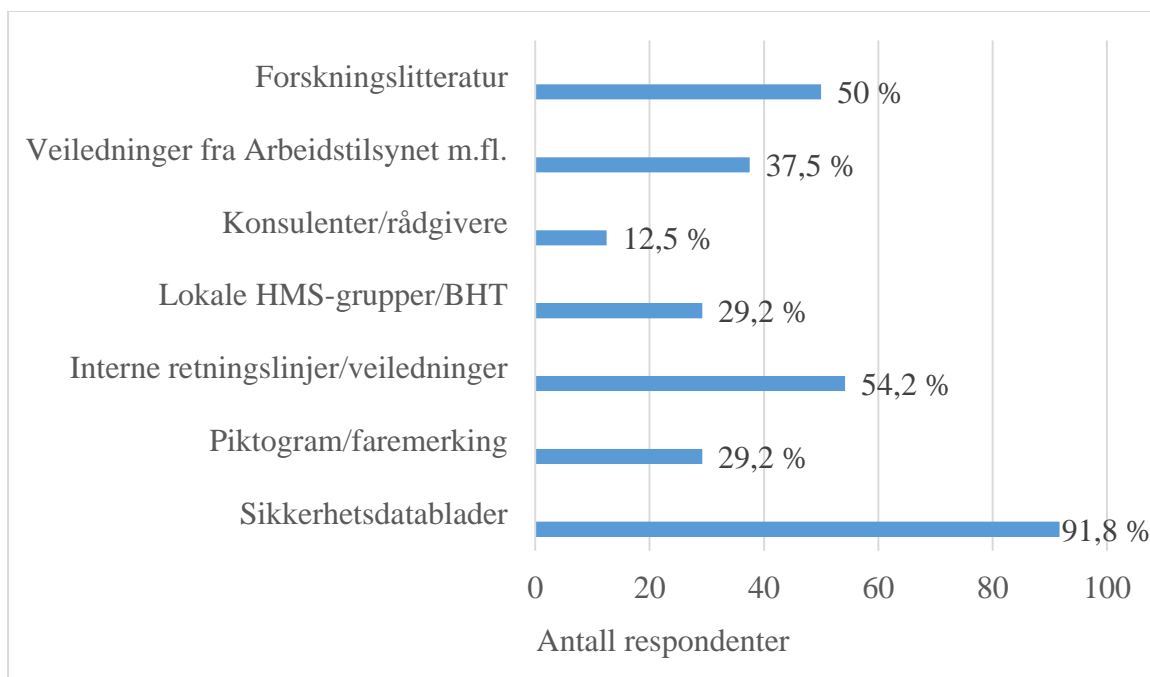
Figur 24: årsaksfaktorer for valg av verktøy.

Figur 24 viser en fordeling av faktorer som har påvirket valg og bruk av risikovurderingsverktøy. Noen årsaker til at noen verktøy er foretrukket er at de er på norsk, enklere i bruk, er enklere å benytte én type verktøy for flere prosesser, samt at noen virksomheter bruker det verktøyet som var tilgjengelig eller allerede i virksomheten fra før.

### 8.3.4 Informasjon om nanomaterialers potensielle helsefare og –eksponering

**Hvordan innhentes informasjon om HMS-aspekter ved nanomaterialer?**

Figur 25 viser en fordeling av hvilke informasjonskilder brukes til å skaffe informasjon om nanomaterialer. De aller fleste bruker (ca. 92 %) sikkerhetsdatablader som informasjonskilde. Omtrent halvparten bruker interne retningslinjer/veiledninger samt forskningslitteratur. Lokale HMS-grupper/BHT og piktogram/faremerking benyttes av 7 virksomheter. Veiledninger og anbefalinger av arbeidstilsynet og lignende instanser benyttes av 9 virksomheter. Informasjonskilden som brukes minst er konsulenter/rådgivere.



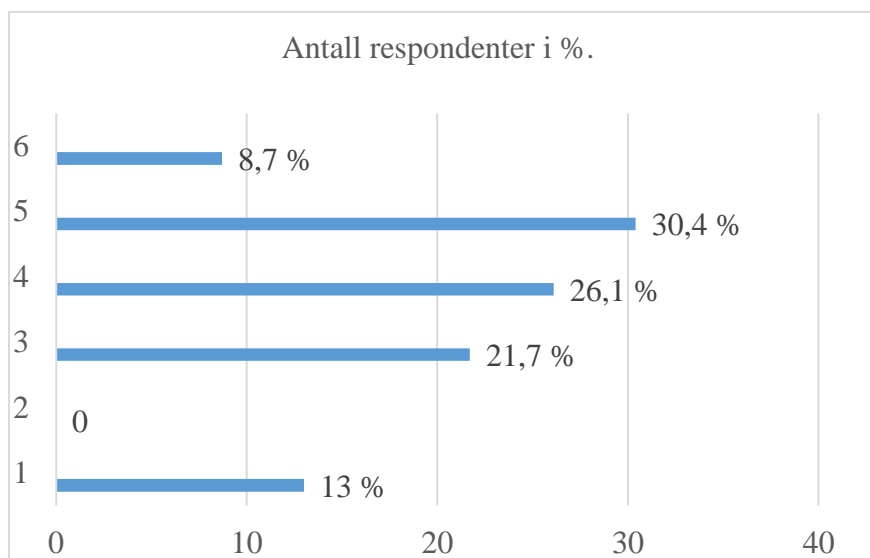
Figur 25: informasjonskilder.

#### 8.4 HMS-aspekter og nanomaterialer

I dette delkapitlet presenteres resultatene fra siste del av spørreundersøkelsen. I denne delen ble det spurt om virksomhetenes oppfatning/holdning til forskjellige forhold rundt HMS og håndtering av nanomaterialer.

Virksomhetenes oppfatning/holdning ble målt på en skala fra 1 til 6, hvor 1 = ikke i det hele tatt, 2 = i svært liten grad, 3 = i liten grad, 4 = i noen grad, 5 = i stor grad, 6 = i veldig stor grad.

#### I hvilken grad har virksomheten fokus på at de ansatte jobber med nanomaterialer?



Figur 26 viser en oversikt over i hvilken grad virksomhetene har fokus på at de ansatte jobber med nanomaterialer.

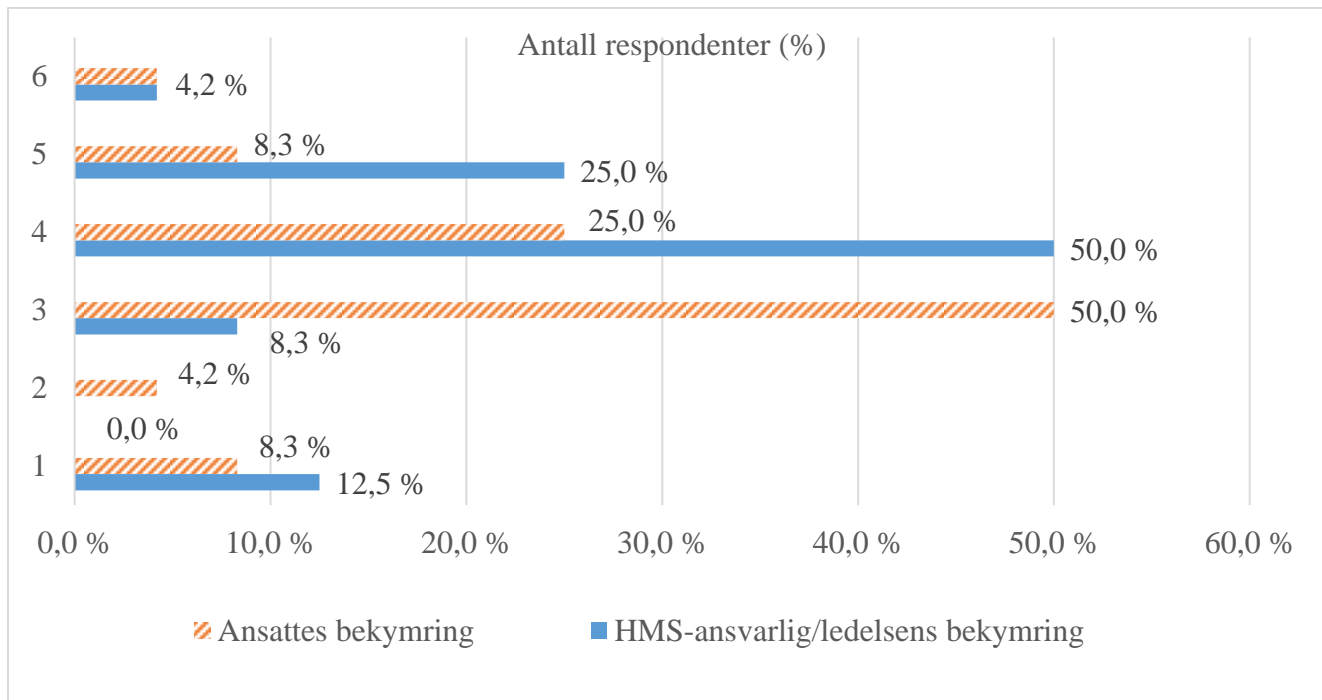
Resultatet viser at de fleste virksomhetene har fokus på at ansatte jobber med nanomaterialer, og spredningen i svarene varierer fra «ikke i det hele tatt» til «i veldig stor grad».

Figur 26: fokus på at de ansatte arbeider med nanomaterialer.

## I hvilken grad bekymrer HMS-koordinator/ledelsen & ansatte seg for HMS-utfordringer ved eksponering for nanomaterialer?

Figur 27 viser en fordeling av de ansattes- og HMS-koordinator/ledelsens grad av bekymring for HMS-utfordringer ved de ansattes eksponering for nanomaterialer. Resultatene viser at HMS-koordinator/ledelse bekymrer seg mer enn de ansatte.

*HMS-koordinator/ledelse: Gj.snitt: 3,88. Std.av: 1,29. Ansatte: Gj.snitt: 3,33 (i liten grad). Std.av: 1,12.*



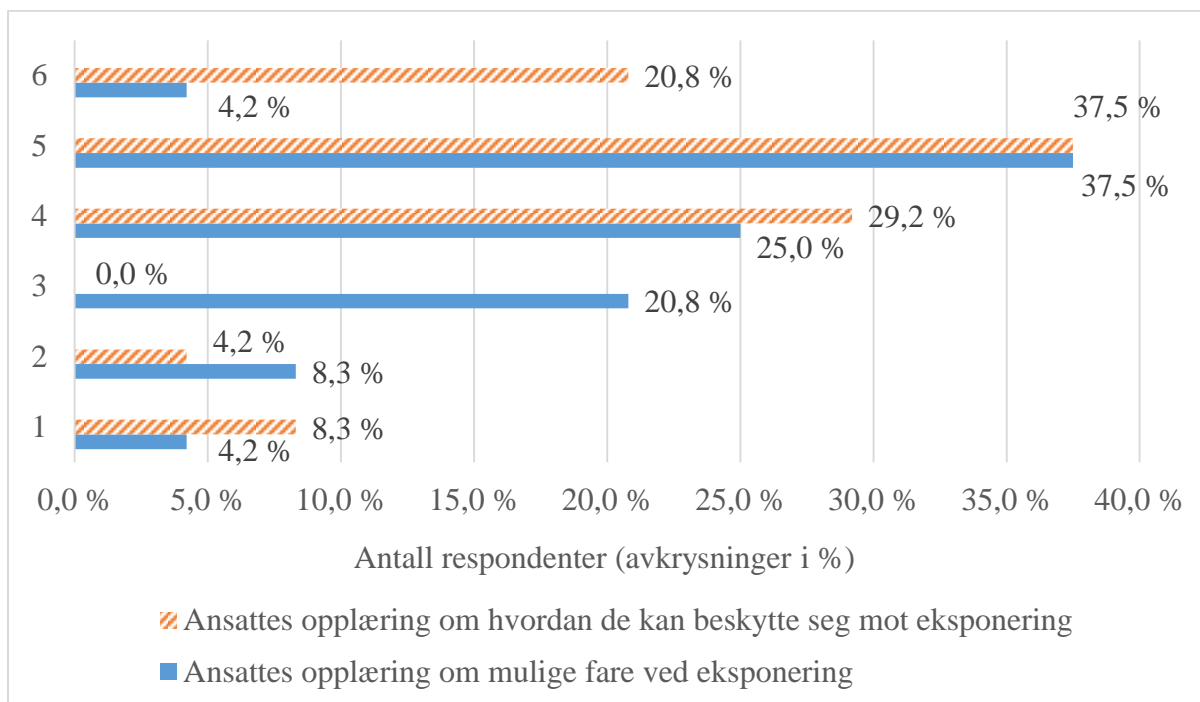
Figur 27: ansatte og HMS-koordinator/ledelsens bekymring.

## I hvilken grad blir ansatte som er eksponert for nanomaterialer opplyst om potensielle konsekvenser av eksponering?

## I hvilken grad blir ansatte som kan være eksponert for nanomaterialer opplyst om hvordan de best kan beskytte seg?

Figur 28 viser en fordeling over virksomhetenes fokus på opplæring av ansatte. Resultatene viser at det er større fokus på opplæring av ansatte i å beskytte seg mot eksponering enn å opplære ansatte om farer ved eksponering for nanomaterialene de håndterer, men spredningen i svarene varierer fra i «liten grad» til i «veldig stor grad».

Oppløst om helsefare: Gj.snitt: 3,96 (i noen grad). Std.av: 1,23. Oppløst om hvordan de kan beskytte seg: Gj.snitt: 4,46 (i noen grad/i stor grad). Std.av: 1,41.

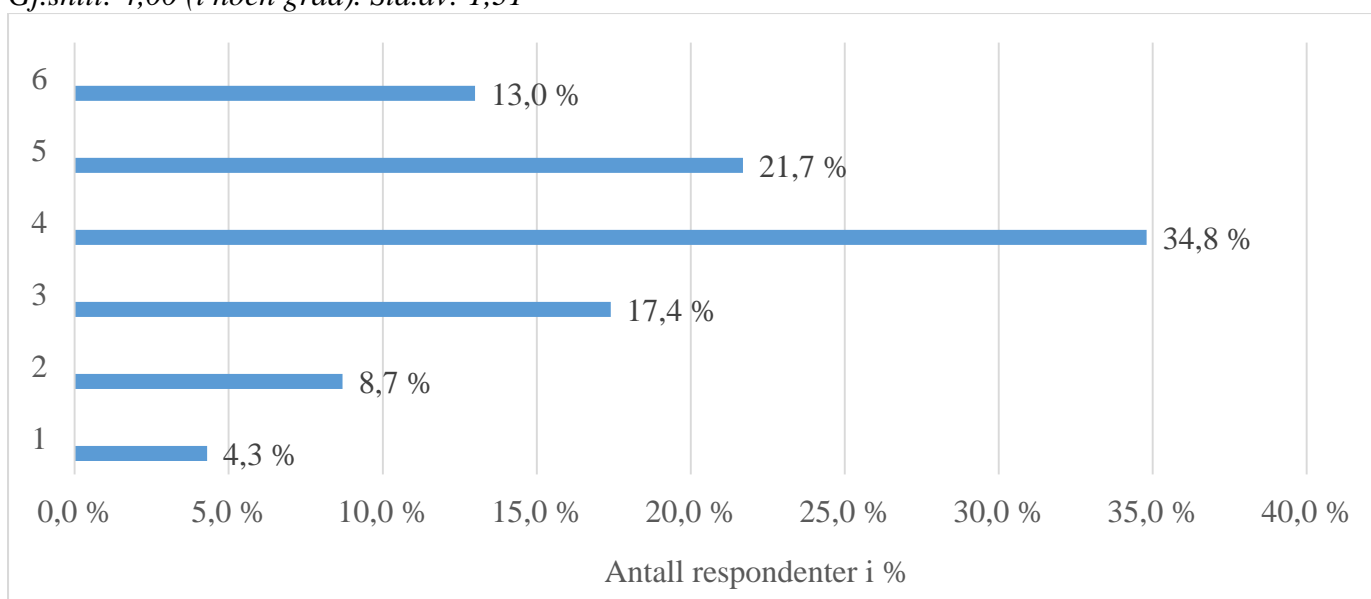


Figur 28: grad av oppløring om helsefarer og beskyttelse mot eksponering.

### Er det utfordrende å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer?

Figur 29 viser hvor utfordrende virksomhetene opplever det er å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer. Resultatene viser at de fleste synes det er utfordrende å finne relevant informasjon (ca. 70 % i noen grad eller mer).

Gj.snitt: 4,00 (i noen grad). Std.av: 1,31



Figur 29: hvor utfordrende opplever virksomhetene det å finne informasjon for å risikovurdere nanomaterialer.

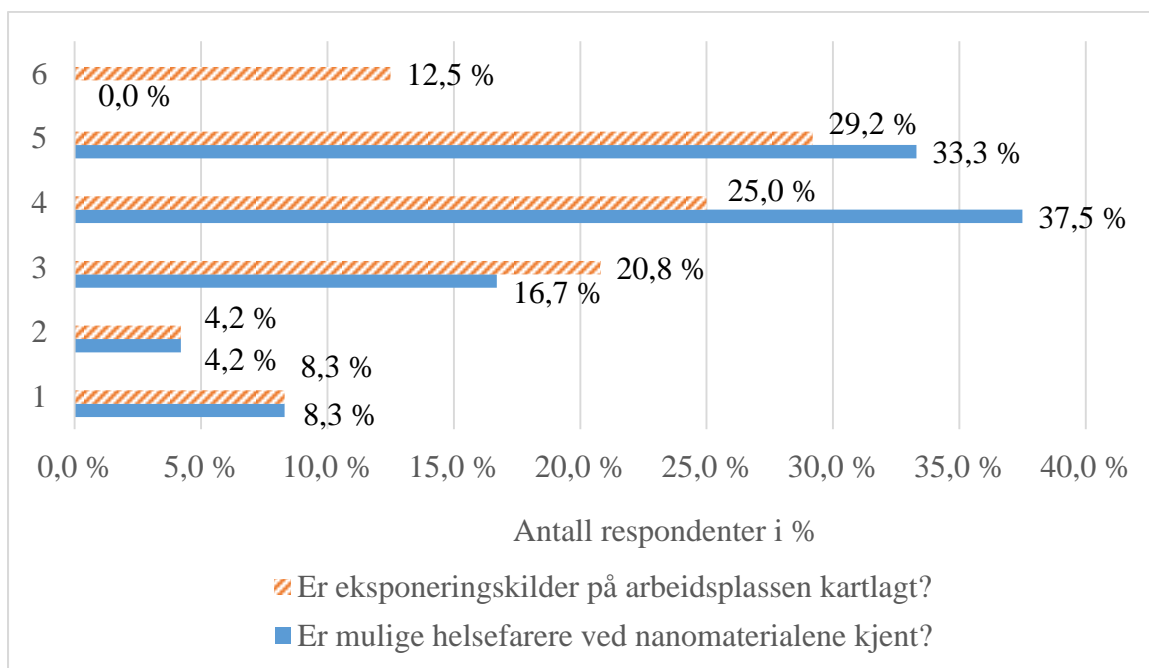


## Er eksponeringskilder for nanomaterialer på arbeidsplassen kartlagt?

### I hvilken grad er potensiell fare ved nanomaterialer som er i bruk i virksomheten kjent?

Figur 30 viser i hvilken grad virksomhetene kjenner til nanomaterialenes potensielle helsefarer i forhold til hvilken grad de har kartlagt mulige eksponeringskilder. Resultatene viser at de fleste virksomhetene har til en viss grad kjennskap til potensielle helsefarer ved nanomaterialer, og spredningen i svarene varierer fra i «liten/svært liten» grad til i «stor grad». Resultatet viser at de fleste virksomheter har kartlagt eksponeringskilder.

*Kunnskap om helsefarene: Gj.snitt 3,83 (i noen grad). Std.av: 1,20. Kartlagte eksponeringskilder: Gj.snitt: 4,00 (i noen grad). Std.av: 1,41.*

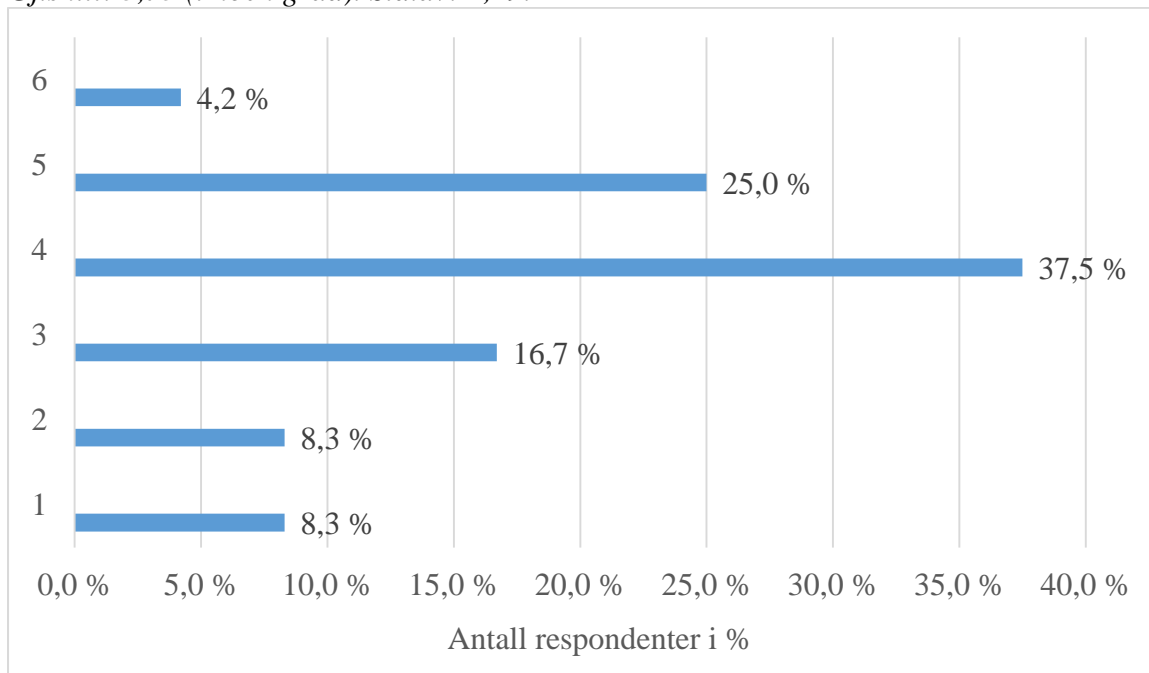


Figur 30: kjennskap til helsefarer og kartlegging av eksponeringskilder.

### I hvilken grad opplever virksomheten at det finnes PVU på markedet som er tilpasset å redusere eksponering for nanomaterialer?

Figur 31 viser en oversikt over i hvilken grad virksomhetene opplever at det finnes PVU på markedet tilpasset til å redusere eksponering for nanomaterialer. Resultatene viser at de fleste virksomhetene (ca. 67 %) til en viss grad opplever at PVU tilpasset nanomaterialer er tilgjengelig på markedet, og spredningen i svarene varierer fra virksomheter som opplever at det i liten grad er tilgjengelig til i stor grad.

Gj.snitt: 3,75 (i noen grad). Std.av: 1,29.

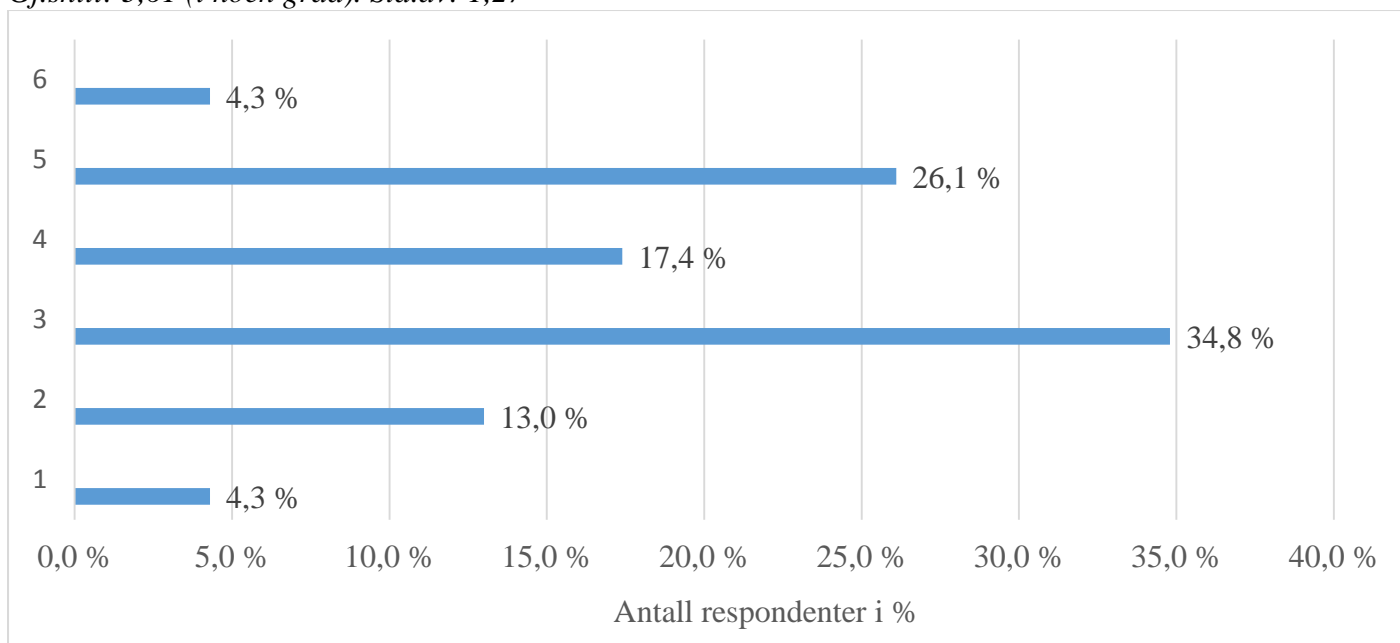


Figur 31: virksomhetens opplevelse av at det finnes PVU tilpasset nanomaterialer på markedet.

### Oppeles forholdet mellom HMS-aspekter ved nanomaterialer og fokus på utvikling/produksjon/bruk av nanomaterialer balansert?

Figur 32 viser en oversikt over hvordan virksomhetene opplever balansen mellom HMS og produksjon/utvikling/bruk av nanomaterialer. Resultatene viser at over halvparten av virksomhetene (52 %) opplever at fokus på HMS og fokus på produksjon/utvikling/bruk av nanomaterialer er balansert i liten grad eller mindre.

Gj.snitt: 3,61 (i noen grad). Std.av: 1,27

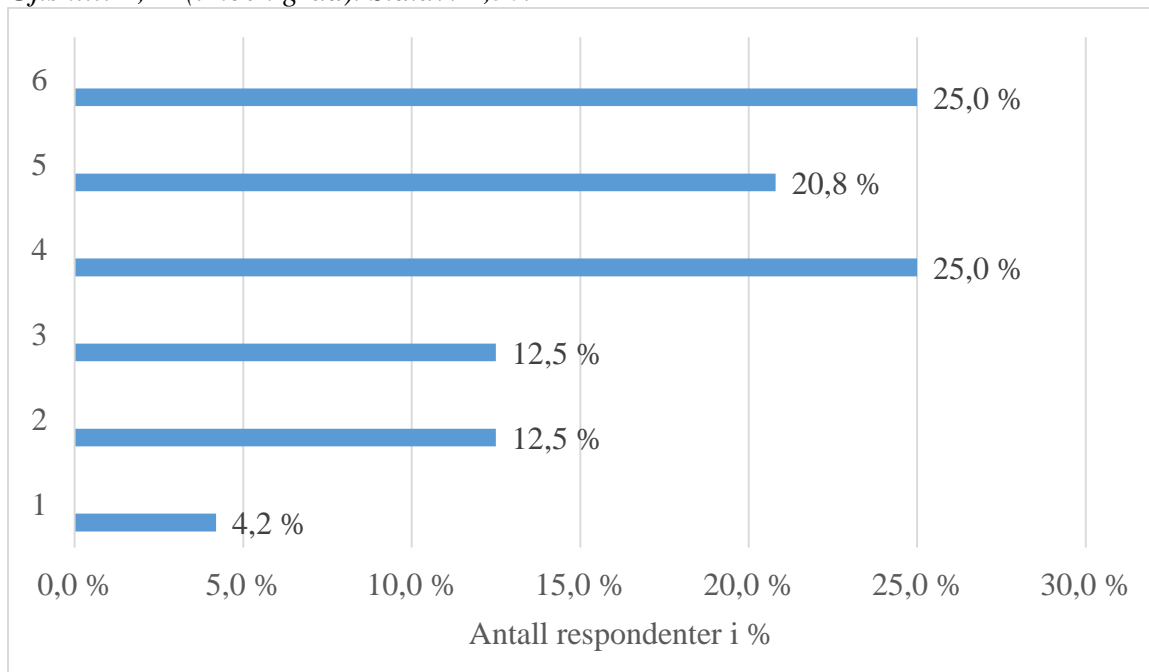


Figur 32: balansen mellom HMS og produksjon/utvikling.

### Oppeves nanomaterialer som et konkurransefortrinn for virksomheten?

Figur 33 viser en oversikt over i hvilken grad virksomhetene opplever nanomaterialer som et konkurransefortrinn. Resultatene viser at de fleste virksomhetene opplever nanomaterialer som et konkurransefortrinn (ca. 71 %).

Gj.snitt: 4,21 (i noen grad). Std.av: 1,50.

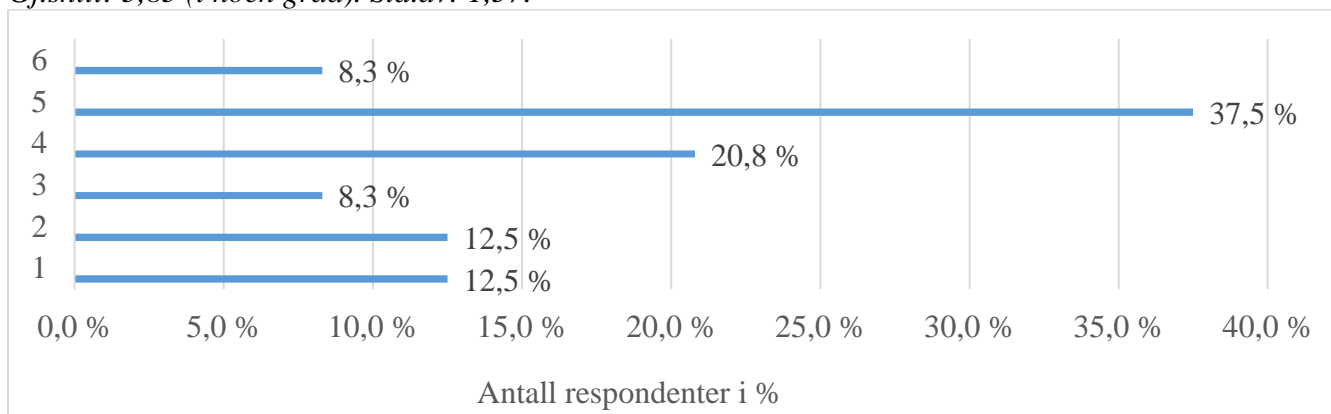


Figur 33: nanomaterialer og konkurransefortrinn.

### Er HMS-aspekter ved nanomaterialer noe som tas hensyn til ved utvikling/innkjøp av produksjonslinjer/produkter?

Figur 34 viser i hvilken grad virksomhetene opplever at det tas hensyn til HMS ved innkjøp av produksjonslinjer/produkter. Resultatene viser at de fleste virksomheter (ca. 67 %) tar hensyn til HMS-aspekter ved innkjøp av produksjonslinjer/produkter. Spredningen i svarene varierer fra virksomheter som i svært liten grad opplever dette til i stor grad.

Gj.snitt: 3,83 (i noen grad). Std.av: 1,57.

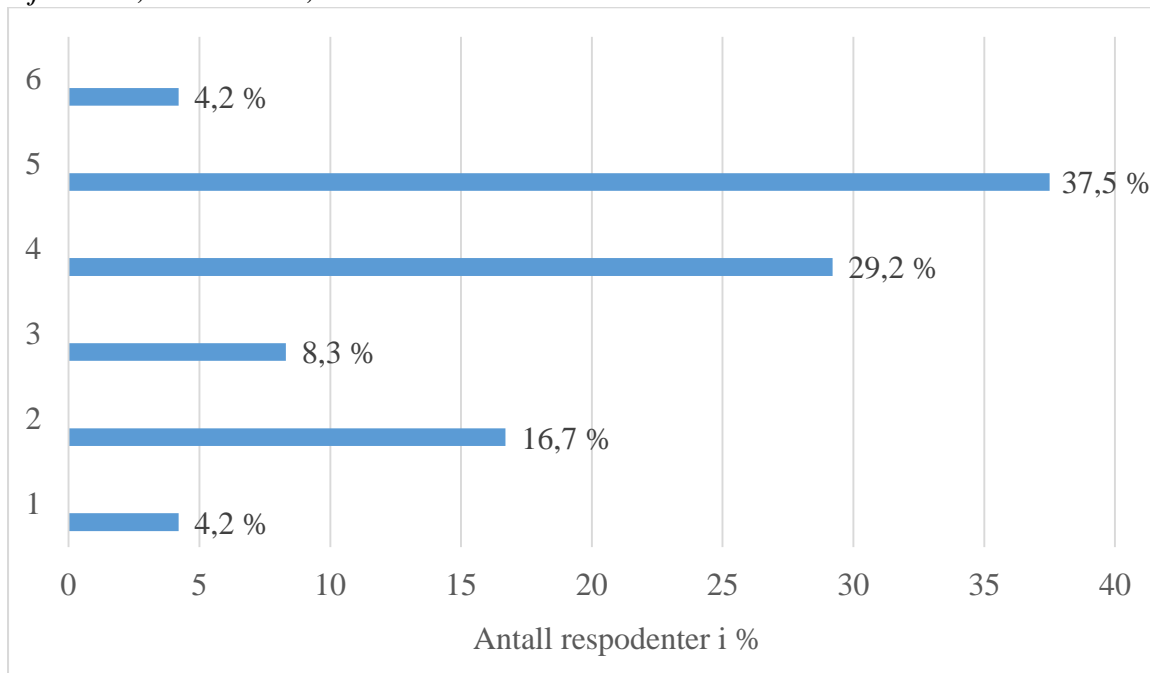


Figur 34: HMS-aspekter ved innkjøp av produksjonslinjer/produkter.

## Er informasjon om hvordan virksomheten kan håndtere HMS-aspekter ved nanomaterialer tilgjengelig?

Figur 35 viser i hvilken grad virksomhetene opplever at de har informasjon tilgjengelig om hvordan de kan håndtere HMS-aspekter ved nanomaterialer. Resultatene viser at de fleste virksomhetene (ca. 71 %) opplever at dette finnes, mens de resterende 29 % av virksomhetene opplever at slik informasjon er tilgjengelig i liten grad eller mindre.

Gj.snitt: 3,92. Std.av: 1,31.

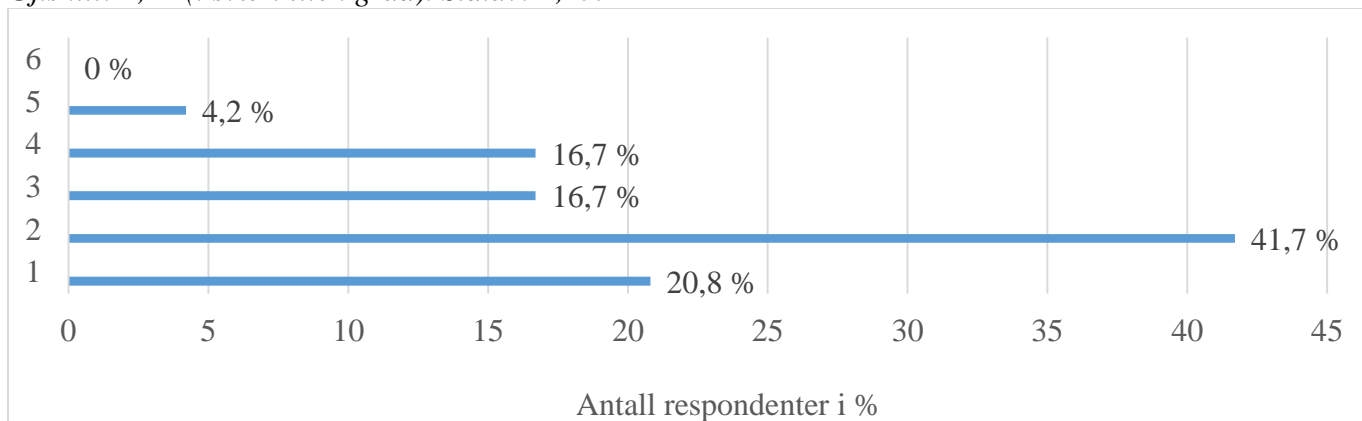


Figur 35: informasjon om håndtering av HMS-aspekter.

## I hvilken grad benyttes arbeidstilsynets svartjeneste til spørsmål om HMS og arbeidsmiljø?

Figur 36 viser i hvilken grad virksomhetene benytter seg av arbeidstilsynets svartjeneste til spørsmål om HMS og arbeidsmiljø i forhold til nanomaterialer. Resultatene viser at de fleste virksomheter benytter svartjenesten i svært liten grad eller ikke i det hele tatt.

Gj.snitt: 2,42 (i svært liten grad). Std.av: 1,13.

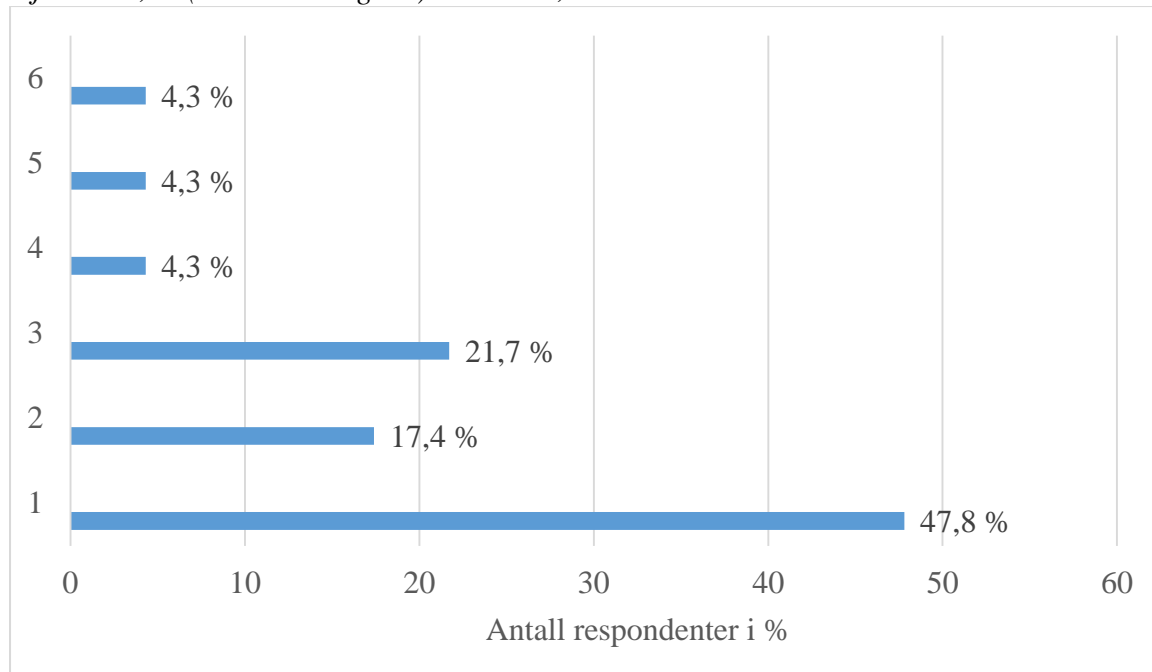


Figur 36: bruk av arbeidstilsynets svartjeneste.

### I hvilken grad registreres nanomaterialer i produktregisteret?

Figur 37 viser i hvilken grad virksomhetene registrerer nanomaterialer i produktregisteret. Resultatene viser at de fleste av virksomhetene i liten grad eller mindre registrerer nanomaterialer i produktregisteret. Nesten halvparten registrerer ikke nanomaterialer i produktregisteret i det hele tatt.

Gj.snitt: 2,13 (i svært liten grad). Std.av: 1,42.



Figur 37: registrering av nanomaterialer i produktregisteret.

## 8.5 Sammenligning av deler av resultatene

I dette kapitlet sammenlignes resultater fra spørreundersøkelsen ved bruk av krysstabeller. Hensikten er å identifisere potensielle likheter og forskjeller mellom variabler med tanke på HMS-utfordringer og hvordan de håndterer utfordringene.

### 8.5.1 Nanomaterialer, bekymring for HMS-utfordringer og fokus på at de ansatte jobber med nanomaterialer

Tabell 15 viser en oversikt over forskjellige typer nanomaterialer sammenlignet med graden av fokus virksomheten har på at de ansatte jobber med nanomaterialer. Resultatene viser at de fleste virksomhetene har til en viss grad fokus på at de ansatte jobber med nanomaterialer, men muligens i større grad ved håndtering av titandioksid, sølv, gull, andre metallpulvere, organiske fargepigmenter, vitaminer og kvanteprikker.

Tabell 15: nanomaterialer og fokus.

Nanomaterial:	I hvilken grad har virksomheten fokus på at de ansatte jobber med nanomaterialer?				
	Ikke i det hele tatt	I liten grad	I noen grad	I stor grad	I veldig stor grad
Karbon black	16,7 %*	33,3 %	16,7 %	16,7 %	16,7 %
Karbon nanorør/fiber/tråd	20,0 %	20,0 %	20,0 %	20,0 %	20,0 %
Karbon nanokjegler	0,0 %	33,3 %	33,3 %	33,3 %	0,0 %
Titandioksid	0,0 %	14,3 %	28,6 %	28,6 %	28,6 %
Sinkoksid	0,0 %	20,0 %	40,0 %	20,0 %	20,0 %
Aluminiumoksid	33,3 %	0,0 %	33,3 %	0,0 %	33,3 %
Silikat	0,0 %	16,7 %	33,3 %	33,3 %	16,7 %
Jern	0,0 %	33,3 %	33,3 %	0,0 %	33,3 %
Sølv	0,0 %	0,0 %	20,0 %	40,0 %	40,0 %
Gull	0,0 %	14,3 %	28,6 %	28,6 %	28,6 %
Andre metallpulver	0,0 %	20,0 %	20,0 %	40,0 %	20,0 %
Andre uorganiske fargepigmenter	16,7 %	33,3 %	16,7 %	33,3 %	0,0 %
Organiske fargepigmenter	0,0 %	33,3 %	0,0 %	66,7 %	0,0 %
Polymere	33,3 %	22,2 %	22,2 %	11,1 %	11,1 %
Vitaminer	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100 %	0,0 %
Kvanteprikker	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100 %

\*eksempel: 16,7 % av virksomhetene som håndterer karbon black har ikke fokus i det hele tatt på at de ansatte jobber med nanomaterialer.

Tabell 16 viser en oversikt over HMS-koordinator/ledelsens bekymring for HMS-utfordringer ved de ansattes eksponering for forskjellige nanomaterialer. Det kan tyde på at det er mer bekymring for kvanteprikker, karbon nanokjegler og karbon nanorør/-fiber/-tråder sammenlignet med de øvrige. Det er flere som seg i mindre grad bekymrer for HMS-utfordringer ved eksponering for karbon black, aluminiumoksid, krom(III)oksid, jern, andre uorganiske fargepigmenter og polymere.

Tabell 16: nanomaterialer og HMS-ansvarliges bekymring.

Nanomaterial:	I hvilken grad bekymrer HMS-koordinator/ledelsen i virksomheten seg for HMS-utfordringer ved de ansattes eksponering for nanomaterialer?				
	Ikke i det hele tatt	I liten grad	I noen grad	I stor grad	I veldig stor grad
Karbon black	16,7%*	8,3%	33,3%	33,3%	8,3%
Karbon nanorør/fiber/tråd	20,0%	0,0%	30,0%	40,0%	10,0%
Karbon nanokjegler	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%	0,0%
Titandioksid	0,0%	0,0%	57,1%	28,6%	14,3%
Sinkoksid	0,0%	0,0%	60,0%	40,0%	0,0%
Nikkeloksid	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
Aluminiumoksid	33,3%	0,0%	33,3%	0,0%	33,3%
Manganoksid	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
Krom(III)oksid	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Silikat	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%	0,0%
Jern	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%	0,0%
Sølv	0,0%	0,0%	40,0%	40,0%	20,0%
Gull	0,0%	14,3%	42,9%	28,6%	14,3%
Andre metallpulver	0,0%	16,7%	50,0%	16,7%	16,7%
Andre uorganiske fargepigmenter	16,7%	33,3%	50,0%	0,0%	0,0%
Organiske fargepigmenter	0,0%	33,3%	66,7%	0,0%	0,0%
Polymere	33,3%	0,0%	44,4%	11,1%	11,1%
Vitaminer	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
Kvanteprikker/semikonduktorer	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

\*eksempel: 16,7 % av de som håndterer karbon black rapporterer at HMS-koordinator/ledelse ikke bekymrer seg i det hele tatt for HMS-utfordringer ved de ansattes eksponering for nanomaterialer

## 8.5.2 Nanomaterialer og opplæring om beskyttelse mot eksponering

Tabell 17 viser i hvilken grad de ansatte opplæres om hvordan de best kan beskytte seg mot eksponering for forskjellige nanomaterialer. Resultatet antyder at størst grad av opplæring er i forbindelse med håndtering av titandioksid, sølv, gull og kvanteprikker.

Tabell 17: nanomaterialer og opplæring om beskyttelse mot eksponering.

Nanomaterial:	I hvilken grad blir ansatte som kan være eksponert for nanomaterialer opplyst om hvordan de best kan beskytte seg mot eksponering?				
	Ikke i det hele tatt	I svært liten grad	I noen grad	I stor grad	I veldig stor grad
Karbon black	8,3 %*	8,3 %	33,3 %	25,0 %	25,0 %
Karbon nanorør/fiber/tråd	10,0 %	10,0 %	20,0 %	40,0 %	20,0 %
Karbon nanokjegler	0,0 %	0,0 %	33,3 %	66,7 %	0,0 %
Titandioksid	0,0 %	0,0 %	14,3 %	42,9 %	42,9 %
Metalloksider	0,0 %	14,3 %	14,3 %	42,9 %	28,6 %
Silikat	0,0 %	0,0 %	33,3 %	50,0 %	16,7 %
Jern	0,0 %	0,0 %	33,3 %	33,3 %	33,3 %
Sølv	0,0 %	0,0 %	0,0 %	60,0 %	40,0 %
Gull	0,0 %	0,0 %	14,3 %	42,9 %	42,9 %
Andre metallpulver	0,0 %	0,0 %	33,3 %	33,3 %	33,3 %
Andre uorganiske fargepigmenter	16,7 %	0,0 %	33,3 %	50,0 %	0,0 %
Organiske fargepigmenter	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
Polymere	22,2 %	11,1 %	22,2 %	33,3 %	11,1 %
Vitaminer	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100 %	0,0 %
Kvanteprikker	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100 %

\*eksempel: 8,3 % av virksomhetene som håndterer karbon black opplærer ikke de ansatte i det hele tatt om hvordan de kan beskytte seg mot eksponering.



### 8.5.3 Informasjon til risikovurdering og nanomaterialer

Tabell 18 viser at flere av virksomhetene mener det er utfordrende å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer, og dette gjelder for nesten alle typer nanomaterialer, men i mindre grad for metallpulvere, fargepigmenter, polymere og silikater og noen metalloksider. Det kan tyde på at nanomaterialene det er vanskeligst å finne relevant informasjon for å risikovurdere er vitaminer, organiske fargepigmenter, silikater og karbon nanokjegler.

Tabell 18: nanomaterialer og informasjon til risikovurdering.

Nanomaterial:	Er det utfordrende å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer?				
	I svært liten grad	I liten grad	I noen grad	I stor grad	I veldig stor grad
Karbon black	9,1%*	9,1%	36,4%	27,3%	18,2%
Karbon nanorør/fiber/tråd	11,1%	11,1%	33,3%	33,3%	11,1%
Karbon nanokjegler	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%	0,0%
Titandioksid	16,7%	0,0%	33,3%	33,3%	16,7%
Metalloksider	16,7%	16,7%	33,3%	33,3%	0,0%
Silikat	20,0%	0,0%	20,0%	60,0%	0,0%
Jern	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%	0,0%
Sølv	0,0%	25,0%	50,0%	25,0%	0,0%
Gull	0,0%	16,7%	50,0%	16,7%	16,7%
Andre metallpulver	20,0%	20,0%	60,0%	0,0%	0,0%
Andre uorganiske fargepigmenter	33,3%	0,0%	16,7%	33,3%	16,7%
Organiske fargepigmenter	33,3%	0,0%	0,0%	66,7%	0,0%
Polymere	11,1%	33,3%	11,1%	33,3%	11,1%
Vitaminer	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
Kvanteprikker	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%

\*eksempel: 9,1 % av de som håndterer karbon black synes det i svært liten grad er utfordrende å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer.

#### 8.5.4 Risikovurderingsverktøy og informasjonsinnhenting

Virksomhetene som benytter samme verktøy for både vanlige kjemikalier og nanomaterialer bruker i hovedsak egenutviklede verktøy og/eller Arbeidstilsynets veiledninger/skjemaer samt at noen bruker skjemaer fra Næringslivets Sikkerhetsorganisasjon. Tabell 19 viser antydninger til at de som bruker Arbeidstilsynets veiledninger synes det er mindre utfordrende å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer.

Andre verktøy som ble rapportert brukt for nanomaterialer var ECOonline og risikovurdering basert på forskningslitteratur. For begge er det rapportert at det er utfordrende å finne relevant informasjon for risikovurderingen, og spredningen i svarene varierer fra i noen grad til i veldig stor grad.

Tabell 19: verktøy for vanlige kjemikalier og utfordringer med informasjon til risikovurdering av nanomaterialer.

Risikovurderingsverktøy:	Er det utfordrende å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer?				
	I svært liten grad	I liten grad	I noen grad	I stor grad	I veldig stor grad
Arbeidstilsynets veiledninger	10,0%*	20,0%	60,0%	0,0%	10,0%
NSO skjemaer	0,0%	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%
Egenutviklet (internt)	8,3%	8,3%	41,7%	33,3%	8,3%
Utviklet av bransjen	0,0%	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%

\*eksempel: 10 % av de som bruker Arbeidstilsynets veiledninger synes det i svært liten grad er utfordrende å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer.

### 8.5.5 Nanomaterialer og sikkerhetsdatablader

Tabell 20 viser at det finnes sikkerhetsdatablader med informasjon om de fleste typer nanomaterialer, med unntak av vitaminer og kvanteprikker. Resultatene viser at eksponeringsscenarioer for nanomaterialer finnes for karbon black, karbon nanorør/-fiber/-tråd, aluminiumoksid, krom(III)oksid, gull og polymere.

Tabell 20: Forskjellige typer nanomaterialer og sikkerhetsdatablader.

Nanomaterial:	Sikkerhetsdatablader med informasjon om nanomaterialer		
	Ja	Nei	Vet ikke
Karbon black	41.7 %	33.3 %	25,0 %
Karbon nanorør/-fiber/-tråd	40,0 %	40,0 %	20,0 %
Karbon nanokjegler	33.3 %	33.3 %	33.3 %
Titandioksid	42.9 %	28.6 %	28.6 %
Sinkoksid	40,0 %	20,0 %	40,0 %
Nikkeloksid	100 %	-	-
Aluminiumoksid	66.7 %	33.3 %	-
Manganoksid	100 %	-	-
Krom(III)oksid	100 %	-	-
Silikat	33.3 %	0,0 %	66.7 %
Jern	33.3 %	0,0 %	66.7 %
Sølv	40,0 %	20,0 %	40,0 %
Gull	42.9 %	14.3 %	42.9 %
Andre metallpulvere	50,0 %	16.7 %	33.3%
Andre uorganiske fargepigmenter	33.3 %	33.3 %	33.3 %
Organiske fargepigmenter	33.3 %	33.3 %	33.3 %
Polymere	33.3 %	44.4 %	22.2 %
Vitaminer	-	-	100 %
Kvanteprikker	-	100 %	-

### 8.5.6 Nanomaterialer og kjennskap til potensielle helsefarer

Tabell 21 viser en oversikt over kjennskap til helsefarer fordelt på forskjellige nanomaterialer. Resultatet gir antydninger til at potensiell helsefare er bedre kjent for nanomaterialene karbon nanokjegler, titandioksid og sølv. Det er derimot ingen av nanomaterialene som virksomhetene har veldig mye kjennskap til med tanke på helsefarer. Det kan tyde på at det er mindre kjennskap til helsefarer ved titandioksid, polymere, vitaminer og kvanteprikker, men på generell basis er det et fåtall virksomheter hvor potensielle helsefarer for nanomaterialene er godt kjent.

Tabell 21: nanomaterialer og kjennskap til potensielle helsefarer.

Nanomaterial:	I hvilken grad er potensiell fare ved nanomaterialer som er i bruk i virksomheten kjent?				
	Ikke i det hele tatt	I svært liten grad	I liten grad	I noen grad	I stor grad
Karbon black	8,3%*	8,3%	16,7%	50,0%	16,7%
Karbon nanorør/fiber/tråd	10,0%	10,0%	10,0%	40,0%	30,0%
Karbon nanokjegler	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%
Titandioksid	0,0%	0,0%	14,3%	42,9%	42,9%
Sinkoksid	0,0 %	0,0 %	0,0 %	60,0 %	40,0 %
Aluminiumoksid	33,3 %	0,0 %	33,3 %	33,3 %	0,0 %
Silikat	0,0%	0,0%	16,7%	50,0%	33,3%
Jern	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%
Sølv	0,0%	0,0%	20,0%	40,0%	40,0%
Gull	0,0%	0,0%	28,6%	42,9%	28,6%
Andre metallpulver	0,0%	0,0%	16,7%	50,0%	33,3%
Andre uorganiske fargepigmenter	0,0%	16,7%	16,7%	66,7%	0,0%
Organiske fargepigmenter	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%	0,0%
Polymere	22,2%	11,1%	11,1%	44,4%	11,1%
Vitaminer	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
Kvanteprikker	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%

\*eksempel: 8,3 % av de som håndterer karbon black kjenner ikke i det hele tatt til potensielle farer ved nanomaterialet.

## 8.6 Informasjon om HMS-aspekter og iverksatte tiltak

Tabell 22 viser at virksomheter som har iverksatt tiltak mot eksponering også har informasjon om håndtering av HMS-aspekter tilgjengelig i større grad. Tiltakene som oftest er iverksatt hos virksomhetene som i stor grad eller mer har informasjon tilgjengelig om håndtering av HMS-aspekter er eksponeringsovervåking (71,4 %) og vedlikehold av tekniske tiltak (100 %). I virksomhetene som i svært liten grad har informasjon tilgjengelig om håndtering av HMS-aspekter er det hyppigst rapporterte tiltaket trening og opplæring av ansatte (20 %).

Tabell 22: informasjon om håndtering av HMS-aspekter ved nanomaterialer og iverksatte tiltak.

Nanomaterial:	Er informasjon om hvordan virksomheten kan håndtere HMS-aspekter ved nanomaterialer tilgjengelig?					
	Ikke i det hele tatt	I svært liten grad	I liten grad	I noen grad	I stor grad	I veldig stor grad
Eksponeringskilder identifisert	0,0%	15,4%*	0,0%	23,1%	53,8%	7,7%
Vedlikehold av tekniske tiltak	0,0%	14,3%	0,0%	14,3%	71,4%	0,0%
Eksponeringsovervåking/monitorering	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
Prosedyrer for sikker håndtering	0,0%	18,2%	0,0%	18,2%	54,5%	9,1%
Systematisk gjennomgang og oppdatering av prosedyrer	0,0%	0,0%	0,0%	37,5%	50,0%	12,5%
Trening og opplæring av ansatte	0,0%	20,0%	0,0%	26,7%	46,7%	6,7%
Evaluering av nye prosesser/prosedyrer og mulige farer	0,0%	11,1%	0,0%	22,2%	55,6%	11,1%
Prosedyrer for opprydding av søl	0,0%	11,1%	0,0%	22,2%	55,6%	11,1%
Avfallshåndtering	0,0%	8,3%	8,3%	25,0%	50,0%	8,3%
Prosedyrer for rengjøring	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	55,6%	11,1%

\*eksempel: 15,4 % av virksomhetene som har identifisert eksponeringskilder mener at informasjon om håndtering av HMS-aspekter i svært liten grad er tilgjengelig.

### 8.6.1 Virksomhetens opplevelse av at det finnes PVU tilpasset nanomaterialer og bruk av PVU

Hovedtyngden (88 %) av virksomhetene rapporterer at PVU brukes ved håndtering av nanomaterialer, og tabell 23 viser at de fleste virksomhetene opplever at det finnes PVU tilpasset til å redusere eksponering for nanomaterialer på markedet til en viss grad, men det er kun ca. 29 % som opplever at det finnes i stor grad eller mer.

Tabell 23: bruk av PVU i forhold til opplevelsen av at markedet tilbyr PVU for nanomaterialer

Brukes PVU ved håndtering av nanomaterialer	I hvilken grad opplever virksomheten at det finnes personlig verneutstyr på markedet som er tilpasset til å redusere eksponering for nanomaterialer?					
	Ikke i det hele tatt	I svært liten grad	I liten grad	I noen grad	I stor grad	I veldig stor grad
Ja	4,8 %	9,5 %	14,3 %	42,9 %	23,8 %	4,8 %
Nei	33,3 %	0,0 %	33,3 %	0,0 %	33,3 %	0,0 %

### 8.6.2 Virksomhetens opplevelse av at det finnes PVU tilpasset nanomaterialer og informasjon i sikkerhetsdatablader

Tabell 24 viser at virksomheter som har sikkerhetsdatablader som inneholder informasjon om nanomaterialer i større grad opplever at PVU tilpasset å redusere eksponering for nanomaterialer finnes på markedet (ca. 38 %) sammenlignet med virksomheter som ikke har det (20 %) eller ikke vet (ca. 17%).

Tabell 24: PVU tilpasset å redusere eksponering for nanomaterialer i forhold til sikkerhetsdatablader.

		I hvilken grad opplever virksomheten at det finnes personlig verneutstyr på markedet som er tilpasset til å redusere eksponering for nanomaterialer?					
		Ikke i det hele tatt	I svært liten grad	I liten grad	I noen grad	I stor grad	I veldig stor grad
Inneholder sikkerhetsdatablad informasjon om nanomaterialer?	Ja	7,7 %*	0,0 %	15,4 %	38,5 %	30,8 %	7,7 %
	Nei	0,0 %	20,0 %	0,0 %	60,0 %	20,0 %	0,0 %
	Vet ikke	16,7 %	16,7 %	33,3 %	16,7 %	16,7 %	0,0 %

\*eksempel: 7,7 % av de som har sikkerhetsdatablader med informasjon om nanomaterialer opplever at PVU tilpasset nanomaterialer ikke i det hele tatt finnes på markedet.

### 8.6.3 PVU og form/tilstand nanomaterialene forekommer i

Tabell 25 viser forholdet mellom forskjellige typer PVU og former nanomaterialene forekommer i. *Hansker og to lag med hansker* brukes oftest ved håndtering av væsker. *Heldekkende tøy* brukes oftest ved håndtering av pulver. *Øyebeskyttelse* brukes oftest ved håndtering av væsker. *Åndedrettsvern med P3-/HEPA-filter* brukes oftest ved håndtering av pulver. *Åndedrettsvern med P1-/P2-filter* brukes oftest ved håndtering av pulver, væsker og kompositt.

Tabell 25: forskjellige typer PVU og former nanomaterialene forekommer i.

Form		Pulver	Væsker	Kompositt	Filmer
PVU					
Hansker	%pvu*	47 %	54 %	33 %	13 %
	%form <sup>+</sup>	78 %	80 %	100 %	100 %
To lag med hansker	%pvu	60 %	80 %	20 %	40 %
	%form	33 %	40 %	20 %	100 %
Heldekkende tøy	%pvu	60 %	40 %	40 %	40 %
	%form	33 %	20 %	40 %	100 %
Øyebeskyttelse	%pvu	50 %	56 %	31 %	13 %
	%form	89 %	90 %	100 %	100 %
P3-/HEPA-filter	%pvu	83 %	33 %	33 %	0 %
	%form	56 %	20 %	40 %	
P1-/P2-filter	%pvu	40 %	40 %	40 %	20 %
	%form	22 %	20 %	40 %	50 %

\*eksempel: 47 % av virksomhetene som svarer at de bruker hansker håndterer nanomaterialer i pulverform.

+eksempel: 78 % av de som håndterer pulver bruker hansker.

#### 8.6.4 Sammenligning av PVU og type nanomaterialer

Tabell 26 viser en sammenligning av forskjellige typer nanomaterialer og hva slags PVU som brukes. Det kan tyde på at *to lag med hansker* brukes hyppigst ved håndtering av kvanteprikker, gull, sølv, jern og metalloksider. Åndedrettsvern med minst P3-/HEPA-filter brukes hyppigst ved håndtering av organiske fargepigmenter, andre uorganiske fargepigmenter, karbon nanokjegler, og -nanorør/-fiber/-tråd.

Tabell 26: sammenligning av forskjellige nanomaterialer og type PVU som brukes.

Nanomaterial:	PVU						
	Hansker	To lag med hansker	Heldekkende tøy	Øyebeskyttelse	Frisklufttilførsel	P3-/HEPA-filter	P1/P2-filter
Karbon black	90,0 %*	30,0 %	50,0 %	100,0 %	10,0 %	50,0 %	30,0 %
Karbon nanorør/fiber/tråd	75,0 %	37,5 %	50,0 %	87,5 %	12,5 %	62,5 %	12,5 %
Karbon nanokjegler	66,7 %	33,3 %	33,3 %	66,7 %	33,3 %	66,7 %	0,0 %
Titandioksid	66,7 %	50,0 %	33,3 %	83,3 %	0,0 %	33,3 %	16,7 %
Sinkoksid	50,0 %	50,0 %	25,0 %	75,0 %	0,0 %	50,0 %	25,0 %
Aluminiumoksid	100 %	50,0 %	50,0 %	100 %	0,0 %	50,0 %	50,0 %
Silikat	50,0 %	50,0 %	0,0 %	75,0 %	0,0 %	25,0 %	25,0 %
Jern	33,3 %	66,7 %	0,0 %	66,7 %	0,0 %	0,0 %	33,3 %
Sølv	50,0 %	75,0 %	25,0 %	75,0 %	0,0 %	0,0 %	25,0 %
Gull	66,7 %	66,7 %	33,3 %	83,3 %	0,0 %	0,0 %	50,0 %
Andre metallpulver	100 %	40,0 %	20,0 %	100 %	0,0 %	40,0 %	80,0 %
Andre uorganiske fargepigmenter	100 %	0,0%	60,0 %	100 %	20,0 %	80,0 %	60,0 %
Organiske fargepigmenter	100 %	0,0 %	100 %	100 %	50,0 %	100 %	50,0 %
Polymere	87,5 %	25,0 %	37,5 %	87,5 %	0,0 %	50,0 %	25,0 %
Kvanteprikker	100 %	100 %	100 %	100 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

\*eksempel: 90 % av de som håndterer karbon black bruker hanske



#### 8.6.4.1 *Hyppigst rapporterte eksponeringskilder*

Tabell 27 viser en sammenligning av arbeidsoppgaver som kan medføre eksponering og hvilke tiltak som er iverksatt.

*Rengjøring* er den hyppigst rapporterte potensielle eksponeringskilden, men kun 42 % av de som svarer at rengjøring er en eksponeringskilde har prosedyrer for rengjøring av arbeidslokaler/flater/utstyr, og 58 % har prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer. I tillegg har bare halvparten prosedyrer for opprydding av søl og 67 % har identifisert eksponeringskilder. For rengjøringsarbeid er det hyppigst rapporterte tiltaket opplæring og trening av ansatte (75 %).

*Oppveiing og utveiing* er en annen eksponeringskilde som mange virksomheter har rapportert. Av disse har 88 % trening og opplæring som iverksatt tiltak mot eksponering og 88 % har identifisert eksponeringskilder. Halvparten har prosedyrer for rengjøring av arbeidslokaler/flater/utstyr og 75 % har prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer.

Av virksomhetene som har *lekkasjer og søl fra prosesser og utstyr som eksponeringskilde* er det kun 38 % som rapporterer at vedlikehold av tekniske tiltak er et iverksatt tiltak, og 38 % har prosedyrer for opprydding av søl samt at 38 % har prosedyrer for rengjøring. Godt over halvparten har derimot identifisert eksponeringskilder (63 %).

Tabell 27: arbeidsoppgaver som kan medføre eksponering sammenlignet med iverksatte tiltak.

Arbeidsoppgaver:	Iverksatte tiltak									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oppveing/utveing	87,5 %	25,0 %	12,5 %	75,0 %	62,5 %	87,5 %	62,5 %	62,5 %	75,0 %	50,0 %
Vedlikeholdsarbeid	25,0 %	25,0 %	25,0 %	25,0 %	25,0 %	50,0 %	25,0 %	25,0 %	50,0 %	25,0 %
Rengjøringsarbeid	66,7 %	33,3 %	8,3 %	58,3 %	50,0 %	75,0 %	50,0 %	50,0 %	66,7 %	41,7 %
Lekkasjer/søl fra prosesser/utstyr	62,5 %	37,5 %	12,5 %	50,0 %	50,0 %	62,5 %	62,5 %	37,5 %	62,5 %	37,5 %
Fylling av nanomaterialer i prosessutstyr	60,0 %	40,0 %	0,0 %	20,0 %	60,0 %	80,0 %	40,0 %	20,0 %	80,0 %	40,0 %
Tapping/utslipp til produktbeholdere	100 %	50,0 %	0,0 %	75,0 %	75,0 %	100 %	50,0 %	50,0 %	75,0 %	75,0 %
Bytting av filter på støvoppsamlingsutstyr	66,7 %	33,3 %	16,7 %	50,0 %	66,7 %	66,7 %	50,0 %	50,0 %	83,3 %	50,0 %
Påføring med spray/bruk av sprayprodukter	20,0 %	0,0 %	0,0 %	20,0 %	0,0 %	60,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Overflatebehandling	14,3 %	14,3 %	0,0 %	14,3 %	0,0 %	57,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	14,3 %

*1 = eksponeringskilder identifisert, 2 = vedlikehold av tekniske tiltak, 3 = eksponeringsovervåking, 4 = prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer, 5 = systematisk gjennomgang og oppdatering av prosedyrer, 6 = trening og opplæring av ansatte, 7 = evaluering av nye prosesser/prosedyrer og farer, 8 = prosedyrer for opprydding av søl, 9 = avfallshåndtering, 10 = prosedyrer for rengjøring*

### 8.6.5 Iverksatte tiltak og nanomaterialer

Tabell 28 viser et utdrag fra en krysstabell som viser en oversikt over iverksatte tiltak sammenlignet med forskjellige nanomaterialer. Tiltaket som er minst iverksatt i forhold til type nanomaterialer, men også generelt, er eksponeringsovervåking.

**Karbon nanorør/-fiber/-tråd:** det hyppigst iverksatte tiltaket er identifisering av eksponeringskilder, opplæring og trening av ansatte, samt avfallshåndtering med 70 % hver.

**Karbon black:** hyppigst iverksatte tiltak for virksomhetene som håndterer karbon black er opplæring og trening av ansatte (75 %).

**Titndioksid:** hyppigst iverksatte tiltak for virksomhetene som håndterer titandioksid opplæring og trening av ansatte (86 %).

**Gull:** hyppigst iverksatte tiltak for virksomhetene som håndterer gull er opplæring og trening av ansatte, identifisering av eksponeringskilder, prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer, prosedyrer for opprydding av søl, samt avfallshåndter. Det er rapportert 86 % for hver av disse tiltakene.

**Andre metalloksider:** hyppigst iverksatte tiltak for virksomhetene som håndterer andre metalloksider (sinkoksid, aluminiumoksid, krom(III)oksid, manganoksid, nikkeloksid) opplæring og trening av ansatte (71,4 %), avfallshåndtering (71,4 %) og identifisering av eksponeringskilder (71,4 %).

**Jern:** hyppigst iverksatte tiltak for virksomhetene som håndterer jern er identifisering av eksponeringskilder (67 %), prosedyrer for sikkerhåndtering og –oppnydding av søl (67 %), opplæring og trening av ansatte (67 %), samt avfallshåndtering (67 %).

**Andre metallpulvere:** hyppigst iverksatte tiltak for virksomhetene som håndterer andre metallpulvere er opplæring og trening av ansatte (100 %).

**Andre uorganiske fargepigmenter:** hyppigst iverksatte tiltak for virksomhetene som håndterer andre uorganiske fargepigmenter er opplæring og trening av ansatte (80 %).

**Kvanteprikker:** ved håndtering av kvanteprikker er alle tiltak iverksatt.

Tabell 28: iverksatte tiltak fordelt på forskjellige nanomaterialer.

Nanomaterial:	Iverksatte tiltak								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Karbon black	58,3%	33,3%	16,7%	50,0%	75,0%	41,7%	41,7%	58,3%	33,3%
Karbon nanorør/-fiber/-tråd	70,0%	30,0%	20,0%	60,0%	70,0%	40,0%	50,0%	70,0%	40,0%
Karbon nanokjegler	100,0%	33,3%	33,3%	100,0%	66,7%	33,3%	66,7%	66,7%	33,3%
Titandioksid	71,4%	28,6%	14,3%	57,1%	85,7%	42,9%	57,1%	71,4%	42,9%
Sinkoksid	80,0 %	20,0 %	0,0 %	60,0 %	80,0 %	40,0 %	60,0 %	80,0 %	40,0 %
Aluminiumoksid	33,0 %	33,0 %	33,0 %	33,0 %	67,0 %	67,0 %	33,0 %	33,0 %	33,0 %
Jern	66,7%	0,0%	0,0%	66,7%	66,7%	33,3%	66,7%	66,7%	33,3%
Sølv	100,0 %	20,0 %	20,0 %	100,0 %	80,0 %	60,0 %	100,0 %	100,0 %	80,0 %
Gull	85,7%	28,6%	14,3%	85,7%	85,7%	57,1%	85,7%	85,7%	57,1%
Andre metallpulver	66,7%	33,3%	16,7%	66,7%	100,0%	66,7%	66,7%	66,7%	66,7%
Andre uorganiske fargepigmenter	20,0%	40,0%	0,0%	0,0%	80,0%	20,0%	0,0%	40,0%	20,0%
Kvanteprikker/semikonduktor	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

1 = eksponeringskilder identifisert, 2 = vedlikehold av tekniske tiltak, 3 = eksponeringsovervåking, 4 = prosedyrer for sikker håndtering, 5 = opplæring, 6 = evaluering av nye prosesser/prosedyrer og farer, 7 = prosedyrer for opprydding av søl, 8 = avfallshåndtering, 9 = prosedyrer for rengjøring

## 9 Diskusjon

Målet med oppgaven var å undersøke omfanget av bruken av nanomaterialer, identifisere HMS-utfordringer og hvordan HMS-utfordringene håndteres i praksis i norske virksomheter. Diskusjonen er basert på resultatene fra spørreundersøkelsen og litteraturstudiet.

Første del av diskusjonen omhandler resultatene fra spørreundersøkelsen. Resultatene fra spørreundersøkelsen er delt i to deler hvor den første i hovedsak er en sammenligning med en tidligere undersøkelse fra 2010, og den andre delen skal belyse HMS-utfordringer og hvordan de håndteres i praksis i norske virksomheter.

Siste del av diskusjonen omhandler metoden. Metoden diskuteres i forhold til utvalget, spørreskjemaet og resultatenes pålitelighet.

### 9.1 Nanomaterialer i norske virksomheter

I dette kapitlet sammenlignes og diskuteres deler av resultatene fra spørreundersøkelsen med resultatene fra en spørreundersøkelse fra 2010 (Arbeidstilsynet, 2010). Dette kapitlet forsøker å belyse det første formålet med oppgaven:

*Undersøke omfanget av bruken av nanomaterialer i norske virksomheter.*

#### 9.1.1 Type virksomheter, ansatte, bruksområde og omfanget av bruken

Bruksområdet for nanomaterialer er vidt, og de brukes i mange bransjer (tabell 3), blant annet bilbransjen, elektronikk-, kjemisk-, tre- og maskinindustri, bygg- og anlegg, næringsmidler og forbrukerprodukter med videre, og de kan finnes på mange arbeidsplasser i forbindelse med produksjon, import, bruk eller bearbeiding (Nanowerk, u/å, Arbeidstilsynet, 2010). Undersøkelsen fra 2010 anslo at 575 arbeidstakere var mulig eksponert for nanomaterialer. Basert på resultatene i denne oppgaven kan det tyde på at antall mulig eksponerte arbeidstakere har økt. Et grovt estimat viste at det kan være ca. 600 eksponerte, men dette ble ikke undersøkt i nærmere grad. Det var for øvrig 10-15 andre virksomheter i tillegg til disse som rapporterte at de håndterer nanomaterialer, men som ikke fullførte undersøkelsen og dermed ble ekskludert fra analysen. Det kan derfor tyde på at det er enda flere mulig eksponerte enn hva som fremkommer av denne undersøkelsen.

Resultatet fra undersøkelsens innledende del viste at det var færre virksomheter innen FoU med 8 rapporterte virksomheter, sammenlignet med undersøkelsen fra 2010, hvor FoU var representert med 18 av 21 aktive nanoteknologiske virksomheter (Arbeidstilsynet, 2010). Det ble rapportert en større andel andre typer virksomheter i denne undersøkelsen, hvorav 6 var innen bilbransjen og 10 med virksomhet innen andre

bransjer som håndterer nanomaterialer. Årsaken til at det ble rapportert flere andre typer virksomheter i denne undersøkelsen kan være på grunn av at flere av virksomhetene som ble spurt i 2010 ikke anså seg som relevant, da Europakommisjonens nye definisjon på nanomaterialer først kom i 2011, og den nye definisjonen favner flere typer materialer enn før (EC, 2011). Det kan også tenkes at virksomheter med småskala produksjon nå har oppskalert, eller at virksomheter som hadde planlagt bruk av nanomaterialer nå har kommet i gang. Resultatet fra denne undersøkelsen viste for øvrig at det er færre virksomheter totalt som svarte at de produserer, bruker, importerer eller bearbeider nanomaterialer sammenlignet med undersøkelsen fra 2010 (Arbeidstilsynet, 2010). Noe av årsaken til dette kan være at noen virksomheter har gått bort i fra bruken av nanomaterialer, eller det kan være svakheter med undersøkelsen/administreringen som gjorde at noen virksomheter ikke fullførte, da det som nevnt var 10-15 respondenter som kun svarte på enkelte deler av undersøkelsen.

I undersøkelsen ble det spurt om årsaker til at nanomaterialer ikke er planlagt i fremtiden (tabell 8), og noen av disse årsakene kan muligens være relevant med tanke på at det var relativt få antall respondenter i undersøkelsen. De hyppigst rapporterte årsaksfaktorene til at nanomaterialer ikke var planlagt i fremtiden var usikkerhet i forhold til nanomaterialers/-produkters mottakelse i markedet, uklare HMS-utfordringer i virksomheten ved innføring av nanomaterialer, samt at det kan være kostbart å innføre og satse på nanomaterialer.

Resultatet fra denne undersøkelsen viste at omfanget av både nanomaterialer i fast form så vel som i væske var større, og av samme årsak som nevnt innledningsvis i forrige avsnitt kan det tenkes at økningen i rapportert omfang kan sees i sammenheng med at flere typer materialer nå er omfattet av nanomaterialdefinisjonen av 2011, og at disse materialene ikke ble ansett som relevante for undersøkelsen som ble gjennomført i 2010. De fleste virksomhetene rapporterte bruksmengder på mindre enn 1 tonn pr. år i fast form og/eller 1 000 liter pr. år i væskeform, men med enkelte unntak som forekommer i større volumer. En studie fra 2012 undersøkte omfanget av bruken av nanomaterialer i blant annet Europa, og resultatene viste at nanomaterialer av sølv, kvanteprikker og fullerener produseres i mindre mengder (< 10 tonn per år i gjennomsnitt per nanomaterial). Andre typer som titandioksid produseres i mengder opp til 3 000 tonn/år. Omfanget av sinkoksid ligger mellom alt fra 55-55 000 tonn/år. Noe av årsaken til variasjoner i omfanget kan være på grunn av uklarhet/tvetydighet knyttet til hva som ble ansett som nanomaterialer, noe som er relevant for nanomaterialer av silika hvor det produseres forskjellige varianter som det ikke er enighet om er tilvirkede nanomaterialer eller ikke. For karbon nanorør er anslått omfang på 180-550 tonn/år. (Piccinno et al., 2012). Karbon black er et annet material i pulverform som har primærpartikler i størrelsesorden < 100 nm, og i 2005 ble det estimert at produksjonsvolumet for karbon black var 10 millioner tonn på verdensbasis (Vogel et al., 2014). Dette stemmer delvis med resultatene fra denne undersøkelsen hvor ingen rapporterte bruk av fullerener, og nanomaterialer av sølv ble rapportert i mindre mengder. De største bruksmengdene var rapportert for karbon black, karbon nanorør/-fiber/-tråd, noen metalloksider som titandioksid og

sinkoksid, polymere, fargepigmenter og i forbindelse med silisium. I undersøkelsen i denne oppgaven var det mange som ikke rapporterte omfanget (ca. 42 %), og flere av virksomhetene svarte at de bruker flere typer nanomaterialer, og det er ikke skilt mellom disse i rapporteringen av bruksmengder, slik at de rapporterte mengdene for forskjellige nanomaterialer ikke nødvendigvis er riktig.

### **9.1.2 Nanomaterialer**

Det ble i denne undersøkelsen rapportert 26 forskjellige nanomaterialer (figur 13), samt at flere av virksomhetene rapporterte at de bruker flere typer nanomaterialer. Sammenlignet med undersøkelsen fra 2010 ble det rapportert flere typer nanomaterialer. Det ble ikke undersøkt hvilke nanomaterialer som var rapportert i kategorien «annet» i undersøkelsen fra 2010, slik at det kan være noen av disse som er rapportert som nye i denne undersøkelsen. Sammenlignet med undersøkelsen fra 2010 er det noen nanomaterialer som ble hyppigere rapportert, og noen som ble mindre rapportert. Antall virksomheter som rapporterte karbon black har doblet seg fra 6 til 12, og flere rapporterte bruk av karbon nanorør/-fiber/-tråd og karbon nanokjegler. Samtidig er det færre som rapporterte bruk av titandioksid, sinkoksid, nikkeloksid, aluminiumoksid med flere sammenlignet med undersøkelsen fra 2010. Nye nanomaterialer som er kommet frem av denne undersøkelsen er vitaminer, nanocellulose, gull, kvanteprikker/semikonduktorer, ceriumdioksid, silisiumdioksid, dendrimere, grafénoksid, andre typer nanotråder og metalloksider. Gull og kvanteprikker var blant svaralternativene i denne undersøkelsen, men ikke i den fra 2010, og det kan hende at dette er en del av årsaken til at enkelte nanomaterialer ikke ble rapportert i 2010. Resultatene fra en annen studie som undersøkte nanoteknologiske virksomheter i USA viste at karbon nanorør var det hyppigst rapporterte nanomaterialet fulgt av sølv, silika og gull (Engeman et al., 2013). Titandioksid, karbon black og polymere var ikke nevnt blant de hyppigst rapporterte nanomaterialene, i motsetning til resultatene fra undersøkelsen i denne oppgaven hvor disse var ofte rapportert. Noe av årsaken til dette kunne være utfordringer med hva som ble definert som nanomaterialer, da analysene i undersøkelsen i USA var basert på data fra 2009-2010 (Engeman et al., 2013), det vil si før den nye definisjonen på nanomaterialer av Europakommisjonen.

### **9.1.3 Form/tilstand**

Færre virksomheter rapporterte nanomaterialer i pulverform, mens flere rapporterte nanomaterialer i væske sammenlignet med undersøkelsen fra 2010 (tabell 12). Med hensyn til å redusere eksponering for nanomaterialer, og av øvrige HMS-hensyn, er det anbefalt å bruke nanomaterialer i løsning i stedet for pulver (Arbeidstilsynet, 2014) fordi det er større risiko forbundet med inhalering av nanomaterialer i pulverform (EU-OSHA, 2009). Dette kan være noe av årsaken til at færre rapporterte nanomaterialer som pulver og flere rapporterte nanomaterialer i væske. En kilde kommenterte at basert på egen erfaring selges

nanomaterialer ofte i løsningsform, slik at dette kan også være noe av årsaken til at flere rapporterte nanomaterialer i løsningsform (Sjaastad, 2015).

#### **9.1.4 Størrelsesordenen**

Det ble rapportert at størrelsesordenen for nanomaterialene var jevnt fordelt mellom < 20 nm, 20-50 nm og 51-100 nm, men for hver virksomhet var størrelsesordenen i større grad begrenset til ett av intervallene (tabell 12) sammenlignet med undersøkelsen fra 2010, hvor flere virksomheter rapporterte bruk av nanomaterialer i flere av størrelsesordene. Årsaken til dette kan være at det var færre virksomheter innen FoU sammenlignet med undersøkelsen fra 2010, og det kan tenkes at i FoU brukes hele eller større deler av nanoskalaen i større grad.

## **9.2 HMS-utfordringer og håndtering i praksis**

I dette kapitlet diskuteres resultatene fra de øvrige delene av spørreundersøkelsen mot litteraturstudiet. Kapitlet skal forsøke å belyse den andre delen av oppgavens formål:

*Identifisere HMS-utfordringer og hvordan de håndteres i praksis i norske virksomheter.*

### **9.2.1 Fokus på- og bekymring for at det arbeides med nanomaterialer**

Potensielle helseeffekter forårsaket av nanomaterialer er i all hovedsak undersøkt i dyremodeller og celler (Cho et al., 2013), og det er observert negative effekter for flere typer nanomaterialer. De hyppigst rapporterte effektene er oksidativt stress og betennelsesreaksjoner, men det er også observert genotoksiske (Kyjovska et al., 2015) og cytotoksiske effekter for flere av nanomaterialene (Avalos et al., 2013, Tsou et al., 2010, Gao et al., 2012). Det er også flere av nanomaterialene som er klassifisert som mulig kreftfremkallende (klasse 2B) av IARC. Blant disse er karbon nanorør (IARC, 2014), karbon black (IARC, 2010), titandioksid (IARC), samt at noen av nanomaterialenes opprinnelige kjemikalier eller varianter er kreftfremkallende, slik som nikkeloksid og nikkelsammensetninger (IARC) og kadmium (IARC) som kan finnes i kvanteprikker.

For noen av nanomaterialene er det utarbeidet forslag til såkalte nano-referanseverdier (NRV) (IVAM, 2012), det vil si maksgrenser for eksponering i løpet av en 8-timers arbeidsdag (tidsveid gjennomsnitt). NRV kan gi en indikasjon på hvilke nanomaterialer som anses mer farlig enn andre, eller nanomaterialer det er mer usikkerhet knyttet til med tanke på helsefarer. Basert på NRV kan det tyde på at det er større bekymring/usikkerhet for jernoksider, sølv og gull enn titandioksid, sinkoksid, aluminiumoksid og karbon black:



*Jernoksider, sølv & gull:*

*20 000 partikler/cm<sup>3</sup>*

*Titandioksid, sinkoksid, aluminiumoksid og karbon black: 40 000 partikler/cm<sup>3</sup>*

De fleste virksomhetene som deltok i undersøkelsen rapporterte at de har fokus på at de ansatte jobber med nanomaterialer (65 %, figur 26), men det var forholdsvis stor spredning i svarene.

Resultatene fra undersøkelsen viste at noen virksomheter håndterer flere typer nanomaterialer, men det ble ikke undersøkt hvilke nanomaterialer disse virksomhetene har mest fokus på med tanke på HMS, og det kan derfor ikke avklares om de for eksempel har svart med utgangspunkt i en spesifikk type nanomaterial, eller om de har svart på grunnlag av nanomaterialer generelt uten hensyn til spesielle typer. Et interessant funn var likevel at 40 % av virksomhetene som har svart at de håndterer karbon nanorør/-fiber/-tråd har lite fokus eller ikke fokus i det hele tatt på at de ansatte håndterer nanomaterialer (tabell 15), selv om 80 % av virksomhetene som håndterer karbon nanorør/-fiber/-tråd rapporterte at HMS-koordinator/ledelse bekymrer seg for HMS-utfordringer ved de ansattes eksponering (tabell 16). Det må for øvrig tas hensyn til at flere virksomheter håndterer flere typer nanomaterialer, og det kan hende at f.eks. karbon nanorør brukes i en lukket prosess og at de således har mer fokus på andre farer.

#### **9.2.1.1 Sammenligning av nanomaterialer med nano-referanse verdier**

Ved sammenligning av nanomaterialene (tabell 15) som det har blitt utarbeidet NRV for kan det tyde på at virksomheter som håndterer sølv har større på fokus på at de ansatte jobber med nanomaterialer (80 %) sammenlignet med de andre, noe som også er i tråd med NRV for sølv som er satt lavere. NRV for gull er også satt lavere, og det kan tyde på at virksomhetene som håndterer gull har mer fokus på at de ansatte jobber med nanomaterialer enn karbon black, sinkoksid, aluminiumoksid og jernoksider som har høyere NRV. Det er likevel kun litt over halvparten av de som håndterer gull som i større grad har fokus på at det jobbes med nanomaterialer (57 %). For nanomaterialene med høyeste NRV er det de som håndterer titandioksid som har mest fokus på at de ansatte jobber med nanomaterialer (57 %), sammenlignet med sinkoksid (40 %), aluminiumoksid (40 %) og karbon black (33 %). I undersøkelsen ble det ikke spurt om jernoksider, men det ble spurt om jern, og det er følgelig ikke klart hvor mange av de som håndterer jernoksider. Jernoksider har sammen med sølv og gull lavere NRV verdi, men av virksomhetene som håndterer jern er det kun 33 % som i større grad har fokus på at de ansatte jobber med nanomaterialer. Resultatene viser videre at HMS-ansvarlige bekymrer seg mer for HMS-utfordringer ved de ansattes eksponering for sølv (60 %), sammenlignet med gull (57 %) og jern (33 %), men også de øvrige som har høyere NRV (karbon black, aluminiumoksid, sinkoksid, titandioksid). Når det gjelder gull og jern sammenlignet med de øvrige er det ingen betydelige forskjeller mellom HMS-ansvarliges bekymring. Basert på sammenligningen av nanomaterialer med NRVD kan det tyde på at det er størst fokus og bekymring for de ansattes eksponering ved håndtering av sølv, og til en viss grad titandioksid og gull. Resultatene tyder på

at det er mindre fokus og bekymring for HMS-utfordringer ved de ansattes eksponering for jern. (IVAM, 2012).

### 9.2.2 Eksponeringskilder og tiltak

De mest alvorlige helseeffektene som er observert i studier på dyremodeller og i celler har vært i luftveissystemet/lungene, og den største risikoen forbundet med eksponering for nanomaterialer er inhalering av frie partikler på arbeidsplassen (EU-OSHA, 2009). Potensialet og graden av en slik eksponering er avhengig av hvilke arbeidsmetoder/-rutiner, prosesser og produksjonsmetoder som er i bruk og av tekniske tiltak som er iverksatt for å redusere eksponering. Arbeidstakere kan potensielt eksponeres for høye konsentrasjoner med nanomaterialer som frie partikler i alle typer arbeidsoppgaver som involverer håndtering av pulvere eller væsker, tabell 5 (GNG). En viktig forutsetning for å redusere arbeidstakernes eksponering for forurensninger på arbeidsplassen er derfor å identifisere områder hvor eksponering kan oppstå, og eventuelt hvor eksponeringen kan være høyere enn normalt. Mange rapporterte at eksponeringskilder var kartlagt (67 %) hvorav 25 % av disse har kartlagt i noen grad, men samtidig er det også en del som ikke har kartlagt eksponeringskilder (figur 30). Det er tidligere rapportert at eksponering for nanomaterialer kan være høyere ved arbeidsoppgaver som omfatter fylling/tømming av sekker, rengjøring av arbeidslokaler, -prosesser og -utstyr samt ved avfallshåndtering (Fujitani et al., 2008, Yeganeh et al., 2008). I denne undersøkelsen ble det rapportert at eksponering for nanomaterialer kan oppstå i nær sagt alle arbeidsoppgaver (figur 15) som involverer håndtering av nanomaterialer. Eksponeringskildene som flest rapporterte var rengjøringsarbeid, oppveiling/utveiling, lekkasjer og søl fra prosesser/-utstyr, og overflatebehandling. I tillegg rapporterte flere virksomheter fylling av nanomaterialer i prosessutstyr, tapping til produktbeholdere, bytting av filter på støvoppsamlingsutstyr og bruk av sprayprodukter/påføring med spray som arbeidsoppgaver der eksponering kan oppstå.

For å redusere eksponering og risiko er det anbefalt at tiltak baseres på prioriteringene i tiltakstrappa, og ved arbeid som involverer håndtering av nanomaterialer er det anbefalt at PVU alltid brukes på grunn mye usikkerhet knyttet til helsefare og eksponering (Arbeidstilsynet, 2014). Resultatet fra undersøkelsen viste at de fleste virksomhetenes bruk av PVU og prioritering av tiltak er i tråd med anbefalingene, da 78 % har basert sine tiltak på tiltakstrappa (figur 19), og 88 % rapporterte at PVU brukes ved håndtering av nanomaterialer (tabell 13). PVU diskuteres ytterligere i kapittel 9.2.4. De mest effektive tiltakene for å redusere eksponering for nanomaterialer og forurensninger generelt, er å innkapsle kilden og ved bruk av lukkede systemer hvor nanomaterialene ikke har mulighet til å slippes ut til arbeidsatmosfæren, og en av forutsetningene for at slike tiltak skal fungere optimalt er at tekniske tiltak vedlikeholdes (Raynor, 2011). Det ble ikke spurt spesifikt om hvilke tekniske tiltak som var iverksatt, og det kan således ikke avklares i hvilken grad tekniske tiltak er iverksatt, men det ble spurt om vedlikehold av tekniske tiltak, og dette er et av tiltakene som er minst representert, 30 % (figur 19). Hvilke tekniske tiltak som er iverksatt vil være

avhengig av hva slags håndtering det er snakk om, og halvparten rapporterte at vedlikehold av tekniske tiltak gjennomføres for arbeidsoppgaver som involverer tapping/utslipp til produktbeholdere, mens for alle andre arbeidsoppgaver som kan medføre eksponering rapporterte mindre enn halvparten at vedlikehold av tekniske tiltak gjennomføres.

De fleste har iverksatt tiltak mot eksponering for nanomaterialer, og det som kjennetegner disse virksomhetene er at de i større grad opplever at fokus på HMS og produksjon/utvikling/bruk av nanomaterialer er balansert, og at det i større grad tas hensyn til HMS-aspekter ved innkjøp av produksjonslinjer/produkter, samt at de kjennetegnes ved at de ansatte og HMS-koordinator/ledelse bekymrer seg for HMS-utfordringer ved de ansattes eksponering for nanomaterialer. Resultatene viste også at virksomhetene som har iverksatt tiltak i større grad har kunnskap om håndtering av HMS-aspekter ved nanomaterialer (tabell 22). Tiltaket som nesten ingen hadde iverksatt, og som det også var forventet at få hadde iverksatt var eksponeringsovervåking. Årsaken til at det var forventet at få hadde iverksatt dette er begrensninger ved- og tilgjengelighet til kvantitativt måleutstyr, samt at slikt utstyr gjerne krever ekspertise og ytterligere analyser for å anslå eksponering og mulig helsefare, noe som er relevant da flere svarte at de håndterer flere typer nanomaterialer, og instrumentene skiller ikke mellom ulike nanomaterialer (Kuhlbusch et al., 2011)

### **9.2.2.1 Hyppigst rapporterte eksponeringskilde**

Rengjøring er en potensiell kilde til høy eksponering for nanomaterialer (Fujitani et al., 2008, Yeganeh et al., 2008), samt at den er relevant for alle eksponeringsveier: inhalasjon, hud og øyne (GNG). Resultatene viste at rengjøring er den mest rapporterte potensielle eksponeringskilden for virksomhetene som svarte på undersøkelsen (figur 15), og tabell 27 viste at det kun er ca. 42 % av disse som rapporterte at de har prosedyrer for rengjøring, 58 % rapporterte at de har prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer og/eller prosedyrer for opprydding av søl. Resultatene ga indikasjoner på at det er et forbedringspotensial med tanke på å redusere potensiell eksponering og risiko ved de identifiserte eksponeringskildene. Dette kan for eksempel gjøres ved å utarbeide prosedyrer, eller utarbeide bedre/tydeligere prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer, -rengjøring og -opprydding/søl. Bedre prosedyrer for slike arbeidsoppgaver kan gjøres i henhold til Arbeidstilsynets veiledning om trygg håndtering av nanomaterialer. Veiledningen trekker også frem viktigheten av riktig opplæring av de som skal utføre slikt arbeid med tanke på å bruke riktig PVU på riktig måte, gode rutiner for rengjøring, avfallshåndtering. Generelt sett er arbeidsmetoder som forebygger støv i lufta viktig (Arbeidstilsynet, 2014), da nanomaterialer kan bli svevende i lufta over lengre tid (Aitken et al., 2004). Eksempler på god praksis for rengjøring med hensyn til å redusere støving er våttørking, bruk av absorberende materialer og HEPA-filtrering (Engeman et al., 2013). God praksis for avfallshåndtering er å behandle nanomaterialer som farlig avfall, bruk av separate avfallsbeholdere for

nanomaterialer og andre kjemikalier, nanomaterial-spesifikt avfallsbehandlingsprogram og å registrere nanomaterialer som en separat kategori i avfallsrapporter (Engeman et al., 2013).

### 9.2.3 Tiltak og nanomaterialer

Et av nanomaterialene som har fått mye oppmerksomhet er karbon nanorør, og det på grunn strukturlikheter med asbest og på bakgrunn av funn gjort i studier som ga indikasjoner på at karbon nanorør kunne ha lignende kreftfremkallende egenskaper som for inhalering av asbestfibre (Poland et al., 2008, Donaldson and Poland, 2012), samt at en variant av flervegget karbon nanorør nylig ble klassifisert som mulig kreftfremkallende for mennesker (2B), (IARC, 2014). Resultatet fra undersøkelsen ga ingen klare indikasjoner på at iverksatte tiltak for karbon nanorør/-fiber/-tråder skiller seg vesentlig ut fra de andre nanomaterialene, men det er rapportert hyppigere bruk av anbefalt type åndedrettsvern (åndedrettsvern med minst P3-/HEPA-filter) for blant annet karbon nanorør/-fiber/-tråd sammenlignet med en del av de andre nanomaterialene, se kapittel 9.2.4. For karbon nanorør/-fiber/-tråd var de hyppigst rapporterte tiltakene som følger (tabell 28):

- Identifisering/kartlegging av eksponeringskilder 70 %
- Prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer 60 %
- Opplæring og trening avansatte 70 %
- Prosedyrer for opprydding av søl 50 %
- Avfallshåndtering 80 %

Det eneste nanomaterialet det er rapportert at samtlige tiltak er iverksatt for er kvanteprikker/semikonduktorer, men sammenligningsgrunnlaget er tynt da det er bare én virksomhet som har rapportert håndtering av kvanteprikker mot 10 virksomheter for karbon nanorør/-fiber/-tråder, men det viser likevel at arbeid med nanomaterialer er i høyt fokus for virksomheten som håndterer kvanteprikker. Kvanteprikker er ikke like mye undersøkt med tanke på helseeffekter, men siden kvanteprikker kan inneholde en kjerne av kadmium kan det tenkes at under visse omstendigheter har de potensial til å utgjøre en reell risiko (Hardman, 2006), da kadmium og kadmiumsammensetninger er bevist kreftfremkallende for mennesker, gruppe 1 (IARC).

Et viktig tiltak er å bevisstgjøre ansatte overfor potensielle helsefarer, hvordan de kan håndteres for å minimere eksponering og hvordan riktig PVU skal brukes og vedlikeholdes. Dette kan gjøres gjennom opplæring og trening av arbeidstakerne, og dette er avgjørende for effektiviteten av iverksatte organisatoriske tiltak (Raynor, 2011) inkludert tiltak som prosedyrer for sikker håndtering, -rengjøring og opprydding av søl så vel som for PVU (Aitken et al., 2004, Arbeidstilsynet, 2014). Resultatet fra undersøkelsen viste at de fleste virksomheter har opplæring og trening med hensyn til nanomaterialer (65 %), men muligens i mindre grad for karbon nanorør/-fiber/tråd, karbon nanokjegler, jern og enkelte

metalloksider. Opplæring og trening ble hyppigst rapportert av virksomheter som håndterer kvanteprikker, karbon nanokjegler, gull og titandioksid (tabell 28).

Det er varierende i hvilken grad ulike tiltak er iverksatt (figur 19), og det kan være flere årsaker til dette. Med utgangspunkt i undersøkelsen kan en av årsakene være at virksomhetene ikke i stor nok grad kjenner til potensielle helsefarer ved nanomaterialene. Tabell 21 viste at det var størst grad av kjennskap til potensielle helsefarer ved karbon nanokjegler, titandioksid, sinkoksid og sølv. For de øvrige nanomaterialene var det i det store og hele begrenset grad av kjennskap til potensielle helsefarer. Det kan tenkes at begrenset kjennskap til helsefarer kan bidra til at implementering av tiltak i mindre grad gjennomføres (Eastlake et al., 2012). Men det var ikke overraskende at kjennskap til potensielle helsefarer var begrenset, da dette mest sannsynlig skyldes at forskning på helseeffekter forårsaket av nanomaterialer ikke har hatt samme fremgang som den teknologiske utnyttelsen, og er således preget av usikkerhet.

Det kan heller ikke utelukkes at manglende kunnskap om helsefarer forbundet med eksponering for nanomaterialer videreføres på en slik måte at fokus på utvikling, produksjon eller bruk av nanomaterialer går på bekostning av fokus på HMS. Resultatet fra undersøkelsen (figur 32) ga indikasjoner på at HMS ikke nødvendigvis veier like tungt som utvikling, produksjon og bruk, da ca. 52 % rapporterte at forholdet mellom HMS og utvikling, produksjon og bruk av nanomaterialer i liten grad er balansert. Således er det også mange som opplever forholdet som balansert (ca. 48 %), men resultatet indikerte at det er et forbedringspotensial med hensyn til HMS ved håndtering av nanomaterialer.

Deler av disse funnene er i samsvar med funn gjort i en studie av nanoteknologiske virksomheter i USA hvor det ble rapportert at manglende informasjon var hovedhindringen for implementering av nanospesifikk HMS praksis. Det ble også rapportert at manglende veiledning og regulering var en delaktig årsak, og for mindre- og til en viss grad mellomstore virksomheter var budsjettet en hindring for implementering av nanospesifikk HMS praksis (Engeman et al., 2013).

### **9.2.3.1 Sammenligning av nanomaterialer som har nano-referanse verdi (NRV) og iverksatte tiltak**

En sammenligning av nanomaterialer med NRV og iverksatte tiltak viste at virksomheter som håndterer sølv er de som i størst grad har iverksatt tiltak mot eksponering for nanomaterialer (73 %). Gull kommer like etter med 65 % totalt sett. Dette samsvarer bra hvis utgangspunktet er nanomaterialene som det er utarbeidet NRV for, da sølv og gull var nanomaterialene med strengest NRV. Jern kommer dårligere ut med kun 44 %. For nanomaterialene som har den høyeste NRV (karbon black, titandioksid, sinkoksid, aluminiumoksid) er det de som håndterer titandioksid og sinkoksid (hhv. 52 % og 51 %) som i størst grad har iverksatt tiltak, og de som håndterer aluminiumoksid kommer dårligst ut med 40 %.

Virksomheter som håndterer sølv er de eneste hvor samtlige har identifisert eksponeringskilder, og har prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer, prosedyrer for opprydding av søl og avfallshåndtering. Virksomhetene som håndterer sølv har i mye større grad prosedyrer for rengjøring (80 %) sammenlignet med de andre, der de fleste rapporterte at mindre enn halvparten har prosedyrer for rengjøring med unntak av gull (57 %). Et at tiltakene som er viktig for å redusere eksponering er å identifisere hvor eksponeringskildene er, eller hvor eksponering kan oppstå, og her kommer de som håndterer aluminiumoksid mye dårligere ut enn de øvrige, da kun 33 % rapporterte at de har identifisert eksponeringskilder

#### **9.2.4 Personlig verneutstyr**

Årsaken til at PVU skal prioriteres sist i tiltakstrappa er fordi effektiviteten av PVU er høyst avhengig av arbeidstakerne med hensyn til riktig bruk og vedlikehold, samt at riktig PVU må være tilgjengelig for forskjellige typer forurensninger (Aitken et al., 2004). PVU er anbefalt ved all håndtering av nanomaterialer (Arbeidstilsynet, 2014) fordi det hersker usikkerhet knyttet til helsefarer og eksponering.

Åndedrettsvern med minst P3-/HEPA-filter, to lag med hansker og heldekkende tøy av ikke-vevde tekstiler er anbefalt ved håndtering av nanomaterialer (Arbeidstilsynet, 2014). Studier har vist at P2-, P3- og HEPA-filter er effektive til å redusere eksponering for nanomaterialer (Aitken et al., 2004, Raynor, 2011, Rengasamy et al., 2013, Rengasamy and Eimer, 2011, Rengasamy et al., 2008). Resultatet fra undersøkelsen viste at 88 % bruker PVU ved håndtering av nanomaterialer, men til sammenligning rapporterte mindre enn halvparten (45 %) at åndedrettsvern med minst P3-/HEPA-filter brukes, og enda færre rapporterte at de bruker to lag med hansker (25 %). Dette er forholdsvis lavt sammenlignet med øyebeskyttelse og hansker (figur 17). Resultatet fra undersøkelsen viste (tabell 25) at av de som håndterer nanomaterialer som pulver bruker 56 % åndedrettsvern med minst P3-/HEPA-filter og 33 % bruker to lag med hansker. De fleste rapporterte at øyebeskyttelse (95 %) og hansker (90 %) brukes for beskyttelse mot nanomaterialer, og det er anbefalt at øyebeskyttelse alltid brukes ved håndtering av nanomaterialer (Arbeidstilsynet, 2014). Det ble ikke spurt om spesifikke typer hansker i undersøkelsen, og det kan således ikke sammenlignes med anbefalt type hanske som er nitrilhansker med AQL (Acceptable Quality Level) 0,65 for beskyttelse mot gjennomtrenging av nanomaterialer (Arbeidstilsynet, 2014). En tidligere studie har for øvrig også undersøkt hansker av andre stoffer slik som neopren og lateks samt nitril, og resultatene viste at titandioksid hverken penetrerte hansker av neopren, lateks ei heller nitril (Golanski et al., 2010). Resultatene fra undersøkelsens del om PVU er delvis sammenfallende med en lignende undersøkelse gjennomført i USA. Funnene fra undersøkelsen i USA viste at øyebeskyttelse var hyppigst rapportert (96 %) fulgt av heldekkende tøy (labfrakk, 85 %), nitrilhansker (85 %), støvmasker (72 %) og latekshansker (69 %). Undersøkelsen fra USA skilte ikke mellom type åndedrettsvern, men det ble kommentert at lavere rapportert bruk av åndedrettsvern kunne være på grunn av hvilken form nanomaterialet ble håndtert i (pulver/væsker etc.), og på grunn av at

PVU er tiltaket som skal prioriteres sist (Engeman et al., 2013). Dette kan også være relevant for norske virksomheter.

En sammenligning av anbefalt type PVU og forskjellige nanomaterialer (tabell 26) viste at åndedrettsvern med minst P3-/HEPA-filter i større grad brukes av virksomheter som håndterer karbon nanorør/-fiber/-tråd, karbon nanokjegler, andre uorganiske fargepigmenter og organiske fargepigmenter sammenlignet med de andre nanomaterialene. Alle som håndterer organiske fargepigmenter rapporterte at de bruker åndedrettsvern med minst P3-/HEPA-filter, og 80 % bruker det ved håndtering av andre uorganiske fargepigmenter fulgt av karbon nanokjegler med 67 % og karbon nanorør/-fiber/-tråd med 63 %. Bruk av to lag med hansker er mest representert for kvanteprikker (100 %), sølv (75 %), gull (67 %), jern (67 %) og metalloksider (60 %). En av årsakene til at det er forholdsvis få totalt sett som rapporterte at de bruker anbefalt type PVU kan være manglende informasjon i sikkerhetsdatablader. Sikkerhetsdatablader er en kilde til informasjon om hva slags PVU som bør brukes, og resultatet fra undersøkelsen (figur 14) viste at litt over halvparten (54 %) har sikkerhetsdatablader som inneholder informasjon om nanomaterialer. Dette kan videre ha sammenheng med at virksomhetene i varierende grad opplever at det finnes PVU tilpasset å redusere eksponering for nanomaterialer på markedet (figur 31) da det er mange som ikke har sikkerhetsdatablader med informasjon om nanomaterialer. Resultatet fra undersøkelsen viste at spredningen i svarene varierer fra virksomheter som ikke opplever at det finnes PVU tilpasset nanomaterialer i det hele tatt, til virksomheter som i veldig stor grad opplever at dette finnes. Tabell 24 viste antydninger til at virksomheter som har tilgang til sikkerhetsdatablader med informasjon om nanomaterialer i større grad opplever at PVU tilpasset å redusere eksponering for nanomaterialer finnes på markedet (ca. 39 %) sammenlignet med de som ikke har slik informasjon i sikkerhetsdatabladene (20 %), samt de som ikke vet om sikkerhetsdatabladene inneholder informasjon om nanomaterialer (ca. 17 %).

Andre årsaker til at få rapporterte bruk av anbefalt PVU kan være at det ikke er anbefalt type PVU som står oppført i sikkerhetsdatabladet, men PVU som er ment for beskyttelse mot større partikler/stoffer (Eastlake et al., 2012, Lee et al., 2012). Innholdet i sikkerhetsdatablader ble ikke undersøkt i denne oppgaven.

Sikkerhetsdatablader diskuteres videre i kapittel 9.2.5. Det ble også rapportert liten grad av kjennskap og liten grad av bruk av nano-spesifikke risikovurderingsverktøy slik som trygg håndtering av nanomaterialer, som også er en informasjonskilde til anbefalinger om hva slags PVU som er relevant for å beskytte seg mot nanomaterialer.

De fleste virksomhetene gir ansatte opplæring om hvordan de best mulig kan beskytte seg mot eksponering for nanomaterialer, men resultatene ga antydninger til et forbedringspotensial (tabell 17) for flere av nanomaterialene, for eksempel karbon black og karbon nanorør/-fiber/-tråd. Av de som rapporterte bruk av karbon black gir halvparten begrenset grad av opplæring om beskyttelse, og 40 % av de som bruker karbon nanorør/-fiber/-tråd i begrenset grad gir opplæring (i noen grad eller mindre). Dette kan ha sammenheng med graden av kjennskap til potensielle helsefarer ved nanomaterialene, da resultatet viste at 70 % av

virksomhetene som håndterer karbon nanorør/-fiber/-tråd i begrenset grad kjenner til potensielle helsefarer, hvorav 40 % av disse har i noen grad kjennskap til de potensielle helsefarene (tabell 21). Dette gjelder generelt for de fleste nanomaterialene, men karbon nanorør/-fiber/-tråd trekkes frem på grunn av det spesielle fokuset dette nanomaterialet har i forbindelse med paralleller til asbest. I denne undersøkelsen ble det ikke spurt spesifikt om hvilke typer karbon nanorør/-fiber/-tråder som brukes, samt at det ikke ble undersøkt hvilke typer nanomaterialer som håndteres i lukkede/innkapslede systemer/kilder, men enkelte virksomheter opplyser om at håndtering av nanomaterialer i pulver foregår i lukkede hanskebokser/avtrekksskap. Det kan tenkes at der bruken av nanomaterialer foregår i lukkede systemer eller -prosesser har de ansatte mindre bekymring/fokus på at de kan eksponeres for nanomaterialer, og ikke nødvendigvis er like opptatt av å bruke PVU.

#### **9.2.4.1 Sammenligning av nanomaterialer som har nano-referanse verdi og bruk av PVU**

De fleste virksomhetene som håndterer nanomaterialer som det er utarbeidet NRV for rapporterte bruk av PVU, og det er de som håndterer jern som i størst grad bruker PVU, hvor samtlige rapporterte at de bruker PVU (100 %). Ved videre sammenligning med forskjellige typer PVU er det ved håndtering av aluminiumoksid og karbon black det i størst grad brukes hansker (hhv. 100 % og 90 %). Ved bruk av to lag med hansker er det de som håndterer nanomaterialene med strengest NRV som er hyppigst representert, det vil si sølv (75 %), gull (67 %) og jern (67 %). Øyebeskyttelse brukes av de fleste, men er mest representert for de som håndterer aluminiumoksid (100%) og karbon black (100 %). De som håndterer jern kommer dårligst ut (67 %), men med unntak av jern er det ikke noe som tyder på at de som håndterer nanomaterialene med strengeste NRV i større grad bruker øyebeskyttelse.

Det som er noe overraskende er at ingen av virksomhetene som håndterer nanomaterialene sølv, gull og jern bruker anbefalt type åndedrettsvern (minst P3-/HEPA-filter). Noen av disse bruker derimot åndedrettsvern med P1-/P2-filter, og det er de som håndterer gull som hyppigst rapporterte bruk av dette åndedrettsvernet (50 %), fulgt av jern (33 %) og sølv (25 %).

Det er begrenset bruk av åndedrettsvern med minst P3-/HEPA-filter også ved håndtering av de andre nanomaterialene (karbon black, titandioksid, sinkoksid, aluminiumoksid), men det er likevel en del flere av disse som bruker anbefalt type åndedrettsvern sammenlignet med sølv, gull og jern. Halvarparten av de som håndterer aluminiumoksid rapporterte bruk av åndedrettsvern med P1-/P2-filter, 30 % for karbon black, 25 % for sinkoksid og 17 % for titandioksid.



## 9.2.5 Sikkerhetsdatablader

Informasjon om HMS-aspekter for stoffer som virksomhetene håndterer, og hvilke tiltak som er effektive for å beskytte arbeidstakerne mot eksponering for stoffene skal finnes i sikkerhetsdatablader. I tillegg skal sikkerhetsdatabladene informere om hva som er ansett som trygg håndtering vedrørende avfallshåndtering, lagring, avhending og anbefalte tiltak ved utilsiktede hendelser som søl og utslipp av stoffer. Dette kommer frem av rammeverket som er satt av REACH for krav til innhold i sikkerhetsdatablader (ECHA, 2014), og med hensyn til HMS-aspekter ved håndtering av nanomaterialer er det av 1. desember 2011 påkrevd at sikkerhetsdatablader skal inneholde opplysninger som gjør nanomaterialer mer gjenkjennelig (ECHA, 2014, Arbeidstilsynet, 2014). Tidligere studier har undersøkt omfanget og kvaliteten av informasjon om nanomaterialer i sikkerhetsdatablader, og resultatene viste at informasjonen ofte ikke var tilfredsstillende med hensyn til nanomaterialer, og at det ved flere tilfeller ble referert direkte til det opprinnelige stoffet som bulk, selv om det forelå som nanomaterial eller inneholdt nanomaterialer (Eastlake et al., 2012, Lee et al., 2012). Det ble argumentert videre for at slike feilopplysninger, eller manglende informasjon, kan gi følger i form av uforutsette HMS-utfordringer for virksomheter som baserer sin kunnskap, sine tiltak og sine prosedyrer for trygg håndtering på informasjon gitt i sikkerhetsdatablader (Eastlake et al., 2012). Et eksempel kan være der virksomheter baserer sine tiltak og innkjøp av PVU på informasjon i sikkerhetsdatablader som inneholder feilaktig eller utilstrekkelig informasjon om nanomaterialer, med de følger at PVU som stilles til rådighet for arbeidstakerne ikke effektivt reduserer eksponering for nanomaterialer.

Resultatene fra undersøkelsen ga antydninger til at det fortsatt er begrenset med informasjon om nanomaterialer i sikkerhetsdatablader. Litt over halvparten av virksomhetene (54 %) rapporterte at sikkerhetsdatabladene som brukes inneholder informasjon om nanomaterialer. Og dette sett opp imot at nesten alle virksomhetene (92 %, figur 25) rapporterte at sikkerhetsdatablader brukes som informasjonskilde om nanomaterialers helsefarer og eksponeringspotensial belyser at det er et forbedringspotensial på dette området. En kilde kommenterte, basert på egne erfaringer fra håndtering av sikkerhetsdatablader at informasjon om nanomaterialer i sikkerhetsdatablader er manglende og vanskelig å identifisere (Sjaastad, 2015).

### 9.2.5.1 Eksponeringsscenarioer

En annen kilde til HMS-informasjon, og spesielt informasjon om eksponeringspotensial, er eksponeringsscenarioer. Eksponeringsscenarioer suppleres sammen med – eller integreres i sikkerhetsdatablader og har den hensikt å videreføre informasjon om hvordan et stoff fremstilles og/eller håndteres og hvilke tiltak som er iverksatt, eller anbefalt iverksatt for å kontrollere eksponering av mennesker og miljøet (Arbeidstilsynet, 2014). Av virksomhetene som rapporterte at sikkerhetsdatablader inneholder informasjon om nanomaterialer rapporterte ca. 42 % at de også inneholdt

eksponeringsscenarioer. Resultatene fra undersøkelsen viste at det er mange arbeidsoppgaver hvor arbeidstakere kan eksponeres (figur 15), og således er det mange potensielle eksponeringsscenarioer. Et begrep som brukes om dette er *medvirkende eksponeringsscenarioer*, det vil si at et eksponeringsscenario ofte kan bestå av mange forskjellige eksponeringsscenarioer. Eksempler på dette er presentert i boka Handbook of nanosafety (Vogel et al., 2014), og et av eksemplene er en case-studie fra produksjon av nanomaterialer i kompositt. Denne case-studien inneholdt følgende *medvirkende eksponeringsscenarioer*: sliping og pakking, veiing, overføring/fylling i sekker og blanding med andre kjemikalier samt fylling i prosessutstyr. Et annet eksempel er fra produksjon av flervegget karbon nanorør som har tre *medvirkende eksponeringsscenarioer*: kontinuerlig veiing og fylling, rengjøring av reaktorer med støvsuger og semi-automatisk fylling av flervegget karbon nanorør i beholdere, se vedlegg 4 for eksempel på eksponeringsscenario (Vogel et al., 2014). Det er basert på denne undersøkelsen relativt få som har tilgang til eksponeringsscenarioer for nanomaterialer, og det var heller ikke noen antydninger til at virksomheter med tilgang til eksponeringsscenarioer i større grad hadde iverksatt tiltak.

En mulig årsak til at det var få som rapporterte at de hadde tilgang til eksponeringsscenarioer er begrenset tilgang på data med realistisk eksponering på arbeidsplassen, som videre kan være knyttet til virksomhetenes konkurransefortrinn som gjør at de er mindre villig til å dele informasjon om prosesser og produksjon (sirkovazoava). En utfordring for mottakere (etterfølgende brukere) av eksponeringsscenarioer er ytterligere informasjon og forpliktelser å forholde seg til, i tillegg til selve sikkerhetsdatabladet. Forholdene på arbeidsplassen må undersøkes i forhold til opplysningene i eksponeringsscenarioet for å sjekke at de stemmer overens med hverandre. Hvis forholdene og iverksatte tiltak avviker/ikke er tilstrekkelig i forhold til eksponeringsscenarioet må det undersøkes nærmere hva som kan gjøres for å rette opp avvikene, og dette kan være mye ekstraarbeid (Pfeiffer and Linden, 2013). Eksponeringsscenarioer er likevel et viktig bidrag til trygg håndtering av nanomaterialer på arbeidsplassen. For å styrke dette jobbes det med å bygge opp biblioteker og databaser med realistiske eksponeringsscenarioer som kan bidra til å fremme kunnskapsutveksling og beste praksis, og det er derfor av interesse at data på realistiske eksponeringsscenarioer økes, for med tilgang til realistisk eksponering vil også eksponeringsscenarioene være enda mer dekkende.

## 9.2.6 Risikovurdering

En risikovurdering kan forstås som en vurdering av helsefare og eksponeringspotensial forbundet med et kjemikalie eller andre arbeidsmiljøfaktorer. Risikovurderingen er en karakterisering av risikonivået som må sees i sammenheng med relevante kriterier for risikoaksept i de respektive virksomhetene. Hvis risikonivået ikke anses som akseptabelt må passende tiltak iverksettes for å redusere risikoen til et akseptabelt nivå. For nanomaterialer er risiko forbundet med usikkerhet, og en risikovurdering er i hovedsak et resultat av en kvalitativ vurdering av potensiell helsefare og sannsynligheten for eksponering eller potensiell eksponering,

fordi datagrunnlaget for realistisk eksponering er tynt, og det finnes få studier som har undersøkt helseeffekter på mennesker forårsaket av nanomaterialer (EC, 2012). En ofte brukt tilnærming for å gjøre en risikovurdering i lys av usikkerhet er control banding (ILO), og flere av verktøyene som kan brukes til å risikovurdere nanomaterialer er basert på prinsippene i control banding (Brouwer, 2012).

Resultatene fra undersøkelsen viste at flere av virksomhetene har kjennskap til eksponeringskilder og potensielle helsefarer ved nanomaterialene, men spredningen i svarene var stor. Svar er avgitt i begge ytterpunkter hvor noen ikke har kartlagt eksponeringskilder i det hele tatt, mens andre har kartlagt eksponeringskilder i veldig stor grad. Ingen har for øvrig svart at de har veldig god kjennskap til potensielle helsefarer, og det kan tyde på at det er mindre kjennskap til helsefarer enn eksponeringskilder (figur 30).

Resultatene fra undersøkelsen indikerte at de fleste virksomhetene synes det er utfordrende å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer (ca. 70 %, figur 29), og de fleste bruker samme verktøy for å risikovurdere nanomaterialer som for vanlige kjemikalier (63 %), og det kan tyde på at det er mer utfordrende å finne relevant informasjon ved bruk av skjemaer fra NSO og egenutviklede/bransjeutviklede verktøy sammenlignet med Arbeidstilsynets veiledninger (skjemaene for kjemikalier generelt) (tabell 19). En mulig årsak til dette er at verktøy utviklet av bransjen og/eller internt ikke er tilpasset nanomaterialer, og således gjør det vanskeligere å vite hva slags informasjon som skal innhentes. Det ble undersøkt i hvilken grad virksomhetene har kjennskap til-, og i hvilken grad de bruker risikovurderingsverktøy utviklet spesifikt for nanomaterialer. Resultatene viste at samtlige verktøy var tilnærmet ukjent for de fleste virksomhetene (figur 21), og enda færre rapporterte at de bruker verktøyene. Videre viste resultatene at verktøyet trygg håndtering av nanomaterialer er mer kjent og brukes i større grad enn de andre verktøyene.

#### **9.2.6.1 Trygg håndtering av nanomaterialer**

En informasjonskilde til håndtering av HMS-aspekter ved nanomaterialer i norske virksomheter er «trygg håndtering av nanomaterialer» (Arbeidstilsynet, 2014). Resultatene fra undersøkelsen viste at ca. 21 % av virksomhetene aldri har hørt om verktøyet, 29 % har hørt om verktøyet i liten eller svært liten grad, og det var mindre enn 20 % av virksomhetene som har hørt om verktøyet i stor grad eller mer, det vil si at de fleste virksomhetene har i begrenset grad hørt om verktøyet (figur 22). Det er således enda færre som bruker verktøyet (figur 23), og det er kun 12 % av virksomhetene som bruker verktøyet i stor grad eller mer, og 37 % av virksomhetene rapporterte at verktøyet ikke brukes og ca. 21 % bruker det i liten eller svært liten grad. Resultatene indikerte at verktøy og veiledninger utviklet spesifikt for nanomaterialer er lite kjent, og i enda mindre grad brukes. Dette inkluderte verktøyet Trygg håndtering av nanomaterialer som i begrenset grad er kjent, og som totalt sett i liten grad brukes. Det er et forbedringspotensial til å gjøre slike veiledninger og verktøy mer kjent, og i større grad videreformidle informasjonen i verktøyet og andre ressurser til virksomhetene.

### 9.2.7 Arbeidstilsynets svartjeneste og produktregisteret

De fleste virksomhetene (79 %) rapporterte at Arbeidstilsynets svartjeneste brukes i liten grad eller mindre for å skaffe informasjon om HMS og nanomaterialer (figur 36). Resultatene fra undersøkelsen ga inntrykk av at Arbeidstilsynet som ressurs brukes i begrenset grad ved håndtering av HMS-utfordringer knyttet til nanomaterialer, og det selv om Arbeidstilsynet, og andre, jobber aktivt for å tilby norske virksomheter oppdatert informasjon med hensyn til HMS og sikring av arbeidstakernes helse og vel på arbeidsplassen. Dette gjenspeiler seg i resultatene, da det er få som rapporterte bruk av anbefalt PVU, og de fleste syntes det er utfordrende å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer, samt at de fleste er bekymret for HMS-utfordringer ved de ansattes eksponering for nanomaterialer.

Det var svært få som rapporterte at nanomaterialer registreres i produktregisteret (13 %), og nesten halvparten (48 %) rapporterte at nanomaterialer ikke registreres i produktregisteret i det hele tatt (figur 37). Årsaker til at nesten ingen registrerer nanomaterialer i produktregisteret kan være flere. En av årsakene kan være fordi ordningen er frivillig, og at registreringen derfor oppleves som unødvendig ekstraarbeid. En annen årsak kan være av sikkerhets- og konkurransemessige hensyn som gjør at virksomhetene er skeptisk til å registrere nanomaterialer. Resultatet fra undersøkelsen viste at de fleste opplever nanomaterialer som et konkurransefortrinn (71 %), men samtidig ble det rapportert en ubalanse mellom fokus på HMS og fokus på utnyttelse av nanomaterialer, hvorav kun 48 % rapporterte at forholdet var balansert. Det kan også være andre årsaker til at nanomaterialene ikke registreres i produktregisteret, da informasjon i produktregisteret brukes til, blant annet, kontroll av importører, produsenter og omsettere av kjemiske produkter. Dette gjør det derfor mer utfordrende å skaffe oversikt over omfanget av nanomaterialer i norske virksomheter. Andre formål som potensielt kan svekkes når produkter ikke registreres er regelverksutvikling, risikoanalyser av kjemikalier, statistikk for myndighetene og mindre kontroll over riktig faremerking og kjemikaliedokumentasjon for myndighetene, da dette er noe av den informasjonen i produktregisteret brukes til av forskjellige direktorater og institutter (Miljødirektoratet, u/å).

### 9.3 Metodediskusjon

I dette kapitlet diskuteres spørreundersøkelsens utvalg, spørreskjemaet og resultatenes pålitelighet.

#### 9.3.1 Utvalg

Det var totalt 144 respondenter som besvarte spørreskjemaet, hvorpå 24 av disse var relevant (17 %) for undersøkelsens hoveddel, det vil si virksomheter som produserer, importerer, bruker eller bearbeider nanomaterialer. Det vil være vanskelig å regne ut svarprosenten for denne undersøkelsen, da det ikke finnes noen konkret oversikt over hvor mange virksomheter som håndterer nanomaterialer. En viss oversikt ble gitt av en lignende undersøkelse som hadde som formål å kartlegge bruken av nanoteknologi, undersøkelsen er fra 2010 og hadde 162 respondenter, hvorpå 27 svarte at de håndterer nanomaterialer. Selv om antall respondenter ikke var høyere enn undersøkelsen fra 2010 var variasjonen i type virksomhet/bransje større, noe som gir et bedre bilde på bredden av hvilke virksomheter/bransjer som håndterer nanomaterialer. I ettertid av utsendingen ble det vurdert at e-post teksten som ble formulert i invitasjonen, samt formuleringen i informasjonsskrivet med fordel kunne vært formulert på en bedre måte. Undersøkelsen var i hovedsak tilsiktet virksomheter som håndterer nanomaterialer, men det var likevel stilt ett spørsmål i starten av som virksomheter som ikke håndterer nanomaterialer per i dag kunne besvare. Det er antatt at ordlyden i e-post teksten i invitasjonen og ordlyden i informasjonsskrivet ble tolket på en slik måte at flere av de inviterte virksomhetene avskrev sin relevans for spørreundersøkelsen før de startet den.

#### 9.3.2 Spørreskjemaet

Spørreskjemaet bestod av flere delemner, og inspirasjon til spørsmålene ble hentet fra en tidligere undersøkelse samt at flere av spørsmålene ble utviklet spesielt for dette spørreskjemaet. Undersøkelsens varighet ble oppgitt i invitasjonen til å være ca. 20 minutter, noe som er en relativt langvarig undersøkelse generelt, og også sammenlignet med undersøkelsen fra 2010, som ble oppgitt til ca. 10 minutter. Men dette ble ansett som nødvendig for å dekke problemstillingen, men det kan ha bidratt til færre respondenter. Det var flere respondenter som besvarte få av spørsmålene og ikke fullførte undersøkelsen. Det kan være flere årsaker til dette, og en av dem kunne være at undersøkelsen var for lang og at respondenten dermed gikk lei, såkalt «respondent fatigue», og dermed avsluttet før undersøkelsen var ferdig. Dette ble videre tatt hensyn til ved å ikke sette krav om at spørsmålene måtte besvares før man gikk videre (Bryman, 2012), men dette sammen med lengden er sannsynligvis årsakene til at flere hoppet over mange av spørsmålene. Det kan også være fordi det er enklere å hoppe over spørsmål når man sitter å svarer på en spørreundersøkelse uten intervensjon fra intervjuer/forsker.

Noen av spørsmålene kunne med fordel blitt kuttet ut eller erstattet med andre spørsmål. Og det kan ikke utelukkes at det var svakheter knyttet til spørsmålsformuleringene for noen av spørsmålene, det vil si

svakheter ved datainnsamlingen, «data-collection error» (Bryman, 2012). Det var tenkt å før-teste undersøkelsen med relevante deltagere, men undersøkelsen ble ferdigstilt like før påske, og det var ønskelig å administrere den før påskeferien startet med tanke på antall respondenter, begrenset tidsrom for oppgaveskriving, samt utfordringer med å finne relevante personer for før-testing, og den ble dermed ikke før-testet. Det kan tenkes at før-testing av spørreskjemaet kunne redusert antall respondenter som hoppet over mange av spørsmålene (DeMaio et al., 1998).

### **9.3.3 Spørreundersøkelsens pålitelighet**

For å styrke spørreundersøkelsens pålitelighet ble det sjekket for feilregistrerte data og unormale verdier i spørreskjemaene ved å kontrollere dataene i SPSS manuelt, samt at det ble utført frekvensanalyser av alle variablene i datasettet. Respondentene i spørreundersøkelsen var anonyme, noe som kan ha bidratt til mer ærlige svar (Bryman, 2012). I utgangspunktet var det ca. 35 respondenter, men flere av respondentene (11) besvarte få av spørsmålene, og ble derfor ekskludert fra analysen. Deltagerne i denne spørreundersøkelsen var HMS-ansvarlige/daglig ledere, og det er også de som har svart på vegne av de «ansatte» i enkelte spørsmål, og svarene er derfor ikke nødvendigvis representative for de ansatte. Andre endringer i forbindelse med spørreskjemaet kunne vært å bruke 6-punkts rangeringen i større grad, da det kunne åpnet for bedre analysemuligheter. Spørreundersøkelsen var allerede forholdsvis lang, og ved å øke antall spørsmål designet som 6-punkts rangering vil det sannsynligvis ha medført større grad av «respondent fatigue».

## **10 Muligheter til forbedring**

For å sikre at arbeidstakernes helse ivaretas på best mulig måte på arbeidsplassen er det nødvendig med kunnskap om mulige helsefarer, eksponering og hvordan dette i tilstrekkelig grad kan kontrolleres. Ved håndtering av nanomaterialer på arbeidsplassen er det fortsatt usikkerhet knyttet til risiko, og dette preget også undersøkelsen i denne oppgaven. De fleste opplever at det er utfordrende å finne relevant informasjon for å risikovurdere nanomaterialer, og det er store spredninger i hvilken grad helsefarer og eksponeringskilder er kjent og kartlagt. Samtidig er det få som bruker Arbeidstilsynets ressurser slik som veiledningen «trygg håndtering av nanomaterialer» og enda færre som aktivt bruker veiledningen. Det tyder på at det har vært utfordrende å få denne informasjonen ut til relevante norske virksomheter.

Andre utfordringer som ble identifisert var manglende informasjon om nanomaterialer i sikkerhetsdatablader, og svært få inneholder eksponeringsscenarioer for håndtering av nanomaterialer. Dette er en utfordring fordi tilnærmet samtlige rapporterte at sikkerhetsdatablader brukes som en kilde til informasjon om helsefarer og eksponering for nanomaterialer. Videre kan dette ha hatt de følger at anbefalt type PVU i begrenset grad er tilgjengelig og i bruk i virksomhetene.

## Forbedringsmuligheter ved håndtering av HMS-utfordringer:

- I større grad ta i bruk og hente inspirasjon fra Arbeidstilsynets ressurser slik som veiledningen «Trygg håndtering av nanomaterialer». Arbeidstilsynet har siden kartleggingen av nanoteknologiske produkter i 2010 publisert flere rapporter om nanomaterialer, regelverk, risikovurdering og generelt informasjon om HMS som er relevant for norske virksomheter. De har også en faktside på sin nettside med oppdatert informasjon og tips til andre gode informasjonskilder om nanomaterialer og HMS.
- På den andre siden har ikke informasjonen nådd ut til veldig mange, og det er behov for å spre informasjonen til flere av virksomhetene som håndterer nanomaterialer på arbeidsplassen. Dette kan for eksempel gjøres ved å arrangere kampanjer i samarbeid med bransjeorganisasjoner, myndigheter og andre relevante aktører.
- Selv om det er rapportert begrenset informasjon om nanomaterialer i sikkerhetsdatablader, kan informasjon om stoffene på bulk brukes som utgangspunkt i risikovurderinger. Eksempler på nyttig informasjon er fare- og sikkerhetssetninger (H- og P-setninger, CMR), tiltaks- og grenseverdier og informasjon om støvethet.
- For å bedre utnytte informasjonen i sikkerhetsdatablader (bulk og nano) og forskningslitteratur til å risikovurdere nanomaterialer vil det sannsynligvis være enklere å bruke veiledninger og verktøy tilpasset- og utviklet for nanomaterialer og deres karakteristiske egenskaper. I tillegg til «trygg håndtering av nanomaterialer» finnes det andre gode verktøy som er håndterbare, blant annet NanoSafer.
- Oppdatere sikkerhetsdatablader med informasjon om nanomaterialer der det er mulig.
- I lys av usikkerhet knyttet til risiko ved håndtering av nanomaterialer er det viktig med informasjon om hva som er trygg håndtering, og slik informasjon kan finnes i eksponeringsscenarioer, men det kan tyde på at eksponeringsscenarioer i liten grad finnes i sikkerhetsdatablader i norske virksomheter. Et utgangspunkt for gode eksponeringsscenarioer er databaser med informasjon fra virksomheters rutiner og praksis for håndtering. Med hensyn til HMS vil det være en fordel med bedre og bredere samarbeid på tvers av myndigheter og virksomheter med hensyn til videreformidling og utveksling av informasjon om trygg og sikker håndtering av nanomaterialer.

- Undersøkelsen viste at anbefalt type PVU for å redusere eksponering for nanomaterialer i begrenset grad brukes. Informasjon om PVU tilpasset nanomaterialer finnes både i «Trygg håndtering av nanomaterialer» og «NanoSafer», men også de øvrige verktøyene. Selv om det kun er anbefalinger, er det likevel viktig å være føre-var da det fortsatt er mye usikkerhet vedrørende risiko.

## 11 Konklusjon

Sammenligningen med kartleggingen fra 2010 viste at det var færre som rapporterte virksomhet innen FoU, men flere i andre bransjer med produksjon, import, bruk eller bearbeiding av nanomaterialer. Omfanget av bruken av nanomaterialer har økt både med tanke på bruksmengder og flere typer nanomaterialer. Det er også antydning til flere mulig eksponerte arbeidstakere.

Det er begrenset med informasjon om nanomaterialer i virksomhetenes sikkerhetsdatablader. Litt over halvparten av virksomhetene (54 %) rapporterte at sikkerhetsdatabladene som brukes inneholder informasjon om nanomaterialer, og enda færre rapporterte at eksponeringsscenarioer er tilgjengelig. Dette sett opp i mot at nesten alle virksomhetene (92 %) rapporterte at sikkerhetsdatablader brukes som informasjonskilde om nanomaterialers helsefarer og eksponeringspotensial, viser at det er et forbedringspotensial.

En annen informasjonskilde til håndtering av HMS-aspekter ved nanomaterialer i norske virksomheter er verktøyet «Trygg håndtering av nanomaterialer» publisert av Arbeidstilsynet i 2014. Resultatene viste at de fleste virksomhetene har i begrenset grad hørt om dette verktøyet. Det er således enda færre som bruker verktøyet, og det er kun 12 % av virksomhetene som bruker verktøyet i stor grad eller mer, og 37 % av virksomhetene rapporterer at verktøyet ikke brukes og ca. 21 % bruker det i liten eller svært liten grad. Undersøkelsen viste at det er et behov for å gjøre slike verktøy og veiledninger mer kjent i norske virksomheter som håndterer nanomaterialer.

De aller fleste rapporterte bruk av PVU ved håndtering av nanomaterialer (88 %), men bruken av anbefalt PVU, slik som åndedrettsvern med minst P3-filter og HEPA-filter (45 %), samt to lag med hansker (25 %) er i begrenset grad utbredt blant virksomhetene, noe som kan ha rot i mangler i sikkerhetsdatablader, lite kjennskap til- og bruk av oppdaterte og relevante verktøy og informasjonskilder.



## 12 Referanser

- AERASENSE. *Ultrafine & nanoparticle monitors* [Online]. Available: <http://www.aerasense.com/index.php?pageID=3> [Accessed 28.05.2015].
- AHAMED, M., ALI, D., ALHADLAQ, H. A. & AKHTAR, M. J. 2013. Nickel oxide nanoparticles exert cytotoxicity via oxidative stress and induce apoptotic response in human liver cells (HepG2). *Chemosphere*, 93, 2514-2522.
- AITKEN, R., CREELY, K. & TRAN, C. Nanoparticles: An occupational hygiene review. 2004 HSE-GOV. Institute of Occupational Medicine.
- ALSHATWI, A. A., SUBBARAYAN, P. V., RAMESHA, E., AL-HAZZANI, A. A., ALSAIF, M. A. & ALWARTHAN, A. A. 2012. Aluminium oxide nanoparticles induce mitochondrial-mediated oxidative stress and alter the expression of antioxidant enzymes in human mesenchymal stem cells. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30, 1-10.
- ANSES 2010. Development of a specific Control Banding Tool for Nanomaterials.
- ARBEIDSTILSYNET-450 2008. Kartlegging og vurdering av eksponering for kjemiske og biologiske forurensninger i arbeidsatmosfæren. Direktoratet for arbeidstilsynet.
- ARBEIDSTILSYNET-539 2007. Åndedrettsvern.
- ARBEIDSTILSYNET 2010. Kartlegging av produksjon, import og bruk av nanoteknologiske produkter i Norge [www.arbeidstilsynet.no](http://www.arbeidstilsynet.no).
- ARBEIDSTILSYNET 2012. Nanoteknologi og arbeidsmiljø: Informasjon om regelverk for nanomaterialer.
- ARBEIDSTILSYNET 2014. Trygg håndtering av nanomaterialer.
- ARBEIDSTILSYNET. u/å. *Hansker ved håndtering av kjemikalier* [Online]. Available: <http://www.arbeidstilsynet.no/fakta.html?tid=78196>.
- ASCHBERGER, K., JOHNSTON, H. J., STONE, V., AITKEN, R. J., HANKIN, S. M., PETERS, S. A. K., C. LANG TRAN & CHRISTENSEN, F. M. 2010. Review of carbon nanotubes toxicity and exposure—Appraisal of human health risk assessment based on open literature. *Critical Reviews in Toxicology*, 40, 759-790.
- AUGUSTIN, M. A. & HEMAR, Y. 2008. Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. *Chem. Soc. Rev.*, 38, 902-912.
- AUNE, A. 2014. Nanopartikler og utfordringer på arbeidsplassen.
- AVALOS, A., HAZA, A. I., MATEO, D. & MORALES, P. 2013. Cytotoxicity and ROS production of manufactured silver nanoparticles of different sizes in hepatoma and leukemia cells. *Applied Toxicology*, 34, 413-423.
- AVEN, T. & RENN, O. 2010. Case Study 1: Risk Governance of Nanotechnology. *Risk Management and Governance*.
- BACHAND, G. D., ALLEN, A., BACHAND, M. C., ACHYUTHAN, K. E., SEAGRAV, J. C. & BROZIK, S. M. 2012. Cytotoxicity and inflammation in human alveolar epithelial cells following exposure to occupational levels of gold and silver nanoparticles *Journal of Nanoparticle Research*, 14.
- BAUGHMAN, R. H., ZAKHIDOV, A. A. & HEER, W. A. D. 2002. Carbon Nanotubes—the Route Toward Applications. *Science*, 297.
- BERGAMASCHI, E. 2012. Human Biomonitoring of Engineered Nanoparticles: An Appraisal of Critical Issues and Potential Biomarkers. *Journal of Nanomaterials*.

- BERGES, M. G. M., AITKEN, R. J., READ, S. A. K., SAVOLAINEN, K., LUOTAMO, M. & BROCK, T. 2014. Chapter 8 - Risk Assessment and Risk Management. *Handbook of Nanosafety - Measurement, Exposure and Toxicology*. Academic Press.
- BERNARD, B., OSHEROFF, M., HOFFMANN, A. & MENNEAR, J. 1990. Toxicology and carcinogenesis studies of dietary titanium dioxide-coated mica in male and female Fischer 344 rats. *J Toxicol Environ Health*, 29, 417-429.
- BOURDON, J. A., SABER, A. T., JACOBSEN, N. R., JENSEN, K. A., MADSEN, A. M., LAMSON, J. S., WALLIN, H., MØLLER, P., LOFT, S., YAUK, C. L. & VOGEL, U. B. 2012. Carbon black nanoparticle instillation induces sustained inflammation and genotoxicity in mouse lung and liver. *Particle and Fibre Toxicology*, 9.
- BROEKHUIZEN, P. V., VEELLEN, W. V., STREEKSTRA, W.-H., SCHULTE, P. & REIJNDERS, L. 2012. Exposure Limits for Nanoparticles: Report of an International Workshop on Nano Reference Values. *The Annals of Occupational Hygiene*, 56, 515-524.
- BROUWER, D. H. 2012. Control Banding Approaches for Nanomaterials. *The Annals of Occupational Hygiene*, 56, 506-514.
- BRYMAN, A. 2012. *Social Research Methods 4th edition*, Oxford University Press.
- CHEN, J. & FAYERWEATHER, W. 1988. Epidemiologic study of workers exposed to titanium dioxide. *Journal of Occupational Medicine*, 30, 937-942.
- CHEN, L., YOKEL, R. A., HENNIG, B. & TOBOREK, M. 2008. Manufactured aluminum oxide nanoparticles decrease expression of tight junction proteins in brain vasculature. *Journal of Neuroimmune Pharmacology*, 3, 286-295.
- CHO, W.-S., DUFFIN, R., BRADLEY, M., MEGSON, I. L., MACNEE, W., LEE, J. K., JEONG, J. & DONALDSON, K. 2013. Predictive value of in vitro assays depends on the mechanism of toxicity of metal oxide nanoparticles. *Particle and Fibre Toxicology*, 10.
- CHO, W.-S., DUFFIN, R., POLAND, C. A., HOWIE, S. E. M., MACNEE, W., BRADLEY, M., MEGSON, I. L. & DONALDSON, K. 2010. Metal Oxide Nanoparticles Induce Unique Inflammatory Footprints in the Lung: Important Implications for Nanoparticle Testing. *Environ Health Perspect.*, 118, 1699-1706.
- CHU, M., WU, Q., YANG, H., YUAN, R., HOU, S., YANG, Y., ZOU, Y., XU, S., XU, K., JI, A. & SHENG, L. 2010. Transfer of Quantum Dots from Pregnant Mice to Pups Across the Placental Barrier. *Small*, 6, 670-678.
- CHUANG, H.-C., JUAN, H.-T., CHANG, C.-N., YAN, Y.-H., YUAN, T.-H., WANG, J.-S., CHEN, H.-C., HWANG, Y.-H., LEE, C.-H. & CHENG, T.-J. 2014. Cardiopulmonary toxicity of pulmonary exposure to occupationally relevant zinc oxide nanoparticles. *Nanotoxicology*, 8, 593-604.
- CORNELISSEN, R., JONGENEELLEN, F., BROEKHUIZEN, P. V. & BROEKHUIZEN, F. V. 2011. Guidance for working safely with nanomaterials and -products, the guide for employers and employees. Version 1.0.
- DEMAIO, T. J., ROTHGEB, J., HESS, J. & CENSUS, U. S. B. O. T. 1998. Improving Survey Quality Through Pretesting.
- DEPA 2015. Hazard assessment of nanomaterials in consumer products. *Environmental project No. 1637, 2015*. Danish Ministry of the Environment.
- DONALDSON-COMPANY. u/å. *High Efficiency Particulate Air* [Online]. Available: <http://www.donaldson.com/en/aircraft/support/datalibrary/042665.pdf> 2015].
- DONALDSON, K. & POLAND, C. A. 2012. Inhaled nanoparticles and lung cancer – what we can learn from conventional particle toxicology.

- DONALDSON, K., STONE, V., CLOUTER, A., RENWICK, L. & MACNEE, W. 2001. Ultrafine particles. *Occupational & Environmental Medicine*, 58, 211-216.
- DRISCOLL, K. E., CARTER, J. M., HOWARD, B. W., HASSENBEIN, D. G., PEPELKO, W., BAGGS, R. B. & OBERDÖRSTER, G. 1996. Pulmonary inflammatory, chemokine, and mutagenic responses in rats after subchronic inhalation of carbon black. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 136, 372-380.
- DUAN, W.-X., HE, M.-D., MAO, L., QIAN, F.-H., LI, Y.-M., PI, H.-F., LIU, C., CHEN, C.-H., LU, Y.-H., CAO, Z.-W., ZHANG, L., YU, Z.-P. & ZHOU, Z. 2015. NiO nanoparticles induce apoptosis through repressing SIRT1 in human bronchial epithelial cells. *Toxicology and Applied Pharmacology*.
- DUUREN-STUURMAN, B. V., VINK, S. R., VERBIST, K. J. M., HEUSSEN, H. G. A., BROUWER, D. H., KROESE, D. E. D., NIFTRIK, M. F. J. V., TIELEMANS, E. & FRANSMAN, W. 2012. Stoffenmanager Nano version 1.0: a web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects. *The Annals of Occupational Hygiene*, 56, 525-541.
- EASTLAKE, A., HODSON, L., GERACI, C. & CRAWFORD, C. 2012. A critical evaluation of material safety data sheets (MSDSs) for engineered nanomaterials. *Journal of Chemical Health and Safety*, 19, 1-8.
- EC-SANOWORK. 2012. *Safe Nano Worker Exposure Scenarios* [Online]. Available: [http://cordis.europa.eu/project/rcn/102461\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/102461_en.html).
- EC. 2011. *Definition of a nanomaterial* [Online]. European Commission. Available: [http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/definition\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/definition_en.htm).
- EC 2012. Types and uses of nanomaterials, including safety aspects. *In*: COMMISSION, E. (ed.).
- EC 2013. Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work. Employment, Social Affairs & Inclusion.
- EC 2014a. Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work.
- EC 2014b. Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work - Guidance for employers and health and safety practitioners. Employment, Social Affairs & Inclusion.
- EC 2014c. Working Safely with Manufactured Nanomaterials - Guidance for Workers. Employment, Social Affairs & Inclusion.
- ECHA 2012. Guidance on information requirements and chemical safety assessment - Part D: Exposure Scenario Building.
- ECHA 2013. Human health and environmental exposure assessment and risk characterisation of nanomaterials Best practice for REACH registrants.
- ECHA 2014. Guidance on the compilation of safety data sheets.
- ED-DUPONT 2007. NANO Risk Framework.
- EL-NOUR, K. M. M. A., EFTAIHA, A. A., AL-WARTHAN, A. & AMMAR, R. A. A. 2010. Synthesis and applications of silver nanoparticles. *Arabian Journal of Chemistry*, 3, 135-140.
- ELDER, A., GELEIN, R., SILVA, V., FEIKERT, T., OPANASHUK, L., CARTER, J., POTTER, R., MAYNARD, A., ITO, Y., FINKELSTEIN, J. & OBERDÖRSTER, G. 2006. Translocation of Inhaled Ultrafine Manganese Oxide Particles to the Central Nervous System. *Environmental Health Perspectives*, 114, 1172-1178.
- ENCHANTEDLEARNING. *Skin Anatomy* [Online]. Available: <http://www.enchantedlearning.com/subjects/anatomy/skin/> 2015].
- ENGEMAN, C. D., BAUMGARTNER, L., CARR, B. M., FISH, A. M., MEYERHOFER, J. D., SATTERFIELD, T. A., HOLDEN, P. A. & HARTHORN, B. H. 2013. The hierarchy of environmental health and safety

- practices in the U.S. nanotechnology workplace. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 10, 487-495.
- EPA. 2000. *Economic Impact Analysis For the Proposed Carbon Black Manufacturing NESHAP*.
- EU-OSHA 2009. Workplace exposure to nanoparticles.
- FALCK, G., LINDBERG, H., SUHONEN, S., VIPPOLA, M., VANHALA, E., CATALÁN, J., SAVOLAINEN, K. & NORPPA, H. 2009. Genotoxic effects of nanosized and fine TiO<sub>2</sub>. *Human & Experimental Toxicology*, 28, 339-352.
- FUJITANI, Y., KOBAYASHI, T., ARASHIDANI, K., KUNUGITA, N. & SUEMURAC, K. 2008. Measurement of the Physical Properties of Aerosols in a Fullerene Factory for Inhalation Exposure Assessment. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5, 380-389.
- GALLAGHER, J., II, R. S., INMONA, J., GELEIN, R., ELDER, A., OBERDÖRSTER, G. & PRAHALAD, A. K. 2003. Formation of 8-oxo-7,8-dihydro-2'-deoxyguanosine in rat lung DNA following subchronic inhalation of carbon black. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 190, 224-231.
- GAO, L., YANG, S.-T., LI, S., MENG, Y., WANG, H. & LEI, H. 2012. Acute toxicity of zinc oxide nanoparticles to the rat olfactory system after intranasal instillation. *Journal of Applied Toxicology*, 33, 1079-1088.
- GLIGA, A. R., SKOGLUND, S., WALLINDER, I. O., FADEEL, B. & KARLSSON, H. L. 2014. Size-dependent cytotoxicity of silver nanoparticles in human lung cells: the role of cellular uptake, agglomeration and Ag release. *Particle and Fibre Toxicology*, 11.
- GNG. *GoodNanoGuide* [Online]. Available: [https://nanohub.org/groups/gng/potential\\_exposure\\_locations](https://nanohub.org/groups/gng/potential_exposure_locations).
- GOLANSKI, L., GUIOT, A., ROUILLON, F., POCACHARD, J. & TARDIF, F. 2009. Experimental evaluation of personal protection devices against graphite nanoaerosols: fibrous filter media, masks, protective clothing, and gloves. *Human & Experimental Toxicology*, 28, 353-359.
- GOLANSKI, L., GUIOT, A. & TARDIF, F. 2010. Experimental evaluation of individual protection devices against different types of nanoaerosols: Graphite, TiO<sub>2</sub>, and Pt. *Journal of Nanoparticle Research*, 12, 83-89.
- GURR, J.-R., WANG, A. S. S., CHEN, C.-H. & JAN, K.-Y. 2005. Ultrafine titanium dioxide particles in the absence of photoactivation can induce oxidative damage to human bronchial epithelial cells. *Toxicology*, 66-73.
- HAN, J. H., LEE, E. J., LEE, J. H., SO, K. P., LEE, Y. H., BAE, G. N., LEE, S.-B., JI, J. H., CHO, M. H. & YU, I. J. 2008. Monitoring Multiwalled Carbon Nanotube Exposure in Carbon Nanotube Research Facility. *Inhalation Toxicology*, 20, 741-749.
- HANSEN, S. F., BAUN, A. & ALSTRUP-JENSEN, K. 2011. NanoRiskCat - A Conceptual Decision Support Tool for Nanomaterials.
- HARDMAN, R. 2006. A Toxicologic Review of Quantum Dots: Toxicity Depends on Physicochemical and Environmental Factors. *Environmental Health Perspectives*, 114, 165-172.
- HEINRICH, U., FUHST, R., RITTINGHAUSEN, S., CREUTZENBERG, B., BELLMANN, B., KOCH, W. & LEVSEN, K. 1994. CHRONIC INHALATION EXPOSURE OF WISTAR RATS AND TWO DIFFERENT STRAINS OF MICE TO DIESEL ENGINE EXHAUST, CARBON BLACK, AND TITANIUM DIOXIDE. *Inhalation Toxicology*, 7, 533-556.
- HORIE, M., NISHIO, K., ENDOH, S., KATO, H., FUJITA, K., MIYAUCHI, A., NAKAMURA, A., KINUGASA, S., YAMAMOTO, K., NIKI, E., YOSHIDA, Y. & IWAHASHI, H. 2011. Chromium(III) oxide nanoparticles induced remarkable oxidative stress and apoptosis on culture cells. *Environmental Toxicology*, 28, 61-75.

- HUSSAIN, S. M., HESS, K. L., GEARHART, J. M., GEISS, K. T. & SCHLAGER, J. J. 2005. In vitro toxicity of nanoparticles in BRL 3A rat liver cells. *Toxicology in Vitro*, 19, 975-983.
- HÖCK, J., T, E., E, F., M, G., H, H., K, H., K, K., H, K., L, L., P, G., B, N., M, R., K, S., K, S., C, S., W, S., C, S., A, U., N, V. G., A, W., S, W. & ., W. 2013. Guidelines on the Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials. . version 3.0 ed. Federal Office of Public Health and Federal Office for the Environment, Berne.
- IARC. *AGENTS CLASSIFIED BY THE IARC MONOGRAPHS, VOLUMES 1–112* [Online]. iarc.fr. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/> [Accessed 08.04.2015 2015].
- IARC Cadmium and cadmium compounds.
- IARC. 2010. *Carbon Black* [Online]. iarc.fr. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsGroupOrder.pdf> [Accessed 08.04.2015 2015].
- IARC 2014. Carcinogenicity of fl uoro-edenite, silicon carbide fi bres and whiskers, and carbon nanotubes.
- IARC. Utarbeides. *Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–112* [Online]. iarc.fr. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsGroupOrder.pdf> [Accessed 08.04.2015 2015].
- ILO International Chemical Control Toolkit - Draft Guidelines.
- ILVES, M., PALOMÄKI, J., VIPPOLA, M., LEHTO, M., SAVOLAINEN, K., SAVINKO, T. & ALENIUS, H. 2014. Topically applied ZnO nanoparticles suppress allergen induced skin inflammation but induce vigorous IgE production in the atopic dermatitis mouse model. *Particle and Fibre Toxicology*, 11.
- IVAM 2012. Provisional nano reference values. In: IVAM (ed.).
- JENG, H. A. & SWANSON, J. 2007. Toxicity of Metal Oxide Nanoparticles in Mammalian Cells. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 41, 2699-2711.
- KUHLBUSCH, T. A., ASBACH, C., FISSAN, H., GÖHLER, D. & STINTZ, M. 2011. Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review. *Particle and Fibre Toxicology*, 8.
- KULVIETIS, V., ZALGEVICIENE, V., DIDZIAPETRIENE, J. & ROTOMSKIS, R. 2011. Transport of Nanoparticles through the Placental Barrier. *Tohoku J. Exp: Med*, 225, 225-234.
- KUMAR, H. & SANGWAN, M. P. 2013. Synthesis and Characterization of MnO<sub>2</sub> Nanoparticles using Co-precipitation Technique. *International Journal of Chemistry and Chemical Engineering.*, 3, 155-160.
- KYJOVSKA, Z. O., JACOBSEN, N. R., SABER, A. T., BENGTON, S., JACKSON, P., WALLIN, H. & VOGEL, U. 2015. DNADamage Following Pulmonary Exposure by Instillation to LowDoses of Carbon Black (Printex 90) Nanoparticles inMice. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 56, 41-49.
- LABOUTA, H. I., EL-KHORDAGUI, L. K., KRAUS, T. & SCHNEIDER, M. 2011. Mechanism and determinants of nanoparticle penetration through human skin. *Nanoscale*, 3, 4989-4999.
- LAI, J. C. K., LAI, M. B., JANDHYAM, S., DUKHANDE, V. V., BHUSHAN, A., DANIELS, C. K. & LEUNG, S. W. 2008. Exposure to titanium dioxide and other metallic oxide nanoparticles induces cytotoxicity on human neural cells and fibroblasts. *International Journal of Nanomedicine*, 3, 533-545.
- LEE, J. H., KUK, W. K., KWON, M., LEE, J. H., LEE, K. S. & YU, I. J. 2012. Evaluation of information in nanomaterial safety data sheets and development of international standard for guidance on preparation of nanomaterial safety data sheets. *Nanotoxicology*, 7, 338-345.

- LEVIN, M. 2014. Particle Measurement. *Safety and Risks of Engineered Nanomaterials*. Denmark, Copenhagen.
- LOVDATA 2006. Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv. (arbeidsmiljøloven). In: LOVDATA (ed.). <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-62>.
- LOVDATA 2013. Forskrift om organisering, ledelse og medvirkning.
- LU, S., DUFFIN, R., POLAND, C., DALY, P., MURPHY, F., DROST, E., MACNEE, W., STONE, V. & DONALDSON, K. 2009. Efficacy of simple short-term in vitro assays for predicting the potential of metal oxide nanoparticles to cause pulmonary inflammation. *Environ Health Perspect.*, 117.
- MAYNARD, A. D. & AITKEN, R. J. 2007. Assessing exposure to airborne nanomaterials: Current abilities and future requirements. *Nanotoxicology*, 1, 26-41.
- METHNER, M. M. & OLD, L. 2008. Engineering Case Reports Effectiveness of Local Exhaust Ventilation (LEV) in Controlling Engineered Nanomaterial Emissions During Reactor Cleanout Operations. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5.
- MILJØDIREKTORATET. u/å. *Produktregisteret* [Online]. Available: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Kjemikalier/Produktregisteret/> 2015].
- MORIMOTO, Y., OGAMI, A., TODOROKI, M., YAMAMOTO, M., MURAKAMI, M., HIROHASHI, M., OYABU, T., MYOJO, T., NISHI, K.-I., KADOYA, C., YAMASAKI, S., NAGATOMO, H., FUJITA, K., ENDOH, S., UCHIDA, K., YAMAMOTO, K., KOBAYASHI, N., NAKANISHI, J. & TANAKA, I. 2010. Expression of inflammation-related cytokines following intratracheal instillation of nickel oxide nanoparticles. *Nanotoxicology*, 4, 161-176.
- MORSY, G. M., EL-ALA, K. S. A. & ALI, A. A. 2013. Studies on fate and toxicity of nanoalumina in male albino rats: oxidative stress in the brain, liver and kidney. *Toxicology and Industrial Health*, 1-15.
- NAESS, S. N., ELGSAETER, A., HELGESEN, G. & KNUDSEN, K. D. 2009. Carbon nanocones: wall structure and morphology. *Sci. Technol. Adv. MAter.*, 10.
- NANEOS. *Partector* [Online]. Available: <http://www.naneos.ch/partector.html> [Accessed 28.05.2015].
- NANEX 2009. Development of Exposure Scenarios for Manufactured Nanomaterials.
- NANOCYL 2009. Responsible Care and Nanomaterials - Case Study Nanocyl. In: LUIZI, D. F. (ed.) *European Responsible Care Conference*. Prague.
- NANODEVICE. *Nanodevice* [Online]. [www.nano-device.eu](http://www.nano-device.eu). Available: <http://www.nano-device.eu/index.php?id=249> [Accessed 29.04.2015 2015].
- NANOWERK. *Ten things you should know about nanotechnology: 9) The risk factor* [Online]. Available: [http://www.nanowerk.com/nanotechnology/ten\\_things\\_you\\_should\\_know\\_9.php](http://www.nanowerk.com/nanotechnology/ten_things_you_should_know_9.php).
- NANOWERK. u/å. *Nanotechnology Products and Applications* [Online]. Available: <http://www.nanowerk.com/products/products.php> [Accessed 28.05.2015 2015].
- NHI. 2009. *Aterosklerose* [Online]. Available: <http://nhi.no/forside/kroppen-var/aterosklerose-areforkalkning-30670.html?page=3> [Accessed 12.04.2015 2015].
- NIOSH 2003. Guidance for Filtration and Air-Cleaning Systems to Protect Building Environments from Airborne Chemical, Biological, or Radiological Attacks.
- NIOSH 2009. Interim Guidance for Medical Screening and Hazard Surveillance for Workers Potentially Exposed to Engineered Nanoparticle. In: NIOSH (ed.).
- NIOSH 2011. Occupational Exposure to Titanium Dioxide.
- NIOSH 2013. Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers.
- NIOSH. 2015a. *Control Banding* [Online]. [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov). Available: <http://www.cdc.gov/niosh/topics/ctrlbanding/> [Accessed 15.04.2015 2015].

- NIOSH. 2015b. *Hierarchy of Controls* [Online]. [www.cdc.gov/niosh](http://www.cdc.gov/niosh). Available: <http://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/> [2015].
- NNI, N. N. I. u/å. *What's So Special about the Nanoscale?* [Online]. Nano.gov. Available: <http://www.nano.gov/nanotech-101/special>.
- NORSKINDUSTRI Norsk Industri.
- OBERDÖRSTER, G. 2000. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 74, 1-8.
- OBERDÖRSTER, G., OBERDÖRSTER, E. & OBERDÖRSTER, J. 2005. Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles. *Environmental Health Perspectives*, 113, 823-839.
- OECD Opportunities and risks of Nanotechnologies.
- OGAMI, A., MORIMOTO, Y., MURAKAMI, M., OYABU, M. T. & TANAKA, I. 2009. Biological effects of nano-nickel in rat lungs after administration by inhalation and by intratracheal instillation. *Journal of Physics: Conference Series* 151 012032.
- OH-LEARNING 2010. Student Manual - W505 Control of Hazardous Substances.
- OPPL, R., KALBERLAH, F., EVAN, P. G. & HEMMEN, J. J. V. 2003. A Toolkit for Dermal Risk Assessment and Management: An Overview. *Annals of Occupational Hygiene*, 47, 629-640.
- OSHA 2011. Case study: SAFE PRODUCTION OF NANO MATERIALS (NANO SILVER DOTTED SILICA).
- OSHA 2012a. Case study: GOOD PRACTICE HANDLING CARBON NANO TUBES
- OSHA 2012b. Case study: NANOPOWDERS USED IN THE MEDICAL INDUSTRY.
- OSHA 2012c. Case study: TESTING OF NANOPARTICLE CONTAINING POLYMERS FOR AVIATION APPLICATIONS.
- OSHA 2012d. Good Practice Manufacturing and Manipulation of Manufactured Nano Objects.
- OSHA. u/å. *Case studies* [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/data/case-studies/>.
- OTA 1985. Preventing Illness and Injury in the Workplace. *OTA-H-256*. Washington, DC: U.S. Congress, Office of Technology Assessment.
- PETERS, K., UNGER, R., KIRKPATRICK, C., GATTI, A. & MONARI, E. 2004. Effects of nano-scaled particles on endothelial cell function in vitro: studies on viability, proliferation and inflammation. *Journal of Materials Science. Materials in Medicine*, 15, 321-350.
- PFEIFFER, S. & LINDEN, R. V. D. 2013. *What to do when receiving an extended safety data sheet?* [Online]. Available: [http://newsletter.echa.europa.eu/hr/home/-/newsletter/entry/4\\_13\\_what-to-do-when-receiving-an-extended-safety-data-sheet-;jsessionid=B12E4434037FA92D591988B093B5C29B.live2](http://newsletter.echa.europa.eu/hr/home/-/newsletter/entry/4_13_what-to-do-when-receiving-an-extended-safety-data-sheet-;jsessionid=B12E4434037FA92D591988B093B5C29B.live2) [2015].
- PICCINNO, F., GOTTSCHALK, F., SEEGER, S. & NOWACK, B. 2012. Industrial production quantities and uses of ten engineered nanomaterials in Europe and the world. *Journal of Nanoparticle Research*, 14.
- POLAND, C. A., DUFFIN, R., KINLOCH, I., MAYNARD, A., WALLACE, W. A. H., SEATON, A., STONE, V., BROWN, S., MACNEE, W. & DONALDSON, K. 2008. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestoslike pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology*, 3, 423-428.
- QUADRA. *Featured Products - CASE* [Online]. Available: [http://www.quadra.ca/CASE\\_Carbon\\_Black.aspx](http://www.quadra.ca/CASE_Carbon_Black.aspx).
- RAO, K. S., EL-HAMI, K., KODAKI, T., MATSUSHIGE, K. & MAKINO, K. 2005. A novel method for synthesis of silica nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 289, 125-131.
- RAYNOR, P. C. 2011. Chapter 7 – Controlling Nanoparticle Exposures. *Assessing Nanoparticle Risks to Human Health*. William Andrew.

- RENGASAMY, S., BERRYANN, R. & SZALAJDA, J. 2013. Nanoparticle Filtration Performance of Filtering Facepiece Respirators and Canister/cartridge Filters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 10.
- RENGASAMY, S. & EIMER, B. C. 2011. Nanoparticle Penetration through Filter Media and Leakage through Face Seal Interface of N95 Filtering Facepiece Respirators. *The Annals of Occupational Hygiene*, 56.
- RENGASAMY, S., KING, W. P., EIMER, B. C. & SHAFFER, R. E. 2008. Filtration Performance of NIOSH-Approved N95 and P100 Filtering Facepiece Respirators Against 4 to 30 Nanometer-Size Nanoparticles. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5, 556-564.
- RICAUD, M. & WITSCHGERW, O. 2012. Nanomaterials - Definitions, toxicological risk, characterisation of occupational exposure and prevention measures. ED 6050 ed.
- ROSSI, E. M., PYLKKÄNEN, L., KOIVISTO, A. J., NYKÄSENOJA, H., WOLFF, H., SAVOLAINEN, K. & ALENIUS, H. 2010. Inhalation exposure to nanosized and fine TiO<sub>2</sub> particles inhibits features of allergic asthma in a murine model. *Particle and Fibre Toxicology*, 7.
- SABER, A. T., HALAPPANAVAR, S., FOLKMANN, J. K., BORNHOLDT, J., BOISEN, A. M. Z., MØLLER, P., WILLIAMS, A., YAU, C., VOGEL, U., LOFT, S. & HÅKANWALLIN 2009. Lack of acute phase response in the livers of mice exposed to diesel exhaust particles or carbon black by inhalation. *Particle and Fibre Toxicology*, 6.
- SAGER, T. & CASTRANOVA, V. 2009. Surface area of particle administered versus mass in determining the pulmonary toxicity of ultrafine and fine carbon black: comparison to ultrafine titanium dioxide. *Particle and Fibre Toxicology*, 4.
- SAPUTRA, D., YOON, J.-H., PARK, Y., HEO, Y., YANG, H., LEE, E. J., LEE, S., SONG, C.-W. & LEE, K. 2014. Inhalation of Carbon Black Nanoparticles Aggravates Pulmonary Inflammation in Mice. *Toxicol Res.*, 30, 83-90.
- SCARSELLI, M., CASTRUCCI, P. & CRESCENZI, M. D. 2012. Electronic and optoelectronic nano-devices based on carbon nanotubes. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 24.
- SCHINS, R. P. F. 2002. MECHANISMS OF GENOTOXICITY OF PARTICLES AND FIBERS. *Inhalation Toxicology*, 14, 57-78.
- SCHLINKERT, P., CASALS, E., BOYLES, M., TISCHLER, U., HORNIG, E., TRAN, N., ZHAO, J., HIMLY, M., RIEDIKER, M., OOSTINGH, G. J., PUNTES, V. & DUSCH, A. 2015. The oxidative potential of differently charged silver and gold nanoparticles on three human lung epithelial cell types. *Journal of Nanobiotechnology*, 13.
- SCHULTE, P., GERACI, C., ZUMWALDE, R., HOOVER, M. & KUEMPEL, E. 2008. Occupational Risk Management of Engineered Nanoparticles. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5, 239-249.
- SENESE, F. 2010. *What are van der Waals forces?* [Online]. Available: <http://antoine.frostburg.edu/chem/senese/101/liquids/faq/h-bonding-vs-london-forces.shtml> [Accessed 25.05.2015].
- SHI, H., MAGAYE, R., CASTRANOVA, V. & ZHAO, J. 2013. Titanium dioxide nanoparticles: a review of current toxicological data. *Particle and Fibre Toxicology*, 10.
- SIKOROVÁ, L., TONGEREN, M. V., DANIHELKA, P., JIMÉNEZ, A. S. & BERNATÍKOVÁ, Š. 2014. Building exposure scenarios for safety management of engineered nanomaterials - NANOCON 2014.
- SINGH, S. P., KUMARI, M., KUMARI, S. I., RAHMAN, M. F., MAHBOOB, M. & GROVER, P. 2013. Toxicity assessment of manganese oxide micro and nanoparticles in Wistar rats after 28 days of repeated oral exposure. *Journal of Applied Toxicology*, 33, 1165-1179.



- SJAASTAD, A. K. 2015.
- SNL. 2009a. *Kontaktallergi* [Online]. [www.snl.no](http://www.snl.no). Available: <https://sml.snl.no/kontaktallergi> 2015].
- SNL. 2009b. *Mesoteliom* [Online]. Available: <https://sml.snl.no/mesoteliom> [Accessed 10.05 2015].
- SNL. 2012. *Oksygen - reaktive oksygenforbindelser* [Online]. SNL. Available: [https://snl.no/oksygen%2Freaktive\\_oksygenforbindelser](https://snl.no/oksygen%2Freaktive_oksygenforbindelser) 2015].
- STOEGER, T., REINHARD, C., TAKENAKA, S., SCHROEPEL, A., KARG, E., RITTER, B., HEYDER, J. & SCHULZ, H. 2006. Instillation of Six Different Ultrafine Carbon Particles Indicates a Surface Area Threshold Dose for Acute Lung Inflammation in Mice. *Environ Health Perspect.*, 114, 328-333.
- SUZUKI, Y., TADA-OIKAWA, S., ICHIHARA, G., YABATA, M., IZUOKA, K., SUZUKI, M., SAKAI, K. & ICHIHARA, S. 2014. Zinc oxide nanoparticles induce migration and adhesion of monocytes to endothelial cells and accelerate foam cell formation. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 278, 16-25.
- SÄÄMÄNEN, A. 2014. Risk Management. *NIVA: Safety and Risks of Engineered Nanomaterials ENM*. Denmark, Copenhagen.
- T. OYABU, A. O., MORIMOTO, Y., SHIMADA, M., LENGGORO, W., OKUYAMA, K. & TANAKA, I. 2007. Biopersistence of Inhaled Nickel Oxide Nanoparticles in Rat Lung. *Inhalation Toxicology*, 19, 55-58.
- TESTO-AG. *DiSCmini* [Online]. Available: <http://www.matter-aerosol.ch/index.php/features/jquery-superfish-menu>.
- TSI. 2012. *P-TRAK Ultrafine Particle Counter Model 8525* [Online]. Available: [http://www.tsi.com/uploadedFiles/Site\\_Root/Products/Literature/Spec\\_Sheets/PTrakSpec2980197.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/Site_Root/Products/Literature/Spec_Sheets/PTrakSpec2980197.pdf).
- TSOU, T.-C., YEH, S.-C., TSAI, F.-Y., LIN, H.-J., CHENG, T.-J., CHAO, H.-R. & TAI, L.-A. 2010. Zinc oxide particles induce inflammatory responses in vascular endothelial cells via NF- $\kappa$ B signaling. *Journal of Hazardous Materials*, 183, 182-188.
- TSUJI, J. S., MAYNARD, A. D., HOWARD, P. C., JAMES, J. T., LAM, C.-W., WARHEIT, D. B. & SANTAMARIA, A. B. 2005. Research Strategies for Safety Evaluation of Nanomaterials, Part IV: Risk Assessment of Nanoparticles. *Toxicological sciences*, 89, 42-50.
- VINKOVIĆ VRCĀEK, I., ZUNTAR, I., PETLEVSKI, R., PAVIĆIĆ, I., SIKIRIĆ, M. D., ČURLIN, M. & GOESSLER, W. 2014. Comparison of In Vitro Toxicity of Silver Ions and Silver Nanoparticles on Human Hepatoma Cells. *Environmental Toxicology*, 28.
- VOGEL, U., SAVOLAINEN, K., WU, Q., TONGEREN, M. V., BROUWER, D. & BERGES, M. 2014. *Handbook of nanosafety. Measurement, exposure and toxicology*, Academic Press.
- WALTER, D. u/å. Primary Particles – Agglomerates – Aggregates.
- WAN, R., MO, Y., FENG, L., CHIEN, S., TOLLERUD, D. J. & ZHANG, Q. 2012. DNA Damage Caused by Metal Nanoparticles: Involvement of Oxidative Stress and Activation of ATM. *Chem. Res. Toxicol.*, 25, 1402-1411.
- WARHEIT, D. B., WEBB, T. R., REED, K. L., FRERICHS, S. & SAYES, C. M. 2006. Pulmonary toxicity study in rats with three forms of ultrafine-TiO<sub>2</sub> particles: Differential responses related to surface properties. *Toxicology*, 230, 90-104.
- WU, T. & TANG, M. 2014. Toxicity of quantum dots on respiratory system. *Inhalation Toxicology*, 26.
- YAMAMOTO, A., HONMA, R., SUMITA, M. & HANAWA, T. 2004. Cytotoxicity evaluation of ceramic particles of different sizes and shapes. *Journal of biomedical materials research. Part A*, 68, 244-256.
- YANG, N., ZHANG, G. & LI, B. 2008. Carbon nanocone: A promising thermal rectifier. *Applied Physics letters*.
- YEGANEH, B., KULL, C., HULL, M. & MARR, L. 2008. Characterization of airborne particles during production of carbonaceous nanomaterials. *Environ Sci Technol.*, 42.

- ZALK, D. M. & NELSON, D. I. 2008. History and Evolution of Control Banding: A Review. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5, 330-346.
- ZHANG, Q., KUSAKA, Y., SATO, K., NAKAKUKI, K., KOHYAMA, N. & DONALDSON, K. 1998. Differences in the extent of inflammation caused by intratracheal exposure to three ultrafine metals: role of free radicals. *Journal of toxicology and environmental health . Part A*, 53, 423-438.

## VEDLEGG 1: INFORMASJONSSKRIV

### Forespørsel om deltakelse i spørreundersøkelse i forbindelse med masteroppgave

I forbindelse med min masteroppgave i helse, miljø og sikkerhet (HMS) ved NTNU ønsker jeg å gjennomføre en spørreundersøkelse for å identifisere hvilke HMS-utfordringer norske bedrifter står overfor ved håndtering av nanopartikler.

Relevante bedrifter er valgt ut i fra om de har, eller kan ha nanomaterialer/nanopartikler i produksjonen eller i arbeidsmiljøet, og delvis basert på tidligere undersøkelser og kartlegginger.

Tilvirkede nanomaterialer/nanopartikler kan gi teknologiske og økonomiske fordeler, men kan samtidig by på nye HMS-utfordringer i virksomheten. Punkter som det er ønskelig å undersøke er omfanget av bruken av nanomaterialer/nanopartikler eller –produkter samt hvilke HMS-utfordringer dette gir.

Til å svare på spørreundersøkelsen er det ønskelig med personer som arbeider med HMS eller har ansvar for HMS, for eksempel HMS-koordinator eller daglig leder.

Det er frivillig å delta i studien, og du kan når som helst trekke ditt samtykke uten å oppgi noen grunn. Dersom du trekker deg, vil alle opplysninger om deg bli anonymisert. Informasjon som kommer frem av spørreundersøkelsen vil bli behandlet konfidensielt og anonymisert slik at ingen opplysninger kan spores tilbake til enkeltpersoner eller -bedrifter. Oppgaven vil etter planen avsluttes senest 11. juni 2015. Da vil all innsamlet data anonymiseres.

Spørreundersøkelsen vil ta ca. 15-20 minutter. Vennligst besvar alle spørsmålene i én økt. Bryter du av underveis må du starte på nytt.

Dersom du har spørsmål til studien, ta kontakt med undertegnede eller veileder Rikke Bramming Jørgensen.

Studien er meldt til Personvernombudet for forskning, Norsk samfunnsvitenskapelig datatjeneste AS.

Med vennlig hilsen

Andreas Aune

E-post

Telefon

Veileder: Rikke Bramming Jørgensen

E-post

# VEDLEGG 2: TILBAKEMELDING FRA PERSONVERNOMBUDET 1

Norsk samfunnsvitenskapelig datatjeneste AS  
NORWEGIAN SOCIAL SCIENCE DATA SERVICES



Harald Hårfagres gate 29  
N-5007 Bergen  
Norway  
Tel: +47-55 58 21 17  
Fax: +47-55 58 96 50  
nsd@nsd.uib.no  
www.nsd.uib.no  
Org.nr: 985 321 884

Rikke Bramming Jørgensen  
Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse NTNU  
Alfred Getzvei 3  
7491 TRONDHEIM

Vår dato: 28.01.2015

Vår ref: 41774 / 3 / LT

Deres dato:

Deres ref:

## TILBAKEMELDING PÅ MELDING OM BEHANDLING AV PERSONOPPLYSNINGER

Vi viser til melding om behandling av personopplysninger, mottatt 23.01.2015. Meldingen gjelder prosjektet:

41774	<i>Utfordringer med nanopartikler og nanomaterialer i arbeidsmiljøet</i>
<i>Behandlingsansvarlig</i>	<i>NTNU, ved institusjonens øverste leder</i>
<i>Daglig ansvarlig</i>	<i>Rikke Bramming Jørgensen</i>
<i>Student</i>	<i>Andreas Aune</i>

Personvernombudet har vurdert prosjektet og finner at behandlingen av personopplysninger er meldepliktig i henhold til personopplysningsloven § 31. Behandlingen tilfredsstiller kravene i personopplysningsloven.

Personvernombudets vurdering forutsetter at prosjektet gjennomføres i tråd med opplysningene gitt i meldeskjemaet, korrespondanse med ombudet, ombudets kommentarer samt personopplysningsloven og helseregisterloven med forskrifter. Behandlingen av personopplysninger kan settes i gang.

Det gjøres oppmerksom på at det skal gis ny melding dersom behandlingen endres i forhold til de opplysninger som ligger til grunn for personvernombudets vurdering. Endringsmeldinger gis via et eget skjema, <http://www.nsd.uib.no/personvern/meldeplikt/skjema.html>. Det skal også gis melding etter tre år dersom prosjektet fortsatt pågår. Meldinger skal skje skriftlig til ombudet.

Personvernombudet har lagt ut opplysninger om prosjektet i en offentlig database, <http://pvo.nsd.no/prosjekt>.

Personvernombudet vil ved prosjektets avslutning, 11.06.2015, rette en henvendelse angående status for behandlingen av personopplysninger.

Vennlig hilsen

Katrine Utaaker Segadal

Lis Tenold

Kontaktperson: Lis Tenold tlf: 55 58 33 77

Vedlegg: Prosjektvurdering

*Dokumentet er elektronisk produsert og godkjent ved NSDs rutiner for elektronisk godkjenning.*

*Avdelingskontorer / District Offices:*

*OSLO:* NSD, Universitetet i Oslo, Postboks 1055 Blindern, 0316 Oslo. Tel: +47-22 85 52 11. [nsd@uio.no](mailto:nsd@uio.no)

*TRONDHEIM:* NSD, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 7491 Trondheim. Tel: +47-73 59 19 07. [kyrre.svarva@svt.ntnu.no](mailto:kyrre.svarva@svt.ntnu.no)

*TROMSØ:* NSD, SVF, Universitetet i Tromsø, 9037 Tromsø. Tel: +47-77 64 43 36. [nsdmaa@svt.uit.no](mailto:nsdmaa@svt.uit.no)

# VEDLEGG 2: TILBAKEMELDING FRA PERSONVERNOMBUDET 2



## Personvernombudet for forskning

### Prosjektvurdering - Kommentar

---

Prosjektnr: 41774

Utvalget informeres skriftlig om prosjektet og samtykker til deltakelse. Informasjonsskrivet er godt utformet.

Personvernombudet legger til grunn at forsker etterfølger NTNU sine interne rutiner for datasikkerhet. Dersom personopplysninger skal sendes elektronisk eller lagres på privat pc/mobile enheter, bør opplysningene krypteres tilstrekkelig.

Forventet prosjektslutt er 11.06.2015. Ifølge prosjektmeldingen skal innsamlede opplysninger da anonymiseres. Anonymisering innebærer å bearbeide datamaterialet slik at ingen enkeltpersoner kan gjenkjennes. Det gjøres ved å:

- slette direkte personopplysninger (som navn/koblingsnøkkel)
- slette/omskrive indirekte personopplysninger (identifiserende sammenstilling av bakgrunnsopplysninger som f.eks. bosted/arbeidssted, alder og kjønn)

### VEDLEGG 3: RISIKOVURDERINGSVERKTØY DEL 1

Verktøy	Type bruk	Målgruppe	Input
<p>Trygg håndtering av nanomaterialer</p> <p>Kilde: (Arbeidstilsynet, 2014)</p>	Veiledningsdokument	Arbeidsgivere, verneombud, HMS-ansvarlige og tillitsvalgte i virksomheter hvor arbeidstakere kan være eksponert for nanomaterialer.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hvilke nanomaterialer finnes</li> <li>- Kjemiske og fysiske egenskaper</li> <li>- Mulig helsefare (CMR, fysisk tilstand, mulig eksponering)</li> <li>- Prinsipper for risikoreduksjon</li> </ul>
<p>Stoffenmanager Nano <i>Semi-kvantitativ</i></p> <p>Kilde: (Duuren-Stuurman et al., 2012)</p>	Nettbasert interaktivt verktøy og nedlastbart.	Små og mellomstore bedrifter. Utviklet for arbeidere og arbeidsgivere uten spesifikk kompetanse om nanomaterialer.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Størrelsesorden (inkludert for agglomerater), usikkerhetsfaktorer (informasjon om opprinnelig material, urenheter etc.)</li> <li>- Redox/katalytisk aktivitet, potensial for inflammasjon etc.</li> <li>- Bruksmengder, worst case eksponering ved håndtering, frekvens og varighet av håndtering</li> <li>- Eksisterende tiltak, avstand mellom kilde og arbeidere, personlig verneutstyr</li> <li>- Støvetthet, overflatekontaminering</li> </ul>
<p>Swiss Precautionary Matrix <i>Semi-kvantativ</i></p> <p>Kilde: (Höck et al., 2013)</p>	Tre muligheter for gjennomføring: nettbasert, nedlastbar versjon eller som et veiledningsdokument. Alle tre er like.	Små og mellomstore bedrifter og inkluderer både hensyn til arbeidsplassen, forbruker samt ytre miljø.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generell informasjon om materialet</li> <li>- Nano-relevans (størrelsesfordeling, agglomerrering etc.)</li> <li>- Informasjon om livvsyklusen</li> <li>- Potensielle helseeffekter (reaktivitet, stabilitet av materialet)</li> <li>- Potensiell eksponering (frie partikler, bundet i matris, frekvens og varighet av håndtering etc.)</li> </ul>

## VEDLEGG 3: RISIKOVURDERINGSVERKTØY DEL 2

Verktøy	Type bruk	Målgruppe	Input
IVAM Guidance Kilde: (Cornelissen et al., 2011)	Veiledningsdokument	Utviklet for personer uten spesifikk kompetanse om HMS/yrkeshygiene.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lage inventar av nanomaterialene</li> <li>- Klassifisere faren ved nanomaterialet</li> <li>- Kartlegge aktiviteter som involverer håndtering av nanomaterialer</li> <li>- Klassifisere sannsynligheten/potensialet for at arbeidere er eksponert</li> <li>- Valg av bånd (control banding) som angir risiko (tre nivåer)</li> </ul>
SAFENANO Kilde: (ED-DuPont, 2007)	Kunnskapsdatabase med henvisninger til flere forskjellige verktøy.	Organisasjoner som aktivt jobber med nanomaterialer og assosierte produkter/applikasjoner.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beskrivelse av materialet og bruken</li> <li>- Beskrivelse av nanomaterialets livssyklus (egenskaper, iboende fare, eksponering)</li> </ul>
NanoSafer Kilde: nanosafer.i-bar.dk	Veiledningsdokument og nettbasert.	Yrkeshygienikere og forskere	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nanomaterial: overflatekjemi, form, diameter, løselighet, CMR, toksisitet for hud</li> <li>- Opprinnelig material: grenseverdi, CMR, toksisitet for hud</li> <li>- Bruksmengder, støvethet/tåket, antall eksponerte, frekvens og varighet av operasjoner</li> </ul>
Nanomaterial control banding tool worksheet (Queensland) Kilde: <a href="http://www.engineersaustralia.au">www.engineersaustralia.au</a>	Veiledningsdokument	Utviklet for forskningsinstitusjoner/laboratorier, men kan også brukes i andre bedrifter som håndterer nanomaterialer.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nanomaterial: overflatekjemi, form, diameter, løselighet, CMR, asthmagen, toksisitet for hud</li> <li>- Bulkmaterial: grenseverdi, CMR, toksisitet for hud, asthmagen</li> <li>- Støvethet, bruksmengder, antall eksponerte, frekvens og varighet av operasjon</li> </ul>

### VEDLEGG 3: RISIKOVURDERINGVERKTØY DEL 3

Verktøy	Type bruk	Målgruppe	Input
GoodNanoGuide Kilde: <a href="http://www.goodnanoguide.org">www.goodnanoguide.org</a>	Nettbasert ineraktivt verktøy	Tilpasset tre ulike brukere basert på hvilket kunnskapsnivå brukeren har (lite/middels/ekspert).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informasjon om nanomaterialet: Størrelsesfordeling, overflateareal, overflatekjemi, reaktivitet, form, biopersistens etc.</li> <li>- Frekvens og varighet av arbeidsoperasjoner, (andre faktorer som påvirker potensiell eksponering gis av verktøyet)</li> </ul>
Nanorama – E-Learning Kilde: <a href="http://nano.dguv.de/nanorama/bgrci/en/">http://nano.dguv.de/nanorama/bgrci/en/</a>	Interaktiv nettside	Arbeidstakere, arbeidsgivere og eksperter. Laboratorier.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verktøyet er interaktivt og informerer om farer, eksponeringspotensial og sikker håndtering av ulike nanomaterialer og i ulike industrier</li> </ul>
NanoRiskCat Kilde: (Hansen et al., 2011)	Veiledningsdokument	Profesjonelle sluttbrukere, forbrukere og ytre miljø. Ikke utviklet for produsenter av nanomaterialer.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Er lengde/sideforhold &gt; 10:1?</li> <li>- Kjente effekter av bulkmaterial (fra klassifisering i CLP)</li> <li>- Er det kjent at nanomaterialet kan være akutt giftig?</li> <li>- Er det indikasjoner (fra forskning) på effekter som faller inn under genotoksisk, mutagen, kreftfremkallende eller effekter på luftveiene, sirkulasjon/nerver eller forplantning?</li> <li>- Eksponeringsvurderingen er basert på REACH appendix R.12 (prosesskategorier, kjemiske produktkategorier, funksjonelle kategorier)</li> </ul>
ANSES Control Banding tool for nanomaterials Kilde: (Anses, 2010)	Veiledningsdokument <i>Kvalitativ</i>	Små og mellomstore bedrifter. Utviklet for personer med kompetanse på forebygging av kjemisk risiko.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Løselighet</li> <li>- Reaktivitet</li> <li>- Data om bulkmaterialer eller tilnærmet likt material (basert på CLP klassifiseringer)</li> <li>- Fysisk form (frie partikler, matriks)</li> <li>- Antall arbeidere</li> <li>- Frekvens og varighet av arbeidsoperasjoner (eksponering)</li> </ul>



# VEDLEGG 4: EKSPONERINGSSCENARIE DEL 1

## Standard Exposure Scenario Format 1: For Uses Of Substances By Workers

Title:	Machining of hybrid advanced composites containing CNT.	Date:	25/05/2010
SubstanceType	CNT	Entered By:	LEIA

Internal reference ID: CNT 1

List of all use descriptors related to the life cycle stage and all the uses under it; include market sector (by PC) if relevant:

### List of names of contributing exposure scenarios and corresponding PROCs/PCs

CES 1: Dry cutting of hybrid carbon composites containing CNT  
 CES 2: Dry cutting of hybrid alumina composites containing CNT  
 CES 3: Wet cutting of hybrid composites (alumina and carbon) containing CNT

#### CES 1: Name of contributing exposure

Dry cutting of hybrid carbon composites containing CNT

#### Further specification

Dry cutting using band-saw

#### Product characteristics

CNT-carbon hybrid composite  
 CNTs are produced vertically aligned and then embedded in a matrix (based on carbon fibers) using capillary-driven wetting.  
 The carbon hybrid composite has approx 0.05% CNTs by volume of the laminate.

#### Amounts used

Experiments performed with composites samples with size in the range of approx. 10 X 50 mm (width X length); thickness varied with the composite type.

#### Frequency and duration of use/exposure

Not clear how often this task would be performed in a real workplace.  
 For the experimental research, a cycle of 4-5 cuts were performed which lasted approx. 1-3 min.

#### Human factors not influenced by risk management

#### Other given operational conditions affecting workers exposure

This experimental research was performed in a lab in order to measure exposure to nanoparticles and fibers during machining of advanced hybrid composites (based on carbon fibers or alumina) containing CNT.  
 The research lab had general mechanical ventilation (one room exchange rate per hour). There was no direct air exchange with the outside environment. There was no other activities/equipment which could generate nanoparticles. Main door was closed. Typical air conditions during the monitoring periods were: Temperature 20-22°C; RH 39-42%

#### Technical conditions and measures at process level (source) to prevent release

#### Technical conditions and measures to control dispersion from source towards the worker

Authors were trying to create a worst-case scenario, thus no LEV during cutting

#### Organisational measures to prevent /limit releases, dispersion and exposure

#### Conditions and measures related to personal protection, hygiene and health evaluation

N100 respirators; gloves; lab coats

#### Additional good practice advice (for environment) beyond the REACH CSA

#### Exposure Estimation

Exposure levels were dependent on composite thickness and type BUT did NOT vary between composites with and without CNTs.  
 No evidences of individual CNTs, bundles of CNTs or CNTs attached to larger particles.

#### EXPOSURES DATA

Background: 4.82e3 #/cm3 (by FMPS), 11.4 #/cm3 (by APS)  
 Exposure data at the personal breathing zone: 1.53e5 #/cm3 (by FMPS, AM), 215.7 #/cm3 (by APS, AM)  
 Exposure data at the source: 2.94e5 #/cm3 (by FMPS, AM), 867.1 #/cm3 (by APS, AM)

INSTRUMENTATION: FMPS (TSI 3091); APS (TSI 3321); CPC (TSI 3007); thermophoretic precipitator (TP, Fraunhofer Institute of Toxicology, Germany) and electrostatic precipitator (ESP, courtesy of Dr. A Miller, Spokane Laboratory, NIOSH, WV) for TEM sample collection; sampling of respirable fibers (NIOSH method 7400); TSI Dust Trak

## VEDLEGG 4: EKSPONERINGSSCENARIE DEL 2

### Standard Exposure Scenario Format 1: For Uses Of Substances By Workers

Title:	Machining of hybrid advanced composites containing CNT.	Date:	25/05/2010
SubstanceType	CNT	Entered By:	LEIA

#### CES 2: Name of contributing exposure

Dry cutting of hybrid alumina composites containing CNT

#### Further specification

Dry cutting using band-saw

#### Product characteristics

CNT-alumina hybrid composite

CNTs are produced vertically aligned and then embedded in a matrix (based on alumina fiber) using capillary-driven wetting. The CNT volume fraction in the hybrid CNT-alumina composite varied from 0.5 to 4.5% depending on the sample.

#### Amounts used

Experiments performed with composites samples with size in the range of approx. 10 X 50 mm (width X length); thickness varied with the composite type.

#### Frequency and duration of use/exposure

Not clear how often this task would be performed in a real workplace.

For the experimental research, a cycle of 4-5 cuts were performed which lasted approx. 1-3 min

#### Human factors not influenced by risk management

#### Other given operational conditions affecting workers exposure

This experimental research was performed in a lab in order to measure exposure to nanoparticles and fibers during machining of advanced hybrid composites (based on carbon fibers or alumina) containing CNT.

The research lab had general mechanical ventilation (one room exchange rate per hour). There was no direct air exchange with the outside environment. There was no other activities/equipment which could generate nanoparticles. Main door was closed. Typical air conditions during the monitoring periods were: Temperature 20-22°C; RH 39-42%.

#### Technical conditions and measures at process level (source) to prevent release

#### Technical conditions and measures to control dispersion from source towards the worker

Authors were trying to create a worst-case scenario, thus no LEV during cutting

#### Organisational measures to prevent /limit releases, dispersion and exposure

#### Conditions and measures related to personal protection, hygiene and health evaluation

N100 respirators; gloves; lab coats

#### Additional good practice advice (for environment) beyond the REACH CSA

#### Exposure Estimation

Exposure levels were dependent on composite thickness and type BUT did NOT vary between composites with and without CNTs. No evidences of individual CNTs, bundles of CNTs or CNTs attached to larger particles.

#### EXPOSURES DATA

Background: 4.82e3 #/cm3 (by FMPS), 11.4 #/cm3 (by APS)

Exposure data at the personal breathing zone: 0.28e5 #/cm3 (by FMPS, AM), 62.2 #/cm3 (by APS, AM)

Exposure data at the source: 0.38e5 #/cm3 (by FMPS, AM), 285.3 #/cm3 (by APS, AM)

INSTRUMENTATION: FMPS (TSI 3091); APS (TSI 3321); CPC (TSI 3007); thermophoretic precipitator (TP, Fraunhofer Institute of Toxicology, Germany) and electrostatic precipitator (ESP, courtesy of Dr. A Miller, Spokane Laboratory, NIOSH, WV) for TEM sample collection; sampling of respirable fibers (NIOSH method 7400); TSI Dust Trak

## VEDLEGG 4: EKSPONERINGSSCENARIE DEL 3

### Standard Exposure Scenario Format 1: For Uses Of Substances By Workers

Title:	Machining of hybrid advanced composites containing CNT.	Date:	25/05/2010
SubstanceType	CNT	Entered By:	LEIA

#### CES 3: Name of contributing exposure

Wet cutting of hybrid composites (alumina and carbon) containing CNT

#### Further specification

Wet cutting: rotary cutting wheel with water to flush dust particles during machining.

#### Product characteristics

CNT-carbon hibrid composite  
CNT-alumina hibrid composite

#### Amounts used

Experiments performed with composites samples with size in the range of approx. 10 X 50 mm (width X length); thickness varied with the composite type.

#### Frequency and duration of use/exposure

Not clear how often this task would be performed in a real workplace.  
For the experimental research, a cycle of 4-5 cuts were performed which lasted approx. 1-3 min

#### Human factors not influenced by risk management

#### Other given operational conditions affecting workers exposure

This experimental research was performed in a lab in order to measure exposure to nanoparticles and fibers during machining of advanced hybrid composites (based on carbon fibers or alumina) containing CNT.  
The research lab had general mechanical ventilation (one room exchange rate per hour). There was no direct air exchange with the outside environment. There was no other activities/equipment which could generate nanoparticles. Main door was closed. Typical air conditions during the monitoring periods were: Temperature 20-22°C; RH 39-42%

#### Technical conditions and measures at process level (source) to prevent release

Wet cutting uses water to flush dust particles during machining.  
Cutting wheel is covered with guards (help to reduce aerosol emission)

#### Technical conditions and measures to control dispersion from source towards the worker

Authors were trying to create a worst-case scenario, thus no LEV during cutting

#### Organisational measures to prevent /limit releases, dispersion and exposure

#### Conditions and measures related to personal protection, hygiene and health evaluation

N100 respirators; gloves; lab coats

#### Additional good practice advice (for environment) beyond the REACH CSA

#### Exposure Estimation

Exposure data were not significantly above background.  
No evidences of individual CNTs, bundles of CNTs or CNTs attached to larger particles.

INSTRUMENTATION: FMPS (TSI 3091); APS (TSI 3321); CPC (TSI 3007); thermophoretic precipitator (TP, Fraunhofer Institute of Toxicology, Germany) and electrostatic precipitator (ESP, courtesy of Dr. A Miller, Spokane Laboratory, NIOSH, WV) for TEM sample collection; sampling of respirable fibers (NIOSH method 7400); TSI Dust Trak

# VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 1

Side 1 av 9

## Undersøkelse av HMS-utfordringer med nanomaterialer/nanopartikler i norske virksomheters arbeidsmiljø

Formålet med denne spørreundersøkelsen er å undersøke hvilke HMS-utfordringer nanomaterialer/nanopartikler utgjør for norske virksomheters arbeidsmiljø. Datamaterialet vil bli brukt i undertegnedes mastergradsoppgave i helse, miljø og sikkerhet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Det er frivillig å delta, og alle opplysninger vil bli behandlet konfidensielt. Resultatene vil bli presentert slik at ingen enkeltpersoner eller -bedrifter kan gjenkjennes. Datamaterialet vil bli anonymisert ved prosjektslutt, senest ved utgangen av 2015.

Definisjonen av *nanomaterialer* er at minst én dimensjon er mellom 1 og 100 nanometer (nm). For *nanopartikler* er 2 eller 3 dimensjoner mellom 1 og 100 nm.

Det er *fremstilte nanomaterialer/nanopartikler og -produkter* som er av interesse for denne undersøkelsen. Ultrafine partikler som sveiserøyk og dieseleksos omfattes ikke.

Vennligst besvar alle spørsmålene i én økt - bryter du av underveis, må du starte på nytt. Du samtykker i å delta i undersøkelsen ved å svare på spørsmålene og sende dem inn ved å klikke på «Ferdig» på siste side. Vi regner med at det tar ca 15-20 minutter å svare.

Takk for at du er villig til å delta!

Andreas Aune  
mastergradsstudent

Rikke Bramming Jørgensen  
førsteamanuensis, veileder  
Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse, NTNU

1. Hvis du vil, kan du få mastergradsoppgaven tilsendt når den er ferdig. Ønsker du dette, skriver du e-post adressen din i feltet nedenfor. NB: E-postadressen vil *bare* bli brukt til utsending av mastergradsoppgaven, og den vil bli skilt ut fra datamaterialet før analysearbeidet starter.

## VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 2

Side 2 av 9

**2. Produseres, importeres, brukes eller bearbeides nanomaterialer/nanopartikler i virksomheten, eller er det planlagt i fremtiden?**

- Ja, det produseres, importeres, brukes eller bearbeides i dag
- Det er planlagt i fremtiden
- Nei

**3. Hvorfor er ikke nanomaterialer/nanopartikler planlagt produsert, importert, brukt eller bearbeidet i fremtiden?**

- Ikke relevant
- Teknologisk vanskelig
- For dyrt/kostbart
- Uklare HMS-aspekter (For eksempel: opplevelse av mer usikkerhet ved å introdusere nanopartikler/nanomaterialer i arbeidsmiljøet)
- Uklart hvordan markedet vil ta imot nanomaterialer/nanopartikler eller -produkter
- Annet (vennligst spesifiser)

[Tilbake](#)

[Neste](#)

## VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 3

Side 3 av 9

**4. Hvilken bransje hører virksomheten til?**

- Forskning og utvikling (inkludert høyskole/universitet)  
 Annet (vennligst spesifiser)

**5. Hva er bruksområde eller tenkt bruksområde for nanomaterialene/nanopartiklene?**

**6. Hvilken stilling har du i virksomheten?**

[Tilbake](#)

[Neste](#)

## VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 4

### 7. Hvilke nanomaterialer/nanopartikler finnes, eller er planlagt i virksomheten?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante.

- Karbon black
- Karbon nanorør/fiber/tråd
- Karbon nanokjegler
- Titandioksid
- Sinkoksid
- Nikkeloksid
- Aluminiumoksid
- Manganoksid
- Krom(III)oksid
- Silikat
- Jern
- Sølv
- Gull
- Andre metallpulver
- Andre uorganiske fargepigmenter
- Organiske fargepigmenter
- Polymere
- Vitaminer
- Kvanteprikker/semikonduktorer
- Fullerener
- Annet (vennligst spesifiser)

[Tilbake](#)

[Neste](#)

## VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 5

### 8. Hvilken form er nanomaterialene/nanopartiklene i?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante.

- Pulver
- Dispergert i væske
- Kompositt
- Filmer
- Annet (vennligst spesifiser)

### 9. Hvilke størrelser er partiklene i?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante

- < 20 nm
- 20 - 50 nm
- 51 - 100 nm
- Uspesifisert < 100 nm
- Ukjent

### 10. På hvilken måte er nanomaterialer/nanopartikler i bruk?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante.

- Fremstilt/produksjon
- Importert
- Brukt i produksjon
- Bearbeidet
- Annet (vennligst spesifiser)

### 11. Hvor mye nanomaterialer/nanopartikler i fast form brukes/produseres/bearbeides/importeres per år?

Angi svaret i antall kg. Desimaler må angis med punktum.



## VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 6

**16. Inneholder sikkerhetsdatablad informasjon om nanomaterialer/nanopartikler?**

- Ja
- Nei
- Vet ikke

**17. Inneholder noen sikkerhetsdatablader eksponeringsscenarier for nanomaterialer/nanopartikler?**

- Ikke relevant
- Kjenner ikke til begrepet
- Ja
- Nei

**18. Skulle du ønske at de inneholdt eksponeringsscenarier for nanomaterialer/nanopartikler?**

- Ja
- Nei
- Vet ikke

## VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 7

### 19. Er det noen arbeidsoppgaver som kan føre til mer eksponering enn andre?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante.

- Oppveiling/utveiling
- Vedlikeholdsarbeid
- Rengjøringsarbeid (f.eks fjerning av materialrester i utstyr)
- Lekkasje/søl fra prosesser/utstyr
- Fylling av nanopartikler/nanomaterialer i prosessutstyr
- Prøvetaking (f.eks. til kvalitetskontroll)
- Tapping/utslipp til produktbeholdere
- Pakking av material for frakt (ferdigprodukt)
- Bytting av filter på støvoppsamlingsutstyr/støvsugere
- Transport av produktbeholdere/produkt fra et prosesstrinn til neste prosesstrinn
- Videre prosessering av produkter som inneholder nanopartikler/nanomaterialer
- Påføring med spray/bruk av sprayprodukter
- Overflatebehandling
- Ingen spesielle
- Annet (vennligst spesifiser)

### 20. Hvilke tiltak er iverksatt for å redusere eksponering for nanomaterialer/nanopartikler?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante.

- Identifisering av prosesser og arbeidsoppgaver der arbeidere kan være eksponert
- Bestemt/avklart eksponeringsveier for nanomaterialer/nanopartikler (inhalasjon/svelg/hud)
- Bruk av tiltak for eksponeringskontroll (eliminasjon, substitusjon, tekniske tiltak, administrative tiltak, personlig verneutstyr)
- Vedlikehold av tekniske tiltak (f.eks. systemer for støvoppsamling)
- Eksponeringsovervåking/monitorering
- Utarbeidet prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer/nanopartikler
- Systematisk gjennomgang og oppdatering av prosedyrer for sikker håndtering
- Trening og opplæring av ansatte
- Evaluering av nye prosesser/prosedyrer og mulige farer
- Prosedyrer for opprydding av søl
- Avfallshåndtering
- Prosedyrer for rengjøring av arbeidslokaler/utstyr/flater
- Ingen spesielle tiltak
- Annet (vennligst spesifiser)

## VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 8

### 21. Hvilke tiltake er vurdert for å redusere eksponering for nanomaterialer/nanopartikler?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante.

- Identifisering av prosesser og arbeidsoppgaver der arbeidere kan være eksponert
- Bestemt/avklart eksponeringsveier for nanomaterialer/nanopartikler (inhalasjon/svelg/hud)
- Bruk av tiltak for eksponeringskontroll (eliminasjon, substitusjon, tekniske tiltak, administrative tiltak, personlig verneutstyr)
- Vedlikehold av tekniske tiltak (f.eks. systemer for støvoppsamling)
- Eksponeringsovervåking/monitorering
- Utarbeidet prosedyrer for sikker håndtering av nanomaterialer/nanopartikler
- Systematisk gjennomgang og oppdatering av prosedyrer for sikker håndtering
- Trening og opplæring av ansatte
- Evaluering av nye prosesser/prosedyrer og mulige farer
- Prosedyrer for opprydding av søl
- Avfallshåndtering
- Prosedyrer for rengjøring av arbeidslokaler/utstyr/flater
- Ingen spesielle tiltak
- Annet (vennligst spesifiser)

### 22. Brukes personlig verneutstyr ved arbeid i virksomheten som ikke omfatter nanomaterialer/nanopartikler?

- Ja
- Nei
- Ikke relevant

### 23. Brukes personlig verneutstyr ved arbeid med nanomaterialer/nanopartikler?

- Ja
- Nei

### 24. Hva slags personlig verneutstyr brukes?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante.

- Hansker
- To lag med hansker (én type mot nanomaterialer/nanopartikler og én type mot f.eks. øvrige kjemikalier)
- Heldekkende tøy
- Masker/briller/visir
- Frisklufttilførsel
- Støvmasker med minst P3 eller HEPA-filter
- Støvmasker med P1/P2-filter
- Annet (vennligst spesifiser)



## VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 10

### 27. Brukes noen av følgende verktøy/metoder til å risikovurdere nanomaterialer/nanopartikler i virksomheten?

Svaralternativene angir i hvilken grad verktøyet/metoden brukes i en konkret risikovurdering.

	I svært					
	Nei	liten grad	I liten grad	I noen grad	I stor grad	I veldig stor grad
Trygg Håndtering av Nanomaterialer (utgitt av arbeidstilsynet)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Stoffenmanager Nano	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Swiss Precautionary Matrix	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
IVAM Guidance	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SAFENANO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Control Banding (CB) Nanotool	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
NanoSafer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ANSES Control Banding tool for nanomaterials	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Workplace Health and Safety Queensland: nanomaterial control banding tool worksheet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
GoodNanoGuide (GNG)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nanorama - E-Learning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
NanoRiskCat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### 28. Hvis ingen av ovennevnte verktøy (spørsmål 26/27) brukes til å risikovurdere nanomaterialer/nanopartikler, hvilke verktøy/metoder bruker virksomheten til å risikovurdere nanomaterialer/nanopartikler?

- Ikke relevant
- Samme som for andre kjemikalier
- Annet (vennligst spesifiser)

### 29. Hvis virksomheten har erfaring med flere verktøy/metoder for risikovurdering. Hvorfor brukes det valgte verktøy/metode i stedet for de andre?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante.

- Ikke relevant
- Det er tilgjengelig på norsk
- Enklere å bruke
- Mindre tidkrevende
- Det kan gjennomføres på nettet
- Annet (vennligst spesifiser)

## VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 11

### 30. Ved risikovurdering av nanomaterialer/nanopartikler: er det brukt informasjon om større tilsvarende/lignende kjemikalier?

Dvs. kjemikalier som er større enn nanomaterialer/nanopartikler (> 100 nanometer).

- Ikke relevant
- Ja
- Nei

### 31. Hvordan opplyses/opplæres ansatte om potensielle helseeffekter som følge av eksponering for nanomaterialer/nanopartikler og hvordan de trygt kan håndteres?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante.

- Kurs/seminarer
- Oppslagsverk/brosjyrer
- Diskusjoner/møter
- Det gjennomføres ikke opplæring spesifikt om nanopartikler/nanomaterialer
- Annet (vennligst spesifiser)

### 32. Blir ansatte som kan være eksponert for nanomaterialer/nanopartikler på arbeidsplassen tilbudt opplæring av andre aktører hvis det ikke foregår intern opplæring?

- Ja
- Nei

### 33. Hvordan innhentes informasjon/kunnskap om HMS-aspekter ved nanomaterialer/nanopartikler?

Flere svar kan velges. Hak av alle relevante.

- Sikkerhetsdatablader
- Merking/etiketter (piktogrammer/faremerking)
- Interne retningslinjer/veiledninger
- Lokale HMS-grupper/BHT
- Konsulenter/rådgivere
- Veiledninger og anbefalinger fra arbeidstilsynet og lignende instanser
- Forskningslitteratur
- Annet (vennligst spesifiser)



## VEDLEGG 5: SPØRREUNDERSØKELSE DEL 13

Oppeves forholdet mellom HMS-aspekter ved nanomaterialer/nanopartikler og fokus på utvikling/produksjon/bruk av nanomaterialer/nanopartikler balansert?

Oppeves nanomaterialer/nanopartikler som et konkurransefortrinn for virksomheten?

Er HMS-aspekter ved nanomaterialer/nanopartikler noe som tas hensyn til ved utvikling/innkjøp av produksjonslinjer/produkter?

Er informasjon om hvordan virksomheten kan håndtere HMS-aspekter ved nanomaterialer/nanopartikler tilgjengelig?

Arbeidstilsynet har en svartjeneste som bistår i spørsmål om arbeidsmiljø og HMS. I hvilken grad benyttes dette?

Produktregisteret har en frivilling ordning for registrering av nanomaterialer/nanopartikler eller produkter som inneholder dette. Er dette noe virksomheten benytter seg av?



