

8. Vurdering af sikkerhedsniveauer (NanoSafer)

På grund af usikkerheden omkring nanopartiklers eventuelle sundhedseffekter er der de senere år udviklet nye præliminære metoder og modeller til at lave vurderinger af partiklernes toksikologiske effekt og risiciene for eksponering (90; 91; 92; 93) samt 'god praksis' manualer (94; 31). Flere af modellerne har dog den svaghed, at den mulige sundhedsfare vurderes ud fra en række parametre, der ikke er umiddelbart tilgængelige. Endvidere kan de eksisterende modeller kun bruges til at identificere aktiviteter med potentiel eksponeringsfare, men ikke eksponeringens egentlige størrelse (95). Derfor foreslår flere af forfatterne også, at der foretages faktiske målinger, når man har identificeret eventuelle problemområder. Det reelle eksponeringsniveau kan estimeres bedre og relativt mere simpelt ved hjælp af matematiske aerosolfysiske modeller end foreslået i de eksisterende modeller (96; 26). Matematisk modellering kræver dog flere detaljer omkring emissionen, den specifikke arbejdsproces, ventilationsforhold, arbejdsrummets størrelse etc.. For at imødekomme udfordringer i tidligere modeller er der i tillæg til dette katalog udviklet et nyt værktøj – NanoSafer.

NanoSafer er en ny beregningsmodel til evaluering af risiciene ved produktion eller håndtering af specifikke syntetiske nanopartikler eller nanopartikeldannende processer. Til forskel fra tidligere metoder, så skalerer NanoSafer eksponeringsfaren i både nærområdet ved processen og det omgivende arbejdsområde i arbejdslokalet. Desuden foretager NanoSafer en toksikologisk vurdering ved at tage udgangspunkt i specifikke fysisk-kemiske parametre samt risikosætninger for de analoge bulk-materialer og skalerer disse effekters relative alvorlighed. Vurderingen bliver således mere situationsbestemt, end det der opnås i de fleste eksisterende værktøjer. Resultaterne vises i et såkaldt kontrol-bånd med anbefaling om påkrævet beskyttelsesniveau.

Tidligere modeller og paradigmer

De tidligere risikovurderingsmodeller omfatter både kvalitative og delvist kvantitative modeller. Genaidy et al. (90) viste, at en kvalitativ metode succesfuldt kunne bruges til at identificere risiciene og prioritere arbejdsmiljøindsatsen i en virksomhed, der producerede karbon nanofibre. Metoden var velegnet til hurtigt at identificere og prioritere specifikke aktiviteter, der skulle forbedres. I denne model skales sundhedsfaren fra ubetydelig til katastrofal baseret på en given eller vurderet værdi. Eksponeringsrisiciene klassificeres efter sandsynligheden for at blive eksponeret eller frekvensen (usandsynlig til ofte). Metoden har udgangspunkt i Standard Practise for System Safety-MIL-STD-882D fra US Department of Defence (DOD) og behandles grafisk på samme måde (Figur 8.1).

Andre risikovurderingsmodeller foretager en skalering af den toksikologiske fare og eksponeringsrisikoen baseret på forskellige parametre, som er tildelt et forudbestemt pointsystem.

Den toksikologiske farevurdering er typisk baseret på fysisk-kemiske fareindikatorer (f.eks. primær partikelstørrelse, form, specifikt overfladeareal, kemisk sammensætning, overfladekemisk reaktivitet, overfladecoating, funktionalisering, opløselighed etc.). Flere af disse indikatorer kræver en række yderligere tidskrævende test af materialerne, end de værdier, der normalt angives i materiale- og sikkerhedsdatablade. I det amerikanske NANOTOOL (92) og det schweiziske Precautionary Matrix (93) kræver nogle af parametrene ekspertanalyser samt parametre, som der

endnu ikke er enighed om, hvordan skal bestemmes. Det drejer sig fx om partiklernes agglomereringsgrad i fysiologiske væsker samt katalytiske eller radikaldannende egenskaber. Denne problematik undgås i BSI's model (14) ved at reducere eksisterende grænseværdier med en faktor afhængig af hvilken type partikel (fibre, opløselig, uopløselig) eller kendt KRAN (Kræft, Reproduktionstoksicitet, Allergi, Neurotoksisk) toksisk effekt bulkmaterialet har.

Figur 8.1: Risikoklassificering efter US DOD Mishap risk assessment values (US-DOD, 2000)

Sundhedsmæssig alvorlighed	Risiko for Eksponering				
	Ofte $P \geq 10^{-1}$	Af og til $10^{-2} < P < 10^{-1}$	Nogle gange $10^{-3} < P < 10^{-2}$	Sjældent $10^{-6} < P < 10^{-3}$	Usandsynlig $P < 10^{-6}$
Katastrofal	1	1	2	3	3
Kritisk	1	2	3	3	4
Marginal	2	3	3	4	4
Ubetydelig	4	4	4	4	5

Figur 8.1. Risikoniveauerne på 1 til 3 håndteres først og løses med metoder til hurtig forbedring. Risikoniveauer på mindre end 3 løses på længere sigt, når der findes mere længerevarende løsninger.

Bortset fra den kvalitative model præsenteret af Genaidy et al. (90), så estimerer de eksisterende modeller potentielle eksponeringsfarer ud fra kombinationer af forskellige eksponeringsindikatorer. Indikatorerne er bl.a. oplysninger om hvilken type produkt, der anvendes (pulver, dispergering, indstøbt i matrix mm), graden af observerede støvtåger i arbejdslokalet (eller for pulvere, deres støvningsindeks), mængden af produkt, samt varigheden og frekvensen af arbejdet og antallet af arbejdere, der befinder sig i området eller udfører opgaven (92; 91; 93). Det reelle eksponeringsniveau afhænger dog i høj grad også af aktivitetstype, reel kildestyrke (f.eks. ved pulverhåndtering, lækage fra online produktion eller spray), "masse-flow", frekvens, og eksponeringstid. Höck et al (93) valgte et yderligere detaljeniveau og efterspørger et estimat eller en måling for at beregne den daglige og værst tænkelige partikeldosis. Selvom en simpel metode til beregning af inhaleret dosis er givet, så er der intet forslag til, hvordan man estimerer eksponeringsniveauet. Beregning af den faktisk inhalerede dosis kræver dog også kendskab til en række forhold som partikelstørrelsesfordelinger, støvkoncentrationer, åndedrætsvolumen, åndedrætsfrekvens samt anvendelse af værnemidler og deres effektivitet.

NanoSafer

NanoSafer er udviklet for at gøre det muligt at lave en forholdsvis let og systematiseret vurdering af de potentielle risici, som der kan være ved produktion og anvendelse af nanopartikler samt udsættelse for nanopartikler, der frigives under bearbejdning af nanopartikelholdige materialer. Modellen anvender informationer om materialets primære fysisk-kemiske og toksikologiske egenskaber, samt informationer om den specifikke arbejdsproces (figur 8.2). NanoSafer kan derfor betegnes som et aktivitetsrelateret risiko-evalueringssystem.

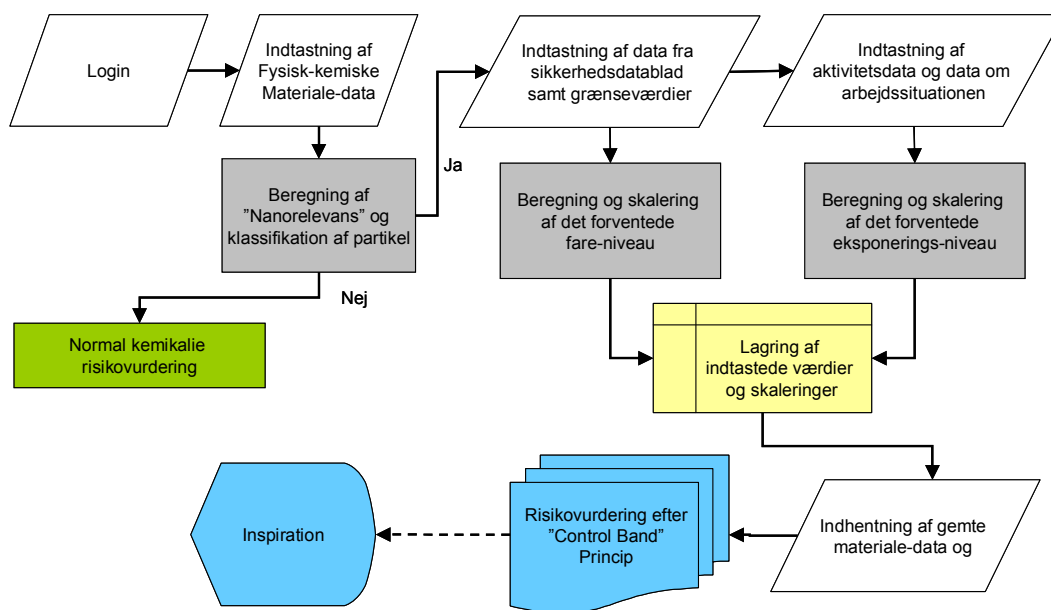
NanoSafer kan anvendes til at evaluere nanopartiklers toksiske egenskaber og eksponeringen for luftbåren nanopartikelstøv i specifikke situationer, hvor man anvender nanopartikelpulver, fremstiller luftbårne nanopartikler, eller danner andet støv med nanopartikler.

NanoSafer kræver indtastning af data, der normalt er angivet i produkt- og sikkerhedsdatablade. Hvis ikke dataene forekommer her, kan fysisk-kemiske eller generelle toksikologiske data for bulkmaterialerne samt informationer for de anførte CAS og EINECS numre bruges til at supplere (brug fx Handbook of Chemistry and Physics (97)). Det kan være nødvendigt at købe enkelte analyser kommercielt, men estimater er også mulige.

Faren ved nanopartiklerne skaleres forskelligt efter de toksiske effekter (r-sætninger) afhængig af effektens alvorlighed. Dvs. at der eksempelvis skelnes mellem om stoffet giver irritation (relativ lav risiko), eller om det giver kræft (høj risiko). R-sætninger og toksikologiske data i sikkerhedsbladet er ofte baseret på referencer til ækvivalente bulkmaterialer og ikke på test af de syntetiske nanopartikler. Det er kendt, at dette behæfter sikkerhedsdatabladene med usikkerhed. Hypotesen bag NanoSafers vurdering er, at de toksikologiske effekter er tilsvarende eller værre end effekterne for sammenlignelige bulkmaterialer. Derfor skaleres nanopartiklernes toksikologiske effekter og den tilrådelige eksponering konservativt i forhold til bulkmaterialet. Desuden tages der højde for, om nanopartiklen er funktionaliseret (eller kemisk overflademodificeret), som ligeledes bidrager til en konservativ skalering.

Eksponeringsvurderingen skaleres som noget nyt både den akutte (15 min) og arbejdsdagens (8-timers) respirable eksponering i nærområdet ved kilden og i det generelle arbejdsområde (baggrund). Til dette anvender NanoSafer simple informationer om produktet, emissionsraten, arbejdssituationen, arbejdslokalet og ventilationsforhold. Modellen inddrager dog ikke aerosoldynamiske processer (koagulering, agglomerering, deponering, re-suspension etc.), selvom disse faktorer kan ændre partikelstørrelsesfordelingen og eksponeringsniveauet i den faktiske indåndingszone markant (Schneider et al., accepted). Ved at undlade partikelagglomerering og deponering foretager modellen en konservativ vurdering af eksponeringsfaren.

Figur 8.2: Opbygning af NanoSafer



Figur 8.2: Flowdiagram som viser den principielle opbygning af NanoSafer.

Resultatet fra risikoevalueringen præsenteres i et såkaldt kontrolbånd (fra engelsk; "Control Band"), hvor det toksikologiske fareniveau er skaleret fra 0 til 1, og eksponeringsniveauet er skaleret fra 0 til ∞ ; uendelig (Fig. 8.4).

"Control Band" systemet er ikke nyt. Metoden anvendes ofte i risikovurdering og stammer bl.a. fra en Britisk metode "COSHH" (Control of Substances Hazardous to Health Essentials), der oprindeligt blev udviklet til primær vurdering af kemikalier (98). Princippet går også igen i flere af de hidtil foreslåede risikovurderingsmodeller til nanopartikler. Baseret på forskellige kriterier, gives det tilsyneladende toksikologiske fareniveau og eksponeringsfaren hver en score, som plottes ind i diagrammet, og derved finder det umiddelbart anbefalede sikkerhedsniveau.

Resultatet i NanoSafer præsenteres som en vurdering af arbejdssituationen uden teknisk beskyttelsesforanstaltning, men med forbehold for fortynding ved diffusion og effekter af den generelle ventilation. Modellen kan også anvendes til at vurdere effekten af tekniske beskyttelsesforanstaltninger ved at modificere emissionsraten eller støvningsindekset efterfølgende.

Figur 8.3: Definition af kontrolbånd og klassifikationsintervaller i NanoSafer

Toksicitet Eksposering	Toksicitet			
	0,76 - 1,00	0,51 - 0,75	0,26 - 0,50	0,00 - 0,25
>1,00	RL5	RL5	RL5	RL5
0,51 - 1,00	RL5	RL5	RL4	RL4
0,26 - 0,50	RL5	RL4	RL4	RL3
0,11 - 0,25	RL4	RL4	RL3	RL2
< 0,10	RL4	RL3	RL2	RL1

RL5: Meget høj toksicitet og/eller risiko for moderat til meget høj eksponering, Arbejdet udføres i stinkskab, indeluk proces el. lign. Friskluftforsynede respiratorer eller høj-effektive filtermasker (P3 eller bedre) kan bruges som supplement og til håndtering af uheld. Søg evt. ekspertbistand.

RL4: Høj toksicitet og/eller risiko for høj eksponering. Anvend højeffektivt udsug, udsugningsboks, stinkskab, handskeboks el. lign. Hav åndedrætsværn (P3 klasse eller bedre) i nærheden i tilfælde af uheld.

RL3: Moderat toksicitet og/eller risiko for moderat eksponering. Arbejdet udføres i udsugningsboks eller med god lokal ventilation kombination med personligt åndedrætsværn (P3-filterklasse eller bedre). Hav personligt åndedrætsværn tilstede i tilfælde af uheld.

RL2: Lav toksicitet og/eller risiko for lav eksponering. Anvend som minimum lokaludsug, stinkskab mv. Arbejdet udføres evt. i kombination med personligt åndedrætsværn (P3-klasse eller bedre). Hav personligt åndedrætsværn i nærheden i tilfælde af uheld.

RL1: Meget lav toksicitet og risiko for lavt eksponeringsniveau. Niveauet er formodentligt acceptabelt. Arbejdet kan kræve håndtering under udsug, i stinkskab mv. Hav åndedrætsværn (P3 klasse eller bedre) i nærheden i tilfælde af uheld.

Fig. 8.3. Definition af kontrolbånd og klassifikationsintervallerne anvendt i NanoSafer. RL-værdierne angiver forskellige risikobånd (Risk Level) med stigende beskyttelsesniveau fra RL1 til RL5.

Parametre til identifikation af produkt og fysisk-kemiske materialedata

Tabel 8.1 viser den komplette liste over indikatorer og fysisk-kemiske indtastningsparametre, der indtastes i modulets første del (Materialer). De forskellige fysisk-kemiske materialedata indgår som værdier til vurdering af stoffets nanorelevans samt til skalering af den toksikologiske fare og eksponeringsrisiciene. De første informationer (spørgsmål 1-4; Tabel 8.1) omhandler identifikation af materialet og omfatter indtastning af produkt navn, producent, CAS nr. og EINICS nummer. Indtastning af disse data er valgfrie, men anbefales for let at kunne finde og identificere de materialer, som man har tastet ind. Resten af informationerne gennemgås herefter og anvendes enten til at bestemme stoffets nano-relevans og/eller stoffets fare- og eksponeringsniveau.

Er materialet navngivet med et af følgende ord?

Dette spørgsmål anvendes som en af parametrene til bestemmelse af stoffets "nano-relevans", hvilket er en automatisk proces, hvori det vurderes om stoffet er et nanopartikelstof eller hellere skal vurderes konventionelt. De udvalgte ord er ofte anvendt til at beskrive nanopartikelkemikalier eller produkter, som indeholder nanopartikler. Det er klart, at ordlisten ikke er altomfavnende, og man skal være opmærksom på, at der kan være danske oversættelser og andre udenlandske navne udover de engelske betegnelser, som er anført i NanoSafer.

Er partiklerne overflademodificeret (funktionaliseret)?

Dernæst følger et spørgsmål, om partiklerne er overflademodificeret. I moderne pulver- og nanoteknologi, så er partiklerne ofte funktionaliseret ved en kemisk modificering af overfladen. Modificeringen af overfladen kan både være organisk og uorganisk samt bestå af et fysisk lag eller molekylær dækning af overfladen uden kovalente bindinger. Funktionalisering er en molekylær modifikation af partikeloverfladen og typisk betegnet ved at være kovalent bundet til overfladen. Partiklers overflade modificeres typisk for enten at beskytte partiklen eller materialet omkring partiklen, eller for at partiklerne bedre kan blandes op i en bestemt matrix, som f.eks. maling og plast. Udfordringen er, at funktionaliseringen af partikler komplicerer risikovurderingen, og toksiciteten af overfladebehandlede partikler er mindre forudsigelig (se også kapitel 4). Funktionalisering anvendes som en konservativ parameter, der øger materialets toksikologiske risikovurdering.

Partikelstørrelse?

Størrelsen af de primære nanopartikler er en af de vigtigste indikatorer på, om et stof er en nanopartikel (17). I NanoSafer anvendes informationen om partikelstørrelse bl.a. til at verificere, om materialet består af nanopartikler, og til at klassificere partiklernes form (nanopartikel, fiber, nanoflake eller irregulær form). Ved indtastning af partikelstørrelsen skal man være på vagt, da de kan være angivet i forskellige mål (antal, masse eller volumen) for både primærpartikler og pulver agglomerater/aggregater. I NanoSafer angives den gennemsnitlige værdi i antalsstørrelsesværdien, fysiske mål eller den gennemsnitlige krystallitstørrelse. Den gennemsnitlige krystallitstørrelse bestemmes fx ved elektronmikroskopi eller pulver røntgendiffraktometri. Hvis muligt anvendes data om længste, mellemste og korteste akser. Hvis den primære partikelstørrelse er ukendt, indtastes værdien 100 nm.

Tabel 8.1. Identifikation af produkt og fysisk-kemiske materiale data

Information	Muligheder	Eksempel på indtastning
1. Materiale (produktnavn)	Indtast	Hombikat UV100
2. Producent	Indtast	Sachtleben
3. CAS nr.	Indtast	Valgfrit
4. EINECS nr.	Indtast	Valgfrit
5. Er materialet navngivet med et af følgende ord? Nano, Dot, Cluster, Fullerene, Fulleroid, Fullerol, Kvante/Quantum, Organoflake, Organoclay, Rør/Tube, Dendrimer, Ultrafine	Ja / Nej	Nej
6. Er materialet overflademodificeret (funktionaliseret)?	Ja / Nej	Nej
7. Partikelstørrelse (nm) - Korteste dimension - Mellemste dimension - Længste dimension	Indtast Indtast Indtast	10 10 10
8. Er materialet opløseligt i vand - Vandopløseligt - Svagt eller Uopløseligt i vand	Indtast	Uopløseligt (0,1 mg/ml)
9. Hvad er materialets specifikke densitet (g/cm ³)	Indtast	3,9
10. Hvad er materialets specifikke overfladeareal? (m ² /g)	Indtast eller foretag beregning	300
11. Grænseværdi ifølge arbejdstilsynets grænseværdiliste (mg/m ³)?	Indtast	5
12. Hvad er materialets støvningsindeks for respirabelt støv? - Målt værdi - Skaleret værdi (EN15051) i) Meget Lav (< 10 mg/kg) ii) Lav (10 – 50 mg/kg) iii) Moderat (< 50 – 250 mg/kg) iv) Høj (> 250 mg/kg)	Indtast Vælg niveau	- - - - - Høj

Hvad er materialets specifikke densitet?

Materialets specifikke densitet (δ) angives i g/cm³. Her skal man være opmærksom på, at man ikke indtaster partiklernes bulk densitet eller "pour density". Den specifikke densitet kaldes også massefylden. Den relative densitet er et udtryk for et materiales stoftæthed uden porer og hulrum. Bulk og "pour" densitet er et udtryk for, hvor meget et pulver fylder i et bæger - altså masse per pulver volumen. Eksempelvis er 'Hombikat UV 100's specifikke densitet 3,9 g/cm³, mens bulk densiteten er 0,3 – 0,4 g/cm³. Densiteten anvendes i beregninger af overfladeareal og skalering af eksponeringsscoren. En forkert indtastning her vil derfor få store følger for den efterfølgende skalering af eksponeringsfaren (se senere under skalering af eksponeringsfare).

Er materialet opløseligt i vand?

Stoffets opløselighed indgår i vurderingen af dets "nano-relevans" og potentielle toksiske effekt. I sikkerhedsdatablade vil man oftest kun blive informeret, om stoffet er vandopløseligt, delvist opløseligt eller ikke vandopløseligt. I NanoSafer er der mulighed for at afkrydse, om stoffet er enten vandopløseligt eller delvist vandopløseligt/uopløseligt. Det anbefales, at vandopløselige stoffer vurderes ved hjælp af en normal risikovurdering. Vi anvender 1 g/L som grænsen mellem et vandopløseligt og delvist vandopløseligt materiale.

Hvad er materialets specifikke overfladeareal?

For partikler og pulvermaterialer angives et specifikt overfladeareal, som er et udtryk for den netto-overflade partiklerne eller et pulver har per masseenhed (den specifikke densitet). For nanopartikler er værdien meget ofte nævnt i materialedataark og anses som en vigtig parameter til at identificere nanorelevans for pulverformige materialer (17). Adskillige forskere har fundet korrelationer mellem toksiske effekter i forsøgsdyr og lungedosis konverteret til det specifikke overfladeareal per lungemasse eller arealenhed. Hvis det specifikke overfladeareal ikke er givet, så kan det let analyseres kommercielt ved hjælp af nitrogen adsorptionsmetoden, BET (Brünauer, Emmett, Teller) og andre metoder. Hvis ikke der foreligger data, så kan man estimere det specifikke overfladeareal (SA_{nano} i m^2/g) ved hjælp af en simpel formel baseret på primærpartiklernes størrelse (d i nm) og materialers specifikke densitet (δ , i g/cm^3):

$$SA_{\text{nano}} = \frac{6000}{d \cdot \delta} \quad \text{F1)}$$

Hvad er grænseværdien ifølge Arbejdstilsynets grænseværdiliste?

Grænseværdien for et stof eller materiale er normalt angivet i sikkerhedsdatabladene. Selvom det er et krav, kan man i visse tilfælde være udsat for, at de nationale grænseværdier ikke er ført ind. For almindelige ikke-toksiske stoffer er grænseværdien 5 mg/m^3 for respirabelt inert mineralsk støv og 3 mg/m^3 for organisk støv. Man bør altid undersøge, om der er en grænseværdi for stoffet som grundstof, forbindelse eller molekyle, før man anvender værdierne for generelt støv. Grænseværdien for det analoge bulkmateriale anvendes til at vurdere fare-niveauet og det relative eksponeringsniveau.

Hvad er materialets støvningsindeks for respirabelt støv?

Et pulvermateriales støvningsindeks kan være påført sikkerhedsdatablad. Det er dog sjældent, da det ikke er obligatorisk. Disse data begynder dog at dukke op og kan i visse tilfælde rekvireres hos leverandørerne. Støvningsindekset er en måde at vurdere den potentielle eksponeringsfare og beskriver grundlæggende hvor meget støv, der kan frigives fra et pulver under en standardiseret påvirkning. Derfor kan det være en hjælp at få foretaget denne test, hvis data ikke forefindes. Værdien angives i mg støv per kg for en arbejdsmiljørelevant størrelsesfraktion (her anvendes respirabelt støv). Der findes flere forskellige måder at bestemme støvningsindeks på. Der foreligger en EN-standard (EN15051), hvor indekset kan bestemmes vha. en roterende støvtromle (anvendt i denne model) eller ved et kontinuerligt fald. I NanoSafer er der mulighed for at indtaste et målt støvningsindeks for respirabelt støv eller vælge niveauet ud fra standardværdierne (Meget Lav, Lav, Moderat, Høj). Ved valg ud fra standardværdierne bliver støvningsindekset 75 % af det maksimale niveau i den pågældende klasse og 937,5 mg/kg ved høj støvningsindeks (tabel 8.1). Hvis der ikke foreligger data, anbefales det at vælge kategorien 'Høj støvningsindeks'.

Vurdering af nanorelevans og klassifikation af nanopartiklerne

Efter denne første indtastning vurderes materialets nanorelevans for at udskille stoffer, som formodes at kunne vurderes med traditionelle risikovurderingsmetoder (figur 8.1). Desuden foretages en klassifikation af partikeltype baseret på partikeldimensionerne. Denne klassifikation anvendes i den toksikologiske vurdering.

Baggrunden for at lave en vurdering af nano-relevans er, at stoffer og produkter kan være lanceret med akronymer eller oplysning om, at de er nanopartikler i henhold til andre definitioner, end dem der er lagt til grund i NanoSafer. Desuden kan der være anvendelsesområder, hvor materialerne eller produkterne, set ud fra et risikosynspunkt, ikke umiddelbart har egenskaber eller karakteristika som nanopartikler. Det kan være, fordi partiklerne er for store i forhold til de anvendte størrelseskriterier for primærpartiklerne, eller at der slet ikke indgår nanopartikler i stoffet eller produktet. Nano-relevansen vurderes ud fra følgende inklusionskriterier.

1. Inklusionskriterium: Produktet eller emissionen skal være benævnt eller associeret med ét eller flere af ordene i spørgsmål 5 eller en af brugeren kendt nano-identifikation. Hvis dette er tilfældet, så har materialet nanorelevans.

Hvis 5) = Ja, så har stoffet nanorelevans F2)
(ja medfører værdi 1; nej medfører værdi 0)

2. Inklusionskriterium: Den mindste eller gennemsnitlige dimension af primærpartiklen skal være mindre end eller lig 200 nm. Selvom den generelle holdning er, at nanopartikelområdet begynder ved 100 nm, så er der manglende dokumentation for, at denne størrelse er korrekt i forhold til risikovurdering af partikler (17). En række toksikologiske undersøgelser, tyder på, at partikler generelt får en større evne til at trænge ind og igennem celler og cellebarrierer, når de er mindre end ca. 200 nm (99). Desuden begynder deponeringseffektiviteten for inhalerede partikler at stige med faldende partikelstørrelse i dette størrelsesområde. Höck et al. (93) valgte en højere grænse på 500 nm i deres "Swiss Precautionary Matrix". Alle andre eksisterende risikovurderingsmodeller anvender 100 nm som grænsen til nanopartikelområdet. SCENIHR (17) foreslår en trinvis vurdering af nano-relevans fra f.eks. 500 nm til 100 nm. Valget af grænsen ved 200 nm gør det muligt i et vist omfang at inkludere delvist aggregerede primærpartikler samt simpel skalering af eksponeringen, så den allerede har effekt ved 100 nm (se senere).

Hvis 7a) \leq 200 nm, så har stoffet nanorelevans F3)
(ja medfører værdi 1; nej medfører værdi 0)

Hvis 7b) \leq 200 nm, så har stoffet nanorelevans F4)
(ja medfører værdi 1; nej medfører værdi 0)

Hvis 7c) \leq 200 nm, så har stoffet nanorelevans F5)
(ja medfører værdi 1; nej medfører værdi 0)

3. Inklusionskriterium: Som diskuteret ovenfor antages det, at stærkt vandopløselige stoffer (> 1 g/L) har den samme toksicitet som bulkmaterialer af samme stof og bør vurderes som sådan. Der kan dog stadig være forskel på den toksiske effekt af stærkt vandopløselige nanopartikler

sammenlignet med mikrometer-store partikler, idet deponeringen i luftvejene ændres med partikelstørrelse.

Hvis 8a = Ja (stoffet er letopløseligt i vand); så har stoffet nanorelevans (ja medfører værdi 0; nej medfører værdi 1) F6)

4. Inklusionskriterium: Det indtastede specifikke overfladeareal for nanomaterialet (SA_{nano}) skal være mindre end eller lig det teoretiske specifikke overfladeareal for stoffet ved en gennemsnitlig partikelstørrelse på 200 nm ($SA_{200\text{nm}}$). Udgangspunktet i dette kriterium er koblet til diskussionen af grænserne for nanopartiklens størrelse. Ved at sætte grænsen ved $SA_{200\text{nm}}$ inkluderer modellen i et vist omfang mindre aggregerede partikler med stærkt reduceret overfladeareal.

f) Hvis 10) $SA_{\text{nano}} \geq SA_{200\text{nm}}$; hvor $SA_{200\text{nm}} = 30 \cdot \frac{1}{\delta}$, har stoffet nanorelevans (ja medfører værdi 1; nej medfører værdi 0) F7)

Beregning af "nano-relevans" for NanoSafer

Den endelige nano-relevans beregnes således, at ét positivt svar på ovenstående kriterier medfører, at partiklen har nano-relevans:

Stoffet har ikke nanorelevans, hvis [(Eq2 + Eq3 + Eq4 + Eq5 + Eq6 + Eq7) = 0] F8)

Stoffet har nanorelevans, hvis [(Eq2 + Eq3 + Eq4 + Eq5 + Eq6 + Eq7) > 0] F9)

Klassifikation af nanopartiklen

I tillæg til analysen af nano-relevans laves en morfologisk (fysisk form) klassifikation af de primære nanopartikler baseret på oplyste dimensioner i input nr. 7. Denne klassifikation kan være en hjælp til at se, om man har indtastet informationerne om primærpartiklernes dimensioner korrekt samt til umiddelbar vurdering, hvis man fx har etableret specielle interne regler for arbejde med fibre, nanorør og nanoflager.

Navngivningen i klassifikation af primærpartiklernes morfologi sker grundlæggende efter ISO's definition af nano-objekter:

Nanopartikel (sfærisk eller equi-dimensional partikel), når (b og c ikke er > 3·a). Dvs. hvor ingen af diametrene er mere end 3 gange længere end den korteste akse). F11)

Nanoflage, når (c > 3·a og c > 3·b). Dvs. den længste diameter er mere end 3 gange længere end de to andre diametre. F12)

Nanofiber eller nano-rør, når c > 3·a og b < 3·a. Dvs. når den længste diameter er mere end 3 gange længere end den korteste akse, og den næstkorteste akse må ikke være mere end 3 gange længere end den korteste) F13)

Nanopartikel med irregulær form, når F11-F13 ikke er sand. F14)

Parametre til identifikation af nanopartiklernes sundhedsrisici

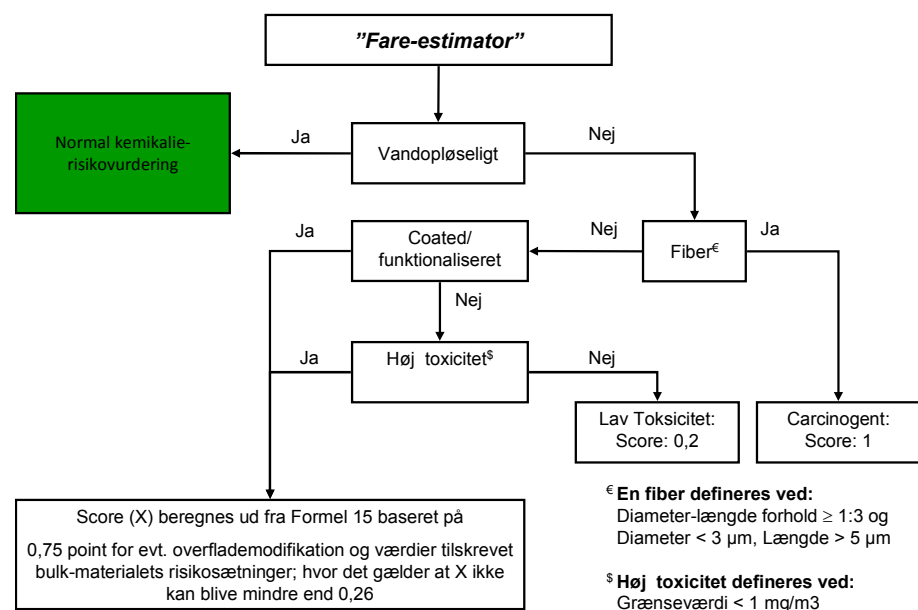
Hvis stoffet godkendes ved vurdering af dets nanorelevans, kan man gå videre og afkrydse de toksikologiske udvalgte risikosætninger fra produktets sikkerhedsdatablad (figur 8.1). Risikoevalueringen baseres dels på bulkmaterialets toksicitet og dels på udvalgte parametre indtastet ovenfor. Et flow-diagram over beregningen er illustreret i Figur 8.3.

Blandt risikosætningerne er udvalgt 28 udfald, som kritiske parametre (tabel 8.2). Indenfor gruppen 'Generel toksicitet' er der udvalgt 16 udfald, mens der er udvalgt 4, 5, 2 og 1 udfald for hhv. kræft, reproduktionstoksicitet, allergi og neurotoksicitet (KRAN).

Beregning og skalering af det potentielle toksikologiske fareniveau

Idet den reelle viden om partikulære nanomaterialers mulige sundhedsskadende egenskaber normalt ikke er kendt, betyder det, at sikkerhedsdatablade kan indeholde usikker eller forkert information. Da brugeren normalt ikke har anden information, så tager NanoSafer dog udgangspunkt i den eksisterende viden om toksikologien for tilsvarende konventionelle stoffer, men supplerer med specifikke fysisk-kemiske data: 1) vandopløselighed, 2) partikeldimensionerne, 3) forholdet mellem længste og korteste akse på partiklerne, 4) information om hvorvidt nanopartiklerne er overfladebehandlede (coated, funktionaliseret), 5) grænseværdien for det konventionelle analoge materiale. Denne beregning ender ud med en score (0 – 1), hvor 1 er den maksimale værdi for et farligt materiale. Proceduren for fare-estimeringen er illustreret i Figur 8.4 og forklaret herefter.

Figur 8.5: Flowdiagram til evaluering og skalering af det toksikologiske fareniveau



Figur 8.5: Flowdiagram til evaluering og skalering af det toksikologiske fareniveau (0 til 1) ved luftbåren eksponering for specifikke nanopartikler.

1. Partiklens form

Det er sandsynligt, at partiklens form er af betydning for toksiciteten, om end viden på området er begrænset. Fibre er dog et tydeligt eksempel på formens betydning for toksicitet (se kapitel 4). Arbejdere udsat for lange, tynde asbestfibre har en stærkt øget risiko for udvikling af den

ellers meget sjældne lungekræftform, mesotheliom. Karbon nanorør har en form, som er sammenlignelig med asbestfibre (se kapitel 4). Studier af langtidseffekter af karbon nanorør i gnavere antyder, at visse typer af kulstof nanorør kan have potentiale til at være lige så farlige som asbestfibre. Man kan formode at andre aflange strukturer, så som persistente nanoplader har samme potentiale. Denne model tildeler derfor produkter med stærkt aflange fiber- og pladestrukturer toksikologiscoren 1 (højeste værdi), hvis de lever op til fiber-paradigmet iht. Arbejdstilsynets definition (Grænseværdier for stoffer og materialer, AT-vejledning C.0.1). En partikel defineres således til at have fiber-form, hvis den har et længde-bredde-forhold, der er større end 3 samtidig med, at længden er større end 5 µm, og den korteste diameter-bredde er mindre end 3 µm.

2. Overflademodifikation (funktionalisering)

Fleere studier antyder, at det er umiddelbart umuligt at forudsige, hvilken indflydelse overflade-coating eller funktionalisering har på nanopartiklers toksiske effekter. Toksiciteten kan både reduceres og øges. Grundet den store usikkerhed om effekten af funktionalisering klassificerer NanoSafer overflademodificerede (funktionaliserede) nanopartikler som potentielt højtoksiske med scoren 0,76 (hvor 1 er højeste værdi). Man bør kontakte leverandør for at få oplysning om materialet eller få specialistvurderet overfladebehandlingen og det komplekse materiales egentlige toksicitet.

3. Toksicitet vurderet ud fra stoffets grænseværdi

Bulkmaterialets grænseværdi, hvis det findes, fortæller noget om bulkmaterialets generelle farlighed og anvendes i modellen til at klassificere produkter i to grupper:

- Relativt lavtoksiske stoffer, som har en grænseværdi $> 1 \text{ mg/m}^3$, tildeles scoren 0,2 ud af 1
- Stoffer med grænseværdi $< 1 \text{ mg/m}^3$ er relativt højtoksiske og tildeles en score på baggrund af bulkmaterialets R-sætninger (tabel 8.2) og går videre til parameter nr. 4.

4. Bulkmateriallets R-sætninger

På baggrund af produktets risikosætninger tildeles værdier indenfor kategorierne generel toksicitet og KRAN (kræft, reprotoxicitet, allergi og neurotoksicitet). Disse værdier indgår i en formel (F15), som munder ud i det endelige toksikologiske fare-indeks for denne kategori. Værdien for denne klasse kan aldrig blive mindre end 0,26 ud af 1, idet grænseværdien er lavere end for gruppen af ikke-toksiske partikler (figur 8.5).

$$\begin{aligned}
 NP_{tox} = & \left[\sum (0,75 \cdot P_{coat})_0 + (P_{carc} \cdot (1 - P_{coat}))_i + (P_{repro} \cdot (1 - P_0 - P_i))_{ii} + \right. & \text{F15)} \\
 & (P_{astma} + (1 - P_0 - P_i - P_{ii}))_{iii} + (P_{neuro} \cdot (1 - P_0 - P_i - P_{ii} - P_{iii}))_{iv} + \\
 & \left. (1 - (P_0 - P_i - P_{ii} - P_{iii} - P_{iv}))_v + (P_{general} \cdot (1 - P_0 - P_i - P_{ii} - P_{iii} - P_{iv} - P_v)) \right] \mid NP_{tox} \geq 0,26
 \end{aligned}$$

Tabel 8.2. Risikosætninger og score i vurdering af nanopartiklernes toksicitet

Generel Toksicitet	Score	Kræftfremkaldende effekt	Score
R20 Farlig ved indånding	0,3	R40 Mulighed for fremkaldende effekt	1,0
R21 Farlig ved hudkontakt	0,2	R45 Kan fremkalde kræft	1,0
R22 Farlig ved indtagelse	0,1	R46 Kan forårsage arvelige genetiske skader	1,0
R23 Giftig ved indånding	0,6	R49 Kan fremkalde kræft ved indånding	1,0
R24 Giftig ved hudkontakt	0,5		
R25 Giftig ved indtagelse	0,1	Reprotoksicitet	
R26 Meget giftig ved indånding	0,9	R60 Kan skade forplantningsevnen	1,0
R27 Meget giftig ved hudkontakt	0,8	R61 Kan skade barnet under graviditeten	1,0
R28 Meget giftig ved indtagelse	0,1	R62 Mulighed for at skade på forplantningsevnen	1,0
R33 Kan ophobes i kroppen ved gentagen brug	0,9	R63 Mulighed for at skade barnet under graviditeten	1,0
R36 Irriterer øjnene	0,2	R64 Kan skade børn i ammeperioden	1,0
R37 Irriterer åndedrætsorganerne	0,2		
R38 Irriterer huden	0,2	Allergi og overfølsomhed	
R39 Fare for varig skade på helbred	0,9	R42 Kan give overfølsomhed ved indånding	0,5
R48 Alvorlig fare ved længere tids påvirkning	1,0	R43 Kan give overfølsomhed ved kontakt med huden	0,3
R68 Mulighed for varig skade på helbred	0,7		
		Neurotoksicitet	
		R67 Dampe kan give sløvhed og svimmelhed	0,3

Parametre til beregning af eksponeringsfaren

Beregningen af den potentielle eksponeringsfare er baseret på informationer til vurdering af emissionsraten samt kontekstuel information om aktiviteten og arbejdslokalet (dimension og ventilationsforhold) til estimat af den potentielle eksponeringsfare. De nødvendige informationer er opsummeret i tabel 8.3. Systemet kan håndtere en begivenhed med konstant emission og cykliske (gentagne) hændelser af samme proces. Fx hvor mange gange tømmes en palle med 40 sække a 20 kg i løbet af arbejdsdagen, eller hvor mange gange fyldes en tankvogn med 20 tons pulver. Hvis arbejdet kun foretages én gang, så indtastes blot '1' under spørgsmålet: "Hvor mange gange gentages arbejds cyklussen per dag"?

Afhængig af den valgte arbejdsproces, så er der behov for lidt forskellig informationsmængde (tabel 8.3). Der er mulighed for at vælge mellem 1) "Pulverhåndtering" og 2) "Konstant udslip fra kilde" (lækage eller emission fra punktkilde). Hvis der vælges "Pulverhåndtering", så skal der vælges en aktivitets-energi faktor (H_0 til H_5) til justering af støvningsindekset. De definerede aktivitets-energi faktorer er delvist inspireret af kombinerede pulver- og proces-relaterede emissionsfaktorer i det

Hollandske Advanced Reach Tool, ART (100), og dels erfaringer fra laboratorie-studier (kapitel 7) og egne vurderinger. Aktivitets-energi faktorerne skal derfor forstås som et estimat og kan justeres senere, når der foreligger et bedre vurderingsgrundlag.

Table 8.3. Informationer anvendt til at evaluere eksponeringsfaren

Information	Muligheder	Eksempel 1	Eksempel 2
Navngiv proces	Indtastning af navn	Afsækning	Lækage fra samlemuffe
Vælg procestype	1) Pulverhåndtering 2) Konstant udslip fra punktkilde	1) Pulverhåndtering	2) Konstant udslip fra punktkilde
Aktivitets energi-faktor? - H0: Nul energi (fx flytning og transport af rene tønder og plastikbeholdere). - H1: Meget lav energi (fx afvejning af mg pulver med lille laboratorieske). - H2: Lav energi - (fx < 5 cm faldhøjde håndtering af kontaminerede sække) - H3: Moderat energi (f.eks. hælde med 5 - 30 cm faldhøjde, iblanding af pulver i flydende medium). - H4: Høj energi (f.eks. omhældning med > 30 – 100 cm faldhøjde; big-bags, aftapning). - H5: Meget høj energi (f.eks. faldhøjde > 100 cm; tør blanding, tør rengøring med kost eller trykluft, uheld osv.).	Vælg energi-niveau 0 0,10 0,25 0,50 0,80 1,00	- - - H3 - -	NA
Mængde nanopartikelpulver anvendt per cyklus ved arbejdsstationen? (kg)	Indtastning	400 kg	NA
Hvor lang tid tager en cyklus ved arbejdsstationen? (min)	Indtastning	45 min	480 min
Tidsrum imellem hver arbejds cyklus? (min)	Indtastning	60 min	0
Hvor mange gange gentages arbejds cyklussen per dag? (n)	Indtastning	2	1
Angiv mængde per skefuld, sæk, big-bag der håndteres (kg)	Indtastning	20 kg	NA
Angiv hvor lang tid det tager at hælde en skefuld, sæk, big-bag (min)	Indtastning	0,75 min	NA
Arbejdsrummets dimensioner - længde (m) - bredde (m) - højde mellem gulv og luft (m)	Indtastning Indtastning Indtastning	30 m 20 m 8 m	30 m 20 m 8 m
Luftskifte i rummet (n/time)	Indtastning af kendt eller estimeret værdi	10	5
Emissionsrate fra konstant kilde (mg/min)	Indtastning af kendt eller estimeret værdi	NA	5 mg/min

Information om kontekstuelle forhold i arbejdsprocessen anvendes i beregningerne. Dvs. hvor stor en mængde (samlet vægt på palle eller af pulver i beholder) arbejdes der med i hver cyklus, og hvor stor en mængde overflyttes i hver håndtering (f.eks. skefuld, sæk eller big-bag), hvor lang tid tager det osv. (tabel 8.3).

Endelig anvendes primære informationer om arbejdslokalet (dimensioner og luftskifte). Man skal være opmærksom på, at der spørges om det generelle luftskifte i antal totale udskiftninger af arbejdslokalets luft per time. Altså ikke luftskiftet forårsaget af en evt. teknisk beskyttelsesforanstaltning (ex punktsug). Hvis værdien ikke er kendt, kan information og inspiration hentes på Statens Byggeforsknings Institut (<http://www.sbi.dk/br08/6/3/1>).

Hvis der vælges "Konstant udslip fra kilde" efterspørger programmet kun information om, hvor lang tid arbejds cyklussen varer, tidsrum mellem hver arbejds cyklus, hvor mange gange arbejds cyklussen gentages per dag, arbejdsrummets dimensioner, luftskiftet i rummet (den generelle ventilation uden andre tekniske foranstaltninger) og endelig emissionsraten fra punktkilden.

Beregning og skalering af den potentielle eksponeringsfare

Beregning og skalering af den potentielle eksponeringsfare udføres for nærområdet ved aktiviteten og det generelle arbejdslokale. Der gives en værdi for både den akutte eksponering (15 min) og den gennemsnitlige 8 timers eksponering hen over arbejdsdagen. Beregningerne sker i tre trin med 1 minuts intervaller:

1. Beregning af emissionsraten, E_i (mg/min), hvis ikke angivet direkte som ved konstant kilde
2. Beregnet teoretisk akut (15 min) og arbejdsdagens (8-timers) eksponeringsniveau i hhv. nærområdet (< 2 m fra aktivitet) og i arbejdslokalet almene rumluft
3. Scoring af akut og daglig middel eksponeringsfare for både nærområdet og i arbejdslokalets almene rumluft. Scoren varierer fra 0 til ∞ (uendelig)

Beregning af emissionsrate

Den potentielle emissionsrate (E_i) angives i mg/min og beregnes, måles eller vurderes ved den specifikke arbejds situation. For arbejde med pulver bestemmes emissionsraten som en funktion af det gennemsnitlige masse-flow (kg/min), støvningsindekset (E_0) og en passende aktivitetsenergi faktor (H_0 til H_5).

$$\text{Pulvermateriale: } E_i = E_0 \cdot H_i \cdot \frac{dM}{dt} , \quad \text{F16}$$

hvor H_i er en af værdierne H_0 til H_5 i tabel 8.3. Ved konstante emissionsrater (udslip fra lækage eller anden punktkilde) er den indtastede værdi lig med E_i .

Beregning af teoretisk partikelkoncentration

Den teoretiske partikelkoncentration beregnes ud fra 2-zones model med øjeblikkelig opblanding af partikelemission i nærområdet (NF) og fjernområdet (FF). Nærområdet har en radius på 2 m med kilden placeret inden i. Fjernområdet er det generelle arbejdslokale med det volumen, der blev defineret under indtastningen. Lignende modeller er tidligere anvendt til vurdering af eksponeringen fra punktkilder i arbejdsmiljøet (f.eks. (96; 101)). Modellen er illustreret i figur 8.6, hvor C_{NF} er den teoretiske koncentration i nærområdet, mens C_{FF} er den teoretiske koncentration i

fjernområdet. Q_{FF} er luftskiftet i mellem luften udenfor og i arbejdsrummet. I denne model er partikkelkoncentrationen, der trænger ind fra udeluften med luftskiftet, sat til nul, da modellen fokuserer på bidraget fra de syntetiske nanopartikler. Q_{NF} er luftskiftet mellem nærområdet og fjernområdet og givet ved relationen:

$$Q_{NF} = Q_{FF} \cdot \left(\frac{V_{NF}}{V_{FF}} \right) + \kappa \quad \text{F17}$$

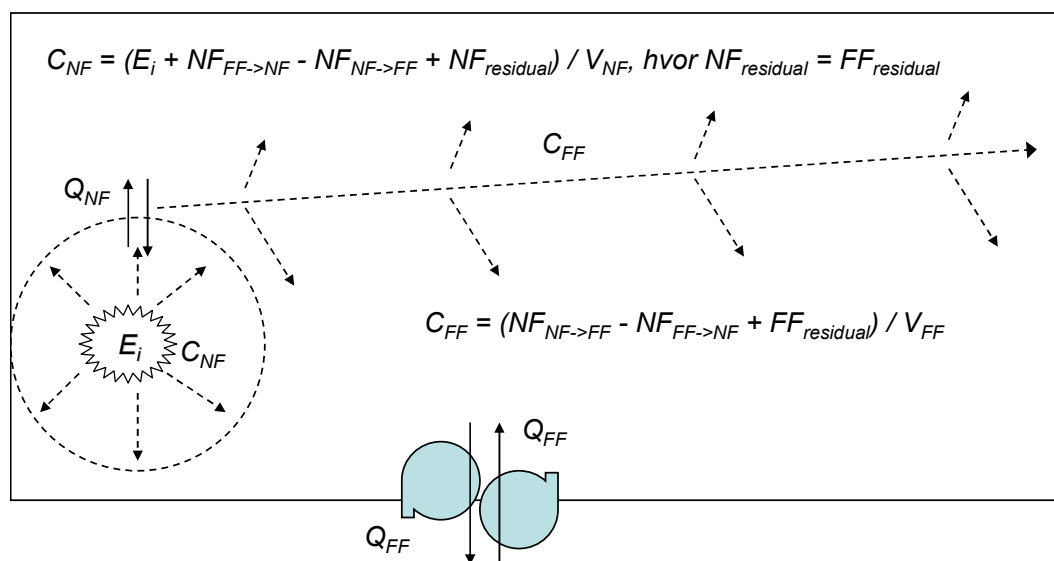
hvor $\kappa = 10$ og V_{NF} og V_{FF} er rumfanget af luften i hhv. nærområdet (NF) og fjernområdet (FF). Massetransporten af støv mellem NF, FF og udeluften håndteres ved nedenstående funktioner (F18-F20; samt de to formler vist i figur 8.6). Kildens bidrag til partikkelkoncentrationen i nærområdet er beregnet simpelt ud fra E_i/V_{NF} . Beregningsmodellen i NanoSafer er baseret på en tidligere valideret model til prædiktion af indtrængende partikler til indeklimaet fra udeluften (102).

$$NF_{FF \rightarrow NF} = \left[\frac{Q_{FF} \cdot C_{NF}}{(t \cdot Q_{NF})^2} \right] \cdot [t \cdot Q_{NF} + e^{t \cdot Q_{NF}} - 1] \quad \text{F18}$$

$$NF_{NF \rightarrow FF} = \left[\frac{Q_{NF} \cdot C_{NF}}{(t \cdot Q_{NF})^2} \right] \cdot [t \cdot Q_{NF} + e^{-t \cdot Q_{NF}} - 1] \quad \text{F19}$$

$$NF_{residual} = FF_{residual} = 0,5 \cdot \left[\frac{C_{t-1} + C_t}{(t \cdot Q_{FF})^2} \right] \cdot [1 - e^{-t \cdot Q_{FF}} - 1] \quad \text{F20}$$

Figur 8.6. Beregningsmodel til estimering af partikelkoncentration



Figur 8.6. Skematisk illustration af beregningsmodellen anvendt til at estimere den teoretiske partikelkoncentration i nærområdet (NF) og arbejdslokalet (FF). Se tekst for yderligere forklaring.

Skalering af eksponeringsfare

Efter beregningen af den teoretiske partikelkoncentration normaliseres den med en såkaldt overfladebaseret eksponeringsgrænse, R_{nano} , som er givet ved:

$$R_{nano} = GV_{AT} * (SA_{200nm} = 30 \times \delta - 1 / SA_{nano}), \quad F21$$

hvor GV_{AT} er bulkmateriallets grænseværdi, SA_{200nm} er det specifikke overfladeareal for stoffet ved 200 nm, og SA_{nano} er det specifikke overfladeareal for det nanopartikulære stof, der evalueres. 200 nm anvendes som referencepunktet for de analoge bulkmaterialers overfladeareal. Justeringen reflekterer således den generelt accepterede hypotese, at nanopartikler bliver mere toksiske ved stigende specifikt overfladeareal (faldende partikelstørrelse). I NanoSafer foretages en lineær skalering med overfladearealet, selvom visse studier indikerer, at der kan være en logaritmisk sammenhæng mellem toksisk effekt og specifik overfladeareal (fx (103)). Den endelige eksponeringsscore beregnes herefter for hhv. akut og 8-timers eksponering i nærområdet og arbejdslokalet. Beregningen foregår ved at identificere og beregne den 15-min periode, hvor der er den højeste eksponeringsrisiko i nærområdet og fjernområdet samt 8 timers middel eksponeringen. Idet den tilladelige akutte eksponering er 2 gange grænseværdien for 8 timers middelkoncentration, så beregnes scoren for de fire scenarier som herefter:

$$EXP_{NF, Akut} = \frac{C_{NF, Akut}}{2 \cdot R_{nano}} \quad F22$$

$$EXP_{FF, Akut} = \frac{C_{NF, Akut}}{2 \cdot R_{nano}} \quad F23$$

$$EXP_{NF,8t} = \frac{C_{NF,8t}}{R_{nano}} \quad \text{F24}$$

$$EXP_{FF,8t} = \frac{C_{FF,8t}}{R_{nano}} \quad \text{F25}$$

Resultat plottet i "Control Band" grafer

NanoSafer plotter herefter det endelige resultat ind i fire kontrolbåndsskemaer. Her er vist et eksempel med vurdering af en situation med konstant udslip af støv af UV-Titan (M111) fra samlemuffe (5 mg/min) i 480 min som anført i tabellerne 8.1 og 8.3. Det ses, at der er relativ høj eksponering i nærområdet, og at scoren for den gennemsnitlige 8-timers eksponering er højere end for den akutte eksponering. Eksponeringen i baggrunden formodes at være acceptabel. Den umiddelbare konklusion fra kontrolbåndet er, at lækagen bør repareres, hvis det er muligt. Eksponeringsfaren i nærområdet kan midlertidigt løses ved anvendelse af højeffektivt udsug og/eller anvendelse af højeffektivt åndedrætsværn, mens man er i nærheden af kilden. Inspiration til, hvordan eksponeringen kan håndteres kan yderligere findes i rapportens øvrige kapitler og e-læringsmodulet i internet-versionen.

Figur 8.7. Eksempel på plot i kontrolbånd

Akut eksponering i nærområdet (15 minutter)

Toksicitet \ Eksponering	0,76 - 1,00	0,51 - 0,75	0,26 - 0,50	0,00 - 0,25
>1,00	RL5	RL5	RL5	RL5
0,51 - 1,00	RL5	RL5	RL4	RL4
0,26 - 0,50	RL5	RL4	RL4	RL3
0,11 - 0,25	RL4	RL4	RL3	RL2
< 0,10	RL4	RL3	RL2	RL1

Gennemsnitlig daglig eksponering i nærområdet (8 timer)

Toksicitet \ Eksponering	0,76 - 1,00	0,51 - 0,75	0,26 - 0,50	0,00 - 0,25
>1,00	RL5	RL5	RL5	RL5
0,51 - 1,00	RL5	RL5	RL4	RL4
0,26 - 0,50	RL5	RL4	RL4	RL3
0,11 - 0,25	RL4	RL4	RL3	RL2
< 0,10	RL4	RL3	RL2	RL1

Akut eksponering i arbejdslokalet (15 minutter)

Toksicitet \ Eksponering	0,76 - 1,00	0,51 - 0,75	0,26 - 0,50	0,00 - 0,25
>1,00	RL5	RL5	RL5	RL5
0,51 - 1,00	RL5	RL5	RL4	RL4
0,26 - 0,50	RL5	RL4	RL4	RL3
0,11 - 0,25	RL4	RL4	RL3	RL2
< 0,10	RL4	RL3	RL2	RL1

Gennemsnitlig daglig eksponering i arbejdslokalet (8 timer)

Toksicitet \ Eksponering	0,76 - 1,00	0,51 - 0,75	0,26 - 0,50	0,00 - 0,25
>1,00	RL5	RL5	RL5	RL5
0,51 - 1,00	RL5	RL5	RL4	RL4
0,26 - 0,50	RL5	RL4	RL4	RL3
0,11 - 0,25	RL4	RL4	RL3	RL2
< 0,10	RL4	RL3	RL2	RL1

RL5: Meget høj toksicitet og/eller risiko for moderat til meget høj eksponering, Arbejdet udføres i stinkskab, indeluk proces el. lign. Friskluftforsynede respiratorer eller højeffektive filtermasker (P3 eller bedre) kan bruges som supplement og til håndtering af uheld. Søg evt. ekspertbistand.

RL4: Høj toksicitet og/eller risiko for høj eksponering. Anvend højeffektivt udsug, udsugningsboks, stinkskab, handskeboks el. lign. Hav åndedrætsværn (P3 klasse eller bedre) i nærheden i tilfælde af uheld.

RL3: Moderat toksicitet og/eller risiko for moderat eksponering. Arbejdet udføres i udsugningsboks eller med god lokal ventilation kombination med personligt åndedrætsværn (P3-filterklasse eller bedre). Hav personligt åndedrætsværn tilstede i tilfælde af uheld.

RL2: Lav toksicitet og/eller risiko for lav eksponering. Anvend som minimum lokaludsug, stinkskab mv. Arbejdet udføres evt. i kombination med personligt åndedrætsværn (P3-klasse eller bedre). Hav personligt åndedrætsværn i nærheden i tilfælde af uheld.

RL1: Meget lav toksicitet og risiko for lavt eksponeringsniveau. Niveaulet er formodentligt acceptabelt. Arbejdet kan kræve håndtering under udsug, i stinkskab mv. Hav åndedrætsværn (P3 klasse eller bedre) i nærheden i tilfælde af uheld.

Figur 8.7. Kontrol-bånd og standardiserede vejledende hjælpesætninger for de fem klasser defineret i systemet.