

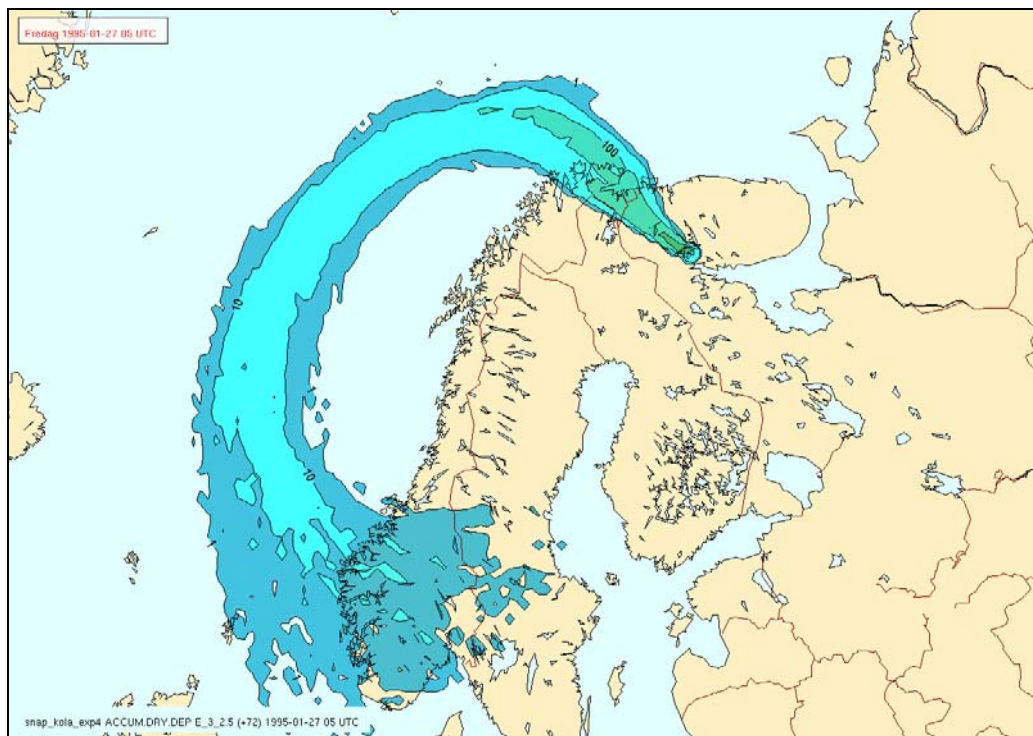


Meteorologisk  
institutt  
met.no

met.no info

No. 15/2006  
ISSN 1503-8017  
Oslo, 02.03.06

## Ny studie av transport og nedfall av radioaktive partikler fra en potensiell ulykke ved Kola kjernekraftverk



Postadresse  
Postboks 43.  
Blindern, 0313 Oslo

Besøksadresse  
Niels Henrik Abelsvei 40  
Innkjøring fra Problemveien

Telefon  
22 96 30 00

Telefaks  
22 96 30 50

e-post: met@met.no  
Internett: met.no

Bankgironr  
7694 05 00601

Organisasjonsnr  
NO 971 274 042 MVA

# Ny studie av transport og nedfall av radioaktive partikler fra en potensiell ulykke ved Kola kjernekraftverk

Jørgen Saltbones<sup>1</sup>, Jerzy Bartnicki<sup>1</sup>, Brit Salbu<sup>2</sup>, Anstein Foss<sup>1</sup> og Ole Christian Lind<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Meteorologisk Institutt, Postboks 43 Blindern, N-0313 Oslo

<sup>2</sup> Universitetet for miljø- og biovitenskap, Postboks 5003, N-1432 Ås

## Bakgrunn

På Kola i Nord-vest Russland befinner det seg et stort antall kjernefysiske installasjoner som representerer en potensiell trussel om atomforurensning av Norge - særlig mot Finnmark. Dette har lenge vært til bekymring for norske myndigheter.

I 1996 gjennomførte Statens strålevern - sammen med Institutt for energiteknikk og Meteorologisk institutt, en studie av konsekvenser for norsk område av en 'verste tilfelle' ulykke ved Kola kjernekraftverk (KNPP). Vi skrev om resultater fra dette arbeidet i Naturen, nr. 4 1997 og nr. 4 1998.

Til grunn for de beregninger vi den gang gjorde for transport og nedfall av de potensielle utslipp av radioaktive stoffer fra en slik ulykke, antok vi at utslippet i hovedsak ville bestå av lett utdrivbare elementer som edelgasser, reaktive gasser og små partikler (f. eks. xenon, jod, cesium og aerosoler (1 µm)). Det er senere blitt påpekt at transport og nedfallsmønster sannsynligvis ville blitt annerledes om vi hadde antatt at partikulært materiale av ulik størrelse og tetthet var del av utslippet.

Dette er en grunn til at vi nå har sett på dette på nytt, men nå under andre antagelser om det potensielle utslippets sammensetning og med spesiell fokus på mulige partikulære fragmenter fra 'brensel-stavene' i reaktorkjernen. Vi kan nå bygge på ny kunnskap om dette fra arbeider utført ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB), - B. Salbu et al., 1998.

Videre - en ny værvarslingsmodell med bedre oppløsning (HIRLAM-20) fra met.no, nye meteorologiske data og analyser fra ECMWF (ERA-40) og en videreutviklet spredningsmodell (SNAP) som bedre kan behandle transport og nedfall av partikulært materiale av ulik størrelse og tetthet, er her lagt til grunn for den nye studien.

Full beskrivelse av den nye studien finnes i: - J. Bartnicki et al., 2005.

## 'Verste tilfelle' ulykke

Utvelgelse av 'verste tilfelle' ble i 1996 gjort ved å beregne trajektorier for 'utslipp' fra Kola kjernekraftverk hver time i 11 år, - og på denne basis valgte vi ut det tilfellet som viste den korteste transporttid fram til norsk område (Kirkenes). Resultatet ble: Start av utslipp - 1995

01 24 05 UTC, transporttid - ca. 3 timer og med litt nedbør underveis og ved ankomst.

## Spredningsmodellen SNAP

Spredningsmodellen SNAP (Severe Nuclear Accident Program) er instituttets hovedredskap til støtte for norsk atomulykkesberedskap.

Modellens virkemåte kan kort (og litt teknisk) beskrives slik: Et stort antall 'modell-partikler' slippes ut i 'modellatmosfæren' (Lagrangesk beskrivelse). Disse partiklene er 'bærere' av de radioaktive stoffene fra utslippet - mens de utsettes for prosesser av mer organisert forflytning ved vindfeltet (adveksjon - beskrevet i tre dimensjoner), 'random walk' simulerer turbulent spredning, utvasking/nedfall ved nedbør, tørravsetning ved kontakt med underlaget og nedfall av partikulært materiale ved 'gravitational settling'.

## Beliggenheten til Kola kjernekraftverk

KNPP (se Figur 1) var det første kjernekraftverket som ble bygget i Arktis (nord for Polar-sirkelen). Det ligger i Nord-vest Russland, i Murmansk regionen (67°28'N, 32°28'E). Den første reaktoren startet opp i 1973 og senere er tre nye reaktorer bygget til komplekset som nå er hovedkilde av elektrisk kraft for industri og byene i regionen - (Murmansk, Monchegorsk, Olenegorsk, Kandalaksha, Apatity og Polyarnye Zori).



Figur 1. Utsikt mot Kola kjernekraftverk.

## Test av modellens følsomhet

Vi har gjennomført følsomhetstester for å finne ut i mer i detalj hvordan transportert distanse avhenger av partiklens størrelse og tetthet. Vi beregnet transportert distanse for 4 tetthetsklasser og 15 størrelsesklasser.

Følgende kildeterm ble benyttet ved følsomhetstestene:

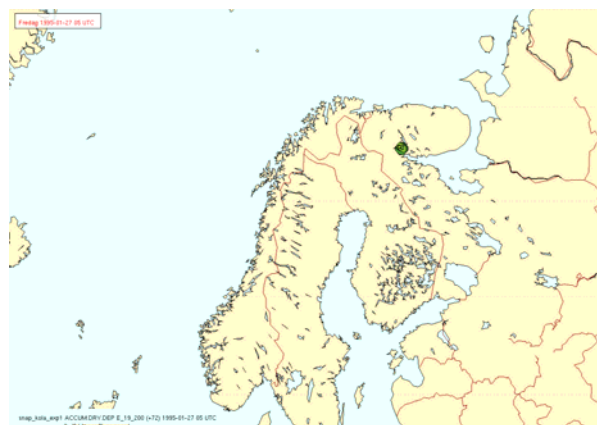
- Partiklene ble sluppet ut i et sylindervolum med radius 200 m og høyde fra bakken og til 500 m.
- Fire tetthetsklasser:  $19 \text{ g cm}^{-3}$  (metallisk U, U-Zr legering),  $11.6 \text{ g cm}^{-3}$  ( $\text{UO}_2$ ),  $8.1 \text{ g cm}^{-3}$  ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ) og  $3.3 \text{ g cm}^{-3}$  (oksiderte Ru partikler),
- 15 størrelsesklasser - partikkel diameter: 2.5  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ , 70  $\mu\text{m}$ , 80  $\mu\text{m}$ , 90  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 120  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$  og 200  $\mu\text{m}$ ,
- Alle partiklene ble sluppet ut i løpet av en time etter utslippstart.
- Totalt utslipp:  $10^{15} \text{ Bq}$ .

SNAP ble her kjørt for en periode som simulerte 72 timers transport. Mange av de letteste og minste partiklene vil etter 72 timers transport fortsatt befinne seg 'svevende' i modellatmosfæren, slik at dette 'målet' (akkumulert tørravsetning) for transportert distanse kanskje ikke er det beste, men det gir en indikasjon på hvordan modellens formulering av viktige prosesser virker i dette tilfellet.

To eksempler av akkumulert tørravsetning vises; små og lette partikler Figur 2 - kontra - store og tunge Figur 3.

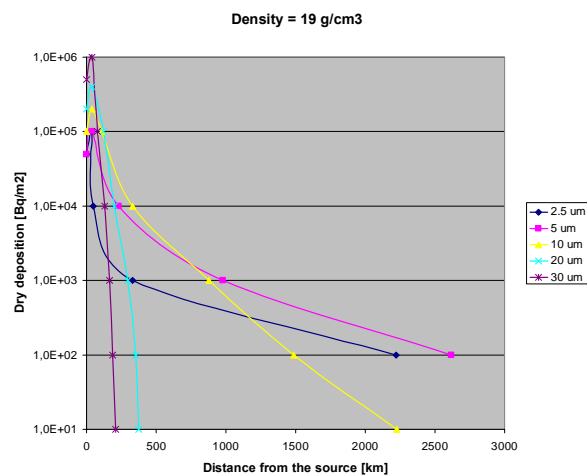


Figur 2. Eksempel på beregnet akkumulert tørravsetning etter 72 timers simulert transport for partikler med tetthet  $3.3 \text{ g cm}^{-3}$  og diameter 5  $\mu\text{m}$  (lette og små partikler). Enhet:  $\text{Bq m}^{-2}$ .



Figur 3. Eksempel på beregnet akkumulert tørravsetning etter 72 timers simulert transport for partikler med tetthet  $19 \text{ g cm}^{-3}$  og diameter 200  $\mu\text{m}$  (tunge og store partikler). Enhet:  $\text{Bq m}^{-2}$ .

Tilsvarende kart som vist på Figurene 2 og 3 ble laget for alle de 60 klassene av partikler som vi undersøkte. Kartene ble nøye analysert for å finne transportdistansen fra kilden ut til de forskjellige isolinjer for konsentrasjoner av tørravsetning. Beregnet transportert distanse er vist som Figur 4 for partikler med tetthet  $19 \text{ g cm}^{-3}$ .

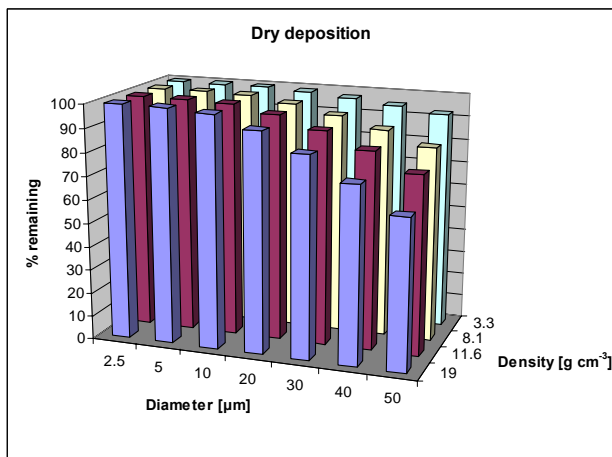


Figur 4. Beregnet transportert distanse for partikler med tetthet  $19 \text{ g cm}^{-3}$  - 72 timer etter start av utslippet.

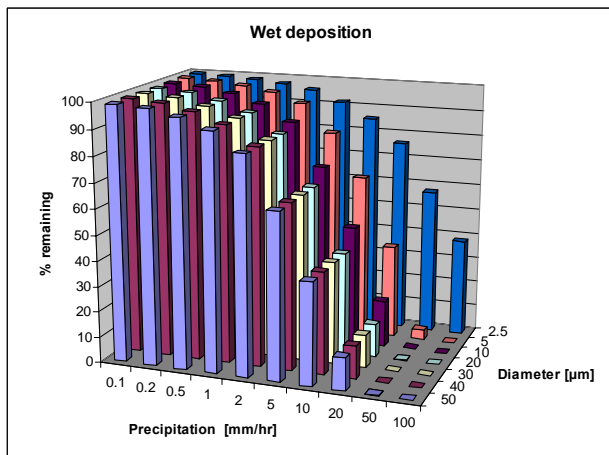
For partikler med tetthet  $19 \text{ g cm}^{-3}$  og  $11.6 \text{ g cm}^{-3}$  viste testene et klart 'gap' i transportert distanse for partikkelklassene med diameter 10  $\mu\text{m}$  og mindre, og for partikler med diameter 20  $\mu\text{m}$  og større. Partiklene fra den første gruppen ble transportert langt vekk fra utslippstedet (langtransport), - mens partikler fra den andre gruppen ble deponert mye nærmere utslippstedet.

Tilsvarende finner vi ikke et så klart gap i transportert distanse for partiklene med tetthet  $3.3 \text{ g cm}^{-3}$ . Partikler med diameter  $20 \mu\text{m}$  og mindre ble transportert langt vekk fra utslippstedet, mens partikler med diameter  $40 \mu\text{m}$  og større ble mer lokalt deponert.

Den mest sannsynlige grunn til disse 'gapene' i transportert distanse er å finne i SNAP's formulering av tørravsetning og 'gravitational settling', og i noe mindre grad i prosessen - utfelling med nedbør. For å illustrere hvor effektiv tørr og våt utfellingen er for de forskjellige partikkelklasser, vises Figur 5 - Prosent gjenværende aktivitet etter ett modelltidsskritt ( $\Delta t=5\text{min}$ ) hvor bare prosesser for tørravsetning virker, - og Figur 6 - hvor bare prosesser for utfelling med nedbør virker.



Figur 5. Prosent gjenværende aktivitet etter ett modelltidsskritt ( $\Delta t=5\text{min}$ ) hvor bare prosesser for tørravsetning virker.



Figur 6. Prosent gjenværende aktivitet etter ett modelltidsskritt ( $\Delta t=5\text{min}$ ) hvor bare prosesser for utfelling ved virker.

Av Figur 5 ser vi, for små partikler - diameter  $2.5 \mu\text{m}$ , er gjenværende aktivitet etter ett modelltidsskritt så høy som over 99% for alle partikkelklasser. Det samme kan sies for partikler med diameter  $5 \mu\text{m}$  og  $10 \mu\text{m}$ . For de tyngste partiklene med tetthet  $19 \text{ g cm}^{-3}$ , er det et signifikant fall (fra 98.2% til 93%) i prosent gjenværende aktivitet etter ett modelltidsskritt, for de partiklene som har diameter  $10 \mu\text{m}$  og de med diameter  $20 \mu\text{m}$ .

For partikler med diameter  $30 \mu\text{m}$ , er det en stor forskjell i effektivitet av tørr prosesser avhengig av partiklenes tetthet. Etter at tørr prosesser har virket i ett modelltidsskritt, er mer enn 97% av aktiviteten fortsatt tilstede for partikler med tetthet  $3.3 \text{ g cm}^{-3}$ , mens mindre enn 85% er igjen for partikler med tetthet  $19 \text{ g cm}^{-3}$ . Denne differansen er enda større for partikler med diameter  $50 \mu\text{m}$ ; 92.4% og 63.6%.

Effektiviteten av våt-prosessen er ikke så sterkt avhengig av partiklenes tetthet og størrelse, - men mer avhengig av nedbørintensitet, - se Figur 6. Effektiviteten av våt-deposisjonen for partikler større enn  $10 \mu\text{m}$  varierer lite med størrelsen, men øker sterkt med nedbørens intensitet. Sammenlignet med tørr-prosesser, er våt-prosesser mer effektive i å fjerne radioaktivitet fra luften, særlig om nedbørintensiteten er høy.

Mer fullstendig beskrivelse av formuleringen av våt- og tørr-prosessen i SNAP kan finnes i Research report no. 157, met.no, 2003 av J. Saltbones et. al.

### Modellberegninger med 'realistisk' kilde term

Det mest realistiske utslipp av partikler fra en 'verste tilfelle' ulykke fra Kola kjernekraftverk som vi legger til grunn for modellsimuleringen, kan oppsummeres som:

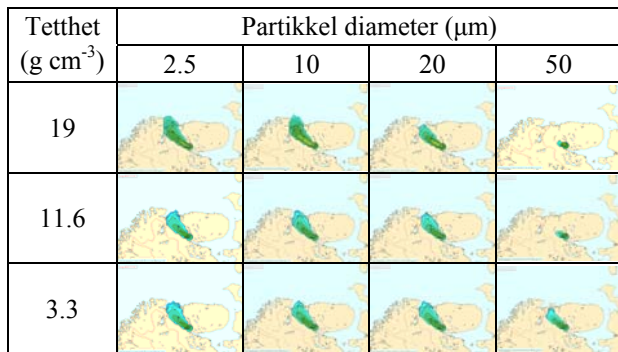
- Det totale utslipp av radioaktive partikler settes til  $10^{15} \text{ Bq}$ .
- Partiklene fordeler seg i tre tetthetsklasser:  $19 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $11.6 \text{ g cm}^{-3}$  og  $3.3 \text{ g cm}^{-3}$ .
- Partiklene fordeles i fire størrelsesklasser:  $2.5 \mu\text{m}$ ,  $10 \mu\text{m}$ ,  $20 \mu\text{m}$  og  $50 \mu\text{m}$ .
- Fordelingen av radioaktivitet i de forskjellige klasser er log normal fordelt med maksimum ved  $10 \mu\text{m}$ .
- Tidsprofilen for utslippet: De tyngste partiklene ( $19 \text{ g cm}^{-3}$ ) slippes ut i løpet av første timen, - og partikler med mindre tetthet ( $11.6 \text{ g cm}^{-3}$  and  $3.3 \text{ g cm}^{-3}$ ) slipper ut i løpet av de neste 10 timene.
- Den radioaktive 'skyen' har fra start form som en sylinder -  $500 \text{ m}$  høy og  $200 \text{ m}$  i diameter.
- I løpet av den første timen slipper 50% av utslippet ut. De resterende 50% følger i løpet av de neste 10 timer.



Tabell I. Totalt utslipp fordelt i partikkelklasser slik vi mener det mest realistiske utslipp er for en 'verste tilfelle' ulykke fra Kola kjernekraftverk. Enhet:  $10^{13}\text{Bq}$ .

Tetthet ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Partikkel diameter ( $\mu\text{m}$ )			
	2.5	10	20	50
19	6.5	18	16.5	9
11.6	3.25	9	8.25	4.5
3.3	3.25	9	8.25	4.5

Med denne kildeterm som 'input' i SNAP, har vi beregnet transporten/spredning/nedfall av utslippet - med start 1995 01 24 05 UTC.

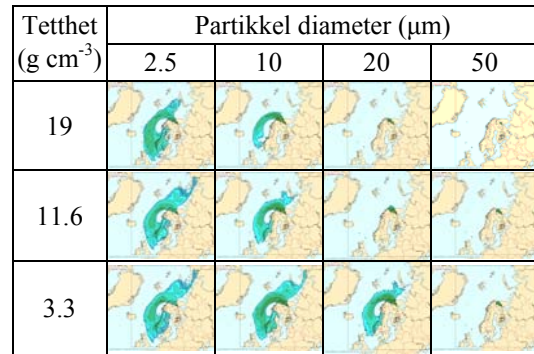


Figur 7. Tidsintegrerte konsentrasjonsfelter for partikler av alle klasser (størrelse/tetthet) - 6 timer etter at utslippet startet - 1995 01 24 05 UTC.

Beregningene viser - for partikler med diameter 20  $\mu\text{m}$  eller mindre (Figur 7) at etter seks timer har fronten av 'skyen' passert Kirkenes. Det samme skjer med partiklene med diameter 50  $\mu\text{m}$  og tetthet 3.3  $\text{g cm}^{-3}$ . De tyngre partiklene med diameter 50  $\mu\text{m}$  (tetthet 19  $\text{g cm}^{-3}$  og 11.6  $\text{g cm}^{-3}$ ) ble felt ut relativt raskt og nådde ikke fram til norsk område.

Disse resultatene bekrefter våre funn fra tidligere beregninger om transport av radioaktive forurensninger fra en potensiell ulykke ved Kola kjernekraftverk, - da med antagelse at utslippet ville besto av gasser og aerosoler. Dette siste arbeidet indikerer at også relativt store og lette partikler - opp til 50  $\mu\text{m}$  med tetthet 3.3  $\text{g cm}^{-3}$  - vil kunne nå fram til norsk territorium. Partikler i de tyngre tetthetsklassene ikke vil nå så langt.

Det er en relativt klar grense mellom partikler som blir 'langtransportert' og de som faller ut relativt nær utslippstedet, som vist på Figur 8. Partikler i alle tetthetsklasser med diameter 10  $\mu\text{m}$  og mindre, så vell som partikler med diameter 20  $\mu\text{m}$  og tetthet 3.3  $\text{g cm}^{-3}$ , blir transportert ganske langt (mer enn 1000 km) fra utslippstedet.



Figur 8. Akkumulert totalt nedfall av radioaktive forurensninger 72 timer etter start av utslipp - for alle partikkelklasser (størrelse/tetthet) fra det simulerte utslippet ved det potensielt 'verste tilfelle' av en ulykke ved Kola kjernekraftverk.

### Oppsummering og Konklusjon

I den første del av denne studien, har vi utført ganske omfattende følsomhetstester for de implementerte algoritmene for våt- og tørr-nedfallsprosesser i spredningsmodellen SNAP. Estimer av transportert distanse for partikler av ulik størrelse og tetthet ble utført.

For partikler med tetthet 19  $\text{g cm}^{-3}$  og 11.6  $\text{g cm}^{-3}$  var det et klart gap i transportert distanse mellom partikler med diameter 10  $\mu\text{m}$  og mindre, - og partikler med diameter 20  $\mu\text{m}$  og større. Partikler fra den første gruppen kan transporteres langt vekk fra utslippet (1000 km eller mer), mens partikler fra den andre gruppen blir felt ut mye nærmere utslippstedet.

Modellsimuleringer med det mest realistiske utslipp av partikler fra en 'verste tilfelle' ulykke ved Kola kjernekraftverk er gjennomført for scenariet 'korteste transporttid av forurensninger til norsk område' (til Kirkenes).

Resultater fra disse simuleringene indikerer at partikler av alle tetthetsklasser og diameter 10  $\mu\text{m}$  eller mindre kan nå alle områder av Norge. Det samme kan sies for de lette partikler (tetthet 3.3  $\text{g cm}^{-3}$ ) med diameter på 20  $\mu\text{m}$ .

Historisk sett, har man funnet partikler av tungt utdrivbare elementer ved de fleste alvorlige atomulykker; f. eks. U metall,  $\text{UO}_2$  eller  $\text{U}_3\text{O}_8$  - overraskende langt fra ulykkesstedet. Vi har her demonstrert ved modellsimuleringer at hvis en slik alvorlige atomulykke finner sted ved Kola kjernekraftverk, vil konsekvensene for (særlig) Nord-Norge kunne bli mer omfattende enn tidligere antatt. Ved å ta hensyn til det partikulære materialets karakteristika (tetthet og størrelse), vil nedfallsmønsteret for de radioaktive forurensninger bli forskjellig fra det som tidligere er blitt presentert. Videre vil aktiviteten fra nedfallet kunne bli samlet i såkalte 'hot

spots', - noe som kan påvirke miljøet i området på en svært negativ måte.

Så reiser spørsmålet seg: Kan vi vente å få tilgang til slik spesifikk informasjon om utslippets sammensetning og karakteristika ved en alvorlig atomulykke - i tide til bruk som input i met.no's operasjonell spredningsmodell SNAP til bruk i en krisesituasjon?

### **Takk for støtte**

Vi takker Statens strålevern for finansiell støtte til denne studien.

### **Referanser**

1. B. Salbu, T. Krekling and D.H. Oughton: 'Characterization of radioactive particles in the Environment', 1998. *The Analyst*, **123**, 843-849.
2. J. Saltbones, J. Bartnicki and A. Foss: 'Handling fallout processes from nuclear explosions in the Severe Nuclear Accident Program (SNAP)', 2003. Research Report No. 157. Norwegian Meteorological Institute. Oslo, Norway.
3. J. Bartnicki, B. Salbu, J. Saltbones, A. Foss and O.C. Lind: 'Atmospheric Transport and Deposition of Radioactive Particles from Potential Accidents at Kola Nuclear Power Plant. Re-analysis of worst case', Met.no report no. 10/2005, Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway.