



Konsekvenser for Norge ved en mulig ulykke ved Sellafield-anlegget

Potensielt utslipp – transport og nedfall



Statens strålevern
Norwegian Radiation Protection Authority

Referanse:

Ytre-Eide M, Album, Standring WJF, Amundsen I, Sickel M, Liland A,
Saltbones J*, Bartnicki J*, Haakenstad H*, Salbu B**
*) *Meteorologisk institutt* **) *Universitetet for miljø- og biovitenskap*

Rapportens tittel: Konsekvenser for Norge ved en mulig ulykke ved Sellafieldanlegget
StrålevernRapport 2009: nr.6 Østerås: Statens strålevern, 2009.

Emneord:

Konsekvensvurdering, radioaktivt nedfall, SNAP model, simulering, Sellafield.

Resymé:

Rapporten redegjør for nedfall over Norge fra en tenkt ulykke med atmosfærisk utslipp fra lagertankene for høyaktivt flytende radioaktivt avfall ved Sellafield-anlegget. Det er valgt å ta utgangspunkt i en utslippsmengde som svarer til 0,1 til 10 % av den totale mengden flytende radioaktivt avfall i tankene. Kun transport og nedfall av ¹³⁷Cs er beregnet i denne studien. Med utgangspunkt i gitte værforhold viste beregningene at nedfallet over Vestlandet vil være fra en tiendedel til 10–50 ganger nedfallet i det mest kontaminerte området i Norge etter Tsjernobyl-ulykken.

Reference:

Ytre-Eide M, Album, Standring WJF, Amundsen I, Sickel M, Liland A,
Saltbones J*, Bartnicki J*, Haakenstad H*, Salbu B**. Consequences in Norway of a
hypothetical accident at Sellafield: Potential release – transport and fallout.
*) *The Norwegian Meteorological Institute* **) *Norwegian University of Life Sciences*

StrålevernRapport 2009:6. Østerås: Norwegian Radiation Protection Authority, 2009.
Language: Norwegian.

Key words:

Consequence assessment, radioactive fallout, SNAP model, simulation, Sellafield

Abstract:

This report focuses on transport and fallout from “worst-case” scenarios based on a hypothetical accident at the B215 facility for storing Highly Active Liquors (HAL) at Sellafield. The scenarios involve an atmospheric release of between 0.1 – 10 % of the total HAL inventory; only transport and fallout of ¹³⁷Cs is considered in this case study. Simulations resulted in between 0.1 – 50 times the maximum ¹³⁷Cs fallout experienced in the most contaminated areas in Norway after the Chernobyl accident.

Prosjektleder: Ingar Amundsen

Godkjent:



Per Strand, avdelingsdirektør, Avdeling beredskap og miljø

20 sider.

Utgitt 23-03-2009.

Opplag 150 (03-2009).

Form, omslag: LoboMedia AS.

Trykk: LoboMedia AS, Oslo.

Bestilles fra:

Statens strålevern, Postboks 55, No-1332 Østerås, Norge.

Telefon 67 16 25 00, faks 67 14 74 07.

E-post: nrpa@nrpa.no

www.nrpa.no

ISSN 0804-4910

Konsekvenser for Norge ved en mulig ulykke ved Sellafield-anlegget

Potensielt utslipp – transport og nedfall

M. Album Ytre-Eide, Statens strålevern
W.J.F. Standring, Statens strålevern
I. Amundsen, Statens strålevern
M. Sickel, Statens strålevern
A. Liland, Statens strålevern
J. Saltbones, Meteorologisk institutt
J. Bartnicki, Meteorologisk institutt
H. Haakenstad, Meteorologisk institutt
B. Salbu, Universitetet for miljø- og biovitenskap

Statens strålevern

Norwegian Radiation
Protection Authority
Østerås, 2009

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning.....	6
2. Sellafield-anlegget	6
3. Kildeterm	7
3.1 Ulykke ved en avfallstank i Majak, Sovjetunionen, 1957.....	9
4. Nedfall i Norge etter en tenkt ulykke ved Sellafield-anlegget	10
4.1 Beskrivelse av modelleringsverktøyet	10
4.2 Resultater	10
4.2.1 Simulering av nedfall	11
4.2.2 Simulering av nedfall, avhengig av partikkelstørrelse.....	13
4.3 Sammenligning med Tsjernobyl-ulykken.....	15
4.4 Usikkerhet.....	16
5. Diskusjon.....	16
Referanser	17

Sammendrag

Strålevernet har fått i oppdrag av Miljøverndepartementet å gjøre en konsekvensvurdering av en mulig ulykke ved Sellafield. Det har vist seg å være til dels vanskelig å få tak i relevant offentlig informasjon som beskriver ulike ulykkesscenarioer ved Sellafield. Denne rapporten fokuserer på transport og nedfall fra et "worst-case" utslipp ved lageranlegget B215 for høyaktivt flytende avfall (Highly Active Liquor, HAL) ved Sellafield. Per i dag inneholder B215 ca. 1000 m³ avfall fordelt på 21 tanker. Avfallet stammer fra gjenvinningsaktiviteter ved B205 (anlegg for behandling av brukt magnobrensel) og Thorp. Høyaktivt flytende avfall må kjøles og kontrolleres kontinuerlig.

Grunnet meteorologiske forhold og geografisk beliggenhet er Norge utsatt dersom det skulle skje et større utslipp pga. en ulykke ved Sellafield; særlig kan konsekvensene av et større utslipp til luft gi alvorlige konsekvenser for Norge. Strålevernets scenarier tar utgangspunkt i atmosfæriske utslipp fra ca. 0,1 til 10 % av den totale mengden av det radioaktive stoffet cesium-137 (¹³⁷Cs) som HAL-tankene ved B215 antas å inneholde. Det tas ikke stilling til den direkte årsaken til utslippet, dvs. mulige hendelsesforløp, men det forutsettes at det kan skje en eksplosjon eller oppstå en brann ved anlegget. Selv om et virkelig utslipp ville inneholde mange flere radioaktive stoffer som finnes i HAL-tankene, er det tatt utgangspunkt i utslipp av kun ¹³⁷Cs.

Meteorologisk institutt har simulert transport av ¹³⁷Cs fra Sellafield og nedfall i Norge ved hjelp av modellverktøyet SNAP (Severe Nuclear Accident Program). Værdataene som ble brukt i simuleringene ble hentet fra reelle værobservasjoner i oktober 2008.

Simuleringer har blitt gjennomført både for et utslipp av ¹³⁷Cs i form av aerosoler og i form av radioaktive partikler av forskjellige størrelser. Resultatene viser at selv store partikler (radius opp til 9 µm) når Norge. Fra scenarioene (0,1 – 10 % av det totale innhold av radioaktivitet i HAL-tankene) kan Norge få et større ¹³⁷Cs-nedfall dvs. fra 10 til 5000 kBq/m²,¹ særlig på Vestlandet. Simuleringene viste et nedfall fra en tiendedel til 10-50 ganger nedfallet i det mest kontaminerte området i Norge etter Tsjernobyl-ulykken. Med det valgte været startet nedfallet over Norge kun 9 timer etter utslippet.

Dette arbeidet har påvist hvor viktig det er å fortsette arbeidet med å redusere risikoen ved lagring av høyaktivt flytende avfall ved Sellafield. Britiske myndigheter har i lengre tid gitt uttrykk for at de ser alvorlig på denne lagringen og at situasjonen vurderes fortløpende med tanke på å redusere risikoen for ulykker.

¹ En kilo Bq (kBq) er lik 10³ Bq (dvs. 1000 Bq).

1 Innledning

Statens strålevern har, på oppdrag fra Miljøverndepartementet, gjort en vurdering av mulige konsekvenser en ulykke ved Sellafield-anlegget i Storbritannia vil ha for Norge. Denne rapporten fokuserer på atmosfæriske utlipp, vindtransport og nedfall. Med utgangspunkt i en “worst-case” ulykke ved Sellafield-anlegget vurderes omfanget av radioaktivt nedfall i Norge. Rapporten gir noe generell informasjon om Sellafield-anlegget. I kapittel 3 diskuteres kildetermen, dvs. utslippsfraksjonen fra et tenkt scenario. En beskrivelse av modelleringsverktøyet SNAP (Severe Nuclear Accident Program) og resultat fra simuleringene presenteres i kapittel 4. Videre sammenlignes de mulige nedfallsnivåene med nedfallet i Norge etter Tsjernobyl-ulykken. Rapporten avsluttes med en oppsummerende diskusjon.

2 Sellafield-anlegget

Sellafield-anlegget ligger i Cumbria på nordvestkysten av England. Anlegget ble overtatt av engelske myndigheter som en krigsmateriellfabrikk under andre verdenskrig, og ble i 1945 en del av det daværende “Ministry of Supply” for å støtte Storbritannias atomvåpenprogram. Eierskapet har endret seg flere ganger siden: Til United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA) i 1954; til British Nuclear Fuels (BNFL som eides av myndighetene) i 1971; etter omstrukturering ble British Nuclear Group (BNG) ansvarlig for drift ved anlegget i 2004; og i april 2005 ble anlegget overført til den nåværende eier, Nuclear Decommissioning Authority (NDA). I dag drives anlegget av Nuclear Management Partners på vegne av NDA. Det siste eierskiftet i 2005 viser en dreining fra kommersiell drift til nedleggelse. Anlegget er på ca. 750 mål. Mer enn 10 000 arbeidere er ansatt ved Sellafield og ca. 95 % av dem bor innenfor 5 miles avstand fra anlegget. Driften ved anlegget reguleres av Storbritannias Nuclear Installations Inspectorate ved Health and Safety Executive (NII/HSE), Environment Agency (EA), Office for Civil Nuclear Security (OCNS) og lokale myndigheter. Tabell 2.1 presenterer noen tidligere og nåværende hovedvirksomheter ved Sellafield-anlegget.

Tabell 2.1: Noen tidligere og nåværende hovedvirksomheter ved Sellafield-anlegget[6]

Virksomheter	Kort beskrivelse	Drift
Windscale Piles (1 og 2)	Benyttet til å produsere plutonium til atomvåpen. Brannen i nr. 1 i 1957 førte til at begge ble tatt ut av drift. Fortsatt under nedlegging pr. i dag.	1950 - 1957
Calder Hall	Fire Magnox-reaktorer. Første kommersielle reaktorer i verden, ble også brukt til å produsere plutonium til atomvåpen fram til 1995.	1956 - 2003
WAGR	Prototyp for Storbritannias AGR'er (Avansert Gasskjølte Reaktor).	1962 - 1981
B204	Første reprosesseringsanlegg som ble brukt for brensel fra Pile, Magnox og lettvannsreaktorer (LWR).	1952 - 1973
B205	Magnox reprosesseringsanlegg med teoretisk kapasitet ca. 500 tonn/år.	Siden 1964
THORP	Reprosesseringsanlegg for brukt brensel fra AGR og LWR, kapasiteten skal være 200 tonn/år, men anlegget har i perioder vært stengt pga uhell.	Siden 1994
MDF	MOX Demonstration Production Facility. Ble stengt etter at forfalskning av kvalitetssikringsdata ble oppdaget.	1993 – 1999
SMP	Sellafield MOX Plant. Kapasiteten skulle være 120 tonn/år, men har bare produsert 5,3 tonn MOX i løpet av 5 års drift.	Siden 2001

3 Kildeterm

Anlegget B215 inneholder i dag ca. 1000 m³ høyaktivt flytende avfall (Highly Active Liquor, HAL) i 21 tanker. Avfallet stammer fra gjenvinningsaktiviteter ved B205 (brukt magnox brensel) og Thorp. Det flytende avfallet i tankene må på grunn av varmeutvikling kjøles kontinuerlig. Funksjonen til B215 er hovedsakelig å samle og lagre avfallet før det vitrifiseres, dvs. omgjøres fra flytende form til glassinnkapslet materiale som er enklere og tryggere å lagre langsiktig.

Som utgangspunkt for vurderinger av en potensiell ulykke er det valgt å fokusere på de såkalte HAL-tankene ved Sellafield-anlegget. Disse lagertankene inneholder svært høye aktivitetsnivåer som er lagret i form av flytende avfall i disse tankene. Langtidslagring av store volumer av høyaktivt flytende avfall er ikke ansett som en god og stabil lagringsløsning, og HAL-tankene er av britiske myndigheter ansett som den største forurensningsrisikoen ved anlegget. Det kan for øvrig nevnes at det høyaktive avfallet har stått til midlertidig lagring i en lengre periode. Dette innebærer at en del kortlivede radioaktive stoffer som vil være sentrale ved en ulykke fra for eksempel et operativt kjernekraftverk, ikke er til stede i HAL-tankene.

Det totale volumet av høyaktivt flytende avfall i tankene var i 2007 1087.7 m³ [7] og Nuclear Installation Inspectorate (NII) har satt grenser for hvor mye som kan være lagret i HAL-tankene de kommende årene [7]. Videre i denne rapporten antas det totale volumet å være 1000 m³.

Konsentrasjonene av noen radionuklider som finnes i tankene er vist i tabell 3.1 [7]. Konsentrasjonene

er oppgitt i TBq per kubikkmeter². Usikkerhet i målingene presentert i Tabell 3.1 oppgis å være små [7]. Britiske myndigheter oppgir at konsentrasjonen av radionuklidene i HAL-tankene kan økes i fremtiden bl.a. pga. fremtidig gjenvinning av brukt brensel med forskjellige egenskaper, selv om volumet i tankene skal reduseres. Forskjellige radionuklider som finnes i avfallet kan øke i forskjellige grad [7]. Cs-137 er oppgitt med en mulig fremtidig konsentrasjonsøkning inntil 1,5 ganger konsentrasjonen per 1. april 2007. Denne usikkerheten er tatt i betraktning når kildetermen defineres for Strålevernets ”worst-case” scenario.

Tabell 3.1: Konsentrasjonen per 1. april 2007 av noen av radionuklidene i HAL-tankene[7]

Radionuklide	TBq/m ³
Strontium-90	4610
Ruthenium-106	194
Antimony-125	102
Cesium-134	175
Cesium-137	6280
Cerium-144	140
Promethium-147	2150
Americium-241	68

I mangel av informasjon om hvordan et utslipp vil kunne skje, kan en anta at en viss andel av det totale innholdet i tankene slippes ut i atmosfæren. En britisk studie (The UK Parliamentary Office of Science and Technology) påpeker at tidligere konsekvensvurderinger opererer med svært ulike mulige utslippstall [9]. Fra 0,01 % av en enkelt HAL-tank til over 10 % av alle tankene. Videre sier studien at 10 % fremstilles som et “worst-case” scenario hvor en stor eksplosjon inngår [9].

Denne rapportens hovedfokus er ikke å anslå sannsynligheten for et gitt utslipp, men heller å fokusere på hvordan atmosfæriske utslipp fra Sellafield-anlegget kan berøre Norge. Det er derfor valgt å vurdere en utslippsmengde fra 0,1 til 10 % av den totale mengden flytende radioaktivt avfall i HAL-tankene. Mengden radioaktivitet som slippes ut og formen utslippet er på, kalles en kildeterm.

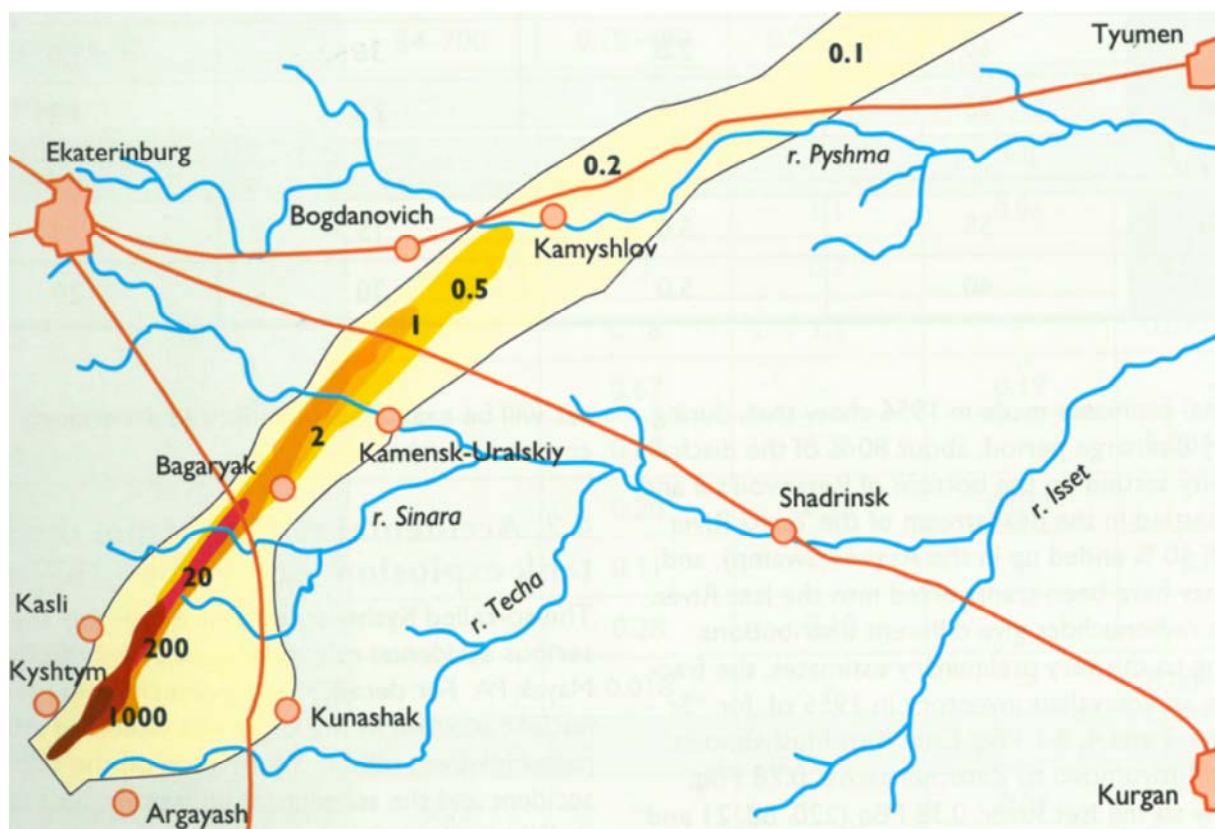
Strontium-90 (⁹⁰Sr) og ¹³⁷Cs er de dominerende fisjonsproduktene i det høyaktive flytende avfallet og vil mest sannsynlig dominere et utslipp. Beregninger og analyser er i første rekke basert på utslipp av ¹³⁷Cs. Historisk har ¹³⁷Cs blitt sluppet ut i miljøet som resultat av en rekke ulike hendelser ved nukleære anlegg. Svært mange studier av ¹³⁷Cs i miljøet er utført, særlig de siste 20 årene. Cs-137 sender ut såkalt gammastråling, har en halveringstid på 30 år og har kjemiske egenskaper som ligner kalium. Cs har derfor omtrent samme biotilgjengelighet som kalium og tas effektivt opp i celler og vev, både i dyr og planter.

I en virkelig situasjon ville et utslipp inneholde en rekke radionuklider, både som aerosoler og som partikler med forskjellig størrelse, form, tetthet og sammensetting. Mengden ¹³⁷Cs som er antatt sluppet ut i våre beregninger, varierer fra $9,4 \cdot 10^3$ TBq til $9,4 \cdot 10^5$ TBq og representerer fra 0,1 % til 10,0 % av innholdet av ¹³⁷Cs i HAL-tankene, dvs. et volum på 1 – 100m³.

² En *tera* Bq (TBq) er lik 10¹² Bq (dvs. 1 000 000 000 000 Bq).

3.1 Ulykke ved en avfallstank i Majak, Sovjetunionen, 1957

Ved det russiske reprosesseringsanlegget Majak PA i Syd-Ural er det lagret store mengder høyaktivt flytende radioaktivt avfall. I 1957 gjorde en feil ved temperatur- og mengdekontrollen at kjølesystemet til en av tankene sluttet å virke. Dette ble ikke reparert og vann begynte da å fordampe fra det flytende avfallet og eksplosivt nitrat og acetat ble konsentrert og fikk en temperatur på 330-350°C. En tilfeldig gnist fra et defekt overvåkningsutstyr anses som grunnen til at saltet detonerte [5]. Tanken eksploderte den 29. september 1957 og en radioaktiv sky spredte seg over området (ulykken er kjent under navnet "Kyshtym-ulykken"). Det er antatt at skyen nådde en høyde på omtrent 1 km [3]. Det var 740 PBq i tanken³ og rundt 90 % av dette ble værende i eller i nærheten av tanken. De resterende 74 PBq ble spredd med vinden og forårsaket radioaktivt nedfall opp til ca. 300 km fra tanken (se figur 3.1) med store konsekvenser for mennesker og miljø.[4, 3, 8]



Figur 3.1: "The Eastern Ural Radioactive Trace" (EURT). Radioaktivt nedfall av ⁹⁰Sr etter ulykken i Kyshtym. Nivåene er gitt i Ci/km² (1 Ci/ km² = 3,7 · 10⁴ Bq/m²).

"Kyshtym-ulykken" ved Majak er den største kjente ulykken hvor en tank med flytende høyaktivt radioaktivt avfall har eksplodert og spredd radioaktivt materiale over et større område. Selv om det finnes likheter mellom tankene i Majak og tankene ved Sellafield, er det også noen viktige forskjeller. For eksempel er det forskjell i innhold i tankene, konstruksjon og sikkerhetssystemer. Dette gjør at anleggene ikke er direkte sammenlignbare, men ulykken i Kyshtym viser at ulykker med slike tanker kan skje og at konsekvensene kan bli store. En tilsvarende ulykke, men med mindre konsekvenser skjedde også nær Tomsk i Russland i april 1993. Her var utslippet mindre enn ved "Kyshtym-ulykken" og med andre værforhold, lavere vindhastighet og lett snøfall.

³ En *peta* Bq (PBq) er lik 10¹⁵ Bq (dvs. 1 000 000 000 000 000 Bq)

4 Nedfall i Norge etter en tenkt ulykke ved Sellafield-anlegget

Etter Tsjernobyl-ulykken i 1986 ble det utviklet spredningsmodeller for atmosfærisk transport og nedfall av radioaktive stoffer etter ulykker. Disse spredningsmodellene skulle kunne beregne omfanget og konsekvensene av en eventuell ulykke, og på den måten fungere som et beslutningsstøtteverktøy. De siste årene, og kanskje spesielt etter 11. september 2001, har også faren for terroristaksjoner vært reell over hele verden. Dette har medført at muligheten for å simulere ulykker som involverer en eksplosjon, er blitt implementert i spredningsmodellene. Spredningsmodellen SNAP (Severe Nuclear Accident Program) som brukes av Statens strålevern er utviklet og driftet av Meteorologisk institutt (met.no) [2]. Met.no har sammen med Universitetet for Miljø og biovitenskap (UMB) også utviklet en nyere versjon av SNAP. I denne versjonen tar en hensyn til at utslipp kan foreligge som partikler med ulik størrelse og tetthet [1]. I denne rapporten er det valgt å referere til denne modellen som SNAP2.

4.1 Beskrivelse av modelleringsverktøyet

Spredningsmodellen SNAP simulerer transporten til, og nedfallet fra en radioaktiv sky. Verktøyet kan også beskrive hvordan en sky har oppført seg noen dager bakover i tid. Oppdaterte meteorologiske data får SNAP fra met.no sin værmeldingsmodell HIRLAM (High Resolution Limited Area Modell).

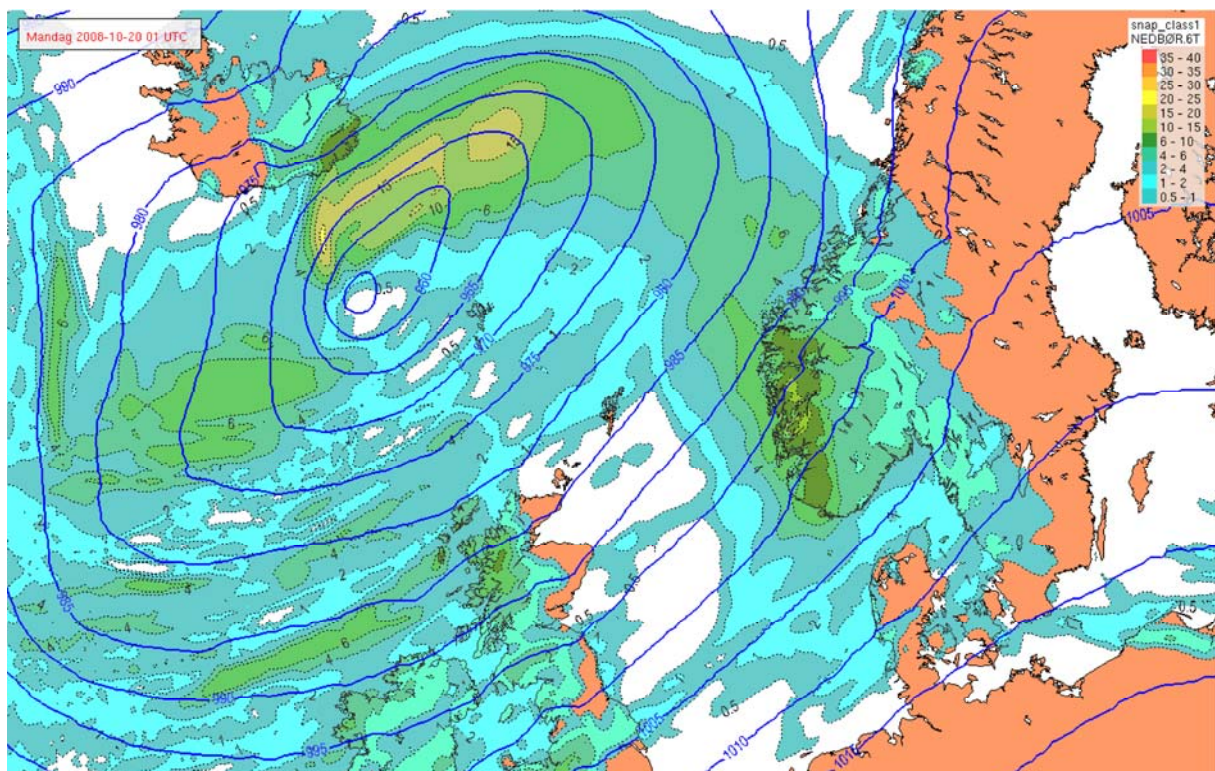
I SNAP-modellen blir utslippet beskrevet som små partikler (aerosoler) som beveger seg med luftmassene. Partikkelen har ikke en gitt størrelse og kan ikke deles opp i mindre deler. Derimot kan massen deles opp og under atmosfærisk transport kan hver partikkel miste masse som følge av nedfall og radioaktiv nedbryting [2].

Den nedre delen av atmosfæren er i modellen kalt blandingslaget (mixing layer) og har typisk en utbredelse fra bakken og opp til 300-2500 meter. Utbredeshøyden til blandingslaget er vanligvis lav om natten, og den når sitt maksimum ved tidlig ettermiddag. SNAP antar en umiddelbar blanding av et utslipp med hele dette blandingslaget. Dette betyr at partiklenes vertikale sannsynlighetsfordeling er homogen innenfor dette laget i atmosfæren.

4.2 Resultater

Ulykkesscenarioet startet 19. oktober 2008 kl. 1300. Værsituasjonen for denne datoen var dominert av et lavtrykkssystem sørvest for Island. Dette skapte vind fra sørvest mot Skandinavia med ganske mye nedbør over Sør-Norge, særlig Vestlandet. Ifølge Meteorologisk institutt er dette typisk vær for denne tiden av året.

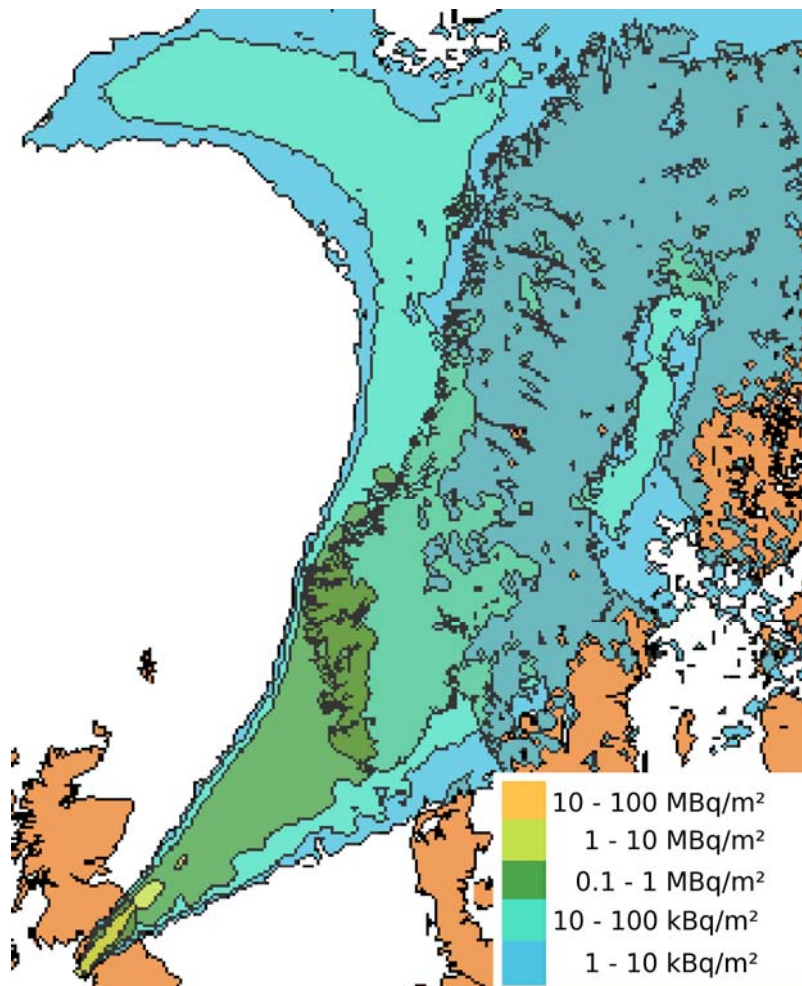
Samlet nedbørsmengde i perioden 6-12 timer etter utslippet startet, er vist i figur 4.1. På dette tidspunktet når den radioaktive skyen kysten av Vestlandet og en stor andel felles ut med regnet. Kysten og sentrale deler av Sør-Norge mottar ganske intensivt regn. Oktober 2008 var en svært nedbørrik måned. For Bergen, som ligger omtrent midt i området markert med grønt i figur 4.1, var nedbørsmengden denne måneden 182 % av normalen. Nedbørsmengdene per døgn i Bergen var henholdsvis 20, 15 og 30 mm for dagene 19-21 oktober.



Figur 4.1: Figuren viser nedbørmengde i perioden 6 - 12 timer etter en tenkt ulykke ved Sellafield (mm).

4.2.1 Simulering av nedfall

Simulert nedfall 48 timer etter ulykken er presentert i figur 4.2, og viser totalt nedfall av ^{137}Cs etter en hypotetisk ulykke ved Sellafield-anlegget dersom 1 % av lagret avfall i HAL-tankene slippes ut til atmosfæren.



Figur 4.2: Nedfall av ^{137}Cs etter en tenkt ulykke ved Sellafield (Bq/m^2)⁴. Kildetermen tilsvarer 1 % av totalt antatt ^{137}Cs avfall i HAL-tankene.

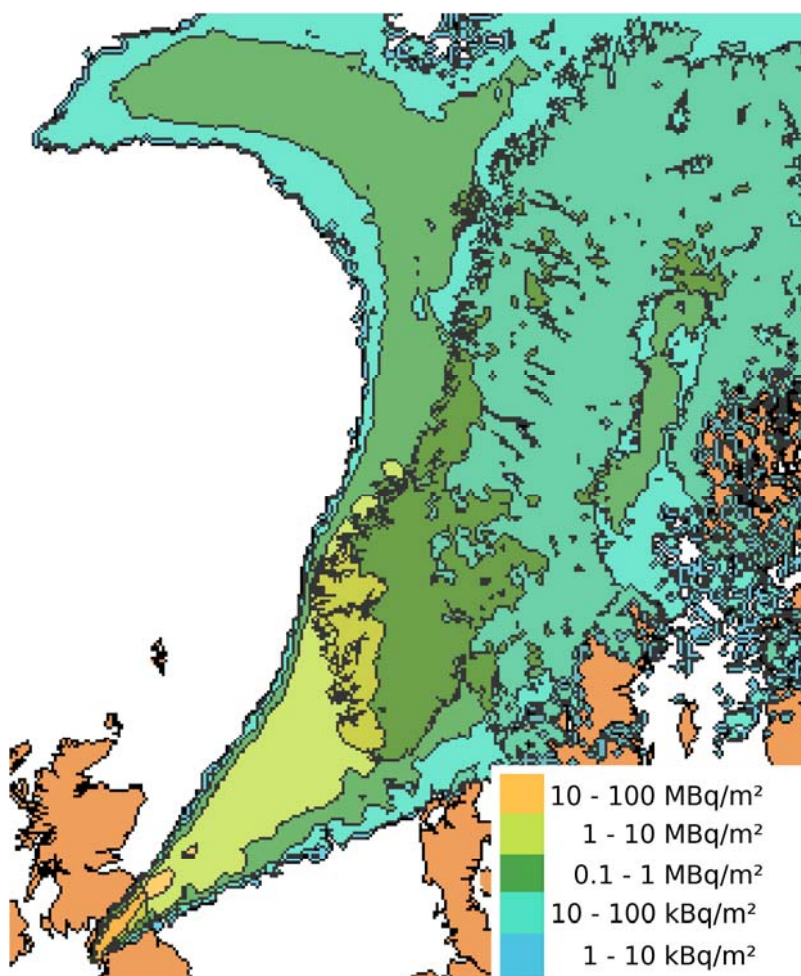
Vestlandet får et ^{137}Cs -nedfall på over 100 kBq/m^2 (i området $100 - 500 \text{ kBq/m}^2$). En stor del av Sør- og Midt-Norge samt Trønderlag og Nordland får ^{137}Cs -nivåer over 10 kBq/m^2 .

Med en kildeterm på 0,1% av avfallet i tankene, ville det samme området på Vestlandet få ^{137}Cs -nedfall på over 10 kBq/m^2 (i området $10 - 50 \text{ kBq/m}^2$).

Figur 4.3 viser også simulert nedfall av ^{137}Cs 48 timer etter en tenkt ulykke ved Sellafield, men her er det tatt utgangspunkt i en kildeterm på 10% av avfallet i tankene. Vestlandet får et ^{137}Cs -nedfall på over 1000 kBq/m^2 (i området $1000 - 5000 \text{ kBq/m}^2$).

SNAP er lineær i forholdet mellom kildeterm og nedfall. En sammenligning av nedfallene i figur 4.3 og 4.2 med kildetermer på henholdsvis 10 og 1 % av den totale ^{137}Cs -aktiviteten i HAL-tankene, viser at en forandring i kildetermen ikke har betydelig påvirkning på spredningen av utslippet. Dette vil si at et utslipp av 0,1 % av den totale ^{137}Cs -aktiviteten i HAL-tankene vil gi 10 ganger mindre nedfall enn det som vises i figur 4.2.

⁴ En mega Bq (MBq) er lik 10^6 Bq (dvs. 1 000 000Bq).

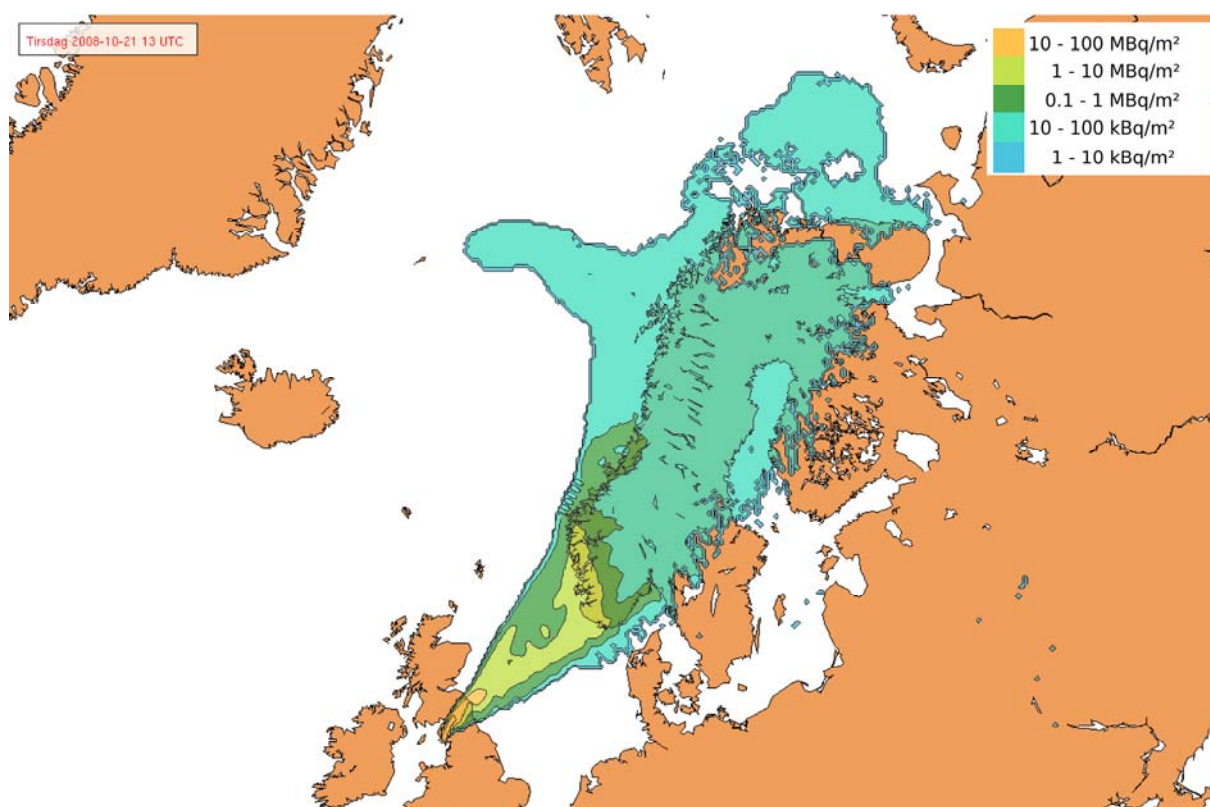
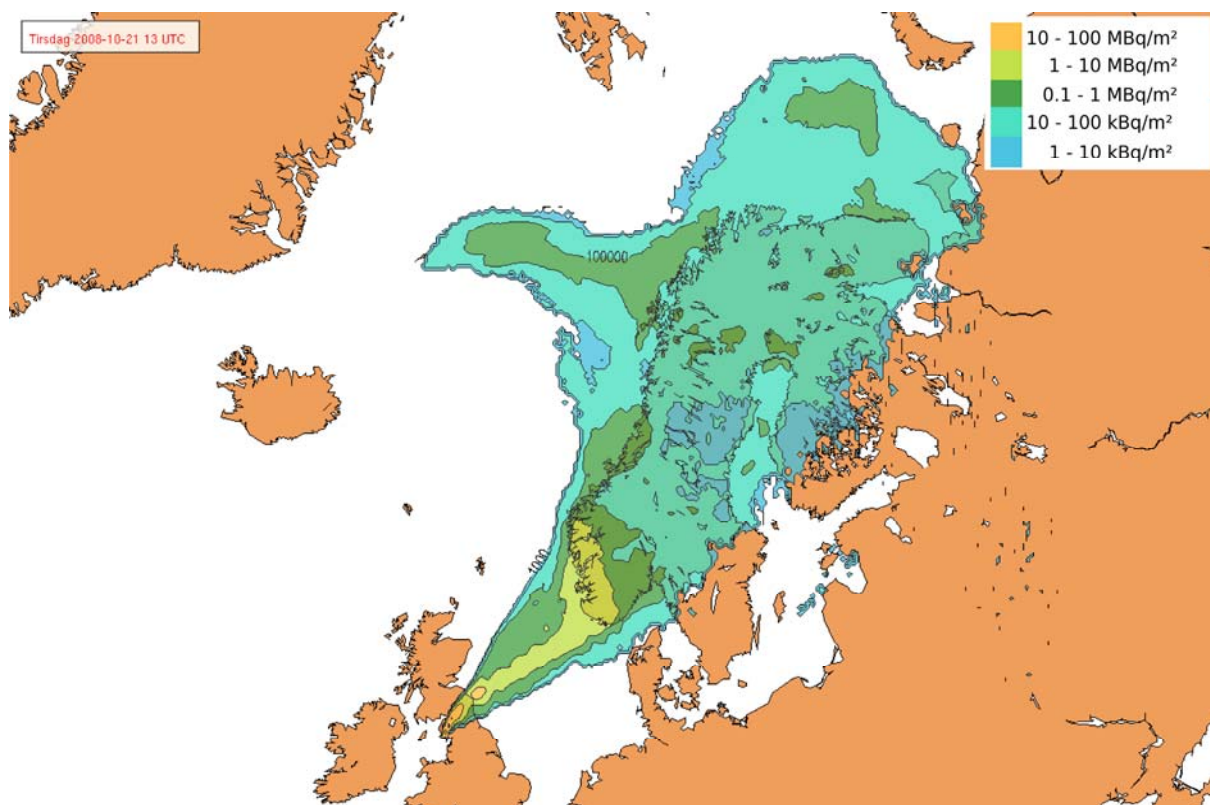


Figur 4.3: Figuren viser nedfall av ^{137}Cs etter en tenkt ulykke ved Sellafield (Bq/m^2). Kildetermen er 10 % av totalt antatt ^{137}Cs i HAL-tankene.

4.2.2 Simulering av nedfall, avhengig av partikkelstørrelse

En tilsvarende simulering ble også gjort med SNAP2 modellen. Denne modellen ble brukt for å belyse hvilken betydning et partikkelutslipp, i motsetning til utslipp av aerosoler, vil kunne ha for nedfallet i Norge. I følge IAEA vil alle alvorlige nukleære ulykker (eksplosjoner, branner) bidra til utslipp av radioaktive partikler [10]. Partiklenes sammensetning vil være kildeavhengig, mens partiklenes størrelsesfordeling og struktur (tetthet) vil også være avhengig av utslippsscenarioet. Det er derfor rimelig å anta at en alvorlig ulykke med Hal-tankene vil bidra til utslipp av partikler og at en stor andel av ^{137}Cs vil være assosiert med partikler av ulike størrelse og struktur.

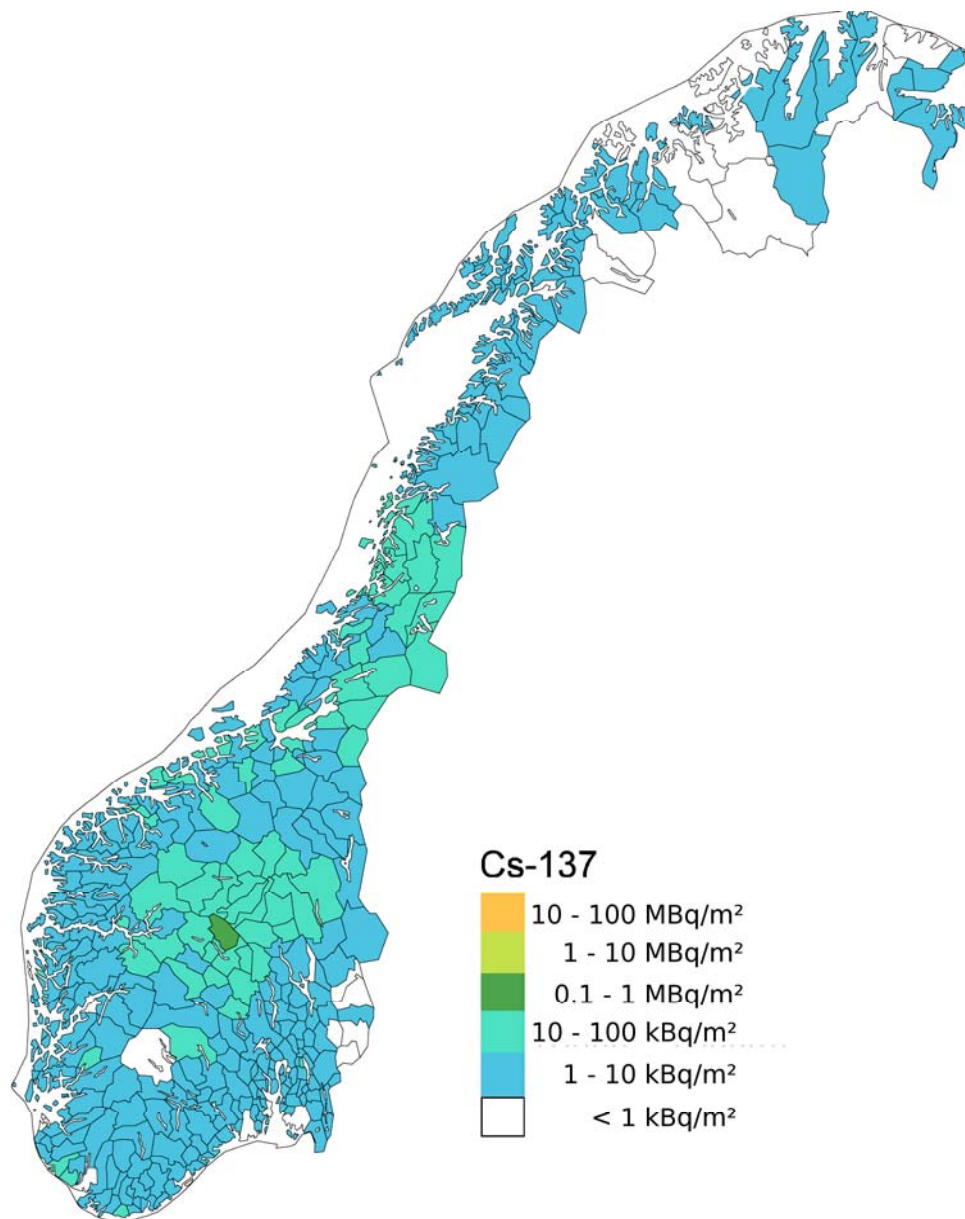
Simuleringen ble kjørt med den samme antagelsen av kildetermen og værforhold. Formen på utslippet ble antatt å opptre som en sylinder med en radius på 10 m og høyde på 150 m. Figur 4.4 viser forskjellen i nedfall ved forskjellig partikkelstørrelser. SNAP2 med partikkelradius på $2.2 \mu\text{m}$ skal være ganske lik SNAP, noe som også kommer frem ved å sammenligne figurene 4.4 og 4.3. En simulering med partikkelradius på $8.6 \mu\text{m}$ ga noe mindre nedfall i Norge, men nivåene er fortsatt over $100 \text{ kBq}/\text{m}^2$ langs kysten av Vestlandet. Figur 4.4 viser at modellen er følsom for partikkelstørrelsene i utslippet og at en firedobling av partikkelstørrelsen gir noe mindre, men likevel et betydelig nedfall i Norge. Et partikkelnedfall vil imidlertid være mer flekkvis fordelt, hvor betydelig aktivitet kan avsettes innenfor begrensede områder (hot spots). Enkeltpartikler kan også inneholde betydelig aktivitet og opptre som punktkilder ved inhalasjon eller inntak via mat for mennesker eller dyr [10].



Figur 4.4: Nedfall av ^{137}Cs i Norge etter en tenkt ulykke ved Sellafield-anlegget (Bq/m^2), hvor partikkelstørrelsene er antatt å ha en radius på $2.2 \mu\text{m}$ (øverst) og $8.6 \mu\text{m}$ (nederst). Kildetermen er 10 % av totalt innhold av cesium i HAL-tankene.

4.3 Sammenligning med Tsjernobyl-ulykken

Figur 4.5 viser nedfallet av ^{137}Cs i Norge etter Tsjernobyl-ulykken.



Figur 4.5: Nedfall av ^{137}Cs i Norge etter Tsjernobyl-ulykken.

De høyeste aktivitetsnivåene i Norge etter nedfall fra Tsjernobyl-ulykken finner vi i noen begrensede høyfjellsområder i Sør Norge. Maksimumsnivåene var på ca. 100 kBq/m². Vestlandet hadde etter Tsjernobyl-ulykken et gjennomsnittsnivå på ca. 5 kBq/m². Med simuleringene knyttet til et tenkt utslipp fra Sellafieldanleggene, med kildeterm fra 0,1 til 10% av totalinnholdet av ^{137}Cs i HAL-tankene, får dette området et gjennomsnittlig nedfall fra 10 kBq/m² til 1 MBq/m².

I et eventuelt utslipp fra HAL-tankene vil det også forekomme andre radioaktive stoffer enn ^{137}Cs som vil føre til ytterligere konsekvenser.

4.4 Usikkerhet

De største usikkerhetene ved denne konsekvensvurderingen knytter seg til den valgte kildetermen og Ulykkesscenarioet. Kildeterm er valgt ut fra den informasjonen som har vært tilgjengelig, uten å si noe om hva slags type ulykke som kan forårsake en slik kildeterm. Sannsynligheten for at en ulykke av et slikt omfang skal kunne inntreffe er også usikker og ikke drøftet her. Til spredningsmodellen knytter det seg mindre usikkerheter, som er basert på modeller av reelt vær. Usikkerheten her er mer knyttet til sannsynligheten for at et gitt vær skal inntreffe. Ved en annen værtype vil konsekvensene kunne bli annerledes og eventuelt berøre andre deler av Norge enn denne rapportens simuleringer viser. Det er rimelig sikkert at partikler vil dannes ved en alvorlig ulykke som involverer HAL-tankene, mens usikkerheten knytter seg på partikkelstørrelse og tetthet, og derved nedfallsmønsteret. Det er rimelig sikkert at et partikkelnedfall vil være flekkvis fordelt, men usikkert hvor høye de lokale nedfallsverdiene kan bli.

5 Diskusjon

Denne rapportens hovedfokus har ikke vært å anslå hvordan en ulykke kan oppstå eller sannsynligheten for en mulig ulykke og medfølgende utslipp, men heller et fokus på hvordan en hypotetisk ulykke ved lagertankene for høyaktivt avfall i Sellafield kan berøre Norge. Det er svært vanskelig å vurdere hvor store volumer og aktivitetsnivåer som kan bli spredt til atmosfæren ved en ulykke eller terrorhandling ved lagringstankene for høyaktivt flytende avfall. Denne type informasjon er av sikkerhetsmessige årsaker ikke tilgjengelig fra britiske myndigheter. Det er derfor valgt å ta utgangspunkt i et intervall, og det benyttes en utslippsmengde som svarer til 0,1 til 10 % av den totale mengden flytende radioaktivt avfall i HAL-tankene.

Simuleringene viser at under typiske værforhold kan atmosfæriske utslipp fra en potensiell ulykke ved Sellafield nå Norge etter 9 timer. Resultatet fra simuleringene viser at nedfall kan medføre høye nivåer av radioaktivitet i Norge, og spesielt på vestkysten av Norge. Beregninger viser at mye nedbør vil vaske ut radioaktive stoffer fra atmosfæren og gi høyere aktivitetsnivåer på bakken enn ved tørravsetning. Dette ble også erfart etter Tsjernobyl-ulykken. Denne simulering viser for enkelthets skyld kun nedfall av ^{137}Cs . Tankene med høyaktivt flytende avfall inneholder i tillegg en rekke andre radioaktive stoffer. I virkeligheten vil derfor nedfallet bestå av en rekke radioaktive stoffer, som vil øke de totale konsekvensene for Norge.

Simuleringer har blitt gjennomført både for et utslipp av ^{137}Cs i form av aerosoler og i form av radioaktive partikler av forskjellig størrelse. Resultatene viser at selv store partikler (radius opp til 9 μm) når Norge. Fra scenarioene (0,1 – 10 % av det totale innhold av radioaktivitet i HAL-tankene) kan Norge få et større ^{137}Cs -nedfall, dvs. fra 10 til 5000 kBq/m^2 , særlig på Vestlandet. Simuleringene viste et nedfall fra en tiendedel til 10-50 ganger nedfallet i det mest kontaminerte området i Norge etter Tsjernobyl-ulykken. Med det valgte været startet nedfallet over Norge kun 9 timer etter utslippet.

Dersom en “worst-case” ulykke skulle inntreffe, ville dette fått konsekvenser lik eller verre enn etter Tsjernobyl. Det innebærer til dels alvorlige konsekvenser for landbruk, miljø og samfunn i flere tiår fremover, og det ville blitt nødvendig med konsekvensreducerende tiltak.

Denne utredningen har, tross usikkerheter, pekt på at et slikt “worst-case” scenario vil kunne medføre betydelig radioaktivt nedfall over Norge. Ut ifra et beredskapsperspektiv er det viktig å vurdere ulike potensielle kilder som kan medføre konsekvenser i Norge om det skulle skje en ulykke, og dimensjonere beredskapen deretter. Norsk beredskap er dimensjonert ut ifra en slik tankegang, og er dermed også forberedt på å håndtere en eventuell alvorlig ulykke ved Sellafieldanleggene.

Utredningen viser nødvendigheten av å redusere risikoen for at en alvorlig ulykke ved HAL-tankene skal finne sted. Det er viktig å fokusere på sikkerhetstiltak, men det er også viktig å snarest mulig behandle og solidifisere det flytende høyaktive avfallet slik at det blir omdannet til en stabil form. Britiske myndigheter har forsikret norske myndigheter om at dette har høy prioritet fra deres side. Fra norsk side er det ønskelig med et økt bilateralt beredskapssamarbeid med Storbritannia, spesielt med fokus på effektiv informasjonsutveksling om hendelser og risikovurderinger ved nukleære anlegg og Sellafield-anlegget spesielt.

Referanser

- [1] Jerzy Bartnicki and Jørgen Saltbones. Modelling atmospheric dispersion of radioactive debris released in case of nuclear explosion using the Norwegian snap model. *Croatian Meteorological Journal* 43, pages 111–115, 2008.
- [2] Jørgen Saltbones, Anstein Foss, and Jerzy Bartnicki. Severe Nuclear Accident program (SNAP). A real time dispersion model. In *International aspects of Emergency Management and Environmental Technology*, 1995.
- [3] JNREG. *Sources contributing to radioactive contamination of the Techa River and the areas surrounding the "Mayakproduction association, Urals, Russia: Programme on investigations of possible impacts of the "MayakPA activities on radioactive contamination of the Barents and Kara Seas*. Norwegian Radiation Protection Authority, NRPA., 1997.
- [4] JNREG. *Impacts on man and the environment in northern areas from hypothetical accidents at "MayakPA, Urals, Russia*. Number ISBN 82-996531-2-6. Norwegian Radiation Protection Authority, NRPA., 2004.
- [5] S. A. Kabakchi, A. V. Putilov, and E. R. Nazin. Analysis of data and physiochemical modelling of the radiation accident in the southern urals in 1957. *Atomaya Energiya*, 78(1):46–50, 1995.
- [6] Forwood M. The legacy of reprocessing in the united kingdom. *International Panel on Fissile Materials Research Report*, <http://www.ipfmlibrary.org/rr05.pdf>, 2008.
- [7] NDA/DEFRA. The 2007 uk the radioactive waste inventory. nuclear decommissioning authority and department for environment, food and rural affairs. *NDA, Cumbria.*, 2008.
- [8] NRPA. Bulletin 8, 2008.
- [9] Parliamentary office of science and technology. Assessing the risk of terrorist attacks on nuclear facilities. . *POSTNOTE*, (222), July 2004.
- [10] IAEA Coordinated Research Program (CRP) on the “Radiochemical, Chemical and Physical Characterization of Radioactive Particles in the Environment”, TECHDOC. In press.



Statens strålevern
Norwegian Radiation Protection Authority

StrålevernRapport 2009:1

Virksomhetsplan 2009

StrålevernRapport 2009:2

Røntgendiagnostikk blant norske tannleger

StrålevernRapport 2009:3

Analyse av variasjon i representative doser ved CT-undersøkelser

StrålevernRapport 2009:4

Årsrapport fra persondosimetritjenesten ved Statens strålevern 2007

StrålevernRapport 2009:5

Teknisk kvalitetskontroll - konstanskontroller for digitale mammografisystemer

StrålevernRapport 2009:6

Konsekvenser for Norge ved en mulig ulykke ved Sellafield-anlegget