

StrålevernInfo 11.99

Konsekvensanalyse av en eventuell ulykke på Kola kjernekraftverk

Vi har erfart hvilke konsekvenser en alvorlig atomulykke med lufttransportert radioaktivitet kan ha for Norge og hvordan en slik ulykke påvirker næringskjeder og miljø i lang tid etterpå. Men vi har ikke hatt like god oversikt over konsekvensene av en slik ulykke i en tidlig fase. Institutt for energiteknikk (IFE), Det norske meteorologiske institutt (DNMI) og Statens strålevern (NRPA) har derfor sammen gjennomført en analyse av konsekvensene ved en alvorlig ulykke på Kola kjernekraftverk.

Innledning

I dette prosjektet har IFE studert mulige hendelsesforløp som kan medføre store utslipp fra reaktorene på Kola, DNMI har studert spredning av et eventuelt utslipp med utgangspunkt i værdata fra 1985-1995, og Strålevernet har beregnet hvilke doser slike alvorlige ulykker kan medføre i Norge i noen ekstreme tilfeller. Det har gjennom hele prosjektet vært et mål å finne scenarier som gir konsekvenser som i størrelsesorden representerer det verste vi kan oppleve i Norge som følge av en eventuell ulykke på Kola-kraftverket.

Prosjektet er utført under og delvis finansiert gjennom Regjeringens handlingsplan for

atomsikkerhet og miljø. Resultatene er et viktig hjelpemiddel i den videre beredskapsplanleggingen.

Mulige ulykker

Kola kjernekraftverk (figur 1) ligger om lag 250 km fra den norsk-russiske grensen. Kraftverket består av 4 reaktorer av type VVER-440. To av reaktorene er av en eldre type, med betydelige sikkerhetsmessige svakheter (VVER-440/230), mens to av reaktorene er nyere og har noe bedre innebygget sikkerhet (VVER-440/213).



Figur 1: Kjernekraftverket på Kola

Foto: USDOE-INSP

En vurdering av mengden radioaktivitet som slippes ut og utslippets forløp, dvs. hvor lang tid det tar før aktiviteten slipper ut av reaktoren, hvor høyt den løftes og hvor lenge utslippet varer er noe av det første beredskapsorganisasjonen vil beskjeftige seg med i tilfelle en ulykke, fordi dette er viktig informasjon ved vurdering av konsekvensene av ulykken. Denne informasjonen inngår også som grunnlag for beregning av hvilke områder som blir berørt med meteorologiske spredningsmodeller.

I denne analysen er ulike alvorlige ulykkes-scenarier studert. Disse har forløp som kan knyttes til hendelser og sekvenser som danner en forklarlig sammenheng. Vi har ønsket å få et inntrykk av hvilke utslipp som kan forventes når det meste går galt, selv om sannsynligheten for slike ulykker er liten. En ulykkessekvens starter med en første hendelse som forårsaker en kjede av problemer som til slutt blir vanskelig eller umulig å håndtere. Det man frykter mest ved reaktorene på Kola er tap av kjøling ved en reaktor med påfølgende nedsmelting av reaktorkjernen.

Ideelt sett bør en slik analyse av ulykkessekvenser baseres på en meget omfattende analyse av hele kjernekraftanlegget der alle mulige første årsaker som kan lede til at systemer eller funksjoner svikter (f.eks rørbrudd, svikt i pumper eller elektrisk anlegg, brann og operatørfeil) vurderes. Det gjøres ved at man kombinerer kunnskap om reaktorens konstruksjon med driftserfaring og statistikk for feilfrekvens i komponenter og systemer. Resultater fra en slik analyse for den enkelte reaktor er derfor det beste grunnlag for å vurdere hvilke ulykkessekvenser som bør legges til grunn ved en konsekvensanalyse. Det er ikke utarbeidet slike analyser for reaktorene på Kola. Denne konsekvensanalysen baserer seg derfor på analyser utført for andre reaktorer av samme type, samt en tidligere, men ufullstendig analyse for Kola-reaktorene, samt kunnskap om reaktorenes konstruksjon.

I vår konsekvensanalyse er flere mulige ulykkessekvenser og mulige utslipp vurdert, og eksempler på slike er vist i tabell 1 nedenfor. Utslipet er delt opp slik at radioaktive stoffer med liknende egenskaper er samlet i grupper. Utslipet er angitt i prosent av den mengde radioaktivitet som finnes i reaktorkjernen. I konsekvensberegningene har vi antatt at reaktorbrenselet er utbrent, slik at vi får et størst mulig innhold av radioaktive stoffer i reaktorkjernen som utgangspunkt.

	Edelgass	Jod	Cesium	Tellur	Andre
VVER-440/213	100	2.5	2.5	0.5	0.1-1
VVER-440/230	100	15	12	10	0.5-2

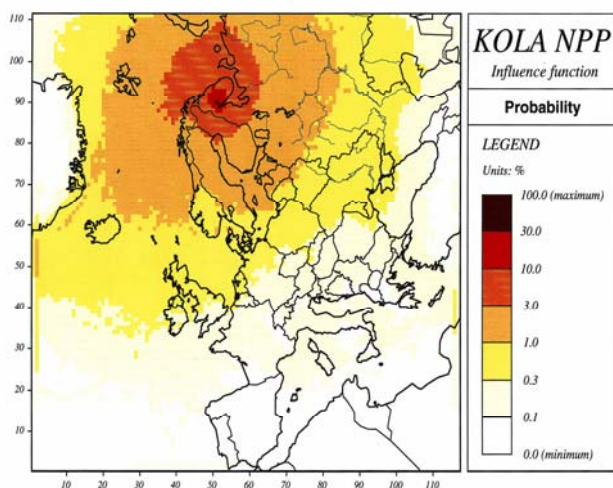
Tabell 1: Antatte utslipp fra en reaktor ved Kola. Verdiene er oppgitt i % av kjernens innhold.

Konsekvenser er bare beregnet for det mest alvorlige utslippet. Det innebærer et brudd i to ender av et stort rør i en av de eldste reaktorenes primærkjølekrets, som igjen medfører et raskt tap av trykk og kjølevann etterfulgt av utslipp og kjernenedsmelting.

Spredning i luft

Om det skulle skje en ulykke på Kola kjernekraftverk, er det vær-situasjonen når utslippet skjer som vil være avgjørende for hvilke konsekvenser ulykken vil få i Norge.

Det ble gjennomført en analyse som skulle gi sannsynligheten for at en radioaktiv sky treffer et bestemt sted. På grunnlag av utslipp hver time i en 11-års periode (1985-1995), dvs. ca. 100 000 utslipp, beregnet DNMI sannsynligheten for at skyen kommer til et valgt sted i løpet av de 10 første dagene etter utslippet (figur 2). Det er f.eks ca. 3% sannsynlighet for at skyen treffer Finnmarksvidda, mens sannsynligheten for treff har falt til ca. 1% ved Trondheim. I Norge er Kirkenesområdet mest utsatt, med ca. 4-5% sannsynlighet. I og med at treffsannsynligheten fordeles i tilnærmede sirkler, er ikke en transportretning særlig mer sannsynlig enn en annen.



Figur 2: Sannsynligheten for at en sky kommer til et valgt sted i løpet av de 10 første dagene etter et utslipp.

Videre er det interessant å vite hvor lang tid det tar før skyen ankommer et bestemt sted. Korteste transporttid fra Kola kraftverket ble beregnet, og det viste seg at korteste transporttid til Kirkenes er ca. 3 timer, mens Osloområdet nås innen ca. 24 timer. Tabell 2 viser sannsynligheten for passasje og minimum transporttid.

Passeringssted	Sannsynlighet for passering (%)	Minimum transporttid (timer)
Kirkenes	4.38	3.00
Tromsø	2.11	7.50
Bodø	1.62	9.00
Trondheim	0.90	22.75
Oslo	0.96	26.50
Bergen	0.81	35.75
Kristiansand	0.97	35.50
Nær KNPP	22.19	0.50

Tabell 2: Sannsynlighet for passering og minimum transporttid fra Kola NPP til utvalgte passeringsteder.

Episoder

Ved en atomulykke er det været som er bestemmende for hvilke områder som blir berørt av forurensningen. I en gitt værtilstand kan et område måtte bære den fulle belastning av utslippet, selv om den statistiske sannsynligheten for at dette skal skje er lav. Tre spesielle værtilstander ble derfor valgt ut

som grunnlag for å beregne konsekvenser i et verste tilfelle.

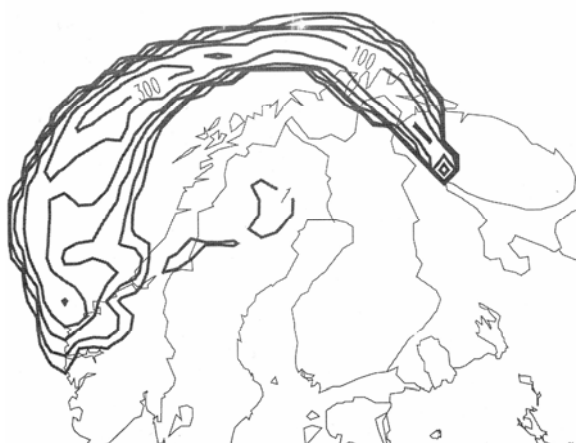
Sett fra den norske atomulykkeberedskapsplan vil "korteste transporttid" være et verste tilfelle. Kort transporttid kan være problematisk for å iverksette beredskapsplan og eventuelle tiltak. Øst-Finnmark pekte seg ut som mottakssted i dette tilfellet.

I arktiske områder i Finnmark er det semi-naturlige økosystemet sårbart for konsentrert nedfall av radioaktive stoffer med lang halveringstid. Utfelling av luftforurensninger langt fra kilden skjer mest effektivt ved nedbør. Derfor ble en slik situasjon valgt, med Finnmarksvidda som mottakssted.

Den neste situasjonen som ble valgt fokuserer på store befolkningssentra og den samlede strålingsdose som befolkningen kunne utsettes for, spesielt ved inhalasjon av radioaktiv forurensning. Et slikt tilfelle vil være "tørr situasjon" med lite nedbør underveis og stabil luft slik at skyen fortynnes lite. Mottakssted i dette tilfellet ble Oslo.

"Korteste transporttid" til Øst-Finnmark

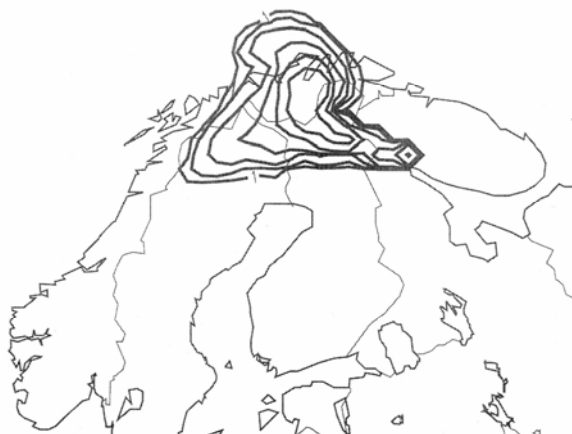
Skyen beveget seg inn over Finnmark og traff Kirkenes 4 timer etter utslippet (Kirkenesscenariet). Videre beveget den seg ut i havet og sørover til den nådde Møre/Trøndelag. Som vist i figur 3 ble resultatet av simuleringen at nesten all masse som ble sluppet ut ikke lenger befant seg i lufta etter 72 timer. Ca. $\frac{3}{4}$ av nedfallet kom over havet. Av det nedfallet som kom over land, falt halvparten over norsk område. Mesteparten falt over Finnmark.



Figur 3: Kartet viser det totale nedfall 72 timer etter at utslippet startet.

"Våt situasjon" til Finnmarksvidda

Transporten for dette tilfellet foregikk mye langsommere enn i det forrige. Skyen ankom Finnmarksvidda ca. 24 timer etter utslippet (Kautokeinoscenariet). Omfattende nedbør satte inn i dette området i tidsrommet 36 til 48 timer. Den videre transporten foregikk langsomt, men nesten hele Nord-Norge var dekket av skyen etter 72 timer. Våtavsetningen nær kilden var stor. Våtavsetningen etter 72 timer vises i figur 4. Nesten all masse som ble sluppet ut befant seg i avsetningsfeltet etter 72 timer. Minst 9/10 kom over land. Av dette ble halvparten avsatt over Norge og hovedsakelig over Finnmarksvidda.



Figur 4: Kartet viser "våtnefallet" etter 72 timer.

"Tørr situasjon" til Østlandet

Simuleringen av dette tilfellet viste at skyen gikk sørover via Finland og Sverige før den kom innover Sør-Norge og traff Oslo etter 60 timer (Osloscenariet). Områder med store befolkningskonsentrasjoner i Finland, Sverige og Norge ble berørt av de radioaktive utslippene. Skyen har i liten grad blitt utsatt for utvasking. Tørravsetning er en langsomtvirkende utfellingsprosess, slik at det var forventet relativt høye konsentrasjoner i den sentrale delen av skyen selv etter lang transporttid. Figur 5 viser den totale avsetningen 72 timer etter at utslippet startet.

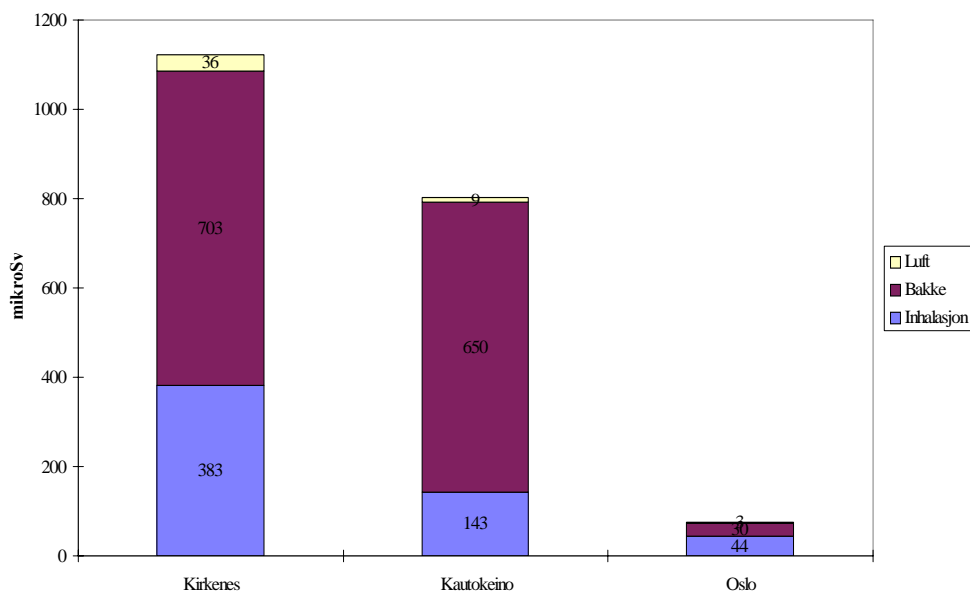


Figur 5: Kartet viser det totale nedfall 72 timer etter at utslippet startet.

Dosemessige konsekvenser

Beregninger er utført for tre eksponeringsveier for hvert av de tre scenariene; ekstern bestråling fra bakkeponert radioaktivitet, ekstern bestråling fra luftbåret radioaktivitet og doser fra inhalasjon. Doser fra mat er en viktig eksponeringsvei, men ble ikke beregnet pga. fokus på tidlig fase. Av figur 6 ser vi at effektiv dose for en voksen mann som følge av bestråling den første uka etter ulykken er beregnet til 1,1mSv for Kirkenesscenariet, 0,80mSv for Kautokeinoscenariet og 0,08mSv for Osloscenariet.

Dosebidrag fra eksponeringsvei første uka etter ulykken



Figur 6: Bidrag fra ulike eksponeringsveier til effektiv dose som følge av eksponering første uka etter en tenkt ulykke ved Kola kjernekraftverk.

Betydningen av de ulike eksponeringsveiene er noe forskjellig for de ulike scenariene.

Betrakter vi et tidsrom på en uke fra utslippet, fant vi for alle tre scenariene at både inhalasjon og ekstern bestråling fra radioaktivitet avsatt på bakke er viktige bidragsyttere til den samlede stråledosen. I Kautokeinoscenariet fant vi at ekstern bestråling fra radioaktivitet avsatt på bakke var spesielt dominerende som eksponeringsvei, noe som har sin årsak i at dette er et scenario med mye nedbør og høy våtavsetning. Ekstern bestråling fra radioaktiv forurensing i luft ble for alle tre scenariene funnet å være en relativt ubetydelig eksponeringsvei, selv om luftbåret radioaktivitet har en viss betydning for doseraten fra ekstern bestråling under selve skypassasjen.

Doser fra inhalasjon av radioaktive nuklider for små barn er funnet å være i størrelsesorden en faktor 2 større enn tilsvarende verdi gitt i figur 6 for voksne menn. Den radioaktive nukliden jod-131 (^{131}I) gav for alle tre scenariene det absolutt største bidraget til inhalasjonsdoser. For Kirkenesscenariet, hvor transporttiden er

meget kort, ble det imidlertid funnet at også den mer kortlivede jodisotopen ^{133}I ($t_{1/2}=20,3$ timer), hadde en viss betydning for inhalasjonsdosen.

For første uka etter utslippet ble de to radioaktive nuklidene ^{132}Te og ^{132}I funnet å gi opphav til bortimot halvparten av stråledosen fra ekstern bestråling. Det ble ikke uventet funnet at strålingsintensiteten til et ferskt nedfall i stor grad vil domineres av kortlivede radioaktive nuklider. I Kirkenesscenariet var bare 14% av doseraten fra ekstern bestråling første uka forårsaket av radioaktive nuklider med halveringstid lengre enn 7 dager. For Kirkenesscenariet er omtrent en femtedel av den totale dosen fra ekstern bestråling det første året, et resultat av eksponering den første uka etter nedfallet. Årsaken til dette er den høye andelen kortlivede radioaktive nuklider i nedfallet.

Hvis vi betrakter over en periode på ett år, ser vi at cesium-isotopene med lang halveringstid, ^{134}Cs ($t_{1/2}=2,06$ år) og ^{137}Cs ($t_{1/2}=30,17$ år) gav opphav til ca. 60-70 % av stråledosen fra ekstern bestråling. Betrakter man dette året

under ett, vil ekstern bestråling fra radioaktivitet på bakke være det absolutt viktigste blant de eksponeringsveiene vi har regnet på. For Kirkenesscenariet er effektiv dose fra radioaktivitet avsatt på bakke første året etter utslippet beregnet til 3,5 mSv, for Kautokeinoscenariet er den beregnet til 5,1 mSv og for Osloscenariet til 0,26 mSv.

Tiltak

Nivået av den radioaktive forurensningen avsatt på bakke er for Kirkens- og Kautokeinoscenariene beregnet å være i samme størrelsesorden som de mest utsatte områdene av Norge etter Tsjernobylulykken. Dette betyr at man i disse to scenariene vil kunne påregne betydelige problemer som følge av radioaktivitet i næringskjeden og man vil derfor kunne påregne et behov for dosereduserende tiltak.

Dosene beregnet for disse tre scenariene antas å representere størrelsesorden for det verste man kan forvente av konsekvenser etter en eventuell ulykke ved Kola kjernekraftverk. De beregnede dosene er langt lavere enn hva som skal til for å medføre akutte stråleskader.

Internasjonale retningslinjer vedrørende tiltak som innendørsopphold, evakuering og jodtabletter bl.a. fra den internasjonale strålevernkommisjonen (ICRP) baserer seg på en vurdering av fordeler og ulemper ved iverksetting av tiltak. Dette uttrykkes i hvor stor dose som kan unngås ved gjennomføring av tiltak. Besparingspotensialet er ut fra våre beregninger for lavt til at tiltak synes direkte rettferdiggjort. En vurdering av om man allikevel bør gjennomføre tiltak i en tidlig fase av en eventuell ulykke ved Kola kjernekraftverk må likevel foretas om en slik situasjon skulle oppstå. Det vil alltid hefte usikkerhet til beregninger av denne typen, samtidig som en vurdering av fordeler og ulemper i en aktuell situasjon kan resultere i at man velger å gjennomføre tiltak f.eks. for spesielle grupper i samfunnet.

Referanseliste

Ytterligere detaljer om konsekvensanalysen finnes i følgende rapporter:

Bartnicki, J and Saltbones, J. *Analysis of atmospheric transport and deposition of radioactive material released during a potential accident at Kola Nuclear Power Plant*. Research Report No.43, DNMI, 1997.

Larsen, E., Naadland Holo, E., Saltbones, J. og Stokke, E. *Kola konsekvensanalyse. Vurdering av dosemessige konsekvenser av en eventuell ulykke ved Kola kjernekraftverk*. StrålevernRapport 1999:nr.10. Østerås: Statens strålevern, 1999.

Saltbones, J., Bartnicki, J., and Foss, A. *Analysis of atmospheric transport and deposition of radioactive material released during a potential accident at Kola Nuclear Power Plant, Part two: Worst case scenarios*. Research Report No.56, DNMI, 1997.

Saltbones, J. og Bartnicki, J. *Atmosfærisk transport av radioaktivt materiale fra en potensiell ulykke ved kjernekraftverket på Kola*. Naturen nr.4, 1997.

Saltbones, J., Bartnicki, J. og Foss, A. *Spredning av radioaktive utslipp fra kjernekraftverket på Kola - Episodestudier*. Naturen Nr.4, 1998.

Stokke, E. *Kola Nuclear Power Plant. Consequence assessment for hypothetical severe accidents. Source term assessment*. Institutt for energiteknikk, 1997.