

Konsekvensvurderinger for scenarier knyttet til anløp av reaktordrevne fartøy til Grøtsund

Referanse

Thørring H, Améen E.

Konsekvensvurderinger for scenarier knyttet til anløp av reaktordrevne fartøy til Grøtsund
Teknisk dokument nr. 20. Østerås: Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet, 2021.

Publisert
Sider

april
22

DSA,
Postboks 329,
0213 Oslo,
Norge.

Emneord

Konsekvensvurdering. Anløp. Reaktordrevne fartøy.
Arktis. Grøtsund.

Telefon
Faks
Email

67 16 25 00
67 14 74 07
dsa@dsa.no
dsa.no

Resymé

Rapporten gir en vurdering av mulige konsekvenser for scenarier knyttet til anløp av reaktordrevne fartøy til Grøtsund.

ISSN 2387-5240

Reference

Thørring H, Améen E. Consequence assessments for scenarios related to visits by nuclear-powered vessels to Grøtsund
Technical Document no. 20. Østerås: Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority, 2021.
Language: Norwegian.

Key words

Consequence assessments. Visit. Nuclear-powered vessel. Arctic. Grøtsund.

Abstract

This report contains an assessment of possible consequences for scenarios related to visits by nuclear-powered vessels to Grøtsund.

Prosjektleder: Håvard Thørring

Godkjent:



fung. avdelingsdirektør, avdeling beredskap

Konsekvensvurderinger for scenarier knyttet til anløp av reaktordrevne fartøy til Grøtsund

Håvard Thørring

Einar Améen

fra Direktoratet for strålevern
og atomsikkerhet (DSA)

Østerås, 2021,
Norway

Innholdsfortegnelse

	Sammendrag	5
1	Innledning	6
2	Modellering	7
2.1	Ulykkes-scenario og kildeterm	7
2.2	Spredningsprognoser og værdata	8
2.3	Utgangsdata fra spredningsprognoser	9
3	Resultater og diskusjon	10
3.1	Stråledoser og tiltak i akuttfasen	10
3.1.1	Total effektiv dose (TED) – vurdering av evakuering og innemelding	10
3.1.2	Total ekvivalent dose til skjoldbruskkjertel – bruk av jodtabletter	12
3.2	Radioaktivt nedfall – konsekvenser for matproduksjonen	14
3.2.1	Nedfall av radioaktive stoffer på bakken	14
3.2.2	Problemstillinger innen matproduksjonen på kortere og lengre sikt	16
4	Konklusjon	18
5	Referanser	19
	Vedlegg 1 – Innstillinger brukt i RIMPUFF	20
	Grovt rutenett («grid»):	20
	Fint rutenett («grid»):	20
	Andre innstillinger – RIMPUFF:	21
	Vedlegg 2 – Vindroser for Tromsø	22

Sammendrag

Det har vært en betydelig økning i antallet anløp av allierte militære reaktordrevne fartøy til norske farvann de senere årene. I økende grad mottar Norge anløp til farvann i Nord-Norge, noe som medfører en økt risiko for at landsdelen kan bli berørt av en større eller mindre hendelse i et reaktordrevet fartøy.

I 2010 la regjeringen til grunn seks dimensjonerende scenarier med ulike typer atomhendelser for planlegging av norsk atomberedskap og krisehåndtering. Et reaktorhavari om bord i et alliert fartøy ved en anløpshavn er et eksempel på scenario 2 – «Luftbåret utslipp fra anlegg eller annen virksomhet i Norge».

Forsvarets har i dag en anløpshavn ved Haakonssvern i Bergen og ønsker å etablere en ny anløpshavn ved Tønsnes/Grøtsund i Tromsø. I denne rapporten har vi vurdert konsekvensene av en hypotetisk ulykke på en reaktordrevet ubåt ved Grøtsund havn. Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) har tatt utgangspunkt i et scenario med tap av kjøling til reaktoren og påfølgende nedsmelting av reaktorkjernen, men med primær- og sekundærbarrierer fortsatt intakte. Kildetermen som er brukt er utarbeidet av det australske strålevernet (ARPANSA), og er godt dokumentert. Det tas hensyn til 49 radioaktive stoffer. Modellering er utført med beslutningsstøtteverktøyet ARGOS og spredningsmodellen RIMPUFF. Til sammen er det laget 478 forskjellige prognoser, basert på omtrent et års værdata.

Basert på alle prognoser, kan det – i verste fall – bli aktuelt med evakuering opptil 2 km, innmelding opptil 3 km og delvis innmelding 3–5 km fra utslippspunktet. Bruk av jodtabletter for barn, ammende og gravide kan bli aktuelt inntil 9 km fra utslippspunktet (og 3 km for andre voksne under 40 år). Men, det er verdt å merke seg at for de aller fleste vær-situasjoner vil disse tiltakssonene være mindre – for eksempel er det nok med evakuering inntil 500 m fra Grøtsund havn for 95% av våre værprognoser.

Det kan bli behov for tiltak i matproduksjon flere titalls km fra utslippsstedet for å sikre at mat som legges fram for salg er trygg å spise. Konsekvensene for matproduksjonen vil bl.a. avhenge av når på året ulykken skjer, vær-situasjonen og hva som produseres i det berørte området. Dersom nedfallet kommer i beitesesongen bør særlig melkeproduserende dyr holdes innendørs for å unngå høye nivåer av radioaktivt jod, cesium og strontium i melken. På lengre sikt, dvs. utover ca. et par måneder, vil det være radioaktivt cesium som har størst betydning for matproduksjonen i berørte områder – spesielt innen saue- og reindriftsnæringene. Det kan bli nødvendig med tiltak innen reindriftsnæringen utover en radius på 60 km fra utslippspunktet for enkelte værscenarier (lengste beregningsavstand for konsekvensvurderingen).

1 Innledning

I 2010 la regjeringen til grunn seks dimensjonerende scenarier med ulike typer atomhendelser for planlegging av norsk atomberedskap og krisehåndtering. Som en del av arbeidet med oppfølging og videre utredning av scenariene, gjennomfører Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) konsekvensvurderinger for konkrete situasjoner innenfor hvert av disse scenariene. Et reaktorhavari om bord i et alliert fartøy ved en anløpshavn er et eksempel på scenario 2 – «Luftbåret utslipp fra anlegg eller annen virksomhet i Norge». Det har vært en betydelig økning i antallet anløp av allierte militære reaktordrevne fartøy til norske farvann de senere årene – fra 10-15 årlige anløp av franske, britiske og amerikanske reaktordrevne ubåter for noen år siden, til 30–40 i dag. I økende grad mottar Norge anløp til farvann i Nord-Norge, noe som medfører en økt risiko for at landsdelen kan bli berørt av en større eller mindre hendelse i et reaktordrevet fartøy [2].

I forbindelse med Forsvarets arbeid med etablering av ny anløpshavn ved Tromsø industrihavn Tønsnes/Grøtsund har DSA sett på mulige konsekvenser av uhell ifm. anløp av reaktordrevne fartøy. Vi har vurdert en ulykke på ubåt ved Grøtsund havn (fig. 1) med utslipp til luft. Som grunnlag for prognosene har vi brukt det godt dokumenterte arbeidet fra det australske strålevernet (ARPANSA – Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency): «*The 2000 Reference Accident Used to Assess the Suitability of Australian Ports for Visits by Nuclear Powered Warships*» [1]. Vi har i denne konsekvensvurderingen begrenset oss til vurdering av mulige doser til mennesker i akutfasen, konsekvenser for matproduksjonen på land, og relevante konsekvensreducerende tiltak i tilknytning til dette.

Innenfor områdene der det kan bli nedfall av radioaktive stoffer, kan det også bli aktuelt med andre konsekvensreducerende tiltak for å beskytte helse og ytre miljø. Eksempler kan være opprydning i bymiljø eller hindre tilførselsveier for radioaktiv forurensning. Dette er ikke utredet nærmere i denne rapporten.



Fig. 1: Oversiktskart med Grøtsund markert (koordinater: 69.747319, 19.142336). Bakgrunnskart fra Kartverket.

2 Modellering

Modellering i denne konsekvensutredningen er utført ved bruk av beslutningsstøtteverktøyet ARGOS [3]. Utslippsscenarioet konsekvensvurderingen dekker, er karakterisert av en kildeterm som beskriver utslippets størrelse, sammensetning og forløp (avsnitt 2.1), og deretter kjøres spredningsprognoser basert på reelle værdata (avsnitt 2.2). Relevante doseestimer og nedfallsdata for ulike radioaktive stoffer beregnes i ARGOS (avsnitt 2.3), og disse parameterne sammenliknes med internasjonale anbefalinger rundt grenseverdier for ulike konsekvensreducerende tiltak, jf. den Nordiske flaggboka [4] – for å kunne sette doser i sammenheng med tiltak (kapittel 3). Det er også mulig å lage prognoser for hvordan radioaktiv forurensning i matvarer utvikler seg med tiden i berørte områder. Til dette kan man bruke en tilleggsmodule i ARGOS – «*Food and dose module terrestria*» (FDMT) [5]. Slike prognoser er ikke vurdert i denne konsekvensutredningen.

2.1 Ulykkes-scenario og kildeterm

Det ble brukt et ulykkes-scenario som skal representere et realistisk øvre nivå for konsekvenser for befolkningen i nærområdet til Grøtsund havn. Som utgangspunkt brukes en amerikansk Los Angeles-klasse ubåt med 160 MW_t PWR-reaktor med gjennomsnittlig reaktoreffekt på 25 % og 15 års brukstid på brenselet. Ved anløp, antas det at tiden for brenselsskifte nærmer seg, og at ubåten har operert på full effekt i 4 dager før anløp. Reaktorinnholdet av fisjonsprodukter er dermed på sitt høyeste. DSA har tatt utgangspunkt i et scenario med tap av kjøling til reaktoren og påfølgende nedsmelting av reaktorkjernen, men med primær- og sekundærbarrierer intakte («*contained LOCA¹*»). For detaljer knyttet til andelen av ulike radioaktive stoffer som antas å slippe gjennom barrierene, og ut til atmosfæren, henvises det til [1].

Kildetermen er utarbeidet av ARPANSA og er vist i Tabell 1. Totalt utslippsforløp er satt til 12 timer. For mer detaljer om kildetermen henvises det til [1]. Nuklidene Ba-139, Br-82, Kr-83m, La-141, Pr-145, Rb-89, Sb-125, Y-92 og Y-93 er ikke inkludert i ARGOS og derfor ikke tatt med i våre beregninger. Andre relevante kildetermer er under utarbeidelse ved DSA og kan bli vurdert senere.

Tabell 1: Oppsummert kildeterm fra ARPANSA [1] brukt i våre konsekvensvurderinger

Nuklide	Aktivitet (Bq)	Nuklide	Aktivitet (Bq)	Nuklide	Aktivitet (Bq)
Ba-140	1,57E+12	La-140	6,39E+11	Te-127	1,82E+11
Ce-141	2,40E+11	Mo-99	5,43E+11	Te-129	3,87E+11
Ce-143	6,17E+11	Nb-95	2,49E+11	Te-129m	2,06E+11
Ce-144	1,77E+11	Nb-97	1,83E+11	Te-131m	6,96E+11
Cs-134	6,41E+12	Pr-143	2,89E+11	Te-132	5,39E+12
Cs-136	9,59E+12	Rb-88	9,09E+11	Te-133m	1,67E+12
Cs-137	1,74E+12	Rh-105	9,29E+10	Xe-131m	2,20E+11
Cs-138	2,95E+12	Ru-103	2,29E+11	Xe-133	9,02E+13
I-131	8,67E+12	Ru-105	1,27E+11	Xe-133m	3,10E+12
I-132	1,05E+13	Ru-106	2,53E+10	Xe-135	1,03E+14
I-133	3,62E+13	Sb-127	1,60E+11	Xe-135m	1,35E+12
I-134	8,86E+12	Sb-129	1,05E+12	Y-90	5,19E+11
I-135	2,61E+13	Sr-89	8,75E+11	Y-91	2,13E+11
Kr-85	1,06E+12	Sr-90	2,79E+11	Zr-95	2,22E+11
Kr-85m	1,48E+13	Sr-91	2,73E+12	Zr-97	6,20E+11
Kr-87	9,53E+12	Sr-92	1,42E+12		
Kr-88	2,88E+13	Tc-99m	4,38E+11		

¹ LOCA: "loss of coolant accident"

2.2 Spredningsprognoser og værdata

Modellering er utført med bruk av kort- og mellomdistansemodellen RIMPUFF. Modellen er en Gaussisk puffmodell utviklet ved DTU Wind Energy [6]. Med modellen beregnes mengden luftbåren og deponert radioaktivitet fra atmosfæriske utslipp. Se vedlegg 1 for informasjon om innstillinger brukt for prognoser i RIMPUFF.

For å dekke størst mulige variasjon i meteorologiske forhold er spredningsprognosene utført med alle værdata DSA har tilgjengelig for kort- og mellomdistanse. Værdata er hentet fra "National Oceanic and Atmospheric Administration" [7].

Til sammen er det laget 478 forskjellige prognoser, basert på omtrent et års værdata – hvor enkelte uker mangler. Som eksempler, vil vi bruke følgende prognoser:

- 202005281900² – Sky-passasje mot kommunene nord for Tromsø.
- 202007130400 – Sky-passasje som treffer Tromsøya og Kvaløya.
- 202007090100 – Sky-passasje som treffer nærområdene, bebyggelsen nær havna.
- 202007201600 – Sky-passasje jevnt over hele Tromsø kommune.

En grov kontroll av om værscenariene er representative er utført gjennom visuell sammenligning av vindrosene for Tromsø for 1990–2020 og 2020, se vedlegg 2. Forskjeller i vindretning og predikerte tiltakszoner ved forskjellige værscenerier er beheftet med store usikkerhet og bør ikke brukes som grunnlag for ulik risikoavstand i forskjellige vindretninger, se [8] for mer om dette.

Det er kjørt spredningsmodeller i to forskjellige rutenett («grid») – avhengig av om vi ser på kortdistanse- eller mellomdistansespredning av radioaktive stoffer (fig. 2). For kortere distanser (beregningsavstand 5 km fra utslippskilden) har vi brukt celler på 0,1x0,1 km. For mellomdistanse (beregningsavstand på 60 km fra utslippskilden) har vi brukt celler 0,5x0,5 km.

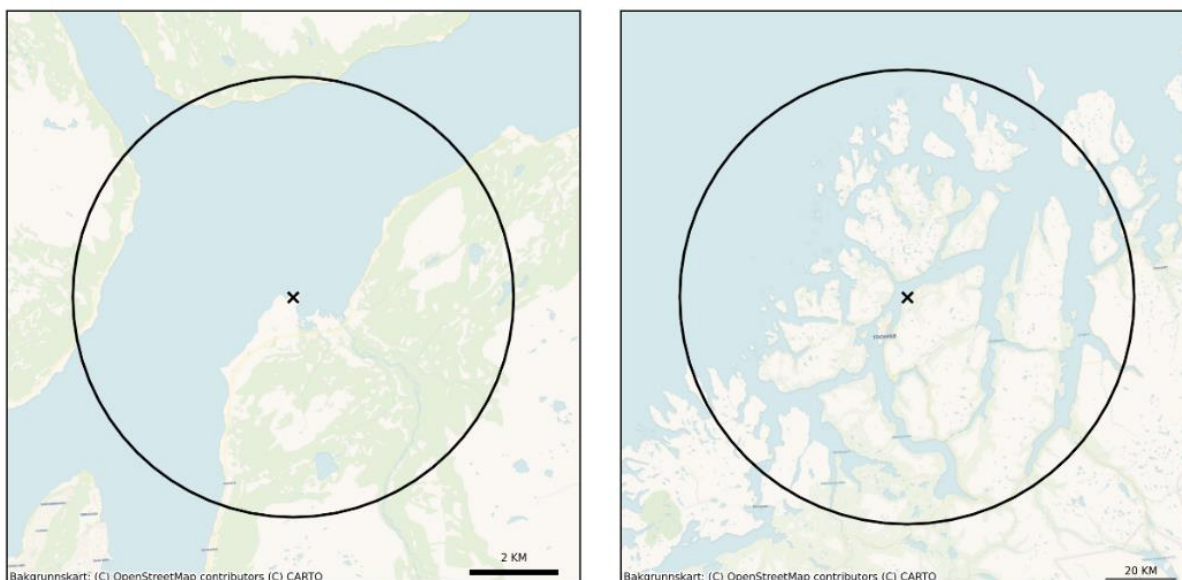


Fig 2: Områder som dekkes av spredningsprognoser – kortdistanse 5 km (venstre) og mellomdistanse 60 km (høyre).

² Prognosenummer referer til år (2020), måned (05), dag (28), tidspunkt for start (19:00)

For kortdistansespredning har vi vurdert følgende avstandssirkler fra Grøtsund brygge: 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, 800 m, 1 km, 1,25 km, 1,5 km, 1,75 km, 2 km, 2,25 km, 2,5 km, 3 km, 3,5 km og 4 km. For mellomdistansespredning har vi inkludert: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 og 55 km.

2.3 Utgangsdata fra spredningsprognoser

For hver prognose registreres maksimalt nivå av følgende parametere på hver avstandssirkel:

- Total effektiv dose (TED) etter 2, 7 og 365 dager for voksne (avsnitt 3.1.1)
- Total ekvivalent dose til skjoldbruskkjertel i forbindelse med sky-passasjen for 1-åringer, 5-åringer og voksne (avsnitt 3.1.2)
- Nedfall av forskjellige radioaktive stoffer på bakken (avsnitt 3.2.1)

For hver av disse parameterne har vi beregnet statistisk informasjon – som median, 95-persentil og maksverdi – basert på alle værprognoser. Maksverdi for nedfall eller dose i en gitt avstand fra utslippsstedet, basert på alle prognoser, er følgelig et svært konservativt estimat.

3 Resultater og diskusjon

I dette kapitlet vurderes først estimerte stråledoser og hvor det kan være aktuelt med akutte tiltak som evakuering, innmelding og bruk av jodtabletter (avsnitt 3.1). Deretter ser vi på mulige konsekvenser for matproduksjon på land (avsnitt 3.2).

3.1 Stråledoser og tiltak i akutfasen

For å kunne sammenlikne effekter av absorbert stråling fra ulike radioaktive stoffer brukes *ekvivalente doser*, der det tas hensyn til hvilken stråletype som absorberes. Ekvivalent dose angis med enheten sievert (Sv). Summen av ekvivalente doser til alle kroppens organer og vev benevnes som *effektiv dose*, som også angis med enheten Sv. Den effektive dosen tar hensyn til forskjellig strålefølsomhet mellom ulike organer og vev [9].

Sammenhengen mellom stråledose og kreftrisiko er godt dokumentert for stråledoser fra rundt 100 mSv og oppover. Under denne dosen er risikoen såpass liten at økt kreftforekomst er vanskelig å dokumentere, men ut fra hvordan stråling virker på molekyler og celler blir det antatt at også doser under 100 mSv har effekt. På bakgrunn av internasjonale anbefalinger bruker strålevernforvaltningen en lineær modell («LNT-modellen») for å estimere helserisiko også ved lavere stråledoser, uten noen nedre grense der stråledoser blir helt uten risiko. Den Internasjonale strålevernkommissjonen (ICRP) gir et risikoestimat for kreft med dødelig utgang i verdens gjennomsnittsbefolkning på 0,00005 per mSv [10]. Estimater gjelder bare for befolkningsgrupper – ikke enkeltpersoner.

3.1.1 Total effektiv dose (TED) – vurdering av evakuering og innmelding

TED kan defineres som summen av dosebidrag fra inhalasjon og ekstern gamma fra skypassering og fra bakken for en spesifisert tidsperiode (se avsnitt 2.3). Den nordiske flaggboka [4] anbefaler innendørsopphold når $TED > 10$ mSv over 2 dager («innmelding»). Det anbefales også å begrense tiden man er utendørs dersom TED ligger mellom 1 og 10 mSv over 2 dager («delvis innmelding») – spesielt for barn.

Evakuering skal foretas så fort som mulig dersom det forventes at innmeldingsperioden overskrider 2 dager, eller hvis TED til en ubeskyttet person estimeres til > 20 mSv for de første 7 dagene etter at utslippet startet [4].

I fig. 3 har vi oppsummert statistisk informasjon om TED (voksne, 2 dager) i ulike avstander fra utslippspunktet basert på alle 478 værscenarier.

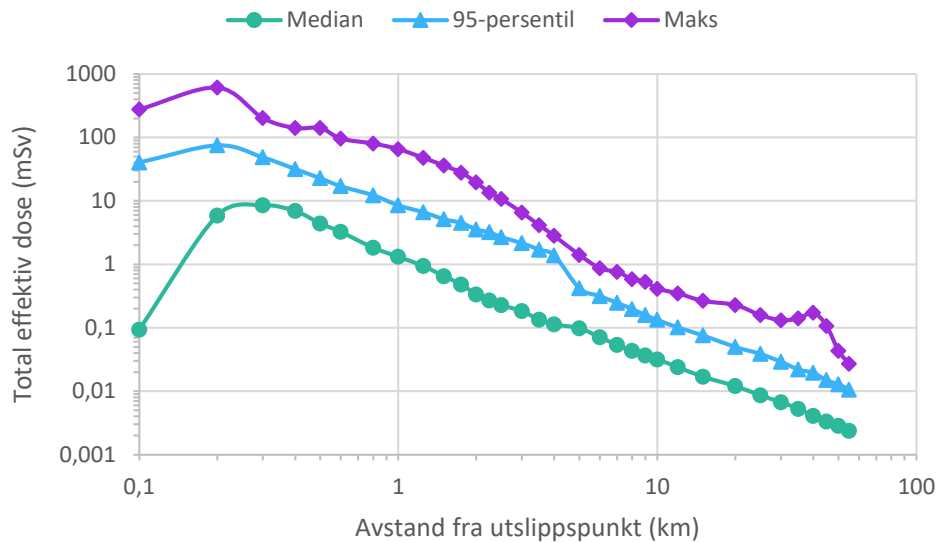


Fig. 3: Total effektiv dose (TED) over 2 dager for voksne. «Maks» representerer høyeste estimerte dose for alle inkluderte værprognoser (n=478) ved en gitt avstand. Bare 5% av værprognosene gir doser over «95-percentil», og «median» representerer middelverdi for alle kjøring. Data fra kortdistansespredning er brukt for 0,1–4 km, og data fra mellomdistansespredning er brukt fra 5 km og utover. Merk logaritmisk skala.

Et eksempel på en sky-passasje som hovedsakelig treffer nærområdene, og eventuell bebyggelse nær havna, er vist i fig. 4.

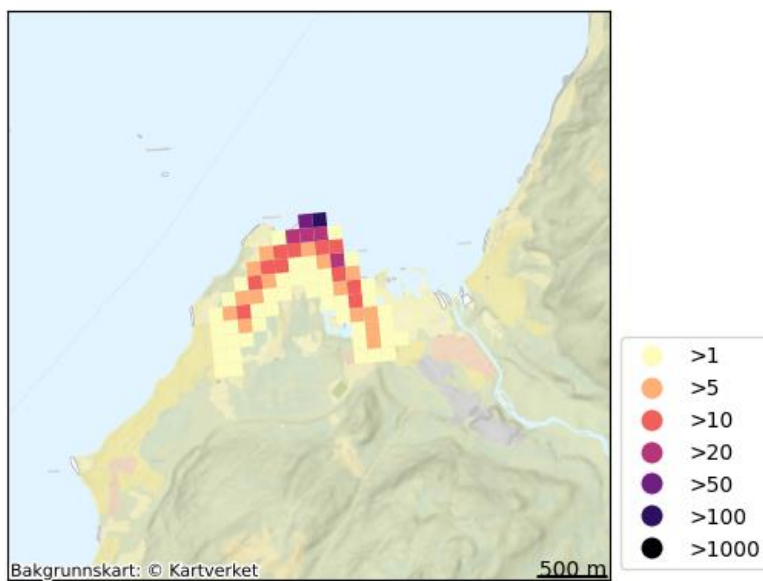


Fig. 4: Total effektiv dose (TED) over 2 dager for voksne (mSv) for prognose 202007090100

Basert på alle 478 prognoser, kan det bli aktuelt med evakuering opptil 2 km, innmelding opptil 3 km og delvis innmelding 3–5 km fra utslippspunktet. Områder som i minst en av prognosene har TED over relevante grenseverdier (spesifisert over) er vist i fig. 5.

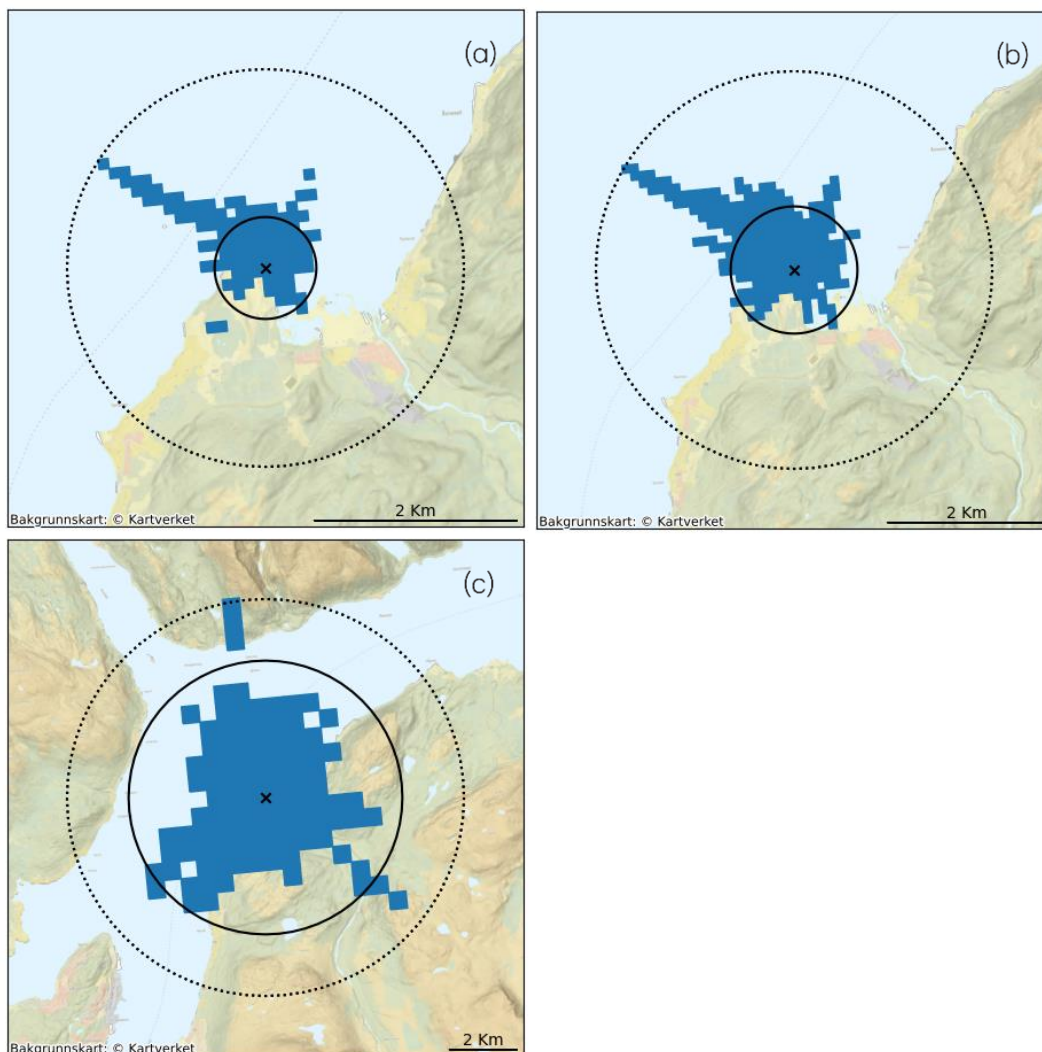


Fig. 5: Områder som det vil være aktuelt med (a) evakuering, (b) innmelding eller delvis (c) innmelding basert på 478 værprognoser. Mindre enn 5% av prognosene gav doser over grenseverdi utenfor heltrukken sirkel. Merk forskjellig målestokk i de tre kartene.

3.1.2 Total ekvivalent dose til skjoldbruskkjertel – bruk av jodtabletter

Jod-131 tas aktivt opp i skjoldbruskkjertelen hos dyr og mennesker – både gjennom innånding av gass eller mindre partikler (aerosoler) og fra mat/fôr. Dette kan senere føre til utvikling av kreft i skjoldbruskkjertelen, spesielt hos barn. I ARGOS beregnes dose til skjoldbruskkjertel for forskjellige aldersgrupper i forbindelse med skypassasjen – som varierer mellom 12 og 48 timer for de vurderte vær-situasjonene. Den nordiske flaggboka [4] anbefaler at barn under 18 år, ammende og gravide tar jodtabletter når dosen til skjoldbruskkjertelen overstiger 10 mSv. Tilvarende dosekriterium for voksne opptil 40 år er >50 mSv. De over 40 år har svært liten risiko for å få kreft i skjoldbruskkjertelen og trenger ikke å ta jodtabletter [13].

I fig. 6 har vi oppsummert statistisk informasjon om dose til skjoldbruskkjertel i forbindelse med skypassasjen i ulike avstander fra utslippspunktet for alle 478 værscenarier. Vi har vist data for 1-åringer som eksempel (gir mest konservativt estimat).

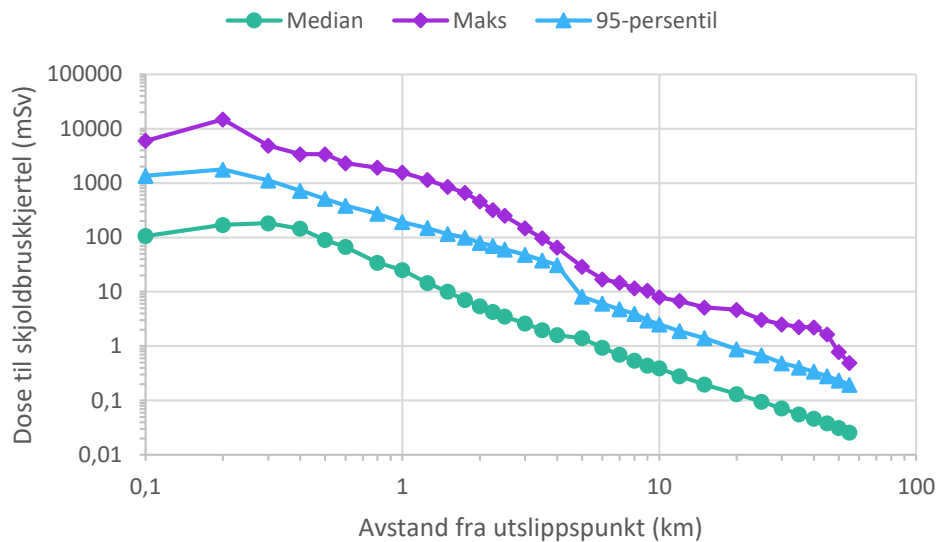


Fig. 6: Total ekvivalent dose til skjoldbruskkjertel for 1-åring. «Maks» representerer høyeste estimerte dose for alle inkluderte værprognoser ved en gitt avstand (n=478). Bare 5% av værprognosene gir doser over «95-persentil», og «median» representerer middelverdi for alle kjøring. Data fra kortdistansespredning er brukt for 0,1–4 km, og data fra mellomdistansespredning er brukt fra 5 km og utover. Merk logaritmisk skala.

Et eksempel på en sky-passasje som hovedsakelig treffer nærområdene (samme prognose som for TED) er vist i figur 7.

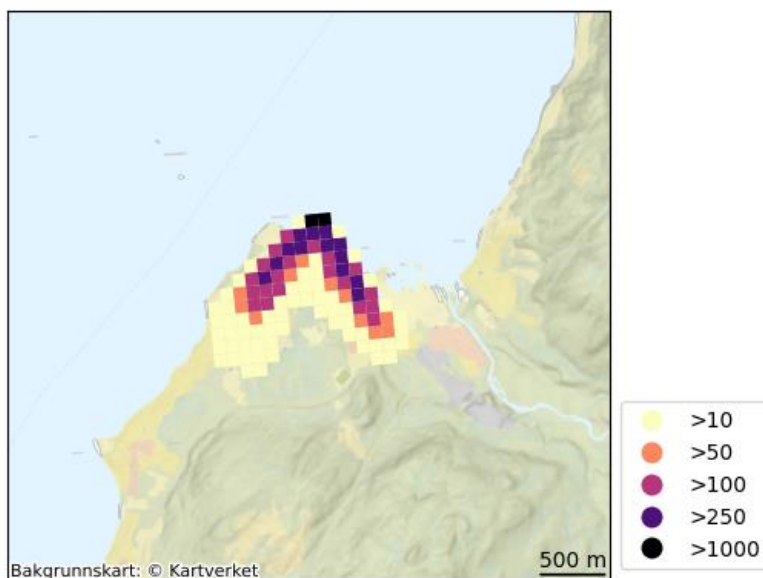


Fig. 7: Dose til skjoldbruskkjertel (1-åring) (mSv) for prognose 202007090100

Basert på alle prognoser, kan det bli aktuelt med bruk av jodtabletter for barn, ammende og gravide opptil 9 km fra utslippspunktet. Områder der predikert dose til skjoldbruskkjertel er over 10 mSv for minst en av prognosene er vist i figur 8a. For voksne under 40 år er det aktuelt med bruk av jodtabletter opptil 3 km fra Grøtsund havn (figur 8b).

Legg merke til at mindre enn 5% av prognosene førte til skjoldbruskkjerteldoser over grenseverdien på Tromsøya (hvor Tromsø ligger). Høyeste predikerte dose til skjoldbruskkjertelen (1-åringer) for dette området var 16 mSv.

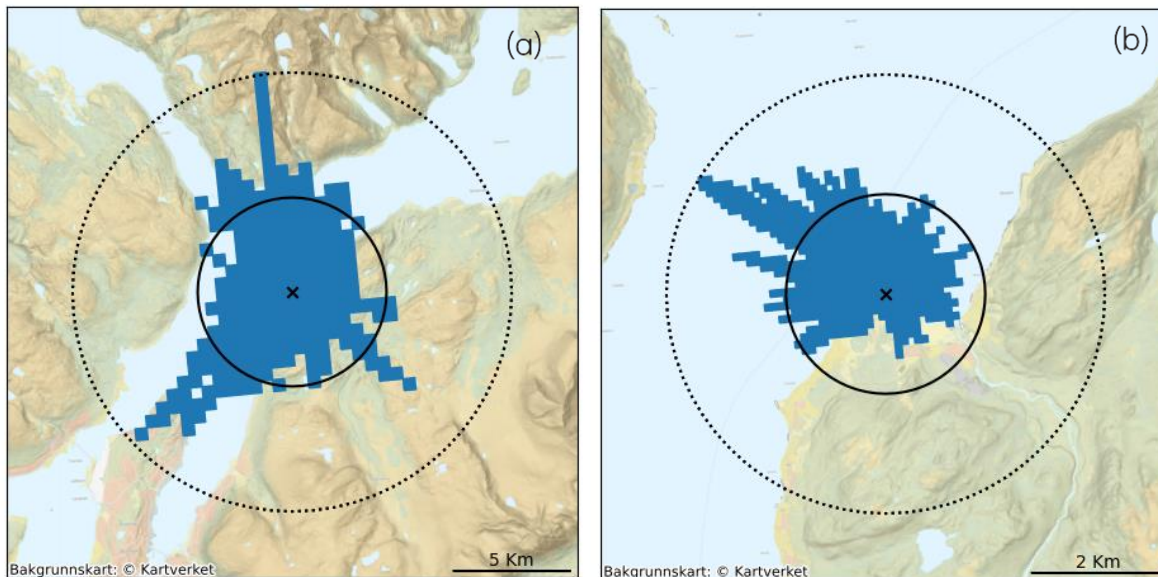


Fig. 8: Område hvor det kan være nødvendig med bruk av jodtabletter til (a) barn, ammende og gravide, og (b) voksne under 40 år (basert på alle 478 værprognoser). Mindre enn 5% av prognosene gav doser over grenseverdi utenfor heltrukken sirkel. Merk forskjellig målestokk i de to kartene.

3.2 Radioaktivt nedfall – konsekvenser for matproduksjonen

3.2.1 Nedfall av radioaktive stoffer på bakken

I forbindelse med opptak i matkjeden er det radioaktive varianter av grunnstoffer med en biologisk funksjon (som jod), eller som ligner næringsstoffer (f.eks. cesium og strontium), som er av størst betydning. I fig. 9 har vi oppsummert statistisk informasjon om nedfallsdata for summen av Cs-134 og Cs-137 i ulike avstander fra utslippspunktet for alle 478 værscenarier.

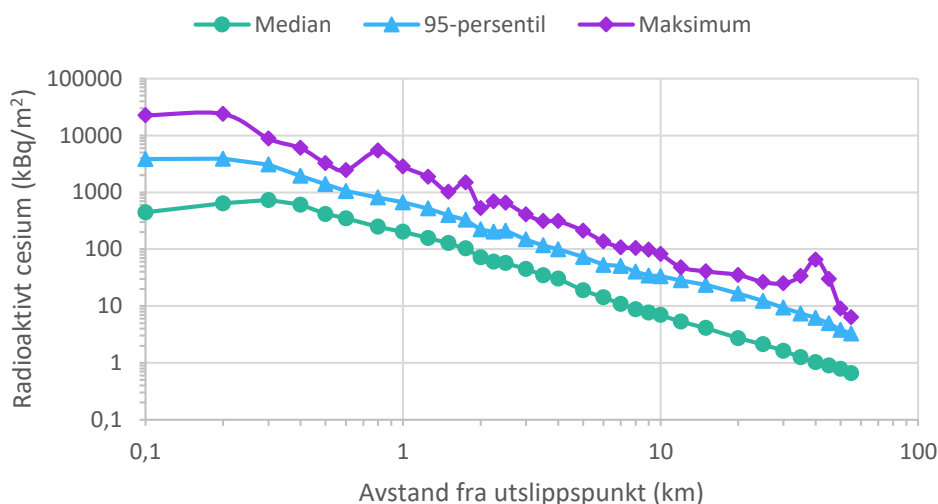


Fig. 9: Nedfall av radioaktivt cesium ($^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$) på bakken i ulike avstander fra Grøtsund havn. «Maks» representerer høyeste estimerte nivå for alle inkluderte værprognoser ved en gitt avstand ($n=478$). Bare 5% av værprognosene gir deponert aktivitet over «95-persentil», og «median» representerer middelverdi for alle kjøring. Data fra kortdistansespredning er brukt for 0,1–4 km, og data fra mellomdistansespredning er brukt fra 5 km og utover. Merk logaritmisk skala.

Eksempler på spredningsprognoser omtalt under avsnitt 2.2 er vist i figur 10.

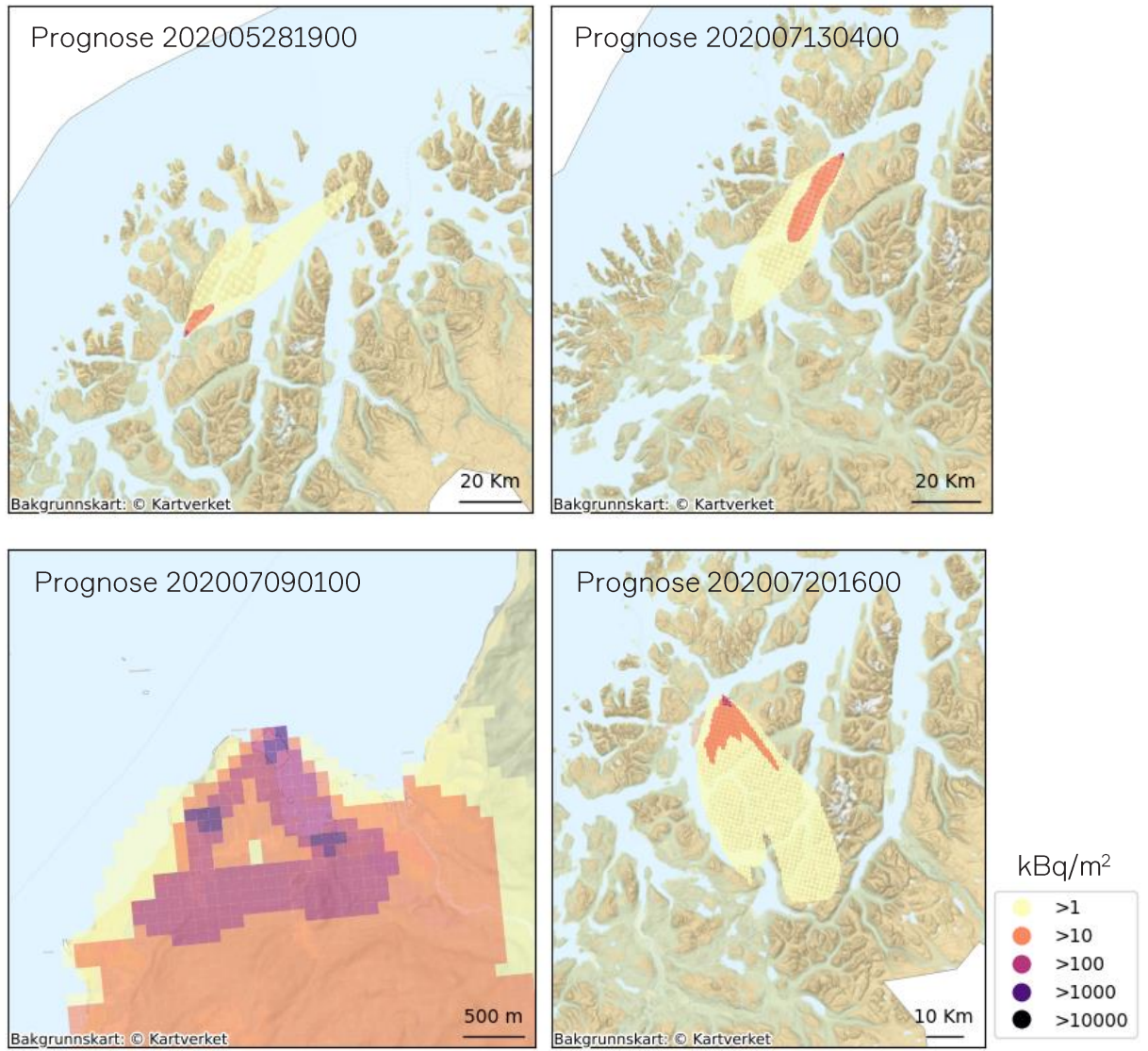


Fig. 10: Nedfall av I-131 på bakken (kBq/m^2) for fire forskjellige værsituasjoner. Siden mengden Cs-134+Cs-137 i utslippet er svært likt mengden I-131 (se tabell 1), er nedfallsmønsteret etter 2 dager nesten identisk for de to stoffene.

3.2.2 Problemstillinger innen matproduksjonen på kortere og lengre sikt

Konsekvenser for matproduksjonen i det berørte området avhenger av når på året nedfallet skjer – for eksempel om dyrene er ute eller inne. Dersom nedfallet skjer i beitesesongen bør særlig melkeproduserende dyr holdes innendørs for å unngå høye nivåer av radioaktivt jod, cesium og strontium i melken.

Siden de radioaktive jod-isotopene i vår kildeterm (Tabell 1) generelt har kort fysisk halveringstid (fra ca. 1 time til 8 dager), vil jod bare være problematisk de første ukene etter nedfallet (fig. 11) – hovedsakelig i tilknytning til melkeproduksjon eller når stoffet er avsatt direkte på grønnsaker. For mer langlivede radioaktive stoffer som Cs-134 (halveringstid 2 år), Cs-137 (30 år) og Sr-90 (29 år), er det også mye å hente på å holde melkeproduserende dyr innendørs den første tiden – siden mye av nedfallet avsettes på overflaten av beiteplanter, og denne forurensningen vaskes av relativt fort. Etter dette vil det være opptak gjennom planterøtter som vil være styrende for nivåene av radioaktiv forurensning i beiteplantene, og dette opptaket kan variere mye fra sted til sted som følge av jordbunnsrelaterte forhold [9, 11].

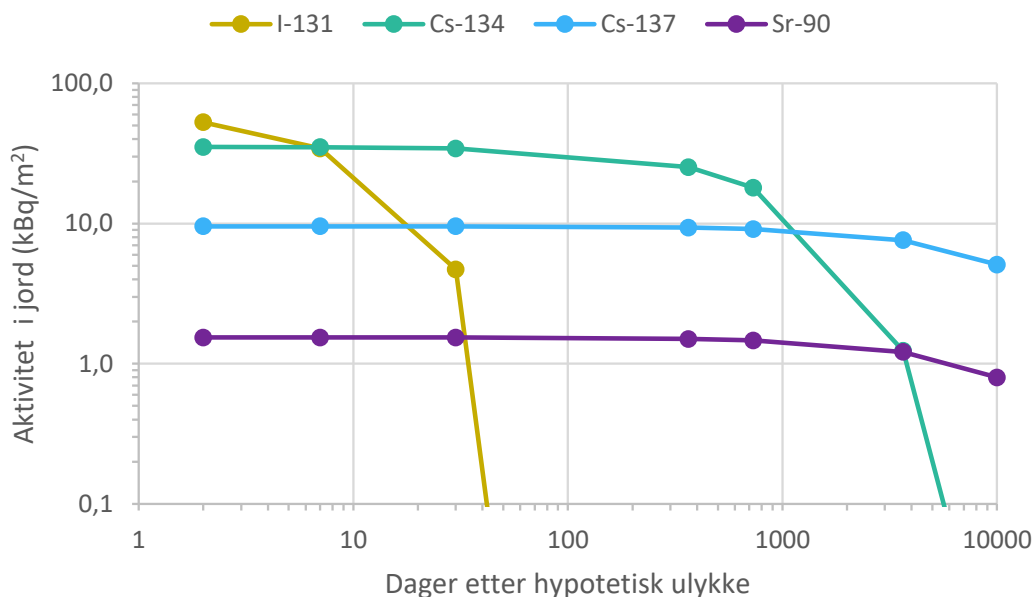


Fig. 11: Aktivitet av radioaktive stoffer i jord 3 km unna Grøtsund havn – middelverdier for alle prognoser (n=478)

Det vil være radioaktivt cesium som har størst betydning, på lengre sikt, for matproduksjonen i det berørte området – spesielt innen saue- og reindriftsnæringene, men det vil også være utfordringer knyttet til sanking av bær og sopp, og i forbindelse med jakt og ferskvannsfiske.

Basert på grenseverdier i mat, og konservative «overføringsfaktorer» (TF) for cesium fra [11], kan vi gi et grovt anslag på hvilke deler av et berørt område som vil trenge tiltak i forskjellige deler av matproduksjonen (Tabell 2). Nedfallet er her sammenliknet med de norske grenseverdiene for radioaktivt cesium i matvarer som gjelder etter Tsjernobyl-ulykken. Tilsvarende/liknende framgangsmåte er benyttet i forbindelse med beredskapssoner rundt svenske kjernekraftverk [12].

Tabell 2: Eksempler på tiltaksnivå for noen sårbare produkter basert på konservative overføringsfakter (TF_{maks}) hentet fra [5] og grenseverdier for mat i Norge. Dersom nedfallet på bakken (Bq/m^2) overstiger tiltaksnivået i høyre kolonne, vil mest sannsynlig grenseverdien i matvaren som produseres der også overstiges. Det vil derfor bli nødvendig å iverksette tiltak i matproduksjonen i områder der nedfallet er høyere enn tiltaksnivået.

Produkt	TF_{maks} (m^2/kg)	Grenseverdi i mat (Bq/kg)	Tiltaksnivå (Bq/m^2 på bakken)
Ville bær	0,04	600*	15 000
Sopp	0,2	600*	3 000
Reinsdyr	1,5	3000*	2 000
Lam	0,2	600*	3 000
Geitemelk til brunost	0,02	50**	2 500

*Gjelder for salg. For reindriftsutøvere og personer som spiser mye vilt, ferskvannsfisk, sopp og bær gjelder egne kostholdsråd.

**Brukt av meieriene i forbindelse med brunostproduksjon [5].

Vi har valgt å bruke reindriftsnæringen som illustrerende eksempel:

Dersom en bruker tiltaksnivå $2000 Bq/m^2$ for Cs-134+Cs-137 på bakken (tabell 2), vil man komme utenfor beregningsavstanden for mellomdistansespredning på 60 km for flere av værprognosene. Det kan dermed bli nødvendig med tiltak innen reindriftsnæringen utover en radius på 60 km (fig. 12). Eksempler på enkeltprognoser (se avsnitt 2.2 og fig. 10) er også vist i fig. 12. Man kan også se for seg kopling til reell matproduksjon i berørte områder.

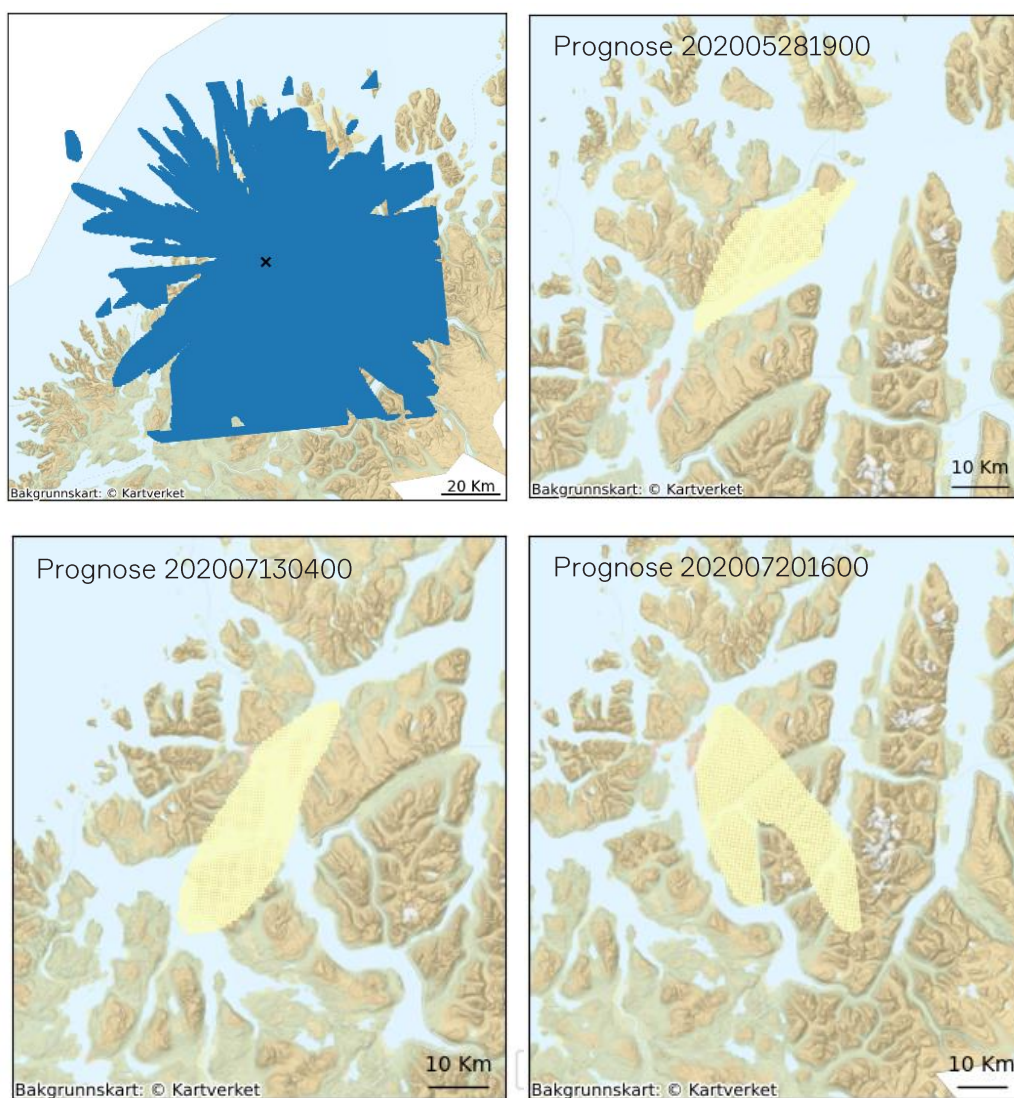


Fig. 12: Område hvor det kan bli nødvendig med tiltak i reindriften er uthevet i blått (basert på alle 478 prognoser). De tre andre kartene er eksempler på enkeltprognoser. Merk forskjellig målestokk i de fire kartene.

4 Konklusjon

I denne rapporten har vi vurdert konsekvensene av en hypotetisk ulykke på en reaktordrevet ubåt ved Grøtsund havn. Basert på alle prognoser, kan det – i verste fall – bli aktuelt med evakuering opptil 2 km, innmelding opptil 3 km og delvis innmelding 3–5 km fra utslippspunktet. Bruk av jodtabletter for barn, ammende og gravide kan bli aktuelt inntil 9 km fra utslippspunktet (og 3 km for andre voksne under 40 år). Men, det er verdt å merke seg at for de aller fleste vær-situasjoner vil disse tiltakssonene være mindre – for eksempel er det nok med evakuering inntil 500 m fra Grøtsund havn for 95% av våre værprognoser.

Det kan bli behov for tiltak i matproduksjon flere titalls km fra utslippsstedet for å sikre at mat som legges fram for salg er trygg å spise. Konsekvensene for matproduksjonen vil bl.a. avhenge av når på året ulykken skjer, vær-situasjonen og hva som produseres i det berørte området. Dersom nedfallet kommer i beitesesongen bør særlig melkeproduserende dyr holdes innendørs for å unngå høye nivåer av radioaktivt jod, cesium og strontium i melken. På lengre sikt, dvs. utover et par måneder, vil det være radioaktivt cesium som har størst betydning for matproduksjonen i berørte områder – spesielt innen saue- og reindriftsnæringene. Det kan bli nødvendig med tiltak innen reindriftsnæringen utover en radius på 60 km fra utslippspunktet for enkelte vær-scenarier (lengste beregningsavstand for konsekvensvurderingen).

5 Referanser

- [1] The 2000 Reference Accident Used to Assess the Suitability of Australian Ports for Visits by Nuclear Powered Warships https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/ref_acc.pdf
- [2] StrålevernRapport 2018:10. Selnæs ØG, Eikermann IM, Amundsen I. Endringer i trusselbildet. Østerås: Statens strålevern. https://dsa.no/publikasjoner/_attachment/inline/65246f7c-3582-46e7-9c43-9eee81e615b6:1d07f8664391b0cd254e0fd03b2e7fbc09df8012/StralevernRapport_2018-10_Trusselvurderinger.pdf
- [3] PDC-ARGOS. <https://pdc-argos.com/>
- [4] Nordisk Flaggbok (2014). Protective Measures in Early and Intermediate phases of a Nuclear or Radiological Emergency – Nordic Guidelines and Recommendations https://dsa.no/atomberedskap/hva-gjor-vi-pa-dsa/_attachment/download/e951db09-7baf-43ca-baf1-eeade7bd7cce:83846c273090f076ee89e3e67f72c284e853a6d0/Nordisk%20flaggbok.pdf
- [5] Müller, H., Gering, F. and Pröhl, G. (2004). Model description of the Terrestrial Food Chain and Dose Module FDMT in RODOS PV 6.0., RODOS(RA3)-TN(03)06, Report -(version 1.1, 18.02.2004).
- [6] DTU Wind Energy. <https://windenergy.dtu.dk/english/research/research-projects/completed-projects/rimpuff>
- [7] National Oceanic and Atmospheric Administration: <https://nomads.ncep.noaa.gov/>
- [8] SSM, 2017:27. Översyn av beredskapszoner Bilaga 2 – Spridnings- och dosberäkningar <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/803a831e8c5d4f66be2fd97ee6d26fd0/bilaga-2--spridnings--och-dosberakningar.pdf>
- [9] Harbitz O, Skuterud L (redaktörer). Radioaktiv forurensning – betydning for landbruk, miljø og befolkning. Oslo: Landbruksforlaget A/S 1999. Tilgjengelig på nett: https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2010070508068
- [10] ICRP (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Elsevier.
- [11] StrålevernRapport 2010:13. Thørring H, Ytre-Eide MA, Liland A. Consequences in Norway after a hypothetical accident at Sellafeld. Østerås: Statens strålevern. https://dsa.no/publikasjoner/_attachment/inline/4ccad8e6-f848-456f-9a5e-4864ede2732d:33afcd5bc5550b2d33f4f59a6d7f23486a152cf3/StralevernRapport_13-2010.pdf
- [12] SSM, 2017:27e. Review of Swedish emergency planning zones and distances, Appendix 1 Reference levels, dose criteria and intervention levels <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/1202f8b253ff4938aeca133c6e642818/appendix-1.pdf>
- [13] WHO 1999. Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents: update 1999. Geneva: World Health Organization, 1999.

Vedlegg 1 – Innstillinger brukt i RIMPUFF

Grovt rutenett («grid»):

MET	NWP
AOI	Grid:0.50, User specified AOI
MODEL	AUTO (Puff:10 Outdata:60)
DETECTOR P...	NO
FDM SAVE	OFF
URD	NO

Area of Interest

Grid cell size [km]:

Specify RIMPUFF calculation area:

Use current map view area

Radius from source (km)

Fint rutenett («grid»):

MET	NWP
AOI	Grid:0.10, User specified AOI
MODEL	AUTO (Puff:10 Outdata:60)
DETECTOR P...	NO
FDM SAVE	OFF
URD	NO

Area of Interest

Grid cell size [km]:

Specify RIMPUFF calculation area:

Use current map view area

Radius from source (km)

Andre innstillinger – RIMPUFF:

Rimpuff Settings: Argos default New Define different sets of Rimpuff settings

Use as default setting

Rimpuff settings

Wind Shear

Wind shift per 100 m. [degrees]:

Wind speed gradient [m/s]:

Max Number of Trifurcations:

Hirnam

Stability

Pasquill

Similarity

Number of interpolations for each HIRLAM windfield:

Model parameters and outputs

Gamma Dose Rate from Plume

Gamma Dose Rate from Ground

Puff released every [mins]:

Outdata every [mins]:

Puff interaction

Methodology for deposition velocities

Start of long parametrisation:

General

Local Scale Model Chain

LINCOM

None

Minimum Relative Concentration of Interest (CHEMIN) :

Number of Advection Steps per released Puff (TAU / NTADV) :

Pentafurcation of Puffs (Very Complex Terrain)

Trifurcation of Puffs (Take Wind Shear into account)

Puff control

Max. pentafurcation:

Min. Sigma for pentafurcation [m]:

Puff centre rise

Puff centre rise

SigmaY:

SigmaX:

SigmaY advection factor:

Auxillary outputs

Puff information text

Output wind fields at two heights

Output windfields at two heights

Height 1:

Height 2:

Output of grid

Zonal wind

Meridional

Friction velocity

Inverse Monin-Obukov length

Mixing height

Stability category

Rainfall intensity

Mast allocation for rainfall

Mast allocation for stability

Mixing height (convective)

Save Save As Reset Delete

Vedlegg 2 – Vindroser for Tromsø

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- > 20.2
- 15.3-20.2
- 10.3-15.2
- 5.3-10.2
- 0.3-5.2

Stille (%)

2



År: 1990 - 2020

jan, feb, mar, apr, mai, jun, jul, aug, sep, okt, nov, des

Tidspunkt: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)

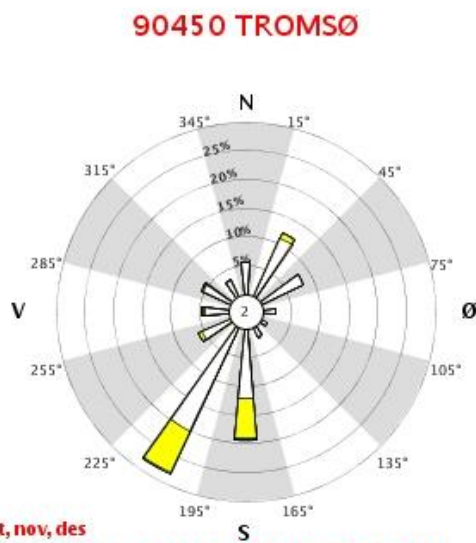


Fig. V2.1: Vindrose for Tromsø 1990-2020. Kilde: met.no eKlima

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- > 20.2
- 15.3-20.2
- 10.3-15.2
- 5.3-10.2
- 0.3-5.2

Stille (%)

1



År: 2020 - 2020

jan, feb, mar, apr, mai, jun, jul, aug, sep, okt, nov, des

Tidspunkt: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)

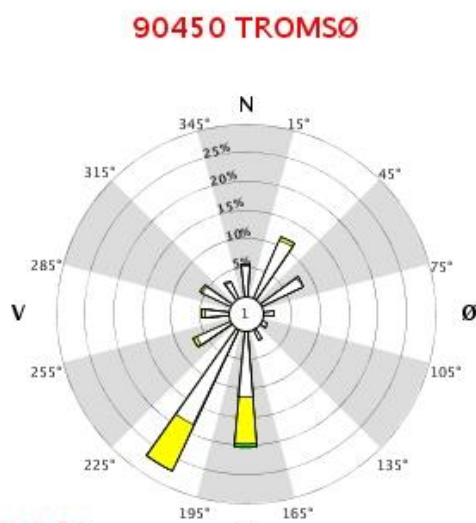


Fig. V2.2: Vindrose for Tromsø 2020. Kilde: met.no eKlima

