

Konsekvensvurdering knyttet til generisk anløp av reaktordrevet hangarskip til Oslo havn

Referanse

Thørring H, Gäfvert T, Selnæs ØG.
Konsekvensvurdering knyttet til generisk anløp av reaktordrevet hangarskip til Oslo havn
Teknisk dokument nr. 26. Østerås: Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet, 2023.

Publisert
Sider

22. mai 2023
22

DSA,
Postboks 55,
No-1332 Østerås,
Norge.

Emneord

Konsekvensvurdering. Anløp. Reaktordrevne fartøy.
Hangarskip

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 hangarskip til Oslo havn.

ISSN 2387-5240

Reference

Thørring H, Gäfvert T, Selnæs ØG. Consequence assessments for scenarios related to visits by nuclear-powered aircraft carriers to Oslo harbour
Technical Document no. 26. Østerås: Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority, 2023.
Language: Norwegian.

Key words

Consequence assessments. Visit. Nuclear-powered vessel. Aircraft carriers.

Abstract

This report contains an assessment of possible consequences for scenarios related to generic visits by nuclear-powered aircraft carriers to Oslo harbour.

Prosjektleder: Øyvind Gjølme Selnæs

Godkjent:



Astrid Liland, avdelingsdirektør, avdeling Beredskap

Konsekvensvurdering knyttet til generisk anløp av reaktordrevet hangarskip til Oslo havn

Håvard Thørring
Torbjörn Gäfvert
Øyvind G. Selnæs

fra Direktoratet for strålevern
og atomsikkerhet (DSA)

Østerås, 2023,
Norway

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
2	Metoder og modellering	6
2.1	Ulykkescenario og kildeterm	6
2.2	Spredningsprognoser og værdata	8
2.2.1	Kortdistansespredning	8
2.2.2	Langdistanse	10
2.3	Bruk av supplerende data	10
3	Resultater og diskusjon	12
3.1	Stråledoser og tiltak i akuttfasen	12
3.1.1	Total effektiv dose (TED) – vurdering av evakuering og innmelding	12
3.1.2	Total ekvivalent dose til skjoldbruskkjertel – bruk av jodtabletter	17
3.2	Radioaktivt nedfall – konsekvenser for matproduksjonen	20
3.2.1	Problemstillinger innen næringsmiddelproduksjonen	20
3.2.2	Eksempler på mulige nedfallssituasjoner	22
4	Konklusjon	24
5	Referanser	25

1 Innledning

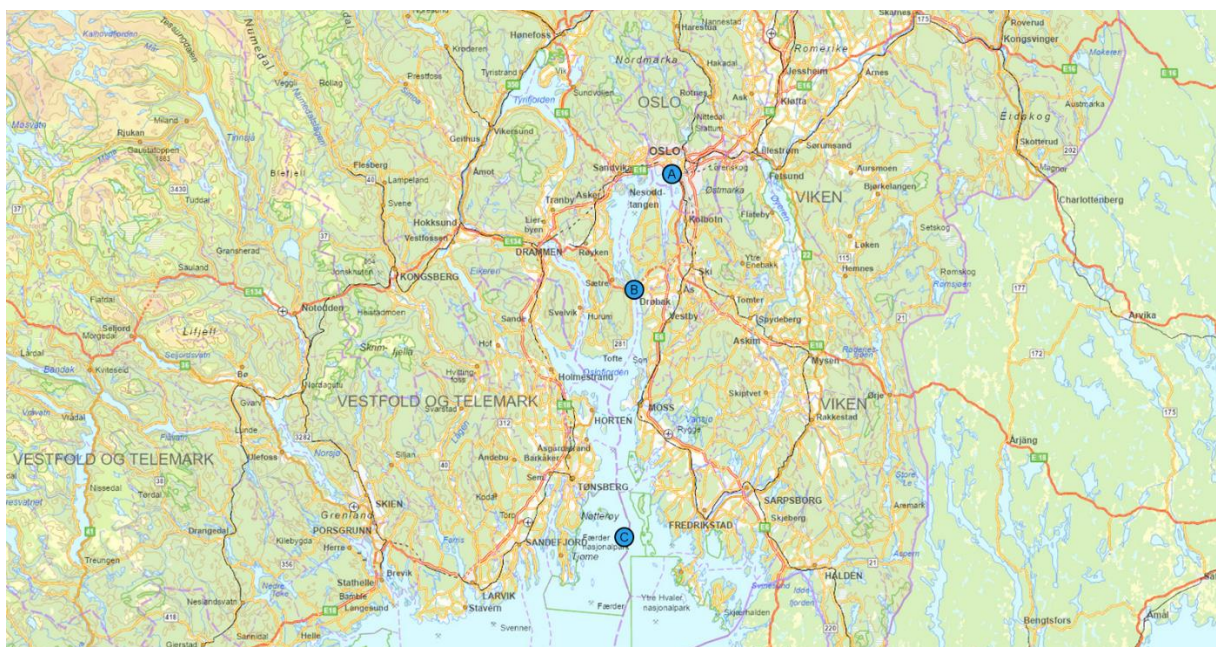
I 2010 la regjeringen til grunn seks dimensjonerende scenarier med ulike typer atomhendelser for planlegging av norsk atomberedskap og krisehåndtering. Som en del av arbeidet med oppfølging og videre utredning av scenariene, gjennomfører Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) konsekvensvurderinger 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.

I denne rapporten har DSA sett på mulige konsekvenser av uhell ifm. anløp av et reaktordrevet hangarskip til Oslo havn. Som grunnlag har vi brukt det internasjonalt velkjente og godt dokumenterte arbeidet fra den australske strålevernsmyndigheten 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], som brukes ved tilvarende anløp i Australia. Det internasjonale atomenergibyrået (IAEA) viser til dette scenariet som et referansescenario.

Vi har i denne konsekvensvurderingen vurdert tre posisjoner i Oslofjorden med utslipp til luft (fig. 1). Vi har videre begrenset oss til vurdering av mulige doser til mennesker i akuttfasen, kortfattet informasjon om konsekvenser for matproduksjonen på land, og relevante konsekvensreducerende tiltak i tilknytning til dette.

Innenfor områdene med 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 omtales ikke nærmere her.



Figur 1: Oversiktskart som viser de tre posisjonene i Oslofjorden brukt i denne konsekvensutredningen. Dette er A: Oslo havn, B: Oscarsborg/Drøbak og C: Færder (lospunkt) (kart: Kystinfo/DSA)

2 Metoder og 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). Deretter modelleres spredningsprognoser basert på reelle værdata eller lokalt vær med spesifiserte vindretninger (avsnitt 2.2). Relevante doseestimer og nedfallsdata for ulike radioaktive stoffer beregnes i ARGOS, og disse parameterne sammenliknes med nordiske anbefalinger om grenseverdier for ulike konsekvensreducerende tiltak, jf. den Nordiske flaggboka [4] – for å kunne sette doser i sammenheng med tiltak (kapittel 3).

DSA har tidligere utarbeidet konsekvensvurderinger for scenarier knyttet til anløp av reaktordrevne fartøy til Grøtsund havn utenfor Tromsø. I dette arbeidet med anløp til Oslo havn, har DSA utarbeidet prognoser for flere lokaliteter: både for Oslo havn og langs inn- og utseilingsleden. DSA har supplert data fra våre spredningsprognoser med data fra andre kilder. Dette er nærmere beskrevet i avsnitt 2.3.

2.1 Ulykkescenario og kildeterm

DSA har som grunnlag brukt et internasjonalt velkjent referansescenario utviklet av den australske strålevernsmyndigheten ARPANSA [1] og som IAEA henviser til. Dette scenariet representerer et realistisk nivå for konsekvenser for befolkningen i nærområdet til et anløp. Siden leden fra lospunktet ved Færder inn til Oslo havn er forholdsvis lang, har DSA i dette arbeidet sett på mulig utslipp ved tre ulike posisjoner. Som utgangspunkt brukes et amerikansk Nimitz-klasse hangarskip med 2 x 600 MW_t trykkvannsreaktorer (PWR) med gjennomsnittlig reaktoreffekt på 25 % som dermed tilsvarer 150 MW_t gjennomsnittlig reaktorkraft. Det antas 15 års brukstid på brenselet. Ved anløp, antas det at tiden for brenselsskifte nærmer seg, og at fartøyet 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 LOCA*¹»). For ytterligere detaljer om referansescenariet og utslippet av radioaktive stoffer, henvises det til [1].

Kildetermen er utarbeidet av ARPANSA og er vist i tabell 1. Det er antatt at utslippet stammer fra den ene av de to reaktorene om bord (siden disse er gjensidig uavhengige av hverandre), og at fartøyet forlater havn innen 2 timer². For mer detaljer om kildetermen henvises det til [1]. DSA har i dette arbeidet tatt utgangspunkt i de radionuklidene som gir størst bidrag til dose. Nuklidene Ba-139, Br-82, Kr-83m, La-141, Pr-145, Rb-89, Sb-125, Y-92 og Y-93, som også finnes i kildetermen fra ARPANSA, er ikke tatt med i våre beregninger.

Amerikanske myndigheter har nå tatt i bruk en ny klasse reaktordrevet hangarskip, Gerald R. Ford-klassen, med noe større reaktorer enn Nimitz-klassen. Reaktorene om bord Gerald R. Ford-klassen er 2 x 700 MW_t trykkvannsreaktorer (PWR). Så langt er kun ett fartøy i operativ tjeneste av den nye klassen. Alderen til brenselet har stor betydning for potensialet for utslipp av radioaktive stoffer ved en reaktorhendelse. Siden brenselet om bord fartøy av den nye klassen er forholdsvis nytt sammenlignet med Nimitz-klassen, vurderer DSA at det australske referansescenariet fortsatt er et godt utgangspunkt for anløp av reaktordrevne hangarskip, også når det gjelder den nye klassen per nå.

¹ LOCA: "loss of coolant accident"

² Iht. kapteinens instruks, skal fartøyet ved indikasjoner på reaktorproblemer forlate havn så snart som mulig og senest innen 2 timer

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

Nuklide	Aktivitet (Bq)	Nuklide	Aktivitet (Bq)	Nuklide	Aktivitet (Bq)
Ba-140	1,72E+12	La-140	7,36E+11	Te-127	2,50E+11
Ce-141	2,62E+11	Mo-99	6,11E+11	Te-129	1,11E+12
Ce-143	7,19E+11	Nb-95	2,71E+11	Te-129m	2,24E+11
Ce-144	1,92E+11	Nb-97	5,19E+11	Te-131m	8,17E+11
Cs-134	6,96E+12	Pr-143	3,16E+11	Te-132	6,03E+12
Cs-136	1,05E+13	Rb-88	3,38E+12	Te-133m	5,19E+12
Cs-137	1,88E+12	Rh-105	1,08E+11	Xe-131m	1,39E+11
Cs-138	1,04E+13	Ru-103	2,49E+11	Xe-133	5,80E+13
I-131	9,38E+12	Ru-105	2,15E+11	Xe-133m	2,07E+12
I-132	2,27E+13	Ru-106	2,75E+10	Xe-135	9,12E+13
I-133	4,34E+13	Sb-127	1,79E+11	Xe-135m	5,05E+12
I-134	2,79E+13	Sb-129	1,78E+12	Y-90	5,85E+11
I-135	3,86E+13	Sr-89	9,51E+11	Y-91	2,32E+11
Kr-85	6,65E+11	Sr-90	3,03E+11	Zr-95	2,41E+11
Kr-85m	1,75E+13	Sr-91	3,74E+12	Zr-97	7,71E+11
Kr-87	2,38E+13	Sr-92	2,89E+12		
Kr-88	4,40E+13	Tc-99m	6,71E+11		

Reaktorene om bord på et Nimitz- eller Gerald R. Ford-klasse hangarskip har større effekt enn reaktorene om bord i de reaktordrevne ubåtene som vanligvis anløper Norge. Siden disse hangarskipene har to reaktorer om bord, som er gjensidig uavhengige av hverandre, er det en forventning i referansescenariet at fartøyet vil være i stand til å forlate havn selv ved alvorlige problemer med en av reaktorene. Kildetermen for utslippet i denne konsekvensvurderingen er derfor bare marginalt større enn kildetermene som blir brukt for tilsvarende vurderinger rundt mulig utslipp under anløp av reaktordrevne ubåter, jf. f.eks. konsekvensvurderingen for anløp til Grøtsund [14]. Hvis fartøyet mot formodning ikke forlater havn innen to timer, kan et radioaktivt utslipp få større konsekvenser enn det dette scenariet legger til grunn.

I motsetning til de australske anløpshavnene, er det en forholdsvis lang farled fra lospunkt og inn til havn – i underkant av 50 nautiske mil (ca. 90 km). DSA har derfor i denne rapporten vurdert konsekvenser ved utslipp fra flg. tre steder (figur 1):

- Lokalitet A: Inne ved Oslo havn
- Lokalitet B: Utenfor Drøbak, halvveis inn til havn og der Oslofjorden er smalest
- Lokalitet C: Ved lospunktet ved Færder

Det er teknisk krevende å vurdere konsekvenser av radioaktivt utslipp fra en kilde som er i bevegelse. En sammenstilling av konsekvensene av utslipp fra disse tre stedene forventes å gi et grovt bilde under de forutsetningene som ligger til grunn for referansescenariet.

2.2 Spredningsprognoser og værdata

Det er utført spredningsprognoser i to forskjellige rutenett («grid») – basert på forskjellige typer værdata. Kortdistansespredning er beskrevet i avsnitt 2.2.1, og langdistansespredning er beskrevet i avsnitt 2.2.2.

2.2.1 Kortdistansespredning

Modelleringer er gjort med kort- og mellomdistansemodellen RIMPUFF, som er en Lagrange puffmodell utviklet ved DTU Wind Energy [6]. DSA har i beregningene brukt en oppløsning på 0,05 x 0,05 km. Beregningene er gjennomført på avstander opp til 5 km fra utslippskilden. Det er generelt brukt lokalt vær med spesifiserte vindretninger (tabell 2). Her er det tatt utgangspunkt i hovedvindretninger («vindroser») for de tre stedene (figur 2). Vi har brukt relativt lave vindstyrker (0,3–3 m/s) for å sikre konservative prognoser.

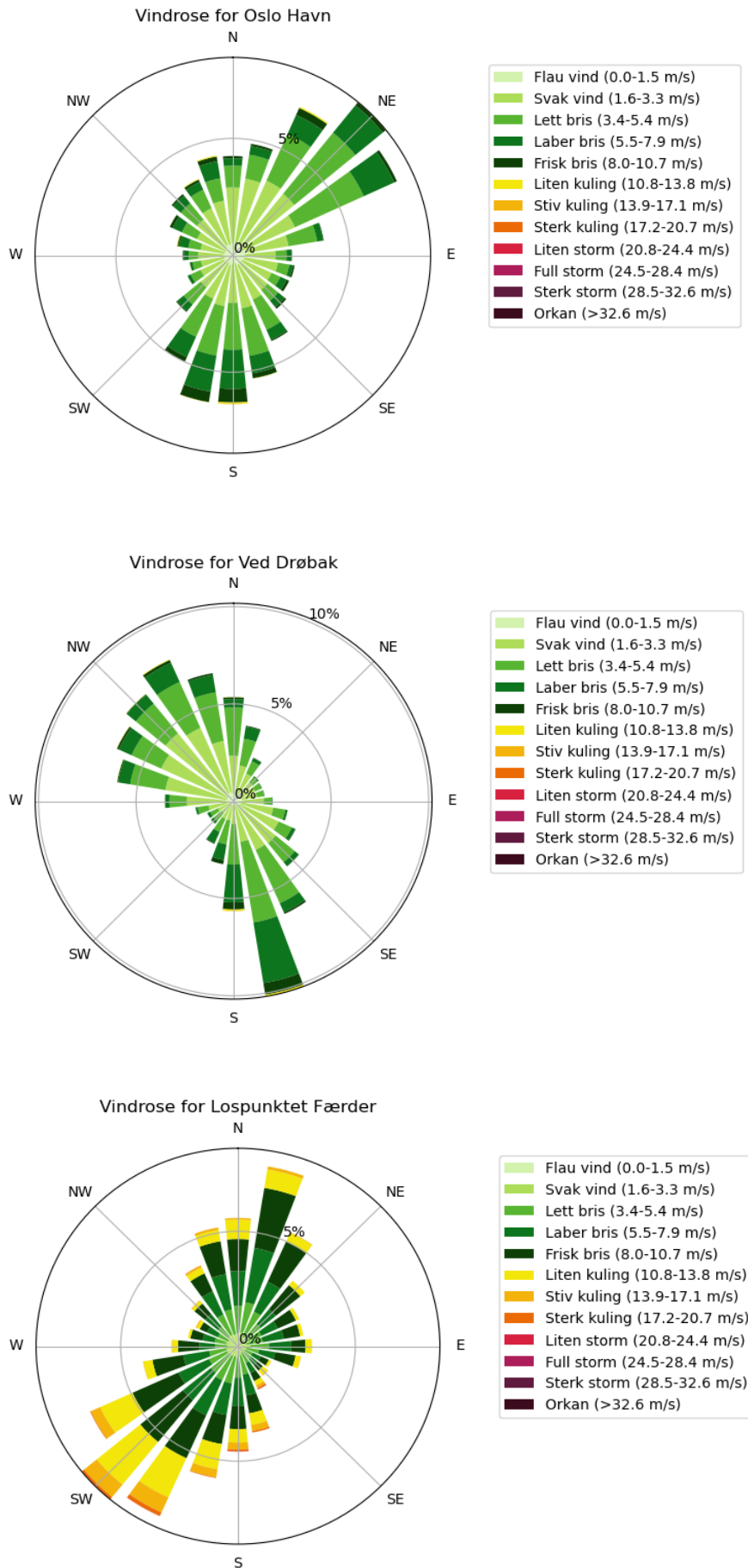
Tabell 2: Beskrivelser av værscenarier brukt – lokalt vær med spesifisert vindretning. Det ble antatt temperatur på 6 °C i både luft og jord (årgjennomsnitt for luft i Oslo).

Lokalitet	Prognose	Vindretning mot	Vindstyrke (m/s)	Skyer (0-8)
Ved Oslo havn (A)	A1	NNØ (202,5°)	0,3	0
	A2	NNØ (202,5°)	1	0
	A3	NNØ (202,5°)	3	8
	A4	NØ (225°)	0,3	8
	A5	NØ (225°)	1	8
	A6	NØ (225°)	2	4
	A7	S (0°)	1	8
	A8	S (0°)	2	4
	A9	SSV (22,5°)	1	4
	A10	SSV (22,5°)	3	8
Utenfor Drøbak (B)	B1	SSØ (337,5°)	1	0
	B2	SØ (315°)	1	4
	B3	SØ (315°)	0,3	4
	B4	SØ (315°)	3	8
	B5	SSØ (337,5°)	2	8
	B6	NV (135°)	1	0
	B7	VNV (112,5°)	1	8
	B8	VNV (112,5°)	2	0
	B9	NV (135°)	3	4
Lospunkt Ved Færder (C)	C1	SV (45°)	1	0
	C2	SV (45°)	3	4
	C3	NNØ (202,5°)	1	8
	C4	NNØ (202,5°)	2	8

For spredningsprognosene basert på tabell 2 har vi vurdert følgende avstandssirkler fra utslippspunktene: 100 m, 200 m, 400 m, 600 m, 800 m, 1 km, 2 km og 5 km. For hver prognose har vi registrert maksimalt nivå av følgende parametere på hver avstandssirkel:

- Total effektiv dose (TED, 1-åringer³) etter 2 dager (avsnitt 3.1.1)
- Total ekvivalent dose til skjoldbruskkjertel (1-åringer) i forbindelse med sky-passasjen (avsnitt 3.1.2)

³ Det er valgt å bruke 1-åringer i stedet for voksne fordi estimerte doser til barn vanligvis blir høyere (mer konservativ prognose).



Figur 2: Vindroser basert på to år (2021 og 2022) for lokaliteter i Oslofjorden (Kilde for figur: Met.no).

Det er tatt hensyn til tørrdeposisjon, men ikke til deposisjon med nedbør (våtdeposisjon) i prognosene utarbeidet med utgangspunkt i vindroser. Radioaktivt nedfall har derfor ikke blitt vurdert i denne sammenhengen. Totalt nedfall av radioaktive stoffer på bakken er imidlertid vurdert for noen eksempler hvor det er brukt reelle værdata fra "National Oceanic and Atmospheric Administration" [7] (tabell 3). Disse er videre omtalt som NWP-prognoser.

Tabell 3: Værsituasjoner brukt som eksempler. Varighet på prognose: 48 timer. Værdata; NWP [7].

Lokalitet	Dato	Starttidspunkt
Ved Oslo havn (A)	20221025	11:26 UTC
	20221026	12:00 UTC
	20221116	08:00 UTC
Utenfor Drøbak (B)	20221026	12:00 UTC
	20221116	08:00 UTC
Lospunkt Ved Færder (C)	20221026	1200 UTC
	20221116	08:00 UTC

2.2.2 Langdistanse

I tillegg til kortdistanseprognosene, har DSA utarbeidet langdistanseprognoser ved hjelp av beslutningsstøttesystemet ARGOS og spredningsmodellen SNAPNORDIC [15]. Langdistanseprognosene har en oppløsning på 2,5 x 2,5 km. Det er brukt værdata fra Met.no. Beregninger er gjort for et begrenset antall værsituasjoner og må anses som eksempler på mulige konsekvenser. Værdataene som brukes er imidlertid bedre tilpasset norske forhold enn NWP. Eksempelene på langdistanseprognoser i denne rapporten er oppsummert i tabell 4.

Tabell 4: Værsituasjoner brukt som eksempler. Varighet på prognose: 48 timer. Værdata: Met.no

Lokalitet	Dato	Starttidspunkt
Ved Oslo havn (A)	20221025	1126 UTC
	20221026	1200 UTC
	20221116	0800 UTC
Utenfor Drøbak (B)	20221026	1200 UTC
	20221121	1000 UTC
Lospunkt Ved Færder (C)	20221116	0800 UTC

Av praktiske hensyn har langdistanseprognosene kun blitt gjennomført for isotoper av radioaktivt jod og cesium. Dette vil nødvendigvis føre til underestimering av total effektiv dose (TED), og DSA har derfor ikke gjort en videre vurdering av konsekvenser av total effektiv dose for disse prognosene. Langdistanseprognosene brukes i denne rapporten kun ifm. vurderinger av totalt radioaktivt nedfall av enkeltstoffer.

2.3 Bruk av supplerende data

DSA har i denne konsekvensvurderingen sett resultatene fra prognosene i sammenheng med relevante data fra noen andre kilder:

- Fra ARPANSA-rapporten [1], har vi sammenliknet med anbefalte tiltaksavstander for evakuering, innmelding og bruk av jodtabletter. ARPANSA bruker dosekriterier som til dels avviker fra de som brukes i Norge. Vi har forsøkt å ta hensyn til dette i våre vurderinger. Dette er beskrevet nærmere i kapittel 3.

- Fra Teknisk dokument 20 [14] – som omhandler anløp av reaktordrevne fartøy til Grøtsund havn, har vi sammenliknet med statistiske data for TED og doser til skjoldbruskkjertel for nesten 500 vær-situasjoner. Det er her viktig å påpeke at dette dokumentet vurderer utslipp fra ubåt – og på et helt annet sted enn Oslofjorden. I prinsippet vanskeliggjør slike forskjeller direkte sammenlikning, men basert på kildetermene brukt i begge vurderingen, er ikke de estimerte utslippene fra de to fartøyene betydelig forskjellige. Dette skyldes i hovedsak den korte varigheten for den benyttede hangarskip-kildetermen (avsnitt 2.1). Betydning av vær-situasjoner omtales nærmere i kapittel 3.

Det er også tatt hensyn til DSAs vurderinger rundt beredskapssoner basert på internasjonal praksis og anbefalinger, utarbeidet i forbindelse med planleggingen av anløp til Grøtsund.

3 Resultater og diskusjon

I dette kapitlet vurderes først estimerte stråledoser, og hvor det kan bli 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).

Prognosene i dette kapitlet forutsetter at fartøyet forlater anløpshavnen (lokalitet A) innen 2 timer. Ved reaktorproblemer vil verst tenkelig sted for utslipp være her – innerst i Oslofjorden. Transporttid ut Oslofjorden vil være noen timer, og pågående utslipp vil kunne gi tilleggsbidrag av radioaktiv forurensning i andre deler av Oslofjord-området. Bidraget vil avhenge av vær og vindforhold, samt utslippets størrelse. Som nevnt innledningsvis, er det krevende å gjøre spredningsprognoser for en utslippskilde i bevegelse. Prognosene for Drøbak (lokalitet B) og ved Færder (lokalitet C) baserer seg også på at fartøyet befinner seg på lokalitetene i 2 timer. Siden fartøyet egentlig vil være på vei ut Oslofjorden, blir trolig konsekvensene overestimert for disse lokalitetene i denne konsekvensutredningen. Dette er spesielt viktig for lokalitet B, hvor Oslofjorden er på sitt smaleste.

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 kreftisiko 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 de biologiske effektene av ioniserende stråling blir det antatt at også doser under 100 mSv har konsekvens. Dette varierer mellom ulike kreftformer og ulike individer (alder, kjønn, helsetilstand osv.). 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 er helt uten risiko. Den Internasjonale strålevernkommissjonen (ICRP) gir et risikoestimat for kreft med dødelig utgang i verdens gjennomsnittsbefolkning på 0,00005 per mSv, dvs. statistisk sett ett dødsfall pr 20 000 personer ved en dose på 1 mSv [10]. Estimatet gjelder bare for befolkningsgrupper – ikke enkeltpersoner.

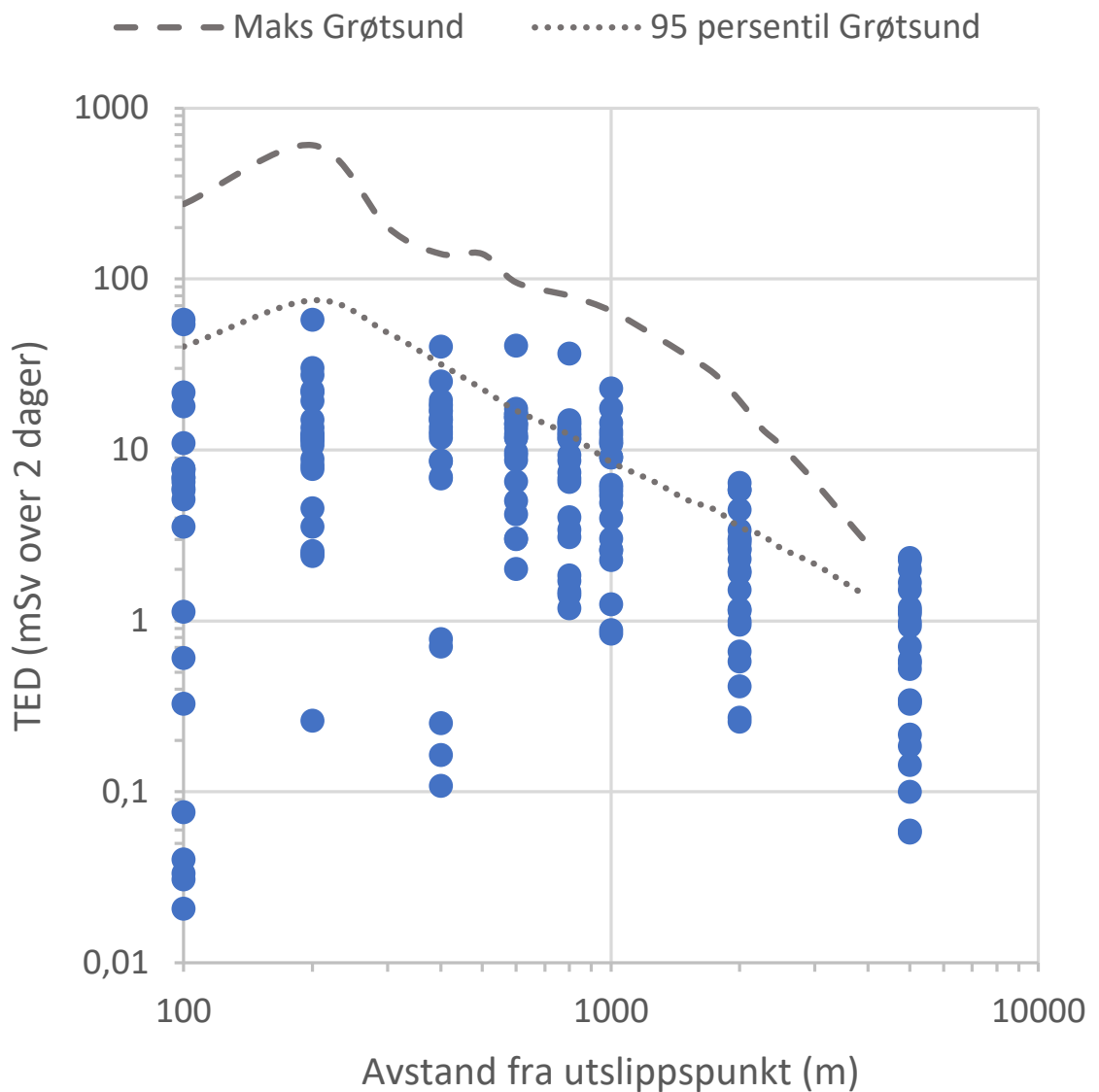
Ved en atomhendelse med utslipp av radioaktive stoffer er det i nærområdet rundt fartøyet særlig to kilder til strålingseksponering for befolkningen – direkte gammastråling fra selve fartøyet og radioaktivitet i luften. Når det gjelder beredskapsplanlegging og umiddelbare tiltak for å redusere konsekvenser, er det særlig disse eksponeringsvegene som er gjeldende. Ved avstander utover 200 m fra fartøyet vil luftbårne bidrag dominere stråledosen [1], og det er disse som beskrives her: Total effektiv dose og total ekvivalent dose til skjoldbruskkjertel. Disse er omtalt nærmere i henholdsvis avsnitt 3.1.1 og 3.1.2. På lengre sikt er nedfall på bakken også en vesentlig eksponeringsvei. Nedfall på bakken vil kunne føre til langvarig forurensning av miljø og næringskjeder.

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

TED kan defineres som summen av dosebidrag fra inhalasjon av radioaktive stoffer og ekstern gammastråling fra radioaktivitet i luften og fra bakken for en spesifisert tidsperiode (se avsnitt 2.2). 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») – dette gjelder 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 figur 3 har vi oppsummert informasjon om TED (1 åringer, 2 dager) i ulike avstander fra utslippspunktet basert på alle spredningsprognoser med spesifisert vindretning (tabell 2). Vi har valgt å ikke separere mellom de tre lokalitetene i figur 3, fordi vær-situasjon ser ut til å ha større betydning for dosen med avstanden enn lokalitet. Våre prognoser for TED er sammenliknet med tilsvarende statistiske data fra Teknisk dokument 20 der det ble gjort opp mot 500 prognoser over en periode på ~1 år [14]. I sistnevnte er det imidlertid brukt data for voksne, noe som generelt gir lavere resultater enn for barn (jf. prognoser i [1]). Alle prognoser fra lokalitetene i Oslofjorden ligger under maks fra Teknisk dokument 20, men noen av prognosene gir TED høyere enn 95-persentilen (figur 3).



Figur 3: Total effektiv dose (TED) over 2 dager for alle prognoser med spesifisert vindretning (1 åringer). For sammenlikning er statistisk informasjon for Grøtsund (Teknisk dokument 20) inkludert (stiplede linjer). «Maks» representerer høyeste estimerte dose for alle inkluderte værprognoser (n=478) ved en gitt avstand. Bare 5% av værprognosene gir doser over «95-persentil». Merk logaritmisk skala.

Evakuering:

I ARPANSA-rapporten [1] anbefales det at evakuering foretas i 200 meters radius innen noen minutter pga. gammastråling fra selve fartøyet, og at man evakuerer fra 200–700 m i løpet av 1 time. Her er det viktig å merke seg at ARPANSA bruker 50 mSv som grenseverdi, noe som også ligger til grunn for evakueringsavstanden. I den nordiske flaggboka [4] anbefales det derimot å evakuere ved doser over 20 mSv. Hvis vi tar dette i betraktning, er det naturlig å øke evakueringsavstanden fra 700 m til ca. 1 km. Dette er godt sammenliknbart med resultatene fra våre prognoser – og Teknisk dokument 20, hvor det er vurdert at evakuering kan være relevant i avstand på 600 m (95-persentil) til 2 km (maksimumsverdi) [14].

DSAs vurdering:

- Hasteevakuering: **200 m** (basert på anbefalinger i ARPANSA-rapporten)
- Evakuering: **ca. 1 km**

I figur 4 har vi vist områder i Oslo hvor det vil være aktuelt med evakuering basert på vurderingene over, dersom skipet ligger ved Akershuskaia.

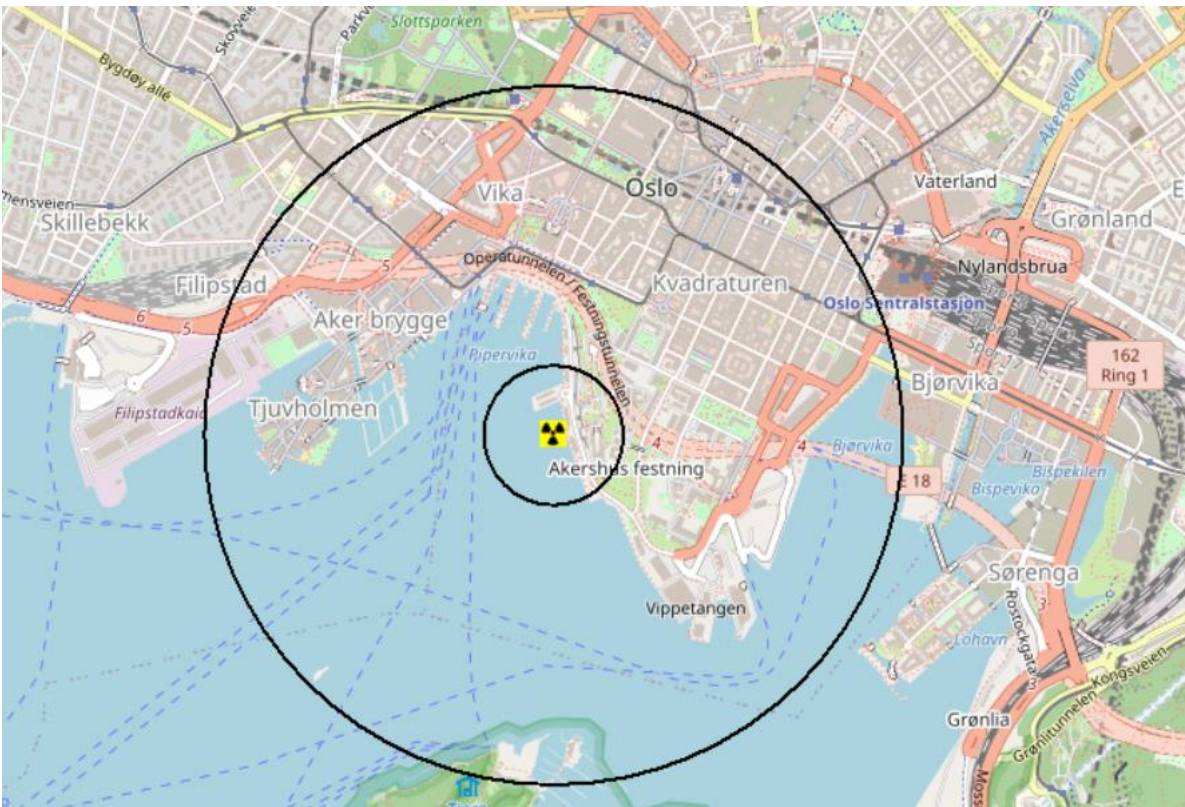


Fig. 4: Områder hvor det vil være aktuelt med evakuering (avstandssirkler: 200 m, 1 km) dersom skipet ligger ved Akershuskaia når det potensielt skjer et utslipp.

Innemelding:

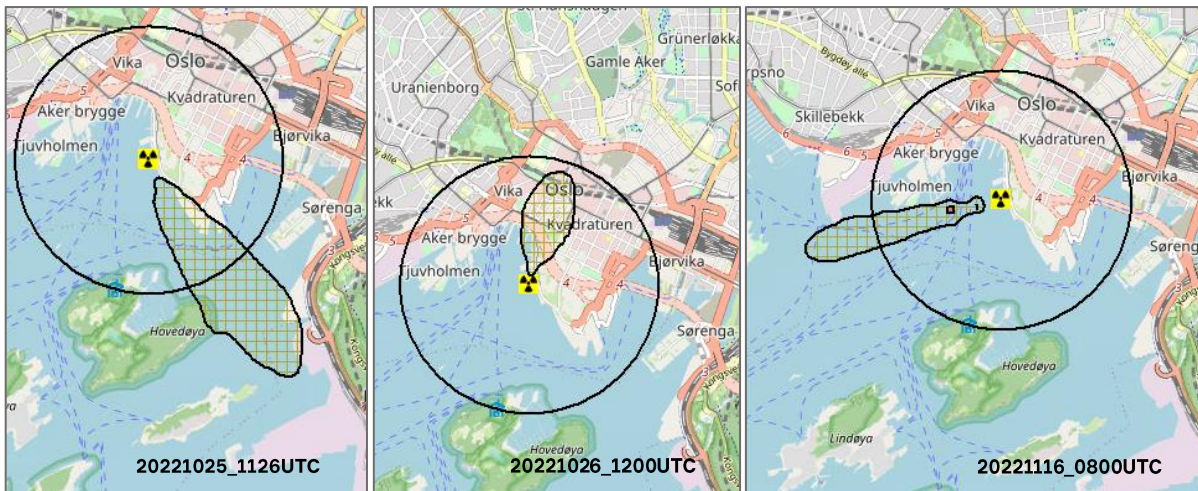
ARPANSA-rapporten [1] anbefaler innemelding ut til 1,6 km for barn, og noe kortere avstand for voksne (1,2 km). I vår rapport benyttes samme grenseverdi som i den nordiske flaggboka [4] – dvs. 10 mSv. I Teknisk dokument 20 [14] anbefales det å vurdere innemelding (for voksne) ut til 1–3 km, avhengig av hvilken statistisk parameter for værprognoser man baserer tiltaksavstanden på (95-persentil eller maksimum). Dataene fra våre spredningsprognoser for 1-åringer (figur 3) antyder 1–2 km for innemelding. Delvis innemelding kan være aktuelt ut til ca. 5 km (noe som er tilsvarende med Teknisk dokument 20).

DSAs vurdering:

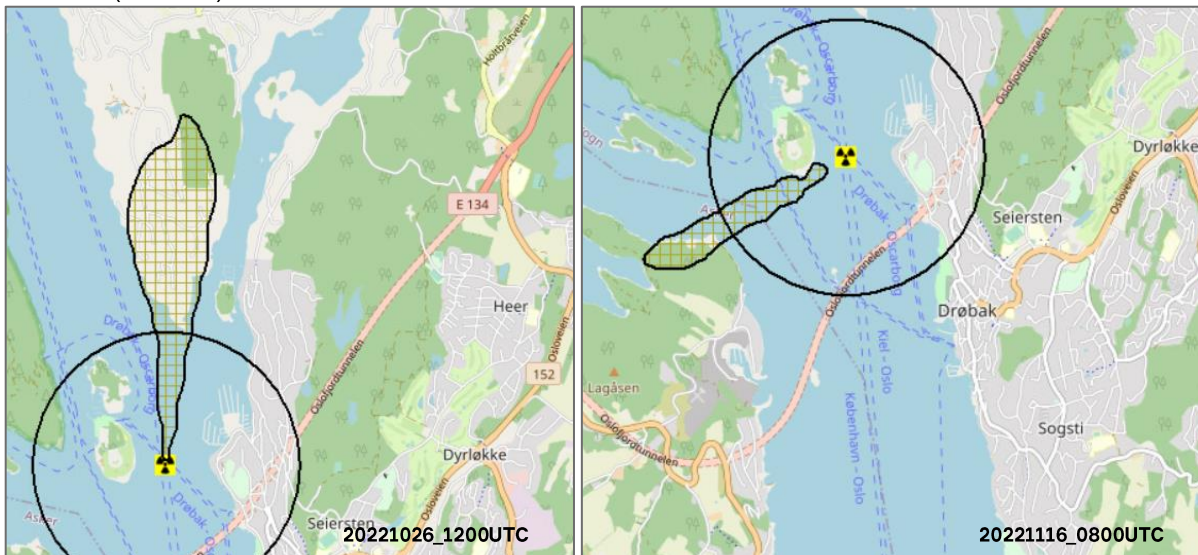
- Innemelding: **2 km**
- Delvis innemelding: **5 km**

Eksempler på områder hvor det er relevant med innemelding eller delvis innemelding, basert på reelle værdata (NWP)

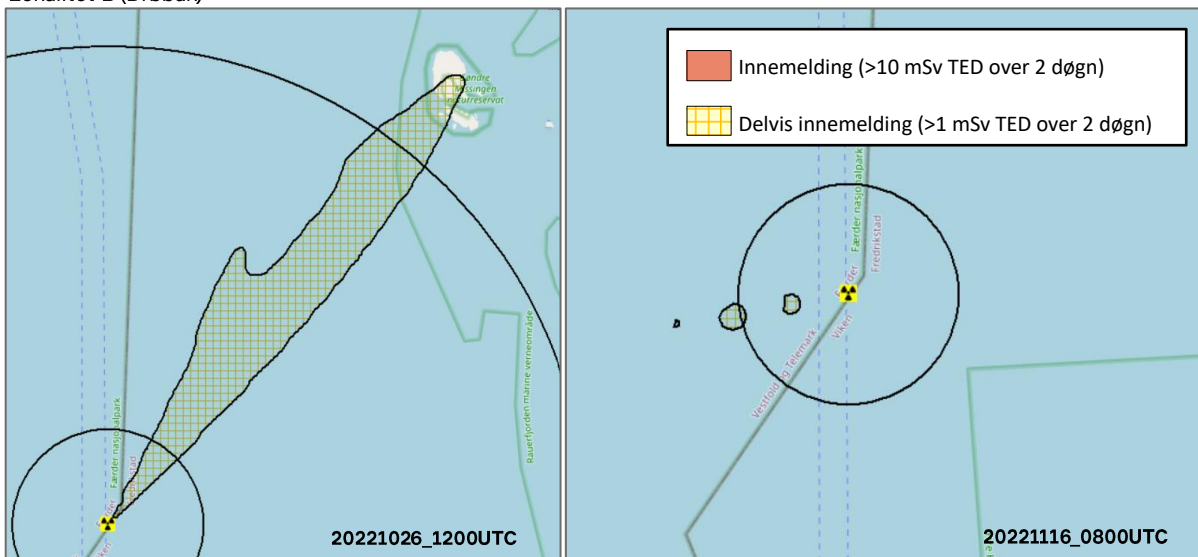
I figur 6 har vi vist et utvalg spredningsprognoser (se tabell 3) med avmerkede tiltaksområder ut fra nordiske anbefalinger rundt gjennomføring av konsekvensreducerende tiltak.



Lokalitet A (Oslo havn)



Lokalitet B (Drøbak)



Lokalitet C (lospunktet ved Færder)

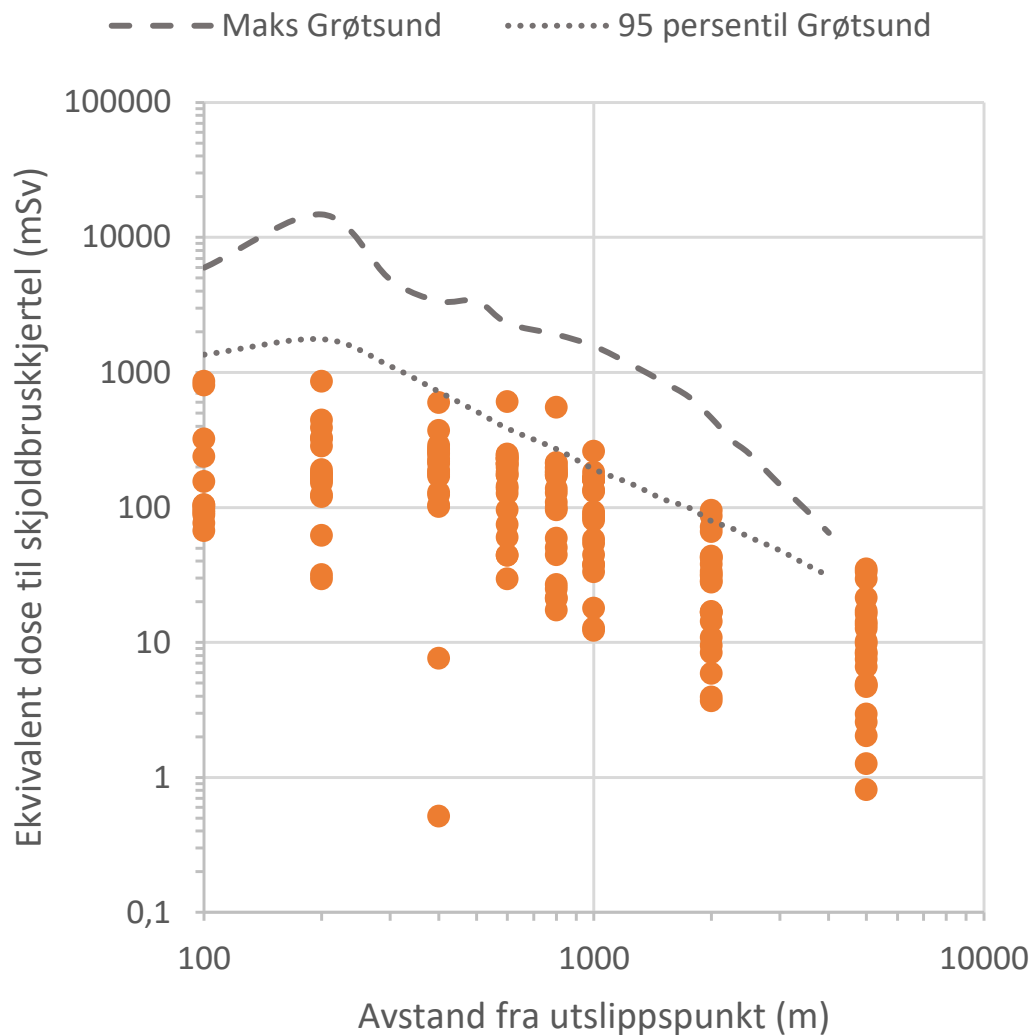
Figur 6: Innemelding – eksempler på prognoser fra alle lokaliteter (avstandssirkler: 1 km og 5 km for 20221026_1200UTC).

3.1.2 Total ekvivalent dose til skjoldbruskkjertel – bruk av jodtabletter

Radioaktivt jod 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 denne konsekvensvurderingen har dose til skjoldbruskkjertel for forskjellige aldersgrupper blitt beregnet i forbindelse med eksponering for radioaktivitet i luften.

Den nordiske flaggboka [4] anbefaler at barn under 18 år, ammende og gravide tar jodtabletter når dosen til skjoldbruskkjertelen overstiger 10 mSv. Tilsvarende 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 figur 7 har vi oppsummert informasjon om dose til skjoldbruskkjertel i forbindelse med skypassasjen i ulike avstander fra utslippspunktet basert på alle spredningsprognoser med spesifisert vindretning (tabell 2). Vi har ikke separert mellom de tre lokalitetene her fordi vær-situasjon ser ut til å ha større betydning for dosen med avstanden enn lokalitet. For sammenlikning er tilsvarende statistiske data fra Teknisk dokument 20 [14]. Alle prognoser ligger under maks for Grøtsund, mens noen av prognosene gir dose til skjoldbruskkjertelen høyere enn 95-persentilen. Vi har vist data for 1-åringer som eksempel (gir mest konservativt estimat).



Figur 7: Total ekvivalent dose til skjoldbruskkjertel (1-åring). For sammenlikning er statistisk informasjon for Grøtsund (Teknisk dokument 20) inkludert (stiplede linjer). «Maks» representerer høyeste estimerte dose for alle inkluderte værprognoser (n=478) ved en gitt avstand. Bare 5% av værprognosene gir doser over «95-persentil». Merk logaritmisk skala.

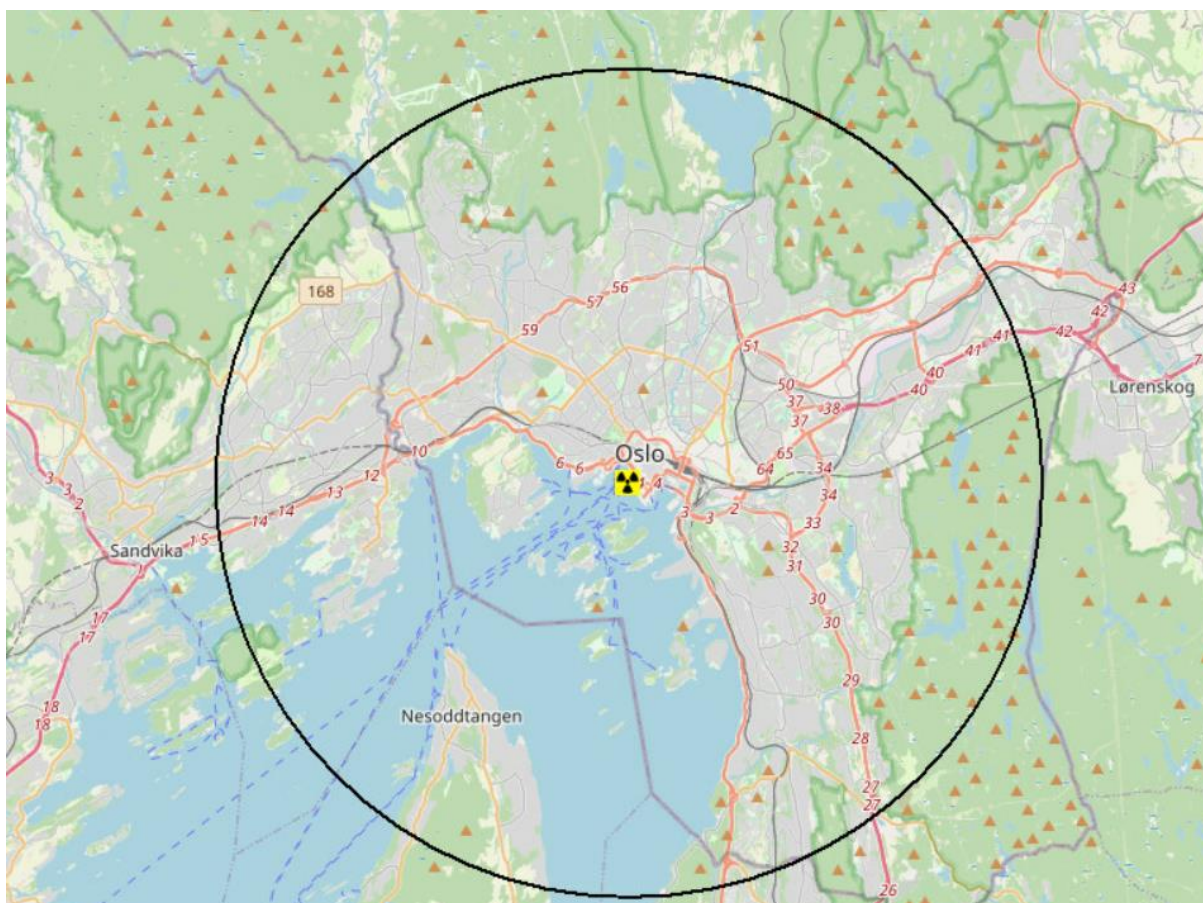
Jodtabletter:

I ARPANSA-rapporten [1] anbefales det jodtabletter ut til 1,9 km, basert på vurderinger for barn. Her er det viktig å merke seg at 100 mSv brukes som grenseverdi både for barn og voksne, og at dette kriteriet også ligger til grunn for den anbefalte australske tiltaksavstanden. I den nordiske flaggboka [4] opereres det med to lavere grenseverdier – 10 og 50 mSv (som beskrevet over). Tas det hensyn til denne forskjellen vil det – basert på beregnet dose vs. avstand i [1] – være aktuelt å vurdere jodtabletter ut til 6–7 km for barn, gravide og ammende og 1–2 km for voksne for de nordiske grenseverdiene. Dette er i godt samsvar med våre prognoser (figur 7), som bl.a. antyder at tiltaksavstanden bør ligge i overkant av 5 km for barn, ammende og gravide. Statistisk info basert på nesten 500 vær-situasjoner fra Teknisk dokument 20 [14] for samme gruppe, predikerer bruk av jodtabletter ut til 9 km (maks) – eller 5 km, basert på 95-persentil. For voksne under 40 år, vil det være aktuelt med jodtabletter ut til 2–3 km (våre data og Teknisk dokument 20).

DSAs vurdering:

- Jodtabletter til voksne <40 år: **2–3 km**
- Jodtabletter til barn, gravide og ammende: **5–10 km**

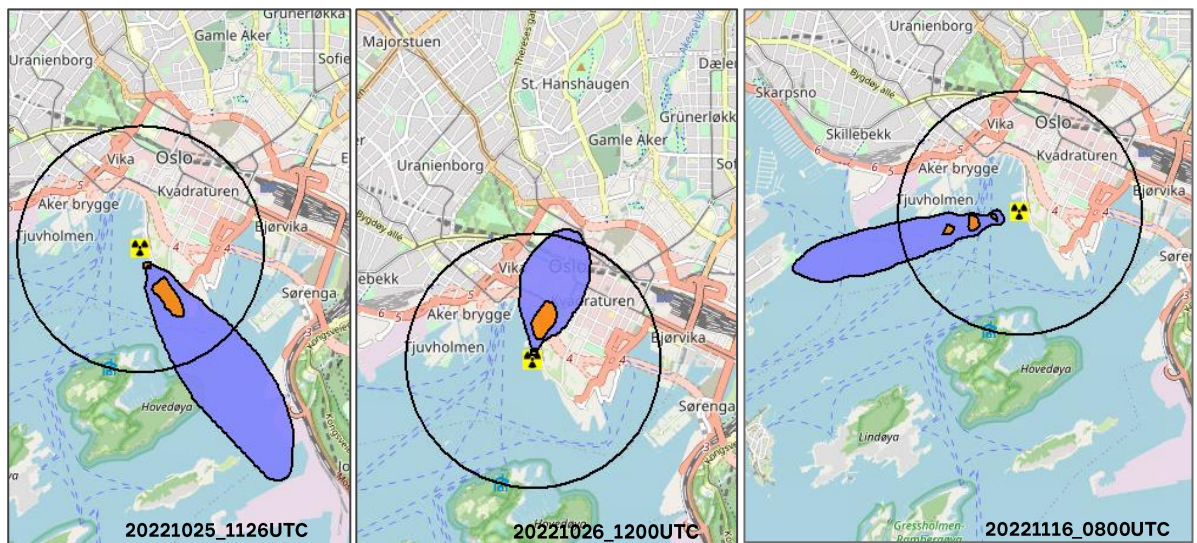
I figur 8 har vi vist hvor det kan bli aktuelt med jodtabletter ved et utslipp fra Oslo havn (basert på den mest konservative vurderingen over), dersom skipet ligger ved Akershuskaia.



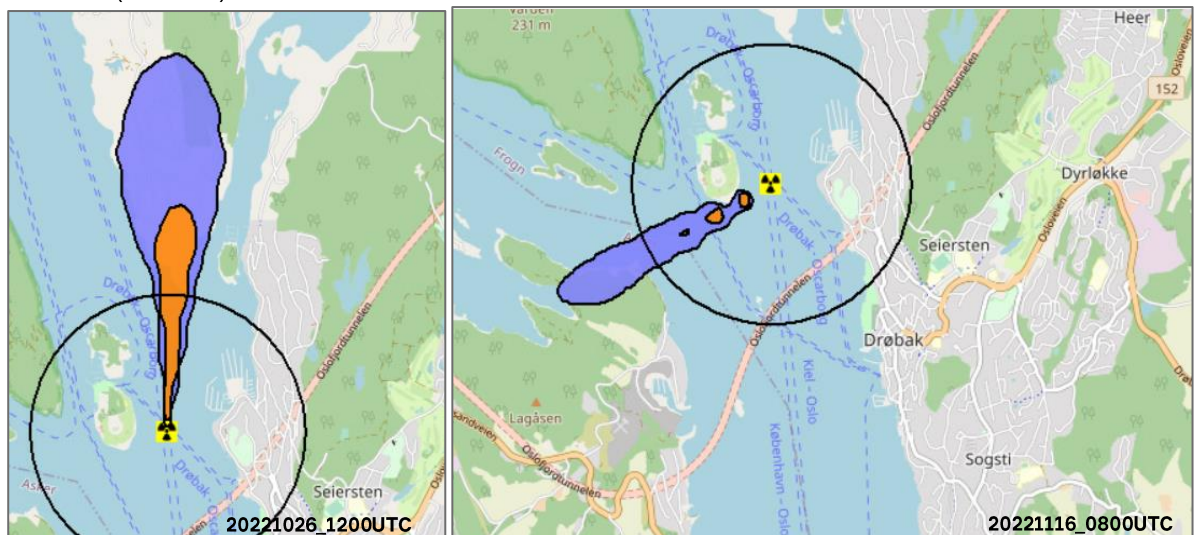
Figur 8: Område hvor det vil være aktuelt å vurdere jodtabletter for barn, gravide og ammende (avstandssirkel: 10 km), dersom skipet ligger ved Akershuskaia når det potensielt skjer et utslipp.

Eksempler på områder hvor det er relevant med bruk av jodtabletter, basert på reelle værdata (NWP)

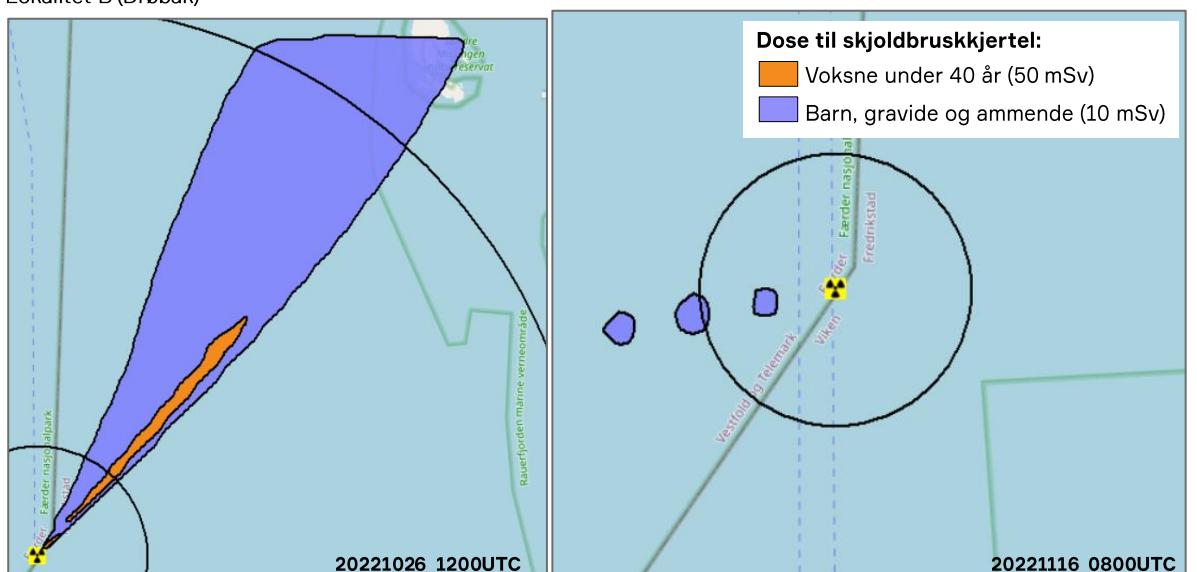
I figur 9 har vi vist et utvalg spredningsprognoser (se tabell 3) med avmerkede tiltaksområder ut fra internasjonale anbefalinger rundt gjennomføring av konsekvensreducerende tiltak.



Lokalitet A (Oslo havn)



Lokalitet B (Drøbak)



Lokalitet C (lospunktet ved Færder)

Figur 9: Jodtabletter – eksempler på prognoser (avstandssirkler: 1 km og 5 km for 20221026_1200UTC).

3.2 Radioaktivt nedfall – konsekvenser for matproduksjonen

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.

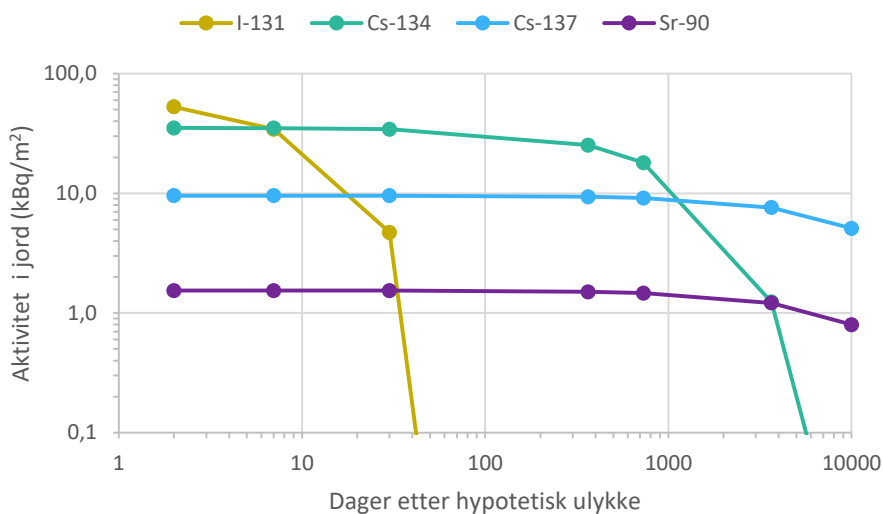
Siden DSA publiserte Teknisk dokument 20 med konsekvensvurderinger for scenarier knyttet til anløp av reaktordrevne fartøy til Grøtsund i april 2021, har det blitt utarbeidet nye krisegrenseverdier i forbindelse med radioaktivitet i næringsmidler. DSA viser til Teknisk dokument 24 («Tiltak for næringsmidler ved en atomhendelse»), som er utarbeidet av DSA i samarbeid med Mattilsynet [16]. Krisegrenseverdiene er harmonisert med EUs bestemmelser, og satt slik at stråledosene til befolkningen fra radioaktiv forurensning i omsatte næringsmidler ikke skal overskride 1 mSv det første året etter en hendelse.

Hvis nivåene i mat og drikke risikerer å overskride de fastsatte krisegrenseverdiene, må det gjøres tiltak for å redusere forurensningsnivåene før produktene kommer på markedet. Produkter over krisegrenseverdiene kan ikke selges, men må kasseres eller eventuelt få annet bruksområde. For mer informasjon om / oversikt over krisegrenseverdiene henvises det til Teknisk dokument 24 [16].

3.2.1 Problemstillinger innen næringsmiddelproduksjonen

Konsekvenser for matproduksjonen i berørte områder avhenger bl.a. av når på året nedfallet skjer – og 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 (jf. Teknisk dokument 24) [16].

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 bidra til stråledoser de første ukene etter nedfallet (figur 10) – hovedsakelig i tilknytning til melkeproduksjon, eller når stoffet er avsatt direkte på grønnsaker på åkeren. 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].



Figur 10: Relativ aktivitet av radioaktive stoffer i jord med tid etter nedfall – eksempel hentet fra Teknisk dokument 20 [14]. Middelerverdier for nedfall 3 km fra Grøtsund havn (kBq/m²),

Før et nedfall, og i de første dagene etter, må vurderinger av behovet for tiltak i næringsmidler baseres på andre typer data enn målinger av næringsmidler – for eksempel prognoser fra modellverktøy eller grov kartlegging av nedfall av radioaktive stoffer. Operasjonelle tiltaksnivåer er vist for tre kategorier næringsmidler som forurenses raskt og i tillegg når forbrukerne i løpet av få dager: Drikkevann fra overflatekilder, melk og bladgrønnsaker (tabell 5).

Tabell 5. Operasjonelle tiltaksnivåer for utvalgte næringsmidler. Operasjonelle tiltaksnivåer er her nedfallsnivåer hvor krisegrenseverdier i næringsmidler står i fare for å overskrides og tiltak bør vurderes [16].

Næringsmiddel	Radioaktivt stoff	Operasjonelt tiltaksnivå* kBq/m ²
Drikkevann fra overflatekilder (ved 10 m vanddybde**)	Cs-137	1000
	I-131	1000
	Sr-90	100
Melk	Cs-137 + Cs-134 + Cs-136	10
	I-131	5
	Sr-89 + Sr-90	10
Bladgrønnsaker	Cs-137 + Cs-134 + Cs-136	1
	Sr-89 + Sr-90	1

*Gitt som nedfall på bakken

** Anbefalt operasjonelt tiltaksnivå vil avhenge av dybden på drikkevannskilden, ev. om inntakspunktet ligger i øvre deler av kilden etc. Det er derfor viktig å ha kjennskap til slike forhold ved en hendelse for å kunne komme med tilpassede verdier for operasjonelt tiltaksnivå.

Det er viktig å understreke at operasjonelle tiltaksnivåer er konservativt beregnet. Blant annet forutsettes nedfall midt i vekst- og beitesesongen for landbruksprodukter. Dette innebærer at produkter ikke *nødvendigvis* kommer over krisegrenseverdiene ved et nedfall over operasjonelt tiltaksnivå, men at man derimot kan være relativt sikker på at produktet ligger under krisegrenseverdiene dersom operasjonelt tiltaksnivå *ikke* overskrides. Tilsvarende framgangsmåte er benyttet i forbindelse med beredskapssoner rundt svenske kjernekraftverk [12]. For mer informasjon om operasjonelle tiltaksnivåer henvises det til Teknisk dokument 24 [16].

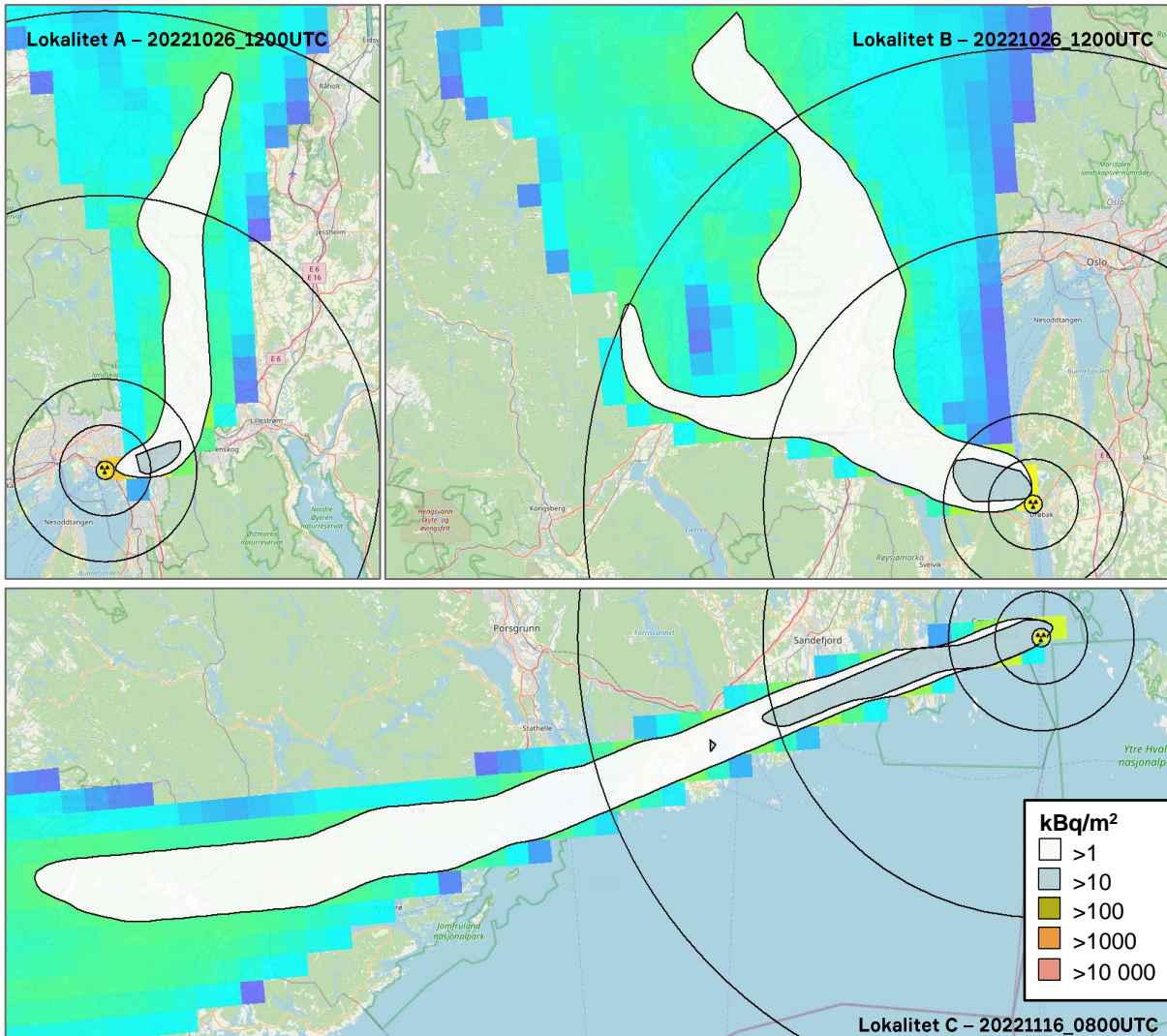
På lengre sikt, vil det være radioaktivt cesium som har størst betydning ifm. næringsmidler. Spesielt utmarksnæringene (f.eks. sau, geitemelk) vil være utsatt, men det vil også være utfordringer knyttet til sanking av bær og sopp – og i forbindelse med jakt og ferskvannsfiske. Utover den første perioden, eller ved nedfall utenfor beitesesongen, vil sannsynligvis et nedfall av radioaktivt cesium på 100 kBq/m² føre til utfordringer ifm. produksjon av kumelk (basert på norske data fra året etter Tsjernobyl-ulykken).

I Teknisk dokument 20 [14] er det også gitt noen eksempler på tiltaksnivåer for radioaktivt cesium i noen sårbare produkter. Ikke alle disse er relevante for Oslofjordområdet, f.eks. reindrift. Eksempelene i Teknisk dokument 20 er basert på grenseverdier i næringsmidler som ble fastsatt som følge av Tsjernobyl-ulykken i 1986. Disse verdiene gjelder strengt tatt ikke etter et nytt nedfall. Nedfallsnivåer som vil gi behov for tiltak vil kunne være 2–3 kBq/m² for lam, geitemelk (brukt til brunost) og sopp, og 15 kBq/m² for ville bær.

3.2.2 Eksempler på mulige nedfallssituasjoner

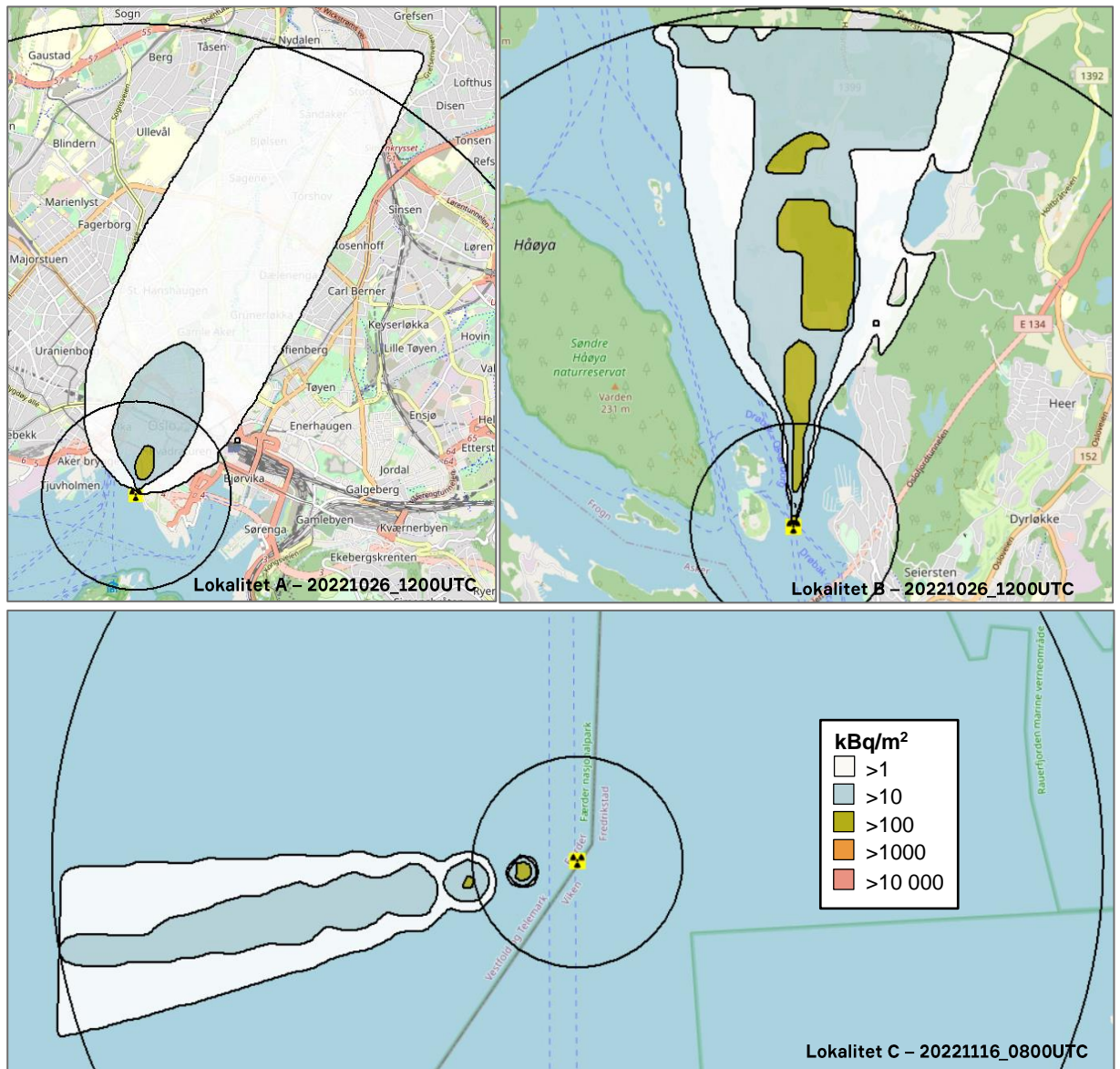
I figur 11 har vi gitt noen eksempler på nedfallssituasjoner basert på enkelte tilfeldige vær-situasjoner. Eksempelene er utarbeidet ved hjelp av langdistanse spredningsprognoser (SNAPNORDIC), og viser betydningen av ulike vær-situasjoner på totalt nedfall av radioaktivt jod (I-131) på bakken. Vi har valgt én prognose fra hvert utslippspunkt (figur 1). Vi understreker at dette er eksempler, og andre vær-situasjoner kan gi helt andre nedfallssituasjoner.

Prognosene vist i figuren indikerer at nedfallet vil bli <100 kBq/m² for I-131 utenfor utslippsstedet. Dette gjelder også for radioaktivt cesium (Cs-134, Cs-137).



Figur 11: Nedfall av I-131 på bakken (kBq/m²) for tre forskjellige vær-situasjoner – en for hver lokalitet (SNAPNORDIC). Siden mengden Cs-134+Cs-137 i utslippet er svært likt mengden I-131 (se tabell 1), er nedfallsmønsteret etter 2 dager ganske likt for radioaktivt jod og cesium for vårt utslippsscenario. Fargede piksler representerer spredningsplott, hvor grønn og blå er lavere enn 1 kBq/m² (mørk blå er lavest). Avstandssirkler: 1, 5, 10, 30 og 50 km.

Vi har også kjørt kortdistansespredning for samme tidsrom (figur 12), og disse gir høyere nedfall i nærområdet, med nivåer >100 kBq/m² av I-131 (og radioaktivt cesium) nært utslippsstedene. Dette kommer ikke tydelig fram av langdistanseprognosene. Forskjellen skyldes trolig en kombinasjon av ulik oppløsning mellom de to modellene (50 x 50 m vs. 2,5 x 2,5 km), og forskjeller i benyttede værdata mellom NWP og SNAPNORDIC. Som nevnt i avsnitt 2.2.2, er NWP-værdataene ganske grove, og SNAPNORDIC vil gi et bedre bilde av den reelle situasjonen. Dette forklarer trolig visse avvik i f.eks. vindretning mellom figur 11 og figur 12.



Figur 12: Nedfall av I-131 på bakken (kBq/m²) for tre forskjellige vær-situasjoner (samme som i figur 11, men kjørt med RIMPUFF NWP). Siden mengden Cs-134+Cs-137 i utslippet er svært likt mengden I-131 (se tabell 1), er nedfallsmønsteret etter 2 dager ganske likt for radioaktivt jod og cesium for vårt utslippsscenario. Avstandssirkler: 1 og 5 km.

4 Konklusjon

I denne rapporten har vi vurdert konsekvensene av en hypotetisk ulykke på et reaktordrevet hangarskip ved tre posisjoner i Oslofjorden. DSAs anbefalinger til planleggingsdistanser for tiltak ved anløp av reaktordrevet hangarskip til Oslo havn er:

- Hasteevakuering: **200 m**
- Evakuering: **1 km**
- Innmelding: **2 km**
- Delvis innmelding: **5 km**
- Jodtabletter til voksne <40 år: **2–3 km**
- Jodtabletter til barn, gravide og ammende: **5–10 km**

Det kan bli behov for tiltak i matproduksjon for å sikre at mat som legges fram for salg er trygg å spise i et større område. Konsekvensene vil bl.a. avhenge av når på året en ulykke 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 utmarksnæringene (sau, geitmelk etc.).

Ved prognoser for konsekvenser av en hypotetisk ulykke, er det flere forutsetninger som ligger til grunn i beregningene. De vil alltid være beheftet med usikkerheter – spesielt er mengden radioaktive stoffer som slipper ut og værforholdene på den aktuelle dagen en ulykke skulle skje, beheftet med store usikkerheter. Planleggingsdistansene gitt i denne rapporten er beregnet for å kunne gjøre nødvendige forberedelser for å planlegge for hurtig og effektiv iverksetting av tidlige tiltak. Gjennomføring av relevante konsekvensreducerende tiltak vil være avhengig av situasjonen når en eventuell alvorlig ulykke inntreffer. I svært spesielle ulykkestilfeller i kombinasjon med uvanlig vær, kan det ikke utelukkes at avstandene for gjennomføring av tiltak som innmelding og jodtabletter kan bli større i medvindsretning enn disse planleggingsdistansene. Prognoser og måldata sammen med informasjon om hvordan ulykken utarter seg, vær/vind og andre forhold, vil gi myndighetene mulighet for å iverksette tiltak i nødvendige distanser – enten de blir mindre, lik eller mot formodning større enn planleggingsdistansene i vindretningen.

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 (redaktører). 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.
- [14] Teknisk dokument 20. Thørring, H., Améen E. (2021). Konsekvensvurderinger for scenarier knyttet til anløp av reaktordrevne fartøy til Grøtsund. Østerås: DSA. https://dsa.no/publikasjoner/_/attachment/inline/7ae787ad-3d7a-4e49-a8a7-

[2aec0f8a3872:50ed14d682556a6f596d07eb3d1c2260d9cc067e/Teknisk%20rapport%2020%20Konsekvensvurdering%20anl%C3%B8p.pdf](https://dsa.no/publikasjoner/2aec0f8a3872:50ed14d682556a6f596d07eb3d1c2260d9cc067e/Teknisk%20rapport%2020%20Konsekvensvurdering%20anl%C3%B8p.pdf)

[15] StrålevernInfo 7:2005. ARGOS ved Statens strålevern. Østerås: Statens strålevern.

https://dsa.no/publikasjoner/straleverninfo-7-2005-argos-ved-statens-stralevern/straaleverninfo7_05.pdf

[16] Teknisk dokument 24. Tiltak for næringsmidler ved en atomhendelse. Østerås: DSA.

<https://dsa.no/publikasjoner/teknisk-dokument-24-tiltak-for-naeringsmidler-ved-en-atomhendelse/TekDok24%20Tiltak%20for%20n%C3%A6ringsmidler.pdf>

