
Potentielle doser fra radioaktivt jod ved postulerede nukleare uheld

Oktober 2018

Sammendrag

For at træffe beslutning om etablering og dimensionering af et dansk lager af jodtabletter til brug for befolkningen i tilfælde af nukleare uheld kan det være nyttigt at se nærmere på, om og i hvilket omfang nukleare uheld med udslip af jod til atmosfæren kan have konsekvenser på dansk område. Beslutningen skal træffes af Sundhedsstyrelsen, som derfor har bedt Beredskabsstyrelsen om at foretage konsekvensberegninger for forskellige nukleare uheldsscenarier, der kan føre til doser til den danske befolkning fra radioaktivt jod.

I denne undersøgelse er der udarbejdet prognoser og konsekvensberegninger for tre forskellige uheldsscenarier med kernekraftreaktorer, som befinder sig eller kan befinde sig i nærheden af dansk område. De tre scenarier involverer henholdsvis kernekraftværket ved Ringhals (Sverige), kernekraftværket ved Brokdorf (Tyskland) og et uheld på et nukleart drevet fartøj, der befinder sig i indre danske farvande.

Til konsekvensberegningerne af de tre uheldsscenarier er der anvendt beslutningsstøttesystemet ARGOS. Inputdata inkluderer source terms fra de omfattede reaktorer, vejrdata fra DMI gennem et år (2017-2018) og tre dosiskriterier, hvoraf det mindste er på 10 mGy ækvivalent dosis til thyroidea til 1-årige børn.

Under disse forudsætninger ville der have været en eller flere dele af landet, hvor dosiskriteriet i det omhandlede år var overskredet 40 % af dagene i tilfælde af et uheld på Ringhals kernekraftværket og 60 % af dagene i tilfælde af et uheld fra Brokdorf kernekraftværket. Uheld på et nukleart drevet fartøj vil potentielt kunne bevirke overskridelse af dosiskriteriet omkring flere af de positioner, som disse fartøjer normalt vil befinde sig på under en passage gennem de indre danske farvande.

Det har i den periode, som undersøgelsen angår, samtidig været mere hyppigt, at et uheld på Brokdorf kernekraftværket ville have påvirket en større del af landet end et uheld på Ringhals kernekraftværket, som har en tendens til mest at påvirke en mindre del af landet, specielt Nordjylland.

Undersøgelsen er udarbejdet af: Steen Cordt Hoe, Agnieszka Hac-Heimburg og Carsten Israelson.

Indholdsfortegnelse

Sammendrag	2
Indledning	4
Metoder.....	4
Vejrdata 2017-2018	5
Source Terms	6
Dosiskriterier og beregning af doser	7
Resultater og diskussion	8
Ringhals kernekraftværket	9
Brokdorf kernekraftværket.....	10
Nukleart drevne fartøjer	11
Konklusion.....	12
Beregningseksempler.....	13
Ringhals Kernekraftværket, Sverige	13
Brokdorf kernekraftværket, Tyskland	14
Nukleart drevne fartøjer	15
Litteraturliste.....	16

Indledning

Denne undersøgelse er udarbejdet efter anmodning fra Sundhedsstyrelsen. Formålet er, at levere et bidrag til det beslutningsgrundlag, som skal bestemme dimensioneringen af et eventuelt dansk lager af jodtabletter, som kan anvendes til uddeling til befolkningen i forbindelse med nukleare uheld.

Beredskabsstyrelsen, Nukleart Beredskab, har efter aftale med Sundhedsstyrelsen foretaget beregninger af doser til befolkningen i forbindelse med utilsigtet indtag af radioaktivt jod (I-131), som kan forekomme i luften efter nukleare uheld på kernekraftværker eller i nukleart drevne fartøjer. Til dette formål er anvendt beslutningsstøttesystemet ARGOS.

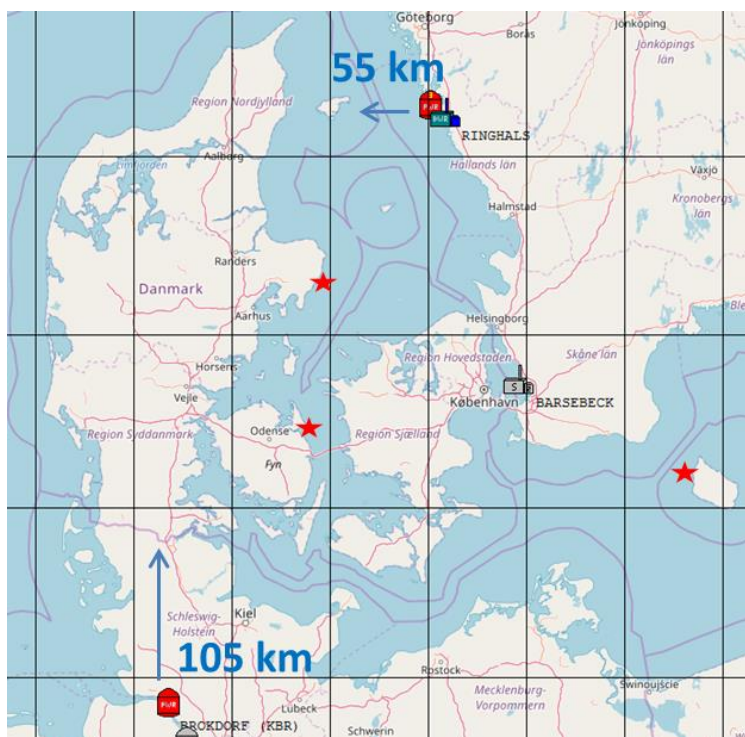
Der er over 170 operative kernekraftreaktorer i Europa, hvoraf 3/4 ligger i en afstand fra Danmark, som er mindre end til Tjernobyl. Dertil kommer, at nukleart drevne fartøjer regelmæssigt passerer gennem danske farvande, hvor de under passagen befinder sig tæt på danske landområder. Det ville være muligt at opstille uheldsscenarier for mange af disse reaktorer med følger på dansk territorium, der også involverer radioaktivt jod.

Der er i denne undersøgelse imidlertid kun medtaget tre forskellige uheldsscenarier, og der er anvendt de forudsætninger og kriterier, som er anvist af Sundhedsstyrelsen. Disse er ikke fuldt dækkende for alle de situationer, som kan føre til nukleare uheld med luftbåret radioaktivt jod på dansk territorium til følge.

Nærværende undersøgelse forholder sig ikke til sandsynligheden for uheld på de reaktorer, der indgår i undersøgelsen, men kun for mulige konsekvenser på danske område, hvis et uheld indtræffer. Det skal dog bemærkes, at nukleare ulykker er en ud af 13 hændelsestyper, som er udvalgt i "Nationalt Risikobillede" (Beredskabsstyrelsen, Okt. 2017) ud fra et kriterium om gennemslagskraften af de direkte konsekvenser i Danmark for liv, helbred, miljø, økonomi, ejendom og samfundsvigtige funktioner.

Metoder

Undersøgelsen begrænser sig til tre uheldsscenarier: Kernekraftværket ved Ringhals i Sverige ca. 55 km fra dansk område (Læsø), kernekraftværket i Brokdorf i den nordlige Tyskland ca. 105 km fra den danske grænse, og tre lokaliteter fra en nukleart drevet ubåds passage i sommeren 2018 (Fig. 1).



Figur 1. Placering af kernekraftværker Ringhals og Brokdorf samt tre lokaliteter fra et nukleart drevet fartøj.

De to kernekraftværker er valgt ud fra et afstandskriterium, idet det er de kernekraftværker i henholdsvis Sverige og Tyskland, som ligger tættest på den danske grænse. Lokaliteten for uheldsscenariet, der involverer et nukleart drevet fartøj, er valgt på en rute, som alle nukleart drevne fartøjer (isbrydere og ubåde) passerer, når de gennemsejler indre danske farvande (via Storebælt).

For at kunne udarbejde prognoser for atmosfærisk spredning af radioaktive stoffer fra et kernekraftuheld, er det nødvendigt at foretage nogle antagelser om "source terme", det vil sige sammensætningen og mængden af radioaktive stoffer, som slipper ud til atmosfæren, og om højden og varigheden af udslippet.

De ovennævnte parametre er konstante for alle de beregninger, der er foretaget i denne undersøgelse. Vejrforholdene er derved den eneste variabel, og der er foretaget beregninger med daglige vejrdato/vindretninger fra ét år (2017/2018) til at beregne udbredelsen af en radioaktiv sky med udslipspunkter på de ovennævnte lokaliteter.

Vejrdato 2017-2018

Der er i undersøgelsen anvendt daglige vejrdato fra perioden sommeren 2017 til sommeren 2018 (365 dage), og for hver dag er der udført beregninger af konsekvenserne af potentielle udslip fra de to omhandlede kernekraftværker. For det tænkte uheld med en nuklear drevet ubåd er der kun foretaget enkelte beregninger fra den seneste passage gennem danske farvande, som foregik i sommeren 2018.

Til brug for beregningerne er anvendt meteorologiske data fra DMI's operationelle vejrmødeller HIRLAM og HARMONIE, der har en tidlig opløsning på en time, horisontal opløsning på en ca. 2,5

km og 17 modellag fra 1 m og op til ca. 2,5 km over jordens overflade. Usikkerhed på de forskellige vejrmønstre kan være betydelig, og har indflydelse på, hvor store områder i landet, som ifølge udregningerne bliver berørt af et radioaktivt udslip fra en af de ovennævnte lokaliteter. Usikkerhed er ikke medtaget i denne undersøgelse, men har kun lille betydning for konklusionerne, da undersøgelsen beskæftiger sig med variable vejsituationer gennem et helt år.

Beregningerne er foretaget med ARGOS systemet med brug af RIMPUFF spredningsmodellen, og der har været foretaget et antal kontrolberegninger med DMI's langdistancemodell DERMA.

Source Terms

Udslippets indhold af nuklider, tidsforløb, udslipshøjde, timing og jods kemiske sammensætning, kaldes en "source term". Beredskabsstyrelsen har ikke mulighed for selv at beregne detaljerede source terms for udenlandske kraftværker, da dette kræver detaljeret viden om brændsel og drift af de enkelte kernekraftværker, som normalt kun er til rådighed for operatørerne og tilsynsmyndighederne i kernekraftlandene. De source terms, der er anvendt i denne undersøgelse, er stillet til rådighed gennem Beredskabsstyrelsens samarbejdspartnere. Forskellige uheldstyper vil resultere i forskellige source terms. Der er i denne undersøgelse anvendt source terms for forholdsvis alvorlige kernekraftuheld, hvad der i den sidste ende giver en konservativ vurdering af de områder i Danmark, der vil blive berørt af de postulerede uheld.

Udslipslængden for de anvendte source terms er omkring to døgn. Denne begrænsning stammer fra de anvendte source term-modeller, der ikke kan beregne længere udslip. Hovedparten af udslip er dog sket inden for denne tid, men der vil dog kunne forventes et fortsat mindre udslip også efter de to døgn.

Til beregning af det radioaktive udslip fra Brokdorf kernekraftværket er der anvendt den såkaldt FKA-sourceterm, som beskriver meget alvorlige uheld. Dette er den samme source term, som de tyske myndigheder har brugt i deres nyeste sikkerhedsstudier (F. Gering*, 2017).

Til beregningerne af udslip fra Ringhals kernekraftværket er der anvendt en alvorlig uheldstype, som er beregnet af eksperter fra kernekraftværket, og den repræsenterer således operatørens egen vurdering af en alvorlig ulykke. De svenske myndigheder har i deres fornyligt publicerede sikkerhedsstudie anvendt en sammenlignelig source term, som Beredskabsstyrelsen ikke har haft detaljeret adgang til (Swedish Radiation Safety Authority, Oktober 2017).

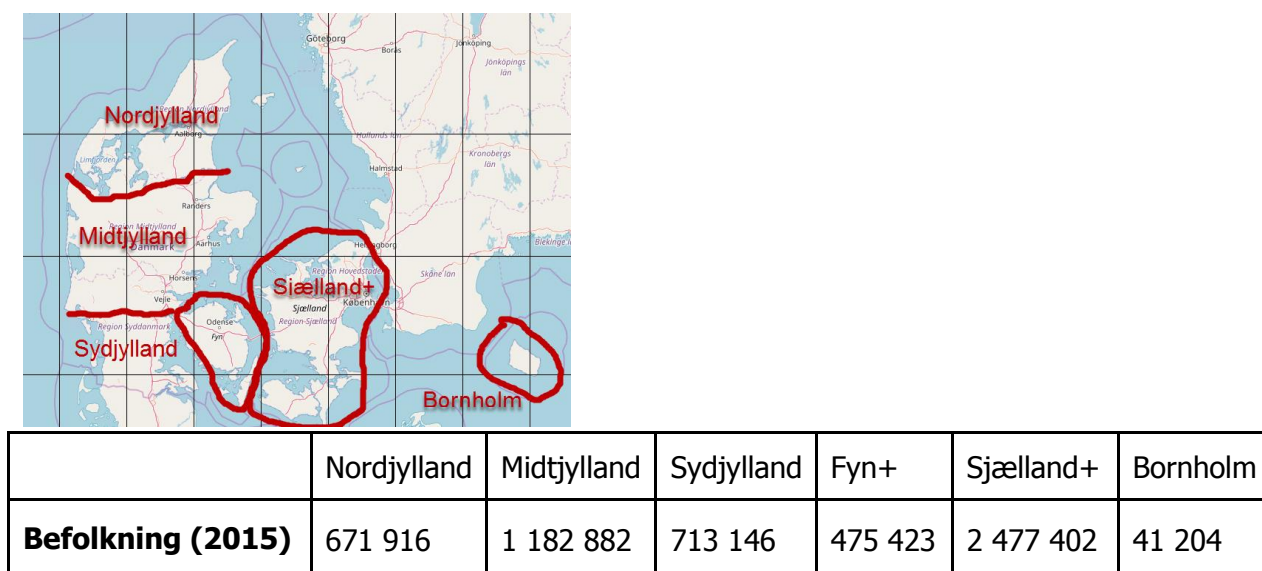
I forbindelse med beregning af source terms for nukleart drevne fartøjer (isbrydere og ubåde) er der i denne undersøgelse fokuseret på de fartøjer, der de seneste år har sejlet gennem de indre danske farvande. De mest almindelige reaktortyper på disse fartøjer er typerne KT40 (171 MW_{therm}) og OK 650M (190 MW_{therm}), som alle findes i russiske fartøjer. Der findes ikke åben litteratur, der beskriver source terms fra disse fartøjer. I denne undersøgelse har vi regnet med et dobbeltreaktor-uheld og skaleret Ringhals-sourcetermen med en faktor 0,4 for at tage hensyn til den højere udbrænding af brændslet, hvilket giver en konservativ source term for I-131.

Dosiskriterier og beregning af doser

Ved beregning af ækvivalente doser til skjoldbruskkirtlen (thyroidea) er der anvendt dosiskoefficienter for 1-årige børn, og der er antaget udendørsophold - altså uden en eventuel reduktion ved indendørs ophold. Denne aldersgruppe er anvendt, fordi det giver de højeste doser ved den pågældende luftkoncentration af jod af alle aldersgrupper. Beregning af doser ved indendørs ophold er meget usikker, da de afhænger af hustype, ventilation og den kemiske sammensætning af jod (der også er meget usikker), og er derfor ikke medtaget i dette studie. I beregningerne er dog brugt en realistisk antagelse omkring forholdet mellem de tre jodformer (partikulær, organisk og elementær).

Alle dosisberegninger er foretaget i beslutningsstøttesystemet ARGOS (v. 9.6). Outputdata er kort, der viser isokurver med ækvivalente doser til skjoldbruskkirtlen for 1-årige børn. Der er beregnet isokurver for henholdsvis 10 mGy, 25 mGy og 100 mGy. Der er som sagt foretaget beregninger for hver dag i et år, hvor det aktuelle daglige vejr er anvendt som den eneste variabel (mindst 365 beregninger for hver kernekraft site). Der er foretaget analyse med fokus på 1-årige børn. Data med doser til voksne er også tilgængelige, men er ikke yderligere diskuteret i denne rapport.

For at give et overblik over de potentielle konsekvenser for befolkningen i Danmark er der udarbejdet et kort, hvor landet er opdelt i seks følgende landsdele (Fig. 2).

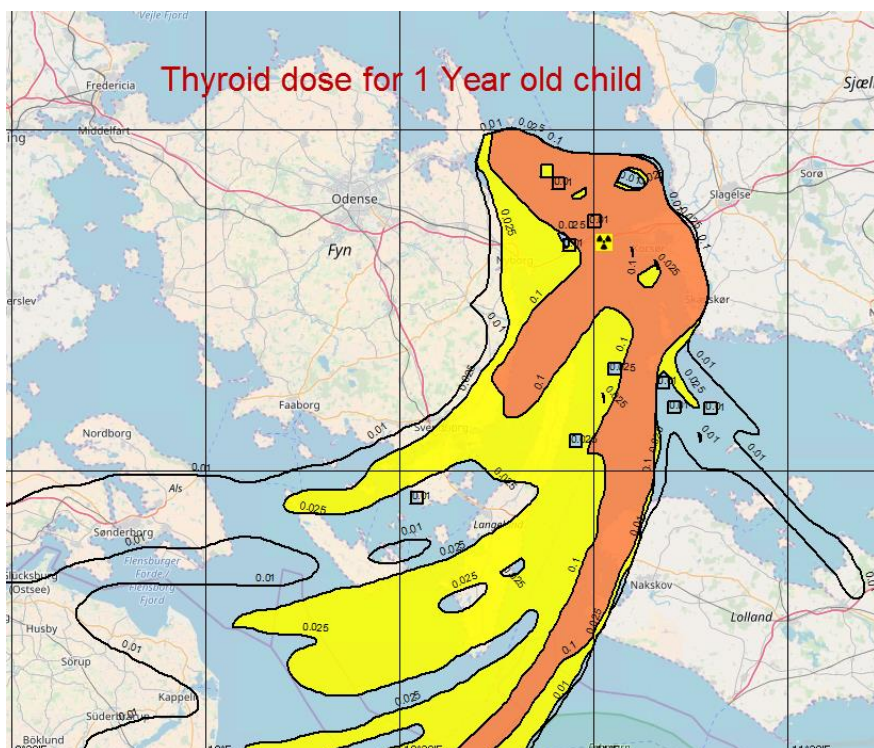


Figur 2. Opdeling af landsdele med befolkningstal.

For hvert af de tre anvendte uheldsscenarioer er det derefter beregnet, hvor mange dage om året (2017-2018) de opstillede dosiskriterier er overskredet i de enkelte landsdele. På grund af usikkerheden i vejrprognoserne anses det ikke for validt at se på mindre områder end landsdele af en størrelse som er vist i Fig. 2.

Resultater og diskussion

Beregninger af de ca. 48 timer lange udslip, som er anvendt i undersøgelsen, er sket med 25 timers mellemrum, for at fordele starttidspunkterne jævnt over døgnet. Resultaterne er vist som isokurver, hvor der er valgt tre niveauer: 100mGy ■, 20 eller 25 mGy ■¹, samt 10 mGy ufarvet.



Figur 3. Eksempel på display fra ARGOS.

Det skal bemærkes, at hvis der var anvendt samme source term som de svenske strålebeskyttelsesmyndigheder (SSM) anvendte i deres nyligt publicerede sikkerhedsstudie, ville joddoserne formentlig have været op til 70 % højere sammenlignet med de beregninger fra Ringhals kernekraftværket, som er anvendt i denne undersøgelse (Swedish Radiation Safety Authority, Oktober 2017).

For hver beregning er det optalt om en given landsdel vil blive ramt af det potentielle udslip og hvilken grænse, der vil blive overskredet. Disse beregninger er vist i tabelform nedenfor for henholdsvis Ringhals kernekraftværket i Sverige (Tabel 1) og Brokdorf i Tyskland (Tabel 2).

Resultaterne refererer til isokurver, hvor der er valgt tre dosiskriterier (ækvivalent dosis til thyroidea på henholdsvis 100 mGy ■, 20 eller 25 mGy ■¹, og 10 mGy ufarvet).

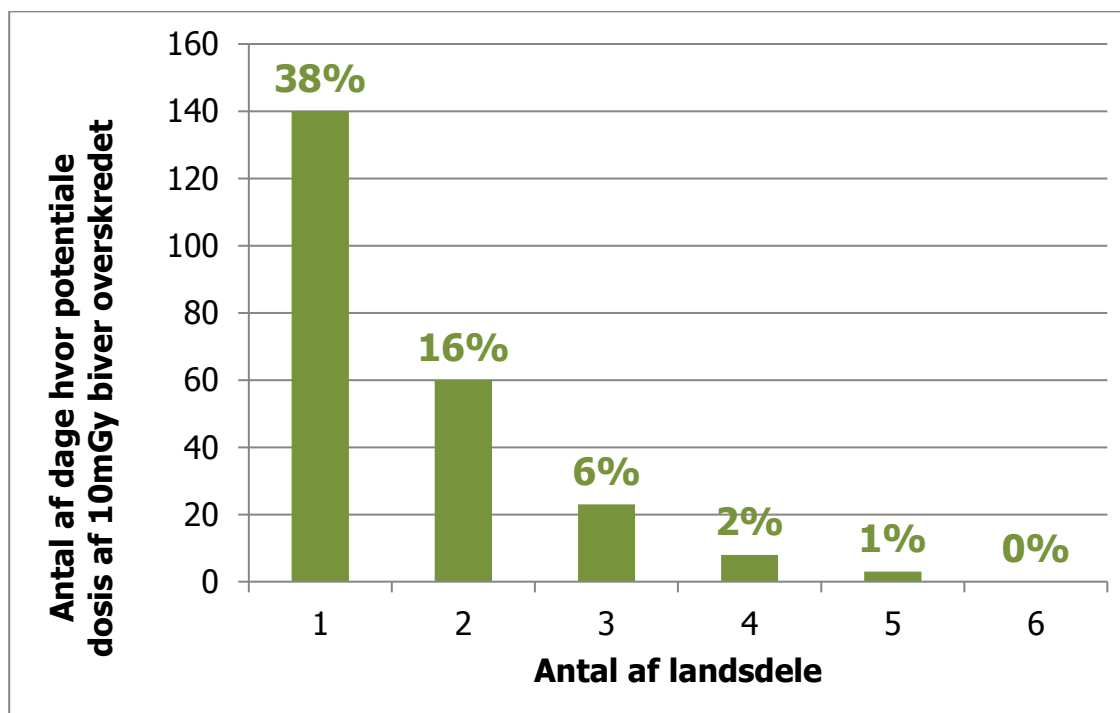
¹ I forbindelse med en serveropdatering i januar 2018 blev ISO-værdien ændret fra 20mGy til 25 mGy, men det har lille praktisk betydning for denne undersøgelse.

Ringhals kernekraftværket

Tabel 1: Oversigt over antal dage, hvor udslip fra Ringhals 4 reaktoren når de enkelte landsdele, som er vist i Fig. 2.

Thyroidea doser for 1-årige ved udendørs ophold	Antal dage hvor dosiskriteriet er overskredet					
Landsdele	Nordjyll-land	Midtjylland	Sydjyll-land	Fyn+	Sjælland+	Born-holm
Befolkningsantal (2015)	671 916	1 182 882	713 146	475 423	2 477 402	41 204
100-170mGy	26	7	0	2	8	0
25-40mGy	67	39	5	11	35	1
10-17mGy	88	50	16	18	52	10
% dage, hvor dosis overstiger 10mGy	24	13	5	5	14	3

Som det fremgår af Tabel 1, er der en generel tendens til at enten Nordjylland, Midtjylland eller Sjælland+ rammes af udslip fra Ringhals kernekraftværket. Dog rammes Nordjylland mere end tre gange så ofte, som de andre landsdele. Bemærk, at selv om Nordjylland også omfatter Anholt, er det sjældent, at øen er omfattet alene.



Figur 4: Oversigt over antal landsdele, hvor dosiskriteriet på 10 mGy bliver overskredet efter potentielt udslip fra Ringhals 4 reaktoren.

Som det fremgår af Figur 4, betyder variationerne i vejret gennem året 2017/2018, at mindst én landsdel vil blive påvirket af et udslip fra Ringhals kernekraftværket 38 % af årets dage. Tilsva-

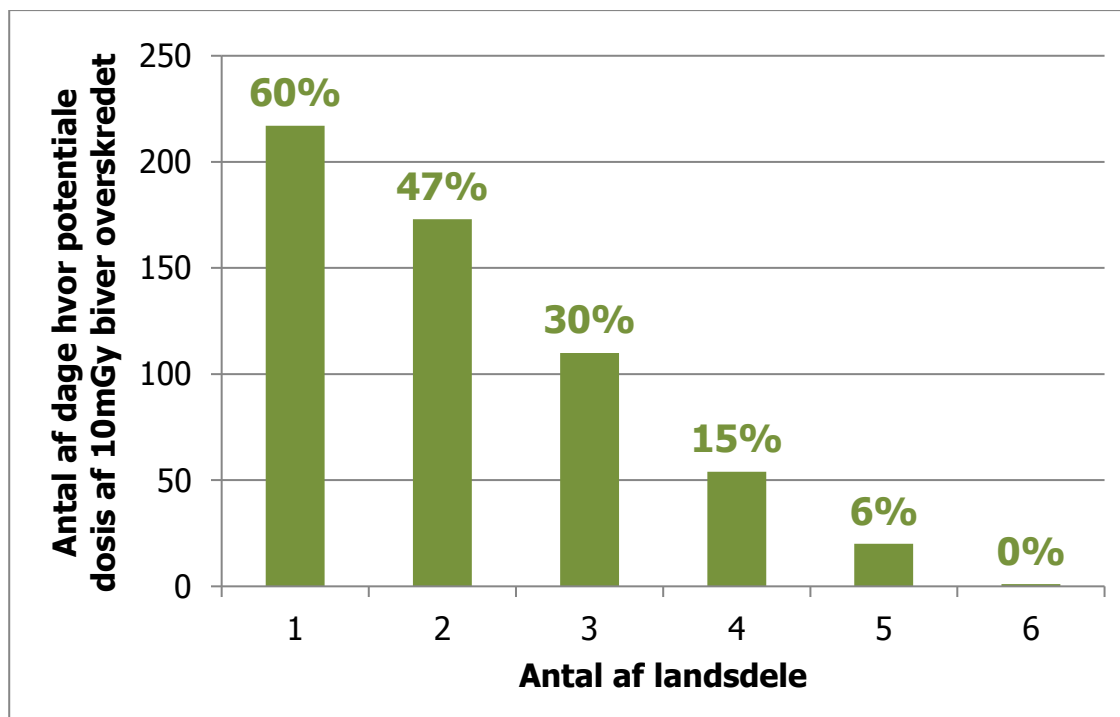
rende vil det være 16 % af dagene, hvor to landsdele vil blive påvirket af et udslip, hvor dosiskriterierne er overskredet. Sandsynlighed for at tre til seks landsdele bliver påvirket er faldende. Der har ikke været vejr situationer i perioden, hvor alle seks landsdele har været påvirket.

Brokdorf kernekraftværket

Tabel 2: Oversigt over antal af dage, hvor udslip fra Brokdorf kernekraftværket når danske landsdele som vist i Fig. 2.

Thyroidea doser for 1-årige ved udendørs ophold	Antal dage hvor udslip fra Brokdorf kunne nå landsdelen					
Landsdele	Nordjylland	Midtjylland	Syddjylland	Fyn+	Sjælland+	Bornholm
Befolkningsantal (2015)	671 916	1 182 882	713 146	475 423	2 477 402	41 204
100 mGy	0	10	34	12	7	0
20 mGy- 25 mGy	11	60	103	74	91	3
10 mGy	40	93	145	121	150	26
% af dage ramt med mere end 10 mGy	11	26	40	33	41	7

Det fremgår af Tabel 2, at der generelt er en tendens til, at enten Syddjylland eller Sjælland+ bliver påvirket i en grad, så dosiskriterierne bliver overskredet. Sandsynlighed for, at Fyn og Midtjylland bliver påvirket i en sådan grad, at dosiskriterierne bliver overskredet er dog stadig forholdsvis høj, idet der er henholdsvis 121 og 93 dage, hvor doser på 10 mGy ækvivalent dosis til thyroidea bliver overskredet.



Figur 5. Oversigt over antal af landsdele, hvor dosiskriteriet på 10 mGy bliver overskredet efter potentielt udslip fra Brokdorf kernekraftværket.

Samlet set viser beregningerne, at i 60 % af de studerede dage vil dosiskriteriet på 10 mGy være overskredet i mindst en landsdel efter et potentielt udslip fra Brokdorf kernekraftværket. I omkring 50 % af dagene vil to landsdele have været påvirket, og i hele 30 % af dagene i perioden 2017/2018 vil tre landsdele have været påvirket af et potentielt udslip.

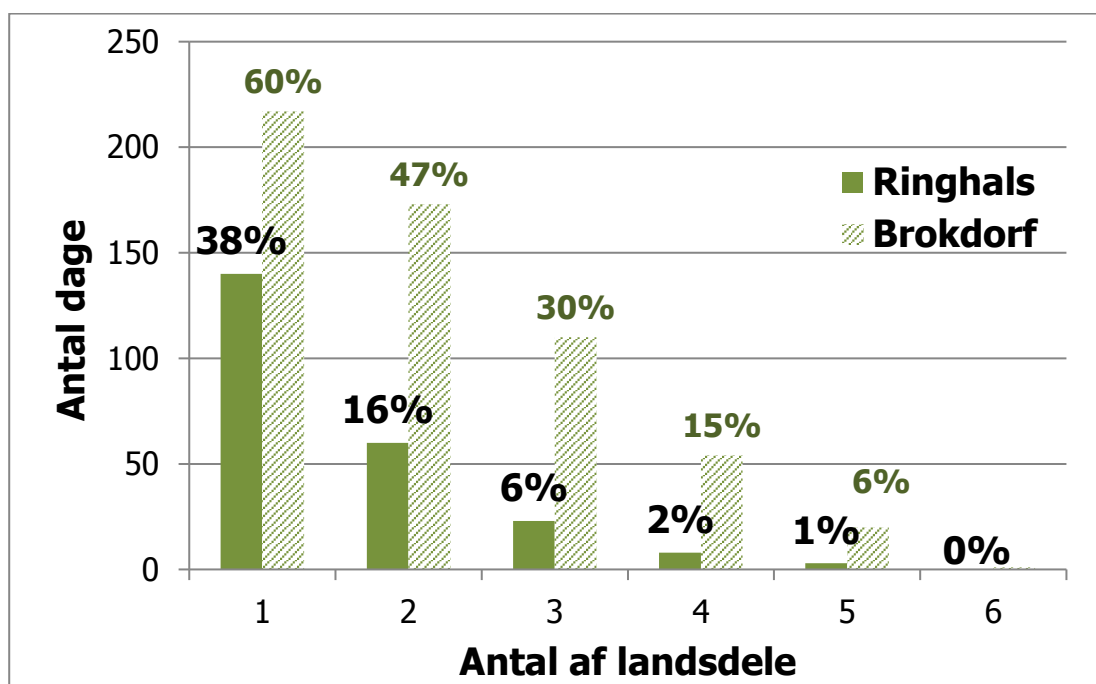
Nukleart drevne fartøjer

Der er, som tidligere nævnt, kun foretaget få og udvalgte beregninger vedrørende nukleart drevne fartøjer. Nukleart drevne fartøjer er kendetegnet ved, at reaktorerne er væsentligt mindre end for kernekraftværker, og at der generelt er få tilgængelige oplysninger om source terms fra disse reaktortyper. I afsnittet, "Beregningseksempler" (Fig. 13-15), er der vist konsekvensberegninger for potentielle udslip fra et nukleart drevet fartøj på tre forskellige lokaliteter på en sejlroute gennem Storbælt, som en russisk nukleart drevet ubåd fulgte i sommeren 2018. Der er anvendt det aktuelle vejr fra passagen og de samme dosiskriterier som for kernekraftværkerne i Ringhals og Brokdorf. Som det fremgår, var der situationer fra den pågældende sejlads, hvor et uheld ville have ført til overskridelse af dosiskriterier i flere landsdele.

Konklusion

I denne undersøgelse er doser fra radioaktivt jod til befolkningen efter postulerede kernekraftuheld undersøgt. Undersøgelsen begrænser sig til at inkludere uheldsscenarier fra henholdsvis kernekraftværkerne i Ringhals (Sverige), Brokdorf (Tyskland) og fra et nukleart drevet fartøj i de indre danske farvande.

Undersøgelsen viser, at hvis vejrdata for et år i perioden 2017/2018 anvendes som den eneste variabel ville det laveste anvendte dosiskriterium på 10 mGy ækvivalent dosis til thyroidea for 1-årige børn have været overskredet 38 % af dagene i tilfælde af et uheld på Ringhals kernkraftværket og 60 % af dagene i tilfælde af et uheld fra Brokdorf kernkraftværket.



Figur 6. Samlet oversigt over antal landsdele, der potentielt kan blive påvirket af et uheld på de to studerede kernekraftværker, Ringhals og Brokdorf, hvis man anvender daglige vejrdata for et år.

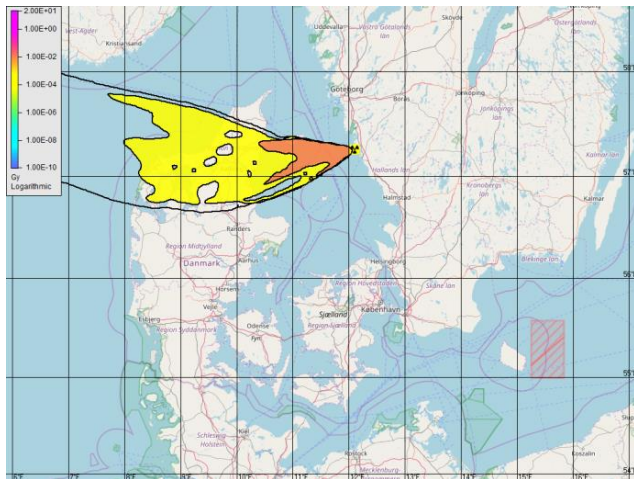
I den undersøgte tidsperiode har et udslip på Brokdorf kernkraftværket oftest påvirket mange landsdele samtidigt, mens et udslip fra Ringhals oftest kun har påvirket Nordjylland alene eller i sjældnere tilfælde Sjælland alene.

Samtidig viser resultater af beregningerne, at et uheld på et nukleart drevet fartøj har potentiale til at bevirke overskridelse af dosiskriteriet på 10 mGy ved flere af de positioner, som disse fartøjer normalt vil befinde sig på under en passage gennem de indre danske farvande.

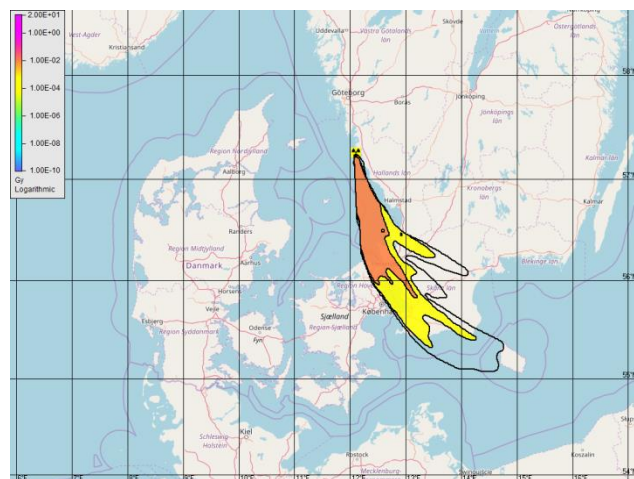
Sammenfattende kan det anføres, at der er meget få dage om året, hvor de valgte dosiskriterier ikke må antages at ville blive overskredet ved alvorlige uheld på enten Ringhals eller Brokdorf kernkraftværket, eller i forbindelse med passage af nukleart drevne fartøjer, ud fra de forudsætninger, som undersøgelsen er baseret på.

Beregningseksempler

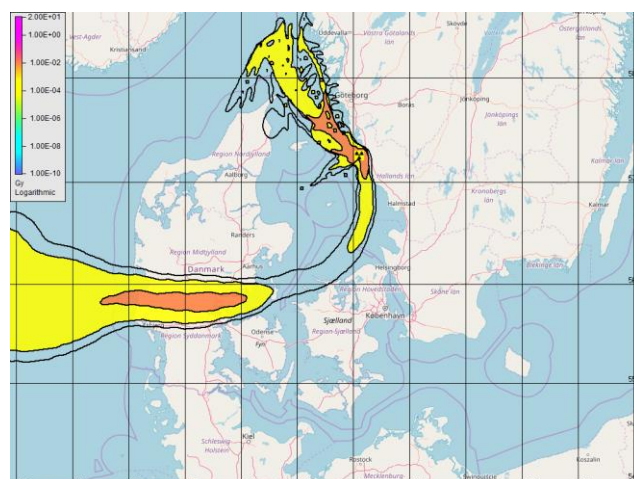
Ringhals Kernekraftværket, Sverige



Figur 7. 2017-09-23 1 årige

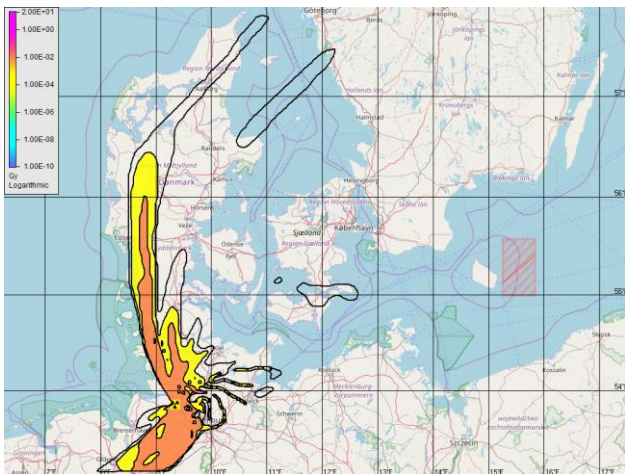


Figur 8. 2018-03-12 1 årige

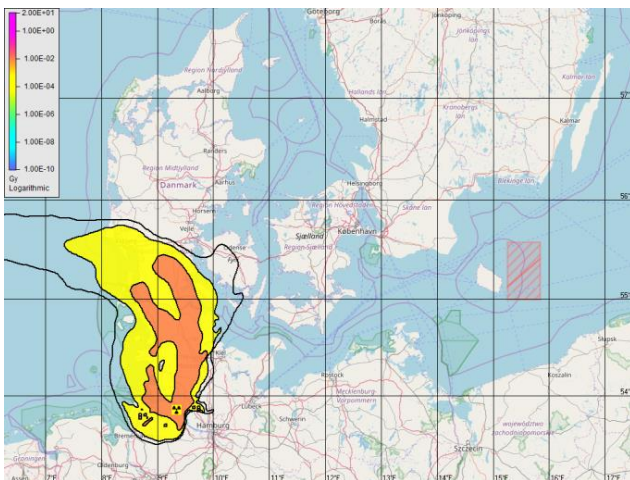


Figur 9. 2018-05-25 1 årige

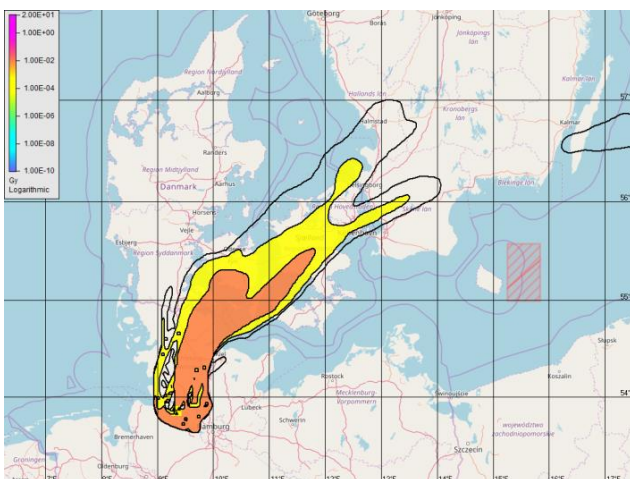
Brokdorf kernekraftværket, Tyskland



Figur 10. 2017-08-28 1 årige

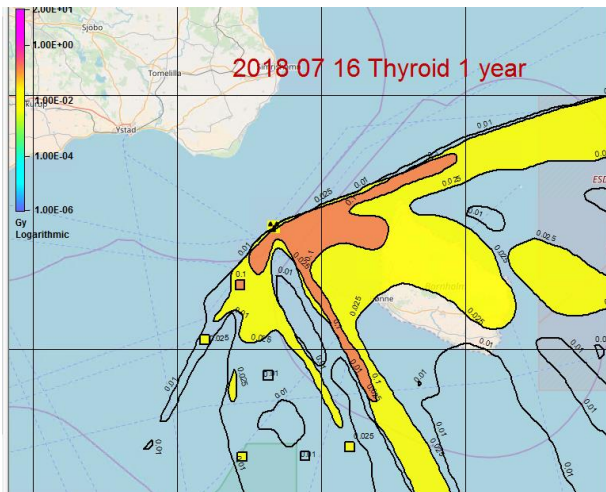


Figur 11. 2017-09-16 1 årige

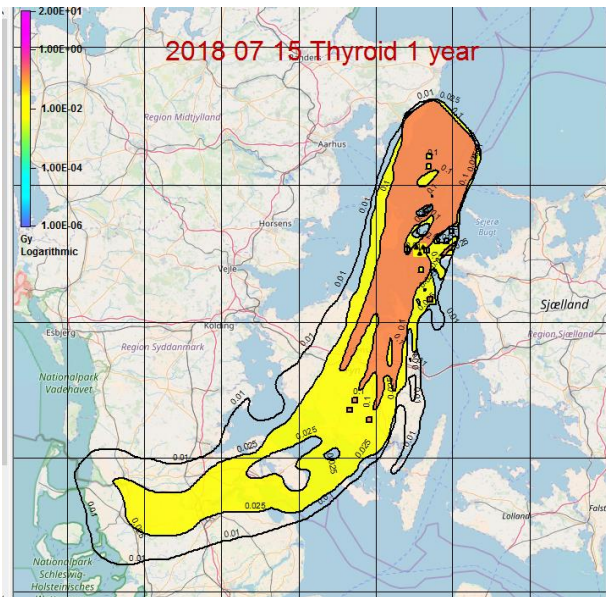


Figur 12. 2018-02-17 1 årige

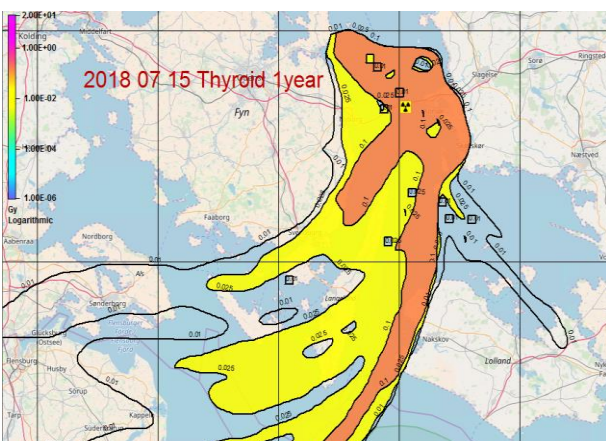
Nukleart drevne fartøjer



Figur 13. 2018-07-16 1 årige



Figur 14. 2018-07-15 1 årige



Figur 15. 2018-07-15 1 årige

Litteraturliste

Beredskabsstyrelsen, Okt. 2017. *Nationalt Risikobillede*, Birkerød: Beredskabsstyrelsen.

F. Gering*, B. G. E. W. a. G. K., 2017. POTENTIAL CONSEQUENCES OF THE FUKUSHIMA ACCIDENT FOR OFF-SITE NUCLEAR EMERGENCY MANAGEMENT: A CASE STUDY FOR GERMANY. *Radiation Protection Dosimetry*.

SSK, Tyskland, Februar 2015. *Rahmenempfehlungen fuer den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen*, s.l.: 274. Sitzung der Strahlenschutzkommission.

Statens strålevern; Helsedirektorat; CBRN senter, 2014. *Jodtiltak i norsk atomberedskap, Strålevernsfaglige og administrative vurderinger*, s.l.: Helse og Omsorgsdepartement .

Swedish Radiation Safety Authority, Oktober 2017. *Oversyn av beredskapszoner*, s.l.: 2017:27 ISSN:2000-0456.